



環境儀

NO.75

December 2019

国立環境研究所の研究情報誌

遺伝子組換え生物

GMO アンダーザブリッジ

除草剤耐性ナタネの生物多様性影響調査



国立研究開発法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/>



河川敷に咲いている菜の花。
なじみ深い日本の風景ですが、
橋の下では、海の彼方からやってきた
遺伝子組換えナタネとの遭遇があるようです。

セイヨウナタネは、主に食用油の原料として年間200万トン以上の種子が日本に輸入されており、カナダ産がおおよそ9割を占めています。カナダでは栽培面積の9割程度が遺伝子組換え(GM)により除草剤耐性となったセイヨウナタネ(除草剤耐性ナタネ)です。除草剤耐性を持つ作物は、その除草剤を散布することで農地に生える雑草だけを駆除することができ、栽培の労力を大幅に軽減できます。

日本国内では除草剤耐性ナタネの商業栽培はされていませんが、食品や飼料としての安全性は確認されており、生物多様性への影響についても、「カルタヘナ法」という法律に基づいて、「食用又は飼料用に供するため使用、栽培、加工、保管、運搬及び廃棄並びにこれらに付随する行為」について生物多様性影響が生じるおそれがないものと評価され、承認されています。その際、輸送中に種子がこぼれ落ちることによる影響も含めて評価されていますが、カルタヘナ法では、「国は、遺伝子組換え生物等及びその使用等により生ずる生物多様性影響に関する科学的知見の充実を図るため、これらに関する情報の収集、整理及び分析並びに研究の推進その他必要な措置を講ずるよう努めなければならない」と定められています。

そこで私たちは、2003年以来継続的に除草剤耐性ナタネの生育状況の調査を行っています。

CONTENTS

GMOアンダーザブリッジ

除草剤耐性ナタネの生物多様性影響調査

- Interview 研究者に聞く
国道沿いのナタネを追って p4 ~ 9
- Summary
除草剤耐性ナタネを探る p10 ~ 11
- 研究をめぐって
国民の不安を解消するための
遺伝子組換えナタネ分布調査
..... p12 ~ 13
- 国立環境研究所における
「除草剤耐性ナタネの生物多様性影響に
関する研究」のあゆみ p14

国道沿いのナタネを追って

国道などの道路のわきに黄色い菜の花を見たことはありませんか。港の近くでは、その中に輸入されたセイヨウナタネが混じっている場合があります。トラックなどで輸送される際に種子がこぼれ落ち、その場で育って花が咲いたものです。日本では、主に食用油の原料としてたくさんのセイヨウナタネの種子が輸入されており、高い割合で遺伝子組換えにより除草剤耐性となった除草剤耐性ナタネが含まれています。このような除草剤耐性ナタネが自然環境中にどれくらい分布しているのか、それが生物多様性に影響を及ぼすおそれがないのかを確認するために、国立環境研究所では、生物・生態系環境研究センターの青野光子さんと中嶋信美さんが中心になってナタネ輸入港の周辺地域でのモニタリング調査をしています。



青野 光子(あおの みつこ)
生物・生態系環境研究センター 副センター長



中嶋 信美(なかじま のぶよし)
同 環境ゲノム科学研究推進室 室長

輸入される除草剤耐性ナタネ

Q：調査を始めたきっかけは何ですか。

青野：環境省から「野外にこぼれ落ちた種子から生育したセイヨウナタネがあるようなので調べてほしい」という依頼があったためです。そこで植物の分子生物学が専門の私たちの研究室が担当することになり、2003年に予備調査をし、翌年から本格的な調査が始まりました。

中嶋：ちょうど同じ時期に、私も同様の調査を始めました。

Q：日本にはどれくらいのセイヨウナタネ種子が輸入されているのですか。

中嶋：主にカナダから年間200万トンほど輸入されています。日本のナタネの自給率は1%以下なので、食用油や飼料に入っているナタネはほとんどが輸入ものと考えてよいでしょう。また、カナダにおける除草剤耐性ナタネの作付面積のデータから、輸入ナタネのおよそ80%は除草剤耐性ナタネであると推定されています。

Q：除草剤耐性ナタネはどんな性質を持っていますか。

青野：特定の除草剤に耐性をもつようになった作物は、その除草剤をまいても枯れません。農地に除草剤をまくと、雑草だけが枯れるので、農作業の手間が大幅に削減できます。遺伝子組換え除草剤耐性ナタネは、除草剤耐性をもたらすタンパク質の遺伝子をセイヨウナタネに導入してつくられたもので、ラウンドアップ耐性ナタネとバスタ耐性ナタネの2種類があります。ラウンドアップも、バスタも除草剤の商品名で、ホームセンターなどでも売られている一般的なものです。除草剤耐性ナタネの食料や飼料としての安全性は確認されていて、日本でも食品として承認されており、主に食用油の原料としてたくさん輸入されています。栽培も承認されていますが、日本では商業栽培はされていません。

Q：遺伝子組換え作物のなかで、なぜナタネが調査対象になったのでしょうか。

青野：遺伝子組換え作物のうち、トウモロコシやワタなどは日本では越冬できないと考えられ、また近縁種も自生していないので、日本の在来種との間で雑種ができて生物多様性に影響を及ぼすということはありません。一方、ナタネについては交配可能な近縁種であ

る在来ナタネやカラシナ（ともに栽培由来）が農地などにあたらない一般環境に自生していることから、日本の生物多様性に影響を及ぼすおそれがないかを確認するために調査対象となりました。

中嶋：除草剤耐性ナタネは生物多様性影響評価を経て輸入が承認されたものの、日本在来の野生動植物以外では交雑可能な近縁種が存在することから、これら近縁種が交雑した場合に生ずる間接的な影響がないかを確認するため、除草剤耐性ナタネの分布状況に関する情報を集めることとなりました。

輸入港の周辺を調べる

Q：どのように調査を始めたのですか。

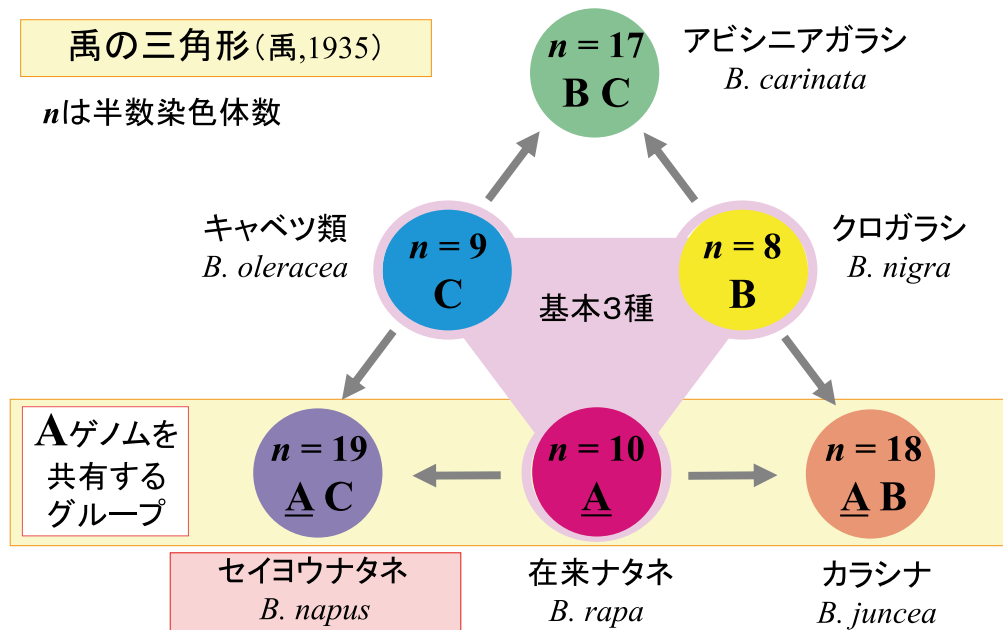
青野：環境省からの請負の調査研究業務として、

2003年に予備調査が始まりました。この時以来、この業務は一般財団法人自然環境研究センター（以下、自然研）と密接に連携しながら行っています。基本的に、自然研がサンプリング、国立環境研究所が種子からの芽生えの栽培や試料の分析、と役割分担しています。2003年にはまず、河川敷や茨城県の鹿島港の近辺など、関東地方の野外に生えているセイヨウナタネや近縁種のカラシナから種子を採集して調べてみましたが、除草剤耐性ナタネはみつかりませんでした。そこで、翌年からは除草剤耐性ナタネを輸入している港を中心にもう少し広く調べてみようということになりました。全国には主な輸入港が12あり、その周辺地域のナタネを調べました。港を東と西に分けて東半分を調査したら翌年は西半分という具合に、2004年か

コラム①

セイヨウナタネとその近縁種の関係 — 禹の三角形 —

アブラナ属 (*Brassica*) 栽培植物のゲノム構成と類縁関係



■ 図1 アブラナ属栽培植物のゲノム構成とその類縁関係を表す禹の三角形。

在来ナタネ (Aゲノム 染色体数 $n=10$)、クロガラシ (Bゲノム 染色体数 $n=8$)、キャベツ (Cゲノム 染色体数 $n=9$) はアブラナ属の基本3種と呼ばれています。私たちが研究対象としているセイヨウナタネ (ACゲノム 染色体数 $n=19$) は在来ナタネとキャベツが交雑したのち、染色体が倍化してできたものです。一方、国内の河川敷でよく見られるカラシナ (ABゲノム 染色体数 $n=18$) は、在来ナタネとクロガラシが交雑したのち、染色体が倍化してできたものです。ちなみに、クロガラシとキャベツが交雑し

たのち、染色体が倍化してできたものにアビシニアガラシ (BCゲノム 染色体数 $n=17$) があります。このアブラナ属の関係は1935年に禹長春 (ウ・ジャンチュン) が発見したもので「禹の三角形」と呼ばれています。在来ナタネ、セイヨウナタネ、カラシナはどれもAゲノムを共通して持つため、遺伝子組換えセイヨウナタネとの雑種形成の可能性が高いと考えられるのです。また、A、B、Cの各ゲノムに特異的な塩基配列を検出するDNAマーカーを用いれば、種の同定や雑種の判定に役立てることができます。

ら2008年まで交互に調査しました。農林水産省も先に調査を始めていたので、2006年からは分担して、港湾内を農水省が、港の周辺や港からの道路を環境省や国立環境研究所が調べることになりました。

Q: 港の周辺地域では除草剤耐性ナタネや雑種はみつかりましたか。

青野: これまでの私たちの調査では、12の港湾の周辺地域のうち、8つの地域で除草剤耐性ナタネが見つかりました。ある年に見つかったり、翌年には生え

ていないこともありましたが、草刈りなどで環境が変わると、見つからなくなることもあります。2008年までの調査で、三重県の四日市、福岡県の博多、茨城県の鹿島の港周辺に除草剤耐性ナタネが多く見つかり、2009年からはこれらの港の周辺地域の調査にシフトしました。除草剤耐性の雑種子は、2008年に四日市で初めて見つかりました。

中嶋: 農水省が鹿島港に除草剤耐性ナタネがあることを発表したの、私は環境省請負業務とは別に、鹿島港から成田までナタネを運ぶ道路を調べました。最初は車で道路を調べたのですが、それでは速すぎて見つからないので、鹿島から成田までの間の約20kmを歩



道路沿いでナタネ採取の様子

いて調査しました。サンプリングした2000試料くらいのナタネのうち38試料で除草剤耐性ナタネが見つかったのですが、いまは生えていません。

Q: それはなぜですか。

中嶋: 2011年3月の東日本大震災で液状化現象がおり、道路を張り替えたためです。それまで生えていた植物は取り除かれました。それから、農水省が事業者に対し港から積み込んだ種子が運搬の途中でこぼれ落ちないように運搬の方法を指導したためです。それで運搬方法が改善されたこともあり、鹿島港周辺ではナタネが減りました。

Q: どうして種子がこぼれ落ちるのですか。

コラム②

遺伝子組換え技術とは

遺伝子は核酸(DNAやRNA)でできています。核酸に別の核酸の一部が挿入されたり、入れ替わることを「遺伝子組換え」と言います。例えば有性生殖する生物は、オス由来のDNAとメス由来のDNAをシャッフリングして、新たな塩基配列をもつ生殖細胞を作っています。その他、大腸菌にウイルスの一種であるバクテリオファージが感染すると、バクテリオファージのDNAの一部が大腸菌のDNAに取り込まれるといったことが起こります。このように遺伝子組換えは生物の生活史の中で普遍的に見られるため、自然界での遺伝子組換えで生成した生物は「遺伝子組換え生物(Genetically Modified Organisms, GMO)」とは呼びません。

1980年代に人為的に加工したDNAを生物へ導入する技術

が誕生しました。これを「遺伝子組換え技術」と呼びます。異種の細胞を融合する「細胞融合」、DNAを物理的に細胞へ導入する「パーティクルガン」や「リポフェクション」、ウイルスや土壤細菌(アグロバクテリア)を介してDNAを導入する「トランスフェクション」や「アグロインフェクション」などの技術があります。

遺伝子組換え技術を使えば、自然には発生しない塩基配列を持った生物(すなわちGMO)を人為的に作るができます。例えば、1980年代に大腸菌にヒトインシュリン遺伝子を導入することにより、大腸菌によるヒトインシュリンの大量生産に成功し、糖尿病患者の寿命が飛躍的に伸びました。1990年代には除草剤耐性遺伝子を導入した農作物が作られ、遺伝子組換え農作物の商業栽培が始まりました。しかしながらこうした遺伝子組換え生物については、生物多様性に悪影響を生じさせることを防止するため、利用にあたってはカルタヘナ法で定めたルールに従う必要があります。



道路沿いに見られるナタネの生育風景

中嶋：タンクローリーのような密閉したコンテナだと種子は落ちませんが、シートをかぶせただけのトラックに積み込むと、種子がこぼれ落ちてしまいます。運搬業者としては、飼料用の穀物など安く売りたいものは、梱包を簡単にして運びたいのでしょう。鹿島では、こぼれ落ちる種子の量は激減しました。業者の対応によってだいぶ変わるのですね。そうして調査を進めるうちに、除草剤耐性ナタネが生育しやすい場所がわかり、重点的にその場所をモニタリングしています。

Q：どんなところが生育しやすいのですか。

中嶋：水の流れる場所です。例えば、橋の排水穴に泥が詰まっているところにたくさんナタネが生えているんです。おそらく道路にバラまかれた種子が雨水と一緒に流れてくるのでしょうか。さらに、河川敷をよく見ると、橋の上から雨水が流れるところに沿ってナタネが生えています。

青野：私たちは、四日市地域を中心に調べています。この周辺はトラックによる運搬が多いせいか、依然としてナタネがたくさん生えています。

中嶋：国道23号線沿いのおよそ40kmの範囲をモニタリングしていますが、名古屋港から四日市港の間は生えていません。ところが、反対方向の四日市港から津まででは、道路沿いや河川敷、特に橋の下にナタネがたくさん生えています。雨水と一緒に種子が流されていく場所です。四日市では、道路沿いで5カ所、橋の下の河川敷では3カ所のポイントを決めて調べています。

除草剤耐性ナタネかどうかを明らかに

Q：除草剤耐性ナタネかどうかをどうやって調べるの

ですか。

中嶋：輸入されている除草剤耐性ナタネはセイヨウナタネです。私たちが調べているのは、主にセイヨウナタネと、その近縁種の在来ナタネ、カラシナです。この3種は外見から見分けられます。種子の大きさや背の高さ、枝分かれの違いなどにそれぞれ特徴があります。

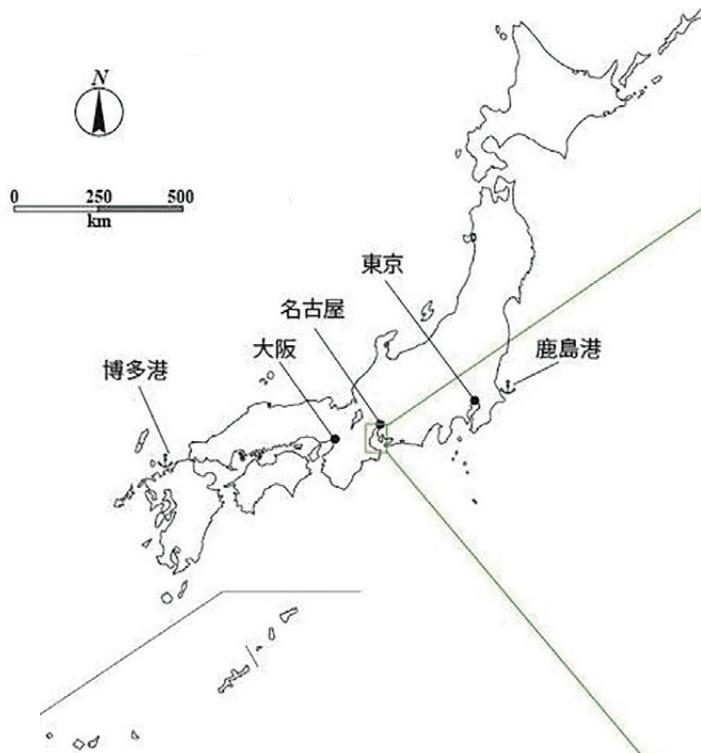
青野：まず春の調査では葉などの植物組織を集め、夏の調査ではその植物についている種子を集めます。植物組織と種子で、各々葉や

種子などをすりつぶした抽出液に、除草剤耐性タンパク質があるかどうかを免疫学的方法によって調べます。これはインフルエンザの検査などと同じ原理で迅速、簡単に調べられます。また、除草剤耐性タンパク質が見つかった試料からDNAを抽出して、除草剤耐性遺伝子があるかどうかを調べます。さらに、除草剤耐性タンパク質が見つかった種子は、所内にある特定網室という専用の温室で栽培して、除草剤耐性の性質があるかどうかを調べます。実際に除草剤を植物にかけても枯れないか、つまり耐性になっているかどうかを調べるのです。このように除草剤耐性タンパク質、そのタンパク質の情報を持っている遺伝子、植物の除草剤耐性という形質まで、3段階でしっかりと確認します。

Q：雑種かどうかはどのように調べるのでしょうか。

青野：まずは、外見で判断します。例えば、セイヨウナタネと在来ナタネの中間的な形態をしているなどです。外見では見分けられない場合は、フローサイトメーターという、液体の中を流しながら細胞ひとつひとつの性質を分析できる機器を使って調べます。コラム1でも述べているように、セイヨウナタネと在来ナタネは染色体の数が大きく違うので、その違いを利用して分類することができるのです。場合によっては、セイヨウナタネと在来ナタネとを区別するDNAマーカーを使って分類します。このように、除草剤耐性ナタネがどれくらいの範囲に生育しているか、またどのくらい雑種があるか、すなわちセイヨウナタネにあった除草剤耐性遺伝子がどれくらい在来ナタネに拡散しているかを明らかにします。

Q：調査ではどんなことに苦労しましたか。



■ 図2(左) 国道23号線と調査区の位置
四日市港で陸揚げされたナタネ種子は、国道23号線の塩浜大橋、鈴鹿大橋、雲出大橋を通過して松阪方面へ輸送される。



中嶋：道路の調査では、排気ガス対策としてマスクもサングラスもしていますから、特に夏は暑くて大変です。また、その姿から不審者として怪しまれたこともありました。

青野：除草剤耐性ナタネの分析方法が確立するまでは苦勞がありましたね。たとえばフローサイトメーターによる分析では、サンプリングしてすぐのフレッシュな試料でないといけなさとされていたので、調査サンプルが送られてくる日は、すぐに分析できるよう準備して待機していないといけませんでした。ところが、海藻を分析している研究者との雑談で、液体窒素で試料を凍らせて分析していることを偶然に聞きました。それで私たちが試料をいったん凍らせてから分析できることが分かりました。それ以来、都合のいい時間に

分析しています。おかげで分析がずいぶん楽になりました。雑談も役にたつものですね。

Q：調査で気が付いたことはありましたか。

青野：調査を進めているうちに、ナタネの仲間とはとても興味深い植物であることがわかりました。セイヨウナタネなどアブラナ科の植物は、交雑しやすい性質があり、ハクサイやカブなど身近な野菜もアブラナ科の植物の自然交雑によってできたものです。コラム1でも示した禹(ウ)の三角形と呼ばれるゲノムモデルにより表される種間のゲノム関係が知られているのです

コラム3

カルタヘナ法

「カルタヘナ法」は日本の法律で、「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」と言うのが正式名称です。1999年2月にコロンビアのカルタヘナで開催された生物多様性条約特別締約国会議を経て、2000年1月のカナダのモントリオールでの生物多様性条約特別締約国会議再開会合において「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(カルタヘナ議定書)」が採択され、2003年6月に締結国が50か国に達し、2003年9月に発効しました。

カルタヘナ議定書を日本で実施するための国内法として、

2003年6月にカルタヘナ法が公布され、カルタヘナ議定書が日本において効力を生じる2004年2月に施行されました。カルタヘナ法では、遺伝子組換え生物(GMO)を実験室などの閉鎖系で使用することを「第二種使用等」と呼び、生物多様性に影響を与えないように封じ込めるにはどうすべきかが規定されています。また、圃場などの開放系で使用することを「第一種使用等」と呼び、生物多様性に影響を与えないと評価された場合のみ、使用が可能となります。

ここで問題となるのが「生物多様性への影響」ですが、具体的には在来の野生生物に対する「分布の拡大による競合性」、「近縁種との交雑性」、「有害物質の産生性」の3点について評価され、これらの影響がないか、無視できるほど小さいと判断される場合に限り第一種使用が認められています。



が、ナタネの交雑関係は非常に広く、禹の三角形だけでは説明できないこともあります。例えば、海岸などに生えているハマダイコンというダイコンそっくりの植物があります。ハマダイコンは栽培しているダイコンが畑から逃げ出して増えたものと長い間考えられていたのですが、ハマダイコンから野菜のダイコンができたことが近年明らかになったんです。そのため、ハマダイコンもセイヨウナタネと交雑可能性のある日本の在来種として調査の対象になりました。

中嶋：野菜も含めてアブラナ科の植物は身近にたくさんあります。すでに交雑することがよく知られていて私たちが調査の対象としている種他に、セイヨウナタネと交雑可能な在来種がもしもっと見つければ、調査の対象が増えるかもしれませんね。

除草剤耐性ナタネは広がっていない

Q：調査の結果、どんなことがわかりましたか。

青野：十数年、調査をしてきて除草剤耐性ナタネと交配した非組換え体のセイヨウナタネや在来ナタネはみつかりましたが、それが他の植物を駆逐して広がってはいないことがわかりました。私たちの調査の結果は国会の答弁でも取り上げられています。これまで生物多様性に影響がみられていないというデータは、あまりマスメディアにはとりあげられていませんが、これ

(左上) 採集された種子試料。

(右) 葉の抽出液を用い免疫クロマトグラフィーによって除草剤耐性タンパク質を検出する。

(左下) 除草剤耐性タンパク質を検出する免疫クロマトグラフ試験紙(図3参照)。

は重要なことです。

中嶋：環境に関心の高い市民団体は独自に組換えナタネの調査をしています。その団体が環境省に調査結果をもとに疑問を投げかけてきます。私もナタネの生育情報がほしくて環境省経由で市民団体と交流しました。いまでは私たちに直接連絡がきて、サンプルが送られてきます。そうした市民の疑問に対して丁寧に答えることも私たちの重要な仕事です。

青野：特に野外の生育データは、多くの人の遺伝子組換え作物に対する懸念を晴らすためにも大事なデータですね。

Q：今後はどのように研究を進めたいですか。

青野：遺伝子組換え作物に対する世間の関心は高いので、これまでのデータも考慮しつつ、必要に応じてこれからもモニタリングは続けていく必要があります。

中嶋：今後は、害虫抵抗性のナタネなど違うタイプの遺伝子組換え作物の種子が入力された種子の中に混じってくる可能性があります。そんなときに、私たちが確立した分析方法や調査の結果が役に立つといいと思います。

除草剤耐性ナタネを探る

私たちの調査目的は、「除草剤耐性ナタネのこぼれ落ちた種子が、日本の生物多様性に影響を及ぼすおそれがないかを確認する」ことです。生物多様性への影響とは、具体的に何をさしているのでしょうか。そして、どのような調査をすれば生物多様性に影響を及ぼすおそれがないことが確認できるのでしょうか？

生物多様性への影響とは

生物多様性への影響とは、例えばそれまで生育していた在来種に代わって除草剤耐性ナタネだけが多く生育するようになったり、セイヨウナタネと交配可能な在来種が除草剤耐性の遺伝子を持つようになって、その結果、分布が変わったりすること等が考えられます。除草剤耐性ナタネを含むセイヨウナタネの主要輸入港とその周辺地域の道路沿いや河川敷で調査を行っているのは、道路沿いには輸送中にこぼれ落ちたナタネが生育すると考えられ、河川敷には従来からセイヨウナタネやその近縁種が生育しているからです。また、除草剤耐性ナタネが野外で交配しているかどうかを調べるため、対象となる植物は、セイヨウナタネの他、セイヨウナタネと交雑可能な近縁種である栽培由来の外来種（在来ナタネ、カラシナ）や日本の在来種（ハマダイコン、イヌガラシ等）を選んでいきます（表1）。

除草剤耐性の調べ方

除草剤耐性ナタネやそれらが交配してできた子孫の植物は、組換え遺伝子由来の除草剤耐性タンパク質を持っています。図3に調査方法をまとめました。除草剤耐性タンパク質、そのタンパク質の情報を持ってい

る遺伝子、そして植物の除草剤耐性をしっかりと確認するために考えた方法です。調査の対象としている除草剤耐性ナタネは2種類あり、一つはラウンドアップ耐性ナタネ、もう一つはバスタ耐性ナタネです。ラウンドアップ、バスタというのは除草剤の商品名で、有効成分の化学物質としてはそれぞれグリホサート、グルホシネートといいます。これらの除草剤耐性ナタネは、除草剤耐性タンパク質の情報を持っている微生物由来の遺伝子をセイヨウナタネに導入して作成された遺伝子組換え植物で、もともとはそれぞれ異なる企業によって開発されました（現在では合併して一つの企業になっています）。

除草剤耐性タンパク質と特異的に反応する抗体を用いた免疫クロマトグラフィーという方法を使い、野外に生育している植物（母植物）の葉や母植物から採取した種子の除草剤耐性タンパク質の有無を調べることができます。また、除草剤耐性タンパク質の情報を持っている遺伝子も検出して確認します。さらに、母植物由来の種子を温室で播種して実生を育て、除草剤を散布して、除草剤耐性があるかどうか、つまり除草剤をかけても枯れないかどうかを調べます。

調査の結果

ナタネの輸入港から種子を運搬する際、種子がこぼれ落ちて道路沿いなどで発芽し、生育している、というのは調べてみるとそう珍しいことではありません。実際、2008年までの調査で、除草剤耐性ナタネを含むセイヨウナタネの主要輸入港である国内の12の港湾、すなわち鹿島、千葉、横浜、清水、名古屋、四日市、堺泉北、神戸、宇野、水島、北九州、博多と各港湾の周辺の地域のうち、鹿島、千葉、清水、名古屋、四日市、神戸、水島、博多の8地域の港湾や、輸入したナタネの輸送経路と考えられる主要道路沿いで、除草剤耐性ナタネが見つかっています。

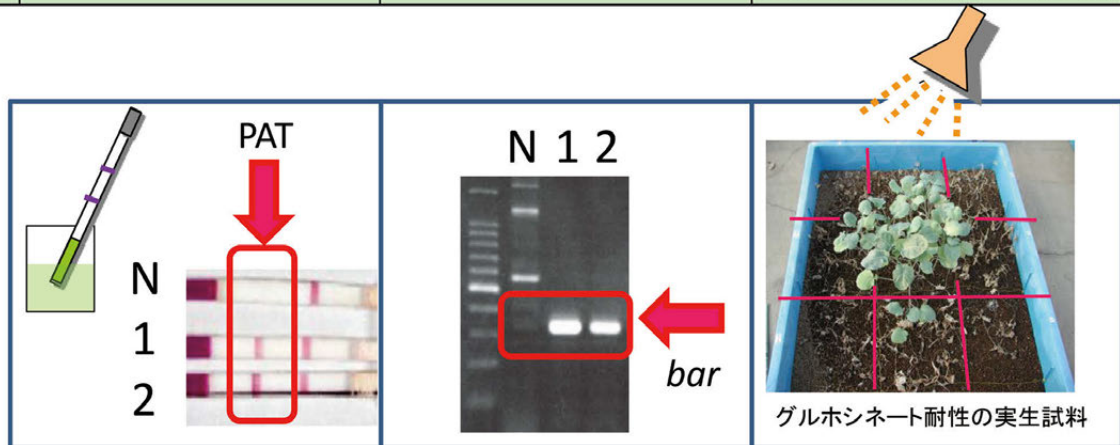
特に四日市地域では、輸送経路と考えられる国道23号線の橋の下にあたる河川敷で、除草剤耐性ではないセイヨウナタネ母植物から採取した種子で除草剤耐性が確認されたり（除草剤耐性ナタネと非遺伝子組換えナタネとの交配が生じていることを示唆）、1種

栽培由来の外来種	日本の在来種
在来ナタネ (<i>B. rapa</i> L.)	ハマダイコン (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>raphanistroides</i> (Makino) Makino)
カラシナ (<i>B. juncea</i> L. Czern.)	イヌガラシ (<i>Rorippa indica</i> L. Hiern)

■表1 セイヨウナタネ (*Brassica napus* L.) (除草剤耐性ナタネを含む) と交雑可能な近縁種の例

栽培由来の外来種には、「在来ナタネ」と呼ばれる種もありますが、日本国外から野菜等として持ち込まれ、栽培場所以外でも自生するようになったものと考えられます。ハマダイコンは栽培種のダイコンの祖先と考えられています。イヌガラシについては、2016年以降は試料の採取はせず、生育分布調査のみ行っています。

検出対象	除草剤耐性タンパク質	除草剤耐性遺伝子	除草剤耐性
調べ方	植物の組織に、除草剤耐性タンパク質が存在するかどうかを免疫反応を利用して調べる。	遺伝子組換えによる外来遺伝子(ここでは除草剤耐性遺伝子)を持っているかどうかをDNA配列で確認する。	植物が実際に除草剤に耐性となっているかどうかを除草剤を散布することで調べる。
特徴	インフルエンザ診断と同じように簡単に調べられる。下図の赤枠内部分で、紫色の線が除草剤タンパク質の存在を表している。	除草剤耐性タンパク質の情報を持つ遺伝子の存在が正確に調べられる。下図の赤枠内で、白い線が遺伝子の存在を表している。	種子をまいて発芽させ育てた植物(実生)の除草剤耐性という性質を確実に調べられる。下図では線で示した9区画で生育させた実生のうち、中央の区画の実生だけが除草剤耐性を示している(つまり枯れていない)。



■ 図3 ナタネ調査の方法

野外の植物を採取し、母植物、種子、種子由来の実生を試料として、除草剤耐性タンパク質、そのタンパク質の情報を持っている組換え遺伝子(除草剤耐性遺伝子)、そして除草剤に対する耐性を調べます。図中のNは対照の非組換え植物由来の試料、1、2は除草剤耐性タンパク質や遺伝子を持つ野外の植物由来の試料です。また、PATはグルホシネート耐性タンパク質、barはグルホシネート耐性をもたらす酵素の遺伝子を示します。

類しか除草剤耐性を持っていない母植物から採取した種子で2種類の除草剤耐性が確認されたり(2種類の除草剤耐性ナタネが河川敷で交配したことを示唆)、セイヨウナタネと在来ナタネの雑種と思われる種子で除草剤耐性が確認されたり(除草剤耐性ナタネと在来ナタネの交配が生じていることを示唆)しています。そこで、最近では四日市地域の主要道路沿いの河川敷周辺に特に注目して調査を行っています(図2)。あわせて鹿島、博多地域でも同様に主要道路沿いの河川敷において調査を実施しています。

毎年の調査では、数百個体の母植物と種子の試料を調べています。四日市地域におけるセイヨウナタネのうち除草剤耐性ナタネ(除草剤耐性タンパク質が検出された試料)の割合は、2008年から2016年までの平均で、母植物試料、種子試料とも約7割で、年による大きな変動はありませんでした。種の判定は、ま

ずは外見で行いますが、外見だけでは判定できない試料については、細胞内の相対的なDNA量(種によって異なる染色体数を反映している)を測れるフローサイトメーターや、Cゲノムを特異的に検出するDNAマーカーを用いた判定を試みています。雑種かどうかもこれらの方法で分かります。

セイヨウナタネと在来ナタネの雑種が見いだされたのはすべて主要道路沿いの河川敷(橋の下)で、除草剤耐性かどうかに関わりなく、多くても年に数個体で、増える傾向は見られませんでした。また、現在までにハマダイコンのような在来種と除草剤耐性ナタネの交雑を示唆する証拠は得られていないことと合わせ、こぼれ落ちた除草剤耐性ナタネ種子により野外一般環境(農地等ではない、道路沿いや河川敷)の生物多様性に影響が生ずるおそれを示唆するような結果は得られていない、とすることができます。

国民の不安を解消するための 遺伝子組換えナタネ分布調査

世界の遺伝子組換え（GM）農作物の生産量は年々増加しています。近年ではアジアでの栽培が拡大しています。日本が輸入しているナタネのうち約80%程度が遺伝子組換えであると推定されています。ナタネは輸送途中にこぼれて道路沿いで生育しており、一部は河川敷に侵入しています。国立環境研究所では、除草剤耐性GMセイヨウナタネ（除草剤耐性ナタネ）の分布状況について毎年調査を行い、分布拡大による生物多様性への影響の有無を監視しています。

世界では

1996年に遺伝子組換え農作物の商業栽培が始まってから、今年で23年になります。国際アグリバイオ事業団ISAAA（The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications）が毎年公表しているデータで見ると、2017年の段階で全世界における遺伝子組換え（GM）作物の栽培面積は約1億9000万ヘクタール（日本の国土面積の約5倍）となっており、2007年の約1.6倍に増加しています。この傾向は23年間継続しており、毎年500～600万ヘクタールずつ増加しています。栽培されている作物の性質で見ると、除草剤耐性のものが47%、害虫抵抗性のものが12%、2つ以上の性質を併せ持つもの（スタック系統）が41%となっています。

主要な作物では、トウモロコシの32%、ダイズの77%、ワタの80%、セイヨウナタネの30%が遺伝子組換えとなっています。GM農作物を栽培している国は24カ国ですが、近年その分布に大きな変化がありました。EU加盟国のほとんどがGM農作物の栽培から撤退し、現在はポルトガルとスペインだけで栽培されています。その一方で中国、ベトナムなどアジアでの栽培が始まっています。

日本では

日本ではGM農作物の商業栽培は行われていませんが、飼料の供給を輸入に頼っているため、大量の農作物を輸入しています。輸入量は毎年、ワタが14万トン、ダイズが400万トン、トウモロコシ1500万ト



国道23号線の道路脇 こぼれ落ち由来と思われるセイヨウナタネが生育しています。



雲出川河川敷に侵入していたこぼれ落ちセイヨウナタネ。

ン、セイヨウナタネ200万トン以上となっています。このうちGMがどの程度含まれているかという統計はないため、GM農作物の輸入量を正確に調べることはできませんが、輸出国の栽培状況から推定して、ワタのほぼ全て、ダイズとセイヨウナタネは80%程度、トウモロコシも半分以上がGMであると考えられます。このうちセイヨウナタネは搾油用および飼料用として発芽可能な種子の状態で購入されています。しかも他の3種と比べて寒さに強いいため、容易に越冬することが可能です。

輸入港で陸揚げされたセイヨウナタネの種子は搾油工場や飼料工場まで陸上輸送で運ばれます。輸送の際の梱包状態によっては輸送中にこぼれ落ちて道路沿いや河川敷などで発芽します。輸入されているGMナタネは、生物多様性影響評価を経て、生物多様性に影響を生ずるおそれはないとされて承認されたものですが、国は、その使用等により生物多様性影響を生じていないことを確認するため、輸入港を含む周辺地域の除草剤耐性ナタネの分布を監視しています。

国立環境研究所では

2004年に農水省から「鹿島港に除草剤耐性ナタネが自生している」というプレスリリースがあり、国立環境研究所ではこの年から全国の港やその周辺にお

ける除草剤耐性ナタネの分布を毎年調査してきました。2008年度までは全国のセイヨウナタネ種子の輸入港を2つのグループに分け、隔年で調査を行いました。

その結果、12港湾のうち8つで除草剤耐性ナタネの自生が確認できましたが、ほとんどの港では自生数が少なく一過的なものでした。しかし、博多港、四日市港、鹿島港は自生数が飛び抜けて多く、しかも輸送道路沿いでは港から5 km以上離れた場所でも自生が確認できました。この結果を受けて2009年度以降は調査の対象を上記の3港に絞り、密度の高い2009年度以降の詳細調査により、近年では博多港と鹿島港の周辺地域の除草剤耐性ナタネの自生は激減していることが確認されています。このように2008年度以降、国内の除草剤耐性ナタネの自生数はおしなべて減っていますが、四日市港周辺では、このような傾向は認められず、引き続き調査が必要と考えています。

市民団体の中には独自に調査を行っている団体もあり、このような団体から除草剤耐性ナタネと在来種の交雑体と思われる試料が送られてきます。国立環境研究所では、このような試料については無償で遺伝子分析を行ってきました。これまで10個体以上の遺伝子分析を行い、全て交雑体ではないことを確認しました。このような活動により国民の抱く「不安」に対して科学的なデータに基づく「安心」を提供しています。

国立環境研究所における 「除草剤耐性ナタネの生物多様性影響に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、生物多様性に関する研究を行っています。

ここでは、その中から、除草剤耐性ナタネの生物多様性影響に関するものについて、そのあゆみを紹介します。

年度	課題名
2003～2005	遺伝子組換え生物(ナタネ)による影響監視調査* ¹
2004	環境研究推進費 FS-1 遺伝子組換え植物の輸入による組換え遺伝子の拡散に関する予備的研究* ²
2006～2019	除草剤耐性遺伝子の流動に関する調査・研究* ¹
2006～2008	特別研究 侵入生物・遺伝子組換え生物による遺伝的多様性影響評価に関する研究
2009～2013	遺伝子組換えセイヨウアブラナのこぼれ落ちおよび拡散に関するモニタリング
2011～2015	中核プロジェクト 人為的環境攪乱要因の生物多様性影響評価と管理手法に関する研究 サブテーマ2. 遺伝子組換え生物による生物多様性影響評価と管理

*1 環境省請負業務

*2 環境省環境研究総合推進費

本号で紹介した研究は、以下の機関、スタッフにより実施されました(所属は当時、敬称略、順不同)。

〈研究担当者〉

国立環境研究所：青野光子、中嶋信美、佐治光、西澤徹

自然環境研究センター：大原佑太、三村昌史

筑波大学：大澤良、津田麻衣

● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、生物多様性に関するものを紹介します。

No.67 「遺伝子から植物のストレスにせまる —オゾンに対する植物の応答機構の解明」

光化学スモッグの原因となる光化学オキシダントの主成分であるオゾンは、ヒトを含む生物に対する毒性が強く、農作物の生育被害や森林衰退の原因にもなっています。今後予想されるグローバルな人口増加に対する食糧確保や気候変動下での環境保全にとって、オゾンの植物に及ぼす影響とそのメカニズムの解明はたいへん重要な研究課題です。本号では、これらの遺伝子レベルの研究について紹介し、その有効性や難しさ、面白さなどをお伝えします。

No.53 「サンゴ礁の過去・現在・未来 —環境変化との関わりから保全へ」

近年、気候変動や赤土の流出など陸域からの負荷によって、世界中のサンゴ礁が急激に衰退しています。国立環境研究所では、モニタリングやデータベースの作成を通じて、環境変化がサンゴ礁に与える影響を明らかにし、サンゴ礁の将来予測や保全策の立案を行う研究に取り組んでいます。本号では、過去から未来にかけてのサンゴ礁の変化と、それに基づく保全策について、最新の研究成果を交えながら紹介しています。

No.43 「藻類の系統保存 —微細藻類と絶滅が危惧される藻類」

藻類は光合成による有機物の生産者として地球上で重要な役割をはたしているほか、物質の循環や有用物質の生産などにも深くかかわっています。国立環境研究所の微生物系統保存施設(NIESコレクション)では、藻類を収集し、培養株として系統保存しています。本号では、わが国の藻類保存プロジェクトの中核機関であるNIESコレクションについて紹介しています。

No.37 「科学の目で見る生物多様性 —空の目とミクロの目」

地球上では、多くの生き物や生態系が存続の危機に瀕しています。今、何を守る努力が必要か、具体的にどうしたら守れるのかを、データにもとづいて示すことが重要です。本号では、ミクロの目で迫る藻類の多様性の世界や、空からの撮影というマクロの目で迫る湿地生態系の空間的な構造の把握などの研究成果を紹介しています。

環境儀 No.75

—国立環境研究所の研究情報誌—

2019年12月28日発行

編集 国立環境研究所編集分科会

(担当 WG: 石濱史子、青野光子、中嶋信美、遠嶋康徳、山本裕史、岩崎一弘、滝村朗)

発行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

印刷製本 株式会社イセブ

無断転載を禁じます

「環境儀」既刊の紹介

No.29 2008年 7月	ライダーネットワークの展開—東アジア地域のエアゾルの挙動解明を目指して	No.52 2014年 4月	アオコの有毒物質を探る—構造解析と分析法の開発
No.30 2008年 10月	河川生態系への人為的影響に関する評価—よりよい流域環境を未来に残す	No.53 2014年 6月	サンゴ礁の過去・現在・未来—環境変化との関わりから保全へ
No.31 2009年 1月	有害廃棄物の処理—アスベスト、PCB 処理の一翼を担う分析研究	No.54 2014年 9月	環境と人々の健康との関わりを探る—環境疫学
No.32 2009年 4月	熱中症の原因を探る—救急搬送データから見るその実態と将来予測	No.55 2014年 12月	未来につながる都市であるために—資源とエネルギーを有効利用するしくみ
No.33 2009年 7月	越境大気汚染の日本への影響—光化学オキシダント増加の謎	No.56 2015年 3月	大気環境中の化学物質の健康リスク評価—実験研究を環境行政につなげる
No.34 2010年 3月	セーリング型洋上風力発電システム構想—海を旅するウィンドファーム	No.57 2015年 6月	使用済み電気製品の国際資源循環—日本とアジアで目指す E-waste の適正管理
No.35 2010年 1月	環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム—低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化〜	No.58 2015年 9月	被災地の環境再生をめざして—放射性物質による環境汚染からの回復研究
No.36 2010年 4月	日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス 70%削減への道筋	No.59 2015年 12月	未来に続く健康を守るために—環境化学物質の継世代影響とエビデネティクス
No.37 2010年 7月	科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目	No.60 2016年 3月	災害からの復興が未来の環境創造につながるまちづくりを目指して—福島発の社会システムイノベーション
No.38 2010年 10月	バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して	No.61 2016年 6月	「適応」で拓く新時代!—気候変動による影響に備える
No.39 2011年 1月	「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質—フェリーを利用してそれらの因果関係を探る	No.62 2016年 9月	地球環境 100年モニタリング—波照間と落石岬での大気質監視
No.40 2011年 3月	VOCと地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して	No.63 2016年 12月	「世界の屋根」から地球温暖化を探る—青海・チベット草原の炭素収支
No.41 2011年 7月	宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して	No.64 2017年 3月	PM _{2.5} の観測とシミュレーション—天気予報のように信頼できる予測を目指して
No.42 2011年 10月	環境研究 for Asia/in Asia/with Asia —持続可能なアジアに向けて	No.65 2017年 6月	化学物質の正確なヒト健康への影響評価を目指して—新しい発達神経毒性試験法の開発
No.43 2012年 1月	藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類	No.66 2017年 9月	土壌は温暖化を加速するのか?—アジアの森林土壌が握る膨大な炭素の将来
No.44 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ	No.67 2017年 12月	遺伝子から植物のストレスにせまる—オゾンに対する植物の応答機構の解明
No.45 2012年 7月	干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響	No.68 2018年 3月	スモッグの正体を追いかける—VOC からエアロゾルまで
No.46 2012年 10月	ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応	No.69 2018年 6月	宇宙と地上から温室効果ガスを捉える—太陽光による高精度観測への挑戦
No.47 2013年 1月	化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ	No.70 2018年 9月	和風スマートシティづくりを目指して
No.48 2013年 4月	環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるバトンリレー	No.71 2018年 12月	人口分布と環境—コンパクトなまちづくり
No.49 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか	No.72 2019年 4月	うみの見張り番—植物プランクトンを使った海洋開発現場の水質監視
No.50 2013年 10月	環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化	No.73 2019年 6月	アオコの実像—シアノバクテリアの遺伝子解析からわかること
No.51 2014年 1月	旅客機を使って大気を測る—国際線で世界をカバー	No.74 2019年 9月	アジアの研究者とともに築く脱炭素社会—統合評価モデル AIM の開発を通じた国際協力

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

「環境儀」



地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、「環境儀」という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年 7月 合志 陽一
 (環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字 N.I.E.S で構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E=Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切った左側に進むようにする動きは、研究所の運動性・進歩・向上・発展を表現しています。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。