

〔農工研技報 213〕
63～71, 2012

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による 利根川沿いにおける液状化を起因とする塩害が 営農にもたらした影響

瑞慶村知佳*・北川 巖*・若杉晃介*・原口暢朗*

目 次	
I 緒言	63
II 調査地区概要	64
III 水稻の白色化・葉先枯れ現象の原因解明	64
1 調査方法	64
2 調査結果	65
3 考察	65
IV 噴砂による塩害が営農に与える影響 -水管理-	65
1 調査方法	65
2 調査結果	66
3 考察	67
V 噴砂による塩害が営農に与える影響 -作業の効率性-	67
1 調査方法	67
2 調査結果	68
3 考察	69
VI 結言	69
参考文献	70
Summary	71

I 緒言

平成 23 年（2011 年）3 月 11 日 14 時 46 分、太平洋三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震（以下、被害を含めた呼称を「東日本大震災」とする。）が発生した。広範囲にわたり強い揺れが観測され（震度 7: 宮城県栗原市、震度 6 強: 宮城県・福島県・茨城県・栃木県、震度 6 弱: 岩手県・群馬県・埼玉県・千葉県; 気象庁, 2011）、巨大な津波の発生により、多くの農地が流出し冠水した（農林水産省, 2011 年 3 月 29 日現在）。

茨城県および千葉県においても東日本大震災によって多くの農地が被害を受けた。茨城県では、県内の農地の約 1% にあたる 1040 ha の農地が被災し、そのうち 540 ha の被害は茨城県南部の稲敷市に集中している。茨城県稲敷市は利根川を挟んだ千葉県との県境に位置しており、津波による被害ではなく、液状化による噴砂や地盤沈下が問題となっている（Fig.1）。一方、千葉県では津波による農地の被害面積が 663 ha に対し、液状化による農地の被害面積は 740 ha であり、その被害は茨城県稲敷市の対岸の香取市・神崎町に集中している。茨城県・千葉県の東日本大震災による被害の特徴は、液状化による被害の割合が大きく利根川下流域に集中していることといえる（Fig.2）。

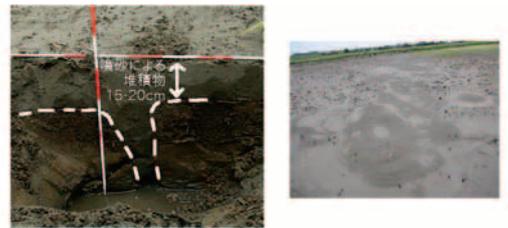


Fig. 1 液状化による被害を受けた水田
Photos at rice paddy damaged by sand boil



Fig. 2 茨城県・千葉県の被災した農地（茨城県・千葉県の公開情報をもとに作成）

The map of damage agricultural land caused by tsunami or ground liquefaction

* 農地地基盤工学研究領域 水田高度利用担当
平成 23 年 12 月 15 日受理
キーワード: 噴砂, 塩害, 液状化

液状化による噴砂や地盤沈下等の被害を受けた利根川下流域の水田地帯の中で特に被害の甚大であった茨城県稲敷市西代地区で調査を行った。西代地区では液状化被害のある水田のうち農家自身で不陸等の復旧に対応できた水田で田植えが行われたが、田植え後1週間経った頃に水稻の葉が白色化・葉先枯れしはじめた (Fig.3)。枯れ上がりの進行具合の大小はあるものの、作付けが行われたほとんどの水田において白色化・葉先枯れ現象が確認された。

そこで、白色化・葉先枯れ現象の原因を解明するとともに、農地における液状化による噴砂が営農にどう影響するのか実態を把握するために定期的に調査を行った。本報では、西代地区での調査結果を報告する。なお、営農に与える影響は以下の2つの観点から考察した: 1) 水管理, 2) 作業の効率性。



Fig. 3 水稻の白色化・葉先枯れ現象
Photo at rice leaf was whitening and dying

謝辞：

西代地区での調査にあたり稲敷市の根本英誠氏にご協力いただいた。大谷武氏、坂本雅夫氏はじめ地元農家のみなさまに定期観測や計測機器の設置にご協力いただいた。農研機構作物研究所の近藤始彦氏、荒井(三王)裕見子氏には調査にあたり貴重なご助言をいただいた。カイトフォトの撮影にあたり、筑波大学流域管理研究室の江原洋平氏、幕田裕貴氏、奈佐原顕郎先生にご協力いただいた。

多くのみなさまのご協力により調査ができましたことを記して感謝申し上げます。また、被災された皆さまに対して、心からお見舞い申し上げますとともに、農業農村の一日も早い復興を祈念いたします。

II 調査地区概要

西代地区は昔から早場米の産地であり例年4月20日前後に田植えがされているが、2011年度は震災の影響で例年より約1ヶ月遅れの5月中旬から下旬にかけて Fig.4 の枠で囲った水田で田植えが行われた。2011年度の当地区の作付け品種は主にコシヒカリ、アキタコマチで、その他ミルキークイーン、クサホナミ(飼料米)が一部で栽培された。2011年度のかんがいは、揚排水機場が復旧せず天水とポンプアップした排水路の水で行われた。収穫はほぼ例年どおりの8月下旬から9月上旬に実施された。水稻の栽培体系は、茨城県の標準的な農家慣行であった。

精査した調査ほ場のうち、Fig.4の区画1-3では、5月25日に田植えが行われ、排水路の水をポンプアップし7



Fig. 4 調査地

区画1-4は精査したほ場、点Pは排水路の水の採水地点。Google Earth (グレースケール、2011年3月29日撮影)
Study site

Block 1-4 is close investigation rice paddy and point P is close investigation drainage. Google Earth image (gray scale, March 29, 2011)

Table 1 噴砂堆積物および作土の土壤理化学性の違い
Difference of physico-chemical property between sand boil deposit and plowed soil

試料名	土性 (農学会法)	pH (H ₂ O)	EC [mS/cm]	陰イオン含量 [mg/kg]		交換性塩基 [mg/100g]				CEC [meq/100g]	塩基飽和度 [%]	Ca 飽和度 [%]	Na 飽和度 [%]
				Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O				
通常作土	L	6.8	0.09	29	68	10.0	69.7	7.0	25.9	12.1	29.6	20.6	6.9
噴砂上層	SL	7.7	0.15	60	194	23.0	27.5	7.0	106.5	11.0	45.0	8.9	31.3
噴砂次層	CL	6.5	0.66	1265	315	14.7	77.9	11.1	116.0	12.1	60.9	22.9	30.9

月 20 日頃まで湛水させ、その後は収穫まで天水によるかんがいをを行った。収穫は 9 月 12 日に行われた。Fig.4 の区画 4 は被害が甚大であったため 2011 年度は作付けが行われなかった。

III 水稻の白色化・葉先枯れ現象の原因解明

Ⅲでは、西代地区の水稻で発生した水稻の白色化・葉先枯れ現象について現地調査を行いその原因について考察した。

1 調査方法

水稻の白色化・葉先枯れ現象の原因を検討するため、西代地区の水田土壌の作土および噴砂堆積物の分析を行った。土壌分析に用いたサンプルは、噴砂や地盤沈下等の液状化被害の大きい Fig.4 の区画 4 において、液状化被害を受けていない通常の作土(表層 0～10 cm; 以下、通常作土とする)、噴砂堆積物の表面(表層 0～10 cm; 以下、噴砂上層とする)、噴砂堆積物の次層(深さ 10～20 cm; 以下、噴砂次層とする)の 3 点を 2011 年 4 月 28 日に採取した。

土壌の理化学性は次の項目を分析した。土壌物理性は土性(農学会法)を触感法で(ペテロロジー学会, 1997)、土壌化学性は、pH (H₂O)、電気伝導度(以下、EC)、陽イオン交換容量(以下、CEC)、交換性塩基含量(K₂O, CaO, MgO, Na₂O)を分析した。イオンクロマトグラフィ法により Cl⁻, SO₄²⁻ の水溶性陰イオン含量を分析した(土壌環境分析法編集委員会, 1997)。なお、pH の分析では風乾土試料の 1: 2.5 浸出液を、それ以外の分析では風乾土試料の 1: 5 浸出液を用いた。

2 調査結果

液状化被害の大きな水田において採取した通常作土、噴砂上層、噴砂次層の 3 種類の土壌を分析した(Table 1)。その結果、噴砂堆積物には塩素イオン、ナトリウムイオン、硫酸イオンが通常作土よりも多く含まれていた。

まず塩素イオン含量は通常作土で 29 mg/kg、噴砂上層で 60 mg/kg、噴砂次層で 1265 mg/kg で、噴砂上層の塩素イオン含量は次層よりも大幅に低かった。アメダスの降雨量データ(西代地区から最も近い千葉県香取市の

観測所)によると、3 月 11 日から 4 月 28 日までの間に 159 mm の降雨があり、土壌水分中に存在する塩素イオンが降雨等によって下方に移動したためと考えられる。次にナトリウムイオンの濃度は、Na₂O の含量が通常作土で 25.9 mg/100g、噴砂上層で 106.5 mg/100g、噴砂次層で 116.0 mg/100g と、噴砂の上層と次層で濃度はほぼ同じであった。ナトリウムイオンは水田の土粒子に吸着し、塩素イオンと異なり降雨だけでは下方に移動されにくいいため、噴砂上層のナトリウムイオン濃度も高かったと考えられる。そして硫酸イオン含量は、通常作土で 68 mg/kg、噴砂上層で 194 mg/kg、噴砂次層で 315 mg/kg と、噴砂上層および噴砂次層で非常に高い値を示した。

3 考察

海水の特徴は、ナトリウムイオン、マグネシウムイオン、塩素イオンの濃度が高いこと、そして硫酸イオンが極めて高いことであり(長谷川, 1998)、Table 1 より西代地区の噴砂堆積物にはナトリウムイオン、塩素イオン、硫酸イオンが多く含まれており、pH および EC が通常作土よりも高かったことから、噴砂堆積物には海水由来の塩分が混入したと推察された。海水由来の塩分の混入による被害は塩害、硫酸酸性害、アルカリ還元害が考えられ(三好ら, 1983)、それぞれの水稻の葉に現れる被害症状について、塩害は脱水状に白色化し溶けるように枯死し、硫酸酸性害は褐色斑点が生じ葉の先端から巻き始め、アルカリ還元害は葉が濃緑色になり、亜鉛欠乏症を引き起こすと赤枯様斑点を生じることから(坂井ら, 1974)、白色化・葉先枯れ現象の原因は塩害といえる。以上のことから、津波による被害のなかった西代地区で起こった塩害は、液状化によって海水由来の塩分を含んだ砂が噴出したことによると考えられる。

IV 噴砂による塩害が営農に与える影響 - 水管理 -

IVでは、水管理の観点から噴砂による塩害が営農に与えた影響について考察した。

1 調査方法

噴砂による塩害が起こったことによる水田の生育環境の変化を把握するため、排水路の水と水田の土壌の EC

Table 2 草丈と茎数の調査結果

Time-series in rice plant height and the number of stems at light salt damage rice paddy and serious salt damage rice paddy

Study site	Measurement item	6/29	7/8	7/15	7/26	8/2	8/9	8/18	8/27	9/4
Light salt damage	Rice plant height [cm]	45.2	62.0	68.8	79.0	86.4	92.6	93.0	92.8	91.2
	The number of stems	20.8	18.0	20.0	23.8	22.6	26.2	23.2	19.6	22.6
Serious salt damage	Rice plant height [cm]	39.4	52.8	55.8	56.0	59.4	62.0	64.4	68.4	70.0
	The number of stems	9.8	10.8	10.0	10.0	12.4	13.6	15.6	11.0	11.0
Difference	Rice plant height [cm]	5.8	9.2	13.0	23.0	27.0	30.6	28.6	24.4	21.2
	The number of stems	11.0	7.2	10.0	13.8	10.2	12.6	7.6	8.6	11.6

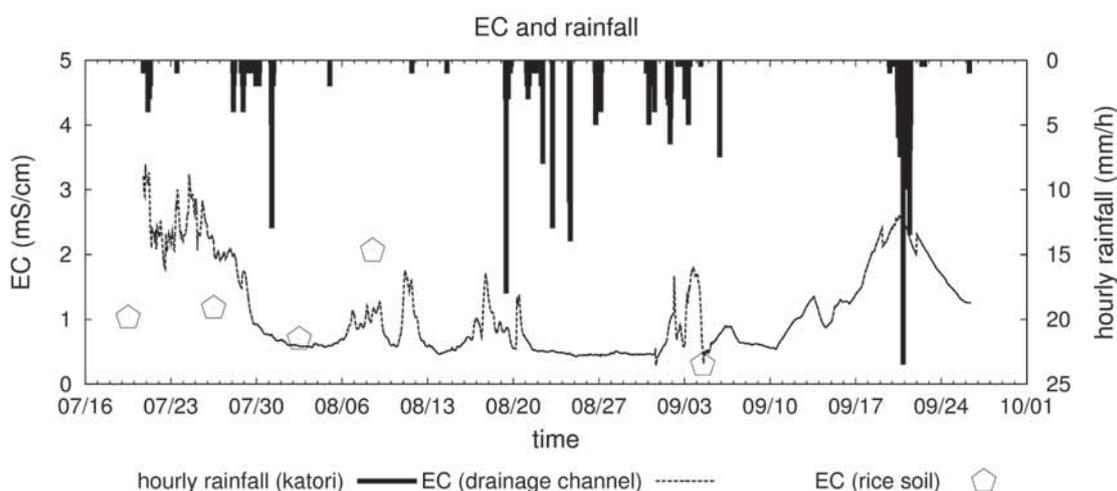


Fig. 5 EC と時間降雨量の関係
Relation between EC and hourly rainfall

を定期的に測定した。排水路の水の EC は 5 月 25 日から 1 ~ 2 週間おきに採水・分析し、7 月 20 日から 9 月 26 日まで 1 時間ごとに自動測定した (Fig. 4 点 P)。水田の土壌の EC は 5 月 25 日から 3 週間 ~ 1 ヶ月おきに定期的に土壌を採取・分析した (Fig. 4 区画 3; 風乾土試料の 1: 5 浸出液)。排水路の水と水田の土壌の EC の変動をアメダスの時間降雨量データ (西代地区から最も近い千葉県香取市の観測所) と併せて考察した。また、生育環境の変化が水稲の生長に与えた影響を考察するため、草丈および茎数の測定 (以下、生育調査とする) を 6 月 29 日から 9 月 4 日まで 1 ~ 2 週間おきに行った。生育調査は、噴砂による塩害が大きい水田 (Fig. 4 区画 3) と小さな水田 (Fig. 4 区画 2) の 2 ヶ所で、それぞれ水口付近の 5 株の草丈および茎数を測定し、平均した値を用いた。

2 調査結果

Fig. 5 に排水路の水および水田の土壌の EC とアメダ

スの時間降雨量データの結果の一部を、Table 2 に草丈および茎数の測定結果を示す。

Fig. 5 より排水路の水の EC が高く、かんがいに用いられていた排水路の水にも塩分が含まれていることが分かった。降雨の直後は排水路の水の EC が下がるが、少量の降雨あるいは降雨がないと水の EC が上昇していた。Fig. 4 の区画 3 では 7 月 20 日頃まで Fig. 4 の点 P 付近から排水路の水をポンプアップさせていたが、6 月の排水路の水の EC は最大で 7 ~ 8 mS/cm、7 月は最大で 4 ~ 5 mS/cm であり、塩害の目安となる水の EC の値を大幅に超えていた (Table 3)。ポンプアップした排水路の水で湛水させていた期間の生育調査結果 (6 月 29 日から 7 月 26 日) では、噴砂による塩害の大きな水田と小さな水田での草丈と茎数の差は日に日に大きくなり、7 月 26 日には草丈の差が 23.0 cm、茎数の差が 13.8 本となった。7 月 20 日以降は収穫まで天水のみによるかんがいが行われたが、強風や高温の場合には蒸散が高まり塩類障害が助長されやすいといわれており (荒井 (三王)

Table 3 EC を指標とした場合の塩害の目安
The reference of salt damage (index: EC)

対象	塩害の危険性の目安
水の EC	1 ~ 2 [mS/cm] 以上
土壌の EC	0.3 ~ 0.6 [mS/cm] 以上

* 農林公害ハンドブック（千葉県，平成 2 年）等をもとに作成

ら，2011），8 月上旬に日照りが続いた時期は土壌の EC が大きく上昇した。日照りが続いた期間の生育調査結果（8 月 2 日から 8 月 18 日の間）は，噴砂による塩害の大きな水田と小さな水田の草丈の差が測定期間内で最大の 30.6 cm となった。水田土壌内に塩分が多量に残っている状態で干ばつが重なったため，生育の阻害が進行したと考えられる。

なお，塩害を受けているかどうかの判断に EC を用いる場合，水と土壌では基準が異なるため注意が必要である（Table 3）。基準と比較すると，降雨直後の EC は基準以下に下がるが，それ以外は水，土壌いずれの EC も基準よりも高かった。

3 考察

かんがい水に塩分が混入した場合，農家の水管理の負担が大きくなると考えられる。調査結果より，塩分を含んだ水でかんがいすることで水稻の塩害が助長されやすくなり，天水の足らない時期に全く水を入れずに干ばつが重なる塩害がさらに進行することが分かった。塩害の進行をなるべく抑えつつ干ばつ気味にならないように水管理する必要がある。これらのバランスを保つことは，かんがい水の塩分濃度，降水などの天候，水田や水稻の様子を常に把握し管理する必要がある。広範囲で塩害が発生した場合，水管理の負担は非常に大きくなると考えられる。

V 噴砂による塩害が営農に与える影響 - 作業の効率性 -

V では，作業の効率性の観点から噴砂による塩害が営農に与えた影響についての調査結果を報告し，津波による塩害と比較して噴砂による塩害が営農に与える影響を考察した。

1 調査方法

噴砂による塩害を受けた水稻の生育状況を把握するため，分光放射照度の測定，水田全景の定点写真の撮影を行った。調査したほ場は噴砂による塩害の小さな水田（Fig.4 の区画 2）と大きな水田（Fig.4 の区画 3）の 2ヶ所である。

分光放射照度は，携帯型分光放射計（MS-720，英弘精機製；観測波長幅：350-1050 nm，波長間隔：3.3 nm）を用いて 2011 年 6 月 10 日から 9 月 12 日まで 1 ~ 2 週間おきに測定した。地表面方向の分光放射照度を 5 回連続で測定し，その前後に天空方向の分光放射照度を 1 回ずつ測定した。地表面方向については 5 回分のデータを，天空方向については 2 回分のデータを，それぞれ平均した値を用いた。天空方向と地表面方向の分光放射照度から波長ごとの分光反射率を求め，NDVI を計算した。NDVI（Normalized Difference Vegetation Index；正規化差分植生指標）とは，植生の活性を反映するとされる指標の一つで，一般的に値が大きいほど植生の活性が大きいとされている。本調査では，塩害の生理要因のうちナトリウムイオン等のイオンストレスによって葉が枯死していく過程で葉緑素が消失していくことを利用して（Fig.6），噴砂による塩害の大きな水田と小さな水田の水稻の生育状況の違いを表すのに NDVI を用いた。NDVI は赤色光（ ρ_{red} ）と近赤外光（ ρ_{nir} ）の反射率から， $NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$ で求められる。

水田の全景写真は 2011 年 5 月 26 日から 9 月 4 日まで 1 ~ 2 週間おきに撮影した。

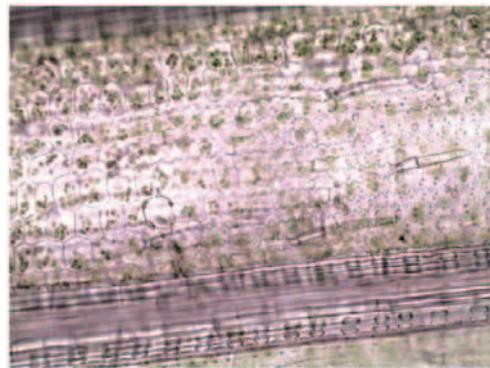
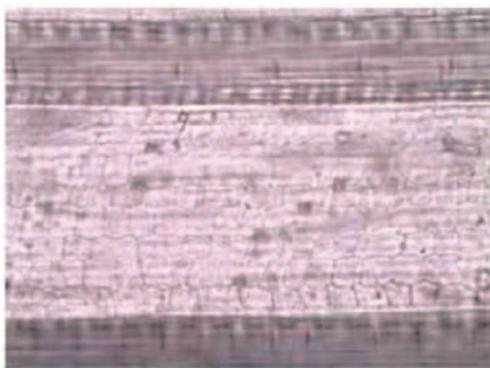


Fig. 6 水稻の葉の拡大写真
(left) 塩害を受けた葉，(right) 通常の葉

The macro-photographs of (left) salt damaged rice leaf and (right) no damaged rice leaf

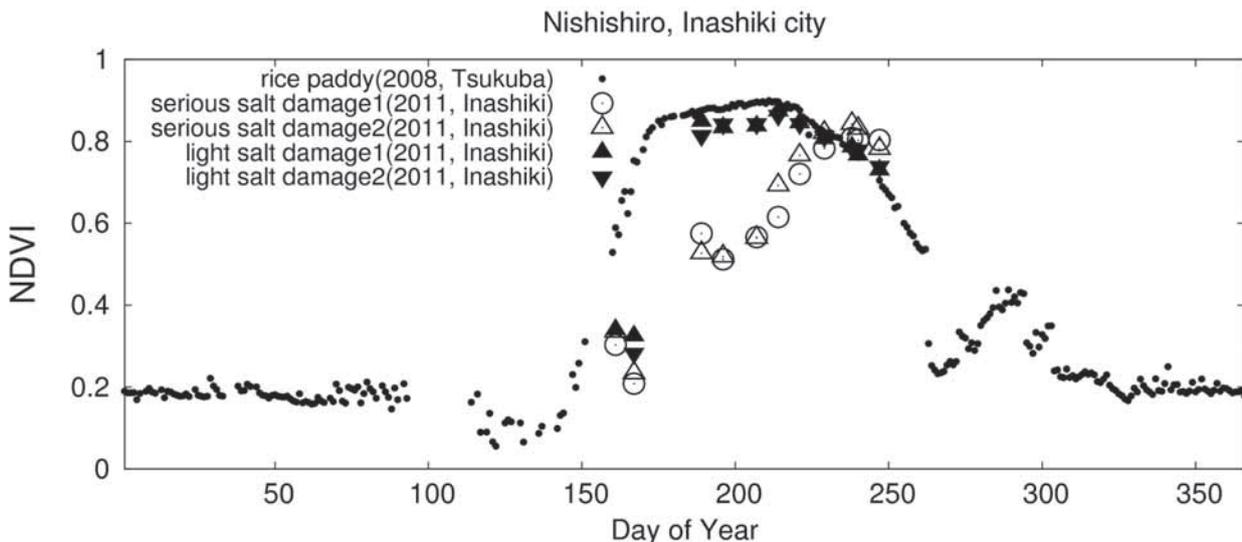


Fig.7 NDVIの季節変化
Time-series in NDVI at salt damaged rice paddy and no-damaged rice paddy

(a) Light salt damage



(b) Serious salt damage



Fig.8 定点写真
Photographs in each season at (a) light salt damage and (b) serious salt damage

2 調査結果

Fig.7に噴砂による塩害を受けた水田のNDVIの季節変化を示す。小さい黒丸は通常の水稲作付田のNDVIの季節変化である(Motohka *et al*, 2009)。Day of Year(DOY)とは、1月1日からの積算日を表す。

噴砂による塩害の小さな水田は通常の水稲作付田と近いNDVIの季節変化を示したのに対し、噴砂による塩害の大きな水田では異なるNDVIの季節変化を示した。田植え後約1ヶ月半過ぎた頃(DOY 190頃; 7月10日頃)、噴砂による塩害の小さな水田では0.8付近の高い値を示し、噴砂による塩害の大きな水田では0.5-0.6と低い値であり、両者の差が最も大きい時期であった。夏(DOY230頃; 8月15日頃)になると、両者のNDVIはどちらも0.8前後とほぼ同じになった。噴砂による塩害の小さな水田では通常の水稲作付田と同様にDOY214頃(8月2日頃)をピークにNDVIが徐々に下がり始めた。噴砂による塩害の大きな水田ではDOY240頃(8月28日頃)をピークに下がり始め、収穫前のDOY247(9月4日)では通常の水稲作付田のNDVIの値まで下がりきらなかった。

Fig.8に噴砂による塩害の小さな水田と大きな水田の定点写真の一部を示す。田植え後約1ヶ月半経過した頃の7月15日の写真を比較すると、噴砂による塩害の小さな水田は地表面が見えないほど水稲に覆われたが、噴砂による塩害の大きな水田は地表面が条間から少し見える状態であった。次に8月9日の写真を比較すると、噴砂による塩害の大きな水田では写真手前部分の水稲はほぼ枯死してしまったが、奥の水稲は噴砂による塩害の小さな水田と同じくらい地表面が覆われるほど成長した。一方、噴砂による塩害の小さな水田では徐々に出穂が始まっていた。8月26日の写真を比較すると、噴砂による塩害の小さな水田では出穂しほ場全体が黄熟していたが、噴砂による塩害の大きな水田では出穂し黄熟している部分と出穂障害が発生し出穂せず緑色のままの水稲が混在していた。

一筆ほ場内で出穂している部分と出穂していない部分が混在していたため、その様子を確認するため夙にデジタルカメラをくくりつけ上空から地上の様子を撮影した(カイトフォト)収穫前の2011年8月26日に、Fig.4の区画1~4周辺を撮影した。カイトフォトの一

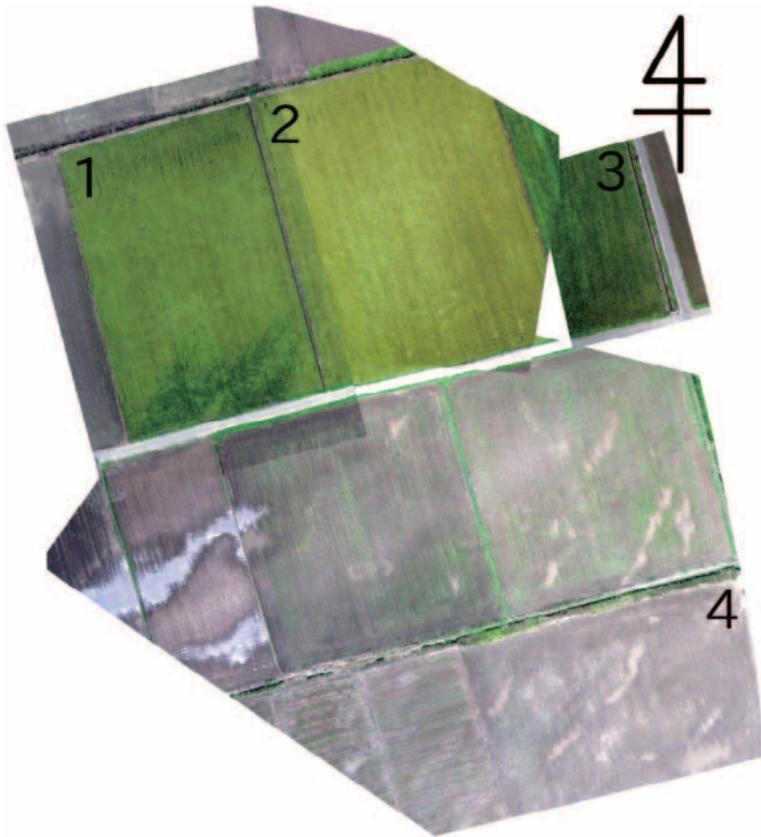


Fig. 9 カイトフォト（2011 年 8 月 26 日撮影）
Kitephoto (Aug. 26, 2011)

部を Fig.9 に示す。なお、Fig.9 と Fig.4 の図中の番号は位置が対応している。

噴砂口付近の特に生育のよくない範囲についてカイトフォトを確認すると、出穂障害が顕著な部分は筋状に広がっていた。Fig.9 の区画 1 について、大半の薄い緑色の部分は出穂しているが、農道沿いの濃い緑色の部分は出穂障害が起こっていた。実際、農家によると、農道沿いの濃い緑色の部分は噴砂の被害がひどく作付けを行う前に念入りに均したとのことであった。出穂障害の起こった筋は、写真の南側に位置する作付ができなかった水田の噴砂や地盤沈下の平面的な広がりの方向と一致した。以上のことから、全体的に例年より生育状況はよくないが、液状化による噴砂が起こった周辺は顕著に出穂障害が発生していることが分かった。

3 考察

噴砂による塩害の特徴について津波による塩害を受けた地域と比較すると、津波による塩害を受けた水田はほ場全体で葉先が黄色くなっているが、噴砂による塩害を受けた水田は砂が噴出した周辺を境に出穂している部分と出穂していない部分があり、一筆ほ場内の生育状況のバラツキが大きかった (Fig.10)。また、出穂障害になると葉があまり黄色くならず緑色のままであることを利用して、NDVI で出穂障害を捉えられる可能性があるこ



Fig. 10 起因の異なる塩害
(up) 津波による（2011 年 8 月 5 日撮影，宮城県石巻市）
(down) 液状化による（2011 年 8 月 18 日撮影，茨城県稲敷市）
Photos at salt damage rice paddy (up) caused by tsunami (Aug. 5, 2011; Ishinomaki city) and (b) caused by ground liquefaction (Aug. 18, 2011; Inashiki city)

とが分かった。

収穫について農家に聞き取り調査を行うと、一筆ほ場内の品質のバラツキが大きかった水田では、塩害により枯死してしまった水稻の周辺に雑草が入り込み水田内に直径 50 cm ～ 1 m 程度の雑草の斑がいくつかできたため刈り取らずにすき込んだ区画や、出穂障害が起こった部分だけ残して刈り取りを行った区画もあった (Fig.11)。このように一筆ほ場内で生育状況に大きな差が現れることは、特に収穫作業に関して刈り取り範囲を水稻の様子を確認しながら作業を行うため、作業の効率性の低下が懸念される。

VI 結 言

噴砂による塩害が営農に与える影響を考察したが、問題なのは噴砂そのものではなく噴砂堆積物に作物の栽培に適さない微量元素が含まれることであり、また、そのような微量元素を作土の表面に堆積させる可能性のある液状化による噴砂は今後も留意していく必要がある。仮に、西代地区の事例は噴砂に塩分が含まれていなければ、作土よりも栄養分の少ない砂が表面に堆積されるだけで、適宜肥料を投入することで改善されたと考えられる。

これまでに発生した塩害の事例は、台風等による高潮、津波等の自然災害の発生によるものや（兼子，2003；宮



Fig. 11 出穂障害を起こした水稻を残しての刈り取り状況
(2011年10月5日撮影)

Photo at harvest without no earing rice (Oct. 5, 2011)

城県立農業試験場, 1961), 干拓地や乾燥地におけるものがあるが(米田ら, 1954; FAO, 1992), 液状化を起因とする噴砂による塩害の事例は本報告がはじめてである。塩ら(1975)は, Fig.12のように塩害を分類しているが, 「土壌堆積物による」の項目に今回の事例を加えることができると考えられる。

西代地区では, 来年度は揚排水機場およびパイプラインが復旧する見込みで営農条件は2011年度よりも改善されると思われるが, 噴砂による塩害や地盤沈下等による生育のバラツキはしばらく残ると考えられる。わが国の農地の土壌中の交換性塩基はほとんどがカルシウム, マグネシウム, カリウムで構成され, ナトリウムは0~数%しか含まれていないのが通常であるといわれるが(三好ら, 1983), 西代地区の噴砂による塩害を受けた土壌はナトリウムが30%と非常に高くイオンバランスが悪いことから, しばらくはナトリウムイオンがもたらす障害が起こりやすい状態であるといえる。なお, 石灰などカルシウムイオンを含む資材を投入することで吸着していた土粒子からナトリウムイオンが離れやすくなる(山内ら, 1983)。

わが国の水田地帯はかつて水域であった低平地が多く, 今後も震災によって液状化による被害を受ける可能性が高いため, 液状化による噴砂や地盤沈下等の営農への影響に関する知見を蓄積し, 対策を考えていく必要があるといえる。

参考文献

- 1) 荒井(三王)裕見子・小林伸哉・吉永悟志・高井俊之・近藤始彦(2011): 水稻の塩害とその対策, 農業および園芸, 86(7), 737-742.
- 2) 土壌環境分析法編集委員会(1997): 土壌環境分析法, 博友社, 195-196, 202-221, 297-301, 343-352, 367-370.

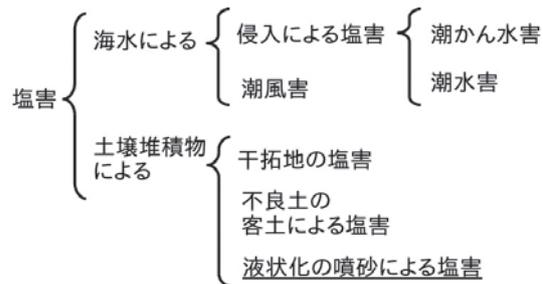


Fig. 12 塩害の分類(塩ら(1979)に加筆)

Classification of salt damage from Shio *et al* (1979) and revised by author

- 3) FAO (1992): The use of saline water for irrigation, *FAO Irrigation and Drainage Paper* 48.
- 4) 長谷川進(1998): 水稻に対する塩害と対策技術, 北農, 65(3), 44-51.
- 5) 兼子健男(2003): 水田における台風高潮塩害災害の除塩技術, 水と土, 133, 48-53.
- 6) 気象庁(2011): 平成23年4月地震・火山月報(防災編), 付録2, 322-332.
- 7) 宮城県立農業試験場(1961): チリ地震津波による農作災害の実態, 1-74.
- 8) 三好洋・嶋田永生・石川昌男・伊達昇ら編(1983): 土壌肥料用語辞典, 農文協, 23, 69-75.
- 9) 日本ペドロジー学会(1997): 土壌調査ハンドブック改訂版, 博友社, 169.
- 10) 農林水産省(2011): 津波により流出や冠水等の被害を受けた農地の推定面積, 2011年3月29日現在。
- 11) 坂井弘監修(1974): 農業公害ハンドブック, 地人書館, 82, 86.
- 12) 塩光輝・久保田治夫(1979): 霞ヶ浦の塩分変化と過去の塩害記録-霞ヶ浦の塩害に関する研究(その1)-, 農業土木学会誌, 47(7), 499-504.
- 13) T. Motohka, K. N. Nasahara, A. Miyata, M. Mano (2009): Evaluation of optical satellite remote sensing for rice paddy phenology in monsoon Asia using a continuous in situ dataset, *International Journal of Remote Sensing*, 30, 4343-4357.
- 14) 山内益夫・島田義明・吉田昌一(1983): 水稻における塩化ナトリウム高濃度処理による生育障害の軽減に対するカルシウムイオンの効果, 日本土壌肥料科学雑誌, 54(6), 499-504.
- 15) 米田茂男・川田登(1954): 塩害地の特殊酸性土壌について, 日本土壌肥料科学雑誌, 24(6), 29-32.

Salt Damage Caused by Ground Liquefaction Along the Tone River Following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

ZUKEMURA Chika, KITAGAWA Iwao, WAKASUGI Kousuke and HARAGUCHI Noburo

Summary

In March 2011, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and resulting tsunami caused damage to large areas of agricultural land. In Ibaraki Prefecture, 1040 ha of agricultural land was affected, 540 ha of which was damaged not by the tsunami, but by ground liquefaction. Damage due to ground liquefaction in Ibaraki Prefecture was centered at the Nishishiro district of Inashiki City. In that district, rice was planted in paddy fields that, having sustained ground liquefaction damage, could be restored to a plantable condition through emergency measures implemented by farmers themselves. However, salt damage was observed in the paddy rice approximately 1 week after planting. As a result, salt damage in agricultural land where ground liquefaction occurred was periodically investigated in order to understand how farming activities were being affected.

From soil chemistry analysis, it became clear that the topsoil contained a number of soil components originating from sand boil deposits. In particular, sand boil deposits contained higher quantities of chloride, sodium, and sulfate than ordinary topsoil, suggesting that the salt content of the deposits was derived from sea water.

In many areas where sand boils occurred, paddy rice did not produce ears and sterile plants did not ripen. With extreme differences being found in rice growth between sections of fields where ears of rice emerged and those where they did not—dependent on the boundary of the area where sand boils occurred—harvesting was not performed in paddies where significant sterility rates were seen. Concerns were raised that large differences in rice growth within individual fields would lead to decreases in both operating efficiency and the quality of rice shipments.

This investigation has clearly shown that, unlike salt damage caused by the tsunami, salt damage caused by ground liquefaction is characterized by large differences in crop growth within individual fields.

Keywords : Sand boil, Salt damage, Ground liquefaction.

