



Food and Agriculture
Organization of the
United Nations

2016

世界食料農業白書 2016年報告

気候変動と農業、
食料安全保障

JAICAF ジェイカフ

本書の原本は、国際連合食糧農業機関 (FAO) によって発行された「The State of Food and Agriculture 2016」であり、日本語版は (公社) 国際農林業協働協会が作成した。翻訳に不一致がある場合には、原文が優先される。

本書において使用している名称および資料の表示は、いかなる国、領土、市もしくは地域、またはその関係当局の法的地位に関する、またはその地域もしくは境界の決定に関するFAOのいかなる見解の表明を意味するものではない。特定の企業、製品についての言及は、特許のあるなしにかかわらず言及のない類似の他者よりも優先してFAOに是認されたり推薦されたものではない。

©JAICAF, 2017 (Japanese edition)

©FAO, 2016 (English edition)

表紙写真 @FAO/D. Hayduk

キロカ (タンザニア)

コメの圃場で草取りをする女性。この圃場では、気候変動対応型農業プロジェクトの一環としてコメ集約農法を実践している。

2016
**THE STATE
OF FOOD AND
AGRICULTURE**

**CLIMATE CHANGE,
AGRICULTURE
AND FOOD SECURITY**

世界食料農業白書
2016年報告

気候変動と農業、食料安全保障

Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of the United Nations

by

Japan Association for International Collaboration of Agriculture and Forestry

目次

序文	v	「適応」による「緩和」の技術的可能性	72
謝辞	viii	食料安全保障の向上に資する緩和と適応の 共通便益	76
略称用語集	x	緩和のコスト、インセンティブ、阻害因子	84
総合要約	xi	食料システムにおける取り組み——食料のロスや 廃棄をなくし、持続可能な食生活を推進する	86
第1章		結論	87
飢餓と貧困、そして気候変動—— 今日と明日の課題	1	第5章	
主要メッセージ	3	実現に向けた道筋——政策の再編と 組織能力の構築	89
複雑な相互作用と錯綜した影響の連鎖	4	主要メッセージ	91
世界が一体となった行動が急務	8	各国の「約束」の要となる農業	92
農業の特別な役割と責任	13	約束から行動へ——気候戦略における 農業の役割	95
本報告書の構成	15	気候目標と開発目標を連携させる 一体的アプローチ	95
第2章		地域・国際協力の強化	100
気候と農業、食料安全保障—— その関係性を紐解く	17	結論	103
主要メッセージ	19	第6章	
気候から人々への連鎖反応	20	適応・緩和の実現に向けた財源の確保	105
農業への影響	20	主要メッセージ	107
所得や生計への影響	29	農業のための気候ファイナンス	108
さらに数百万人が飢餓の瀬戸際に	32	少ない資金で大きな効果—— 気候ファイナンスを戦略的に活用する	115
気候変動への対応における農業部門の役割	38	結論	119
結論	41	補遺：農林水産業向けの国際的な 公的気候ファイナンスに関するデータ	120
第3章		付属統計資料	123
小規模農業における気候変動への適応	43	付属表についての注記	124
主要メッセージ	45	表A.1 気候変動による世界各地の 作物収量変化予測	127
貧困から脱却する手立ての再考	46	表A.2 「農業・林業・その他土地利用 (AFOLU)」 由来の温室効果ガスの正味排出量・除去量 (二酸化 炭素換算) 2014年	134
気候変動リスクに対する主な脆弱性	47	表A.3 農業由来の温室効果ガスの排出源別排出量 (二酸化炭素換算) 2014年	141
生産システムや生計のレジリエンスの強化	48	参考文献	148
適応策のコスト	60	世界食料農業白書 (既刊) の特集記事	172
気候変動対応型農業システムへの転換	62		
結論	66		
第4章			
気候変動の緩和における食料・ 農業システム	69		
主要メッセージ	71		

図表およびBOX

表

- 1. 今世紀を通じた全球および熱帯地域における作物収量への気候影響——地球の平均気温が産業革命以前から1.5℃上昇した場合と2℃上昇した場合 **12**
- 2. 代表的な気候変動影響(地域別) **24**
- 3. 2030年の最貧人口——気候変動がある場合とない場合、異なる気候・社会経済シナリオを用いた予測 **33**
- 4. ラテンアメリカの一部地域の気温上昇による農業収入の変化 **33**
- 5. 2010年の主要温室効果ガス(GHG)の排出と除去——全部門および「農業・林業・その他土地利用(AFOLU)」部門 **39**
- 6. 2014年における農業由来の温室効果ガスの三大排出源(地域別) **41**
- 7. 農業生産および生産性に対する気候ショックの影響 **47**
- 8. ザンビアにおける異なる気候影響下での作物収量への影響 **53**
- 9. 東アジアおよびサハラ以南アフリカの小規模農業における窒素利用の違い **53**

- 10. 改良草地管理の実施による機会コスト(中国・青海省) **65**
- 11. 改良手法に基づく5通りのシナリオ下における2030年と2050年の亜酸化窒素年間排出量の緩和ポテンシャル **77**
- 12. 土壌炭素ストックの低減につながる農法の例 **83**

図

- 1. 2050年における穀物収量への気候変動の影響(地域別) **7**
- 2. 経済部門別の温室効果ガス排出割合(2010年) **7**
- 3. 影響経路——気候変動から食料安全保障まで **21**
- 4. 気候変動による作物収量の将来変化(全球) **26**
- 5. 気候変動による作物収量の将来変化(開発途上地域) **27**
- 6. 気候変動による作物収量の将来変化(先進地域) **27**
- 7. 気候変動が2050年までに作物収量、収穫面積、生産量、価格、貿易にもたらす影響(全世界) **36**
- 8. 気候変動が2050年までに飢餓リスク人口に及ぼす影響(地域別) **36**

- 9. 気候変動がある場合とない場合における飢餓リスク人口 **36**
- 10. 食料不安と気候変動に対する脆弱性のレベル——現況、最悪シナリオ、最善シナリオ **37**
- 11. AFOLU部門による年間平均純排出量/除去量(CO₂換算) **39**
- 12. 「農業・林業・その他土地利用」部門による地域別純排出量/除去量(CO₂換算) 2014年 **40**
- 13. 農業における排出源別排出割合(CO₂換算、全球レベル) 2014年 **40**
- 14. ベースライン・シナリオと比較した、2050年における改良農業技術導入後の飢餓リスク人口の変化 **55**
- 15. 2030年における「農業・林業・その他土地利用」部門の経済的緩和ポテンシャル(地域別) **85**
- 16. 国際レベルの約束・メカニズムから国レベルの政策・制度への流れ **97**
- 17. 緩和・適応策向けの国際的な公的資金の年間平均額(部門・二国間/多国間資金別) 2010~2014年 **109**

図表およびBOX

18. 多国間公的資金の年平均ブ レジット額および支払い実行額(部門 別) 2010~2014年	113	13. 小規模農家の適応に対する投 資の便益と費用	61	27. 経済評価に気候変動要素を組 み入れる	117
BOX		14. 適応能力を阻害する要因	64	28. 国際金融機関における気候変 動の主流化	117
1. 食料安全保障の4要素	9	15. 気候変動に関する研究の促進	65		
2. 気候変動と栄養	9	16. 農業部門における炭素と窒素 の役割	73		
3. 各国の「約束草案」における農業 の重要性	12	17. 緩和に役立つ放射線・同位体 技術	77		
4. 持続可能な食料と農業の共通ビ ジョン	15	18. 家畜や水稲生産におけるメタ ン排出の低減	79		
5. 気候変動が農業にもたらす影響	21	19. 中国の劣化草地の回復	83		
6. 異常気象の影響	26	20. 食料システムからの排出—— サプライチェーンにおけるエネル ギー使用	85		
7. 気候変動を予測する——RCPと SSP	31	21. 農業部門と国連気候変動枠組 条約	94		
8. 農村女性の脆弱性	49	22. 農業政策とエネルギー政策の 一貫性を確保する必要性	97		
9. 遺伝的多様性がレジリエンスを 向上させる	49	23. 食料安全保障と栄養の確保の ための防災	101		
10. 中国における節水技術の恩恵	53	24. 知識ギャップとデータ活用の課 題	101		
11. ベトナムにおける気候変動対応 型養殖業	55	25. 気候資金と農業部門	111		
12. マラウイとザンビアにおける 気候リスクと多様化、小規模農家の 厚生	57	26. サハラ以南アフリカにおける持 続可能性とレジリエンスに向けた取 り組み	113		

序文

2015年の歴史的な「パリ協定」、そして「持続可能な開発のための2030アジェンダ(2030 Agenda for Sustainable Development)」の採択——いずれも、より持続可能な未来に向けた道筋を描いている——を受け、2016年は、これらのコミットメントの実現に向けた取り組みが本格始動する年となる。近年、世界の気候の急激な変化は、異常気象の激甚化や頻発化、熱波や干ばつ、海面上昇といった深刻な状況を招いている。

気候変動が農業に及ぼす影響や、こうした影響が食料安全保障にもたらす弊害は、すでにゆゆしきレベルに達している——これが本報告書のテーマである。そして、気候変動への「適応」に向けた小規模農家の支援が急務であるということが、本報告書の主要な結論だ。農林漁業従事者は、気候と密接不可分な生産活動に生計を依存している——それゆえに、こうした集団は、気候変動に対して最も脆弱でもある。こうした人々には、自らの生産システムや生産手法を気候変動に適応させるための、さまざまな技術、市場、情報、さらには投資のための信用制度といった仕組みへの一層開かれたアクセスが今後ますます必要となってくる。

農業をより持続可能で、生産的かつレジリエントなものにするために直ちに行動を起こさなければ、気候変動による影響は、ただでさえ深刻な食料不安を抱える国や地域の食料生産を、なお一層著しく損なうことになるだろう。こうした影響は、2030年までに飢餓と貧困の終息を目指す「持続可能な開発目標(SDGs)」に向けた取り組み

の進捗にも支障をきたしかねない。しかも、2030年をさかいに、気候変動の農業に対する負の影響はますます増大し、広範な地域に拡がることを見込まれている。

気候変動は、農業や人々の生計、社会インフラに影響を及ぼすことで、食料安全保障のあらゆる側面を脅かす。気候変動による食料価格の高騰や変動性は、都市部、農村部を問わず、貧困層の暮らしを直撃する。さらに、気候変動は、農業や畜産業、漁業の生産性を低下させることで食料供給にも打撃を与えるうえ、収入を農業に依存する何百万もの農村住民の生計を破綻させて、食料へのアクセスを一層困難にする。

飢餓と貧困、気候変動はこのように複雑に絡み合うため、一体的な取り組みが求められる。これは、少なからず、道義的な責務でもある。というのも、現在、気候変動により最も大きな被害を受けている人々は、温室効果ガスを最も排出していない人々であり、気候変動を引き起こしてきた当事者ではないからだ。本報告書は、小規模農家の生産活動を気候変動に「適応」させ、農村部の人々の生計をよりレジリエントにする方策について考察する。食料生産システムの多様化や、複雑な生態系プロセスへのより適切な組み入れは、自然資源を枯渇させるかわりに、自然環境との相乗効果を生み出す。農業生態系アプローチや「農業生産の持続可能な強化」といった方策は、緑肥や窒素固定被覆作物、持続可能な土壌管理、アグロフォレストリーや畜産業との複合農業といった営農手法により、収量を改善し、レジリエンスを構築する

アプローチの好例である。

農業部門のレジリエンスを高め、小規模農家への賢明な投資を促すことは、世界の最貧層の暮らしに変革をもたらし、こうした人々の所得を引き上げ、現状好転の展望を開くかたわら、気候変動の影響からも人々を守る。本報告書はまた、こうした「適応」の便益が、対策を行わない場合のコストをどれほど上回るかを明らかにする。持続可能で、格差のない農業への転換を実現するには、十分な普及サービスや市場へのアクセスを改善するとともに、とりわけ農村女性の処遇をめぐるさまざまな障壁——土地保有権の保障の欠如や、高額な取引コスト、資源賦存の不平等など——を打開する必要がある。

さらに、「生計の多様化」も、自分の土地での農業活動に、農業・非農業部門での季節就労を組み合わせることで、農村世帯が気候リスクを管理する一助となりうる。いずれのケースでも、社会保護プログラムが重要な役割を果たさなければならない——社会保護プログラムは、小規模農家がリスクをよりうまく管理し、食料価格の変動性に対する脆弱性を低減し、故郷を離れて移住する農村住民の雇用見通しを高めるのを支援する重要な役割を担っている。

地球の気温上昇を決定的な上限値である「2℃未満」に抑えるためには、2050年までに、温室効果ガスの排出量を(2010年のレベルから)7割も削減しなければならない。気候変動を管理可能なレベルに抑制することは、農

業部門の貢献があってはじめて達成できる。というのも、農業部門は現在、主に森林の農地への転換や、家畜や作物の生産により、世界全体の温室効果ガス排出量の少なくとも5分の1を排出しているためだ。問題は、前例のない食料需要水準を満たしながら、いかに排出を削減していくかだ。

農業部門は、地球の炭素循環のバランスの維持に大きな貢献を果たすことができる。同様に、林業部門では、森林減少を抑制したり、森林被覆面積を拡大したり、木材生産に持続的生産管理の手法を取り入れることで、大気中の多量の二酸化炭素(CO₂)を捕捉・隔離することができる。土壌は、CO₂などの温室効果ガスの排出を抑制するのにきわめて重要な役割を果たす。適切な土地利用や土壌管理は、土壌の質や肥沃度の改善につながるうえ、大気中のCO₂濃度の上昇を緩和するのに役立つ。

そして何よりも、2015年に合意された「パリ協定」の下での各国の誓約を実行に移すことが肝要だ。2016年11月にモロッコで開催予定の締約国会議(COP22)では、農業部門における緩和・適応措置の実施に明確な焦点が当てられることになるだろう。本報告書は、さまざまな戦略や資金調達機会、データや情報のニーズを洗い出し、パリ協定の実施を阻む障壁の打開に向けた政策や制度の変革について検討する。パリ協定の下、各国が国家計画を見直し、望むらくは強化し、誓約を着実に実行していくことが、——とりわけ、農業部門においては——目標がさらに野心的な目標を呼ぶ好循環を生み出すために必須

となるだろう。

気候変動は、FAOの取り組みの柱のひとつである。我々は加盟各国を支援するため、気候変動への適応や緩和の取り組みと緊密な連携をとりながら、食料安全保障を促進するさまざまな領域に投資を行ってきた。FAOは、小規模農家の支援に明確に照準を定め、気候リスクに最もさらされている国々の食料・農業システムの転換を手助けしている。

FAOはまた、専門分野のすべてにおいて、あらゆる知見を動員し、持続可能かつ包摂的な農業の新たなモデルの構築・展開に取り組んでいる。さらに、地球土壌パートナーシップ(Global Soil Partnership)を通じ、最も脆弱な人々が暮らす地域において、土壌の劣化を食い止めて生産性を回復させる活動への投資を進めており、これにより、地球の土壌有機物ストックの安定化にも貢献している。

さらに我々は、「持続可能な畜産部門の開発を支援するグローバル行動計画(Global Agenda of Action in Support of Sustainable Livestock Sector Development)」に参加し、反芻家畜由来のメタン排出の削減を目指すプログラムをスタートさせている(プログラムでは個々の現場の営農システムに合わせてさまざまな方策が活用される)。さらに、漁業部門では、「ブルー・グロース」イニシアティブを立ち上げ、漁業と持続可能な環境管理との統合に取り組む一方、欧州連合(EU)との共同プログラ

ムでは、炭素に富んだ森林の保護を目指している。加えて、各国の気候変動適応計画に遺伝的多様性を盛り込むための指針を提供したり、国連開発計画(UNDP)と協力して、各国が適応計画や予算編成に農業を組み入れるための支援を行っている。さらにFAOは、途上国と気候ファイナンスの橋渡しの機能も果たしている。

国際社会は気候変動の現実にはしっかりと向き合い、農林水産業が気候変動対応型の農法を積極的に取り入れるよう、転換を促していく必要がある。2030年までに人類が飢餓と貧困を根絶し、世界中のすべての人々の食料を保障できるかどうかは、ひとえに、こうした農業の変革にかかっている。「これまで通りのやり方」はもはや選択肢とはなりえない。農業はこれまでずっと、自然資源と人間活動とを結びつけるインターフェースの役割を果たしてきた。そしていま、人類の未来に立ちはだかる2つの大きな課題——貧困の撲滅と、安定した気候下での文明の繁栄——を解決するカギを握っているのも、農業なのである。



国連食糧農業機関(FAO)事務局長
ジョゼ・グラジアーノ・ダ・シルバ

謝辞

本書、『世界食料農業白書2016年報告』は、FAO農業開発経済部(ESA)のRob Vos(部長)とAndrea Cattaneo(シニアエコノミスト兼編集者)の指揮の下、FAOの複数分野にまたがる合同チームにより作成された。経済社会開発局(ESD)のKostas Stamoulis局長に、全般的な指導をいただいた。また、自然資源部のMaria Helena Semedo(事務局次長)とESDのマネジメントチームにも指導を頂戴した。さらに、FAO森林局のRene Castro Salazar局長と気候・環境部のMartin Frick部長にもひとかたならぬ尽力を賜った。

研究・執筆チーム

Jakob Skøt(チームリーダー、ESA)、Leslie Lipper(リードテクニカルアドバイザー、ESA)、Graeme Thomas(コンサルティング・エディター)、Astrid Agostini(気候・環境部)、Raffaele Bertini(ESA)、Cassandra De Young(水産・養殖局)、Sarah Lowder(ESA)、Alexandre Meybeck(農業・消費者保護局)、Anne Mottet(家畜生産・衛生部)、Selvaraju Ramasamy(気候・環境部)、Simmons Rose(森林局)、Henning Steinfeld(家畜生産・衛生部)。

寄稿者

バックグラウンドペーパー

Franck Ackermann(Synapse Energy Economics、米国)、Benjamin Bodirsky(ポツダム気候影響研究所、ドイツ)、Oscar Cacho(ニューイングランド大学、オーストラリア)、Angela Cadena Monroy(ロス・アンデス大学、コロンビア)、Alessandro De Pinto(国際食糧政策研究所)、Pierre Gerber(世界銀行)、Ben Henderson(連邦科学産業研究機構、オーストラリア)、Mario Herrero(連邦科学産業研究機構、オーストラリア)、Ana María Loboguerrero(気候変動・農業・食料安全保障に関するCGIAR研究プログラム)、Mario Londoño(ロス・アンデス大学、コロンビア)、Alberto Millán(国際熱帯農業センター)、Jonathan Moss(ニューイングランド大学、オーストラリア)、Marigold Norman(海外開発研究所、英国)、Oene Oenema(ワーゲニンゲン大学、オランダ)、Katherine Ovalle Sanabria(コロンビア環境・持続可能な開発省)、Vittoria Pinca(コンサルタント)、Dave Robb(コンサルタント)、Marc Sadler(世界銀行)、Jean-François Soussana(国立農学研究所、フランス)、Rita Strohmaier(グラーツ大学、オーストリア)、Rodrigo Suarez Castaño(コロンビア環境・持続可能な開発省)、Mark Sutton(生態環境研究所、英国)、Stacy A. Swann(世界銀行)、Timothy Thomas(国際食糧政策研究所)、Philip Thornton(国際家畜研究所)、Caroline Van der Does de Willebois(コンサルタント)、Ioannis Vasileiou(国際食糧政策研究所)、Keith Wiebe(国際食糧政策研究所)。

FAOメンバーからの追加情報

Adriana Arango Guillen, Aslihan Arslan, Solomon Asfaw, Stephen Baas, Tarub Bahri, Karel Callens, Clayton Campanhola, Frederic Castell, Barbara Cooney, Olivier Dubois, Jean Marc Faurès, Michelle Kendrick, Nancy McCarthy, Matta Rao, Doris Soto, Francesco Tubiello。

付属統計資料

付属資料の作成は、Raffaele BertiniとSarah Lowderが担当した。付属表1は、Andrew Challinor、Julian Ramirez-Villegas、James Watsonから提供されたデータに基づく。本報告書へのデータの転載を許可いただき、深く感謝する。付属表2と3は、FAO統計部と気候・環境部が共同で作成したFAOSTATデータに基づく。

業務支援

Paola Di Santo、Liliana Maldonado。

テクニカル・ワークショップにおいて、以下の参加者から頂戴した多くの助言や指導に心より感謝申し上げます——Alessandro De Pinto (国際食糧政策研究所)、Fiona Guy (世界食糧計画)、Ada Ignaciuk (経済協力開発機構)、Alberto Millán (世界銀行)、Torben Nilsson (国際農業開発基金)、Marigold Norman (海外開発研究所、英国)、Shivaji Pandey (独立専門家)、Rita Strohmaier (グラーツ大学、オーストリア)、Terry Sunderland (国際林業研究センター)、Keith Wiebe (国際食糧政策研究所)。

翻訳と印刷業務は、FAO総会・理事会儀典部の会議計画・文書サービスが担当した。

FAO広報室の**出版グループ**が、国連公用語6ヵ国語版の編集支援、デザイン、レイアウトを担当した。

略称用語集

AFOLU

農業・林業・その他土地利用

AgMIP

Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project
(農業モデル相互比較・改善プロジェクト)

ASAP

Adaptation for Smallholder Agriculture Programme
(小規模農業適応プログラム)

BCR

費用便益比

C

炭素

CFU

(海外開発研究所[ODI]の) 気候基金最新情報

CH₄

メタン

CO₂

二酸化炭素

COP

国連気候変動枠組条約(UNFCCC) 締約国会議

CRS

(OECDの) 債務国報告システム

CSA

気候変動対応型農業

GDP

国内総生産

GEF

地球環境ファシリティ

GHG

温室効果ガス

Gt

ギガトン(10億トン)

GtC

ギガトン炭素換算

GtCO₂-eq

ギガトン二酸化炭素換算

ha

ヘクタール

IDA

国際開発協会

IFAD

国際農業開発基金

IFPRI

国際食糧政策研究所

IMPACT

International Model for Policy Analysis of Agricultural
Commodities and Trade
(農作物と貿易の政策分析のための国際モデル)

INDC

約束草案

IPCC

気候変動に関する政府間パネル

LDC

後発開発途上国

LULUCF

土地利用、土地利用変化および林業

N

窒素

N₂O

亜酸化窒素

NAMA

国内における適切な緩和行動

NAP

国別適応計画

NAPA

国別適応行動計画

NDC

国別目標

NPV

正味現在価値

ODI

海外開発研究所

OECD

経済協力開発機構

RCP

代表的濃度経路

REDD

途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減

SOC

土壌有機炭素

SSP

共通社会経済的経路

SME

中小企業

t

トン

UNDP

国連開発計画

UNFCCC

国連気候変動枠組条約

WTO

世界貿易機関

総合要約

世界はいま、二重の難題に直面している。世界から飢餓と貧困をなくすこと、そして、手遅れになる前に世界の気候を安定化させることである。

「持続可能な開発のための2030アジェンダ」と、気候変動に関する「パリ協定」の採択によって、国際社会は、持続可能な未来を築くための責任を担うこととなった。しかし、気候変動の脅威に対処しつつ、2030年までに飢餓と貧困の根絶を目指す「持続可能な開発目標」を達成するには、世界中の食料・農業システムの抜本的な変革が求められる。

持続可能な農業への転換を成し遂げることはきわめて大きな挑戦である。というのも、世界の食料需要をまかなう農業部門（農林水産業）の能力を損なわないような形で、変革を起こす必要があるためだ。人口や所得の増加や急激な都市化に伴い、世界の食料需要は2050年までに、2006年のレベルから少なくとも6割増加することが見込まれる。しかも、向こう数十年間に人口増加が集中するのは、栄養不足率がきわめて高く、気候変動の影響にもきわめて脆弱な地域である。そのうえ、カーボンニュートラルな世界に貢献しようという農業部門の努力は、往々にして、水資源や土地をめぐる食料生産とエネルギー原料生産とが競合したり、温室効果ガスの排出を減らす森林保全イニシアティブによって農畜産業に利用できる土地が制限されるといったジレンマを招いている。

持続可能な農業への転換には、何百万もの食料生産者を、気候変動の影響——これは農業部門、とりわけ食料不安を抱える貧困層の大半が暮らす熱帯地域の農業部門においてすでに顕在化している——に対する「適応」の取り組みに引き込むことも必要だ。また、土壌から森林、水産資源にいたる農業の自然資源基盤の劣化拡大——これは、食料生産の持続可能性そのものを揺るがす——に歯止めをかけ、こうした流れを逆転させなければならな

い。それゆえに、世界の食料安全保障を確保し、すべての人々に経済的・社会的機会を提供し、農業が依存する生態系サービスを保護し、気候変動に対するレジリエンスを構築するには、食料・農業システム全域にわたる包括的な変革が迫られる。気候変動への「適応」なくして、世界中のすべての人々の食料安全保障を実現し、飢餓や栄養失調、貧困を根絶することは不可能だ。

気候変動の負の影響は時とともに増大するため、持続可能な食料・農業システムへの転換に向けた世界的な転換が急務である。

気候変動が農畜産業に及ぼす影響は時とともに増大することが見込まれるが、影響の種類や程度は国や地域によってさまざまである。しかし、2030年をさかいに、すべての地域において、農林水産業の生産性に対する「負」の影響が深刻化するとみられる。

生産性の低下は、食料安全保障に多大な影響を及ぼす。食料の供給不足は食料価格の高騰を招く一方で、気候の不安定化は変動性に拍車をかける。気候変動の影響を最も受ける地域は、ただでさえ飢餓率や貧困率の高い地域でもあるため、食料価格の高騰は、多くの低所得層の暮らしを直撃する。なかでも最も脆弱なのは、生計や収入を農業に依存している人々、とりわけ途上国の小規模生産者だ。

気候変動はあくまで、貧困や食料不安の複数の要因のうちの一つに過ぎないが、そのインパクトは相当規模に及ぶとみられる。気候変動が生じないと仮定した場合、経済発展が順調に進めば、大半の地域で2050年までに飢餓リスク人口の低下が見込まれる。これに対し、気候変動の下では、貧困人口は2030年までに、気候変動が生じない場合よりもさらに3,500万人から1億2,200万人増える恐れがある。これは主として、農業部門の所得に対する負の影響によるものだ。貧困人口の増加は、サハラ

以南アフリカ地域で最も大きい。住民の農業への依存度が高いことが一因に挙げられる。

食料と農業は、脆弱性やリスクに対処したり、レジリエントで持続可能な農業システムを促進する政策や行動を通じて、気候変動への「適応」を図る世界的な取り組みの中軸に据えられなければならない。こうした「適応」に向けた行動は、いまずぐに起こす必要がある——というのも、気候変動の影響が深刻化するにつれ、レジリエンスの構築はますます困難になるからだ。農業部門の変革を先送りすれば、とりわけ貧困国は、貧困と飢餓に加えて、さらに気候変動とも闘わざるを得なくなる。

採算性があり持続可能な営農手法は利用可能であるが、こうした手法の導入を阻む障壁を打開しなければならない。

食料安全保障の大幅な改善や、気候変動に対するレジリエンスの構築は、持続可能な営農手法の導入によって達成できる。窒素利用効率や高温耐性の高い作物品種の採用、不耕起栽培、統合的な土壌肥沃度管理といった改良農法を広く取り入れることは、生産性や農家の所得を底上げするとともに、食料価格の安定化にもつながる。ある試算によると、窒素利用効率の高い作物品種が普及しただけでも、途上国の栄養不足リスク人口は、2050年までに1億2,000万人以上減少するという。

こうした大きなメリットが見込まれるにもかかわらず、農家による改良農法の導入は依然としてごく限られている。多くの場合、こうした農法の普及は、投入財購入補助金制度といった、持続的でない生産手法を助長しかねない政策——こうした政策は、資源利用の効率性や土壌保全、農業自体の温室効果ガス排出原単位の低減を促すものではない——により阻害される。特に小規模農家は、持続可能な農業への移行を阻むさまざまな障壁——例えば、市場、信用制度、普及サービス、天候情報、リスク管理ツール、社会保護へのアクセスの不足——に

直面している。とりわけ、途上国の就農人口のおよそ43%を占める女性は、特に不利な立場に置かれている。というのも、女性は、(資源などの)賦存量や権原を男性と対等に与えられていないうえ、情報やサービスへのアクセスも一層乏しく、女性の役割とみなされる家事労働に加えて、男性が出稼ぎで留守の間は農作業の負担も増えるためだ。

こうした問題への安易な「技術的解決策」は存在しない。必要なのは、既存のインセンティブを見直し、食料・農業システムの変革を阻む障壁を引き下げる方向に、農業政策や農村開発政策の転換を図ることである。また、低所得の小規模農家がリスクを適切に管理し、効果的な気候変動適応戦略を取り入れるための能力の強化に向けた支援にも、特に力を入れる必要がある。

営農手法の先を見据える——世界の貧困削減と食料安全保障にとって、小規模農家の気候リスクへの適応はきわめて重要である。

途上国に暮らす小規模農家は、およそ4億7,500万人にのぼる。この圧倒的な数をみれば、気候変動がこうした人々の暮らしにもたらす脅威に焦点を絞り、こうした人々の生計を持続可能な方向へと転換させることが喫緊の課題であることにも頷ける。土地、水資源、漁業、林業の持続可能な管理手法を広く取り入れ、小規模農業における気候変動へのレジリエンスを構築することなしに、世界の貧困を根絶し、飢餓に終止符を打つことは——不可能でないにしても——困難だ。こうした管理手法の導入に向けた環境——信用制度や市場への十分なアクセスだけでなく、農村女性に対する法的、社会文化的制約や移動の自由の制約の打開に向けた措置など——が整備されていれば、こうした手法は、生産性の大幅な改善をもたらすことがわかっている。しかし、管理手法の改善だけでは、農家の収入を支えるには十分ではない。

農家は、農業や生計の多様化を図ることによって、レジリエンスをさらに強化することができる。多様化は、気候ショックによる収入への打撃を軽減し、農家世帯に将来のリスクを管理するためのより幅広い選択肢をもたらす。農作物と畜産、樹木などを組み合わせた複合農業は、こうした多様化の一形態だ。例えば、一部のアグロフォレストリーシステムでは、窒素を固定するマメ科樹種を栽培して葉を家畜の飼料にし、家畜の糞尿を土壤肥料にし、栽培したマメを食料不安の季節にタンパク質の供給源にしている。

こうした「農業の多様化」の選択肢が限られている農家世帯にとっては、地元農村での農外就労や、都市への移住といった「生計の多様化」も、きわめて重要な生計戦略となりうる。したがって、「農業生産の持続可能な集約化」や「農業の多様化」による適応は、農外の雇用機会を創出——地域の雇用創出と、農村と都市の連携強化によって——と組み合わせて行う必要があるかもしれない。また、ジェンダー格差の是正に向けた取り組みも求められる。社会通念は往々にして、女性が農外の生産活動に従事するのを妨げるためだ。さらに、多様化や移住に伴うリスクの多くを軽減するには、社会保護や教育、積極的な労働市場政策が不可欠だ。

温室効果ガスの5分の1は、農業、林業、土地利用変化に由来する。農業部門は温室効果ガス排出の抑制に貢献する必要がある。

地球温暖化の元凶である温室効果ガス排出を削減するために、直ちに行動を起こさなければ、気候変動への適応は、時とともにますます大きく困難な課題となっていく。気候変動に歯止めをかけ、地球の平均気温の上昇を産業革命前のレベルから2℃未満（1.5℃以下であればなお望ましい）に抑えるには、大幅な排出削減に踏み切る必要がある。これは、世界全体の責務であり、すべての経済部門に、排出原単位の低減へのシフトが求めら

れる。

農業、そして食料部門全体は、気候変動の「緩和」においても重要な責任を負っている。「農業・林業・その他土地利用」部門からの温室効果ガス排出量をすべて合わせると、世界全体の排出量のおよそ5分の1を占める。農業からの二酸化炭素排出は、主として森林の草地や耕地への転換といった土地利用変化や、過放牧などによる土地劣化により、地上部・地下部の有機物が失われることに起因する。強力な温室効果ガスであるメタンと亜酸化窒素の直接排出の大部分は、家畜の消化管内発酵や、水田稲作、窒素肥料や堆肥の施用が原因だが、これらはすべて、より適切な管理手法の実施によって低減することが可能だ。

食料システム全体からの排出量を勘定に入れた場合、世界の温室効果ガス排出量に占める割合はさらに大きくなる——とりわけ、農薬の製造工程や、農場運営での化石燃料の使用、生産後の輸送や加工、小売段階から、さらに多くの温室効果ガスが排出されている。

気候変動適応・緩和への農業による貢献は実現可能だが、包括的な取り組みが求められる。

包括的な農業・農村開発は、気候ショックに対する曝露や感受性の低減を促すとともに、農村の生計や食料安全保障の向上に向けた新たな機会を農家が最大限に活用して、利益を得られるようにする。本報告書では、改良管理手法の取り入れが、いかに食料不安人口の大幅な削減に貢献しているかが示されている。もっとも、改良手法の導入や農村の生計の多様化を促進するには、それと同時に、農村開発の要であるインフラや普及サービス、気候情報、信用制度へのアクセス、社会保険といった仕組みの改善が伴わなければならない。

既存の複数の試算から、適応策の導入や農場システム

のレジリエンスの強化にかかるコストの総額は、対策を行わない場合のコストに比べれば、微々たるものであることがわかる。適応の取り組みには経済的合理性があるうえ、農業・林業・土地利用変化由来の温室効果ガス排出を削減する大きなポテンシャルも見込める。資源利用の効率化や、化石燃料の使用の削減、直接的な環境劣化の防止は、農家の出費を減らし、生産性を持続可能的に高め、外部からの投入財への依存を低減する。

「適応」と「緩和」の取り組みがどのように両立できるかを示すさまざまな実例がある。例えば、栽培手法や施肥管理の改善は、亜酸化窒素の排出を削減すると同時に、投入財のコストも節減するきわめて大きなポテンシャルをもたらすことが、多くの事例からみてとれる。また、土壌有機炭素のストックを増やすことは、作物収量の改善や、干ばつや洪水に対するレジリエンスの構築につながるだけでなく、炭素隔離にも寄与する。さらに、湛水と中干しを交互に繰り返す水稲栽培手法は、通常の水稲と同程度の収量を維持しながら水田からのメタンの排出を45%削減するうえ、節水にもつながる。また、温帯地域、熱帯地域を問わず、営農システムの多様化や、「作物・家畜・森林の統合」システムの導入は、農場全体の効率性を高めるうえ、温室効果ガス排出原単位の低減や生産性の向上にもつながる。他方、畜産業部門における持続可能な飼養法の普及は、家畜の食餌や健康、家畜群構造の管理を改善することで、家畜のメタン排出を最大41%削減すると同時に、家畜生産性も高める。しかし、こうした改良手法の取り入れは、多くの地域で進んでいないのが現状だ。小規模農家による導入を促進する取り組みでは、資金面や制度面、政策面における阻害因子を十分に把握しておく必要がある。

食料需要をまかなうために増産すれば、当然、排出も増大する。したがって、排出原単位(生産量単位あたりの温室効果ガス排出量)の低減を達成するには、農業システムにおける炭素・窒素循環の管理を大幅に改善することで、生産が増えれば排出も増えるという傾向のバラ

スを取る必要がある。このように、農業部門における緩和ポテンシャルの実現は容易ではない——これは単に、改良手法を広く取り入れるのに大きな変革を要するからだけでなく、食料需要の増加に伴い、今後ますます農産物の需要増が見込まれるからでもある。

もっとも、すべての緩和策が適応策であるとは限らず、すべての適応策が重要な緩和による共通便益(コベネフィット)をもたらすわけではない。緩和の動機のみに基づくイニシアティブもある。例えば、森林減少・劣化対策は、農業部門で最も大きな排出削減ポテンシャルが見込まれる取り組みだと言ってよい。とすれば、これを最優先事項とすべきだが、トレードオフ(妥協点)を見いだす必要もある。というのも、森林減少対策はしばしば、農家の利益を犠牲にするためだ。こうした取り組みは、国連気候変動枠組み条約(UNFCCC)の傘下で、REDD+イニシアティブを通じて進められている。森林転換からの排出は、過去20年間で大幅に減少したものの、これに伴うトレードオフがこうした便益を損なっている。一般に適応と緩和の取り組みが互いに無関係である他の経済部門とは異なり、農業部門では、食料安全保障、適応、緩和の目的が複雑に絡み合う。

「気候変動対応型」の持続可能な農業を広く取り入れたとしても、世界全体の気候ターゲットの達成に必要なレベルには満たない可能性がある。したがって、食料システム全体にわたる抜本的な改革が必要になる。世界で生産される食料の総量のおよそ3分の1は、収穫後にロスや廃棄の対象となっている。食料のロスや廃棄を減らすことは、食料システムの効率性を改善するだけでなく、自然資源への負荷や温室効果ガスの排出も抑える。食料加工、保存、輸送段階におけるエネルギー使用量とそれに伴う排出原単位は大量で、しかも増加傾向にある。食料チェーン全域における排出原単位の低減には、消費者側の意識の大きな変革に加え、環境フットプリントが少ない食品を優遇する価格インセンティブのような仕組みが必要だ。また、動物性食品を減らした食生活は、環境負

荷や排出原単位の低減にも大きく寄与するうえ、人の健康にも共通便益をもたらす見込みが高い。

「パリ協定」における各国の誓約は、食料・農業システム全域にわたる取り組みを後押しする必要がある。

農業・食料システムの変革は、経済的にも技術的にも実現可能にみえる。しかし、こうした変革は、適切な政策や制度的枠組み、投資資金メカニズムによる下支えがあってはじめて実現する。むろん、こうした環境整備は農業開発全般にとっても重要であるが、気候変動下ではなおさら必要になる。政策枠組みを抜本的に見直して、農業開発、食料安全保障、栄養改善、気候安定化に向けた取り組みを緊密に連携させる必要がある。

2015年の「パリ協定」採択のたたき台となった参加各国による「約束草案(INDC)」はいまや、世界の気候目標にリンクした「国別目標(NDC)」となり、具体的な国内政策や国内措置に落とし込まれる。各国の「約束草案」において、農業部門は重要な位置を占めており、94%の国々が「緩和」および／または「適応」にかかわる貢献分野に農業を盛り込んでいる。とりわけ途上国は、「適応」策における農業や食料安全保障の重要性を強く打ち出すとともに、多くの場合、緩和目標への貢献にも農業部門を含めている。さらに、およそ3分の1の国々が、「約束草案」のなかで、農業における「緩和」と「適応」の共通便益の可能性に触れている。多くの国々が、農業部門に積極的に投資して変革を促すことで気候変動に対応しようという明確な意欲を示している。

多くの国々はすでに、気候変動政策や戦略の大筋を打ち出しており、これを踏まえて、世界全体の目標や目的の大枠が掲げられている。しかし、これまでのところ、こうした目標を達成するためのさらに踏み込んだ行動計画を明確に定めている国は少ない。「約束草案」は、気候変動下での農業・農村開発の再検討に向けたより包括的

なプロセスの第一歩ということになる。UNFCCCはすでに、国家適応計画(National Adaptation Plans)のような気候変動対応における各国の協調行動の足場となる有意義なメカニズムを構築している。こうしたメカニズムは、本報告書に掲げるさまざまな政策提言に沿って、農業、食料安全保障、栄養改善に向けたより幅広い政策に積極的に組み込まれるべきであり、また逆に、農業、食料安全保障、栄養改善といった要素を、こうしたメカニズムに積極的に組み込んでいくべきである。

気候、農業、食料、栄養改善に向けた諸政策は、統合化・統合化し、一体的に取り組む必要がある。

政策、市場の力、環境面における諸制約は、農業での投入財やその他の資源の利用を促進し、生産性や、自然資源の保全または消耗の程度を左右する。気候変動影響下の農業にかかわる政策立案は、こうした諸因子が農家の生計や環境に与える影響を把握することがスタートラインとなる。しかし、これは複雑な作業であり、必ずしもWin-Winな解決が可能であるとは限らない。しかも、こうした諸因子は、国や地域によって大きく異なり、小規模農家が政策に対応したり、市場シグナルに応答する能力は一様ではない。

となれば、政策立案者は、こうした諸因子間のトレードオフが避け得ないことを認識し、さまざまな目的やインセンティブの構造を、よりうまくすり合わせるための具体的な方策を打ち出さなければならない。例えば、計画されている取り組みのジェンダー格差におけるトレードオフを体系的に分析する必要がある——よりレジリエントな間作システムへの転換は時として、特定の作物に対する女性の裁量を犠牲にすることがあるためだ。政策を見直す大きな余地のある領域のひとつが、農業支援策であり、持続可能な農業への転換を妨げるのではなく、促進するような形に再設計されなければならない。2015年に、先進国と主要途上国が農業生産支援(投入財への

補助金や農家への直接支払いを含む)に投じた財政支出は、5,600億USドル超にのぼる。こうした支援策のなかには、投入財購入補助金のように、かえって農薬の非効率的な施用を助長したり、排出原単位を増大させる恐れがあるものもある。排出削減や自然資源の保全に資する営農手法の導入を農業支援の条件とすることは、農業開発と気候目標を合致させる1つの方法である。

このほかにも、栄養改善、食料消費、食料価格支持、自然資源管理、インフラ開発、エネルギーなど、さまざまな政策を同様に見直す必要がある。これらの中でトレードオフを図るには、包摂的で透明性の高い意思決定プロセスを確保し、市民全体、社会全体に長期的な便益をもたらすインセンティブが確実に提供されるようにしなければならない。例えば、協議プロセスによって地域主体の合法的な分権的制度を構築し、こうした仕組みの支援の下で現地のコミュニティを参画させることで、森林管理が円滑に進み、荒廃植生の回復も速まることは、経験からも明らかである。

気候変動は、新たなリスクをもたらす。こうしたリスクを適切に管理するには、協調行動の強化や、リスクや脆弱性、適応オプションを評価するシステムの強化が必要になる。また、最低限の所得や食料へのアクセスを保障する適切に設計された社会保護プログラムは、リスク管理においても重要な役割を担っているが、気候に特化したリスク管理の方策と緊密に連携させる必要がある。さらに、単に異常気象による災害に事後的に対処するだけでなく、災害リスク削減(DRR)が、気候変動適応に向けたより幅広い戦略にしっかりと組み込まなければならない。

気候変動への対応には、国際的な協力体制や、多様な利害関係者間のパートナーシップや連携が不可欠だ。例えば、気候変動は、新たな病害虫や疾病の問題を引き起こし、こうした事態が国境を越えて広がるリスクを増大させる。こうした越境的事象に対処するには、地域的・

国際的な協力を強化して、情報や知見の共有を円滑化したり、水産資源などの共有資源を共同で管理したり、農業生態系を共同で保護・活用するといった取り組みが求められる。また、農業、食料安全保障、栄養面における気候変動影響に関する知識ギャップを補ったり、持続可能な営農手法のスケラビリティ(規模拡大性)や採算性を検討したり、食料システム全体の生態系へのフットプリントを評価するのに際しても、国際レベル・地域レベルでの緊密な協力体制が求められる。

農業に変革を起こすには、より多くの気候ファイナンスを動員し、投下する必要がある。

持続可能な営農手法への転換を促進するには、さらに多くの気候ファイナンスや農業投資が必要になる。しかし、農業への投資に利用できる資金は、ニーズを大きく下回っているのが現状だ。しかも、途上国の小規模生産者は、新たな技術や手法に投資するための資金調達手段である信用制度にアクセスするにあたって、高いハードルに直面する——とりわけ、女性の農業従事者がこうした仕組みにアクセスするのはなおさら困難だ。資金不足が、農業や食料安全保障への投資の足かせとなり、結果として、小規模農家の気候変動への適応能力にも縛りをかけている。

農業部門の大規模な変革や、気候変動対応型の食料生産システムの開発に伴う投資コストに資金を供与するには、さらに多くの気候ファイナンスを農業に投下する必要がある。公的資金源からの資金供給や、カスタマイズされた金融商品の運用が必要となるのは、次の2つの領域である。

1つは、農家の生産性の向上や適応能力の構築、排出原単位の低減に要する先行投資である。これには、大幅な増資や、キャッシュフローに合わせた返済スケジュールといった、より柔軟な貸付条件が必要となる。こうした

アプローチにより、農家は、収量を維持したまま資源を省力化したり、排出を削減するとともにレジリエンスを高める気候変動対応型の営農手法や技術の導入に、積極的な投資を行うことができる。もっとも、こうした投資が成功するには、2つ目の領域への資金供与が必要となる——すなわち、農家がこうした変革に取り組めるよう、適切な制度や政策を通じた能力構築を支援することである。大多数の小規模農家——こうした人々は、気候ファイナンスから事実上アクセス権を奪われ、生計や生産性、収入を向上させる生産的活動への投資機会を拒まれている——にとって、特に、変革を可能にする環境の整備は必須である。

このように、本報告書に描かれる農業の変革にはさらに多くの気候ファイナンスが必要になるが、それに加えて、こうした変革を実現するための各国の能力の改善にもさらなる資金が必要だ。目下、途上国による農業向け気候ファイナンスへのアクセスや、得た資金の有効な運用を阻んでいるのは、組織能力の制約である。政策立案や制度づくりにおけるこうした能力ギャップ——これは、資金提供者と受益国の双方に見られる——は、気候ファイナンスが持続可能な農業への転換に向けて有効活用されるのを妨げている。気候ファイナンスが——各国が計画どおりに資金を積み増した場合——食料・農業システムの変革を促す役割を十分に発揮できるよう、資金提供者、受益国はいずれも、こうした能力ギャップの解消を優先事項に据えるべきである。

気候ファイナンスはまた、持続可能な農業に向けてより多くの官民の資金を引き出す呼び水の働きをすることができる——ただし、そのためには、こうした変革を促進する政策や制度的枠組みが整備されていることが条件となる。

気候ファイナンスは、気候変動型農業への投資が採算のとれるものであることを示したり、さらなる官民資金を動員するための革新的な仕組みを設計・パイロット運

用するといった取り組みにより、資金ギャップの解消を助けることができる。気候ファイナンスはまた、気候変動対応型の農業開発に向けて必要な環境を整備したり、公的な農業投資を気候目的に合致させたり、民間資金の動員を促すために戦略的に活用されれば、適応・緩和活動にとって、重要な呼び水となりうる。

気候ファイナンスは、資金ギャップを補い、投資を誘発することで、リスク管理の仕組みを強化し、適切な金融商品の開発を促し、貸し手と借り手の双方が抱える能力の制約の打開に取り組むことができる。したがって、気候対応型の農業投資に向けた環境整備を徹底し、国内予算の編成や執行において気候変動要素を「主流化」し、気候変動対応型の農業開発に向けて民間資本を取り込むことがきわめて重要となる。こうした条件が整わないうちは、小規模農業への投資に要する気候ファイナンスはいつまでも不足したままであり、結果として、農家の生計は損なわれ、食料不安が増大する深刻な事態を招くことになる。

農業・農村開発への投資には一刻の猶予もならない。貧困の根絶や、気候変動への適応、温室効果ガスの抑制に向け、農業・食料システムに抜本的な変革を起こすには、多様な資金源を確保し、それらの目的をできる限り合致させ、提供された資金が有効に活用されるよう、適切な政策や制度的環境をいかに整えていくかが課題となる。■



第1章

飢餓と貧困、そして 気候変動—— 今日と明日の課題

ARBA GERAMSO (ケニア)

夕食にトウモロコシを調理する母と娘。この地域では、干ばつにより多くの牧畜民が家畜の9割近くを失った。

©FAO/A. Vitale



NAROK (ケニア)
家畜を放牧するマサイ族の
牧畜民。
©FAO/A. Vitale



主要メッセージ

1 気候変動はすでに農業と食料安全保障に大きな影響を及ぼしており、直ちに行動をとらなければ、数百万もの人々が飢餓や貧困のリスクにさらされる恐れがある。

2 気候変動が農業生産や農家の生計にもたらす影響は国や地域によってさまざまだが、こうした影響は時が経つにつれ深刻化し、地域によっては壊滅的な被害につながる恐れもある。

3 地球の気温上昇を産業革命前のレベルから1.5℃以下に抑えることで、気候変動のリスクや影響を大幅に低減することができる。

4 気候変動の「適応」と「緩和」の取り組みの コベネフィット（共通便益）を最大限に発揮するには、農業と食料システム——生産準備段階から消費に至るまで——の抜本的な転換が不可欠である。

5 農業部門は温室効果ガスの排出を抑制する潜在能力を備えているが、将来の食料安全保障を確保するには、気候変動への「適応」に重点を置く必要がある。

飢餓と貧困、 そして気候変動—— 今日と明日の課題

気候変動は、世界の食料安全保障にとってきわめて重大な脅威であり、年々その深刻度は増すばかりだ。気候変動により危惧されるさまざまな影響——気温の上昇、異常気象の頻発化、渇水、海面の上昇、海洋の酸性化、土地の劣化、生態系の攪乱、生物多様性の喪失——は、社会の最弱者層を飢えから救う農業の能力を著しく損ない、飢餓や栄養失調、貧困の根絶に向けた取り組みを妨げる恐れがある。それゆえ、気候変動による環境条件の急激な変化に対し、農林水産業の不断の備えを強化するとともに、温暖化の原因となる温室効果ガスの農業自体からの排出の削減に向け、直ちに行動を起こす必要がある。

気候変動問題を抜きにしても、世界の農業や食料安全保障は困難な試練に直面している。途上国の多くでは、人口や所得の増加により、食料などの農産物需要が未曾有の水準にまで高まっている。FAOの試算によると、食料需要を満たすには、2050年までに、世界全体の農畜産物生産を2006年のレベルから6割増やす必要がある。必要な増分のおよそ8割は作物収量の増加により、さらに1割は年間作期の延長により賄う必要がある (Alexandratos and Bruinsma, 2012)。しかし、土地の劣化の拡大や渇水の深刻化が、収量増の実現性にとって足かせとなっている。貧困削減に向けた取り組みをさらに強化することなしには——そして、生産性と持続可能性を両立させた農業への抜本的な転換を図ることなしには、多くの低所得国で、すべての住民に十分な食料へのアクセスを確保するのが困難になるであろう。

気候変動は、農業に悪影響をもたらすことで、これらすべての動向の負の側面に拍車をかける。そして、2030年までに飢餓に終止符を打ち、年間を通じて安定した食料安全保障を実現し、持続可能な食料生産システムの確

保を目指す「持続可能な開発目標 (SDGs)」の達成を一層困難にする。気候変動がどのような規模や速さで進行し、それに対して経済全体の緩和の取り組みや農業による適応がどの程度の効果をあげるかは、この先長期にわたって、世界人口の大多数、そしておそらくは全人類の未来に、きわめて重大な影響を及ぼすことになるであろう。■

複雑な相互作用と 錯綜した影響の連鎖

農業部門——農業、畜産業、水産業、林業——は、その固有の特性から、気候変動への適応に向けた全球規模の取り組みの中核に位置づけられている。農業はまず、我々の食料供給にとって——したがって、人間の最も基本的なニーズを満たすのに——不可欠なものである。さらに、食料生産は自然資源——生物多様性、土地、植物、降水、日光などを含む——に直接依存しており、他方で、こうした自然資源は、気候や天候条件と不可分な関係にある。農業は、世界の最貧層のほぼ3分の2に当たる7億5,000万の人々にとっての生計基盤でもあるため、気候変動による農業への影響は、ただでさえ脆弱な農村住民の暮らしを直撃することで、彼らの食料安全保障にも多大な影響を及ぼす。

農業部門はまた、地球温暖化や気候変動の原因となる温室効果ガスの主要な排出源でもある。農業部門はそれゆえ、農畜産物や土地のより適切な管理を通じて、温室効果ガスの排出を削減し、植物バイオマスや土壌による炭素固定を増加させることで、世界の気候の安定化に寄与する可能性を秘めるという点でも、固有の役割を担う。

気候変動が農業に及ぼす影響

農業生産はすでに多くの地域で、気温の上昇や気温の変動、降水の強度や頻度の変化、降雨不足や干ばつの頻発化、異常気象の激甚化、海面上昇、耕地や淡水の塩類化といった現象から負の影響を被っている。気候変動による農業への影響が強まるにつれ、これまでと同じ場所や同じ方法で作物を栽培したり、家畜を飼育したり、森林を管理したり、魚を捕ったりすることが、将来ますます困難になるであろう。

食料や繊維、エネルギーに利用される作物は、生長するのに最適な気温や十分な水といった特定の条件を必要とする。地域によっては、ある程度までの気温の上昇は作物の生育にとってメリットとなる場合もある。しかし、気温が作物の生育適温を超過したり、十分な水や養分が摂れなかったりすると、作物収量は減少する。異常気象——とりわけ洪水や干ばつ——の頻発化も、作物に害を与え、減収をもたらす。平均気温の上昇や降水量の減少が見込まれる地域では、干ばつへの対応が大きな課題となる。また、高温多湿化や、大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度の上昇といった条件下では、雑草が繁茂し、病虫害や疾病が多発する。極端な気温が頻発化し、降水量が減少していけば、多くの地域で作物が全く育たなくなる恐れも生じる。

気候変動によりますます頻発化が予想される熱波は、家畜にとって直接の脅威となる。暑熱ストレスは疾病に対する家畜の抵抗力を弱め、その結果、繁殖性や産肉量、泌乳量が低下する。また、気候変動は、寄生虫や疾病の発生分布にも変化をもたらす。降水量が増加する地域では、多湿を好む病原菌の浸潤も懸念される。さらに、気

候変動は、草地や放牧地の牧養力や、舎飼のための飼料生産にとっても脅威となる。

漁業と養殖業——低所得国の数百万の人々が摂取する動物性タンパク質の少なくとも半分を賄っている——はかねてから、乱獲や生息域の喪失、水質汚染といった複数のストレスに曝されてきたが(FAO, 2012)、気候変動はこうしたストレスに一層拍車をかけている。海水温の上昇により、一部の魚種が死滅したり、分布回遊域が変化したり、生産チェーンの全域で疾病リスクが増大する恐れがある。また、大気中のCO₂濃度の上昇により、地球規模で海洋酸性化が進行しており、とりわけ貝類やイカ類、マングローブや珊瑚礁に依存する漁業に甚大な影響をもたらしている。暴風やハリケーン、サイクロンの頻発化や激甚化は、養殖業やマングローブ、沿岸漁業に損害を与える。

森林は、世界で1億人余りの雇用創出に貢献しており、多くの農村の貧困層の生計を支えている。また、森林には世界の陸生生物の8割以上が生息するうえ、食料や薬、燃料に加え、重要な生態系サービスを提供している。気候の変化や変動性の拡大は、森林や森林で生計を立てる人々に直接的、間接的な影響を及ぼし、こうした生活に欠かせない財やサービスを提供する森林の能力を損なう。大気中二酸化炭素濃度の上昇や温暖化、降水量の変化が森林にプラスに働く可能性もあるが、大半の森林では、重要な生物種が失われ、林産物の収量が低下し、暴風雨などの自然災害の頻発化や激甚化が生じることが予想される(FAO, 2013)。

気候変動による農業への影響を厳密に予測するのはきわめて困難であるが、大半の研究では、影響は継時的に

変化するうえ、地域性の違いがあることが示唆されている。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書の作成に当たって実施された研究レビューによれば、世界全体で見た場合、作物収量に対する影響は、2030年頃までは正負の影響が相殺し合うが、その後は負の影響が大きくなるという (Porter *et al.*, 2014; 第2章も参照のこと)。

影響は、作物の種類や生育地域によっても大きく異なってくる。図1は、温暖化のさまざまなシナリオの下での2050年の穀物収量見込みにおける地域的な違いを示している。このシナリオは、経済成長や人口増加は「中道 (Middle of the road)」、適応は限定的であるとの前提となっており、「CO₂施肥効果」(大気中の二酸化炭素濃度の上昇により植物の生育が促進される効果) は考慮されていない。温暖化により作物の栽培可能期間が延長すると、高緯度地域では収量の減少幅が小さくなるか、作物によっては収量増さえ見られる。逆に、低緯度地域では総じて収量の減少幅が大きくなる。トウモロコシの収量は、大半の地域の大半の気候シナリオ下で減少し、より極端なシナリオになるにつれ、減少幅も大きくなる。コムギの収量に対する影響は全球で見れば軽微であるが、南アジアとサハラ以南アフリカでは顕著になる。

気候変動の原因としての農業

農業は気候変動の影響を受けるだけでなく、気候変動の原因でもある——農業は、三大温室効果ガスである二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の相当量を、直接的、間接的に排出しているからだ。この人為的活動による温室効果ガス排出——IPCCの報告書では「農業・林業・その他土地利用 (AFOLU)」部門由来として分類されている——は、主として森林減少、畜産、土壌・養分管理により生じ、世界の温室効果ガス総排出量の21%を占めると推定される (図2)。1990年代に観測された27%から減ってはいるが、これは他部門の排出量が急激に増加したことによる見かけ上の減少に過ぎない。

1990年代は、農業からの排出量と、森林の純減少 (転換) からの排出量はおおむね同等であった。しかし、2000年頃を境に、森林減少による排出量は減る一方で、農業からの排出量は増加傾向にある。とりわけ、農業と畜産業は、強力な温室効果ガスであるメタンと亜酸化窒素の相当量を排出している。メタンは、反芻家畜の消化管内発酵により発生するほか、貯蔵された家畜糞尿や残置有機物からも発生する。亜酸化窒素は、有機ミネラル窒素肥料の施与により間接的に生成される。

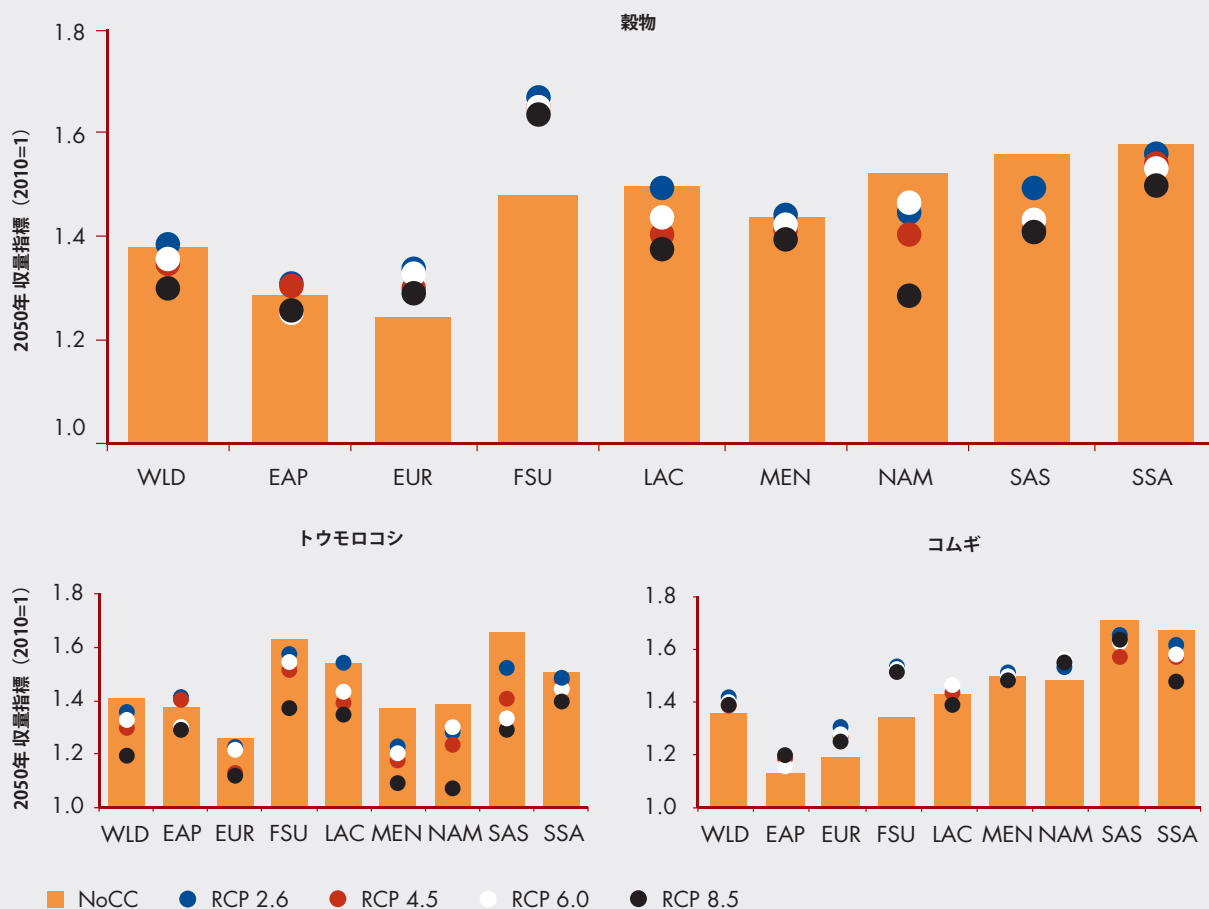
AFOLUカテゴリーに包含されていないのが、現代の食品サプライチェーンの前段階と後段階で排出され、IPCCの報告では他部門 (主として産業部門、発電部門、輸送部門) 由来として分類される温室効果ガスである。これには、合成肥料などの投入財の生産 (有機肥料の生産と異なり、生産工程で多大のエネルギーを消費する) や、化石エネルギーの使用 (例えば農業機械の動力供給) による排出、生産後の輸送、加工、小売段階での排出などがある (Smith *et al.*, 2014)。いずれの段階においても、食料供給プロセスが大気中の温室効果ガスの蓄積につながっている。こうしたアグリフードチェーン (農業食品連鎖) 全域における直接的、間接的なエネルギー使用による排出を勘定に入れると、温室効果ガスの総排出量に占めるAFOLUカテゴリーの割合はさらに3分の1も増えることになる (FAO, 2011)。

食料システムの温室効果ガス総排出量に占める割合は、サプライチェーンの構造の違いにより、国や地域でばらつきがある。国際農業研究協議グループ (CGIAR) の推計によると、高所得国では、農業生産の前後段階における排出量と、農業生産自体からの排出量は同程度になるのに対し、途上国では、依然として農業生産からの排出が圧倒的な割合を占めている (Vermeulen, Campbell and Ingram, 2012)。

»

図 1

2050年における穀物収量への気候変動の影響 (地域別)



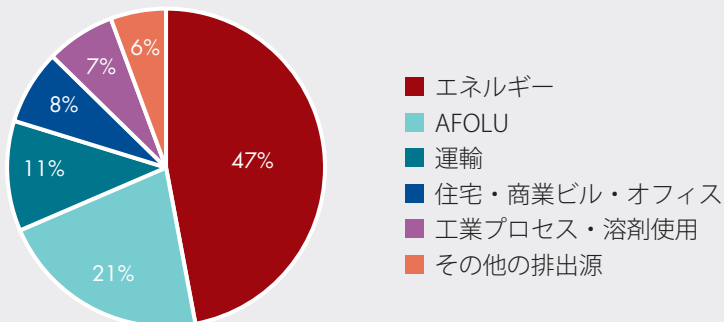
WLD: 世界 **FSU:** 旧ソ連 **NAM:** 北米 **NoCC:** 気候変動なし
EAP: 東アジア・太平洋地域 **LAC:** ラテンアメリカ・カリブ海地域 **SAS:** 南アジア **RCP:** 代表的濃度経路 (RCP) (地球温暖化シナリオ)
EUR: 欧州 **MEN:** 中東・北アフリカ **SSA:** サハラ以南アフリカ

注：穀物の値は、次の農産物の面積加重平均値を指す——オオムギ、トウモロコシ、ミレット、コメ、ソルガム、コムギ、IMPACTモデルにより検討されたその他の穀物。シミュレーションは「共通社会経済的経路 (SSP) の「中道」シナリオを想定している。RCPとSSPの詳細については、第2章のBOX 7を参照のこと。

出典：De Pinto, Thomas and Wiebe (2016) で引用されたIFPRIのIMPACTモデルを用いたシミュレーション。

図 2

経済部門別の温室効果ガス排出割合 (2010年)



注：エネルギー由来の排出には、産業、製造、漏洩排出が含まれる。AFOLUは「農業・林業・その他土地利用」部門の略。「その他の排出源」は、国際バンカー、廃棄物およびその他の排出源を指す。

出典：FAO (近刊)。

» 食料安全保障に及ぼす影響

気候変動は、農業への影響を介して、食料安全保障のあらゆる局面にも弊害を及ぼす (BOX 1)。むろん、食料安全保障は農業以外の経路から影響を受けることもあるが (例えば異常気象は都市部に暮らす人々の所得や食料へのアクセスをも損なう)、農業は気候変動が食料安全保障に影響を及ぼす場合の主経路であるため、本報告書も農業を中心に検討する。

気候変動は、作物収量や魚類資源、家畜の健康や生産性への悪影響を高めており、食料の供給面に影響を及ぼす。とりわけ、現在食料不安を抱える人々の大半が暮らすサハラ以南アフリカや南アジアで、こうした傾向が顕著である。気候変動は、農村住民の所得や生計に打撃を与えることで、食料へのアクセスを妨げる。今後は気候変動により天候が不安定になるだけでなく、気候に起因する自然災害もますます激化、頻発化するとみられる。貧困層——その多くは小規模農家や農業労働者である——は、こうした災害による被害を受けやすい。深刻な干ばつや水害により収入が激減したり、資産が喪失・損壊して、将来の生計手段を失う恐れもある。そのうえ、気候変動が原因で食料供給が減り、需給バランスが崩れれば、食料価格は高騰する。食料の値上がりにより最も大きな打撃を被るのは、農村部と都市部の貧困層である。というのも、貧困層は家計に占める食費の割合が大きいためだ。小規模家族農家にしても、そのほとんどが食料の「買い手」であるため、痛手は大きい (Zezza *et al.*, 2008; World Bank, 2008; Porter *et al.*, 2014)。

食料の利用面の変化は、貧困層や弱者層の栄養面に影響を及ぼす。例えば、気温の上昇は病原体の増殖を助け、渇水は水質や衛生状態を悪化させるため、一部の地域では2030年までに下痢症の負担が1割増加する可能性がある。ここでも、最も深刻な影響を被るのは貧困層、なかでも貧困層の子どもたちだ (WHO, 2003)。気候変動はこのほかにも、養育が疎かになったり、主食作物の栄養価が低下したり、食料汚染のリスクが増大するといったさ

まざまな経路で、人々の栄養面に負の影響をもたらす (BOX 2)。

最後に、気候の変動性や、異常気象の頻発化、激甚化により、食料の供給面、アクセス面、利用面の安定性が損なわれる。これは季節性が変化したり、生態系の生産性が不安定になったり、供給リスクが増大して供給予測が困難になったりするためだ。とりわけ、食料供給の途絶や、自然災害による打撃に脆弱な内陸国や小島嶼国では、特に大きな問題となる。

もともと、気候変動は、貧困や食料安全保障の帰趨を方向づける数ある要因のひとつに過ぎない。これら2つの動向や、これらに対する気候変動の影響の大きさは、主として今後の社会経済的発展に左右される。最近の世界銀行の試算 (Hallegatte *et al.*, 2016) では、経済成長が低迷した場合、気候変動により、2030年には最貧層の人口が1億2,200万人増加する。他方、経済が好調を保てば、最貧人口は1,600万人の増加に留まる。国際食糧政策研究所 (IFPRI) が開発した農産物政策分析のための国際モデル (IMPACT) を用いた同様の試算では、気候変動により、今世紀半ばまでに栄養不足に直面するリスクにある人口は5,000万人ほど増える。ただし、2050年までの気候変動の総体的影響は、人口増加や所得増加といった他の要因ほど大きいものではない (第2章を参照)。■

世界が一体となった行動が急務

気候変動が進行しており、こうした変化が当面ストップしたり逆戻りしそうにないことは、多くのエビデンスが裏づけるとおりである。また、気候変動が農業部門や食料安全保障に少なからぬ打撃を与え、その負の影響が温暖化の加速とともに深刻化していくことにも疑いの余地はない。小島嶼や、大規模な異常気象による災害の被災地といった特に脆弱な地域では、こうした影響は壊滅的となりうる。

重要なのは気候変動のペースと影響の程度である。「最善シナリオ」では、農業部門が、少なくとも中期的に »

BOX 1

食料安全保障の4要素

1996年の世界食料サミットは、「食料安全保障」を以下のように定義づけることで合意し、FAOもこの定義を踏襲している。「食料安全保障は、すべての人が、いかなる時にも、活動的で健康的な生活に必要な食生活上のニーズと嗜好を満たすために、十分に安全かつ栄養ある食料を、物理的にも経済的にも入手可能であるときに達成される」。この定義には、4つの要素を認めることができる。

- ▶ 供給 (Availability) —— 国内生産または (食料援助を含む) 輸入により供給される、適切な品質の食料の十分な量の確保。
- ▶ アクセス (Access) —— 栄養ある食事を摂取するのに適切な食料を獲得するための、十分な資源 (権利) への個人個人のアクセス。
- ▶ 利用 (Utilization) —— すべての物理的な必要が満たされ、栄養的に満足な状態を達成するための、十分な食事、清潔な水、衛生、健康管理を通じた食料の利用。
- ▶ 安定性 (Stability) —— 偶発的なショック (例えば経済的・気候的危機) や循環的事象 (例えば季節的食料不安) に関係なく、十分な量の食料を確保でき、アクセスできる安定性。

出典：FAO, 2006.

BOX 2

気候変動と栄養

気候変動は、食料安全保障、疾病、水の安全性、衛生、生計、養育に打撃を与えることで、人々の栄養状態や食生活にも弊害をもたらす。その結果、人々が気候変動に適応したり、緩和したりする能力も阻害される (IFPRI, 2015)。

気候変動は、干ばつや水害、暴風雨といった異常気象の影響を増幅させ、多くの人々——とりわけ、貧困層や弱者層——を栄養失調のリスクに曝す (Confalonieri *et al.*, 2007)。また、貧しい農村コミュニティにおける栄養失調の大きな原因である季節的な供給不足やアクセス難にも追い打ちをかけ、生計基盤の安定性や家族間の食料分配にも影響を及ぼすことで、特に子どもと女性の栄養状態を悪化させる (Wijesinha-Bettoni *et al.*, 2013)。

複数の研究から、気候変動下では主要な作物の栄養価が低下することがわかっている。Myers *et al.* (2014) の研究

によると、大気中CO₂濃度が2050年に予想されるレベルまで上昇した場合、気候変動がない場合に比べて、コムギの栄養価は、亜鉛が9%、鉄が5%、タンパク質が6%減少し、コメの栄養価は、亜鉛が3%、鉄が5%、タンパク質が8%減少することがわかった。トウモロコシの栄養価も同様に低下し、ダイズについては、タンパク質は変わらないものの、亜鉛と鉄が減少するという。

さらに、食品媒介病原菌の増殖や、食品の汚染や化学変化による毒性物質の発生によって、食の安全が損なわれる恐れがある。例えば、藻類の大量発生は、飲料水や貝類のシアノトキシン汚染を引き起こし (Paerl and Huisman, 2009)、高温多湿化は貯蔵穀物や豆類のマイコトキシン汚染のリスクを増大させる (Paterson and Lim, 2010)。加えて、動植物の疾病パターンの変化は、有害な農薬の濫用につながる恐れがある。

» は、比較的簡易な手段で適応できる程度のペースや規模で気候変動が進行する。生産性の低下はあったとしても比較的軽微かつ緩やかであり、突発的で非線形の影響はほとんど生じない。この場合、世界の食料安全保障への影響はごくわずかで済むであろう。

これとは全く異なる、現実味のあるシナリオは、突発的で非線形の変化が、中期的に広範に発生し、多くの地域で農業が十分に適応できず、生産性が極端に落ち込むというものである。生産性への影響は、地球規模ではないにしろ、地理的にも人口規模的にも非常に広範に及ぶと考えられる。食料安全保障への影響は甚大だ。供給不足は価格上昇につながる一方で、気候の変動性は価格変動をもたらす。また、すでにして収量の変動幅が大きい地域の農村において、世帯収入の安定性に影響を与える(Thornton *et al.*, 2014)。生産性の低下や収入損失は、最も深刻な食料不安を抱え、地理的にも被害を受けやすい地域や人口集団に集中する傾向にある。気候変動に歯止めをかけ、流れを逆転させる手立てを早急に打たなければ、この先、世界の広範な地域で、ついには食料を生産できなくなる可能性もある。

気候変動による農業や食料安全保障への影響に対処するには、直ちに行動を起こす必要がある。不確実性が高いからといって適応や緩和の取り組みを先送りすることは、もはや正当化されない。行動が急がれるのには2つの大きな懸念がある。第1に、温暖化の影響はすでに顕在化しており、今後も時とともにますます大きくなり、ついには取り返しのつかない事態に陥る恐れがある。第2に、気候変動の影響や、こうした影響への対応の効果が現れるまでには、相当のタイムラグがある。今日排出されている温室効果ガスは我々の地球を不可逆的な温暖化へと追いやるものだが、その影響が現われるのは今から数十年後である。気候変動のリスクがこのように長期に及ぶことこそが、国際社会が地球の気候の安定化に向けて一致団結して取り組んでいかなければならない最大の所以である。

深刻な食料不安のリスクを回避するには、社会全体が一体となり、**気候変動の緩和**に向けて断固たる措置をとる必要がある。気候変動が原因で人類がやがて食料を得られなくなるという事態は、決して等閑視できるものではない。もっと近い将来に目を向けても、一部の地域では食料安全保障への深刻な影響が現実となりつつある。農業や林業は、温室効果ガスの排出を削減する大きな可能性を秘めているが、将来の食料安全保障は、かなりの部分が、他の経済部門で達成される排出削減の程度に左右される。消費サイドにも変化が求められる——排出集約型、資源集約型の食品への需要を抑制することは、気候変動の緩和に資するうえ、持続可能な農業への転換も加速させる。

それと同時に、農業部門、そして生計を農業に依存する人々は、気候変動による弊害を最小限に抑えたり、あるいは逆に気候変動がもたらす機会を活用するといった形で、**現在あるいは将来の気候変動に適応**していく必要がある。さらに、気候変動に対するレジリエンスを、生物物理的・経済的・社会的な領域の全域にわたって、世界全体で強化していかなければならない。農業におけるこうした適応は、ある程度までは農林漁業従事者の自発的な対応に委ねられる。しかし、彼らの多く、とりわけ小規模生産者は、実現可能な選択肢に乏しいうえ、適切なソリューションの導入を妨げるさまざまな制約に直面している。したがって、こうした適応策を彼らがもっと容易に取り入れられるような環境を整備することも、きわめて重要である。

適応策は、短期的には、生産単位レベルや農家レベルで実施が可能な取り組みで十分かもしれない。しかし、過去と現在の大気中の温室効果ガスの蓄積によって、すでに「動かせない」将来の変化に対処するには、より長期的な適応策が必要となる。それには、特定の作物や生物種の生産地の大規模な移動——これには商取引や消費パターンの転換も伴うことになるが——といった、より体系的な変化が求められるであろう。

しかしながら、気候変動に「適応」するだけでは不十分である。世界の全人口の長期的な食料安全保障を確保するには、気候変動の「緩和」が不可欠となる。「適応」と「緩和」は根本的に異なるうえ、これらの促進に必要なインセンティブも異なる。「適応」は各自が自分のためにしたいと思うものだが、「緩和」は皆のために全員が協力して行わなければならない。それは、地球全体の公共財であり、社会的責任である——農業部門もこれに貢献しなければならないのは言うまでもない。

気候変動に対し、国際社会が一体となって効果的な地球規模の対応を図ることがいかに喫緊の課題であるか——そしてその便益がいかに大きいのか——は、ほんのわずかな気温の上昇が非常に大きな影響の差につながるという事実によって裏打ちされる。最近のメタ分析によると、一部の亜熱帯地域、とりわけ地中海地域、中央アメリカ、カリブ海地域、南アフリカ、オーストラリアでは、気温が1.5℃から2℃に上がっただけで、利用できる水資源が減少し、無降水期間が長期化するという。熱帯地方では、気温の上昇が1.5℃を超過すると農業生産が大きな打撃を受けるとみられ(表1)、他の要因(窒素やリンの不足や暑熱ストレスなど)がCO₂施肥効果を抑制する場合、打撃はさらに大きくなる。

アフリカや南アジア、東南アジアの熱帯地方では、将来の人口増加を勘案すると、気温が2℃上昇した場合、極暑がもたらす収量へのリスクがきわめて大きくなる。気温上昇を1.5℃以下に抑えることによる重要なメリットとしては、このほかにも、珊瑚礁の深刻な白化リスクを大幅に抑えられたり、海面上昇ペースが30%遅くなることなどが挙げられる(Schleussner *et al.*, 2016)。事実、2015年の国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の組織的専門家協議による最終報告書の主要メッセージは、地球の気温¹上昇を産業革命前のレベルから2℃未満に抑える長期目標は、「厳守を要する“ディフェンスライン”としての上

限值であるが、本来は2℃よりも低い気温目標が望ましい」(UNFCCC, 2015)と述べている。IPCCは2017年に、気温が2℃上昇するシナリオと1.5℃上昇するシナリオでは、将来的な影響がどのように違うのかに関する評価結果を公表する見通しである。

2015年12月に採択されたUNFCCCの「パリ協定」は、地球の平均気温の上昇を、産業革命前と比較して「2℃を大きく下回る」数値に抑え、さらに「1.5℃以下に抑えるための努力を行う」という長期目標を掲げた。「1.5℃」を目指すことにより、気候変動のリスクや影響を大幅に低減できるとの認識に立った目標設定だ。IPCCは、この「2℃未満」目標に整合するシナリオとして、エネルギーシステムと、おそらくは土地利用の大規模な転換により、今世紀半ばまでに人為起源の温室効果ガスの大幅な排出削減を達成することなどを打ち出している。「2℃未満」シナリオでは、2050年の温室効果ガス排出量は2010年比で40~70%の削減となり、2100年の排出量はほぼゼロまたはそれ以下の削減となる(IPCC, 2014)。しかし、農業が、将来の世界の食料安全保障を確保するために近年の排出ペースで成長を続けた場合、「2℃未満」目標の達成はきわめて困難になると予想される(Searchinger *et al.*, 2015; Wollenberg *et al.*, 2016も参照のこと)。

今日なされる決断は、今後15年間、さらにそれ以降、我々がどのような世界に暮らすことになるのかを左右するものとなる。それゆえ、農業部門は、気候変動の緩和に向けた取り組みに最大限貢献しつつ、気候変動の影響に対するレジリエンスを構築することで、これに対応していかななければならない。こうした対応は、各国の開発目標や優先事項とも整合するように策定されなければならない。食料不安の低減に向けた取り組みを妨げるものであってはならない。こうした文脈で言うならば、一般に適応と緩和の取り組みが互いに無関係である他の経済部門とは異なり、農業部門では、食料安全保障、適応、緩和の間に相乗効果を見込める一方で、トレードオフ(妥協点)を見いだす必要もある——という点に留意することも重要だ。■

¹ 「地球の気温」とは、全球の年間平均気温を指す。北極地方は地球平均よりも速いペースで温暖化し、陸地の気温上昇は海洋よりも大きくなるとみられる。また、陸地の大半で極端な高温の発現が頻発化することも懸念される(IPCC, 2014)。

表 1

今世紀を通じた全球および熱帯地域における作物収量への気候影響——地球の平均気温が産業革命以前から1.5℃上昇した場合と2℃上昇した場合

作物	地域	産業革命以前からの気温上昇 (%)	
		1.5℃	2.0
コムギ	全球	2 (-6 ~ +17)	0 (-8 ~ +21)
	熱帯地域	-9 (-25 ~ +12)	-16 (-42 ~ +14)
トウモロコシ	全球	-1 (-26 ~ +8)	-6 (-38 ~ +2)
	熱帯地域	-3 (-16 ~ +2)	-6 (-19 ~ +2)
ダイズ	全球	7 (-3 ~ +28)	1 (-12 ~ +34)
	熱帯地域	6 (-3 ~ +23)	7 (-5 ~ +27)
コメ	全球	7 (-17 ~ +24)	7 (-14 ~ +27)
	熱帯地域	6 (0 ~ +20)	6 (0 ~ +24)

注：括弧内の数字の信頼区間は「可能性が高い (likely)」（66%）。
出典：Schleusner *et al.* (2016)、図15より作成。

BOX 3

各国の「約束草案」における農業の重要性

2015年12月の「パリ協定」に先立ち、参加各国から提出された「約束草案 (INDC)」は、今後数年にわたって、国レベルの気候変動対策の羅針盤となるものだ。多くの「約束草案」のなかで、農業や「土地利用・土地利用変化・林業 (LULUCF)」部門における適応や緩和の取り組みは、重要な位置を占めている。こうした取り組みには、単に削減目標だけでなく、気候変動の原因を取り除いたり、影響に対応するための具体的な戦略も盛り込まれている。

FAOが各国の「約束草案」を分析したところ、2030年までの目標達成を目指すすべての地域の気候変動対策のなかで、農業が中心的な役割を担っていることがわかった。「約束草案」を提出した188カ国のうち9割を超える国々が、緩和や適応の取り組みで考慮される部門として農業

を挙げていた。

さらに、分析によると、農業部門は、適応と緩和の相乗効果や、社会経済と環境の共通便益 (コベネフィット) の機会を最も多く提供することが期待されている部門であることもわかった。全体のおよそ3分の1の国々が、農業において緩和と適応の相乗効果を生み出しうる取り組みを認識しており、場合によっては優先させている。約3割の国々が、社会・経済・環境の共通便益——とりわけ、農村開発と健康、貧困削減と雇用創出、生態系と生物多様性の保全の共通便益に言及している。ジェンダー格差については、農業は女性のエンパワーメントや気候変動に対する脆弱性の低減に向けて、どの部門にも増して多様な機会を提供する部門として強調されている。

出典：FAO, 2016.

» 農業の特別な役割と責任

気候変動に対する農業の対応

農業が気候変動に対し、適応と緩和の両面から効果的で一貫した対応をとることは、他の(すべてではないにしろ)大半の経済部門に比べてはるかに難しい。というのも、農業は、きわめて複雑な生物物理的プロセスや、実に広範に及ぶ農生態学的、社会経済的条件に依存しているためだ。事態をさらに複雑にしているのが、関係主体の多さである——農林漁業従事者は数億人にもものぼるうえ、その多くは、市場や情報、公的サービスへのアクセスに乏しい。こうした多様性、地域性は、個々の現場の実情に応じた、しばしばきわめて地域限定的な解決策を要する。それゆえ、農業部門は「適応」の点で他に後れをとる傾向にあり、システムのもつ惰性的側面がかなり大きいことが予想される。こうした理由からも、早期の行動の必要性は増すばかりだ。

農業が気候変動による影響を受けやすいことについては、これまで必ずしも相応な注意が払われてきたわけではない。気候変動影響の評価では主として世界経済モデルが用いられるが、国内総生産(GDP)に占める農業部門の比重が世界的に低下していることから、農業に対する影響は見過ごされがちであった。しかし今日では、気候変動に対する農業からのアプローチの重要性は広く認知されている。こうした認識は、2015年の「国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)」の準備段階で各国から提出された「約束草案(INDC)」にも鮮明に現れている(BOX 3)。「約束草案」については、第5章で詳述する。

また、気候変動の「緩和」において農業が果たす特別な役割についての認識も高まりつつある。シナリオによると、「2℃未満」目標を達成するには、エネルギー、産業、運輸部門由来の温室効果ガス排出量をゼロにすると同時に、農業や土地利用、土地利用変化による排出を抑えることが不可欠となる。農業部門はまず、排出原単位(経済活動量1単位当たりの排出量)を削減することで、さらに

は、主として森林や土壌中に蓄積された炭素の更なる損失を防ぐことで、気候変動緩和に貢献することができる。また、こうした取り組みは、食料システム全体における食料のロス・廃棄の削減や、消費パターンの転換に向けた取り組みにより補完することも可能だ。加えて、農業部門は、森林植生や土地の回復によって二酸化炭素を捕捉し、バイオマスや土壌中に吸収・固定する炭素吸収源として働く固有の能力も備えている(第4章を参照のこと)。

気候変動対策を立案するに当たって大きな課題となるのは、こうした取り組みが——とりわけ深刻な飢餓や貧困を抱える国々において——食料安全保障や貧困削減の歩みを妨げることのないように配慮することである。この点についてはUNFCCCでも認識されており、前文には「持続的な経済成長の達成及び貧困の撲滅という開発途上国の正当かつ優先的な要請を十分に考慮し、気候変動への対応については、社会及び経済の開発に対する悪影響を回避するため、これらの開発との間で総合的な調整が図られるべきである」と明記されている(UNFCCC, 1992)。同様に、2015年12月に締結された「パリ協定」の前文には、「食糧安全保障及び飢餓の終了という基本的な優先事項並びに気候変動の悪影響に対する食糧生産体系の著しいぜい弱性」を認めると明記されている(UNFCCC, 2015)。

気候変動対応型農業

各国で適用される気候変動対策は、持続可能な農業開発のより広い文脈において捉えられ、これを達成するための各国の優先事項を反映していなければならない。持続可能な食料生産と農業開発に向けたFAOのアプローチは、各国が持続可能性の経済的、社会的、環境的側面にわたって多様な目標を追求すると同時に、こうした目標の間で、あるいは、短期的ニーズと長期的ニーズの間でのトレードオフ(妥協点)を見いだす必要があるとの認識に立ったものだ(BOX 4)。こうしたトレードオフは、その国の自然資源の多寡、社会経済的特性、政治体

制、発展の段階によってさまざまである。同様に、各国の国情により優先事項も異なるため、気候変動対策を策定するに当たっては、こうした個別事情を勘案する必要がある。

具体的には、温暖化が時々刻々と進むなか、食料安全保障の確保に向けて農業を適切に管理するために、FAOは「気候変動対応型農業 (climate-smart agriculture, CSA)」というアプローチを開発し、2010年に開催された「農業、食料安全保障および気候変動に関するハーグ会議 (The Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change)」において提唱した (FAO, 2010)。「気候変動対応型農業」の原則は、本報告書を貫く基本姿勢であるとともに、食料・農業部門に向けた気候変動対策の要である。

「気候変動対応型農業」のアプローチには3つの目的がある。1つは、農業の生産性を持続的に高め、所得増加、食料安全保障の確保、農業開発の平等な向上を支援すること、2つ目は、農場レベルから国家レベルに至るさまざまな階層において、気候ショックに対する適応力やレジリエンスを強化すること、3つ目は、温室効果ガスの排出削減と (可能な場合には) 炭素吸収の増加である。

もっとも、個々の現場の実情はさまざまであることから、「気候変動対応型農業」の基本的なスタンスは、特定の地域において、食料安全保障や適応・緩和に向けた農業集約化戦略の効果を特定・評価することに比重を置いている。このことは、一般に農業の成長が最優先事項である途上国で特に重要となる。多くの場合 (常にそうとは限らないが)、適応や食料安全保障に大きな便益をもたらす方策は、温室効果ガスの排出削減や炭素吸収の増加にも結びつく。とはいえ、こうした相乗効果を狙った方策の実施には、多大なコスト、とりわけ原始資本を要する。そのため、「気候変動対応型農業」プログラムには、地域の利害関係者の能力開発も盛り込み、農業や気候変動対策関連の投資のための財源確保を支援している。必ずしもすべての地域で、適用されたすべての実践が、3つ

の目的すべての効果を生み出すわけではないし、そうあるべき必要もない。しかし、個々の地域や国の優先事項を反映し、地域に受容される解決策に到達するには、これら3つの目的すべてが考慮されなければならない。

「気候変動対応型農業」の分析の出発点は、各国の農業政策や開発計画で、すでに優先事項に位置づけられている技術や実践を検証することである。近時や近い将来の気候変動トレンドに関する情報を踏まえ、現場ごとの気候変動条件下でこうした技術や実践による食料安全保障や適応ポテンシャルを評価し、どのような調整・改善が必要かを判定する。こうした改善例には、作付け時期の調整や高温や干ばつに耐性のある栽培種への変更、新品種の開発、農畜産物のポートフォリオの変更、土壌・水管理の改善 (保全農業を含む)、収穫判断への気候予報の活用、灌漑の利用拡大、地域の農業の多様化、農外収入源への転換などがある (Asfaw *et al.*, 2014; Branca *et al.*, 2011; FAO, 2010; FAO, 2013)。

「気候変動対応型農業」の導入以来、このアプローチの採用に向けた支援が、国レベル、国際レベルで広がっている。30カ国余りの国々が、「約束草案」のなかで「気候変動対応型農業」について具体的に言及しているが、なかでも際立っているのがサハラ以南アフリカの国々である (第5章を参照のこと)。

BOX 4

持続可能な食料と農業の共通ビジョン

持続可能な食料と農業（SFA）に向けたFAOの共有ビジョンは、気候変動の適応策や緩和策の立案にも大いに関連している。SFAのアプローチでは、農法や技術の是非は、持続可能性へのグローバルな転換を導く次の5つの大原則をどれだけ遵守しているかによって評価される。

- ▶ 自然資源の利用の効率化
- ▶ 自然資源の保全、保護、向上
- ▶ 農村部の生計や社会的厚生改善や保護

- ▶ 人々やコミュニティ、生態系のレジリエンスの強化
- ▶ 効果的なガバナンスの促進や改善

これらの原則は、SFAの実現に向け、農業部門やその下位部門の全域にわたって、一貫性のあるアプローチを確保するように策定されたものである。こうしたアプローチは、継続的な発展プロセスの中で、持続可能性の社会的・経済的・環境的側面において、またさまざまな部門や時間、空間において、多様な相乗効果を生み出したリトレードオフを見出すものである。

出典：FAO, 2014.

本報告書の構成

本書『世界食料農業白書2016年報告』では、気候変動と農業、食料安全保障との関係を仔細に検証し、農業部門が「適応」と「緩和」によっていかに効果的に気候変動に対応できるかについて考察する。むろん、気候変動による影響を受けたり、あるいは気候変動に寄与しているのは一次農業生産にとどまらず、生産者から消費者に至る食料サプライチェーン全体であり、ときには、農業生産以外のプロセスの方が影響の程度が大きい場合さえある。しかし、本報告書の主眼はあくまで一次農業生産——すなわち、農林水産業である。本書の残りの章は、以下のような構成となっている。

第2章では、世界のさまざまな地域のさまざまな温暖化シナリオの下での農業部門、食料安全保障、栄養状態に対する、現在および将来に予期される気候変動の影響を、経験的エビデンスに基づき検証する。さらに、現行の農業生産や食料システムが、どのように、そしてどの程度、気候変動に寄与しているかを評価する。

第3章は、小規模家族農業や小規模生産システムにおける気候変動適応に特有の課題について検討する。ここでは、農家や農業システムに依存する人々が、適応戦略や多様化戦略を通じて、より強固なレジリエンスを構築することで、生計の改善を図り、飢餓や貧困の撲滅に寄与するための、実現可能な道筋を提言する。

第4章は、農業部門は どうすれば、食料安全保障と気候安定化の両方に資するような形で気候変動に対応するこ

とができるのかについて考察する。カギとなるのは、農業や食料システムの排出原単位を削減するとともに、適応と緩和による共通便益を最大化することを目指す対策である。主な方策として、炭素・窒素循環のより適切な管理、資源利用の効率化、炭素の豊富な景観の保全、レジリエンスの強化、さらに需要サイドでは、食料ロスの削減や食生活の改善などが挙げられる。

第5章では、政府や農業部門の利害関係者による効果的な気候変動対応を確保するための政策の立て方について考察する。

第6章は、農業における適応策や緩和策を支援するための気候ファイナンス——さらに広く見れば、開発ファイナンス——を活用する方法を呈示する。



第2章

気候と農業、 食料安全保障—— その関係性を紐解く



TEROKHADA
(バングラデシュ)

水田を意図的に冠水させることで稲の生産性を高めると同時に、干ばつや水害、高波に対する農家の脆弱性を低減することができる。

©FAO/M. Zaman



主要メッセージ

1 地球温暖化は2030年頃までは、場所や条件によって、農林水産業の生産性に好影響と悪影響の両方をもたらすことが予想される。

2 しかし、2030年を境に、すべての地域で気候変動の農業生産に対する負の影響が深刻化していく。

3 とりわけ、熱帯の途上地域ではすでに、脆弱な世帯やコミュニティの生計や食料安全保障に影響が出始めている。

4 農業・土地利用・林業部門は相当量の温室効果ガスを排出している。だからこそ、こうした排出を削減することで、気候変動の緩和に大きく貢献することもできる。

気候と農業、 食料安全保障—— その関係性を紐解く

本章では、気候変動と農業、食料安全保障との関連性を詳しく検討する。気候変動が農業部門にもたらす生物物理的影響や、こうした影響がどのように社会経済的影響に結びつき、食料安全保障や栄養面に重大な影響をもたらすかについて考察する。また、農業部門による温室効果ガスの排出や削減が、気候変動にどのように寄与するかについても検証する。これらの考察から読み取れるのは、農業部門にとって、レジリエンスの構築により気候変動に「適応」することと、排出削減により気候変動を「緩和」することの両方が不可欠であるということだ。■

気候から人々への連鎖反応

IPCCの第5次評価報告書は、世界の気候の推移や、将来予測される変化——気温上昇、降水量の変動、異常気象など——、さらには地球温暖化による主な生物物理的影響——海面上昇、海洋酸性化、氷河の後退、生態系の劣化、火災リスクの増大、病害虫の大量発生など——といった、これまでのIPCC報告書の主要な所見を再確認している。第5次報告書は、例えば、将来の降水量の変化に関するより充実した知見を提供したり、気候モデルやデータ収集の精度向上を踏まえて、より精緻な中期予測を提示している。その結果、気候変動による連鎖反応はいまや、自然の物理的因子から、介在するさまざまなシステムを経て人々へと至る一連のエビデンスに即して、その因果関係を明確に特定できるようになった (Kirtman *et al.*, 2014)。

気候変動は、農業活動を営むための諸条件に多大な影響を及ぼす。世界のどの地域でも、動植物や生態系は土地ごとの気候条件に順応してきた。こうした条件が変化すれば、当然、自然生態系も影響を受けるが、どのように影響を受けるのかを正確に予測するのは難しい。いく

つかの研究が、農業生態系に対する気候変動の生物物理的影響を報告しているが (BOX 5)、こうした影響は、収量の減少や変動から、作物の生育適地の移動、農業生物多様性の喪失や、生態系サービスの損失に至るまで、実に多岐にわたる。気候変動が農業にもたらす影響は、すべてではないものの、ほとんどが負の影響となることが予想される。もっとも、一口に農林水産業と言っても、影響の受け方は分野や形態によってさまざまだ。

気候変動はすでに世界の多くの地域の農業部門に何らかの影響を与えており、そのインパクトは今後数年から数十年で増大するとみられている。多くの農業システムで生産性が損なわれたり、一部の動植物種が死滅するといった弊害が広がっていることが、多くのエビデンスにより裏づけられている。こうした変化は、農業生産を直撃し、その影響が経済面、社会面にも波及して、最終的には食料安全保障への打撃となる (図3)。こうした打撃はさまざまな経路で伝搬し、食料安全保障の4要素であるアクセス、供給、利用、安定性のすべてに累を及ぼす。こうした連鎖の各段階における影響の度合いは、ショック自体の大きさに加え、負荷にさらされたシステムや集団の脆弱性にも左右される (FAO, 2016a)。■

農業への影響

気候変動が農業部門にもたらす影響は多岐にわたるうえ、地域差もある (表2)。例えば、気候変動は、気温上昇や降水量の変動をもたらす、季節による天候パターンの予測可能性を低下させ、洪水やサイクロンやハリケーンといった、気候に起因する深刻な自然災害の頻発化や激甚化を招く。一部の地域では、干ばつの長期化や渇水が危惧される。主要な山岳地域——特にアジアの山岳地域——では、

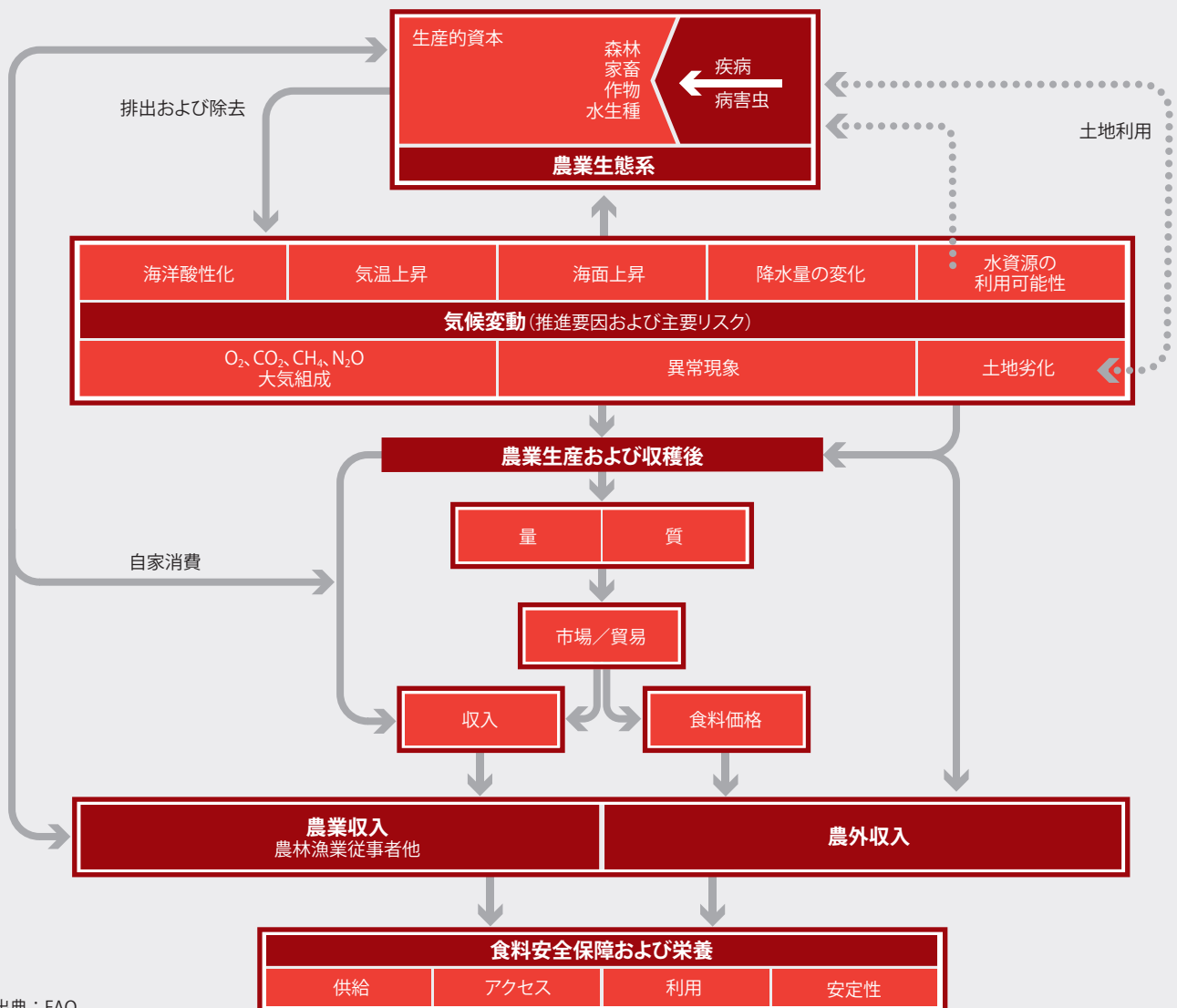
気候変動が農業にもたらす影響

- ▶ 熱波や干ばつ、洪水といった異常現象の頻発化、激甚化により、農業インフラや生計基盤が失われる。
- ▶ 淡水資源の減少により、耕作地で水不足が深刻化する。
- ▶ 海面上昇や沿岸洪水により、土壌や水資源の塩類化が進み、漁業や養殖業へのリスクが増大する。
- ▶ 水や食料の衛生が悪化する。
- ▶ 河川水量の変化により、内水面漁業や養殖業が打撃を受ける。
- ▶ 気温上昇や渇水が、動植物の生理機能や生産性に悪影響を及ぼす。
- ▶ CO₂施肥効果が、作物生産に好影響を及ぼす。
- ▶ オゾン濃度の上昇が、作物収量に悪影響を及ぼす。
- ▶ 植物、家畜、魚類の疾病や病害虫の流行動態が変化する。
- ▶ 林業、畜産業、漁業・養殖業が打撃を受ける。
- ▶ 海洋酸性化により、海洋生物種が死滅する。

出典：Tirado *et al.* (2010) より作成し、Porter *et al.* (2014)、HLPE (2012)、IPCC (2014) に基づき改訂。

図 3

影響経路——気候変動から食料安全保障まで



出典：FAO.

氷河や積雪が広範にわたって融解することで、融解水の流量や流水時期が変化する結果、下流で利用できる灌漑用水が減少する。さらに、気温上昇により、病害虫や疾病の流行動態が変化する。低緯度地域では、ほんのわずかな気温上昇で収量が大幅に減少する。エルニーニョ・南方振動といった異常気象の頻発化や激甚化により、気候パターンが不安定になり、食料生産への影響がますます深刻化する (BOX 6)。

農業

気候変動が主要作物の収量に及ぼす影響は、食料安全保障関連の問題としては、おそらく最も多くの研究が行われている領野であろう。作物収量への気候影響の実測や予測に関する文献には、気候変動が世界の食料供給にもたらす影響を検証したRosenzweig and Parry (1994) によるグローバルアセスメントに始まり、20余年にわたる膨大な研究がある。主な研究としては、このほかにも Parry, Rosenzweig and Livermore (2005)、Cline (2007)、世界銀行 (2010)、Rosenzweig *et al.* (2014) などが挙げられる。もっとも、ほとんどの研究が主要作物に限定されており、その他の多くの作物への影響についてはあまり知られていないのが実情だ。

一部の地域では、過去の気候変動による農作物への影響がすでに顕在化しており (Porter *et al.*, 2014)、大半の地域では、好影響よりも悪影響の方が多く見られる。すでにコムギとトウモロコシの収量が悪化していることを示すエビデンスもある。よく引用される推計によると、1980年から2008年の期間に、世界全体で (気候が安定していた場合に見込まれる収量と比較して) コムギの収量は5.5%、トウモロコシの収量は3.8%減少している (Lobell, Schlenker and Costa-Roberts, 2011)。

気候変動が作物収量に及ぼす将来的な影響は、多くのパラメータに依存するため、正確に予測するのはきわめて困難だ。こうしたパラメータには、気温や降水パターン、CO₂施肥効果といった物理的因子、農生態系の変化

(例えば、花粉媒介動物の死滅や、病害虫や疾病の多発化)、人間の側の適応的な対応などがある。気温変化の影響は一般に、作物の生育適温までは熟知されているものの、適温を超過した場合の影響についてはあまり知られていない。他方、最近の研究成果で、オゾン濃度の上昇による作物収量への悪影響が裏づけられている。それによれば、2000年のダイズ、コムギ、トウモロコシの収量はそれぞれ、8.5~14%、3.9~15%、2.2~5.5%の減収であった (Porter *et al.*, 2014)。作物と病害虫のバランスや花粉媒介動物への影響といった生態系の機能に対する一部の影響は評価が難しく、通例、収量予測に用いるモデルで考慮されることはない。

気候の変化は、一定の限度内であれば、作物に好影響と悪影響の両方をもたらす。事実、地域や作物によっては、気温上昇や大気二酸化炭素濃度の上昇がメリットとなる場合もある。例えば、生育適温下でCO₂濃度が上昇した場合、コムギやダイズの収量が増加することもある。もっとも、予測される変化の方向性は、(将来の収量の具体的な予測値は使用されるシナリオやモデル、対象期間によって変わるものの) いずれの研究でも一貫している。すなわち、熱帯地域の方が高緯度地域よりも収量の減少幅が大きく、温暖化が進むにつれ、影響はより深刻になるというものである (Porter *et al.*, 2014)。

もう1つ留意すべき重要な点として、IPCCの第5次評価報告書は新たなエビデンスを提供している。それは、すでに食料不安を抱える地域で作物収量の激減が見込まれるというものだ。報告書は、今世紀末までの気候変動による収量変化の予測値を示している (図4)。使用されたデータには、Challinor *et al.* (2014) が91件の研究の1,722個の推定値を対象に行ったメタ分析も含まれる。もっとも、研究によって、対象期間や対象作物、使用された作物モデルや気候モデル、排出量などのパラメータにかなりのばらつきがある。適応策の効果を含むものもあれば、含まないものもある。研究の規模や対象地域もさまざまであり、集落レベルの推定値もあれば、各国・地域・世界レベルの推定値もある。

こうした予測手法の異質混交性にもかかわらず、いずれの研究も、長期的な見通しは負の影響が支配的になることを明確に示している。中期的には、すなわち2030年頃までは、全球規模では好影響と悪影響が相殺し合う可能性があるものの、それ以降は、気候変動が加速するにつれ、負の影響が増大する。さらに、今世紀後半におけるトウモロコシ、コムギ、コメの収量に対する気候変動影響は、温帯地方よりも熱帯地方で負の影響となる傾向が高い。とはいえ、温帯地方でも、多くの地域で減収が見込まれる (Porter *et al.*, 2014 and Challinor *et al.*, 2014)。

FAOが本報告書のために同じデータをさらに分析したところ、先進国と途上国で全く異なるパターンが浮き彫りになった。途上国では、収量影響の推定値のほとんどは負の影響であり、年次を追うごとに負の割合も増えた (図5)。対照的に、先進国の推定値は、途上国と比較して好影響の割合がはるかに大きい (図6)²。

農業モデルの相互比較と改良プロジェクト (AgMIP) と気候変動影響予測のためのモデル間相互比較プロジェクト (ISI-MIP) によるモデル比較プロジェクトのフレームワークにおいて実施された最近の統合研究も、気候変動による収量影響の推定値を提供している。いずれも、緩和策をとらないと、気候変動が生じない場合と比較して、収量が長期にわたって甚大な影響を被る可能性を示している³。高位排出シナリオ下での2100年までの収量変化は、トウモロコシで-20~-45%、コムギで-5~-50%、コメで-20~-30%、ダイズで-30~-60%

2 分析されたデータセットでは、途上国の方が先進国よりも多くの推定値が得られている。途上地域のなかで推定値が最も多かったのはサハラ以南アフリカで、次いで、東アジア・太平洋地域、南アジアと続く。ラテンアメリカ・カリブ海地域、北米、西アジアのデータが占める割合は小さい。作物については、大半の推定値がトウモロコシまたはコムギの収量に関するもので、コメ、ダイズがこれに続く。2090~2109年の予測値については、大半の国グループで非常に限られた数しか得られていない——先進国ではわずか5個、途上国でも16個である。途上国の16個の予測値はすべてサハラ以南アフリカに関するものであり、いずれも作物収量の1割以上の減少を示している。しかし、これらはわずか2件の研究に基づいている。

3 AgMIPは、気候、農畜産物、経済を結びつけ、将来の気候変動影響に関する分析を行うフレームワークである。同プロジェクトは、気候感度試験や気候変動シナリオを用いたシミュレーションにより、「農場から地域まで」の広範な分析を提供する。AgMIPのプロトコルは、さまざまなモデル間でシミュレーション結果や予測値に開きが出る理由を理解し、予測に伴う不確実性を低減する助けとなっている。

(Rosenzweig *et al.*, 2013) となる。CO₂施肥効果を想定した場合、収量影響は低減し、トウモロコシで-10~-35%、コムギで+5~-15%、コメで-5~-20%、ダイズで0~-30%となる。窒素の欠乏を明白に考慮した場合、CO₂施肥効果によるメリットは減少し、気候影響の負の効果が増大する (Müller and Elliott, 2015)。

畜産業

気候変動は畜産業にも、直接的・間接的に、さまざまな影響を及ぼす (表2)。なかでも、きわめて重大な影響は、家畜の生産性、家畜衛生や生物多様性、飼料品質や生産量、草地の牧養力に対する影響である。降水量の変動幅が大きくなると、飲用水の不足や、病害虫や疾病の発生増加、その分布域や流行動態の変化を招く。また、草地の品種構成や収量、飼料品質にも影響する。

気温の上昇は家畜に暑熱ストレスを与え、飼料摂取量の低下や生産性の低下、繁殖成績の低下、死亡率の上昇といった悪影響をもたらす。暑熱ストレスはさらに、病原体や寄生虫、バクテリア (病原菌媒介生物) に対する家畜の抵抗力も弱める (Thornton *et al.*, 2009; Niang *et al.*, 2014)。複数のストレス要因が組み合わさると、家畜の生産性や繁殖性、免疫状態に大きな打撃となる。インドで実施された研究によると、羊に複数の気候関連ストレス (極暑や栄養摂取の低下など) が加わると、羊の生物学的適応メカニズムが深刻な影響を受けることがわかった (Sejian *et al.*, 2012)。

集約型の畜産システムでは、適切な畜舎環境やエネルギー源が確保されている場合、気候制御 (climate control) を行うことで気温上昇の影響を軽減することができる (Thornton *et al.*, 2009)。他方で、南部アフリカの粗放型放牧では、乾燥化による渇水の深刻化が懸念される。ボツワナでは、ボアホール (井戸よりも深い地層から採水する方法) による水の汲み上げコストが2050年までに23%も上昇するという。近東地域では、半乾燥放牧地で、飼料品質の低下や、土壌侵食、渇水が深刻化する可

表 2

代表的な気候変動影響 (地域別)



農畜産業

- ▶ 主要作物の収量は今世紀半ばまでは漸減するが、それ以降は急減する。
 - ▶ 気候変動は五大湖地域での果物生産にとって好条件だが、栽培晩期の暑熱ストレスは米国のダイズ収量に悪影響を及ぼす。
 - ▶ 灌漑水の需要が高まる一方で、降水量の減少により、水不足が深刻化。
 - ▶ 暑熱ストレスや飼料品質の低下により、牛の泌乳量や体重増加が減少。
- ▶ 温帯地域では、ダイズ、コムギ、草地の生産性が増大。
 - ▶ 熱帯・亜熱帯地域では、土壌の乾燥化や暑熱ストレスにより生産性が低下する。
 - ▶ チリとブラジルの乾燥地帯で、土壌塩類化や森林破壊が増加する。
 - ▶ 半乾燥地帯の天水農業で収量減が深刻化する。
- ▶ 温帯地域や北極圏は温暖化により好影響を受ける。
 - ▶ 中緯度地域には、初期は好影響をもたらすものの、気温上昇が進むにつれ、負の影響が大きくなる。
 - ▶ 南欧や中欧で、気候に起因するコムギの収量変動が増幅。
 - ▶ 高温多湿により、家畜の死亡リスクが増大。

漁業・養殖業

- ▶ 多くの暖水種や冷水種が高緯度地域に移動。
 - ▶ 北極圏の淡水温度の記録的な上昇により、負の影響が増大。
 - ▶ 水温上昇や水質低下により、北大西洋クジラや熱帯珊瑚礁の疾病リスクが増大。
- ▶ 太平洋の熱帯海域で一次生産が低下し、一部の海洋生物種が南下する。
 - ▶ 暴風雨、ハリケーン、サイクロンの頻発化により、カリブ海地域の養殖業や漁業が打撃を受ける。
 - ▶ 淡水魚種の生態変化や、珊瑚礁の白化が進む。
- ▶ 温暖化により、一部の魚種が北方または深場に移動する。
 - ▶ 熱帯外来種により、南欧の半閉鎖海の沿岸生態系が変化する。
 - ▶ 海面上昇、酸性化、水温上昇により、養殖業が打撃を受ける。

林業

- ▶ 暖春により、松林の虫害が増加。
 - ▶ 暑夏により、森林火災リスクが3割上昇。
 - ▶ 暖冬は、森林の枯死の原因となるキクイムシの越冬に好条件となる。
- ▶ 熱帯林は、気温の変化よりも、水利用の変化やCO₂施肥効果の影響が大きい。
 - ▶ アマゾンでは、森林火災の頻発化、森林減少、「サバンナ化」が進む。
 - ▶ 中央アメリカでは、マングローブ樹種の4割が絶滅の危機に瀕する。
- ▶ 北欧と西欧では、気温上昇や大気中CO₂濃度の上昇により、森林の成長や木材生産が促進される。
 - ▶ 南欧では、森林植生の灌木林への置換が進む。
 - ▶ 野火の頻発化により、温室効果ガスの排出量が大幅に増加する。

出典：IPCC (2007, 2014) およびFAO (2011, 2016c) を基に編集。



- ▶ 穀物、特にトウモロコシの収量への影響は、地域全体で総じて負の影響となる。
- ▶ 極端な少雨／多雨の年が増加する。
- ▶ 南部アフリカは広範囲で乾燥化が進むが、東西アフリカでは降水量が増加する。
- ▶ サヘルの草地劣化や干ばつにより、飼料の生産性が低下する。

- ▶ 気温上昇は、北アフリカのコムギの生産と、地域全体のトウモロコシの収量の悪化を招く恐れがある。
- ▶ 水の供給は全般的に減少しているが、スーダンとエジプト南部では微増。
- ▶ 中緯度地域では、気温上昇により草地が繁茂し、畜産物生産が増加。
- ▶ 暖冬は家畜にとってメリットとなるが、夏場の暑熱ストレスは悪影響をもたらす。

- ▶ 南アジア、東アジア、東南アジアでの淡水供給量の減少に伴い、農業地帯が北方に移動する。
- ▶ 重要な生育段階で気温が上昇すると、大陸の広域でコメの収量が減少する。
- ▶ 乾燥・半乾燥地域で灌漑用水の需要が大幅に増加。
- ▶ 暑熱ストレスにより、家畜の繁殖成績が低下。

- ▶ ニュージーランドでは、2030年代までにコムギの収量が微増するが、畜産物生産は低下する。
- ▶ オーストラリアでは、土壌劣化、渇水、雑草繁茂により、草地生産性が低下。
- ▶ 太平洋諸島では、干ばつが長期化する一方で、豪雨が増加する。
- ▶ 気温上昇により、サトウキビの水需要が増加。

- ▶ 海面上昇により、特に西アフリカの沿岸地帯で侵食などのリスクが増大。
- ▶ 西アフリカでは、漁業不振により、2050年には水産部門の雇用が半減。
- ▶ 東アフリカの漁業・養殖業は、温暖化、海洋酸素欠乏、海洋酸性化、病原菌発生により打撃を受ける。
- ▶ 沿岸やデルタの環境変化（珊瑚礁の死滅など）により、生産性が低下。

- ▶ 多くの地中海・中東盆地の水不足がさらに悪化。
- ▶ 温暖化によりアラビア海での生産性が高まる。
- ▶ 地中海や紅海の一部海域で、潜在漁獲高が半減する。

- ▶ 沿岸洪水が、大規模河川デルタでの漁業や養殖業に深刻な打撃を与える。
- ▶ 沿岸漁業の漁獲高が全般的に減少し、異常気象のリスクが増大。
- ▶ 漁場が変化し、熱帯海域の漁場の減少。
- ▶ 淡水養殖業が深刻な渇水リスクにさらされる。
- ▶ 2050年には海洋魚種の体重が24%減少する。

- ▶ 水温や水流の変化により、一部の遠海の生物種が増加し、一部が減少する。
- ▶ 水温や化学的性質の変化により、漁業や養殖業が大きな打撃を受ける。
- ▶ 養分の低下により、オーストラリアの東海岸でオキアミの個体群が減少。
- ▶ 最も脆弱で漁業への依存度が最も高い小島嶼国が、最も大きな被害を受ける。

- ▶ 森林減少、森林劣化、森林火災が、森林全般に悪影響を及ぼす。
- ▶ 森林破壊により野生動物が減少し、野生生物の肉などの非木材生産も減少する。
- ▶ 渇水は、森林の成長に対し、気温上昇よりも深刻な悪影響をもたらす。

- ▶ 土壌水分の減少により、大半の森林植生の生産性が低下して森林火災のリスクが増大し、病害虫や疾病の発生パターンが変化する。
- ▶ 近東地域では、夏季の降水量の減少により、深刻な水不足が生じ、森林の成長を阻害する。

- ▶ 北方針葉樹林やチベット高原の高山植生が北上。
- ▶ 気候変動と生息地の分断化が相まって、多くの森林生物種が絶滅の危機に瀕する。
- ▶ 全般的に森林火災が頻発化、大規模化し、外来種の侵入や、病害虫・疾病のリスクが増大。

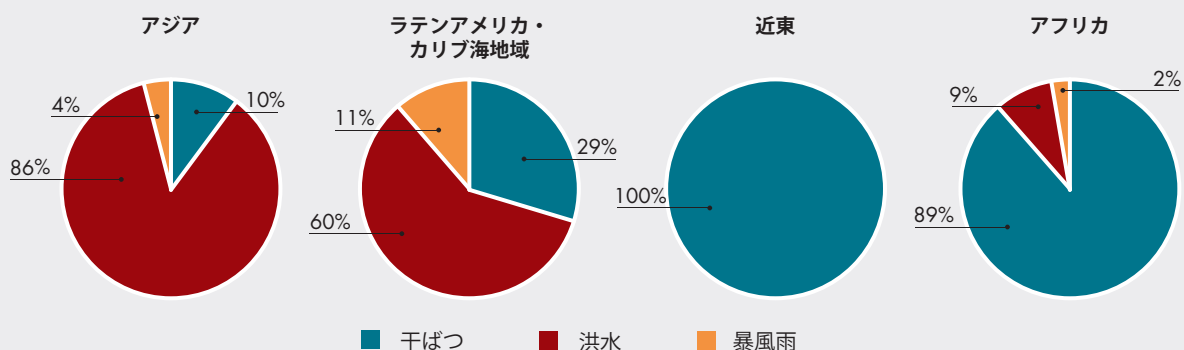
- ▶ CO₂施肥効果による生産性の増大が、気温上昇や降水量の減少による悪影響で相殺される。
- ▶ 太平洋地域では、異常気象により、マングローブ林が被害を受ける。

異常気象の影響

エルニーニョ・南方振動は、太平洋の熱帯海域で海面の水温が異常上昇する現象だ。2~7年に1度の割合で発生し、半年から1年ほどにわたって続く。エルニーニョ現象は、世界各地に多雨や熱帯サイクロン、干ばつ、森林火災、洪水といった異常気象を引き起こす。現在発生中のエルニーニョ現象は、過去100年間で最大規模とされ、世界各地で農業や農家の収入に大きな打撃を

与え、世界の6億人の食料安全保障や栄養状態を脅かしている (FAO, 2016b)。異常気象は農業に深刻な影響を及ぼす。FAOの調査によると、途上国では2003年から2013年にかけて、気候関連災害による経済的影響のおよそ25%が農業への影響であった。干ばつのみに限ると、その割合は84%にもものぼる (FAO, 2015)。影響の種類は地域によって大きく異なる (図を参照)。

2003-2013年における中・大規模の気候関連災害による農畜産物の生産損失 (災害別)

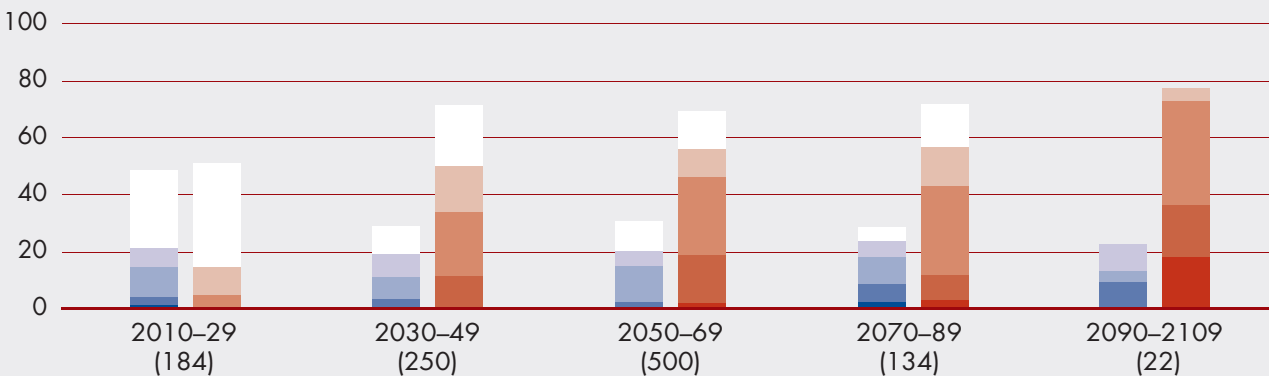


出典: FAO, 2015.

図 4

気候変動による作物収量の将来変化 (全球)

収量予測値 (%) (N = 1,090)



作物収量の変化の程度:

正の影響: 0-5% (白), 5-10% (淡紫), 10-25% (淡青), 25-50% (青), 50-100% (濃青)
 負の影響: 0-5% (淡白), 5-10% (淡赤), 10-25% (赤), 25-50% (濃赤), 50-100% (黒)

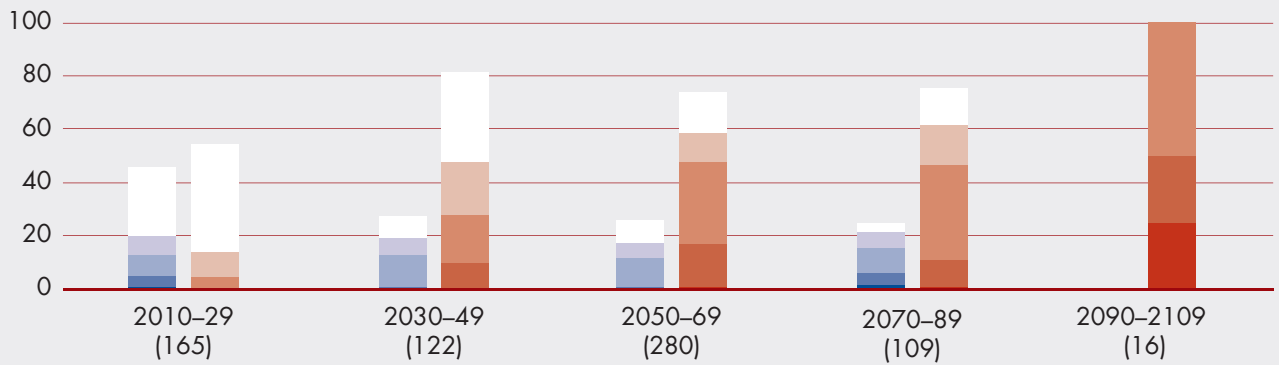
注: 括弧内は推定値の数。

出典: データは、Porter *et al.* (2014) と Challinor *et al.* (2014) で使用されたデータと同じ。詳細については、付属統計資料の表A.1を参照のこと。データの最新版はCGIAR, CCAFS, and University of Leeds (2016) で入手できる。

図 5

気候変動による作物収量の将来変化（開発途上地域）

収量予測値 (%) (N = 692)



作物収量の変化の程度：

正の影響 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%
 負の影響 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%

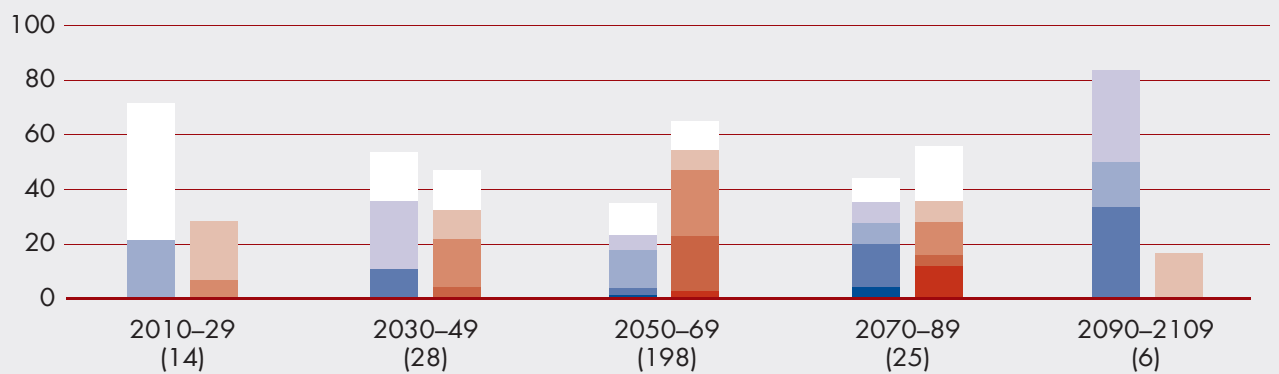
注：括弧内は推定値の数。「開発途上地域」とは、アフリカ、ラテンアメリカ、オセアニア、アジア(中央アジアを除く)における途上地域を指し、これらの観測地点からのすべての観測結果が含まれる。詳しくは、付属統計資料の表A1を参照。

出典：図4を参照。

図 6

気候変動による作物収量の将来変化（先進地域）

収量予測値 (%) (N = 271)



作物収量の変化の程度：

正の影響 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%
 負の影響 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%

注：括弧内は推定値の数。「先進地域」とは、欧州、北米、オーストラレーシアなどの先進地域を指し、これらの観測地点からのすべての観測結果が含まれる。詳しくは、付属統計資料の表A1を参照。

出典：図4を参照。

» 23ページから続く

能性がきわめて高い (Turrall, Burke and Faurès, 2011)。

家畜衛生に対する気候変動の影響についても報告されているが、なかでも、ベクター媒介性疾病の発生拡大が懸念される。というのも、気温上昇は、ベクターや病原体の越冬に好適であるためだ。温暖化により欧州では、秋・冬場にヒツジシラミバエの活動が活発化し、これが媒介する疾病のリスクが増大する傾向にある (Gray *et al.*, 2009)。また、東アフリカにおけるリフトバレー熱の大発生は、エルニーニョ・南方振動による多雨や洪水が原因とされている (Lancelot, de La Rocque and Chevalier, 2008; Rosenthal, 2009; Porter *et al.*, 2014)。

漁業・養殖業

気候の変化や変動性、異常気象は、海洋・淡水漁業の持続性にとって、更なる脅威となる (表2)。開発の立ち遅れた、経済的に貧しい熱帯地域の小規模漁業は特に、気候変動による影響に脆弱である (Porter *et al.*, 2014)。漁業・養殖業は、水温上昇や海洋酸素欠乏、海面水位の上昇、海洋酸性化、生産性パターンの変化といった影響から打撃を受けやすい。

すでに、さまざまな海洋生物種の生息域が極方向に移動している。海洋環境条件や、生息域タイプ、植物プランクトンの一次生産力の将来変化に基づく海況予測モデルによると、地球規模で漁場分布域の大規模な変動が予想され、漁獲量は高緯度水域で平均3~7割増加するのに対し、熱帯水域で4割低下するという (Cheung *et al.*, 2010)。他方、内水面漁業や養殖業の生産も、降水量や水管理の変化、淡水資源への負荷増大、異常気象の頻発化や激甚化の脅威にさらされている (Brander, 2007; Porter *et al.*, 2014)。

海洋生物の4分の1が生息する珊瑚礁生態系も、海水温上昇と海洋酸性化という二重の負荷により、リスクが増大している。キリバスのフェニックス諸島周縁では、2002年から翌年にかけて、海面水温の急激な変動によ

り、珊瑚礁の大量白化や死滅が発生し、珊瑚被度がおよそ6割も減少した (Alling *et al.*, 2007; Obura and Mangubhai, 2011)。また、2015年10月には、米国海洋大気庁が、1998年と2010年に次ぐ3度目の地球規模の珊瑚白化事象の発生を報告している。こうした地球規模のショックは、気候変動にエルニーニョ現象などの異常気象が重なってもたらされ、特定地域だけでなく、世界中の珊瑚礁にとって最大の脅威となっている (NOAA, 2015)。

林業

気候の変化や変動性は、重要な林産物や環境サービスの供給源としての森林の機能を阻害する (表2)。こうした機能には、良質で安定した水源の供給、土砂崩壊・土壌侵食・土地劣化の防備、水生・陸生生物の生息地の提供や保全向上、自家消費や販売用の木材・非木材生産物の供給、さらには雇用創出などがある。

最近の研究によると、気温上昇や降水量の変化が原因で、森林生態系の広域にわたり暑熱ストレスや干ばつストレス、病害虫発生が深刻化し、樹木の枯死が増加する傾向にあるという (Allen *et al.*, 2010)。北方針葉樹林帯の多くでは、バイオマスの生産性が低下しているが、これも温暖化による干ばつが原因とされる (Williams *et al.*, 2013)。さらに、温暖化や乾燥化に、森林生産性の低下や虫害による樹木の枯死が相まって、森林火災も発生しやすくなっている (Settele *et al.*, 2014)。

温帯林については、最近までは全体として、温暖化による生育可能期間の延長や、大気CO₂濃度や窒素沈着の増加、森林管理の向上といった要因が重なり、成長速度が増大する傾向が見られている (Ciais *et al.*, 2008)。複数の植生帯移動モデルの予測によると、ほとんどの温帯樹種の分布適域は、自然の移動よりも速いペースで、高緯度・高標高に移動するとみられる。

熱帯林については、光合成や蒸発散への直接的なCO₂施肥効果が大きな不確定因子となっている。しかし、湿

潤熱帯林には、干ばつや火災に脆弱な生物種が多数生息するうえ、アマゾンをはじめとする多くの熱帯林では、土地利用変化と干ばつの複合作用により、火災が頻発化、深刻化しているというエビデンスもある。気候変動、森林減少、生態系の分断化、森林火災、その他さまざまな人為起源の負荷により、いまやほぼすべての乾燥熱帯林が、植生の置換や劣化の危機に瀕している (Miles *et al.*, 2006)。東南アジアでは、エルニーニョ現象に起因する干ばつにより、森林火災の経年変動が激化しており、健康リスクの増大や、生物多様性や生態系サービスの損失が懸念されている (Marlier *et al.*, 2013)。■

所得や生計への影響

気候変動が農業部門の生産高や生産性に及ぼす影響は、おおむね負の効果となって経済や社会に波及し、食料安全保障の4要素すべてに影響を及ぼす。気候変動は、個別世帯と国の両レベルで、収入を減少させる恐れがある。食料不安を抱える数億人もの農村の貧困層は、生計をもっぱら農業に依存しているため、農業収入への打撃——特に農業への依存度が高い低所得国では、経済全体がこうした影響の煽りを受ける——は重大な問題だ。気候変動はこのように貧困を悪化させることでも、食料安全保障に深刻な負の波及効果をもたらすのである。

気候変動の将来的な推移やその正確な影響、それに対する応答には、大きな不確実性が伴う。気候変動が環境や社会にどのような影響をもたらすかは、大気組成の変化に対する地球システムの応答だけでなく、こうした変化の推進要因、さらには、技術や経済、生活様式の変化といった人間の側の応答にも左右される。

気候変動が農業に及ぼす影響を評価するには、気候モデル、作物モデル、経済モデルを総合的に用いて、気候条件の変化に対する農業部門の対応——営農管理に関するさまざまな判断や、土地利用に関する選択、国際貿易や市場価格、さらには消費者の反応——を考慮する必要がある。こうした理由から、世界の気候研究コミュニ

ティは、過去20年間にわたり、気候変動の主要な推進要因の多くを取り入れ、現実味のある将来経路を記述する一連の排出シナリオの開発を進めてきた。こうしたシナリオは、気候変動政策の策定過程に知見を提供する重要な役割を担う。

これまでに、こうしたさまざまなシナリオを用いて、農業生態系、農業部門、社会経済的動向、さらには食料安全保障への影響が分析されてきた。IPCCの第5次評価報告書では、将来の気候変動とその影響のより精緻かつ一貫した分析を確保するため、代表的濃度経路(RCP)と呼ばれる一組のシナリオが用いられている。これは、将来の温室効果ガスの安定化濃度に基づき、そこに至るための代表的な排出経路を想定したものである。これに加え、IPCCは別途、RCPを補完するシナリオとして、さまざまな社会経済的発展シナリオを想定し、気候変動と社会経済因子のフィードバックを分析する共通社会経済的経路(SSP)の開発も進めた (BOX 7)。

Nelson *et al.* (2014a) は、「RCP 8.5」シナリオ(温室効果ガス排出量が今世紀を通して増大することを想定した高位シナリオ)の下で、9種類の気候、作物、経済モデル(CO₂施肥効果は考慮しない)の予測結果を相互比較するための共通プロトコルを構築した。著者らは、気候変動の外力ショックが、粗粒穀物、油糧種子、コムギ、コメの4種の主要作物(これらは世界の作物収穫面積の7割を占める)の収量の総和に及ぼす影響を比較している。気候変動ショックが収量にもたらす生物物理的影響は、平均で17%の収量減少である。経済モデルは、この生物物理的影響に対する経済的応答の変数を出力する。生産者は、気候ショックに伴う価格高騰に対し、営農管理手法の強化——これにより、最終的な平均収量変化は11%減に抑えられる——と、作付面積を平均11%拡大することで応答するというものだ。

収量減少に対して作付面積を拡大することで、収量変化は平均で2%減に留まる。消費はやや減少し、平均3%減となる。地域貿易におけるシェアの変化は地域間で相殺

されるが、世界貿易におけるシェアは平均1%増となる。平均生産者価格は20%上昇する。こうした応答の方向性はすべてのモデルで共通しているが、応答の程度はモデルや作物、地域によって大幅なばらつきがある。消費の減少幅は比較的小さいものの、世界需要の非弾力性により価格が騰勢を強めれば、貧困層の食料支出を大幅に増加させかねず、家計にとって大きな痛手となる。

また、最悪のシナリオとより楽観的なシナリオを、気候変動が生じない場合のシナリオと比較した世界銀行による研究では、世界の貧困層の大多数の生計を支える農業の重要な役割や、気候変動に対する貧困層の生計の脆弱性が裏づけられた(Hallegatte *et al.*, 2015)。高位の気候変動影響に、人口の急増と経済の停滞という悪条件を組み合わせたシナリオでは、2030年までに最貧層が1億2,200万人増加する(表3)。他方、気候変動影響は同程度でも、誰もが基礎的サービスにアクセスでき、格差が縮小し、最貧層が世界人口の3%未満である場合、最貧層の増加は1,600万人まで減らすことができる(Rozenberg and Hallegatte, 2015)。前者の「最悪シナリオ」では、最貧層の増加は、アフリカ(4,300万人)と南アジア(6,200万人)で最も大きい。貧困増加の最大の原因は、農業部門の収入減少である。これは、世界の貧困層の大半が暮らすアフリカとインドで食料生産が最も減少し、食料価格が最も上昇するためだ。貧困増加の第2の原因は健康への影響、次いで、気温上昇による労働生産性の低下である。

サハラ以南アフリカの小規模農業システムによる気候変動への適応を検証した最近のFAOの研究は、降雨不足や雨季の遅れ、高温といった事象によって、農場レベルの収入がいかに打撃を被るかを示している⁴。いずれの事例でも、気候ショックは、生産性や収穫量を大幅に低下させ、結果的に、食料へのアクセスを悪化させていた。気候ショックは、例えば、家畜が死亡するなどして資産が喪失・損壊したり、収入への痛手を和らげるのに家畜

などの生産的資本の売却を余儀なくさせることで、物的資本に損害を与える。さらに、気候ショックは、農家の投資能力を損なうことでも、将来の食料安全保障に影響を及ぼす。

Bárcena *et al.* (2014) は、南米地域の農業収入への気候変動影響を予測した一連の研究の結果を概観している。使用されたモデルやシナリオにかなりのばらつきがあるものの、幅広い地域でおおむね負の影響が予測されていた。表4に、南米の一部の国々と、南米地域全体の結果を示す。

国レベルでも、気候変動による生産低下は、食料や飼料の価格高騰を招き、国民の社会経済事情や食料安全保障に悪影響をもたらす恐れがある。こうした影響は、家計の大部分を食費が占めている国々で特に甚大となる。また、GDPや雇用に占める農業の比重が大きい国では、こうした影響がマクロ経済にも大きく響く恐れがある。

Lam *et al.* (2012) は、2050年までに、気候変動による漁場の変化が西アフリカ地域の14ヵ国にもたらす経済的、社会的影響をモデル化した。著者らは、IPCCの「排出シナリオに関する特別報告書(SRES)」のA1Bシナリオを用いて、漁獲高は2000年比で21%の減少、年間損失額は3億1,100万USドルにのぼり、漁業関連雇用はほぼ半減すると予測し、なかでも最も深刻な影響を受ける国として、コートジボワール、ガーナ、リベリア、ナイジェリア、シエラレオネ、トーゴを挙げている。

気候変動が食料価格に与える影響に関する予測は、軒並み価格上昇を示している。もっとも、価格上昇の程度や地域は、使用されるモデルや気候シナリオによってかなりばらつきがある。気候変動シナリオに人口増加と所得増加のシナリオを組み合わせたある研究では、15通りの異なる組み合わせの下での影響見込みを検討した。4通りの気候変動シナリオの平均結果に、低位の人口増加と高位の所得増加という楽観的シナリオを組み合わせた場合でも、2050年までの平均価格上昇率は、トウモロコ

4 エチオピアについては、Asfaw, Coromaldi and Lipper (2015a,b)、ニジェールについては、Asfaw, DiBattista and Lipper (2015)、マラウイについては、Asfaw, Maggio and Lipper (2015)、タンザニアについては、Arslan, Belotti and Lipper (2016)、ザンビアについては、Arslan *et al.* (2015) を参照のこと。

気候変動を予測する——RCPとSSP

「代表的濃度経路 (RCP)」は、今世紀に温室効果ガスをどのような濃度に安定させるかに基づき、4通りの経路を想定したものだ (Moss *et al.*, 2008)。第5次評価報告書での気候変動予測に用いるシナリオとして、IPCCにより採用された。RCPは、将来の温室効果ガス排出量程度を、低位から高位まで、4段階で表している*。

RCP 2.6——2010年から2020年の間に排出のピークを迎え、その後大幅に減少する。

RCP 4.5——2040年頃に排出のピークを迎え、その後減少する。

RCP 6.0——2080年頃に排出のピークを迎え、その後減少する。

RCP 8.5——今世紀を通して排出量が增大する。

「RCP 2.6」は、気温上昇を産業革命以前のレベルから2℃未満に抑える目標に即したものだ。追加的な緩和策をとらないシナリオは、「RCP 6.0」から「RCP 8.5」の経路となる。

「共通社会経済的経路 (SSP)」は、今世紀に社会や生態系がたどる進路を描いた5通りのシナリオである。SSPはRCPとセットで用いられ、気候変動と、人口増加、経済発展、技術の進歩といった社会経済因子とのフィードバックを分析する。各シナリオは、さまざまな将来像の筋書きに基づき、それぞれが適応と緩和における異なる課題を提示している (O'Neill *et al.*, 2014; Vander Mensbrugge, 2015)。

SSP1：持続可能性——持続可能な発展が急ペースで進み、格差は縮小する。低炭素エネルギーや生産性の高い土地利用といった、環境にやさしい技術が急速に進歩する。

SSP2：従来通り (中道)——人口は2070年にピークを迎え、GDPの伸びは緩やかであり、社会的格差は徐々に縮小していく。サハラ以南アフリカと南アジアの世界のGDPに占める比重が大幅に高まる。

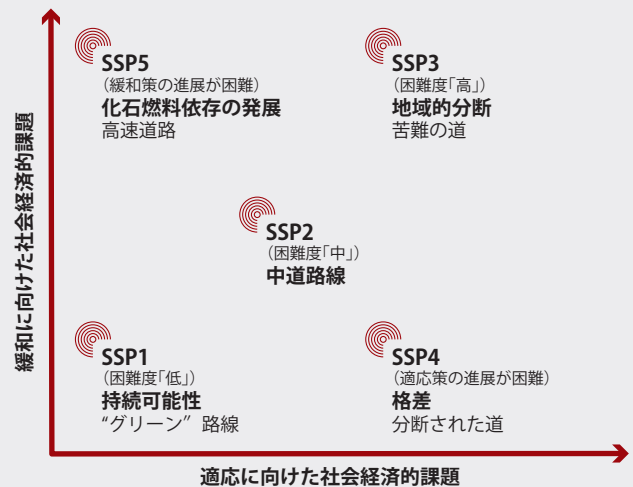
SSP3：地域的分断——人口は急増するが、経済成長は緩やかで、エネルギー技術の進歩は停滞する。格差の拡大により国際貿易が後退し、多くの地域が脆弱で適応能力に乏しいまま取り残される。

SSP4：格差——主要な温室効果ガス排出地域では低炭素エネ

ルギー技術が急速に発展して、比較的大規模な緩和能力をもたらすが、他の地域では発展が立ち遅れ、格差が拡大し、適応能力は限られたものとなる。

SSP5：化石燃料依存による発展——GDPは高成長を続けるが、従来型のエネルギー技術に依存するため、排出量は増大する。しかし、経済成長の格差は比較的小さく、気候影響への適応は容易になる。

5つの「共通社会経済的経路」



注：SSP = 共通社会経済的経路

出典：O'Neill *et al.* (2015)

* RCPの各シナリオの呼称は、産業革命前と比較した2100年の放射強制力のレベル(+2.6、+4.5、+6.0、+8.5 W/m²) からとられている。放射強制力とは、地球に吸収される太陽放射と、地球から射出される熱放射との収支の差を指す。

» シで2010年比87%、コメで31%、コムギで44%となった(Nelson *et al.*, 2010)。気候変動下では、こうした価格高騰に加え、価格の変動も懸念される(Porter *et al.*, 2014)。もっとも、変動の程度は国内政策による影響が大きく、例えば、輸出禁止などの貿易規制措置は、国際市場価格の一層の不安定化を招く恐れがある。

国際貿易の拡大は、気候変動による農業・食料生産パターンの変化に適応するのに重要な役割を果たすことが期待される(Nelson *et al.*, 2010; Chomo and DeYoung, 2015)。貿易の適応的役割については、Valenzuela and Anderson (2011) が取り上げているが、それによると、気候変動は途上国の食料自給率の大幅な低下を引き起こす恐れがあり、2050年までにはおよそ12%もの低下が見込まれる。貿易は気候変動や世界的な食料生産パターンの変化に適応するための一助にはなるが、結局のところ、国際市場にアクセスできるのは、十分な購買力を有する国や所得層のみである。こうした意味でも、包摂的な経済成長は、安定的な食料安全保障にとって必須条件となる。

気候変動はさらに、投資パターンにも変化をもたらし、世帯レベル、国レベルで農業システムの長期的な生産性やレジリエンスを低下させる恐れがある。こうした将来の不確実性は、農業生産への投資に対し消極的にさせる。高リターン作物の生産に投資したところで、生産者への利益を相殺するような事態が起こらないとも限らないためだ。これは特に、信用制度や保険制度へのアクセスに乏しい貧困層の小規模農家について言える。適切に機能する保険市場が不在である場合、リスクへの曝露が大きいほど、低リスク／低リターンの自家用作物の比重が高まるうえ、肥料などの投入財の購入や新たな技術の導入に消極的になり、投資レベルは低下する(Antle and Crissman, 1990; Derconand Christiaensen, 2011; Fafchamps, 1992; Feder, Just and Zilberman, 1985; Heltberg and Tarp, 2002; Kassie *et al.*, 2008; Roe and Graham-Tomasi, 1986; Sadoulet and de Janvry, 1995; Skees, Hazell and Miranda, 1999)。こうした応答は総じ

て、現在そして将来の農業収益性の低下に結びつく(Hurley, 2010; Rosenzweig and Binswanger, 1993)。■

さらに数百万人が飢餓の瀬戸際に

気候変動は、将来の食料安全保障に対する具体的、現実的な脅威となるが、その影響は、地域や国、個々の現場によって異なるうえ、影響を受ける人口集団も、その脆弱性の程度によってさまざまである。食料安全保障の将来的な動向は、社会経済条件全般にも左右されるが、それはまた、世界中の国々や人々の脆弱性にも大きな影響を及ぼす。

IPCCの第4次評価報告書は、気候変動シナリオや社会経済発展の進路次第で、2080年までに、さらに3,400万人から6億人が飢餓に瀕すると試算している(Yohe *et al.*, 2007; Parry, Rosenzweig and Livermore, 2005)。Arnell *et al.* (2002) は、気候変動が生じないと仮定した場合、世界で飢餓リスクに曝される人口は、2050年代に3億1,200万人、2080年代には3億人になると見積もっている。これに対し、緩和策を行わずに気候変動を放置した場合、飢餓リスク人口は、2050年代には3億2,100万人、2080年代には3億9,100万人に膨らむとみられる。途上国のなかでも、特に南アジアとアフリカで飢餓が増えるリスクが最も大きい。リスク人口の推定値に大きな開きがあるのは、予測手順の一部(生物物理的因子と社会経済的因子の両方)が不確実性をはらんでいることを物語っている。とはいえ、これらの数字自体は、影響の大きさが決して軽視しえないものであることを示唆している。

気候変動による食料安全保障への将来的な影響を分析する際には、食料や農業が、人口増加や所得増加といった他の変化推進要因からも影響を受ける点に留意することが重要だ。このことは、15通りのシナリオ——3通りの経済発展シナリオと5通りの気候変動シナリオの組み合わせ——に基づき気候変動影響を分析した研究からも明らかだ。それによると、気候変動によって負の影響が増大することは確かだが、今世紀半ばまでは、気候変動よ »

表 3

2030年の最貧人口——気候変動がある場合とない場合、異なる気候・社会経済シナリオを用いた予測

		気候変動シナリオ					
		気候変動がない場合 最貧人口	低影響		高影響		
		気候変動による最貧人口の増加数					
				+300万		+1,600万	
社会経済 シナリオ	富裕化	1億4,200万	最小	最大	最小	最大	
			+300万	+600万	+1,600万	+2,500万	
	貧困化	9億	+3,500万		+1億2,200万		
			最小	最大	最小	最大	
		-2,500万	+9,700万	+3,300万	+1億6,500万		

注：「富裕化」と「貧困化」の2通りの代表的シナリオを使用。最小値と最大値は、各カテゴリーの60通りのシナリオに基づく。RCPとSSPIについては、BOX 7を参照のこと。

出典：Rozenberg and Hallegatte (2015)。

表 4

ラテンアメリカの一部地域の気温上昇による農業収入の変化

対象地域	参照	気温上昇 (摂氏)	収入の変化
		(°C)	(%)
アルゼンチン	Lozanoff and Cap (2006)	2.0 ~ 3.0	-20 ~ -50
ブラジル	Sanghi and Mendelsohn (2008)	1.0 ~ 3.5	-1.3 ~ -38.5
メキシコ	Mendelsohn, Arellano and Christensen (2010)	2.3 ~ 5.1	-42.6 ~ -54.1
南米	Seo and Mendelsohn (2007)	1.9, 3.3, 5	-20, -38, -64 (小規模農場) -8, -28, -42 (大規模農場)
		2020年までに1.9, 3.3, 5	2.3 ~ -14.8
	Seo and Mendelsohn (2008)	2060年までに1.9, 3.3, 5	-8.6 ~ -23.5
		2100年までに1.9, 3.3, 5	-8.4 ~ -53
	Seo (2011)	1.2, 2.0, 2.6	17 ~ -36 (私有灌漑) -12 ~ -25 (公有灌漑) -17 ~ -29 (乾地農業)

出典：Bárcena *et al.* (2014)。

- ❧ りも経済成長の方が、世界の食料安全保障に対する影響ははるかに大きい (Nelson *et al.*, 2009)。

国際食糧政策研究所 (IFPRI) と他の複数のグローバル経済のモデル化グループは、農業モデルの相互比較と改良プロジェクト (AgMIP) の一環として行った共同研究で、Nelson *et al.* (2014b) による先行研究を足場に、RCP と SSP の異なる組み合わせを用いて、気候変動が、(他の社会経済的因子とともに) 農業生産、作物収量、栽培地域、作物価格、主要作物の貿易に及ぼす影響を検証した (Wiebe *et al.*, 2015)。

それによると、世界の平均作物収量は2050年までに、気候変動がない場合に比べて、(社会経済的变化や気候変動のペースをどの程度に想定するかによって) 5~7% の範囲で減少するのに対し、収穫面積はおよそ4%拡大するという (図7)。したがって、総生産高に対する気候変動の影響は比較的小さくなる。しかし、収穫面積と主食用作物価格が、気候変動がない場合のほぼ2倍のペースで増加し、環境と食料安全保障の両面に大きな負荷をもたらす可能性がある。

影響は、作物や地域、気候変動のペースによってさまざまだ。高緯度地域では収量の減少幅は小さく、しかも栽培可能期間が延長するため、収量増さえ見込まれる。これに対し、低緯度地域では減少幅がより大きくなる。トウモロコシの収量は、大半の地域の大半のシナリオで減少する。コムギは、南アジアとサハラ以南アフリカで減収するが、他地域では増収するため、全球で見れば影響は小さくなる (図1を参照)。

IFPRIによる関連した分析では、気候変動がない場合、2010年から2050年までに、大半の地域で飢餓リスク人口が減少することがわかった。しかし、気候変動はこうした前進を部分的に相殺してしまう。IFPRIのIMPACTモデルの結果によると、高位排出シナリオ (RCP 8.5) 下では、栄養失調リスク人口は2050年までに、気候変動がない場合よりも4,000万人以上増える可能性がある。気候変

動による栄養失調人口の増加数は、経済成長や社会発展による栄養失調の削減数よりも小さいものの、それでも相当な数であることに変わりはない。しかも、これは控えめな推定値である可能性が高い。というのも、このモデルは、経済成長が平常通りであると仮定するSSP2シナリオに基づいており、異常気象や海面上昇、氷河融解、病虫害や疾病パターンの変化といった、気候が原因で、特に2050年以降に変化や顕在化が見込まれる要素をいっさい考慮に入れていないためである。

「RCP 8.5」の高位排出シナリオ下で、飢餓リスク人口の削減が最も停滞するのは、サハラ以南アフリカである (図8)。被害がこの地域に集中するのは、ひとつには、他の地域は高緯度地域での増収から恩恵を受けるためだが、それに加えて、そもそも他の地域は、収入や食料安全保障をさほど農業に依存していないためでもある。

しかし、忘れてはならないのは、気候変動は将来の貧困や食料不安の帰趨の唯一の要因ではないということである。図9は、一連の気候シナリオとSSP2の「中道」社会経済シナリオの下で、気候変動が継続的にどう飢餓リスクに影響するのかわかっている。気候変動があってもなくても、栄養失調人口は減少基調をたどることから、今世紀半ばまでは、気候変動の総体的影響は、社会経済シナリオに取り込まれた他の因子——とりわけ収入増加——よりも小さいことが示唆される。気候変動がない場合、大半の地域で飢餓リスク人口の減少が見込まれる。しかし、こうした改善も——特にサハラ以南アフリカでは——気候変動により部分的に相殺されてしまう。

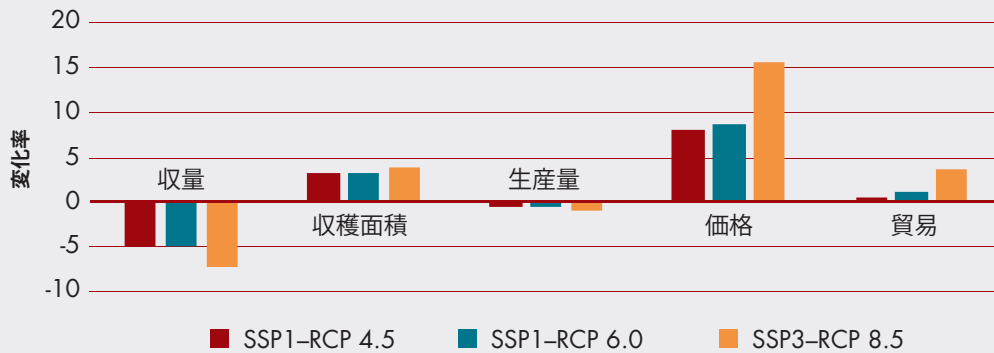
サハラ以南アフリカと南アジアの一部地域の人々が、気候変動による食料不安にいかにか脆弱であるかは、WFPとMet Office Hadley Centre (英国) による予測にもあらわれている。この共同研究は、Krishnamurthy, Lewis and Choularton (2014) が用いた手法をおおむね踏襲しており、脆弱性は、曝露、感度、適応能力の実測値に基づく合成指標により定義される。2050年と2080年の2つの期間を対象に、将来の脆弱性レベルが予測された。気候変

動シナリオは、低位排出 (RCP 2.6)、中位排出 (RCP4.5)、高位排出 (RCP 8.5) の3通りが検討された。各シナリオは、12種類の異なる気候モデルを用いて予測され、干ばつと洪水の指標値には予測結果の中央値が用いられた。適応については、適応なし、低適応、高適応の3通りのシナリオが考慮された。

図10は、現在の脆弱性と、2通りのシナリオ——高排出 (RCP 8.5) で適応なしの「最悪シナリオ」と、低排出 (RCP 2.6) で高適応の「最善シナリオ」——における2050年の脆弱性を示す。脆弱性が深刻なのはサハラ以南アフリカと、南アジア、東南アジアである。これらの地域では、2050年までに、何百万もの人々の食料不安のリスクが増大する恐れがある。「最悪シナリオ」では、脆弱性は劇的に増大する。他方、「最善シナリオ」では脆弱性は大幅に低減されており、現在のレベルを下回る国もみられる。■

図 7

気候変動が2050年までに作物収量、収穫面積、生産量、価格、貿易にもたらす影響 (全世界)

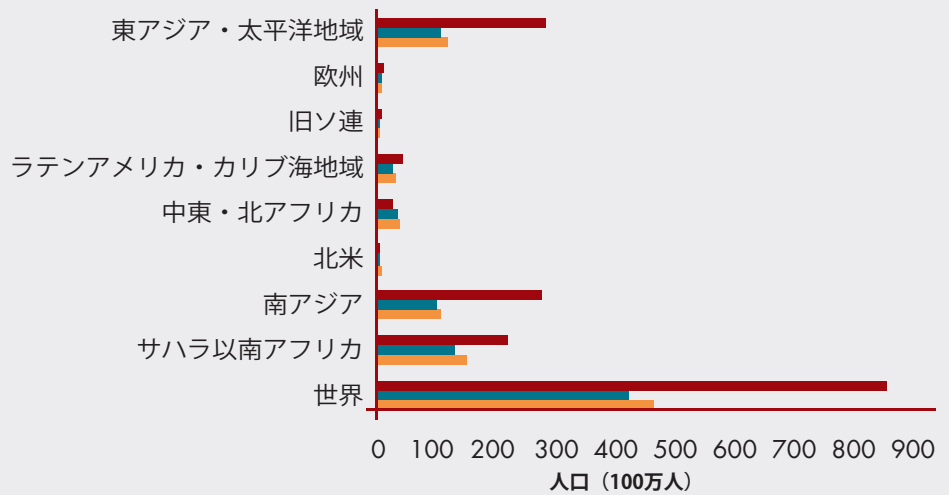


注：対象作物は、粗粒穀物、油糧種子、コムギ、コメ、砂糖。RCPとSSPについては、BOX 7を参照のこと。
出典：Wiebe et al., 2015.

図 8

気候変動が2050年までに飢餓リスク人口に及ぼす影響 (地域別)

- 2010
- 2050-NoCC
- 2050-CC

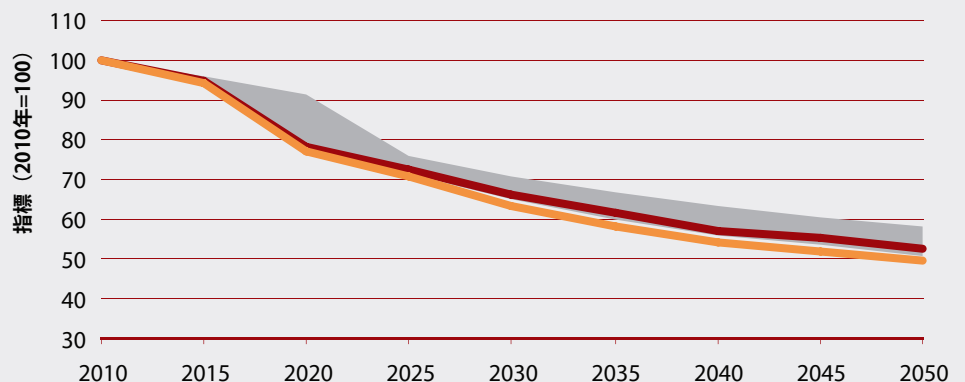


注：SSP2とRCP 8.5のIMPACTモデルの結果。RCPとSSPについては、BOX 7を参照のこと。「飢餓リスク人口」は、食料エネルギーの需要に対する供給の関数として推計。
出典：Wiebe et al., 2015.

図 9

気候変動がある場合とない場合における飢餓リスク人口

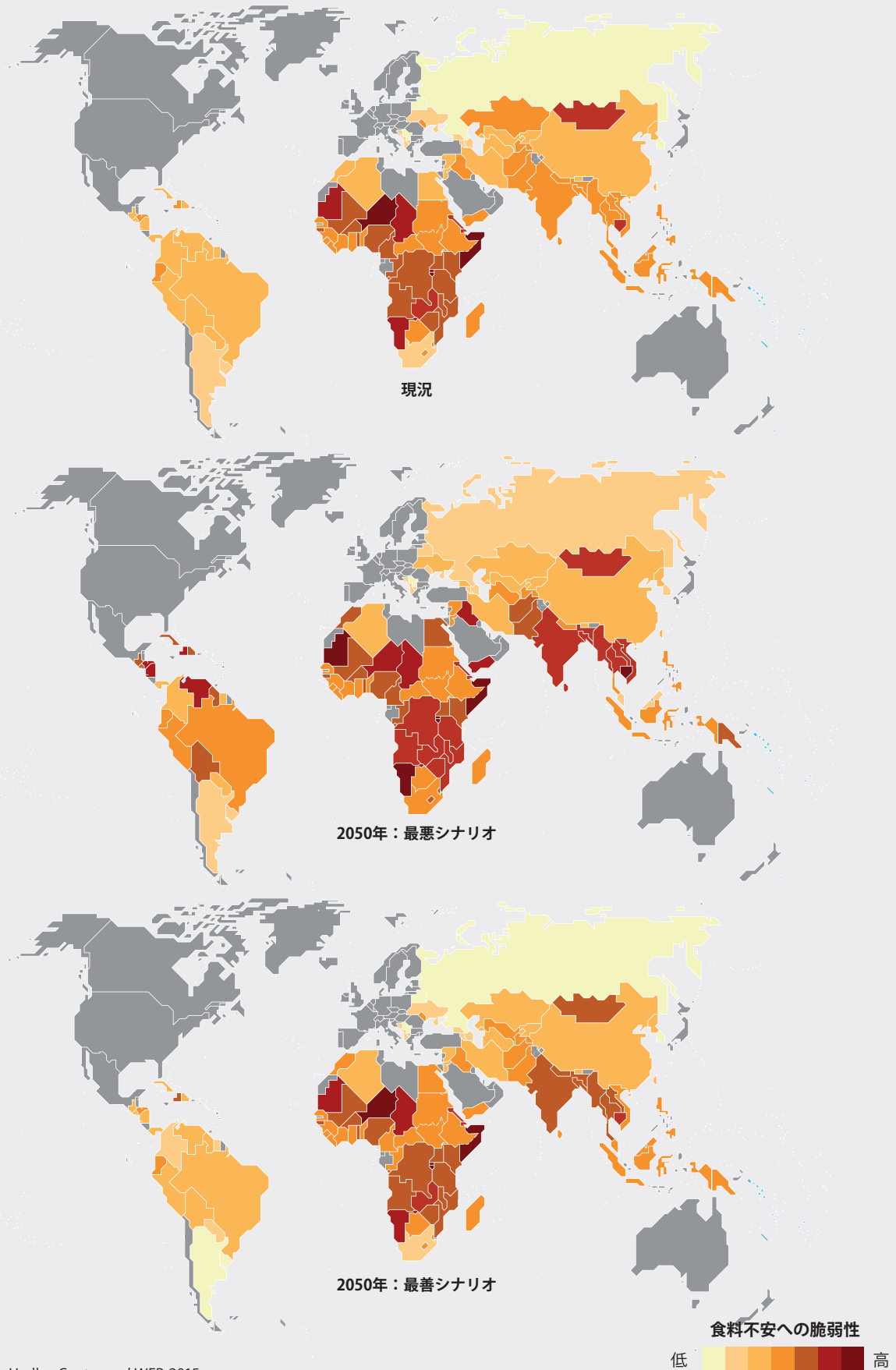
- 気候変動範囲
- 気候変動中央値
- 気候変動なし



注：気候変動の範囲は、RCP2.6、4.5、6.0、8.5により代表される範囲。シミュレーション結果は、「中道」社会経済シナリオ(SSP 2)を想定している。RCPとSSPについては、BOX 7を参照のこと。
出典：IFPRIのIMPACTモデルを用いたシミュレーションのDePinto, Thomas and Wiebe(2016)による引用。

図 10

食料不安と気候変動に対する脆弱性のレベル——現況、最悪シナリオ、最善シナリオ



出典：Met Office Hadley Centre and WFP, 2015.

気候変動への対応における 農業部門の役割

FAOの推計によると(表5)、2014年における「農業・林業・その他土地利用(AFOLU)」部門に由来する温室効果ガス排出量は、10.6Gt(ギガトン)(二酸化炭素換算)にのぼる。農業部門は、二酸化炭素(CO₂)、炭化水素メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)の3種類の人為起源温室効果ガスを排出している。これらの主たる排出源は、森林減少、家畜の消化管内発酵、農地に残された家畜糞尿、化学肥料の大量施与、稲作である。一方で、森林減少や土地劣化は、大気中の二酸化炭素を吸収(または隔離)する能力も低下させている。AFOLU部門における温室効果ガスの排出割合は、二酸化炭素が49%、メタンが30%である。これは、世界全体の人為起源の二酸化炭素排出量の14%、メタン排出量の42%に当たる。AFOLU部門における亜酸化窒素の排出割合は小さいものの、世界全体の人為起源の亜酸化窒素排出量の実に75%を占めている。

AFOLU部門における最大の排出源は農業であり、次いで(正味の)森林転換が続く。1990年代以来、森林転換からの排出量は減少傾向にあるのに対し、農業からの排出量は増大している(図11)。有機土壌(泥炭地帯のような、有機物が凝縮された土壌)やバイオマス燃焼(サバンナ火災)からの排出量は、比較的少量である。森林は、樹木の光合成を介して温室効果ガスを大気中から除去することで、気候変動を緩和する。しかし、こうした森林による炭素隔離は、1990年代には平均して年2.8 Gtであったが、2000年代には2.3 Gtに低下し、2014年には1.8 Gtと推計されている。

AFOLU部門の排出量や排出源は地域によって全く異なる(図12)。(正味の)森林転換は、ラテンアメリカ・カリブ海地域とサハラ以南アフリカでは最大の排出源であるが、他地域ではさほど大きくない。森林吸収源による排出削減は、途上地域やラテンアメリカ・カリブ海地域では大きい、他地域では比較的小さい。農業からの排出は、すべての地域でAFOLU部門の排出量全体のかな

りの割合を占めており、森林転換が主要排出源であるサハラ以南アフリカとラテンアメリカ・カリブ海地域を除く地域では、AFOLU全体の過半にのぼる。過去20年間にわたり、地域レベルではさまざまな排出パターンが観測されてきた。例えば、東南アジア、東アジア、南アジアでは、森林吸収源による排出削減が激減したのに対し、欧州では逆に増えている。その他の地域では安定的に推移している(FAO, 2016d)。

農業における温室効果ガス排出源のうち、世界全体で排出割合が最も大きいのは、反芻家畜の消化管内発酵(これはメタンの主要排出源である)であり、農業全体の40%(CO₂等価)を占めている(図13)。排出規模では、これに家畜糞尿(16%)、合成肥料の施肥(12%)、稲作(10%)が続く。

反芻家畜の消化管内発酵は、オセアニア、東アジア、東南アジアを除くすべての地域で、農業における最大の排出源であり、排出割合は先進地域の37%から、ラテンアメリカ・カリブ海地域の58%に及ぶ(表6)。その他の排出源の排出割合は、地域によって異なる。他方、東アジアと東南アジアでは稲作が最大の排出源であり(26%)、オセアニアでは有機土壌耕作の排出割合が59%を占める。家畜の消化管内発酵に次いで大きな排出源は、サハラ以南アフリカ、北アフリカ、西アジア、ラテンアメリカ・カリブ海地域では家畜糞尿、南アジアでは稲作、先進諸国では合成肥料である。

地球の気温上昇を2℃未満に抑えるには、農業が気候変動の緩和に貢献することが必須となる(Wollenberg et al., 2016)。もっとも、世界の温室効果ガス排出量の約75%を占めるのは、エネルギー生産における化石燃料の利用であり、農業活動に関わる排出は全体の21%に過ぎないことを認識しておく必要がある。しかし、エネルギー部門からの排出は、エネルギー利用の効率化や、再生可能エネルギーへの転換によって削減することができ、排出量ゼロでさえ実現可能だ。そうなれば、農業由来の排出が占める割合は次第に大きくなっていく。これ

表 5

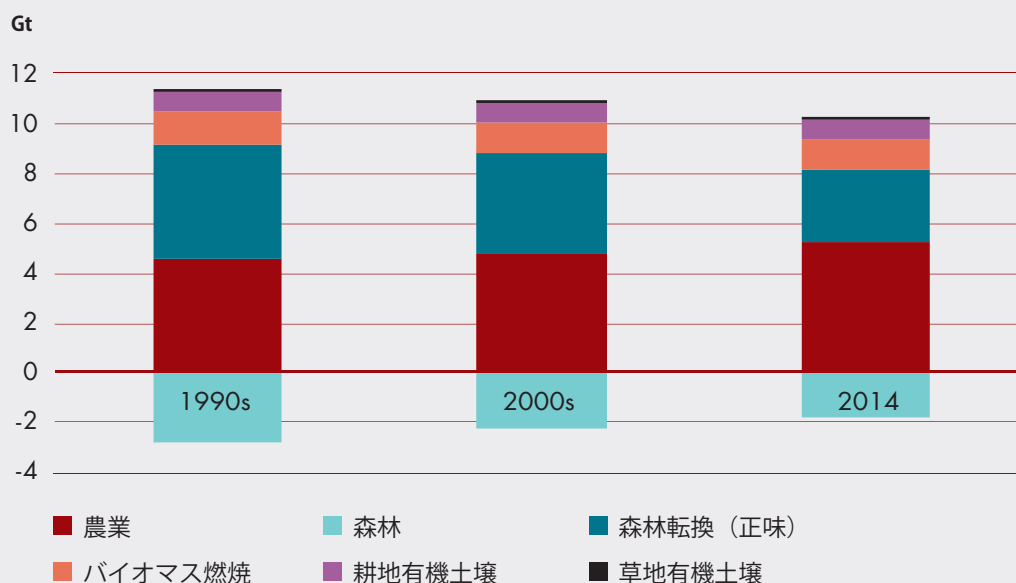
2010年の主要温室効果ガス (GHG) の排出と除去——全部門および「農業・林業・その他土地利用 (AFOLU)」部門

	全部門	AFOLU	AFOLU		AFOLUの寄与が全体に占める割合	AFOLUにおけるGHG排出割合
			農業	森林・土地利用		
Gt二酸化炭素換算						%
排出						
二酸化炭素 (CO ₂)	38.0	5.2		5.2	13.6	48.7
メタン (CH ₄)	7.5	3.2	2.9	0.3	42.3	29.7
亜酸化窒素 (N ₂ O)	3.1	2.3	2.2	0.1	75.0	21.6
その他	0.8				0	0
全排出	49.4	10.6	5.1	5.5	21.5	100
除去(吸収)						
二酸化炭素 (CO ₂)		-2.6		-2.6		

出典：FAO (近刊)。

図 11

AFOLU部門による年間平均純排出量／除去量 (CO₂換算)

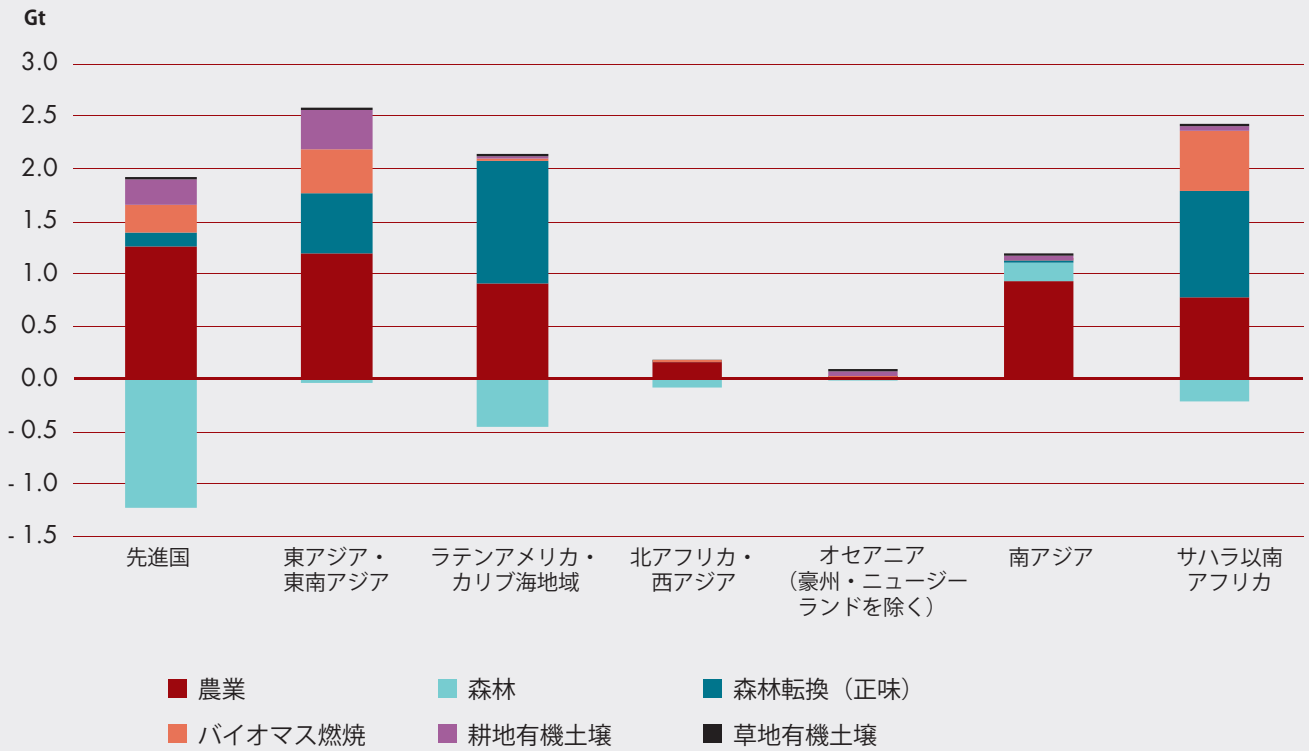


注：定義については、「付属表への注」を参照のこと。

出典：FAO, 2016d. 詳細については、附属統計資料の表A.2を参照のこと。

図 12

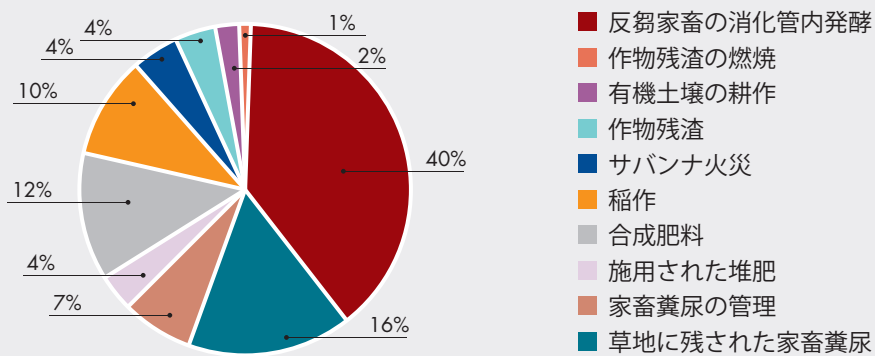
「農業・林業・その他土地利用」部門による地域別純排出量／除去量 (CO₂換算) 2014年



出典：FAO, 2016d. 詳細は附属統計資料の表A.2を参照のこと。

図 13

農業における排出源別排出割合 (CO₂換算、全球レベル) 2014年



注：排出源の定義については、「付属表への注」を参照のこと。

出典：FAO, 2016d. 付属統計資料の表A.3を参照のこと。

表 6

2014年における農業由来の温室効果ガスの三大排出源（地域別）

順位	先進国	東アジア・ 東南アジア	ラテンアメリカ・ カリブ海地域	北アフリカ・ 西アジア	オセアニア (豪州・ニュージー ランドを除く)	南アジア	サハラ以南 アフリカ
1	家畜の 消化器管内発酵	稲作 (26%)	家畜の 消化器管内発酵 (58%)	家畜の 消化器管内発酵 (39%)	有機土壌 (59%)	家畜の 消化器管内発酵 (46%)	家畜の 消化器管内発酵 (40%)
2	合成肥料 (17%)	家畜の 消化器管内発酵 (24%)	家畜糞尿 (23%)	家畜糞尿 (32%)	家畜の 消化器管内発酵 (14%)	稲作 (15%)	家畜糞尿 (28%)
3	糞尿管理 (12%)	合成肥料 (17%)	合成肥料 (6%)	合成肥料 (18%)	糞尿管理 (14%)	合成肥料 (15%)	サバンナ火災 (21%)

出典：FAO, 2016d.

» 38ページから続く

には3つの理由がある——(1) 他部門の排出量が減少すること、(2) 食料生産の増加に伴い、排出量も増加傾向にあること、(3) 農業部門は多岐にわたるうえ、農業には複雑な生物物理的プロセスが関わるため、農業由来の排出削減ははるかに困難を伴うことである。

農業部門は、生産量の増加から排出量の増加を除去することにより、気候変動の緩和に貢献することができる。しかし、それだけにとどまらず、農業部門は大気中の炭素を吸収する固有の能力も備えている。現状の技術水準では、森林と劣化土壌の回復が、大気中から二酸化

炭素を抽出する有力な手段となる。この理論上の潜在能力を実際の炭素吸収に転換できるかどうかは、技術的選択肢の有無や適切な制度や政策の有無に加え、生物物理的条件に依るところが大きい。農業からの排出も、農業による吸収も、地球の炭素・窒素循環の一部である。したがって、農業部門の緩和ポテンシャルを最大限に発揮するには、炭素・窒素循環のメカニズムを理解し、農業活動がこうした循環とどのように作用し合うのかを熟知しておくことが不可欠だ。「緩和」の促進に向けた方策のなかには、すべてではないが「適応」との共通便益に結びつくものもある(第4章を参照)。■

結論

本章では、気候変動が農業や社会経済的発展、ひいては食料安全保障に及ぼす影響をたどった。農業への影響には主として、干ばつや異常気象の増加、病虫害や疾病の多発、生物多様性の喪失などがある。長期的な見通しでは、食料生産に対する負の影響が、特に2030年以降にますます深刻化するとみられる。また、先進国よりも熱帯の途上地域の方が、農産物が減収したり、畜産業、漁業、林業の生産性が低下する傾向が高い。

気候変動が農業の生産量や生産性に及ぼす影響が深まるにつれ、国際食料価格の高騰や、食料不安リスク人口の増加が懸念される。今世紀半ばまでは、気候変動よりも社会経済的・技術的発展の方が食料安全保障の行方を

大きく左右するが、農業や食料安全保障への気候変動の影響は、とりわけ地域レベルでは過小評価されてはならない。というのも、社会経済面へのドミノ効果は、農村部の低所得層や、農業への依存度が高い国々で最も顕在化しやすいからだ。

次章では、農業部門が現在または将来予期される変化に対して、いかにして負の影響を最小限に抑えつつ、有益な機会を最大限に活用するような方法で適応できるかについて、小規模農家や小規模生産システムに照準を絞って検証する。気候変動の緩和の可能性や、適応策と緩和策の共通便益については、第4章で取り上げる。



第3章

小規模農業における 気候変動への適応



BYUMBA (ルワンダ)
湿地帯に広がる茶畑。
©FAO/G. Napolitano

主要メッセージ

1

気候変動影響に対する小規模農家のレジリエンスを強化することなしには、世界の貧困を根絶することはできない。

2

小規模農業システムは、気候変動対応型の農法を導入したり、農業生産の多様化や、生計手段の多様化（農外収入・雇用への転換）を図ることで、気候変動に適応することができる。

3

自然資源の持続可能な管理は、気候変動への適応や食料安全保障の確保にとってカギとなる。

4

小規模農家の生計の適応や多様化を促すには、農業生産インフラ、農業普及サービス、気候情報、市場アクセス、信用制度や社会保険制度を改善する必要がある。

5

無介入によって生じるコストは、農林漁業従事者による気候変動への効果的な対応を可能にする介入策のコストを上回る。

小規模農業における 気候変動への適応

世界で貧困や飢餓にあえぐ人々の大半は、農村に暮らし、農業で細々と生計を立てている。2010年には、推定12億人にのぼる最貧層のうち、およそ9億人が農村部に暮らし、そのうちおよそ7億5,000万人が農業に従事していた。こうした人々の多くは、小規模家族農家である (Olinto *et al.*, 2013)。今後15年間で、2億人の農村貧困層が都市部に移出するとみられるが、大多数は農村に残る。この間、一部の途上地域で農村人口の微増が見込まれ (UN-DESA, 2012)、農村では推定で7億人が貧困状態で暮らすとみられている。こうした農村部の暮らしの改善に向け、国際社会が一体となって行動を起こさなければ、2030年までの貧困根絶の実現は危うい。

世界中に暮らす小規模農家の圧倒的な数を見れば、こうした人々の暮らしに気候変動がもたらす脅威に焦点を絞り、こうした人々の生計を持続可能な方向へと転換させることが喫緊の課題であることにも頷けるであろう。本章では、小規模農業システムの気候変動リスクに対する主要な脆弱性を検証し、持続可能な生産強化戦略、多様化戦略、リスク管理戦略によって、こうした脆弱性を極小化するためのさまざまな選択肢を評価する。さらに、適応にかかるコストに関する既存のエビデンスの評価を踏まえ、「無介入」によって生じるコストは「介入策」のコストをはるかに上回る——つまり、小規模農業システムを、気候変動に強く、持続可能であり、かつ、収益性の高いものにする介入策のコストは、無策がもたらすコストよりもはるかに安価である——と結論づける。■

貧困から脱却する手立ての再考

農村部の貧困を解消することは、世界の飢餓と貧困の根絶にとって不可欠である。ここ数十年にわたり、あら

ゆる国々のあらゆる条件下で、貧困の削減には、農業生産量の増大や、農村から都市への人口移出の増加、農業への依存度の高い経済から収入雇用源が多様化した経済への移行といった流れが伴ってきた。貧困が急速に減少した国に共通の特徴として、農業労働生産性の向上と、その帰結としての農村の労働賃金の上昇が挙げられる (Timmer, 2014)。例えば、ルワンダとエチオピアは、生産性の飛躍的な向上に伴い、農村部の大幅な貧困削減を達成している。

しかし、今日の農業生産性の向上がもたらす機会や課題は、かつてとは著しく異なる。食品市場や農産物市場の成長は、小規模農家にとって機会となる一方で、彼らの参入を妨げる障壁にもなっている。民間による農業技術の開発や普及は、新たな機会を切り拓く一方で、こうした技術にアクセスするための条件を変化させている。

世界中の農村に暮らす人々が直面する制約や機会はさまざまであり、したがって当然、貧困から脱却するための手立てもさまざまである (Wiggins, 2016)。急拡大する市場に容易にアクセスできる地域に暮らす人々は、そうした市場から遠く離れた場所に暮らす人々とは異なる機会を享受している。人口動態も重要だ。サハラ以南アフリカでは、将来の農業の担い手は若年層であるが、可耕地は不足している。対照的に、アジアの一部地域では、高齢化が進むものの、農地は拡大傾向にある。場合によっては、収益性を高めるために農地を集積し、高付加価値市場へのアクセスを容易にする必要もあるだろう (Masters *et al.*, 2013)。貧困脱却の手立てとしては、このほかにも、出稼ぎや、脱農して都市に移住するなど、農外収入源への生計の多様化を図ることが挙げられる (Wiggins, 2016)。もっとも、小規模農家にとって、こう

表7

農業生産および生産性に対する気候ショックの影響

	エチオピア	マラウイ	ニジェール	ウガンダ	タンザニア	ザンビア
平均降水量	++	+++	+++	+	+	+++
降水量の変動	-	NA	---	NS	-	NS
平均最高気温	---	---	--	--	+	-
最高気温の変動	---	NA	--	--	NS	NA
無降水期間の合計	NA	---	NA	NA	NA	NA

注：NS = 非有意; NA = データなし; + = 収量への有意な正の影響; - = 収量への有意な負の影響。「+」または「-」記号の数は、3個で10%、2個で5%、1個で1%の信頼レベルにおける有意性を指す。マラウイ、タンザニア、ザンビアの結果は、トウモロコシの生産性への影響のみに基づく。

出典：Asfaw *et al.*, 2016a; Asfaw, Maggio and Lipper, 2016; Asfaw, Di Battista and Lipper, 2016; Asfaw, Coromaldi and Lipper, 2016; Arslan *et al.*, 2015; FAO, 2016b, 2016c.

した戦略の実現性は、彼らが住む場所や、農業・非農業部門の経済発展段階に大きく依存する。

気候変動は将来、途上世界の広い範囲で、食料や農業生産におおむね負の影響を及ぼすとみられる。したがって、農村経済の発展や貧困の根絶に向けた取り組みの成否は、農業システム、とりわけ小規模農家の農業システムの気候変動に対するレジリエンスを構築できるかどうか、そして、環境的、社会的、経済的に持続可能な土地、水資源、漁業、林業の管理手法が広く取り入れられるかどうかにかかっている。■

気候変動リスクに対する主な脆弱性

途上国の小規模農業生産者は、気候変動に対してきわめて脆弱だとみなされており、それゆえ、レジリエンスの強化から得られる利益も最も大きい。IPCCの定義によると、「脆弱性」とは、自然または社会のシステムが気候変動の負の作用から持続的な損害を被る程度を指し、曝露、感受性、適応能力と相関関係にあるものとされる (IPCC, 2001)。

第2章では、地球規模で見た場合の農業システムに対する気候変動リスクを概観した。全体として、リスクへの曝露の程度は千差万別であり、経時的にも変化する。大半の途上国で、農畜産物の生産性に対する気候変動影響は負の影響となり、時とともに深刻化する傾向にある。すでに局地的な天候ショックや病害虫・疾病の発生

が作物生産の安定性を揺るがしており、早急な適応管理策の必要性が高まっている (FAO, 2016a)。

サハラ以南アフリカの小規模農業への気候ショックの影響を検証した最近のFAOの研究によると (表7に概要を記載)、大半の事例で、降水量が増加すると収量も大幅に増加するのに対し、降水量が平均を下回ったり不安定になると、収量も低下することがわかった。同様に、気温が平均を上回ると、生産性は大幅に減少する。もっとも、異常気象の種類によっては、影響を受ける国もあれば、受けない国もある。したがって、個々の国にとってどういった天候の変動が不作を招くのかを知ることが、こうした阻害因子に対処するための第一歩であり、どの国にも当てはまる処方箋は存在しない。例えば、降水量の変動はマラウイとニジェールではきわめて重大だが、ウガンダとザンビアでは重大ではない。平均降水量や平均気温はほとんどの国で重要であるように思われるが、地域によっては、異常気象を伴わなくても、単に気候が不安定であることが重大な阻害因子になりうる。

気候ハザードへの曝露によって結果的にどのような影響が発現するかは、感受性、すなわち所与の変化に対して、農業生態系や社会経済システムが応答する正または負の程度に依存する。自然資源の枯渇や劣化が深刻になると、小規模農業の気候ハザードに対する感受性は高まる。というのも、劣化した自然資源は、気候ストレス下で生産性を維持する機能を十分に果たせなくなるためだ

(FAO, 2012)。例えば、地球全体では、食料需要をまかなうのに十分に水が足りているにしても、渇水の深刻化に悩まされている地域は増えており、このことは将来、農村部や都市部の人々の暮らしや食料安全保障、経済活動に弊害をもたらす恐れがある(FAO, 2011a; FAO and World Water Council, 2015)。とりわけ、乾燥・半乾燥熱帯地域やアジアやアフリカのメガデルタでは、気候変動下で水資源が質・量ともに悪化すれば、農業用水が不足して、食料安全保障の4要素である供給、安定性、アクセス、利用にも影響が及ぶ(Bates *et al.*, 2008)。したがって、農業における水利用を合理化することで、小規模生産システムの気候変動への適応を大幅に促進することができる。

農村部の女性は、気候ハザードに対して特に感受性が高い。というのも、(薪炭材や水の調達といった)家事労働は女性の役割とみなされているうえ、男性の働き手が出稼ぎに行って留守の間、女性の農作業の負担も増えるためだ(例えば、Jost *et al.*, 2015; Agwu and Okhimamwe, 2009; Goh, 2012; Wright and Chandani, 2014を参照)。干ばつの頻発化や渇水の深刻化は、女性の労働負担を増やし、農業生産性と世帯の厚生の両方に悪影響を及ぼす(UNDP, 2010)。この点についてはBOX 8も参照されたい。

小規模農家のリスク管理能力が限られていることも、気候ハザードに対する感受性の高さの一因となる。異常気象に見舞われると、小規模農家は往々にして予防的な戦略(例えば家畜の売却など)をとることで乗り切ろうとする。これにより壊滅的な損失はまぬがれるかもしれないが、長期的な生計構築の機会は失われるため、慢性的な「貧困の罠」に陥りかねない(Carter and Barrett, 2006; Dercon, 1996; Dercon and Christiaensen, 2007; Fafchamps, 2003; Morduch, 1994; Kebede, 1992; Simtowe, 2006)。さらに、気候の不確実性や、不確実性に対するリスク忌避が、農村の金融市場やサプライチェーンを委縮させることで、小規模農家の機会はさらに閉ざされ、「貧困の罠」は一層深まっていく(Barrett and Swallow, 2006; Kelly, Adesina and Gordon, 2003; Poulton, Kydd and Dorward, 2006)。

小規模農業において、**適応能力**——すなわち、状況の変化に応じて効果的な措置を見極め、実行する能力——のネックとなるのは、「気候変動対応型」の改良技術や手法の導入を妨げるさまざまな障壁である。例えば、信用制度へのアクセスが不在である場合、とりわけ、融資の担保を提供できない最貧世帯や、資産の所有権を持たない女性生産者は、投資のための資金調達ができない。こうした阻害因子には、このほかにも、土地保有権の保障の欠如、情報や農業普及サービス、市場への乏しいアクセス、ショックから生計を守るセーフティネットの不整備、さらには、こうした制度のすべてにおけるジェンダー格差などがある。

小規模農家の気候変動に対する適応能力の向上に必要な介入策のほとんどは、一般的な農村開発に求められる介入策とほぼ同じであるが、異なるのは気候リスクに比重が置かれる点である。例えば、総合的な普及サービス制度は、現場ごとの気候変動予測を踏まえる必要があるし、作物や家畜の改良品種の育種に投資するには、収量の高さだけでなく、個々の現場で予期される気候ショックへの抵抗力も考慮されなければならない(BOX 9)。灌漑などの水管理インフラへの投資も急務である。次節から、こうした課題について詳しく取り上げていく。■

生産システムや生計のレジリエンスの強化

気候変動に対する脆弱性は、小規模農家が生産性や生計の向上において直面している一般的な困難をさらに増やすことになる。したがって、脆弱性の低減に向けた取り組みは、より幅広い農業・農村開発に向けた政策と歩調を合わせて行う必要がある。こうしたアプローチは、天候ショックへの曝露や感受性を緩和するだけにとどまらず、農村の生計や食料安全保障の改善に向けた新たな機会の提供に結びつくような形で適応能力を構築するための足場となる。

レジリエントな生計とは、気候リスクに見舞われた場 ▶▶

BOX 8

農村女性の脆弱性

農村部に暮らす女性は、世界人口の4分の1を占める。農村女性は、途上国の就農人口のおよそ43%を占めており、南アジアでは、働く女性の3人に2人は農業従事者である（FAO, 2011a）。世界中のどのジェンダー開発指標を見ても、ほぼ例外なく、農村女性は農村男性や都市部の女性よりも不利な立場に置かれており、貧困や社会的排除に加え、気候変動影響による損失や被害も、農村女性に偏って多いことがわかる（United Nations, 2010）。小規模農家の女性は、男性よりも気候リスクへの曝露が大きく、同様の理由で、男性よりも生産性が低い。女性は基本財産や権利を男性と対等に持っておらず、情報やサービスへのアクセスにも乏しく、移動の自由も制限されている

（FAO, 2007; Nelson, 2011）。資源に対する権利付与がジェンダー化されているのは、女性は気候ハザードに弱い資源や技術に頼らざるを得ないということの意味している（Dankelman, 2008; Huynh and Resurrección, 2014; Nelson and Stathers, 2009; Nelson, 2011）。さらに、貧困や脆弱性の特性や強度にもジェンダー格差があらわれている（Holmes and Jones, 2009）。生産性の向上や気候変動関連リスクの低減に向けた介入策が確実に効果を上げ、持続可能であるためには、生産的資源やサービス、雇用機会へのアクセスにおけるジェンダー格差やジェンダー差別を解消し、男性も女性も平等に恩恵を受けられるようにすることが重要だ。

BOX 9

遺伝的多様性がレジリエンスを向上させる

FAOは、各国の気候変動適応計画に「遺伝的多様性」を組み込むことを支援する任意指針を策定・公表している。遺伝的多様性が育種プログラムにおいて適切に保全され、活用されれば、乾燥化や霜、洪水、土壌の塩類化に耐性のある作物品種や、生産性が高く過酷な環境にも強い家畜品種を開発することができる。将来のニーズを見越して、中央の貯蔵庫やツールとして遺伝資源の一元的な管理を計画する政策は、レジリエントな農業生産システムの構築に役立つ。そのためには、植物種や家畜種の保全や持続可能な活用の支援、重要な食用作物の近縁野生種の収集や保全といった取り組みに一層注力していく必

要がある。また、農場レベルの遺伝的多様性を維持することで、環境の変化と歩調を合わせた進化が可能になる一方で、地域・国際レベルの遺伝子バンクの設置により、遺伝素材のバックアップ・コレクションを構築して、気候変動適応策の支援に活用することができる。どの国も多かれ少なかれ、他の国や地域からの遺伝的多様性に依存していることを考えると、国際的な協力や取引の円滑化はきわめて重要だ。食料及び農業のための植物遺伝資源に関する国際条約（ITPGR）は、研究者や育種家が、他国の遺伝資源にアクセスできるようにする仕組みを定めたものである。

出典：FAO, 2015a.

» 合に、それに抵抗したり、そこから回復したり、それに適応することを可能にする十分な収入や食料安全保障といった条件を備えていることを指す。小規模農家の置かれている状況や機会は個々の現場によって大きく異なるため、適応やレジリエンスの構築に向けた方策は、曝露の程度や適応能力を考慮して、個々の現場ごとに立てられなければならない。本節では、小規模農業システムやそれに依存する人々の脆弱性の低減に向けた方策の主要な特徴を明らかにする。その際、2つの局面に着目する——1つは、「農業生産システム」のレジリエンスを強化する方法、もう1つは、「脆弱層の生計」のレジリエンスを強化する方法である。

農業システムの適応のカギとなる イノベーション

気候変動によってもたらされる全く新たな困難に対処するには、農業システムにイノベーション(変革)を起こすことが求められる。イノベーションが起きるのは、個人や集団が新たな発想や技術、プロセスを取り入れ、それが成功して、コミュニティや社会全体に広まった場合である。こうしたプロセスは複雑で、多くの関係主体を巻き込むものであり、独立排他的に機能することはできない。また、こうしたプロセスは、イノベーションの創出を支える効果的な変革システムによって促進されるものである。農業の変革システムとは、すべての農家に必要な一般的、経済的、制度的な支援を提供する環境となる。こうした環境はこのほかにも、農業調査・指導サービスや効果的な生産者組織といった機能を備えたものとなる。農業におけるイノベーションは多くの場合、個々の現場に根差した知識や在来の生産方式を活かし、それに正規の研究システムから得られた新たな知見を組み合わせることで構築・調整される(FAO, 2014a)。

気候変動に対する小規模農業システムのレジリエンスを強化するイノベーションには、農業の持続的な生産強化による資源活用の効率化や、農業生態学的生産システムの導入などがある。水資源管理の改善も、気候変動影

響への取り組みにおいてイノベーションが大きな効果を発揮しうる領域に挙げられる。こうしたアプローチはすべて、炭素・窒素管理の向上にも結びつく(後節および第4章を参照)。

また、バイオテクノロジーも——ローテク、ハイテクを問わず——とりわけ小規模生産者が気候変動へのレジリエンスを高めたり、よりうまく適応するための重要な手段を提供している。以下では主に農業の管理手法を通じたイノベーションに焦点を当てるが、こうした管理手法のなかには、改良種子など、バイオテクノロジーの成果を活用するものもある。

農業生産の持続可能な強化

農業生産の持続的な強化とは、生産性を高め、生産コストを抑えて、収益性が高く安定した農業を追求する一方で、自然資源を保全し、環境負荷を軽減し、生態系サービスのフローを向上させることで、持続可能な環境にも資する戦略である(FAO, 2011b)。持続可能な生産強化戦略の具体的な内容は、営農形態や現場によってさまざまだが、中核となる原則のひとつは、資源活用の効率化である。

作物生産の持続的な強化に向けたFAOのアプローチは、“Save and Grow”(少ない資源でより多く)モデルに基づく。Save and Growは、自然資源の保全向上に資する生産的な農業を促進する試みであり、土壌有機物や水流調節、花粉媒介、病害虫の自然捕食など、作物の生長を助ける自然の力を活用する生態系アプローチを拠り所とする。こうしたアプローチでは、改良作物品種——気候変動に強く、栄養素や水、外部からの投入財をより効率的に利用することができる品種——に、適切な投入財を、適切なタイミングかつ適切な量で施用する。資源活用の効率化、化石燃料の使用削減、環境悪化の直接的な原因の除去が、こうしたアプローチのカギとなる要素であり、これらにより農家のコスト負担を軽減するとともに、特定の投入財の濫用による悪影響も防ぐことができる。こうしたアプローチは農作物にとどまらず、他の農

業部門にも拡大している。さらに、農業生産の持続的な強化は、炭素・窒素循環をより適切に管理することで(後述)、気候変動影響に対するより強力なレジリエンスを構築するとともに、温室効果ガスの削減にも貢献する(Burney *et al.*, 2010; Wollenberg *et al.*, 2016)。

農業生態系

ハイレベル専門家パネル(HLPE, 2016)によると、農業生態系(agroecology)とは、生態学的な概念や原理を農業システムに適用したものである。植物、動物、人間、環境の相互作用に焦点を当てることにより、持続可能な農業開発を促し、結果として、食料安全保障と栄養改善を確保するのが狙いである。農業生態系は、病害虫の自然捕食や、バイオマスや栄養素の循環といった重要な生態系のプロセスを活かしたり、農業生物多様性の構成要素間の有益な生物学的相互作用や相乗効果を高めたり、資源の活用を最適化することで、(投入財の使用効率を上げたり、別の投入財に変えたりするよりも)高い効果を生み出す。農業生態学的原理は、Nicholls, Altieri and Vazquez (2016)の定義に従えば、以下の点から、気候変動への適応にとって特に重要となる。

- ▶ バイオマスの循環を高めて、有機物分解や栄養循環を最適化する。
- ▶ 機能的生物多様性を高めることで(例えば、病害虫の天敵の生息場所の確保など)、農業の「免疫システム」を強化する。
- ▶ 有機物の管理や土壌生物活性の強化により、植物の生育にとって最適な土壌条件を提供する。
- ▶ 土壌、水資源、農業生物多様性の保全や回復を強化することで、エネルギー、水、養分、遺伝資源の損失を最小限に食い止める。
- ▶ 時間をかけ、また空間を広げながら、農場レベルと景観レベルで、農業生態系における種や遺伝資源の多様化を図る。
- ▶ 農業生物多様性の構成要素間の生物学的相互作用や相乗効果を高め、重要な生態系のプロセスや生態系サービスを促進する。

農業生態系は、地域の農家の伝統的知識を足場に、農民のニーズに基づいたソリューションを提供する。例えば、Swiderska (2011)によると、中国、ボリビア、ケニアの貧しい農村では、在来の多種多様な作物品種を混作することが、気候変動への適応や生存にとって不可欠であることがわかった。中国では、4種の異なるイネの品種を混作する農家では、単作農家と比較して、殺菌剤を使用しなくても葉枯病の発生率が44%低く、収量は89%増加した(Zhu *et al.*, 2000)。農業生態系の多様性は、気候変動下での収量安定性に寄与する。混作は単作よりも大きな収量安定性を発揮し、干ばつ時の生産性の低下もより小さい(Altieri *et al.*, 2015)。

効率的な水管理

気候変動は、降水パターンを変化させることで水資源量のパターンにも影響を及ぼすため、持続可能な生産性の改善に向けた取り組みでは、渇水や過剰水に対処する能力がきわめて重要となる。水資源の生産性の改善余地が最も大きい地域は、貧困率の高い地域でもあり、こうした地域には、サハラ以南アフリカ、南アジア、ラテンアメリカの多くの地域や、水資源の争奪が激しいインダス川流域や黄河などがある(HLPE, 2015)。

気候変動対策として農業システムの水利用の効率化を図るには、政策分野や投資分野、水管理分野における対応に加え、さまざまなスケール——農地、農場、灌漑スキーム、流域や帯水層、集水域、国レベル——での制度的、技術的変革が求められる(FAO, 2013a)。長期的な気候変動影響への適応に向けた第一歩として、まずは、現在の気候の変動性に関する情報を水管理に取り入れる必要がある(Sadoff and Muller, 2009; Bates *et al.*, 2008 as cited in Pinca, 2016)。

サハラ以南アフリカの農地の95%を占める天水栽培では、雨水と土壌水分のより適切な管理が生産性を高め、無降水期間や降水量が不安定な期間における収量ロスを低減するカギとなる。集水農業や浅帯水層の地下水を利用した補助灌漑は、天水農業の水生産性の改善に向けた

重要な戦略であるが、十分に活用されてはいない (HLPE 2015; Oweis, 2014)。

灌漑システムの水利用効率は、水利組合の結成といった制度面の改善や、ライニング水路の導入、排水網の効率化、廃水の再利用といったインフラの改善によって促進することができる。ドリップエミッタなどの水効率のよい灌漑技術や、灌漑インフラの維持管理の改善、さらには、農家の専門知識の向上に向けた適切なトレーニングは、水利用や食料安全保障への気候変動影響に対処するにあたって有効な方策となりうる (BOX 10)。もっとも、水利用効率を改善する技術のなかには、点滴灌漑のようにエネルギー源が必要なものもある。さらに広く見れば、食料生産における水、エネルギー、土地の利用に当たっては、多くの場合、これらの中にトレードオフ (妥協点) が生じる一方で、場合によっては相乗効果が生まれる可能性もある。水・エネルギー・食料ネクサス (連結) アプローチは、こうした資源のアグリフードチェーン (農業食品連鎖) における利用を計画するにあたって、有益なコンセプトとなる (FAO, 2014b)。

炭素・窒素管理

地球の炭素・窒素循環は、土壌や養分、水資源の管理の方法や、アグロフォレストリーの普及の程度、さらには、非農地の農地化の進行程度などによって影響を受ける (次章も参照のこと)。とりわけ、持続的でない土地管理によって土壌有機炭素 (SOC) が枯渇したり、土壌の肥沃度や質が低下した結果、生産性が低下し、気候ハザード (干ばつや洪水、病害虫や疾病が発生しやすい状態など) に対する脆弱性が悪化した地域などでは、小規模農家は、土壌生産性の回復を助けるさまざまな農法から恩恵を受けることができる (Stocking, 2003; Lal, 2004; Cassman, 1999; FAO, 2007)。

耕作地の場合、土壌有機炭素や土壌窒素の濃度は、アグロフォレストリーや、休閑地管理の改善、緑肥、窒素を固定する被覆作物、総合的養分管理、土壌攪乱の抑制、作物残渣の鋤き込みといった手法の導入により改善するこ

とができる。放牧地では、草地管理の改善、草地火災の防止、飼料や飼料マメ類の改良品種の導入などが、炭素管理を改善する重要な手段である。複合農業は、土壌侵食を抑制し、窒素分に富んだ作物残渣の施与により土壌有機物を増やすことで、土壌劣化を改善し、レジリエンスを強化する。例えば、エチオピアやタンザニアで実施されている耐干ばつ複合農業では、キマメ (*Cajanus cajan*) やシロアカシア (*Faidherbia albida*: 現地固有の窒素固定マメ科高木で、さやが家畜の飼料に、葉は有機肥料に利用される) といった多目的マメ科樹種などが栽培されている。マメ類の生産量が多いと食事の多様化につながるうえ、食料不安の季節にはタンパク質の供給源にもなる。

地域ごとの気候条件は、小規模農業による炭素・窒素管理手法の選択——これは生計の改善に最も効果的である——に影響を与える。例えば、無機質肥料の施与は平均的な気候条件下では増収をもたらすが、降水量の変動が大きい場合や、雨季の遅延といった条件下では、むしろ減収につながる可能性がある。逆に、輪作は平均的な気候条件下では減収するが、降水量の変動が大きい場合は、減収リスクを低減したり、増収をもたらす可能性がある (表8)。

窒素肥料利用の改善は、小規模農業システムの持続可能性にとってきわめて重要だ。窒素肥料利用に関する指標によると、肥料の利用率や穀物収量は東アジアのほうがサハラ以南アフリカよりもはるかに高いが、施肥によって得られた収量の増加幅は、サハラ以南アフリカのほうが東アジアよりも大幅に大きい (表9)。サハラ以南アフリカでは、土壌養分収支も高い——肥料や堆肥によって施与された養分よりも多くの養分が収穫物に吸収されるため、土壌養分が持続不可能な枯渇状態にあることが示唆される。東アジアでは逆に、施肥量が作物の養分吸収量を上回る。

東アジアでの無機質肥料の濫用は明らかに問題だ。過度な投入は何ら効果をもたらさないどころか、地下水や地表水の汚染や、温室効果ガスの排出という形で深刻な

中国における節水技術の恩恵

中国黄淮海平原は、同国の農業経済や食料安全保障にとってきわめて重要な地域だ。しかし、過去半世紀の間、気候変動による気温の大幅な上昇や、湿度や降水量の低下といった影響により、生産性が脅かされてきた (Yang *et al.*, 2015; Hijioka *et al.*, 2014)。

同地域の5つの省では、世界銀行が出資するプロジェクトが、およそ50万haに及ぶ農地の水管理の向上を目指し、節水技術やその他さまざまな改良農法 (干ばつ耐性作物品種の導入など) の普及を推進している。プロジェクトの一環として建設された灌漑設備は、同地域の1,000にのぼる水利組合に譲渡された。こ

れらの組合は政府の支援で結成され、水管理に関するあらゆる意思決定に参加する。また、最新の水管理技術のトレーニングのためのプラットフォームにもなっている。

同プロジェクトは、220の農業組合や協同組合の設立を支援し、さまざまな研究や、実験・デモンストレーション活動を実施してきた。適応策と節水技術の開発が活動の主眼であり、これらの手法や技術はその後、農家に実際に取り入れられてきた。こうした取り組みにより、およそ130万人の農家が、灌漑コストの低減や、枯渇した地下水の涵養、水生産性の向上といった恩恵を受けている。

出典：FAO AND WORLD BANK (2011)

表 8

ザンビアにおける異なる気候影響下での作物収量への影響

	高収量		低収量	収量損失の低減が見込まれるもの
	マメ科植物の間作 無機肥料 改良種子		輪作	輪作 改良種子 肥料への適時のアクセス
平均的な気候条件				
降水量の変動の増大	輪作 肥料への適時のアクセス		無機肥料	輪作
雨季の遅延	改良種子 肥料への適時のアクセス		無機肥料	無機肥料
季節の気温上昇	肥料への適時のアクセス		改良種子	改良種子

出典：Arslan *et al.* (2015) の表6、7、8に基づく。

表 9

東アジアおよびサハラ以南アフリカの小規模農業における窒素利用の違い

	東アジア	サハラ以南アフリカ
穀物生産に施用される平均窒素量 (kg/ha)	155.0	9.0
平均穀物収量 (t/ha)	4.8	1.1
窒素の偏要素生産性 (穀物 (kg) / 窒素 (kg))	31.0	122.0
窒素収支 (穀物中の窒素 (kg) / 施用された窒素 (kg))	0.5	1.8

出典：Fixen *et al.* (2015) の表3に基づく。

- ❧ 環境負荷を引き起こしている。それゆえに、東アジアでは、適切な施肥管理——無機質肥料利用の低減や、正しい用量、施肥の時期、施用位置の徹底——が、農業生産の持続的な強化にとっての重要課題となっている。

一方、サハラ以南アフリカでは、無機質肥料の利用を適切なレベルまで増やすことで、小規模農家の作物収量が大幅に増える可能性がある。しかし、多くの地域ではたいがい土壌が劣悪な状態にあるため、適切な施肥管理と併せて、土壌の質や土壌の生態系サービスの改善に向けた支援も不可欠だ。

炭素・窒素管理の改善は、漁業や林業にとっても重要である。BOX 11に、総合的な気候変動対応型養殖システムの一環として炭素管理手法を導入しているベトナムでの実践例を紹介している。

農法の改善による食料安全保障へのメリット

以上のように、さまざまな改良農法を導入することで、食料安全保障の大幅な向上を達成することができる。IFPRIのIMPACTモデルを用いた2050年の作物収量のシミュレーションによると、収量が最も増加するのは、トウモロコシでは耐暑性作物品種を導入した場合、コムでは高窒素利用効率品種を導入した場合である。コムギについては、不耕起栽培が最善の選択肢である(Rosegrant *et al.*, 2014; De Pinto, Thomas and Wiebe, 2016)。

こうした技術を取り入れることで、食料エネルギーの供給量が増加するうえ、農家の所得も向上し、食料価格も抑制されるため、食料安全保障にとっても大きなメリットとなる。途上国の栄養不足リスク人口は、2050年⁵までに、高窒素利用効率の作物品種が広く導入された場合で12% (ほぼ1億2,400万人)、不耕起栽培が広く導入された場合で9% (9,100万人)、耐暑性作物品種または精密

5 これらの推計に使用されたIFPRIのIMPACTモデルのベースライン・シナリオは、2050年の栄養不足人口を約10億人と想定している。高窒素利用効率の作物品種の導入による飢餓リスク人口の12%の減少が1億2,400万人となるのはこのためである。

農法が導入された場合で8% (8,000万人) 減少するとみられる(図14)。

これらのシミュレーション結果は、各農法が単独で導入されていることと、いずれの手法にも、導入される地域の個別の社会的・経済的、農業生態学的文脈が反映されていることを想定している。気候変動対応型の農業アプローチでは、まずエビデンスの基盤を構築し、個々の現場の実情に的確に対応した農法を特定する。したがって、こうした手法はアприオリに決定されるのではなく、エビデンスを構築し、対話を重ねたうえで決定される。あらゆるケースに適用できる標準的な気候変動対応型農法のリストは存在しない——不耕起農業は顕著な適応利益をもたらす場合もあれば、そうでない場合もある(Arslan *et al.*, 2015)。さらに、農家は個々のニーズに合わせ、複数の手法の多種多様な組み合わせを採用できることを認識することも重要だ。

多くの場合、作物生産活動と同じような順序で、1つの手法に別の手法を「積み重ね」、複数の改良手法を組み合わせることは道理にかなっている(つまり、まずは整地を行い、その後作付け、作物管理の改善、灌漑を行うといった具合に)。収量予測モデルによると、複数の改良農法を組み合わせると、単独の手法を用いた場合と比較して、食料安全保障へのメリットはより大きくなる(窒素利用の改善のみを適用した場合に比べ3倍の効果が得られる)(Rosegrant *et al.*, 2014)。

生計のレジリエンス構築に向けた4つの戦略

多様化

多様化は、気候変動に適応するための重要な手段である。というのも、多様化は気候の変動性が生計に打撃を与えるリスクを分散させるのに役立つからだ。だが、まずここで、「農業の多様化」と「生計の多様化」を区別しておく必要がある(Thornton and Lipper, 2014)。「農業の多様化」とは、農場や農業コミュニティが、新たな作物

ベトナムにおける気候変動対応型養殖業

ベトナム北中部地域における沿岸養殖業の保護には、気候変動の適応策と緩和策の両方が必要とされている。実現可能な選択肢のひとつが、従来の養殖システムにティラピアの単性養殖を導入する、気候変動対応型の養殖手法の開発である。

タイホア省で実施された試験養殖の結果は、ティラピアの導入が適応戦略として適切であり、気候変動対応型農業の3つの目的——生産性の持続可能な向上、適応能力の向上、温室効果ガス排出削減——のすべてを満たすことを示している。このアプローチにより、生産効率が大幅に向上し、世帯収入は14～43%増加した。魚種ポートフォリオが多様化されたことで、漁業シ

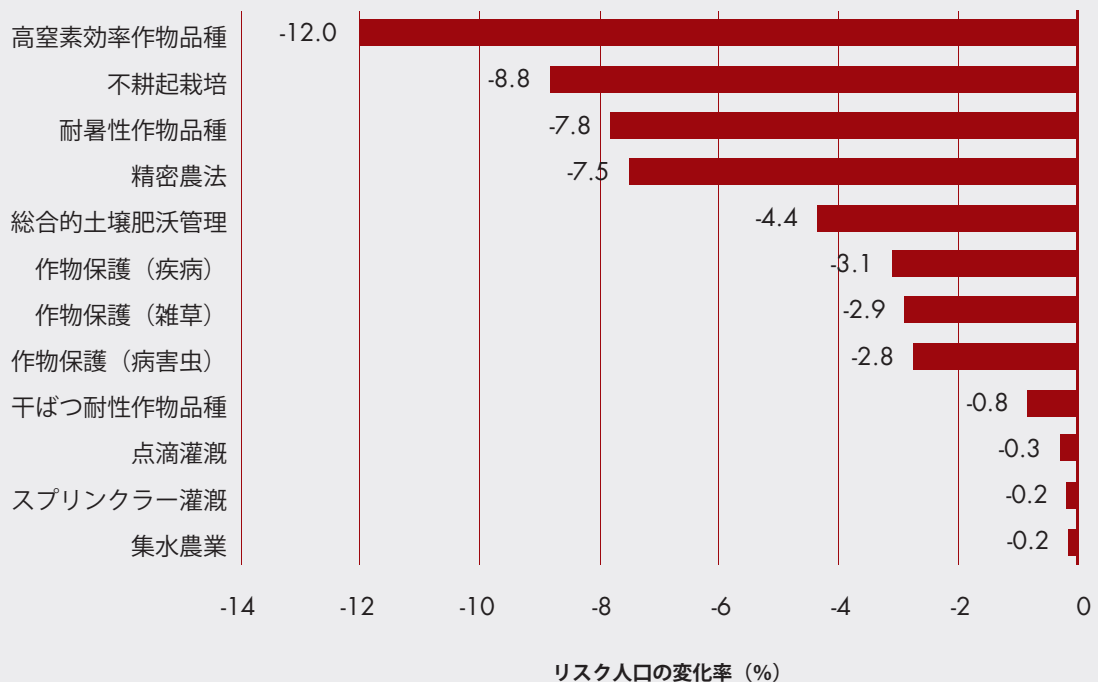
ステムのレジリエンスも高まった。さらに、ティラピア池に天然飼料や過剰栄養物を活用することで、ペレット飼料の必要性を低減でき、温室効果ガス排出削減にもつながった。

気候変動対応型の養殖業の推進や拡大には、政策によるインセンティブや法規制、強固な制度的枠組みが求められる。ティラピアの導入により、全体的な生産量が増大するため、市場（特に輸出市場）を拡大する取り組みも必要だ。導入のネックとなる低品質で高コストの飼料といった問題は、農家グループと飼料・種子供給業者とを直接連携させることで打開できる。

出典：Trinh, Tran and Cao, 2016.

図 14

ベースライン・シナリオと比較した、2050年における改良農業技術導入後の飢餓リスク人口の変化



出典：Rosegrant *et al.* (2014)、IFPRIのIMPACTモデルでのシミュレーションに基づく。

種・品種、あるいは家畜品種を取り入れて、多作目・多品種・多作化を図ることをいう。これには、景観の多様化や、さまざまな作物や作付けシステムの時空的分散が伴うこともある。他方、「生計の多様化」とは、農家世帯が複数の農業・農外活動に従事することをいう——例えば、自分の農地での農作業に加え、他所での臨時農業労働や、都市での農外就労、農産物の加工作業、さらには、店を開くといった農外事業の経営などを併せて行う場合がこれにあたる。「農業の多様化」、「生計の多様化」のいずれも、気候リスクを管理する有効な方法である。

気候ショックがさまざまな農業・農外活動に及ぼす影響は千差万別であるため、農業や生計を多様化することで、こうしたショックによる収入への打撃が軽減でき、将来のリスクを管理するための選択肢の幅も広がる。農作物保険や社会保護といったリスク緩和策と組み合わせれば、多様化は所得増につながり、貧困削減が加速する。ただし、生産性の低い活動へと多様化してしまうと、かえって平均所得が減ることになる——これでは、ショックに見舞われた場合に資産を売却せざるを得なくなり、リスクに対する脆弱性と曝露がさらに高まる悪循環に陥りかねない(Dercon, 1996)。また、気候リスクを緩和する目的で新たに他作物を導入しても、それが同じような被害を受けてしまったら元も子もない(Barrett, Reardon, and Webb, 2001)。それでも、農地の状態が、多様化が困難なほど限界的であったり、収益性の高い作物の単作によほど適しているのでもない限り、作物の多様化は有力な選択肢となりうる(Kandulu *et al.*, 2012)。

気候の変動性に直面した際に農家世帯が講じる多様化戦略は、曝露の性格に加え、どのような制度が整備され、機能しているかによって異なる。例えば、降水量の変動が大きくなると、マラウイの農家は別の収入源や雇用を探して「生計の多様化」を図るのに対し、ザンビアの農家は畜産を組み合わせる「農業の多様化」を図る(BOX 12)。天候リスクが高い場合、サハラ以南アフリカの多くの世帯は作物-畜産複合農業への転換を図り、所得変動を平準化するための資産として家畜を用いる傾向にある

(Herrero *et al.*, 2010 and 2013; Baudron *et al.*, 2013)。複合農業では、作物生産に使用する窒素投入量のおよそ15%を家畜堆肥で賄えるため、投入財のコストを節約できるうえ、家畜糞尿の排出原単位の大幅な低減にもつながる(Liu *et al.*, 2010; Herrero *et al.*, 2013)。そのうえ、営農システムの多様化・複合化は、農地土壌の生態系サービス——これは総体的なレジリエンスの強化に資する——の保全向上にも重要な役割を果たすことができる(Ricketts, 2001; Kremen and Miles, 2012)。

リスク管理に向けた支援

貧困緩和にとってきわめて重要なツールである社会保護制度もまた、気候変動下における小規模農家のリスク管理を助ける重要な役割を果たしている。社会保護は、現金給付から学校給食や公共事業に至るまで、さまざまな形態をとる。農業投入財購入補助金制度も、価格変動に対する小規模農家の脆弱性を低減するという点で、社会保護機能を持つといえよう。ラテンアメリカとサハラ以南アフリカの事例では、最貧層や最周縁層であっても、社会保護により、食料安全保障、人的資本の育成、経済的・生産的能力の向上といった点で、顕著な恩恵が認められる。

社会保護の諸ツールは、定期的、安定的な給付を保証することで、世帯がリスクをより適切に管理し、より収益性の高い生計活動や営農活動に従事するのを可能にする。女性が給付の受け取り手である場合、社会保護は女性のエンパワーメントを助けるだけでなく、世帯の総体的な厚生の上にも寄与する。なぜなら、女性にとって、食料や栄養の確保や、子どもの厚生が最優先事項であるからだ。社会保護プログラムはまた、農村世帯の農業投資に関する意思決定にも重要な影響を及ぼし、ひいては長期的な食料アクセスにも好影響をもたらす(FAO, 2015c)。

ザンビアでは、降水量が平均を下回った地域に暮らす世帯では1日のカロリー摂取量が低下し、食料や非食料への支出も減少することが報告されている。こうした影響は最貧層世帯で最も顕著であった。最貧層の2万世帯

マラウイとザンビアにおける気候リスクと多様化、小規模農家の厚生

マラウイとザンビアは、気候変動の悪影響を最も受けやすい15カ国のうちに挙げられており (Wheeler, 2011)、特に農業の脆弱性が高い。農業は人口の大きな割合を占めるが、主として天水自給生産に依存しているため、さまざまなショックに脆弱である。

これら2つの国で、多様化は気候変動緩和戦略としてどれだけの効果をあげているのだろうか。最近のFAOの研究では、さまざまな多様化のタイプが報告されている——農業部門では、他作物、家畜、自然資源関連活動、他の農場での農作業などへの多様化、非農業部門では、賃金雇用、自営業、(出稼ぎによる)送金、(農地の)賃貸などによる多様化が挙げられる。

同研究によれば、気候の変動性が大きくなると、マラウイでは作物、労働、収入の多様化の割合が増え、ザンビアでは家畜の多様化が増える。このことから、気候リスクへの曝露は異なるタイプの多様化を促すことがわかる。ザンビアでは、多様化のパターンはさまざまである(下図を参照)——平均季節的降水量が多い地域では、作目の多様化を図る傾向にあり、降水量の変動が大きい地域では、家畜の多様化が多く、収入の多様化

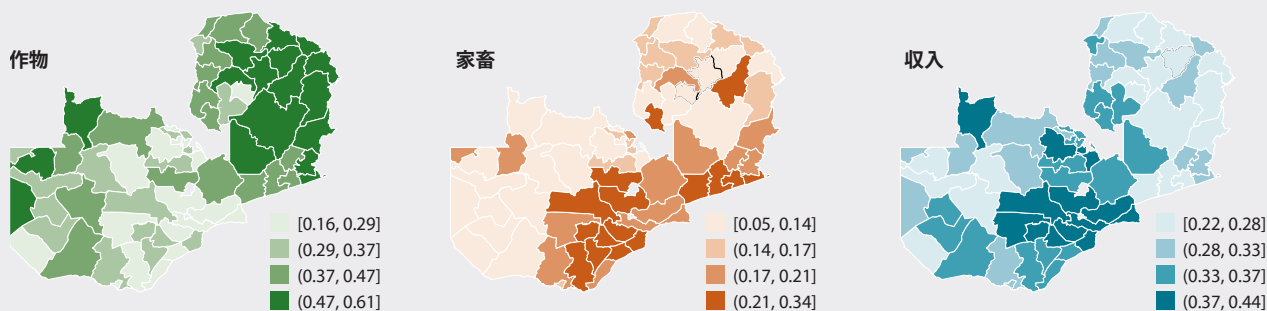
は、天候の変化との明らかな相関パターンはみられない。

いずれの国でも、普及サービスへのアクセスは一般に、作物、労働、収入の多様化を促していた。マラウイで肥料購入補助金を受けている世帯は、作物と収入の両方を多様化させる傾向が高かったのに対し、ザンビアではそうした世帯が収入の多様化を図る傾向は低かった。このことは、多様化に向けた政策を立てるに当たって、地域の制度が多様化への動機づけとどのように作用し合うのかを把握しておくことが重要であることを示している。

ザンビアでの作物の多様化を除き、両国のどのタイプの多様化も、1人当たりの消費または収入の増加につながっている。マラウイでは、収入の多様化により、農家世帯の消費レベルの変動が低減している——これは食料安全保障の重要な指標となる。ザンビアでは、3つのタイプの多様化のいずれかを行った世帯は、貧困ライン以下に落ち込む傾向が低かった。多様化と収入の相関性に関する結果は、ショックに対するレジリエンスの構築に必要とされる多様化の効果を高める制度の改善における、政策の介入点を示唆している。

ザンビアの農村部における多様化指数 (地域別)

ジニーシンブソン指数 (2015年)



出典：FAO (2015b) および Arslan *et al.* (2016b) に基づく。

» を対象にした現金給付プログラムにより、天候ショックによる被害は大幅に緩和された。しかし、給付金プログラムへの参加は被害を緩和するのに役立ちはしたものの、ショックを完全に克服するには不十分であった。こうしたことから、社会保護プログラムは、災害リスク削減などの気候リスク管理と併せて実施することが重要である (Asfaw *et al.*, 2016b)。

しかし、既存の社会保護プログラムで、気候リスクを考慮しているものは数少ない。こうした不備を埋め合わせるため、FAOをはじめいくつかの人道支援・開発援助関係者は、リスク情報に基づく、ショックに備えた社会保護システムの各国政府による構築を支援している。こうしたシステムは、経済リスクや気候リスクに関するリスク基準に基づき、危機に先立って支援を提供する (UNEP, 2016; Winder Rossi *et al.*, 2016)。早期警報システムとうまく連動させ、農業や食料安全保障や栄養に関するパラメータを取り込むことができれば、社会保護システムは、緊急時における即時対応を計画する際にも活用することができる (FAO, 2016a)。

上述のようなアプローチを実行に移すには、現金給付や当面の生産的資産の供与、専門的なトレーニングの提供といった介入策を、さらにスケールアップする必要がある。市場が適切に機能し、通貨が安定している場合、現金給付は、コスト効率がよく、インパクトが大きく、柔軟性が高いというメリットがあり、受益世帯の選択肢の幅も広がる。にもかかわらず、2015年には、現金給付と食料配給券は、人道支援のわずか6%を占めるに留まった (ODI, 2015)。現金給付をベースにした介入策の実効性を高めるには、防災・危機管理計画に現金給付を組み入れ、民間部門との連携を強化して電子決済やデジタル送金を活用し、さらに可能であれば、給付を捫入れして緊急事態の再発の際にも役立つ中長期的な社会支援構造を構築する必要がある。

社会保護と気候変動政策の介入点や、両者の運用上の接点は数多く存在する。例えば、公共事業プログラム (生

産的セーフティネット・プログラムを含む)であれば、世帯収入の向上に資すると同時に、気候変動対応型農業へのコミュニティの参加や、グリーンジョブ——廃棄物管理や森林再生、土壌保全などの分野における雇用——の創出にも資するようなプログラムをつくるのが可能だ (Asfaw and Lipper, 2016)。一方で、降水量や地域の平均収量、植生状況といった (気象衛星などで) 観測されたインデックスに基づき保険金が支払われる「インデックス保険」が、リスク緩和ツールとして一部の国々で試験運用されている。インデックスがあらかじめ決められた値を上回った場合、保険金が農家に支払われるというものだ。携帯電話での支払いサービスもある。もっとも、インデックス保険それ自体は気候関連リスクへの完全な解決策にはならない。例えば、インドの農業天候保険 (Weather-Based Crop Insurance Scheme) は、保険料の助成があったために、保険加入者に収益性のより高い (しかしリスクも高い) 農業生産システムへの転換を促したと考えられる (Cole *et al.*, 2013)。しかし、インデックス保険は通例、手数料などのコストが高つくため、普及は概して限定的だ。加えて、保険制度の信用面にも問題がある。

天候条件に関する情報の精緻化は、小規模生産者が、例えば、天候予報に基づいて作付け日を調整したり、適時に家畜を収容したりすることで、気候の予測可能な変動に適応するのに大いに役立つ。複数の調査によると、アフリカの東部と南部で季節予報にアクセスできた農家は、少なくとも一部の営農判断を予報に基づいて変更したために、収穫ロスを抑えることができたという (O'Brien *et al.*, 2000; Ngugi, Mureithi and Kamande, 2011; Phillips, Makaudze, and Unganai, 2001, 2002; Klopper and Bartman, 2003; Mudombi and Nhamo, 2014)。ケニアの農家は、気候予測情報へのアクセスにより、平均収入の4分の1に相当する損失を免れることができた (Erickson *et al.*, 2011)。情報や通信技術にアクセスできる農家は、日常的に気候情報を活用する傾向にある (Ramussen *et al.*, 2014)。したがって、例えば、季節予報 (これは気候情報の主要領域である) を共有できる制度を構築することで、農家のリスク曝露を減らす能力を飛躍的に高めることもで

きる (Hansen *et al.*, 2011)。同様に、災害救助機関にとって、季節予報の活用を妨げる制度上の壁を打開することは、気候危機に見舞われた際の人命救助にとってきわめて重要であることもわかっている (Tall *et al.*, 2012)。

ジェンダー格差の解消

気候変動への対応において、男性と女性では優先順位や対処能力が異なるため、政策立案者や諸制度は、農村部の生計のレジリエンスを強化する介入策を構築するに当たって、ジェンダーの差異を明示的に認識する必要がある (Acosta *et al.*, 2015; Gumucio and Tafur-Rueda, 2015)。社会通念は往々にして、農業においても「ジェンダーロール」を押しつけ、女性の選択肢を狭めることで、女性が必要とする情報の種類やアクセスできる情報経路を制限する (Archer and Yamashita, 2003; McOmber *et al.*, 2013; Jost *et al.*, 2015)。例えば、セネガルでは、農耕用の家畜を扱えるのは男性のみであるため、雨季入りに関する情報は男性にとって重要であるのに対し、女性はこうした情報に基づいて行動する能力に乏しく、むしろ降雨の中断や乾季入りの予報を知りたがる傾向にあるという (Tall *et al.*, 2014)。

Vi Agroforestry (スウェーデンの開発援助団体) と世界銀行が実施したケニア農業炭素プロジェクト (Kenya Agricultural Carbon Project) は、さまざまな領域——土地や樹木の保有権、労働、知識、給付金の配分、社会参画、リーダーシップ——におけるジェンダー格差の解消に向けたいくつかの戦略に光を当てている。例として、土地の所有権を持たない女性を含むグループ連帯保証制度、女性にも開かれた技能トレーニングの機会への投資 (女性のコミュニティ・ファシリテーターの雇用など)、女性からの要望の多い苗木の供給 (薪炭材、飼葉、木陰になる樹木、果実樹など)、ローテーションによるリーダーシップの体制やルールづくり、融資や保険制度への女性によるアクセスの改善などが挙げられる (World Bank, 2010a; Vi Agroforestry 2015; Shames *et al.*, 2012)。インド・マハラシュトラ州の深刻な水不足に悩むカンバーワディー村で実施された参加型プロジェクトでは、集落の近傍に

給水所や材木置き場を設けることで、女性が水汲みや薪の調達に費やす時間を短縮し、これにより、村落の意思決定プロセスへの女性の参画も促進された。プロジェクトは結果として、貧困世帯の所得増につながった (Gray and Srinidhi, 2013; World Bank, FAO and IFAD, 2015)。

移住

環境や気候による生計へのストレス——干ばつ、洪水、天候不順など——により、農村に暮らす人々はしばしば移住を余儀なくされる。過度な農地化が進行すれば、土壌劣化が進み、生産高が低下し、収入も落ちる。同様に、長引く干ばつによる渇水や、水利用をめぐる争奪も、貧しい農家が土地を放棄する契機となる。一時的・季節的・恒久的な移住は、生計の多様化の一形態とも言え、多くの農村世帯に多大な利益をもたらしているのも事実だ。移住は所得の多様化戦略の主要な柱のひとつであり、世帯のレジリエンスを底上げし、生産性を高めるための投資の手段を提供する。その一方で、移住にはさまざまな困難やリスクや危険が伴う。

ある研究では、気候や環境による負荷が原因で、今世紀半ばまでに数億もの人々が故郷を離れて移住せざるを得なくなると予測している (IIED, 2010)。こうした見通しも手伝って、移住問題はいまや、気候変動適応の枠組みの中で取り組むべき課題に位置づけられるようになった。各国はそれぞれの適応戦略において、次の2つのアプローチのどちらかをとる傾向にある (KNOMAD, 2014)。1つ目の最も一般的なアプローチは、適応策を移住の圧力を軽減する一手段とみなし、農法やインフラを改善することで、人々が今の場所で暮らしていけるようにすることだ。これに対し、もう1つのアプローチは、移住それ自体を、脆弱な地域への人口負荷を緩和する適応戦略のひとつと考えるものである。開発政策立案者にとって特に大きな関心事となっているのは、すでに脆弱な地域を離れ外部に暮らす移住者が持つ、故郷のコミュニティの人々の気候変動への適応・対応を支援する潜在能力である。

社会保護や活発な労働市場のための政策は、移住に伴

うリスクの多くを緩和する重要な役割を果たす。質の高い教育や技能トレーニングの機会は、移住を決めた農村住民（とりわけ若年層）や、持続可能な農業でのより技能集約的な仕事を探す人々の雇用見通しを高める。適切な輸送・通信インフラは、公共部門により直接的に、あるいは民間投資を促すことによって整備することで、移動や送金に伴うコストを低減したり、雇用や事業機会に関する情報の流通を円滑にするのに重要となる。■

適応策のコスト

小規模農業生産者の気候変動への適応能力の構築には、実際どれだけのコストがかかるのだろうか。気候ファイナンスの新たな財源を確保するに当たって、こうした問いがしばしば提起される。ある文献レビューは、気候変動適応策の（経済全体に占める）費用と便益を試算した500件を超える論文を検討している（Watkiss, 2015）。研究によって推計方法（対象地域、使用された気候変動シナリオ、手法やモデル、対象期間、適応策、対象セクターなど）が異なるため、推計結果にはばらつきがあるものの、さまざまな国際的研究から、「無介入」のコストは「介入策」のコスト——つまり、気候変動に適応するためのコスト——よりもはるかに大きいことが示唆されている（Stern, 2007; OECD, 2012; Stern 2014; OECD, 2015）。国レベルの分析のなかには、無介入のコストと適応策のコストとを相互に比較したものもある。ここではこうした研究の中から、就農人口の大半を小規模農家が占める途上国を対象にした2件の研究と、4ヵ国の小規模農家に焦点を当てたFAOによる研究を取り上げる（BOX 13）。

ウガンダを対象にした研究では、気候変動により農業、水資源、エネルギー、インフラが被る経済的コストは、社会経済的発展や気候変動の深刻度をどの程度に想定するかにより、2010年から2050年の間に累積で2,730億USドルから4,370億USドルの範囲になると推計されている（Markandya, Cabot-Venton and Beucher, 2015）。農業部門のみを見ると、無介入のコストは、農畜産物の生産高低下や輸出減による損失の値として、220億USドルか

ら380億USドルにのぼるとみられる。他方、さまざまな適応策——灌漑システムの効率化、改良作物品種や環境に適応した生産性の高い家畜品種の導入、信用制度の整備など——の予算は、2025年までに年6億4,400万USドルほどが見込まれており、したがって無介入のコストはこの46倍にも及ぶことになる。

ベトナムの事例研究も同様に、気候変動の経済的コストが適応策のコストをはるかに上回る可能性を示している（World Bank, 2010c）。適応策は気候変動に起因する経済損失を完全に防ぎはしないものの、損失の程度を大幅に低減する。適応策をとらない場合、気候変動による農業損失は年間およそ20億USドルにのぼると推計される。むろん、適応策を講じた場合も、ある程度の損失はまぬがれない。しかし、その額は5億USドル程度に留まるとみられ、したがって、年間15億USドルものコスト削減につながる。適応策には、例えば、作付け日の変更や、干ばつ耐性や塩ストレス耐性のある品種の導入といった農家の自発的な適応戦略に加え、灌漑水路建設に向けた投資や、新技術の研究開発への補助金増額といった政府による介入策がある。2010年から2050年までの適応コストは、年間およそ1億6,000万USドルと見込まれており、その額は、適応によって節約できる損失額と比べればわずかなものだ。

小規模農業における気候変動適応策のコストについて体系的に検討した研究はまだ少ないものの、既存のエビデンスは、圧倒的に「正」の費用対効果を示していることがわかる。このことは、単に無介入のコストと介入策のコストの収支として捉えた場合だけにとどまらず、気候変動対応型の農法への投資コストと、投資の結果もたらされる増収や生計改善、食料不安人口の削減といった便益とを比較した場合に、なお一層明らかだ。したがって、いかに持続可能な農業への転換を図っていくか、そして、こうした転換における小規模農家の負担をいかに抑えることができるかが重要な問題であるといえる。■

小規模農家の適応に対する投資の便益と費用

農法の改善は、小規模農家の生産システムにおけるレジリエンスを構築し、炭素・窒素管理を改善する重要な手段である。しかし、こうした手法を導入している農家の割合はかなり低い。問題は、気候変動の負の影響を軽減するのに必要なレベルにまで適応策の導入率を上げるには、どのくらいのコストがかかるかである。4カ国で実施された世帯調査からの計量的推計値に基づき、気候変動下での農家の営農判断を検討したモデル化研究が、この問いに答えるためのヒントを与えてくれる (Cacho *et al.*, 2016)。この研究は、農業への気候変動影響にきわめて脆弱なバングラデシュ、インド、マラウイ、タンザニアの4カ国における4つの地域を対象としている。

同研究は、2050年に予想される気候変動対応型農業の導入率を、経験的エビデンスに基づき予測した。導入率が最も高かったのはマラウイの96%で、タンザニア(64%)、インド(62%)、バングラデシュ(54%)*と続く。しかし、予測された導入レベル——いずれも比較的高レベルではあるが——では、ほとんどの場合、気候変動影響を完全に相殺するには不十分である可能性が高い。これが示唆するのは、気候変動影響の打開に必要な抜本的な変革を達成するには、それに向けた環境整備に加え、高い適応ポテンシャルを備えた技術を促進するためのより高レベルの投資が不可欠であり、気候変動対応型の農法のみでは不十分であるということだ。

同研究はまた、個々の現場で予期される変化に適応した改良種子の導入にかかるコストと、変化への適応によってもたらされる便益を比較検討している。適応を行わない場合、深刻な気候

変動シナリオ下では、小規模農家に対する気候変動のコストは相当大きくなる(表A)。干ばつ耐性種子を導入した場合、収量を控え目に想定しても、気候変動による収量損失は(国によって幅があるが)34~51%の範囲で低減される。投資の正味現在価値(NPV)は、マラウイの平均203USドル/haから、インドの天水地帯の766USドル/haまでの範囲になると推計された。

これらの結果から、適切に設計され、的を絞った適応イニシアティブは、予想される気候変動影響の下で小規模農家に高い見返りをもたらすことがわかる。もっとも、改良種子の場合、円滑な導入にはサプライチェーン全体を対象にした介入策——すなわち、十分な種子の生産量の確保から、販売や購入に必要な地域事業の支援に至るまで——が求められる。小規模農家が種子を入手するのにかかる取引コストを抑えるシステムの構築も、効果的な政策の重要な一要素となる。

分析はさらに、2つの重要な気候変動適応策——灌漑と節水技術——の費用便益率も検討している。気候変動下における灌漑の平均的な便益は、バングラデシュで226USドル/ha、インドで494USドル/haと推計されている(表B)。

便益は、小規模農家の作物収入に基づき、ha当たりの回避された損害額として算出された。小規模システムの生産者が灌漑を改善するのにかかるha当たりのコストは比較的低いため、結果として、費用便益率はかなり高くなる。このことは、効果的な適応への投資を今行えば、小規模農家に高い見返りをもたらすという主張を裏づけている。

表 A

2020~2050年の期間における4カ国での改良種子導入の純便益

(正味現在価値、割引率5%)

	気候変動による損失の推定コスト		差 %	対象面積 (100万ha)	改良種子の 正味現在価値 (USドル/ha)
	現在価値(100万USドル)				
	ベースライン (適応なし)	改良種子			
バングラデシュ	221	125	43	0.2	454
インド	13 595	6 626	51	9.1	766
マラウイ	981	516	47	2.3	203
タンザニア	8 567	5 622	34	9.7	303

注：現状下でのベースケースと、改良種子が開発され、最も深刻な気候シナリオ(RCP 8.5)の下での損失を3割低減するケースを比較。改良種子導入を支援する政策があると想定し、ha当たりのコストは、肥料と種子の購入コスト、流通コスト、管理コストの合計を、政策の対象となっている総面積で除した値として算出。政策の実施にかかるコストを差し引いた、30年間の純利益を推計。

出典：Cacho *et al.*, 2016。

(続き)

表 B

2050年における灌漑の便益と費用 (ha当たり)

	灌漑の便益 (USドル/ha)	灌漑インフラのコスト (USドル/ha)		便益/費用	
		小規模	大規模	小規模	大規模
バングラデシュ	226	29	79	7.8	2.9
インド	494	29	79	17.0	6.3

出典：Cacho *et al.*, 2016.

* LPJmI-MAGPIEモデルのフレームワーク (Popp *et al.*, 2016; Lotze-Campen *et al.*, 2008; Bondeau *et al.*, 2007) を用いて、異なる気候シナリオ下での作物収量と価格を推計した。作物収量予測値は、IFPRIのIMPACTモデルの予測値と整合した。バングラデシュとインドの結果は国を代表したのではなく、使用された調査は一部の村落のみを対象としたものである。

気候変動対応型農業システムへの転換

適応策の阻害因子の同定とトレードオフの評価

気候変動対応型農業は、生産性の持続可能な増加、打撃への適応力やレジリエンスの強化、温室効果ガスの排出削減という3つの目的の間でトレードオフ(妥協点)が生じる場合もあれば、逆に、3つの目的が相乗効果を生み出す場合もあるとの認識に立っている。こうした認識は、気候変動下での貧困の削減に向けて、小規模農業を変革するためのさまざまな選択肢を検討する際にとりわけ重要となる。気候変動の緩和と食料安全保障の確保とのトレードオフをめぐるのは、激しい論争が続いている——というのも、途上国の小規模農業生産者は、自分たちが引き起こしたわけでもない気候変動影響を緩和するために排出削減コストを負担するよう強いられるうえ、気候変動から最も大きな痛手を被るのは自分たちであるという懸念があるためだ (Lipper *et al.*, 2015)。

気候変動対応型アプローチは、現場ごとのエビデンス基盤の構築を通じて、緩和のコストを特定することで、こうした問題に明示的に対処する。まず、小規模農家が気候変動対応型の持続可能な農業システムへと転換を図る際に、どういった障壁が妨げとなっているかについての適切な評価が行われる (BOX 14)。次いで、こうした評価結果を踏まえ、あらゆる利害関係者の間で対話が図られ、スムーズな転換のための環境整備に向けて、政策やインセンティブのあり方をどのように変えていく必要があるかを決定する。

トレードオフが可能な部分を見出だしていくには、変化にどれだけのコストがかかるのかを明確に認識しておく必要がある。例えば、土地管理手法の改善や土地の再生による土壌炭素貯留の強化には、投資コスト(囲いの設置や、種子や農業機械の購入など)や、機会コスト(一時的な生産損失など)、運用コスト(土壌炭素の維持増大に必要な年間労働投入量など)が伴う。したがって、小規模農家にとって、土壌炭素貯留手法は導入コスト(特に初期費用や移行期費用)がかなりかかり、場合によっては、コストが農家自身への便益を上回りかね

ない。しかしその反面、景観や流域機能が改善されることで、コミュニティへの便益は大きくなる。

表10はこうしたコストの一例を示している。数値は、中国・青海省でヤクを飼養する牧畜民が劣化の激しい草地の回復に投資した場合に、利益が出るまでに要する年数を推定したものだ。投資1ha当たりの正味現在価値(NPV)⁶で見た場合、最小規模の生産者で利益が最も小さい。さらに、利益が出るまで最も長い期間待たなければならない(投資が現状と同水準の収入を生み出すようになるまでに10年もかかる)。土地の劣化が激しいと回復にかかるコストもかさむのは当然だが、比較的良好な土壌であっても、土地管理手法の改善に伴うコストは、農家にとってかなりのトレードオフとなる(FAO, 2009)。

農業生産者が負担するコスト——したがってトレードオフでもある——は、政策や制度的環境に左右される。それゆえに、現行の政策(例えば投入財購入補助金など)のあり方を見直す必要性を検討したり、社会保護プログラムの気候変動リスクに対する有効性を評価することは、気候変動対応型農業への転換に向けた重要な一歩となる。例えば、無機質肥料の購入補助金は一般に、肥料の効率的な使用を促すインセンティブにはならない——むしろ、実際には逆効果をもたらす恐れがある。これに対し、気候リスクを社会保護プログラムの適用対象に組み入れることは、比較的容易に実施しうるきわめて有効な制度転換だといえる。また、農業研究に、気候変動への適応や緩和に関する研究課題を取り込むよう方向づけることも、気候変動対応型農業の実現に向けた環境整備の重要な一要素となる(BOX 15)。

資金調達における課題

小規模農業による食料生産システムの持続可能性は、こうした農家が気候変動対応型の農法・技術を導入する能力を備えているかどうかにかかっている。したがって、

持続可能な食料生産システムを実現するには、資金面での更なる支援が不可欠だ。しかし、多くの途上国では、気候変動対応型農業どころか、そもそも農業部門における融資へのアクセスがきわめて困難であり、その傾向は何十年も前から続いている。従来、金融機関のポートフォリオに占める農業の比重は小さく、とりわけ農業がGDPに占める比重を考えれば、不相応に小さい。農業部門は低利益で高リスクの分野とみなされており、たいいていの国の金融機関はリスクを回避するため、貸出の基準や条件を過度に厳しくしている。他部門からのより安定したリターンを優先して、農業には貸し渋ることもしばしばだ。その結果、深刻な資金不足により、農業——特に農家や中小規模の農業関連事業——の発展に深刻な影響を与えている。

小規模農家の前には、融資へのアクセスを阻む最も高い壁が立ちはだかる。小規模農家は一般に金融リテラシーに乏しいうえ、担保や信用履歴をほとんどたず、農業以外の収入源もほとんどない。貸し手の金融業者にとっても、都心から遠く離れた僻地に暮らす小規模農家にはサービスを届けることさえ困難だ。実際、こうした物理的孤立により、取引にかかるコストが必要な融資額を大きく上回ることもさへある。また、女性の場合は特に、社会経済的、政治的、法的な壁が融資へのアクセスを一層困難なものにしている。さらに、正規の金融サービスにアクセスできたとしても、これらは農家のニーズに対応していなかったり、農家の事情を考慮していないことが多い。金融機関は、付加価値や生産性を高めるのに必要な投資資本ではなく、むしろ短期的な運転資金を提供する傾向にあるためだ。そのうえ、金融業者はしばしば、厳しい返済スケジュールや短い支払期日を設定するが、農業サイクルの季節性により、農家の季節的なキャッシュフローに見合っていない場合が多い。

結果として、途上国の農家の大多数は、金融システムから事実上アクセス権を剥奪され、経済成長の機会を拒まれる。ある試算によると、ラテンアメリカ、サハラ以南アフリカ、南アジア、東南アジアの小規模農家の融資 ▶▶

6 投資の正味現在価値(net present value; NPV)とは、現在価値に換算した将来のキャッシュフローから投資額を差し引いた純額を指す。

適応能力を阻害する要因

アフリカにおける改良技術の導入に関する決定因子を検討した最近のメタ分析は、気候変動への適応に必要な転換を図るのに、小規模農家が直面するさまざまな障壁に光を当てている (Arslan *et al.*, 2016a)。データセットは、およそ150件の論文からの情報をもとに構成され、アグロフォレストリー、作物栽培、畜産における87種類の改良手法を含んでいる。

アグロフォレストリーの導入において最も大きな障壁となるのは、情報（主に普及サービスからの情報）へのアクセスの欠如であり、（これについて検討している）研究のおよそ4割が最大のネックに挙げている。アグロフォレストリーの導入に関す

る重要な決定因子には、このほかにも、市場への距離、農業組合への参加、その他の社会的資本、土地保有権の保障などがある。作物栽培の改良手法の導入については、最大の障壁は情報アクセスに関するもので、次いで、土地保有権の保障、資源の賦存、リスクやショックへの曝露と続く。分析は、不利な立場にある人々、とりわけ、女性の農家や女性世帯主世帯に特意的を絞って支援することの必要性も示唆している。というのも、こうした女性は一般に、情報や技術へのアクセスがきわめて乏しいからだ。対照的に、男性世帯主世帯はこうした改良手法を積極的に導入する傾向がはるかに高い。

アグロフォレストリーと作物栽培——改良技術・手法の導入決定因子、および文献におけるそれらの有意性

決定因子	アグロフォレストリー				作物栽培			
	1 合計	2 負 (-)	3 正 (+)	4 統計的に 非有意	1 合計	2 負 (-)	3 正 (+)	4 統計的に 非有意
	(数)	(%)	(%)	(%)	(数)	(%)	(%)	(%)
情報	60	1.7	41.7	56.7	459	7.6	37	55.4
資源の賦存	75	14.7	28	57.3	991	12.9	29.2	57.9
リスク・ショック	16	0	18.8	81.3	106	8.5	29.2	62.3
生物物理的因子	20	15	20	65	544	13.4	20	66.6
市場への距離／道路	17	11.8	47.1	41.2	249	20.9	14.1	65
社会人口動態	129	5.4	29.5	65.1	1 154	12.2	21.9	65.9
集団／社会資本	29	10.3	44.8	44.8	288	9.7	26.7	63.6
土地保有権の保障	19	10.5	42.1	47.4	116	8.6	36.2	55.2
労働供給	18	5.6	38.9	55.6	96	14.6	24	61.4
信用へのアクセス	15	6.7	13.3	80	167	12.6	24.6	62.8
調査結果の数	398	7.8	32.4	59.8	4 170	12.3	25.7	62

注：列2から列4は、アグロフォレストリーと作物栽培において、各導入決定因子が、導入に「負の影響を与える」、「正の影響を与える」、あるいは、「統計的に有意な影響はない」とする論文の比率 (%) を示す。

出典：Arslan *et al.*, 2016a.

表 10

改良草地管理の実施による機会コスト (中国・青海省)

家畜の群数	ベースライン純所得 (USドル/ha/年)	20年間における 純現在価値 (USドル/ha)	正のキャッシュフローが 生じるまでの年数 (年数)	ベースライン純所得と 比較した場合の増分純 所得が生じるまでの年数 (年数)
小規模	14	118	5	10
中規模	25	191	1	4
大規模	25	215	1	1

出典: McCarthy, Lipper and Branca, 2011.

BOX 15

気候変動に関する研究の促進

大半の作物研究は、一年生作物に焦点を当てており、多年生作物を扱ったものは少ない。しかし、気候変動が農業生産性や生産ポテンシャルにもたらす影響が顕在化するなか、作物研究は、より幅広い総合的なアプローチ——例えば、多年生作物や、畜産、養殖などに関する研究課題を取り入れたり、病害虫や疾病への影響に関する理解を深めるなど——をとる必要がある。特に急がれるのが、新品種や支援技術の開発である。というのも、こうした開発は、研究が始動してから、成果が生産者の元に届くまで、かなりのタイムラグ——通例10年以上——があるためだ (Challinor *et al.*, 2016)。高温耐性・干ばつ耐性品種の開

発には、熱帯地域の国々だけでなく、栽培期間中に気温上昇がすでにみられる温帯地域の国々も、特に注視する必要がある。例えば、一部の先進国では、気候変動下でトウモロコシの大幅な収量減が見込まれている。もっとも、先進国は一般に、公共部門、民間部門ともに高い開発能力を有しているが、貧困国は、気候変動対応型の高収量品種などの開発を、もっぱら国営の農業研究所や、国際農業研究協議グループ (CGIAR) などの国際機関に依存している。このことは、こうした研究所への持続的な投資の必要性を示唆している。

- » ニーズの総和は、年間約2,100億USドルにものぼるといわれる (Rural and Agricultural Finance Learning Lab., 2016)。しかも、将来は、適応や緩和に向けた資金調達のためのより長期的な融資ニーズが高まるため、こうした資金ギャップが一層拡大していく可能性がある。

中小企業 (SME) もまた、融資 (特に長期資金の融資) にアクセスするのに大きな困難を抱えている。中小企業

は、農業開発にとってきわめて重要だ。というのも、こうした企業は、小規模農業の収入・生産性の向上や、バリューチェーンの効率化に重要な役割を果たし、農村の雇用創出に寄与するからである。資金不足により、中小企業の発展に支障をきたせば、雇用にも大きくひびく。とりわけ、農業関連の中小企業の資金ギャップは、農村部の失業や貧困にも追い打ちをかける。多くの中小企業が必要とする資金は、マイクロファイナンスで調達する

には大きすぎるが、商業金融機関の融資を得られるほど大規模ではないうえ、リスクが高すぎるとみられている。このことは特に、農業生産者や中小企業が、生産性や収入の大幅な向上につながる高付加価値なインフラへの投資を望んでいる場合に、大きなネックとなっている。■

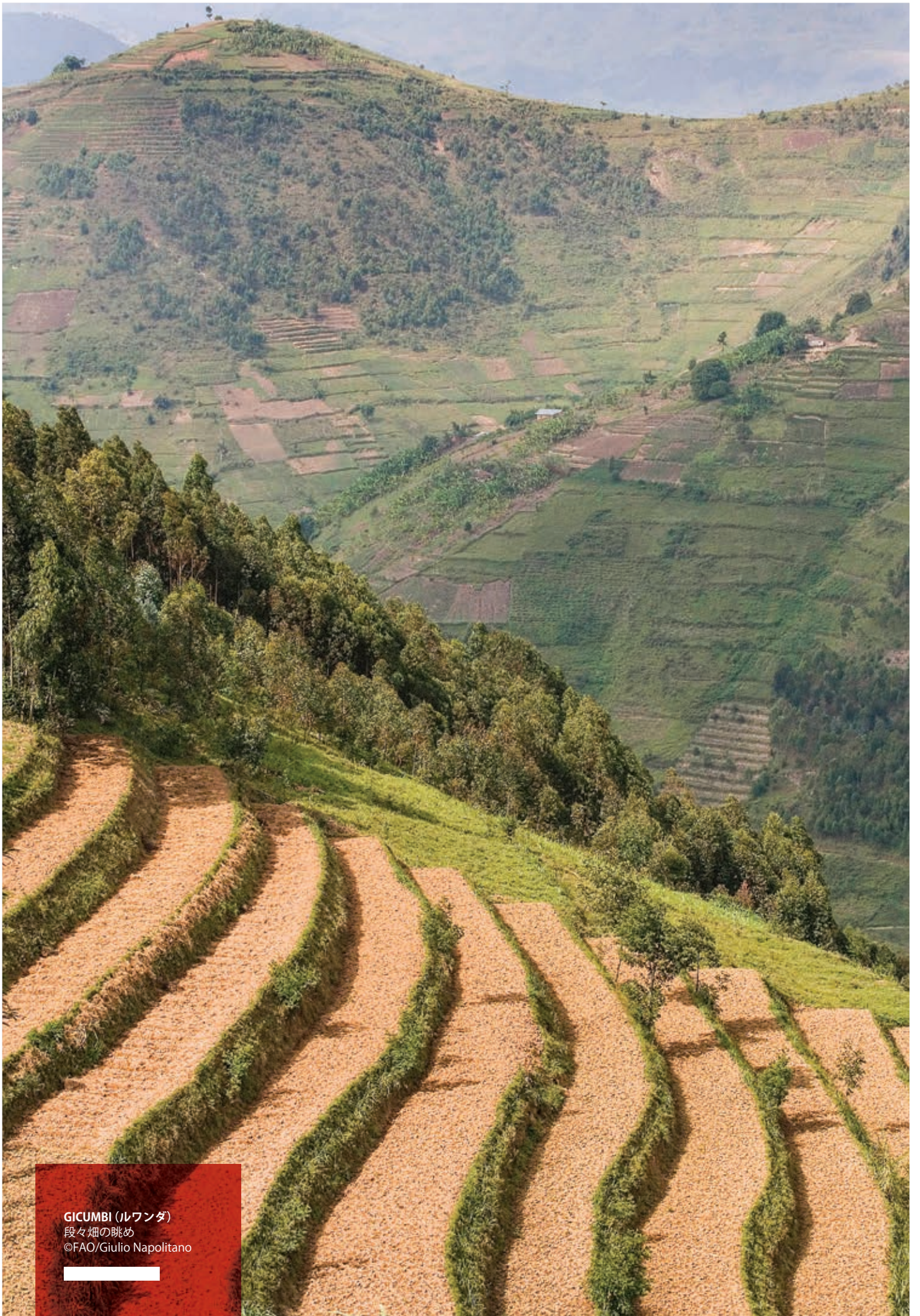
結論

本章では、小規模農業システムの気候変動リスクに対する脆弱性について検討し、こうした脆弱性に対処するためのさまざまな介入点を検証した。FAOが行った分析やさまざまな文献から、いくつかの主要なポイントが浮かび上がった。第1のポイントは、「気候変動」は多様な意味を含む用語だが、その影響のあらわれ方は複雑かつ多様であるという点だ。気候変動により生産性がどのような制約を受けるかは、農業システムの形態や地域性によって大きく異なる。作物収量に最も影響するのが降水量あるいは気温の平均値なのか、あるいは変動幅や極値なのかどうかは一概に断定できない。こうした影響のなかには直接的なものもあれば、間接的なもの——例えば病虫害や疾病の発生を介した影響——もある。重要な天候の阻害因子を理解し、それらが気候変動によってどう作用されるのかを把握しておくことは、小規模農家が将来どのような支援を必要とするかを判断するうえで重要な一歩となる。気候変動とその影響の解明をさらに進め、こうした知見を利害関係者に適切に伝えていくという点では、まだ多くの課題が残されている。

2つ目の重要なポイントは、農業生産の持続可能な強化や、改良営農技術の導入、農業や生計の多様化といった

方策が、気候変動の影響を軽減し、飢餓リスク人口の大幅な削減にもつながるという点である。しかし、改良技術を幅広く導入するには、政策上・制度上のさまざまな障壁を打開する必要がある。また、マラウイとザンビアの事例研究で報告されているように、農業の多様化は一般に、天候の不安定化が進む地域で取り入れられた場合に、より高い効果が得られる。このことは、どの農業生態学的地域やどの農業システムにも無差別に画一的な政策を課すのではなく、現場ごとの特徴を踏まえ、現場主体の取り組みを進めていくことの重要性を示している。

3つ目のポイントは、気候変動への適応は、経済的にも合理的であるという点だ——つまり、通例、便益が費用を大幅に上回る。しかし、コスト効率がよいだけでは導入は進まない。小規模農家は融資へのアクセスがネックとなるため、新たな技術や手法の採用を阻む壁を打開するのがきわめて難しい。同様のことが中小企業についてもいえる。中小企業は、小規模農家に農外収入を提供したり、農村に雇用を生み出すことで、収入の多様化に貢献するが、小規模農家と同様、資金不足の壁に阻まれている。



GICUMBI (ルワンダ)
段々畑の眺め
©FAO/Giulio Napolitano





第4章

気候変動の緩和に おける食料・ 農業システム



SACRED INCA VALLEY
(ペルー)

トウモロコシ、ジャガイモ、
牧草地の三層で構成される
農業生態学的システム

©FAO/A. Proto



主要メッセージ

1 農業部門は、より多くの食料を生産しなければならない一方で、食料生産による温室効果ガスの排出を減らさなければならないという固有のジレンマを抱えている。

2 農業は排出原単位を低減することができるものの、総排出量の増分を相殺するには十分ではない。

3 したがって、森林から農地への土地使用変化による排出の削減に取り組むことが不可欠となるが、その成功のカギは持続可能な農業開発に委ねられている。

4 炭素・窒素管理の改善も排出削減に寄与するが、こうした取り組みは、緩和目的よりもむしろ、農業の適応や食料安全保障の目的で行われる可能性が高い。

5 農業における排出削減の成否は、食料のロスや廃棄を最小限に抑え、持続可能な食生活を推進する取り組みにもかかっている。

気候変動の緩和における 食料・農業システム

前章では、小規模農家をはじめ、気候変動に脆弱な農村住民のレジリエンスを構築するためのさまざまな方策を見てきたが、本章では、農業・食料システム全体に視野を拡張、これらが気候変動の「緩和」にいかに関与することができるかについて考察する。農業部門は、「緩和」においても大きな貢献を果たすことが期待される——なぜなら、農業からの温室効果ガスの排出がますます大きくなる分、うまくいけば、こうした排出を削減することで地球全体の排出レベルの大幅な低減につながるうえ、農業部門は、条件さえ整えば、二酸化炭素を隔離することもできるという固有の能力を備えているからである。

人口や所得の増加や、それに付随する食生活の変化（動物性食品の摂取増加）により食料需要が増えるのに伴い、農業由来の温室効果ガス排出は今後も増大が見込まれる。その一方で、農業は、排出原単位（生産量単位当たりの温室効果ガス排出量）の削減により、生産量の増加から排出量の増加を分離することで、緩和に貢献することができる。こうした緩和の取り組みは、食料のロスや廃棄を削減し、食料の消費パターンの変化を促す取り組みにより補完することもできる。

農業部門、とりわけ林業は、大気中の二酸化炭素を吸収してバイオマスや土壌中に隔離する炭素吸収源（カーボンシンク）として働く固有の能力を秘めている。ところが、現状はむしろ、森林減少が主要な温室効果ガス排出源となっているうえ、持続不可能な農業手法により、地球の土壌有機炭素ストックが底を突きつつある。森林や農地が持つ炭素隔離ポテンシャルをいかにうまく引きだして活用できるかは、生物物理的条件のみならず、技術的な選択肢や、政策の力量にもかかっている。

農業分野における温室効果ガスの排出や吸収は、地球の炭素(C)・窒素(N)循環の一部であるため、農業の緩和ポテンシャルを最大限に引き出すには、まず、炭素・窒素循環のメカニズムを理解し、営農活動がこうした過程といかに関与し合うのかを熟知しておく必要がある。そうすることで、農業分野における排出削減に本質的に伴う困難もよりはっきりと見えてくる——つまり、農業による排出には複雑な生物物理のプロセスが関与するため、他の大半の人為起源の排出源よりも、監視や制御が難しいのだ。それゆえ、農業における自然資源の利用効率を高めることが、緩和戦略の中軸に据えられることになる。

忘れてはならないのは、農業部門では、食料安全保障、適応、緩和の取り組みの間に相乗効果とトレードオフ（妥協点）があるため、これらを別個に扱うのは不可能であるという点だ。費用対効果の高い方法で緩和や適応を実現するには、個々の生産者の農業生態学的条件にマッチした技術や手法の総合的なパッケージが必要であることは、ますます増えつつある経験が示すとおりである。■

「適応」による「緩和」の 技術的可能性

「農業・林業・その他土地利用(AFOLU)」部門による排出は、地球全体の温室効果ガス排出量のおよそ21%を占めている。その二酸化炭素の排出はすべて、林業と土地利用変化（森林から草地や耕地への転換）によるものである。他方、メタンと亜酸化窒素の排出の大部分は、営農活動に起因する(表5)。したがって、農業にとって、炭素と窒素の管理をいかに改善するかが、気候変動緩和に貢献するに当たって決定的なカギとなる(BOX 16)。▶

BOX 16

農業部門における炭素と窒素の役割

「炭素循環」「窒素循環」という用語は、これら2つの化学元素が、姿をさまざまに変えながら、地球の大気圏、水圏、陸域生物圏、岩石圏を循環する過程を表すのに用いられる。陸域生物圏の（化石燃料を除く）全有機炭素の8割は土壌中に、2割が植物中に貯留されていると推定されている。

植物の成長は、推定で年間54 Gtの炭素（54 GtC）を生み出している。この植物の「純一次生産」の人間による利用——すなわち、収穫されたり、家畜に採食されたり、燃料として燃やされたり、人間活動による土地利用変化の結果として失われたバイオマス中の炭素の量——は、年15～20 GtCと推定されている（Running, 2012; Krausmann *et al.*, 2013）。

一方、海洋や沿岸部は、炭素循環においてきわめて重要な役割を果たしている。地球全体の炭素の9割以上が水生系に貯留されていると推定されている。さらに、

年間の温室効果ガス排出量のおよそ25%は、水環境、主としてマングローブや海草、氾濫原森林、沿岸底質に固定・隔離されている（Nellemann, Hain and Alder, 2008; Khatiwala *et al.*, 2013）。したがって、水生系は、気候変動緩和に大きな貢献を果たすことができるであろう。

他方、窒素は、植物の成長の基本構成要素であるアミノ酸の主成分である。農業における（植物に取り込める形での）窒素の利用は、食料需要の伸びとともに急増してきた。2005年には、農家が無機質肥料や家畜糞尿堆肥の形で作物に施用した窒素は、推定で2億3,000万tにのぼった。地球全体における亜酸化窒素の環境への放出は、すでに生物物理的な閾値（プラネタリーバウンダリー）を超えている可能性がある（Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015）。

土壌の炭素隔離による排出のオフセット

人間活動の帰結として、これまでに多量の炭素が土壌から放出されてきたこと、そして現在も放出され続けていることについて、大きな懸念が生じている。過去150年から300年の間に、土地利用や土地利用変化（主として森林から農地への転換）によって大気中に放出された炭素は、1,000～2,000億tと推計されている（Houghton, 2012）。炭素・窒素循環の陸上における調整役としての土壌の重要性については、とりわけ2015年12月の「パリ協定」により新たな気候レジームが確立され、温室効果ガスの吸収源や貯留源の保全・強化に向けた取り組みが求められるようになって以降、にわかに認識が高まっている。

土壌は海洋に次いで地球上で2番目に大きい炭素プールであるため、土壌有機炭素ストックのわずかな変化が、大気中CO₂濃度の大きな変動をもたらす可能性がある（Chappell, Baldock and Sanderman, 2016）。地球全体では、土壌（永久凍土を除く）は、表層1mにおよそ500±230 GtC（ギガトン炭素換算）を保持しており、これは大気中の炭素の2倍に相当する（Scharlemann *et al.*, 2014）。土壌は炭素隔離の大きなポテンシャルを秘めている。とりわけ、地力の低下した土壌は、修復措置によって炭素隔離能力が改善される余地も大きい（Lal, 2010）。

土壌の炭素隔離能力は、土壌の健康や肥沃度を回復して農業生産性を高める農法によって維持・改善することができる。したがって、こうした農業による持続可能な土壌管理の促進は、農業生産性を高め、気候変動への農業の適応を促すとともに、大気中の炭素を隔離して温室効果ガスの排出を削減するという意味で多面的な便益をもたらすと言える（FAO and ITPS, 2015）。もっとも、炭素の吸収源や貯留源としての土壌の役割は認識されている一方で、情報不足やモニタリング・システムの不整備により、現在の土壌炭素ストック量や実際の土壌の隔離ポテンシャルについては、依然知見が乏しいのが現状だ。

土壌の炭素隔離能力を掘り起こして活用するには、持

続可能な土壌管理を1つのシステムとして——多様な生態系サービスを提供するさまざまな目的を備えたシステムとして——推進する必要がある（FAO and ITPS, 2015）。土壌有機物隔離の技術上の潜在能力は、年間0.37～1.15 GtCになるとみられる（Sommer and Bossio, 2014; Smith *et al.*, 2008; Paustian *et al.*, 2004）。これはあくまで技術上の可能性であり、すべての農地が炭素を吸収・隔離できる状態に管理されているとの想定に基づいている。しかし実際には、農地の土壌炭素隔離率には、1ha当たり年間0.1tC（炭素トン）から1tCまでばらつきがある（Paustian *et al.*, 2016）。年間吸収率1GtCを達成するには、数十億haの農地が、炭素を最大限に吸収・隔離できる状態に管理されていなければならない。しかも、炭素隔離量は開墾当初は比較的低く、20年後に最大となり、その後は徐々に低下していく（Sommer and Bossio, 2014）。

畜産サプライチェーンにおける排出削減

畜産部門も、温室効果ガス排出原単位を低減する大きな可能性を秘めている。もっとも、農業生態学的条件や飼養形態、サプライチェーンの管理手法の違いにより、同様の生産システムの間でさえ排出原単位は大幅に異なるため、正確な削減ポテンシャルを推定するのは困難である。Gerber *et al.* (2013a) の試算によると、温室効果ガス排出原単位が最も低い25%の生産者が採用している飼養法が広く普及すると、畜産由来の排出量は18～30%低減できるという。

6件の地域別事例研究に基づき、ライフサイクル評価モデルを用いたMottet *et al.* (2016) の試算では、持続可能な飼養法の導入により、家畜由来の温室効果ガス排出量は14～41%低減すると見積もられている。そのうち5件の事例研究では、緩和策の導入により、排出削減量だけでなく生産量も増加し、食料安全保障と気候変動緩和の両立をもたらした。アフリカ、アジア、ラテンアメリカにおける反芻家畜と豚の生産システムでは、比較的高い緩和ポテンシャルがみられた。経済協力開発機構

(OECD)加盟国では、すでに高レベルの生産性を確立している酪農システムでも、大幅な排出削減を達成することが可能だという (Gerber *et al.*, 2013b)。

メタンの排出削減と草地の土壌炭素隔離に関する最高水準のポテンシャルを持った飼養法を導入すれば、世界の反芻家畜からの年間排出量の11%に相当する温室効果ガス排出量を削減することができる。Henderson *et al.* (2015) によるモデル化研究では、草地管理の改善とマメ科草種の導入がコスト的に最も有利な手法であり、したがって経済的ポテンシャルも最も高かった。草地管理は、ラテンアメリカとサハラ以南アフリカで特に効果的であり、マメ科草種の導入は西ヨーロッパで最も有効であることが窺えた。わら類の尿素処理は、炭素の価格水準が低い場合には経済的な魅力に乏しいが、二酸化炭素換算1t (GtCO₂-eq) 当たり100USドルの高価格時には、きわめて費用対効果の高い選択肢となる傾向にあった。

亜酸化窒素の排出削減

窒素は水とともに、作物収量を左右する最も重要な因子である (Mueller *et al.*, 2012)。世界の食料生産量のほぼ半分が窒素肥料に依存しており、残り半分は土壌中や家畜の糞尿、窒素固定植物の植物組織、作物残渣、廃棄物や堆肥に含まれる窒素を利用している (Erisman *et al.*, 2008)。窒素は、揮散や浸出により、農地から環境中に失われやすく、環境汚染を引き起こし、その損害の規模は、窒素肥料の利用により得られる経済的便益をほぼ相殺する額にのぼると見積もられている (Sutton *et al.*, 2011)。農地に施用された肥料から排出される亜酸化窒素は、環境に直接的な悪影響をもたらす。亜酸化窒素は、二酸化炭素、メタンに次いで主要な温室効果ガスであり、オゾン層破壊の最大の原因でもある。その反面、光合成やバイオマスの生成に重要な役割も果たすため、生物圏の二酸化炭素吸収源や炭素隔離には好影響をもたらす。したがって、農業における持続可能な窒素管理は、農畜産物の生産性の向上といった農業経済学的目的と、窒素損失の最小化という環境保全目的を同時に目指すものとな

る。もっとも、窒素は非常に「漏れやすい」ため、管理は容易ではない。ましてや、気候変動への適応という条件下では、なおさら複雑になる。というのも、窒素は、炭素循環や水循環と密接不可分な関係にあるためだ——農業における窒素の活用と損失は、水や炭素の動態や利用可能性に強く左右されるのである。

表11は、改良農法を導入した場合に、世界の食料システムにおける亜酸化窒素の排出が2030年と2050年にどの程度削減されているかの予測を示したものである。推定値は、窒素利用効率の向上および／または排出原単位の低減ポテンシャルに基づいている (Oenema *et al.*, 2014)。文献レビューや専門家の見解を踏まえ、排出削減戦略シナリオとして、作物生産の改善、家畜生産の改善、家畜の糞尿管理の改善、食料利用の改善、食習慣における動物性タンパク質の摂取量の低減を想定している。分析されたこれら5通りのシナリオの結果には、亜酸化窒素の直接的な排出と間接的な排出の両方の影響が含まれる。(比較の便宜上、亜酸化窒素100万tの温室効果能力は、二酸化炭素2億6,500万tに相当するものとする。)

「従来通りの手法」を前提としたシナリオでは、農業からの年間亜酸化窒素排出量は、2010年の推定410万tから、2030年には640万t、2050年には750万tに増加する。これに対し、削減戦略を導入した場合、2030年の排出量は410万tに抑えられ、2050年には330万tにまで削減できる可能性がある。作物生産の改善、とりわけ肥料の利用効率の改善の削減ポテンシャルが最も大きいことが見てとれる。しかし、「従来通り」シナリオでの2030年の排出量の予想される増分をオフセットするには、表11に示した5通りの排出削減戦略のすべてを導入する必要がある。これには、食生活における動物性タンパク質の摂取の抑制といった行動変容も含まれるため、推定値には不確実性が伴う。加えて、削減戦略は技術的には実現可能であるにしても、実施までの道のりには多くのハードルが立ちあがる。予測された排出削減量を達成するには、教育や技能トレーニング、デモンストレーション、さらには、現場に応じた技術の開発に向けて、大規模な投資を行う

» 必要がある。

亜酸化窒素の排出削減を成し遂げられるかどうかは、排出の根幹にある原因に対処する管理手法の力量にかかっている。しかし、排出と因果関係のある生物物理的プロセスは、気候条件や農業生態学的条件、営農形態によってさまざまである。放射線・同位体技術は、こうしたプロセスを解明したり、モニタリングの精度を高めるのに役立つ (BOX 17)。

食料安全保障の向上に資する 緩和と適応の共通便益

炭素・窒素循環の適切な管理は、「農業・林業・その他土地利用 (AFOLU)」部門に由来する温室効果ガス排出量の緩和と、世界の食料システムの効率化のいずれにとっても基軸となる。また、緩和策と適応策はいずれも、食料安全保障と環境の持続可能性に寄与するため、双方間に強力な相乗効果の確立を見込める場合には、これらを一体的かつ同時並行的に実施することも可能だ。効率的で無駄のない炭素・窒素循環システムの構築は、気候変動へのレジリエンスを強化し、温室効果ガス排出を削減すると同時に、食料生産の増大を促して食料安全保障にも貢献する。これらの目的を遂げるためのカギとなるのが、農業生産の持続可能な強化 (第3章を参照) である——持続可能な強化とはつまり、将来世代の食料供給能力を損なうことなく、環境への負荷と温室効果ガス排出を低減するような形で、投入単位当たりの食料生産量の増大を図る取り組みである (Garnett *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2013)。

多くの国々で、農業部門は、気候変動の適応と緩和の相乗効果や、有意義な社会経済的、環境保全上の共通便益を生み出す最も多くの機会に恵まれた部門とみなされている。例えば、食料システムにおける炭素・窒素循環の効率化は、温室効果ガス排出を減らして炭素隔離を増やすと同時に、食料安全保障を向上させ、気候変動や気候ショックに対するレジリエンスを高める。生産システ

ムの効率性が高まれば、自然資源の需要も減り、その結果、資源の枯渇や、(土地や水資源、養分の利用可能性を一層低下させる) 気候事象に対する脆弱性も低減する。

農業生産の持続可能な強化は、特に途上国において、収量格差を縮小し、生物的効率性を高めることで、森林破壊や、炭素に富んだ生態系への農地の拡大を抑制することから、食料安全保障の向上と同時に、気候変動緩和にも貢献する。畜産部門では、草地生産性の改善を図ることで、草地の拡大による熱帯林の破壊にも歯止めがかかり、炭素を豊富に有する景観の保全と持続的な発展の両立が可能となる (De Oliveira-Silva *et al.*, 2016)。

以下の節では、適応と緩和の共通便益の取り込みを目指す政策において考慮すべき2つの相補的な目的——1つは、食料システムにおける生産の効率化と温室効果ガス排出削減、もう1つは、農林業における炭素に富む景観の保全と開発——について概観する。

生産効率が高まるほど 排出原単位は低減する

収量改善に向けた投資

1960年代以来、農畜産システムの集約化は、農地の拡大に歯止めをかけ、食料サプライチェーンの効率化に寄与してきた (Tilman *et al.*, 2011; Gerber *et al.*, 2013a; Herrero *et al.*, 2013)。農業の集約化による収量の向上によって回避された温室効果ガス排出量は、1961年から2005年までに合わせて161 GtCと見積もられている。したがって、農業生産性に投資することは、一般に推奨される他のどんな緩和戦略にも劣らない大きな効果をもたらすと言える。生産性が高まれば、農地拡大が抑制され、森林破壊に伴う大量の炭素放出も回避できるためだ (Burney, Davis and Lobell, 2010)。

過去数十年にわたる農林業の効率化に伴い、多くの生産物の温室効果ガス排出原単位は低下傾向にある。1960年から2000年の期間に、世界の平均排出原単位は、牛乳 »

表 11

改良手法に基づく5通りのシナリオ下における 2030年と2050年の亜酸化窒素年間排出量の緩和ポテンシャル

排出削減戦略	窒素 排出源	2030年			2050年		
		窒素投入	排出係数	亜酸化窒素 排出	窒素投入	排出係数	亜酸化窒素 排出
従来通りの手法	肥料	132	2.37	3.1	150	2.37	3.6
	糞尿	193	1.71	3.3	230	1.71	3.9
合計				6.4			7.5
作物生産の改良手法	肥料	118	2.02	2.4	128	1.9	2.4
	糞尿	193	1.71	3.3	230	1.71	3.9
合計				5.7			6.3
畜産の改良手法	肥料	118	2.02	2.4	128	1.9	2.4
	糞尿	174	1.71	3.0	184	1.71	3.2
合計				5.4			5.6
家畜糞尿の管理改善	肥料	108	2.02	2.2	103	1.9	2.0
	糞尿	174	1.62	2.8	184	1.54	2.8
合計				5.0			4.8
食料利用の改善	肥料	103	2.02	2.1	93	1.9	1.8
	糞尿	156	1.62	2.5	147	1.54	2.3
合計				4.6			4.1
食生活における動物性 タンパク質の摂取量の低減	肥料	98	2.02	2.0	84	1.9	1.6
	糞尿	133	1.62	2.2	110	1.54	1.7
合計				4.1			3.3

注：5つのシナリオすべてにおいて、排出削減量は累積値。「投入」とは、窒素肥料の施用と、家畜糞尿中の窒素の排出を指し、単位はテラグラム (Tg)。亜酸化窒素の排出係数と総排出量は、2030年と2050年の食料システム全体の予測値。

出典：Oenema *et al.*, 2014.

BOX 17

緩和に役立つ放射線・同位体技術

放射線技術は、土壌からの温室効果ガスの放出を低減して気候変動緩和に貢献する最適な土壌管理や水管理の構成要素を突き止めるのに役立つ。例えば、さまざまな同位体を用いることで、有機堆肥や作物残渣、液肥を投入後の土壌有機物中における炭素や窒素の蓄積量や相互作用のプロセスを解析することができる。また、¹⁵N安定同位体技術は、農地から排出される亜酸化窒素の発生源を特定することで、的確なN₂O削減ツールを選択する助けとなる（例えば、酸性土壌を中和するためのラ

イミングや、硝化防止剤を窒素肥料に添加して、余剰窒素の硝酸態窒素への変換——これは嫌気条件下で容易に亜酸化窒素になる——を抑制するなど）。FAOが国際原子力機関（IAEA）と共同で食料・農業分野での利用を進める同位体・放射線技術は、将来の食料ニーズへの対応に向けた革新的な手法の最前線に立つ技術であり、気候変動影響の低減にも大いに貢献している。

» で38%、コメで50%、豚肉で45%、鶏肉で76%、卵で57%低下した(Smith *et al.*, 2014)。反芻家畜由来の排出原単位の低減は、おおかたが牛乳や肉といった単位畜産物当たりのメタン排出量の削減によるものだ(Opio *et al.*, 2013; およびBOX 18)。反芻家畜、単胃家畜のいずれでも、飼料転換効率や飼養法の改善、高効率性品種の選抜育種といった方策が、排出原単位の削減に主要な役割を果たしてきた。所定の生産量を生産するのに必要な家畜頭数を削減することは、効率性の大幅な向上をもたらす。例えば英国では、1990年から1999年にかけて年間のメタン排出量が28%低減したが、これは主として、畜牛の頭数の削減と、乳牛の生産性の増大によるものだ(DEFRA, 2001)。資源利用効率や温室効果ガス排出原単位には依然として、畜産システムや地域によって大きな開きがあることから(Herrero *et al.*, 2013)、大きな改善の余地がある。

収量格差の縮小や家畜生産性の向上に加え、農場規模で長期的な効率化戦略を図ることは、土壌や水資源、生物多様性、さらには受粉などの重要な生態系サービスの保全や回復に資するであろう(Garibaldi, *et al.*, 2016)。例えば、温帯地域、熱帯地域を問わず、営農システムの多様化や、作物・家畜・森林を統合させたシステムの導入は、農場全体の効率性を高め、温室効果ガス排出原単位の低減につながる(Soussana, Dumont and Lecomte, 2015)。生産効率の向上や共通便益を生み出すのに役立つ数多くの技術が存在しており、例えば、遺伝資源や高度な育種技術を活用した適応品種の利用、作付け日や収穫時期の調整、精密農法、有機栄養源やマメ科草種と組み合わせた無機肥料の節度ある施用、さらには、(アグロフォレストリーも考慮に入れた)多様化され、かつ持続可能な栽培システムの設計などが挙げられる。

漁業・養殖業における資源利用強度の緩和

漁業・養殖業部門は、炭素隔離を増やし、バリューチェーンからの排出を減らすことで、気候変動緩和に寄与することができる。水産資源の生息域の破壊を食い止め、水界生態系の炭素隔離機能を攪乱する不適切な漁

業・養殖業の管理手法を是正することが最重要課題となる。マングローブや氾濫原森林の植生回復による炭素隔離の強化には、大きな改善の余地が見込まれる。もっとも、回復にはかなりの先行コストがかかる。

温室効果ガスの排出削減に関しては、燃料やエネルギーの使用量の削減が、排出低減にとって大きなポテンシャルを秘めている。こうした削減は、例えば、漁獲方法の効率化や、加工段階でのエネルギー利用の効率化などによって直接的に、あるいはサプライチェーンやバリューチェーンでの省エネや、廃棄物の戦略的削減などのさまざまな取り組みを通して間接的に達成することができる。水産部門全体では、エネルギー効率の高い技術への転換に向けた動きは鈍いが、炭素市場に伴うインセンティブ・メカニズムがいくらかポテンシャルを示している(FAO, 2013a)。

漁業・養殖業における温室効果ガスの主な排出源は、加工、保管、運輸でのエネルギー利用である。加工には、漁獲物の単純な乾燥や燻煙といった職人的な零細加工から、包装やラベリングといったハイテク技術を用いる高度に制御された水産物加工まで、さまざまなものがある。また、その地域の漁法や投入財(魚種、調達、量や質)、作業効率によって、排出量にはかなりのばらつきがある。水産物は最も広域で取引されるグローバルな食料品であるため、さまざまな形態や鮮度状態で相当距離を輸送されることもある。温室効果ガスの排出は通例、こうした輸送における燃料使用や、取り扱いや保管におけるエネルギー利用に直接由来する。最も傷みやすい鮮魚には、高速輸送手段や、多量のエネルギーを消費する保管手段が必要になる。冷蔵・冷凍設備の選択も重要だ——旧式だったり、メンテナンスが劣悪な冷蔵設備からの冷媒ガスの漏洩は、オゾン層の破壊につながり、温暖化の大きな原因となる。これに対し、零細サプライチェーンで加工される傷みにくい乾燥、燻製、塩漬け処理された水産物には、高速輸送手段は不要であり、温室効果ガスの排出量も少ない(FAO, 2013b)。

»

家畜や水稲生産におけるメタン排出の低減

家畜や水稲システムからのメタン排出をいかに削減できるかについては、これまでに多くの研究がなされてきた。

反芻家畜の消化管内発酵：既存の研究の大半は、家畜の食餌の改善や、飼料への補給剤の添加に関するものである (Veneman, Saetnan and Newbold, 2014; Gerber *et al.*, 2013a)。飼料の総体的な消化性の改善や、栄養バランスの改善は、最初のレベルの介入策であり、最も大きな緩和便益をもたらすものだ (Garg *et al.*, 2013; Gerber *et al.*, 2011)。特に地中海地域や熱帯地域の自然植生を採食する反芻家畜が多く摂取しているタンニンなどの二次代謝産物も (INRA, CIRAD and FAO, 2016)、メタン排出の低減効果が高い。このほかにも、化学抑制剤、イオノフォア、抗生物質、水素シンク、精油、酵素、プロバイオティクス、寄生虫除去、ワクチンの投与といった多くの緩和方法が試験されている (Hristov *et al.*, 2013)。しかし、こうしたオプションのなかには、国によって使用が禁止されていたり、制限されていたり、あるいは、市販されていないものもある。加えて、メタンの排出削減が家畜の生産にもたらす利益は限られているため、高価な添加物の導入を促進するにはインセンティブが必要になる (Newbold, 2015)。

家畜糞尿の貯留：貯留糞尿からのメタン排出を低減するには、嫌気および／または温暖条件下での貯留を避ける糞尿管理手法を講じる必要がある。アフリカやラ

テンアメリカの一部地域で見られる乾燥・固形貯留システムでは、メタンの排出は比較的少ない。対照的に、西ヨーロッパや北米で典型的な液肥システムでは、(特に飼育密度が高い場合)メタン排出が高まる傾向にある。したがって、メタン排出を抑える方法として、畜舎からスラリーを頻繁に除去することが推奨されている (Sommer *et al.*, 2009)。家畜糞尿の嫌気性消化は、発生したメタンを、化石燃料の代替として暖房や発電、自動車の燃料などに使えるため、大きな削減ポテンシャルが見込める。もっとも、消化槽やガス貯留タンクからメタンがどの程度漏洩するのかが不明なため、この技術の実際の緩和効果については疑問が残る。いずれの選択肢も、生産システム全体を考慮して、1つの区画から別の区画への漏洩や、亜酸化窒素の放出増加を防ぐ必要がある。

水稲：水田からのメタン排出の低減には、水や稲わら、肥料の管理など、さまざまな在来手法や改良手法が試みられている。例えば湛水を2～3週間中断すると、節水にもなるうえ、土壌炭素ストックの増加を考慮しなくても、メタンや温室効果ガスの排出を45～90%低減することができる。もっとも、この手法は、雑草競合が増大するなどの理由で、収量に悪影響を及ぼす可能性がある。生育期間に早期に中干しし、その後再び湛水することで、排出を45%抑え、なおかつ、通常の水稲と同程度の収量を維持することができる (Linguist *et al.*, 2015)。

» FAOが立ち上げた「ブルー・グロース (Blue Growth)」イニシアティブは、海洋経済の成長と、水産資源の持続可能な管理との両立を目指す取り組みである。「ブルー・グロース」を導入している水産部門のバリューチェーンは、水産資源の長期的な生産ポテンシャルを回復し、持続性を高めるような管理手法をとることで、むしろ生産性や収入を大幅に向上させている。海洋や湿地がより健全になれば、気候関連ショックへのレジリエンスも高まり、漁業や養殖業で生計を立てる人々の適応能力も向上する。

例えば、リベリア北部のグランドセスの漁村で、漁獲物の加工や燻製の効率化に取り組んだFAOのプロジェクトでは、240人余りの加工業者が参加して、燻製釜や鮮魚の保管用の冷蔵コンテナを建設した。これにより、燻製にした魚をコートジボワール近郊の収益性の高い市場で販売できるようになった。魚の加工業に携わるのはほとんどが女性だが、プロジェクトはこうした女性の大幅な収入増につながった。加えて、燻製に必要な木材チップの量も大幅に減ったことで、さらに利益が増したうえ、気候変動緩和にも結びつく重要な共通利益も生み出した (FAO, 2011a)。

農場でのロスの低減

途上国では、食料のロスが生産チェーン全域で生じているが、これにより最も痛手を被るのは小規模農家である。FAOの試算によると、世界の食料生産量の3~4割が市場に届く前に無駄にされている——この原因には、栽培時の投入財の不適切な施用から、収穫後の保管・加工・輸送設備の不備まで、さまざまな問題がある。農場でのロスをなくすことは、生産システムの効率化につながるが、これには、土壌の健康の改善や、病虫害や疾病に対する作物や家畜の感受性の低減、家畜の飼料利用効率の向上、花粉媒介昆虫の生息域の回復、雑草競合の軽減といった取り組みが必要だ。景観の多様化による生態系サービスの回復も、作物や家畜の健康を維持することから生産のロスを最小限に抑える助けとなる。他方、道路や物流、保管、一次加工インフラへの投資は、収穫後

のロスを減らすことができる。

農場の多様化と総合的な営農システム

収量格差の縮小や家畜生産性の向上に加え、農場規模で長期的な効率化戦略を図ることは、土壌や水資源、生物多様性、さらには受粉などの重要な生態系サービスの保全に資するであろう (Garibaldi, *et al.*, 2016)。例えば、温帯地域、熱帯地域を問わず営農システムの多様化や、作物・家畜・森林を統合させたシステムの導入は、農場全体の資源利用効率を高め、温室効果ガス排出原単位の低減につながる (Soussana, Dumont and Lecomte, 2015)。こうした取り組みにおいて、生産効率の向上や共通便益の創出に役立つ数多くの技術が存在する。例として、精密農法、高度な育種技術、有機・無機肥料の節度ある施用、マメ科草種の活用、遺伝資源、景観の多様性などが挙げられる。

農業と林業における炭素に富んだ景観

農地と森林は地球の地表の大部分を覆っているため、土壌炭素の保全・回復や、炭素吸収源の強化にとって決定的に重要である。アグロフォレストリー、森林再生、植林、保全型農業、有機農法、草地管理といった取り組みはすべて、こうした目的に資するものだ。もっとも、こうした手法はあらゆる営農システムや地域に等しく適用できるわけではない。

森林景観

森林は毎年、推定で26億tの二酸化炭素を吸収しており (CIFOR, 2010)、これは化石燃料の燃焼によって発生する二酸化炭素のおよそ3分の1に相当する。しかし、この巨大な貯留システムも、森林破壊によってひとたび攪乱されるや、一転して二酸化炭素の主要な排出源となる。IPCCの第5次評価報告書によると、森林減少や森林劣化は、世界の温室効果ガス排出量の11%近くを占める——これは、運輸部門の総排出量を優に上回る。森林が失われれば当然、森林の炭素隔離能力も低下する。

1990年代、熱帯地域の森林減少は二酸化炭素排出の最大の原因であったが、その一方で、温帯地域や一部の亜寒帯地域における森林の再生が、二酸化炭素の除去に寄与していた。しかし、熱帯地域での森林破壊による炭素損失が、温帯地域や亜寒帯地域での森林拡大や木質バイオマスの蓄積によってどの程度相殺されているかについては、議論がある。FAOの推計によると、今世紀の最初の10年間で、森林減少による総排出量は年間38GtCO₂-eq（ギガトン二酸化炭素換算）であったのに対し、森林劣化による排出と森林管理による炭素隔離を相殺した正味の影響は、隔離が排出を1.8 GtCO₂-eq上回る結果となっている（FAO, 2016a）。一方で、泥炭火災を含むバイオマス火災や排水泥炭も森林由来の排出源として重要であり、前者は年0.3 GtCO₂-eq、後者は年0.9 GtCO₂-eqを排出している。

森林伐採の抑制や、森林管理の改善、植林、アグロフォレストリーといった方策による炭素排出の緩和ポテンシャルは、こうした取り組みの内容や対象地域、対象システム、比較される対象期間によって大きく異なってくる。ラテンアメリカとアフリカでは、森林伐採の抑制が最も有効な排出緩和策であるのに対し、OECD加盟国、移行経済圏、アジアでは、森林管理が最も有効な手段であり、植林がこれに続く。植林の緩和ポテンシャルは、森林関連の緩和ポテンシャル全体の20～35%を占める（Smith 2014: figure 11.18）。

森林部門における気候変動緩和策は、2つのカテゴリーに大別される1つは、温室効果ガスの排出を減らすこと、もう1つは、大気中の温室効果ガスを除去することである。緩和策の実施形態は、次の4つの一般カテゴリーに分類できる。

▶ **森林減少を抑制または防止する。**森林面積を維持することは、社会経済面、環境保全面の両方に大きな便益をもたらす（FAO, 2012）。生物多様性や生態系機能の保全に加え、森林が広域に及ぶ場合は地域の天候パターンも左右し、これが食料生産にも影響を及ぼす

（Siikamäki and Newbold, 2012）。また、森林火災を減らすことで、地域の大気環境が改善され、森林域内や森林周辺の集落に暮らす人々の健康にも益をもたらす（Mery *et al.*）。

- ▶ **森林面積を増やす。**森林面積は、植林や播種、自然な森林再生の補助、自然遷移によって増やすことができる。植林は、地上部・地下部バイオマスや腐食有機物中に保持される炭素プールの増大につながる。また、植林の取り組みは一般に農村部で行われ、収入や雇用を生み出すことで農村経済に恩恵をもたらしている。もともと、元来生産性の高い生産緑地にばかり植林を行えば、食料生産が犠牲になって食料安全保障を揺るがし、単一樹種を大量植栽すれば、生物多様性が損なわれて病虫害リスクを高めるといった懸念もある（FAO, 2011b）。したがって、植林を実施する際は、農業部門全域にわたって入念な計画を立てる必要がある。
- ▶ **炭素密度を維持または増大させる。**森林の炭素ストックを維持または増加させる取り組みには、木材生産における低インパクト伐採や、持続的生産管理、部分的な森林被覆の維持に加え、焼畑耕作などの高排出活動を抑制することで腐食有機物や土壌中の炭素プールの損失を最小限に抑えることなどが挙げられる（CIFOR, 2015; Putzand Romero, 2015）。伐採や自然攪乱の後の再植林は、樹木の成長速度を速めるため、自然再生に比べて炭素隔離率も高まる。
- ▶ **木材製品による森林外での炭素ストックを増やす。**伐採した木を建築材や家具材などの長寿命の木材製品に使用することで、数十年あるいは数世紀も木材中に炭素をストックさせることができる。

森林を通じた緩和がもたらすメリットは、教育や技能トレーニング、森林管理計画や森林をめぐる意思決定への農村コミュニティの参画によって、一層高めることができる。森林管理に対する参加型アプローチは、従来のトップダウン型のプログラムよりも奏功するうえ、市民社会の発展や民主化プロセスの強化を促すこともありうる（FAO, 2016b）。こうしたアプローチはまた、社会資本

や人的ネットワーク、社会関係を生み出すことで、コミュニティが気候変動によりうまく対処できるようにする。

ほとんどの森林関連の緩和策では、資金面の壁が立ちだかる。便益や共通便益が生じるようになるまでに、(数十年とは言わなくとも)通常何年もの間、多額の投資が必要になるのだ。森林の緩和ポテンシャルは、適切な資金供給や、効果的なインセンティブを生み出す枠組みが整備されていなければ、十分に発揮されない。

もう1つの課題は、エネルギー生産と代替資源であるが、これは、社会的、経済的、文化的な意味合いをもつ (EEA, 2016)。例えば、エネルギー生産に木質燃料などのバイオ燃料の利用を推進する欧州連合 (EU) の政策は、域内の林業従事者の森林管理の方法や、途上地域の土地利用の方法にも影響を与えている (EC, 2013)。バイオマス生産をめぐる土地収奪の事例も数件報告されており、こうした問題は食料安全保障にも影響を及ぼす。

農業景観

現行の多くの営農活動は、土壌有機炭素 (SOC) の損失を促し、土壌有機炭素の土壌還元を低下させるような形で行われているのが現状だ (表12)。草地火災や過放牧、土壌侵食を防いだり、作物残渣や家畜糞尿のリサイクルを取り入れることで、炭素損失の抑制や、土壌有機炭素の土壌還元の増加を図ることができる。もう1つの選択肢として、被覆作物や間作物、アグロフォレストリーの活用により、作物光合成を高めたり、保全型農業により土壌攪乱を最小限に抑えることで、光合成と生態系呼吸の収支を改善することも有効だ。さらに、改良品種や窒素固定作用のあるマメ科草種を導入したり、有機・無機肥料を施用して、土壌にすき込む作物残渣量を増やすことで、炭素収支を大幅に改善させることもできる。水管理の改善も一次生産性の強力な促進因子であり、これらの手法すべてを補完して効果を強める役割を果たす。

土壌有機炭素の隔離を目的に最適化されたこうした手

法は、食料安全保障の強化にもつながり、気候変動への適応も促進する。とりわけ途上国では、土壌有機炭素のレベルが高まれば、作物収量の年々増加という重要な共通便益も得ることができる (Lal, 2006)⁷。さらに、土壌有機炭素は、土壌構造や水浸潤、保水力の改善を促すことで、干ばつと洪水——特に熱帯地域に甚大な影響をもたらす二大気候変動事象——に対するレジリエンスの構築も助ける (Pan, Smith and Pan, 2009; Herrick, Sala and Jason, 2013)。とはいえ、収量への影響は、個々の現場の条件や、農家が採用する手法の組み合わせ方にも依るため、なかには収量がかえって低下する例もみられる (Pittelkow *et al.*, 2015)。

農地土壌の炭素隔離能力は持続しない場合がある。改良農法によって投入された土壌炭素は、部分的に保護されない形で貯留されるため、管理を止めれば、一部は容易に分解してしまう。そのうえ、土壌炭素隔離が短期的に亜酸化窒素の放出を増やしたり、土壌中のリンや窒素の不足により土壌有機炭素の貯留が阻害されることもありうる (Penuelas *et al.*, 2013)。

したがって、土壌の炭素貯留効果を活用した気候緩和の取り組みは、長期的な視野に立ち、農場単位ではなく、むしろ景観単位で適用する必要がある。このためには、土壌炭素隔離策の導入には時間を要すること、そして、土壌有機炭素の増加は一定期間——つまり新たな平衡状態に達するまで——しか持続しないことを心得ておく必要がある。投入された炭素ストックは、適切な農地管理手法を用いて、モニタリングされ、維持保全されなければならないのである。こうした要素はすべて、FAOが支援した中国・青海省での劣化草地の植生回復イニシアティブにおいても考慮された点である (BOX 19)。

最後に、アグロフォレストリー (農作物や家畜の栽培・飼育システムに樹木や灌木を組み入れる農法) は、土壌侵食を防ぎ、水浸潤を促すとともに、異常気象による被

⁷ Lal *et al.* (2004) は、こうした共有便益として、土壌有機炭素単位当たりの乾燥重量に占める炭素比率を0.07 (≒ 0.07 t DM/t SOC) と見積もっている。

表 12

土壌炭素ストックの低減につながる農法の例

温帯地域	半乾燥・乾燥地域	熱帯地域
有機土壌の排水や耕作	不安定な降水に依存する地域での放牧圧による砂漠化	作物有機肥料を施与しない焼畑農業
収穫指数に基づく育種	樹木や水資源の保全策の欠如	深耕
被覆作物の不足		被覆作物の不足
作物・畜産複合システムやアグロフォレストリーの欠如		熱帯泥炭地の排水や火災
永年草地の退行		
都市・産業有機廃棄物の限られた再利用		

注：「収穫指数」とは、植物の地上部作物体全重に占める収穫部重の割合を指す。
出典：FAO and ITPS, 2015.

BOX 19

中国の劣化草地の回復

家畜の数が多過ぎると、過放牧により土地が荒廃する恐れがある。これは、中国・青海省の牧畜民が学んだ手痛い教訓だ。同地域では、草地のおよそ38%が過放牧により衰退した。FAOは、中国農業科学院 (CAAS)、国際アグロフォレストリー研究センター (World Agroforestry Centre)、Northwest Institute of Plateau Biologyと共同で、農家に、より持続可能な方法で家畜や草地を管理するツールを提供するための手法を開発した。劣化草地を回復し、土壌炭素ストックを増やすことは、土壌水分や栄養保持を改善することで生産性の向上とレジリエンスの構築を同時にもたらし、さらには、小規模牧畜民コミュニ

ティの生活改善にもつながる。しかし、これまで、炭素測定に多大なコストがかかることが、炭素隔離プロジェクトの妨げとなってきた。そこで、青海のプロジェクトは、モニタリングに重点を置いた方法論を開発し、VCS (Verified Carbon Standard) による認証を取得することで、こうしたコスト面の問題の克服を図った。VCS認証を受けることで、農家は炭素クレジットの仕組みを利用して新たな資金源にアクセスすることができ、したがって、生産性が向上して利益が出るようになる前に、導入コストをカバーすることが可能になる。

出典: FAO, 2013a.

» 害を軽減する。さらに、収入源の多角化の一助となるうえ、家畜の飼料も提供する。シロアカシア (*Faidherbia albida*) などの窒素固定マメ科樹種の植栽は、土壌の肥沃度や収量を向上させる。アグロフォレストリーが生産性や適応能力、炭素貯留に好影響をもたらす明らかな証拠は多数存在するが、個々の現場の実情に応じて、さまざまなシステムや樹種の導入を検討する必要がある。■

緩和のコスト、インセンティブ、阻害因子

以上に見てきたように、「農業・森林・その他土地利用 (AFOLU)」部門における気候変動緩和には、多くの実現可能かつ有望なアプローチがあり、技術的ポテンシャルはかなり大きいと言える。それでは、緩和にかかるコスト、すなわち経済的ポテンシャルはどれほどなのだろうか。あるいはこう言い換えることもできる——炭素価格がどのくらいであれば、農林漁業従事者は、炭素隔離や排出削減に向けた適切な緩和策の導入に前向きになるのだろうか。

IPCCの第4次評価報告書で試算された2030年の林業と農業の緩和ポテンシャルの合計に基づき、IPCCは、2030年の経済的緩和ポテンシャルを、炭素価格が二酸化炭素換算1t当たり20USドルの場合で3Gt、100USドルの場合で7.2 Gtと見積もっている (Smith *et al.*, 2014)⁸。地域別に見ると、すべての炭素価格帯で最も大きな緩和ポテンシャルが見込まれるのはアジアである (図15、Smith *et al.*, 2014に基づく)。

林業は、すべての炭素価格帯で緩和に最も大きく貢献するとみられる。特に炭素価格が低水準の場合、林業の寄与はAFOLU部門全体の半分近くにのぼる。高価格の場合は、林業の寄与はやや低下する。ラテンアメリカで

は、すべての炭素価格帯で、林業が緩和ポテンシャルの大半を占める。もっとも、林業のなかでも、実施する地域や緩和策が異なれば、経済的緩和ポテンシャルも異なってくる。例えば、ラテンアメリカ、中東、アフリカでは、森林減少の抑制が最も大きな緩和ポテンシャルを占めるのに対し、OECD加盟国、東欧、アジアでは、森林管理、次いで植林が主要な選択肢となる。

林業以外の緩和策では、炭素価格が20USドル/tで、耕地管理のポテンシャルが最大となり、100USドル/tで、有機土壌の回復のポテンシャルが最大となる。また、炭素価格が高くなると、草地管理と劣化土地の回復によるポテンシャルも大きくなる (Smith *et al.*, 2014)。

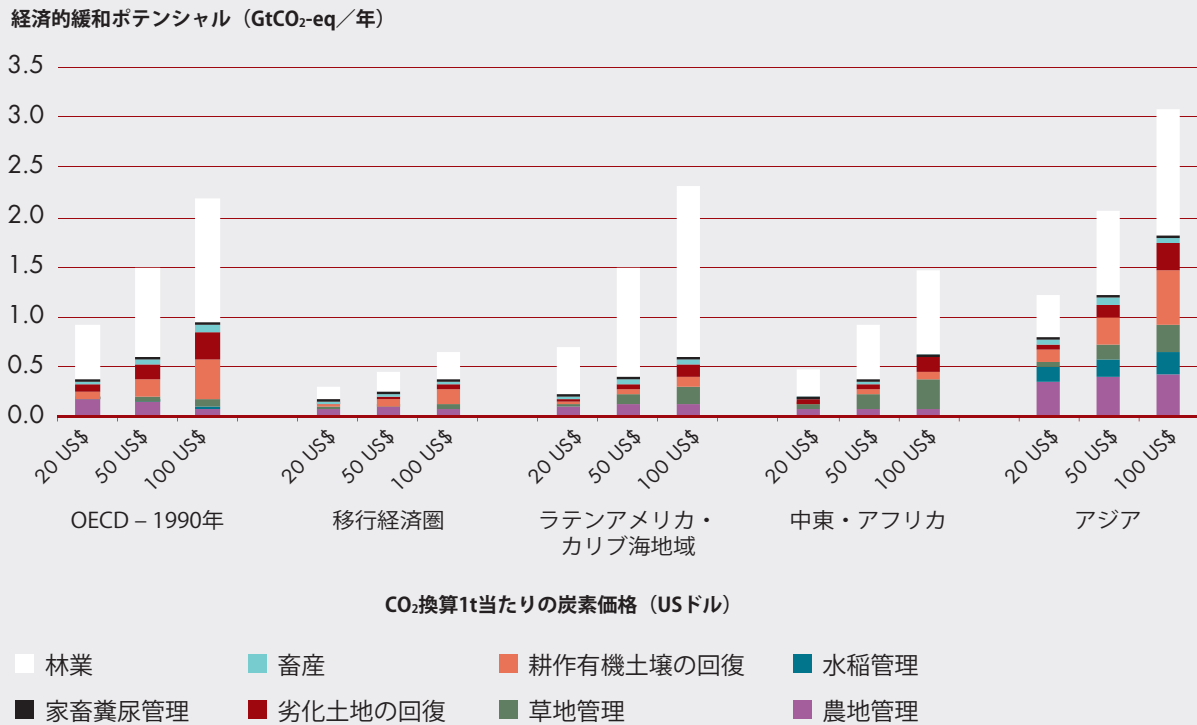
こうした経済的緩和ポテンシャルの試算は、どうすれば費用対効果が最も高くなるような形で介入策のターゲットを定められるかについて、おおよその示唆を与えてくれる。しかし、AFOLU部門の正確な緩和ポテンシャルや、脆弱な生産システムや集団への影響、導入にかかるコストを厳密に算定するには、より精緻な評価が必要になる。加えて、緩和の取り組みは一義的には温室効果ガスの排出削減や炭素隔離を目的としたものであっても、同時に小規模生産者の土地保有権を保護し、とりわけ最も脆弱な集団の食料安全保障や気候変動適応に貢献するものでもあることが必須条件となる。

農業における排出削減を促進する手段として、さまざまな制度的、経済的アプローチが挙げられる。制度面では、農家に適応と緩和の相乗効果を生み出す農法に関する情報を提供したり、必要とあれば、こうした手法の導入に向けた資金調達手段として信用制度へのアクセスを提供するといった取り組みなどが挙げられる。経済面では、炭素吸収源の提供や維持に取り組む農家を優遇するインセンティブの仕組みや、窒素肥料の濫用防止を目的とした窒素肥料の課税制度 (一部のOECD加盟国では硝酸塩汚染対策としてすでに適用されている)、低炭素食品の販売促進といったサプライチェーンにおけるイニシアティブなどが挙げられる (Paustian *et al.*, 2016)。■

8 IPCCの第4次評価報告書(2007年)以来、異なる炭素価格における隔離ポテンシャルについては、さまざまな推定値が発表されてきたが、こうした推定値には大きなばらつきがある。炭素価格が20USドル/t以下では、年0.12~3.03 Gt CO₂-eq、100USドル/t以下では0.49~10.6 GtCO₂-eqの範囲となっている (Smith *et al.*, 2014)。

図 15

2030年における「農業・林業・その他土地利用」部門の経済的緩和ポテンシャル(地域別)



出典：Smith *et al.*, 2014、図11.17.

BOX 20

食料システムからの排出——サプライチェーンにおけるエネルギー使用

食料サプライチェーンの近代化には、「チェーンの前段階」における投入（肥料、農機具、農薬、家畜用医薬品、輸送）と、「農場を出た後」の活動（輸送、加工、小売）の両方における高レベルの温室効果ガス排出が伴ってきた。先行研究による算定値と、Bellarby *et al.* (2008) と Lal (2004) によるデータに基づき、2005年の肥料、除草剤、殺虫剤の生産における温室効果ガス排出量と、生産現場で使用された化石燃料からの温室効果ガス排出量の総和は、世界全体の排出量のおよそ2%を占めると推計されている (HLPE, 2012)。

他方、食料品の消費における排出量の算定には、ライフサイクル分析の手法を用いる必要がある。ライフサイクル分析のアプローチは一般に、「チェーン前段階」の投入から「農場を出た後」の加工処理に至る食料システム全体の排出を網羅する。したがって、メタン、亜酸化窒素、CO₂の排出に加えて、食料システム全体における化石燃料の使用も含まれることになる (e.g. Steinfeld *et al.*, 2006; FAO, 2013b)。収穫後段階を含めると、およそ3.4 GtCO₂-eqの排出量が、アグリフードチェーンにおける直接的、間接的なエネルギー使用により生じている (FAO,

2011d)。これは、農業生産自体から排出される5.2 GtCO₂-eqや、林業・土地利用変化から排出される4.9 GtCO₂-eqにほぼ匹敵するレベルである。食料システムは目下、世界で利用できるエネルギーの3割を消費しており、そのうちの7割超が、「農場を出た後」の段階で消費されている。

近代的な食料システムは、化石燃料に大きく依存してはいるものの、食料安全保障の向上に大きな貢献を果たしてきた。しかし、こうした食料システムが気候変動緩和に寄与するためには、今後の食料システムの発展を、化石燃料への依存から分離する必要がある。FAOの「人々と気候のためのエネルギー・スマートな食料 (Energy-Smart Food for People and Climate, ESF)」プログラムは、「水資源・エネルギー・食料のネクサス (連結)」アプローチを用いて、途上国がアグリフードチェーンのあらゆる段階において近代的なエネルギーサービスへの十分なアクセスを確保するとともに、エネルギー使用の効率化を進め、最終的には、再生可能エネルギーへの転換を図るのを後押しする取り組みである (FAO, 2014)。

食料システムにおける 取り組み—— 食料のロスや廃棄をなくし、 持続可能な食生活を推進する

食料のロスや廃棄を削減し、より持続可能な食生活への転換を促すことは、温室効果ガスの排出削減にもつながり、世界の食料安全保障にも貢献する (Bajželj *et al.*, 2014)。FAOの推計によると、世界では毎年、人の消費用に生産される食料のおよそ3分の1が廃棄されている (FAO, 2011c)。これはつまり、こうした食料の生産のために、膨大な土地、水資源、エネルギー、投入財が無駄に費やされ、数百万トンもの余分な温室効果ガスが排出されていることになる。食料チェーンの総合的な効率を高めて食料のロスや廃棄を削減することは、温室効果ガスの排出削減につながるうえ、食料へのアクセスを向上させ、気候変動に対する食料システムのレジリエンスも強化する。

低所得国では、食料のロスが食料バリューチェーンの全域で生じているが、その背景には、収穫、保管、輸送、加工、包装、販売における管理上、技術上の制約がある (HLPE, 2014)。ロスが最も多いのは、中小規模の農業や漁業の生産・加工部門だ。さらに、ロスの背後にはしばしば、社会的、文化的な事情——バリューチェーンのさまざまな段階で男女に求められる役割の違いなど——も潜んでいる。例えば、資源やサービス、雇用機会や所得創出活動にアクセスしたり、そうしたものから便宜を得るのに女性が直面する困難は、食料生産における女性の生産性や効率性に支障をきたし、食料のロスをさらに助長している。

中高所得国における食料廃棄は、主として消費者行動や、他部門の優先事項に向けられた政策や規制によって食料がなおざりにされることが原因となっている。例えば、農業補助金は余剰の作物生産を促し、これが食料価格の低下ばかりか、食料の廃棄やロスに対する、バリューチェーンと消費者の双方の無関心も引き起こして

いる。さらに、食料の安全水準や品質水準により、サプライチェーンからまだ食べられる食料が廃棄されることもある。消費者レベルでは、計画的に欠ける食料の購入や消費期限切れなども、食料廃棄につながっている。

食習慣は、気候変動を加速させるいくつかの要因にも強い影響を及ぼす。食料消費が増加している国では一般に、畜産物、植物油、糖類の消費が増える。こうした傾向は、所得の増加に伴いますます強まるとみられる。多くの研究が、動物性食料の消費が環境面に与える影響を (通例、温室効果ガス排出と土地利用に焦点を当てて) 検討している (INRA and CIRAD, 2009; Erb *et al.*, 2009; Tilman and Clark, 2014; Tukker *et al.*, 2011; Van Dooren *et al.*, 2014)。ライフサイクル評価を用いた分析の結果、研究者らは総じて、動物性食料を減らした食生活シナリオは温室効果ガス排出削減につながるうえ、人の健康にも好影響をもたらすと結論づけている。

環境への負荷の少ない食生活は健康にもよいことを示す証拠も増えている。こうした食生活に共通の特徴として、多様な食材、エネルギー支出に見合ったエネルギー摂取、必要最小限に調理・加工した塊茎類や全粒穀類、さらにはマメ類、果物、野菜、適量の肉の摂取などが挙げられる。健康的な食事の特徴としては、この他にも、適量の乳製品、無塩の種子や木の実、少量の魚介類を摂取し、脂肪・糖分・塩分が高く微量栄養素が少ない加工食品の摂取を極力控えることが挙げられる (FAO and FCRN, 2016)。

もう1つ、重要な検討事項として挙げられるのが、食品を加工して消費者の食卓に届けるために近代的な食料システムで使用されるエネルギーである (BOX 20)。高所得国では、生鮮食品の保管や流通、消費段階で、大量のエネルギーが使用され、したがって、それに相応するレベルの温室効果ガスも排出されている。Fischbeck, Tom and Hendrickson (2016) によると、米国政府の「健康な体重管理のための食生活指針」に従って食生活を送った場合、エネルギーの使用量が38%、水の使用量が10%、温室

効果ガス排出量が6%増加するという。これは、食事に占める果物や野菜の割合が増えるためである（米国では、果物や野菜は、エネルギー、温室効果ガス、水資源のフットプリントが大きい）。これは、環境負荷を判断するのに、個々の生産システムの特徴を勘案することの重要性を示す適例である。さらに、環境影響の低減と健康的な食生活との間にさえトレードオフが生じうることも示唆している。

ともあれ、世界レベルで見た場合のこうした多様な地域性を念頭に置いて、適切な栄養摂取の目標に向けて食習慣のバランス改善を図ることが、温室効果ガス排出削減や食料システムの総合的な効率改善を通じて、さま

ざまな領域にきわめて大きな共通便益をもたらすことに相違はない（Tilman and Clark, 2014）。最適な食生活の促進に向けた戦略——さらには、これと相まった健康増進、硝酸塩汚染の軽減、温室効果ガスの排出削減といった共通便益——を多くの人々に伝え、広く普及させていくには、途上国における食料消費の急増を含め、地域ごとの人口動態の違いや社会事情の違いについて、さらに踏み込んで検証していく必要がある。また、食生活の多様な変換が適応や緩和にもたらす影響（トレードオフの可能性も含め）を適切に評価するには、地域レベル、世界レベルでの多面的なライフサイクル評価が不可欠となる。■

結論

「農業・林業・その他土地利用（AFOLU）」部門は、地上の炭素・窒素循環の主要な促進因子である。農林水産業においてこうした物質循環をより適切に管理することは、食料安全保障と、気候変動への適応・緩和の両面にさまざまな恩恵をもたらす。こうした取り組みに向けた政策は、次の3つの相互に補完的な目標を追求する必要がある。

- ▶ 農業の生産効率の改善と、農場レベルでの温室効果ガス排出原単位の極小化
- ▶ 農林業の適切な管理を通じた、炭素に富んだ土壌や景観の保全・回復
- ▶ 食料のロス・廃棄の削減や、健康的な食生活に向けた食料システムの改善

こうした目標を一体的かつ同時並行的に追求すること

は、適応と緩和の共通便益の可能性を引きだして最大限に活用する助けとなる。そのためには、食料・農業政策の優先事項を見直し、単に収量格差の縮小のみに注力する狭い視点からではなく、より広い視野に立って、他の同様に重要な目的——すなわち、炭素隔離能力の改善に向けた土壌の保全・回復、排出削減と生産性の向上に向けた窒素管理の改善、農場規模の生産効率の改善と温室効果ガス排出原単位の低減を両立する農法の導入、気候の変化・変動性に対する生産システムのレジリエンスを高める多様化戦略など——にも目を向けていく必要がある。

本章では、農業・食料システムにおける「適応と緩和のネクサス（連結）」の「緩和」の側面に焦点を当てたが、次章では、政策や制度の側面から、気候変動に対する農業の対応を検討していく。



第5章

実現に向けた 道筋——

政策の再編と組織能力の構築



RUSUMO(タンザニア)
干し草でマルチングされた
小学校のバナナ農園
©FAO/M. Longari



主要メッセージ

1

パリでの国連気候変動会議（COP21）に先立ち各国から提出されたほぼすべての「約束草案」において、農業は重要な位置を占めている。

2

「約束草案」のなかで、各国は、農業における「適応」と「緩和」の両方の取り組みに向け、強い決意を表明している。

3

各国の具体的な行動計画は、農業、農村開発、食料安全保障、栄養の改善に向けた、より広範かつ抜本的な政策に組み込まれた場合にのみ、有効となる。

4

国際社会は、統合的な農業・気候変動政策を策定・実行する能力の強化に向け、途上国を支援しなければならない。

実現に向けた道筋—— 政策の再編と組織能力の構築

第3章と第4章では、気候変動へのレジリエンス構築や気候変動の緩和に寄与するための経済的、技術的な選択肢を示した。こうした選択肢を実行に移すには、それに向けた適切な政策や制度的枠組み、投資の資金調達の仕事による支援が不可欠である。こうした支援の多くは農業開発一般にとっても重要であるが、気候変動対策ではなおさら必要性が増す。農業政策に気候変動課題を組み入れるには、既存の政策の枠組みを見直し、厳密な意味での農業と食料安全保障への対応に加えて、土地や水資源の管理、災害リスク管理、社会保護、研究開発といった方策も盛り込む必要がある。

多くの国々はすでに、気候変動政策や戦略の大筋を打ち出し、国内の優先事項や、さまざまな部門が経済に占める比重を反映させた目標や目的の大枠を設定している。しかし、これまでのところ、こうした目標を達成するためのさらに踏み込んだ行動計画を明確に定めている国は少ない。本章では、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の下、各国が提出した約束草案（INDC）のなかで、農業と「土地利用・土地利用変化・林業（LULUCF）」部門に関して各国が提案している政策行動を概観する。そのうえで、農業が直面する気候変動課題への効果的な対応を確保するためには、こうした各国の誓約を、具体的な政策や制度にどのように結びつけていく必要があるかについて、検討する。■

各国の「約束」の要となる農業

2015年12月にパリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、各国が事前に提出した「約束草案」が交渉のたたき台となり、「パリ協定」の採択に導いた。「約束草案」のなかで各国は明確な削減目標を

掲げてはいるものの、たとえこれらの目標を達成できたとしても、2030年の温室効果ガスの総排出量は、地球の平均気温の上昇を「2℃未満」に抑えるのに必要なレベルを28%も超過することが見込まれる。

「2℃目標」の達成には野心度が足りないうえ、約束に法的拘束力をもたせることへの明らかな反発が存在するのも事実だが、いずれにせよ、多くの国々が具体的な国内措置の策定に踏み出した。「パリ協定」の下、UNFCCC締約各国は自主的に「国別目標（NDC）」を策定し、5年ごとに目標の見直しを行うことが義務づけられている。すでに約束草案を提出している国については、国内でパリ協定が批准されれば、約束草案の内容がそのまま国別目標となる。法的拘束力はないものの、国別目標はこの先、国レベルの気候変動対策を導く羅針盤となる。国別目標には、削減目標だけでなく、気候変動の元凶を取り除いたり、その影響に対応するための具体的な戦略も盛り込まれる。

パリ協定に先立ち策定された約束草案はすべて、「緩和」を対象とし、削減目標の提示を目的としたものであったが、参加各国はこれに加え、率先して「適応」要素を盛り込んだり、適応計画の取り組みや見直しについて報告することも招請された。UNFCCCには2016年3月末日までに、188カ国から「約束草案」が提出された⁹。そのすべてに「緩和」にかかわる誓約が含まれ、さらにおよそ7割には「適応」に関するセクションも盛り込まれている。

各国の「約束草案」をFAOが分析したところ、ほぼす

9 UNFCCCには、188カ国から計161の「約束草案」が提出された（欧州連合の「約束草案」には28カ国が含まれる）。リビア、北朝鮮、ニカラグア、パレスチナ、シリア、東ティモール、ウズベキスタンは未提出である。パナマは2016年4月19日に約束草案を提出したが、本稿の分析には含まれていない。

べてで、農業部門が重要な位置を占めていることがわかった(FAO, 2016)。9割を超える国々が、「緩和」および／または「適応」にかかわる貢献に農業部門を含めている。加えて、途上国、とりわけ後発開発途上国(LDC)は、「緩和」と「適応」の両観点から、農業部門の重要性を強く打ち出している。

- ▶ **緩和**：農業¹⁰と「土地利用・土地利用変化・林業(LULUCF)」部門は、緩和にかかわる約束(削減目標や緩和策を定めている)において最も引き合いに出される部門である。このことは特に、途上国の約束草案について言える。しかし、大半の国々は、農業やLULUCF部門に特化した排出削減目標を具体的に明記せず、経済全般の削減目標に組み入れている。
- ▶ **適応**：9割を超える途上国が、約束草案のなかに農業部門の「適応」に関するセクションを設け、農業の適応を重大な関心事のひとつとみなしている。とりわけ、サハラ以南アフリカ、東アジア、東南アジアの国々から提出されたすべての約束草案で、「適応」は重要な位置づけとなっている。また、大半の後発開発途上国(LDC)は、異常気象も主要な適応課題として取り上げており、8割を超える後発開発途上国が、差し迫った脅威として干ばつと洪水に言及している。

多くの約束草案では、農業部門における「適応」と「緩和」の相乗効果と同様に、社会経済面や環境保護面に見込まれる共通便益にも光が投げられている。全体のおよそ3分の1の国々が、こうした共通便益について言及しており、31カ国が、特に気候変動対応型農業について明示

的に言及している。具体的に引き合いに出されているのは、一方で農村開発や健康増進、貧困削減、雇用創出といった社会経済的便益と、他方で生態系や生物多様性の保全といった環境保全面での便益の統合である。同様に、約束草案の多くでは、農業生産の改善を図るのに、気候変動影響への脆弱性を低減することに加え、ジェンダー格差を解消し、女性のエンパワーメントを促進することの重要性も強調されている。

約束草案は共通の書式で作成されたものではないため、長さや網羅される情報範囲、詳細の程度はまちまちである。こうした異質混交性のため、各国の優先事項や対策を大まかなパターンではなく詳細に比較する場合には注意が必要だ。とはいえ、提出された約束草案は、大多数の国々が、「適応」と「緩和」の両観点から農業部門を重視していることをはっきりと示している。しかし、それと同時に、気候変動対策を農業部門に固有の特性や実情にマッチしたものにするには、さらに精緻なツールが必要であることも明白である(BOX 21)。

約束草案はまた、農業部門における適応策と緩和策が、いかに共通便益を生み出す可能性に富んでいるかに光を当てている。しかし、掲げた約束を実行に移すに当たり、多くの国々が、利用可能な財源の不足や、制度面の力量不足といった懸念を示している。こうした声は、特にサハラ以南アフリカ諸国から最もよく聞かれるが、その一方で、こうした国々の「約束草案」は、農業に関しては、最も仔細かつ網羅的な部類に入るものでもある。■

10 「緩和」の文脈において、「農業部門」からの排出——IPCCの用語法にしたがえば——には、家畜の消化管内発酵、家畜の糞尿管理、稲作、サバンナや草地の火入れ、土壌(すなわち作物生産による排出)などが含まれる。森林およびその他の土地利用に関連した排出は、LULUCF部門に分類される。

農業部門と国連気候変動枠組条約

国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) の協議過程で農業部門がどのように扱われているかについては誤解が多く、農業は交渉の対象に含まれていないだとか、そもそも初めから除外されているといった発言さえしばしば聞かれる。しかし実際には、UNFCCCは、あらゆる人為起源の温室効果ガス排出源と、あらゆる気候変動影響を対象としている。したがって問題にすべきは、そもそも農業部門がUNFCCCの対象範囲に入っているかどうかではなく、むしろ、UNFCCCにおいて農業部門の特性がどのように考慮されているかである。

UNFCCCの下で、農業や食料安全保障に関する課題を検討することが至極妥当であるのには、いくつかの理由がある。1つは、UNFCCC自体が食料生産の重要性を認識している点である。条約の第2条(「目的」)は、「食料の生産が脅かされない」うちに、目的〔すなわち、大気中の温室効果ガス濃度の安定化〕を達成しなければならないと明記している。また、COP21で採択された「パリ協定」は、さらに踏み込んで、「食糧安全保障及び飢餓の終了という基本的な優先事項並びに気候変動の悪影響に対する食糧生産体系の著しいぜい弱性」を認識すると特記している。

2つ目の理由は、気候変動対策では「土地利用・土地利用変化・林業 (LULUCF)」部門が重要な役割を担うという認識であり、この点は「パリ協定」でも再確認されている。UNFCCCの下でLULUCF部門を組み込むに当たっては、算定ルールや資金メカニズムに温室効果ガス排出源や吸収源の特性をいかに反映させるかについて検討する一連のワークストリームが形成されてきた。主な検討課題として、排出源や吸収源の自然起源と人為起源との区別や、吸収源による排出削減の非持続性の扱いなどが挙げられる。こうした作業は、2008年に発足したREDD+イニシアティブ(自国の森林の保全に取り組む途上国に、資金援助などの経済的利益を提供することにより、森林減少・劣化の抑制を目指す仕組み)にも結実した。森林の重要性は、パリ協定において

立っている。パリ協定の第5条は、特にREDD+が適用される緩和策によって「2℃目標」を達成するに当たり、森林が中心的な役割を果たすとの認識に立ったものだ。さらに、緩和と適応の統合的アプローチにおける森林のポテンシャルや、非炭素便益を生み出すのに森林が果たす重要な役割についても認識している。

3つ目は、2007年のバリ会議 (COP13) 以来、農業(この場合は農業と畜産業)に関するワークストリームが進展してきた点だ。これは、UNFCCCの「科学および技術の助言に関する補助機関 (SBSTA)」の4つのテーマのワークショップ——「早期警報システム」「脆弱性」「適応」「生産性」——において進められてきた。ワークショップの成果は、モロッコ・マラケシュで開催されるCOP22で協議される見通しだ。

最後に、上述のワークストリームに加え、UNFCCCの下で実施されたあらゆる活動において、農業部門の特性を認識し、それに適合したメカニズムやツールを構築する必要性が、横断的テーマとして浮上してきたことが挙げられる。農業による温室効果ガス排出や排出削減(排出源や吸収源を含む)は、ほかの大半の部門よりも評価やモニタリングが困難である。農業部門の小規模なアクターの圧倒的な数の多さも、評価やモニタリングを困難にし、一般にエネルギー部門や産業部門向けに案出されたメカニズムをそのまま農業に適用した場合に実施やモニタリングにかかるコストが膨らむ原因となる。さらに、UNFCCCでは「緩和」と「適応」が別個に取り扱われるために、農業部門では特に重要となる相乗効果やトレードオフの適切な評価が妨げられている。各国の「約束草案」でも強調されているように、農業部門での取り組みは、環境面、経済面、社会面の課題の間に共通便益やトレードオフが生じうるからこそ、有意義であるのだ。こうした課題は農業部門にとっては重要であるが、大半のUNFCCCの議論やメカニズムでは考慮されていないのが現状だ。

» 約束から行動へ——気候戦略における農業の役割

「国別目標」は、あくまで大筋を示しただけの法的拘束力のない約束であり、行動計画ではないため、約束を実行に移すにはまず国レベルの具体的な対策に落とし込む必要がある。これは、農業や食料安全保障の政策立案にも直接関わってくる。しかし、それだけにとどまらず、農業や食料安全保障に関連の深いその他さまざまな政策や行動領域——土地や水資源の管理のみならず、災害リスク管理や社会保護なども含め——でも、気候変動対策を取り組みの中軸に据えることが求められる。難題は、いかに農業部門を（UNFCCCメカニズムにリンクした）各国の気候変動戦略に組み入れるかである（図16）。

UNFCCCの下、国際的約束を国レベルの具体的な緩和・適応対策に落とし込むために、以下のような一連の手法が構築されている。

▶「国別適応行動計画（NAPA）」は、もともとUNFCCCが後発開発途上国を対象に確立した、国主体による適応行動計画の策定のための統一プロセスである。このプロセスでは、気候変動適応の「喫緊のニーズ」（“urgent and immediate needs”）——対応の遅れが脆弱性を高めたり、後々に多大なコストにつながりかねない差し迫ったニーズ——に対する行動の優先づけを行う。これまでに50カ国がNAPAを策定し、UNFCCC事務局に提出している（UNFCCC, 2016a）。そのなかでは、農業と自然資源管理が特に重要な課題として位置づけられている。優先プロジェクトの大多数は、農業部門と食料安全保障に関連したものであり（Meybeck *et al.*, 2012）、そのうちの大半は5つのカテゴリー——部門横断的プロジェクト（早期警報システム、災害管理、教育、能力開発を含む）、生態系管理、水管理、農畜産物生産、所得の多様化——のいずれかに分類される。すべてのNAPAは、後発開発途上国基金（LDC Fund; LDCF）から資金供与を受けることができる。LDCFによる資金供与は地球環境ファシリ

ティ（GEF）により管理されている。

- ▶「国別適応計画（NAP）」は、中長期的な適応ニーズへの対応に焦点を絞った戦略策定プロセスであり、農業部門やアクターの関心事やニーズを、国家戦略や政策の大綱に組み込むための重要な機会となる。これまでにブラジル、ブルキナファソ、カメルーンの3カ国がNAPを策定済みであり、いずれも農業における適応を重点課題に位置づけている。
- ▶「国内における適切な緩和行動（NAMA）」は、UNFCCCの定義に従えば、途上国が持続可能な開発に向け、自国の国情に応じた適切な排出削減対策を策定するプロセスである（UNFCCC, 2016b）。一般に「約束草案」よりもさらに踏み込んだ行動計画を含み、プロジェクトベースやプログラムベースであったり、部門別の取り組みであったり、政策レベルに焦点を当てている場合もある（Wilkes, Tennigkeitand Solymosi, 2013）。部門別の政策は、気候変動関連の政策や優先事項に則って策定され、適宜補正される必要がある。また、ベースライン・シナリオを構築し、さまざまな緩和策の緩和ポテンシャルを評価しなければならない。さらに、こうした緩和策の実施を阻害する要因を洗い出す必要もある。組織間の連携や財源基盤の整備に加え、測定・報告・検証（MRV）のための制度面の整備も必要だ。UNFCCCのNAMAレジストリーに登録されたNAMAの約13%を「農業・林業・その他土地利用」部門が占めている（UNFCCC, 2015）。■

気候目標と開発目標を連携させる 一体的アプローチ

NAPA、NAP、NAMAは、適応または緩和による気候変動対策に焦点を当てている。しかし、第3章、第4章で見たように、こうした対策が実効性をもち、確実に共通便益を実現するには、より広範な農業、食料、栄養改善政策と一体的に取り組む必要がある。

森林植生や劣化土壌の回復、気候変動対応型の営農手法、農業生態系、水資源のより適切な管理——こういっ

た方策はすべて、食料の需要増をまかなうための生産性の向上や、営農システムのレジリエンスの強化、農林水産業の排出原単位の低減に貢献する一方で、土壌や森林の炭素隔離能力の強化にも資する。しかし、先の2つの章でも示したように、食料システムを持続可能な経路に乗せ、飢餓を根絶するには、農業部門のみが持続可能な営みへと転換を遂げても不十分である可能性がある。飢餓の根絶には、食料不安を抱える人々のレジリエンスや生計を改善するとともに、経済全域にわたって確実に温室効果ガスの排出を削減して、地球の気温上昇を「2℃未満」に抑えるための一層の取り組みが必要だ。また、貧困層や食料不安を抱える人々の所得や雇用機会の多様化を促す農業・農村振興政策は、食料システム全体の炭素フットプリントの低減に取り組む政策——例えば、環境目的に合わせて食生活の嗜好を変容させる施策など——により補完される必要がある。

農業の観点から見ると、こうした一体的アプローチは、農業生産や自然資源の管理手法を選択する際の諸因子や、そうした選択が農家の生計に及ぼす影響、さらには、そうした選択が環境に与える帰結を把握することがスタートラインとなる。しかし、こうしたことをすべて勘案するのは複雑な作業であり、必ずしもWin-Winな解決が可能であるとは限らない。というのも、さまざまな政策や市場原理、環境面の諸制約が、農業における投入財やその他の資源の使用、生産性のレベル、自然資源の保全または消耗の程度を左右するからだ。こうした因子は、国によって大きく異なる。アフリカの零細農家とアジアの小規模農家では取り巻く環境や抱える制約が異なるうえ、政策に対応したり、グローバルなアグリビジネスとして市場シグナルに応答する能力にも地域差がある。本報告書で一貫して示してきたように、気候変動をもたらす影響も地域によって大きな隔りがあるため、個々の現場の実情や力量に即した取り組みが必要となる。とはいえ、こうした違いはあるものの、例えば、気候変動の取り組みと食料安全保障の取り組みとのトレードオフに対処したり、異なる政策分野の連携が見込める共通の領域が数多く存在するのも事実だ。

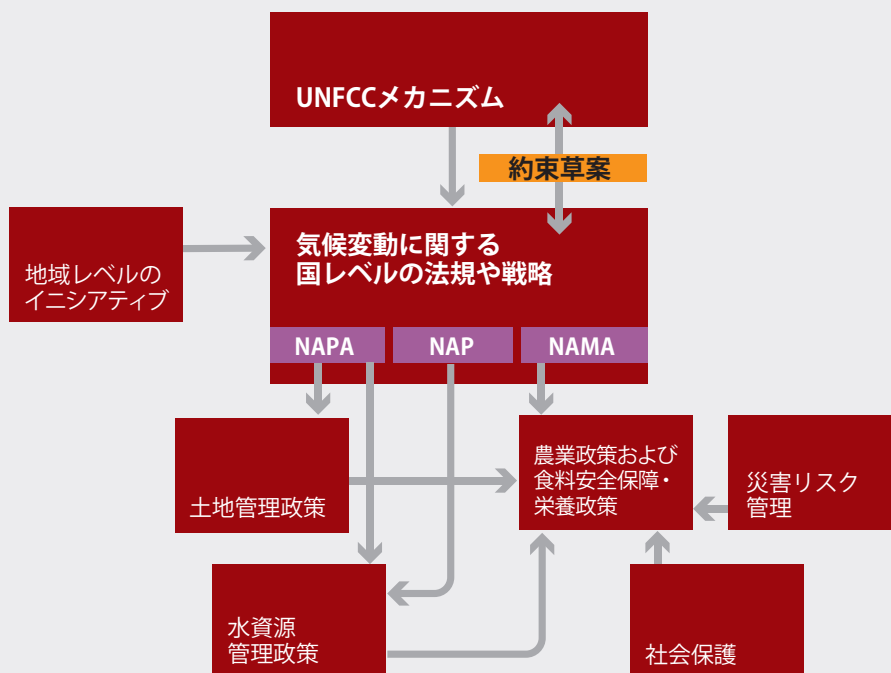
環境に悪影響をもたらす補助金制度や支援策の是正

OECD加盟国が2015年に農業生産支援に注ぎ込んだ財政支出は2,110億USドルであった。OECD非加盟国では、支援額は（データが入手できるものだけでも）3,520億USドルにもものぼる¹¹。各国政府は、農業生産に直接的な刺激を与えたり、投入財の価格を誘導したり、農家の所得を補償したり、その他さまざまな社会・経済・環境面の目的——景観の保全や水資源の保全、貧困削減、気候変動の緩和や適応など——を実現するために、農家やアグリビジネスへの支援を行っている。先進国、途上国のいずれにおいても、現行の生産支持措置の多くは、肥料やエネルギー（特に化石燃料）といった投入財への補助金、あるいは農家への直接支払いである。OECD加盟国では、1980年代以降、支援策は実質的にも相対的にも縮小傾向にある。出荷高に占める補助金などの支援の割合は、1986年の46%から2014年の20%に大幅に低下した。対照的に、大半のOECD非加盟国では、農業生産支援は（データが入手できるものに限ると）増加傾向にある。

支援策は、気候変動や環境問題への取り組みと足並みが揃っていないと、環境に意図せぬ影響をもたらすことがある。例えば、投入財補助金制度が、かえって合成肥料や農薬の非効率的な使用を助長したり、生産の排出原単位を高めたりする恐れがある。2010年から2012年にかけてOECD加盟国政府が支出した農業補助金のほぼ半分は、化学肥料や化石燃料の需要を増大させ、温室効果ガスのさらなる排出につながるため、「環境にきわめて有害である可能性がある」とされている（OECD, 2015）。もっとも、環境に悪影響を与える補助金の割合は1995年の75%から減る一方で、環境規制を遵守した補助金や現金支給の割合は増えている。こうした傾向は非常に期待が持てるものだが、その一方で、OECD加盟国の農産物

11 PSE指標（production support estimates: 生産支持推定量）は、OECD（2016）のPSE/CSE（Producer and Consumer Support Estimates: 生産者・消費者支持推定量）データベースに基づく。データベースには、次のOECD非加盟国9カ国も含まれる——ブラジル、中国、コロンビア、インドネシア、カザフスタン、ロシア、南アフリカ、ウクライナ、ベトナム。

国際レベルの約束・メカニズムから国レベルの政策・制度への流れ



出典：FAO.

BOX 22

農業政策とエネルギー政策の一貫性を確保する必要性

農業生産で使用される燃料に対する減税措置と、バイオ燃料の開発支援は、農業、エネルギー、気候変動政策により緊密な連携が必要であることを示す適例である。農業用の**燃料に対する減税措置**に賛成する意見の言い分は、生産投入財として輸送燃料は重要であるうえ、燃料はおおかたが道路以外の場所で使用されているというものだ。しかし、温室効果ガス排出に関しては、ディーゼルエンジンがどこで使われようと、CO₂を排出していることに変わりはない。したがって、燃料に税額控除を適用する農業政策は、気候変動の緩和とは相容れない。

政策一貫性が疑問視されているもう1つのエネルギー関連分野が、**バイオ燃料**である。バイオ燃料の開発には、いくつかの政策分野（農業、エネルギー、運輸、環境、貿易）が関わっているが、これらの政策の間には多くの場合、明確な連携や一貫性が欠けているのが現状だ（FAO, 2008）。各政策の目的が互いに矛盾することなく成立しうるのは、バイオ燃料の役割がこれらの政策分野すべてとの関連で検討される場合のみである。バイオ燃料の原料生産は、土地などの生産資源をめぐって在来の農業と競合することで、食料価格の高騰や乱高下を招き、食料安全保障や人々の栄養状態に弊害が及ぶ恐れがある。また、バイオ

燃料生産の採算性は原油価格に大きく依存しているため、エネルギー市場の変動性は、農業市場、ひいては食料価格にも波及しかねない（Enciso *et al.*, 2016を参照）。

バイオ燃料政策は、税額控除や定量的目標（いわゆる混合義務や使用義務）、貿易制限によって実施されるのが一般的である（Sorda, Banseand Kemfert, 2010）。これらはそれぞれ、農業市場の変動性に異なる効果をもたらす。バイオ燃料は原油との相対価格であることから、税額控除は、定量的目標よりもエネルギー市場への依存度が高まる。したがって、定量的目標のほうが、バイオ燃料の需要の点で、より予測可能性が高い。バイオ燃料政策は、農産物市場とエネルギー市場とを結びつけるものであるため、気候変動政策のより広範な枠組みにおいて考慮されなければならない。食料安全保障の観点から言えば、税額控除よりも定量的目標のほうが望ましいと思われる。というのも、後者のほうが市場の変動を招きにくいからだ。もっとも、いずれの政策であれ、問題は、どの程度の義務または控除を課すかである。税額控除と定量的目標の両方を行う場合は、政策一貫性を一層損なう恐れがあるため、特に注意が必要だ（De Gorter and Just, 2009）。

» 価格政策は全体的に、持続可能な生産手法の導入に対する十分なインセンティブになっているとは言えず、環境取り組みとのさらなる連携が求められる。

途上国では、生産者価格支持や投入財補助金制度は拡大傾向にある。投入財補助金制度は多くの場合、投入財の購入コストを下げて利用を促すことで、収量が増え、食料安全保障が改善されるという考えに根差している。第3章で述べたように、窒素肥料の利用を増やすインセンティブは、場合によっては——特にサハラ以南アフリカの一部地域などでは——確かに小規模生産者の生産性を高め、レジリエンスを向上させる共通便益を生み出すことが可能だ。しかし、どんな場合にもメリットとなるわけではない。例えば、東アジアでは、肥料の濫用は何ら生産利益をもたらさず、むしろ、深刻な環境汚染を引き起こす (Fixen *et al.*, 2015)。したがって、環境目標にとってかえって逆効果となるようなインセンティブが生じることのないよう、入念な評価や政策の策定が必要となる。農業開発と気候目標を連携させる1つの方法として、排出削減や自然資源の保全に資する営農手法の導入を農業支援の条件とすることが挙げられる。各国の助成レベルは高いため、インセンティブをすり合わせたり振り向けたりする余地も大きい。しかし、気候変動政策と農業政策を連携させただけでは十分とは言えない。さらに、他の分野、とりわけエネルギー部門の政策とも連携させる協調的な取り組みなしには、気候変動を乗り切ることは困難である (BOX 22)。

自然資源の管理

政策における相乗効果のもう1つの主要領域は、持続可能な自然資源管理である。土地や水資源の持続可能な利用の最適化を図るには、さまざまな目標や利害関係、時間軸の相乗効果やトレードオフ (妥協点) を差配する適切なガバナンスやメカニズムが求められる。農業、エネルギー、林業における多種多様な目的を実現するには、大規模な土地利用計画が必要だ——そうした計画において、REDD+メカニズムや、農業生産、その他の森林

利用 (バイオマスエネルギー生産など) の優先分野を洗い出していかなければならない。

農畜産業は、森林減少や森林劣化を加速させる最大の要因である。しかし、これに加えて、大半の途上国では、エネルギー部門も森林と密接に関わっている——とりわけアフリカやアジアでは、木質燃料への依存が浸透しており、アジアやラテンアメリカでは、バイオ燃料の原料生産の拡大により、森林伐採が進んでいる。したがって、気候変動の緩和や適応の取り組みの成否は、農業とエネルギーの両部門にわたる多様な目的の間でいかに調和を図るかに大きくかかっている。さらに、国家の自立を助け、政治的持続可能性を確保するために、REDD+は、他の主要経済部門の目的の実現にも資するような形で運用される必要がある。

協調行動を支援・促進する環境整備

気候変動の進行により、国際社会の協調行動、そしてそのための利害関係者間の緊密な連携の新たな必要性が高まっている。こうした必要性に応えるには、さまざまな取り組み——流域や森林といった特定領域であれ、食料チェーン全体であれ——の策定や実行における連携をスムーズにしたり、支援するための政策や制度が不可欠だ。包摂的で透明性の高い意思決定プロセスを推進すること、そして、市民全体、社会全体に長期的な適応利益をもたらすことを目的とした取り組みに適切なインセンティブを提供することは、自然資源の管理にとってとりわけ重要である (Place and Meybeck, 2013)。

例えば、景観回復の取り組みを支援するには、部門横断的な連携が不可欠だ。ところが、行政機関は往々にして、各組織の所掌範囲内で個別独立的に動く傾向にあり、組織間の調整不足が時としてちぐはぐな事態を招く。これは1つには、制度そのものがそうした縦割り構造をしているのに加え、土地利用の計画段階や管理において、組織間で緊密な連携を図る能力が欠如しているからである。複数の機関が生態系や土地利用の問題を扱う場

合は、部門間で緊密に連携して土地利用の改善を図ることで、自然資源、とりわけ森林、樹木、土壌、水資源の一体的な管理を進める必要があるし、実際、その余地も大きい (Braatz, 2012)。

一方、気候変動下で土地や水資源の保有権のガバナンス改善を支援するには、女性や貧困層、少数派グループの利害関心も考慮に入れて、多様な利害関係者間で対話を重ね、合意形成を図ることが有望な手法である。例えば、協議プロセスによって、地域主体の合法的な分権的制度を構築し、こうした仕組みの支援の下で、現地のコミュニティを参画させることで、森林管理が円滑に進み、荒廃植生の回復も速まることは、過去数十年間に蓄積された経験からも明らかである (FAO, 2013)。森林農家グループや (FAO and AgriCord, 2012)、コミュニティ林業グループ (例えば、ネパールのコミュニティ森林利用グループ; CFUG) の実践例は数多く存在する。コミュニティ漁業グループや漁業組織についても同様である。

社会的ネットワークもまた、現地のガバナンスの重要な要素であり、気候変動への効果的な対応に役立てることができる。互助的労働の伝統的な形態、例えば土壌や水資源の保全作業、交代制の耕作システムは、社会経済の変換に伴い、多くの地域で、部分的に、あるいは完全に廃れてしまった (FAO, 2013)。必要に応じて、こうした共同作業を支援したり復活させることも有益だと思われる。さらに、適応策に関する情報や経験をインフォーマルな社会的ネットワークを通じて共有することも、気候変動に対する社会的レジリエンスの構築に役立つ。こうしたネットワークは、サーベイランスやモニタリング、早期警報システムの構築においても、重要な役割を果たすことができる。

リスク管理

気候変動は、新たなリスクをもたらすとともに、既存のリスクを変容させつつある (FAO and OECD, 2012)。現下のリスクをより適切に管理することは、重要な適応

行動のひとつとして、IPCCが特に強調してきた点である。こうしたリスク管理には適切な制度や政策が必要になるが、どういった制度や政策であるかは、多くの場合部門やリスクによって異なる。気象観測所や天候・気候予測ツール、収量応答モデル、環境モニタリングツール、脆弱性評価といった手段は、個々の現場の天候条件が将来どのように変化するかを判定し、農業生産への影響を推定するのに役立つ。こうしたツールは、信頼性の高い早期警報システムや、適応策の有効性の評価にとって不可欠である。

包括的なリスク管理戦略では、さまざまなリスク管理手段が気候変動の不確実性に対してどの程度頑健であるかを明確に把握しておく必要がある (Antón *et al.*, 2013)。加えて、こうしたリスク管理戦略では、個別レベルから世界レベルまで、公共、民間、市民社会セクターによる連携した行動が求められる (World Bank, 2013)。各国政府は、予防的かつ統合的なリスク管理の仕組み——例えば、さまざまなリスク管理戦略に加え、ローカルレベルから世界レベルまでを視野に入れたリスクモニタリング、さらに予防、制御、対応を行うさまざまな制度の調整機能を果たす国内委員会など——を提供するとともに、リスク対処への民間部門の参加を促すためのインセンティブを提供することもできるであろう。第3章で強調したように、最低限の所得や食料へのアクセスを保障する社会保護プログラムは、リスク管理においても重要な役割を担っているが、特に気候・災害リスク管理に特化した施策と緊密に連携させる必要がある (BOX 23)。

金融リスクの低減や、金融取引コストの低減、融資取引の円滑化、金融サービスへのアクセス確保、安全な預貯金による長期的な投資の促進、低コストの信用制度や保険制度の整備など、金融サービスの提供を促す政策も必要だ。小規模農家や家族農家の運転資本、例えば肥料や種子の購入と、中長期的な投資の両方の融資ニーズへの対応や支援にも取り組んでいかなければならない。

最後にもう1つ重要な点として、政策や制度が生計戦

略の「多様化」を積極的に支援することの重要性も挙げておきたい。生計の多様化は、小規模農家や家族農家が気候変動を乗り切るための最も効果的なリスク管理戦略のひとつである。場合によっては、生計の多様化には、所得や労働の多様化に加え、土地利用の多様化が含まれることもありうる。したがって、農業・農村開発政策においては「多様化」を主要な要素として取り入れるとともに、信用制度や保険制度、情報、技能訓練などへのより開かれたアクセスを通じてインセンティブを提供することで、多様化へのスムーズな転換を促していく必要がある。

気候に強い低炭素生産システムに向けた制度・政策の構築

各国が「約束草案」において、「緩和」と「適応」の双方に重点を置いていることから、温室効果ガスの排出を抑制しながら、食料生産者の適応の取り組みを支援することが今後の最優先課題となることは明白だ。農林漁業従事者が、より気候に強い生計手段を新たに取り入れるためには、そうした転換を支援する制度的環境を整備する必要がある。しかし現在のところ、こうした類いの、特に小規模生産者を支援する政策や制度的環境は、往々にして欠けているのが現状だ。

収益性が高く安定した農業生産を支援する制度的な仕組みは不可欠である。ここで中心的な役割を担うのは農業の投入・産出市場だが、このほかにもさまざまな制度——例えば、農村の信用・保険制度、農業普及サービス、土地・水資源の保有権システム、投入財購入補助金制度など——が、レジリエンスのより高い営農システムへの転換において、小規模農家を支援（場合によっては、妨害）するのに重要な役割を果たすことがわかっている（第3章および以下の文献を参照のこと——McCarthy, Best and Betts, 2010; Asfaw, Coromaldi and Lipper, 2015; Asfaw *et al.*, 2015; Asfaw, DiBattista and Lipper, 2014; Arslan *et al.*, 2014, 2015; Arslan, Belotti and Lipper, 2015）。

食料生産者が気候変動への適応に必要な投入財やノウハウにアクセスしたり、多様化活動からもたらされる生産物を販売して見返りを得られるようにするためには、小規模農家と、現地・国・地域市場の間に強固なつながりを構築することが、特に気候変動下ではなおさら重要になる。市場のつながりの形成には、中小規模の食料加工業者や、小規模の小売・卸売業者への投資も必要だ。また、市場アクセスにかかる取引コストを低減したり、小規模農家・農家組織と他部門の組織とを隔てる経済的・政治的な力の格差を埋めるための規制手段を構築するのにも、政府の介入が必要になるであろう。■

地域・国際協力の強化

国境を越えた課題

気候変動への対応にはしばしば自然資源の集団的管理が求められるが、これには、国境を越えた取り組みが必要になる場合がある。また、気候変動により、病虫害や疾病の分布域や生産物の栽培適地が国境を越えて移動する可能性も高まる。こうした越境的事象に対処するには、地域的・国際的な協力を強化して、知見の共有を円滑にしたり、共有資源を共同管理したり、動植物の遺伝資源を交換・評価するといった取り組みが求められる。

農業部門が依存する多くの資源（水資源、魚類資源、生態系）は、本来、越境的である。環境の変化は、こうした資源の利用可能性に変化をもたらし、種や人々や人間活動はこうした変化に適応しようと移動する。加えて、森林火災や外来種の侵入、病虫害や疾病の発生といった極端現象は、国境を知らない。個別のリスクや脆弱性の予防・管理に向けた政策や制度は、もっぱら現場レベル、国レベルのものだが、国際レベルでの協力やツールが効果的にサポートすることもできる。

このように、自然資源の変化や、農業部門、食料安全保障に対するリスクをモニタリングし、管理する多国間・地域レベルの取り組みは、気候変動への対応にとつ ▶▶

食料安全保障と栄養の確保のための防災

レジリエンスの構築には、災害リスク削減 (DRR) に対する従来のアプローチの転換——すなわち、極端現象に事後的に対応するだけのアプローチから、リスク削減や能動的管理を重視するアプローチへの転換——が求められる。現在、人道援助資金のうち、災害への備えや防災に当てられている資金の割合は、年平均で全体の5%に満たずであり、しかも、そうした支援を最も必要とする国々では1%にも満たない。2010年と2011年の政府開発援助 (ODA) からのDRRへの投資は、すべての部門でわずか0.4%にとどまった (UNISDR/OECD, 2013)。

FAOはDRRの取り組みを概念化し、異常気象などの極端事象に頻繁に見舞われる多くの国々でDRRの普及に取り組んでいる (一部の実践例についてはFAO, 2016を参照のこと)。このアプ

ローチは「仙台防災枠組」に準拠し、相互に関連する以下の4本の柱のうえに成り立っている。

- ▶ 災害リスク・危機ガバナンスの能力強化や、より強固な法的枠組み、計画立案枠組みの構築による環境整備
- ▶ 部門別のリスクモニタリングや早期警戒によるリスクの把握や、意思決定プロセスへの情報提供
- ▶ 自然災害による被害の防止や軽減に向けた現場ごとの実践の促進
- ▶ 災害への備えや応急対応、よりよい復興に向けた能力、連携、計画立案の強化

知識ギャップとデータ活用の課題

気候変動はリスク環境にも変化をもたらす。というのも、気候変動は、食料生産者がかねてから直面してきたリスクのうえに、さらに「不確実性」という層も追加するためだ。気候変動の不確実性に対処するには、重要な情報や知識 (例えば季節内天候予測など) のギャップ解消に向けた取り組みが必要だ。気象変数に関するデータの測定、記録、保管、普及や、所望の空間・時間スケールでの天候・季節的気候予測の提供に向けたインフラへの積極的な投資が求められる。また、気象・水文サービスや、農業研究、普及サービスなどを所轄する諸機関が、分野の垣根を超えて協調を図ることで、気候予測をより有益で使い勝手のよいものにする必要もある。

より緊密な連携の必要性という点においては、農業モデルの相互比較と改良プロジェクト (AgMIP) が重要なイニシアティブとなる。AgMIPは、世界中で実施されているモデル化の取り組みを相互に連結させ、気候、農業、畜産、経済的を絞ってモデル間の比較評価を行うことで、残存する知識ギャップや、こうしたギャップを解消する方法を洗い出すのに役立つ。例を挙げると、気候変動が植物の病害虫や病原体に及ぼす影響に関する最近の一連の文献 (Bebber, Ramotowski and Gurr, 2013; Gregory *et al.*, 2009) や、それに対する反論 (Thomson, Macfadyen and Hoffmann, 2010) は、現在のところ、農業への気候変動影響の予測には組み込まれていない。したがって、これらはさらなるモデル開発にとって重要な課題として特定さ

れている (Rosenzweig *et al.*, 2014)。

気候変動影響の予測と、実際の影響のモニタリング、さらにはこうした影響への対策を科学的根拠に立脚したものにするには、その準拠枠として、統計データが、一連のプロセス——排出の社会経済的促進因子、排出量、地球観測、生態系や経済活動への影響、適応・緩和対策——に関する、より精緻な情報を提供する必要がある。ところが、これらすべての領域には依然として大きなデータギャップが存在する——特に、経時的なデータを分析したり、主要部門の排出量を推計したり、地球観測データを十分に活用する能力に乏しい途上国で、こうしたギャップが顕著だ。国際社会は、途上国の統計システムの改善や、特に社会経済的データや地理参照データ、統合的な経済モデルを駆使して気候変動リスクを評価する能力を開発する取り組みにおいて、途上国を支援する必要がある。

こうした知識ギャップの解消に取り組んだり、利害関係者に適切な情報を届けるうえでカギとなるのは、地域レベル、国際レベルでの協力体制である。FAOの統計データベースであるFAOSTATは、農業と「土地利用・土地利用変化・林業 (LULUCF)」部門の国別の排出推定値を毎年更新し、提供している。FAOはまた、GeoNetwork、統一世界土壌データベース (HWSD)、Collect Earth (Google Earthにより森林データの収集を行う新たなツール) といった多様なポータルや専用ツールにより、高精度な地理空間情報も公表している。

» てきわめて重要である。農業部門における国境を越えた協力の重要な例には、次のようなものがある。

- ▶ 越境的な水産資源の適応的管理や魚病の防除に共同で取り組む、**地域レベルの漁業組織**、制度、ネットワーク。例えば、西太平洋の赤道海域におけるカツオやキハダの大型商業漁業の漁獲管理では、漁獲量を持続可能な範囲内に制限し、経済的利益の分配の最適化を図っている。
- ▶ 一国の利害を超えた意義をもち、域内の国々の協力がメリットを生む取り組みの調整・促進を図る、**地域の林業委員会**。こうした共同の取り組みの例として、地域レベルの森林火災防止や外来種対策のイニシアティブや、森林資源評価における地域協力などが挙げられる。
- ▶ **越境的な水資源管理のための制度**。例えば、ナイル川流域イニシアティブ (Nile Basin Initiative) やメコン河委員会 (Mekong River Commission) など。こうした制度は、域内の流域水資源の需要に関する共有ビジョンの形成を助ける。
- ▶ アフリカの砂漠化とたたかう「緑の長城 (Great Green Wall)」イニシアティブなどの**地域プロジェクト**。
- ▶ FAOの農業情報早期警報システム (GIEWS) や動物衛生のための緊急予防システム (Emergency Prevention System for Animal Health) といった、**地域レベル、世界レベルの早期警報システム**。
- ▶ **FAO砂漠バツタ委員会 (Desert Locust Control Committee)**。64ヵ国が加盟し、30ヵ国近くで砂漠バツタのモニタリング、防除、不測事態対応計画、専門的トレーニング、環境安全性といった領域における各国の能力強化を図っている。

適応と緩和における貿易の役割

効率的な国際貿易システムは、気候変動への「適応」と「緩和」のいずれにとっても重要である。気候変動は、世界の農業生産のパターンのみならず、食料や農産物の国際貿易のパターンにも多大な影響を及ぼす恐れがある。

その一方で貿易は、気候変動から負の影響を受ける地域にとって適応戦略のひとつにもなりうる。関税・非関税障壁などの貿易規制措置は、気候変動による需給変化への農業生産の柔軟な対応を阻害する恐れがあるため、極力回避するのが望ましい。とはいえ、気候変動による影響は、低緯度地域ほど悪化することが見込まれており (第2章を参照)、先進世界と途上世界の既存の不均衡をさらに助長する恐れもある。気候変動下では、食料供給の変動性に加え、食料価格やエネルギー価格の高騰を乗り切れるよう、途上国を支援していく必要性が一層高まる。

現行の貿易政策の枠組みは、「気候と調和している」と言うには程遠い。例えば、気候の安定化に関する国際交渉の場で、貿易措置に期待される役割は不明瞭だ。さらに、現行の世界貿易機関 (WTO) の貿易ルールは、気候目標の遵守を後押しするものなのか、それとも逆に、多国間で合意された気候ソリューションを阻害するものなのかについても、コンセンサスが得られていない (Early, 2009)。実際、貿易を歪めるとみなされれば、さまざまな気候変動緩和政策がWTOのルールの下で疑義に付されかねない。このことは、例えば、森林や土壌の炭素隔離などの「環境サービスへの支払い (PES)」や、一国単独で実施されている政策 (炭素税やキャップ・アンド・トレード制度など)、関連した国境調整措置 (類似の緩和策を講じていない国からの輸入品に、製品の環境負荷や生産方法に基づき課税するなど) についても当てはまる。

したがって、貿易ルールと気候目的との調和に関する国際的な合意形成に向けた重要な糸口となるのは、気候対策が貿易を歪めるとか、貿易ルールが気候変動の取り組みのより大きな前進を妨げるといった懸念の解消に取り組むことである (Wu and Salzman, 2014)。■

結論

COP21の予備段階で提出された「約束草案」のなかで、先進国、途上国ともに、多くの国々が、農業の重要性を認識し、農業部門が気候変動に効果的に対応できるよう、「適応」と「緩和」の両面から支援していく決意を表明している。しかし、こうした決意を実行に移すには、それに向けた政策を打ち出し、制度面の環境整備を図り、地域的・国際的な協力を得ながら、約束を具体的な行動計画に落とし込んでいく必要がある。また、こうした行動計画はいまや、緩和、適応、食料安全保障、自然資源の保全の間には重要な相乗効果やトレードオフが生じうるという認識のうえに立ったものでなければならない。さらに、共通便益を生み出すには、関連するすべての領域にわたって緊密な連携を図る必要もある。

ところが残念なことに、農業開発計画と、気候変動や環境問題に向けた取り組みとの間には一般に、十分な連携や協力関係が欠けているのが現状だ。これは資源の非効率な利用を助長しているうえ、気候変動の脅威に対抗し

ながら食料生産の生産性向上を確保し、さらには脆弱世帯のレジリエンスを強化するのに必要な、「総合的」な営農管理の導入を妨げている。それと同時に認識すべきは、気候変動影響の評価には不確実性がつきまとううえ、大きな知識ギャップがネックとなっているという点である。政策行動に対してより精緻な科学的知見を提供するには、例えば、統計システムや気候の予測・モニタリング能力の強化などによって、評価ツールの精度向上や、知識ギャップを埋めるための、一層の取り組みが求められる (BOX 24)。

持続可能かつ気候変動対応型の食料システムへの転換を支援するのに、必要な財源を確保するに当たっては、適応や緩和、食料安全保障、栄養改善、自然資源の保全といったさまざまな政策の間の垣根を取り払うことが不可欠だ。次章では、気候変動の取り組みと「農業ファイナンス」とをいかに結びつけるかについて取り上げる。



第6章

適応・緩和の実現に向けた財源の確保



DJIB (ブルキナファソ)
豪雨に見舞われた直後の
サヘルの砂漠
(Djibo-Dori間)。
©FAO/G. Napolitano



主要メッセージ

1 気候変動適応・緩和に向けた国際的な公的資金が農業部門への投融資に占める割合は、増加傾向にはあるものの、依然として少ない。

2 途上国の農業における気候変動への取り組みに資金拠出するには、さらに多くの気候ファイナンスが必要である。

3 抜本的な転換を促す政策や制度的枠組みが整備されている場合、国際的な公的気候ファイナンスは、持続可能な農業への投資により多くの官民の資金を動員する呼び水となる。

4 途上国による気候ファイナンスへのアクセスや有効な運用を妨げている最大の要因は、こうした国々が抱える能力面の制約である。

5 革新的な金融メカニズムは、金融機関が気候変動関連リスクを管理する能力を強化するとともに、気候変動対応型農業に対する民間の投融資を引き出すのを助ける。

適応・緩和の実現に向けた 財源の確保

ここまで、農業部門において気候変動に対する緩和策と適応策を講じることのメリットに焦点を当ててきた。必要とされる適応策の大半は、一般的な農村振興に向けた介入策とほぼ同じだが、異なるのは、気候条件の変化とそれに付随するリスクや制約、機会に比重が置かれる点である。提案されている営農手法の多くは比較的低コストであるうえ、「緩和」と「適応」の両方のメリットをもたらすため、費用対効果も高まる。

第3章では、小規模農業の適応策にかかるコストは、適応がもたらす便益の大きさに比べれば微々たるものであり、したがって適応の取り組みに十分な財源を当てることの正当性が確かめられた。また、第4章で示した、気候変動対応型の農業開発がもたらす緩和の共通便益や、第5章で論じたように、各国が「約束草案」のなかで農業の適応と緩和を特に重視していることを考え合わせると、気候変動対策に向けてさらなる増資が必要だとする主張にもなおさら納得がいく。本章では、農業部門での適応・緩和活動における資金の役割について検討し、こうした取り組みを支援するのに、どうすれば公的資金——国際的な公的資金と国内の公的資金の両方——をより有効に活用できるかについて考察する。■

農業のための 気候ファイナンス

少ない資金で大きな呼び水効果

「気候ファイナンス」に唯一の定義はない。あえて大雑把に定義づけするなら、気候ファイナンスとは、資金源に関係なく、気候変動への適応目的や緩和目的に貢献するあらゆる資金を指すということができるかもしれない

い。とはいえ、「公的資金」と「民間資金」を区別しておくに役立つ。というのも、これらは、適応・緩和活動に資金を動員するに当たって、相互に補完的な役割を果たすことができるためだ。

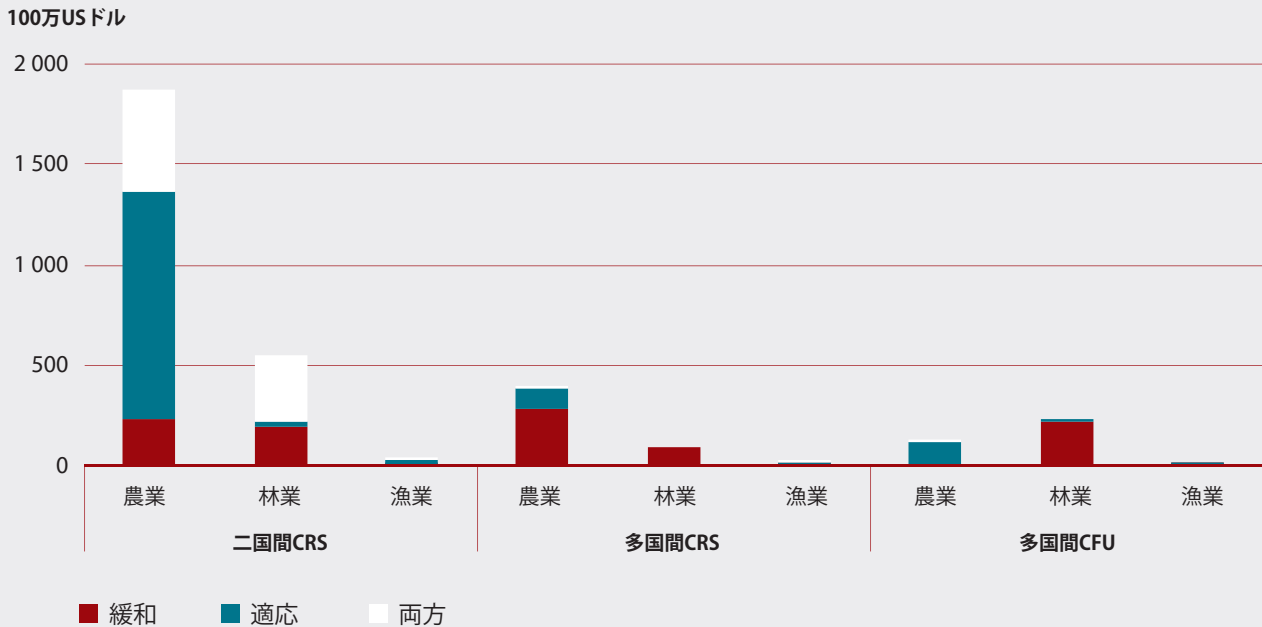
民間の投融資の流れをすべて追跡するのは困難だが、既存の推計によると、適応・緩和策の最大の資金源は民間部門であり、2014年には、気候変動対策への投融資総額(3,910億USドル)に占める民間投資の割合は、およそ62%にのぼった(Buchner *et al.*, 2015)。農業への投資では、農家(すべての経営規模を含む)が最大の投資元であり、政府による農村インフラや農業研究開発への投資の何倍もの規模に及ぶ。農業投資は国内の官民の資金が財源の大半を占めており、国際的な資金源からの資金供与はごくわずかだ(FAO, 2012)。しかし、国際的な公的融資は、規模は小さくても、気候関連投資を含む農業への民間投融資を呼び込む、いわば呼び水の働きをすることができる。

農林水産業の緩和・適応策に向けた国際的な公的融資は、当初はごく小規模であったが、2002年以降大幅に増加している。2014年末には40億USドル近くに達し(Norman & Hedger, 2016)、政府開発援助(ODA)のおよそ12%が気候関連投資に当てられている(OECD, 2015a)。もっとも、これは、途上国政府による自国の農業への財政支出(2012年にはおよそ2,520億USドルにのぼった)のごく一部を占めるに過ぎない¹²。しかし、こうした気候関連ファイナンスは、適切に運用された場合、一般的な農業開発に向けた官民の資金を、気候変動への適応や緩和に資する制度や技術、手法への投資に振り向ける助けとなる。

12 IFPRI (2015) を用いた100カ国の途上国に関する推計値を、United Nations (2013) に基づき、2005年から2012年の恒常ドルに補正。

図 17

緩和・適応策向けの国際的な公的資金の年間平均額
(部門・二国間／多国間資金別) 2010～2014年



注：「CRS」は、OECDのCreditor Reporting System (債務国報告システム) の略。「CFU」は、ODI (Overseas Development Institute) のClimate Fund Update (気候基金最新情報) の略。ダブルカウントを避けるため一部補正した。詳細については、第6章の補遺を参照のこと。
出典：二国間および多国間CRSの推計値はOECD (2015a)、多国間CFUの推計値はODI (2015) から引用。

農業向けの国際的な
公的気候ファイナンスの動向¹³

国際的な公的気候ファイナンスの仕組みは、第5章で述べたように、国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) のプロセスにおいて表明されるコミットメントの増加と歩調を揃えるように発展してきた。公的融資の「設計概念」は、2本の柱から成るとみなすことができる——一方は、緩和・適応に向けた二国間または多国間の開発資金供与組織による資金拠出、もう一方は、緑の気候基金 (GCF) といった、気候対策の支援に向けて特別に設立された専門の多国間気候基金である。以下で取り上げるのは、農林水産業において気候変動への適応や緩和に取り組むのに、こうした各資金源から利用できる資金供給である。

2010～2014年のコミットメントの規模に関するデータ

13 このセクションは、本報告書のために作成されたバックグラウンドペーパーであるNorman & Hedger (2016) に依拠している。

から、農林水産業の適応・緩和に向けた国際的な公的融資の主たる財源は、二国間の開発援助であることがわかる。二国間のコミットメントの年間平均額は、農業で19億USドル、森林保全で5億5,270万USドル、漁業で3,750万USドルにのぼる。二国間の資金拠出は、多国間の気候ファイナンスへのコミットメントよりもはるかに規模が大きい (図17)。

世界的に見て、従来の国際資金は、緩和策に対する支援のレベルが、適応策への資金供給をはるかに上回ってきた (Norman and Nakhoda, 2014)。しかし、ここ数年、特に二国間ドナーの間で、適応策を対象とした資金供給に切り替える傾向がみられる。多国間資金も適応策の支援に軸足を移しつつあるが、2010～2014年はまだ緩和策への資金拠出が主流であり、農林水産部門の資金拠出のおよそ7割を占めていた。森林保全とREDD+も、主として緩和機会として資金が提供されてきたが、二国間ドナーは、緩和と適応の両方の目的を支援する森林介入策へと転換しつつあ

る。他方、漁業に投じられる基金は、適応やレジリエンスの構築を目的としたものが主流である。

適応分野と緩和分野への資金の配分は、地域によって異なる。しかも、二国間資金供与のおよそ5分の1は、用途が特定化されていないか不明であるため、正確な推計は困難だ。残る資金供与のうち、専門の気候基金からのおよそ62%は、ラテンアメリカ・カリブ海地域に提供されており、これは同地域の森林部門における排出削減機会が大きいことを反映している。適応分野への資金拠出は、気候変動の影響を最も大きく受けることが見込まれるサハラ以南アフリカに集中しており、2010～2014年には承認を受けた気候ファイナンスの54%が提供されている。二国間ドナーも、適応策を対象とした資金のほぼ半分をサハラ以南アフリカに当てている。二国間ドナーは、食料不安に対して脆弱な国々への資金供給に重点的に取り組んではいるものの、現行の資金供給は肝心の最も脆弱な国々に支援が行き届いていないのが実情だ。これは、こうした国々では、開発援助を有効に運用して利益を得るための受け入れ態勢が整っていないことに対するドナーの懸念を反映している。

多くの二国間ドナーや多国間気候基金が、農業部門全域にわたり、政策や行政管理の強化、制度拡充といった能力開発に特に力を入れていることを報告している。こうした取り組みは森林部門で最も顕著であり、二国間資金の57%、多国間資金の75%が、政策や行政管理を支援している。なかでも、REDD+の計画や戦略の策定において各国政府を支援するREDD+レディネス（準備）に向けた資金供与が目立つ。同様に、漁業部門では、二国間気候資金の43%と多国間気候資金の90%超が、政策支援や制度拡充に当てられていた。

一方で、大半の農業向けの二国間・多国間の気候基金は、農業開発と農業政策・行政管理の両方の支援に投じられている（もっとも、さまざまな下位部門にも広く流入している）。二国間気候基金のおよそ4割は農業開発を対象としており、ドナーの関心の矛先は圧倒的に農村振

興に向けられている。二国間ドナーは、灌漑の改善やバリューチェーンの強化、契約農業のための包摂的モデルの導入といった取り組みによって、小規模農家が自給農業から市場性のある販売用農産物の生産へと転換を図るのを支援することに特に注力してきた（Donor Tracker, 2014）。その反面、低炭素やレジリエントな農畜産業の支援といった気候目的に専念したプロジェクトは少ない。作物生産では報告されている二国間資金供与の4%、畜産ではわずか0.1%にとどまる（資金拠出の用途の例については、**BOX 25**を参照のこと）。

多国間基金のなかでは、地球環境ファシリティ（GEF）が、気候変動の緩和分野に資金供与を行っている世界最大の基金のひとつである。GEFのCOP21への報告によると、同基金は1991年の設立以来、167カ国での839案件にのぼる気候変動緩和プロジェクトに52億USドル超の資金を拠出し、325億USドルのコ・ファイナンス（協調融資）を動員してきた。GEFは、特に森林保全を対象に、長期的視野に立った持続可能なアプローチの開発に取り組んでいる。2016年6月現在、GEFは430件余りの森林関連プロジェクトに、27億USドルの助成金を供与し、120億USドルの追加のコ・ファイナンスを引き出してきた。森林への資金拠出は着実に増加している。第5次増資期間（GEF-5）の4年間で、7億USドルのグラントの拠出が表明された。第6次増資期間（GEF-6）（2014～2018年）の最初の2年間で、すでに52件のプロジェクトやプログラムに5億6,600万USドルの助成金が提供された——こうしたプロジェクトやプログラムは、あらゆるタイプの森林の経済的、社会的、環境的価値の向上を目的としたものだ。加えて、GEFは、商品サプライチェーンから森林破壊に関わる慣行を取り除くための4,500万USドル規模の統合的・分野横断的プログラムにも乗り出している。

融資のニーズと展望

図17に示すとおり、農業部門の適応・緩和活動への国際的な公的ファイナンスは、2010～2014年の期間に、年平均33億USドルにのぼった。適応活動のコストの既存の **»**

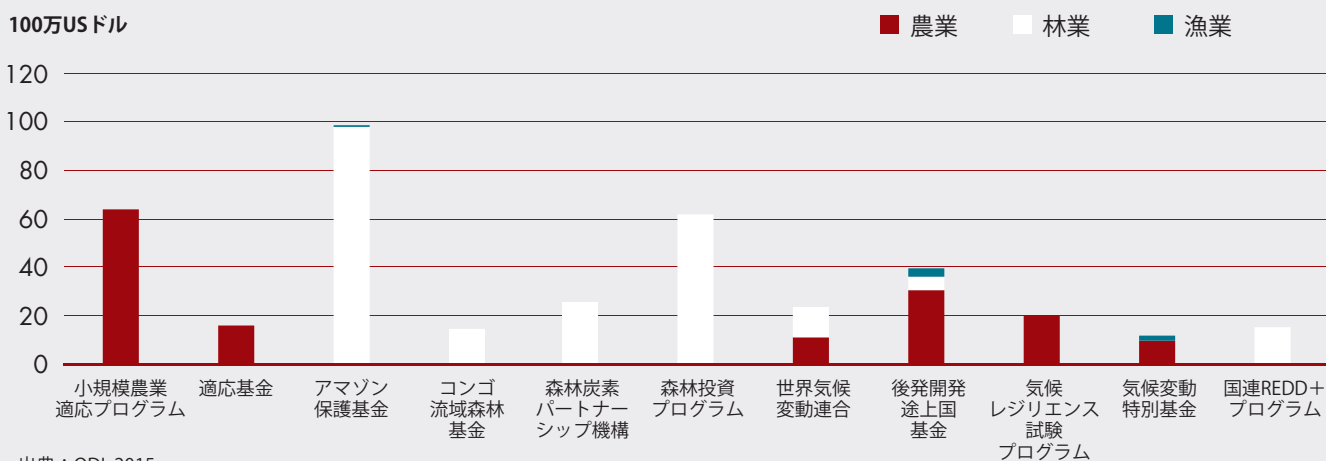
気候資金と農業部門

多国間気候資金は、拠出規模では二国間資金よりも小さいものの、第1の目的として適応・緩和の成果の実現に焦点を置いている（これに対し、二国間資金は必ずしも気候変動対応が主目的ではない）。また、多国間資金は、既存のODAによる開発プログラムではカバーしきれない緩和・適応活動の支援に投入される。2010年以降、少なくとも13の多国間気候基金が、農林水産部門のプロジェクトやプログラムに投資してきた。こうした基金の規模はさまざまだ（図を参照）。二国間資金も多国間資金も多様な金融商品を扱ってはいるが、特に多国間気候基金と二国間ドナーの場合は、無償支援が主流である。農業部門の気候変動対策にとって最も重要な基金として、IFADの小規模農業適応プログラム（ASAP）と、UNFCCCの後発開発途上国基金（Least Developed Countries Fund）——資金運用は地球環境ファシリティ（GEF）が担う——が挙げられる。2012年にスタートしたASAPは、IFADの投資プログラムにおいて気候変動適応活動を「主流化」することを目的とし、承認された資金のすべてを低所得の小規模農業の適応支援に投じている。ASAPはIFADの他の投資事業と組み合わせられた場合、大きなインパクトをもたらす。もっとも、これまでの経験から、進行中のプロジェクトに適応要素を「後から追加する」のではなく、むしろ、最初からプロジェクトに組み込まれるよう、投資をコデザイン（協調設計）する必要性が強調される。つまり、気候介入策は開発プロジェクトとは別個のプロセスやステップの対象なのではなく、プロジェクトに不可欠な要素として扱われる必要があるのだ。後発開発途上国基金は、特に後発開発途上国（LDC）を対象に、

重大な脆弱性や適応ニーズを特定したり、人々の意識の向上や知見の共有を促すことで、こうした国々の気候変動への適応を支援している。同基金は、承認された資金のおよそ33%を、農業や食料安全保障、持続可能な土地管理の目的に配分している。

森林保全の支援は、おおまかに言えば、REDD+の3つの段階——準備段階（REDD+レディネス）から、実施段階を経て、排出削減量の認証（VER）に至るまで——を支援する仕組みになっており、支払いは取り組みの成果に基づいて行われる。主な国際的多国間森林基金には、森林投資プログラム（Forest Investment Program）、森林炭素パートナーシップ機構（FCPF）、地球環境ファシリティ、国連REDDプログラムなどがある。2010～2014年の承認額は、国連REDDプログラムで年平均1,560万USドル、FCPFの準備基金で2,600万USドルであった。もっとも、これらの気候資金はいずれも、パートナー国の能力開発やレディネス活動には、比較的少額——およそ500万USドルしか提供していない。他方、森林投資プログラムは同時期に6,160万USドルを承認しており、森林を対象とした資金源としては最大規模である。同プログラムは、初期の政策づくりや能力開発の支援から、認証（VER）につながるプログラムが構築されるまでのレディネス活動期間の準備資金を提供している。国や地域の気候資金のなかでは、アマゾン保護基金（Amazon Fund）が、アマゾンバイオーム（アマゾン雨林と関連生態系）における森林保全プログラムを対象にした最大の公的資金源である。

多国間気候資金（部門別年間平均プレッジ額）2010～2014年



❖ 推計には大きなばらつきがあるが、一般に、農業部門が利用できる国際的な公的気候ファイナンスをはるかに上回っている。世界銀行の推計によると、農業部門の適応コストだけでも年70億USドルを超えるという。こうした資金源は、例えば、カロリー供給不足や子どもの栄養失調といった気候変動による弊害に対抗するための農業研究や、灌漑システムの効率化や拡張、道路の建設といったインフラ整備への投資に必要なであろう (Nelson *et al.*, 2010)。さらに、気候変動対策の一環として、農業普及サービスの向上にかかるコストを含めれば、コストはさらに膨らむ。加えて、適応活動の共通便益として得られない温室効果ガスの緩和に別途かかるコストも勘定に入れた場合、さらに追加で年間数十億USドル規模の資金供給が必要になるであろう¹⁴。農業部門には明らかに、各国の適応ニーズや緩和目標の野心度に応じた融資水準の引き上げが不可欠だ。むろん、他の既存財源を動員することができれば、すべての資金を国際的な公的資金でまかなう必要はない。とはいえ、呼び水としての公的気候ファイナンスに不足があれば、こうしたレバレッジ効果を期待するのは難しい。以下では、今後投入が見込まれる資金の規模を検証する。

緑の気候基金 (GCF) は、世界最大の国際気候基金であり、緩和と適応の両分野に資金を均等に配分することを目的としている。複数の「約束草案」が、GCFを主要な資金源に挙げている。2016年5月現在、各国はGCFに総額103億USドル相当の拠出を表明しており、うち99億USドルについては、すでに拠出取り決めの署名もなされている。途上国向けの気候ファイナンスは、2020年までに、少なくとも年1兆USドルに増資される見通しだ。農業部門への投資は、GCFの掲げる優先分野と緊密に連携している——GCFの8つの戦略的な(資金レベルでの)投資効果

14 第4章に示したIPCCの試算による経済的緩和ポテンシャルに基づいた場合、排出量を1GtCO₂-eq削減する(これは炭素価格をCO₂換算1t当たり20USドルの低価格に設定した場合の経済的緩和ポテンシャルのほんの一部分でしかない)には、年間数十億USドルのコストがかかる。森林減少による排出量の削減は最も費用対効果の高い緩和策と考えられるが、それでも、取引コスト抜きで、CO₂換算1t当たり年4~10USドルのコストがかかるかと推定される (Cattaneo *et al.*, 2010)。各国が気候目的との政策一貫性の改善を図れば、コストを引き下げられる可能性もあるが、その一方で、トレードオフも生じるため、これに対処するのにさらなる資金投入が必要となる。

を目指す分野のうちの4つが、直接的に農業部門と関連している。このことは、2015年11月にGCFが承認した最初の8件のプロジェクトのうちの4件、さらには、翌年6月に承認した9件のプロジェクトのうちの5件が農業部門に関するものであったことにもあらわれている。

2015年12月にパリで開催されたCOP21では、GCF以外にも、各国から新たな拠出が表明された。新規/既存イニシアティブや基金に少なくとも56億USドルのプレッジがなされており、そのうちの少なくとも一部は、農林水産業向けのプログラムの支援に利用できる可能性がある。さらに、他の部門——主としてエネルギー部門や保険部門——に向けた127億USドルに加え、特に対象部門を特定していない1,260億USドルの拠出も表明されている。しかし、これらのプレッジが意図する出資期間については、情報が限られている。

最近では、林業部門のプログラムと農業部門のプログラムを横断する支援が増えている。地球環境ファシリティ (GEF) は複数のフォーカルエリアをまたいだ新たな気候資金として、30億USドルのコミットメントを表明した。加えて、今後4年間で、少なくとも3億USドルが沿岸海洋環境課題に投入される。さらに、GEFの持続可能な森林経営/REDD+のインセンティブメカニズムを通じて2億5,000万USドルが森林減少・劣化対策に流入するのに伴い、他のフォーカルエリアからさらに7億5,000万USドルの助成金も動員され、森林減少対策のかたわら、国や地方の持続可能な開発計画において森林の役割を後押しする取り組みに当てられる。そのうち、およそ4,500万USドルが、持続可能な方法で生産された商品の供給を拡大することで森林減少を抑制する取り組みに、さらに1億1,600万USドル超が、サハラ以南アフリカにおける食料安全保障の向上やレジリエンスの強化、炭素隔離能力の向上に向けた取り組みに投入される見通しだ (BOX 26)。

能力強化の課題——約束から行動へ

正確な推計ははっきりとは分かっていないが、農業に ❧

サハラ以南アフリカにおける持続可能性とレジリエンスに向けた取り組み

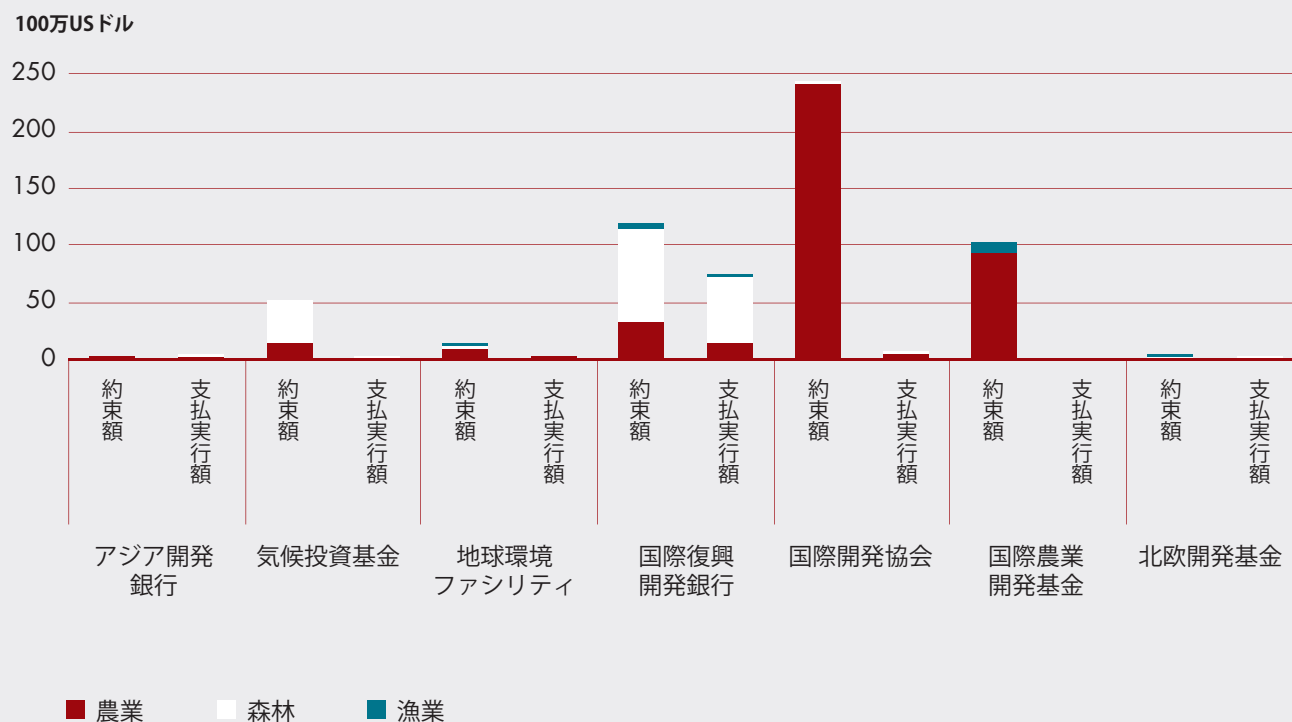
地球環境ファシリティ (GEF) は、第6次増資 (GEF-6) の一環として、サハラ以南アフリカにおいて食料安全保障に向けた持続可能性とレジリエンスの促進を目指す統合的アプローチ試行事業 (IAP) を立ち上げた。総コスト1億1,600万USドルにものぼるこのプログラムは、サハラ以南アフリカの12カ国で共同プロジェクトを展開し、自然資源の統合的・一体的管理を推進することで、生態系サービスを保護するのがねらいだ。各国のプロジェクトは、土壌の健康の改善や干ばつ耐性作物品種へのアクセス改善、作付け時期や作物ポートフォリオの調整、農業生物多様性の向上を図ることで、気候変動への小規模農家のレジリエンスを高めるのに資する。また、これらのプロジェクトを支

援する地域拠点を設けることで、小規模農家グループや民間企業、政府、研究機関をプロジェクトに引き込み、国レベル、地域レベルの多様な利害関係者の枠組みを構築・強化する。さらに、こうした拠点では、地域や国の政策に必要な情報を提供し、国レベルでの実現性のあるアプローチの拡大・展開を促すために、優良管理事例の特定や明文化、普及に取り組む。

IAPは、FAO、国連環境プログラム (UNEP) と国連開発プログラム (UNDP) との緊密な協力の下、IFADが中心となって主導する。パートナー国は、ブルキナファソ、ブルンジ、エチオピア、ガーナ、ケニア、マラウイ、ニジェール、ナイジェリア、セネガル、スワジランド、タンザニア、ウガンダの12カ国である。

図 18

多国間公的資金の年平均プレッジ額および支払い実行額 (部門別) 2010～2014年



出典：OECD, 2015a.

- ❧ 対する気候リスクに取り組むための資金ニーズと、利用可能な財源の間には大きな隔たりがあるのは明らかだ。もっとも、多くの途上国が抱える制約は財源不足だけにとどまらない。大半の国々は、資金源にアクセスしたり、得た資金を有効に運用する際にも、さまざまな困難に直面する。

OECD (2015b) は、気候変動適応ファイナンスへのアクセスにおいて各国が抱える6つの主要な課題を以下のように挙げている——(a) 適応の必要性や、そうした取り組みに向けた資金源の必要性に対する意識が低い、(b) 資金にアクセスするための手続きや審査基準を満たすのが困難、(c) プロジェクト／プログラムを設計・開発したり、進捗を監視・評価する能力が低い、(d) 気候情報が不足しているか、そうした情報へのアクセスに乏しい、(e) 一貫した政策や法的・規制枠組み、予算が不足している、(f) 多様な利害関係者間の透明性の高い対話プロセスによる優先事項の明確化がなされていない。

たとえ資金にアクセスできたとしても、その後のプロジェクトの実施段階で問題が生じる場合もある。例えば、資金の配分や承認には時間を要するうえ、多くの国々が資金の有効な管理の点で、実施主体の力量不足という問題に直面する。こうした「能力の制約」には、低所得国の公的金融システムの援助吸収能力の低さ（これは支払い実行の停滞を招く）などがある。

どのドナーソースによる報告も、農業部門における資金供与では、コミットメントに対する実際の支払いが大幅に低いことを示している。受益者または実施主体に支払われる資金は通例、プロジェクトのライフサイクルを通じて実施されるよう構築されているため、往々にして、コミットメントとのタイムラグが生じる。特に多国間ドナーの場合、プログラムの承認や実施における煩雑なプロセスや、それに劣らぬほど煩雑な送金手続きが障害となり、支払いがもたつく傾向にある。多くの国々は、資金の確保ではめざましい成果をあげているが、支払いにおける制約が、プロジェクトの目的やインパクトの達

成にも支障をきたしかねない大きな足かせとなっている（[図18](#)およびNorman and Nakhlooda, 2014を参照）。

煩雑な承認プロセスが効率的なファイナンスを妨げる例は、緑の気候基金（GCF）にも見られる。GCFのプロジェクトの承認は、当初の見込みよりも少ない。2015年11月に承認された最初の8件のプロジェクトの総コストは6億2,400万ドルであったのに対し、資金拠出は1億6,800万USドルにとどまった。GCF理事会は、2016年の資金拠出のターゲットを25億USドルに設定したにもかかわらず、2015年6月には、総コスト5億8,500万USドルの9案件に対し、承認された資金拠出は2億5,700万USドルであった。承認額の低迷は、新設の制度としてGCFが抱える課題を浮き彫りにしている——直接アクセス機関（GCF実施機関として認証を受け、GCF資金に直接アクセスできる機関）や国レベルの実施主体の能力不足、GCF事務局の人員不足に加え、プロジェクトのタイプや規模に関係なく一律に課される厳格なプロジェクトの準備要件など、課題は少なくない。

GCFプロジェクトの準備や承認を迅速化するため、さまざまな決定がなされてきた。各国の政府指定機関や実施主体の能力強化に向け、包括的な受け入れ態勢プログラムや準備支援プログラムが設けられたほか、2016年末までにGCFスタッフを45人から100人に増員する措置も講じられた。さらに、2016年6月の会合で、GCF理事会はプロジェクト準備ファシリティ（PPF）の運用指針に加え、「低リスク」あるいは「リスクなし」と評価された零細・小規模融資プロポーザルのための簡易手続きを承認した。こうした新たな手続きが、プロジェクトの承認プロセスを加速することが期待される。

気候ファイナンスが、「農業・林業・その他土地利用（AFOLU）」部門におけるレジリエンスや持続可能性の強化に向け、多くの支援や協力を誘発する呼び水としての真価を発揮するには、資金提供者と受益者の双方の手足を縛る「能力の制約」の解消に、本腰を入れて取り組む必要がある。■

少ない資金で大きな効果——気候ファイナンスを戦略的に活用する

気候変動向けの国際的な公的資金が農業への投資全体に占める割合は、この先もおそらく劇的に増えることはないと思われる。したがって、気候ファイナンスが営農システムのレジリエンスの強化や温室効果ガス削減といった取り組みにおいて最大限のインパクトを達成するには、戦略的な「レバレッジポイント」を駆使して、より幅広い官民の資金を動員することに注力しなければならない。とりわけ、公的資金は次のような目的に向けられるのが望ましい。

- ▶ 気候変動対応型農業の導入を阻むさまざまな障壁を打開するのに必要な環境の整備・拡充
- ▶ 適応・緩和の取り組みを国家予算の主流に位置づけるための支援
- ▶ 気候変動対応型農業への投資に向けた民間資本の取り込み

気候変動対応型の農業開発に向けた環境整備のための融資

農業部門への国際的な融資は、政策や行政管理、制度拡充を含む、農業部門全体の能力開発に重点を置いている。その一方で、「能力の制約」は、あらゆる気候ファイナンスメカニズムの効果的な運営を阻む大きな障害でもある。このことは、GEFやGCFといった基金にも当てはまる——こうした仕組みが十分なインパクトをもつのを妨げる主な要因は、プロジェクトの開発に莫大なコストがかかることだ。しかし、プロジェクトの準備が整い、承認されたとしても、資金を支払いプロジェクトを完遂させるまでに、更なる難題が待ち受けている可能性もある。受け入れ態勢のための資金やプログラムといった支援策は、国や地域の実施主体が気候ファイナンスを受け入れ有効に運用するための能力の強化に役立つであろう。

第5章で強調したように、農村振興への官民投資を促

し、十分な資金を確保するには、それに向けた政策や制度づくりを支援する不断の取り組みが必要だ。とりわけ、気候変動の影響下では、自然資源の一体的な管理や協調的な取り組みを支援する強力な制度の必要性が一層高まる。これはもちろん、降水量の変動や異常気象、病虫害や疾病の発生といった特定の気候リスク・脆弱性の予防や管理に向けた政策・プログラムについても言えることだ。早期警報システムや食料バリューチェーン全体における情報共有メカニズムといった制度は、気候変動対応型農業の成否にとってきわめて重要であることは言うまでもない。

しかし、異常気象に対処したり、改良農法の導入を阻むさまざまな障壁を打開するには、食料生産者に適切な情報やインセンティブを提供する政策や制度だけでは、多くの場合不十分である。例えば、異常気象に対処するには、最低限の所得や食料へのアクセスを保障する入念に設計された社会保護プログラムが、農業リスク管理戦略のより幅広い枠組みにおいて、重要な役割を果たす。また、小規模農家の適応の取り組みを支援するには、第3章で論じたように、金融サービスへの農家のアクセスの改善を図ることが不可欠だ。

さらに、こうした環境整備に加えて、国際的な公的資金——限られた額であれ——も、官民の資金源からコミットメントを引き出す呼び水として働くことができる。例えば、2014年に「森林に関するニューヨーク宣言(New York Declaration on Forests)」に署名した民間企業、NGO、各国政府が参加する大規模な連合体は、公的資金が呼び水の役割を果たしうることを示す一例である。連合体は、年間4.5～8.8 Gtの温室効果ガス排出削減を目標に掲げている(Conway *et al.*, 2015)。こうした森林減少対策への公的資金の投入は、各国の参画に伴うリスクを引き下げるとともに、必要な制度的枠組みを整備して当時国の受け入れ態勢を向上させることで、民間部門の参画を引き出す役割を果たしてきたといえる。

「森林に関するニューヨーク宣言」において民間部門が

掲げる目標の要となるのは、2020年までに、パーム油、ダイズ、パルプ、牛肉といった農産物の生産に伴う森林減少を抑止することである。また、大規模な機関投資家の間でも、森林減少対策のような気候目的に資金の流れを適合させるために投資先を転換する動きがみられる。例えば、ノルウェー政府年金基金(Norwegian Pension Fund)は、持続不可能なパーム油生産に関与する企業からの投資引き揚げを始めており、こうした動きは、民間資金とグローバルな気候変動緩和目的との連携とみなすことができる。

国内予算における気候変動問題の主流化

国際的な公的資金と並んで、各国の政府予算も、気候関連の公的資金の主要な財源である。実際、農業への公共投資に関して言えば、国家予算は国際的な公的気候ファイナンスよりもはるかに大きな財源である。国家予算からの気候ファイナンスの流れを追跡するための包括的な評価は行われておらず、また、国際的な比較や集約を可能にする各国の気候予算のタグ付けに関する国際的に合意された分類システムも存在しない。しかし、11カ国のエビデンスから、国内の財源は気候変動支出の相当の割合(場合によっては大部分)を占めていることが示唆される(UNDP, 2015)。さらに、厳密には気候ファイナンスには区分されないものの、別の政策目的の追求を通じて、レジリエンスの強化や温室効果ガス排出削減といった気候変動への取り組みに副次的な効果をもたらさうという意味で、「気候に関連する」農村開発資金も存在する。

気候関連の政策目標を達成するには、第5章で概観した、政策や計画立案への気候変動問題の体系的な組み入れを、農業投資に向けた国内予算にも反映させる必要がある。この点に関して言えば、農業支援政策は、気候政策のより幅広い文脈において考慮されなければならない。例えば、投入財購入補助金制度は、合成肥料や農薬の非効率的な使用を助長し、農業生産の排出原単位を増大させる恐れがあるため、制度の見直しも必要だ。

アフリカとアジア・太平洋地域の20カ国における気候

関連の公共支出や制度を検証したレビューのメタ分析は、農業への公共支出が突出して大きい(公共事業や交通インフラに次ぐ規模である)ことを示している。しかも、農業とは別の支出分野である給水や灌漑にも相当な予算が当てられている。気候関連支出のかなりの割合が地方自治体に配分されている。こうした地方に投下された資金を有効に活用するには、国の政策と十分な連携をとり、地方レベルでの運用能力の向上を図る必要がある。レビューによると、各国は、国レベルの気候政策を打ち立てることでは大きな前進を遂げたものの、部門レベルや地方レベルの政策との統合が進んでいないため、気候変動への対応に一貫性を欠く事態を招いている。政策の優先事項を公共支出プログラムに確実に反映させる仕組みにも欠いているうえ、気候支出のパフォーマンスを評価する枠組みも(多少の前進はみられるが)十分に整備されていない。国際的な資金メカニズムの場合と同様、多くの文脈で、依然として能力の制約——技術的能力と運用能力の両方——が重要な課題となっている(UNDP, 2015)。

公共支出における気候変動問題の主流化を徹底するため、国連開発計画(UNDP)のレビューは、包括的な気候ファイナンスや財政枠組みの導入を提言している。これには、気候変動戦略・行動の中長期的な計画立案や見積もり、あらゆる利害関係者を引き込んだ政府一体アプローチの採用、国家計画や予算システムへの公的気候ファイナンス(国内・国際的を問わず)の組み入れと当該国のシステムを通じた交付、民間気候ファイナンスの総体的な政策枠組みとの整合化といった取り組みが含まれる。また、多くの国々が、気候変動を組み込むための投資評価の仕組みの拡充に乗り出している(BOX 27)。

国別研究によるエビデンスからは、気候変動対策を国内予算に体系的に組み込むための各国政府の能力開発の必要性が浮かび上がる(UNDP, 2015)。「主流化」に向けた国のシステムや能力の強化には、それに特化した気候ファイナンスを当てるのが望ましい。能力開発の取り組みには、以下が含まれる。

»

経済評価に気候変動要素を組み入れる

タイの農業・協同組合省は、同国の予算における気候変動要素の「主流化」取り組みの旗振り役となり、政策やプログラムの気候関連度の質的評価から、費用便益分析を用いた量的アプローチへの転換を進めている。量的アプローチでは、政策のインパクトや気候変動に伴うコストを取り込んで、政策の費用便益比 (BCR) が定量評価される。気候変動下での特定の政策の費用便益比と「従来通りの手法」シナリオとの差異が、「気候変動関連度スコア」となる。これは、政策立案者や管理者に、気候変動要素が織り込まれた場合の当該プログラムの実効性の変化を測る指標を提供することができる。パイロット分析によると、気候変動要素を考慮することで、同省が管理するプログラムの便益が1~2割増加することがわかった。さらに分析の結果からは、プログラムの設計を改善するための機会も見えてくる

(Government of Thailand, 2014)。配水・分水の改善に向けた大規模投資の評価では、プロジェクトの予算根拠が裏づけられただけでなく、分水路や洪水制御システムの設計の見直しにも情報が役立てられた (UNDP, 2015)。

カンボジアの農林水産省による同様のアプローチの試験運用からも、気候変動要素を考慮に入れることで、同省が管理するプログラムの効果が大幅に改善することが示唆されている。こうした分析は、経済財政省への予算請求の裏づけにもなる。同省は2016年に、気候関連プログラムの特定に関する要件を国家予算の編成指針に導入している (Cambodia Climate Change Alliance, 2015 and Government of Cambodia, 2016を参照のこと)。

国際金融機関における気候変動の主流化

近年、開発援助コミュニティの間で、気候変動問題とその横断的性格の重要性に対する認識が高まるなか、国際金融機関は、気候変動要素を投融資の計画や実行に組み込むための具体的なアプローチやツール・プロトコルの開発に乗り出している。最近のいくつかの共同公約はいずれも、主要な原則やより野心度の高い目標の事業活動への融合をうたっている。2015年12月には、世界の26の主な開発銀行・民間銀行のグループが、気候変動対応に関する自主的な指針となる「金融機関における気候変動対応の主流化に関する原則 (Principles to mainstream climate action within financial institutions)」に署名した (World Bank, 2015)。同原則は、次の5つの項目からなる。

- ▶ 気候戦略への積極的関与
- ▶ 気候変動リスクの管理
- ▶ 気候変動対応型の開発を目的とした投融資の促進
- ▶ 気候変動パフォーマンスの改善
- ▶ 気候変動行動に関する情報開示

具体的な主流化アプローチとして、世界銀行の例が挙げられる。世銀グループの一員であり、世界の最貧国向けの開発援助に取り組む国際開発協会 (IDA) は、各国の開発課題や優先事項の分析に当たって気候変動リスクや災害リスクを考慮すること

で、気候変動要素の開発プログラムへの組み込みに取り組んできた。新規事業はすべて、短期と長期の気候変動・災害リスクに基づいてスクリーニングされ、リスクが確認されれば、適切なレジリエンス対策が講じられる。こうしたスクリーニングのツールは、各国の政策を反映して開発され、さらに、プロジェクトごとのツールや農業部門に特化したツールも併用される。これらのツールはいずれも、投資の実効性や持続性を高めるように設計されている。

こうしたスクリーニングを補完するとともに、適切なソリューションの開発を促進するため、世界銀行は、さまざまな組織とのパートナーシップの下、気候変動対応型の開発計画を支援するさまざまなデータセットやツール、知見の利用促進や円滑化も図ってきた。気候変動リスクのスクリーニングは現在、すべてのIDAプロジェクトに適用されており、2017年初頭には世銀グループの他の事業にも拡大される見通しだ。世界銀行の2016年の気候変動行動計画 (Climate Change Action Plan) は、気候変動を自らが掲げる基本使命である貧困削減への脅威のひとつと認識し、各国の「約束草案/国別目標 (INDC/NDC)」の履行を支援するため、気候変動リスクの初期スクリーニングから、気候変動対応に焦点を置いた事前計画へと歩を進める取り組みに注力している (World Bank, 2016)。

- ▶ 計画立案、予算編成過程や、関連する制度の役割を見直し、気候変動に対する統合的アプローチを阻害する政策やインセンティブ、制度におけるボトルネックを突き止め、対処する。
- ▶ 国レベル、地方レベルの関連制度や利害関係者の能力強化——とりわけ、政策をプログラムや予算に落とし込んだり、パフォーマンスを追跡・評価するのに必要な技術的・機能的な専門知識の向上
- ▶ 取り組みの成果を示したり、説明責任を確保するための透明性を確保する枠組みの拡大

気候関連の公共支出の検証や実効性評価の手法を改善したり、各国の国情に合わせた実用的な指針やツール——費用対効果分析や投資評価への気候変動取り組みの組み入れを含め——を開発するには、さらなる取り組みが必要だ。自国の実情に応じた適切な投資設計や評価の仕組みを定めるに当たって、各国は、国際的な資金供給機関が培ってきた経験やノウハウを拠り所とすることができる——こうした国際機関はすでに、自身のポートフォリオにおいて気候変動問題を「主流化」するに当たって、さまざまなアプローチやプロトコルを開発してきているためだ (BOX 28)。

もっとも、気候変動問題の国家予算への組み入れを強化する取り組みは常に、公共財政・公共支出管理の強化に向けた他のさまざまな取り組みと連携して行わなければならない。気候変動を独立した課題として捉えるべきではないのと同様に、気候変動問題の予算における「主流化」も、各国の総体的な財政管理システムの文脈において扱われる必要がある。

気候変動対応型農業への投資における民間資本の取り込み¹⁵

民間投資は農業投資にとって最も重要な財源である (FAO, 2012)。しかし、第3章で論じたように、小規模農

家や農業関連の中小企業にとって、民間投資のポテンシャルを最大限に引き出すための十分な資金へのアクセスに乏しいことが、依然として大きな制約となっている。遠隔地に暮らす金融リテラシーに乏しい顧客に貸付するには、必要な小口融資に比して取引コストがかさむのに加え、農業ではこういった融資提案が採算を見込めるかといった事情に関して情報ギャップや情報の非対称性があること、さらには、実際のリスクや知覚リスクをいかに管理するかといった点が、大きな課題として挙げられる。加えて、将来、気候の変動性の増大が見込まれることで一層の深刻化が懸念されるのが、農家と金融業者の双方が、キャッシュフローの季節変動を十分に管理しきれていないという問題である。

気候変動への対応に向けて食料生産システムの転換を図っていくには、農家の生産性や適応能力を高め排出原単位を低減する取り組みに向けて、相当な先行投資が必要になる。これには、利用可能な資本の大幅な引き上げだけでなく、超長期の貸付 (5~7年) や、キャッシュフローに応じたより柔軟な返済スケジュールの設定も求められる。これにより農家は、現在の収量を維持しつつ、少ない土地でより多く生産し、レジリエンスを高めるとともに排出も削減する営農手法や技術を導入するのに、必要な投資に踏み切ることができる。

気候ファイナンスは、金融サービス提供者が気候変動対応型の投資に必要な金融サービスを小規模農家や中小企業に提供するのを妨げる、さまざまな制約を打開するのに役立つ。また、民間資本を取り込んだり、あるいは、気候変動に対するソリューションに農業部門を引き込むために支援するなど、呼び水の役割を果たすことができる。気候ファイナンスは、資金ギャップを補い、適切な受け入れ態勢を整えることで、さもなければ期待できないであろう投資を呼び込む。そうすることで、リスク管理メカニズムを強化し、適切な金融商品の開発を促し、貸し手と借り手の双方が抱える能力の制約の打開に向けて取り組むことができる。気候ファイナンスは、こうした戦略的支援を通じて、農業への融資拡大に依然消極的な民間投資家や銀行に対し、

15 World Bank (2016) に基づく。

気候変動対応型農業への投資が採算のとれるものであることを明らかにすることができる。

とりわけ、気候ファイナンスは、レバレッジ効果によって官民双方から追加資金を動員するための革新的な投融資メカニズムの設計を支援することができる。こうしたメカニズムには次のようなものがある。

- ▶ さまざまな利害関係者の資源、専門技術、能力を動員する官民パートナーシップの促進。こうしたパートナーシップは、中小企業、または個人で投資家にアプローチしたり、説得力のある投資プロポーザルを行うことができない農家と、潜在的投資家との橋渡しをすることができる。
- ▶ 資本を呼び込むのに役立つ革新的な投資手段の設計や試験運用。こうした投資手段は、さまざまな投資家のリスク／リターン特性を多様化したり、管理するのに役立つ（例えば、公的資金が気候変動に関するリスクを吸収したり、あるいは、プロジェクトのキャッシュフローによりよくマッチするように返済率を引き上げることができる重層的な資本構造など）。
- ▶ 実効性を高め、より一体的・包括的なソリューションを提供するためのさまざまな金融商品の開発やバンドリング（サービスの抱き合わせ）の支援。こうした金融商品に

は、保険商品や倉庫証券、バリューチェーンファイナンスなどがある。

気候ファイナンスは、金融システムのアクターが農業リスクの管理能力を強化したり、小規模農家や中小企業の特定の要件に対応するのに必要とする技術的支援に資金を提供することもできる。もちろん、小規模農家や中小企業も、経営や財務管理のスキルを高め、最新の融資オプションを活用できるようにすべきなのは言うまでもない。したがって、能力支援は、気候レジリエンスを強化し、可能であれば排出削減にも貢献するような投資を特定あるいは実行する際の、借り手と貸し手双方のスキルの強化に注力すべきである。特に、貸し手の能力支援は、農業に付随するリスクへの理解を深め、農業向けにカスタマイズされた金融商品やサービスを開発して、農業投資を促進する取り組みに傾注されることになるであろう。

農業への融資においては、取引コストが当面の課題として残るであろう。しかし、近年のモバイル金融サービスのトレンドを気候ファイナンスにも活用することで、遠隔地における小規模農家や中小企業の投資ニーズに対応したサービスの開発や展開を積極的に支援し、一層強化することができる。■

結論

気候対応型農業投資に向けた環境整備を徹底し、気候変動問題を国内予算の編成や執行において「主流化」し、気候変動型農業開発に向けて民間資本を取り込むには、一層の取り組みが必要だ。国際的な気候ファイナンスを呼び水として戦略的に活用することで、国内外の官民の投融資を引き出すことができる。

気候ファイナンスへの新たなプレッジ額のうち、どの程度が農業部門の適応・緩和対策の支援に当てられるかについてはまだはっきりしないが、相当の額になる可能

性もある。持続可能かつレジリエントな気候変動対応型の食料・農業システムへの転換には、農業部門全体を通じた気候変動への適応や、気候変動緩和へのコミットメントが求められる。こうした転換が実現するか否かは、政策立案者や市民社会、農林漁業従事者をはじめ、世界中の食料・農業バリューチェーンの利害関係者の取り組みにかかっている。そのためにも、食料安全保障を確保し、現在そして将来の気候変動問題に対応するのに自らが果たさなければならない役割に相応した財源を、農業部門が確実に得られるようにすることが肝要だ。

農林水産業向けの国際的な 公的気候ファイナンスに関するデータ

第6章で扱われたデータは、農業部門の緩和・適応策に向けた国際的な公的資金の流れを把握するのに一般に用いられている、2つのデータセットに基づいている。1つは、OECDの「債務国報告システム (CRS)」、もう1つは、英国のシンクタンク、海外開発研究所 (ODI) の「気候基金最新情報 (CFU)」である。

CRSデータは、主要な気候基金に加え、二国間資金と多国間資金の適応・緩和分野へのコミットメントも対象にしている。これに対し、CFUデータは、気候変動対応に特化した多国間気候基金のみに的を絞っている。農業部門向けの気候ファイナンスについては、CFUのデータに含まれる気候基金の多く（すべてではない）が、CRSのデータにも含まれている。また、CRSデータには、多国間の一般的な開発資金のうち、気候関連に当てられた資金も含まれるのに対し、CFUデータには一般的な開発資金は含まれない（次頁の表を参照）。さらに、CRSには二国間ドナーの資金も含まれるのに対し、CFUでは二国間資金は対象外となっている。

どのデータセットにも言えることだが、農業部門への国際的な公的気候ファイナンスの流れを把握するために

CRSとCFUを使用するには、いくつかの制限がある。一部の気候基金は、CRSとCFUの両方のデータセットに含まれている。したがって、本章に掲載した図表のうち、CRSとCFUの両方に依拠しているものについては、ダブルカウントをできるだけ避けるため、それぞれのデータセットを補正した（表中、灰色で表示されている資金をデータセットから削除）。ただし、小規模農業適応プログラム (ASAP) については、特定が不可能なため、CRSとCFUのいずれのデータからも削除もしていない。

両データセットは、「包括性」の点でも十分とは言えない。たとえば、OECDによるCRSは、当然ながら、OECD加盟国による援助に限られており、すべてのドナー国が対象ではない。したがって、中国などのOECD非加盟国による援助は除外されている。加えて、報告されているプロジェクトや資金のうち、果たしてどの程度が実際に気候変動対応の支援に当てられているかについても、情報が不足している。さらに、どのように設計されたプロジェクトを適応・緩和活動向けとみなすべきかといった点についても、多くの問題が提起されている (Caravani, Nakhlooda and Terpstra, 2014; Michaelowa and Michaelowa, 2011)。

第6章で扱われた国際的な公的気候ファイナンスのデータセットの対象範囲

	OECD債務国報告システム (CRS)	ODI気候基金最新情報 (CFU)
気候基金	▶ 小規模農業適応プログラム (ASAP)	
		▶ 適応基金 (AF) ▶ アマゾン保護基金 ▶ コンゴ流域森林基金 (CBFF) ▶ 森林炭素パートナーシップ機構 (FCPF) ▶ 世界気候変動連合 (GCCA) ▶ 国連REDDプログラム
	▶ 森林投資プログラム (FIP) ▶ 後発開発途上国基金 (LDCF) ▶ 気候レジリエンス試験プログラム (PPCR) ▶ 気候変動特別基金 (SCCF)	▶ 森林投資プログラム (FIP) ▶ 後発開発途上国基金 (LDCF) ▶ 気候レジリエンス試験プログラム (PPCR) ▶ 気候変動特別基金 (SCCF)
	▶ 地球環境ファシリティ——全フォーカルエリア	▶ 地球環境ファシリティ——気候変動フォーカルエリア
その他の多国間開発援助	▶ 国際農業開発基金 (IFAD) ▶ 国際復興開発銀行 (IBRD) ▶ 国際開発協会 (IDA) ▶ アジア開発銀行 ▶ 北欧開発基金	該当なし
	▶ OECD DAC (開発援助委員会) 加盟国およびDAC ▶ 非加盟国によるコミットメント	該当なし
	二国間開発援助	

出典：OECD (2015A) およびODI (2015)。



付属統計資料

付属統計資料

付属表についての注記

記号

付属表には次の記号を用いている。

.. = データなし

0または0.0 = ゼロまたは無視できる範囲

空欄 = 該当データなし

表に記載された数字は、端数処理またはデータ加工により、元のデータソースと異なる場合がある。小数部分と整数部分とを区別する小数点には、ピリオド(.)を用いている。

技術上の注記

付属表A.1

気候変動による世界各地の作物収量変化予測

出典：Porter *et al.* (2014) と Challinor *et al.* (2014) のデータをそのまま転載。データの最新版は<http://www.ag-impacts.org>で入手可能。

注：これらの研究は、プロセス指向モデルや統計モデルを含む幅広い文献調査に基づいている。研究によって推計方法にはかなりのばらつきがあり、それぞれ異なる気候モデル、排出量、作物モデルに基づいている。「適応」を考慮したものもあれば、考慮していないものもある。

参考文献には、当該推定値の典拠である研究の著者と発表年を記載。文献の詳細は、本文の「参考文献」に掲載。

国名・地名は、当該推定値の対象である国または地域、州を示し、元のデータセットの表記や地理的分類

を使用している。一部の推定値は全球が対象。記号(1)～(3)は次を意味する——(1)先進地域の推定値、(2)途上地域の推定値、(3)全球または特定なし。

期間は、予測期間の中間年——シミュレーションの開始年から最終年までの中間点として算出——を指し、当該中間年が属する期間区分を記載。たとえば、2010年に書かれた研究が2050～2080年の推定値を予測したものである場合、中間年は2065年となり、よって、推定値は「2050～69年」の期間区分に分類される。

作物(収量変化推定値)は、作物・作物群と、括弧内に気候変動による収量変化の推定値を示している。一部の研究は、1つの地点、期間、作物に対して複数の推定値を報告している。これは、複数の気候モデル、排出量、作物モデル、適応あり／なしの組み合わせを用いているためである。

付属表A.2

「農業・林業・その他土地利用(AFOLU)」由来の温室効果ガスの正味排出量・除去量(二酸化炭素換算) 2014年

出典：FAO, 2016.

農業からの排出量は、作物や家畜の生産・管理活動における好気・嫌気分解過程で発生するメタン(CH₄)と亜酸化窒素(N₂O)から成り、二酸化炭素(CO₂)換算で表わされる。IPCCのインベントリガイドラインに準拠し、「ティア1」の方法で算定する。排出量は、活動量(家畜頭数、収穫面積、肥料その他の施用)にIPCCの排出係数を乗じて算定する。これには、次の下位項目が含まれる——作物残渣の焼却(CH₄、N₂O)、サバンの燃焼(CH₄、N₂O)、作物残渣(N₂O)、有機土壌の耕作(N₂O)、家畜の消化管内発酵(CH₄)、家畜糞尿処理(CH₄、N₂O)、貯蔵された家畜糞尿(N₂O)、土壌に施用された家畜糞尿(N₂O)、稲作(CH₄)、合成肥料(N₂O)。

森林からの排出量／除去量は、(t - 1)年から(t)年に、森林劣化により排出されたCO₂と、残った森林に

よる炭素除去（炭素吸収源）の収支となる。国レベルの森林データは、「正」（正味の排出）か「負」（正味の吸収）の数値で表わされる。

正味森林転換からの排出量は、森林減少、または森林から他の土地利用への転換によるCO₂排出量である。

バイオマス燃焼からの排出量は、次の種目のバイオマス燃焼から発生したガスを含む——湿潤熱帯林、その他の森林、有機土壌。これらは、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）、二酸化炭素（CO₂）（有機土壌の場合のみ）から成る。

耕作地有機土壌からの排出量は、耕作地の排水された有機土壌から生じる炭素損失に関連した排出量である。

草地有機土壌からの排出は、草地の排水された有機土壌から生じる炭素損失に関連した排出量である。

付属表A.3

農業由来の温室効果ガスの排出源別排出量（二酸化炭素換算）2014年

出典：FAO, 2016.

作物残渣の焼却による排出量は、作物残渣の一部を焼却することにより発生するメタン（CH₄）と亜酸化窒素（N₂O）から成る。焼却される作物残渣の量は、家畜による採食や、腐食、他の部門での利用（バイオ燃料、家畜飼料、建築材など）のために燃焼前に取り除かれた分を考慮して算定する必要がある。排出量は、IPCC排出係数に活動量（焼却されたバイオマスの量——コムギ、トウモロコシ、コメ、サトウキビの収穫面積から算出）を乗じて算定する。

サバンナの燃焼による排出量は、次の5タイプの土地被覆分類における、植生バイオマスの燃焼により発生するメタン（CH₄）と亜酸化窒素（N₂O）から成る——サバンナ、森林サバンナ、疎低木地、密低木地、草地。

排出量は、IPCC排出係数に活動量（燃やされた植生バイオマスの総量——Global Fire Emission Database, 全球火災排出データベースを使用）を乗じて算定する。

作物残渣からの排出量は、貯蔵された作物残渣や、草地更新時に放置された古い牧草・飼料中の窒素（N）からの亜酸化窒素（N₂O）の直接的・間接的放出から成る。直接排出量は、活動量（作物収量と収穫面積）にIPCCの排出係数を乗じて算定。対象作物には、オオムギ、インゲンマメ、トウモロコシ、ミレット、エンバク、ジャガイモ、コメ、ライムギ、ソルガム、ダイズ、コムギが含まれる。間接排出量も推計されている——これは、雨水の表面流出や地下浸出により、作物残渣や牧草・飼料から流失した窒素となる。

有機土壌の耕作による排出量は、有機土壌（耕地と草地の両方）の耕作により放出される亜酸化窒素（N₂O）の排出量である。排出量は、活動量（有機土壌の耕作面積）にIPCC排出係数を乗じて算定する。

家畜の消化管内発酵からの排出量は、家畜（反芻家畜と非反芻家畜の両方）の消化器系で発生するメタン（CH₄）から成る。排出量は、活動量（家畜頭数）とIPCC排出係数を乗じて算定する。対象家畜には、水牛、ヒツジ、ヤギ、ラクダ、ラマ、馬、ミュール、ロバ、豚、乳牛、非乳牛、家禽が含まれる。

家畜糞尿処理からの排出量は、好気・嫌気分解過程により発生するメタン（CH₄）と亜酸化窒素（N₂O）から成る。排出量は、活動量（家畜頭数）とIPCC排出係数を乗じて算定する。対象家畜には、水牛、ヒツジ、ヤギ、ラクダ、ラマ、馬、ミュール、ロバ、アヒル、七面鳥、乳牛、非乳牛、鶏（採卵鶏・ブロイラー）、肉豚・種豚が含まれる。

草地に残された家畜糞尿からの排出量は、放牧により草地に残された糞尿中の窒素（N）から直接的・間接的に放出される亜酸化窒素（N₂O）から成る。家畜データには、次の家畜分類が含まれる——水牛、ヒツジ、

ヤギ、ラクダ、ラマ、馬、ミュール、ロバ、アヒル、七面鳥、乳牛、非乳牛、鶏（採卵鶏・ブロイラー）、肉豚・種豚。

土壤に施用された家畜糞尿からの排出量は、農地土壤に施用された家畜糞尿中の窒素（N）から直接的・間接的に放出される亜酸化窒素（ N_2O ）から成る。家畜データには、次の家畜カテゴリーが含まれる——水牛、ヒツジ、ヤギ、ラクダ、ラマ、馬、ミュール、ロバ、アヒル、七面鳥、乳牛、非乳牛、鶏（採卵鶏・ブロイラー）、肉豚・種豚。

稲作からの排出量は、水田土壤中の有機物の嫌気分解により排出されたメタン（ CH_4 ）から成る。排出量は、活動量（水田の収穫面積）にIPCC排出係数を乗じて算定する。

合成肥料からの排出量は、農地に施肥された窒素（N）から直接的・間接的に排出された亜酸化窒素から成る。排出量は、活動量（窒素肥料の施用）にIPCC排出係数を乗じて算定する。

国グループと地域別集計データ

付属表A.2とA.3は、すべての指標について、国グループと地域別の集計データを示している。国グループと地域の分類方法は以下に示すとおりである。世界と地域の総計は、FAOSTATから入手可能なデータとは若干異なる場合がある。

付属表A.2とA.3、さらには、本文中のいくつかの図表における地域グループや、途上地域・先進地域の分類は、国連統計局による統計用標準国・地域コード（UNSD M49）にほぼ準拠している。UNSD M49は、unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49.htmから入手できる。

主な違いは、本書における「先進地域の国・領域」には、UNSD M49で先進地域に指定されている国々に加えて、中央アジア諸国（カザフスタン、キルギスタン、タジキスタン、トルクメニスタン、ウズベキスタン）も含まれる点である。中国のデータは、香港特別行政区とマカオ特別行政区のデータを除く。■

表 A.1

気候変動による世界各地の作物収量変化予測

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)
Abraha & Savage, 2006	南アフリカ共和国 (KwaZulu-Natal) (2)	2030/49	トウモロコシ (-10.7, -10.7, -8.7, -8.7, -6.6, -6.6, 5.9, 6.0, 8.1, 8.1, 10.2, 10.3)
Alexandrov & Hoogenboom, 2000	ブルガリア (1)	2010/29	トウモロコシ (-12.0); コムギ (11.0, 13.0)
		2050/69	トウモロコシ (-19.0, -1.0); コムギ (25.0, 30.0)
		2070/89	トウモロコシ (-18.0); コムギ (26.0)
Arndt <i>et al.</i> , 2011	モザンビーク中部 (2)	2030/49	キャッサバ (-6.2, -3.1); トウモロコシ (-5.6, -3.0)
	モザンビーク北部 (2)	2030/49	キャッサバ (-6.5, -0.1); トウモロコシ (-2.9, -1.9)
	モザンビーク南部 (2)	2030/49	キャッサバ (-3.2, 0.4); トウモロコシ (-4.4, -3.9)
Berg <i>et al.</i> , 2013	アフリカ、インド (2)	2030/49	ミレット (-26.7, -24.1, -22.6, -14.6, -14.1, -13.2, -13.1, -12.4, -11.4, -10.5, -8.7, -7.3, -7.2, -6.8, -6.8, -6.7, -6.2, -6.2, -5.8, -5.6, -5.5, -4.9, -4.8, -4.7, -4.5, -4.4, -4.0, -3.7, -3.6, -3.6, -2.9, -2.8, -2.4, -2.3, -2.1, -1.8, -1.1, 0.0, 0.6, 0.8, 1.3, 2.1, 2.9, 4.1, 11.7, 17.1, 20.3, 30.5)
	アフリカ、インド (2)	2070/89	ミレット (-90.5, -44.3, -41.0, -25.8, -25.1, -24.6, -23.1, -23.0, -22.5, -22.5, -22.0, -21.5, -20.5, -20.0, -18.4, -18.0, -17.8, -17.4, -17.2, -16.9, -15.3, -14.6, -14.1, -13.6, -12.6, -12.5, -12.4, -11.2, -11.1, -11.0, -10.8, -10.2, -9.2, -8.2, -8.0, -5.7, -5.6, -4.8, -3.8, -3.6, -3.2, 7.9, 18.9, 23.0, 45.8, 48.6, 56.4, 62.2)
Brassard & Singh, 2007	カナダ (南ケベック) (1)	2050/69	コムギ (4.3, 10.7, 24.0); トウモロコシ (9.4, 30.2, 31.3)
Brassard & Singh, 2008	カナダ (ケベック) (1)	2050/69	トウモロコシ (-6.8, -6.5, -0.6, 1.1, 4.0, 4.1); ジャガイモ (-18.6, -16.2, -14.4, -12.0, -11.3, -10.8); ダイズ (-5.1, 15.1, 18.7, 39.3, 67.3, 84.8); コムギ (-18.9, -3.2, 4.1, 4.2, 11.4, 14.8)
Butt <i>et al.</i> , 2005	マリ (85農業生態系地域) (2)	2030/49	トウモロコシ (-13.5, -11.2, -10.3, -8.6)
Calzadilla <i>et al.</i> , 2009	サハラ以南アフリカ (2)	2050/69	コムギ (-24.1); 穀物 (1.1); コメ (3.0)
Chhetri <i>et al.</i> , 2010	米国 (南東部) (1)	2010/29	トウモロコシ (1.2, 2.0, 2.7, 3.6)
		2030/49	トウモロコシ (4.2, 4.4, 5.7, 6.1)
		2050/69	トウモロコシ (5.3, 5.3, 5.8, 6.0)
Ciscar <i>et al.</i> , 2011	イギリス諸島 (1)	2070/89	コムギ、トウモロコシ、ダイズ (-11.0, -9.0, 15.0, 19.0)
	中欧 (北部) (1)	2070/89	コムギ、トウモロコシ、ダイズ (-8.0, -3.0, -1.0, 2.0)
	中欧 (南部) (1)	2070/89	コムギ、トウモロコシ、ダイズ (-3.0, 3.0, 5.0, 5.0)
	北欧 (1)	2070/89	コムギ、トウモロコシ、ダイズ (36.0, 37.0, 39.0, 52.0)
	南欧 (1)	2070/89	コムギ、トウモロコシ、ダイズ (-27.0, -12.0, -4.0, 0.0)
Deryng <i>et al.</i> , 2011	アルゼンチン (2)	2050/69	トウモロコシ (-30.3, -26.3, -17.7, -10.0, -9.8, -4.8, -4.6, -2.2); ダイズ (-39.3, -36.1, -24.6, -20.5, -20.5, -19.5, -19.3, -13.2)
	ブラジル (2)	2050/69	トウモロコシ (-38.1, -34.6, -28.6, -26.3, -25.2, -23.2, -23.2, -19.2); ダイズ (-32.6, -31.4, -24.2, -24.2, -23.5, -19.7, -19.0, -15.7)

表 A.1

(続き)

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)
Deryng <i>et al.</i> , 2011	カナダ (1)	2050/69	トウモロコシ (-54.6, -45.2, -36.2, -27.1, 4.9, 5.3, 6.0, 21.6); ダイズ (-66.5, -60.9, -56.2, -46.8, -27.7, -16.9, -11.4, -4.9); コムギ (-35.4, -34.5, -22.2, -21.2, -5.1, -3.3, -1.1, -0.7)
	中国 (2)	2050/69	ダイズ (-45.9, -43.9, -33.6, -32.5, -13.9, -8.7, -6.7, -6.1); コムギ (-29.3, -29.1, -19.2, -18.8, -5.6, -5.5, -4.3, -1.8)
	フランス (1)	2050/69	トウモロコシ (-59.7, -46.2, -43.9, -41.7, -30.3, -27.0, -21.6, -11.6); コムギ (-49.1, -42.5, -32.8, -31.3, -25.5, -21.4, -13.7, -0.5)
	ドイツ (1)	2050/69	コムギ (-29.0, -26.7, -15.5, -12.6, -8.5, -3.8, 4.0, 8.9)
	インド (2)	2050/69	トウモロコシ (-31.0, -28.2, -26.3, -22.9, -19.8, -18.6, -16.9, -14.6); ダイズ (-32.9, -27.8, -24.6, -24.5, -21.8, -20.0, -17.4, -15.5)
	インドネシア (2)	2050/69	トウモロコシ (-11.9, -10.4, -10.3, -8.6, -3.2, -2.8, 0.8, 1.0)
	カザフスタン (1)	2050/69	コムギ (-38.0, -28.0, -22.4, -20.0, -12.3, -8.3, 0.9, 2.4)
	メキシコ (2)	2050/69	トウモロコシ (-39.7, -37.0, -29.1, -27.0, -24.6, -23.9, -18.9, -16.0)
	パラグアイ (2)	2050/69	ダイズ (-43.3, -28.8, -28.0, -25.2, -18.0, -17.3, -16.5, -13.6)
	ポーランド (1)	2050/69	コムギ (-23.1, -19.6, -11.0, -11.0, 6.5, 8.2, 11.1, 17.6)
	ルーマニア (1)	2050/69	トウモロコシ (-48.1, -45.7, -30.5, -25.9, -16.9, -13.9, 1.2, 2.5)
	ロシア (1)	2050/69	コムギ (-29.6, -25.2, -24.7, -21.3, -8.5, -6.3, -6.0, 0.3)
	南アフリカ共和国 (2)	2050/69	トウモロコシ (-38.8, -31.4, -29.4, -27.9, -26.0, -22.6, -17.1, -14.6)
	英国 (1)	2050/69	コムギ (-32.9, -31.9, -26.3, -20.1, -8.2, -0.3, 3.4, 4.2)
	ウクライナ (1)	2050/69	コムギ (-28.8, -23.1, -21.4, -17.2, -3.5, -2.1, 7.1, 10.3)
	米国 (1)	2050/69	トウモロコシ (-44.7, -30.6, -25.7, -22.8, -18.9, -14.2, -1.3, -0.5); ダイズ (-52.7, -39.3, -36.5, -33.2, -26.6, -24.9, -14.8, -13.1); コムギ (-32.6, -23.2, -21.6, -21.0, -17.2, -11.9, -4.3, -2.8)
Giannakopoulos <i>et al.</i> , 2009	地中海北東部 (セルビア、 ギリシャ、トルコ) (3)	2030/49	穀物 (4.4, 12.5); 野菜 (-7.2, -0.9); トウモロコシ (-0.6, -0.2); ジャガイモ (-9.3, 4.4); ヒマワリ (-5.4, -0.9)
	地中海北西部 (ポルトガル、 スペイン、フランス、イタリア) (1)	2030/49	穀物 (-0.3, 4.7); 野菜 (-14.4, -4.9); トウモロコシ (4.2, 8.8); ジャガイモ (4.9, 7.5); ヒマワリ (-12.4, -2.8)

表 A.1

(続き)

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)
Giannakopoulos <i>et al.</i> , 2009	地中海南東部(ヨルダン、 エジプト、リビア) (2)	2030/49	穀物 (-10.1, -4.9); 野菜 (-30.1, -23.3); トウモロコシ (-7.9, -6.7); ジャガイモ (-5.7, -4.3); ヒマワリ (-0.4, 3.7)
	地中海南西部(チュニジア、 アルジェリア、モロッコ) (2)	2030/49	穀物 (-3.8, -3.4); 野菜 (-23.9, -18.5); トウモロコシ (-9.4, -6.4); ジャガイモ (-13.3, -1.5); ヒマワリ (-10.3, -4.3)
Hermans <i>et al.</i> , 2010	ヨーロッパ (1)	2050/69	コムギ (34.0, 97.0)
Iqbal <i>et al.</i> , 2011	パキスタン(ファイサラバ ード) (2)	2010/29	トウモロコシ (-1.5, -1.3, -0.4, -0.3, -0.3, 0.7, 0.8, 1.7, 3.9)
		2010/29	トウモロコシ (-2.1, -1.1, -0.5, 0.0, 0.3, 0.7, 1.7, 2.7, 3.2)
		2050/69	トウモロコシ (-8.1, -5.4, -4.1, -3.6, -3.0, -1.4, -0.6, -0.5, 0.5)
Izaurrealde <i>et al.</i> , 2001	米国(地域) (1)	2010/29	トウモロコシ (4.3, 15.4)
		2030/49	ダイズ (-9.4, 7.9); コムギ (25.2, 37.1)
		2050/69	コムギ (0.1, 5.0, 15.3, 15.8)
		2090/2109	トウモロコシ(Maize) (7.9, 17.1)
		2090/2109	ダイズ (-8.7, 6.6); コムギ (29.5, 40.5)
Kim <i>et al.</i> , 2010	韓国 (2)	2010/29	コメ (-4.2, -1.1, 0.7)
		2050/69	コメ (-9.9, -2.6, 0.3)
		2070/89	コメ (-14.1, -3.0, 1.9)
Lal, 2011	インド(中部、南部)、スリラ ンカ (2)	2010/29	コメ (6.0, 18.0); コムギ (22.0, 24.0)
		2050/69	コメ (-30.0, -21.0, -4.0, -1.0, 3.0); コムギ (-23.0, -19.0, -8.0, 7.0, 9.0)
		2070/89	コメ (-8.0); コムギ (-1.0)
	インド中央平原、 インド南部、スリランカ (2)	2010/29	コメ (3.0, 18.0); コムギ (23.0, 25.0)
		2050/69	コメ (-6.0, 1.0)
		2050/69	コムギ (-3.0, 9.0)
		2070/89	コメ (-5.0); コムギ (-2.0)
	パキスタン、インド北部・北 東部・北西部、ネパール、バ ングラデシュ (2)	2010/29	コメ (4.0, 5.0, 15.0); コムギ (21.0, 23.0, 26.0, 26.0)
		2010/29	コメ (17.0)
		2050/69	コメ (-31.0, -24.0, -7.0, -5.0, -1.0, 1.0, 2.0); コムギ (-18.0, -11.0, -3.0, -1.0, 11.0, 12.0, 16.0)
		2070/89	コメ (-12.0, -8.0); コムギ (1.0, 2.0)
	Li <i>et al.</i> , 2011	中国(中緯度地方、中部) (2)	2030/49	トウモロコシ (10.7, 22.8)
米国(中西部) (1)		2030/49	トウモロコシ (-7.4, 41.6)
Lobell <i>et al.</i> , 2008	アンデス地方 (2)	2010/29	オオムギ (-2.1); キャッサバ (1.5); トウモロコシ (0.0); ヤ シ (2.9); ジャガイモ (-2.6); コメ (-0.5); ダイズ (-0.2); サトウキビ (0.5); コムギ (-2.5)
	ブラジル (2)	2010/29	キャッサバ (-4.9); トウモロコシ (-2.3); コメ (-4.5); ダイズ (-4.1); サトウキビ (0.6); コムギ (-6.8)
	アフリカ中部 (2)	2010/29	キャッサバ (-1.5); ラッカセイ (-2.2); ミレット (-4.9); トウモロコシ (-0.5); ヤシ (-2.4); コメ (-2.9); ソルガム (-3.9); コムギ (-1.2)
	中米 (2)	2010/29	キャッサバ (2.3); トウモロコシ (-1.0); コメ (-0.5); サトウキビ (7.4); コムギ (-4.7)

表 A.1

(続き)

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)
Lobell <i>et al.</i> , 2008	中国 (2)	2010/29	コメ (-0.2); ダイズ (2.3); ジャガイモ (2.1); ラッカセイ (2.0); トウモロコシ (-2.3); コムギ (2.0); サトウキビ (1.5)
	東アフリカ (2)	2010/29	オオムギ (31.8); マメ類 (4.0); キャッサバ (1.7); ヒヨコマメ (-18.5); ラッカセイ (3.5); トウモロコシ (-0.2); コメ (7.6); ソルガム (-1.1); サトウキビ (-4.0); コムギ (5.4)
	サヘル (2)	2010/29	ヒヨコマメ (8.8); ラッカセイ (-0.5); トウモロコシ (-3.6); ミレット (-2.3); コメ (2.9); ソルガム (-5.6); コムギ (-8.0)
	南アジア (2)	2010/29	ラッカセイ (1.2); ミレット (-2.1); トウモロコシ (-4.8); ナタネ (-6.5); コメ (-3.3); ダイズ (3.9); サトウキビ (0.0); ソルガム (0.1); コムギ (-2.9)
	南東アジア (2)	2010/29	ダイズ (-2.4); キャッサバ (-0.7); コムギ (-1.1); サトウキビ (5.3); コメ (-1.2); トウモロコシ (-3.0); ラッカセイ (-1.2)
	アフリカ南部 (2)	2010/29	キャッサバ (0.8); ラッカセイ (1.2); コメ (4.4); ダイズ (-8.3); サトウキビ (-3.1); コムギ (-9.0); ソルガム (-8.2); トウモロコシ (-22.5)
	西アフリカ (2)	2010/29	キャッサバ (0.7); ラッカセイ (-7.1); トウモロコシ (-3.8); ミレット (-0.1); ソルガム (-4.1); コメ (0.5); コムギ (-2.1); ヤムイモ (-6.0)
	西アジア (2)	2010/29	オオムギ (1.2); トウモロコシ (-1.1); ジャガイモ (3.4); コメ (-4.4); ソルガム (0.7); サトウキビ (-5.4); ヒマワリ (-5.8); テンサイ (0.1); ダイズ (-2.3); コムギ (-0.5)
	Moriondo <i>et al.</i> , 2010	北欧 (1)	2030/49	軟質小麦/ヒマワリ (-5.0); 春小麦 (7.0); ダイズ (-13.0, -4.0); ヒマワリ (8.0)
Müller <i>et al.</i> , 2010	中国、アジア計画経済国 (2)	2050/69	主要作物 (-3.7, -3.6, -3.4, -2.9, 11.8, 14.3, 15.4, 15.8)
	ヨーロッパ (1)	2050/69	主要作物 (-0.3, 0.8, 1.2, 3.7, 16.7, 16.7, 16.8, 17.5)
	旧ソ連 (1)	2050/69	主要作物 (-0.5, -0.2, 0.9, 4.3, 21.4, 21.4, 21.4, 22.3)
	ラテンアメリカ・カリブ海 (2)	2050/69	主要作物 (-11.3, -9.4, -8.2, -3.7, 9.5, 11.8, 12.2, 13.3)
	中東、北アフリカ (2)	2050/69	主要作物 (-16.6, -14.8, -14.5, -13.2, -3, -2.5, -2.1, -0.7)
	北米 (1)	2050/69	主要作物 (-10.3, -9.3, -7.1, -1.8, 10.6, 11.6, 12.2, 14.7)
	アジア太平洋 (2)	2050/69	主要作物 (-18.5, -18, -16, -11.7, 19.9, 21.9, 22.8, 23)
	太平洋OECD諸国 (3)	2050/69	主要作物 (-15, -14.7, -13.5, -9.8, 3.3, 3.5, 3.6, 4.6)
	南アジア (2)	2050/69	主要作物 (-18.9, -16.4, -15.3, -14.4, 14.6, 19.8, 21.3, 24.6)
	サハラ以南アフリカ (2)	2050/69	主要作物 (-8.5, -8.2, -7.6, -5.9, 6.7, 7.5, 7.8, 8.4)
	世界 (3)	2050/69	主要作物 (-8.2, -7.6, -6.5, -3.5, 12.4, 12.5, 12.6, 13.1)

表 A.1

(続き)

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)
Osborne, Rose & Wheeler, 2013	世界、生産国上位15ヵ国 (3)	2030/49	ダイズ (-48.4, -45.5, -43.0, -41.4, -39.5, -39.2, -36.5, -35.0, -35.0, -34.0, -33.9, -33.7, -33.6, -31.1, -29.6, -29.4, -28.8, -27.5, -26.3, -25.8, -22.6, -20.8, -20.6, -20.4, -20.4, -20.3, -19.9, -19.9, -19.3, -19.3, -18.2, -13.8, -12.0, -11.3, -5.1, -2.9, -2.4, 0.5, 1.0, 2.1, 2.2, 5.4, 8.8, 13.7, 48.3); 春小麦 (-41.0, -36.5, -32.1, -29.4, -26.0, -25.0, -22.4, -21.6, -20.5, -18.5, -18.2, -17.3, -15.5, -14.5, -14.4, -13.5, -12.7, -12.5, -11.0, -10.1, -10.1, -8.9, -8.6, -7.1, -6.8, -6.8, -6.8, -5.1, -5.1, -4.3, -3.3, 0.5, 0.6, 0.7, 4.2, 6.6, 6.6, 8.5, 15.2, 24.5, 25.3, 27.9, 39.5, 40.7)
Peltonen-Sainio, Jauhiainen, & Hakala, 2011	フィンランド (1)	2010/29	春小麦 (-5.9); 春エンバク (-5.1); 春オオムギ (-5.7); 冬ライ麦 (3.0); 冬小麦 (2.4)
Piao <i>et al.</i> , 2010	不特定 (3)	2010/29	トウモロコシ (-2.0, 10.0); コメ (5.0); コムギ (15.0, 17.0)
	不特定 (3)	2050/69	トウモロコシ (-4.0, 20.0); コメ (4.0, 8.0); コムギ (21.0, 25.0)
	中国(全土) (2)	2010/29	コメ (2.0)
Ringler <i>et al.</i> , 2010	サハラ以南アフリカ中部 (2)	2050/69	キャッサバ (-0.1); コメ (-0.6); トウモロコシ (-0.8); サトウキビ (0.9); サツマイモ、ヤムイモ (-0.1)
	サハラ以南アフリカ東部 (2)	2050/69	キャッサバ (0.4); トウモロコシ (-1.9); コメ (0.2); サトウキビ (0.4); サツマイモ、ヤムイモ (1.1)
	ギニア湾 (2)	2050/69	キャッサバ (-11.9); トウモロコシ (0.2); コメ (1.4); サトウキビ (-0.5); サツマイモ、ヤムイモ (-15.1)
	サハラ以南アフリカ南部 (2)	2050/69	キャッサバ (-0.8); トウモロコシ (-0.9); コメ (-2.3); サトウキビ (1.1); サツマイモ、ヤムイモ (1.1)
	サハラ以南アフリカ (スーダン-サヘル) (2)	2050/69	キャッサバ (1.2); トウモロコシ (3.3); コメ (-0.8); サトウキビ (0.3); サツマイモ、ヤムイモ (2.0)
Rowhanji <i>et al.</i> , 2011	タンザニア (2)	2050/69	トウモロコシ (-13.0); コメ (-7.6); ソルガム (-8.8)
Schlenker & Roberts, 2009	米国 (1)	2030/49	ワタ (-22.0); トウモロコシ (-29.0); ダイズ (-21.0)
		2070/89	ワタ; (-65.0); トウモロコシ (-72.0); ダイズ (-65.0)
Shuang-He <i>et al.</i> , 2011	中国(長江中流・下流地域) (2)	2030/49	コメ (-15.2, -14.8, -4.1, -3.3)
Southworth <i>et al.</i> , 2000	米国(イリノイ州) (1)	2050/69	トウモロコシ (-25.9, -17.1)
	米国(インディアナ州) (1)	2050/69	トウモロコシ (-18.5, -11.2)
	米国(ミシガン州) (1)	2050/69	トウモロコシ (15.4, 18.3)
	米国(オハイオ州) (1)	2050/69	トウモロコシ (-9.5, -5.4)
	米国(ウィスコンシン州) (1)	2050/69	トウモロコシ (-0.2, 14.1)
Tan <i>et al.</i> , 2010	ガーナ (2)	2090/2109	トウモロコシ (-19.0, -18.0, -18.0)
Tao <i>et al.</i> , 2009	中国華北平原(河南省) (2)	2010/29	トウモロコシ (-9.7)
		2050/69	トウモロコシ (-15.7)
		2070/89	トウモロコシ (-24.7)
	中国華北平原(山東省) (2)	2010/29	トウモロコシ (-9.1)
		2050/69	トウモロコシ (-19.0)
2070/89	トウモロコシ (-25.5)		

表 A.1

(続き)

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)
Tao & Zhang, 2010	中国華北平原 (2)	2050/69	トウモロコシ (-21.5, -19.1, -16.8, -15.4, -14.7, -13.7, -13.2, -13.0, -9.7, -9.1, -9.1, -7.2, -3.3, 0.5, 15.6, 30.2)
Tao & Zhang, 2011	中国 (2)	2070/89	トウモロコシ (-19.6, -19.1, -14.0, -13.5, -6.5, -5.3, -5.0, -4.6, -3.4, -3.3, -2.0, -1.9)
Thornton <i>et al.</i> , 2009	東アフリカ (2)	2010/29	トウモロコシ (-15.0; -11.0; -3.0; -1.0)
Thornton <i>et al.</i> , 2010	ブルンジ (2)	2030/49	トウモロコシ (6.0, 8.6, 9.4, 11.7)
		2050/69	トウモロコシ (8.2, 8.6, 9.6, 9.9)
	東アフリカ (2)	2050/69	トウモロコシ (-58.0, -53.0, -51.0, -47.0, -44.0, -43.0, -42.0, -35.0)
	ケニア (2)	2030/49	トウモロコシ (11.7, 12.9, 15.4, 16.7)
		2050/69	トウモロコシ (15.8, 16.2, 17.6, 17.7)
	ルワンダ (2)	2030/49	トウモロコシ (9.3, 10.9, 11.9, 12.8)
		2050/69	トウモロコシ (13.2, 14.9, 16.9, 17.0)
	タンザニア (2)	2030/49	トウモロコシ (-4.7, -3.1, -2.8, -1.5)
		2050/69	トウモロコシ (-13.0, -10.1, -5.7, -4.1)
	ウガンダ (2)	2030/49	トウモロコシ (-3.6, -2.5, -2.3, -1.3)
		2050/69	トウモロコシ (-15.6, -12.3, -5.1, -3.3)
Thornton <i>et al.</i> , 2011	サハラ以南アフリカ中部 (2)	2090/2109	マメ類 (-69.0); トウモロコシ (-13.0)
	サハラ以南アフリカ東部 (2)	2090/2109	マメ類 (-47.0); トウモロコシ (-19.0)
	サハラ以南アフリカ南部 (2)	2090/2109	マメ類 (-68.0); トウモロコシ (-16.0)
	サハラ以南アフリカ (2)	2090/2109	マメ類 (-71.0); トウモロコシ (-24.0)
	サハラ以南アフリカ西部 (2)	2090/2109	マメ類 (-87.0); トウモロコシ (-23.0)
Tingem & Rivington, 2009	カメルーン (2)	2010/29	トウモロコシ (7.4, 8.2, 61.0, 62.3)
		2070/89	トウモロコシ (-14.6, -5.6, 32.1, 45.0)
	カメルーン (4カ所) (2)	2010/29	トウモロコシ (-10.9, 9.9, 29.6, 31.8)
		2070/89	トウモロコシ (-7.5, -1.6, 8.5, 12.0)
Walker & Schulze, 2008	南部アフリカ (2)	2070/89	トウモロコシ (-18.3, -8.0, -6.3, 3.0, 8.7, 9.7, 9.7, 16.7, 22.3)
Wang <i>et al.</i> , 2011	中国 (白城市) (2)	2010/29	トウモロコシ (-14.6)
		2050/69	トウモロコシ (-27.9)
		2070/89	トウモロコシ (-35.9)
	中国 (白山市) (2)	2010/29	トウモロコシ (12.2)
		2050/69	トウモロコシ (32.3)
		2070/89	トウモロコシ (34.8)
	中国 (長春市) (2)	2010/29	トウモロコシ (-10)
		2050/69	トウモロコシ (-26.2)
		2070/89	トウモロコシ (-34.6)

表 A.1

(続き)

参考文献	国名・地名	期間	作物 (収量変化推定値)	
Wang <i>et al.</i> , 2011	中国(吉林省) (2)	2010/29	トウモロコシ (-3.2)	
		2050/69	トウモロコシ (-14.6)	
		2070/89	トウモロコシ (-23.6)	
	中国(遼原市) (2)	2010/29	トウモロコシ (-9.5)	
		2050/69	トウモロコシ (-23.9)	
		2070/89	トウモロコシ (-31.6)	
	中国(四平市) (2)	2010/29	トウモロコシ (-11)	
		2050/69	トウモロコシ (-26.4)	
		2070/89	トウモロコシ (-35)	
	中国(松原市) (2)	2010/29	トウモロコシ (-8.7)	
		2050/69	トウモロコシ (-23.9)	
		2070/89	トウモロコシ (-32.8)	
	中国(通化市) (2)	2010/29	トウモロコシ (-0.3)	
		2050/69	トウモロコシ (-9.6)	
		2070/89	トウモロコシ (-18.9)	
	中国(延吉市) (2)	2010/29	トウモロコシ (11.1)	
		2050/69	トウモロコシ (24.6)	
		2070/89	トウモロコシ (23.9)	
	Xiong <i>et al.</i> , 2007	中国(灌漑水田:適応なし) (2)	2010/29	コメ (-0.4, 3.8)
			2050/69	コメ (-1.2, 6.2)
			2070/89	コメ (-4.9, 7.8)
中国(天水トウモロコシ畑: 適応なし) (2)		2010/29	トウモロコシ (1.1, 9.8)	
		2050/69	トウモロコシ (8.5, 18.4)	
		2070/89	トウモロコシ (10.4, 20.3)	
中国(天水コムギ畑:適応なし) (2)		2010/29	コムギ (4.5, 15.4)	
		2050/69	コムギ (6.6, 20)	
		2070/89	コムギ (12.7, 23.6)	
Xiong <i>et al.</i> , 2009		中国 (2)	2010/29	コメ (-4.9, 3.4, 6.3, 15.8)
			2050/69	コメ (-12.6, -8.6, 0.0, 8.0)
			2070/89	コメ (-26.2, -18.4, -5.6, -0.9)

表 A.2

「農業・林業・その他土地利用 (AFOLU)」由来の温室効果ガスの正味排出量・除去量 (二酸化炭素換算) 2014年

	農業からの 排出量	森林		その他の土地利用		
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
(1,000トン)						
世界	5,241,761	-1,845,936	2,913,158	1,302,674	756,075	25,705
途上地域の国・領域	3,971,916	-617,225	2,786,785	1,047,486	504,550	17,946
東・南東アジア	1,200,079	-30,495	566,447	426,306	359,610	10,492
ブルネイ	147	0	0	169	380	0
カンボジア	19,354	1,310	21,424	1,045	0	0
中国(香港)	81	..	..	0	0	0
中国(マカオ)	3	..	..	0	0	0
中国(本土)	707,640	-313,720	0	1,422	1,052	164
北朝鮮	4,542	-129	14,063	166	201	1
インドネシア	165,614	629,248	368,819	389,752	285,367	8,982
ラオス	8,097	16,199	0	1,867	0	0
マレーシア	14,276	-206,783	24,183	16,115	36,509	961
モンゴル	21,476	-14	15,962	529	7,796	331
ミャンマー	66,510	-30,534	105,869	11,462	18,258	51
フィリピン	53,173	-60,353	0	57	0	0
韓国	12,710	-43,408	3,808	11	0	0
シンガポール	102	44	0	0	0	0
タイ	63,040	12,467	0	2,357	1,142	1
東ティモール	784	1,938	4,161	14	0	0
ベトナム	62,530	-36,760	8,160	1,340	8,906	1
ラテンアメリカ・ カリブ海地域	909,180	-456,940	1,158,474	33,366	15,309	1,748
アンギラ	0	4	0	0	0	0
アンティグア・バーブーダ	22	7	0	0	0	0
アルゼンチン	112,377	-32,733	121,466	4,125	994	756
アルバ	0	0	0	0	0	0
バハマ	26	346	0	41	0	0
バルバドス	53	3	1	0	0	0
ベリーズ	318	-803	2,270	228	542	42
ボリビア	23,183	-348	84,090	1,971	0	0
ブラジル	441,905	-205,413	499,443	12,112	35	2
英領バージン諸島	8	2	1	0	0	0
ケイマン諸島	4	9	0	0	0	0
チリ	9,839	-105,380	0	306	115	19
コロンビア	53,628	-3,154	17,542	1,564	3,058	504
コスタリカ	3,466	-24,861	13,421	7	70	0

表 A.2

(続き)

	農業からの 排出量	森林		その他の土地利用		
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
キューバ	10,498	-14,007	0	44	0	0
ドミニカ国	33	30	87	0	0	0
ドミニカ共和国	7,783	-8,727	0	26	0	0
エクアドル	12,999	-552	34,285	17	150	0
エルサルバドル	2,625	-39	771	1	0	0
フォークランド (マルビナス)諸島	142	0	0	0	0	0
仏領ギアナ	59	-465	1,198	4	165	0
グレナダ	14	0	0	0	0	0
グアドループ	132	-24	25	0	0	0
グアテマラ	8,393	-5,642	13,122	65	0	0
ガイアナ	2,282	330	10,670	6,001	3,199	297
ハイチ	3,904	-181	319	0	0	0
ホンジュラス	5,916	-107	27,974	259	0	0
ジャマイカ	621	-50	197	2	631	0
マルティニーク	39	0	0	0	0	0
メキシコ	84,719	-3,414	10,748	113	0	0
モントセラト	19	2	0	0	0	0
蘭領アンティル	9	1	0	0	0	0
ニカラグア	7,681	-3,589	3,598	162	56	0
パナマ	3,389	-240	7,573	6	1,208	0
パラグアイ	27,645	-8,031	149,672	1,673	0	0
ペルー	23,264	-13,761	84,077	173	1,358	0
プエルトリコ	790	-2,200	0	7	280	0
セントクリストファー・ ネーヴィス	66	7	0	0	0	0
セントルシア	28	14	20	0	0	0
セントビンセントおよび グレナディーン諸島	14	18	0	0	0	0
スリナム	759	33	1,755	803	1,961	71
トリニダード・トバコ	249	-921	420	2	0	0
タークス・カイコス諸島	0	23	0	0	0	0
米領バージン諸島	16	-93	12	0	0	0
ウルグアイ	24,209	-10,663	0	2	103	40
ベネズエラ	36,053	-12,372	73,720	3,651	1,385	16
北アフリカ・西アジア	156,430	-85,564	5,757	72	1	0
アルジェリア	12,794	-804	364	37	0	0
アルメニア	1,366	-147	0	0	0	0
アゼルバイジャン	6,447	-8,474	0	7	0	0
バーレーン	35	-5	0	0	0	0
キプロス	369	-312	7	0	0	0

表 A.2

(続き)

	農業からの 排出量	森林		その他の土地利用		
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
エジプト	31,055	-219	0	1	0	0
ジョージア	2,612	0	0	6	0	0
イラク	8,577	-2,040	0	1	0	0
イスラエル	1,375	-73	0	0	0	0
ヨルダン	1,185	0	0	0	0	0
クウェート	417	-15	0	0	0	0
レバノン	752	-4	0	0	0	0
リビア	2,554	0	0	0	0	0
モロッコ	13,644	-5,178	3,711	1	0	0
パレスチナ	273	-23	0	0	0	0
オマーン	1,578	-5	0	0	0	0
カタール	822	0	0	0	0	0
サウジアラビア	7,221	0	0	0	0	0
シリア	6,253	-1,214	0	2	0	0
チュニジア	4,436	-293	0	8	0	0
トルコ	43,192	-66,545	1,674	9	1	0
アラブ首長国連邦	1,676	-213	0	0	0	0
西サハラ	184	0	0	0	0	0
イエメン	7,612	0	0	0	0	0
オセアニア(オーストラリア・ ニュージーランドを除く)	7,570	-2,551	3,682	15,015	42,156	2
米領サモア	5	-5	14	0	0	0
クック諸島	14	0	0	0	0	0
フィジー	882	-3,124	0	7	127	0
仏領ポリネシア	35	0	0	0	0	0
グアム	4	0	0	0	0	0
キリバス	8	-6	0	0	0	0
マーシャル	0	0	0	0	0	0
ミクロネシア	17	-29	0	0	0	0
ナウル	1	0	0	0	0	0
ニューカレドニア	221	0	0	3	0	0
ニウエ	0	0	48	0	0	0
北マリアナ諸島	0	0	61	0	0	0
パラオ	0	0	0	0	0	0
パプアニューギニア	5,658	331	1,869	15,005	42,029	2
ピトケアン諸島	0	0	0	0	0	0
サモア	149	0	0	0	0	0
ソロモン諸島	62	294	1,686	0	0	0
トケラウ	0	0	0	0	0	0
トンガ	89	0	0	0	0	0

表 A.2

(続き)

	農業からの 排出量	森林		その他の土地利用		
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
ツバル	0	0	0	0	0	0
バヌアツ	426	-14	0	0	0	0
ウォリス・フツナ	0	2	5	0	0	0
南インド	929,770	178,218	24,761	3,455	47,940	269
アフガニスタン	14,794	0	0	0	0	0
バングラデシュ	74,594	-5,037	2,507	501	31,226	24
ブータン	453	-3,813	0	24	0	0
インド	626,864	112,200	0	1,785	8,484	26
イラン	34,842	67,076	0	3	0	0
モルディブ	2	2	0	0	0	0
ネパール	22,058	0	0	1,090	5,234	219
パキスタン	150,341	7,450	21,151	1	0	0
スリランカ	5,823	342	1,103	51	2,996	0
サハラ以南アフリカ	768,886	-219,893	1,027,664	569,273	39,534	5,435
アンゴラ	29,584	155	34,311	59,602	111	97
ベナン	4,776	-185	10,723	289	0	0
ボツワナ	5,569	-14,382	21,715	14,942	0	103
ブルキナファソ	19,868	-3,845	12,646	296	0	0
ブルンジ	2,222	-1,606	0	789	3,068	6
カーボヴェルデ	112	-195	27	0	0	0
カメルーン	11,595	-1,273	109,806	3,810	1,078	0
中央アフリカ	17,678	5,857	7,343	125	0	0
チャド	19,264	-700	25,633	275	0	0
コモロ	237	-42	108	1	0	0
コンゴ共和国	1,810	-597	8,664	3,064	1,135	29
コートジボワール	4,790	555	3,112	37	1,697	68
コンゴ民主共和国	18,528	-431	145,631	20,318	28	5
ジブチ	650	0	0	0	0	0
赤道ギニア	21	52	5,301	0	7	0
エリトリア	4,114	-749	1,409	0	0	0
エチオピア	96,256	-6,021	3,370	8,729	12,101	336
ガボン	438	-94,600	0	44	392	4
ガンビア	1,210	-359	0	114	0	0
ガーナ	9,185	8,103	0	60	146	0
ギニア	11,301	-783	13,249	967	656	55
ギニアビサウ	1,651	-284	1,751	6	0	0
ケニア	37,133	-31,533	0	34	262	1
レソト	1,447	-264	66	5	0	0
リベリア	420	-13,973	15,154	47	116	14
マダガスカル	21,957	4,918	9,749	4,340	1,321	1,360

表 A.2

(続き)

	農業からの 排出量	森林			その他の土地利用	
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
マラウイ	5,239	-1,764	4,698	857	550	1
マリ	29,722	6	6,536	625	0	0
モーリタニア	7,693	-2,161	643	0	0	0
モーリシャス	148	-15	0	0	0	0
マヨット	0	-2	49	0	0	0
モザンビーク	17,705	2,615	34,785	2,276	0	0
ナミビア	6,060	45	7,846	1,059	0	0
ニジェール	23,128	27	1,440	80	0	0
ナイジェリア	64,239	-4,492	187,825	5,022	0	0
レユニオン	163	0	0	0	0	0
ルワンダ	2,996	-2,413	0	530	2,731	14
セントヘレナ	2	1	0	0	0	0
サントメ・プリンシペ	16	0	0	0	0	0
セネガル	10,599	-4,371	8,771	734	0	0
セーシェル	4	0	0	0	0	0
シエラレオネ	2,826	5,683	0	431	0	0
ソマリア	20,309	-3,359	16,559	2	0	0
南アフリカ	30,000	0	0	2,067	248	7
南スーダン	43,098	..	..	..	..	..
スーダン	72,517	..	..	..	..	..
スーダン(旧)	..	-27,982	72,044	75,394	750	154
スワジランド	925	8	138	98	0	0
トーゴ	2,605	-123	6,680	19	0	0
ウガンダ	23,999	-717	18,317	1,739	6,404	68
タンザニア	49,696	-4,326	165,381	40,463	6,721	165
ザンビア	22,954	-24,381	30,152	319,957	12	2,951
ジンバブエ	10,428	10	36,034	25	0	0
先進地域の国・領域	1,269,845	-1,228,711	126,373	255,187	251,525	7,758
アルバニア	2,830	-737	224	0	156	0
アンドラ	0	-22	0	0	0	0
オーストラリア	141,847	-72,969	0	3,269	3,150	29
オーストリア	6,601	-5,428	295	0	234	7
ベラルーシ	19,989	-25,520	0	377	24,708	107
ベルギー	8,787	-3,156	274	0	245	8
バミューダ	4	0	0	0	0	0
ボスニア・ヘルツェゴビナ	2,573	0	0	13	135	0
ブルガリア	5,493	-11,367	0	11	1,441	0
カナダ	61,783	-53,446	60,330	100,626	12,937	1,440
クロアチア	2,572	-4,133	290	0	0	0

表 A.2

(続き)

	農業からの 排出量	森林			その他の土地利用	
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
チェコ	6,295	-12,687	0	0	190	0
デンマーク	9,445	-2,200	0	0	1,700	5
エストニア	2,636	-1,531	108	9	5,742	65
フェロー諸島	27	0	0	0	0	0
フィンランド	5,612	0	0	0	5,619	95
フランス	72,264	-92,657	6,857	8	6,700	257
ドイツ	60,636	-49,867	0	0	11,979	521
ジブラルタル	0	0	0	0	0	0
ギリシャ	8,396	-2,200	0	30	1,492	0
グリーンランド	5	0	0	0	0	0
バチカン	0	..	..	..	0	0
ハンガリー	7,034	-3,593	0	12	7,819	11
アイスランド	452	-183	0	0	0	0
アイルランド	20,476	-1,393	0	0	477	476
マン島	2	-3	0	0	5	0
イタリア	30,073	-35,200	0	1	905	7
日本	20,709	-678	1,065	22	7,027	25
カザフスタン	20,712	0	0	216	0	0
キルギス	4,537	-816	0	0	0	0
ラトビア	3,150	-17,027	967	4	5,183	32
リヒテンシュタイン	18	0	0	..	0	0
リトアニア	4,724	-7,594	1,654	1	6,345	30
ルクセンブルク	645	0	0	0	4	0
マルタ	99	0	0	0	0	0
モナコ	0	..	..	..	0	0
モンテネグロ	384	0	0	0	62	0
オランダ	18,325	-2,493	0	0	3,505	148
ニュージーランド	38,654	-18,731	398	0	2,846	85
ノルウェー	4,616	-25,770	1,570	2	2,135	114
ポーランド	34,158	-40,333	0	1	14,867	357
ポルトガル	6,324	-603	1,924	11	427	3
モルドバ	1,613	-1,254	0	5	165	1
ルーマニア	13,963	-165,066	0	142	1,155	0
ロシア	92,228	-232,738	12,738	80,894	29,855	1,563
サンピエール島および ミクロン島	0	-1	3	0	0	0
サンマリノ	0	0	0	..	0	0
セルビア	6,453	-3,105	1,785	1	3	0
スロバキア	2,549	-5,296	163	0	43	0
スロベニア	1,433	-6,387	81	0	62	0
スペイン	36,426	-33,587	0	23	409	1

表 A.2

(続き)

	農業からの 排出量	森林			その他の土地利用	
		森林からの 排出量/ 除去量	正味森林転換 からの 排出量	バイオマス 燃焼からの 排出量	耕作地 有機土壌からの 排出量	草地有機土壌 からの 排出量
スヴァールバル諸島 およびヤンマイエン島	0	..	..	0	0	0
スウェーデン	6,640	-42,436	34,003	296	4,148	29
スイス	5,192	-1,833	0	0	268	13
タジキスタン	5,530	0	0	0	0	0
マケドニア旧ユーゴスラ ビア共和国	1,203	0	0	0	0	0
トルクメニスタン	8,076	0	0	1	0	0
ウクライナ	30,967	-18,333	0	2,400	12,400	117
英国	45,014	-15,400	0	0	2,801	383
米国	351,475	-192,867	0	66,783	72,180	1,828
ウズベキスタン	28,195	-18,071	1,645	30	0	0

表 A.3

農業由来の温室効果ガスの排出源別排出量(二酸化炭素換算) 2014年

	作物残渣の焼却	サバンの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内発酵	家畜糞尿処理	草地に残された家畜糞尿	土壌に施用された家畜糞尿	稲作	合成肥料
	(1,000トン)									
世界	29,732	213,438	211,685	132,815	2,084,835	350,874	845,353	191,495	522,790	658,744
途上地域の国・領域	21,721	165,043	133,883	65,465	1,617,857	198,919	712,007	116,462	500,039	440,522
東・南東アジア	8,125	3,776	54,597	45,521	291,009	107,795	117,309	53,302	315,408	203,238
ブルネイ	0	0	0	40	5	20	42	30	8	2
カンボジア	148	1,216	834	0	3,740	1,291	936	408	10,159	622
中国(香港)	..	0	..	0	6	26	5	7	..	37
中国(マカオ)	..	0	..	0	..	1	1	1	..	0
中国(本土)	5,011	112	35,899	883	203,958	73,639	82,777	38,049	112,860	154,453
北朝鮮	67	2	428	45	1,051	322	588	171	1,869	..
インドネシア	920	217	5,914	34,168	20,844	7,454	11,156	4,902	61,260	18,779
ラオス	62	66	365	0	3,219	1,154	871	382	1,976	..
マレーシア	31	8	205	4,289	1,065	927	1,122	756	2,592	3,282
モンゴル	9	825	45	3,065	9,956	1,183	5,406	868	..	119
ミャンマー	336	859	2,393	1,962	21,549	7,554	5,787	2,725	22,315	1,029
フィリピン	431	15	1,833	0	6,489	3,323	2,257	1,073	33,300	4,452
韓国	37	0	386	0	3,486	1,594	1,173	801	3,596	1,637
シンガポール	..	0	..	0	6	52	12	15	..	17
タイ	625	327	3,018	122	6,380	3,054	2,127	1,179	36,389	9,819
東ティモール	4	6	14	0	365	136	110	39	110	..
ベトナム	445	123	3,263	947	8,891	6,067	2,936	1,895	28,972	8,991
ラテンアメリカ・カリブ海地域	3,886	13,017	25,960	2,667	528,368	24,866	211,737	26,422	17,107	55,151
アンギラ	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
アンティグア・バーブーダ	0	0	0	0	13	1	6	2	..	0
アルゼンチン	578	2,040	7,393	638	65,016	2,036	26,805	1,405	1,430	5,036
アルバ	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
バハマ	0	6	0	0	4	3	8	5	..	..
バルバドス	0	0	0	0	18	7	15	9	..	3
ベリーズ	3	3	6	76	118	7	51	6	2	46
ボリビア	55	394	452	0	14,180	857	6,214	652	226	153
ブラジル	1,932	7,726	12,386	5	265,069	10,990	103,429	12,184	3,193	24,992
英領バージン諸島	..	0	..	0	5	0	3	0	..	..
ケイマン諸島	..	0	..	0	3	0	1	0	..	..
チリ	18	32	222	107	4,437	491	2,027	801	104	1,601
コロンビア	92	943	287	539	30,928	1,485	11,199	2,196	2,027	3,930

表 A.3

(続き)

	作物残渣の焼却	サバンの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内 発酵	家畜糞尿処理	草地に残された 家畜糞尿	土壌に施用された 家畜糞尿	稲作	合成肥料
コスタリカ	6	10	20	7	1,856	123	558	274	33	579
キューバ	43	21	81	0	5,625	354	2,397	325	1,009	643
ドミニカ国	0	0	0	0	21	1	7	3	..	0
ドミニカ共和国	14	4	58	0	3,935	310	1,826	416	940	280
エクアドル	54	2	207	16	6,055	504	2,434	720	1,755	1,252
エルサルバドル	29	2	68	0	1,389	95	499	149	4	390
フォークランド (マルビナス) 諸島	..	0	..	0	80	2	60	0	..	..
仏領ギアナ	0	0	0	18	22	1	9	1	7	..
グレナダ	0	0	0	0	8	1	5	1	..	..
グアドループ	1	0	..	0	89	4	36	3	..	..
グアテマラ	82	41	138	0	4,489	436	1,685	508	7	1,008
ガイアナ	13	12	72	466	170	30	111	46	1,285	78
ハイチ	33	0	55	0	2,295	183	1,063	167	108	..
ホンジュラス	24	49	39	0	3,544	175	1,348	259	5	474
ジャマイカ	2	0	0	67	270	44	162	46	0	31
マルティニーク	0	0	..	0	23	3	11	2	..	..
メキシコ	616	243	2,215	0	45,492	3,491	20,542	3,233	98	8,789
モントセラト	0	0	0	0	13	0	5	1	..	..
蘭領アンティル	..	0	..	0	4	1	3	1	..	..
ニカラグア	31	56	78	6	4,878	202	1,711	337	56	326
パナマ	11	6	33	128	2,026	105	817	112	26	124
パラグアイ	91	305	1,059	0	17,307	490	6,928	256	353	856
ペルー	63	15	370	144	12,349	866	5,103	756	1,880	1,716
プエルトリコ	0	0	0	30	486	31	192	52	..	..
セントクリストファー・ ネーヴィス	..	0	0	0	4	15	25	22	..	0
セントルシア	..	0	..	0	15	2	7	2	..	2
セントビンセント およびグレナディーン 諸島	0	0	0	0	7	1	4	1	..	..
スリナム	3	5	20	239	46	11	29	13	366	30
トリニダード・トバコ	0	0	1	0	57	39	84	59	9	0
タークス・カイコス 諸島	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
米領バージン諸島	..	0	..	0	11	1	5	1	..	..
ウルグアイ	30	1	490	28	14,923	361	6,143	276	984	973
ベネズエラ	61	1,101	212	154	21,091	1,105	8,171	1,119	1,199	1,840

表 A.3

(続き)

	作物残渣の焼却	サバンの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内 発酵	家畜糞尿処理	草地に残された 家畜糞尿	土壌に施用された 家畜糞尿	稲作	合成肥料
北アフリカ・西アジア	793	266	6,259	0	61,043	3,559	50,067	2,101	4,929	27,414
アルジェリア	52	141	348	0	5,531	293	4,538	170	1	1,721
アルメニア	4	1	51	0	625	50	502	29	..	105
アゼルバイジャン	22	5	190	0	3,239	164	2,483	101	6	237
バーレーン	..	0	0	0	16	1	14	1	..	4
キプロス	0	1	3	0	116	68	100	35	..	46
エジプト	138	0	1,423	0	10,072	471	6,556	230	3,702	8,463
ジョージア	13	0	31	0	1,143	85	897	48	..	394
イラク	72	54	477	0	3,505	200	2,669	113	541	946
イスラエル	2	0	28	0	423	86	510	69	..	258
ヨルダン	1	0	9	0	467	35	467	22	..	184
クウェート	0	0	3	0	112	35	232	35	..	0
レバノン	1	0	18	0	192	40	346	47	..	107
リビア	5	0	34	0	1,273	71	1,129	41	..	0
モロッコ	105	2	615	0	5,690	357	5,105	240	26	1,504
パレスチナ	0	1	3	0	128	9	126	6	..	..
オマーン	0	0	2	0	803	47	561	10	..	156
カタール	0	0	0	0	138	13	104	7	..	561
サウジアラビア	5	1	65	0	2,297	212	2,328	149	..	2,165
シリア	42	11	260	0	3,105	128	2,519	36	..	152
チュニジア	22	10	195	0	1,761	133	1,684	108	..	523
トルコ	301	38	2,427	0	15,514	793	13,325	508	652	9,634
アラブ首長国連邦	0	0	3	0	883	59	605	19	..	107
西サハラ	..	0	..	0	129	5	49	1	..	..
イエメン	7	0	73	0	3,883	204	3,217	78	..	150
オセアニア(オーストラ リア・ニュージーランド を除く)	3	103	2	4,482	1,090	1,043	536	175	14	121
米領サモア	0	0	..	0	0	4	0	1	..	..
クック諸島	..	0	..	0	1	11	0	1	..	0
フィジー	2	1	1	14	462	108	242	29	6	18
仏領ポリネシア	0	0	0	0	13	12	7	3	..	1
グアム	0	0	0	0	1	2	0	1	..	..
キリバス	..	0	..	0	0	5	0	2	..	..
マーシャル	..	0	..	0	..	..	..	..	..	0
ミクロネシア	0	0	0	0	1	12	1	2	1	..
ナウル	..	0	..	0	0	1	0	0	..	..
ニューカレドニア	0	1	0	0	124	24	64	5	..	4

表 A.3

(続き)

	作物残渣の焼却	サバンの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内発酵	家畜糞尿処理	草地に残された家畜糞尿	土壌に施用された家畜糞尿	稲作	合成肥料
ニウエ	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
北マリアナ諸島	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
バラオ	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
パプアニューギニア	1	102	1	4,469	162	682	62	101	2	77
ビトケアン諸島	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
サモア	0	0	..	0	45	72	21	11	..	0
ソロモン諸島	0	0	0	0	22	21	10	4	5	..
トケラウ	..	0	..	0	0	0	0	0	..	..
トンガ	..	0	..	0	22	30	11	5	..	21
ツバル	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
バヌアツ	0	0	0	0	237	59	119	11	..	..
ウォリス・フツナ	0	0	..	0	..	..	..	..	..	..
南インド	5,447	270	34,818	5,223	426,528	42,739	112,636	25,483	138,043	138,583
アフガニスタン	103	8	554	0	8,415	680	3,257	514	647	616
バングラデシュ	546	4	4,067	3,329	23,793	2,268	9,530	1,695	24,673	4,690
ブータン	3	2	12	0	275	25	67	13	49	6
インド	3,779	160	24,759	913	283,500	28,428	64,594	15,216	96,207	109,309
イラン	247	53	1,391	0	15,070	2,053	9,149	2,467	2,723	1,690
モルディブ	0	0	0	0	..	..	..	..	..	2
ネパール	164	8	749	663	11,930	1,112	2,928	664	3,270	570
パキスタン	562	25	3,013	0	82,329	8,024	22,830	4,827	8,500	20,232
スリランカ	44	10	272	318	1,216	150	282	88	1,974	1,468
サハラ以南アフリカ	3,467	147,611	12,247	7,571	309,819	18,917	219,721	8,980	24,538	16,017
アンゴラ	129	21,097	207	53	3,922	618	2,918	341	177	122
ベナン	79	1,012	136	0	1,816	155	1,373	75	44	86
ボツワナ	8	2,287	10	44	1,742	71	1,247	26	..	137
ブルキナファソ	65	1,268	354	0	9,062	826	6,846	378	755	312
ブルンジ	9	13	48	329	896	101	699	56	35	36
カーボヴェルデ	2	0	1	0	44	16	39	10	..	..
カメルーン	78	1,279	260	115	4,944	502	3,755	255	248	158
中央アフリカ	9	10,911	19	0	3,596	298	2,674	143	25	1
チャド	23	4,898	210	0	8,176	382	5,259	96	221	..
コモロ	1	0	4	0	52	2	42	1	134	..
コンゴ共和国	2	1,145	3	133	271	27	209	13	5	2
コートジボワール	45	834	190	209	1,461	153	1,288	91	241	277
コンゴ民主共和国	166	15,497	208	5	1,045	220	921	130	256	81
ジブチ	0	0	0	0	377	17	251	4	..	..

表 A.3

(続き)

	作物残渣の焼却	サバンの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内 発酵	家畜糞尿処理	草地に残された 家畜糞尿	土壌に施用された 家畜糞尿	稲作	合成肥料
赤道ギニア	..	0	..	1	9	2	8	1	..	..
エリトリア	2	26	31	0	2,375	98	1,536	42	..	3
エチオピア	221	3,432	1,289	1,436	50,196	2,048	35,179	794	138	1,524
ガボン	2	186	3	43	67	39	60	24	1	12
ガンビア	6	131	20	0	389	19	283	7	351	5
ガーナ	90	3,580	207	15	2,290	249	2,050	141	316	246
ギニア	81	1,714	265	93	3,835	173	2,768	68	2,288	17
ギニアビサウ	6	228	25	0	612	100	448	55	176	..
ケニア	175	218	371	45	20,718	869	13,942	420	42	334
レソト	8	68	11	0	755	27	557	20	..	..
リベリア	11	0	37	18	101	54	109	34	54	..
マダガスカル	92	1,669	393	719	7,388	532	5,238	279	5,574	73
マラウイ	138	237	340	59	1,554	507	1,273	307	103	721
マリ	93	3,904	531	0	12,418	591	8,978	221	1,006	1,980
モーリタニア	4	45	31	0	4,409	217	2,677	57	253	..
モーリシャス	3	0	0	0	10	12	60	9	2	52
モザンビーク	153	12,685	212	0	1,732	373	1,411	229	553	357
ナミビア	2	2,032	10	0	2,215	102	1,644	38	..	16
ニジェール	2	215	547	0	12,766	598	8,689	179	23	110
ナイジェリア	599	2,331	2,143	0	25,847	2,313	20,967	1,167	7,117	1,755
レユニオン	1	0	1	0	34	22	87	17	0	..
ルワンダ	21	17	124	296	1,215	208	922	124	24	45
セントヘレナ	..	0	..	0	1	0	1	0	..	..
サントメ・プリンシペ	0	0	0	0	3	6	3	4	..	..
セネガル	18	2,630	96	0	3,970	289	3,128	132	198	137
セーシェル	..	0	..	0	1	1	1	1	..	0
シエラレオネ	30	157	135	0	837	67	679	28	894	..
ソマリア	8	25	33	0	13,010	648	6,439	143	4	..
南アフリカ	290	2,341	1,030	29	12,529	869	9,677	407	7	2,823
南スーダン	22	21,485	106	145	11,911	488	8,727	214	..	0
スーダン	15	4,142	926	0	37,898	1,563	24,742	893	46	2,293
スワジランド	10	40	7	0	482	25	348	13	0	..
トーゴ	58	344	127	0	901	128	811	72	20	144
ウガンダ	94	1,164	294	720	11,737	830	8,484	464	140	72
タンザニア	377	6,734	871	787	21,102	874	14,977	453	3,019	502
ザンビア	99	13,453	224	2,277	3,075	313	2,341	162	49	960
ジンバブエ	120	2,135	157	0	4,020	275	2,957	141	0	621

表 A.3

(続き)

	作物残渣の焼却	サバンの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内 発酵	家畜糞尿処理	草地に残された 家畜糞尿	土壌に施用された 家畜糞尿	稲作	合成肥料
先進地域の国・領域	8,011	48,395	77,803	67,350	466,978	151,955	133,347	75,033	22,752	218,222
アルバニア	7	0	47	17	1,479	426	410	248	0	197
アンドラ	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
オーストラリア	422	42,022	3,040	348	50,475	5,251	29,635	1,092	496	9,066
オーストリア	27	0	339	47	3,199	1,282	468	684	..	555
ベラルーシ	32	2	578	5,708	6,778	1,991	600	1,357	..	2,944
ベルギー	12	0	243	43	3,786	1,959	526	995	..	1,224
バミューダ	..	0	0	0	2	1	0	0	..	..
ボスニア・ ヘルツェゴビナ	15	0	66	25	1,049	375	207	231	..	605
ブルガリア	72	0	626	161	1,294	357	243	267	65	2,408
カナダ	393	1,516	4,058	8,873	15,820	6,121	5,050	1,655	..	18,296
クロアチア	25	0	176	0	889	433	163	223	..	664
チェコ	34	0	602	40	2,103	705	205	486	..	2,121
デンマーク	22	0	677	383	3,015	2,704	359	1,134	..	1,151
エストニア	5	0	89	1,496	472	182	66	95	..	231
フェロー諸島	..	0	0	0	16	2	7	2	..	..
フィンランド	8	0	292	1,600	1,543	604	223	322	..	1,019
フランス	312	2	4,674	934	29,666	9,881	4,836	5,969	177	15,815
ドイツ	139	0	3,410	4,740	22,018	10,346	2,950	5,268	..	11,766
ジブラルタル	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
ギリシャ	32	9	294	159	3,102	745	1,505	473	321	1,756
グリーンランド	..	0	..	0	3	0	1	0	..	..
バチカン	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
ハンガリー	128	0	961	899	1,509	752	226	539	14	2,006
アイスランド	..	0	0	0	231	45	78	28	..	70
アイルランド	2	0	181	1,402	10,705	2,683	1,881	1,709	..	1,912
マン島	..	0	..	2	..	..	..	..	..	..
イタリア	136	3	1,242	99	11,970	5,323	2,170	2,933	2,323	3,873
日本	76	0	795	833	4,647	2,111	1,606	1,178	6,876	2,587
カザフスタン	388	2,524	1,551	0	9,474	1,751	3,116	1,082	439	387
キルギス	18	0	119	0	2,559	443	859	299	37	202
ラトビア	12	0	164	1,237	733	267	100	152	..	485
リヒテンシュタイン	..	..	..	0	11	3	2	2	..	..
リトアニア	24	0	349	1,476	1,294	487	171	265	..	658
ルクセンブルク	0	0	10	1	299	87	43	50	..	155
マルタ	0	0	2	0	30	27	5	10	..	25
モナコ	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
モンテネグロ	0	0	3	7	225	63	43	35	..	8

表 A.3

(続き)

	作物残渣の焼却	サパナの燃焼	作物残渣	有機土壌の耕作	家畜の消化管内 発酵	家畜糞尿処理	草地に残された 家畜糞尿	土壌に施用された 家畜糞尿	稲作	合成肥料
オランダ	5	0	180	1,373	7,749	4,208	1,084	2,132	..	1,594
ニュージーランド	3	1	75	379	21,179	3,198	11,240	465	..	2,115
ノルウェー	2	1	89	937	1,719	511	399	303	..	657
ポーランド	127	0	1,679	4,676	9,758	3,900	865	2,620	..	10,534
ボルトガル	12	6	79	47	2,673	1,345	567	683	301	612
モルドバ	47	0	199	33	509	195	113	181	..	336
ルーマニア	263	0	1,401	123	5,520	1,917	1,316	1,389	75	1,959
ロシア	962	1,415	8,379	12,791	35,487	11,157	4,980	8,197	1,150	7,710
サンピエール島 およびミクロン島	..	0	..	0	0	0	0	0	..	..
サンマリノ	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
セルビア	102	0	641	0	2,093	1,067	393	520	..	1,637
スロバキア	29	0	302	9	792	286	99	195	..	837
スロベニア	4	0	38	7	729	229	112	133	..	180
スペイン	106	22	1,401	44	12,289	7,847	3,036	3,404	1,164	7,112
スヴァールバル諸島 およびヤンマイエン島	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
スウェーデン	14	0	395	1,006	2,398	818	382	457	..	1,169
スイス	4	0	67	105	2,766	966	396	521	..	367
タジキスタン	11	4	101	0	3,151	593	886	366	51	366
マケドニア旧ユーゴ スラビア共和国	5	0	46	0	597	168	135	96	30	125
トルクメニスタン	15	24	121	0	4,560	785	1,745	549	277	..
ウクライナ	552	5	4,627	3,104	8,273	4,393	885	2,487	60	6,582
英国	61	0	1,775	2,164	20,019	4,935	5,175	3,396	..	7,490
米国	3,297	808	31,024	10,021	119,973	42,990	37,995	16,463	8,682	80,221
ウズベキスタン	51	32	597	0	14,349	3,039	3,788	1,696	212	4,433

参考文献

第1章

Alexandratos, N. & Bruinsma, J. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. Rome, FAO.

Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. & Cattaneo, A. 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in Malawi*. ESA Working Paper No. 14–08. Rome, FAO.

Branca, G., McCarthy, N., Lipper, L. & Jolejole, M. 2011. *Climate-smart agriculture: a synthesis of empirical evidence of food security and mitigation benefits from improved cropland management*. FAO Mitigation of Climate Change in Agriculture Series No. 3. Rome, FAO.

Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. & Woodward, A. 2007. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, eds. *Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 391–431.

De Pinto, A., Thomas, T. & Wiebe, K. 2016. *Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security*. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*. Washington DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute). (unpublished).

FAO. 2006. *Food security*. Policy brief, Issue 2, June 2006. Rome.

FAO. 2010. *“Climate-smart” agriculture: policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*. Rome.

FAO. 2011. *“Energy-smart” food for people and climate*. An Issue Paper. Rome.

FAO. 2012. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. Rome.

FAO. 2013. *Climate change guidelines for forest managers*. FAO Forestry Paper 172. Rome.

FAO. 2014. *Building a common vision for sustainable food and agriculture. Principles and approaches*. Rome.

FAO. 2016. *The agriculture sectors in the Intended Nationally Determined Contributions: Summary*. Rome.

FAO. FAOSTAT. Online Statistical Database (available at <http://faostat.fao.org/>). Rome.

Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch U., Rozenberg, J., Treguer, D. & Vogt-Schilb, A. 2016. *Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty*. Climate change and development series. Washington, DC, World Bank.

IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2015. *Global nutrition report 2015: Actions and accountability to advance nutrition and sustainable development*. Washington, DC.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Summary for policy-makers. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx, eds. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A.J., Carlisle, E., Dieterich, H.L., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N.M., Nelson, R.L., Ottman, M.J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K.A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M. & Usui, Y. 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510: 139–142.

Paerl, H. & Huisman, J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1(1): 1–95.

Paterson, R. & Lim, N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43: 1902–1914.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Trnka, M. 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy,

S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 485–533.

Schleussner, C.F., Lissner, T.K., Fischer, E.M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W. & Schaeffer, M. 2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C. *Earth system dynamics*, 7:327–351.

Searchinger, D.T., Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Dumas, P. & Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528: 51–59.

Smith P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. & Tubiello, F. 2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx, eds. *Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Thornton P., Ericksen P.J., Herrero M. & Challinor A.J. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global change biology*, 20:3313–3328.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. *United Nations framework convention on climate change.* New York, USA, United Nations.

UNFCCC. 2015. *Adoption of the Paris Agreement. United Nations framework convention on climate change.* Paris.

Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. & Ingram, J.S.I. 2012. Climate change and food systems, *annual review of Environment and Resources*, 37: 195–222.

WHO (World Health Organization). 2003. *Climate change and human health – risks and responses. Summary.* Geneva.

Wijesinha-Bettoni, R., Kennedy, G., Dirorimwe, C. & Muehlhoff, E. 2013. Considering seasonal variations in food availability and caring capacity when planning complementary feeding interventions in developing countries. *International Journal of Child Health and Nutrition*, 2 (4): 335–352.

Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. & Campbell, B.M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology.* In press.

World Bank. 2008. *World Development Report 2008. Agriculture for development.* Washington, DC.

Zeza, A., Davis, B., Azzarri, C., Covarrubias, K., Tasciotti, L. & Anriquez, G. 2008. *The impact of rising food prices on the poor.* ESA Working Paper 08-07. Rome, FAO.

第2章

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A. & Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660–684.

Alling, A., Doherty, O., Logan, H., Feldman, L. & Dustan, P. 2007. Catastrophic coral mortality in the remote Central Pacific Ocean: Kiribati, Phoenix Islands. *Atoll Research Bulletin*, 551: 1–19.

参考文献

- Antle, J.M. & Crissman, C.C.** 1990. Risk, efficiency, and the adoption of modern crop varieties: evidence from the Philippines. *Economic Development and Cultural Change*, 38(3): 517–537.
- Arnell, N.W., Cannell, M.G., Hulme, M., Kovats, R.S., Mitchell, J.F., Nicholls, R.J., Parry, M.L., Livermore, M.T.J. & White, A.** 2002. The consequences of CO₂ stabilisation for the impacts of climate change. *Climatic Change*, 53(4): 413–446.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. & Kokwe, M.** 2015. Climate-smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Arslan, A., Belotti, F. & Lipper, L.** 2016. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*. ESA Working Paper 16–03. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2015a. *Welfare cost of weather fluctuations and climate shocks in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2015b. *Adaptation to climate change and food security in Ethiopia*. <https://www.economic.com/esa/publications/details/en/c/279717/>. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Di Battista, F. & Lipper, L.** 2015. *Effects of weather fluctuations and climate shocks on household welfare: evidence from Niger*. Mimeo.
- Asfaw, S., Maggio, G. & Lipper, L.** 2015. *Gender differentiated impact of climate shock in Malawi*. ESA Working Paper.
- Bárcena, A., Prado, A., Samaniego, J. & Pérez, R.** 2014. *The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: paradoxes and challenges*. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean.
- Brander, K.M.** 2007. Global fish production and climate change. *PNAS*, 104(50): 19709–19714.
- CGIAR, CCAFS & University of Leeds.** 2016. Agriculture Impacts. (<http://www.ag-impacts.org>で入手可能).
- Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. & Chhetri, N.** 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D. & Pauly, D.** 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16: 24–35.
- Chomo, V. & De Young, C.** 2015. Towards sustainable fish food and trade in the face of climate change. *BIORES*, 9(2).
- Ciais, P., Schelhaas, M.J., Zaehle, S., Piao, L., Cescatti, A., Liski, J., Luyssaert, S., Le-Maire, G., Schulze, E.D., Bouriaud, O., Freibauer, A., Valentini, R. & Nabuurs, G.J.** 2008. Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*, 1(7): 425–429.
- Cline, W.R.** 2007. *Global warming and agriculture: impact estimates by country*. Washington, DC, Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.
- Dercon, S. & Christiaensen, L.** 2011. Consumption risk, technology adoption and poverty traps: evidence from Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 96: 159–173.
- De Pinto, A., Thomas, T. & Wiebe, K.** 2016. Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*. Washington DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute). (未刊).
- Fafchamps, M.** 1992. Solidarity networks in pre-industrial societies: rational peasants with a moral economy. *Economic Development and Cultural Change*, 41: 147–174.
- FAO.** 2011. *FAO-Adapt: Framework Programme on Climate Change Adaptation*. Rome.
- FAO.** 2015. *The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition*. Rome.

FAO. 2016a. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.

FAO. 2016b. *2015–2016 El Niño – Early action and response for agriculture, food security and nutrition*. Rome.

FAO. 2016c. *Climate change implications for fisheries and aquaculture: Summary of the findings of the intergovernmental panel on climate change fifth assessment report*, by A. Seggel, & C. De Young. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome.

FAO. 2016d. FAOSTAT. Online Statistical Database 2016年7月30日取得 (<http://faostat.fao.org/>)

FAO. FAOSTAT. Online Statistical Database (<http://faostat.fao.org/> で入手可能).

Feder, G., Just, R. & Zilberman, D. 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33: 255–298.

Gray, J., Dautel, H., Estrada-Peña, A., Kahl, O. & Lindgren, E. 2009. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2009: ID 593232.

Hallegatte, S., Mook B., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., Rozenberg, J., Treguer, D. & Vogt-Schilb, A. 2015. *Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty*. Climate Change and Development Series. Washington, DC, World Bank.

Heltberg, R. & Tarp, F. 2002. Agricultural supply response and poverty in Mozambique. *Food Policy*, 27(2): 103–124.

HLPE (High Level Panel of Experts). 2012. *Food security and climate change. A report by the high level panel of experts on food security and nutrition of the committee on world food security*, Rome.

Hurley, T. 2010. *Review of agricultural production risk in the developing world*. Harvest Choice Working Paper 11. Washington, DC, IFPRI.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

2007. *Climate change 2007: synthesis report*.

Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger, eds.]. Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC. 2014. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Kassie, M., Pender, J., Mahmud, Y., Kohlin, G.,

Bluffstone, R. & Mulugeta, E. 2008. Estimating returns to soil conservation adoption in the Northern Ethiopian Highlands. *Agricultural Economics*, 38: 213–232.

Kirtman, B., Power, S.B., Adedoyin, J.A., Boer, G.J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblaz-Reyes, F.J., Fiore, A.M., Kimoto, M., Meehl, G.A., Prather, M., Sarr, A., Schär, C., Sutton, R., van Oldenborgh, G.J., Vecchi, G. & Wang, H.J. 2014. Near-term climate change: projections and predictability. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Krishnamurthy, P.K., Lewis, K. & Choularton R.J. 2014. A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change*, 25: 121–132.

Lam, V.W.Y., Cheung, W.W.L., Swartz, W. & Sumaila, U.R. 2012. Climate change impacts on fisheries in West Africa: implications for economic, food and nutritional security. *African Journal of Marine Science*, 34(1): 103–117.

参考文献

- Lancelot, R., de La Rocque, S. & Chevalier, V.** 2008. Bluetongue and Rift Valley fever in livestock: a climate change perspective with a special reference to Europe, the Middle East and Africa. In: P. Rowlinson, M. Steele & A. Nefzaoui, eds. *Livestock and global climate change. Proceedings of the british society of animal science (BSAS) international conference on livestock and global climate change, Hammamet, Tunisia, 17–20 May 2008*, pp. 87–89. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J.** 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042): 616–620.
- Lozanoff, J. & Cap, E.** 2006. *Impact of climate change over Argentine agriculture: an economy study*. Argentina, INIA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).
- Marlier M.E., DeFries R.S., Voulgarakis A., Kinney P.L., Randerson J.T., Shindell D.T., Chen Y. & Faluvegi G.** 2013. El Niño and health risks from landscape fire emissions in Southeast Asia. *Nature Climate Change*, (3): 131–6.
- Mendelsohn, R.O., Arellano, J. & Christensen, P.** 2010. A Ricardian analysis of Mexican farms. *Environment and Development Economics*, 15(2): 153–171.
- Met Office Hadley Centre & WFP.** 2015. Food Insecurity and Climate Change. Web site. (<http://www.metoffice.gov.uk/food-insecurity-index/> で入手可能).
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R.S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. & Gordon, J.E.** 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3): 491–505.
- Moss, R.H., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J.F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J.P., & Zurek, M.** 2008. *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies*. Geneva, Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Müller, C. & Elliott, J.** 2015. The Global Gridded Crop Model intercomparison: approaches, insights and caveats for modelling climate change impacts on agriculture at the global scale. In: A. Elbehri, ed. *Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade*. Rome, FAO.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. & Lee, D.** 2009. *Climate change – impact on agriculture and cost of adaptation*. Washington, DC, IFPRI.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T.B., Ringler, C. & Msangi, S.** 2010. *Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options*. Washington, DC, IFPRI.
- Nelson, G., van der Mensbrugge, D., Ahammad, H., Blanc, E., Calvin, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Heyhoe, E., Kyle, P., Lotze-Campen, H., von Lampe, M., Mason d’Croz, D., van Meijl, H., Müller, C., Reilly, J., Robertson, R., Sands, R., Schmitz, C., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H. & Willenbockel, D.** 2014a. Agriculture and climate change in global scenarios: why don’t the models agree? *Agricultural Economics*, 45(1): 85–101.
- Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlik, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J., Fujimori, S., Hasegawa, T., Heyhoe, E., Kyle, P., Von Lampe, M., Lotze-Campen, H., d’Croz, D.M., van Meijl, H., van der Mensbrugge, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Schmid, E., Schmitz, C., Tabeau, A. & Willenbockel, D.** 2014b. Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3274–3279.
- Niang, I., Ruppel, O.C., Abdrabo, M.A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J. & Urquhart, P.** 2014. Africa. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2015. NOAA declares third ever global bleaching event. (<http://www.noaanews.noaa.gov/stories2015/100815-noaa-declares-third-ever-global-coral-bleaching-event.html> で入手可能).

Obura, D. & Mangubhai, S. 2011. Coral mortality associated with thermal fluctuations in the Phoenix Islands, 2002–2005. *Coral Reefs*, 30(3): 607–619.

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R. & van Vuuren, D.P. 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socio-economic pathways. *Climatic Change*, 122(3): 387–400.

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M. & Solecki, W. 2015. The roads ahead: narratives for shared socio-economic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*.

Parry, M., Rosenzweig, C. & Livermore, M. 2005. Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360 (1463): 2125–2138.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Travasso, M.I. 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 485–533.

Roe, T. & Graham-Tomasi, T. 1986. Yield risk in a dynamic model of the agricultural household. In: I. Singh, L. Squire & J. Strauss, eds. *Agricultural household models: extension, applications and policy.* A World Bank Research Publication. Baltimore, USA, Johns Hopkins University Press, pp. 255–276.

Rosenthal, J. 2009. Climate change and the geographic distribution of infectious diseases. *Ecohealth*, 6: 489–495.

Rosenzweig, C. & Parry, M.L. 1994. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367: 133–138.

Rosenzweig, M.R. & Binswanger, H.P. 1993. Wealth, weather risk and the composition and profitability of agricultural investments. *The Economic Journal*, 103: 56–78.

Rosenzweig, C., Jones, J., Hatfield, J., Ruane, A., Boote, K., Thorburne, P., Antle, J., Nelson, G., Porter, C., Janssen, S., Asseng, S., Basso, B., Ewert, F., Wallach, D., Baigorría, G. & Winter, J. 2013. The Agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 166–182.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. & Jones, J.W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3268–3273.

Rozenberg, J. & Hallegatte, S. 2015. *The impacts of climate change on poverty in 2030 and the potential from rapid, inclusive, and climate-informed development.* Policy Research Paper No. 7483. Washington, DC, World Bank.

Sadoulet, E. & de Janvry, A. 1995. *Quantitative development policy analysis.* Chapter 5. Baltimore, USA, Johns Hopkins University Press.

Sanghi, A. & Mendelsohn, R. 2008. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, 18(4): 655–665.

Sejian, V., Maurya, V.P., Kumar, K. & Naqvi, S.M.K. 2012. Effect of multiple stresses (thermal, nutritional and walking stress) on growth, physiological response, blood biochemical and endocrine responses in Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, 45: 107–116.

Seo, N. & Mendelsohn, R. 2007. *An analysis of crop choice: adapting to climate change in Latin American farms.* Washington, DC, World Bank.

- Seo, N. & Mendelsohn, R.** 2008. A Ricardian analysis of the impact of climate change on south american farms. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(1): 69–79.
- Seo, N.** 2011. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. *Ecological Economics*, 70(4): 825–834.
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J.T. & Taboada, M.A.** 2014. Terrestrial and inland water systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & I.L. White, eds. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, USA, Cambridge University Press.
- Skees, J., Hazell, P. & Miranda, M.** 1999. *New approaches to crop yield insurance in developing countries*. Environmental and Production Technology Division (EPTD) Discussion Paper No. 55. Washington, DC, IFPRI, 40 pp.
- Thornton, P., van de Steeg, J., Notenbaert, A. & Herrero, M.** 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101(3):113–127.
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gallop, A. & Frank, J.M.** 2010. Climate change and food safety: a review. *Food Research International*, 43(7): 1745–1765.
- Turrall, H., Burke, J. & Faurès, J.M.** 2011. *Climate change, water and food security*. Rome, FAO.
- Valenzuela, E. & Anderson, K.** 2011. *Climate change and food security to 2050: a global economy-wide perspective*, Paper presented at the 55th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, 9–11 February 2011.
- Van der Mensbrugghe, D.** 2015. *Shared Socio-Economic Pathways and Global Income Distribution*. Paper presented at the 18th Annual Conference on Global Economic Analysis, 17–19 June 2015, Melbourne, Australia.
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugghe, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D’Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., van Meijl, H. & Willenbockel, D.** 2015. Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios, *Environmental Research Letters*, 10(08): 1–15.
- Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A., Meko, D.M., Swetnam, T.W., Rauscher, S.A., Seager, R., Grissino-Mayer, H.D., Dean, J.S., Cook, E.R., Gangodagamage, C., Cai, M. & McDowell, N.G.** 2013. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3: 292–297.
- Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. & Campbell, B.M.** 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*. In press.
- World Bank.** 2010. *World Development Report 2010. Development and climate change*. Washington, DC.
- Yohe, G.W., Lasco, R.D., Ahmad, Q.K., Arnell, N.W., Cohen, S.J., Hope, C., Janetos, A.C. & Perez, R.T.** 2007. Perspectives on climate change and sustainability. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, eds. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 811–841.

第3章

- Acosta, M., Ampaire, E., Okolo, W. & Twyman, J.** 2015. *Gender and climate change in Uganda: effects of policy and institutional frameworks*. CCAFS Info Note. Copenhagen, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Agwu, J. & Okhimamwe, A.A.** 2009. *Gender and climate change in Nigeria*. Lagos, Nigeria, Heinrich Böll Stiftung (HBS).
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A.** 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems, *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 869–890.
- Archer, L. & Yamashita, H.** 2003. Theorizing inner-city masculinities: race, class, gender and education. *Gender and Education*, 15(2): 115–132.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. & Kokwe, M.** 2015. Climate smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. & Cattaneo, A.** 2014. Adoption and Intensity of adoption of conservation agriculture in Zambia. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 187: 72–86.
- Arslan, A., Lamanna, C., Lipper, L., Rosenstock, T. & Rioux, J.** 2016a. *A meta-analysis on the barriers to adoption of practices with CSA potential in Africa*. Mimeo.
- Arslan, A., Cavatassi, R., Alfani, F., McCarthy, N., Lipper, L. & Kokwe, M.** 2016b. *Is diversification a climate-smart agriculture strategy in rural Zambia?* Contributed Paper accepted to the Seventh International Conference in Agricultural Statistics, organized by FAO and ISTAT (Italian National Institute of Statistics), Rome. (FAO ESA working paperとして近日刊行予定).
- Asfaw, S. & Lipper, L.** 2016. *Managing climate risk using climate-smart agriculture*. Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. & Cattaneo, A.** 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in rural Malawi*. ESA Working Paper 14-08, Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Arslan, A., Lipper, L. & Cattaneo, A.** 2015. *Livelihood diversification and vulnerability to poverty in rural Malawi*. FAO-ESA Working Paper 15-02. Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. & Cattaneo, A.** 2016a. What determines farmers' adaptive capacity? Empirical evidence from Malawi. *Food Security*, Vol. 8(3): 643–664.
- Asfaw, S., Maggio, G. & Lipper, L.** 2016. *Gender, climate shock and welfare: evidence from Malawi*. Mimeo.
- Asfaw, S., Di Battista, F. & Lipper, L.** 2016. Agricultural technology adoption under climate change in the Sahel: micro-evidence from Niger. *Journal of African Economies*.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2016. *Welfare cost of climate and weather fluctuation in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., Mortari, A., Arslan, A., Karfakis, P. & Lipper, L.** 2016b. *Welfare impacts of climate shocks: evidence from Uganda*. FAO technical report.
- Barrett, C.B., Reardon, T. & Webb, C.** 2001. Nonfarm income diversification and household livelihood strategies in rural Africa: concepts, dynamics, and policy implications. *Food Policy*, 26(4): 315–331.
- Barrett, C.B. & Swallow, B.M.** 2006. Fractal poverty traps. *World Development*, 34(1): 1–15.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. & Palutikof, J.P., eds.** 2008. *Climate change and water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, IPCC Secretariat, 210 pp.
- Baudron, F., Moti J., Oriama O. & Asheber T.** 2013. Conservation agriculture in African mixed crop-livestock systems: Expanding the niche. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187(4): 171–182.
- Bondeau, A., Smith, P., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., Lotze-Campen, H., Müller, C., Reichstein, M. & Smith, B.** 2007. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biology*, 13: 679–706.

- Burney J.A., Davis S.J. & Lobell, D.B.** 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 12052–12057.
- Cacho, O.J., Moss, J., Thornton, P., Herrero, M., Henderson, B. & Bodirsky, B.L.** 2016. Adaptation paths for vulnerable areas Background paper prepared for The State of Food and Agriculture 2016. (未刊).
- Carter, M.R. & Barrett, C.B.** 2006. The economics of poverty traps and persistent poverty: an asset-based approach. *Journal of Development Studies*, 42(2): 178–199.
- Cassman, K.** 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11): 5952–5959.
- Challinor, A.J., Koehler, A.-K., Ramirez-Villegas, J., Whitfield, S. & Das, B.** 2016. Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately. *Nature Climate Change* (近刊).
- Cole, S.A., Giné X. & Vickery, J.I.** 2013. *How does risk management influence production decisions? Evidence from a field experiment.* World Bank Policy Research Working Paper 6546. Washington DC, World Bank.
- Dankelman, I.** 2008. *Gender and climate change: an introduction.* London, UK, Earthscan.
- De Pinto, A., Thomas, T. & Wiebe, K.** 2016. *Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security.* Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016.* Washington DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute). (未刊).
- Dercon, S.** 1996. Risk, crop choice, and savings. *Economic Development and Cultural Change*, (44): 485–513.
- Dercon, S. & Christiaensen L.** 2007. *Consumption risk, technology adoption and poverty traps: evidence from Ethiopia.* The Centre for the Study of African Economies Working Paper Series, 2007-06. Oxford, UK, Centre for the Study of African Economies.
- Erickson, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones, P. & Herrero, M.** 2011. *Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics.* Copenhagen, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Fafchamps, M.** 2003. *Rural poverty, risk and development.* Cheltenham, UK, Edward Elgar Publishing.
- FAO.** 2007. *The State of Food and Agriculture 2007. Paying Farmers for Environmental Services.* Rome.
- FAO.** 2009. *Food security and agricultural mitigation in developing countries: options for capturing synergies.* Rome.
- FAO.** 2011a. *The State of Food and Agriculture 2010–11. Women in agriculture: closing the gender gap for development.* Rome.
- FAO.** 2011b. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk.* Rome, FAO and London, Earthscan.
- FAO.** 2011c. *Save and Grow: a policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production.* Rome.
- FAO.** 2012. *Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security.* Rome.
- FAO.** 2013a. *Guidelines to control water pollution from agriculture in China: decoupling water pollution from agricultural production.* Rome.
- FAO.** 2013b. *Climate-smart agriculture source book.* Rome.
- FAO.** 2014a. *The State of Food and Agriculture 2014. Innovation in family farming.* Rome.
- FAO.** 2014b. *The Water-Energy-Food Nexus – a new approach in support of food security and sustainable agriculture.* Rome.
- FAO.** 2015a. *Voluntary Guidelines to Support the Integration of Genetic Diversity into National Climate Change Adaptation Planning.* Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome.

- FAO.** 2015b. *The economic lives of smallholder farmers: an analysis based on household data from nine countries.* Rome.
- FAO.** 2015c. *The State of Food and Agriculture 2015. Social protection and agriculture: breaking the cycle of rural poverty.* Rome.
- FAO.** 2016a. *Climate change and food security: risks and responses.* Rome.
- FAO.** 2016b. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania,* by A. Arslan, F. Belotti, & L. Lipper, ESA Working Paper No. 16–03. Rome.
- FAO.** 2016c. *Welfare impacts of climate shocks: evidence from Uganda,* by S. Asfaw, A. Mortari, A. Arslan, P. Karfakis & L. Lipper. Rome.
- FAO.** 2016d. *Social protection in protracted crises, humanitarian and fragile contexts. FAO's agenda for action for social protection and cash-based programmes.* Rome.
- FAO & World Bank.** 2011. *Climate change, water and food security.* FAO Water Reports. Rome.
- FAO & World Water Council.** 2015. *Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers.* Rome and Marseille.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R. & Zingore, S.** 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: P. Dreschler, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns. 2015. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification.* Paris, International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI).
- Goh, A.H.X.** 2012. *A literature review of the gender-differentiated impacts of climate change on women's and men's assets and well-being in developing countries.* CAPRI Working Paper No. 106. Washington DC, IFPRI.
- Gray, E. & A. Srinidhi.** 2013. *Watershed development in India: economic valuation and adaptation considerations.* Working paper. Washington, DC, World Resources Institute.
- Gumucio T. & Tafur-Rueda M.** 2015. Influencing gender-inclusive climate change policies in Latin America. *Journal of Gender, Agriculture, Food Security*, 1(2): 42–61.
- Hansen J.W., Mason, S.J., Sun, L. & Tall, A.** 2011. Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, 47(2): 205–240.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy, R., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C. & Rosegrant, M.** 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(1): 822–825.
- Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Blümmel M, Weiss F, Grace D. & Obersteiner, M.** 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52): 20888–20893.
- Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J.J., Corlett, R.T., Cui, X., Insarov, G.E., Lasco, R.D., Lindgren, E. & Surjan, A.** 2014. Asia. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. part B: regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 1327–1370.
- HLPE (High Level Panel of Experts).** 2015. *Water for food security and nutrition.* A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, FAO.
- HLPE.** 2016. *Sustainable agricultural development for food security and nutrition, including the role of livestock.* A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, FAO.

- Holmes, R. & Jones, N.** 2009. *Gender inequality, risk and vulnerability in the rural economy: refocusing the public works agenda to take account of economic and social risk*. ESA Working Paper No. 11-13. Rome, FAO.
- Huynh, P.T. & Resurrección, B.P.** 2014. Women's differentiated vulnerability and adaptations to climate-related agricultural water scarcity in rural Central Vietnam. *Climate and Development*, 6(3): 226–237. **IIED (International Institute for Environment and Development)**. 2010. *Moving to adapt to climate change*. Reflect & Act. London, International Institute for Environment and Development.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2001. In: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell & C.A. Johnson, eds. *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 881pp.
- Jost, C., Kyazze, F., Naab, J., Neelormi, S., Kinyangi, J., Zougmore, R., Aggarwal, P., Bhatta G., Chaudhury, M., Tapio-Bistrom M.L., Kristjanson, P. & Nelson, S.** 2015. Understanding gender dimensions of agriculture and climate change in smallholder farming communities. *Climate and Development*, 8(2): 133–144.
- Kandulu, J.M., Bryan, B.A., King, D. & Connor, J.D.** 2012. Mitigating economic risk from climate variability in rain-fed agriculture through enterprise mix diversification. *Ecological Economics*, 79: 105–112.
- Kebede, Y.** 1992. Risk taking behaviour & new technologies: the case of producers in the Central Highlands of Ethiopia. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 31: 269–289.
- Kelly, V., Adesina, A. A. & Gordon, A.** 2003. Expanding access to agricultural inputs in Africa: a review of recent market development experience. *Food Policy*, 28(4): 379–404.
- KNOMAD (Global Knowledge Partnership on Migration and Development)**. 2014. *Environmental change and migration: State of the Evidence*. KNOMAD Thematic Working Group on Environmental Change and Migration. Washington DC.
- Klopper, E. & Bartman, A.** 2003. Forecasts and commercial agriculture: a survey of user needs in South Africa. In: K. O'Brien & C. Vogel, eds. *Coping with climate variability: the use of seasonal climate forecasts in Southern Africa*, pp. 170–182. Abingdon, UK, Ashgate Publishing.
- Kremen, C. & Miles, A.** 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4): 40.
- Lal, R.** 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623–1626.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P.T., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A. & Torquebiau, E.F.** 2015. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4: 1068–1072.
- Liu, J., You, L., Amini, M., Obersteiner, M., Herrero, M., Zehnder, A.J. & Yang, H.** 2010. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17): 8035–8040.
- Lotze-Campen, H., Müller, C., Bondeau, A., Rost, S., Popp, A. & Lucht, W.** 2008. Global food demand, productivity growth, and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics*, 39 (3): 325–338.
- Markanday, A., Cabot-Venton, C. & Beucher, O.** 2015. *Economic assessment of the impacts of climate change in Uganda. Final Study Report*. Uganda, Climate and Development Knowledge Network (CDKN).

Masters, W.A., Djurfeldt, A.A., De Haan, C., Hazell, P., Jayne, T., Jirström, M. & Reardon, T. 2013. Urbanization and farm size in Asia and Africa: implications for food security and agricultural research. *Global Food Security*, 2(3): 156–165.

McCarthy, N., Lipper, L. & Branca, G. 2011. *Climate-Smart Agriculture: Smallholder Adoption and Implications for Climate Change Adaptation and Mitigation*. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 4. Rome, FAO.

McOmber, C., Bartels, W., McKune, S., Panikowski, A. & Russo, S. 2013. *Investigating climate information services through a gendered lens*. CCAFS Working Paper No. 42. Copenhagen, CCAFS.

Morduch, J. 1994. Poverty and vulnerability. *The American Economic Review*, 84(2): 221–225.

Mudombi, S. & Nhamo, G. 2014. Access to weather forecasting and early warning information by communal farmers in Seke and Murewa Districts, Zimbabwe. *Journal of Human Ecology*, 48(3): 357–366.

Nelson, V. 2011. *Gender, generations, social protection & climate change: a thematic review*. London, ODI.

Nelson, V., Stathers, T. 2009. Resilience, power, culture, and climate: a case study from semi-arid Tanzania, and new research directions. *Gender and Development*, Vol. 17 (1): 81–95

Ngugi, R.K., Mureithi, S.M. & Kamande P.N. 2011. Climate forecast information: the status, needs and expectations among smallholder agro-pastoralists in Machakos district, Kenya. *International Journal of Current Research*, 3(11): 006–012.

Nicholls, C.I., Altieri, M.A. & Vazquez, L. 2016. Agroecology: principles for the conversion and redesign of farming systems. *Journal of Ecosystem & Ecography*, S5: 010.

O'Brien, K., Sygna, L., Naess, L.O., Kingamkono, R. & Hochobeb, B. 2000. Is Information enough? User responses to seasonal climate forecasts in Southern Africa. Oslo, *Centre for International Climate and Environmental Research (CICERO)*, University of Oslo, Report 2003:3.

ODI (Overseas Development Institute). 2015. *Cash transfers. Doing cash differently: how cash transfers can transform humanitarian aid*. Report of the High Level Panel on Humanitarian Cash Transfers, London.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2012. *OECD environmental outlook to 2050: the consequences of inaction*. Paris.

OECD. 2015. *The Economic consequences of climate change*. Paris.

Olinto, P., Beegle, K., Sobrado, C., & Uematsu, H. 2013. *The state of the poor: where are the poor, where is extreme poverty harder to end, and what is the current profile of the world's poor?* Economic Premise No. 125. Washington, DC, World Bank.

Oweis, T. 2014. The need for a paradigm change: agriculture in water-scarce MENA region. In: G. Holst-Warhaft, T. Steenhuis & F. de Châtel, eds. *Water scarcity, security and democracy: a mediterranean mosaic*. Athens, Global Water Partnership Mediterranean, Cornell University and the Atkinson Center for a Sustainable Future.

Phillips, J.G., Makaudze, E. & Unganai, L. 2001. Current and potential use of climate forecasts for resource-poor farmers in Zimbabwe. In: C. Rosenzweig, ed. *Impacts of El Niño and climate variability in agriculture*, pp. 87–100. *American Society of Agronomy Special Publication* (63), Madison, Wisconsin, USA.

Pinca, V. 2016. *Water management in smallholder agriculture under climate change*. Background Paper prepared for The *State of Food and Agriculture 2016*. Rome, FAO. (未刊).

Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B.L. et al. 2016. In revision. Land use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*. (近刊).

Poulton, C., Kydd, J. & Dorward, A. 2006. Overcoming market constraints to pro-poor agricultural growth in sub-Saharan Africa. *Development Policy Review*, 24(3): 243–277.

参考文献

- Rasmussen, L. V., Mertz, O., Rasmussen, K., Nieto, H., Ali, A. & Maiga, I.** 2014. Weather, climate, and resource information should meet the needs of Sahelian pastoralists. *Weather, Climate, and Society*, 6: 482–494.
- Ricketts, T.H.** 2001. Conservation biology and biodiversity. *Encyclopedia of Life Sciences*. London, MacMillan Reference Ltd.
- Rosegrant, M.W., Jawoo K., Cenacchi, N., Ringler, C., Robertson, R., Fisher, M., Cox, C., Garrett, K., Perez, N.D. & Sabbagh, P.** 2014. *Food security in a world of natural resource scarcity: the role of agricultural technologies*. Washington, DC, IFPRI.
- Rural and Agricultural Finance Learning Lab.** 2016. *Inflection point: unlocking growth in the era of farmer finance*. (<https://www.rafllearning.org/post/inflection-point-unlocking-growth-era-farmer-finance>で入手可能).
- Sadoff, C.W. & Muller, M.** 2009. *Better water resources management: greater resilience today, more effective adaptation tomorrow*. GWP TEC Perspectives Paper. Stockholm, Global Water Partnership.
- Shames, S., Wollenberg, E., Buck, L.E., Kristjanson, P., Masiga, M. & Biryahaho, B.** 2012. *Institutional innovations in African smallholder carbon projects*. CCAFS Report No. 8. Copenhagen, CCAFS.
- Simtowe, F.** 2006. Can risk-aversion towards fertilizer explain part of the non-adoption puzzle for hybrid maize? Empirical evidence from Malawi. *Journal of Applied Sciences*, 6(7): 1490–1498.
- Stern, N.** 2007. *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Stern, N.** 2014. *Growth, climate and collaboration: towards agreement in Paris 2015*. Policy Paper. London, Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.
- Stocking, M.A.** 2003. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, 302(5649): 1356–1359.
- Swiderska, K., Reid, H., Song, Y., Li, J., Mutta, D., Ongogo, P., Mohamed, P., Oros, R., Barriga, S.** 2011. *The role of traditional knowledge and crop varieties in adaptation to climate change and food security in SW China, Bolivian Andes and coastal Kenya*. Paper prepared for the UNU-IAS workshop on Indigenous Peoples, Marginalised Populations and Climate Change: Vulnerability, Adaptation and Traditional Knowledge, Mexico.
- Tall, A., Mason, S. J., Suarez, P., Ait-Chellouche, Y., Diallo, A.A., Braman, L. & van Aalst, M.** (近刊). 2012. Using seasonal forecasts to guide disaster management: The experience of the Red Cross during the 2008 floods in West Africa. *International Journal of Geophysics*.
- Tall, A., Kristjanson, P., Chaudhury, M., McKune, S. & Zougmore, R.** 2014. *Who gets the information? Gender, power and equity considerations in the design of climate services for farmers*. CCAFS Working Paper No. 89. Copenhagen, CCAFS.
- Thornton, P. & Lipper, L.** 2014. *How does climate change alter agricultural strategies to support food security?* IFPRI Discussion Paper 01340, Washington DC, IFPRI
- Timmer, C.P.** 2014. *Managing Structural transformation: a political economy approach*. UNU-WIDER Annual Lecture 18. Helsinki, United Nations University World Institute for Development Economics Research.
- Trinh, T., Tran, N. & Cao, Q.** 2016. *Climate-smart aquaculture: evidences and potentials for northern coastal area of Vietnam*. CCAFS Working Paper No. 169. Copenhagen, Denmark: CCAFS.
- United Nations.** 2010. *The World's Women 2010: trends and statistics*. (unstats.un.org/unsd.orgで入手可能).
- UN-DESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs).** 2012. *World urbanization prospects, the 2011 revision*. New York, USA, United Nations.
- UNDP. (United Nations Development Programme).** 2010. *Human Development Report 2010. The real wealth of nations: pathways to human development. 20th Anniversary Edition*. New York, USA, Palgrave Macmillan for UNDP.
- UNEP (United Nations Environment Programme).** 2016. *UNEP frontiers 2016 report: emerging issues of environmental concern*. Nairobi, UNEP
- Vi Agroforestry.** 2015. *Vi Agroforestry and climate offsetting*. (<http://www.viagroforestry.org/what-we-do/carbon-credit/>で入手可能).

Yang, X., Chen, Y., Pacenka, S., Gao, W., Zhang, M., Sui, P. & Steenhuis, T.S. 2015. Recharge and groundwater use in the North China Plain for six irrigated crops for an eleven year period. *PLoS ONE*, 10(1): e0115269.

Watkiss, P. 2015. *A review of the economics of adaptation and climate-resilient development. Working Paper No. 205.* London, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Wheeler, D. 2011. *Quantifying vulnerability to climate change: implications for adaptation assistance.* CGD Working Paper 240. Washington, DC, Center for Global Development.

Wiggins, S. 2016. *Agricultural and rural development reconsidered. A guide to issues and debates.* IFAD Research Series No. 1. Rome, IFAD.

Winder Rossi N., Spano F., Sabates-Wheeler R. & Kohnstamm, S. 2016. Social protection and resilience building: Supporting livelihoods in protracted crises, fragile and humanitarian contexts. FAO position paper. Rome and Brighton, UK, FAO and Institute for Development Studies.

Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. & Campbell, B.M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*.

World Bank. 2010a. *World Development Report 2010. Development and climate change.* Washington, DC.

World Bank. 2010b. *Economics of adaptation to climate change. Synthesis Report.* Washington, DC.

World Bank. 2010c. *Vietnam: economics of adaptation to climate change.* Washington, DC.

World Bank, FAO & IFAD. 2015. *Gender in climate-smart agriculture: module 18 for gender in agriculture source-book.* Agriculture global practice. Washington, DC.

Wright, H. & Chandani, A. 2014. *Gender in scaling up community based adaptation to climate change.* In: L. Schipper, J. Ayers, H. Reid, S. Huq & A. Rahman, eds. *Community based adaptation to climate change: scaling it up.* New York, USA, Routledge.

Zhu, Y., Fen, H., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Hu, L. & Mundt, C.C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406: 718–772.

第4章

Bajželj, B., Richards, K.S., Allwood, J.M., Smith, P., Dennis, J.S., Curmi, E. & Gilligan, C.A. 2014. Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4: 924–929.

Bellarby, J. Foereid, B., Hastings, A. & Smith, P. 2008. *Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential.* Amsterdam, Greenpeace International.

Burney, J.A., Davis, S.J. & Lobell, D.B. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 12052–12057.

Chappell, A., Baldock, J. & Sanderman, J. 2016. The global significance of omitting soil erosion from soil organic carbon cycling schemes. *Nature Climate Change*, 6: 187–191.

CIFOR (Center for International Forestry Research) 2010. *Forests and climate change toolbox.* (<http://www.cifor.org/fctoolbox/>で入手可能).

CIFOR. Annual Report. 2015. *A new landscape for forestry.* Montpellier, France.

DEFRA. (Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2001. Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. London, DEFRA.

EEA (European Environment Agency). 2016. *Renewable energy in Europe 2016: recent growth and knock-on effects.* Luxembourg, Publications Office of the European Union.

- EC (European Commission).** 2013. *Assessing the impact of biofuels production on developing countries from the point of view of Policy Coherence for Development - Final report*. Brussels, European Commission.
- Erb, K.-H., Haberl, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzer, C., Steinberger, J.K., Muller, C., Boundeau, A., Waha, K. & Pollack, G.** 2009. *Eating the Planet: feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study*. Potsdam, Germany, PIK.
- Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. & Winiwarter, W.** 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1: 636–639.
- FAO.** 2011a. *Food security through commercialization of agriculture (FSCA) project, Liberia – GTFS/LIR/010/ITA*. FAO Global Trust Fund for Food Security and Food Safety. Italian contribution, West Africa Platform.
- FAO.** 2011b. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Rome, FAO and London, Earthscan.
- FAO.** 2011c. *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. Rome.
- FAO.** 2011d. *“Energy-smart” food for people and climate – an issue paper*. Rome.
- FAO.** 2012. *State of the World's Forests 2012*. Rome.
- FAO.** 2013a. *Climate-smart agriculture source book*. Rome.
- FAO.** 2013b. *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains, a global life cycle assessment*. Rome.
- FAO.** 2014. *Walking the nexus talk – assessing the water-energy-food nexus*. Rome.
- FAO.** 2016a. FAOSTAT Online Data Base. (<http://faostat.fao.org>で入手可能). Rome.
- FAO.** 2016b. *Forty years of community-based forestry: a review of its extent and effectiveness*. FAO Forestry Paper 176. Rome.
- FAO & ITPS (Intergovernmental Technical Panel on Soils).** 2015. *Status of the World's Soil Resources (SWWSR) – Main Report*. Rome.
- FAO & FCRN (Food Climate Research Network).** 2016. *Plates, pyramids, planet. Developments in national healthy and sustainable dietary guidelines: a state of play assessment*. Rome and Oxford.
- Fischbeck, P.S., Tom, M.S. & Hendrickson C.T.** 2016. Energy use, blue water footprint, and greenhouse gas emissions for current food consumption patterns and dietary recommendations in the US. *Environmental System*. Dec 1–12. 36(1): 92–103.
- Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J., Godfray H.C.J.** 2013. Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science*, 341(6141): 33–34.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Vaissière, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B.M. & An, J.** 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271): 388–391.
- Garg, M.R., Sherasia, P.L., Bhandari, B.M., Phondba, B.T., Shelke S.K. & Makkar, H.P.S.** 2013. Effects of feeding nutritionally balanced rations on animal productivity, feed conversion efficiency, feed nitrogen use efficiency, rumen microbial protein supply, parasitic load, immunity and enteric methane emissions of milking animals under field conditions, *Animal Feed Science and Technology*, 179–4): 24–35.
- Gerber, P.J., Vellinga, T., Opio, C. & Steinfeld, H.** 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*, 139: 100–108.
- Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H.P. S., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J. Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S.** 2013a. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock – a review. *Animal*, 7: 220–34.

Gerber, P.J., Henderson, B., Opio, C., Mottet, A. & Steinfeld, H. 2013b. *Tackling climate change through livestock – a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome, FAO.

Henderson, B., Falcucci, A., Mottet, A., Early, L., Werner, B., Steinfeld, H. & Gerber, P. 2015. Marginal costs of abating greenhouse gases in the global ruminant livestock sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1–26.

Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D. & Obersteiner, M. 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52): 20888–93.

Herrick, J.E., Sala, O.E. & Jason, K. 2013. Land degradation and climate change: A sin of omission? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11: 283.

Houghton, R. A. 2012. Historic changes in terrestrial carbon storage. In: R. Lal, K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider, J. von Braun, eds. *Recarbonization of the biosphere: ecosystems and the global carbon cycle*, pp. 59–82. Dordrecht, Netherlands, Springer.

HLPE (High Level Panel of Experts). 2014. *Food losses and waste in the context of sustainable food systems*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome, FAO.

Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, W., Gerber, P.J., Henderson, B. & Tricarico, J.M. 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11): 5045–5069.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) & FAO. 2016. *Feedipedia. Animal feed resources online system*. (<http://www.feedipedia.org/>で入手可能).

INRA & CIRAD. 2009. *Agrimonde: Agricultures et alimentations du monde en 2050. Scénarios et défis pour un développement durable*. Paris, Quae.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Khaliwala, S., Tanhua, T., Mikaloff Fletcher, S., Gerber, M., Doney, S.C., Graven, H.D., Gruber, N., McKinley, G. A., Murata, A., Rios, A.F. & Sabine, C.L. 2013. Global ocean storage of anthropogenic carbon. *Biogeosciences*, 10: 2169–2191.

Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauka, C., Plutzar, C. & Searchinger, T. D. 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(25): 10324–10329.

Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30: 981–990.

Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17: 197–209.

Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop science*, 50 (Supplement 1): S–120.

Lal, R., Griffin, M., Aht, J., Lave, L. & Morgan, M.G. 2004. Managing soil carbon. *Science*, 304(5669): 393.

Linquist, B.A., Anders, M.M., Adviento-Borbe, M.A.A., Chaney, R.L., Nalley, L.L., Da Rosa, E.F. & Kessel, C. 2015. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. *Global Change Biology*, 21(1): 407–417.

Mery, G., Katila, P., Galloway, G., Alfaro, R.I., Kanninen, M., Lobovikov, M., & Varjo, J. 2010. *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change*. World Series Volume 25. Vienna, IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).

参考文献

- Mottet, A., Henderson, B., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Silvestri, S., Chesterman, S. & Gerber, P.J.** 2016. Climate change mitigation and productivity gains in livestock supply chains: insights from regional case studies. *Regional Environmental Change*, 1–13.
- Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N. & Foley, J.A.** 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419): 254–257.
- Nellemann, C., Hain, S. & Alder, J., eds.** 2008. *In dead water: merging of climate change with pollution, over harvest and infestations in the world's fishing ground.* Arendal, Norway, UNEP, GRID-Arendal.
- Newbold J.** 2015. *Towards the zero methane cow.* Background paper for the conference "Animal Change Final Conference", Montpellier, France, March 19, 2015.
- Oenema, O., Ju, X., de Klein, C., Alfaro, M., del Prado, A., Lesschen, J.P., Zheng, X., Velthof, G., Ma, L., Gao, B., Kroeze, C. & Sutton, M.** 2014. Reducing nitrous oxide emissions from the global food system. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9–10: 55–64.
- Oliveira Silva, R. de, Barioni, L.G., Hall, J.A.J., Folegatti, M.M., Zanett, A.T., Fernandes, F.A. & Moran, D.** 2016. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*. (印刷中).
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B. & Steinfeld, H.** 2013. *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains: a global life cycle assessment.* Rome, FAO.
- Pan G., Smith, P. & Pan, W.** 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 129: 344–348.
- Paustian, K., Babcock, B.A., Hatfield, J., Kling, C.L., Lal, R., McCarl, B.A., McLaughlin, S., Mosier, A.R., Post, W.M., Rice, C.W. & Robertson, G.P.** 2004. *Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture.* Council on Agricultural Science and Technology (CAST) Task Force Report No.141. Ames, USA, CAST.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. & Smith, P.** 2016. Climate-smart soils. *Nature*, 532, 49–57.
- Penuelas, J., Poulter, B., Sardans, J., Ciais, P., van der Velde, M., Bopp, L., Boucher, O., Godderis, Y., Hinsinger, P., Llusia, J., Nardin, E., Vicca, S., Obersteiner, M. & Janssens, I.A.** 2013. Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nature Communications*, 4: 2934.
- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E. & van Kessel, C.** 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534): 365–368.
- Putz, F.E. & Romero, C.** 2015. *Futures of tropical production forests.* Occasional Paper 143. Bogor, Indonesia, CIFOR (Center for International Forestry Research).
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T. van der Leeuw, S., Rodhe, H. Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J.A.** 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263): 472–475.
- Running, S.W.** 2012. Ecology. A measurable planetary boundary for the biosphere. *Science*, 337: 1458–9
- Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R. & Kapos, V.** 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5: 81–91.
- Siikamäki, J. & Newbold, S.C.** 2012. Potential biodiversity benefits from international programs to reduce carbon emissions from deforestation. *Ambio*, 2012 41(Suppl 1): 78–89.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M. & Smith, J.** 2008. Greenhouse gas

mitigation in agriculture, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 789–813.

Smith, D.M., Scaife, A.A., Boer, G.J., Caian, M., Doblaser, F.J., Guemas, V., Hawkins, E., Hazeleger, W., Hermanson, L., Ho, C.K., Ishii, M., Kharin, V., Kimoto, M., Kirtman, B., Lean, J., Matei, D., Merryfield, W.J., Müller, W.A., Pohlmann, H., Rosati, A., Wouters, B. & Wyser, K. 2013. Real-time multi-model decadal climate predictions. *Climate Dynamics*, 41(11–12): 2875–2888.

Smith P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. & Tubiello, F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx, eds. *Climate Change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Sommer S.G., Olesen J.E., Petersen S.O., Weisbjerg M.R., Valli L., Rohde L. & Béline F. 2009. Region-specific assessment of greenhouse gas mitigation with different manure management strategies in four agroecological zones. *Global Change Biology*, 15: 2825–2837.

Sommer, R. & Bossio, D. 2014. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 144: 83–87.

Soussana, J.-F., Dumont, B. & Lecomte, P. 2015. Integration with livestock. Agroecology for food security and nutrition. Proceedings of the FAO International Symposium, 18–19 September 2014, Rome, Italy. pp. 225–249. Rome, FAO.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S.R., Wim de Vries, S.R., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223).

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow : environmental issues and options*. Rome, FAO.

Sutton, M.A., Oenema, O., Erismann, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. & Winiwarter W. 2011. Too much of a good thing. *Nature*, 472: 159–61.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. & Befort, B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50): 20260–20264.

Tilman, D. & Clark, M. 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515: 518–522.

Tukker, A., Goldbohm, R.A., de Koning, A., Verheijden, M., Kleijn, R., Wolf, O., Perez-Dominguez, I. & Rueda Cantuche, J. 2011. Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics*, 70 (10): 1776–1788.

Van Dooren, C., Marinussen, M., Blonkb, H., Aiking, H. & Vellinga, P. 2014. Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: A comparison of six dietary patterns. *Food Policy*, 44: 36–46.

Veneman, J.B., Saetnan, E.R., Newbold, C.J. 2014. MitiGate: an on-line meta-analysis database of mitigation strategies for enteric methane emissions. (<http://mitigate.ifers.aber.ac.uk> で入手可能).

第5章

Antón, J., Cattaneo, A., Kimura, S. & Lankoski, J. 2013. Agricultural risk management policies under climate uncertainty. *Global Environmental Change*, 23: 1726–1736.

Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. & Cattaneo, A. 2014. Adoption and intensity of adoption of conservation farming practices in Zambia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187: 72–86.

Arslan, A., Belotti, F. & Lipper, L. 2015. *Smallholder productivity under climatic variability: adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*. Mimeo.

- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. & Kokwe, M.** 2015. Climate smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Asfaw, S., Di Battista, F. & Lipper, L.** 2014. *Food security impact of agricultural technology adoption under climate change: micro-evidence from Niger*. ESA Working Paper 14-12. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2015. *Welfare cost of weather fluctuations and climate shocks in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Cavatassi, R., Paolantonio, A. Amare, A. & Lipper, L.** 2015. *Diversification, climate risk and vulnerability to poverty: evidence from rural Malawi*. ESA Working Paperとして近日刊行予定. Rome.
- Bebber, D.P., Ramotowski, M.A.T. & Gurr, S.J.** 2013. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature, Climate Change*, 3, 985–988.
- Braatz, S.** 2012. Building resilience for adaptation to climate change through sustainable forest management. In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz, eds. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Rome, FAO.
- De Gorter, H. & Just, D.R.** 2009. The economics of a blend mandate for biofuels. *American Journal of Agricultural Economy* 91(3): 738–750
- Earley, J.** 2009. Climate change, agriculture and international trade: Potential conflicts and opportunities. *Biores*, 3(3).
- Enciso, S.R.A., Fellmann, T., Pérez Dominguez, I. & Santini, F.** 2016. Abolishing biofuel policies: possible impacts on agricultural price levels price variability and global food security. *Food Policy*, 61: 9–26.
- FAO.** 2008. *The State of Food and Agriculture 2008. Biofuels, prospects, risks and opportunities*. Rome.
- FAO.** 2013. *Climate change guidelines for forest managers*. Rome.
- FAO.** 2016. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.
- FAO & AgriCord.** 2012. *Strength in numbers – effective forest producer organizations*. Rome, FAO.
- FAO & OECD.** 2012. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Meybeck, A., Lankoski, J., Redfern, S. Azzu, N. & Gitz, V. Rome.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R. & Zingore, S.** 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: P. Dreschler, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI), pp. 8–38.
- Gregory, P.J., Johnson, S.N., Newton, A.C. & Ingram, J.S.I.** 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60(10): 2827–2838.
- McCarthy, M., Best, M. & Betts, R.** 2010. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37(9).
- Meybeck, A., Azzu, N., Doyle, M. & Gitz V.** 2012. Agriculture in National Adaptation Programmes of Action (NAPA). In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Rome, FAO.
- OECD.** 2015. *Aligning policies for a low-carbon economy*. Paris.
- OECD.** 2016. *Producer and consumer support estimates database of the OECD*. (<http://www.oecd.org/tad/agricultural-policies/producerandconsumersupportestimatesdatabase.htm> で入手可能). Paris.

Place, F. & Meybeck, A. 2013. *Food security and sustainable resource use – what are the resource challenges to food security?* Background paper for the conference “Food Security Futures: Research Priorities for the 21st Century”, 11–12 April 2013, Dublin, Ireland.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. & Jones, J.W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3268–3273.

Sorda, G., Banse, M. & Kemfert, C. 2010. An overview of biofuel policies across the world. *Energy Policy*, 38 (11): 6977–6988.

Thomson, L.J., Macfadyen, S. & Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52 (3): 296–306.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2015. NAMA Registry. (<http://www4.unfccc.int/sites/nama/SitePages/Home.aspx>で入手可能).

UNFCCC. 2016a. NAPAs received by the secretariat. (http://unfccc.int/adaptation/workstreams/national_adaptation_programmes_of_action/items/4585.phpで入手可能).

UNFCCC. 2016b. *Focus: Mitigation – NAMAs, Nationally Appropriate Mitigation Actions.*

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) and OECD. 2013. *Disaster risk reduction – donor effort. A survey of development co-operation providers.* (http://www.preventionweb.net/files/34577_34577donoreffortondisasterriskreduc.pdfで入手可能).

Wilkes, A., Tennigkeit, T. & Solymosi, K. 2013. *National planning for GHG mitigation in agriculture. A guidance document.* Rome, FAO.

World Bank. 2013. *World Development Report 2013. Risk and opportunity: managing risk for development.* Washington DC.

Wu, M. & Salzman, J. 2014. The next generation of trade and environment conflicts: the rise of green industrial policy. *Scholarship Law Article, Northwestern University Law Review*, 108(2): 401–474.

第6章

Buchner, B.K., Trabacchi, C., Mazza, F., Abramskiesh, D. & David Wang. 2015. *Global Landscape of climate finance 2015.* Venice, Italy, Climate Finance Initiative.

Cambodia Climate Change Alliance. 2015. *Planning and budgeting for climate change in Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.* Cambodia Climate Change Alliance Phnom Penh.

Caravani A., Nakhouda S. & Terpstra P. 2014, *The Rio markers in practice.* London and Washington, ODI and World Resources Institute.

Cattaneo, A., Lubowski, R., Busch, J., Creed, A., Strassburg, B., Boltz, F. & Ashton, R. 2010. On international equity in reducing emissions from deforestation. *Environmental Science & Policy*, 13(8): 742–753.

Conway, D., Keenlyside, P., Roe, S., Streck, C., Vargas-Victoria, G. & Varns, T. 2015. *Progress on the New York Declaration on Forests – an assessment framework and initial report.* Prepared by Climate Focus, in collaboration with Environmental Defense Fund, Forest Trends, The Global Alliance for Clean Cookstoves, and The Global Canopy Program.

DONOR Tracker. 2014. Analyzing development strategies. (<http://www.donortracker.org/>で入手可能).

FAO. 2012. *The State of Food and Agriculture. Investing in agriculture for a better future.* Rome.

Government of Cambodia. 2016. *Report on Climate Public Expenditure Review 2012–14.* Ministry of Economy and Finance, Phnom Penh.

参考文献

Government of Thailand. 2014. *Strengthening the governance of climate change finance in Thailand*. Country Brief.

IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2015. *Statistics on Public Expenditures for Economic Development (SPEED)*. (<https://www.ifpri.org/>で入手可能).

Mery, G., Katila, P., Galloway, G., Alfaro, R.I., Kanninen, M., Lobovikov, M., & Varjo, J. 2010. Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change. *World Series* Volume 25. Vienna, IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).

Michaelowa A. & Michaelowa, K. 2011. Coding error or statistical embellishment? The political economy of reporting climate aid. *World Development*, 39 (11): 2010–2020.

Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T.B., Ringler, C., Msangi, S. & You L. 2010. *Food security, farming, and climate change to 2050*. Washington, DC, IFPRI.

Norman, M. & Nakhooda, S. 2014. *The State of REDD+ Finance*. Washington, DC, Center for Global Development.

ODI (Overseas Development Institute). 2015. Climate Funds Update dataset. (<http://www.climatefundsupdate.org/>で入手可能).

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015a. Credit Reporting System (CRS). (<https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=CRS1>で入手可能).

OECD. 2015b. *Toolkit to enhance access to adaptation finance: for developing countries that are vulnerable to adverse effects of climate change, including LIDCs, SIDS and African states*. Report to the G20 Climate Finance Study Group prepared by OECD in collaboration with GEF. Paris.

United Nations. 2013. *National Accounts Main Aggregates Database*. (<http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnList.asp>で入手可能).

UNDP (United Nations Development Programme). 2015. *Budgeting for climate change: how governments have used national budgets to articulate a response to climate change*. Bangkok.

World Bank. 2015. *Mainstreaming climate action within financial institutions: five voluntary principles*. (<http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/5Principles.pdf>で入手可能).

World Bank. 2016. *Making Climate Finance Work in Agriculture*. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*, Washington, D.C. (未刊).

付録統計資料

Abraha, M.G. & Savage, M.J. 2006. Potential impacts of climate change on grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 115(1–4): 150–160.

Alexandrov, V. & Hoogenboom, G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104(4): 315–327.

Arndt, C., Strzepeck, K., Tarp, F., Thurlow, J., Fant IV, C. & Wright, L. 2011. Adapting to climate change: an integrated biophysical and economic assessment for Mozambique. *African Regional Perspectives*, 6(1): 7–20.

Berg, A., Noblet-Ducoudre, M. de. Sultan, B., Languigne, M. & Guimberteau, M. 2013. Projections of climate change impacts on potential C4 crop productivity over tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 89–102.

Brassard, J.P. & Singh, B. 2007. Effects of climate change and CO₂ increase on potential agricultural production in Southern Québec, Canada. *Climate Research*, 34: 105–117.

Brassard, J.P. & Singh, B. 2008. Impacts of climate change and CO₂ increase on crop yields and adaptation options for Southern Quebec, Canada. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13: 241–265.

Butt, T.A., McCarl, B.A., Angerer, J., Dyke, P.T. & Stuth, J.W. 2005. The economic and food security implications of climate change in Mali. *Climatic Change*, 68(3): 355–378.

Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R.S.J. & Ringer, C. 2009. *Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa*. Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI) Discussion Paper No. 873. Washington, DC, IFPRI.

Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. & Chhetri, N. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291.

Chhetri, N., Easterling, W.E., Terando, A. & Mearns, L. 2010. Modeling path dependence in agricultural adaptation to climate variability and change. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4): 894–907.

Ciscar, J., Iglesias, A., Feyen, L., Szabo, L., Regemorter, D., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O., Dankers, R., Garrote, L., Goodess, C., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J. & Soria, A. 2011. Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 2678–2683.

Deryng, D., Sacks, W.J., Barford, C.C. & Ramankutty, N. 2011. Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. *Global Biogeochemical Cycles*, 25: GB2006.

FAO. 2016d. FAOSTAT. Online Statistical Database (2016年7月30日取得) (<http://faostat.fao.org/>で入手可能).

Giannakopoulos, C., Le Seger, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E. & Goodess, C. 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, 68: 209–224.

Hermans, C., Geijzenborffer, I., Ewert, F., Metzger, M., Vereijken, P., Woltjer, G. & Verhagen, A. 2010. Exploring the future of European crop production in a liberalized market, with specific consideration of climate change and the regional competitiveness. *Ecological Modelling*, 221: 2177–2187.

Iqbal, M.A., Eitzinger, J., Formayer, H., Hassan, A. & Heng, L.K. 2011. A simulation study for assessing yield optimization and potential for water reduction for summer-sown maize under different climate change scenarios. *Journal of Agricultural Science*, 149: 129–143.

Izaurrealde, R., Rosenberg, N.J., Brown, R.A. & Thomson, A.M. 2001. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 97–122.

Kim, C., Lee, S., Jeong, H., Jang, J., Kim, Y. & Lee, C. 2010. *Impacts of climate change on Korean agriculture and its counterstrategies*. Seoul, Korea Rural Economic Institute.

Lal, M. 2011. Implications of climate change in sustained agricultural productivity in South Asia. *Regional Environmental Change*, 11(Suppl. 1): S79–S94.

Li, X., Takahashi, T., Nobuhiro, S. & Kaiser, H.M. 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems*, 104(4): 348–353.

Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. & Naylor, R.L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*: 319: 607–610.

- Moriondo, M., Bindi, M., Kundzewicz, Z., Szwed, M., Chorynski, A., Matczak, P., Radziejewski, M., McEvoy, D. & Wreford, A.** 2010. Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climatic change and variability. *Mitigation and Adaptation in Strategies for Global Change*, 15: 657–679.
- Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K. & Fadar, M.** 2010. *Climate change impacts on agricultural yields*. Background note for the *World Development Report 2010. Development and climate change*. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Washington, DC, World Bank.
- Osborne, T.M., Rose, G. & Wheeler, T.** 2013. Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 183–194.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhainen, L. & Hakala, K.** 2011. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 149(1): 49–62.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T. & Fang, J.** 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467: 43–51.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Travasso, M.I.** 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, USA, Cambridge University Press.
- Ringler, C., Zhu, T., Cai, X., Koo, J. & Wang, D.** 2010. *Climate change impacts on food security in sub-Saharan Africa*. IFPRI Discussion Paper No. 01042. Washington, DC, IFPRI.
- Rowhani, P., Lobell, D., Lindermann, M. & Ramankutty, N.** 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agriculture and Forest Meteorology*, 151: 449–460.
- Schlenker, W. & Roberts, M.J.** 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37): 15594–15598.
- Shuang-He, S., Shen-Bin, Y., Yan-Xia, Z., Yin-Long, X., Xiao-Yan, Z., Zhu-Yu, W., Juan, L. & Wei-Wei, Z.** 2011. Simulating the rice yield change in the middle and lower reaches of the Yangtze River under SRES B2 scenario. *Acta Ecologica Sinica*, 31(1): 40–48.
- Southworth, J., Randolph, J.C., Habeck, M., Doering, O.C., Pfeifer, R.A., Rao, D.G. & Johnston, J.J.** 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82: 139–158.
- Tan, Z., Tieszen, L.L., Liu, S. & Tachie-Obeng, E.** 2010. Modeling to evaluate the response of savanna-derived cropland to warming-drying stress and nitrogen fertilizers. *Climatic Change*, 100: 703–715.
- Tao, F. & Zhang, Z.** 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy*, 33(3):103–116.
- Tao, F. & Zhang, Z.** 2011. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, 105: 409–432.
- Tao, F., Zhang, Z., Liu, J. & Yokozawa, M.** 2009. Modelling the impacts of weather and climate variability on crop productivity over a large area: a new super ensemble-based probabilistic projection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1266–1278.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, G. & Andresen, J. 2009. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Global Environmental Change*, 19: 54–65.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, G. & Andresen, J. & Herrero, M. 2010. Adapting to climate change: agricultural system and household impacts in East Africa. *Agricultural Systems*, 103: 73–82.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Ericksen, P.J. & Challinor, A.J. 2011. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4 °C+ world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369: 117–136.

Tingem, M. & Rivington, M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 153–168.

Walker, N.J. & Schulze, R.E. 2008. Climate change impacts on agro-ecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124: 114–124.

Wang, M., Li, Y., Ye, W., Bornman, J. & Yan, X. 2011. Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China. *Climate Research*, 46: 223–242.

Xiong, W., Lin, E., Ju, H. & Xu, Y. 2007. Climate change and critical thresholds in China's food security. *Climatic Change*, 81: 205–221.

Xiong, W., Conway, D., Lin, E. & Holman, I. 2009. Potential impacts of climate change and climate variability on China's rice yield and production. *Climate Research*, 40: 23–35.

世界食料農業白書（既刊）の特集記事

（1992年までは世界農業白書、1993～95年は世界食糧農業白書）

1957年以降、この白書の各号は、各年の世界食料農業情勢の概観のほか長期的に興味深い問題について1編以上の特集記事を掲載してきた。これまでに出了特集記事のテーマを以下にまとめた。

1957年	食糧消費のすう勢に影響を与える諸要因 農業に影響を与えた制度的要因の戦後における変化	1969年	農業マーケティング改善計画：最近の経験に基づく若干の教訓 林業開発を促進するための制度の近代化
1958年	サハラ以南アフリカにおける食糧事情 林産業の成長と世界の森林に対するその影響	1970年	国連の第2次開発10年の初頭における農業
1959年	経済発展段階の異なった各国における農業所得と生活水準 戦後の経験に照らしてみた低開発国の農業発展の一般的諸問題	1971年	水の汚染とそれが水産生物資源並びに漁業に及ぼす影響 ¹⁾
1960年	農業開発計画	1972年	開発のための教育と訓練 開発途上国における農業研究の推進
1961年	1961年土地改革および制度の変化 アフリカ、アジアおよびラテン・アメリカにおける農業普及、教育および試験研究	1973年	開発途上国における農業雇用開発 ²⁾
1962年	低開発経済の克服と林産物工業の役割 後進国の畜産業	1974年	人口、食糧供給及び農業開発 ³⁾
1963年	農業における生産性の増大に影響を及ぼす基本的要因 化学肥料の施用は農業開発の尖兵である	1975年	第2次国連開発10年の期央検討及び評価
1964年	白栄養—その必要性と展望 合成化学製品およびそれが農産物貿易に及ぼす影響	1976年	エネルギーと農業
1966年	農業と工業化 世界食糧経済における米	1977年	食糧農業の天然資源と人的環境情勢
1967年	開発途上国の農民に対する刺激要因と抑制要因 漁業資源の管理	1978年	開発途上国地域における問題と戦略
1968年	技術改善による開発途上国の農業生産性の上昇 貯蔵の改善とその世界食糧供給への寄与	1979年	林業と農村開発
		1980年	国家管轄権の新時代における海洋漁業
		1981年	開発途上国における農村の貧困の緩和の方策
		1982年	畜産—世界の展望
		1983年	農業開発における婦人
		1984年	都市化、農業及び食糧システム
		1985年	農業生産のエネルギー使用 食糧、農業における環境対策のすう勢 農産物流通と農業開発
		1986年	農業開発の財源
		1987-88年	開発途上国における農業科学・技術の優先順位の変化
		1989年	持続可能な開発と天然資源管理
		1990年	構造調整と農業
		1991年	農業政策と争点 ^{△)}

1992年	海面漁業と国連海洋法 [△]
1993年	水政策と農業 [△]
1994年	世界の森林・林業政策と課題 [△]
1995年	農産物貿易：新時代を迎えて ⁴⁾
1996年	食料安全保障：若干のマクロ経済的側面
1997年	農産加工業と経済発展
1998年	開発途上国における農村の農外所得 [△]
1999年	(FAO原本非刊行のため欠版)
2000年	世界の食料と農業；過去50年の教訓
2001年	国境を越えて移動する植物病虫害及び動物 疾病(越境病虫害等)の経済的影響
2002年	地球サミット10年後の農業と地球規模の公 共財
2003-04年	農業バイオテクノロジー：貧困者の必要を 満たすことができるか？
2005年	農産物貿易と貧困：貿易は貧困者を助けう るか？
2006年	食料援助は食料安全保障に役立っている か？
2007年	環境便益に対する農家への支払い
2008年	バイオ燃料の見通し、リスク、および機会
2009年	重要な局面に立つ世界の畜産
2010-11年	農業における女性：開発に向けたジェン ダーギャップの解消
2012年	より良い未来のための農業投資
2013年	栄養向上のための食料システム
2014年	家族農業における革新
2015年	社会保護と農業 — 農村貧困の悪循環を断 つ

(注)

△) 日本語版は別冊として発行。

1) 『世界の農林水産』(FAO協会) 1972年6、7月号に翻訳掲載。

2) 『世界の農林水産』1974年4月号に翻訳掲載。

3) 『世界食糧会議の全貌』(FAO協会、1975年) 第2編世界食糧情勢の評価とほとんど同内容につき省略。

4) 『世界の農林水産』1996年11、12月号、1997年1、2月号に翻訳掲載。

※上記はいずれもFAO寄託図書館にて閲覧可能。

世界食料農業白書 2016年報告
気候変動と農業、食料安全保障

平成29年3月25日発行

翻訳・発行：公益社団法人 国際農林業協働協会 (JAICAF)

〒107-0052 東京都港区赤坂8-10-39

赤坂KSAビル

TEL : 03-5772-7880

FAX : 03-5772-7680

URL : <http://www.jaicaf.or.jp>

印刷・製本：株式会社 誠文堂

ISBN 978-4-908563-24-9 print

ISBN 978-4-908563-25-6 PDF

2016

世界食料農業白書

気候変動と農業、食料安全保障

農業をより持続可能で生産的、かつレジリエントにするために直ちに行動を起こさなければ、気候変動による影響は、すでに深刻な食料不安を抱える国や地域の食料生産を著しく損なうおそれがある。2015年12月の「パリ協定」の採択は、手遅れになる前に気候を安定化させようという国際努力にとって、新たな出発点となる。協定は、気候変動への国際対応において、食料安全保障がカギを握るとする認識に立っている——多くの国々が、気候変動への適応・緩和に向けた計画のなかで、農業を重点分野に位置づけているのも、その表れだ。本報告書は、こうした計画を実行に移すのに役立つ、多様な戦略、資金調達機会、データや情報のニーズを洗い出す。さらに、パリ協定の実施を阻むさまざまな障壁の打開に向けた政策や制度の変革についても考察する。