

遺伝子組換えダイズの生物多様性 影響評価に必要なツルマメの 生物情報

国立研究開発法人
農研機構農業環境変動研究センター
生物多様性研究領域

吉村 泰幸

私たちの生活と ダイズ・ツルマメ

私たちの食卓には、煮豆、豆腐、醤油、納豆、きな粉、サラダ油、マヨネーズ、スナック菓子など、ほぼ毎日、ダイズ (*Glycine max* (L.) Merr.) から出来た加工食品が並んでおり、ダイズは日本人にとって馴染み深く、なくてはならない食材である。

ダイズは、野生種のツルマメ (*Glycine soja* Sieb.& Zucc.) から成立したとされ、両者の間に交雑の障壁はなく、雑種も健全に育つことが確認されている。ダイズの茎は直立するが、ツルマメは、その名のとおりつる性でセイタカアワダチソウやオオブタクサなど他の植物に絡みついて生育することが多い。葉はダイズと同じ三出複葉 (3枚の葉がセット) で、小葉は、長さ3~8cmのダイズより細めの狭卵形で、ダイズとよく似た5~8mmの赤紫色の花を咲かせる (図-1左)。莢は長さ2.5~3cmで、褐色毛を密生する。種子は黒色で、長さ4.5mmほどの扁平な楕円形で (図-1右)、一見ダイズとは全く違う植物に見える。

ツルマメは、日本、朝鮮半島、シベリア、中国、台湾など、東アジアに広く分布する1年生の雑草で (図-2)、道端などどこにでも生育している植物ではないが、田んぼの周囲や河川敷、耕作放棄地などを探すと、比較的容易に見つけることができる。実は、このような主要作物の直接の祖先種が身近



他の植物にからみつくツルマメ

ツルマメの莢と種子

図-1 野外に生育するツルマメの様子



図-2 ツルマメの分布

に分布している例はたいへん珍しい。

近年、各国の遺跡より得られた炭化種子の形態や炭素年代測定の比較では、紀元前9000~5000年あたりから東アジアの複数の場所でツルマメからダイズへの栽培化が進んでいた可能性が指摘され、日本もその起源地の一つと考えられるようになった (島本2003; Lee et al. 2011)。最近までダイズは、弥生時代に稲作とともに大陸

から日本に伝えられたと考えられていたが、炭化種子の形態、土器の痕跡、炭素年代測定から、縄文時代中期以降から栽培化が始まり (小畑ら2007; 中山2009; 会田ら2012)、その歴史がよりさかのぼることが判明した。

奈良時代に書かれた古事記や日本書紀には、豆類が重要な農作物として扱われており、アズキとともにダイズは広く栽培された。その後、鎌倉・室町



図-3 遺伝子組換えダイズ

時代には、精進料理として湯葉や豆腐が広まり、江戸時代には、味噌や醤油の自家製造が一般的になった（濱屋・山下 2002）。明治初期から大正末期にかけて、また、第二次世界大戦後しばらくは、ダイズはさかんに栽培され、その栽培面積は、40万ha台に達していたが、海外からのダイズ輸入、自由化等により減少し、近年は12～14万haほどで横ばい状態である（農林水産省 2016a）。平成25年のダイズの国内自給率は、約6%で、残りの94%を海外からの輸入に依存している。輸入相手先として、アメリカが166万トンと最も多く、ブラジル65万トン、カナダ38万トンと続く（農林水産省 2016b）。

遺伝子組換えダイズ（図-3）、とくに、ある特定の除草剤に耐性をもつダイズは、その散布時期等の管理が柔軟であること、土壌浸食が深刻な国にとって、除草剤耐性ダイズを用いた不耕起栽培が、土壌浸食を防ぐ有効な手段であること、収穫物に夾雑物が少なくなることなどの利点があり、アメリカでは、本特性を持ったダイズが、全ダイズ栽培面積の94%を占めている（USDA 2016）。しかし

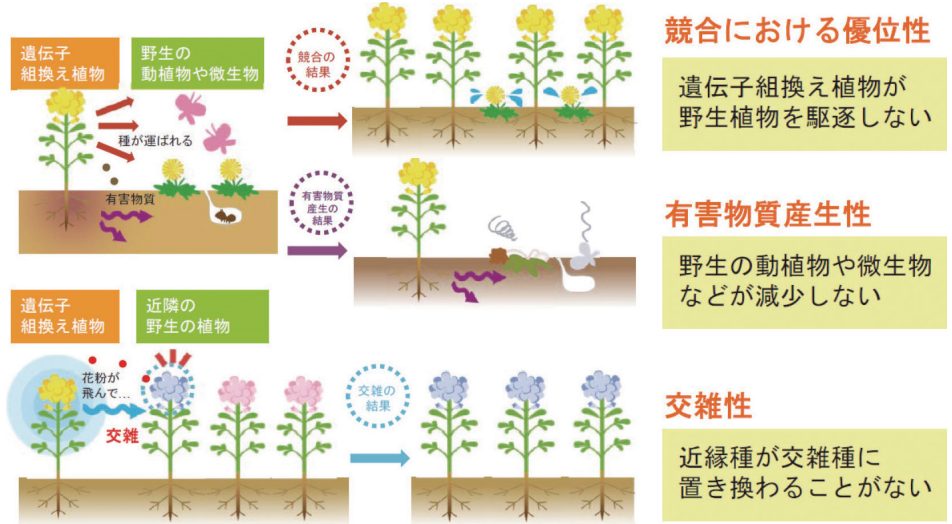


図-4 カルタヘナ法における遺伝子組換え作物の三つの生物多様性影響

ながら、除草剤耐性品種を採用することによる問題も発生している。世界の26の国々で、除草剤グリホサートに耐性を持つオオホナガアオゲイトウ (*Amaranthus palmeri*) やブタクサ (*Ambrosia artemisiifolia*) など35種の雑草が出現している (Heap 2016)。除草剤耐性ダイズの栽培のない日本においても除草剤耐性の雑草が発生している (Niinomi *et al.* 2013) ことから、全ての除草剤耐性雑草が、除草剤耐性作物の大規模栽培の結果生じたわけではないが、現在では、複数の除草剤に耐性をもつ品種を用いたり、機械的な除草方法を併用したりと、以前より単純な除草体系で雑草を管理できなくなっている (松尾・吉村 2015)。また、遺伝子組換えセイヨウアブラナよりは、少数であるが、搬送途中のこぼれ落ちにより、遺伝子組換えダイズが輸入港周辺の道路わき等で生育しているケースも報告されている (農林水産省 2015)。

カルタヘナ法における生物多様性影響評価

遺伝子組換えダイズを輸入、流通、

あるいは日本国内で栽培するためには、使用の目的に合わせて認可を得る必要がある。食品としての安全性は、「食品衛生法」、飼料としての安全性は、「飼料安全法」、生物多様性への影響は、「カルタヘナ法」（正式には、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」）に基づき、科学的安全性を審査し、問題が生じないと評価されて初めて使用できるしくみとなっている。

遺伝子組換え生物が野生動植物の急激な減少などを引き起こし生物の多様性に影響を与えないように採択されたのが、「生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」であり、この議定書を日本で実施するために、この「カルタヘナ法」が2004年2月に施行された。カルタヘナ法の生物多様性影響評価では、主に、「競合における優位性」、「有害物質の産生性」、「交雑性」の観点から、野生動植物の種または個体群の維持に支障を及ぼすおそれがある影響が生じないかどうかを評価している（図-4）。交雑性で問題となるのが、在来の近縁野生種との交雑である。前述したように日本を含む東アジアには、ツ

表-1 遺伝子組換えダイズの生物多様性影響
評価に必要なツルマメの生物情報集
の目次

序論
1. はじめに
2. 研究方法
I 分類学的位置づけと分布
1. <i>Glycine</i> 属植物の分類
2. ツルマメの分布
3. ツルマメの生育環境と共存植物
II ツルマメの生活史特性
1. 生活史と生育型
2. 発芽条件
3. 栄養成長及び開花・結実
4. 交雑様式
5. 種子生産と散布様式
6. 昆虫による食害
III ツルマメとダイズの特性比較
1. 遺伝的特性の比較
1) 核型にみられる差異
2) 塩基配列にみられる差異
3) 遺伝的類縁関係
2. 形態的特性の比較
1) 種子の形態にみられる差異
2) 葉型にみられる差異
3. 成熟群の比較
IV ツルマメとダイズの雑種形成と 遺伝子浸透
1. 自然雑種形成と雑種個体の特性
2. 人工交雑による雑種個体の特性解明
1) 雑種第一代の特性
2) 雑種後代の特性
3) 適応度に関する量的形質遺伝子座 (QTL)
3. ダイズからツルマメへの遺伝子浸透 の可能性
V 引用文献

ルマメというダイズの近縁種の雑草が分布していることから、遺伝子組換えダイズの生物多様性影響を評価するためには、ツルマメとの交雑親和性、雑種後代の適応度などより幅広く、深い知見が必要になる。

ツルマメの生物情報集

2016年3月31日に、農業環境技術研究所報告第36号(吉村ら2016)に20数ページにわたって掲載された「遺伝子組換えダイズの生物多様性影響評価に必要なツルマメの生物情報集」(<http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/publish/bulletin.html> からダウンロード可能)は、これまで国内外で公表されたツルマメの様々な知見を集

めたものである。図鑑はもちろん、科学論文等も含まれ、以下のような項目でまとめられている(表-1)。

序論では、これまで日本国内において栽培、食用、飼料用として第一種使用が承認されている遺伝子組換えダイズの一覧を掲載し、この報告を作成するにあたっての背景や意義、情報の収集方法について記載した。

「I 分類学的位置づけと分布」では、ツルマメの生物学的な基本情報として、分類学的位置づけ、日本国内で分布が確認されている *Glycine* 属植物やその分布状況、共存植物や生育環境がまとめられている。本報告では、主にこれまでに公表された論文等をまとめているが、この報告用に独自に収集されたデータもあり、RuLis(農業環境技術研究所農村景観・調査情報)システムを用いて日本各地の自生地192地点の環境要因が解析された。

「II ツルマメの生活史特性」では、生活史や発芽、交雑などツルマメがどのように生育しているかについてまとめた。遺伝子組換えダイズの出現によって、その生物多様性影響を評価するためツルマメについての新しい様々な知見が集められたが、ツルマメを食害する昆虫は、その代表的な知見である。特に近年、遺伝子組換えダイズの一つに害虫耐性ダイズがあり、日本においても承認されているが(バイオセーフティクリアリングハウス2016)、このダイズには、チョウ目の昆虫が食べると毒となる成分が含まれ

ている。したがって、害虫耐性ダイズと交雑することによってこの毒素をもつ害虫耐性のツルマメが発生する可能性があり、その影響を評価するためのものである。東北、関東、中国、九州地方での調査の結果、ツルマメを食害するチョウ目害虫として、12科47種が判明し、生物情報集には、これらの種の一覧も掲載した。このような調査の中で、これまで何を食していたのか不明であったチャバネキボシアツバ、オクハマキのエサ(ツルマメ)が判明したケースもあった(安田ら2012)。

「III ツルマメとダイズの特性比較」では、ツルマメとダイズを、染色体や核ゲノム、ミトコンドリアの塩基配列など遺伝的特性の観点から、また、種子の形態、葉型など形態の違いで比較を試みている。SNPマーカーによる解析によると、各国のツルマメはダイズとは大きく異なる群を形成し、日本のツルマメがダイズに最も近縁で、韓国、中国、ロシアの順に遠縁になる傾向が認められており、栽培化の歴史を考えると大変興味深い。また、アメリカのダイズ品種は、13種類の成熟群に分類され、日本の品種は、開花までの日数、開花から登熟までの日数によって、その生態型が分類されているが、本報告では、日本の主要ダイズ97品種を日米の成熟群を対応したかたちで一覧にしており、日本各地のツルマメもUSDAの成熟群の分類で分けられ、見やすくまとめられている。このような成熟群による比較もあまり

例をみない。

「IV ツルマメとダイズの雑種形成と遺伝子浸透」は、カルタヘナ法で定義される生物多様性影響の「交雑性」を評価する重要な知見がまとめられている。例えば、1936年から2013年までに論文等で公表されたダイズとツルマメの雑種の評価世代や評価方法、評価形質などが一覧表として記載されている。搬送途中にこぼれ落ちた遺伝子組換えダイズとツルマメとの交雑が懸念されると前述したが、この項を参照する。

「V 引用文献」では、122の文献が記載されている。本報告内の内容は、多くの項目に分かれ(表-1)、各項目をそれほど深く掘り下げて記載されてはいないため、さらに詳細な文献を調査するには大変便利である。

これまで、作物については、その作物を専門に研究してきた研究者等によって出版されており、遺伝子組換え作物そのものの生物学的情報を集めたバイオロジードキュメントもいくつかの政府機関等(OECD 2016; OGTR 2016; CFIA 2016)によって作成され、公開されているが、一つの雑草種について、これだけの情報を網羅したものは、前例がないと思われる。

さいごに

この生物情報集によって、ツルマメの様々な情報がまとめられた。しかしながら、ツルマメの全ての生物学的な

情報が明らかにされたわけではない。現在、我々の研究グループでは、ツルマメの分布や開花を予測するモデルを構築し、日本の地域ごとに遺伝子組換えダイズとツルマメが交雑する可能性をより正確に評価すること、埋土種子となったツルマメ種子の寿命、周囲の植生の遷移に伴う個体数の変化を把握することにより、個体群の存続性を評価すること、さらに交雑によって生じた雑種が持つ組換え遺伝子が、世代が進むとどのように挙動するのかを予測する研究を行っている。このようなさらなる知見を積み重ねることによって、より正確な遺伝子組換えダイズの生物多様性影響評価が可能になると考えている。

引用文献

- 会田進ら 2012. 長野県岡谷市目切遺跡出土の炭化種実とレプリカ法による土器種実圧痕の研究. 資源環境と人類 2, 49-64.
- バイオセーフティクリアリングハウス 2016. <http://www.biodic.go.jp/bch/>
- Canadian Food Inspection Agency(CFIA) 2016. Biology Documents - Companion Documents for Directive 94-08. 1330723572623/1330723704097
- 濱屋悦次・山下洵子 2002. 日本の食文化における大豆の存在意義人口成長と大豆の蛋白質. 看護学統合研究 3(2), 9-17.
- Heap, I. 2016. International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org/Account/AboutUs.aspx>
- 小畑弘己ら 2007. 土器圧痕からみた縄文時代後・晩期における九州のダイズ栽培. 植生史研究 15-2.
- Lee, G.A. et al. 2011. Archaeological Soybean (*Glycine max*) in East Asia: Does

Size Matter?. PLoS ONE,6,e26720

松尾和人・吉村泰幸 2015. 遺伝子組換え作物の栽培国および輸入国における雑草問題 日作紀 84, 1-8.

中山誠二 2009. 縄文時代のダイズ属の利用と栽培に関する植物考古学的研究. 古代文化 61-63. 古代学協会.

Niinomi, Y. et al. 2013. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) on rice paddy levees in Japan. Weed Biology and Management 13, 31-38.

農林水産省 2015. 平成 26 年度遺伝子組換え植物実態調査の結果について <http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouan/151029.html>

農林水産省 2016a. 統計情報 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/>

農林水産省 2016b. 大豆のまめ知識 http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_tisiki/

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) 2016. <http://www.oecd.org/env/ehs/biotrack/consensusdocumentsfortheworkonharmonisationofregulatoryoversightinbiotechnologybiologyofcrops.htm>

Office of the Gene Technology Regulator(OGTR) 2016. Biology Documents. <http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/biology-documents-1>.

島本義也 2003. ダイズ「食用マメ類の科学—現状と展望—」. 養賢堂

USDA 2016. <http://www.ers.usda.gov/data-products/adoption-of-genetically-engineered-crops-in-the-us/recent-trends-in-ge-adoption.aspx>

安田耕司ら 2012. ツルマメを奇主植物とするチョウ目昆虫. 蛾類通信 263, 333-336.

吉村泰幸ら 2016. 遺伝子組換えダイズの生物多様性影響評価に必要なツルマメの生物情報集. 農業環境技術研究所報告第 36 号, 47-69.