

東京農業大学 応用生物科学部 **後藤 逸男**
 東京農業大学 応用生物科学部 **大島 宏行**
 東京農業大学 応用生物科学部 **稲垣 開生**

津波被災農家を元気にする緑肥 —緑肥のふしぎな威力—

1. 緑肥は「メタボ土壤」に最適な有機物補給方法

筆者らは1970年代から全国各地の野菜生産地の土壌診断調査を行い、土壌養分蓄積の実態を調査してきた。当初は、野菜産地の市町村長やJAの組合長宛に調査協力依頼状を出していたが、最近では野菜産地から調査を頼まれるようになった。現地に行ってみると、アブラナ科野菜根こぶ病やウリ科ホモブシス根腐病、セルリー萎黄病などの土壌病害に苦しめられている地域であった。そのような畑やハウスで土壌診断分析を行うと驚くほど大量の硝酸態窒素・交換性カリそして可給態リン酸が蓄積し、本来痩せていたはずの土が「メタボ化」していた。それにもかかわらず、「まだ、地力が低いから病気が出た」と有機質肥料やリン酸肥料それに家畜ふん堆肥を多量に施用していた。そのような事例のひとつが

セルリー萎黄病で苦しんでいた静岡県浜松市のセルリー産地である。

地元からの要請に応じて2004年に調査に入り、写真1のような萎黄病が多発する要因を調べた結果、長年にわたり年間二作のセルリーを連作してきたことに加えて、大量の有機質肥料と家畜ふん堆肥の施用に伴う土壌酸性化と可給態リン酸の過剰であった(表1)。そこで、2004年に萎黄病で全滅したハウス



写真1 セルリー萎黄病で全滅したハウス

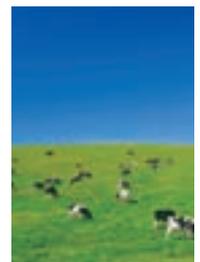
表1 セルリー萎黄病激発ハウスの土壌断面と化学性

| 深さ cm | pH (H ₂ O) | EC mS/cm | CEC meq/100g | 塩基飽和度 % | 水溶性 | | リン酸 吸収係数 | NO ₃ -N mg/100g |
|----------|--------------------------|-------------|-----------------|------------|--|-----|-------------|-------------------------------|
| | | | | | 可給態 P ₂ O ₅ (mg/100g) | | | |
| 20 | 5.3 | 0.37 | 13.1 | 96.4 | 54.0 | 359 | 29 | 13.1 |
| 30 | 5.6 | 0.08 | 11.4 | 88.5 | 45.7 | 343 | 21 | 0.6 |
| 50 | 6.2 | 0.07 | 7.6 | 118 | 35.7 | 220 | 47 | 0.5 |

第61巻第3号 (通巻654号)

牧草と園芸/平成25年(2013) 7月 夏季号 目次

- 遅まき・二期作用トウモロコシ……………表2
- 津波被災農家を元気にする緑肥 —緑肥のふしぎな威力—
 [後藤 逸男、大島 宏行、稲垣 開生]…1
- 震災後の農業復興下での緑肥作物の利用 [木村宏太郎]…9
- 緑肥シリーズ 緑肥のカバークロップとしての機能を見直そう [和田美由紀]…13
- 中山間地域の畦畔管理の省力化に「畦畔グリーン」を
 [小林 淳彦、大竹 康友、入山 義久]…17
- 根物作用の有害線虫対策「ハイオーツ」・新品種チャガラシ「辛神」…表3
- 飼料イネサイレージ専用乳酸菌「畜草1号プラス」……………表4



豊富町

スで転炉スラグの施用による酸性改良、有機質肥料から少量の尿素単肥への変換、家畜ふん堆肥施用の半減（10t/10a→5t/10a）、夏季休耕期に太陽熱消毒の総合防除対策を施した結果、翌2005年作での萎黄病発病は大幅に抑制できた。2006年作では家畜ふん堆肥を無施用として、その代わりにセルリー収穫後にソルゴーを作付け、鋤き込み後に太陽熱消毒を行った。その結果、萎黄病の発生をほぼ完璧に抑えることができた。

従来施設園芸での緑肥利用と言えば、塩類が集積したハウスにソルゴーなどを作付け、できる限り大きくしてから刈り取りハウスから持ち出すことが常識とされてきた。しかし、その後に家畜ふん堆肥や有機質肥料を施用すれば、硝酸態窒素の生成により土壤の電気伝導率が再び上昇する。また、リン酸やカリの蓄積もさらに進み、「メタボ化」に拍車をかけることになる。しかし最近では緑肥を持ち出すのではなく、粗大有機物補給として鋤き込む、あるいはセンチュウ密度軽減など土壤病虫害のための緑肥作付けが広く普及するようになった。これらは、土壤環境保全上きわめてすばらしいことであるが、浜松のセルリー産地のような場合には注意すべきことがある。

セルリー萎黄病は様々な植物に被害を及ぼすフザリウムが引き起こす土壤病害である。このフザリウムはかびであるため、緑肥を鋤き込むと、それが「えさ」となり急激に菌密度が増加し発病を助長してしまう。緑肥に限らず、堆肥でも有機質肥料でも有機物であれば同じ結果となる。そこで、この現象を逆手にとって緑肥を作り、それを鋤き込んだ後に太陽熱消毒を行うと、その消毒効果が増強されることがわかった。そのメカニズムは次のとおりである。フザリウムは通常、厚膜胞子という形態で土壤中に生息し、いわば「鎧」を身につけているため耐乾性や耐熱性を備えている。しかし、太陽熱消毒前に緑肥を鋤き込むと、厚膜胞子が一齐に発芽して「鎧」を脱ぎ捨ててしまう。そこを太陽熱消毒で一気に叩く作戦だ。

この作戦が功を奏して、浜松のセルリー産地では上記のような総合防除体制が広く普及しつつある。しかし、残された課題が緑肥の種類であった。当初は、ソルゴーが多かったが、ソルゴーでは収入につながらないと言うことで、スイートコーンを作り雌穂収穫後に茎葉を鋤き込む農家、あるいはクロタラリアを作る農家などが現れた。そこで、同じハウス内にこの三種類を作付け、収量と養分吸収量を比較

した（写真2）。その結果、表2のように有機物補給および肥料成分回収効果はソルゴーが優った。これらの緑肥鋤き込み後に太陽熱消毒を行い、その後にセルリーを栽培した結果、ソルゴー区とクロタラリア区で増収した（写真3、表3）。その増収による収益の差はスイートコーン区での雌穂売上げによる収益を上回った。



写真2 セルリーハウス内での緑肥栽培試験

表2 緑肥の収量と養分吸収量

| 緑肥の種類 | 収量 t/10a | 有機物量 C kg/10a | 炭素率 | 養分吸収量(kg/10a) | | | | |
|---------------|-------------|------------------|------|---------------|-------------------------------|------------------|------|------|
| | | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
| ソルゴー | 6.9 | 510 | 15.9 | 32.2 | 11.8 | 48.0 | 17.0 | 10.0 |
| クロタラリア | 5.1 | 350 | 17.9 | 19.6 | 7.2 | 31.0 | 5.0 | 3.7 |
| スイートコーン 茎葉 | 2.9 | 160 | 14.7 | 11.4 | 5.7 | 25.0 | 1.6 | 1.9 |



写真3 緑肥鋤き込み後に栽培したセルリーの調整株

表3 緑肥の鋤き込みがセルリーの収量に及ぼす影響

| 試験区 | 草丈 | 全重量 | 調整重量 | 調整収量 |
|---------|----|------|------|-------|
| | cm | g/株 | | t/10a |
| 緑肥なし | 61 | 2270 | 1790 | 7.5 |
| ソルゴー | 64 | 2420 | 1900 | 8.0 |
| クロタラリア | 63 | 2480 | 1870 | 7.9 |
| スイートコーン | 62 | 2340 | 1770 | 7.4 |

メタボ化したハウス土壌中には、大量の硝酸態窒素が残留している。これが土壌の電気伝導率を高める張本人である。そこで、ハウスの被覆資材を剥がして雨にあてると土壌に吸着されにくい硝酸態窒素は容易に下層に流れて電気伝導率は低下するが、地下水を汚染する原因になりかねない。また、折角の肥料成分を捨ててしまうので、もったいない。

図1には、上記のセルリーハウスで三種類の緑肥を鋤き込む直前の土層1mまでの硝酸態窒素の分布を示す。裸地区では30cm付近に硝酸態窒素が集積しているが、緑肥特にソルゴー区では土層中の硝酸態窒素がほとんど消失している。これこそが緑肥をクリーニングクロープと呼ぶ所以だ。しかし、これを刈り取ってハウスから持ち出すのではなく、鋤き込めばこやしのリサイクルとなる。

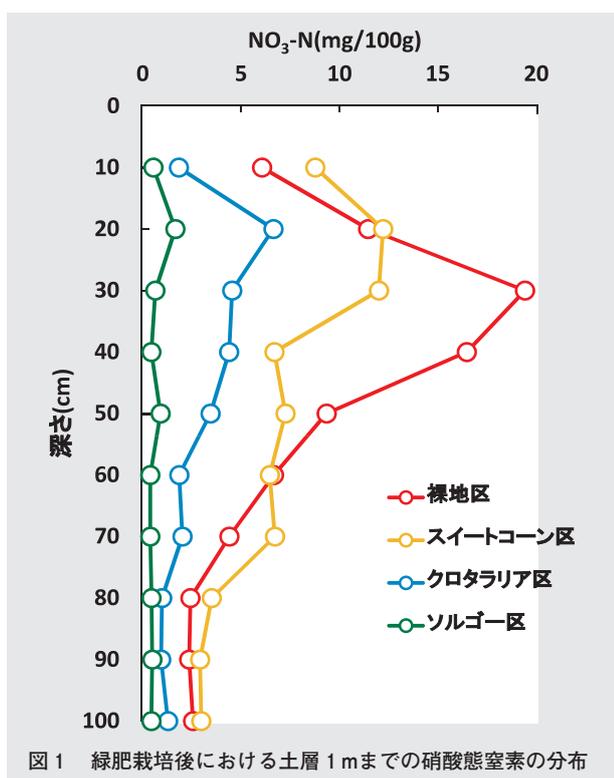


図1 緑肥栽培後における土層1mまでの硝酸態窒素の分布

このように、緑肥はメタボ土壌に最適な有機物補給手段であるばかりでなく、センチウ密度の軽減、太陽熱消毒の補助資材、土壌環境保全、肥料のリサイクルなどと数多くのすばらしい効果がある。筆者らはこれまでに浜松のセルリー産地を始め全国各地の野菜産地で野菜収穫後の緑肥作付を啓発してきたが、3.11以降の2011年5月から開始した東日本支援活動の中でこれまで全く気付かなかった緑肥のふしぎな威力を発見した。

2. 東京農業大学東日本支援プロジェクトの取り組み

2011年3月11日に発生した東日本大震災の大津波により流失や冠水等の被害を受けた農地面積は宮城県で13,430ha、福島県で5,460haにおよび被災6県では21,480haに達した。これらの内、2012年までに営農が再開された農地は40%程度に過ぎない。福島県では原発事故による影響で津波被災農地から復興した農地はわずか数%で、特に海岸に隣接する津波被災地域での本格的復興作業はこれからが本番である。

まさに、日本にとってはこれまで経験したことのない未曾有の農業災害に対して、今こそ農業技術者・研究者が復興に向けて総力を注ぎ込まなければならない。2011年4月末には東京農業大学内に福島県相馬市およびその周辺を主な対象地とする「東日本支援プロジェクト」が結成された。筆者らは直ちにそれに参画し、5月1日より相馬市の被災地に入った。

3. 津波で被災したイチゴハウスの復興から始めた支援活動

福島県相馬市で目にした大津波による被災の光景は想像を絶するものであった。特に、松川浦の西に広がる水田には砂州に植えられていた松が大量のがれきとなって積み重なり、その中に車やトラックターそれに打ちあげられた漁船が横たわっていた(写真4)。用排水設備も津波による被害を受けたため湛水状態の水田が広範囲に拡がり、表面は厚さ5~10cmの津波土砂で被われていた。「元の水田に戻るのに何年かかるだろう？」地元農家の悲惨な叫びであった。海岸から2km程度離れると、がれきの量は少なくなり、津波土砂の厚さも5cm程度となった。また、水田には水はなく表面にはナトリウ

ムを多量に含んだ粘土特有の亀裂ができていた（写真5）。



写真4 海岸に近く、がれきの多い激甚被災水田



写真5 海岸から約3kmの亀裂が少ない津波被災水田

5月3日には、海岸から約3kmの距離にある和田のイチゴハウスを訪れた。この地域は海岸から川を遡って来た津波の被害を受けたため、がれきはほとんど見られず、イチゴハウス自体には被害はなかった。しかし、津波を受けて収穫中のイチゴは全滅し、ハウス内の畝間には約10cmの津波土砂が堆積していた（写真6、7）。福島県相馬地域における農業被害は津波による被災と福島第一原発事故に伴う放射能汚染であった。どちらも早期復旧・復興を目指すべき重要課題であるが、不良農地の土壌改良や土壌診断などにたずさわってきた筆者らのこれまでの研究経験をすぐに活かせる支援は前者の津波

被害と判断し、まずはイチゴハウスの早期復興に向けて活動を開始した。



写真6 海岸から約3kmの津波被災イチゴハウスの内部



写真7 イチゴハウスの畝間に堆積した津波土砂

4. 農地表面に堆積した津波土砂を取り除く必要はない

2011年6月に発表された農水省の除塩マニュアルによると、「津波により海底の土砂がほ場に堆積している場合は、ほ場外に除去することを基本とする。」としている。しかし、土砂の除去・処分には多大な労力を必要とする。現地ではこの土砂を「へどろ」というているが、相馬市内から採取した20点

| 試料 | 深さ cm | pH(H ₂ O) | 電気伝導率 mS/cm | 交換性塩基(mg/100g) | | | | CEC meq/100g | 塩基飽和度 % | 可給態リン酸 mg/100g | 可給態ホウ素 mg/kg |
|------|----------|----------------------|----------------|----------------|-----|------------------|-------------------|-----------------|------------|-------------------|-----------------|
| | | | | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | | | | |
| 津波土砂 | 10 | 7.5 | 19.9 | 774 | 710 | 402 | 3120 | 37.9 | 454 | 11.4 | 20.5 |
| 畝部土壌 | 20 | 5.9 | 2.14 | 610 | 106 | 116 | 206 | 24.6 | 147 | 253 | 1.39 |
| 畝部土壌 | 30 | 6.7 | 1.71 | 688 | 109 | 79.4 | 152 | 24.8 | 147 | 129 | 0.92 |
| 畝部土壌 | 45 | 6.0 | 0.80 | 908 | 177 | 54.5 | 48.7 | 38.1 | 115 | 9.6 | 1.16 |
| 畝部土壌 | 50 | 5.5 | 6.21 | 657 | 230 | 182 | 665 | 28.8 | 209 | 90.3 | 7.38 |

ほどの土砂を分析した結果、良質な粘土と肥料成分として有効なカリウムやマグネシウムを多量に含むこと(表4)、カドミウムやヒ素などの有害元素含有率は土壌と大差ないことがわかった(表5)。

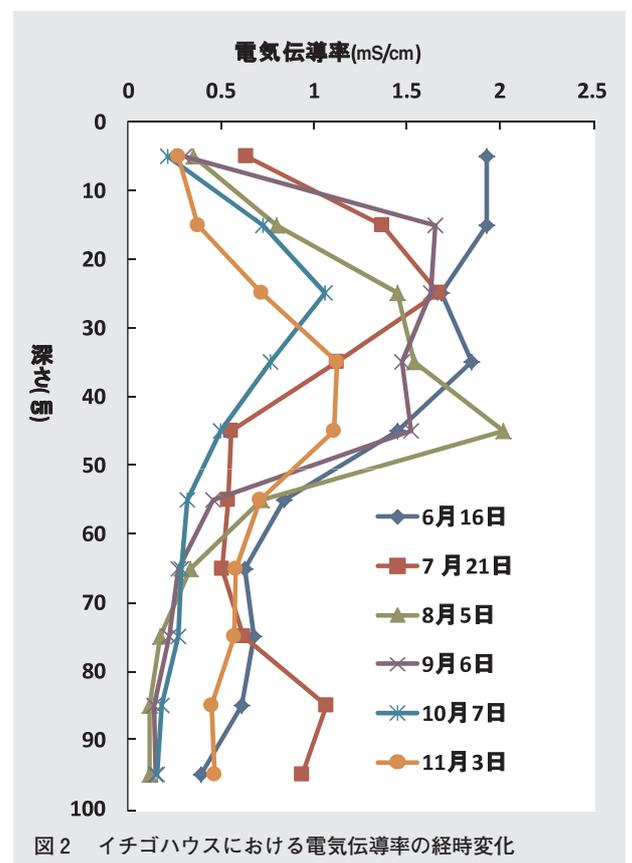
和田地区で同じように被災したイチゴ農家ではボランティアの応援によりハウス内に堆積した津波土砂の除去作業を進めていた。筆者らが支援対象とした農家でも、最初に訪れた数日後には同じ作業を予定していたが、津波土砂を撤去する必要のないことを説明したところ、それを受け入れてもらえた。そこで、先ず3.11以降手付かずとなっていたハウスの屋根のビニールと畝のマルチを剥ぎ、雨にあてた。その後、6月には被災農家自らが津波土砂を元の作土と混層した。これを見ていた周りの農家もそれに追従した。なお、津波で流された集落周辺の農地では、土砂中にガラスや瓦の破片などの異物が多量に混ざっているような場合には、土砂を除去するなどせざるを得ない。

| 試料 | 深さ(cm) | ガミウム | ヒ素 | 亜鉛 | 銅 | ニッケル | クロム |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 津波土砂 | 10 | 0.46 | 8.82 | 130 | 37.1 | 27.8 | 52.8 |
| 畝部土壌 | 20 | 0.35 | 4.81 | 96.7 | 18.5 | 21.5 | 63.9 |
| 畝部土壌 | 30 | 0.32 | 4.40 | 92.8 | 19.8 | 22.6 | 55.9 |
| 畝部土壌 | 45 | 0.39 | 5.67 | 181 | 38.6 | 49.4 | 72.3 |
| 畝部土壌 | 50 | 0.35 | 6.61 | 109 | 26.1 | 30.3 | 108 |

5. 雨に優る除塩資材なし、除塩の確認は緑肥で

農業専門誌などには津波による農地被災直後から、数多くの除塩資材や耐塩性植物の導入などに関

する記事が掲載された。しかし、津波被災農地に浸入した塩分の主成分は塩化ナトリウム(食塩)で、ナトリウムイオンと塩素イオンからなる。その中の塩素イオンは土壌に吸着されにくいので、雨水で容易に流すことができる。ただし、農地表面には亀の甲羅状に固まった津波土砂が堆積していたので、そのままの状態でも雨にあてても充分な除塩効果は期待できない。そこで、土砂と作土をよく混和した上で雨にあてることにした。その方法により、図2のようにイチゴハウスでは8月5日(94日目)には作土中の塩類濃度の指標となる電気伝導率が0.35mS/cm程度まで低下し、ほぼ除塩が完了したので、それを



確認する目的でソルゴーを作付けた。このソルゴーは本来飼料作物であるが、野菜産地では夏季の緑肥作物としてよく利用される。8月5日にソルゴーの種子を5kg/10a散播後に深さ5cm程度に浅くロータリーをかけた。その後順調に発芽して、一ヶ月後の9月6日には人の背丈ほどの約1.5mに生長し(写真8)、生草収量は約4t/10aに達した。塩害を受けた農地でのソルゴー栽培といえば、大きく育てた後に刈り取り圃場外に持ち出すことが当たり前のように思われがちであるが、今回のソルゴー作付の目的は除塩ではなく、除塩の確認と作土への有機物の投入による土壤団粒化の促進であった。そこで、ソルゴーをハンマーナイフモアで粉碎後、ロータリーで鋤き込んだ。

なお、雨により土壤表面の塩分は下層に移動してやがて地下水に流れ込み、最終的には海に戻る。そのため除塩を促進するには下層土の透水性(水はけ)を改善することが有効である。特に、水田には作土の下に緻密なすき床があるため、弾丸暗渠耕を施して土壤水の縦浸透を促進することが有効である。



写真8 生育旺盛なソルゴー (播種1ヶ月後)

6. 土耕イチゴ復興へのこだわり

雨により土壤中の塩分が作土から下層に流れて土壤の電気伝導率が植物栽培可能なレベルまで低下しても、塩化ナトリウム中のナトリウムイオンは土壤コロイドに捕捉された交換性ナトリウムとして存在する。土壤中にこの交換性ナトリウムが多量に残存

すると、土壤粒子が分散するため、表面が乾燥する際に固結した板状の土膜(板状構造)ができて、野菜や作物の発芽に悪影響を及ぼす。すなわち、雨水にあてるだけでは完璧な塩害対策とならない。そこで、石灰資材を施用して土壤とよく混層し、土壤に吸着されたナトリウム(交換性ナトリウム)を石灰資材から供給されるカルシウムイオンで剥ぎ取り、水溶性ナトリウムに変えることが有効である。除塩助材としての石灰資材には、石こうや炭カルなどが一般的であるが、筆者らが選択した資材は、製鉄所の製鋼工程で副生される転炉スラグであった。

和田地区のイチゴハウスでは2011年6月の津波土砂混層と同時に転炉スラグを1t/10a施用した。通常の石灰資材施用量に比べて著しい多量施用であるが、これが筆者らの30年におよぶ研究で得られた転炉スラグを使いこなす「こつ」である。転炉スラグは従来の炭酸カルシウムや苦土石灰に比べて速効的な土壤酸性改良効果に劣るが持続効果に優れるため、初期に多量施用すれば5年間程度は効果が持続する。

イチゴハウス土壤のpH経時変化は図3のとおりであった。6月16日に転炉スラグを施用したイチゴハウスでは、8月5日から11月3日までpHが8近くにまで上昇し、その後低下傾向を示して、2012年4月3日には7.5となった。

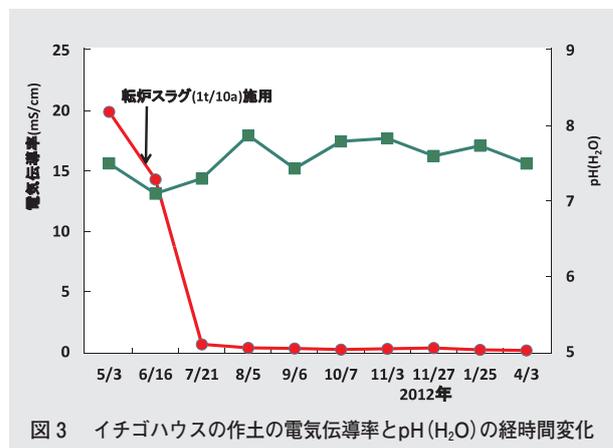


図3 イチゴハウスの作土の電気伝導率とpH(H₂O)の経時間変化

津波土砂中には少量のバイライト(黄鉄鉱)と呼ばれるイオウ化合物が含まれる。空気から遮断された海底では安定な物質であるが、地表に打ちあげられ空気に触れると徐々に酸化して硫酸を生成する(酸性硫酸塩土壤)。このような現象は干拓地で従来からよく知られていたため、津波土砂混層後の土壤酸性化は想定範囲であった。実は、緩効性の高い転炉スラグを選択したもうひとつ理由がそこ

にあった。転炉スラグを1t/10a程度多量施用すれば、パイライトを含む土砂を混層しても硫酸生成による土壤酸性化は起こらなかった。

このように、2011年9月にはイチゴハウスの作土は充分な除塩とpHの調整が達成できたが、**図2**のように深さ40cmくらいの下層にはまだ高濃度の塩分が残っていた。この段階で、ハウスに屋根を掛けイチゴを作付すれば、下層の塩分が作土に上昇する可能性が考えられるため、塩分に弱いイチゴの作付けをもう一年がまんして2012年秋からとし、それまではホウレンソウ、カブ、エンドウなどの換金野菜を作付けた。

2012年9月までには下層の塩分濃度も低下したので、念願のイチゴ苗を定植し、その後順調に生育して、2013年1月から収穫が始まった。津波による激甚な被害を被ったこの地域のイチゴ産地の中での土耕イチゴ再開第一号となった**(写真9)**。小規模な農家であるため販売先は全て地元JAの農産物直売場で、そこには地元のイチゴ農家が復興組合を結成して新たに作った高設イチゴハウスで生産したイチゴも並べられているが、味のよい土耕イチゴから先に売れるとのことであった。

この地域と同様に津波による大きな被害を受けた宮城県の産地では土耕でのイチゴ栽培を断念し、高設栽培に切り替えた農家も多いが、筆者らはあくまで土耕イチゴの復興に拘った。そのわけはイチゴが最も塩類障害を受けやすい植物のひとつであるからだ。土耕でのイチゴ栽培が復興できれば、津波被災地の大部分を占める水田での水稻や大豆栽培のための復興方法をマニュアル化することができる。



写真9 二年ぶりの復興を果たしたイチゴハウス

7. 農家を元気にする緑肥 —青森県八戸市の津波被災イチゴハウスでも—

緑肥の「ふしぎな威力」のもう一つの事例が青森県八戸市で津波で被災したイチゴ農家の木村宏太郎さんだ。筆者が講師をしていた八戸市の農業講座で知りあった木村さんから、イチゴハウスが津波の被害を受けたとの連絡を受けた。木村農園は海岸に近いので、津波堆積物は砂が主体でその厚さは30cmにおよんだ。そこで、その津波砂を元の土壌とコンボで混和し、転炉スラグを施用してもらった。基本的な除塩方法は相馬市のイチゴハウスと同じだ。雨での除塩後には緑肥となるが、相馬市より北に位置して「やませ」の影響を受けやすいので、雪印種苗の立花正さんの勧めでミレット(品種:青葉ミレット)を作付けることにした。6月20日に播種したミレットは筆者が訪れた7月20日には旺盛に繁茂し、草丈80cmに達していた**(写真10)**。木村さんの手記



写真10 八戸市木村農園での緑肥作付前(上)後(下)
上: 津波被災2ヶ月後(イチゴハウスは流され、表面に津波砂が厚く堆積、2011年5月11日)
下: 津波被災農地全体を覆い尽くしたミレット(播種30日後、2011年7月20日)

には、ミレットが育つのを「感動し、復興への活力が湧いた」とあるが、これがまさに「緑肥の威力」である。

ただし、一部には**写真11**のように生育不良部分が認められた。そこから採取した土壌の分析により塩分の残留が明らかになった。相馬市のようなロータリー耕ではなくユンボーによる混層であったため、混層のむらが原因であった。このことは、緑肥の作付が除塩の確認に極めて有効なことを物語っている。農家にとっては、土壌の化学分析よりわかりやすい判定法で、生育の悪い部分を集中的に混層すれば、均一な除塩を達成することができる。このよう

に、塩害被災農地では、除塩の判定にも緑肥の作付が役に立つ。木村農園の復興プロセスについては、本人の手記を読んで頂きたい。

原発事故の影響で津波対策が遅れている福島県では海岸部を中心に未だ手付かずの農地が多く残されている。今後、筆者らはその地域の復興にも携わることになるが、そこでも「緑肥のふしぎな威力」を借りなければならないであろう。

最後に、東日本大震災により被災した農地復興に全ての農業研究者、技術者が総力を結集し、一日も早い全面復興を果たすことを願ってやまない。



写真11 木村農園の緑肥生育良好地点(左)と不良地点(右)
左：草丈約80cm、根は深さ約50cmまで達していた。表層の電気伝導率は0.19mS/cmであった。
右：草丈は約20cm、根の深さは約10cm。表層の電気伝導率は2.3mS/cmと高かった。