

塩分を含んだ噴砂が水稻生育へ与えた影響とその発生要因

*Effect of Salt Injury on Paddy Rice due to Saline Sand Boil*瑞慶村 知 佳[†]

(ZUKEMURA Chika)

北 川 巖[†]

(KITAGAWA Iwao)

石 田 聡[†]

(ISHIDA Satoshi)

吉 本 周 平[†]

(YOSHIMOTO Shuhei)

若 杉 晃 介[†]

(WAKASUGI Kousuke)

原 口 暢 朗[†]

(HARAGUCHI Noburo)

I. はじめに

茨城県では、2011年3月11日に発生した東日本大震災によって県内農地の約1%に当たる1,040 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た。同市は霞ヶ浦と利根川に挟まれた千葉県との県境に位置しており、液状化による噴砂や地盤沈下の甚大な被害を受けた。特に深刻な被害を受けた同市の西代地区は、パイプラインなどの用排水施設の破損、田面や農道のゆがみ、噴砂の発生¹⁾により2011年度の作付けが困難であった。その中で比較被害が軽微な一部の水田では、農家が自力で田面の凹凸を整え、排水路の水をポンプアップし作付けが行われた。しかし、これらの水田で田植え後1週間経った頃に水稻の葉の葉先枯れ・白色化が発生した。

噴砂の発生が作物生育へ与える影響について、リン酸など養分の少ない土壌が作土へ混入することによる、土壌肥沃度の低下や地力ムラの発生についてはこれまで指摘されてきたが²⁾、水稻の葉先枯れ・白色化などの生育障害と噴砂との関連についての報告例はない。そこで本報では、噴砂によって水稻の生育障害が発生した水田において、水稻の生育経過と噴砂堆積物の特徴から水稻の葉先枯れ・白色化の原因を明らかにするとともに、西代地区で噴砂による生育障害が発生

した要因について述べる。

II. 水稻の生育経過と噴砂堆積物の化学的特徴

1. 水稻の生育経過

水稻の生育経過を観察するため、葉先枯れした水稻が点在していた水田(図-1の区画2)と葉先枯れが進行し、古い葉が白色化した水稻が多く確認された水田(図-1の区画3)の2つの圃場で、生育調査と水田全景の定点写真の撮影を行った。生育調査は各圃場の水口付近の5株の草丈と茎数を測定し平均した値を用いた。

田植えは例年よりも1カ月ほど遅い5月中旬から下旬に、収穫はほぼ例年どおりの8月下旬から9月上旬に行われた。水管理は7月下旬頃まで排水路の水を



図-1 調査対象地 (グーグルマップより作成)



写真-1 定点写真 (上図: 区画2 (葉先枯れ水田), 下図: 区画3 (葉先枯れおよび白色化水田))

[†] 農村工学研究所



噴砂, 塩害, 液状化, 出穂障害, 土壌化学分析, 電気探査, カイトフォト

表-1 水稻の草丈と茎数の調査結果

調査地	項目	6/29	7/8	7/15	7/26	8/2	8/9	8/18	8/27	9/4
区画2 (葉先枯れ)	草丈 (cm)	45.2	62.0	68.8	79.0	86.4	92.6	93.0	92.8	91.2
	茎数 (本)	20.8	18.0	20.0	23.8	22.6	26.2	23.2	19.6	22.6
区画3 (葉先枯れ・白色化)	草丈 (cm)	39.4	52.8	55.8	56.0	59.4	62.0	64.4	68.4	70.0
	茎数 (本)	9.8	10.8	10.0	10.0	12.4	13.6	15.6	11.0	11.0

ポンプアップして灌漑されたが、その後は天水のみで灌漑が行われた。品種は区画1および2でアキタコマチ、区画3でコシヒカリが作付けされた。地区内ではそのほかクサホナミ（飼料用稲）やミルキークイーンなども作付けされた。

写真-1に水田全景の定点写真を示す。田植えから約1カ月後の6月29日は、区画2の苗はほぼ均一に成長したが、区画3では移植後に葉先枯れ・白色化の影響による生育ムラが確認された。7月15日には生育ムラの差がさらにはっきりと現れた。8月9日には区画2で出穂が確認されたが、区画3では出穂が確認されなかった。収穫1週間前の8月26日には区画2は圃場全体で出穂を終えていたが、区画3では出穂し黄熟している部分と出穂せず緑色のままの水稻が混在していた。

表-1に水稻の生育調査の結果を示す。水稻は田植えから幼穂形成期までの栄養生長期で茎葉を繁茂させ、それ以降の出穂期・登熟期で生殖生長に移行しデンプンを胚に貯蔵する。しかし、区画3では出穂していない水稻が確認されただけでなく、表-1に示すように草丈が収穫直前の9月4日に最大となっており、栄養生長から生殖生長への移行ができていなかったことが分かった。

2. 噴砂堆積物の化学的特徴

水稻の葉先枯れ・白色化の原因を明らかにするため、噴砂が発生した圃場(図-1の区画4)内の通常の作土と噴砂堆積物について、次の項目の土壌化学性を分析した。pH(H₂O)、1:5水浸出法によって電気伝導度(以下、「EC」という)、陽イオン交換容量(以下、「CEC」という)、交換性ナトリウム含量、Cl⁻、SO₄²⁻の水溶性陰イオン含量を分析した³⁾。ナトリウム飽和度(以下、「ESP」という)は、交換性ナトリウム含量をCECで除して求めた。なお、試料は噴砂被害を受けていない作土(以下、「通常作土」という)、噴砂堆積物の表面(深さ0~10 cm、以下、「噴砂表層」という)、噴砂堆積物の次層(深さ10~20 cm、以下、「噴砂次層」という)の3種類を2011年4月28日に採取した。

その結果、表-2に示すように噴砂堆積物にはナトリ

表-2 噴砂堆積物と通常作土の土壌化学性の違い

調査点	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	水溶性 陰イオン含量 (mg/kg)		交換性 ナトリウム (mg/100 g)	CEC (meq/100 g)	ESP (%)
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			
通常作土	6.8	0.09	29	68	25.9	12.1	6.9
噴砂表層	7.7	0.15	60	194	106.5	11.0	31.3
噴砂次層	6.5	0.66	1,265	315	116.0	12.1	30.9

ウム、塩素イオン、硫酸イオンが通常作土よりも多く含まれており、ECは通常作土の0.09 mS/cmに対し、噴砂次層で0.66 mS/cmと非常に高かった。これらのことから、噴砂に塩分が含まれていることが分かった。

過剰な塩分が水稻生育へ及ぼす影響が大きい時期は田植え後と幼穂形成期・穂ばらみ期とされており⁴⁾、生育経過の特徴からも、噴砂が発生した西代地区での水稻の生育障害は過剰な塩分の影響であると推察された。

III. 塩分を含んだ噴砂による水稻生育・収量への影響

1. 一筆圃場内の出穂ムラ

写真-1の区画3の水稻の生育経過では、1筆圃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風にデジタルカメラを積載し上空から地上の様子を撮影した(カイトフォト)。

写真-2に収穫前の2011年8月26日に撮影したカイトフォトを示す。番号が1~3と示した区画が2011年度に作付けが行われた水田で、番号が4~8の区画は液状化による噴砂や地盤沈下の被害が甚大で2011年度は作付けができず、草刈りなどの管理が行われた水田である。区画4~8の圃場の左下から右上方向の白色の筋は、噴砂の跡である。なお、図-1と写真-2の区画の番号は対応している。

写真-2区画1の大半を占める調査点Bを含む濃い灰色の部分は出穂し黄熟していたが、調査点Aの周辺の黒い筋状に現れた部分は出穂していなかった(出穂障害)。

実際、農家に対する聞き取り調査を行ったところ、区画1の南側の農道沿いは噴砂の被害がひどく、作付け前の均平作業を入念に行ったとのことであった。

2. 一筆圃場内の収量ムラと水田土壌の化学性

噴砂による塩害が水稻へ与えた影響を確認するため、写真-2のA~Dの4調査点で収量調査および水田土壌の化学分析を行った³⁾。収穫物のサンプリングは調査点AおよびBで8月24日、調査点Cで9月12日、調査点Dで9月4日に、水田土壌のサンプリ

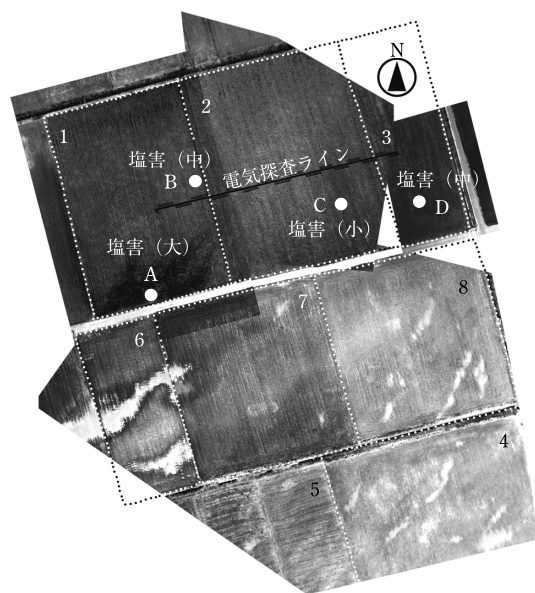


写真-2 区画1~3の収穫前の上空からの様子

表-3 被害水田の土壌化学性と水稻収量の関係

調査点	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	水溶性陰イオン含量 (mg/kg)		交換性ナトリウム (mg/100g)	CEC (meq/100g)	ESP (%)	収量 (kg/10a)	塩害の程度
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻					
A	5.3	1.04	2,400	198	139	12.6	35.7	55	大
B	6.0	0.42	712	142	104	15.5	21.8	107	中
C	5.8	0.23	367	58	54	12.0	14.3	200	小
D	6.1	0.53	928	160	108	11.4	35.6	101	中

ングは10月5日に行った。収量調査は坪刈りを行い10a当たりの精玄米重（1.9mm選別）を算出した。

表-3に被害水田の土壌化学性と水稻収量の関係を示す。水田土壌における塩害の目安は、土壌EC（1：5水浸出法）で0.3~0.6mS/cm以上⁵⁾、ESPで20%以上⁶⁾といわれている。カイトフォトで黒い筋が確認された調査点Aは収量が55kg/10aと4調査点の中で最も低く、土壌ECが1.04mS/cm、ESPが35.7%と塩害の目安を大幅に超えていた。調査点Aと同じ区画内の調査点Bは収量が107kg/10a、土壌ECが0.42mS/cm、ESPが21.8%と、調査点Bは塩害リスクの可能性のある範囲であった。

3. 噴砂による塩害の特徴

以上の結果より、調査点Aの周辺の出穂障害の発生した筋は、区画4~8の作付けができなかった水田の噴砂の平面的な広がりの方と一致しており、調査点Aの土壌ECやESPが高かったことから、液状化によって塩分が噴出し、噴砂堆積物の周辺で作付けされた水稻で塩害が発生したことが分かった。

なお、調査点Cでは土壌ECやESPの値は塩害発生の目安以下であったにも関わらず、2011年度の茨城県の平均稲作収量の468kg/10aより大幅に下回っ

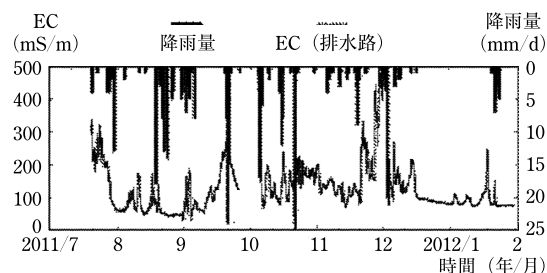


図-2 排水路の水のECと降雨量の関係

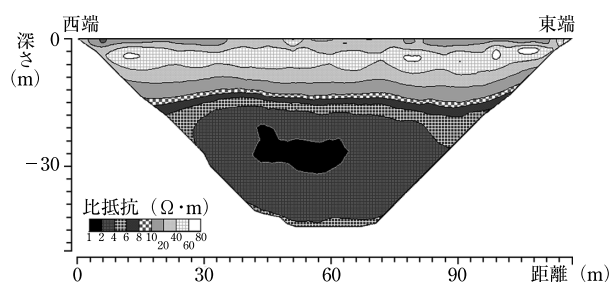


図-3 水平電気探査の結果

た。一方、灌漑水に用いられた排水路の水のECを測定したところ（図-1点P）、降雨の直後は排水路の水のECは低かったものの、区画1~3で灌漑を行っていた7月中下旬の水のECは200~300mS/mと高かった（図-2）。このことから、調査点Cの収量について、塩分を含む水で7月下旬まで灌漑を行ったことが低下した要因の一つと考えられた。

IV. 塩分の供給源について

塩分の供給源を把握するため、電気探査によって地盤の比抵抗を求めた⁷⁾。地下水面以下では地盤の比抵抗は塩分を含むと小さくなるため、電気探査は地盤中の塩分の分布を把握するのに適している。

水平電気探査を写真-2の区画2を横断するラインで2012年2月10日に行った。図-3に水平電気探査の結果を示す。測定の結果、比抵抗値は地下12mで下がりだし、地下25m付近で極小値を示したことから、地下25m周辺に塩水を含む地下水の存在が示唆された。この塩水が噴砂によって、地表面に吹き出し堆積したと考えられる。

西代地区は利根川と霞ヶ浦に挟まれた低地であり、圃場整備が行われた1970年代以前は写真-3のように水路網が発達した水郷地帯であった。1963年に常陸川水門が設置されるまで霞ヶ浦には容易に海水が遡上したことから⁸⁾、近接する同地区にも塩分が遡上していたと推察される。さらに、縄文海進が起こった時代には同地区を含む利根川下流低地は海中に存在していたことから⁹⁾、当時の塩分が集積していたとも考えられる。



写真-3 1962年の西代地区（国土地理院の空中写真より）

わが国には、海面や汽水域の埋立てや干拓によって造成された低平農地が多く存在する。このような農地では、今後大規模な震災の際に塩分を含んだ噴砂によって作物の生育に支障をきたす可能性があると考えられる。

V. おわりに

東日本大震災で確認された液状化の噴砂によって発生した水稲の塩害について紹介した。

2012年度の西代地区では噴砂の周辺も含め2011年度に見られたような生育障害の発生は認められなかった。これは、2011年度の冬に行われたパイプラインなどの用排水施設の復旧工事に加え、稲敷市が塩害による減収の可能性の低い品種として、2011年度の被害の様子からアキタコマチやクサホナミを推奨したためと考えられる。

従来、噴砂による作物への影響は、養分の少ない土壌が作土に混入し土壌の肥沃度が低下することが問題とされてきたが²⁾、今回の事例から作物の生育に障害を与える物質が作土に混入する可能性があることが明らかとなった。

謝辞 現地調査に当たって西代地区の地元農家のみなさまに、水平電気探査の解析に当たって農村工学研究所の中里裕臣博士に、カイトフォトの撮影に当たって筑波大学の幕田裕貴氏、江原洋平氏、奈佐原顕郎准教授にご協力いただきました。記して謝意を表します。

引用文献

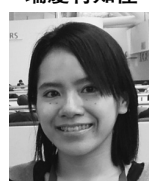
- 1) 大塚秀樹：茨城県稲敷市周辺の農地の歴史について，水と土 167, pp.64～66 (2012)
- 2) 北田敬宇：能登半島地震の農業被害とその復旧，土肥誌 80 (5), pp.545～548 (2009)
- 3) 土壌環境分析法編集委員会：土壌環境分析法，博友社，pp. 195～196, 202～219 (1997)
- 4) 荒井（三王）裕見子，小林伸哉，吉永悟志，高井俊之，近藤始彦：水稲の塩害とその対策，農業および園芸 86(7), pp. 737～742 (2012)
- 5) 原口暢朗，友正達美，北川 巖，若杉晃介，瑞慶村知佳，塩

野隆弘，芦田敏文，中 達雄，鈴木尚登：津波・高潮により被災した農地，特に水田におけるかんがいによる除塩について，農業および園芸 87(1), pp.162～170 (2012)

- 6) 近藤始彦，曾根千晴，荒井（三王）裕見子，小林伸哉，高井俊之，岩澤紀生，吉永悟志：作物の塩害の生理機構とその対策 (2) 品種・栽培管理対策，農業および園芸 87(2), pp. 291～296 (2012)
- 7) 中里裕臣，黒田清一郎，奥山武彦，朴 美京，金 喜俊，轟木良則：電気探査連続測定システムによる地盤環境モニタリング，農工研技報 201, pp.173～182 (2003)
- 8) 塩 光輝，久保田治夫：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）－，農土誌 47 (7), pp.31～36 (1979)
- 9) 茨城県：土地分類基本調査「佐原」，pp.24～28 (1987)

[2013.4.12.受稿]

瑞慶村知佳（正会員）



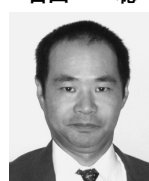
略 歴
1988年 千葉県に生まれる
2010年 筑波大学第二学群生物資源学類卒業
(独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所
現在に至る

北川 巖（正会員）



1969年 北海道に生まれる
1997年 北海道大学農学部農業工学科卒業
北海道立中央農業試験場
2008年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所
現在に至る

石田 聡（正会員）



1962年 東京都に生まれる
1989年 東京大学理学部卒業
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所資源循環工学研究領域
現在に至る

吉本 周平（正会員）



1980年 兵庫県に生まれる
2005年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所資源循環工学研究領域
現在に至る

若杉 晃介（正会員）



1976年 大分県に生まれる
2001年 宇都宮大学修士課程修了
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農地基盤工学研究領域
現在に至る

原口 暢朗（正会員）



1959年 埼玉県に生まれる
1982年 東京大学農学部卒業
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農地基盤工学研究領域
現在に至る