

食・農・村の復興支援プロジェクトと 津波塩害農地復興のための菜の花プロジェクト

Agri-Reconstruction Project and Rapeseed Project for Restoring Tsunami-Salt-Damaged Farmland

中井 裕*, 西尾 剛, 北柴 大泰, 南條 正巳, 齋藤 雅典, 伊藤 豊彰, 大村 道明

Yutaka NAKAI, Takeshi NISHIO, Hiroyasu KITASHIBA, Masami NANZYO,

Masanori SAITO, Toyoaki ITO and Michiaki OOMURA

東北大学大学院農学研究科 〒981-8555 宮城県仙台市青葉区堤通雨宮町 1-1

*TEL & FAX: 0229-84-7391

*E-mail: nakai@bios.tohoku.ac.jp

Tohoku University Graduate School of Agricultural Science, 1-1 Tsutsumidori, Amamiya-machi,
Aoba-ku, Sendai, Miyagi 981-8555, Japan

キーワード: 東日本大震災, 復興支援, 菜の花, 塩害, バイオガス

Key words: Great East Japan Earthquake, reconstruction support, rapeseed, salt damage, biogas

(原稿受付 2013年6月19日/原稿受理 2013年6月23日)

1. はじめに

2013年3月27日, 日本農芸化学会2013年度大会が仙台において開催され, 「震災復興に向けた環境バイオテクノロジー分野の取り組みと展望」と名付けられた震災復興関連シンポジウムが行われた。

東北大学大学院農学研究科では, 「食・農・村の復興支援プロジェクト」を震災直後の2011年3月23日に立ち上げ, 活動してきた。その中でも, 「津波塩害農地復興のための菜の花プロジェクト」は, まさに「震災復興に向けた環境バイオテクノロジー分野の取り組み」であることから, シンポジウムでの発表の機会が与えられた。本項では, その発表内容を中心に記したい。

2. プロジェクト設立の経緯^{1,2)}

2011年3月11日の東日本大震災によって, 多くの命が失われ, 甚大な被害がもたらされた。仙台市内にある農学研究科の雨宮キャンパスでは, 人的な被害はなく, 建物も倒壊することはなかったが, いずれの研究室においても, 試薬, 機器, 書籍, 資料などが散乱し, 使用不能となった実験機器も多かった。また, 停電によって, 貴重な凍結保存試料や試薬が失われたことは, 非常に大きな痛手であった。

仙台市から離れた大崎市にある川渡フィールドセンターでは, 比較的被害は小さかったが, 後に放射性物質汚染を受けたことが判明し, 現在も草地などの修復に追われている。一方, 女川町にある女川フィールドセンターは, 2階建ての研究棟を越える津波に襲われて, 壊

滅的な被害を受けた。

雨宮キャンパスの周辺では, 停電やガス供給停止が続く, 周辺地域への供給が復旧した後も, 大学では建物内の水道やガス配管の破損箇所の検出と修理など, 復旧活動に追われる日々が続いた。

震災後は公共交通が麻痺し, ガソリンも供給されないため, スタッフは, 徒歩や自転車などで大学に出向き, 当時は朝礼と呼んでいたが, 各研究室1名以上が出席して研究科全体ミーティングを毎朝開いた。海岸の被災地と比べれば微々たるものであるが, 日々, 職場と家庭の復旧や食料の確保を続けることは, 相当に過酷であった。周辺の状況が落ち着き始めた頃, 多くのスタッフはそのような被災生活の中で何かをしなければ行けないと考え始めていた。

3月23日, 農学研究科では「食・農・村の復興支援プロジェクト」を立ち上げた。準備期間を経て, 3月28日, 中井が朝礼でメンバーに呼び掛けた。翌朝, パソコンを開くと, 28名の研究科メンバーから参加のメールが届いており, 皆, 研究室や自宅の復旧に粉骨砕身している中での素早い反応であった。

3月25日には, 仙台市からの依頼があり, 奥山恵美子仙台市長の車に同乗して國分牧衛教授と南條, 中井は, 若林区の荒浜の土壌調査に行った。美しい海辺の村落は, 松林と共に消えていた。津波は村落の人々と町並みを破壊尽くしていた。翌週には, 中井と大村は, 東松島市, その翌日には, フィールドセンターの教員とともに女川町, 農学研究科附属女川フィールドセンターを訪れた。多くの人々が亡くなり, 家々や施設が瓦礫の山と化した街の一角に立ち, 現場から乖離した概念は, 絵

に描いた餅以上に役に立たないと強く自戒した。

南條は荒浜の調査から数日のうちに分析を終了した。この採材地点では土壌表面数センチを除去して、作土を水洗することにより塩害は低減できるとのデータの裏付けを持つ提言を行った。多くの反響があり、プロの研究者による素早い分析とデータの公表は、農家に前向きのエネルギーを与えることを実感した。

われわれは、被災者として、被災者の目を持って、復興支援を行ってきた。地元の大学として専門家の英知を生かし、復興を支援してゆくことはわれわれに与えられた使命である。復興を考える上で最も大切にしたいことは、そこに暮らす人々の魂を復興の地に宿らせることであろう。

3. 「食・農・村の復興支援プロジェクト」

本プロジェクトは、あくまでも教員の自主性を重んじたものである。一般のプロジェクトのように、リーダーが企画を作って、その元に教員が活動するといったトップダウン方式は取っていない。

プロジェクトの担当者は、1) 外部から支援要請があった場合に、支援可能と思われる教員を紹介する、2) 個々の教員の自発的な支援活動を支える、3) それらの成果をとりまとめる、4) 被災地に情報を提供するというものであり、研究科の教員が活動する復興支援活動を緩くまとめてサポートする形を取っている。

2012年3月末のまとめでは、農学研究科内で、総計37課題の活動が行われてきた。その内訳は、農業および林業15課題（塩害・放射性物質汚染土壌調査、ナタネ、土壌洗浄、海岸林・防風林の被害調査、林業復興、環境影響）、畜産業関連4課題（放射性セシウム汚染飼料米、20 km圏内のウシの保護・線量調査、土壌由来細菌感染症など）、水産業関連15課題（マガキ養殖復興、潜水調査、プランクトン・アラメ・生物調査など）、教育およびまちづくり3課題（コミュニティ支援、地域おこし、高校教育支援など）であった。また、報告会は、現在まで13回開催されており、その内容は、2011年4月1日に立ち上げられたウェブサイト³⁾を使って、活発に発表してきた。

現地に密着した多くの活動が行われてきた。たとえば、尾定誠教授が中心となって進めた「マガキ養殖復興支援プロジェクト」では、大学が産官の調整役として働き、種苗の安全性の解析も担当して、壊滅的被害を受けたカキの種苗生産を短期間で回復させる成果を挙げた。これは、大学の中立性が、産官学の要として重要な役割を演じることを示した貴重な例である。また、佐藤衆介教授が中心となって進めている「福島原発20 km圏内に取り残されたウシの保護プロジェクト」では、取り残された家畜の状況を公表すると共に、ウシを実験・展示用途に転換して一時保管を行うという活動を行っている。

4. 「津波塩害農地復興のための菜の花プロジェクト」^{4,5)}

4.1. 活動

中井は、以前から、バイオディーゼルの燃料（BDF）生産時の廃棄物であるグリセリンを用いてメタン発酵の効

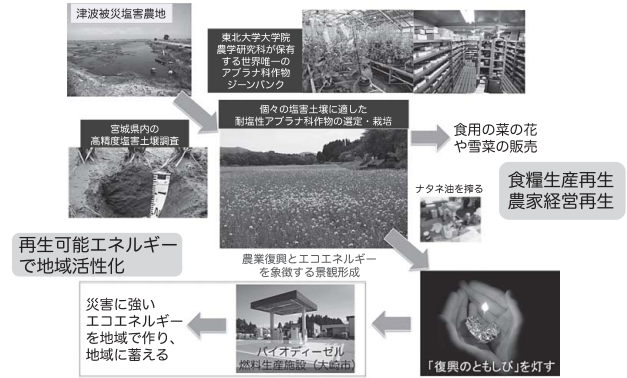


図1. 津波塩害農地復興のための菜の花プロジェクト
「菜の花」による農業・農家の復興とエコエネルギー生産を目指す。

率を上げるプロジェクトを実施しており、BDFの原料となる廃食用油およびナタネ油に強い興味を持っていた。また、菜の花が塩害に強いことも知っていた。そこで、菜の花を活用した地域自立型のエネルギー供給システムを構築することを、震災復興に役立てることを考えた（図1）。

中井は、植物育種学分野を訪れ、西尾と北柴と相談してプロジェクトを立ち上げることにした。本研究室は、アブラナ科作物に関する遺伝子解析などの分野においてわが国の先導的な研究を展開しており、世界で唯一、外部への種子分与を行っているアブラナ連に特化したジーンバンク（遺伝子銀行＝多くの系統の種子をストックしている）を持つ。このジーンバンクは、キャベツ・ハクサイ・ナタネを含む *Brassica* 属を中心としてその近縁の植物を含むもので、この研究室の初代教授水島宇三郎博士以来50年にわたって、地中海沿岸での3度のアブラナ科植物の採集を始め、海外の研究機関等から、これまでに58属177種約800系統を採取・管理している。系統の保存と特性評価を行うと同時に、種の類縁関係の解析を行ってきており、すでに、多数保有するアブラナ科作物の系統と近縁種の中から、高塩土壌に適したアブラナ科作物系統（耐塩性系統）を見出していた。

このプロジェクトには、さらに、土壌の専門家として南條、栽培の専門家として齋藤と伊藤が参画することとなった。当時、南條は日本土壌肥料学会会長で、稲の放射能吸収などの解析を始めており、齋藤は日本土壌微生物学会会長であるとともに農学研究科附属フィールドセンター長としてセンターの震災復旧事業⁶⁾にも奔走しており、伊藤は冬期湛水・有機水田のプロジェクトやコンポストプロジェクトや宮城県津波被災農地の調査にも追われて、多忙をきわめていたが、皆、即座に参画を快諾した。また、エネルギー生産などのライフサイクルアセスメントの専門家である大村が後日加わり、さらにプロジェクト管理のために阿部美幸技術職員が加わった。

このようなプロジェクト体制を整え、自力でプロジェクトを開始していたところ、2011年4月半ばに、(独)科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）「東日本大震災対応・緊急研究開発成果実装支援プログラム」の公募が発表された。中井は、早速書類を書き始めた。「解決すべき課題」の欄に

は、通常の申請書であれば社会的、科学的な重要性を論理的に書くのであるが、ここでは、自分の心の中の生の言葉をそのまま綴った。

「東日本大震災による津波は、宮城県だけでも水田 1 万 ha (後の県の正式発表では 1.43 万 ha) に被害を与えた。我々は、奥山仙台市長の要請で、仙台市若林区の水田の被災状況調査を実施した。松林がなぎ倒され、泥に覆われた田畑を目にして、この荒地を一日も早く緑豊かな美しい土地に戻すことが、亡くなった人々への鎮魂であり、生き残った人々の希望のシンボルとなると強く思った。」

5 月 12 日、この提案が採択された。応募総数 124 件中 6 件の狭き門であった。

本プロジェクトは、津波被災地の土壌調査を実施し、その塩害の程度にあったアブラナ科の作物を選抜して、これを被災地に播種し、農地を希望の色である黄色の菜の花で彩り、農業復興とエコエネルギーを象徴する景観を作り出すことを第一の目標とし、そこから採取されるなたねから搾油して、復興の灯火をともし、さらに、なたね油からバイオディーゼル燃料を作って、被災地復旧の作業車や被災児童の通学のためのバスを走らせようというものであった。菜の花の栽培によって、農家が、被災農地で一日も早く農作業を開始することにより、先への希望を与え、菜の花栽培によって経営再生に繋げたいと考えた。

土壌調査は、JST への申請より前の 3 月から宮城県の研究機関などと連携して実施した。宮城県の津波被災農地を 1 km メッシュに分けて、344 地点の土壌調査を実施した。詳細な土壌調査と同時に、栽培試験予定農地の被災土壌を持ち帰って栽培試験を実施した。津波堆積泥土層ではアブラナは出芽せず、苗を植えても枯死してしまった。しかし、津波堆積泥土層の下の作土では、アブラナは生育可能であった。

アブラナ科の植物は多岐におよび、属としては、アブラナ、ダイコン、ナズナ、ワサビなどが含まれる。また、アブラナ属 *Brassica* に限っても、カラシナ *B. juncea* (カラシナ、ザーサイ、タカナなど)、ヤセイカンラン *B. oleracea* (キャベツ、カリフラワー、メキャベツなど)、セイヨウアブラナ *B. napus* (一般のアブラナ)、ラパ *B. rapa* (在来種のアブラナ、カブ、コマツナ、ハクサイ、ミズナなど) が含まれる (図 2)。

農学研究科のジーンバンクの中から、セイヨウなたねは 56 系統、カラシナで 36 系統を選び、耐塩性系統間差を栽培試験により調査した。栽培試験は、食塩濃度を変えた土壌で行い、食塩無添加の土壌区に対して、成長抑制がかかりにくかったものを耐塩系統とした。その結果、セイヨウアブラナ 4 系統、カラシナ 2 系統、ハマダイコン 1 系統の耐塩系統を選び、栽培試験農地に作付けた (図 3)。試験は、被災畑 (仙台農業園芸センター約 7 a)、被災水田 (仙台市荒井約 40 a) で行い、食用菜花およびなたねの販売を目的とした農地 (岩沼市約 1.4 ha および七ヶ浜町 90 a) でも行った。水田では、水は抜き、畝立てを行い、湿害を避ける工夫をした。

7 月 30 日には 120 人のボランティアの支援を受けて、20 a の津波被災田などの雑草除去と津波堆積泥土の除去を手で行った。泥土除去は非耐塩性の一般種を栽培

アブラナ科の植物

アブラナ属 イヌガラシ属 イヌナズナ属 エソズシロ属
オオアラセイトウ属 オランダガラシ属 カキネガラシ属
カラクサナズナ属 ダイコン属 タネツケバナ属 ナズナ属
マメグンバイナズナ属 ヤマハタザオ属 ワサビ属

アブラナ属 *Brassica* の作物

B. juncea カラシナ

カラシナ(芥子菜) var. *cernua*
ザーサイ(榨菜) var. *tsatsai*
タカナ(高菜) var. *integrifolia*

B. napus セイヨウアブラナ

セイヨウアブラナ var. *napus*
ルタバガ var. *napobrassica*

B. oleracea ヤセイカンラン

(野生甘藍、キャベツ)

カイラン(芥藍) var. *alboglabra*
カリフラワー var. *botrytis*
キャベツ(甘藍) var. *capitata*
ケール(ハコロモカンラン) var. *acephala*
ブロッコリー var. *italica*
メキャベツ(芽キャベツ) var. *gemmifera*

B. rapa ラパ

アブラナ (在来種) var. *campestris*
カブ(東洋系種) var. *rapa*
ハクサイ(白菜) var. *pekinensis*
サイシン(菜心) var. *parachinensis*
チンゲンサイ(青梗菜) var. *chinensis*
ミズナ(水菜) var. *japonica*

図 2. アブラナ科の植物およびアブラナ属の作物

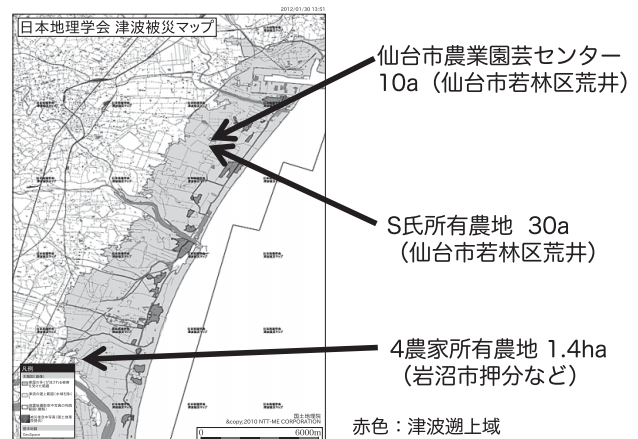


図 3. 実験圃場 津波遡上域の 3 カ所で栽培実験を行った。



図 4. 被災水田の雑草と津波堆積泥土の除去
120 名のボランティアと共に実施。
(仙台市若林区, 撮影: 2011 年 7 月 30 日, 山田周生)

するために実施した。耐塩品種は津波堆積泥土を除去せずに耕起した試験区で栽培した (図 4)。

9 月末の台風襲来により、水田は冠水し、排水路および排水ポンプ復旧の遅れによって、排水が大幅に遅れたが、10 月 10 日には播種に漕ぎ着けた。その後、水田で



図5. 被災水田で順調に生育するカラシナおよびアブラナ（仙台市若林区，撮影：2011年12月10日，中井裕）

は塩害の影響がほとんど見られない順調な成長を続けた（図5）。

ハクチョウは、通常親子の単位の4-6羽で行動するが、1月末に1つの実験農地に150羽ものハクチョウが飛来して葉を食べ尽くした。アブラナに対する鳥害は少ないとされるが、例年ハクチョウが食べていた落ち穂など餌がないためにハクチョウは苦し紛れの選択をしたのであろう。空を飛ぶハクチョウにとって、荒涼たる被災地にたった1枚の畑が緑に輝く姿は、さぞ食欲を誘う風景に映ったことだろう。野生の鳥類は、自然の中で人の生活から距離を置いて暮らしていると考えがちであるが、実は、彼らは田や畑を上手く利用しながら冬を過ごすのである。彼らにとって、農業の存在は重要な意味を持つのである。

この事業は、多くの協力機関の支援を受けて進めている。宮城県（土壌調査）、仙台市（実証試験）、（有）千田清掃（実証試験、BDF生産）、（株）環境科学コーポレーション（土壌調査等）、（株）宮果（実証実験、菜の花販売）、農家の方々（実証試験：若林区荒井、岩沼市押分）、（株）キナリ（エコバッグ売り上げ寄付）、（株）クレハ（ラップ等売り上げ寄付）、麒麟麦酒（株）（ビール等売り上げ寄付）などである。これらの機関や企業の支援を受け、菜花を食用に販売し、なたね油から食用油やバイオディーゼル燃料を作った。また、なたね油やバイオディーゼル燃料を販売する方法を具体的に考えてくれるメンバーや菜の花栽培をイベント化するための学生や企業の支援も得られた。農家を救いたいという思いで始めたプロジェクトであるが、大学と農家の連携の枠を飛び出して、多くの人々を巻き込んで社会的な広がりを見せている。

2012年冬までの成果としては、総計2.67 haの土地で栽培し、10 a当たり200-400 kg、総計約4,500 kgのなたねを取穫し、食用油63 Lを瓶詰めにし、播種用の種子以外を搾油して、約4,000 kgのバイオディーゼル燃料を生産した。第一の目的であった復興の希望に繋がる景観として、岩沼の高速道路のインターチェンジ脇の農地を満開の菜の花で飾ることができた。また、ハクチョウにほとんど食べ尽くされたキザキノなたねであった

が、春には抽苔（ちゅうだい。「とうだち」ともいう。）して、背は低いながらも水田を黄色く彩ることができ、近隣の農家の方が、「われわれと同じように壊滅的な被害を受けながら、力強く立ち上がった菜の花に勇気もらった」とのコメントを頂いたことも、大きなプロジェクトの成果だった。開花前に収穫して、食用の菜花としての販売も好調で、調理方法の開発も行われた。また、開花前のアブラナからプリザーブドフラワーを作製する技術も開発され、なたね油から固形のキャンドルや石鹸の試作も行われた。

今後、1) 耐塩性アブラナ科作物の育種と遺伝子およびメカニズム解析、2) アブラナ科作物の安定的生産方法および被災地の土壌改良を目的とした栽培体系の確立、3) 燃料用および食用なたね油の販売方法の確立、4) なたね油からのバイオディーゼル燃料生産等のエネルギーの地産地消システムの構築を目指した活動を考えている。この活動は10年スパンで実施するつもりである。

4.2. 津波被災農地の土壌調査

JSTへの申請より前の3月から宮城県の研究機関などと連携して実施した。宮城県の津波被災農地14,300 haを網羅するように344地点を選び、詳細な解析を行ってきた⁷⁾。地域によって、被災状況は様々であり、津波堆積泥土（ヘドロ）が10 cmもの厚さで表面を覆う地域（図6）、砂が作土を厚く覆う地域、表土が持ち去られ、客土無しでは農業再開ができない地域、海水のみ浸水しているが、除塩が必要な地域、根から抜けた防潮林の木々や家などの瓦礫が散乱した地域などがあつた。被災状況によって、農地修復の方法を変える必要があることが明らかであった。また、土壌分析を行い土壌中の垂直方向の塩分などの解析を詳しく行ってきた。現在までの2年間で除塩作業などが進められたが、下記の問題が残存していることが確認されている^{8,9)}。

①除塩が終了した圃場で、土壌に吸着したNaが残り、Caが減少する（図7）。

②津波によって堆積した泥土は多量の塩分を含む。野外に放置され、雨水で塩分溶脱したはずの2年目の泥土



図6. 津波によって泥土が厚く堆積した水田
北上川支流近くの水田に海底や河底の堆積物（黒青色の粘質な泥土）が津波によって運ばれ、約10 cmも堆積した。表層が少し乾燥してひび割れている。（宮城県石巻市，撮影：2011年5月11日，山本武彦）

表 1. 塩処理栽培による乾物重比

系統名	50 mM	100 mM		200 mM	
	乾物重比	乾物重比	CRI (100)	乾物重比	CRI (200)
セイヨウナタネ					
N-343	0.98	0.96	1.94	0.90	2.84
N-127	1.10	1.04	2.14	0.69	2.83
Westar	0.95	0.83	1.78	0.67	2.45
N-503	0.89	0.78	1.67	0.47	2.14
N-119	0.89	0.75	1.63	0.48	2.12
キザキノナタネ					
キザキノナタネ	0.57	0.66	1.23	0.41	1.64
キラリボシ					
キラリボシ	0.61	0.54	1.15	0.41	1.57
カラシナ					
J-105	1.03	0.88	1.91	0.49	2.40
C-639	0.97	0.61	1.57	0.36	1.93
J-130	0.70	0.66	1.37	0.57	1.93
J-138	0.72	0.69	1.42	0.43	1.84
J-601	0.57	0.48	1.05	0.21	1.26

乾物重比は 0 mM NaCl 処理区で栽培させた時の地上部乾物重に対する比で算出
CRI (cumulative ratio index) : 乾物重比の累積値 (各 NaCl 処理区の乾物重比の和)

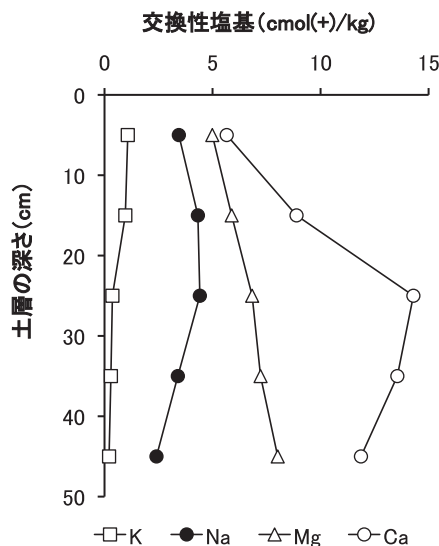


図 7. 津波被災水田の除塩後の塩分状況の例
(除塩後 2 年目にあたる 2012 年 4 月 12 日に採取した, 石巻市蛇田の津波被災水田。交換性塩基は土壤に吸着した塩分に加えて水溶性塩分も含む。除塩後も, 土壤に吸着したナトリウムが残存し, 一方でカルシウムが減少している。)

であっても, 厚く土壤にすき込んだ場合はイネへの影響が危惧される。

③津波によって堆積した泥土は多量の硫化物を含む。多量に硫化物 (硫化鉄や二硫化鉄) を含む津波堆積泥土を農地に混和すると, その酸化生成物である硫酸が再度還元されて生成する硫化水素によって水稻根が障害を受ける可能性がある。

④表土が持ち去られた田畑の復旧方法。不適切な客土により栽培に影響が出る。

今後も, これらの問題を解決するために, 研究を続ける予定である¹⁰⁾。

表 2. 供試系統の Na 吸収量

	単位乾物重あたりの Na 吸収量 (mg/g・dw)			
	0 mM	50 mM	100 mM	200 mM
N119	11.3	30.8	44.1	53.2
キザキノ	9.1	25.3	26.8	46.9
キラリボシ	9.1	33.5	45.9	47.6
J105	5.3	32.8	50.8	58.8
J601	5.5	31.3	36.0	54.5

4.3. アブラナ科作物の耐塩性試験

4.3.1. 耐塩性ポット試験

農学研究科保有の遺伝資源にあるセイヨウナタネ (*Brassica napus*) およびカラシナ (*Brassica juncea*) の中から, 耐塩性が強い系統の選抜を行った。塩処理栽培後の乾物重比, および乾物重比の累積値を指標に耐塩性程度を評価した。セイヨウナタネでは試験した 38 系統数のうち 5 系統, カラシナでは 28 系統数のうち 4 系統が比較的強い耐塩性を示した。一部抜粋したデータを表 1 に示す¹¹⁾。

続けて吸収された地上部でのナトリウム量を測定した。単位乾物重当たりの Na 含量は耐塩性の強弱に関わらず処理塩濃度が高くなるにつれ Na 含量が増加した。塩処理の濃度が同じ場合, Na 含量は, 系統間で有意な差は観察されなかった (表 2)。しかしながら, セイヨウナタネ, カラシナともに耐塩性が強い系統は弱い系統に比べ植物体当たり Na 量を多く蓄積する傾向が見られ, セイヨウナタネ, カラシナともに耐塩性が強い系統は弱い系統の 1.5 ~ 2 倍の Na を蓄積していた。このことから, 耐塩性強系統に, 一定程度の除塩への効果は期待できると考えられた。

4.3.2. 塩害農地での栽培試験

2011 年 10 月上旬に被災水田 (若林区荒井地区) および被災畑 (仙台市農業園芸センター) に植えたセイヨウ

表 3. セイヨウナタネ収穫時の草丈, 収穫量, 千粒重の平均

	対照畑	被災畑	被災水田	東北農セ **
草丈 (cm)				
N-119	168.9	163.9	144.7	
キザキノナタネ	192.1	165.0	152.0	143 ~ 155
収穫量 (kg/1 アール)				
N-119	41.7	43.2	31.9	
キザキノナタネ	73.8	54.5	58.0	34.8 ~ 41.1
千粒重 (g)				
N-119	4.2	4.7	4.9	
キザキノナタネ	3.8	4.2	3.6	4.3

対照畑：農学研究科，被災畑：仙台市農業園芸センター
被災水田：仙台市若林区荒井水田，東北農セ：東北農業研究センター
** 石田ら (2007) 東北農研報 107: 53-62

ナタネ，カラシナの生育，収穫量等を調査した。寒雪害のためカラシナは一部枯死した。被災水田のセイヨウナタネは白鳥の食害を受けたが，初春から順調に生育を再開した。6月中旬から7月にかけて収穫時期を迎えた。

ここに一部のデータとして，セイヨウナタネにおいて各系統の草丈，収穫量を栽培試験区（対象畑，被災畑，被災水田）の間で比較した結果を示す。対照畑は農学研究科の試験圃場，被災畑は仙台市農業園芸センター，被災水田は仙台市若林区荒井水田での実験結果，東北農セは東北農業研究センターによる論文値である。

いずれの系統も塩害による草丈の減少傾向を示したが，収穫量 (kg/a) では減少傾向は見せたものの試験区間で統計的に有意な差は見られなかった (表3)。千粒重では N-119 は塩害の影響をまったく受けなかった。キザキノナタネの被災畑，被災水田におけるこれらの値は，東北農業研究センターが発表している値¹²⁾ とほぼ同程度であり，津波で被災した土地でも十分な成長と種子の収穫が期待できることが分かった。

カラシナでは，ポット試験で耐塩性強と判定された系統も，被災畑，被災水田において収穫量が激減した。

栽培試験を踏まえ種子の収穫量の点で考えると，セイヨウナタネが塩害農地には適しており，試験区近郊の農地では，耐塩性の N-119 およびキザキノナタネ，どちらを栽培しても標準程度に収穫が望めると考えられた。

また，今回の栽培試験で，セイヨウナタネは仙台近郊の風土にも問題なく適応できることも分かった。一方のカラシナでは試験した系統では寒害等の影響のためか，十分な種子収穫量は期待できないことが分かった。

4.3.3. 耐塩性機構の解明

植物は塩，低温，乾燥などの環境ストレスをうけると防御機構が働き，ストレス耐性に関与する遺伝子が働きます¹³⁾。アブラナ科植物ですでにいくつかの遺伝子が知られている。耐塩性強のセイヨウナタネ N-119 と耐塩性弱のキラリボン間でこれらの遺伝子発現の変動を調査した。高濃度の塩処理を行うと，浸透圧調節に関わる適合溶質タンパク質遺伝子の発現が両系統とも急速に高まり，N-119 ではキラリボンに比べてその発現量が約7倍であることが分かった。この誘導される適合溶質の生産能が N-119 で優れており，急速な塩ストレス下でも細胞内の浸透圧を調節し，細胞内からの水分喪失を迅速に

防いでいると考えることが出来る。現在，系統間差を決める他の要因を理解するために，網羅的に塩ストレスで変動する遺伝子を調査している。

4.3.4. 耐塩性強ナタネ系統の開発

耐塩性ポット試験の結果に基づき，2012年度春に耐塩性が強い系統間で交雑をし F₁ 世代を得た。現在この F₁ 世代を育成中で，2013年には F₂ 世代（次世代）の種が採種できる予定である。この世代にはさらに強い耐塩性を示す植物個体の存在が期待されるため，耐塩性評価方法を検討したのち，次期シーズンには実際に選抜を行うことができると考えている。

5. 有機物のバイオガス化を加えた地域資源循環システム¹⁴⁾

ナタネ油は，直接または，食用油として使用された後（いわゆる廃食油）に，バイオディーゼル燃料の原料とすることができる。バイオディーゼル燃料生産時には，副産物である廃グリセリンが生成する。この廃グリセリンは不純物を多く含有するため，これまで焼却されてきた。しかし近年，より省エネルギー型の処理が望まれており，その処理方法の一つに廃グリセリンのメタン発酵が挙げられる。これまで，廃グリセリンのメタン発酵に関する研究は実施されてきたが，小型のリアクターでの小規模かつ60日間程度短期間での結果であったことから，われわれは，大規模リアクターでの長期の検討を行った。

宮城県 3R 新技術研究開発事業「有機物のバイオガス化を中心とする地域的廃棄物処理の最適化に関する研究」として，大崎市の（有）千田清掃で製造されるバイオディーゼル燃料の副産物である廃グリセリンと大崎市の食品工場の排水処理汚泥を混合し，メタン発酵によってバイオガス生産することで，地域からの産業廃棄物の削減，メタン発酵処理後に排出される消化液の液肥利用を行い，循環型社会システムを構築を試みた。

50 t 規模のメタン発酵装置に，食品工場からの排水処理汚泥を1週間に一度投入し，廃グリセリンは毎日1度投入する条件で，効率のよいメタンガス生産する廃グリセリン添加量について検討をした。

安定した連続運転が可能な廃グリセリン投入量の上限

値は、0.1% /day（発酵液の容積に対して毎日0.1%（v/v）の割合で投入）であった。

本研究の結果¹⁵⁾、発酵液30 m³に対して毎日30 Lの廃グリセリンを投入した場合、一カ月のメタンガス生産総量は一般家庭16世帯分の都市ガスに相当する、約140 m³を得ることができた。ここでの生産エネルギー（メタンガス）は発酵槽の運転に消費されるエネルギーを上回った。この余剰エネルギーは、バキュームカー走行距離に換算すると、約1200 km分に相当する。この範囲で汚泥や消化液の運搬をすることにより、エネルギー収支（生産エネルギー／消費エネルギー）はプラスになる。また、生産したメタンガスを発電および排熱回収した場合の経済性はプラスであり、バキュームカーで年間1900 km走行可能な軽油代金が余剰金として得られた。

有機物であるグリセリンが、酸生成細菌による分解を経て有機酸になり、これらが水素や酢酸に変換されることで、メタン生成微生物によって水素からメタン、酢酸からメタンに変換される。

グリセリン添加によって、メタン発酵槽内の微生物群集構造がどのように変化するかをPCR-DGGE法によって解析した。

グリセリン添加前は5種類のメタン生成菌が検出されたが、グリセリン添加後は、1種類のメタン生成菌が優占した。これらの結果より、グリセリン添加によって、グリセリン分解に関与する細菌群集は多様になったが、古細菌群集はより選択されていると考えられた。

メタン発酵後の消化液の処理は、循環型の再生可能エネルギー生産技術を構築する上で非常に重要である。そこで、廃グリセリンのメタン発酵後の消化液について、東北大学フィールドセンターおよび協力農家の採草地を用いて、消化液の液肥利用の可能性について実証試験を行った。その結果、無施肥に比較して約1.2倍の施肥効果が確認された。なお、試験地において、重金属および大腸菌の汚染は認められなかった。

今後は、廃グリセリンのメタン発酵後の消化液は、菜の花栽培の肥料として有効であり、液肥利用による循環システム構築の促進が期待される。

6. 菜の花プロジェクトの今後

2013年6月13日、宮城県で計画された津波被災地の集団移転194カ所すべての地区が国から承認を受けた。2015年度までの整備完了を目指すことになっており、集団移転だけで解決するものではないが、被災者の生活再建の道筋が立ちつつある。一方、農地に関しては、仙台市では、被災農地2,700 haの内、2012年度に500 haの営農が再開され、13年度に900 ha、14年度に400 haの営農が再開される予定である¹⁶⁾。また、亘理町では、いちご農家251戸のうち232戸が津波被災したが、現在、町内3か所の計約70 haに育苗棟や栽培ハウスを建設であり、総事業費約110億円の「いちご団地」が2013年夏までに完成する予定である。農家の大規模化、六次産業化を旗印に、仙台周辺では急速に復興事業は進みつつある感があるが、岩手県や福島県の農業再生は緒に付いたところである。

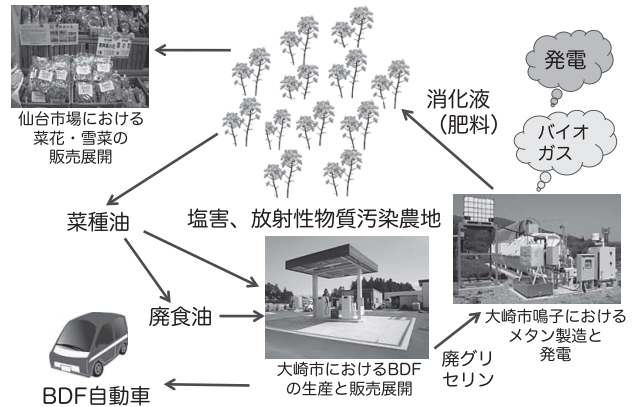


図8. 菜の花プロジェクトによる農業・農家の復興とエコエネルギー生産

われわれのプロジェクトは、岩手県大船渡市の畑や、津波を受けた国道沿いの花壇などでの菜の花の栽培を支援している。また、津波塩害と放射性物質汚染の両者を受けている南相馬市においても種子の提供や、放射性物質汚染農地での栽培試験、放射性物質の植物体や種子への移行の現地調査を行っている。

とくに、南相馬市など、高濃度の放射性物質に汚染された農地では、食糧生産は困難であり、バイオディーゼル燃料生産を目指すアブラナの栽培が有効と考えられる。福島県農業総合センターの2011年産のナタネに関する調査¹⁷⁾（福島第一原発事故の前年秋に播種され、事故時には生育中の葉が放射性降物に汚染されたもの。6月末から7月初めに採取して調査）結果では、子実には当時の暫定規制値（500 Bq/kg）を超過したものが見られたが、667.4 Bq/kgの子実から圧搾法で得られたナタネ油の放射性セシウムは3.63 Bq/kgであったと報告されており、これらの子実中の放射性セシウムは搾出した油にはほとんど移行しないことが示されている。土壌から吸収する放射性セシウムの量やその子実から得られるナタネ油での放射性セシウムの量は、今後の現地調査でさらにデータを蓄積する必要があるが、ナタネ油から精製するバイオディーゼル燃料に残存する放射性セシウムは極めて少ないため、現地での自動車の燃料として利用できると考えられる。

今後、菜の花は、除塩作業開始前の農地での栽培だけではなく、地域でのエネルギー自給システムを作るための油糧生産や、さらに、放射性物質汚染を受けた場所では、バイオディーゼル燃料生産の原料として栽培することなど、地域の実情に合わせて活用して行くことになる。菜の花プロジェクトとしては、これらの支援を行うと共に、育種研究を並行して実施しており、耐塩性のアブラナは、国内に限らず、塩害被害を受けている世界各地の農地での活用に関与すると考えている（図8）。

文 献

- 1) 中井 裕. 2013. 震災からの農業・農村の復興 — 農学研究科の復興支援プロジェクト—. pp. 211-233. 吉野 博・日野正輝編, 今を生きる— 一東日本大震災から明日へ! 復興と再生への提言— 5 自然と科学. 東北大学出版会.

- 2) 中井 裕. 2011. 農地再生, 環境と調和する農業へ—食・農・村の復興支援プロジェクト (ARP) —. 月刊ガバナンス. 125: 25–27.
- 3) 東北大学大学院農学研究科・農学部. 食・農・村の復興支援プロジェクト. <http://www.agri.tohoku.ac.jp/agri-revival/>
- 4) 東北大学大学院農学研究科・農学部. 津波塩害農地復興のための菜の花プロジェクト. <http://www.nanohana-tohoku.com/index-j.html>
- 5) 中井 裕. 2012. 菜の花で津波塩害農地を蘇らせる. *Biophilia*. 1(1): 7–13.
- 6) 齋藤雅典. 2011. 東北大学フィールドセンターから見た震災. *Biophilia*, 特別号, pp. 24–26. アドスリー社.
- 7) 南條正巳. 2013. 農地における塩害の概況とその修復. pp. 1–19. 日本農学会編, 東日本大震災からの農林水産業と地域社会の復興, シリーズ 21 世紀の農学, 養賢堂.
- 8) 伊藤豊彰. 2013. 2年目の津波被災農地の復旧支援. 食・農・村の復興支援プロジェクト活動報告会. http://www.nanohana-tohoku.com/20130315_PDF/7_Ito20130315.pdf
- 9) 伊藤豊彰, 菅野均志. 2012. 津波, 高潮による農地被害の原因と修復の考え方. 最新農業技術土壌施肥. 農文協. 4: 9–20.
- 10) 北村信也, 伊藤豊彰, 丸岡伸洋, 柴田浩幸. 2012. 製鋼スラグによる被災農地の再生. *金属*. 82: 73–77.
- 11) Nasu, S., H. Kitashiba, and T. Nishio. 2012. “Na-no-hana Project” for recovery from the Tsunami disaster by producing salinity-tolerant oilseed rape lines: Selection of salinity-tolerant lines of *Brassica* crops. *J. Integrated Field Science* 9: 33–37.
- 12) 石田正彦, 山守 誠, 加藤晶子, 由比真美子. 2007. 無エルシン酸・低グルコシノレートナタネ品種「キラリボン」の特性. *東北農研研報*. 107: 53–62.
- 13) Chinnusamy, V., K. Schumaker, and J.K. Zhu. 2004. Molecular genetic perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signaling in plants. *J. Exp. Bot.* 55: 225–236.
- 14) 中井 裕, 馬場保徳, 多田千佳. 2012. 地域有機資源循環とメタン発酵 —津波塩害農地復興のための菜の花プロジェクトと BDF グリセリン廃液のメタン発酵研究—. 用水と廃水. 54(7): 58–64.
- 15) Baba, Y., C. Tada, R. Watanabe, Y. Fukuda, N. Chida, and Y. Nakai. 2013. Anaerobic digestion of crude glycerol from biodiesel manufacturing using a large-scale pilot plant: Methane production and application of digested sludge as fertilizer. *Biores. Technol.* 140: 342–348.
- 16) 仙台市. 2013. 仙台東地区農地・農業施設の復旧状況. 第 15 回仙台東部地区農業災害復興連絡会. <http://www.city.sendai.jp/keizai/nourin/higashinohon-daishinsai/pdf/renrakukai/15kai/siryol.pdf>
- 17) 福島県農業総合センター作物園芸部. 2011. ナタネに対する放射性セシウムの影響と油への移行. 農業・食品産業技術総合研究機構 平成 23 年度研究成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H23/hatasaku/H23hatasaku006.html>