

連携記事

津波被災農地復興に役立つ転炉スラグ

An Effective Application of Converter Slag on the Reconstruction of Farmland Struck by Tsunami

後藤逸男

東京農業大学 応用生物科学部
教授

Itsuo Goto

1 はじめに

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水田20,151ha、畑3,449ha、合計23,600haで被災6県の耕地面積の2.6%、宮城県では県内耕地面積の11%にも及んだ。その後、がれきの除去と除塩作業が進められつつあるが、2012年春から水稲など農作物の作付が再開された農地は一部に過ぎない。特に海岸に隣接する被災農地の本格的復興作業はこれからが本番である。

また、福島第一原発から30km圏内と5,000Bq/kg以上の放射能汚染農地では2011年度産水稲の作付けが制限されたが、福島県内の水田で放射性セシウム500Bq/kgを超過する米が見出された。そのため、福島第一原子力発電所から半径20キロメートル圏内の警戒区域と計画的避難区域、および福島市、伊達市、二本松市、相馬市の一部地域では2012年度産水稲作付けが制限されることになった。

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、本学に「東京農業大学東日本支援プロジェクト」が結成された。3.11よりすでに二ヶ月近くが経過し、やや出遅れた感はあったが、5月1日より福島県相馬市の被災地に入った。

2 津波被災農地の復興から始めた支援活動

本プロジェクトの主な支援対象地となった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・復興を目指すべく重要課題であるが、筆者らに両立させる力量はない。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た。

昨年5月1日の時点で、相馬市岩子から柏崎に至る松川浦西側の水田地帯には松川浦の砂州に植えられていた松や漁船、車などが大量のがれきとして押し寄せていた(写真1)。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。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2)。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(写真3)。しかし、津波を受け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4)。そこで、筆者らはこのイチゴハウスとそれに隣接する水田から支援の手を差し向けることにした。



写真1 海岸に近く、がれきの多い激甚被災水田

3 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「へどろ」といっているが、相馬市内から採取した20点ほどの土砂を分析した結果、CEC（陽イオン交換容量）の大き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



写真2 海岸から約3kmのがれきが少ない水田



写真3 海岸から約3kmのイチゴハウスの外観



写真4 海岸から約3kmのイチゴハウスの内部

含むこと（表1）、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2）。そこで、被災農家の了解を得た上で、イチゴハウスでは6月、となりの水田では8月に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随した。ただし、土砂中にガラス破片などの異物が多量に混ざっている、あるいは土砂の堆積厚さが15cm程度以上の場合にはこの限りではない。

4 雨に優る除塩資材なし

農業専門紙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が、塩害の主成分である塩素イオンは土壌に吸着されにくい、水で容易に流すことができる。筆者らはこのような土壌学の基本に立脚して雨による塩分除去を企てた。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、そのままの状態であてても充分な除塩効果は期待できない。除塩には筆者らが和田地区で行ったような土砂と作土をよく混和した上で雨にあてるのが有効であった。その方法により、図1のようにイチゴハウスでは8月5日（94日目）には電気伝導率が0.35dS/m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という緑肥作物を作付けた。一ヶ月後には人の背丈ほどに大きく生長したので、それを鋤き込んだ。有機物を農地に投入すると土壌団粒化が促進される。その結果、透水性が改善され除塩が進む、それがソルゴー作付けの目的であったが、それ以上に効果があったことは、緑肥の生育を目の当たりにした農家の営農意欲の復活であった。イチゴハウスの作土は充分な除塩が達成できたが、下層にまだ塩分が残っていた。そこで、塩分に弱いイチゴの作付けは2012年秋からとして、2011年9月からハウレンソウ、カブ、スナップエンドウなどの換金野菜を作付けることにした（写真5）。

8月に土砂を混層した和田の水田も、2012年1月25日（267日目）には電気伝導率が0.5dS/m程度まで低下して（図1）水稲が作付けできるまでの除塩が進んだが、用排水設備の復旧が遅れたために、作付けを断念せざるを得なくなった。放っておけば雑草田となるため、コスモスやヒマワリなど景観を兼ねた緑肥作物を作る予定である。

5 今こそ、転炉スラグの出番

（1）石こうや炭カルではなく転炉スラグを

塩分中の塩素イオンは水で容易に流せるが、ナトリウムイオンは塩素イオンの対イオンとしての水溶性ナトリウムと土壌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。

この交換性ナトリウムは水で流すことはできないため、雨水にあてただけで完璧な除塩は達成できない。

1999年の台風18号により高潮被害を被った熊本県八代海沿岸地域では、塩害対策として石灰資材の施用を行っている²⁾。施用するカルシウムイオンと土壤に捕捉されている交換性ナトリウムとの間で陽イオン交換反応を起こさせて、交換性ナトリウムを水溶性ナトリウムに変換させるためであ

る。そのための石灰資材としては石こう (CaSO_4)、消石灰 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、炭酸カルシウム (CaCO_3) などが使われた。施用量は150～200kg/10aであった。

わが国では第二次大戦後の食料難を克服する対策の一つとして、児島湾や八郎潟など、最近では諫早湾で干拓事業が進められてきた。干拓とは遠浅の海に堤防を築きその内海を干しあげて農地を造成する工事である。すなわち、海底の土砂

表1 相馬市柏崎(湛水水田)の土壤化学性

試料	深さ cm	pH	電気伝導率 dS/m	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	6.6	10.3	393	370	183	1540	27.6	311	10.6	13.4
水田作土	20	5.3	2.47	407	131	43.7	287	22.4	139	8.6	1.45
鰯床	30	5.9	0.89	477	124	35.4	86.6	23.5	114	6.9	0.82
下層土	40	6.2	0.26	479	143	35.2	27.3	24.8	104	4.1	0.59
下層土	50	6.6	0.25	467	150	32.4	27.4	23.9	107	4.8	0.54

注) CEC:陽イオン交換容量(Cation Exchange Capacity)の略号、土壤の保肥力の大小を示す指標

表2 津波土砂とイチゴハウス土壤の重金属含有量 (mg/kg)

地目	地区	試料	深さ(cm)	カドミウム	ヒ素	亜鉛	銅	ニッケル	クロム
水田	相馬市柏崎	津波土砂	10	0.65	8.62	162	33.2	20.6	60.0
畑(ムギ)	相馬市柏崎	津波土砂	3	0.48	8.19	124	24.6	19.0	50.3
水田	相馬市蘆庭	津波土砂	5	0.32	6.81	46.1	10.7	32.2	26.7
イチゴハウス	相馬市和田	津波土砂	0.7	0.39	4.30	110	19.9	21.0	71.5
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壤	20	0.35	4.81	96.7	18.5	21.5	63.9
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壤	30	0.32	4.40	92.8	19.8	22.6	55.9
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壤	45	0.39	5.67	181	38.6	49.4	72.3
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壤	50	0.35	6.61	109	26.1	30.3	108
イチゴハウス	相馬市和田	津波土砂	10	0.46	8.82	130	37.1	27.8	52.8
イチゴハウス	相馬市和田	畝間土壤	30	0.23	3.38	133	32.5	45.2	61.9
水田	相馬市和田	津波土砂	5	0.43	8.97	113	32.2	22.2	47.6
水田	相馬市和田	水田作土	20	0.34	3.99	107	38.5	35.8	58.3
水田	相馬市和田	鰯床	30	0.28	4.31	93.7	36.1	44.1	59.1

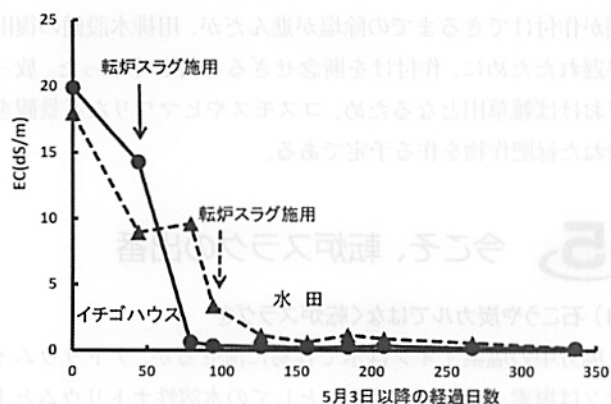


図1 転炉スラグの施用が作土の電気伝導率に及ぼす影響



写真5 野菜作付が復興したイチゴハウス

を農地として利用することになるが、土砂を空気にさらすとその中に含まれるパイライト（硫化鉄： FeS_2 ）が酸化して硫酸を生成し、pH4以下のきわめて強い酸性土壌を示す³⁾。そのため、炭カルや苦土カルなど大量の石灰資材を施用して硫酸を中和することが行われてきた。このような特殊な酸性土壌は酸性硫酸塩土壌と呼ばれる。津波土砂は津波により海底から運ばれた物質であるので、干拓地土壌と同様な酸性化が起ることが懸念される。そこで、採取した土砂の全イオン含有量と土壌を過酸化水素水で強制的に酸化した後に測定するpH (H_2O_2) を測定した結果、津波土砂中には1%程度の全イオンが含まれ、pH (H_2O_2) は2.2～2.6を示した。pH (H_2O_2) 3以下の土壌が酸性硫酸塩土壌と定義されることから、津波が運んだ土砂は潜在的な酸性硫酸塩土壌と判定された。

津波土砂を混層する、しないにかかわらず、土砂の一部は必ず土壌に混ざり、その結果土砂中に含まれるパイライトが酸化して生成する硫酸により土壌が酸性化する恐れがある。また、パイライトを含む津波土砂が混ざった水田を湛水すると作土還元層の酸化還元電位が低下して水稲に有害な硫化水素ガスが発生する可能性もある。石こうや炭カルではこれらに対処できない。筆者らは除塩のための石灰資材として、迷うことなく転炉スラグを選択した。

の兆しを見せている。

転炉スラグには、ケイ酸カルシウムやフリーライムの他に、鉄、マグネシウム、マンガン、ホウ素などの微量元素が含まれる。そのため、転炉スラグを土壌に施用してpHを7.5程度以上まで高めても、作物に微量元素欠乏をきたしにくい（写真9）。また、炭酸カルシウムや苦土カルなどより緩効的な土壌酸性改良資材であるので、津波土砂中のパイライトの酸化による土壌酸性化にも対応できる。さらに、転炉スラグ中の鉄が水田土壌中で生成する硫化水素を硫化鉄として無害化すること、鉄とマンガンが水田中で生成するメタンガスの

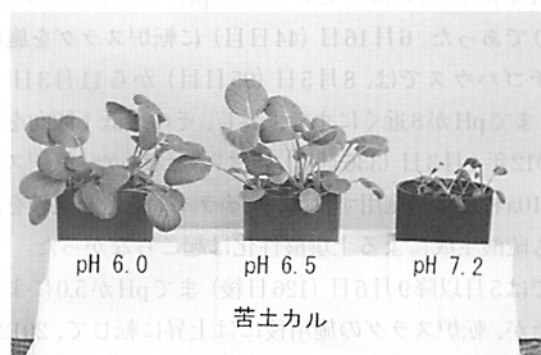


写真6 苦土カル（ドロマイト）施用土壌のpHとコマツナの生育の関係

(2) 転炉スラグの酸性土壌改良効果

わが国に分布する土壌の多くが酸性であるため、畑作農業では土壌酸性改良が重要な農作業のひとつである。その原理は酸性土壌に石灰資材を施用して、pHを高めることで、そのための資材としては炭カルや苦土カルの利用が一般的である。日本の土壌学では、土壌の水懸濁液のpHを測定して、6.0以下の場合を酸性土壌、6.0～6.5の土壌を中性土壌と定義する。中性域が一般化学のpH7とは異なる理由は、6.0～6.5で作物生育が最も良好で、pHをそれより高めると、土壌中のホウ素・マンガン・鉄などの微量元素が植物に吸収されない形態に変化して深刻な微量元素欠乏をきたすためである（写真6）。そこで、土壌が酸性の場合には石灰資材を適量施用して土壌pHを6.0～6.5に改善する。それ以上に土壌pHを高めることは、従来から「御法度」とされてきた。

筆者は1977年以来、転炉スラグを土壌改良資材として活用する研究を進めてきた⁴⁾。現在では、転炉スラグの粉碎品が副産石灰肥料あるいは特殊肥料、造粒品が鉾さいケイ酸質肥料として流通しているが、その農業利用率は残念ながら全生産量の1%にも満たない。農業界での普及を拒んできた最大の理由は、「スラグ（鉾さい）」という肩書きである。しかし、最近では転炉スラグの多量施用がアブラナ科野菜根こぶ病⁵⁾やハウレンソウ萎凋病⁶⁾などの土壌病害に有効である（写真7、8）ことが認識され、徐々にではあるが全国的に普及



写真7 ブロッコリー根こぶ病に対する転炉スラグの施用効果（宮城県大崎市）

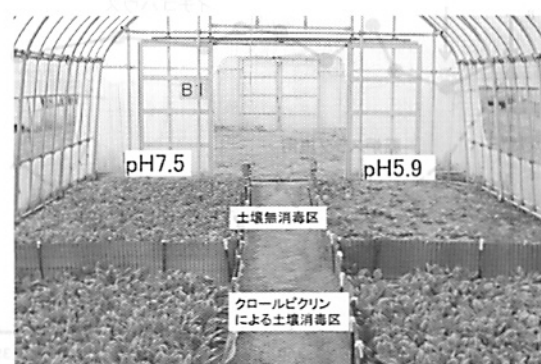


写真8 ハウレンソウ萎凋病に対する転炉スラグの施用効果（原図：岩手県農業研究センター 岩館 康哉）

揮散抑制に効果があることも明らかにされている⁷⁾。ごく最近では、転炉スラグ中に1～2%含まれるリン酸が枯渇の懸念されるリン鉱石の代替資源として注目されている⁸⁾。今こそ、転炉スラグの出番だ。

(3) 被災農地に転炉スラグを施用した

筆者らは上記の和田地区のイチゴハウスとそれに隣接する水田で土砂混層時に転炉スラグを施用した。その施用量は土壌pHを高めてもよいイチゴハウスでは1t/10a、水稲はpH5.5～6.0程度の弱酸性を好む植物であるので、水田では200kg/10aとした。

2011年5月3日以降における土壌pHの経時変化は図2のとおりであった。6月16日(44日目)に転炉スラグを施用したイチゴハウスでは、8月5日(95日目)から11月3日(184日目)までpHが8近くまで上昇し、その後低下傾向を示して、2012年4月3日(336日目)には7.5となった。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壌酸性化は起こらなかった。一方、水田では5月以降9月6日(126日後)までpHが5.0にまで低下したが、転炉スラグの施用後には上昇に転じて、2012年4

月3日(336日目)には6.2となった。

(4) 激甚被災水田でも復興の兆し

松川浦に隣接する岩子地区の津波被災水田(写真1)では、2011年9月までにがれきを取り除かれたため、直ちに土砂を混層した。なお、その後の研究により、転炉スラグの施用時期は土砂混和直後より、まず雨水のみで塩素イオンと水溶性ナトリウムイオンを除き、その後に転炉スラグを施用した方がよいことが明らかになった。そのため土砂混和後には転炉スラグを施用せず、2011年9月から2012年4月まで雨水のみによる除塩を行った。その間の混層水田とそれに隣接する未混層水田で表層10cmの電気伝導率とpHの経時変化を図3、4に示す。図3より土砂混層が早期除塩に不可欠であることは明らかで、混層水田では2012年4月3日(混層から232日目)に水稲作付けの目安である電気伝導率0.7dS/mにまで低下した。また、図4より未混層水田では土砂中のパイライトが徐々に酸化されて、pHが3.5にまで低下することがわかった。混層水田でもpHが3.8にまで低下したので、4月23日に転炉スラグを施用(写真10)して硫酸を中和した後、5月11日に田植えを済ませた。6月7日現在、水稲は正常に生育し(写真

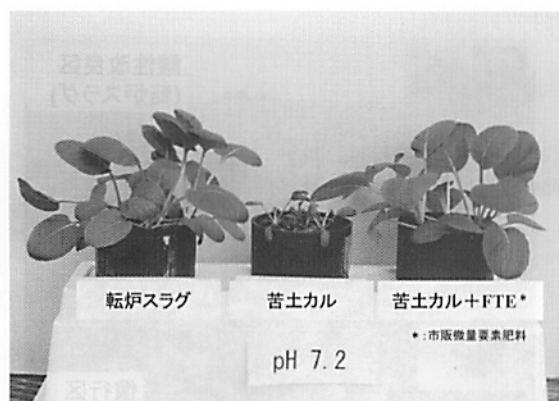


写真9 転炉スラグ施用土壌ではpH7.2でも微量元素欠乏をきたさない

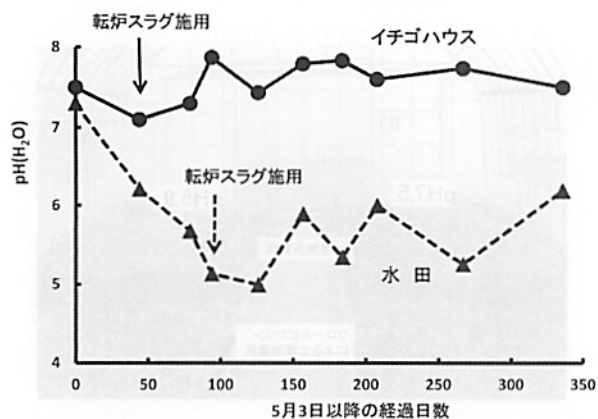


図2 転炉スラグの施用が作土のpHに及ぼす影響

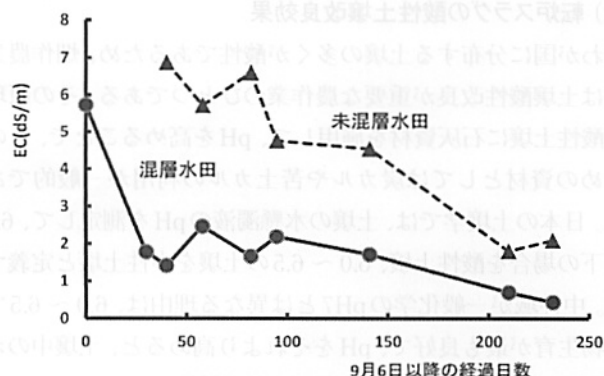


図3 津波被災水田作土における電気伝導率の経時変化

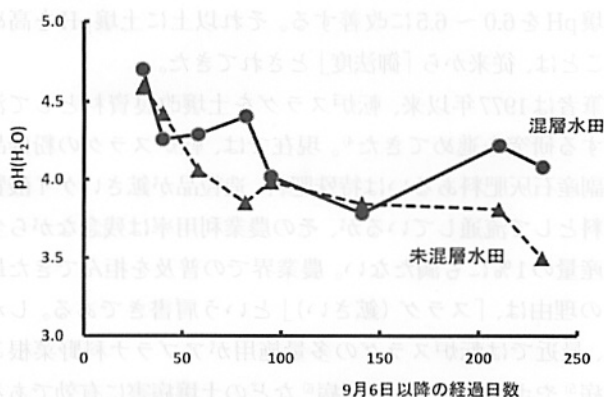


図4 津波被災水田作土におけるpHの経時変化

11)、津波による激甚被災水田でも復興の兆しが見えてきた。

6 東日本大震災からの 早期復興を目指して

福島県相馬地域(新地町・相馬市・南相馬市)では、今回の大津波により約2,000haの農地が甚大な津波被害を被った。その内、2012年春から開始された除塩作業により5月末までに水稲作付けが再開された水田は北部に位置する新地町の80haに過ぎず、これから本格的な除塩活動が始まるようとしている。福島県の基本方針により除塩対策のための石灰資材として炭カル(炭酸カルシウム)が用いられ、その施用量は塩分濃度により50～200kg/10aとなっている。

一方、筆者らは上記のように相馬市内の水田で鉄鋼メーカーと肥料メーカーから無償で24トンの製鋼スラグの支援を受け、混層と雨水による除塩後の約2haの水田に500～1000kg/10a施用して、土壌pHを水稲生育に支障のない程度まで高めた。相馬市内の津波被災農地では、除塩対策後にダイズの作付も計画されている。ダイズの栽培には水稲以上に土壌pHを高める必要があるため、福島県基準の炭カル量ではバイ

ライトの酸化による土壌酸性化を改良できないと判断される。

以上のように、福島県相馬地域だけでも今後の農地除塩と農業復興には大量の石灰資材が必要となる。そのための資材としてはカルシウムやマグネシウムだけでなく鉄、マンガン、その他の微量元素を含む転炉スラグなどの製鋼スラグが最適である。国内の製鉄所から生産されている年間約1,000万トンの製鋼スラグの一部が東日本大震災による農業の早期復興に活用されることを願ってやまない。

最後に、鉄鋼スラグの農業利用に明るい兆しが見えてきたことを紹介しておきたい。そのひとつは、2012年より本協会内の鉄鋼スラグ新機能フォーラムと植物病理学研究者との意見交換活動が開始された⁹⁾こと、もうひとつは2012年度に農林水産省が公募した「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」として「転炉スラグによる土壌pH矯正を核としたフザリウム性土壌病害の耕種的防除技術の開発」が採択されたことである。今後は鉄鋼業と農業関係者との連携をより一層深めながら鉄鋼スラグの農業利用の発展に邁進したい。

参考文献

- 1) 農地の除塩マニュアル, 農水省農村振興局, <http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/sekkei/pdf/110624-01.pdf>, (2011)
- 2) 台風18号技術対策資料集, 熊本県, 熊本県八代農業改良普及センター, (2001)
- 3) 久馬一剛他: 特集「酸性硫酸塩土壌」, アーバンクボタ No.25, <http://www.kubota.co.jp/urban/pdf/25/index.html>, (1986)
- 4) 後藤逸男・村上圭一: 根こぶ病, おもしろ生態とかしい防ぎ方, 農文協(2006), 77.
- 5) 村上圭一・篠田英史・丸田里江・後藤逸男: 転炉スラグによるブロッコリー根こぶ病の防除対策, 日本土壌肥料学雑誌, 75(2004), 53-58.
- 6) 岩館康哉: 転炉スラグを用いた土壌pH改良によるハウレンソウ萎凋病の発病抑制, 土と微生物, 2012年度大会一般講演要旨, 66(2012)2, 印刷中.
- 7) 犬伏和之: 含鉄資材の施用による水田からのメタン放出抑制, 鉄鋼環境基金1998年度報告書, (1998)
- 8) 製鋼スラグの全量高炉循環システム構築に係る調査検討報告書, 経済産業省製造産業局, (2010) http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2010fy01/E001004.pdf
- 9) 森田一樹: 鉄鋼スラグ新機能フォーラム東北地区農業試験研究機関情報交換会開催および津波被災農地視察報告, ふえらむ, 17(2012), 230.

(2012年5月30日受付)



写真10 転炉スラグを施用中の津波被災水田(相馬市岩子)



写真11 転炉スラグ施用後に田植えを行った津波被災水田(相馬市岩子)