

遺伝子組換えセイヨウアブラナの生物多様性影響評価に必要なセイヨウアブラナ, カラシナ, アブラナの生物情報

筑波大学
遺伝子実験センター

津田 麻衣

セイヨウアブラナ, カラシナ, アブラナに関する生物情報の必要性

日本における遺伝子組換え作物の使用に際しては、カルタヘナ法に基づく生物多様性への影響が評価され、影響が生じないと認められた場合に第一種使用規程承認組換え作物として承認される。世界で商業利用のために登録されている遺伝子組換えセイヨウアブラナ（セイヨウナタネとも呼ばれる、*Brassica napus*）全33品種（2016年7月現在, BCH 2016, OECD 2012）のうち、ほとんどの品種は特定の除草剤に耐性を示す品種であり、優性不稔性と不稔性の回復系統である。日本では何らかの除草剤に対する耐性を有する遺伝子組換えセイヨウアブラナ15品種が第一種使用規程の承認を受け、すでに商業利用されている（2016年7月現在, J-BCH 2016）。

日本には、セイヨウアブラナと交雑可能な近縁種としてカラシナ (*B. juncea*) とアブラナ (*B. rapa*) が河原や空き地、路傍等に生育している（表-1）。アブラナは奈良時代に導入された帰化植物であり（山岸 1989）、カラシナも日本在来の野生種ではない（星川 1987）ことから、遺伝子組換えセイヨウアブラナの交雑に関する生物多様性影響評価において、影響を受ける野生種にはあたらない。一方、将来、実用化が見込まれる環境ストレス耐性や病虫害抵抗性等の遺伝子組換えセイヨウアブラナは自然条件下での適応度が向上し、逸出して定着した場合や自然交雑によって自生の近縁種がそれらの形質を獲得した場合、競合における優位性が高まることで生態系が攪乱されることが懸念される。そのため、近い将来実用化が見込まれるこのような特性を持つ遺伝子組換えセイヨウアブラナの実用化に備え、セイヨウアブ

ラナ、交雑可能な近縁種であるカラシナおよびアブラナの生物情報に基づいた慎重な生物多様性影響評価の検討が必要であると考えられる。これまで、筆者は交雑性に焦点を当て研究を進めてきた。そこで、本稿では生物多様性影響評価に参考となり得るセイヨウアブラナ, カラシナ, アブラナの生物情報として、交雑性に関してこれまで得られた結果や既報の情報を整理して紹介するとともに、今後起こり得る新たな課題の解決に備えた情報の整備の必要性についても述べたい。

起源と分布域

アブラナ科アブラナ属の祖先は、 $x=4$ を基本染色体数とする植物であった。その後、ゲノムの倍加や種分化を繰り返し（Lysak *et al.* 2006）、染色体の融合、減少、構造変化が生じた結果、複雑な染色体構造を持つ

表-1 セイヨウアブラナ, カラシナ, アブラナの形態的特徴（竹松・一前 1993より抜粋）

器官	セイヨウアブラナ	カラシナ	アブラナ
葉	根生葉と茎につく葉がある 根生葉は頭大羽状分裂し、頂裂片が大型、側裂片が小型で数対に分かれあらい鋸葉を持ち、柄がつく 上部につく葉は長楕円形～披針形で全縁、小型であり、基部の幅が広く茎を抱く	根生葉と茎につく葉からなる 根生葉はへら型で長さ20cm、羽状に分裂し鋸葉がある 茎につく葉は中～下部のものが長楕円形であらい鋸葉があり、上部のものが全縁である	根生葉と茎につく葉からなる 根生葉は頭大羽状に深裂し、頂裂片が卵形で側裂片は3～4対につき、各裂片には丸い鋸葉がある 裏面に毛が生え、長柄をもつ。茎につく葉は互生、下部のものは羽状浅裂し基部が耳型で茎を抱き、上部のものは卵形～披針形で基部が茎を抱く
茎	直立し、分枝があり高さ50～100cm、茎葉全体に粉白緑色を示す	直立し、分枝があり高さ50～100cm、無毛である	直立し、分枝があり高さ30～100cm、毛が生える
花	十字状花で、茎頂に総状花序を形成する がくは長楕円形で舟型	茎頂に黄色の十字状花を総状につける がく片は長楕円形で4～5mm、花弁よりも離れる	茎頂に黄色の十字状花が密集してつき、総状花序を形成する がく片は、披針形の舟型で長さ5mm
花弁	10～20mm、がくの2倍の長さ	長楕円形で長さ8～10mm	倒卵形で長さ6～10mm、黄色を示す
根	直根	直根	直根で太く長い
莢	線形で長さ5～10mm、0.5～2cmのくちばしがある	線形で長さ3～6cm、先に長さ5～10mmのくちばしがつく	線形で先がくちばし状になり、長さ4～8cm
種子	球状で1.5～2.5mm、黒色を示す	球形で長さ1.5～2mm、褐色を帯びる	赤褐色～黒色で長さ2mm

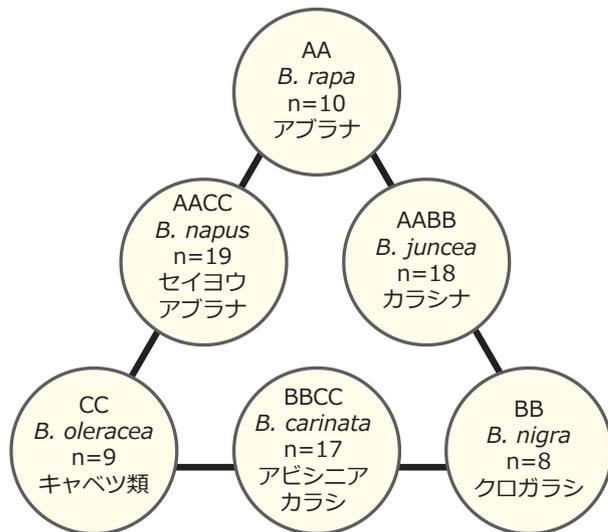


図-1 アブラナ属6種のゲノム構成と染色体数 (U, 1935 より作成)

アブラナ (AA, $2n=20$), クロガラシ (BB, $2n=16$) およびキャベツ類 (CC, $2n=18$) が成立した (Yang *et al.* 2002)。さらにこれらの種間交雑によって二基四倍体のセイヨウアブラナ (AACC, $2n=38$), カラシナ (AABB, $2n=36$) およびアビシニアカラシ ($2n=34$) が成立した (U 1935, 図-1)。

世界では、セイヨウアブラナおよびアブラナは温帯に分布し、カラシナは温帯と熱帯の一部にまで広がる (清水ら 2003)。

日本におけるアブラナの分布は、

「河川水辺の国勢調査」(国土交通省 2012) によると、新潟、長野、宮崎、熊本、近田ら (2006) によると、福島、栃木、千葉、大分、各県の植物誌によると岩手、群馬、千葉、東京、神奈川、新潟、長野、静岡、岡山、愛媛、大分での自生が報告されており、全ての都道府県に分布していることは確認されていない。カラシナは、文献や国立科学博物館および都道府県のデータベース等から全都道府県に分布することが分かっている (津田ら 2016)。一方、セイヨウアブラナは、奈良、長崎、沖縄を除く全都道府県における自生が

報告され (近田ら 2006 ; 国土交通省 2012), 近年では遺伝子組換え種子のこぼれ落ちによる自生が各地の港湾周辺で確認されている (環境省 2015 ; 農林水産省 2015)。

開花期と交配様式

日本におけるセイヨウアブラナ、カラシナ、アブラナの3種の開花期の重複性は、遺伝子組換え植物と近縁種間の自然交雑による遺伝子浸透の可能性の推定において重要な知見となる。松尾・伊藤 (2001) が行った現地調査およびさく葉標本調査によって推定された3種の開花期が、北海道、東北、北陸、関東、東海、近畿、中国、四国地方別に示されている (図-2)。図-2から、本州では3種の開花が重複する期間があることが推定される。

セイヨウアブラナは自殖も他殖も可

	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	
北海道								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
東北								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
北陸								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
関東								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
東海								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
近畿								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
中国								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ
四国								セイヨウアブラナ
								カラシナ
								アブラナ

図-2 現地調査・標本庫調査に基づき推定されたアブラナ3種の開花期 (松尾・伊藤, 2001 より作成)

表-2 *Brassica* 種のゲノムサイズ (参考: シロイヌナズナ)
(brassica. Info website より改変)

和名 (ゲノム構成)	ゲノムサイズ (Mb)
セイヨウアブラナ (AACC)	1127-1235
カラシナ (AABB)	1068-1495
アブラナ (AA)	468-784
キャベツ (CC)	599-868
クロガラシ (BB)	468-760
アビシニアカラシ (BBCC)	1284-1544
シロイヌナズナ	157

能な虫媒性の植物である (Treu and Emberlin 2000)。通常は自殖率が高く自家受粉するが、12～47%の範囲内で他殖することも報告されている (Becker *et al.* 1992)。カラシナは自家受粉する花器構造を持つ自殖性である (Howard *et al.* 1916) が、7～24%が他殖すると報告されている (Abraham *et al.* 1994; Rakow and Woods 1987)。一方、アブラナは、インドで栽培される品種 yellow sarson (Hinata *et al.* 1983) を除き、自家不和合性遺伝子を持つ他殖性の植物である。

遺伝学的情報

アブラナ属 6 種のゲノムサイズを表-2に示す。図-1の6種を構成するA, B, Cゲノムのうち、これまで二倍体アブラナ (Wang *et al.* 2011) とキャベツ類 (Liu *et al.* 2014)、ゲノムサイズの大きい二基四倍体セイヨウアブラナ (Chalhoub *et al.* 2014) の全ゲノムが解読されている。A, B, Cゲノムは、相互に部分的な相同領域が多数存在し (Truco *et al.* 1996; Nabavi *et al.* 2013)、特にAゲノムとCゲノム間は相同性が高く、染色体間の対合や組換えが生じやすいとされる (Leflon *et al.* 2006)。

種属間交雑

Fitzjohn *et al.* (2007) および Tsuda

et al. (2014) がまとめた種属間雑種が報告されているアブラナ科植物を表-3に示す。アブラナ科の中でもセイヨウアブラナ、アブラナ、カラシナの3種は、多様な種属間との交配組合せにおいて雑種を作出しやすい種としてそれぞれ上位に位置付けられており、キャベツ類 (*B. oleracea*) やクロガラシ (*B. nigra*) 等がそれらに続く。また、表-3に示した3種の交配相手の植物種は、いずれも帰化種または日本での自生が報告されていない種である。

自然交雑

アブラナ科の中でもセイヨウアブラナ、アブラナ、カラシナの3種の花はともに虫媒花であり、訪花昆虫は農業環境技術研究所農業環境インベントリーセンター (2008) の「ナタネ等アブラナ科植物の訪花昆虫検索表」に示されている。昆虫を介した花粉の移動は、環境条件や昆虫の活性に加えて、花粉源となる個体群のサイズや密度による花粉利用性、花粉源からレシピエントまでの距離、位置や方向に依存するといわれる (Levin and Kerster 1969; Stringam and Downey 1978; Klinger *et al.* 1992)。ミツバチによる花粉の流動の大半は5 m以内という報告がある一方、最大4 km飛行した例もある (Thompson *et al.* 1999)。実際に、セイヨウアブラナで報告される花粉流動のほとんどは10 m以下であり、花粉源から離れ

るほど花粉量は減少すると言われるが (Stringam and Downey 1978; Scheffler *et al.* 1993; Timmons *et al.* 1995)、1.5 km地点まで花粉が流動することが報告されている (Timmons *et al.* 1995)。雄性不稔性や除雄したセイヨウアブラナを使用した自然交雑試験では他殖率が高まるため、これらを使用せずに実施したセイヨウアブラナ間の自然交雑の試験においては、交雑個体が花粉源から3 km地点で確認されている (Rieger *et al.* 2002)。

セイヨウアブラナからカラシナへの種間交雑における自然交雑率は、2種を混植した場合は0.13～5.91%であると報告されている (Bing *et al.* 1991; Bing *et al.* 1996; Huiming *et al.* 2007; Jørgensen *et al.* 1998; Tsuda *et al.* 2012a; Heenan *et al.* 2007; Liu *et al.* 2010)。さらに、Tsuda *et al.* (2012a) によれば、セイヨウアブラナとカラシナの栽植距離に比例して自然交雑率が減少すること、交雑が確認された最も遠い地点はセイヨウアブラナの花粉源から17.5 m地点で、その自然交雑率は0.03%であった。

一方、カラシナからセイヨウアブラナへの自然交雑率は、1.1～1.3%の範囲であることが報告されている (Bing *et al.* 1991; Bing *et al.* 1996; Jørgensen *et al.* 1998; Heenan *et al.* 2007; Rieger *et al.* 1999)。

セイヨウアブラナからアブラナへの自然交雑率は0～17.5%、平均5.8%

表-3 セイヨウアブラナ, カラシナ, アブラナとの種属間雑種が報告されたアブラナ科の植物

花粉親がセイヨウアブラナ*		花粉親がカラシナ**		花粉親がアブラナ*	
順位***	学名	順位	学名	順位	学名
1	<i>B. rapa</i>	1	<i>B. napus</i>	1	<i>B. napus</i>
2	<i>B. juncea</i>	2	<i>B. rapa</i>	2	<i>B. juncea</i>
3	<i>B. carinata</i>	3	<i>B. carinata</i>	3	<i>B. oleracea</i>
4	<i>B. oleracea</i>	4	<i>B. oleracea</i>	3	<i>B. tournefortii</i>
4	<i>Diplotaxis eruroides</i>	4	<i>D. tenuifolia</i>	4	<i>B. carinata</i>
5	<i>B. nigra</i>	4	<i>D. eruroides</i>	5	<i>R. sativus</i>
6	<i>B. maurorum</i>	4	<i>D. catholica</i>	6	<i>B. fruticulosa</i>
6	<i>D. muralis</i>	4	<i>D. berthautii</i>	7	<i>B. nigra</i>
6	<i>Hirschfeldia incana</i>	4	<i>R. sativus</i>	7	<i>D. muralis</i>
6	<i>Raphanus sativus</i>	4	<i>S. arvensis</i>	7	<i>D. tenuifolia</i>
6	<i>Sinapis arvensis</i>	4	<i>S. pubescens</i>		
		4	<i>Sinapidendrin fruticulosa</i>		
種子親がセイヨウアブラナ*		種子親がカラシナ**		種子親がアブラナ*	
順位	学名	順位	学名	順位	学名
1	<i>B. rapa</i>	1	<i>B. napus</i>	1	<i>B. napus</i>
2	<i>B. juncea</i>	2	<i>B. rapa</i>	2	<i>B. oleracea</i>
3	<i>B. oleracea</i>	3	<i>B. carinata</i>	3	<i>B. nigra</i>
4	<i>B. carinata</i>	4	<i>Orychophragmus violaceus</i>	4	<i>B. juncea</i>
5	<i>S. arvensis</i>	5	<i>B. nigra</i>	4	<i>R. sativus</i>
6	<i>B. nigra</i>	6	<i>E. vesicaria</i>	5	<i>B. carinata</i>
7	<i>R. raphanistrum</i>	7	<i>B. gravinae</i>	5	<i>B. tournefortii</i>
8	<i>Eruca vesicaria</i>	7	<i>B. maurorum</i>	6	<i>S. arvensis</i>
9	<i>B. fruticulosa</i>	7	<i>B. oxyrrhina</i>	7	<i>B. spinescens</i>
9	<i>B. maurorum</i>	7	<i>D. eruroides</i>	7	<i>E. vesicaria</i>
9	<i>B. tournefortii</i>	7	<i>Erucastrum virgatum</i>	7	<i>E. gallicum</i>
9	<i>D. muralis</i>	7	<i>R. sativus</i>	7	<i>O. violaceus</i>
9	<i>D. tenuisiliqua</i>	7	<i>R. raphanistrum</i>		
9	<i>E. gallicum</i>	7	<i>S. alba</i>		
9	<i>H. incana</i>	7	<i>S. arvensis</i>		
9	<i>R. sativus</i>	7	<i>B. cossoneana</i>		
9	<i>S. alba</i>				

Fitzjohn *et al.* 2007より作成した。

*Fitzjohn *et al.* 2007およびTsuda *et al.* 2015より作成した。

***順位は雑種作出に成功した報告数の多いものから順に示した。

が観察されている (Simard *et al.* 2006)。一方、アブラナからセイヨウアブラナへの自然交雑率は、Bing *et al.* (1991) が行ったセイヨウアブラナとの混植試験で2.66%と、同条件で行われたセイヨウアブラナからアブラナへの自然交雑率の0.99%より高かった。

また、セイヨウアブラナとクロガラシの自然交雑では、セイヨウアブラ

ナが種子親の場合には0.7%程度であり、花粉親の場合には自然交雑は検出されていない (Bing *et al.* 1991)。

セイヨウアブラナとカラシナおよびアブラナ間で形成される種間雑種の特性

カラシナ×セイヨウアブラナの種間F₁雑種の染色体数は、両親の中間的な37本が多く報告されてい

る (Choudhary and Joshi 1999 ; Tsuda *et al.* 2012b)。そのゲノム構成は、三基四倍体のAABC (Sabharwal and Doležel 1993 ; Tsuda *et al.* 2012b) である。また染色体数37本とは異なる染色体数28本の二基三倍体AABの出現も報告されている (Sabharwal and Doležel 1993)。セイヨウアブラナ×カラシナの種間交雑で得られるF₁雑種のゲノム構成で

表-4 カラシナとセイヨウアブラナ間の雑種および雑種後代の稔性 (津田ら 2016 および津田・田部井 2013 より作成)

両親およびF ₁ 作出の組み合わせ	世代	花粉稔性 (%)	種子稔性 (種子数/交配花数)		
			自殖	花粉親: カラシナ	花粉親: セイヨウアブラナ
カラシナ	P ₁	97.5	6.2	-	4.3
セイヨウアブラナ	P ₂	95.1	13.4	10.8	-
カラシナ×セイヨウアブラナ	F ₁	0-78	0.06	0-1.9	0-1.6
	F ₂	41.6	0.3	0.7	0.5
	F ₃	95.9	4	2.3	2.2
	BC ₁ *	54.1-93.9	0.1-1.2	0.03-2.6	0.2-1.3
	BC ₂ *	90.5-94.5	1.1-2.3	0.3-2.3	1.5-3.0
セイヨウアブラナ×アブラナ	F ₁	95.4	○**	○**	○**

*BC₁およびBC₂世代は、カラシナ×セイヨウアブラナのF₁とカラシナまたはセイヨウアブラナ間の正逆の交配により得られた後代の値をまとめたものである。

**作出の報告はあるが、数値は示されていない。

は、AABC および AABBC の二種類が報告されている (Sabharwal and Doležel 1993)。これらの F₁ 雑種の花粉稔性および種子稔性は、津田ら (2016) および津田・田部井 (2013) によって整理されている (表-4)。カラシナ×セイヨウアブラナの F₁ 雑種は、花粉稔性および種子稔性ともにカラシナ、セイヨウアブラナに比べて低下する。自殖後代や戻し交雑後代では、交配組み合わせにもよるが、稔性は世代が進むにつれて概ね回復する傾向にある。今のところ稔性と染色体数、ゲノム構成等との関連性については見出されていない。

セイヨウアブラナとアブラナの種間 F₁ 雑種は、染色体数が 39 本の二基三倍体 AAC を基本とし、10 個の II 価と 9 個の I 価から構成される場合が多い (生井 2010a)。この雑種の花粉稔性は 30-60% の低下、種子稔性として結実率は 10% の低下がみられる (生井 2010a)。

おわりに

本稿は、遺伝子組換えセイヨウアブラナから近縁種への交雑を介した遺伝

子浸透が生じる可能性の評価に資する生物情報を中心にまとめたものである。セイヨウアブラナとカラシナ、アブラナ間は互いに交雑親和性があり、自然交雑も多く報告されていることを先に述べた。OECD が 2012 年にまとめたアブラナ科作物の生物学に関するコンセンサスドキュメントにおいても、カラシナ、アブラナともにセイヨウアブラナとの交雑性の高さから遺伝子浸透が起こる可能性が高いレシピエントであると述べられている。

日本では、2005 年以降、セイヨウアブラナ種子を輸入する港湾周辺、輸入した種子を運搬する道路沿いおよび河原等においてこぼれ落ちた遺伝子組換え個体を含むセイヨウアブラナの自生個体、およびその近縁種としてカラシナ、アブラナの自生個体のモニタリング調査が継続的に実施されてきた (Katsuta *et al.* 2015 ; Aono *et al.* 2011)。2006 年から 2011 年の 6 年間にわたって実施された農林水産省による 12 の港湾の周囲 5 km におけるモニタリング調査では、全国 10 港で除草剤耐性遺伝子組換えセイヨウアブラナの自生が確認された。しかし、遺伝子組換えセイヨウアブラナが集団を

形成するなど分布を拡大することは 6 年間の調査において確認されなかった (Katsuta *et al.* 2015)。また、環境省による調査においても、2005 年から 2012 年の 8 年間に於いて、確認される遺伝子組換えセイヨウアブラナの個体数が増加する傾向は認められていない (Aono *et al.* 2011 ; 国立環境研究所 2013)。さらに、日本に自生するセイヨウアブラナの集団に遺伝子組換えセイヨウアブラナが侵入し駆逐することも、この 8 年間では確認されなかった。同種であり交雑親和性も高いセイヨウアブラナ間において、遺伝子組換えセイヨウアブラナから遺伝子浸透が生じない状態がなぜ維持されているのかについては、海外の品種が母本として使われている遺伝子組換えセイヨウアブラナと日本に自生するセイヨウアブラナの間には開花期の重複性や花粉源のサイズなど何らかの交雑を生じにくくしている要因が存在し、遺伝子組換えセイヨウアブラナの侵入や蔓延が制御されている可能性が考えられる。今後の遺伝子組換えセイヨウアブラナの開発を考えた場合に、遺伝子組換えセイヨウアブラナからの遺伝子浸透の生態学的あるいは遺伝学的実

態解明が必要である。一方, Aono *et al.* (2011) の調査では, 異なる除草剤に耐性を示す2種類の遺伝子組換えセイヨウアブラナ間の交雑の可能性と, 遺伝子組換えセイヨウアブラナとアブラナ間の種間雑種と推定される個体が見つまっている。今後実用化される遺伝子組換えセイヨウアブラナに導入される形質によっては, 交雑個体を介した遺伝子浸透による生物多様性への影響の可能性も否定できない。本稿で示したような生物情報に加え, 交雑個体の発生程度や自然環境での生存性をより明確に推定できるようなモニタリング手法や遺伝子浸透の可能性の評価法の開発が必要であり, それらの知見を蓄積する必要性がある。

さらに, 最近では新しい育種技術(New Plant Biotechnology=NPBT)の1つであるODM (Oligo-directed Mutagenesis) を用いた除草剤耐性のセイヨウアブラナが開発され実用化されている。セイヨウアブラナの内在性のアセト乳酸合成酵素遺伝子(*BnAHAS1C*, *BnAHAS3A*) に機能欠損型の変異を誘発した2種類の除草剤イミダゾリノンおよびスルフォニルウレア耐性のセイヨウアブラナ (Cibus Event 5715, Beetham *et al.* 2005) がCibus社(米国)によって開発されている。ODMは, 塩基置換した合成オリゴヌクレオチドや短いDNA断片を細胞内に導入することで特定の変異をもたらす方法である。ODMで作出されたセイヨウアブラナは, すでにカナダでの使用が承認され, アメ

リカでもUSDAにより遺伝子組換え農作物としての規制対象外とみなされ, 今年・来年中の商業化に向けて動き始めている(Wolt *et al.* 2016)。しかし, EUにおいてはODM技術を利用した作物の規制上の位置づけは未定であり, EU諸国間でも規制対象とするか否かで意見が分かれている。欧州委員会によるNPBTに関する環境放出指令上の位置づけに関する文書, いわゆる法的解釈文書が提示されるまではEU諸国における明確な判断はなされないと考えられる。日本でも, 本件に関しては, 従来の遺伝子組換え技術で作出された作物と同様に扱うのか否かに関する規制上の判断はまだなされていない。しかし, ODMに加え, 近年, 人工ヌクレアーゼを利用したゲノム編集技術の作物への適用は目覚ましく発展している。このような新しい育種技術を利用して作出された植物の実用化に向けては生物多様性影響評価の観点からどのような規制が必要になるのか, 規制科学の観点から必要な情報の収集を継続していきたい。

謝辞

本原稿作成におきましては, 筑波大学 生命環境系 大澤良 教授および国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門 田部井豊 氏に原稿をご精読いただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- Abraham, V. 1994. Rate of outcrossing in Indian mustard, *Brassica juncea*. *Cruciferae Newsletter* 16, 69-70.
- Aono, M. *et al.* 2011. Seeds of possible natural hybrid between herbicide-resistant *Brassica napus* and *Brassica rapa* detected on a riverbank in Japan. *GM Crops* 2, 201-210.
- BCH (Biosafety Clearing-House) 2016. Search for LMOs, Genes or Organisms. <https://bch.cbd.int/database/organisms/>
- Becker, H.C. *et al.* 1992. Environmental variation for outcrossing rate in rapeseed (*Brassica napus*). *Theoretical and Applied Genetics* 84, 303-306.
- Beetham, P.R. *et al.* 2005. Non-transgenic herbicide resistant plants. US Patent App. 11/051,955.
- Bing, D.J. *et al.* 1991. Potential of gene transfer among oilseed *Brassica* and their weedy relatives. GCIRC 8th International Rapeseed Congress, 1022-1027.
- Bing, D.J. *et al.* 1996. Hybridizations among *Brassica napus*, *B. rapa* and *B. juncea* and their two weedy relatives *B. nigra* and *Sinapis arvensis* under open pollination conditions in the field. *Plant Breeding* 115, 470-473.
- Brassica.info 2015. *Brassica* genome sizes. <http://www.brassica.info/info/reference/genome-sizes.php>
- Chalhoub, B. *et al.* 2014. Early allopolyploid evolution in the post-Neolithic *Brassica napus* oilseed genome. *Science* 345, 950-953.
- Choudhary, B.R. and P. Joshi 1999. Interspecific hybridization in *Brassica*. *Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress*, 516-526.
- Fitzjohn, R.G. *et al.* 2007. Hybridization within *Brassica* and allied genera: evaluation of potential for transgene escape. *Euphytica* 158, 209-230.
- Heenan, P.B. *et al.* 2007. Experimental

- hybridization of *Brassica* species in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 45, 53-66.
- Hinata, K. *et al.* 1983. Gene analysis of self-compatibility in *Brassica campestris* var. yellow sarson (A case of recessive epistatic modifier). *Proceedings of 6th International Rapeseed Congress*, 354-359.
- 星川清親 1987. カラシナ, 改訂増補 栽培植物の起源と伝播. 二宮書店, pp. 92-93.
- Howard, A. *et al.* 1916. *Studies in Indian oilseeds I. Safflower and mustard. Memoirs of the Department of Agriculture in India. Botanical Series* 7, 214-272.
- Huiming, P.U. *et al.* 2007. *Studies on gene flow from GM herbicide-tolerant rapeseed (B. napus) to other species of crucifers. Proceedings of the 12th International Rapeseed Congress*, 79-81.
- J-BCH (日本版バイオセーフティクリアリングハウス) 2016. LMO の検索, <https://ch.biodoc.go.jp/bch/OpenList.do>.
- Jørgensen, R.B. *et al.* 1998. Introgression of crop genes from oilseed rape (*Brassica napus*) to relative wild species – An avenue for the escape of engineered genes. *Acta Horticulture* 459, 211-217.
- 環境省 2015. 平成 26 年度遺伝子組換え生物による影響監視調査報告書, http://www.biodic.go.jp/bch/download/natane/H26_natane_hokokusho.pdf
- Katsuta, K. *et al.* 2015. Long-term monitoring of feral genetically modified herbicide-tolerant *Brassica napus* populations around unloading Japanese ports. *Breeding Science* 65, 265-275.
- Klinger, T. *et al.* 1992. Crop-weed hybridization in radish (*Raphanus sativus*): effects of distance and population size. *American Journal of Botany* 79, 1431-1435.
- 国土交通省 2012. 河川水辺の国勢調査, 河川環境データベース. <http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/>
- 国立研究開発院 国林環境研究所 生物・生態環境研究センター 2013. 遺伝子組換え (GM) セイヨウアブラナモニタリング. <http://www.nies.go.jp/biology/kiban/gmo/index.html>
- 近田文弘ら 2006. 帰化植物を楽しむ. トンボ出版, pp.1-240.
- Leflon, M. *et al.* 2006. Pairing and recombination at meiosis of *Brassica rapa* (AA) × *Brassica napus* (AACC) hybrids. *Theoretical and Applied Genetics* 113, 1467-1480.
- Levin, D.A. and H.W. Kerster 1969. The dependence of bee-mediated pollen and gene dispersal upon plant density. *Evolution* 23, 560-571.
- Liu, S. *et al.* 2014. The *Brassica oleracea* genome reveals the asymmetrical evolution of polyploid genomes. *Nature Communications* 5.
- Liu, Y.B. *et al.* 2010. Backcrosses to *Brassica napus* of hybrids between *B. juncea* and *B. napus* as a source of herbicide-resistant volunteer-like feral populations. *Plant Science* 179, 459-465.
- Lysak M.A. *et al.* 2006. Mechanisms of chromosome number reduction in *Arabidopsis thaliana* and related Brassicaceae species. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103, 5224-5229.
- 松尾和人・伊藤一幸 2001. Brassica 属 3 種の野生個体群の生態と混生群落における遺伝子流動の解析. *雑草研究* 40, 225.
- Nabavi, Z.K. *et al.* 2013. Conserved microstructure of the *Brassica* B Genome of *Brassica nigra* in relation to homologous regions of *Arabidopsis thaliana*, *B. rapa* and *B. oleracea*. *BMC Genomics* 14, 250.
- 生井兵治 2010. GM セイヨウナタネと各種アブラナ科植物の自然交雑問題. 遺伝子組換えナタネ汚染 遺伝子組み換え食品 いらぬ! キャンペーン編, pp. 55-81.
- 農業環境技術研究所 農業環境インベントリセンター 2008. ナタネ等アブラナ科植物の訪花昆虫検索表, http://www.niaes.affrc.go.jp/inventory/insect/illust_keys/insects_brassica/
- 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/pdf/151029-02.pdf>
- OECD 2012. Consensus Document on the Biology of the *Brassica* Crops (*Brassica* spp.). http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono2012_41&doclanguage=en
- Rakow, G. and D.L. Woods 1987. Outcrossing in rape and mustard under Saskatchewan prairie conditions. *Canadian Journal of Plant Science* 67, 147-151.
- Rieger, M.A. *et al.* 2002. Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. *Science* 296, 2386-2388.
- Rieger, M.A. *et al.* 1999. Risks of gene flow from transgenic herbicide-resistant canola (*Brassica napus*) to weedy relatives in southern Australian cropping systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 115-128.
- Sabharwal, P.S. and J. Doležal 1993. Interspecific hybridization in *Brassica*: Application of flow cytometry for analysis of ploidy and genome composition in hybrid plants. *Biologia Plantarum* 35, 169-177.
- Scheffler, J.A. *et al.* 1993. Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). *Transgenic Research* 2, 356-364.
- 清水矩宏ら 2003. 日本帰化植物写真図鑑 – Plant invader 600 種 – . 全国農村教育協会, pp.82-83.
- Simard, M.J. *et al.* 2006. Transgenic *Brassica napus* fields and *Brassica rapa* weeds in Quebec: sympathy and weed-crop in situ hybridization. *Canadian Journal of Botany* 84, 1842-1851.
- Stringam, G.R. and R.K. Downey 1978.

- Effectiveness of isolation distance in turnip rape. *Canadian Journal of Plant Science* 58, 427-434.
- Thompson, C.E. *et al.* 1999. Regional patterns of gene flow and its consequence for GM oilseed rape. Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, pp.95-100.
- Timmons, A.M. *et al.* 1995. Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. *Euphytica* 85, 417-423.
- Treu, R. and J. Emberlin 2000. Pollen dispersal in the crops Maize (*Zea mays*), oil seed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*). A report for the soil association from the national pollen research unit., p.1-54, University College Worvester, UK. <http://www.soilassociation.org>
- Truco, M.J. *et al.* 1996. Inter- and intra-genomic homology of the *Brassica* genomes: implications for their origin and evolution. *Theoretical and Applied Genetics* 93, 1225-1233.
- Tsuda, M. *et al.* 2012a. Relationship between hybridization frequency of *Brassica juncea* × *B. napus* and distance from pollen source (*B. napus*) to recipient (*B. juncea*) under field conditions in Japan. *Breeding Science* 62, 274-281.
- Tsuda, M. *et al.* 2012b. Persistent C genome chromosome regions identified by SSR analysis in backcross progenies between *Brassica juncea* and *B. napus*. *Breeding Science* 62, 328-333.
- 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*. *Breeding Science* 64, 74-82.
- 津田麻衣・田部井豊 2013. セイヨウナタネからカラシナへの遺伝子浸透—雑種後代におけるセイヨウナタネ由来染色体領域の残存性の解析—。関東雑草研究会報 24, 34-43.
- 津田麻衣ら 2016. 遺伝子組換えセイヨウアブラナの生物多様性影響評価に必要なカラシナ (*Brassica juncea*), アブラナ (*B. rapa*), セイヨウアブラナ (*B. napus*) の生物情報集。農業環境技術研究所報告 36, 1-46.
- U, N. 1935. Genome analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. *Japanese Journal of Botany* 7, 389-452.
- Wang, X. *et al.* 2011. The genome of the mesopolyploid crop species *Brassica rapa*. *Nature Genetics* 43, 1035-1039.
- Wolt, J.D. *et al.* 2016. The regulatory status of genome-edited crops. *Plant Biotechnology Journal* 14, 510-518.
- 山岸博 1989. カラシナ, 7. 葉類. 松尾考嶺 (監修) 植物遺伝資源集成. 講談社サイエンスフィク, pp.894-898.
- Yang, Y.W. *et al.* 2002. A study of the phylogeny of *Brassica rapa*, *B. nigra*, *Raphanus sativus*, and related genera using noncoding regions of chloroplast DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 23, 268-275.

田畑の草種

滑莧, 馬齒莧 (スベリヒユ)

スベリヒユ科スベリヒユ属の一年生草本。コンクリートや歩道の割れ目, 庭, 道端, 田畑など, およそ日の当たるところならどこにでも生える。また, どこに生えていても誰にでも分かる。畑に生えると害草となる。茎はしゃれた色の赤紫色。全草, 無毛で多肉質。茹でると粘りがあり, 元祖「ねばねば食品」。ネットの中には調理法が溢れている。

古来から目に付いていたようである。万葉集に, その粘りを男女の間に喩えた相聞の東歌が1首だけある。

入間道の 大家が原の いはみ蔓 引かばぬるぬる 吾にな絶えそね (巻14)

(公財)日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

入間道 (いるまぢ) の大家 (おほや) が原に生える「いはみつら」は, 引っ張るとぬるぬると寄ってくる, その「いはみつら」のように, お前も私に寄ってきて欲しいものだ, と詠う。この「いはみつら」がスベリヒユだという。

一方, 多肉質ゆえになかなか乾燥させられない。ある学校で, 生徒が夏休みの宿題に腊葉標本を提出してきた。その標本を理科室に積み上げておいたところ, ゆっくりだが成長しているように見えた。台紙から剥がしてコップの水に挿したところ, 見事に生きかえったという。

「粘り」強い, たくましい生命力である。