

国際農林業協力



2016
国際マメ年

JAICAF

Japan Association for
International Collaboration of
Agriculture and Forestry

特集：国際マメ年2016—地球上の動植物に恵みを与える作物—

人類にとってかけがえのない食用マメ類の世界—その利用と栄養—

世界の現状：マメ科作物のゲノム解析とその利用

西アフリカのサヘル・半乾燥地帯に暮らす農民の生活に

マメ類がはたす役割

インド国マディヤ・プラデシュ州におけるダイズ栽培の課題

マメ—食料安全保障への貢献

Vol. 39 (2016)

No. 1

公益社団法人

国際農林業協働協会

巻頭言

「国際マメ年 2016」の意義と豆類関係者の取組について

飯田 道夫 …………… 1

特集：国際マメ年 2016—地球上の動植物に恵みを与える作物—

人類にとってかけがえのない食用マメ類の世界—その利用と栄養—

齋尾 恭子 …………… 2

世界の現状：マメ科作物のゲノム解析とその利用

内藤 健・坂井寛章 …………… 12

西アフリカのサヘル・半乾燥地帯に暮らす農民の生活にマメ類がはたす役割

村中 聡 …………… 20

インド国マディヤ・プラデシュ州におけるダイズ栽培の課題

有原 丈二 …………… 28

マメ—食料安全保障への貢献

渡邊 和真 …………… 37

JAICAF ニュース

掲載記事の投稿について…………… 44



「国際マメ年 2016」の意義と 豆類関係者の取組について

公益財団法人日本豆類協会参与
飯 田 道 夫

2016年は国連が定めた「国際マメ年：International Year of Pulses」です。地球温暖化、土壌劣化、途上国の貧困、栄養不足等世界的な食料問題に直面する中、各国関係者が連携して、国際マメ年の対象となる豆類（Pulses：乾燥マメの形態で利用されている豆類。油糧作物であるダイズ、ラッカセイ以外のマメ）に関して「持続可能な未来に向けて栄養あるマメを」のスローガンのもと、国際マメ年の実施に取り組むことは誠に意義深いものです。

わが国の豆類生産・流通加工販売・消費関係者は連携して、国際マメ年のPRと活動を行っていますので、概略を紹介します。

生産面では、マメ科作物は根粒菌との共生関係によりチッソ肥料を自ら作り出すので、環境と調和した持続可能な農業を実現する上で非常に重要な作物です。豆類主産地の北海道を中心に、農業者、農協、行政、試験研究機関等が連携して高品質な豆類の安定生産、品種開発、種子育成、畑作輪作体系での栽培技術の普及等を推進しています。

消費面では、豆類は炭水化物を多く含み、タンパク質、ビタミンB群、ミネラル類のほか食物繊維、ポリフェノール等機能性成分も含んでおり、生活習慣病や肥満防止など健康

づくりに効果のある食品です。しかし、豆類消費量は近年伸び悩んでいます。このため、（一社）全国豆類振興会が定めた10月13日の「豆の日」と10月の豆月間を中心に「小さな豆から大きな健康」をスローガンに、関係者が連携して、豆の健康への貢献、豆料理等の普及啓発に積極的に取り組んでいます。学校教育・給食への豆類普及も重要です。

世界各地で豆の種類や調理方法等に特徴のある豆食文化が形成されています。日本の伝統的豆料理はアズキとダイズがメインで、アズキ等の大部分は餡（アン）菓子に加工され、正月や彼岸など伝統行事と密接に結びついています。豆類の需要拡大のため、食品業界を中心に伝統的食品に加え、多種多様な食品開発や料理方法等の普及が進められています。

日本の豆類消費量の約半分は輸入しており、貿易促進は重要です。雑穀輸入協議会では、3月のFOODEX JAPAN等を通じて国際マメ年のPRと豆類の需要拡大に取り組んでいます。当協会は豆類業界や研究者とともに、豆類の貿易促進、開発協力の観点からアジア、北中南米等の豆類産地調査と情報交流を行っています。

国際マメ年を契機に、豆類の生産消費が増進し国際協力が一層進展するように、関係者一体となって取り組んでいきたいと思いません。

IIDA Michio : The Significance of the International Year of Pulses 2016 and the Action in Japan.



人類にとってかけがえのない食用マメ類の世界 —その利用と栄養—

齋 尾 恭 子

はじめに

マメ科植物は草木から木本まで約 680 属、2 万種あり、熱帯から北極圏、多雨から乾燥地域まで広く生育している。古代の農耕文明の時代から現在に至るまで、マメは雑穀、ムギ、コメ等禾本科作物の栽培と共存し、環境保全的、食品栄養的に相互補完の関係にある。食用に用いられる品種は、一部の例外を除き、マメ亜科中の数種に限定されるが、マメ科植物全体の資源的利用は飼料、緑肥、日陰樹、用材、鑑賞樹、繊維、染料、なめし剤、樹脂、油料、医薬、毒剤等々多岐にわたり、その利用も古代から現在に至るまで多くの人々の生活に密着している^{5)、10)}。本稿では主に食用マメ類に限定して、①世界における生産と利用の統計、②世界のマメの料理と加工および利用、③アフリカにおけるダイズ利用の拡大、④食用マメ類の一般的栄養価値、⑤食用マメ類の生理的機能性について述べる。

1. 世界における食用マメ類の生産と利用の統計

FAO の統計 (2013 年) によると、世界のインゲンマメ類の生産量は約 2300 万 t で、その他ヒヨコマメ 1300 万 t、エンドウ 1100 万 t、キマメ、ヒラマメが各々 500 万 t 弱、

その他のマメが 520 万 t ある。ダイズは上記マメ類の約 10 倍 (2 億 7600 万 t)、ラッカセイは殻つきでインゲンマメ類の約 2 倍 (4500 万 t) である。ダイズ、ラッカセイ以外のマメの生産は、アジア、北米、南米、中東、東ヨーロッパにおいて生産量が高く、中でもミャンマー、インド、ブラジル、中国、米国が高い。エンドウ類はヨーロッパ地域、ヒヨコマメ、ヒラマメはインド、カウピーおよびバンバラマメはアフリカ地域が高い。ラッカセイはアジア (中国、インド、ミャンマー) および米国以外はアフリカでの生産が目立っている。

ダイズは他の食用マメ類とは異なり、生産が商品化作物となっていて、大半が北米 (米国、カナダ) と南米 (ブラジル、アルゼンチン、パラグアイ) で生産され、アジアでは中国、インドがある程度の生産量を維持し、韓国、インドネシア、日本、ミャンマー、ナイジェリア、南アフリカ、ザンビアなどが 20 ~ 80 万 t の生産量を示す。ダイズにおいて、生産地と地域の消費量とは関係が薄くなっている。アメリカ大陸において生産されたダイズの大半はダイズ油、脱脂ダイズ (主に家畜飼料) に加工され、それら加工量はほぼ生産量に準ずる。しかし、食品として利用加工するのはアジアの国々が断然大きく、量としては中国、インドネシア、日本と続くが、1 人当たりの消費量では北朝鮮、中国、インドネ

SAIO Kyoko: Utilization and Nutrition of Food Beans, Being Inestimable for Human Being.

シア、韓国、日本となる。

2. 世界のマメの料理と加工および利用

食用マメ類を古くから多食する地域としては、アジア、インド、地中海地域から中東、アフリカ、中南米が挙げられ、生態系保存システムに加えて、農産加工システムを形成してきた。後者にあつては、地域独自の食文化に裏打ちされつつ、マメはデンプン質作物に不足する必須アミノ酸やタンパク質を補う重要な役割を担ってきた。その利用の形は現在においても色濃く伝統を留めながら、食品産業の発展に応じた変化を遂げている。昭和30年代に入って、脱脂ダイズ、ダイズ油の需要拡大に支えられた米国などにおいて、ダイズ栽培が急増したことに伴って、脱脂ダイズから食肉様組織を持つダイズタンパク食品が開発され、また、ソイインキなどの工業製品の開発も行われた。

1) 世界のマメ料理と加工品

マメの加工法としては、地中海地域からヨーロッパ全域、アメリカ大陸、やや例外はあるが中東、中南米、アフリカではマメを煮ることを主体とする。一方、アジア、インドでは、煮るなど単純な加工に加えて豆腐、湯葉、ダールなど複雑な加工や味噌、納豆、イドリなど発酵工程により製造する。

(1) 煮ることを主体とするマメ料理

古代メソポタミアの肥沃な三日月地帯に育まれたインダス文明は、古い農耕文化の歴史を持ち、多くの作物の栽培が人類により始められた。中でもコムギ発祥が著名であるものの、マメでもエンドウ、ソラマメ、レンズマメ、グラスマメなどが栽培され、それらマメの多くは長い歴史の中で煮やすいマメに改良されてきた。農耕文化はメソポタミアからヨ

ーロッパ、アフリカ、インド、アジアに拡大し、大航海時代以後には新大陸のアメリカに伝わり、また逆に新大陸原産のインゲンマメ、ライマメなどは旧大陸全域に広く食されるようになった。煮るのを主体とする地域でのマメ料理は、マメを油や肉と煮込んだもの、スープ、サラダ、肉・魚の添えものにするなどが主で、ヨーロッパや北アメリカでは、白インゲンマメおよびグリーンピース（生のエンドウ）が好まれる。トルコ、エジプトなどイスラム圏あるいは中南米やアフリカでは、煮るのに加えてマッシュする、ピュレにする料理も見られる。地域により一緒に食するデンプン質食材は変わり、地中海周辺から中東、アメリカではコムギなどムギ類が多く、また、ジャガイモの場合もある。中南米ではトウモロコシ、アフリカでは雑穀、ヤム、キャッサバなどが主体となる。

(2) アジア、インドなどの複雑な工程で製造される加工食品

① アジア圏のマメ加工

アジアでも中国、東アジア、東南アジアでは食用マメ類の中でダイズの消費が多く、アズキやリョクトウが続く。中国はダイズの原産地であり、主なダイズ高度加工食品の発祥地でもある。表1に示すように、現在の中国市場では多種類のダイズ加工食品が出回っている⁹⁾。これら食品の中の主要な発酵食品は豆醬どうじやん、豆鼓どうち、納豆である。豆鼓は煮たダイズにカビ（麹菌）を生やした豆黄の発酵度が高いものであり、納豆はカビではなく、バクテリアである枯草菌（納豆菌）を生やしたものである。中国ではこれ以外に腐乳ふるがあり、これは豆腐にカビを生やして培養、塩漬けたものである。類似の食品は東南アジアでも広く見られる。納豆は発祥の中国よりも周辺地域に

表1 中国の主なダイズ製品*

分類	主な製品
豆乳類	豆漿（豆乳）、豆奶、腐竹（湯葉）、粉豆乳、大豆ヨーグルト
豆腐類	豆腐腦、充填豆腐（絹ごし豆腐）、嫩豆腐、老豆腐（木綿豆腐）、豆腐製品〔豆腐乾（豆腐干）、豆腐皮、凍豆腐、虎皮豆腐（油揚げ）、豆腐乳〕
発酵大豆類	豆鼓、豆醬、納豆、醬油
油脂と蛋白	豆油製品、大豆蛋白製品
その他	毛豆角（枝豆）、煮豆、豆芽（もやし）、炒豆、炒豆粉（黄粉）

出典：李里特・李樹君⁹⁾の表の一部を筆者が改訂

注：*現在中国市場で出回っているダイズ製品を示している

伝播し、インド、シッキム地域やネパールのキネマ、タイのトウアナオ（ミャンマーやラオスにも類似食品）そして日本の納豆である。日本の味噌と醤油は豆醬の延長線上にあり、味噌は日本、韓国で消費が多く、醤油は現在アジア圏を逸脱して、米国やヨーロッパでも調味料として広く食される。インドネシアのジャワ島起源のテンペは、煮たダイズにリゾープス菌（クモノスカビ）を生やして培養した発酵食品であり、国民食（主にジャワ人）として伝統的に食される他、最近では菜食主義者食として世界に広がっている。古くは有毒のムクナのようなマメ科種子をも用いたというが、現在ではダイズに特化している。なおダイズおから、ラッカセイ脱脂粕などを原料とするオンチョムもある。

非発酵食品には枝豆、煮豆、もやし（豆芽）、黄粉（炒豆粉）、豆乳、豆腐、油揚げ類、湯葉（腐竹）、凍り豆腐（高野豆腐）、ハルサメと多様である。中国では豆腐の種類が多く、日本の木綿豆腐より硬い老豆腐、日本の絹豆腐より柔らかい豆腐腦の他、豆腐干、豆腐皮など加工度の高い製品が見られる。これらがさらに加工度を増して二次素材となった素炸肉、素焼、素肝、珈哩火腿などは見事な肉類似食

品である。これらは豆腐皮、豆腐干、湯葉などを重ねる、混ぜる、調味付けするなどして製造した食品で、後の米国で開発された組織化タンパク食品の発想は、既に長いダイズ加工の歴史を持つ中国にあった¹¹⁾。日本の豆餡（餡子）は、日本の和菓子製造の食材としてとくに洗練された製造法がとられる。すなわち、アズキ、インゲンマメなどデンプンの多いマメを、その種子中のデンプンを含む細胞を壊さないように煮熟し（餡粒子を残す）、粘りのない生餡を製造する。

② インド圏のマメ加工

インドやパキスタン、バングラデッシュなどでは伝統的に食用マメの消費が高い。ヒヨコマメ、キマメの生産は世界全体の65%強がインドで生産・消費され、その他ヒラマメ、リョクトウ、ブラックマッペなど多種類のマメが食される。最も基本的な食べ方は、乾燥マメの種皮を除き半割マメにしたダールである。ダールは貯蔵が効き、その後の加工もしやすい。ダールはそのまま煮てスープにする、マッシュ、粉にする、油で揚げるあるいはパン風な食品にも加工する。ブラックマッペはその粉とコメ粉を混合、発酵してイドリ、それを鍋で両面を焼いたドーサイなど食品に加

工される。リョクトウはダールにする一方、ハルサメのような線状加工品を作る。

③ ダイズタンパク食品などの開発

米国のダイズ製油産業は、家畜飼料としての脱脂ダイズの旺盛な需要に支えられて、1970年頃までには飛躍的に発展した。脱脂ダイズからの食品製造は、分離ダイズタンパクが出現する1957年以降である。やや遅れて高温高压下で連続押出成形して、簡便に脱脂ダイズから肉状組織食品を製造する技術が開発され、急激にダイズタンパク食品市場が伸展した。日本にそれら技術が導入されたのは1960年代後半である。1975年農政審議会の答申に基づき、(社団法人)植物性蛋白食品協会が発足、翌年その農林規格が設定された。日本における植物性タンパクとは、ダイズとコムギのタンパク質を指す。それら生産量は1968年には約1万tであったのが、1980年代には6万tを越えるまでになった。しかし、その後、コムギタンパク生産量が減少、2015年の植物性タンパクの国内生産量は4万4352t(ダイズ系3万6968t、コムギ系7384t)である。

図1にダイズタンパク食品の種類と主な用

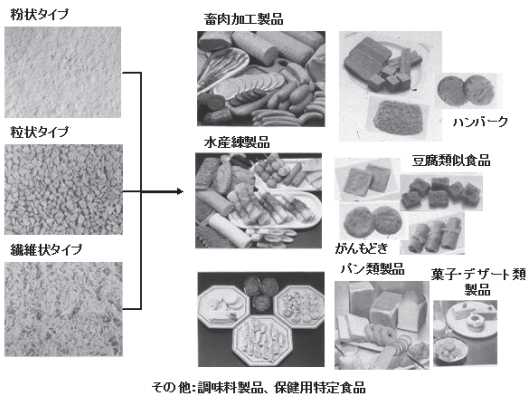


図1 植物性タンパク質（ダイズ）食品の種類と用途

途を示す。食品の種類は粉末状、粒状、繊維状に大別できる。粉末状食材の機能としては、乳化・抱脂性、結着性、保水性、組織形成性などがあり、これはソーセージ、ハムなど畜肉製品やかまぼこ、ちくわなど魚肉製品に少量添加することにより、脂がにじみ出るのを防ぎ、水分を保持して食品テクスチャーを向上するなどの利点がある。また、パンや菓子などデンプン質食品には栄養強化の意味合いもあり、また、プロテインパウダーや育児粉乳など栄養強化食品としても利用される。粒状、繊維状はハンバーグ、餃子、ミートボールなどの製造に少量添加することにより、噛みごたえを与えると同時に、上記抱脂性、保水性など機能によって、調理中の痩せや縮みを防ぐ。繊維状は現在出荷量が限られるが、粒状というより肉片に近い形状の製品が販売され、から揚げ用、煮こみ用などに利用される。これらダイズタンパク食品（植物性タンパク食品全般）は、肉や魚などのように、一般家庭調理品の販売は少なく、業務用として流通している¹⁶⁾。

工業的利用では、1985年頃からダイズ油からの印刷用インキ（ソイインキ）の研究開発が進み、現在ではコスト、品質面で石油系インキに匹敵する商品が製造される。ソイインキはカラーインキで色伸びがよく、揮発性有機化合物が少なく、生分解されやすい、紙のリサイクルがしやすい（リサイクル紙の白度が高い）など利点があり、米国はむろん、日本でも新聞や平板印刷に広く普及している。

ダイズタンパク食品を含む食品の消費は、豆乳、豆腐など伝統的食品との相乗効果で、ダイズをむしろ食さない米国、ブラジルなどにおいて伸びている。

3. アフリカにおけるダイズ利用の拡大

アフリカではマメ科樹木の種子から作る発酵調味料¹、ソラマメをピュレしたターメイヤ、ササゲから作るフリッターのアカラなど多くの伝統的マメの食品利用がある。しかし、ダイズはアフリカにとって新しい作物で、初期は製油用にエジプトなどで栽培されたが、従来のマメに比べて煮えにくく味の悪いダイズは人間の食品として利用されにくかった。

アフリカのダイズ生産量はFAOの2013年統計でアフリカ総生産量が224万6300tで世界総生産量の1割にも満たないが、10万tを越えるのが、マラウイ、ナイジェリア、南アフリカ、ウガンダ、ザンビアである。しかし、アフリカでの食品としてのダイズ生産が拡大したのはまだ新しい。このダイズ生産と消費の発端となった国際熱帯農業研究所(IITA)における豆腐製造技術の導入と普及の成果を簡単に述べる。

ナイジェリアはダイズの導入ではアフリカの中で先駆けたが、1980年代には生産量は7、8万t程度であった。それが1990年半ばには30万tに近づき、現在は60万tに達した。1990年代半ばの時期での急激な生産量の伸びには、IITAが豆腐や豆乳の製造技術を指導し、それがアフリカの女性農民の知恵と重なって、原料ダイズの高付加価値化に繋がり、生産を押し上げたと考える。ナイジェリアにおける豆腐製造をみると、最初凝固剤



写真 ナイジェリアカドナ州カヤ地区における説明講習会現場(中山修氏およびIITAメンバーにより指導・撮影、1997年12月)

などが手に入りにくい現場で、家畜乳の凝固に利用されているボンボンの樹²の樹液を用いたが、豆腐製造が女性の中に広がる間に雑穀を水につけた上澄みを用いるようになり(気温が高く自然発酵し酸性になる)、急激に消費が広がった。豆腐は油で揚げ、焼くなどして販売される。豆乳あるいはダイズ粉を水に溶いたものは病院や診療所で、積極的にタンパク欠乏症や栄養不良の児童の治療に利用されている。そしてこのダイズ食品の製造と利用の動きはアフリカの他の国にも拡大していった(写真)。

4. 食用マメ類の一般的栄養

主な食用マメ類の一般成分等を表2に示す。マメ類は食パンや精米に比較してタンパク質含量が高く、ダイズはとくに高い。食用マメ類の多くは脂質含量が低い、ラッカセイに次いでダイズは高い。

総じてカルシウム、ビタミンB1(B2)、食物繊維が高いので、栄養補給に加えて生活習慣病などの予防に役立つ。一部のマメ類の限定アミノ酸としてトリプトファンがあると

¹マメ科樹木である *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. の種子を発酵させた調味料。マリヤブルキナファソではスンバラ、ガーナ/ナイジェリアではダウダワ、ベナンではアフィチンと呼ばれる。

²*Calotropis procera* : アフリカ、西南アジア、インドネシア等広く分布する。別名 Apple of Sodom あるいは Giant Milkweed。

表2 マメ類の一般成分*—食パンと精白米との比較において—

マメ類などの種類 日本名 英名	水分	タンパク質	脂質	多価不飽和脂肪酸	コレステロール	炭水化物	食物繊維総量	灰分	Ca	B1	アミノ酸評価値*** 制限アミノ酸
	(g/100g) (mg)	(g)	(mg)	
インゲンマメ Beans (Phspp)	15.5	20.3	2.2	0.55	0	58.7	17.8	3.6	75	0.50	99 T
ソラマメ broad beans	13.3	13.3	26.0	2.00	0	55.9	9.3	2.8	100	0.50	73 T
エンドウ peas	13.4	21.7	2.3	0.68	0	60.4	17.4	2.2	65	0.72	77 T
ヒヨコマメ chick peas	10.4	20.0	5.2	2.04	0	61.5	16.3	2.9	100	0.37	
カウピー (ササゲ) cow peas**	15.5	23.9	2.0	0.73	0	55.0	18.4	3.6	75	0.50	100
レンテイル (レンズマメ) lentils	12.0	23.2	1.5	0.48	0	60.7	16.7	2.7	57	0.52	
ラッカセイ 乾燥、大粒種 groundnuts	6.0	25.4	47.5	13.74	0	18.8	7.4	2.3	50	0.85	58 L
ダイズ 国産、黄大豆 soybeans	12.4	33.8	19.7	10.39	Tr	29.5	17.9	4.7	180	0.71	100
パン (食パン) bread (loaf)	38.0	9.3	4.4	0.87	0	46.7	23.0	1.6	29	0.04	42 L
精白米、うるち milled rice	14.9	6.1	0.9	0.31	0	83.1	0.5	0.4	5	0.00	61 L

出典：表の成分値は7訂日本食品標準成分表(2015年版)より作成、アミノ酸評価値はFAO/WHO/UNU(1985)より算出

注：*日本市場において習得できる食品を記載しているため、必ずしも世界の中のマメ類成分を反映するものではない。**カウピーは日本のササゲの数値であるため特に留意。***限定アミノ酸でTはトリプトファン、Lはリジンを示す

いわれているものの、FAO/WHO/UNU 推奨値より算出したアミノ酸評価値は高く、食事構成中で重要な必須アミノ酸供給源となっていることが分かる。

1) 食用マメ類の生理的機能性

マメ類に含まれる成分と健康へのかかわりを大別すると以下ようになる。

①タンパク質：血中コレステロールの低下作

用、血圧上昇抑制、抗酸化作用

②脂質：善玉コレステロールの増加、脂質代謝の改善

③糖質：ビフィズス菌増殖作用、胃の粘膜保護

④食物繊維：整腸作用、大腸癌の予防

⑤ビタミン：成長促進、抗酸化作用

⑥カルシウム：骨粗鬆症の緩和

- ⑦イソフラボン：細胞の癌化・増殖抑制、骨粗鬆症の緩和、更年期障害の緩和
- ⑧カロチノイドなどポリフェノール類；抗酸化作用
- ⑨サポニン；活性酸素消去の促進

①、③、④、⑤、⑥、⑧、⑨については食用マメ類全般について認められる。ダイズ以外のマメ類については、人間に対する実験は少ないものの、マメ類は種実類、果実類、野菜類、赤ワインとともに、最も活性酸素吸収能力が高い食品に属する⁷⁾。レッドキドニー、ブラックキドニー、ウズラマメ、レンズマメ、ダイズ、インゲンマメ、アズキなどでとくに高い抗酸化作用が認められている。

健康へのかかわりについては、ダイズについて最も研究が進んでいて、疫学調査、介入試験の例が集積され、特定保健用食品に取り込まれている。ダイズと健康については、下記の研究が特出される。

- ①ダイズタンパク質のコレステロール低下作用
- ②ダイズタンパク質による肥満効果のある中性脂肪（トリグリセライド）の低下作用
- ③ダイズタンパク質による血中インスリン濃度低下による糖尿病予防効果
- ④ダイズタンパク質由来ペプチドの高血圧予防効果
- ⑤ダイズタンパク質の主要成分の1つ、 α -コングリシニンによる中性脂肪の低下作用
- ⑥ダイズイソフラボンによる骨粗鬆症予防効果など
- ⑦トリプシンインヒビターによる抗癌作用

以下、最も研究歴が長く、あるいは社会的に注目されているタンパク質のコレステロール低下作用、脂質および食物繊維とオリゴ糖の作用、イソフラボンの作用について、補足

詳述する。

2) ダイズタンパク質のコレステロール低下作用

報告の年次は古いですが、ダイズタンパク質の血中コレステロール低下作用についての研究総括としてよく引用される図2を示す。多数の人臨床試験結果として（高コレステロール症患者）、善玉（HDL）コレステロールはむしろ増加しながら、全コレステロール、悪玉（LDL）コレステロールが顕著に低下し、中性脂肪も低下している¹⁾。コレステロール代

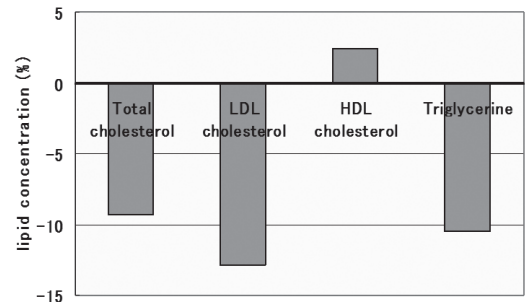


図2 ダイズタンパク質の血中コレステロール濃度に及ぼす影響

出典：Anderson JW, Johnstone BM and Cook-Newell ME¹⁾

注：米国において、38件730人の臨床試験の結果をまとめたもの

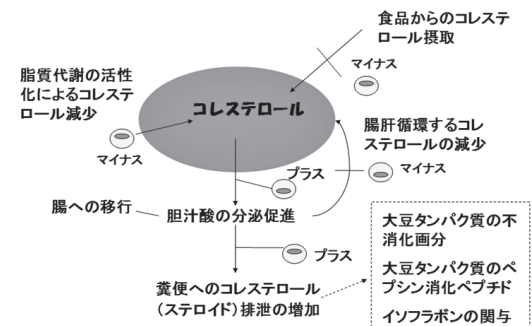


図3 肝臓におけるコレステロール代謝制御メカニズム

出典：菅原道廣¹²⁾の図を著者が改訂

謝は肝臓において行われ、その代謝制御メカニズムを図3に簡略に示す。同図において中央に描かれた楕円形は肝臓である。ダイズの摂取により脂質代謝を活性化し、またダイズのコレステロール含量がゼロなので、肝臓中のコレステロールは低下する。肝臓中のコレステロールは腸に移行し、胆汁酸と結合して糞便に排泄される。この代謝において、ダイズは胆汁酸の分泌を促進することにより排便されるコレステロール値が上がり、腸肝循環するコレステロールも低下する。コレステロールの低下作用には、ダイズタンパク質不消化画分の影響が強いという報告もある¹³⁾。一方、心筋梗塞や狭心症患者が必ずしも悪玉コレステロールが高くないという臨床結果から、悪玉コレステロールが活性化酸素により酸化された過酸化脂質が血管に沈着することにより心筋梗塞などを引き起こすという報告もある⁶⁾。マメ類全般の抗酸化機能はこの機作を抑制すると考える。

3) 栄養機能の高いダイズ脂質

ダイズ脂質は必須脂肪酸リノール酸を約50%、 α -リノレン酸を10%含む栄養機能の高い脂肪酸構成である。これら脂肪酸は血中コレステロール低下や中性脂肪の低下作用があり、冠動脈疾患を抑制する。また、ダイズのリン脂質（レシチン）は血清コレステロール作用や肝臓の脂肪代謝増進作用で中性脂肪の低下作用がある。しかし、リン脂質の介入試験では悪玉コレステロールの高い患者には顕著に現れるが、患者によっては変化の少ない場合もあるという。

4) ダイズの食物繊維およびオリゴ糖の作用

ダイズの食物繊維およびオリゴ糖については、食物繊維の摂取は腸の細菌叢が変化し、有機酸を生成、腸内を弱酸性にする。また、

蠕動運動を促して糞便の滞腸時間を短縮するので、発癌物質の生成を抑制する。水不溶性食物性繊維および高粘度の水溶性食物繊維は、腸内の余分な脂質やコレステロールを糞便として排出する。ダイズオリゴ糖（ラフィノース、スタキオース）は腸内ビフィズス菌の増殖を促進し、生じた有機酸は便秘改善に効果があるなど多くの機能性効果が認められている。ダイズオリゴ糖の摂取で、排便促進を調べた研究例は多い。

5) ダイズイソフラボンの作用

ダイズイソフラボンについては、この化合物が女性ホルモンと似た機能を有することから、日本食品安全委員会見解として、通常の食事以外に摂取する安全目安値を1日当たり30mg以下としている。ダイズ食品中のイソフラボン含量（アグリコンとして）は、種子胚軸中に含まれる割合が高いため、黄粉が最大で、長い発酵工程を持つ醤油では分解して認められない。豆腐で1丁当たり60～80mg、納豆の1パック当たり30～40mg程度である。ダイズイソフラボンの骨粗鬆症に対する効果については多くの研究報告があり、発癌性抑制効果の研究も多い。ここでは西欧の女性に比べて乳癌発症例の少ないアジア女性への研究例を図4に示す。

6) テンペの栄養効果

テンペについてその下痢への治療効果、血中コレステロール低下効果について、表3を示す。インドネシアは衛生状態が良いとはいえず、気温も高いので、テンペの存在が多くの人々の命を救っているという。また、テンペは高い抗酸化機能が認められている。

おわりに

食用マメ類は、人類が農耕を始めてから現

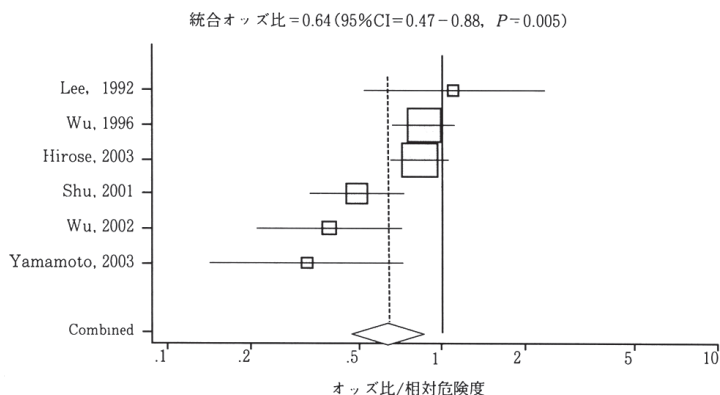


図4 ダイズ摂取と乳がん発症への影響

出典：Bruce J.Trock, Leena Hilakivi-Clark and Robert Clarke²⁾より厚生労働省（健康日本 21）が作図

注：この試験は6人の研究者による、閉経後の女性に対する介入試験結果をまとめたもの。オッズ比とは2つの集団の比較に用いられ、比1で比較した集団に差異がないことを示す。総合オッズ比が0.64ということは、大豆摂取によって乳がんになるリスクが35%減少という

在に至るまでの貴重な食材である。最近はその栄養性、生理機能性がとくに注目を集めている。しかし、筆者は食用マメ類の中のタンパク質、不飽和脂肪酸、ビタミン、ミネラルなどの栄養・生理機能性は一応安全と認めても、食物繊維、オリゴ糖、イソフラボン、サポニン、フィチン酸、トリプシンインヒビターなど(マメ類には時に有毒物質も含まれる)の生理機能性は両刃の剣の面があり、摂取者の健康状況を配慮する必要がある。また、サプリメントや特定食品として、習慣的に多量摂取することは必ずしも良いとは思えない。やはり日常の食品の中でバランス良く食することが、まめに生きる道であると考えて。

限られた紙面の中で食用マメ類という広範で、かつ、主要な課題のうち、主に川下の部分を総説することは大変難しく、総花的記述になったことを最後にお詫び申し上げます。

引用・参考文献

1) Anderson JW, Johnstone BM and Cook-

表3 下痢疾患に対するテンペの効果*

	治療食の種類			
	A 1	A 2	A 3	A 4
食事治療前				
年齢	12.51	12.88	12.28	12.3
体重	7.73	7.63	7.5	7.79
栄養状況	79.39	79.29	78.16	79.32
食事治療後				
下痢期間(日)	6.36	4.83	5.13	5.83
体重増加(%)	- 9.47	70.12	3.53	- 43.7
栄養状況(%)	- 0.11	0.76	0.001	- 0.44

A 1：テンペなしの処方食、A 2：テンペ入り処方食、A 3：テンペ粉末、A 4：一般家庭食
出典：ダルウイン・カルヤデイ、ウイジャジャル・キト³⁾

注：*ジャカルタにおける児童（12、13歳）を対象とした試験

Newell ME 1995, Meta-analysis of the effect soy protein intake on serum lipids, N Engl J Med, 276,333.

2) Bruce J.Trock, Leena Hilakivi-Clark and Robert Clarke 2006, J.Natl Cancer Inst

- 457,98.
- 3) ダルウイン, カルヤデイ・ウイジャジャル, キト 2001, テンペの持つ可能性, 自然と人間を結ぶ (特集 160), アジアの奇蹟大豆発酵食品 38, 農村文化協会.
 - 4) FAO 1993, 豆類の栄養と加工 (FAO 出版協定により建帛社出版) 渡邊篤二・大久保一良翻訳監修.
 - 5) デューク, ジェームス A.・星合和夫 1986, 世界有用マメ科植物ハンドブック, 雑豆輸入基金協会.
 - 6) 金澤武道 2000, 大豆タンパク質が動脈硬化を抑え、心臓病、脳卒中を予防する, 大豆の健康宣言 (大久保一良監修) 83 日本食品出版.
 - 7) 豆類協会 2016, 豆の主な機能性成分, <http://www.mame.or.jp/eiyou/kinou.html>
 - 8) 日本豆類基金協会, 豆類百科.
 - 9) 李里特・李樹君 2001, 中国が生んだ豊かな発酵食, 自然と人間を結ぶ (特集 160) アジアの奇蹟大豆発酵食品 23 農村文化協会.
 - 10) 齋尾恭子 2009, 資源作物としての豆, 豆類時報 20,56. (9)
 - 11) 齋尾恭子 1988, 中国大豆食品探訪記, 大豆月報 12,148, 大豆供給安定協会.
 - 12) 菅原道廣 1987, 分離大豆たん白質—その特異的コレステロール濃度低下作用, 大豆たん白質の栄養 47, 大豆たん白質栄養研究会.
 - 13) 菅原道廣 1987, 大豆たん白質人工消化物の効果, 大豆たん白質栄養研究会会誌 104,8, (財)不二たん白質研究振興財団.
 - 14) 高増雅子 2012-2014, 世界の食卓から見た豆 1-6 豆類時報 2012 12, 2013 3,6,9,12,2014 3.
 - 15) 渡邊篤二監修 2000, 豆の事典—その加工と利用, 幸書房.
 - 16) 渡邊篤二・齋尾恭子・橋詰和宗 1987, 大豆とその加工 I, 223 建帛社.
- (愛国学園短大特任教授 / 元 IITA 理事)



世界の現状：マメ科作物のゲノム解析とその利用

内藤 健*・坂井寛章**

はじめに

マメ科作物は、経済的および栄養学的に重要な作物群である。人類が摂取するタンパク質の33%はマメに依存しており、途上国でのそれは60%を優に超える。また、世界全体で消費される食用油の40%以上はダイズまたはラッカセイに由来している。したがって、三大栄養素である糖質・タンパク質・脂質のうち、糖質の供給源としてはイネ科作物が最大であるが、残り2つに関してはマメ科作物が最も重要な役割を果たしている。さらに、マメ科作物はチッソ固定細菌と共生するためチッソ肥料の要求量が少なく、持続的な低投入型の農業に適した作物でもある。自然界には1万7000種のマメ科植物が存在するとされているが、食用作物として主なものはインゲンマメ類、ササゲ類、ヒヨコマメ類、キマメ類であり、飼料用作物にはアルファルファやクローバーなどがある。また、ダイズやラッカセイは油糧作物として広大な面積で栽培されている。これらマメ科作物の栽培面積を合計すると2億haに達し、実に世界の農耕地の15%を占めている⁷⁾。

上記のような重要性から、マメ科作物の品種開発は世界中で取り組まれている。収量や

品質の向上はもちろんだが、近年では地球規模の気候変動に伴う干ばつや高温等のストレスに対して頑強な品種を育成することが重要視されている。世界の耕作地の8割以上が天水農地であり、作物が本来持っている潜在収量の5割から8割が乾燥ストレスのために奪われている。また、灌漑農地では土壌の塩類集積による塩害が避けたい問題であり、毎年1000万haの農地が塩害のために放棄されているという試算もある。ストレスに強い品種の開発は、これらの課題を解決する鍵を握っているといえるだろう。

ところで、迅速な品種開発の切り札になるのがゲノム解読だ。最近まで、生物のゲノム解読には10年以上の時間と数百億円の資金が必要であったが、次世代シーケンサーといわれる画期的なDNA解析装置が開発されてから状況は大きく変わった。ゲノム解読に掛かるコストは数千分の1にまで縮小し、期間も数年で足りるようになったのである。

次世代シーケンサーが登場してから、マメ科作物のゲノムも次々と解読された。2010年にダイズのゲノムが解読された¹⁰⁾ことを皮切りに、わずか5年の間にインゲンマメ⁹⁾、キマメ¹²⁾、ヒヨコマメ¹¹⁾、リョクトウ⁴⁾、アズキ⁸⁾、ラッカセイ¹⁾およびクローバー²⁾のゲノムが解読・公開されるに至った。これらゲノム情報を用いた品種開発は現在進行形で行われている。

NAITO Ken and SAKAI Hiroaki: Current Status of Genomics and Its Application in Legume Crops.

本稿ではまずゲノムおよびゲノム解読がもたらす品種開発の効率化について基本的な知識を概説し、続いてマメ科作物のゲノム解読の状況と応用の可能性について、幾つかの事例を紹介していきたい。

1. ゲノムとは何か

ゲノムとは生物の設計図である。ゲノムは“A”“T”“G”“C”の4種類のDNAが数百万～数十億塩基ほど一列に連なった繊維状の物質であるが、DNA配列が様々な情報を暗号化している。暗号化されているものの中で最も重要なものがタンパク質をコードした遺伝子であり、多くの生物はそのゲノム中に約3万個の遺伝子を持っている。タンパク質は20種類のアミノ酸が数十～数百つらなもので、その組成によって酵素などの現場の働き手として機能するものや、他のタンパク質の働きを制御する司令官や伝令としての機能を持つものなど、様々なものがある。これら3万種類のタンパク質が絶妙に組み合わせられて機能することにより、生物のあらゆる生命活動が成り立っている。このような事実から、タンパク質をコードしている「遺伝子(Gene)」という言葉に、「全て(-ome)」という言葉を組み合わせて成立した言葉がゲノム(Genome)なのである。

しかしながら、「ゲノム＝遺伝子の全て」という時代は、長くは続かなかった。ゲノム中のDNA配列には、各遺伝子のON/OFFや強/弱を決めるスイッチとなる配列も存在することが明らかとなったのである。遺伝子の中にはこれらスイッチの切換え役として機能するタンパク質をコードしているものがあり、この切換え役タンパク質がスイッチに結合することで、そのスイッチの制御下

にある遺伝子のON/OFFや強/弱が決定される。すなわち、ゲノムは全ての遺伝子をコードしているだけでなく、「いつ」、「どこで」、「どの遺伝子が」、「どれくらい」働けばよいかという時空間的・量的な情報まで含めてコードしているのである。ゲノムは文字通りの意味で生物の設計図なのだ。

2. ゲノム育種：ゲノム情報を応用した品種開発

ゲノムが生物の設計図であるならば、ゲノム配列の違いが生物の色や形や行動や能力の違いを決定していることになる。よくヒトとチンパンジーの設計図は99%一致しているといわれるが、残り1%の異なる部分が、ヒトをヒトらしく、チンパンジーをチンパンジーらしくあらしめている原因なのだ。同じサイズであっても、黒大豆と白大豆とでは、ゲノム上の種皮の色を決定する遺伝子か、そのスイッチの部分に必ず違いがあるわけだ。

したがって、あらかじめゲノムが分かれば、その違いを特定し、品種開発に活かすことが可能となる。たとえば、収量が多いが特定の病害に弱い品種Aと、病害には強いが、収量は残念な品種Bがあったとする。当然、AとBの良い所を組み合わせれば、高収量で病害にも強い品種を育成できる。従来の品種開発では、AとBを交雑してできた多数の子孫系統を栽培し、収量および耐病性について実際に観察しながら選抜を繰り返さなければならない。広大な圃場を使い、しかも栽培は1年に1度しか行えないため、7～10年にわたって多大な労力が必要となっていた。しかし、ゲノムが解読されていれば、栽培前の種子を削ってDNAを調べ、収量を決定する箇所を品種Aから受け継ぎ、耐病

性を決定する箇所だけは品種 B から受け継いだ種子を選抜するだけで容易に選抜できる。ゲノムから形質が予測できるからだ。もちろん、選抜した種子を実際に圃場に蒔いて植物体を栽培してみることは必要だが、それでも 3~4 年あれば新たな品種を育成することができるのである。これをゲノム育種といい、イネでは既に一般化しつつある¹³⁾。

3. 次世代シーケンサー：マメ科作物のゲノム解読

10 年前には、ゲノム解読は国家的なプロジェクトだった。ヒトゲノム計画では 15 年にわたって 30 億ドルが、イネゲノムの解読には、14 年・500 億円が投じられた。携わった研究者も数百人を数える。

しかし、次世代シーケンサーの登場によって、状況は一変した。次世代シーケンサーには、シーケンシング反応を μm 単位の微小スケールで行うことを実現した画期的な技術が用いられている。1 回のシーケンシング反応で読み出せる DNA 配列の長さは決して長くはないが、次世代シーケンサーはこの反応を数万から数千万回、並行して行うのである。これによりゲノム解読に要するコストは数千分の 1 に、時間と人員も 10 分の 1 以下に削減することができるようになった。つい最近報告されたアズキゲノムの解読では、投じられた予算・期間および人員はそれぞれ約 2000 万円・3 年間・14 名である⁸⁾。

この次世代シーケンサーの登場により、マメ科作物でゲノム育種を行う基盤が整いつつある。マメ科作物として最初にゲノムが解読されたダイズにおいては、次世代シーケンサーは一部に用いられたただだったが、それ以降は主に次世代シーケンサーによってゲノム

が解読された。その勢いは目覚ましく、2012 年にはインゲンマメおよびヒヨコマメのゲノムが解読され、2013 年にはキマメ、2014 年にはリョクトウおよび赤クローバー、2015 年にはアズキ、そして 2016 年にラッカセイのゲノムが解読されるに至った。他にも、ソラマメ、エンドウ、ササゲ、バンバラマメなどのゲノム解読が進行中である。今後は多数の品種群や近縁野生種なども個別にゲノムが解読・共有され、品種開発がますます効率化することが期待される。

4. ダイズのゲノム育種

ダイズは世界的に最も重要なマメ科作物であり、国際市場での取引総額も油糧作物の中で最も高い。ダイズ油は天ぷら油やサラダ油に適しているだけでなく、マヨネーズやマーガリン、さらには石鹸や化粧品などの原料にもなる。したがってその需要は高まる一方であり、最近の 20 年間でダイズの生産量は何と 3 倍に増大している⁶⁾。

したがって、世界的なダイズの育種目標としては、多収性が最も重要である。とくに、近年ダイズの大生産地帯となった米国および南米においては、ほとんどのダイズが天水に依存して栽培されているため、耐乾性の向上によって干ばつ発生時の被害を軽減することが求められている。また、脂質含有率の高い品種を育成すれば搾油の効率を高められるほか、目的や用途に応じてオレイン酸やリノレン酸など特定の脂肪酸を多く含む系統も積極的に選抜されている。

ゲノム育種を行う場合、上記のような形質を支配する遺伝子が、ゲノム上のどこに存在するかが明らかになっていなければならない。そのためには、形質の異なる品種や系統

を交雑して集団を展開し、子孫系統がどちらの形質を受け継いだか、またゲノムのどの領域をどちらの親から受け継いだかを調査することが必要になる。このステップを完了することで初めて効率的なゲノム育種が実施可能となる、というのがこれまでの常識であった。

しかし、ゲノム解読技術の発展が、その常識を覆しつつある。2015年のことだが、中国を中心とした研究チームが、世界各国から集められたダイズの近代品種、在来品種、さらには祖先野生種まで含めた302系統ものダイズの全ゲノムを解読してしまったのだ¹⁴⁾。これら302系統のゲノム配列と、収量や脂質含有量など重要な農業形質との相関について統計的な解析が行われた結果、それぞれの形質に関わる何百もの遺伝子座が明らかとなった。今後、これらの遺伝子を集積した系統を育成することで、更なる多収性や脂質含有量の向上が期待される。

さらに、野生ダイズや在来品種のゲノムと近代品種のゲノムとを比較することにより、近代品種では野生ダイズや在来品種が持っていた遺伝子が多数失われていることも明らかとなった。これらの遺伝子には病虫害や環境ストレスに強い遺伝子が多いと考えられており、ダイズ生産の安定化を目指す上で、在来品種や野生ダイズが交雑親として注目される可能性は高い。

世界的にはダイズは典型的な油糧作物である一方、日本のダイズは食用の栽培がほとんどを占める。育種目標も海外とは全く異なっており、煮豆用の大粒品種や豆腐用の高タンパク品種など、多収性よりは品質に関わる形質が重視される傾向にある。

日本においてもダイズのゲノム育種のための基盤整備地が独自に進められており、800

を超える品種・系統の全ゲノム情報の解明が進められている。近い将来、有用な形質を支配する遺伝子座が、次々と明らかになると期待される。

今後は、益々多くのダイズ品種・系統のゲノム解読と形質調査が進められ、理想的な品種の育成には、どの系統のどの遺伝子を組み合わせればよいかは予め分かるようになるかもしれない。

5. ラッカセイ

ラッカセイはアブラヤシ、ダイズ、ナタネ、ヒマワりに次ぐ油糧作物であり、またダイズに次いで生産量の多いマメ科作物である。世界の総生産量の内90%はアジア、アフリカ地域が占め、アフリカではダイズよりも生産量が多い¹⁾。ラッカセイは粒の大きさによって小粒種と大粒種に大別され、小粒種は主に搾油や菓子・調理用食品の材料に利用される一方、大粒種は煎り豆やバターピーナッツなど実の原型を留めたまま食されることが多い。日本で一般に栽培されているのはほとんどが大粒種である。

ラッカセイの種子には、タンパク質や炭水化物の他、オレイン酸やリノール酸、ビタミンE、B群、ポリフェノールが多く含まれ、その栄養価の高さから、1996年にピーナツペーストをベースにした重度栄養失調治療食品「Plumpy nut」が開発され、発展途上国で栄養不足に苦しむ子供の健康改善に効果を挙げている³⁾。一方、ラッカセイは重度の食物アレルギーを引き起こす食品でもあり、先進国の子供の1~3%にアレルギーが認められる。

ラッカセイの育種において最も重要なポイントは収量・品質の向上、そしてストレス耐

性の付与である。品質の向上においては脂質の量・質が重要な形質であるが、ラッカセイは用途の幅が広く、目的によって望まれる形質が異なる。たとえば中国やインドでは搾油が主な用途であるため、脂質含有量の高い品種が利用に適しているが、欧米では製菓に利用されるため、脂質含有量の低い品種が好まれる。しかし、共通して脂質の品質向上は重要であり、とくにオレイン酸含有量の高い品種の開発が望まれている。無論、アレルギーを引き起こさない品種の育成も重要である。

ラッカセイは90%が熱帯および半乾燥地帯で栽培されているため、高温・乾燥ストレスが大きな問題となる。とくに栽培後期のストレスは、収量だけでなく品質の低下を引き起こす。また、主要な病害に黒渋病、褐斑病、さび病などがあり、同時に複数の病害が発生して70%も減収することがある。他にウイルス病やネコブセンチュウも重要な病害となっている。

しかし、ラッカセイは4倍体でゲノムサイズも巨大であるため、その解読は困難であった。そこで、国際コンソーシアムは祖先種である *Arachis duranensis* と *A. ipaensis* の2倍体ゲノムを解読した¹⁾。これにより、いくつかの病害に対する抵抗性因子が座上すると思われるゲノム領域に、NB-LRR型のタンパク質をコードする遺伝子が多く存在することが明らかになり、新規病害抵抗性遺伝子の同定が期待されている。解読されたゲノム情報の他、連鎖地図やDNAマーカー、QTLなどの情報がデータベースで公開されている。また、遺伝資源の検索や形質評価の情報を閲覧することも可能であり、こうした情報を活用することにより今後ゲノム育種が加速していくことが期待される。

6. ヒヨコマメのゲノム育種

ヒヨコマメは、トルコ原産のマメ科作物であるが、古代エジプトや古代ローマで盛んに栽培され、主要な食物の1つであった。現在の最大の生産国はインドであり、ダールとして消費されることが多い。中東ではペースト状にしてフムスやタヒーナの原料となるほか、東南アジアでは豆腐の原料として用いられる。

作付面積がサイズに次いで広いマメ科作物である。乾燥した気候を好むため、西インド～中東、アフリカのサブサハラなどの乾燥～半乾燥地帯で栽培されることが多い。しかしながら、やはり最大の収量制限要因もまた乾燥ストレスであり、乾燥のために潜在収量の50%が奪われているといわれている。

したがって、近年では多数のヒヨコマメ品種を用いて耐乾性に関与する様々な形質について評価・選抜が行われるようになった。耐乾性に寄与する最も重要な形質は根の深さや密度であるといわれている。しかし、土中の根を掘り起こして評価するのは多大な労力を要するため、多数の系統を評価することは現実的には不可能であった。しかし、最近になって日本人研究者が開発した簡易評価法が普及した結果、根の形態についても評価が進められることとなった⁵⁾。

さらに、2012年にはヒヨコマメのドラフトゲノムが解読され¹¹⁾、その後断続的に品種や系統のゲノム情報が取得・公開されている。したがって、ヒヨコマメについてもサイズと同様、交雑を経ることなく耐乾性に関わる遺伝子座を同定することが可能となった。

温暖化の影響によって途上国の農業生産が益々不安定化しつつある中で、これらの国々の主要作物であるヒヨコマメの耐乾性向上は

緊急の課題であるといえる。ゲノム解読と耐乾性評価の両方が実現した現在、ヒヨコマメの耐乾性育種が迅速に進められることを期待したい。

7. インゲンマメ

インゲンマメは中南米で栽培化され、アメリカ大陸では現在でも最も重要な食用マメ科作物である。ヨーロッパへはコロンブスが持ち帰り、フランスでは熱心に利用された。とくに若いインゲンを莢ごと調理したもの（アリコ・ヴェル：haricots verts）が好まれ、そのための専用の品種まで作られたほどだ。その後ヨーロッパから中国へと伝えられたが、中国では若莢での利用がほとんどを占める。さらに17世紀には日本に伝えられたが、明から帰化した隠元和尚によって持ち込まれたことからインゲンマメの名が付いたといわれる（異説もある）。アフリカでも栽培されることが多く、サブサハラ周辺の数々の国々では約2億人のタンパク質供給源となっている。

インゲンマメは非常に多様性の高い作物であり、種皮の色やマメの大きさなどに幅広い変異がある。日本で栽培される金時豆、うずら豆、虎豆、手芒豆および大福豆なども全てインゲンマメである。また、高タンパク・低脂肪で全ての必須アミノ酸を含んでいるため、健康食品としての注目度も高い。育種においては、病害や乾燥への耐性のほか、タンパク質やミネラルなどの成分をより多く含んだ栄養性の高いものが求められている。

インゲンマメのゲノムも、2014年にアメリカを中心とした研究チームが解読を達成した⁹⁾。近年解読された植物ゲノムには精度の低いものが多いが、インゲンマメゲノムの完成度は高い水準にある。現時点ではまだゲノ

ム情報を活用した育種による成果は現れていないが、近い将来必ずゲノム育種がインゲンマメ育種において中心的な役割を果たすと考えられる。

8. アズキ

アズキは日本および韓国においては主要なマメ科作物であり、栽培地域は中国～ネパール・ブータンにまで広がっている。日本人にとってはとくに馴染み深い作物であり、その起源は縄文時代にまで遡るといわれる。国内では多くの遺跡から古いアズキ種子が出土しており、中には6000年前の遺跡とされるものまであり、これは中国・韓国の遺跡から出土しているアズキよりも古い。つまりイネやダイズなどの作物が大陸から日本に伝来したのに対して、アズキは日本人が栽培化した数少ない作物である可能性がある。国内に流通しているアズキにも国産のものが多く、7割以上を占めている。主な生産地は北海道であり、国内生産量の8割近くを占めている。

生産地や品種によって粒の大きさ、餡の色、香りなどが異なっており、それぞれの特徴にこだわっている和菓子職人も多い。したがって、アズキの育種目標の中にもこれらの形質が含まれることは多い。また、生産者側の需要としては耐冷性、耐病性、機械収穫適性などが求められているため、北海道の十勝農業試験場などでは盛んに交雑育種が行われている。

そして昨年、ついにアズキのゲノムもほぼ完全に解読され、品種開発が大幅に効率化すると期待されている。解読にはPacific Bioscience社が開発した最新型のDNAシーケンサーを使い、これまでに解読されたマメ科植物ゲノムの中でも、最も高い完成度が実現されている⁸⁾。

染色体の構造や遺伝子の座乗位置なども正確に分かるため、今後のアズキ育種に大きく貢献すると思われる。最近ではアズキが持つ大粒化遺伝子も明らかになりつつあり、これを利用してサイズよりも大きなアズキを育成する計画もある。今後はゲノム情報が活用され、餡子好きの人々を幸せにするような新品種が次々と開発されることを期待したい。

おわりに

以上が、マメ科作物のゲノム解析とその応用についての現状である。人類にタンパク質と脂質を供給し、しかも痩せた土壌でも栽培できるマメ科作物は、今後の人類の食料供給において重要な役割を果たすと考えられる。これらマメ科作物の品種改良を進める上で、やはり次世代シーケンサーの登場はまさに革命的な進歩であったといえる。今後の益々のゲノム解析の発展と、それによる新品種の開発が進められることを期待したい。

引用・参考文献

- 1) Bertoli, D.J. et al. 2016, The genome sequences of *Arachis duranensis* and *Arachis ipaensis*, the diploid ancestors of cultivated peanut. *Nature Genetics* 48 :438-446.
- 2) De Vega, J.J. et al. 2015, Red clover (*Trifolium pratense* L.) draft genome provides a platform for trait improvement. *Scientific Reports* 5 :17394.
- 3) Diop el, H.I, N.I. Dossou, M.M. Ndour, A. Briend and S. Wade 2003, Comparison of the efficacy of a solid ready-to-use food and a liquid, mild-based diet for the rehabilitation of severely malnourished children: a randomized trial. *American Journal of Nutrition* 78 :302-307.
- 4) Kang, Y.J. et al. 2014, Genome sequence of mungbean and insights into evolution within *Vigna* species. *Nature Communications* 5 :5443.
- 5) Kashiwagi, J, L. Krishnamurthy, J.H. Crouch and R. Serraj. (2006) Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. *Field Crops Research*, 95 :171-181.
- 6) 喜多村啓介 2010, 大豆のすべて, サイエンスフォーラム, 538p.
- 7) O' Rourke, J.A. et al. 2014, Legume genomics: understanding biology through DNA and RNA sequencing. *Annals of Botany* 113 :1107-1120.
- 8) Sakai, H. et al. 2015, The power of single molecule real-time sequencing technology in the de novo assembly of a eukaryotic genome. *Scientific Reports* 5 :16780
- 9) Schmutz, J. et al. 2014, A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nature Genetics* 46 :707-713.
- 10) Schmutz, J. et al. 2010, Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature* 463 :178-183.
- 11) Varshney, R.K. et al. 2013, Draft genome sequence of chickpea (*Cicer arietinum*) provides a resource for trait improvement. *Nature Biotechnology* 31 :240-246.
- 12) Varshney, R.K. et al. 2012, Draft genome sequence of pigeonpea (*Cajanus cajan*), an

- orphan legume crop of resource-poor farmers. *Nature Biotechnology* 30 :83-89.
- 13) 山本敏央, 矢野昌裕 2007, 遺伝子情報にもとづくゲノム育種への展開 *Kagaku* 77(6) :607-613.
- 14) Zhou, Z. et al. 2015, Resequencing 302 wild and cultivated accessions identified genes related to domestication and improvement in soybean. *Nature Biotechnology* 33 :404-414.
- (* 国立研究開発法人農業環境技術研究所 遺伝資源センター、** 同機構 高度解析センター)



西アフリカのサヘル・半乾燥地帯に暮らす 農民の生活にマメ類がはたす役割

村 中 聡

はじめに

アフリカ大陸の西側、南北はギニア湾からサハラ砂漠、西は大西洋岸のセネガルとモーリタニアから、東はニジェールとナイジェリアまでの15カ国を含む地域が西アフリカと呼ばれます。この地域の気候帯は広く層状に分布しており、赤道付近からサハラ砂漠へと北上するにつれ年間降水量が少なくなり、それに応じて農業生態系も変化していきます(図1)。このうち、サヘル・半乾燥地帯は年間の降水量が300～800mm程度の地域をいい、この地域の農業は、短くて安定しない雨

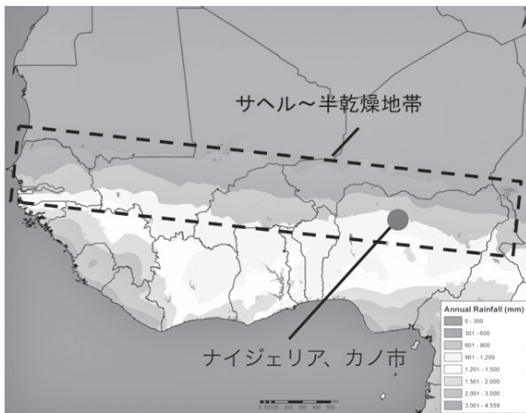


図1 西アフリカの年間降水量の分布
出典：IITAの降水量のマップを基に作成

期によって特徴づけられます。

この地域の気候と農業の関係について、ナイジェリア北部カノ市(Kano)を例に見てみましょう。雨が降り始める時期は年によって異なりますが、だいたい5月上旬頃から(図2上)。この雨が定期的に降るようになる5月中下旬頃がこの地域の雨期の始まりとなります。雨期が始まると、日中40℃を超えることも珍しくなかった気温がぐっと下がり始め、農民たちは作物の植え付けに追われるようになります。しかし、この地域の雨期はそれほど長くは続きません。9月に入ると降雨

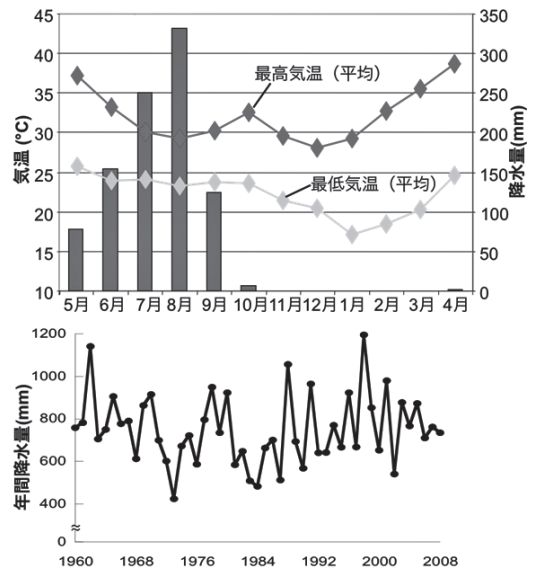


図2 西アフリカ半乾燥地の気候の例(ナイジェリア、カノ市、図上)と同地点での1960～2008年の年間降水量の変動(図下)

MURANAKA Satoru: The Roles of Grain Legumes for Famers' Livelihoods in Sahel and Semi-arid Region of West Africa.

の頻度が徐々に減っていき、10月中旬頃から半年以上にわたって雨が一滴も降らない長い乾期が始まります。このカノ市の平均年間降水量は約800mm、半乾燥地帯に分類されます。そしてさらにここからサヘルへと北上すると雨期の期間はどんどん短くなり、それに伴って年間降水量が少なくなっていきます。

このような3、4カ月の短い期間に降る雨に頼って、多くの農民は1年分の食料を生産します。それだけでもなかなか厳しい条件ですが、さらにこの雨期は年によって不安定で、いつ雨期が始まり、どのくらい続くかを予測することが非常に難しいのも特徴です。同じカノ市の1960年から2008年までの年間降水量を見てみると、1200mm以上の雨が降る年もあれば、その3分の1(400mm)程度しか降らない年もあり、その不安定さがよくわかります(図2下)。こう聞くと、この地域で農業を行うなんて無理のようにも感じますが、このような厳しい環境の下、農民は様々な工夫を重ね、主食である穀類の栽培にマメ類を上手に組み合わせた農業を営んでいます。

この西アフリカのサヘル・半乾燥地帯で栽培される主なマメ類は、ササゲ、ラッカセイ、バンバラマメ、ダイズといったところでしょうか。このうちダイズは近年になってアフリカに導入されたマメ類で、乾燥や低肥沃土壌に弱いため、比較的降水量の多い地域でのみ栽培されることが多いようです。これらのマメ類はこの地域の人たちの食生活と強く結びつき、食料、換金作物、そして家畜の飼料として重要な役割を担っています。また、地域の栽培環境に応じ、それぞれのマメ類の持つ特徴を上手に利用して、多様な形で栽培が行われています。各マメ類について興味深い話はたくさんありますが、それらを網羅して紹

介するには少しスペースが足りないようです。そこで今回は、筆者が西アフリカで10年以上にわたって研究してきたササゲを例にあげて、この地域で栽培されるマメ類が果たす役割について話をしたいと思います。

1. 食料としてのササゲ

ササゲは日本でも古くから利用されているマメ科作物ですが、その起源が遠くアフリカにあることはあまり知られていないように思います。実際の起源地については中央アフリカやエチオピア等の説がありますが、その遺伝的変異は西アフリカで大きく、飼料用として栽培されていたものが子実を食されるようになったと考えられています⁶⁾。このアフリカで栽培されていたササゲがインド、東南アジアを経由して9世紀頃に日本に導入され、平安時代には日本でササゲ(大角豆)が栽培されていたことが書物に記されています。

東南アジア、南米、アメリカ南部等世界中の広い地域で栽培されているササゲですが、その世界総生産の90%以上がアフリカで行われています(図3)。ササゲはこの地域で最も重要なマメ類とされており、西アフリカ

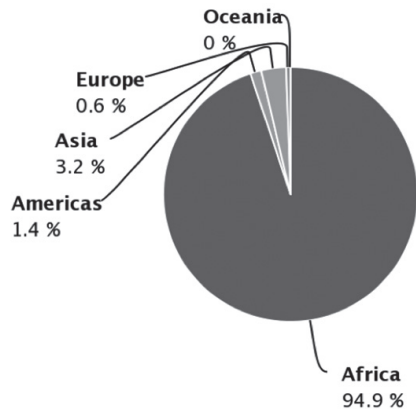


図3 世界のササゲ生産(1998-2013年平均)
出典: FAOSTAT



写真1 様々な方法で調理されたササゲ

のナイジェリア北部やニジェール東部で主に使われているハウサ語では、ササゲを「マメ」を意味する「Wake (ワケ)」と呼ぶことから、その重要性が伺われます。

マメ類一般にいえることですが、ササゲの子実には高い(15～28%)タンパク質が含まれ⁴⁾、とくに肉や魚等の高価な動物性タンパク質に手が届かない貧困層にとっては、安価で保存がきくタンパク質供給源として欠かせません。また、穀類に不足しがちなアミノ酸を供給するほか、ビタミン、ミネラル、食物繊維を多く含み、主食だけでは不足傾向にある栄養成分を摂取することができる優れた食品です。その栄養価の高さに着目したブルキナファソ等では、国が学校給食へのササゲ利用を支援しているのに加え、農村部の小学校では子供たちの学校活動の一部としてササゲの栽培を行い、それを学校給食に利用する

¹いずれもナイジェリア北部での呼び名、地域によって異なる名前がある。

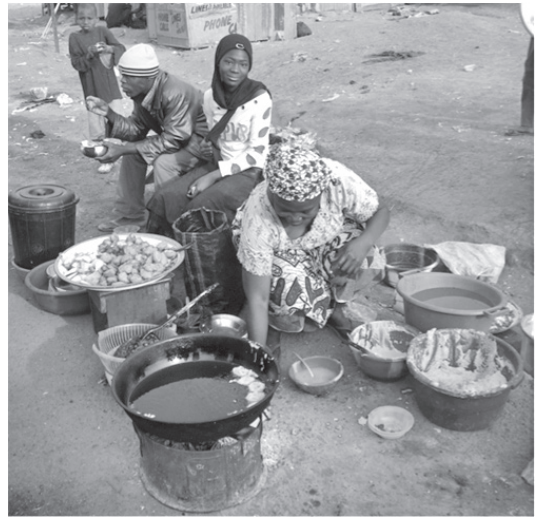


写真2 道端で調理・販売されるアカラ
(ナイジェリア・ザリア市内にて撮影)

という試みも行われています。

ササゲは煮豆として利用されることはもちろんですが、様々な方法で調理され、頻繁に人々の食卓にのぼります(写真1)。西アフリカでの栽培の歴史の浅いダイズが、食品としては豆腐やそれを揚げるピリ辛の厚揚げの様な食品(ナイジェリアではアワラと呼ばれます)か、豆乳としてしか利用されていないの比べると、ササゲがこの地域で利用されてきた長い歴史を感じます。また、ササゲの葉や若い莢は、主食にかけて食べるソースの材料とする等、野菜としても利用されます。どの料理も美味しいのですが、とくにササゲの子実を水挽きしたものを揚げて作るアカラ¹や、蒸して作るモイモイ¹は、家庭でも作られますが、道端で調理したものを販売する光景があちこちでみられ、人々の定番の朝食となっています(写真2)。

また、この地域の農民にとっては、この作物は単なる食料以上の重要性を持っています。意外かもしれませんが、農民にとって最

も食料不足が深刻になるのは雨期の真っ最中、畑に青々と作物が育っている時期です。この時期を Hungry period（空腹の期間）と呼びますが、これは貯蔵してある昨年の収穫物が、雨期の始まりとともに畑に播く種として利用された後、次の収穫ができるまでの時期にあたります。とくに干ばつ等の影響で前年の収穫が少なかった年は、畑に生育する穀類が収穫できるまで農家は残り少ない備蓄食料で食いつなぐ必要があります。ササゲは農民にとって、このような苦しい時期に葉や若莢が得られ、早生品種の場合は子実を食料として利用することができる、Hungry period を乗り越えるために欠かせない作物なのです²⁾。

一方、西アフリカのいくつかの地域の農民からは、かつてササゲは Poor man's crop（貧しい人の作物）として扱われ、ササゲを人前で食べることが恥ずかしいとされていたという話を聞くことができます。現在では、その栄養価や商品価値の高さが広く認識され、このようなことは無いそうですが、ササゲが農民の厳しい生活と深く関わっていることが、このような農民の態度に現れていたのかもしれない。

2. 換金作物としてのササゲ

現金収入の選択肢が少ないサヘル・半乾燥地帯の農民にとって、ササゲは貴重な換金作物でもあります。我々がニジェール南東部で行った調査では、ほとんどの農家が収穫したササゲの半分以上を換金し、衣類や医薬品、食料、農機具、肥料や農薬の購入、冠婚葬祭の費用等に利用しているという結果が得られました。また、ササゲの収穫時期がちょうど学校の始まる時期でもあることから、子供の学費に当てるといった回答も多く見られまし



写真3 西アフリカ最大の流通拠点ダワヌマーケットに集積されたササゲ（ナイジェリア・カノ市郊外にて撮影）

た。この地域では、ササゲは生活に必要な現金を得るための手段としても、農家の生活に重要な役割を持っているのです。

このようにして農家が換金したササゲは、国内の消費地に運ばれていくだけではなく、西アフリカ域内を広く結ぶ流通網によって、生産地から国外の消費地に広く輸出されていきます¹⁾。残念ながら輸出量についての統計データは充分とはいえませんが、1998年のデータでは、28万5000tのササゲが地域間でやり取りをされた記録があり、現在ではさらに多くのササゲが流通され、地域の経済に貢献していると考えられています（写真3）。

その消費が生産地に留まらず広く流通されるようになると、当然のこととして消費地の人々の持つ嗜好性が農民の品種選択に大きな意味を持つようになります。ガーナでは白色でサイズが大きいマメ（100粒重13g以上）への嗜好性が高いことから、主要なササゲ生産国の1つであるブルキナファソでは、Benga Yagaと呼ばれる子実サイズが大きい在来品種がとくにガーナへの輸出にまわされ、若干ですが他の品種よりも高値で販売さ

れています。また、ナイジェリアのササゲ栽培の中心地である北部では伝統的に白色のマメが好まれるにもかかわらず、茶色で甘みのある品種が好まれるというナイジェリア南東部の消費地の嗜好性に合わせて、茶色の品種に特化してササゲ栽培を行っている地域が存在します。今後、アフリカの経済の活性化に伴い、農家にとってササゲの換金作物としての重要性が増していくことが予想されますが、育種や新品種の導入には、その地域の生産者や消費者の嗜好性だけでなく、販売や流通も視野に入れた戦略が必要になっていくことでしょう。

3. 飼料としてのササゲ

この地域の農家にとっては、マメを収穫した後に残る残渣（莢殻、茎や葉）も家畜が長い乾期を乗り切るための飼料として、重要な役割を有しています。とくに穀類の残渣中に不足するタンパク質を補うために、タンパク質含有量が高いマメ類の茎葉部を穀類の残渣に混ぜて飼料とすることが一般的に行われます。ソルガム残渣のみで飼育したヒツジと比

べ、飼料に少量のササゲの茎葉（約17～18%程度のタンパク質を含む）を加えることによって、体重増加率を1.8～2倍とすることができたと報告されていますから、その効果は非常に大きいのでしょう⁵⁾。

家畜は少しずつ増えていき、いつでも現金に換えられることから、この地域の農民にとっては貯金と同様な役割を持っています。このため長い乾期中の家畜の飼料を確保することは非常に重要で、我々がニジェール南東部で行った調査では、農民がササゲの茎葉収量の向上を強く望んでいることがわかりました³⁾。これらの地域では、収穫後のササゲの残渣は盗難を防ぐために屋根の上等で保管されます（写真4）。穀類の残渣が無造作に置かれていることと比較すると、ササゲ残渣が大切にされていることがよくわかりますね。

しかしその一方、地域によって家畜飼料の重要性は異なるようで、ブルキナファソでの調査では、農民がさほどササゲの残渣を家畜飼料として重要視していないという結果が得られています。これは民族によって家畜の保有頭数が大きく異なることや、地域によって



写真4 屋根の上で保存されるササゲの茎葉と、畑に積まれたミレットの茎葉
(ナイジェリア・カノ市郊外にて撮影)

確保できる飼料の多様性などが異なることが影響していると考えられます。

ナイジェリアやニジェールでは、都市部でもヤギやヒツジ等の小型家畜を飼う家が散見され、その飼料として市場や路肩でマメ類の残渣が販売される光景を良く見かけます。その価格は同量のマメと同程度となることもあり、かなり高額で販売されることから、マメ類の残渣は農家にとってよい現金収入源でもあるようです。筆者が聞き取りを行った限りでは、ササゲよりも家畜の食いつきが良いラッカセイの残渣の方が、高額で販売されている場合が多いようです。

4. 地域の作付け体系とササゲ

さて、この地域の農家の生活に重要な役割を担っているササゲですが、その栽培についても触れてみたいと思います。近年では早生品種を利用したササゲ単作での栽培も多く見られるようになりましたが、伝統的にササゲは同時期に同じ畑で複数の作物を栽培する間作・混作という作付け体系の下で、ソルガムやミレット等の穀類と一緒に栽培されることがほとんどです。一見、粗雑に植えられているように見えますが、この間作・混作は利用可能な資源や労働力が限られている小規模農家にとっては、古くから知られているマメ類の持つ地力維持・保全機能を利用することに加え、土地の利用効率を向上するとともに、農作業を分散させるために欠かせない技術です。しかし、一口に間作・混作といっても、地域ごとの気候や土壌環境に応じて上手に工夫がされていますので、とくにナイジェリア北部やニジェール南東部で見られる作付け体系を例にとって紹介したいと思います。

1) サヘル地域の事例

雨期が1～3ヵ月と非常に短いサヘル地域では、土壌の肥沃度が極端に低いため、間作・混作といっても各作物の間を1.5～2mほどあけて栽培するのが一般的です(写真5)。このような条件ではそれぞれの作物の影が影響しないので、広い範囲に茎葉を伸ばす匍匐性のササゲ品種が多く利用されています。また、この地域の在来品種の多くは、短い雨期に合わせ比較的早く(植え付け後1ヵ月頃から)花をつけ始めるのですが、株元から除々に開花し、雨期が継続する年は3回、4回と長く収穫できるものがほとんどです。改良品種を始めとする一斉に開花する品種を利用した場合、農薬による防除ができない状況では、虫害によって収穫が全くなってしまう可能性があります。このような長く花を着ける在来品種を利用することで、全滅する可能性を低くし、最低限の収量を確保することができます。厳しい環境や、利用できる資源や技術が乏しい状況でリスクを小さくするための、農民の経験からくる品種選択の結果なのでしょう。



写真5 ミレットと混作されるササゲ
(ニジェール・ザンデル市郊外にて撮影)

2) 半乾燥地帯の事例

一方で、サヘルと比べてやや雨期が長く、土壤肥沃度が高い半乾燥地帯では、各作物が30～70cm程度の間隔で植えられますが、このような栽培条件では背の低いササゲはどうしても背の高い穀類の影になってしまいます。このため、この地域では匍匐性の晩生品種を穀類の後に植付けることで、穀物が刈り取られた後にササゲが周囲に茎葉を広げ、土壤の残存水分と豊かな日射を利用して生育するという作付け体系が見られます(図4)。このような体系では、ササゲの収穫が乾期中となるため、虫害の影響が軽減されるという効果も狙っているようです。在来品種のササゲの持つ日長感性と乾燥に強いという特性を上手に活かして、限られた土地や資源を効率的に利用するという農家の知恵が感じられます。

3) 半乾燥地帯以南の事例

半乾燥地帯からややはずれますが、さらに南の年間降水量が800～1000mm程度の地域では、55日程度で収穫できる極早生のササゲ品種を穀類(主にトウモロコシ)より早植えして、穀類が大きな影を作るまでに収穫してしまう場合や、1回目の収穫後にさらにササゲを植えて二期作とすることもあるようです。このように、農民がササゲの持つ多様性を上手に利用して、その地域の土壤条件や

雨期の長さに適した作付け体系を作り上げてきたことがよくわかります。先にも述べたように近年、早生品種と肥料や農薬を多用したササゲ単作の栽培も多く見られるようになりましたが、農業の持続性・低環境負荷が強く求められる昨今、育種や品種普及を行う上で、このような農民の知恵から学ぶところは多いのではないかと考えさせられます。

おわりに

ここまでササゲをはじめとするマメ類が、この地域の厳しい環境で農業を営む人々の生活の中で多面的な役割を担っていることを紹介してきました。現在、アフリカが直面する食料・栄養不足の問題を解決するためには、食料を量的に確保するための農業生産の増加に加え、地域全体を対象にした貧困の解消、食・栄養の質の改善が不可欠です。とくに穀物やイモ類等のデンプン質の多い食品に偏りがちなアフリカの食生活において、タンパク質や亜鉛、鉄等の微量元素等の栄養素を供給できるマメ類は、今後も現地生産ができる安価な食品として、より重要になってくると考えます。また、この地域の厳しい環境に適したマメ類は、食料や家畜生産を安定させ、地域の食料安全に貢献するとともに、現金収入源として農家の生活の質的向上や子供の就学率の向上に一役買っています。

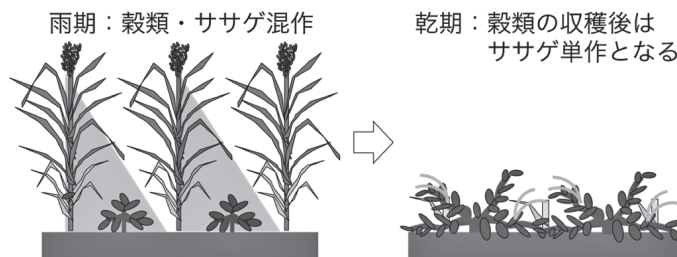


図4 半乾燥地帯でみられる穀類・ササゲの栽培体系

これまで主食である穀類やイモ類、また商品作物の影に隠れ、マメ類の持つ多面的な機能はあまり注目されていませんでした。しかし、近年はこのようにマメ類の持つ可能性が改めて認識され、その多面的な機能をアフリカ開発に有効利用しようという動きが活発になってきています。筆者が所属する国立研究開発法人国際農林水産業研究センター（JIRCAS）でも、ササゲやダイズ等のマメ類の研究を通じてアフリカの食料安定供給に貢献する活動への取り組みを始めていますが、2016年が国際マメ年に採択されたことを契機として、さらに多くの方々にこのようなマメ類の多面的な機能を理解し、感心を持って頂くきっかけとなればと期待しています。

引用・参考文献

- 1) Langyintuo, A. S., Lowenberg-DeBoer, J., Faye, M., Lambert, D., Ibro, G., Moussa, B., Kergna, A., Kushwaha, S., Musa, S. and G. Ntougam 2003, Cowpea supply and demand in West and Central Africa, *Field Crops Research* 82: 215-31.
- 2) Mbavai, J., Shitu, M. B., Abdoulaye, T., Kamara, A. Y. and S. M. Kamara 2015 Pattern of adoption and constraints to adoption of improved cowpea varieties in the Sudan Savanna zone of Northern Nigeria, *Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 7 (12) : 322-329.
- 3) Muranaka, S., Boukar, O., Abdoulaye, A. and C. A. Fatokun 2011, Cowpea improvement via farmer participatory varietal selection activity in the Republic of Niger, in *Improving Livelihoods in the Cowpea Value Chain through Advancement in Science*, IITA, Ibadan, 46-55.
- 4) Muranaka, S., Shono, M., Myoda, T., Takeuchi, J., Franco, J., Nakazawa, Y., Boukar, O. and H. Takagi 2016 Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits, *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 14 (1) : 67-76.
- 5) Singh, B.B., Ajeigbe, H. A., Tarawali, S. A., Fernandez-Rivera, S. and M. Abubakar 2003, Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder, *Field Crops Research* 84:169-77.
- 6) 友岡憲彦 2007, 第II章 西アフリカにおけるマメ類 1. ササゲ 1-2 起源と多様性：西アフリカにおけるマメ類の生産から流通まで（勝俣誠・友岡憲彦・入江憲治・小林裕三共著）「熱帯農業シリーズ熱帯作物要覧 No. 33」社団法人国際農林業協力・交流協会, 54-58.

(国立研究開発法人国際農林水産業研究センター生産環境・畜産領域)



インド国マディヤ・プラデシュ州における ダイズ栽培の課題

有 原 丈 二

はじめに

インド中央部のマディヤ・プラデシュ (Madhya Pradesh, MP) 州のダイズ栽培面積は 7828 万 ha で、降雨量や気温がダイズ栽培に適しており、実際にもインドダイズ生産の中心地である。しかし、子実収量は 1 t/ha 前後と長い間、低迷している。MP 州の土壤で農地の大部分を占めるのは、植民地時代に綿が盛んに栽培されたため Black Cotton Soil (黒綿土) と通称される Vertisols であり、残り 10% 程度が比較的肥沃で、透水性に優れた熱帯性赤色土 (Alfisols) である。MP 州での技術実証試験は、わずか数カ所で、しかも 1 年間だけの現地実証試験であり、技術が確立したとはいえない。しかし、数カ所ではあるが、一般農家が保有するトラクタ、サブソイラ、プラウ、播種機などの農業機械を使用して、ha 規模の農家圃場での栽培技術実証試験で 3 t/ha 前後の収量が得られ、これらの農業機械は実用性が高く、普及も容易と考えられるため、ここに報告させていただくこととする。

1. インドの期待と現状のギャップ

ダイズの栽培面積が 7828 万 ha とインド

最大のダイズ生産地 MP 州では、「2015 年はエルニーニョ現象で降水量が減少」との気象予報があったが、モンスーンは順調であった。水稲、ワタ、ダイズ、マングビーンなどの作物収穫量が増加し、農家収益が増大すると期待も生まれ、食費が消費全体の半分を占めるインドでは、干ばつによるインフレ懸念が薄れると期待され、ダイズ作地帯では、年間降水量の 70% 以上になる 7 月以降の降水量が、今後の収穫量を左右すると報道されていた。

2015 年の MP 州のモンスーンは、例年の東と反対の州西部での 6 月 9 日の激しい雨で本格的に始まり (写真 1)、80% の地域で平年並みの降水量となった。例年と異なり、モンスーンの開始が遅れた MP 州東部は降水量が平年よりやや少なく、土壤保水力の大き



写真 1 モンスーン最初の豪雨 (MP 州西部ダール (Dhar)、2015 年 6 月 9 日)

ARIHARA Joji: Prospects for Improving Soybean Production in Madhya Pradesh.

い黒綿土地帯では、土壤水分は不足しなかったが、保水力のやや劣る赤色土の地域では、土壤が乾燥して水分が少なく、乾燥気味の所では、ダイズの生育が劣る場所も多かった。

2015年はインド全体でも、保水力に富む黒綿土地帯では土壤水分不足はほとんどなかった。エルニーニョの発生で干ばつが危惧された年に、例年以上に順調なモンスーンが始まり、食費が消費全体の約半分を占めるインドでは、干ばつによる食料不足やインフレ懸念軽減への期待があった。

また、インドの主要ダイズ生産地のモンスーンの順調な降雨から、搾油業界では100万t以上のダイズ生産量増加を予想していた。世界最大の食用油輸入国のインドでは、11月から始まる国際市場での食用油輸入減量への期待も生まれていた。

さらに、ロイター電では、ムンバイにあるインド搾油業協会（SEA）のPravin Lunkad会長が、「今年のダイズ作面積に変化はないが、モンスーンの順調な雨で、ダイズ栽培面積の85%を占めるMP州、マハーラーシュトラ（Maharashtra）州、ラージャスターン（Rajasthan）州のダイズ播種が加速されれば、2015年のダイズ増産の可能性が高まり、ダイズ粕の価格低下で、世界の市場価格より高く、低迷していたインド産ダイズ粕の南アジア諸国やイランへの輸出も可能になろう」と述べたという記事も配信されていた。

しかし、モンスーンが遅れたMP州東部の赤色土地帯のDamoh（ダモー）郡は水田が多く、その周囲の圃場でマングビーン（豆）の黄変が見られ、ダイズ葉が黄変している圃場もあった。Yellow Mosaic Virus（YMV）の感染が疑われたが、「JICA マディヤ・プラデシュ州大豆増産プロジェクト」の中間レビュー調

査報告書³⁾では、「YMV病とされる黄化ダイズの多くは下葉が黄化し、新葉には黄化やモザイク症状が見られず、原因はYMVでなく、排水不良による生理障害」との記述があった。土壤の乾燥ばかり気にし、水分過剰は気にしないインド農業技術の弱点でもあった。

ジャバルプル（Jabalpur）近くのサブソイラ施工後に播種された赤土のダイズ圃場でも、葉が黄変していた。同黄変株を見ると根系が浅く、YMVではなく、生理障害と思われた。近隣にあるダイズ多収コンテスト優勝農家の圃場には、有機物が施用されていて、赤土でもダイズの黄変株は非常に少なかった。エルニーニョ現象発生で干ばつが危惧された2015年は、期待以上に順調なモンスーンでMP州のダイズ作が始まった。インドのモンスーンは年間降水量の70%を超え、飲料水、作物への灌水、水力発電にも使われている。6～9月の雨は年降水量の半分にもなり、7月以降の降水量は、その後の作物収穫量を左右すると、E-Paper ライブミント（電子新聞）は伝えていた。食費が消費全体の半分を占めるインドでは、順調なモンスーン雨で、干ばつによるインフレ懸念軽減の声さえあった。

2015年のダイズ生産量は、モンスーンが順調で、100万t以上に増加すると、インドの搾油業界は予想していた。世界最大の食用油輸入国インドは、11月から始まる国際市場での食用油輸入量の低減も可能と期待されていた。前述したとおりロイター電によると、ムンバイにある搾油業協会（SEA）のPravin Lunkad会長が「今年のダイズ作面積に変化はないが、適期の潤沢な降雨で、ダイズ生産量の増加が予想される」と述べ、さらに「モンスーンの雨で、インドのダイズ栽培

面積の85%を占めるMP州とマハーラーシュートラ州のダイズ農家の播種が加速されれば、2015年のダイズ生産量が増え、ダイズ粕の価格が低下すれば、世界市場より高価で、低迷していたインド産ダイズ粕の南アジア諸国やイランへの輸出も可能になるだろう」と述べていた。

2015年、インド最大のダイズ生産地であるMP州では、エルニーニョ現象でモンスーンの降水量が減少するとのお気象予報があった。実際には、モンスーンの降水量は逆に増え、ダイズだけではなく、コメ、ワタなどの収量増加で、農家収益が増加すると期待されていた。

2015年のダイズ作は、順調な雨期の降雨でスタートした。インドではモンスーンの雨が豊作のイメージに重なるのか、モンスーンが順調なら作物は豊作という空気が広がっていた。「モンスーンが多雨は、ダイズでは不作要因にもなる」と考える農業技術者が少しでもいれば、技術開発も進むのにと、残念である。

FAOの資料“Agro-industries characterization and appraisal: Soybean India”の中で、インドの1973-74～2003-04年までのダイズの栽培面積、収穫量、収量などを示している図1は、インドには厳しいものである。収量は40年以上も増収の気配がなく、1t/ha前後に留まったまま、1990年代後半までダイズ栽培面積が増加し続けたダイズ生産量も天井に突き当たっている。

2. ダイズ収量伸び悩みの一因

インドでダイズ収量が向上しないのは、ダイズ栽培がMP州全域、ラージャスターン州東部、カルナータカ(Karnataka)州北部といった比較的降水量が多く、排水性と通気性に劣る重粘土壤(Vertisols、粘土鉱物は2:1

型のモンモリロナイト)の圃場が多い地域で行われているのが大きな原因のようである。

粘土鉱物がモンモリロナイトの土壤(Vertisols)では雨期が始まると、

降水量増加→土壤水分増加→2:1型粘土鉱物膨潤→土壤通気性低下→根粒機能低下→養分吸収能低下→落花数増化→落莢数増化→粒数減少→収量低下

とステップを踏んで、ダイズ収量が低下していく。それでもインドでは農業関係者、技術者、研究者の多くが、降雨が多いとダイズ収量が向上すると考えるのは、本当に理解しにくい。

ダイズ栽培の歴史の長い日本では、ダイズは雨が多く、土壤水分が高いほど収量が低下することは常識である。そのため打つ手は考えてある。「黒綿土ではモンスーンの雨が多いからダイズが多収になる」という思い込みを打ち砕けるかどうか、今後のダイズ生産を左右すると思える。最近のデータによれば、インドのダイズ平均収量は、2009～2013年の5年間の収量(kg/ha)は、998、1187、1147、1301、1134と浮上傾向にはあり、かすかでも希望はある。

筆者が30代の頃、アーンドラ・プラデーシュ(Andhra Pradesh)州ハイデラバード(Hyderabad)市のICRISAT(国際半乾燥熱帯作物研究所)で、阿江博士(前神戸大教授)、岡田博士(現東大教授)らとともに、ヒヨコマメ、キマメ、ソルガムの圃場試験に取り組んでいた。ハイデラバードの平均降水量は730mm前後で、MP州の約半分である。それでも降雨がある程度続くと、重粘土(Vertisols)圃場では2:1型粘土鉱物(モンモリロナイト)が水を含んで膨潤し、土壤の透水性が失われ、水が土壤表面に停滞し、根圏土壤の通気性が低下して土壤酸素が大きく低下していた。そう

なると、根や根粒の機能が著しく低下し、枯死しそうな株もかなり多かった。比較的酸素不足に強いイネ科作物のパールミレットやソルガムでも、根系の枯死、養分吸収低下、葉の黄化など、生育に甚だしい障害が生じていた。

年間降水量がハイデラバード市の倍近い1300mm前後のMP州では、雨期にVertisolsの圃場では過湿が激しく、長く続くのはいつものことである。根圏土壤の酸素不足で、根系や根粒機能が大きく低下するため、ダイズの平均収量が1 t/ha前後と低いのは当たり前なのである。インドではダイズ収量の向上に必要なのは水ということになっているが、過剰な水はむしろ低収の原因で、増収の鍵は根の生理活性を支える酸素、それに加えて根粒窒素固定に必要な窒素の供給である。そのためダイズの根系域土壤は通気性が高いことが大事になる。

ダイズ圃場の過湿に拍車をかけているのは、コムギに対する過剰気味の灌水である。灌水によってコムギの発芽が揃い、茎葉は生育旺盛になるが、根系は浅く貧弱で、開花期～登熟期の順調な生長には日射、養水分の供給が重要となっている。コムギはもともとイラク北部の乾燥した高原に起源した、厳しい低温、高温、乾燥に耐えて子実を生産する作物である。灌水はコムギの根を浅くし、開花～成熟期の養水分不足を招き、真の多収栽培技術にはならないと思われる。

実際に、MP州のコムギ収量は2478kg/haで、西のラージャスターン州の2900kg/ha、北のウッタル・プラデーシュ(Uttar Pradesh)州の355kg/ha、東の西ベンガル(West Bengal)州は2760kg/ha、南のマハーラーシュトラ(Maharashtra)州の1761kg/haよりは高いが、MP州の周辺州のなかでは最低か

ら2番目である²⁾。コムギへの灌水は、ダイズの栽培期間には湿害を助長し、ダイズの根系を浅くして、干ばつの影響を助長して収量を低下させる原因になっていると思われる。

3. MP州の土壤

1) 赤色土(Alfisols)

赤色土は、MP州の東部一帯、南部を流れるナルマダ河流域南部の丘陵地帯と、南西部の一部に分布している。太古代のパンゲア大陸を構成していたミネラルの豊富な花崗岩からなる大地のため、土壤中のミネラルが非常に豊富で、土壤粒子には電荷があり、モンスーンの豪雨があってもクラストができにくく、通気性が失われにくい。このため発芽に酸素を必要とするダイズの栽培には好適な土壤となり、根系も深くなりやすい。

赤色土ではダイズの発芽が良好で、根系の発達も良く、土壤の通気性も良いため根粒の窒素固定能力も高く、ダイズは生育旺盛で栽培のしやすさではVertisolsに勝るようである。

Alfisolsの欠点は、粘土自体の水分保持力が小さく、水分を保持する土壤有機物も少ないため保水力が劣り、乾燥しやすい事である。実際にも乾期の高温乾燥下でサブソイラで耕盤破碎すると、土壤水分が急激に失われてしまっていた。そのため、雨期始めの播種では土壤が乾燥していてダイズ種子の発芽率が低下し、発芽後も水分不足から生育量が大きく低下していた。どうもAlfisolsでは乾期のサブソイラがけはダイズ播種には必要ないようである。

2015年のMP州では、モンスーンが州西部から始まり、東部は遅れた。州東部のAlfisolsの試験圃場の土壤はかなり乾燥していたが、その乾燥した圃場にサブソイラを施工したために干ばつが助長され、干ばつの被



写真2 サブソイル施工で乾燥した赤色土と干ばつ気味のダイズ (MP 州東部ジャバルプル市近郊)



写真3 赤色土地帯の農家の粗起こし作業(ダール、2015年6月9日)

害がかなりひどくなった(写真2)。Alfisols 地帯では、乾期の真ただ中にサブソイル施工や過剰耕うんを行った場合、ダイズは発芽障害や生育不良になりやすいようである。

MP 州の Alfisols 地帯の農家は、乾期中はサブソイルを施工せず、雨期開始後に浅く耕すだけで、できるだけ早い時期に播種するのが慣行である。地域の土壌、気象条件をよく理解して適正な農作業を行っていく農家の知恵には感心させられた(写真3)。

2) 黒綿土 (Vertisols, Black cotton soil)

(1) サブソイル

MP 州の西部と南部には、新生代初頭に噴出したデカントラップと呼ばれる玄武岩からできた黒綿土 (Vertisols, Black cotton soil) が分布している。Vertisols の粘土鉱物はモンモリロナイトであり、水を含むと膨潤し、保水力も高い。Vertisols では、乾期の最中にサブソイルを施工し、土壌の下層まで乾燥させ、土壌の孔隙を増やし、多少の雨で土壌が膨潤しても孔隙が残って、通気性を保持できるようにすることが大事である。これにより、多少の降雨があっても粘土土壌の孔隙が



写真4 根が良く発達した赤色土圃場のダイズ (根粒も見える)

失われず、ダイズが順調に発芽し、良好な初期生育を確保できるようになる(写真4)。

雨期の降雨が続くと、Vertisols では粘土鉱物の膨潤が続き、ついには透水性・通気性が失われる。ダイズは共生している根粒で、空中窒素を固定してアミノ酸を作り、それからタンパク質を合成しつつ生育していく。ダイズの根系は、土壌の通気性が良いほど深く、根粒の窒素固定が活発化し、生育が盛んになり、莢数が増え、収量が向上する。根粒活性



写真5 furrow opener の設定位置が浅く、畦溝が掘れていない (ホシャンガバード、2015年6月27日)



写真6 furrow opener の位置が深く、畦が掘れている (サガール、2015年6月29日)

の低い排水不良の圃場では、ダイズの多収はほとんど望めない。

(2) 降雨による通気性低下

インドの長い乾期の間に Vertisols 圃場では、土壌の表層から下層に向かって土壌が乾燥していき、孔隙や亀裂が表層から徐々に増えていく。雨期に入って降水量が増えていくと、今度は逆に、Vertisols 圃場では土壌の表層から下層に土壌水分が高くなり、粘土鉱物は膨潤して土壌の孔隙が減少し、通気性や透水性が低下し続け、ついには透水性が失われて湛水する。土壌ではダイズの根系が浅いだけでなく、根粒の窒素固定能力も低下して生育不良となってしまう。これが Vertisol 地帯でダイズ収量がなかなか向上せず、低いままになっている最大の理由と考えられる。このため、雨期の Vertisols 圃場は排水不良の場合が多く、播種されたダイズ種子も発芽不良となり、発芽してもその後の生育が不良になってしまう。

(3) 通気性の改善

① サブソイラ施工

Vertisols 圃場の通気性を改善するには、ま

ず、雨期の始まる 30～40 日くらい前にサブソイラで深さ 40～50cm までの耕盤破碎を行い、乾期の間に土壌の深層まで十分乾燥させて土壌を収縮させ、土壌の孔隙を増やすことが大事である。

② 広高畦溝切播種機 (ridge and furrow planter):ホシャンガバード (Hoshangabad) での失敗

MP 州ではロータリによる耕うん機は播種作業には使われていない。最も多いのは、チズルプラウで耕起しつつ、ツースハローで碎土・整地し、1 対の furrow opener で畦間を掘って 2m 幅の平高畦を成形しつつ、平高畦上に 4 条播種していく播種機である。降水量が 1200mm 以上と雨の多いホシャンガバードの 6 月 26 日の播種作業でもこの furrow planter で行なわれていたが、農家も MP 州の大学や普及事務所のスタッフも、播種機の furrow opener の位置を高いままにして播種作業をしたため、広高畦ではなく平畦での播種作業になっていた (写真5)。

インド製のこの furrow planter (写真6) は、furrow opener の位置を最低位置まで下



写真7 播種後の豪雨で土壌表面が平坦となり、クラストができて通気性、透水性が低下した生育貧弱なダイズ（ホシャンガバード、2015年8月24日）

げるだけで広畦の両側に溝をきちんと掘りながら、広高畦が作れることができるなかなかの優れものである。furrow opener を下げていると、排水溝の働きをする furrow がしっかり作られていたはずであったが、実際には、圃場一面に多少の凹凸できただけの圃場に、平畦でダイズを播種してしまうことになってしまった。その結果、播種後の雨によって圃場はほぼ平らになり、土壌表層にはクラストが形成され、播種されたダイズは湿害と酸素不足で根が浅くなり、生育不良で多収を期待できなくなってしまった（写真7）。

③ 広高畦栽培ができたサーガル（Sagar）

6月28日のホシャンガバードでの作業後、MP州北東部サーガルの5月23日にサブソイレリングした圃場での播種に向かった（写真8）。そこは furrow planter 使っていて、幸運にも農家の若手が furrow opener の設定位置を聞いてくれた。ホシャンガバードでは furrow の位置が高すぎたので、思わず「最低位置」と声が出た。作業中に畦表面の



写真8 サガルの農家圃場でのサブソイレ施工（2015年5月24日）



写真9 サガルの播種作業。丸太の整地で広高畦がきれいにできた（2014年6月29日）

凹凸を均したいということ、すぐ丸太を播種機の後部に着けてくれ、畦表面は均平になった（写真9）。条間30cmの狭条密植で、播種作業は順調に進んだ。

畦両側は furrow opener で溝ができ、広高畦となったことから降雨があっても畦表面には滞水せず下方に浸透し、土壌通気性が向上し、種子発芽は良好で、根は土壌下層にまで伸長し、養水分吸収や根粒活性が向上し、ダイズが旺盛に生育すると予想していた。



写真10 サブソイラ施工と畦立播種で生育旺盛なダイズ(サガル、2015年8月26日)

播種2ヵ月後(8月28日)のサーガルでの生育調査では、ridge & furrow のみの区は草丈70cm、サブソイラ区は90cmと、ダイズはかなり旺盛に生育していた。葉の黄変は全く見られず、Vertisols 地帯では ridge と furrow をきちんと作って播種すれば、大きく増収することと確信できた(写真10)。

播種3ヵ月後の9月25日にサーガルの圃場を登熟期調査で訪問した。「サブソイラ+ridge & furrow 区」の草丈は100cm以上に達している株も多かったが、ridge & furrow (広高畦) のみの区では草丈は66cm程と低かった。現地調査に同行してくれたKVK Sagar (普及センター) のYadav 所長は、収量は昨年のサーガル平均収量1.338t/haの2~2.5倍の2.7~3.4t/haという高収を予想していて(写真11)、「サブソイラ+ridge & furrow」がサーガルからMP州全体に普及してくれればと願っている。

(4) 州北東部でのダイズの多収と根の深さ

Vertisols 圃場でのダイズ栽培では、耕うん作業前の弾丸暗渠やサブソイラの施工による圃場排水対策も重要な作業である。排水対



写真11 収穫間近のサガルのダイズ(2015年9月25日)。サガル普及センター(KVK)のYadav 所長は収量を平年(1.34t/ha)の2.5倍の3t/ha以上と予想

策無しに平畝で耕うん作業を行うと、圃場の排水対策は不可能になり、降雨があると土壤粘土が水を含んで膨潤して、圃場の排水はほぼ不可能となり、その年のダイズ作の高収量は諦めざるを得なくなる。

サーガルから車で東に12時間ほど走るとリワ(Rewa)に到着する。リワのダイズ多収現地試験を行う農家圃場は花崗岩地帯にあるが、なんと土壤は玄武岩が母材のはずのVertisolsであった。リワ地方は太古代6億年前の Gondwana 大陸の花崗岩上にあり、元素組成は玄武岩に近い。それでリワの土壤はVertisolsに近いのであろう。リワの試験圃場のダイズは、サブソイラの効果で生育が旺盛で、現地のKVK職員は収量を2.6t/haと推定していた(写真12)。

この2つの現地試験圃場以外の結果も含めて考えると、インドのMP州でダイズ生産面積が最も多いVertisolsでは、5月の乾期中にサブソイラを施工して、土層の深くまで乾燥させ、モンスーンの降雨の中でも土壤の透水性を維持できるようにし、ridge &



写真 12 MP 州東部リワのダイズ試験圃場収量は、普及員は 2.6t/ha と予想 (2015 年 9 月 7 日)

furrow で栽培すれば、モンスーンの雨による湿害も抑えられ、かなりの増収が期待できると考えられる。

引用・参考文献

- 1) FAO 2007, Agro-Industries Characterization and Appraisal: Soybeans in India, Agricultural Management, Marketing and Finance Working Document 20, Rome.
- 2) Government of India 2011, Agricultural Statistics at a glance 2011.
- 3) JICA 2014, インド共和国マディヤ・プラデシュ州大豆増産プロジェクト中間レビュー調査報告書.

(元 JICA マディヤ・プラデシュ州大豆増産プロジェクト派遣専門家)



マメ—食料安全保障への貢献

渡 邊 和 眞

はじめに

マメは生産現場における様々なメリット、貯蔵・流通のしやすさ、食料としての栄養バランスといった点からきわめて優れた作物である。しかし、生産量・流通量とも増えているものの、人口の増加に対してみた場合、1人当たりの消費量はむしろ減少傾向にある。「国際マメ年 (International Year of Pulses: IYP 2016)」は、こうしたマメのよさを見直す機会として期待されている。本稿では、こうしたマメの特色について概説するとともに、将来にわたる食料安全保障を考えた場合の、マメの利点について述べてみたい。

1. 国際マメ年の概要

第68回国連総会で2016年を国際マメ年とすることが決定され、同時に国際連合食糧農業機関 (FAO) は、各国政府や関係機関、NGO、その他の関係者と連携し、国際マメ年の実施を促す役割を任命された。

国際マメ年は食料安全保障と栄養を目的とした持続可能な食料生産の一環として、マメの栄養面での利点について社会認識を高めること狙いとしている。マメ年は、フードサプライチェーン全般にわたり、マメをベースと

したタンパク質のより良い活用、世界的な生産の促進、輪作のより良い利用、およびマメ貿易における課題に取り組む際の関係醸成を奨励するユニークな機会となることが期待されている。

国際マメ年の具体的な目標としては、次の3つが掲げられている。

- ①持続可能な食料生産と健康的な食生活におけるマメの重要な役割、またマメの食料安全保障や栄養への貢献について意識を高める。
- ②フードシステム全般にわたるマメの価値や利用を増進するとともに、土壌の肥沃化や地球温暖化対策、栄養不良対策におけるマメの利点の活用を促進する。
- ③フードサプライチェーン全般にわたり、マメの世界的な生産の促進、学術研究の強化育成、輪作のより良い活用、マメ貿易における課題に取り組むための関係構築を奨励する。

FAO事務局では、国際マメ年のウェブサイトを開設しており、プラットフォームとして多くの関係者が相互に情報交換や関連するリソースを共有する場を提供している (<http://www.fao.org/pulses-2016/en/>)。また、国際マメ年を契機として、マメ類の構成栄養素を取りまとめた包括的なデータベース (FAO/

WATANABE Kazuma: Pulses, the Contribution to Food Security.

INFOODS Global Food Composition Database for Pulses) を作成中である。

2. マメの定義とその種類

英語の International Year of Pulses は、日本語で国際マメ年と表記されているが、この「マメ」と翻訳されている Pulses は、マメ科植物の中で食用種子の生産を目的として栽培され、収穫後は乾燥子実として保存、利用されるものを指す。代表的なものとしてはインゲンマメ、レンズマメ、エンドウなどがある。したがって、Pulses には野菜に分類されるサヤインゲンやサヤエンドウなどは含まれない。また、搾油用のダイズやピーナッツや、もっぱら播種目的で使用されるクローバーやアルファルファ等の種子も除外される。ダイズやピーナッツは日本では一般に食用にも供されるマメであるが、世界ではいずれも主として油糧作物として生産されておりこのような分類となっている。本稿では、この Pulses の定義で「マメ」を用いる。

マメの正確な品種の数はわからないが、広く流通していないローカル種まで含めると、その数は数百種類に上るだろうと推定されている。たとえば、国際半乾燥熱帯作物研究所

(ICRISAT) のレポートによれば、キマメ、ヒヨコマメはそれぞれ 66 および 77 品種が様々な国で栽培されている。

3. マメの生産と消費

2013 年現在、インドがマメの最大輸入国であり、カナダが最大輸出国となっている。2014 年もカナダの輸出量は 620 万 t に上ると見込まれ、オーストラリア (170 万 t)、ミャンマー (120 万 t)、米国 (110 万 t)、中国 (80 万 t) と続く。いずれの国も最大輸出先はインドである。インドは世界のマメの輸出量の 4 分の 1 を輸入しており、EU、中国、パキスタン、エジプトと続く。

マメの生産は地域的に集中している。ベジタリアンの多いインドではマメは重要なタンパク源である。輸入とともに、その生産も世界第 1 位であり、2013 年の世界における生産量の 4 分の 1 を占めている (図 1)。同年の産出高上位 5 カ国 (インド、カナダ、ミャンマー、ナイジェリアおよび中国) で世界の総生産量の 51% を占めているが、過去 20 年を見ると第 1 位のインド以外は、いずれも順位に入れ替わりがある。

一方、消費に目を向けると、マメの 1 人当

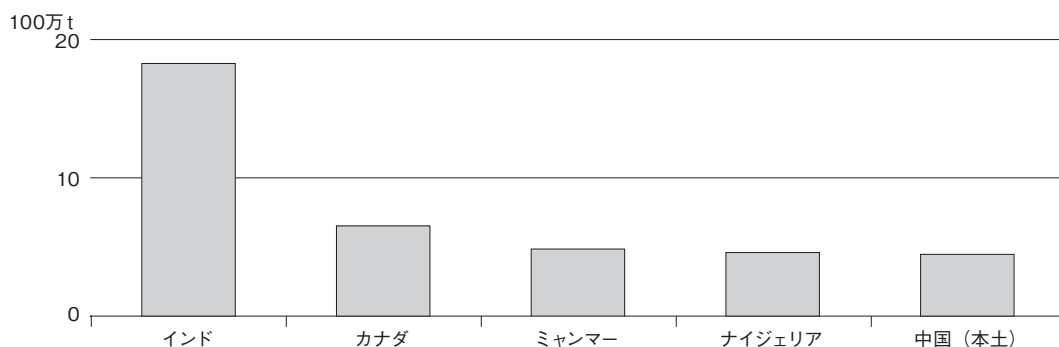


図 1 マメ産出高上位 5 カ国の生産量 (2013 年)

たり消費量は先進国、開発途上国ともにゆっくりとではあるが確実に減少してきており、1970年には7.6kg/人/年であったものが、2006年には6.1kg/人/年となった。唯一近東・北アフリカ地域は同期間で6.2kg/人/年から7.1kg/人/年へと増加している。FAOによれば、この傾向は食生活や消費嗜好の変化だけでなく、多くの国で人口増加にみあう国内増産に失敗したせいでもある。

4. マメ市場と貿易

概してマメの貿易は、生産よりも急速に成長してきた。たとえば、1990年から2012年にかけて年平均3.3%の成長を遂げ、総輸出量としては2倍を超え、660万tから1340万tにまで拡大してきた。この結果、輸出向けのマメ生産の割合は11%から18%へと増加した。マメの輸出額は、1990年に25億米ドルから2012年には95億米ドルに増加し、とくに近年では更に急速に成長してきている。

将来にわたり、マメの貿易は成長を続けると見込まれる。開発途上地域におけるマメ生産および生産性の成長制約は簡単には克服できないかも知れず、その結果、生産は需要に追いつかず停滞することがきわめてあり得ることと考えられる。多くの開発途上国がマメの需要を満たすために輸入に依存し続けることが予想される。

5. マメの特徴

1) マメの栄養

マメは様々な栄養素を含み、また、タンパク源としても素晴らしい食物であり、人間の健

康にとって重要な作物の1つである。マメには重量比でおおむね20～25%のタンパク質を含み、その含有量はコムギ、コメのそれぞれ2倍、3倍である。穀物と一緒に摂取すると、食事におけるタンパク品質は著しく改善される。

マメに含まれる脂質は低く、このためグリセミック指数（食品ごとの血糖値への影響を計る指標）も低い。コレステロールは含まれず、食物繊維に富む。グルテンを含有していないので、セリアック病患者¹の理想的な食事となる。さらに、健康の維持に欠かせないミネラル（鉄分、マグネシウム、カリウム、リン、亜鉛）とビタミンB群（B1、B2、B3、B6およびB9）を豊富に含んでいる。

タンパク質、食物繊維およびその他重要な栄養素を多く含むマメは、健康な食事を形成する重要な食材である。マメに多く含まれる鉄分と亜鉛は貧血症のリスクを抱える女性や子供にとっては、とても有益である。また、マメにはいくつかの生理活性化合物が含まれ、抗癌、抗糖尿病および抗心臓疾患作用を示すいくつかの証拠が見つかっている。さらにいくつかの調査によれば、マメを常食とする肥満のコントロールや抑制を助けることも示されている。

2) マメの生産と農業の持続性

マメの重要な属性は生物学的にチツソ固定する能力を有することである。マメ科植物はある種のバクテリア（根粒菌、ダイズ根粒菌）と共生し、空気中のチツソを植物体とその成長に利用することのできるチツソ化合物に変換することができ、その結果、土壌の肥沃度を促進させる。マメ科植物は年間1ha当たり72～350kgのチツソを固定することができると推定されている。さらに、いくつかの

¹ コムギ、オオムギ、ライムギなどに含まれるグルテンに対する免疫反応が引き金になって起こる自己免疫疾患。

品種では土壌に結合した亜リン酸成分を開放することができ、これも植物栄養に1つの重要な役割を果たすことが可能となる。これら2つの特色は、化学肥料の使用量を劇的に減らすことを可能にするため、低投入型農業生産システムや農業生態学の原理にとつてきわめて重要である。マメ科作物を取り入れた輪作は同一の農地での継続的な生産を可能にするのと同時に、間作システムでのマメはその根の構造に土壌の利用効率を一層高めるだけでなく、肥料使用量を減らすことができるほか、キマメのような深く根を張るものは同時に作付けされた作物への地下水の供給を助ける。バンバラマメのような固有種は、その地域の生産・消費システムに適応しているため、食料安全保障に有益である。マメはきわめて用途に富んでおり、輪作、間作、穀草式輪作²や、もちろんカバー作物といった異なる農業生産システムの中で利用可能である。

土壌の肥沃化については、前述のチッソ固定や土壌の亜リン酸成分開放のほかにも、マメは土壌中の有機物や微生物バイオマス（菌類、真菌類）増加を助けており、これらの増加は風水食を低減させるとともに、土壌の構造や保水能力を向上させる。

3) マメと気候変動

マメ類は広範な遺伝的多様性を有している。このことから、気候変動に適応するため、とくに重要な属性を持つ改良品種を選択あるいは交配（もしくはその両方）することができる。たとえば国際熱帯農業センター（CIAT）の研究者は、現在作物の適正生育帯を超えた気温でも成長することのできるマメを開発し

ている。気候の専門家はこの数十年の間にヒートストレスはマメの生産に最大級の脅威となることを示唆しているため、この改良品種は、とりわけ低投入型農業生産システムにとっては、きわめて重要である。

マメは化学肥料への依存を減らすことで、気候変動の影響緩和に資する。これらの肥料の製造は、エネルギーを消費し、大気中への温室効果ガスを排出する。このため、これらの過剰使用は環境に有害である。多くのマメは穀類や草類よりも土壌中の炭素の蓄積をより高い割合で促進する。

4) マメと貧困緩和

貯蔵安定性のよいマメは販売しやすく、穀物の2～3倍の値段で取引されるため、生産者に現金収入をもたらすことができる。生産地域でのマメの加工はその地域に更なる雇用をもたらす。

5) マメと食料ロス

食料ロスはフードサプライチェーンの中の生産、収穫、加工の過程で発生する食料の減少をいい、食料廃棄は小売や消費の段階で食料を利用しないで捨てることをいう。

食料ロス・廃棄を撲滅することは食料安全保障の改善にきわめて重要である。今日生産された食料の3分の1が失われるか、廃棄されており、一方で約8億人の人々が慢性的な栄養不良の状態におかれている。2050年までに世界の食料需要を満たすためには60%の食料増産が必要だとされている。食料ロス・廃棄を減らすことはこの目標に到達するためにきわめて重要な役割を果たす。

食料の浪費は誰も利用しない食料の生産のために水、土地、エネルギーやその他の天然資源を使用することにより、環境にもネガティブな影響を及ぼす。この天然資源の誤用

² 切替畑より進化した輪作の一種で、何年おきかに土地を畑地と草地に交替して利用する農法。

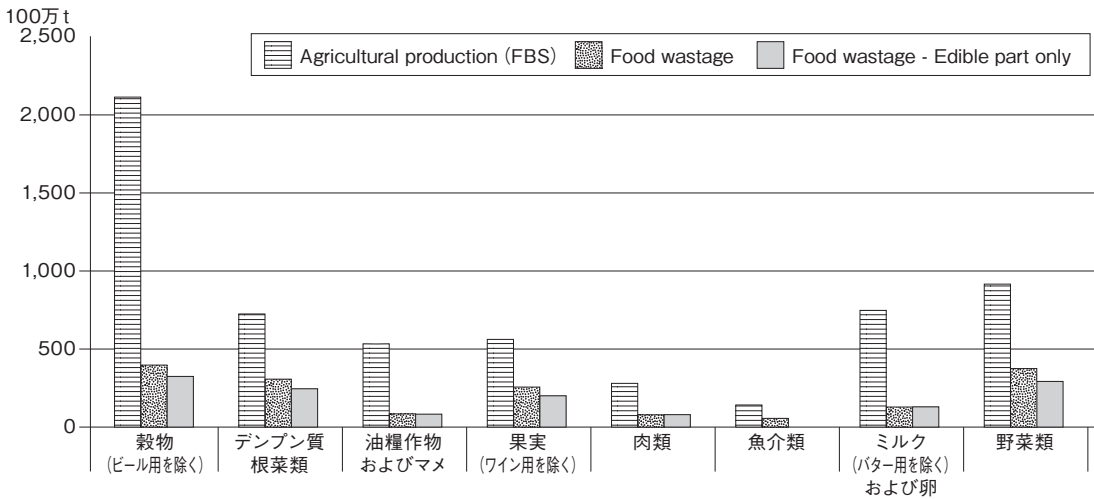


図2 世界の農業総生産に対する食料浪費の割合

は将来にわたり飢餓と貧困の軽減、栄養、雇用創出および経済成長に影響を与えることになる。食料浪費による財政コストは毎年約1兆米ドルにも及ぶとみられる。

他の作物と比べ、マメは図2にみられるとおり、食料のなかでも浪費される割合が低い。FAOの食料浪費・フットプリントモデルは、カーボン・フットプリントおよびブルーウォーター・フットプリントを含むマメの総合的な食料浪費への寄与がすべての地域で低く、環境にやさしい主要な栄養源の1つとなっていることを示している。マメはまた、他のタンパク源と比較しても水の利用率が高い。たとえば1kgの牛肉を調理するには、1kgのダールを調理する時の10倍の水が必要となる。

マメは最小限の加工しか必要とせず、冷蔵の必要もないため、フードサプライチェーンのその後の過程においても自然資源消費はきわめて少なく済む。マメは保存性に優れているので、数ヶ月から数年の間、腐敗したり、栄養成分が失われたりすることなく貯蔵する

ことが可能である。これにより、腐敗による消費者の食料廃棄の可能性を低減し、食料不安のある家庭にとってマメはスマートな選択となる。

6. 食料安全保障とマメの果たす役割

1996年に開催された世界食料サミットにおける定義によれば、「食料安全保障はすべての人が、いかなる時にも、彼らの活動的で健康的な生活のために必要な食生活上のニーズと嗜好に合致した十分で、安全かつ栄養の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。」この定義に基づき食料安全保障は、供給可能性、アクセス、利用および安定性の4つの観点に整理して考えることができる。

1) 供給可能性

供給可能性とは、国内生産または輸入（食料援助を含む）によって、適正な品質の食料が量的に十分供給可能かどうかということである。すでに述べてきたように、生産の点から見て、マメは優れた作物である。マメを導

入することにより、低投入型農業生産システムを構築することは、環境負荷への影響を極力少なくしつつ、食料生産を増やして、供給可能性を高めていく上で有効な手段となるだろう。また、気候変動に対する適応品種の開発に関してもマメは有望な作物である。

さらに、マメは食料ロスの割合が低いことから、このシェアが増えれば、供給可能性を高めることになることも考えられる。

2) アクセス

アクセスとは、個々人が栄養ある食事を作るために適切な食料を得るための十分な資源にアクセスすることができるかどうかということである。これは個人がその生活するコミュニティの中で保持することのできる法的、政治的、経済的および社会的な「権利」ともいえる。

このアクセスに関しては、「権利」とマメの関係を直接結びつけることはできない。しかしながら、たとえば同じ土地資源の中で、マメを作付け体系に導入することで、低投入で高収量を上げることが期待できることから、そうした資源を十分に持たない人々にとっては、同じ資源からより多くの食料を調達できる可能性がある。また、マメの生産による現金収入の増加や、加工施設による雇用機会の増加といった点でも間接的に食料調達の機会を増やすことになり、こういった点はアクセスの改善につながる事が考えられる。

3) 利用

利用とは、すべての生理学的要求に合致した、よい栄養状態を達成するために適切な食事、清潔な水、公衆衛生、健康管理といった点に配慮した食料の利用ができるかどうかということである。

マメはタンパク源として優れ、食物繊維お

よびビタミン、ミネラルを多く含むことから、十分は食材を調達できない人々にとって、栄養バランスの取れた食事をとるために、すぐれた食材である。また、貧血に陥りやすい妊産婦や子供にとってもきわめて有効な食料である。一方で、脂質が少なく、コレステロールも含まないことから、成人病の予防といった点からも活用が期待でき、利用面からみて優れた食物であるといえる。

4) 安定性

安定性とは、地域住民、家族あるいは個人がいかなるときも十分な食料にアクセスできるかどうかということである。経済や気候の突発的な変動、あるいは季節的な食料不安によって食料へのアクセスが損なわれることがあってはならない。供給可能性とアクセスの両方とも安定性が保たれていなければならない。

マメは気候変動への対応性が高い作物であり、地球温暖化による農業生産環境の変化に対し、安定性を保つために有効な作物と考えられる。また、保存性に優れていることから備蓄にも適しており、年間を通じて安定して供給を確保しやすいという点からも、安定性に寄与することができる。

以上の点から、マメの生産を増やし、流通を盛んにし、また他の競合食品に負けないような美味しい食べ方を工夫し、普及させるなどして消費を増やしていくことができれば、将来の食料安全保障にとって1つの有益な手段といえるのではないだろうか。また、マメの生産は特定の地域や国に集中しており、栽培適地を拡大していくことも食料安全保障のために必要ではないだろうか。

おわりに

以上のような食料安全保障の観点からも、マメは優れた作物であるといえる。国際マメ年を機会に、こうしたマメの利点が理解され、将来的な生産や食べ物としての消費の拡大に繋がることを期待したい。

なお、本稿は主としてFAOの国際マメ年のホームページを参考に記述しているが、詳細については、ホームページ上の参考文献を照会して頂きたい。

参考文献

- 1) FAO 2015, <http://www.fao.org/pulses-2016/en/>
- 2) FAO 2016, FAOSTAT, <http://faostat3.fao.org/home/E>
- 3) FAO, IFAD and WFP 2015, The State of Food Insecurity in the World: 53p.
- 4) FAO 2006, Policy Brief Issue 2 : 1p.
- 5) UN 2013, Resolution adopted by the General Assembly on 20 December 2013.

(国際連合食糧農業機関駐日連絡事務所
副所長)

JAICAF 会員制度のご案内

当協会は、開発途上国などに対する農林業協力の効果的な推進に役立てるため、海外農林業協力に関する資料・情報収集、調査・研究および関係機関への協力・支援等を行う機関です。本協会の趣旨にご賛同いただける個人、法人の入会をお待ちしております。

1. 会員へは、当協会刊行の資料を区分に応じてお送り致します。
また、本協会所蔵資料の利用等ができます。
2. 会員区分と会費の額は以下の通りです。

賛助会員の区分	会費の額・1口
正会員	50,000 円／年
法人賛助会員	10,000 円／年
個人賛助会員	10,000 円／年

※ 刊行物の海外発送をご希望の場合は一律 3,000 円増し（年間）となります。

3. サービス内容

会員向け配布刊行物

- 『国際農林業協力』（年 4 回）
- 『世界の農林水産』（年 4 回）
- その他刊行物（報告書等）（不定期）

ほか、

JAICAF および FAO 寄託図書館での各種サービス
シンポジウム・セミナーや会員優先の勉強会開催などのご案内

※ 一部刊行物は当協会ウェブサイトにて全文または概要を掲載します。
なお、これらの条件は予告なしに変更になることがあります。

◎ 個人で入会を希望される方は、裏面「入会申込書」をご利用下さい。

送付先住所：〒107-0052 東京都港区赤坂 8-10-39 赤坂KSAビル 3F
Eメールでも受け付けています。

E-mail : member@jaicaf.or.jp

◎ 法人でのご入会の際は上記E-mailアドレスへご連絡下さい。

折り返し手続をご連絡させていただきます。不明な点も遠慮なくおたずね下さい。

平成 年 月 日

個人賛助会員入会申込書

公益社団法人 国際農林業協働協会
会長 西 牧 隆 壯 殿

住 所 〒

T E L

ふり がな
氏 名

印

公益社団法人 国際農林業協働協会の個人賛助会員として平成 年より入会
したいので申し込みます。

個人賛助会員（10,000 円／年）

- (注) 1. 海外発送をご希望の場合は、一律 3,000 円増しとなります。
2. 銀行振込は次の「公益社団法人 国際農林業協働協会」普通預金口座に
お願いいたします。
3. ご入会される時は、必ず本申込書をご提出願います。

みずほ銀行東京営業部	No. 1803822
三井住友銀行東京公務部	No. 5969
郵便振替	00130 — 3 — 740735

「国際農林業協力」誌編集委員（五十音順）

- 安 藤 和 哉 （一般社団法人海外林業コンサルタント協会 総務部長）
池 上 彰 英 （明治大学農学部 教授）
板 垣 啓四郎 （東京農業大学国際食料情報学部 教授）
勝 俣 誠 （元明治学院大学国際学部 教授）
狩 野 良 昭 （元独立行政法人国際協力機構農村開発部 課題アドバイザー）
紙 谷 貢 （元財団法人食料・農業政策研究センター 理事長）
原 田 幸 治 （一般社団法人海外農業開発コンサルタント協会 企画部長）
藤 家 梓 （元千葉県農業総合研究センター センター長）

編集者注記

本特集では、「国際マメ年2016」の対象となるマメ類（Pulses）に限らず、国際的には油糧作物とされるダイズ、ラッカセイ等、開発途上国において重要なマメ科作物を含めて取り上げています。

国際農林業協力 Vol. 39 No. 1 通巻第 182 号

発行月日 平成 28 年 5 月 31 日

発行所 公益社団法人 国際農林業協働協会

発行責任者 専務理事 藤岡典夫

編集責任者 業務グループ調査役 小林裕三

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目 10 番 39 号 赤坂KSAビル 3F

TEL (03)5772-7880 FAX (03)5772-7680

ホームページアドレス <http://www.jaicaf.or.jp/>

印刷所 日本印刷株式会社

International Cooperation of Agriculture and Forestry

Vol. 39, No.1

Contents

The Significance of the International Year of Pulses 2016 and the Action in Japan.

IIDA Michio

International Year of Pulses 2016 - Crops That Give a Grace to the Animals and Plants on the Earth -

Utilization and Nutrition of Food Beans, Being Inestimable for Human Being.

SAIO Kyoko

Current Status of Genomics and Its Application in Legume Crops.

NAITO Ken and SAKAI Hiroaki

The Roles of Grain Legumes for Famers' Livelihoods in Sahel and Semi-arid Region of West Africa.

MURANAKA Satoru

Prospects for Improving Soybean Production in Madhya Pradesh.

ARIHARA Joji

Pulses, the Contribution to Food Security.

WATANABE Kazuma