

## 1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による大津波は、東北から関東にかけての太平洋沿岸部の広域にわたり甚大な被害をもたらした。大津波の被災農地の推定面積は、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県の合計で23,600 haに達した。田畑別の推定では、田が20,151 ha、畑が3,449 haであり、約85%が田であった。上記6県の中でも宮城県の被害面積が15,002 haと最も大きく、被害面積率（全農地の中で被害にあった農地の面積率）は11%であった。さらに市町村別に見ると、全農地の90%以上が被害を受けた自治体さえあった。震災から9年が経過した令和2年3月末時点で営農再開可能面積は岩手県100%、宮城県99%、福島県73%と農地の復旧は進み、岩手県と宮城県では令和2年度（令和3年3月）までに工事が完了することになっている。

この間、被災地の復旧と復興のために、被害を受けた農地の実態調査、除塩や津波堆積物の処理等による農地の復旧・整備、復旧した農地での先進的技術を統合した新たな技術開発の研究に多くの土壌肥料関係の研究者が関わってきた。日本土壌肥料学会も速やかに関連情報を発信するとともに、「土と肥料の講演会」で震災の1年後と5年後にこの課題を取り上げた。震災1年後の講演会では主に農耕地土壌における大津波の被害実態と塩害対策の概要について、5年後の講演会では主に被災農地の実態と問題およびその対策について講演と議論が行われている。

被災地では復旧・復興のための研究が進められてきたが、特に実証研究で中心的役割を担ってきたのが農林水産省と復興庁の研究プロジェクト「食料生産地域再生のための先端技術展開事業（先端プロ）」である。この先端プロは農業分野及び漁業分野の復旧・復興に貢献するため、産学官が開発してきた先端技術を組み合わせ、被災地の農業者・漁業者等と協力しつつ、技術の有効性を実証し、その普及・実用化を促進しようとするものである。先端プロの研究課題は多岐にわたるが、農業分野では多くの課題に土壌肥料研究者が関与している。

ここでは、震災直後に実施された土壌塩分濃度の簡易推定に関する研究、先端プロで実施された復旧農地における先端技術を導入した高能率水田輪作体系の実証研究、そして新たに顕在化した課題を解決するための実証研究を紹介する。

## 2. 海水浸水農地の土壌塩分濃度の簡易推定に関する研究

海水浸水農地の塩分濃度の把握には、一般的に土壌中の塩素濃度と相関関係のある土壌の電気伝導度（EC）が用いられる。土壌の電気伝導度測定には測定の簡便性から、乾土1に対して蒸留水5を加えた懸濁液の電気伝導度を測定する1:5水浸出法（EC1:5）が用

いられる。しかし簡便法と言うものの、多くの農地において EC1:5 を計測するのは多大な労力を要する。そこで簡易な土壤電気伝導度の推定法が検討された。

#### (1) 市販土壤 EC センサを用いた土壤 EC 簡易測定法 (関矢ら, 2012)

本測定法は海水浸水農地の土壤塩分濃度の指標となる土壤 EC を現場で迅速に測定する方法である。

市販の土壤 EC センサ (土壤 EC 計 HI98331 Soil test, HANNA 社) を用いて、海水浸水農地の土壤の EC1:5 と懸濁操作なしにセンサ部を土壤に直接接触させて読み取った測定値との関係が検討された。その結果、塑性限界以上の含水比の土壤を圧密条件で測定すると測定値が安定し、従来法である EC1:5 と高い相関が認められた。また、本土壌 EC センサを用いて海水浸入農地の土壤 EC を測定する場合、土壤 EC センサの測定値と EC1:5 の回帰直線から、土壤 EC センサの測定値を 0.4 倍すれば EC1:5 に換算できると推定された。これにより現地で懸濁操作を経ることなく、簡易に海水浸入農地の土壤 EC を測定することが可能となった。

#### (2) 電磁探査法による津波被災農地の土壤電気伝導度調査法 (冠ら, 2012)

本調査手法は電磁探査装置 (GEM-2, Geophex 社) を圃場で持ち運びながら非破壊・非接触でみかけの土壤電気伝導度 (ECa) の分布を把握するものである。

本研究では、まず研究センター内の試験圃場に塩化カリウムを散布することで、塩分濃度を調整した疑似海水浸水圃場が設定され、GEM-2 により ECa が測定された。ECa は塩化カリウムの散布量に応じて変化し、また土壤 EC センサによる測定値と同様の傾向を示したことから、本装置により非破壊、非接触で津波浸水農地の相対的な ECa の高低差を把握できることが確かめられた。本装置による ECa の測定とともに GPS の位置情報を取得することで、地図上に ECa の等高線図を重ねることができる。これにより地図上で ECa の面的分布を把握することができ、迅速に圃場のみかけの土壤電気伝導度の分布を可視化できる。

本調査法では簡易にみかけの土壤電気伝導度 ECa の分布を比較的広い範囲で把握することができる。しかし、一般に用いられる土壤電気伝導度 EC1:5 の測定値が必要な場合は別途測定が必要となる。その際に上記の市販土壤 EC センサを用いた土壤 EC 簡易測定法を併用することで、現地で ECa と EC1:5 を比較でき、迅速性を損なわずに除塩に必要な調査が可能である。

### 3. 復旧農地における先端技術を導入した高能率水田輪作体系の実証研究

農地が復旧し、営農が再開されると特定の担い手に農地の集積・集約化が進み、100ha を超えるような大規模経営体が出現した。復興のためには、そこにこれまでの技術要素を結集し、強い競争力をもつ省力・低コストの大規模水田農業を確立することが求められる。宮城

県において、そのための実証研究が先端プロ「土地利用型営農技術の実証研究」の中で進められた。

(1) プラウ耕・グレーンドリル播種による稲-麦-大豆の2年3作輪作体系(大谷, 2020)

農研機構東北農業研究センターで開発された水稻乾田直播栽培技術を現地に導入し、高能率の乾田直播技術を軸として、稲-麦-大豆の2年3作輪作体系を確立するための実証試験が行われた。

対象地は仙台平野のガレキ除去と除塩作業が済んだ30a区画圃場が中心の水田地帯である。まずプラウ耕・グレーンドリル播種による乾田直播を軸とした高速作業体系の効果を発揮させるために、合筆により圃場が大型化された(10枚の合筆で3.4haと8枚の合筆で2.2ha)。乾田直播の播種作業は、プラウの一種であるスタブルカルチで耕起し、ケンブリッジローラーで砕土・鎮圧して播種床を造り、麦用の高速播種機であるグレーンドリルで播種し、再びケンブリッジローラーで播種後に鎮圧する体系である。耕起作業に用いるスタブルカルチと、播種作業に用いるグレーンドリルは本2年3作輪作体系の実証試験において、全ての作物で使用された。水稻跡には小麦が栽培されたが、その収穫時期は6月下旬で大豆の播種時期が標準よりも遅くなるため、大豆については条間を30cm前後に狭くして播種量を多くする狭畦密植栽培とされた。

本実証試験のデータを用いて収穫物60kg当たりの費用合計を試算したところ、東北平均と比べて水稻で57%、小麦で46%、大豆で72%低減し、本2年3作輪作体系の有効性が実証された。

(2) 乾田直播栽培における収量マップを用いた可変施肥技術(関矢ら, 2017; 大谷, 2020)

プラウ耕・グレーンドリル播種による稲-麦-大豆の2年3作輪作体系の実証試験において、高能率化を図るために合筆造成した大区画化圃場では、均一な肥培管理では盛り土部分は生育過剰で倒伏し、切り土側では生育量が不足した。そのため圃場内の肥沃度に応じた精密な肥培管理技術が検討された。

導入技術は、①収量コンバインによる収穫情報マッピングシステム、②収量マップから圃場内の地カムラに応じて地点毎の施肥量を算出する基肥施肥マッピング技術、③基肥施肥マップに応じたブロードキャストによる可変施肥技術である。

収穫情報マッピングシステムは、グレンタンクに投入される穀物流量を連続的に測定可能な収量センサやGNSS受信機を備えた収量コンバインと、取得した時系列データを用いてマッピング処理を行うGIS機能を備えたコンピュータープログラムなどから構成される。実証試験において生成された収量マップの収量は、坪刈り等により実測された収量と相関があり、圃場内の収量の傾向を可視化できることが明らかにされた。

基肥施肥量の算出のため、場所毎の水稻の窒素吸収量が推定された。その推定は、まず収量マップと籾収量-水稻窒素吸収量の関係式から水稻の窒素吸収量を推定し、そこか

ら施肥由来窒素量を差引くことで行われた。基肥窒素施肥マップは、場所毎に目標収量を達成する水稻窒素吸収量から土壌窒素吸収量を差引いて必要な施肥由来窒素量を求め、肥料の窒素利用率を勘案して作成された。この施肥マップ情報を可変施肥対応ブロードキャストに入力し、自動制御により可変施肥作業が行われた。

可変施肥技術を導入した圃場の収量は、対照区と比べて 2016 年は 17% (83kg/10a) の増収、2017 年は 7% (36kg/10a) の増収であった。両年とも可変施肥に掛かる追加費用を上回る収益増を実現し、精玄米収量 60kg 当たり費用合計を 3 ポイント程度低減することが実証された。

#### 4. 津波被災地で新たに顕在化した課題を解決するための実証研究（農林水産技術会議，2020；西田ら，2020）

岩手県沿岸地域において新たに顕在化した課題を解決すべく、先端プロ「復旧水田における先端技術導入による水田営農の高度安定化に向けた実証研究」が実施された。課題は多岐にわたるが、そのひとつにごま葉枯病の発生があった。ごま葉枯病には土壌要因が関連することがよく知られており、資材施用による発病抑制を目指した実証研究が行われた。

現地にはごま葉枯病がよく発生する場所（圃場）とほとんど発生しない場所（圃場）があり、まずそれぞれの土壌と水稻の収量性が調査された。その結果、発生圃場の土壌は可給態ケイ酸、遊離酸化鉄、易還元性マンガンが低めであること、収量は無発生圃場に比べて低いことが示された。

ごま葉枯病と低収量の対策として、転炉さい（てんろタンカル）と豚ふん堆肥の施用試験が 2 年間実施された。資材を施用した対策圃場は無対策圃場に比べてごま葉枯病が軽減する傾向があった。また、対策圃場の生育は明らかに改善し、収量は無対策圃場と比べて 60kg/10a 以上増加し、対策の効果が実証された。

#### 5. おわりに

甚大な被害があった東日本大震災の津波被災地域の復旧と復興に貢献すべく、多くの研究者、技術者等が現地に入り技術的課題の解決に取り組んできた。ここではそのごく一部を紹介したにすぎず、非公表の成果も含めて試験研究機関、普及指導機関、民間企業、大学等が多くの課題を解決してきた。しかし岩手県の先端プロのように、復旧しても新たに顕在化する課題があり、その中には土壌肥料に関するものもある。著者は昨年仙台市東部の土地改良建設事業所の方から現地の状況を聞く機会を得た。課題としてあげられたひとつは地力問題である。低肥沃の土が客土されたため生産性が低下し、地力を高めたいが、近隣から堆肥が入手できず堆肥施用による地力増強が難しいこと、もうひとつは暗渠施工後に硫酸酸性土壌が表面に露出し、生育障害を生じさせていることであった。後者については、簡易にその広域モニタリングができる技術を求めているとのことであった。被災農地が広域に及ぶので、地域によっては異なる課題が生じていると推察される。復旧と復興を達成するため

には、引き続き現地と向き合う必要がある。

#### 文献

冠秀昭・関矢博幸・遊佐隆洋・大谷隆二. 2012. 電磁探査法による津波浸水農地の土壌電気伝導度迅速調査法. 土壌の物理性, 121, 19-28.

西田瑞彦・善林薫・太田光祐・佐々木綾子・宇野亨・松崎航・陶木里咲・田島亮介. 2020. 三陸沿岸部のごま葉枯病発生圃場における転炉さいと豚ふん堆肥の施用効果. 土肥講要, 66, 106.

農林水産技術会議. 2020. 食料生産地域再生のための先端技術展開事業, 研究成果発表会発表資料. [https://www.affrc.maff.go.jp/docs/sentan\\_gijyutu/sentan\\_gijyutu.htm](https://www.affrc.maff.go.jp/docs/sentan_gijyutu/sentan_gijyutu.htm)

大谷隆二. 2020. 津波被害を受けた仙台平野の先端技術による復興支援—乾田直播体系の技術開発・普及を中心に—. 農村経済研究, 75, 18-23.

関矢博幸・冠秀昭・大谷隆二・吉住佳代・武田純一. 2012. 海水進入農地の土壌電気伝導度の測定における土壌 EC センサの利用法. 土肥誌, 83, 292-295.

関矢博幸・林和信・宮路広武・紺屋秀之・栗原英治・細川寿・宮本宗徳・金谷一輝・長坂善偵・齋藤秀文・冠秀昭・中山壮一・松波寿典・篠遠善哉・赤坂舞子・池永幸子・谷口義則・西田瑞彦・高橋智紀・大谷隆二. 2017. 水田輪作体系乾田直播栽培における収量マップを用いた基肥可変の施肥増収効果. 東北農業研究センター成果情報 2017.