

海水の浸水被害を受けた水田土壌の塩類滞留実態と水洗浄 による除塩対策のモデル的解析

誌名	富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告
ISSN	18838227
著者	中田, 均
巻/号	2号
掲載ページ	p. 27-37
発行年月	2011年3月

海水の浸水被害を受けた水田土壌の塩類滞留実態と 水洗浄による除塩対策のモデル的解析

中田 均

I. 緒言

平成20年2月24日、富山県東部の沿岸部が高波の被害を受けた。この被害の要因となる気象概要は次のとおりである。同年2月23日、低気圧が日本海中部を発達しながら東北東に進み、24日に三陸沖に抜けているが、この発達した低気圧の影響で23日から24日にかけて風が強くなり、富山県の沿岸では24日の明け方から波が高くなった。特に、入善町に大きな被害を与えた高波は、日本海における24日未明からの風速15m/sを超える暴風によって北海道西方沖に発生したうねりが富山湾に押し寄せた「寄り回り波」と見られている。従来、季節風が吹く頃になるとこのような波が入善町周辺海岸に押し寄せることが知られている。この付近の海底は遠浅ではなく、海岸近くから急激に深くなっているのが特徴¹⁾で、周期の長い波は急激に浅くなった陸地に乗り上げて高波となる。今回の波高は最大7.5mで堤防を乗り越えた高波が、住宅地やその近傍にある農地へ流入して被害をもたらした。

同年2月25日に、新川農業普及指導センター（現新川農林振興センター）が、水田への海水の浸水被害実態を調査しており、被害面積は入善町飯野地区で5ha程度、同町下飯野地区で1.5ha程度、朝日町境地区で0.6ha程度と報告されている。浸水実態について、一部の水田では水深10cm程度の浸水状態が確認されており、このような圃場では、畦畔を割って迅速な排水に努めている。浸水を受けた圃場は、いずれも作物を栽培しておらず、園芸等の施設被害、大麦及びチューリップ等を作付けした圃場での浸水はなかった。

本報告では、この高波による浸水被害地域を対象に、水田の作土層の土壌を採取し、海水由来塩類の滞留実態を調査した結果と、用水を用いた代かきによる除塩作業を想定し、被害土壌の水による洗浄モデル試験を実施した結果について報告する。

II. 材料および方法

1. 浸水実態調査

平成20年2月27日に、表1に示した芦崎地区5筆と下飯野地区1筆から、圃場の表面水を採取し、芦崎漁港内より海水も採取した。翌28日には、波しぶきを被っていた東五十里地区2筆と浸水を受けた朝日町西地地区1筆より圃場表面水を追加採取した。これらの試料について、ガラス電極法によるpHと電気伝導率計によりECを測定した。

土壌の採取は、浸水後4日目の同年2月28日に入善町役場・農協支所・新川農業改良普及センターなどと合同で、海水の浸水の有無を確認し、表2に示した21圃場を選定して行った。採取位置は、圃場面積により10a以下の場合は中央付近より1点、20a程度の場合は2地点から、30a以上の場合は3地点より作土を採取し、複数地点より採取した場合は混合して1試料とした。採取した土壌について、1:5水浸出法によりECを測定した。

なお、圃場表面水及び土壌採取した地点をすべて図1に示した。

2. 水稻乳苗による塩害評価試験

採取した土壌の塩類濃度が水稻の幼植物に及ぼす影響を評価するため、乳苗を用いた生物検定を行った。被害にあった圃場のうち、土壌ECが $163\mu\text{S}/\text{cm}$ (芦崎274)、 $543\mu\text{S}/\text{cm}$ (下飯野255)、 $804\mu\text{S}/\text{cm}$ (芦崎290)、 $1209\mu\text{S}/\text{cm}$ (芦崎311)、 $2050\mu\text{S}/\text{cm}$ (芦崎349)、 $2060\mu\text{S}/\text{cm}$ (芦崎353)の土壌を選び、50ml容ビーカーに固液比が1:0.69になるように土壌(生土)および蒸留水を秤取りし、表面水深を1~2cmとした。次に、3月10日に水稻コシヒカリの乳苗(1.5葉程度:不完全葉を除く)をビーカー当り2本移植し、屋内の室温下で湛水管理を継続した。移植9日後に葉身長、葉身の萎凋した部位の長さ、生体重及び乾物重を測定した。試験は2連制で実施した。

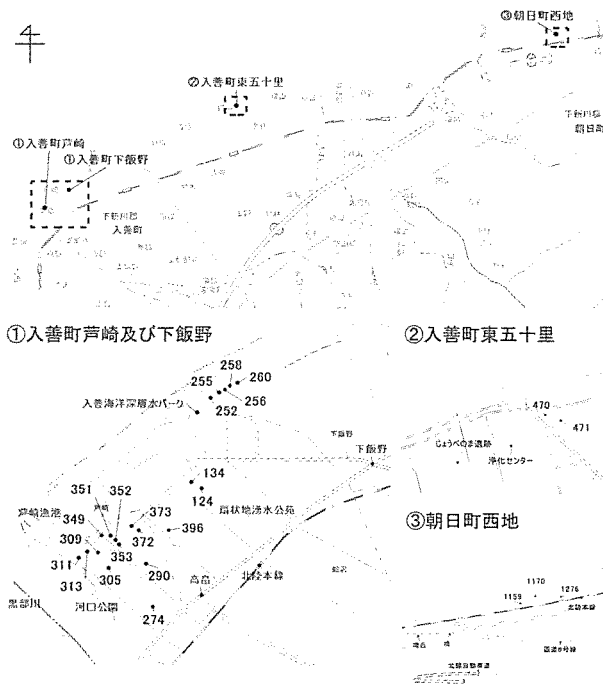


図1 圃場表面水及び土壌採取地点
上：全体図、下：それぞれの地区の拡大図を示す。

3. 水洗浄のモデル試験

用水を利用した代かき作業により、被害水田土壌を水洗浄する対策を想定し、3段階の固液比を設定して洗浄排水効率を検討した。まず、被害にあった土壌を任意に2点抽出し、懸濁時の土壌の膨潤率を見積もった。200ml容ポリ瓶に固液比(重量：容積比)が1：1になるように土壌と蒸留水を秤取りし、2時間振とうした後、100ml容メスシリンダー(内径φ27×長さ250mm)に移し、24時間後に沈降した土層の厚さを測定した。なお、土壌の供試重は、上述のメスシリンダーに乾土を仮比重1.2g/cm³相当に充填した場合、土壌の高さが11.2cmとなる量に相当する。土壌の膨潤率(24時間後の土層厚/乾土充填時の土層厚)は、1.33、1.36(平均1.35)であった。

次に、EC値が804μS/cm(芦崎290)、1209μS/cm(芦崎311)、2050μS/cm(芦崎349)、2060μS/cm(芦崎353)の被害土壌を用いて水洗浄のモデル試験を行った。100ml容の共栓付比色管(内径φ25.6×高さ230mm)に乾土41.2g相当の生土を充填し、総水量が36ml(固液比1：0.87)、51ml(固液比1：1.25)、67ml(固液比1：1.62)となるように蒸留水を加え、30分間振とうして、24時間放置した。次に、土壌懸濁層と上澄層の高さを測定してから、上澄液を採取してECを測定した。その結

果の表示は、土壌：水=1：5で測定した場合に合わせて、各固液比より比例換算した値とした。その後、比色管に採取した上澄液と同量の蒸留水を補充して、30分間の振とうから始まる上記同様の洗浄処理を6回繰り返し実施した(ただし、3回目の洗浄時は72時間静置)。また、採取した上澄液量を総水量で除した数値を洗浄排水効率として算出した。なお、3水準の固液比は厚さ150mmの作土を代かきして、土壌粒子が沈降した後の排水可能な田面水の厚さが、それぞれ23mm、91mm、158mm程度となる水量に相当する(図2)。

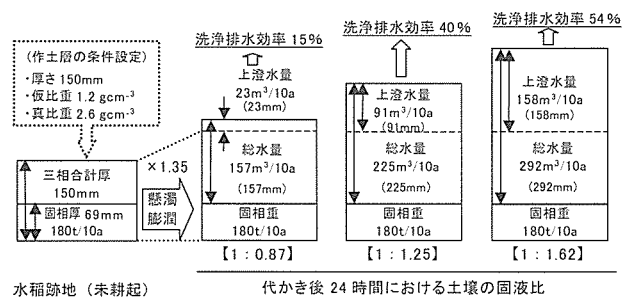


図2 代かき洗浄時における固液比と洗浄排水効率の想定モデル

4. 土壌分析

水洗浄モデル試験を実施した後の土壌を風乾、砕土した後、2mmの篩で篩別して、1：5水浸出法によりECを測定した。また、ショーレンベルガー法によりCECを原子吸光度法(Thermo Elemental社製 SOLAAR M6型)により交換性塩基濃度を分析した。

Ⅲ. 結果および考察

1. 浸水実態調査の結果

圃場表面水の調査結果を表1に示した。浸水の無かった芦崎134の圃場表面水のECは110μS/cmで、波しぶきを被っていた東五十里470、471の圃場表面水のECは373、404μS/cmとやや高くなっていた。また、浸水のあった6筆の圃場表面水のECは、6460~16330μS/cmの範囲で、内5筆は、12000μS/cmを超える高い値であった。一方、漁港内の海水のECは、32900μS/cmとさらに高いことから、波しぶきを被った圃場や浸水のあった圃場においては、試料採取までの間の降雨・降雪によって、圃場に残った海水が希釈されたものと考えられた。調査結果を農業用水の水質基準0.3mS/cm(農林水産技術会議1971/10/4)と比較すると、

浸水のあった圃場表面水のECは20～50倍程度の著しく高い値で、作物が栽培されている場合には生育障害が懸念される水準と考えられた。

次に、土壌ECの調査結果を表2に示した。浸水のなかった圃場7筆の土壌ECは27～185 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲の値を示し、平均では99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と低かった。このうち、東五十里470、471の圃場では波しぶきが被っていたが、それぞれの土壌ECは69、45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と低く、波しぶきによる土壌ECへの影

響は小さいと判定された。一方、浸水のあった圃場14筆の土壌ECは502～2530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲で圃場間差が大きく、それらの平均は1283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ で無浸水圃場の13倍程度と高かった。圃場間差については、海水の滞留した時間や土壌の透水性の違いが影響していると考えられた。また、下飯野255、256の圃場では、砂質土壌の堆積（圃場面積占有割合はそれぞれ2%、5%程度）を確認しており、これらのECは936、1499 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と高かった。この

表1 浸水の有無と圃場表面水のEC及びpH

浸水の有無	採取地点			EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH		
	町	地区	地番				
浸水無し	入善町	芦崎	134	110	7.47		
			470	373	—		
			471	404	—		
平均±標準偏差				296 ± 162			
浸水有り	入善町	芦崎	313	13460	6.42		
			352	6460	7.28		
			372	14170	7.52		
			396	16330	6.67		
			255	14210	6.42		
			朝日町	西地	1159	12960	—
			平均±標準偏差				12932 ± 3373

(参考) 芦崎漁港内の海水 : EC32900 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 、pH7.55

表2 浸水の有無と土壌EC

浸水の有無	採取地点			EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)			
	町	地区	地番				
浸水無し	入善町	芦崎	274	163			
			124	67			
			305	185			
			260	27			
			東五十里	470	69		
			471	45			
			朝日町	西地	1276	139	
			平均±標準偏差				99 ± 62
			浸水有り	入善町	芦崎	290	804
309	708						
311	1209						
349	2050						
351	1716						
353	2060						
372	571						
373	1951						
下飯野	252	528					
255	543						
255砂	936						
256	2050						
256砂	1499						
258	502						
朝日町	西地	1159				2530	
平均±標準偏差				1283 ± 689			

堆積物は堤防と圃場の間で栽植されている松並木の砂質土壌と土色、土性が同等であったことから、この砂質土壌が海水の流入に伴い圃場に入り込み堆積したものと考えられた。以上のように、海水が浸水した圃場では、土壌ECが高く、海水の主成分である塩化ナトリウムなどの塩類が圃場に負荷されたものと考えられた。

2. 水稻乳苗による塩害評価

海水の浸水被害を受けた地域では、水稻を中心に作付を行っており、被害年5月には水稻の作付を開始する予定であった。そこで、土壌への塩類負荷による水稻苗への影響を調査するため、ECの異なる被害土壌に水稻乳苗を移植し、生育状況を調査した。

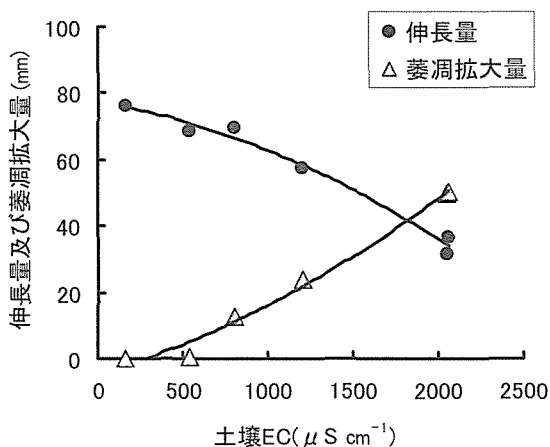


図3 土壌ECと水稻第2葉身の伸長量及び萎凋拡大量 (移植翌日から7日間での変化量)

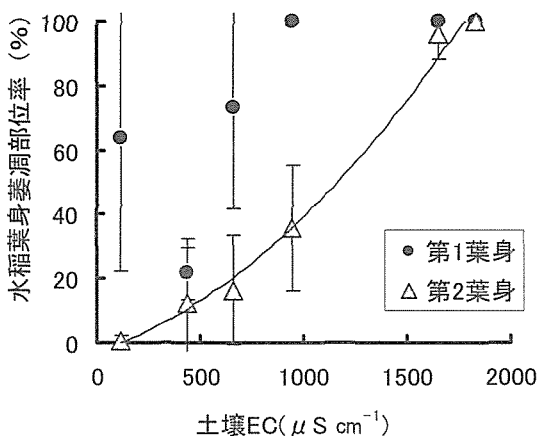


図4 土壌ECと水稻葉身萎凋部位率(移植後8日)

土壌のECと移植翌日から7日間における水稻第2葉身の伸長量及び萎凋部位の拡大量の関係を図3に示した。葉身の伸長量は、ECが高くなるほど減少しており、EC163 μS/cmの場合に比べ、ECが2050及び2060 μS/cmの伸長量は半分程度となった。一方、萎凋部位の拡大は、EC543 μS/cmを超える範囲で確認され、ECが高くなるにつれ萎凋拡大量が増加しており、2060 μS/cmでは葉身の伸長量を上回る56mmの萎凋拡大が認められた。これに関連して、図4に土壌ECと移植後8日目における水稻葉身の萎凋部位率(萎凋した部分の長さ/葉身全長×100)を示した。第2葉身についてはECの増加に伴う萎凋拡大の影響を受けて萎凋部位率が高くなる傾向が明らかで、EC543 μS/cmで10%程度、1209 μS/cmで35%程度、2050及び2060 μS/cmでは100%が萎凋した。第1葉身の萎凋率は植え痛み等によりECが低い場合でも萎凋するなど、大きく変動したが、1209 μS/cm以上の範囲では葉身のすべてが萎凋しており、第2葉身に比べて高濃度の塩類の影響を受けやすいと考えられた。

土壌ECと移植後9日目に採取した水稻幼植物重量の関係を図5に示した。水稻生体重は、ECが高くなるにつれて漸減したが、乾物重はほぼ一定で大きな変化は認められなかった。また、図6に土壌ECと水稻幼植物の水分率の関係を示したが、水稻の水分率は、土壌ECが高くなるほど減少しており、2050及び2060 μS/cmの場合には

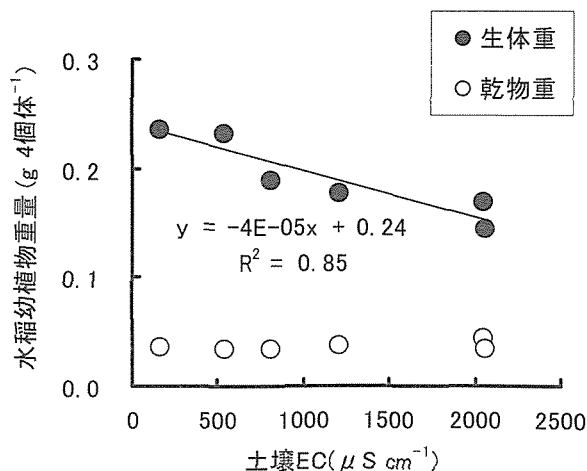


図5 土壌ECと水稻幼植物重量*(移植後9日) *葉身と葉鞘を合わせた重量(根を除く)

10%程度の水分低下が認められた。これらのことから、水稻生体重の減少は、萎凋現象が拡大して水稻体内の水分が低下したことに起因するものと考えられた。また、水稻の体内水分の低下については、土壌溶液中に負荷された海水由来の溶存塩類により土壌溶液の浸透圧が高まり、水稻根からの吸水が阻害されたためと考えられた。

今回のような水田への海水の流入による塩害の場合、負荷された塩の種類は主としてナトリウム塩を考える必要がある²⁾。また、水稻の塩害に対する抵抗性は、生育ステージによって異なるとされ、移植当初が最も弱い³⁾と言われている。木田ら⁴⁾は、土壌塩分と水稻苗の活着について検討し、土壌塩分が0.10%でも苗への影響はみられるが、土壌塩分が0.15%以下ならば、苗の活着の8割

を確保できると報告している。また、熊本県では、高塩分土壌に水稻を作付する場合の除塩対策の目標として、塩素イオン濃度を100g乾土当たり100mg以下にするように指導している⁵⁾。溶液中の塩化ナトリウム濃度とECの関係に関する知見⁶⁾より、木田らの報告している土壌塩分濃度0.10、0.15%は、溶存塩類をすべて塩化ナトリウム由来と仮定した場合、ECとして約400、600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に換算される。また、熊本県の除塩対策の目標としている塩素イオン濃度が、すべて塩化ナトリウム由来と仮定した場合、ECとして約600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に換算される。

本試験では、無浸水のEC163 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の場合に比べてEC543 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の水準では、水稻の葉身の生育や水分率に大きな変化が認められていないが、EC804 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の範囲においては、第2葉身の伸長阻害や萎凋現象の進展に伴う水分率の低下が明らかとなっており、水稻地上部の生育阻害を回避するには土壌ECを500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に低減することが対策目標として適当と考えられた。この目標水準は、水稻苗の活着について木田らが示した指針とほぼ同等の水準に相当しており、根の生育阻害を回避する目標値としても妥当と考えられる。

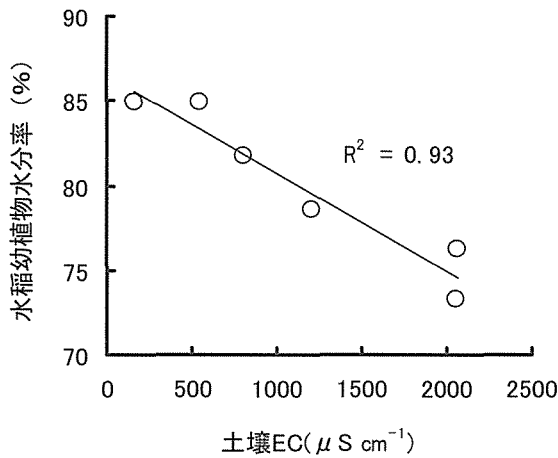


図6 土壌ECと水稻幼植物水分率(移植後9日)

3. 水洗浄モデル試験

1) 固液比と洗浄排水効率

被害土壌に3段階の固液比で蒸留水を加え、振とう・静置後に土層厚(懸濁状態)と上澄厚を測定した結果を図7に示した。4つの土壌とも添加する水量を増やすと、土層厚、上澄厚が

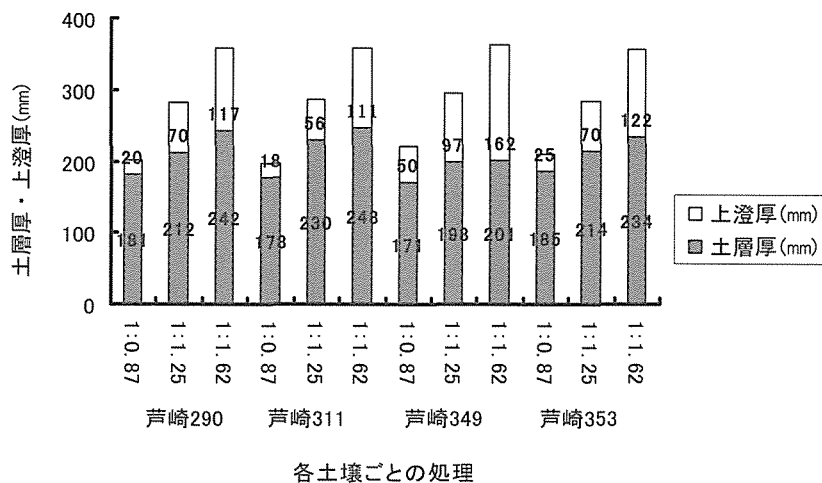


図7 土壌種・固液比の違いと振とう静置後の土層厚・上澄厚
※図中の数値は、それぞれの上澄厚・土層厚を示す。

ともに増加する傾向が認められた。また、土壌の膨潤率は、芦崎349の土壌のみ別試料で事前に求めた値(1.35)と同程度で、上澄厚がほぼ想定どおりとなったが、他の3土壌では、土壌膨潤率が事前に求めた値より大きく、上澄厚は相対的に想定値より小さくなった。土壌膨潤率が土壌により異なる要因については不明であ

り、土性や腐植含量、塩類組成など土壌の膨潤性に関与する因子について詳細な検討が必要である。

図8には、添加水量(固液比の違い)と洗浄排水効率(上澄液量/総水量×100)の関係を示した。いずれの土壌も添加水量を増やすと洗浄排水効率が直線的に高まっており、洗浄時の水量を増やすことにより、効率的に土壌の洗浄を実施することができると考えられた。さらに、芦崎349のように土壌膨潤率が低い場合、洗浄効率がより高まると考えられた。また、洗浄排水効率は、6回の洗浄の平均値を示しているが、その標準偏差は小さく、洗浄作業を繰り返して進めてもほぼ同程度の効率で洗浄できると考えられた。

2) 土壌ECの低減

被害土壌の6回の洗浄過程における土壌ECの変化を図9に示した。土壌ECは、いずれの土壌においても洗浄の進展に伴い明らかに低減しており、その低減幅については、洗浄の進展に伴い低下する傾向が認められた。また、同一洗浄回数においては、添加水量が多いほ

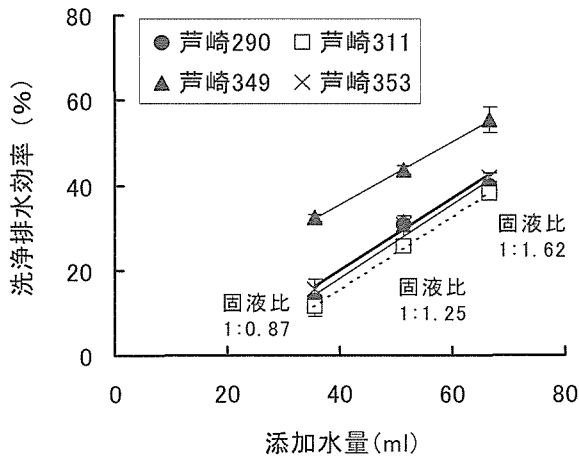


図8 固液比の違いと洗浄排水効率^{*}の関係
^{*}洗浄6回の平均±標準偏差

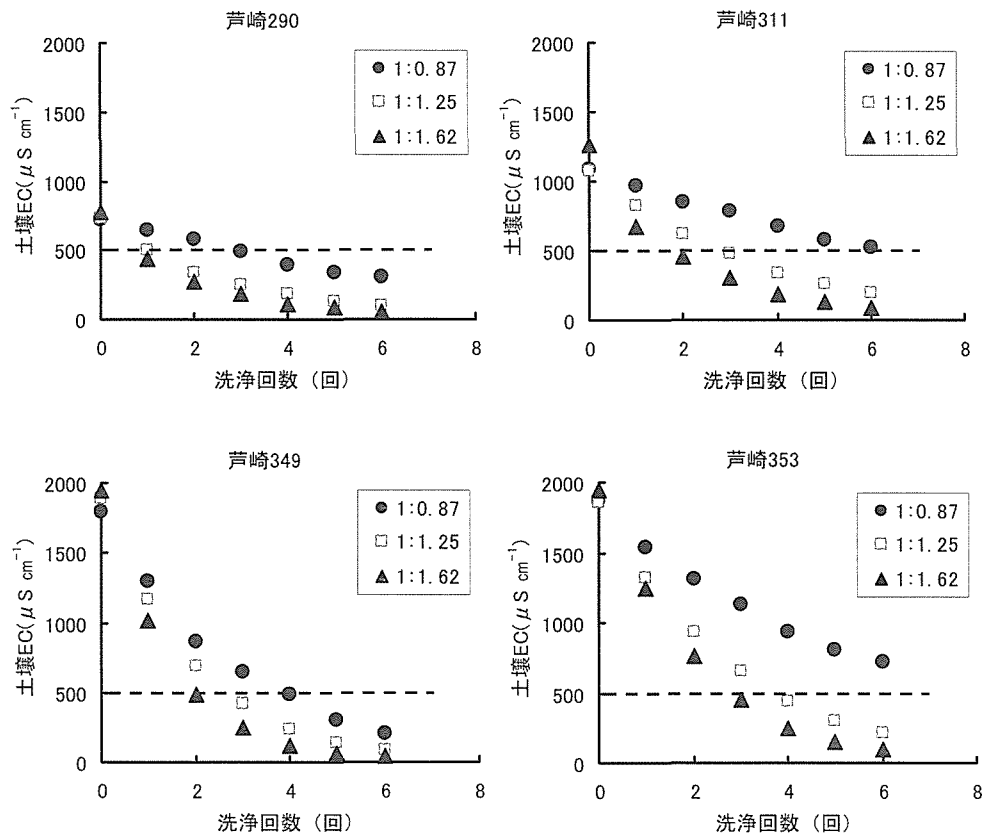


図9 各土壌の洗浄回数と土壌EC
^{*}図中の波線は対策目標水準である500 μS cm⁻¹を示す。

ど土壌ECが低くなった。対策目標とした土壌EC $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下とするための洗浄回数は、固液比1:1.62の条件では、芦崎290(初期 $804\mu\text{S}/\text{cm}$)で1回、芦崎311(初期 $1209\mu\text{S}/\text{cm}$)と芦崎349(初期 $2050\mu\text{S}/\text{cm}$)で2回、芦崎353(初期 $2060\mu\text{S}/\text{cm}$)で3回であった。固液比1:1.25の条件では、芦崎290で1回、芦崎311と芦崎349で3回、芦崎353で4回であった。固液比1:0.87の条件では、芦崎290で3回、芦崎349で4回、芦崎311と芦崎353では6回の洗浄処理で対策目標値を下回ることにはなかった。このように洗浄回数については、土壌ECの初期値が低く、添加水量が多い条件で少なくなった。

実際の圃場において用水を使った洗浄を実施する場合、圃場に導入しうる用水量は畦畔の高さによって限定される。農林水産省の土地改良事業標準設計⁷⁾によると、傾斜のついた土畦畔の場合、田面からの畦畔高は30cmとされている。この条件であれば、本研究で添加水量を最大とした固液比1:1.62の状態での洗浄も可能である。さらに、畦畔高(田面+30cm)-5cmのレベルまで導水すると、固液比は1:1.84まで高められる。なお、実際の圃場の畦畔高は、地形や農家要望等により変動することから、洗浄にあたっては被害圃場の実際の畦畔高を考慮した対応が求められる。

3) 洗浄排水効率とEC低減の予測

代かきにより被害土壌の洗浄を行う場合、事前に固液比や洗浄回数の目安が把握できれば計画的に洗浄作業を進めることができる。図8、9より同一の固液比で洗浄を繰り返す場合、洗浄排水効率がほぼ一定で、土壌ECが規則的に低減することが明らかであり、これらのことから被害土壌のECを目標 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ に低減する洗浄回数を予測することが可能と考えられる。なお、洗浄排水効率については、対象とする圃場の作土深や畦畔高を考慮し、固液比について一定の条件を設定して、本研究で採ったモデル的な水洗浄処理(30分振とう後24時間静置し、土壌厚と上澄厚を測定)を1回行うことで求められる。

図10には、洗浄排水効率と土壌ECの低減率の関係を示した。これより、EC低減率(y)と洗浄排水効率(x)との間には $y=0.84x+2.6$ の直線関係が認められることから、洗浄排水効率を実験的に求めることにより1回の洗浄作業による土壌ECの低減率を予測することができ、洗浄n回後の土壌EC(Y)を次式により予測できると考えた。

$$Y = EC_i \times (1 - X_{EC}/100)^n = EC_i \times (1 - (0.84X_{WD} + 2.6)/100)^n \dots (1式)$$

(EC_i : 洗浄前の土壌EC、 X_{EC} : 土壌EC低減率、 X_{WD} : 洗浄排水効率)

この①式による予測値と実測値の関係を図11に示した。両者の関係は、直線回帰式

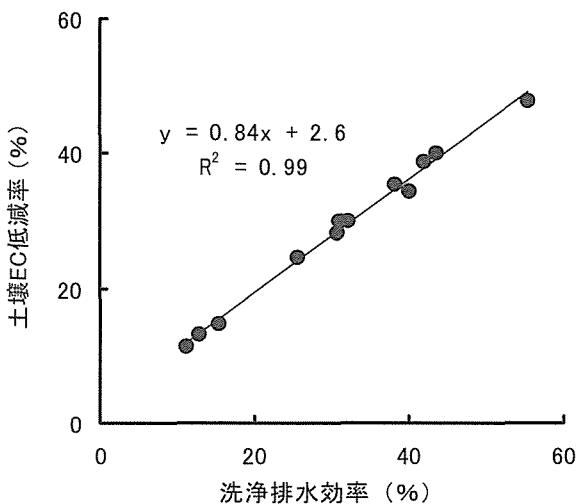


図10 洗浄排水効率と土壌EC低減率の関係

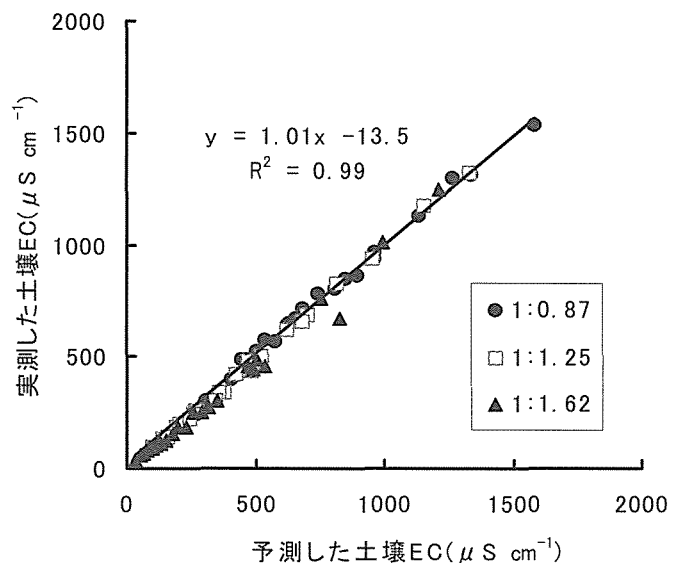


図11 予測した土壌ECと実測した土壌ECの関係

$y=1.01-13.5(R^2=0.99)$ で精度よく表現され、回帰式の傾きがほぼ1で切片もECの絶対値としては極めて0に近い値と判断されることから、洗浄排水効率を変数とした①式により洗浄n回後の土壌ECを高精度で予測できると考えられた。

さらに、土壌ECを目標水準(500 $\mu\text{S}/\text{cm}$)まで低減するための洗浄回数は、①式を次のように変換して推定することができる。

$$n = \log(1 - (0.84X_{\text{wd}} + 2.6)/100)(500/EC_i) \cdots \text{②式}$$

②式により推定した洗浄回数(小数点以下切り上げ)とモデル試験結果に基づく洗浄回数(実測値)を表3に示した。これより、推定値の正答率は75%(9/12)で、実測値と合わなかった場合の推定誤差も1回(過剰)であることから、土壌の初期ECと洗浄排水効率より、洗浄回数を目安を推定できると考えられた。

以上、水洗浄のモデル試験による洗浄回数の推定について検討したが、圃場レベルでの洗浄作業を想定した場合、さらに次の点に留意する必要がある。本報での洗浄モデル試験は、洗浄処理(往復振とう後静置)を密閉容器内で実施しているが、圃場レベルでは、入水から代かき・静置を経て田面水を排水するまでの間に、作土層の水が耕盤層以下へ浸透することが想定される。これに伴って作土層の塩類が下層に溶脱することが考えられる。さらに、洗浄モデル試験はバッチ式による洗浄処理であるのに対し、圃場での水の降下浸透はカラム洗浄処理に相当し、より高い洗浄効率が想定される。また、長谷川⁸⁾は塩害にあった水田土壌(褐色森林土(土性LiC)、グライ土(土性CL))において、ECで500~600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (調査圃場5筆)、600~

800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (調査圃場20筆)、800~1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (調査圃場11筆)と3段階に分類し、代かきをそれぞれ1回、2回、3回と行ったところ、すべての圃場のECは330~370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ となり、塩害によって集積した土壌中の塩類の大部分が水溶性成分であり、液相に速やかに移行することから代かき水の入換によって効果的に除塩できると報告している。これらのことから、圃場レベルでの洗浄においては、前述の方法で推定した洗浄回数より少なくても済む可能性もあると考えられ、洗浄回数の推定値については、安全を見込んだ最大の洗浄回数として理解すべきと考える。なお、実際の圃場レベルでの洗浄行程では、推定した洗浄回数を目安に作業を進め、適宜、土壌ECの確認を実施することが望まれる。

4) 洗浄処理後の土壌の交換性塩基含量

海水による塩類負荷を受けた土壌で洗浄処理を行った場合、交換性塩基の総量や組成が変化する事が想定され、その後の作物栽培における生育障害も懸念される。このため、水洗浄モデル試験を実施した後の土壌について交換性塩基含量を測定し、その結果を表4に示した。ここでは、国の地力増進基本指針による改善目標(水田)⁹⁾と比較することとし、ナトリウムを除く3種の塩基の飽和度(合計)については、目標値の70~90%を下回るケースが4例確認された。また、カルシウム、マグネシウム、カリウムの含量の当量比(%)についての目標が(65~75):(20~25):(2~10)とされているが、土壌ECが2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を越えていた芦崎349、353ではカルシウム比が低下し、マグネシウム比が増加するケースが多かった。これらのことから、当該土壌の化学性の改良については、塩基総量

表3 土壌の目標ECに達する洗浄回数の実測値と推定値

採取地点			固液比別の洗浄回数			
町	地区	地番	1:0.87	1:1.25	1:1.62	
入善町	芦崎	290	実測値	3	1	1
			推定値	3	2	1
		311	実測値	7 \leq	3	2
			推定値	7	3	3
		349	実測値	4	3	2
			推定値	4	3	3
	353	実測値	7 \leq	4	3	
		推定値	8	4	3	

表4 水洗浄モデル試験後の土壌の化学性

採取地点			固液比	土壌EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CEC (cmol kg^{-1})	Ca Mg K Na (cmol kg^{-1})				塩基飽和度 (Na除く)	Ca Mg K 当量比 (%)		
町	地区	地番				Ca	Mg	K	Na		Ca	Mg	K
入善町	芦崎	290	1:0.87	305		5.8	2.1	0.6	2.1	75.9	68	25	7
			1:1.25	99		5.3	1.9	0.2	0.9	66.1	72	26	3
			1:1.62	60	11.2	6.0	2.0	0.4	0.7	75.0	71	24	5
	311	1:0.87	524		3.5	1.1	0.1	2.2	74.6	74	23	2	
		1:1.25	200		3.6	1.0	0.5	1.3	81.0	71	20	10	
		1:1.62	89	6.3	3.5	0.9	0.7	0.9	81.0	69	18	14	
	349	1:0.87	210		1.8	1.3	0.3	1.4	64.2	53	38	9	
		1:1.25	88		2.4	1.2	0.2	0.7	71.7	63	32	5	
		1:1.62	39	5.3	2.5	1.2	0.3	0.5	75.5	63	30	8	
353	1:0.87	719		2.7	1.4	0.3	2.9	74.6	61	32	7		
	1:1.25	218		2.4	1.2	0.5	1.4	69.5	59	29	12		
	1:1.62	201	5.9	2.2	1.0	0.1	0.6	55.9	67	30	3		

とカルシウム比の改善を目標にカルシウムを主成分とした資材施用対策が適切と考えられた。なお、負荷された塩類の主体となるナトリウムの含量については、水洗浄モデル試験の固液比が大きいくほど少なくなる傾向が明らかであった。

一方、ナトリウムに随伴して負荷される塩素は植物にとって必須成分であるがその量は微量でよい¹⁰⁾とされている。塩素は、土壌溶液中で一価の陰イオンとして溶存しており、作物根、粘土鉱物、沈殿物、有機物、微生物などの間で動的平衡が保たれているが、溶液中の塩素等陰イオン濃度を緩衝する土壌要因は、陰イオン交換容量(AEC)で、これは、一般にアロフェンやイモゴライトなどの非晶質粘土鉱物や腐植物質など変位荷電特性を示すコロイドを多く含む土壌で高くなる¹⁰⁾。しかし、今回調査した圃場の近傍において、北川ら¹¹⁾が土壌中の粘土鉱物組成を調査した結果によると、主要な粘土鉱物は結晶性のクロライト及びモンモリトナイトであり、さらに被害土壌の土色明度や土性より腐植含量はそれほど高くないと考えられることから、陰イオン交換容量は極めて小さいと考えられた。このことから、過剰に流入した塩素イオンは、入水、代かき、排水による洗浄処理によってその大半を流去できるものと推察された。

IV. 摘要

富山県東部の沿岸部で平成20年2月に高波による海水の浸水被害を受けた地区について、水田

土壌の塩類の滞留実態を調査し、代かきによる除塩作業を想定した被害土壌の洗浄モデル試験を実施した。

1) 海水の浸水した圃場表面水のECは6460~16330 $\mu\text{S/cm}$ で、浸水の無かった対照圃場の59~148倍に相当した。また、浸水圃場の土壌ECは502~2530 $\mu\text{S/cm}$ の範囲を示し、その平均は1283 $\mu\text{S/cm}$ で対照圃場の平均99 $\mu\text{S/cm}$ の13倍程度に相当した。

2) 水稲乳苗により被害土壌の塩害評価を行った結果、水稲葉身の生育阻害程度より、土壌ECの対策目標として500 $\mu\text{S/cm}$ 以下に低減することが適当と考えられた。

3) 被害土壌を用いた水洗浄モデル試験の結果から、土壌の初期ECと洗浄時の排水効率を求めることにより、洗浄後の土壌EC、さらには土壌ECが目標値に達するまでの洗浄回数(安全を見込んだ理論的な目安)を推定することができた。

引用文献

- 1) 第九管区海上保安本部海洋情報部HP (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/toyama_wan.jpg)
- 2) 日本土壌肥料学会編 1992. 塩集積土壌と農業, p.124-125.博友社, 東京.
- 3) 加藤俊博 1995. 塩素. 農業技術体系土壌施肥編第4巻, p.163-164. 農山漁村文化協会, 東京.
- 4) 木田義信・佐々木園子・佐藤正一 2007. 土壌塩分が水稲苗の活着に及ぼす影響. 東北農業

研究,60,35-36

- 5) 熊本県 2004. 高塩分土壌の除塩について.
熊本県地域防災計画資料編 第7 農林水産応急
対策実施要領
- 6) IEC 60746-3 Ed.2.0 2002. Expression of
performance of electrochemical analyzers-
part3 : Electrolytic conductivity. p.13
- 7) 農林水産省構造改善局 1991. 土地改良事業
標準設計 第11編 ほ場整備 p.53-54
- 8) 長谷川進 1998. 水稲に対する塩害と対策技術.
北農,6,248-255
- 9) 農林水産大臣 2008. 地力増進基本指針の公
表について
([http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/
hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf))
- 10) 辻藤吾 1975. 塩素. 農業技術体系土壌施肥
編第1巻, p.171-173. 農山漁村文化協会,東京.
- 11) 北川靖夫・廣川智子 1987. 富山県水稲生育
観測ほ土壌中の粘土鉱物組成. 富山県農業技術
センター研究報告, 1, 24-27

The Actual Retention Conditions of Salts in Paddy Field Soil Subjected to Seawater Flood Damage and A Modeling Analysis of Water-washing Salt-removal Countermeasures

Hitoshi NAKADA

(Toyama Agricultural Research
Center, Yoshioka, Toyama, 939-8153, Japan)

Summary

The actual retention condition of salts in paddy field soil in areas subjected to seawater flood damage by high waves in the coastal area of eastern Toyama Prefecture in February, 2008 was surveyed and a washing model experiment of the affected soil assuming salt removal operation by puddling was tested.

- 1) The EC of the field-surface water which had been flooded with seawater was 6460~16330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ which corresponded to 59~148 times that of fields which had not been flooded. Also, the EC of the soil of the flooded field was in the range of 502~2530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with the average of 1283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ which corresponded to about 13 times that of the non-flooded field with the average of 99 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- 2) As a result of evaluating the salt injury of the affected soil with paddy rice nursling seedlings, it was considered to be appropriate, from the extent of the inhibition of growth of the leaf blades of the paddy rice, to set the reduction of the EC of the soil to less than 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ as the goal for countermeasures.
- 3) From the results of the water-washing model experiment, it was possible to estimate the EC of the soil after washing, and furthermore the number of times of washing (a theoretical estimate with a margin of safety) needed to reach the target level of the EC of the soil.