

日本国内における遺伝子組換え作物の生態リスク評価のための研究

福井県立大学
生物資源学部
生物資源学研究科
講師

水口 亜樹

はじめに

日本国内では食用となる遺伝子組換え作物の商業栽培は未だ行われていない。しかし、海外から大量に輸入されてくる食糧や飼料、油糧用の作物の中に、遺伝子組換え作物（第一種使用承認済みのもの）はたくさん含まれている。したがって、日本国内で考え得る遺伝子組換え作物の生態リスクは、これら作物の輸入港周辺で輸送中にこぼれ落ちた種子が出芽、生育し、繁殖を繰り返すことによって定着し、さらに分布拡大した結果もたらされるかもしれない周辺生態系への悪影響である。

現在、世界ではトウモロコシ、ダイズ、ワタ、セイヨウナタネ等の遺伝子組換え作物が大規模に栽培され、日本へも輸入されている。日本ではこれらの遺伝子組換え作物の生態リスク評価に必要な生態学的知見を収集するための研究が行われてきた。このうち、本稿では遺伝子組換えダイズとセイヨウナタネに関する研究を紹介する。

遺伝子組換えダイズの生態リスク評価研究

ダイズ (*Glycine max*) と交雑可能な近縁野生種にはツルマメ (*G. soja*) がある (Xu *et al.* 2002)。ツルマメは、日本を含む東アジア在来の植物である (Tateishi and Ohashi 2001;)。日本では河原や住宅街の空き地、水田や畑の畦、用水路の法面などにごく

普通に生育している。ツルマメもダイズも虫媒植物であるものの、花が開く前に既に自花受粉している場合が多く、自殖性は高い (Carlson and Lersten 2004)。これまでの知見からダイズとツルマメは1%未満の頻度で自然交雑が可能であることがわかっている (Oka 1983; Karasawa 1936; Nakayama and Yamaguchi 2002; Mizuguti *et al.* 2009)。こうしたことから日本をはじめとする東アジアでは、遺伝子組換えダイズからツルマメへの自然交雑を介した遺伝子浸透に関する知見の集積が重要視されている。

農林水産省は2009年から毎年7～9月に、ダイズの輸入実績港10港の周辺地域（陸揚げ地点を中心に半径約5km以内）において、遺伝子組換えダイズやツルマメの生育状況を調査している（農林水産省ホームページ）。これまでの調査で、ダイズの生育は1港につき多くても5群落であり、遺伝子組換えダイズの生育が確認された港は10港中3港であること、遺伝子組換えダイズの生育は一定範囲内の輸送道路沿いに限られており、毎年同じ地点で確認できるわけではないことが明らかにされた。このことから、遺伝子組換えダイズが定着し分布拡大する可能性は今のところ低いと考えられる。また、この調査では、ダイズとツルマメの両方が生育していたのは鹿島港周辺のみであり、それらの生育場所は重複していなかったこと、採取したツルマメ個体には遺伝子組換えダイズとの交雑体は存在しないことが明らか

にされた。このことから遺伝子組換えダイズは今のところツルマメの生育地を奪ったり、ツルマメと交雑したりはしていないと判断される。

ダイズとツルマメの自然交雑が生じる要因として、①開花期が重複する、②距離的に近くにある、③花粉を媒介する昆虫がいる、という3つが挙げられる (水口ら 2011; 水口 2011)。

Mizuguti *et al.* (2010) では、①の開花期と②の距離を操作した圃場実験が行われた。この実験では、除草剤グリホサート耐性の遺伝子組換えダイズ系統40-3-2のうちMaturity Group (米国におけるダイズの熟期にもとづく生態型) がⅢからⅥの5品種を用い、さらに播種日を変えることで遺伝子組換えダイズの開花期を操作し、茨城県産のツルマメとの開花期の重複程度を変えることを試みた。あわせて、ツルマメがダイズに絡みつくようにした処理区を距離0mとし、花粉源のダイズから2, 4, 6, 8, 10m離してツルマメを栽培し、距離を操作した。その結果、開花期が重複した組み合わせほど、自然交雑率は高くなり、距離を離すと自然交雑率は激減した。また、Mizuguti *et al.* (2008) は、③の昆虫の量を操作した温室実験を行った。この実験では、閉鎖系温室の中で遺伝子組換えダイズとツルマメをポット栽培し、開花期を重複させ、温室内の網室でごく隣接してポットを配置した上で、セイヨウミツバチを大量に放飼した。その結果、この温室では、Mizuguti *et al.* (2010) で得られた最

大の自然交雑率 (0.097%) より高い交雑率が検出された (0.48%)。これらのことから、遺伝子組換えダイズとツルマメの自然交雑には、上記3つの要因が関与していることが明らかとなった。これら3要因を説明変数に用いれば、自然交雑率を定量的に予測することができる。

2015年現在、ダイズとツルマメの開花期の重複程度から自然交雑リスクを予測するモデルの作成が進んでいる。Ohigashi *et al.* (2014) は、1日に咲いた花数で示される開花期の経時変化のグラフを確率密度分布ととらえることで潜在的な開花期分布を描き、ダイズとツルマメの開花期分布の類似度を示す指標を「開花期重複度」と定義した。この指標は、従来用いられてきた「開花期重複日数」等の指標と比べると、自然交雑率との相関が高いため、自然交雑リスクの予測がより正確に行える。ツルマメの開花期は地域によって異なり、日長や温度に対する開花期の反応は地域集団によって遺伝的に異なることが明らかになってきている (水口ら 2007, 2009)。ツルマメの開花期に関わる環境因子の理解が進めば、自然交雑リスク予測のためのより頑強なモデルの作成が可能となる。先に述べた農林水産省の調査では、ダイズとツルマメの開花期である7~9月の生育状況が記録されている。開花状況や群落サイズ、群落間の距離等、必要なデータが得られれば、上記のモデルと組み合わせ、輸入港周辺における自然交雑リスクの定量化も可能となるだろう。

遺伝子組換えセイヨウナタネの生態リスク評価研究

セイヨウナタネ (*Brassica napus*) は、ヨーロッパ原産の一年生草本植物であり、日本でも明治初期に油糧用として栽培が始まったが、現在では多くを輸入に頼っている。セイヨウナタネは、日本の河原や線路沿いに野生化しているとして帰化植物の図鑑に掲載されている (清水ら 2001; 清水 2003)。今のところ、これらが海外から輸入した油糧用材料から逃げ出したものなのか、過去の国内栽培から逃げ出したものなのかはわかっていない。また、同属近縁種のセイヨウカラシナ (*B. juncea*) とアブラナ (*B. rapa*) もセイヨウナタネ同様、帰化種である。これらセイヨウカラシナとアブラナはセイヨウナタネと交雑して雑種を形成することが知られている (Scheffler and Dale 1994; Tsuda *et al.* 2014)。セイヨウカラシナとアブラナは日本の在来種ではないものの、既に日本の生態系で重要な地位 (ニッチ) を得ていることから、遺伝子組換えセイヨウナタネによるこれら2種を介した生態系への影響についての知見が求められている。

Mizuguti *et al.* (2011) は、油糧用セイヨウナタネの輸入港の1つである茨城県の鹿島港周辺の19地点において、2004年7月~2005年12月の間、毎月、セイヨウナタネの発生と繁殖についての調査を行った。この調

査では、セイヨウナタネの個体数と繁殖ステージの他、草刈り作業や降雨などによる攪乱のタイミングと頻度、他草種の繁茂程度を観察した。その結果、調査期間中に観察したほとんどの個体は種子繁殖に至ることなく死滅したが、一部の空き地では種子繁殖し次世代の実生が発生したことを観察した。その死滅要因は、主に草刈りや抜き取りによる人為的攪乱であり、一部の空き地では他草種との競合も関係していることが示唆された。また一方で、草刈り後の裸地に実生が多く発生していることが観察された。この調査で対照としたセイヨウナタネ個体には除草剤耐性の遺伝子組換え個体も含まれていたが、遺伝子組換え個体もそうでない個体も同様の場所に生育しており (農業環境技術研究所 2006)、どちらも同様に人為的攪乱によって死滅していた。

農林水産省は2006年から毎年4~6月に、セイヨウナタネの輸入実績港12~15港の周辺地域において、遺伝子組換えセイヨウナタネやセイヨウカラシナおよびアブラナの生育状況を調査している (農林水産省ホームページ)。2014年の調査で、セイヨウナタネは12港の周辺地域180群落で生育しており、9港の周辺地域82群落で遺伝子組換えセイヨウナタネが生育していた。また、カラシナの生育は11港の周辺地域196群落で、アブラナの生育は4港の周辺地域52群落で確認され、採取したいずれのカラシナおよびアブラナの個体からも遺伝

子組換えセイヨウナタネとの交雑体である証拠は確認されなかった。また環境省と国立環境研究所は2003年から毎年、主要なセイヨウナタネ輸入港やその周辺の河川敷等において除草剤耐性の遺伝子組換えセイヨウナタネおよびカラシナとアブラナの分布調査を行い、2009年以降、遺伝子組換えセイヨウナタネとアブラナの雑種と推定される個体を断続的に数個体確認している（バイオセーフティクリアリングハウスホームページ）。

以上の調査研究からは、遺伝子組換えセイヨウナタネは今のところ、定着し分布を拡大したり、同属近縁種のカラシナやアブラナの生育地を奪ったりはしておらず、また同属近縁種と交雑して雑種が定着するには至っていないと判断される。

これらの調査結果からは、遺伝子組換えセイヨウナタネは野外で定着する確率は低いように推察できる。しかし、このような事実をいくら積み重ねても、野外で遺伝子組換えセイヨウナタネが定着し分布拡大して周辺生態系へ悪影響を及ぼすリスクを明らかにしたことはない。また、遺伝子の組換えにより適応的な形質が変化すると定着する確率はその分高くなるし、変化する形質によって定着する確率が高くなる程度は異なるとされている（Hancock 2003）。こうした定着確率の増加が、周辺生態系に悪影響を及ぼす程のものなのかどうかは、個別の組換え形質による変化の程度を比較するだけではわからない。この問題を解決

するため、「定着する確率」を定量的に測る手法として個体群動態モデルの活用が現在進んでいる。

おわりに

今のところ遺伝子組換えダイズやセイヨウナタネは、それ自身が輸入港周辺にて定着したり、近縁種と交雑して雑種が定着したりはしていないので、その後、分布拡大して周辺生態系へ悪影響を及ぼす可能性は考えにくい。しかし、今後、遺伝子組換え作物の輸入量の増加、国際バルク戦略港湾政策等による荷揚げ港の集中、また環境ストレス耐性など適応度に関わる形質を高めた遺伝子組換え作物やより雑草性の高い作物種における遺伝子組換え体の導入により、定着し、分布拡大に至る遺伝子組換え植物が生じる可能性は否めない。遺伝子組換えダイズやセイヨウナタネを例に構築される交雑予測モデルや個体群動態モデルを活用し他の植物種にも応用することで、このリスクを回避する管理方法や監視方法を準備しておく必要がある。

謝 辞

本稿で紹介した著者の研究は、農林水産省委託事業「遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究」および「新たな遺伝子組換え生物にも対応できる生物多様性影響評価・管理技術の開発」により実施したものです。

引用文献

- バイオセーフティクリアリングハウスホームページ 調査・研究に関する情報 遺伝子組換え生物による影響監視調査 http://www.bch.biodic.go.jp/natane_1.html (2015年5月確認)
- Carlson, J.B. and N.R. Lersten 2004. Reproductive morphology. In "Soybeans, Improvement, Production, and Use" ed. by H.R. Boerma and J.E. Specht, American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, Madison, WI, pp.59-95.
- Hancock, J.F. 2003. A framework for assessing the risk of transgenic crops. *BioScience* 53, 512-519.
- Karasawa, K. 1936. Crossing experiments with *Glycine soja* and *G. ussuriensis*. *Jap. J. Bot.* 8, 113-118.
- 水口亜樹・吉村泰幸・松尾和人 2007. ツルマメの地域集団間における開花期の比較. *雑草研究* 52 (別), 182-183.
- Mizuguti, A. *et al.* 2008. Estimation of gene flow between wild and glyphosate-tolerant GM soybeans by honeybee in containment greenhouse. *International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms, 10th (Symposium Handbook)*, 115.
- Mizuguti, A. *et al.* 2009. Flowering phenologies and natural hybridization of genetically modified and wild soybeans under field conditions. *Weed Biology and Management* 9, 93-96.
- 水口亜樹ら 2009. ツルマメとダイズの交雑可能性評価のための開花調査. *雑草研究* 54(別), 120.
- Mizuguti, A. *et al.* 2010. Hybridization between GM soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) and wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.) under field conditions in Japan. *Environmental Biosafety Research* 9, 13-23.
- Mizuguti, A. *et al.* 2011. Persistence

in feral populations of *Brassica napus* originated from spilled seeds around the Kashima seaport, Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly* 45, 181-185.

水口亜樹ら 2011. 農業に由来する生態リスクの統合的評価に向けて：農薬・遺伝子組換え作物・雑草防除の生態リスク評価から全体のつながりを意識する. *日本生態学会誌* 61(2), 133-153.

水口亜樹 2011. 遺伝子組換えダイズとナタネの生態リスク評価に関する基礎的研究. *雑草研究* 56(2), 100-103.

Nakayama Y. and H. Yamaguchi 2002. Natural hybridization in wild soybean (*Glycine max* ssp. *soja*) by pollen flow from cultivated soybean (*Glycine max* ssp. *max*) in a designed population. *Weed Biol. Manag.* 2, 25-30.

農林水産省ホームページ 遺伝子組換え植物実態調査 <http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/torikumi/index.html#2> (2015年5月確認)

農業環境技術研究所 2006. 輸入港周辺の遺伝子組換えナタネは、従来のナタネ生育地にしか生育していない. 平成18年度研究成果情報 第23集 主要成果6 http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result23/result23_24.html (2015年5月確認)

Ohigashi, K. *et al.* 2014. A new method for evaluating flowering synchrony to support the temporal isolation of genetically modified crops from their wild relatives. *J. Plant Res.* 127, 109-117.

Oka, H. 1983. Genetic control of regenerating success in semi-natural conditions observed among lines derived from a cultivated x wild soybean hybrid. *J. Appl. Ecol.* 20, 937-949.

Scheffler, J.A. and P.J. Dale 1994. Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgen. Res.* 3:

263-278.

清水建美 2003. 「日本の帰化植物」. 平凡社, 東京, p. 83.

清水矩宏ら 2001. 「日本帰化植物写真図鑑」. 全国農村教育協会, 東京, p. 90.

Tateishi Y. and H. Ohashi 2001. Subtribe V. Glycininae 62. *Glycine* Willd. In: *Flora of Japan Volume IIb Angiospermae Dicotyledoneae Archilamydeae (b)* (ed. by Iwatsuki K., Boufford D.E. and Ohba H.). Kodansha, Tokyo, pp. 276-277.

Tsuda, M. *et al.* 2014. Possibilities of direct introgression from *Brassica napus* to *B. juncea* and indirect introgression from *B. napus* to related Brassicaceae through *B. juncea*. *Breed. Sci.* 64: 74-82.

Xu, D.H. *et al.* 2002. Diversity of chloroplast DNA SSRs in wild and cultivated soybeans: evidence for multiple origins of cultivated soybean. *Theor. Appl. Genet.* 105, 645-653.



朝顔・昼顔・夕顔・夜顔（アサガオ・ヒルガオ・ユウガオ・ヨルガオ）

（公財）日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

夕顔を除いてヒルガオ科のサツマイモ属あるいはヒルガオ属の一年生あるいは多年生草本。花は周知のとおりで、朝顔は小学校での観察実験や、夏休みの観察記録などで親しまれている。全国各地で朝顔市が開かれる。

朝顔は平安時代に中国から持ち込まれたとされ、牽牛子として薬用に用いられた。江戸時代に盛んに品種改良が行われ、多種多様な品種が作出されている。

近年、ダイズやトウモロコシなどの畑、荒地、川や池の堤などで朝顔ならぬアサガオが蔓延しつつある。マルバルコウ、アメリカアサガオ、マメアサガオ、マルバアサガオ、ホシアサガオなど、いずれもサツマイモ属の一年生草本で、朝顔と同じような葉と花をつける。蔓性でダイズやトウモロコシ畑で繁茂すると作物を覆ってしまつて手が付けられなくなる。朝顔と同様に帰化種ではあるが、これらのアサガオ類は、最近、熱帯アメリカなどから侵入し、またたく間に生息域を広げた。

朝顔にせよアサガオにせよ、早朝に開花すると昼頃には萎む。また、朝顔の開花が盛夏の一時に限られることから、その儂さを詠った歌は多い。

ありとてもたのむべきかは世の中を知らずる物は朝がほの花（和泉式部）

はかなさをまづ目の前に知らずるは籬の上の朝顔の露（相模）

翻つて昨今のアサガオの跋扈。ダイズ圃場に発生したホシアサガオはダイズを覆いつくし、見渡す限りピンク色の花を咲かせる。人の世の儂さも、ダイズ栽培の「夢」も打ち砕かれる。

ちなみに、万葉集に「容花（かほばな）」として昼顔が、源氏物語には朝顔の姫君と夕顔が登場するが、夜顔は明治時代になって持ち込まれたため、万葉集や源氏物語には出てこない。