

産地活性化総合対策事業のうち産地収益力向上支援事業
革新的農業技術習得支援事業のうち
革新的農業技術に関する研修

農地の除塩技術の研修会

報 告 書

平成 24 年 3 月

財団法人 日本水土総合研究所

目 次

1 . 研修実績及び事業の成果	1
1.1 研修実績	1
1.2 事業の成果	3
2 . 研修カリキュラム及び講師	4
2.1 第1回農地の除塩技術の研修会（宮城県石巻市）	4
2.2 第2回農地の除塩技術の研修会（福島県相馬市）	5
2.3 第3回農地の除塩技術の研修会（宮城県亶理郡亶理町）	6
2.4 第4回農地の除塩技術の研修会（岩手県盛岡市）	7
2.5 第5回農地の除塩技術の研修会（青森県八戸市）	8
3 . 研修テキスト	9
3-1 . 農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策	9
3-2 . 津波による被災農地の除塩技術（宮城県の事例等について）	28
3-3 . 津波による被災農地の除塩技術（福島県の事例等について）	43
3-4 . 津波による被災農地の除塩技術（岩手県の事例等について）	58
3-5 . 津波による被災農地の除塩技術（青森県の事例等について）	71
3-6 . 津波による被災農地の除塩技術（水田編）	87
3-7 . 津波による被災農地の除塩技術（畑地編）	113
3-8 . 津波による被災農地の除塩技術（石灰質資材の施用）	132
3-9 . 土壌中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響	151
~ 参考資料 ~	
農地除塩に関する民間企業の取組事例等について	164
農地除塩の手引き [技術参考資料 (案)]	178
4 . 各研修会における主な質疑応答の内容について	225

1 . 研修実績及び事業の成果

1.1 研修実績

研修回数	開催日	開催場所	研修会場	参加人数
第1回	平成23年12月27日	宮城県石巻市	こもれびの降る丘 遊楽館 大会議室	44人
第2回	平成24年2月9日	福島県相馬市	JA そうま相馬中村総合 研修センター	31人
第3回	平成24年2月10日	宮城県亘理郡 亘理町	亘理土地改良区会議室	32人
第4回	平成24年2月16日	岩手県盛岡市	盛岡地区合同庁舎 8階講堂C	20人
第5回	平成24年2月28日	青森県八戸市	八戸市農林水産部農業 経営振興センター研修室	19人

第1回 農地の除塩技術の研修会 開催状況（宮城県石巻市）



第2回 農地の除塩技術の研修会 開催状況（福島県相馬市）



第3回 農地の除塩技術の研修会 開催状況（宮城県亶理郡亶理町）



第4回 農地の除塩技術の研修会 開催状況（岩手県盛岡市）



第5回 農地の除塩技術の研修会 開催状況（青森県八戸市）



1.2 事業の成果

	開催場所	事後アンケートで理解できた と回答した割合	目標値
第1回研修	宮城県石巻市	95%	70%以上
第2回研修	福島県相馬市	100%	〃
第3回研修	宮城県亶理郡亶理町	92%	〃
第4回研修	岩手県盛岡市	100%	〃
第5回研修	青森県八戸市	100%	〃

理解できたと回答した割合は、事後アンケートQ-6の研修受講後の農地の除塩技術に関する理解度で、1.よく理解できている、2.ある程度理解できていると回答した数の割合を示す。

2. 研修カリキュラム及び講師

2.1 第1回農地の除塩技術の研修会（宮城県石巻市）

平成23年度 農地の除塩技術の研修会カリキュラム

日時：平成23年12月27日（火）10:00～16:55

場所：宮城県石巻市

こもれびの降る丘 遊楽館 大会議室

1. 10:00～10:10 <開会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
2. 10:10～10:55 <講義> 「農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策」
(財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
3. 10:55～11:30 <講義> 「農地除塩に関する民間企業の取組事例等について」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 渡部 丈夫
4. 11:30～12:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術（その1）<宮城県の除塩事例等について」
宮城県古川農業試験場 主任研究員 鈴木 辰也
- 12:00～13:00 <昼食>
5. 13:00～13:30 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術（その2）<水田編>」
宮城大学 食産業学部 講師 千葉 克己
6. 13:30～14:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術（その3）<畑地編>」
(財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
7. 14:00～14:45 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術（その4）<石灰質資材の施用>」
東京農業大学 応用生物科学部 教授 後藤 逸男
8. 14:45～15:25 <講義> 「土壌中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響について」
宮城大学 食産業学部 教授 木村 和彦
- 15:25～15:40 <休憩>
9. 15:40～16:40 <討議> 講師と研修生全員の総合的な意見交換会を実施します。
講師、研修生共全員参加
10. 16:40～16:55 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施します。
研修生全員
11. 16:55 <閉会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
<終了>

2.2 第2回農地の除塩技術の研修会（福島県相馬市）

平成23年度 第2回農地の除塩技術の研修会カリキュラム

日時：平成24年2月9日（木）10:00～16:55

場所：福島県相馬市

JA そうま相馬中村総合研修センター

1. 10:00～10:10 <開会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
2. 10:10～10:55 <講義> 「農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策」
(財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
3. 10:55～11:30 <講義> 「農地除塩に関する民間企業の取組事例等について」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 渡部 丈夫
4. 11:30～12:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その1)<畑地編>」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 高橋 直樹
- 12:00～13:00 <昼食>
5. 13:00～13:30 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その2)<水田編>」
宮城大学 食産業学部 講師 千葉 克己
6. 13:30～14:15 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その3)<石灰質資材の施用>」
東京農業大学 応用生物科学部 教授 後藤 逸男
7. 14:15～14:45 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その4)<福島県の除塩事例等について>」
東京農業大学 応用生物科学部 研究員 稲垣 開生
8. 14:45～15:25 <講義> 「土壌中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響について」
宮城大学 食産業学部 教授 木村 和彦
- 15:25～15:40 <休憩>
9. 15:40～16:40 <討議> 講師と研修生全員の総合的な意見交換会を実施します。
講師、研修生共全員参加
10. 16:40～16:50 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施します。
研修生全員
11. 16:50～16:55 <閉会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
<終了>

2.3 第3回農地の除塩技術の研修会（宮城県亶理郡亶理町）

平成23年度 第3回農地の除塩技術の研修会カリキュラム

日時:平成24年2月10日(金)10:00~16:55

場所:宮城県亶理郡亶理町

亶理土地改良区会議室

1. 10:00~10:10 <開会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
2. 10:10~10:55 <講義> 「農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策」
(財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
3. 10:55~11:30 <講義> 「農地除塩に関する民間企業の取組事例等について」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 渡部 丈夫
4. 11:30~12:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その1)<宮城県の除塩事例等について」
宮城県古川農業試験場 主任研究員 鈴木 辰也
- 12:00~13:00 <昼食>
5. 13:00~13:30 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その2)<水田編>」
宮城大学 食産業学部 講師 千葉 克己
6. 13:30~14:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その3)<畑地編>」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 高橋 直樹
7. 14:00~14:45 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その4)<石灰質資材の施用>」
東京農業大学 応用生物科学部 教授 後藤 逸男
8. 14:45~15:25 <講義> 「土壌中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響について」
宮城大学 食産業学部 教授 木村 和彦
- 15:25~15:40 <休憩>
9. 15:40~16:40 <討議> 講師と研修生全員の総合的な意見交換会を実施します。
講師、研修生共全員参加
10. 16:40~16:55 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施します。
研修生全員
11. 16:55 <閉会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
<終了>

2.4 第4回農地の除塩技術の研修会（岩手県盛岡市）

平成23年度 第4回農地の除塩技術の研修会カリキュラム

日時:平成24年2月16日(木)10:00~16:55

場所:岩手県盛岡市

盛岡地区合同庁舎8階講堂C

1. 10:00~10:10 <開会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
2. 10:10~10:55 <講義> 「農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策」
(財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
3. 10:55~11:30 <講義> 「農地除塩に関する民間企業の取組事例等について」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 渡部 丈夫
4. 11:30~12:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その1)<岩手県の除塩事例等について」
岩手県農業研究センター 主任専門研究員 大友 秀嗣
- 12:00~13:00 <昼食>
5. 13:00~13:30 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その2)<水田編>」
宮城大学 食産業学部 講師 千葉 克己
6. 13:30~14:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その3)<畑地編>」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 仁後 祐輔
7. 14:00~14:45 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その4)<石灰質資材の施用>」
東京農業大学 応用生物科学部 研究員 稲垣 開生
8. 14:45~15:25 <講義> 「土壌中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響について」
宮城大学 食産業学部 教授 木村 和彦
- 15:25~15:40 <休憩>
9. 15:40~16:40 <討議> 講師と研修生全員の総合的な意見交換会を実施します。
講師、研修生共全員参加
10. 16:40~16:50 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施します。
研修生全員
11. 16:50~16:55 <閉会挨拶> (財)日本水土総合研究所 調査研究部長 鈴木 浩之
<終了>

2.5 第5回農地の除塩技術の研修会（青森県八戸市）

平成23年度 第5回農地の除塩技術の研修会カリキュラム

日時：平成24年2月28日（火）10:30～16:55

場所：青森県八戸市

八戸市農林水産部農業経営振興センター研修室

1. 10:30～10:40 <開会挨拶> (財)日本水土総合研究所 総括技術監 河田 直美
2. 10:40～11:25 <講義> 「農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策」
(財)日本水土総合研究所 総括技術監 河田 直美
3. 11:25～11:55 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その1)<畑地編>」
(財)日本水土総合研究所 主任研究員 仁後 祐輔
- 11:55～13:00 <昼食>
4. 13:00～13:30 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その2)<水田編>」
宮城大学 食産業学部 講師 千葉 克己
5. 13:30～14:00 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その3)<青森県の除塩事例等について>」
東京農業大学 応用生物科学部 教授 後藤 逸男
6. 14:00～14:40 <講義> 「土壤中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響について」
宮城大学 食産業学部 教授 木村 和彦
7. 14:40～15:25 <講義> 「津波による被災農地の除塩技術(その4)<石灰質資材の施用>」
東京農業大学 応用生物科学部 教授 後藤 逸男
- 15:25～15:40 <休憩>
8. 15:40～16:40 <討議> 講師と研修生全員の総合的な意見交換会を実施します。
講師、研修生共全員参加
9. 16:40～16:50 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施します。
研修生全員
10. 16:50～16:55 <閉会挨拶> (財)日本水土総合研究所 総括技術監 河田 直美
<終了>

3．研修テキスト

3-1．農地除塩の実証試験結果を踏まえた除塩対策

農地除塩の実証試験結果 を踏まえた除塩対策

平成23年12月

(財)日本水土総合研究所

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

1

目 次

1. 農地の塩害の状況と復旧の進め方
2. 農地の除塩の基本的な考え方
3. 農地の除塩実証試験の結果
4. 農地の除塩の手引き(案)
5. 今後の課題

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

2

1. 農地の塩害の状況と復旧の進め方

(1) 農地の被害状況

津波により被害を受けた農地の状況

津波により流失や冠水等の被害を受けた農地の推定面積

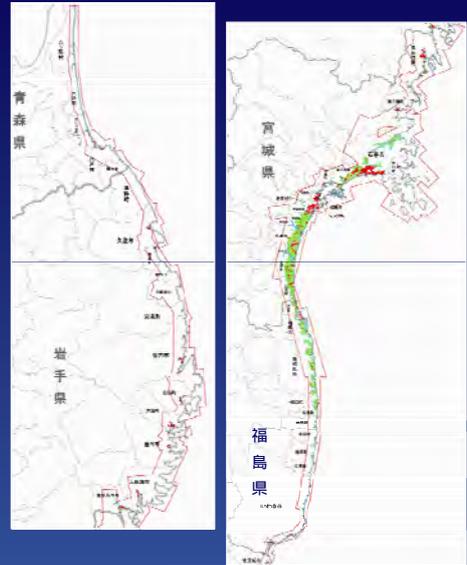
県名	耕地面積 (平成22年)	流失・冠水等 被害推定面積		推定面積の田畑別 内訳の試算	
		被害 面積	被害 面積率	田耕地 面積	畑耕地 面積
青森県	156,800	79	0.1%	76	3
岩手県	153,900	1,838	1.2%	1,172	666
宮城県	136,300	15,002	11.0%	12,685	2,317
福島県	149,900	5,923	4.0%	5,588	335
4県計	596,900	22,842	3.8%	19,521	3,321

東北管内で耕地面積の約4%が被災し、大規模な塩害が発生。

営農再開に向けた除塩事業の必要性が増大。

・東北農政局資料より

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage



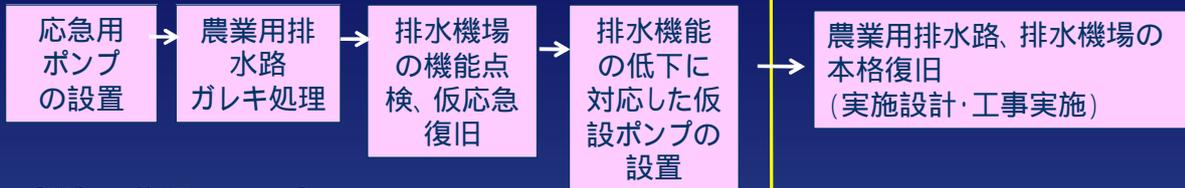
凡	例
	田、その他農用地、森林、荒地、ゴルフ場
	建物用地、幹線交通要地
	その他用地 (空港、港湾、人工造成の空地等)
	河川地及び湖沼、海浜、海水域

(2) 農地・農業用施設の復旧の進め方

これまでの対応

今後

【農業用施設の復旧のフロー】



【農地の復旧のフロー】



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

・東北農政局資料より

(3) 除塩事業等に関する土地改良法の特例

区分	直轄事業	補助事業
除塩	【対象地域】 次のいずれかを満たす地域 ・実施中又は完了した国営事業の受益地内における20ha以上の農用地 ・県知事から要請があり、かつ、当該県の実施体制、実情を勘案して国が除塩事業を行う必要がある20ha以上の農用地。 【採択要件】 ・塩分(塩素)濃度が0.1%以上(畑作地にあつては、0.05%以上)である農用地 ・工事費40万円/箇所 以上	【対象地域】 面積要件なし 【採択要件】 同左
農用地の復旧	【対象地域】 次のいずれかを満たす地域 ・実施中又は完了した国営事業の受益地内における20ha以上の農用地 ・県知事から要請があり、かつ、当該県の実施体制、実情を勘案して国が除塩事業を行う必要がある20ha以上の農用地。	【対象地域】 ・工事費40万円/箇所 以上 地域要件、面積要件はなし
土地改良施設の復旧	【対象地域】 次のいずれかを満たす地域 ・実施中又は完了した国営事業の受益地内の土地改良施設(75万円以上/箇所以上。なお、実施中の国営事業地区はこの合計が国営地区内で500万円以上) ・県知事から要請があり、かつ、当該県の実施体制、実情を勘案して国が災害復旧を行う必要がある施設(工事費40万円/箇所 以上)	【対象地域】 ・工事費40万円/箇所 以上 地域要件、面積要件はなし

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

・東北農政局資料より

(4) 年度ごとの営農再開可能面積

(岩手県及び宮城県) 平成24年度までに営農再開が見込まれる農地は、全体の約5割 (単位: ha)

	23年度	24年度	25年度	26年度	その他	計
岩手県	10	310	30	0	380 ¹	730
宮城県	1,220	5,390	5,450	1,970	310 ²	14,340
計	1,230	5,700	5,480	1,970	690	15,070
割合	46%		36%	13%	5%	100%

1 調査が未了の岩手県陸前高田市の一部地域

2 農地に海水が浸入している宮城県石巻市及び東松島市の一部地域

(福島県) 平成24年度までに営農再開が見込まれる農地は、全体の約2割

(単位: ha)

	23年度	24年度	25年度	26年度	その他	計
福島県	60	610	2,670 ³		2,120 ⁴	5,460

3 原子力災害の影響のため年度区分不可能

4 原子力発電事故に係る警戒区域の農地面積

【参考1】 3県合計

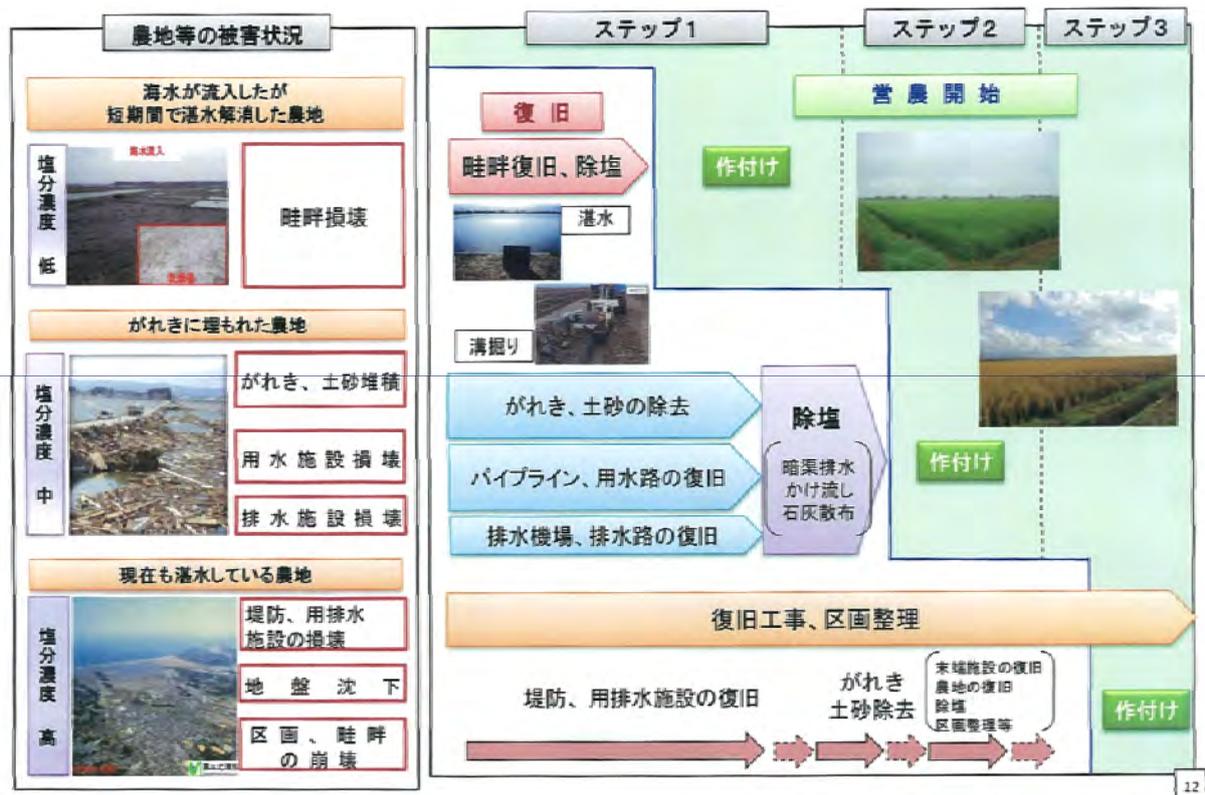
(単位: ha)

	23年度	24年度	25年度	26年度	その他	計
岩手県	10	310	30	0	380 ¹	730
宮城県	1,220	5,390	5,450	1,970	310 ²	14,340
福島県	60	610	2,670 ³		2,120 ⁴	5,460
計	1,290	6,310	5,480	4,640	2,810	20,530
割合	37%		27%	23%	14%	100%

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

・東北農政局資料より

今後の農地復旧の道ゆき



(農林水産省農村振興局資料より)

7

2. 農地の除塩の基本的な考え方

塩害のメカニズム

◇発生原因

台風、高潮、津波などによる農地の冠水、地盤沈下や地下水への海水の浸入などにより発生。



◇農地や農作物への影響

- 土壌中に塩分が過剰に存在すると、土壌溶液の浸透圧が増加して、植物の根の吸水機能の低下や植物体外への水分流出が起こり、水分不足(生育障害)となって植物が枯死。
- 海水が土壌中に浸入すると、土壌の単粒化や緊硬度を高め、土壌の透水性が著しく低下。排水不良による作物の根腐れが発生。

○塩害のイメージ



○生育障害による枯死



(農林水産省農村振興局資料より)

8

主な作物の栽培限界域の土壤塩素濃度

「台風18号技術対策資料集」(平成13年熊本県八代農業改良普及センター)(抜粋)

作物名	土壤中Cl(mg/100g)	備考
ニンジン	50	塩素濃度 0.05%
レタス	50	// //
タマネギ	60	// 0.06%
パレisho	60	// //
ハクサイ	60	// //
ハウレンソウ	70	// 0.07%
トマト	70	// //
ダイコン	70	// //
ネギ	70	// //
水稲	100	// 0.1%

実証試験の対象としたイチゴについては、他県の事例より、土壤中Clを30mg/100g、塩素濃度0.03%とした。

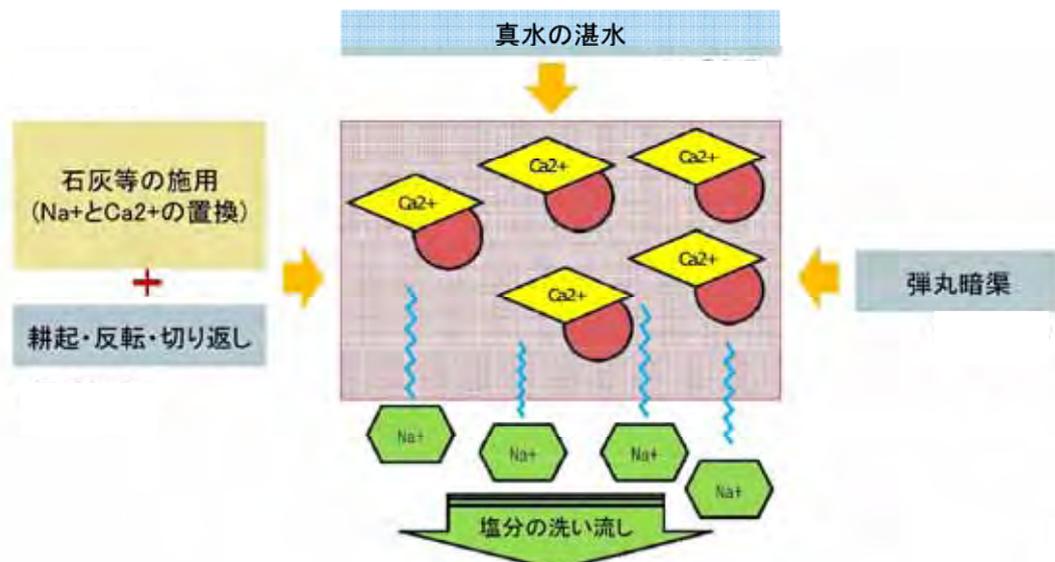
The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

9

除塩の仕組み

◇塩分の分離・除去

- 土中に浸入した塩分を土粒子から分離するため、石灰系土壌改良資材を投入し、真水を地下浸透させることによって、塩分を洗い流す。
- この作用を促進するため、耕作土の耕起、反転・切り返し、砕土を併せて実施。
- また、排水を促進するため、弾丸暗渠の施工や必要な排水施設を整備。



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

(農林水産省農村振興局資料より)

10

除塩の作業手順

①排水条件の改善

農地表面の湛水や耕作土中の過剰な水分を排除し、作業機械の走行性を確保するため、水切溝の設置、排水路の掘り下げ。

②石灰等の施用

土壌中の塩分濃度や除塩後の営農計画を勘案し、石灰系土壌改良材を施用。

③耕起・砕土

NaイオンとCaイオンの置換反応と地下水排除促進のため、耕起・砕土し土壌改良材を混合。弾丸暗渠等を併せて施工。

④塩分の洗い流し

土壌中の塩分の排出状況に応じて、湛水、排水作業の繰り返し。



※ 被害農地の状況に応じて、①～④を組み合わせて実施。

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

(農林水産省農村振興局資料より)

11

3. 農地の除塩実証試験の結果

(1) 実証試験の目的

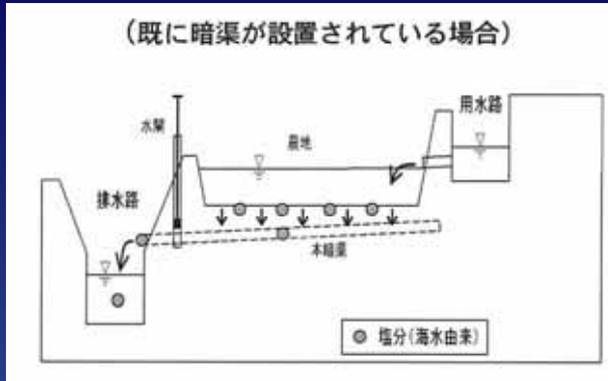
- ・農林水産省は、除塩の技術的な留意点、作業手順等について整理した「**農地の除塩マニュアル(案)**」を公表。
- ・(財)日本水土総研は、東北農政局からの委託を受け、名取市及び亘理町で本マニュアル(案)を活用した、**除塩の現地実証試験**を実施(6月～8月)。
- ・水田の除塩については、**縦浸透法**と**溶出法**の違い、弾丸暗渠、石灰質資材の施用の効果等を確認。



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

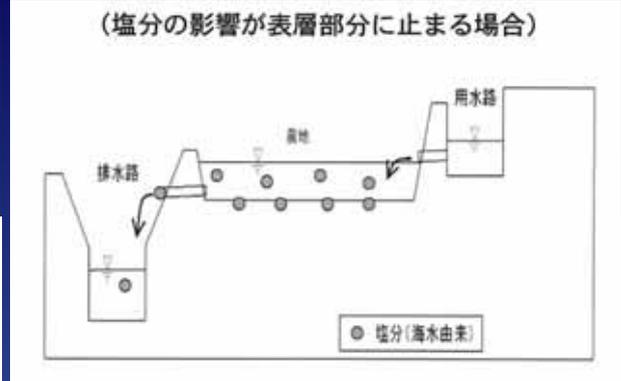
12

縦浸透法



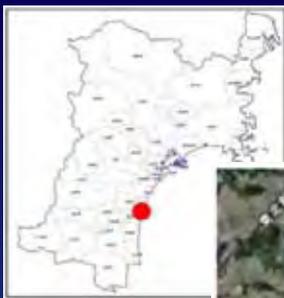
土壤中の塩分を下方に押し流すことにより除塩する方法

溶出法



土壤中の塩分を湛水中に溶出させ、ほ場の水尻から塩水を排水して除塩する方法

(2) 除塩実証試験の実施箇所



・宮城県名取市の3.3haの水田と、亘理町のイチゴ畑(ハウス6棟)で試験を実施

・試験期間

6月下旬
~
8月下旬



(3) 実証試験の実施状況

1) 農地における堆積状況



【実証試験ほ場の堆積厚】
0cm ~ 5cm程度



2) 堆積土砂の除去



【掘削機械】
バックホウ0.45m3級
【アタッチメント】
法面バケットタイプ

3) 弾丸暗渠の施工状況



実証試験ほ場 水田

【施工機械】
農業用トラクタ
規格：乗用・ホイール型
四輪駆動33ps
付属機：ニプロ振動サブソイラ



砲弾径 $\phi 75$



設定深度 $d=500\text{mm}$

4) 水田の湛水状況



実証試験ほ場 水田(名取市)

5) 畑の散水状況



実証試験ほ場 畑(亶理町)

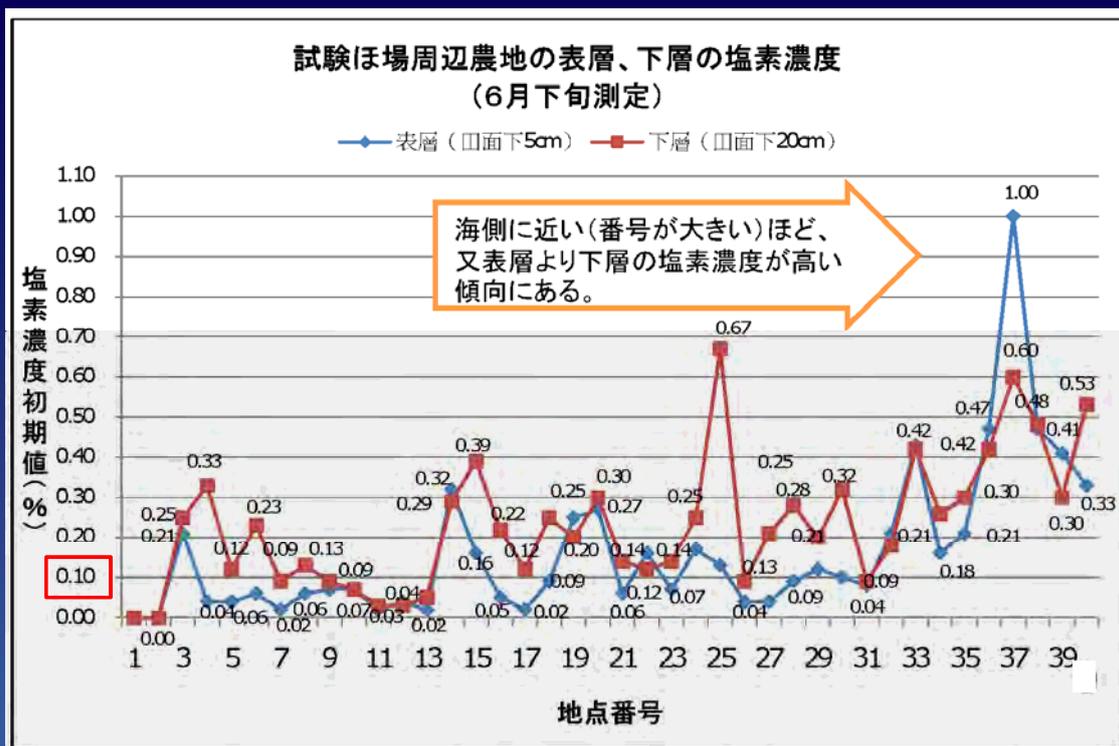
The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

現地予備調査位置図



The Japanese

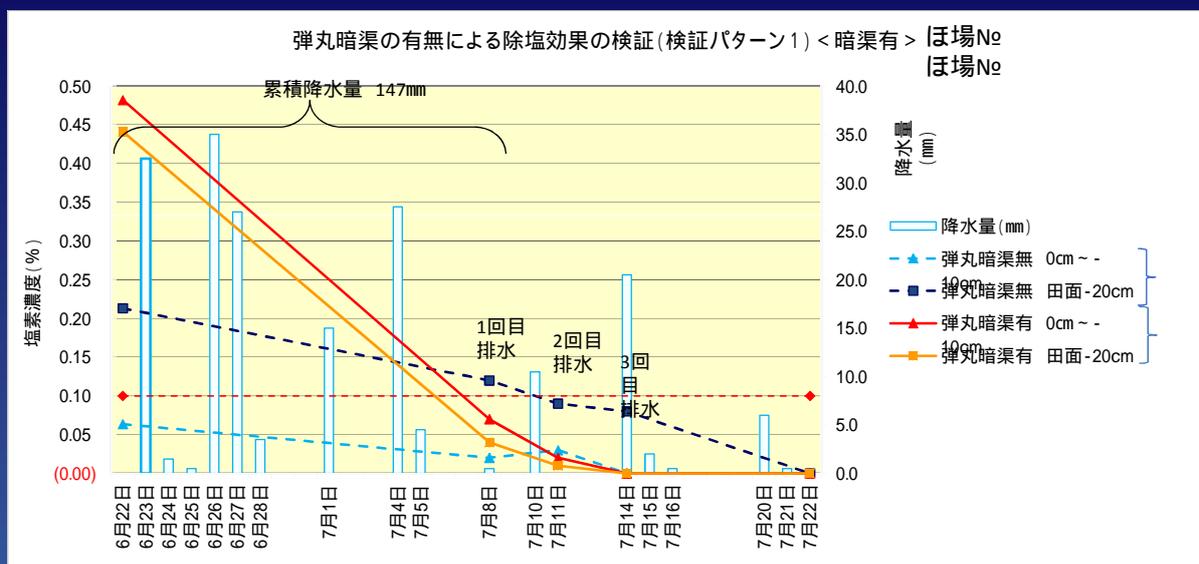
(4) 試験ほ場周辺農地の塩素濃度



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

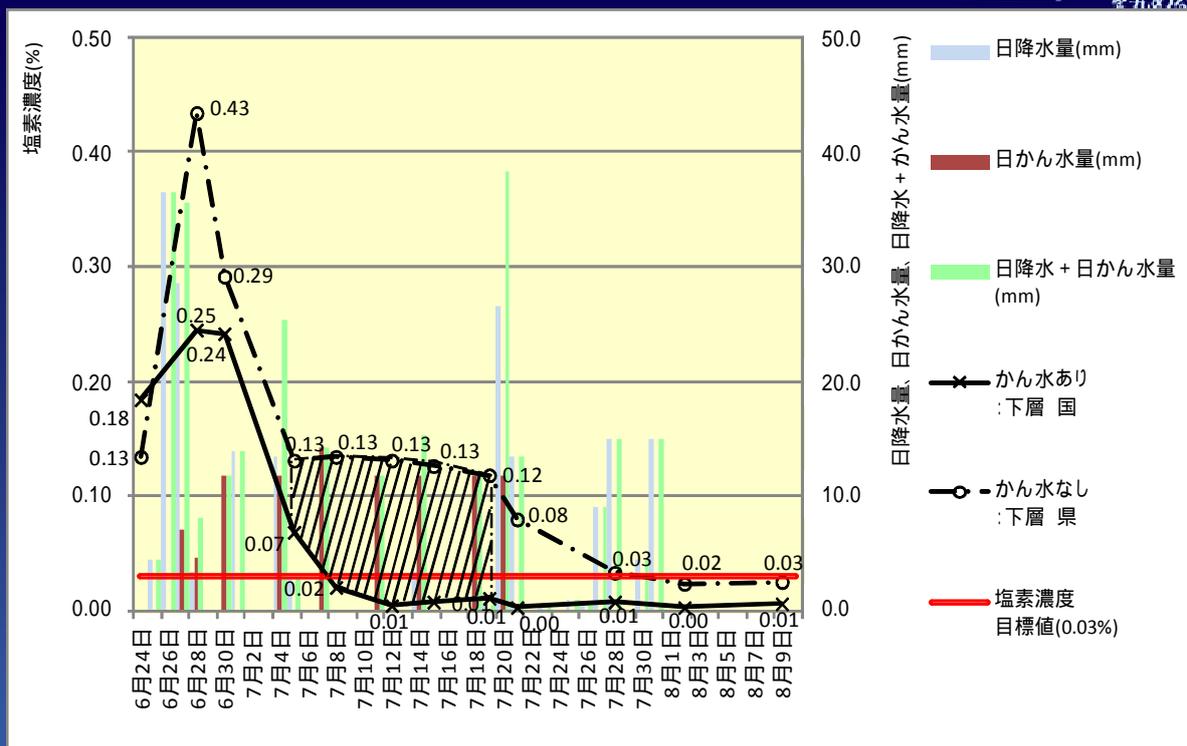
(5) 除塩作業に伴う塩素濃度の変化

1) 弾丸暗渠の施工による促進効果 (水田)



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

2) 畑の除塩試験結果(かん水の効果)



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

21

(6) 試験結果のまとめ

1) 水田

- ・ 縦浸透法による2回の除塩作業で塩素濃度が目標値(0.1%)以下に低下
- ・ 弾丸暗渠の除塩促進効果を確認

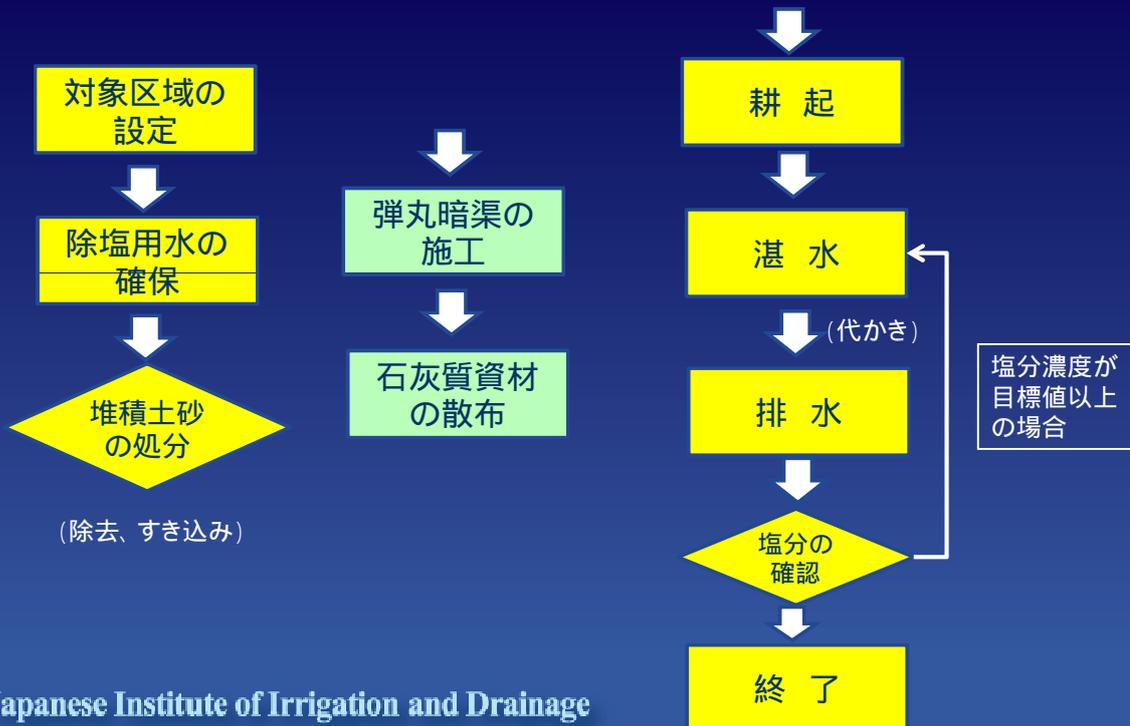
2) 畑

- ・ 一定のかん水量(雨量換算で180mm)で塩素濃度が目標値(0.03%)以下に低下
- ・ かん水により、下層まで迅速に除塩が可能

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

22

4. 農地の除塩の手引き(案) (1) 除塩の概略フロー



The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

23

(2) 事前調査

1) 現地踏査と基礎資料の収集

- ・ 暗渠排水の有無、地下水位
- ・ 土壌(土質、透水性)

2) 用排水路、用排水系統の確認

- ・ 除塩用水の水源の確認(水利権、塩分濃度)
- ・ 他の農地への影響の有無(用排兼用、反復利用)

3) 瓦礫、堆積土砂

- ・ 堆積土砂の成分確認と処理方法の検討

The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

24

4) 土壌調査

- ・ 土壌の物理性、化学性(従前の資料を確認)
- ・ 現場透水試験の実施(必要に応じて)

5) 塩分(塩素)濃度と電気伝導度(EC)

- ・ 塩分(塩素)濃度と電気伝導度(EC)の相関を整理
- ・ 土壌 EC 計等により測定する場合には、室内試験の結果との関係の整理が必要。

【除塩に係る塩分濃度の基準値】

- ・ 水田 0.1% (Cl 100mg/100g)
- ・ 畑 0.05% (Cl 50mg/100g)

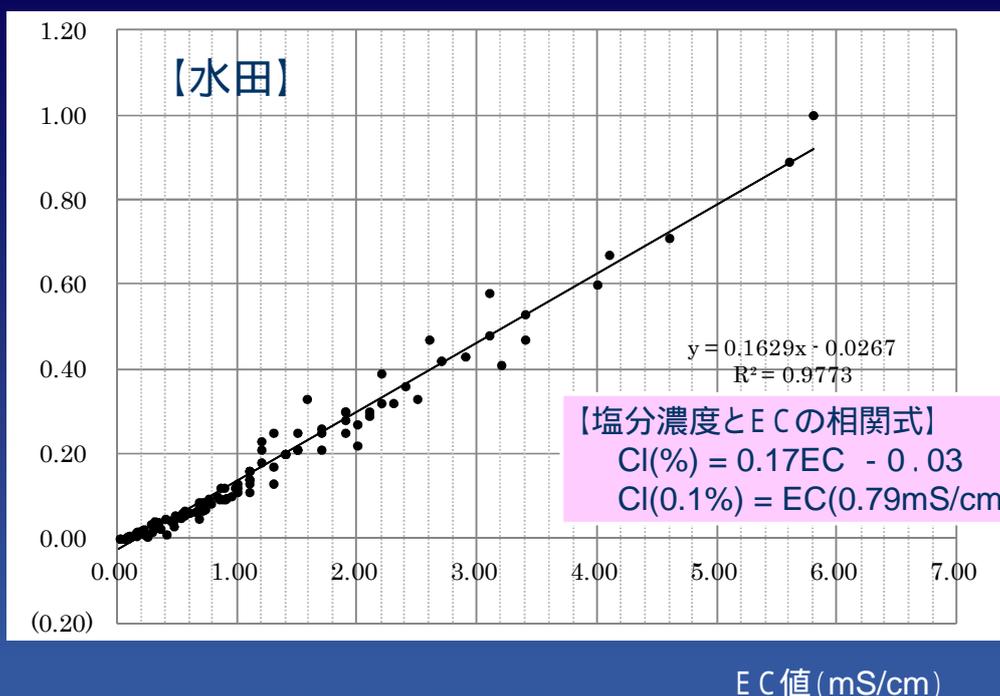
【塩分濃度と EC の相関式】

$$Cl(\%) = 0.17EC - 0.03$$

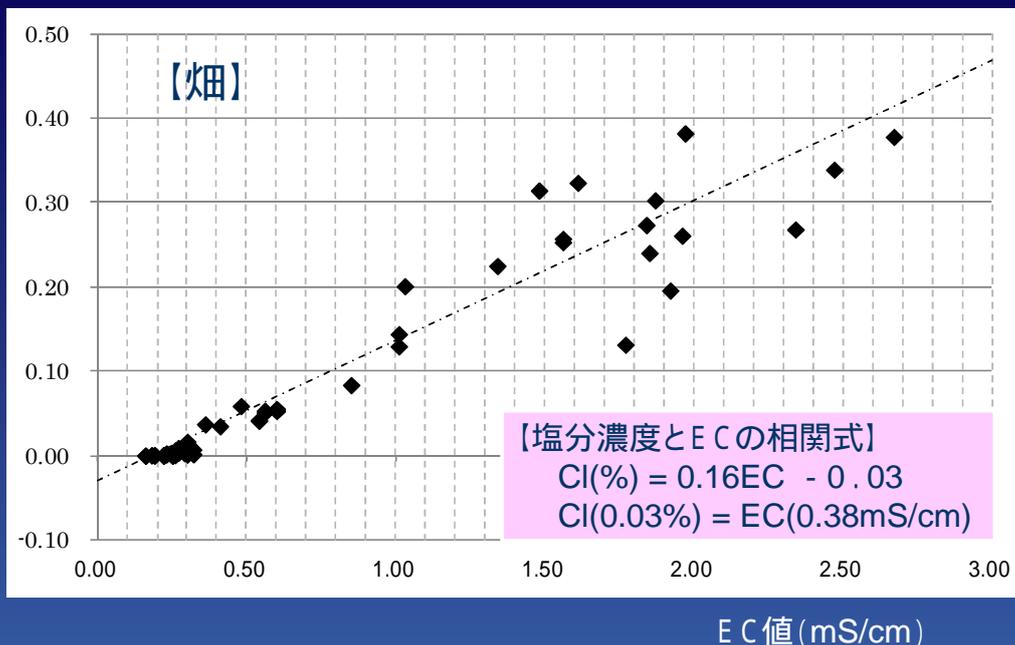
$$Cl(0.1\%) = EC(0.79mS/cm)$$

塩素濃度と電気伝導度(EC 値)の関係

塩素濃度(%)



塩素濃度 (%)



(3) 除塩工

1) 堆積土砂の処分

- ・当初、塩分濃度も高く、撤去することを基本に検討
- ・その後の状況を踏まえ、農地へのすき込みも検討

2) 弾丸暗渠の施工

- ・排水促進により、迅速な除塩を可能とする効果あり
- ・施工深度30～40cm,施工間隔5mを標準
- ・施工前に、本暗渠の状況を確認すること
- ・本暗渠が未整備の場合は、除塩溝(明渠)を設置

3) 石灰質資材の散布

- ・ ナトリウムイオンを土粒子から分離し、土壤の透水性、物理性を改善
- ・ 資材の種類、施用量によっては、土壤のpH値に影響

4) 耕起・砕土

- ・ 耕起後は、表面を乾燥させた方が除塩効果が大

5) 湛水及び排水

- ・ 縦浸透法の場合には、可能な限り湛水深を確保



石灰質資材散布作業



耕起作業

(4) 現場での塩素濃度の測定

1) 簡易EC計による測定

- ・ 電気伝導度 (EC) の測定を簡易な方法とすれば、現場の管理が容易
- ・ 電気伝導度 (EC) の室内試験結果と簡易EC計による現地での測定結果の関係の整理が必要

2) 現場管理EC値の設定手法(案)

- ・ 簡易な土壌EC計の測定値と、室内試験結果との誤差を統計処理
- ・ 誤差(例えば0.02%)を考慮して現場管理値を設定

$$0.1\%(\text{水田の目標値}) - 0.02\%(\text{誤差}) = 0.08\%(\text{現場管理値})$$

塩素濃度と電気伝導度 (EC) の測定方法 (室内試験)

塩素濃度

ほ場から、未風乾新鮮土を採取する。

乾土10g相当量の未風乾新鮮土を125ml容のポリエチレン製振とうビンに入れる。

土壌水分を考慮して乾土に対する水の比が1:5になるように純水を加える。

60分振とう後、No6程度の乾燥ろ紙で濾過する。

試料液をさらに0.45μmのメンブランフィルターで濾過し、Clをイオンクロマトグラフィーで測定する。

電気伝導度 (EC)

ほ場から、未風乾新鮮土を採取する。

乾土10g相当量の未風乾新鮮土を125ml容のポリエチレン製振とうビンに入れる。

土壌水分を考慮して乾土に対する水の比が1:5になるように純水を加える。

60分振とう後、懸濁液に電気伝導度計の電極を浸し、測定する。



土壌EC計タイプ



コンパクトECメータータイプ



コンパクトpHメーター

(5) 先行実施例からの教訓

除塩後に塩害が発生した原因

水量の不足
 側方へ落水不十分
 下方浸透が少ない
 用水からの塩分流入
 (反復利用)
 側方からの塩分流入
 (周辺の水田からの畦畔浸透)
 下方からの塩分流入
 (下層に高い塩分濃度、
 地下水の影響)



除塩作業における留意点

表面の瓦礫、土砂、稲わら等
 の除去
 ほ区単位での集団的な
 除塩作業
 用排水系統を考慮した上流
 からの除塩作業
 地区内での作業スケジュール
 の調整
 下層部までの除塩

5. 今後の課題

1) 技術的課題

- ・ 下層部までの確実な除塩
- ・ 暗渠排水未整備地区、地盤沈下地域の対応
- ・ 降雨による除塩の促進

2) マネジメント上の課題

- ・ 産官学の連携と情報の共有
- ・ 関係部局の連携

3-2 . 津波による被災農地の除塩技術（宮城県の事例等について）

津波による被災農地の除塩技術 (その1) 宮城県の農地除塩について



宮城県古川農業試験場

1

目次

- 1 農地・農業用施設の被害状況
- 2 水田の除塩作業
- 3 除塩に関する試験研究
- 4 除塩に関する留意点

2

1-1 農地の津波被災状況

宮城県の津波被害にあった農地(水田・畑)は約14,300ha
県内耕地面積136,300ha
の約1割以上が被災

海水が流入した農地(石巻市)



宮城県の主な津波浸水範囲



国土地理院HPより

1-1-1 農地の津波被災状況

水田の津波堆積土砂(松島)



1-2 農業用施設等の津波被災状況

農地の他に、
用排水機場、園芸ハウス、農業機械などに被害

破壊された排水機場(山元町)



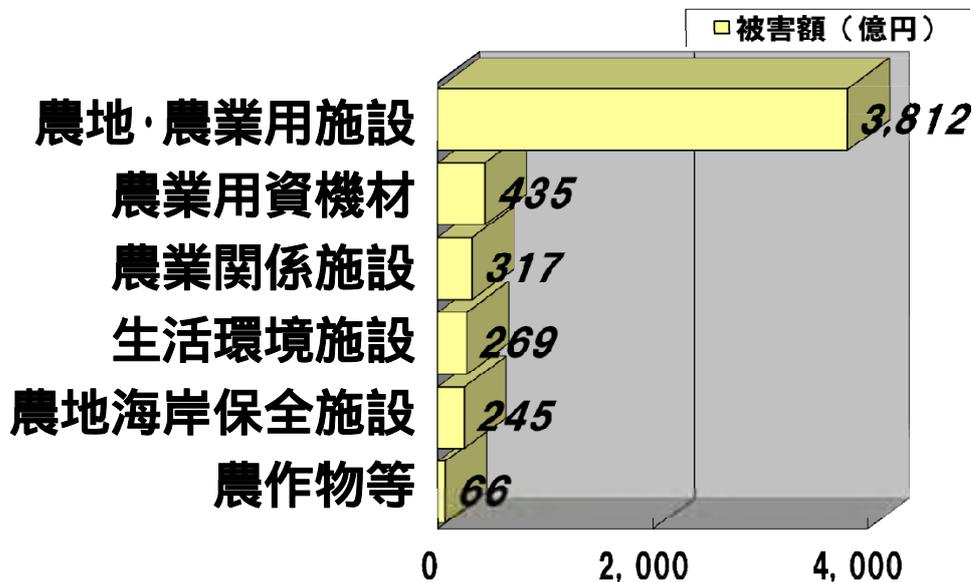
海水が流入し枯れたイチゴ(亶理町)



5

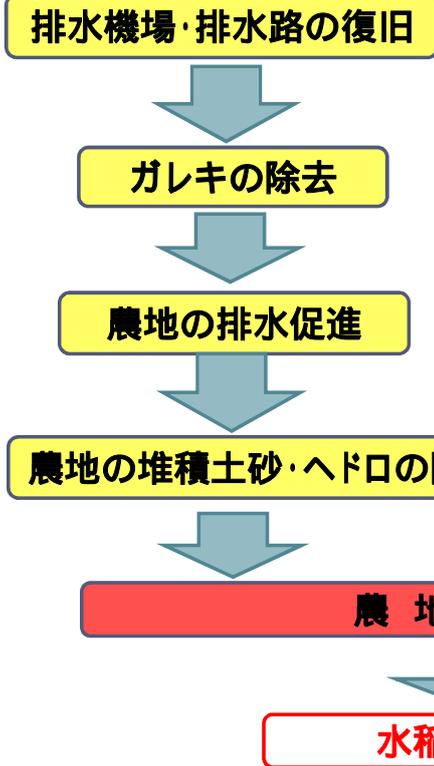
1-3 農業の被害額

宮城県内の農業被害額は5,144億円
農地・農業用施設の被害が約8割



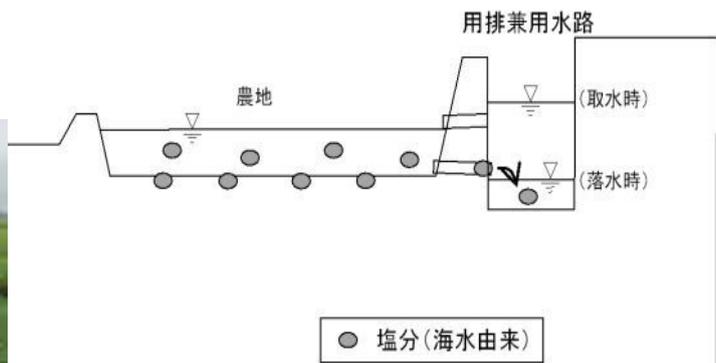
6

2-1 農地・農業施設の復旧



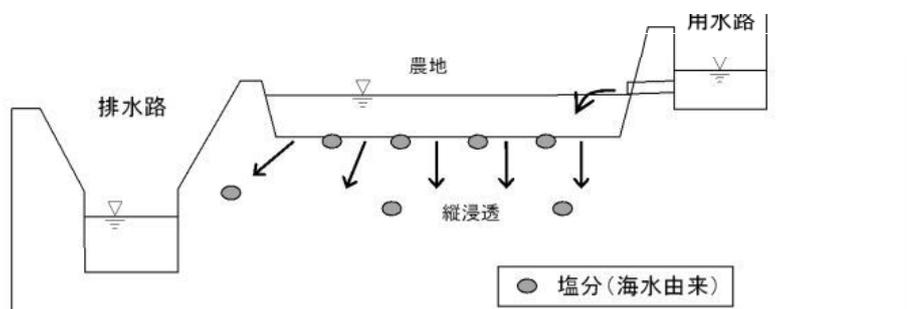
2-2 今春の除塩作業

- 石巻市を中心に1,150haで実施(被災面積の1割弱)
- 緊急的(短期間, 真水確保)に, 代かきにより塩分を拡散溶出させ排出する方法(溶出法)



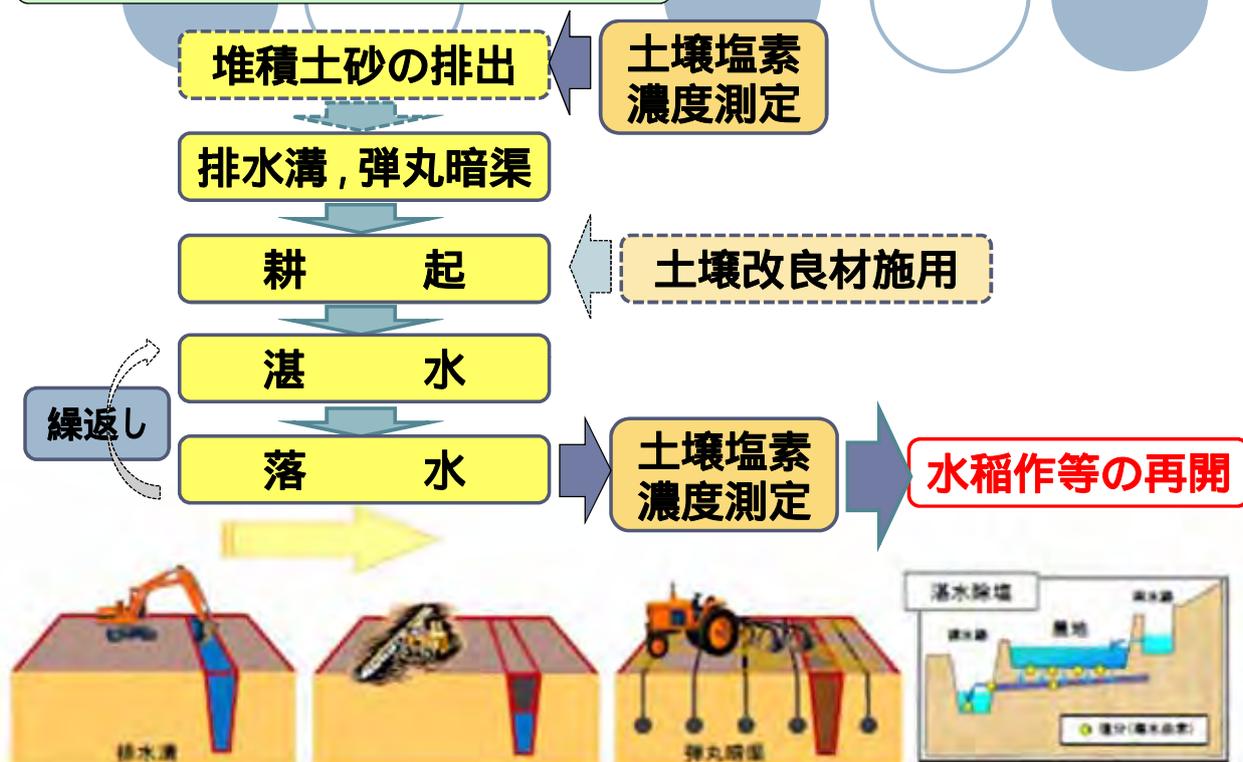
2-3 今後の除塩作業

- 今年新たに4,100haを実施(今年は約4割除塩), 残り7,750haはH24以降に実施
- 弾丸暗渠や土壌改良材散布の併用で浸透水により塩分を下方へ排出する方法(縦浸透法)
- 堆積土砂は除去が基本, 厚さが薄く除去が困難な場合は鋤込んだ作土の安全性を確認



9

2-4 除塩作業の工程



10

2-4-1 除塩作業の工程



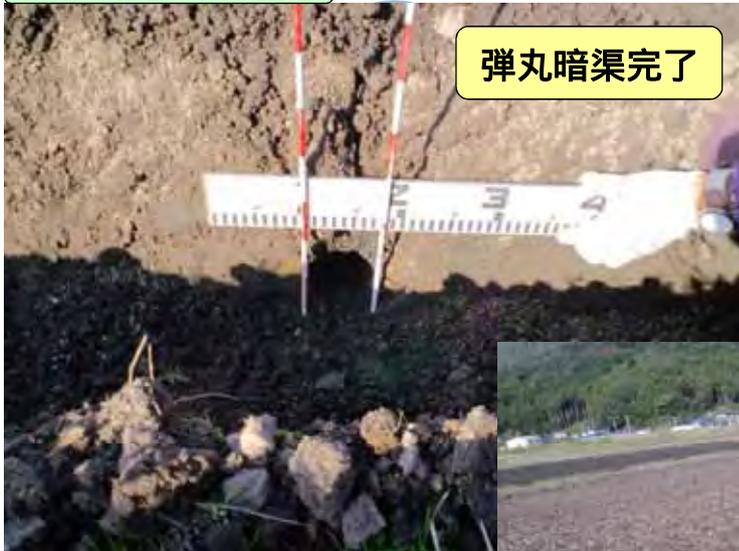
排水溝設置



弾丸暗渠設置

11

2-4-2 除塩作業の工程



弾丸暗渠完了



耕起状況

12

2-4-3 除塩作業の工程



湛水状況

落水状況（弾丸暗渠からの排水）



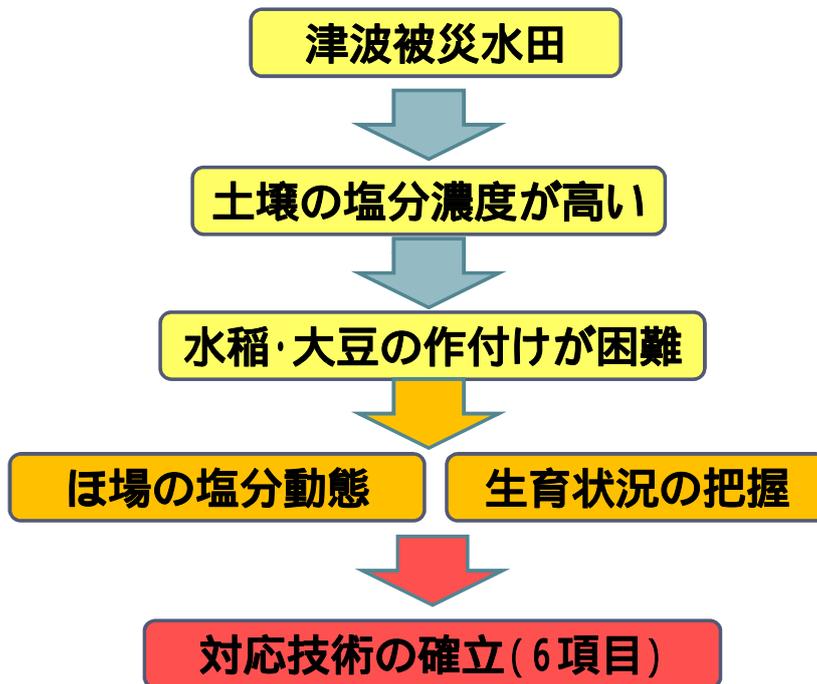
13

3-1 農業早期復興プロジェクト（農園研，古試）

- 海水流入農地の実態把握と早期改善
- 被災水田の実態調査と除塩法・栽培管理技術の確立
今回紹介する課題
- 耐塩性作物による早期経営改善対策
- 現場に適した技術開発による産地の復興支援
- 被災農家の実態把握と地域農業再生対策

14

3-2 被災水田の実態調査と除塩法 ・栽培管理技術の確立



15

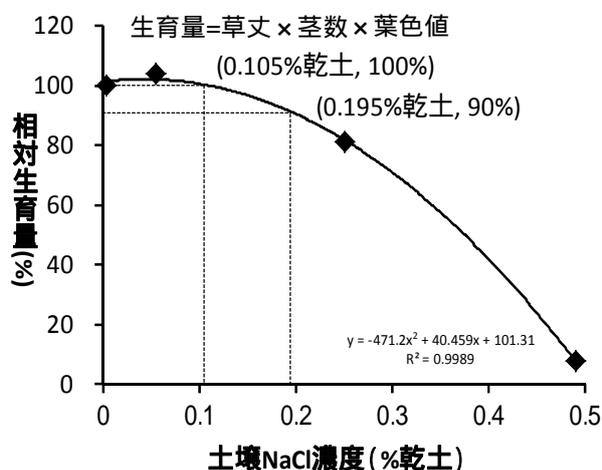
3-2-1 土壌塩分と生育収量の関係

(1/2)

- 土壌塩分濃度の違いが水稲及び大豆の生育に及ぼす影響を説明

水稲の場合

- 土壌NaCl濃度約0.1%乾土以下で海水無添加区と同等



無添加 0.05% 0.25% 0.5%

試験風景(9月6日撮影) 品種は「ひとめぼれ」
6月9日に移植。

幼穂形成期頃の海水無添加生育量に対する海水添加区
の相対生育量と土壌NaCl濃度の関係(ポット試験)

3-2-1 土壤塩分と生育収量の関係

(2/2)

大豆の場合

● 土壤NaCl濃度約0.05%乾土以下で海水無添加区と同等

表 大豆における土壤ECおよびNaCl濃度と出芽率および開花期頃生育の関係

区	EC (mS/cm ²)	NaCl (%乾土)	出芽率* (%)	開花期頃(9月29日)		
				茎長 (cm)	主茎節数	分枝数
BL	0.13	0.013	100	44.9	9.7	3.5
NaCl0.05%	0.34	0.052	100	44.6	9.3	4.0
NaCl0.1%	0.52	0.102	93	38.7	8.8	2.7
NaCl0.2%	0.88	0.213	40	26.6	7.5	0.3

*播種後2週間に測定

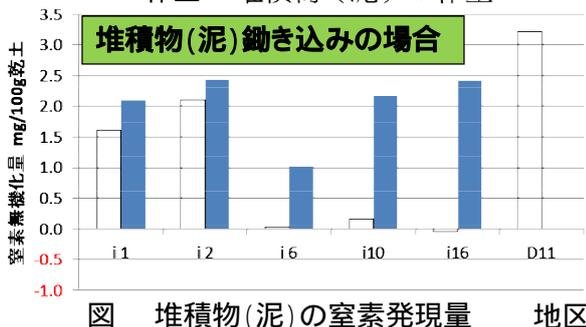
17

3-2-2 窒素発現量と施肥の関係

● 堆積物がすき込まれた水田における窒素発現量と水稻の施肥法を検討

□ 作土 ■ 堆積物(泥)+作土

・培養は 30 4週間
・堆積物+作土は堆積物を2cm混ぜて培養した

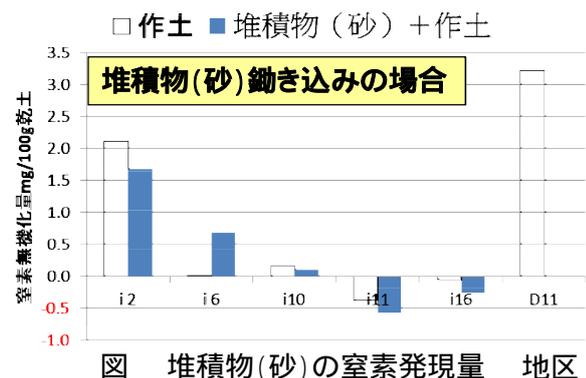


堆積物(泥) 鋤き込みの場合

- ・全地区で堆積物から窒素発現
- ・全量鋤き込みの場合, 多くの発現の可能性有り



- ・追肥(基肥無窒素)を主体とした肥培管理
- ・耐倒伏性の高い品種選定



堆積物(砂) 鋤き込みの場合

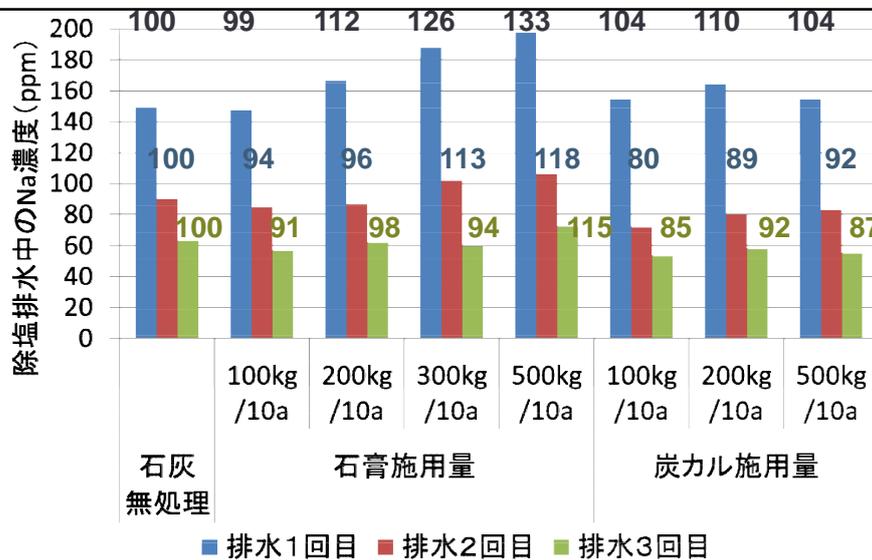
- ・作土より窒素の発現量が少なくなる可能性有り

18

3-2-3 石灰質資材施用と塩分排出の関係

● 除塩作業時における石灰質資材の施用による塩分排出効果

- 石灰質資材の施用により、排水中のNa濃度は高くなった。
- 炭カルに比べ石膏では排水中でより高いNa濃度を示し、投入量が多くなるほどNa濃度は上昇した。
- また、除塩回数を重ねるごとにNa濃度比は減少した。



グラフ上部に、排水回数ごとに石灰無処理区の除塩排水中のNa濃度を100とした時の石灰施用区の除塩排水中のNa濃度比を示した。

図 石灰質資材施用時の除塩排水中のNa濃度

19

3-2-4 中干しと水稻生育の関係

● 除塩後の水稻作付けほ場における中干し後の影響を検討

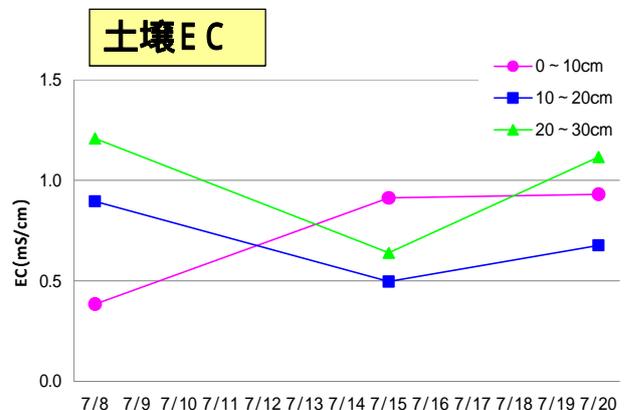
中干し期間: 7月7日 ~ 20日 13日間



石巻市蛇田地区 (H23.4.26)

土壌EC値 (ms/cm)		代かき回数
除塩前	除塩後	
2.60	0.35	4

実施場所: 石巻市蛇田地区
 供試品種: まなむすめ
 前作: 大豆(復元初年目)
 移植日: 5月19日



- 中干しにより土壌水分は低下し、0-10cmの土壌ECは1.0mS/cm近くまで上昇。
- 極端な中干しは要注意

20

3-2-5 効率的な除塩方法の検討

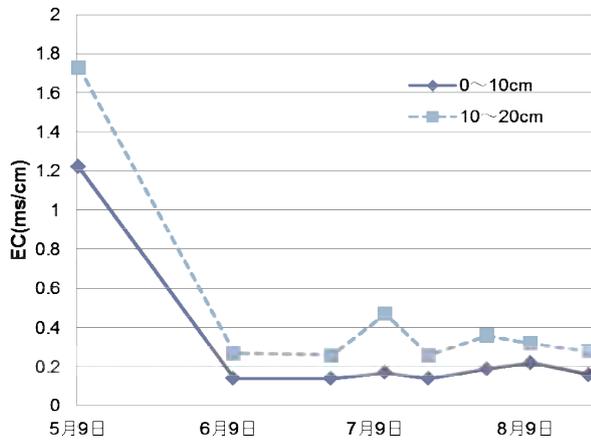
(1/3)

- 除塩後の水稲・大豆作付けほ場における土壌塩分濃度等の追跡調査により効率的な除塩方法を検討

代かき除塩後の層別ECの動態

水稲圃場

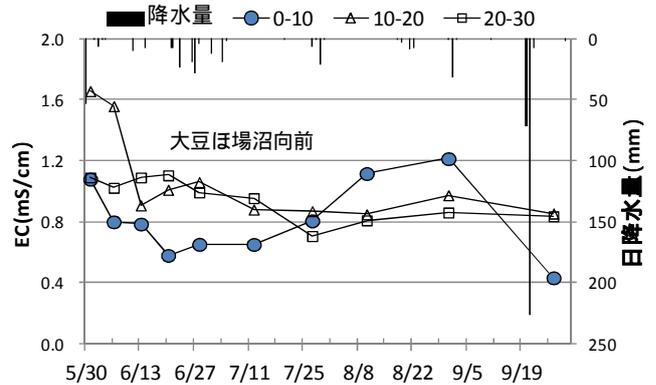
図 水稲圃場(石巻市中野)



- 下層のECは上層より高く、湛水により上・下層ともに除塩後のECで推移

大豆圃場

(石巻蛇田地区 大豆枯死ほ場
7月19日大豆播種)



- 下層のECは停滞し、乾燥が続くと上層のECが上昇

21

2-4-3 効率的な除塩方法の検討

大豆の生育悪化・枯死したほ場

石巻市蛇田地区



(7/19頃播種)

(8月中旬)

石巻市大瓜地区



(6/下播種)

(2/3)

22

大豆の生育悪化・枯死したほ場

石巻市大瓜地区 (11月上旬)



- 地下水位が高い又は、透水性の悪い粘土質の層があり、塩分が停滞しやすい条件にある
- 作土の下に砂混じりの層があり、乾燥時に作土層に塩分濃度が上がり易い条件となっている

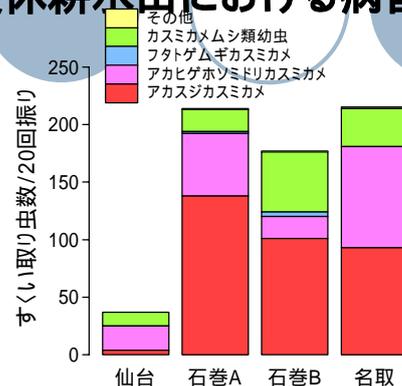
23

3-2-6 病害虫・雑草の発生状況調査

- 除塩後の水稲作付け水田や被災休耕水田における病害虫の発生状況調査



イヌビエの穂に集まったアカスジカスミカメ成虫



カメムシ類の発生種と発生密度 (主要草種) 仙台、石巻A、名取：イヌビエ、石巻B：コウキヤガラ

- 除塩対策ほ場や泥土堆積ほ場における雑草発生状況調査等

イヌビエ・シロザの繁茂 7月21日



コウキヤガラの繁茂 8月1日



24

3-3 除塩事業に伴う試験ほ

- 試験研究機関との連携
- 土壌の重金属調査(堆積土砂, 作土, 混合)
- 土壌改良材散布に係る調査
 - ・施用区(8試験ほ), 無施用区(2試験ほ)
 - ・Naイオン等の調査
 - ・湛水・落水毎の塩素濃度(EC値)の測定

25

3-3-1 除塩事業試験ほ



26

4-1 除塩に関する留意点（中間報告）

代かき除塩後の土壌塩分濃度（EC値）の推移

水稻作付けほ場

- 下層のEC値は上層より高く、湛水により上・下層ともに除塩後のEC値で推移
- 中干しにより土壌水分が低下し、上層のEC値が上昇（一時落水程度が望ましい）
- 除塩でEC値が低下すれば生育収量に大きな影響なし

27

4-2 除塩に関する留意点（中間報告）

代かき除塩後の土壌塩分濃度（EC値）の推移

大豆作付けほ場

- 夏場に乾燥が続くと上層でEC値が上昇
- 生育悪化・枯死したほ場では、塩分が停滞し易い条件（地下水位が高い）や塩分濃度が上がり易い条件（下層に砂質層）にある
- 代かき除塩により排水が悪く大豆の播種遅れや碎土率低下

28

3-3 . 津波による被災農地の除塩技術（福島県の事例等について）

農地の除塩技術の研修会

津波による被災農地の除塩技術 (その4) <福島県での除塩>

創立120年



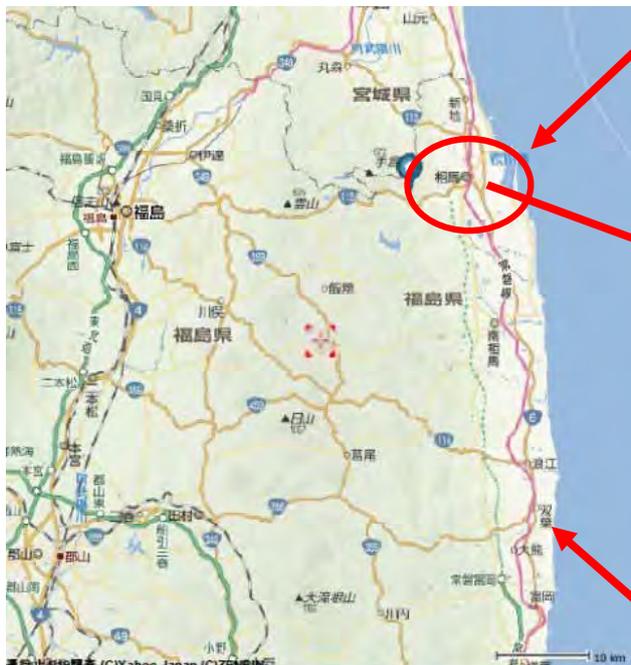
東京農業大学 稲垣 開生

1

東京農大 東日本支援プロジェクト

未曾有の東日本大震災による農業被害に対して、
5月に東京農大東日本支援プロジェクトが立ち上げられた。

支援プロジェクトの主対象地は、福島県相馬市



福島第一原発より約40km

2

**福島県相馬市における
被災農地は三種類に大別できた。**



**干拓地水田で大量のがれきが
流入し、かつ地盤沈下により未だ
に湛水状態にある水田。**



3



**海岸線から数kmの距離にあり、
津波の被害を被ったが、
がれきの流入が少なく、5月の調査
時点で表面が乾燥し始めている水田。**



4



畝間には厚さ約10cmの
津波土砂が堆積

津波被害を被った
野菜ハウス・露地畑で、
がれきの流入はほとんどない農地。



5



pH(H₂O) 7.5 EC(mS/cm) 19.9

イチゴハウスの畝間に堆積した津波土砂
畝部の津波土砂の厚さは1cm以下

6

表1 相馬市柏崎(湛水水田)の土壌化学性

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	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
鋤床	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

津波土砂の性質

電気伝導率(EC)は、10～20mS/cm(塩分3～6%)

CECは、25～30meq/100g。土壤より大きな保肥力。

大量の交換性マグネシウム・カリウムを含む。

10～20mg/kgの可給態ホウ素を含む

1%程度の全イオンを含む(酸性硫酸塩土壌)

7
相馬市柏崎の水田

津波土砂とイチゴハウス土壌中の元素含有量(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	相馬市蒲庭	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	畝土壌	20	0.35	4.81	96.7	18.5	21.5	63.9
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壌	30	0.32	4.40	92.8	19.8	22.6	55.9
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壌	45	0.39	5.67	181	38.6	49.4	72.3
イチゴハウス	相馬市和田	畝土壌	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	畝間土壌	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	鋤床	30	0.28	4.31	93.7	36.1	44.1	59.1

東京農大東日本支援プロ土壤肥料グループ の農地復興支援方針

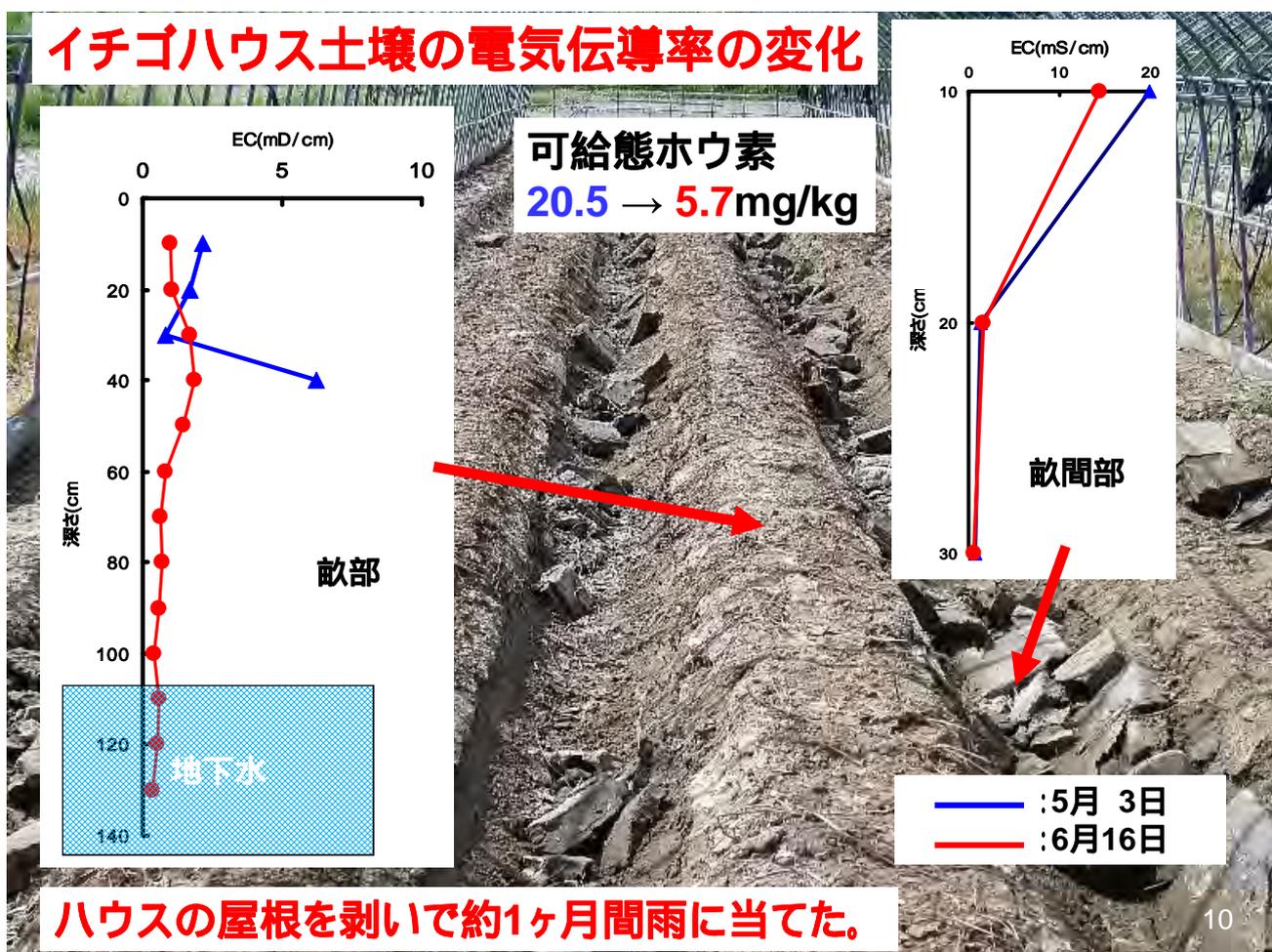
津波土砂を除去せず、元の作土と混層する！
重金属含有量は通常値
土砂除去には、多大な労力、処分も困難
塩分とホウ素は、水で流せる！

**除塩助材・酸性硫酸塩土壌対策
として転炉スラグを活用する！**



支援順序は、
:イチゴハウス
:がれきのない水田
:がれき大量・冠水水田

9



10



pH(H₂O) EC
7.1 1.93mS/cm

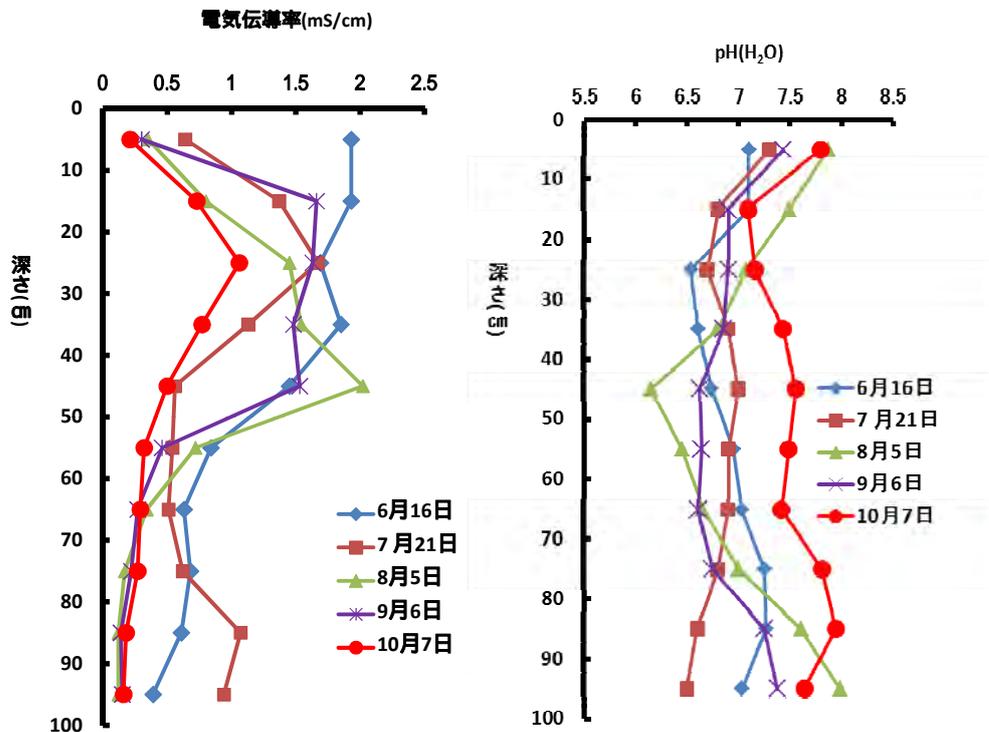
転炉スラグ混和後



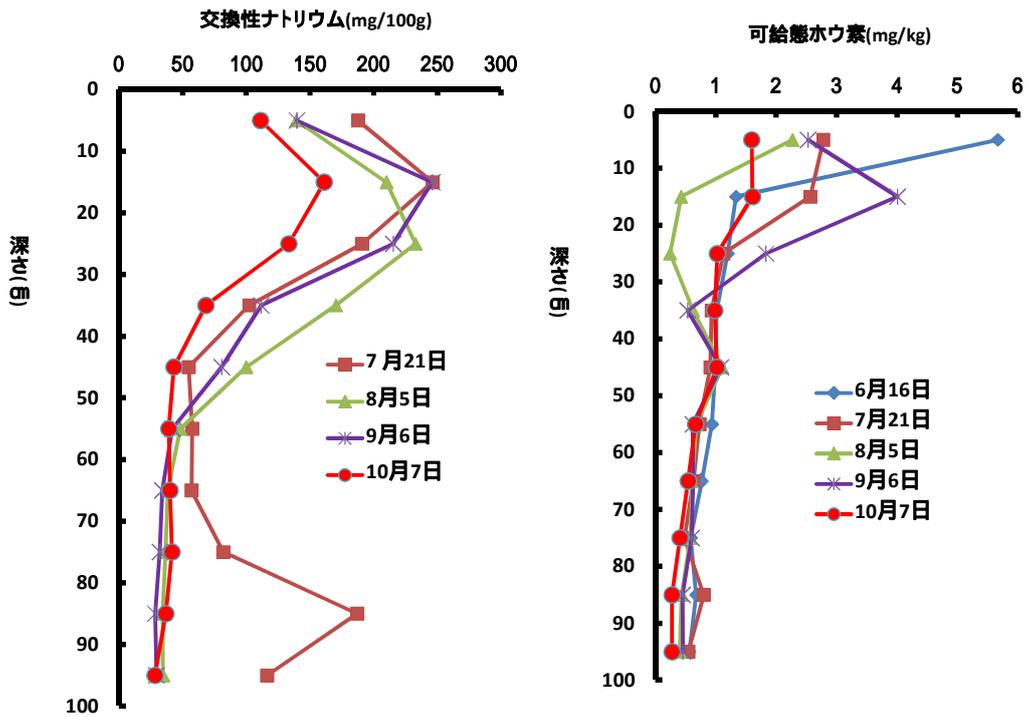
6月16日に津波土砂を混層した。

pH(H₂O) EC
6.3 1.91mS/cm

作土の除塩に伴い、pH(H₂O)が上昇する！



イチゴハウスにおける土壌pH(H₂O)と電気伝導率の経時変化



交換性ナトリウムと可給態ホウ素の経時変化



5月3日



8月6日



10月17日



イチゴハウスの復興支援シナリオ

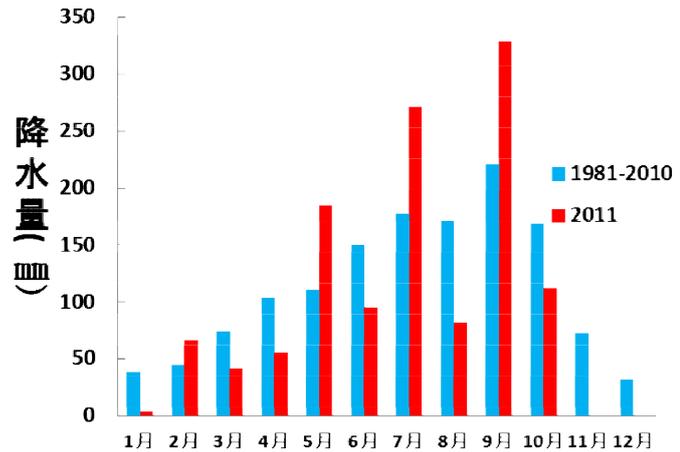
7～10月の降雨による除塩。

緑肥(ソルゴー)の作付による有機物補給と土壌団粒化促進。

秋には、ホウレンソウなどの換金野菜を作付ける。

2012年春には、
換金野菜を作付ける。

2012年9月には、
イチゴ苗を定植する。



相馬市における平年と今年の月別降水量

15



6月16日 植生ほぼ皆無

津波被災以後、
手付かずであったが、
雨水だけでも進む除塩！

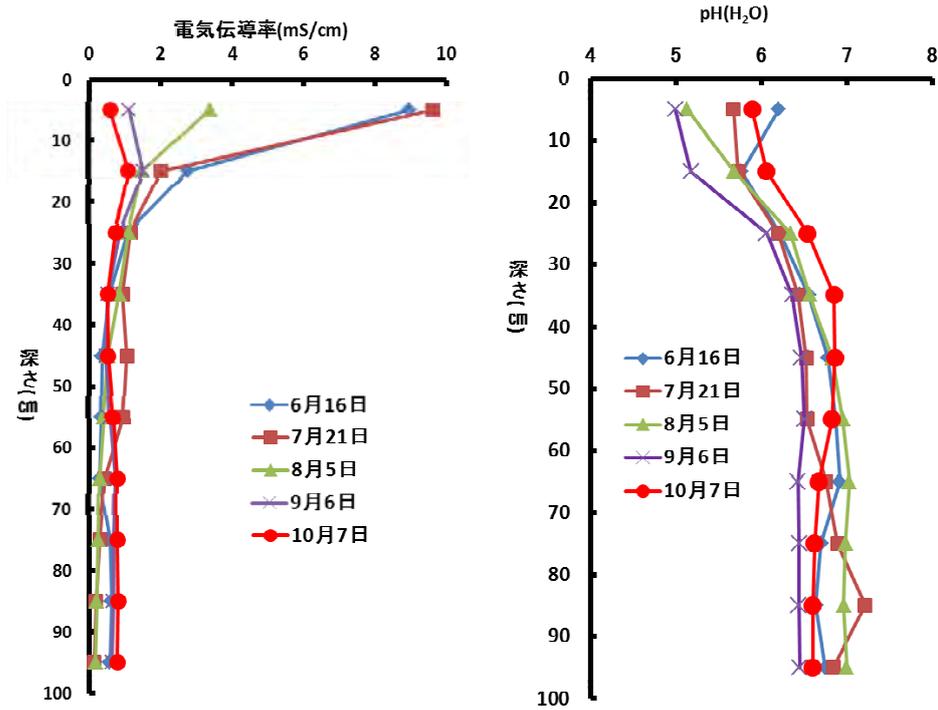
8月3日 雑草(ヒエ主体)が繁茂
津波土砂を混層した。



イチゴハウスに隣接する水田表面の経時変化

16

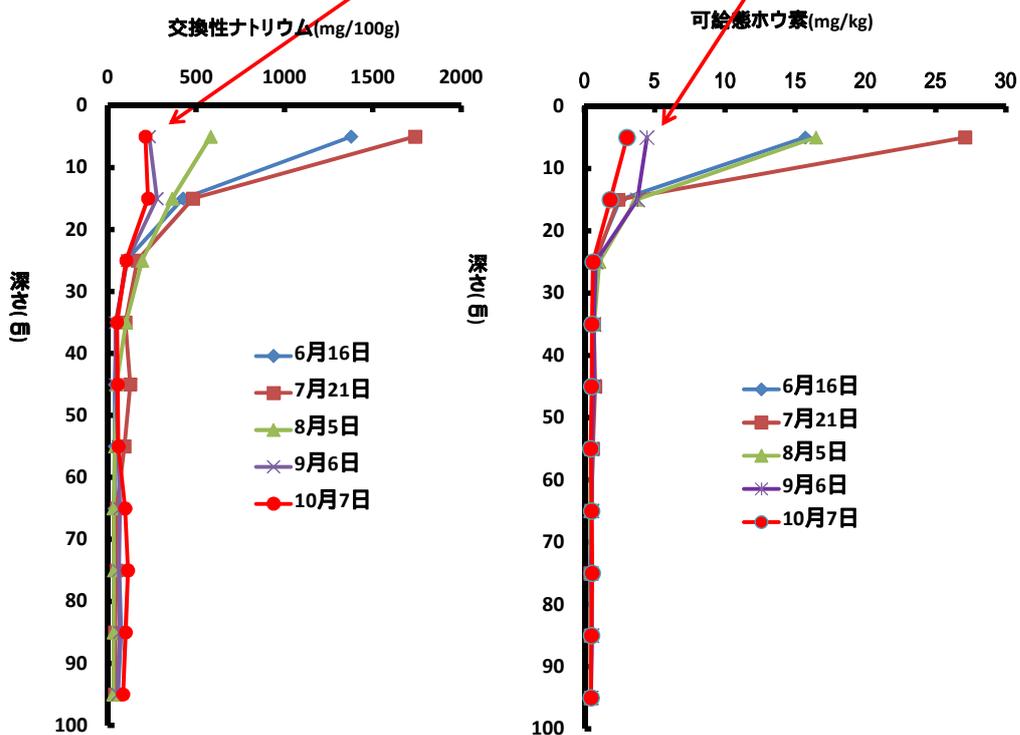
8月に津波土砂と作土を混層した



水田における土壌pH(H₂O)と電気伝導率の経時変化

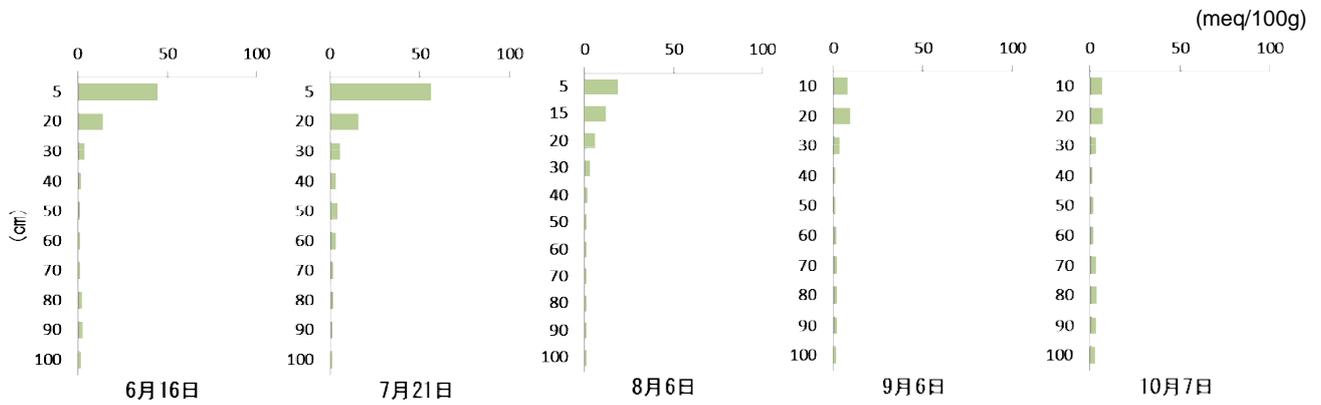
17

津波土砂混層により、交換性ナトリウムと可給態ホウ素が急激に減少！

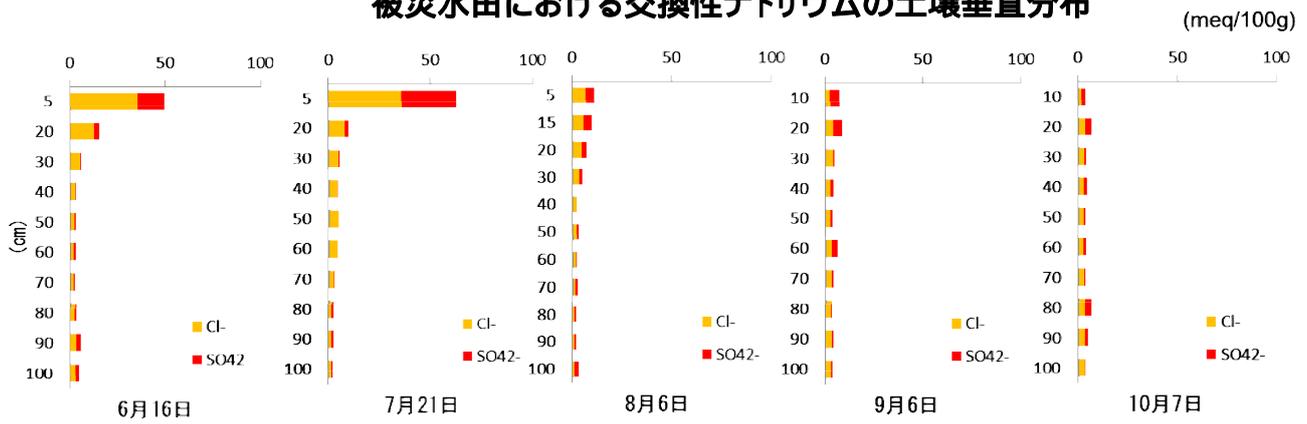


交換性ナトリウムと可給態ホウ素の経時変化

18



被災水田における交換性ナトリウムの土壌垂直分布



被災水田における水溶性Cl⁻、SO₄²⁻の土壌垂直分布

19

5月1日の相馬市海岸部の水田



20

2011年9月6日の相馬市岩子

ほとんどのがれきが除去され、表面が乾燥

津波土砂のECは、5 ~ 6mS/cm



21

重機のわだちにのみ雑草が繁茂！

これは何を物語っているのか？



区	EC mS/cm	ナトリウム mg/100g	ホウ素 mg/kg
無処理	4.0	806	8.3
わだち	1.9	275	1.1

22



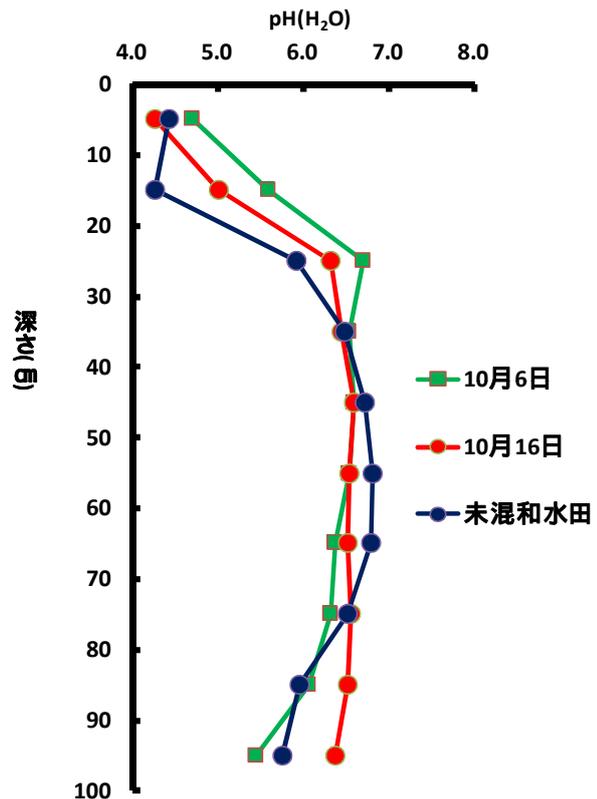
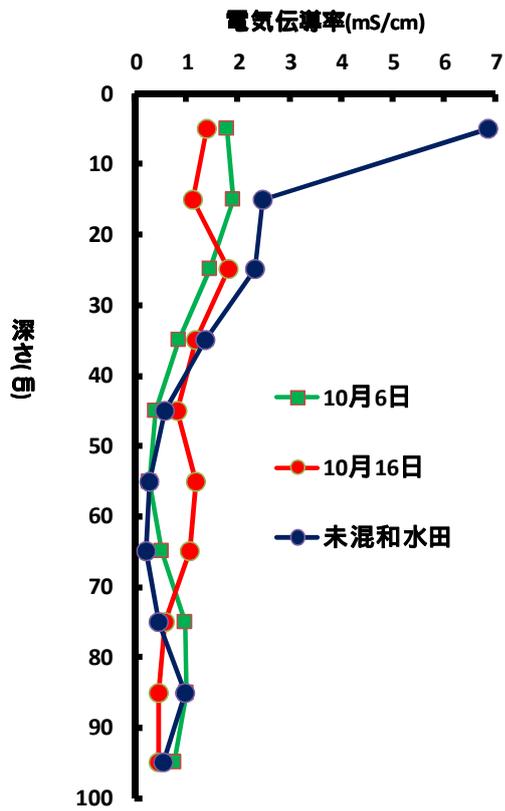
岩子の混層水田

隣接する未混層水田



23

混層水田の方が、除塩が進んでいる！



岩子における混層水田と未混層水田の比較

24

今後の除塩に当たって、地元で決断すべきこと

津波土砂を取り除くか、混層するか？ 混層の利点とリスク

【混層の利点】

労力の大幅削減・処分地不要

除塩後には、土壤改良効果が期待できる。

粘土・養分(カリ・苦土・微量元素)の補給

【混層のリスク】

除去に比べると、除塩に時間を要する。

水が確保できれば、支障なし。

長期視点で考えることが重要。

数年後に、土壤が酸性化する可能性がある。

土壤診断と土壤酸性改良資材の施用で対処可能

25

津波による塩害被災農地の復興への提言

津波土砂の除去・処分を基本とする必要はない。

土砂中にカドミウムなどの有害成分が含まれていないこと、放射能による高線量汚染を受けていないことを確認すれば、

津波土砂を作土と混和して、雨水などによる除塩対策を講じる。

津波土砂中には、1%程度の全イオウが含まれ、かつpH(H₂O₂)が3以下を示すことから、パイライトを含有する酸性硫酸塩土壤と見なされる。そのため今後、経時的に土壤が酸性化する可能性があるので、

除塩促進と土壤酸性化対策資材として、石灰資材を施用する。

推奨する資材は転炉スラグ(副産石灰質肥料)である。

石灰資材を施用するタイミングは、津波土砂の混層時ではなく、

作土の電気伝導率が1mS/cm程度以下にまで低下した時点とする。

石灰資材の施用量は、その種類や津波土砂と作土の性質により異なるが、

転炉スラグでは200～300kg/10aと思われる。

水田での除塩促進対策として、弾丸暗渠工を併用する。

26

農地の早期復興を目指して、

がんばろう 福島！

27

相馬市岩子の津波土砂混層水田

3-4 . 津波による被災農地の除塩技術（岩手県の事例等について）

津波による被災農地の除塩技術 (その1)

～ 岩手県における被災農地復旧支援、調査事例 ～

岩手県農業研究センター
環境部 生産環境研究室
主任専門研究員 大友 英嗣

1

紹介する内容

東日本大震災での津波被災の状況

復旧への取り組み

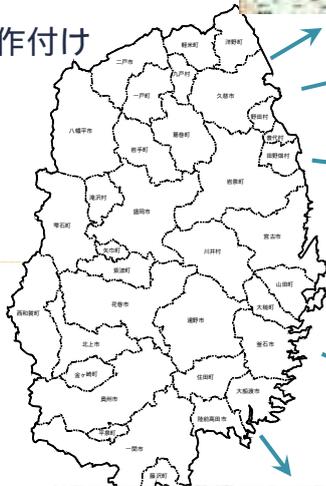
- ・被災農地の塩害土壌モニタリング調査
- ・除塩実証試験（水稻、園芸）
- ・被災農地での栽培事例解析（水稻）

今後の課題

2

被災の状況 (国土地理院)

被災面積 725ha
 水田603ha
 畑122ha
 7.53haで作付け
 (1.25%)



被災の状況 (農地等)

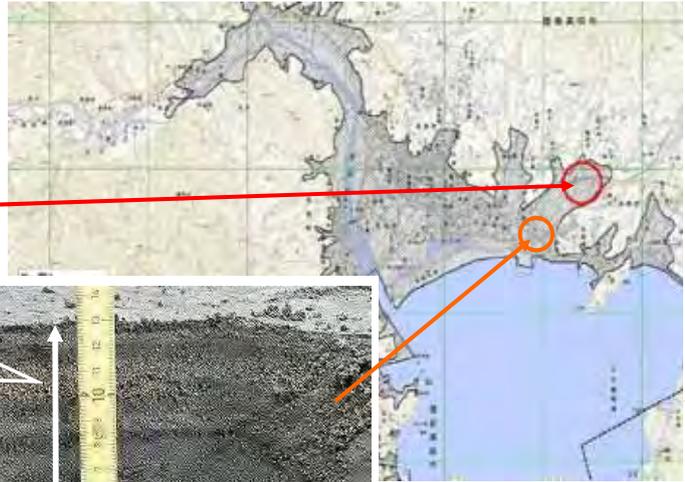


H23.4.4



H23.3.20

被災の状況



津波の最終到達地点付近

津波の初期到達地点付近

土壌断面(陸前高田市浜田川地区)

農地復旧に向けた取り組み

岩手県農業研究センターに

震災復旧・復興支援プロジェクトチームを設置

	農業研究センター本部(北上)	県北農業研究所(軽米)
	プロジェクトチーム	-
構成員	チーム長、水稻2、園芸3、土壌肥料2、経営情報2、計10名	全所員、計12名
設置日	3/28	4/13
対象地域	陸前高田、大船渡、釜石、大槌、山田等	久慈、宮古等
取組内容	現地への指導・助言(除塩対策、栽培技術)	
	除塩実証試験(現地)	
	水稻、キュウリ	水稻
	塩害土壌モニタリング調査	-
	ポット試験(高EC下での水稻生育)	-
	園芸モデル圃(復興対策)	イチゴ隔離床

塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査

(目的)

自然降雨による塩分低下(除塩)状況を調査

(調査地点)

陸前高田市7地点(水田)、山田町4地点(水田2、転作牧草4)

いずれも本年無作付け圃場

(調査時期・方法)

- ・予備調査 3/12,20・・・海水の浸入や堆積物の状況を調査
- ・本調査 4/4,4/20,5/4,5/20,6/3,7/1,7/29,8/31,11/1

(調査項目)

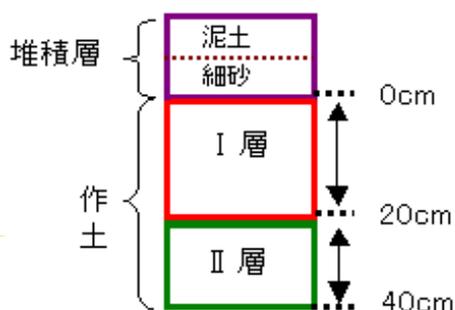
- ・EC(1:5抽出)、土壌化学性(pH,CaO,MgO,K₂O,Na,Cl)
- ・土壌硬度(貫入式土壌硬度計DIK5520,kgf/cm² Mpa変換)
- ・土性、地下水位、透水係数他(土壌断面調査)
- ・積算降水量(2地点、震災による欠測値は近隣地点データを引用)

7

塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査

(土壌採取位置)



8

塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査

【結果】 非作付けほ場でのEC推移は？

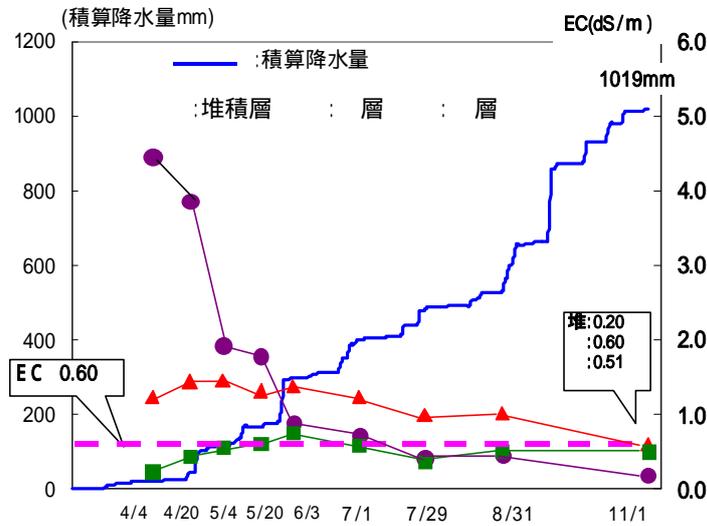


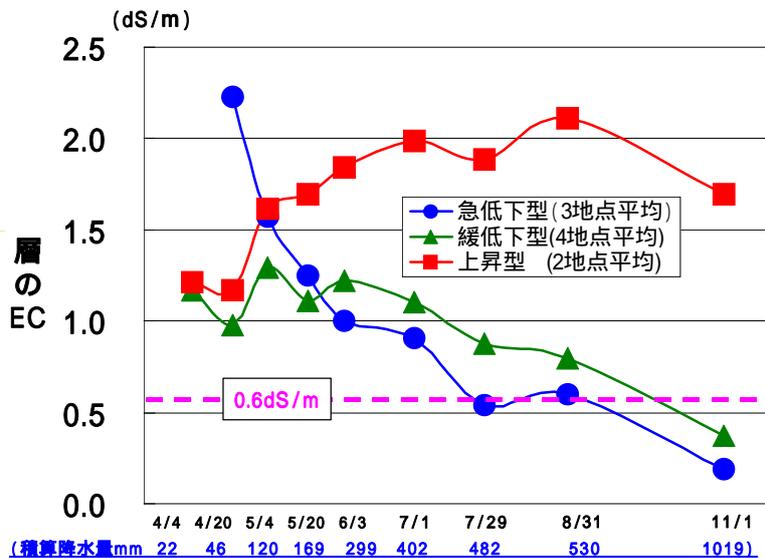
図 自然降雨による層別土壌ECの推移
(EC: 9地点平均、積算降水量: 高田及び山田の平均)

ECは降水量1000mmで0.6dS/mを概ね下回る

塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査

【結果】 非作付けほ場でのEC推移はさまざま

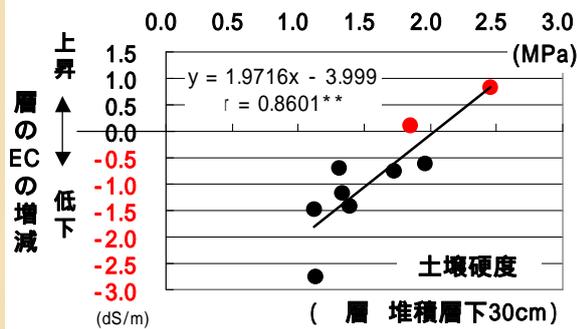
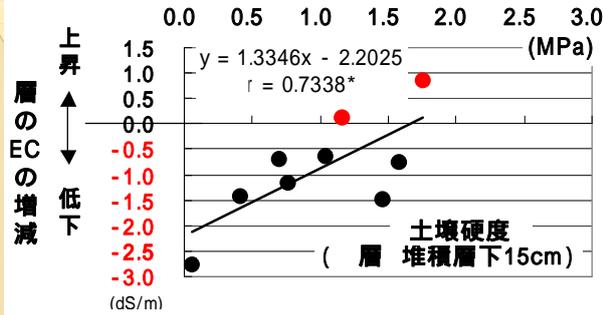


- ・ 層ECの推移は概ね3タイプに分類される(急低下、緩低下、上昇)
- ・ 1000mm経過しても上昇タイプは0.6dS/mを大きく上回る

この要因は？

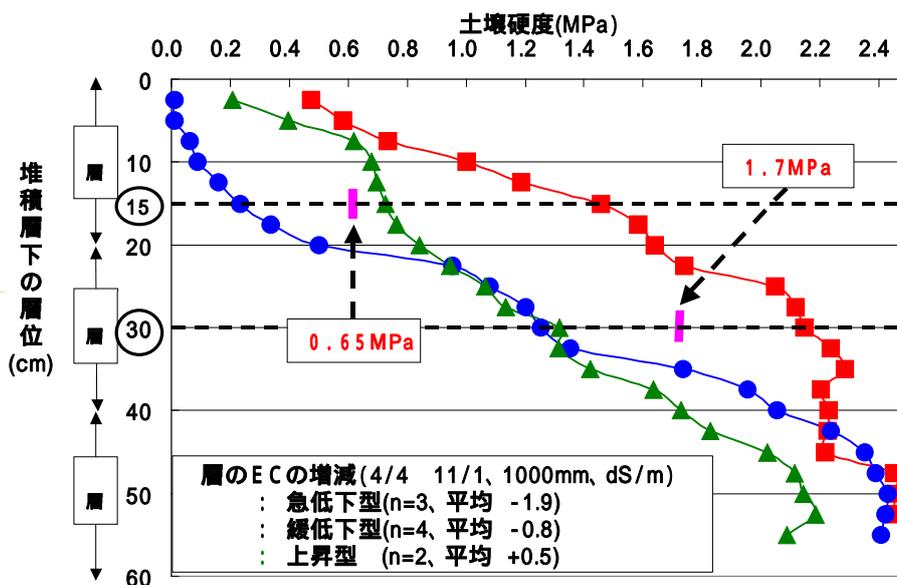
塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査



塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査



0.65MPaと1.7MPaは、重回帰式で“ y (ECの増減) = -0.9”となる組合せから算出した
 [-0.9 (除塩基準までの要低下量) = (除塩基準0.6 - 4/4の層9地点平均 1.5) 、
 x_1 : 15cmの土壌硬度、 x_2 : 30cmの土壌硬度]

塩害対策への取り組み

(1) 塩害土壌モニタリング調査

		土壌硬度 (MPa)		
		0.65未満	0.65以上 且つ	
堆積層 下の層 位	15cm(層)	0.65未満	0.65以上 且つ	
	30cm(層)	1.7未満	1.7未満	1.7以上
層のEC推移の類型		急低下型	緩低下型	上昇型

この簡易指標の適合性については、ECが0.6dS/m以下とならない“**上昇型**”を対象に実証が必要！

例えば、
 湛水除塩(縦漫透)
 溶出除塩(代かき)
 無処理(自然降雨)

次年度実証予定

塩害対策への取り組み

(2) 除塩実証試験(水稻)

海水が土壌に浸入



塩化物イオン(Cl⁻)が増加



土壌ECが上昇(1~10dS/m)



湛水処理による除塩指導

海水に多く含まれる成分
 Na⁺、Cl⁻、Mg²⁺、Ca²⁺、
 SO₄²⁻

0.6 dS/m以下で作付け可
 (Cl⁻:0.1%以下)



堆積層のリアグレーダによる除去



除塩事例(陸前高田)

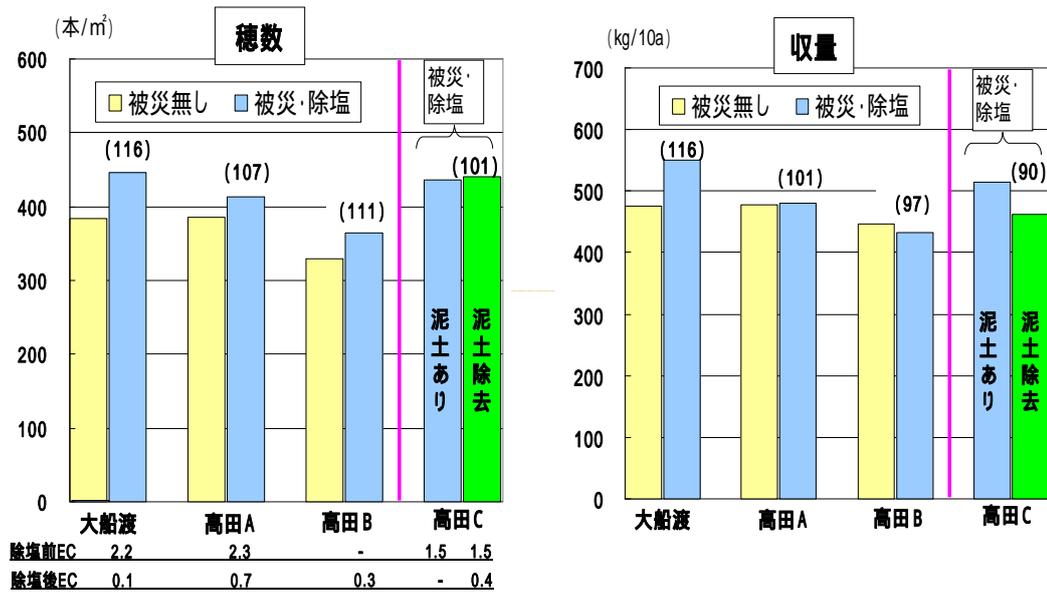
フロントローダによる排出



湛水除塩中

塩害対策への取り組み

(2) 除塩実証試験(水稻)



塩害対策への取り組み

(2) 除塩実証試験(園芸)

(目的)

被災圃場の堆積層除去と除塩が、キュウリの生育に対する影響を調査

(試験区)

・「堆積層除去 + 淡水除塩」区

堆積層除去：リアグレーダー フロントローダー、 灌水：灌水チューブ

(実施場所)

陸前高田市



【表層除去】
リアグレーダー



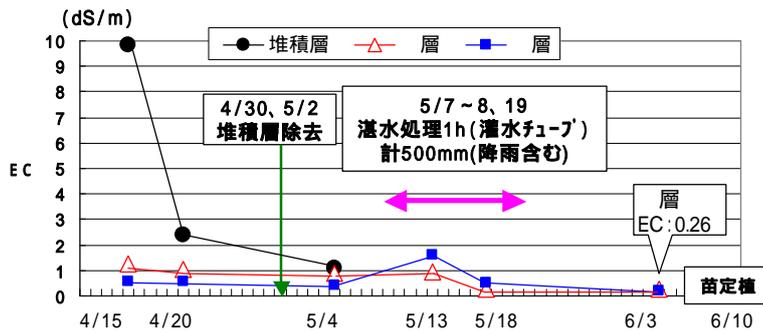
【排土】
フロントローダー



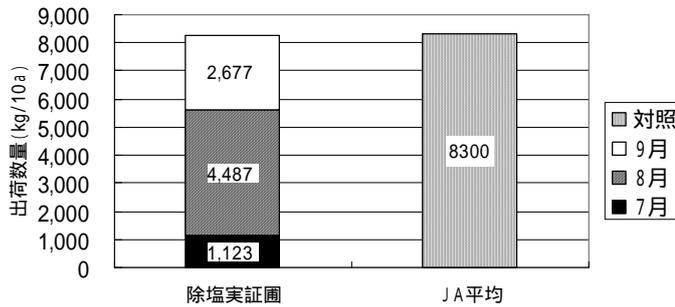
【かん水除塩】
「きゅうり」栽培実証

塩害対策への取り組み

(2) 除塩実証試験(園芸)



キュウリ実証圃の除塩によるECの推移



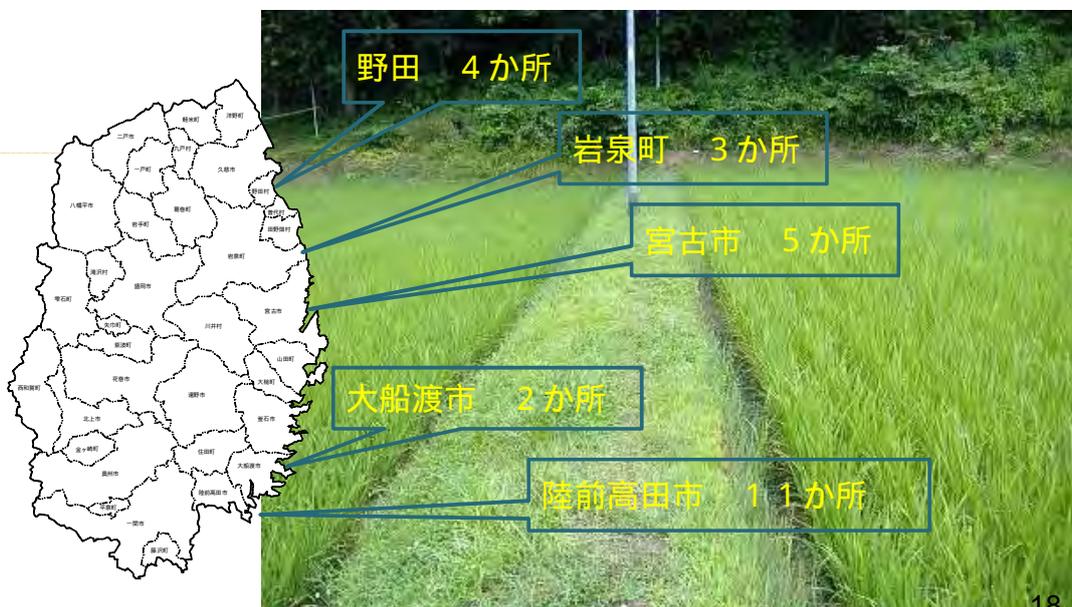
定植前の灌水除塩 (降雨含み500mm)により、収量は「地域の平均」と同等となった

キュウリの収量

塩害対策への取り組み

(3) 被災農地での栽培事例解析

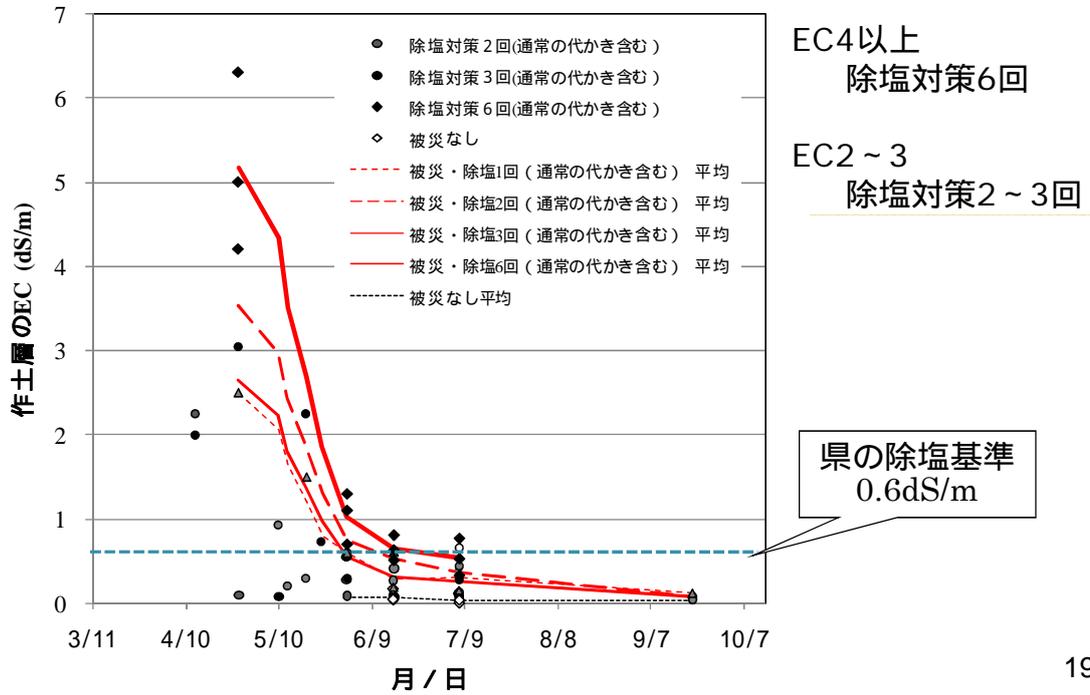
除塩対策を実施した水田での水稻生育調査(県内25ほ場)



塩害対策への取り組み

(3) 被災農地での栽培事例解析

湛排水または代かき除塩でのEC推移



塩害対策への取り組み

(3) 被災農地での栽培事例解析

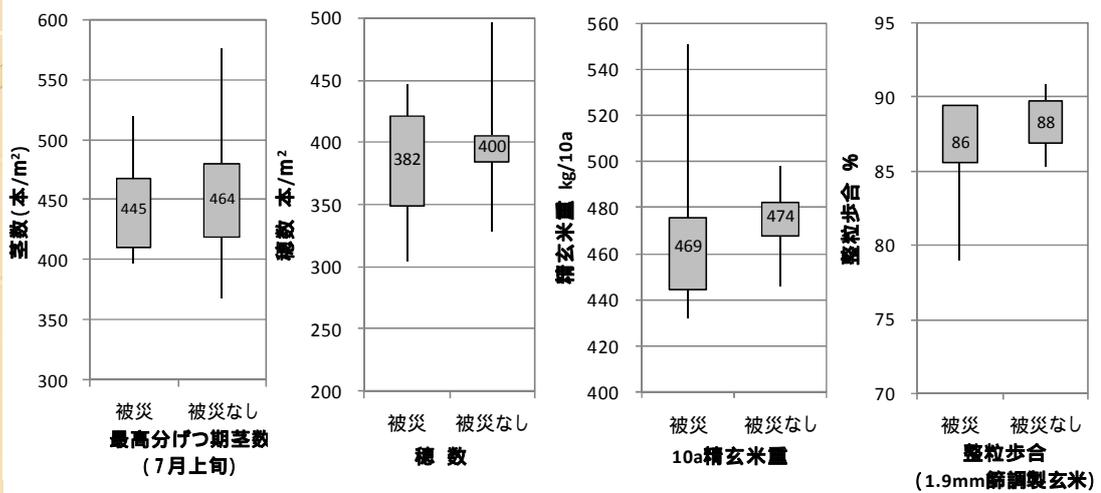


図 津波被災水田 (除塩対策実施田) と周辺の被災なし水田の比較

注1) 品種はひとめぼれ、あきたこまち。データ数は被災 (n=6)、被災なし (n=6)。
 注2) グラフ中の値は平均値、エラーバーはデータ範囲、箱はデータ25~75%範囲を示す。
 注3) 整粒歩合調査は、品質判別機 (サケRGQ110B) による。

塩害対策への取り組み

(3) 被災農地での栽培事例解析

除塩対策『実施ほ場』での障害事例

項目	水稻に影響が見られた事例
初期生育	用水の周りが悪い部分で葉先枯れが見られた(6月窒素追肥でも回復せず)。
穂数	移植時期が遅れ(ひとめぼれ6/10移植)、十分な穂数を確保できなかった。
精玄米重	移植時期が遅れ(ひとめぼれ6/10移植)、十分な生育量を確保できなかった。
整粒歩合	植付け株数がやや多すぎたため、籾数過剰となり乳白粒など発生してしまった。 移植時期が遅くなり青未熟粒混入。



21

塩害対策への取り組み

(3) 被災農地での栽培事例解析

除塩対策『未実施ほ場』での障害事例

項目	水稻に影響が見られた事例
初期生育	移植後に強い葉先枯れが見られ生育が抑制された(6月中旬茎数慣行比61~81%)。
穂数	初期生育阻害により穂数減(慣行比82%) 除塩を行わず、田越し灌漑により下の水田に塩類が集積し、穂数減。
精玄米重	初期の塩害の影響により減収した(慣行比93%)。

7/7現在
EC 0.4dS/m



7/7現在
EC 1.4dS/m



22

今後の課題

H24：被災725haのうち220haで作付け予定
ECが低下していないほ場の除塩対策

作付けまでのほ場管理（雑草対策等）

沿岸地域としての農業の方向

ほ場整備、営農計画、・・・

復旧でなく復興へ



3-5 . 津波による被災農地の除塩技術（青森県の事例等について）

津波による被災農地の除塩技術 (その3) <青森県での除塩>



青森県八戸市市川町

青森県八戸市における農地の津波被害状況





津波に押し倒されたハウス

津波来襲 3月11日16:57
最大波 6.2m

収穫中のイチゴ被害



イチゴ親株の被害

イチゴ出荷用資材の被害



農業機械の被害



イチゴハウスを襲った津波砂(5月11日)

2011/05/11



イチゴハウスの表面を被った津波砂(5月11日)

2011/05/11

ハウス復興へのあゆみ

3月11日:東日本大震災による大津波でイチゴハウスが壊滅した。

5月19日:ユンボで津波土砂と土壌混和

6月10日:転炉スラグ(てんろ石灰) 1t/10a 施用

11日:ロータリー耕、尿素 N7kg/10a施用

13日:サブソイラー耕

20日:ミレット播種

7月22日:生育良好部分のミレットをロータリーで鋤き込み

8月10日:プラウで生育不良部分のミレットをロータリーで鋤き込み、混層

21日:全面をプラソイラ耕

9月17日:ハウス建設部分にゼオライト1t/10a施用・尿素 N10kg/10a

9月25日:ハウス再建

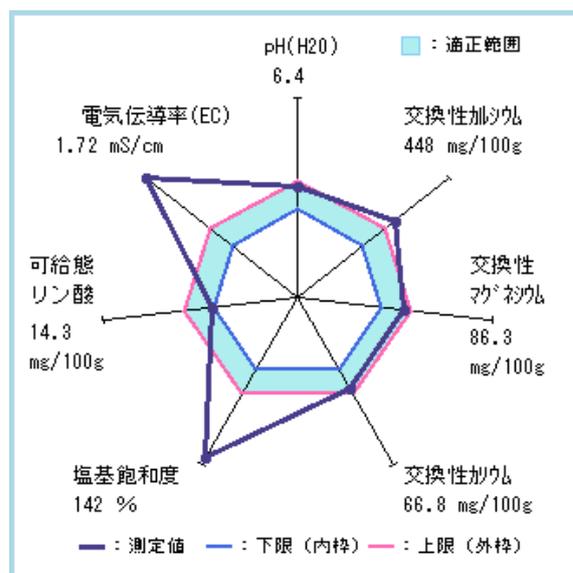
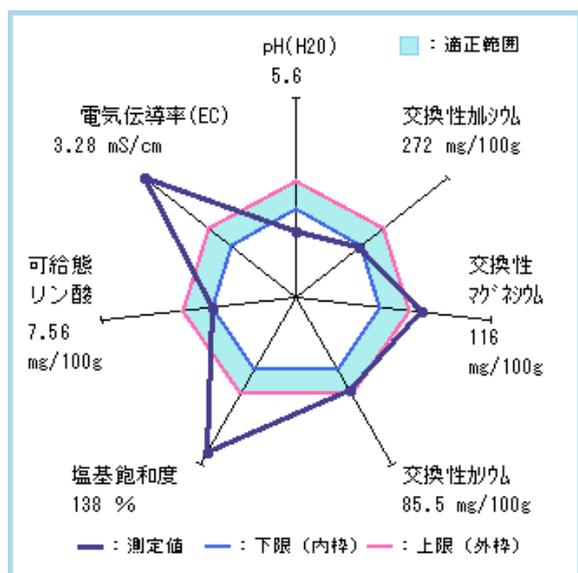
9月27日:ライムギ播種

来春、トルコギキョウハウスとしての復興を目指す。

塩害甚大箇所 (A地点)での津波土砂混層前後の土壌化学性の変化

2011年 5月28日:混層前

2011年 6月16日:混層後



交換性Na₂O : 421mg/100g

交換性Na₂O : 237mg/100g

可給態ホウ素 2.15mg/kg

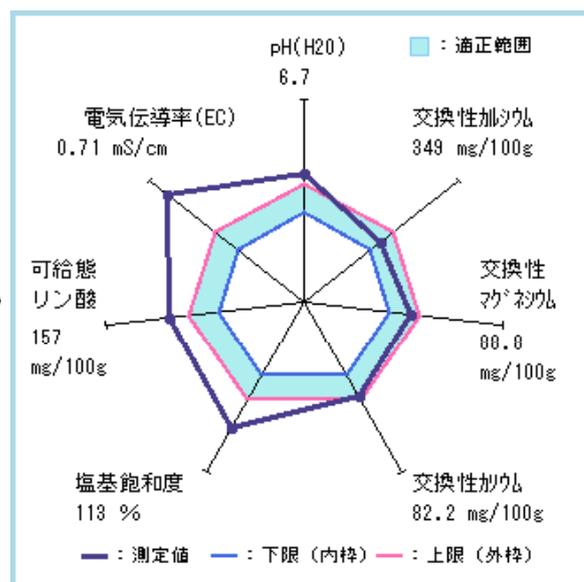
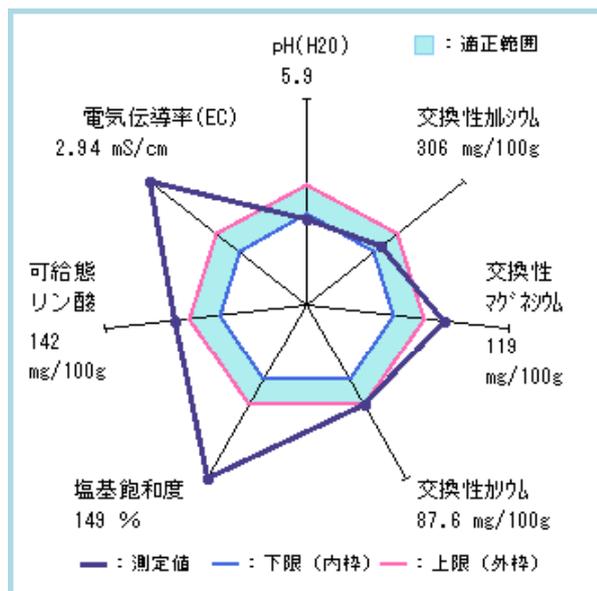
1.68mg/kg

津波土砂の混層により、電気伝導率は低下した。
転炉スラグの施用により、pH(H₂O)は上昇した。

塩害甚大箇所 (B地点:Aより軽度)での津波土砂混層前後の土壌化学性の変化

2011年 5月28日:混層前

2011年 6月16日:混層後



交換性Na₂O : 401mg/100g

交換性Na₂O : 203mg/100g

可給態ホウ素 2.25mg/kg

2.25mg/kg

津波土砂の混層により、電気伝導率は低下した。
転炉スラグの施用により、pH(H₂O)は上昇した。

6月20日に、ミレット(緑肥)を播種した



緑肥(ミレット)の生育状況(7月21日)

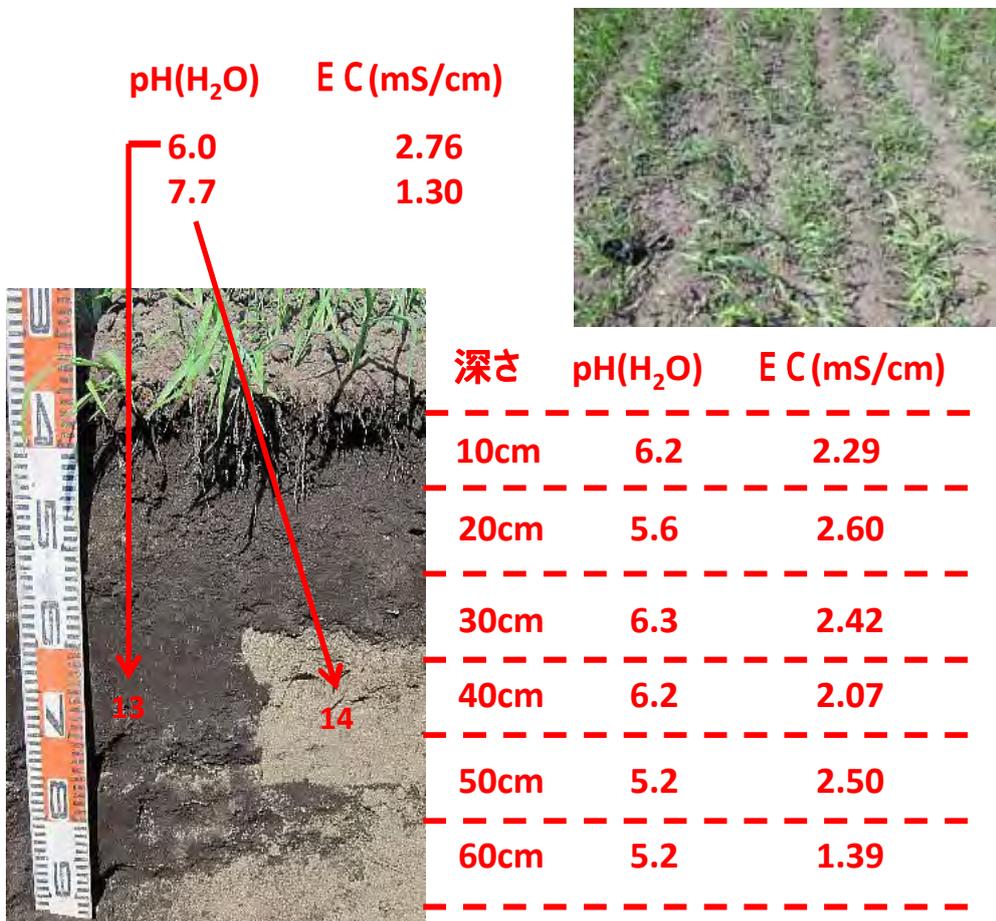


生育むらが見られた緑肥(ミレット)の生育状況(7月21日)



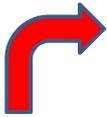
深さ	pH(H ₂ O)	EC(mS/cm)
10cm	7.3	0.19
20cm	7.0	0.37
30cm	7.3	0.58
40cm	7.7	0.75
50cm	7.3	1.06
60cm	5.3	3.65

ミレットが良好に生育する部分は、津波砂と土壤がよく混ざり、除塩が進んでいる！

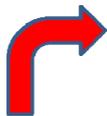


ミレット生育不良部分は、津波砂と土壤が混らず、除塩が進んでいない！




EC 0.19mS/cm




EC 2.3mS/cm



電気伝導率の違いにより
ミレットの生育が著しく相違



ミレットの生育が良好な部分では、
試し植えたイチゴの根がよく伸長していた！

5月の土砂混層以降、雨水による除塩が順調に進行した！

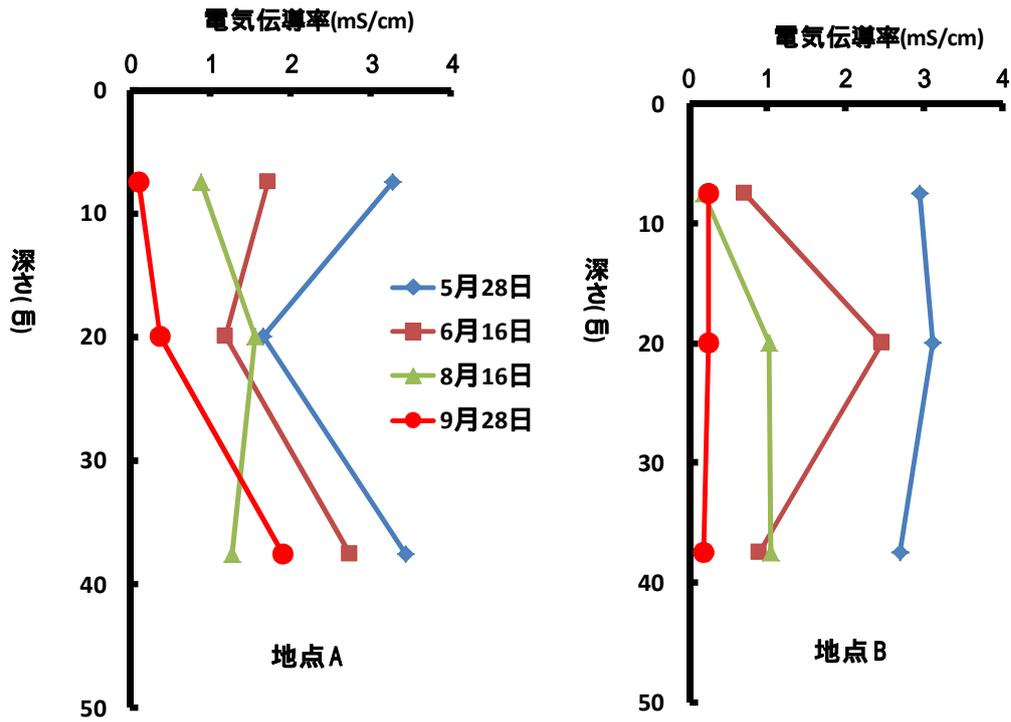


図 八戸市木村農園における電気伝導率の経時変化

6月に転炉スラグを施用し、9月28日現在、作土のpH(H₂O)はほぼ7

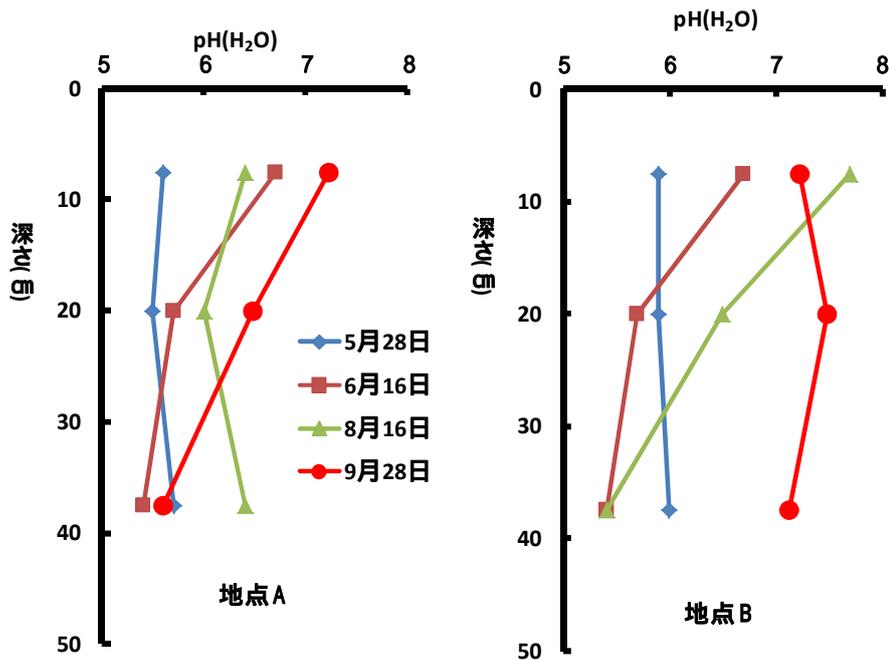


図 八戸市木村農園における土壌pH(H₂O)の経時変化

土壤中の交換性ナトリウムも順調に減少中

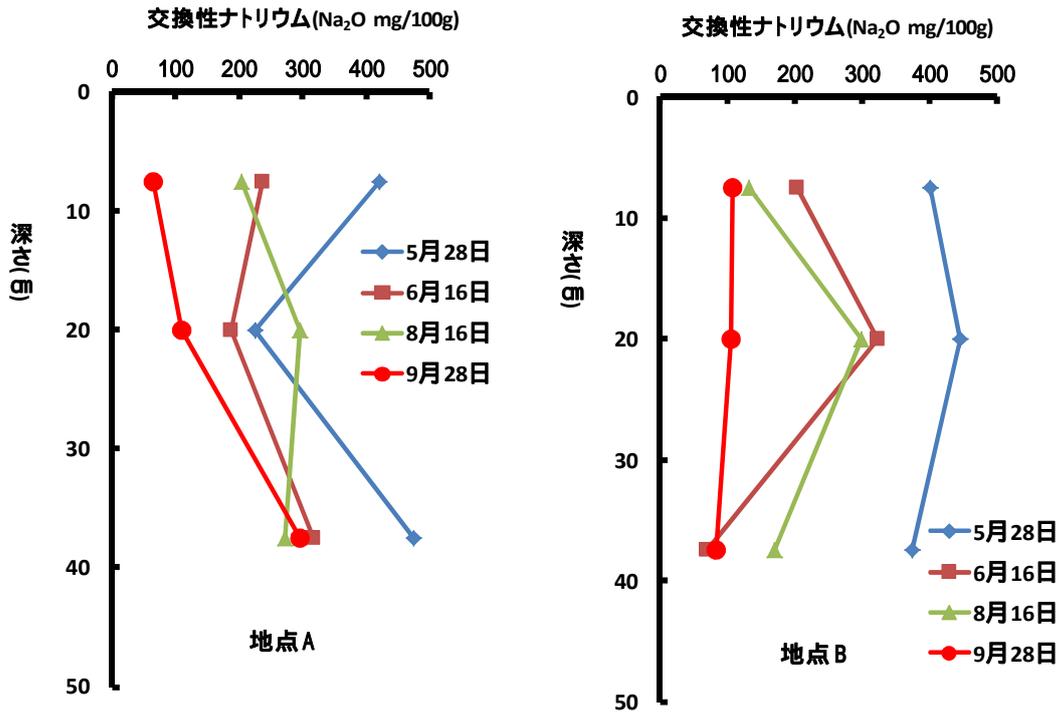


図 八戸市木村農園における交換性ナトリウムの経時変化



約半年後に再建できたハウスとライムギの生育状況(11月2日)



2012年1月のハウス内部におけるライムギの生育状況



生育不良部

深さ	pH(H ₂ O)	EC	交換性Na ₂ O
15cm	6.8	0.44	123
30cm	6.3	1.00	180
60cm	5.8	2.16	351



生育良好部

深さ	pH(H ₂ O)	EC	交換性Na ₂ O
15cm	7.0	0.18	78.5
30cm	6.6	0.31	106
60cm	6.7	0.55	141

干拓地こそが塩害農地対策の原点

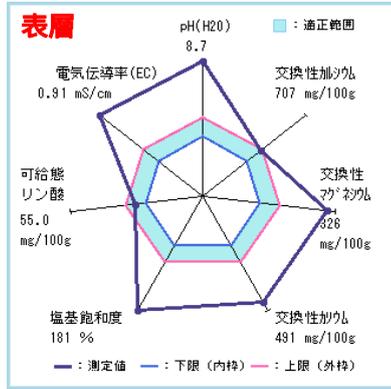


諫早湾干拓事業(長崎県農林部諫早湾干拓室)のホームページ (<http://www.pref.nagasaki.jp/isakan/index.html>)より抜粋

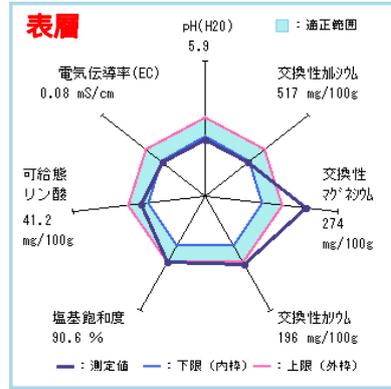
諫早干拓で誕生した肥沃な農地



干拓初期の土壤

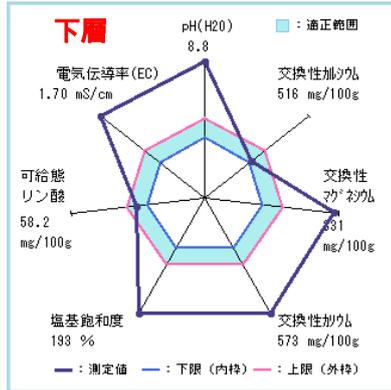


ソルガム・イタリアン10作後の土壤

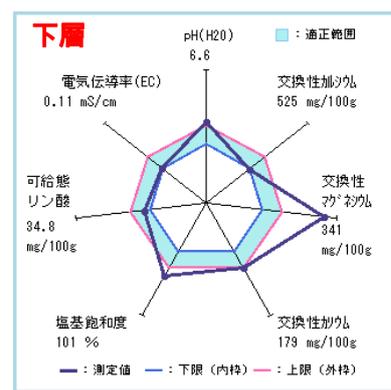


交換性Na₂O 541mg/100g

60.7mg/100g



交換性Na₂O 782mg/100g



91.0mg/100g

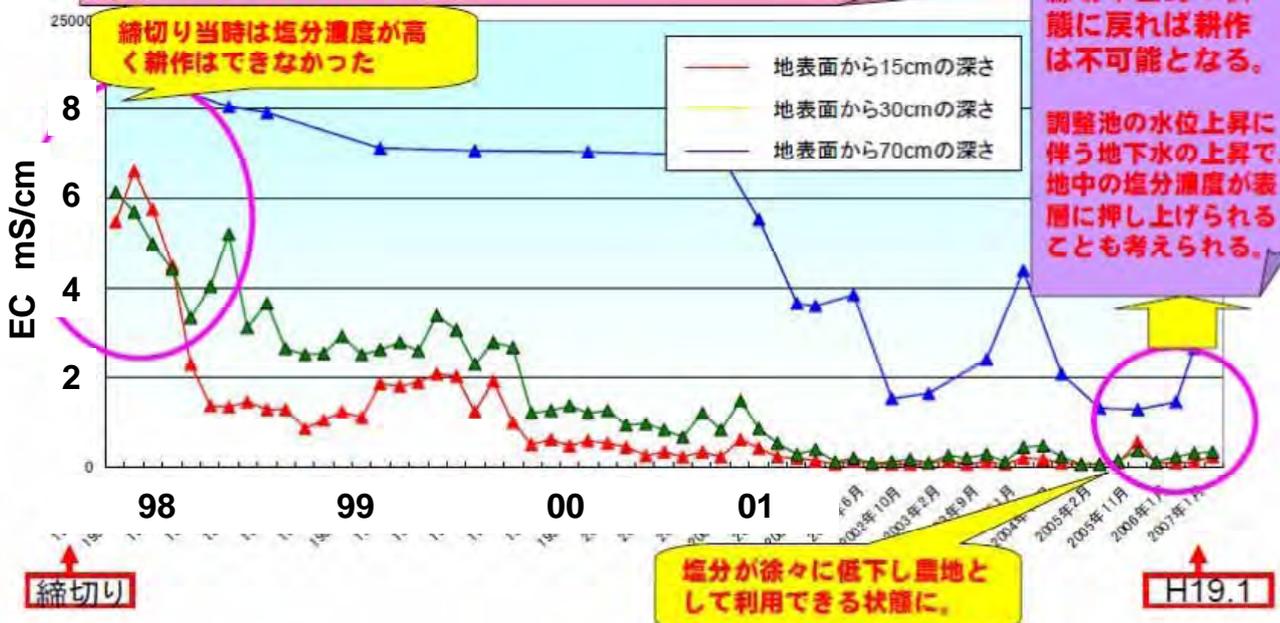
諫早干拓地における干拓初期と営農開始後の土壤化学性の変化

諫早干拓地における土壤塩分含有量の経時変化

締切り以降、干拓地では土壤中の塩分濃度が段階的に低下。

一締切り以降、調整池の淡水化などとともに、干拓地の土壤中の塩分濃度も年々低下し、農地として利用できるまでに至った。

干拓地の土壤中の塩分濃度(mg/kg乾土)の経年変化



営農開始後でも、下層70cmではECが2mS/cm程度と高い！

木村ハウスの現状と今後の対策

生育不良部では、下層に塩分が残存している。

その原因は、

津波土砂と元の土壌との混和不十分な部分が残っている。

ハウスの被覆による土壌水分の上昇

その対策は、

ハウス内での灌水を増やす。

ライムギ鋤き込み時に、生育不良部分を混層する。

津波土砂と土壌との混和が不十分な一部を除いて、

9月にはほぼ除塩が達成された。

今後は、新たな「土づくり」による土壌生産性の復興を図るべき。

今春からのハウス復興に向けて

土づくりの再開

津波砂の混入による土壌理化学性の変化に対して、

適切な土づくりを再開する。

土壌診断結果に基づき、土壌改良・施肥管理

有機物の適正補給

可給態リン酸欠乏土壌 : 家畜ふん堆肥の施用

可給態リン酸過剰土壌 : 緑肥の導入

保肥力の改善: 砂混和による保肥力低下対策

ゼオライトや有機物施用による補強

連作障害の回避対策

連作から輪作へ

フザリウムなど病原菌密度上昇を防ぐ。

・北海道でもできる「太陽熱消毒」

・土壌還元消毒・アルコール消毒など。

2012年の完全復興を目指して、がんばろう！



3-6 . 津波による被災農地の除塩技術（水田編）

IV. 津波による被災農地の除塩技術 (その2) <水田編>

宮城大学食産業学部
環境システム学科 千葉克己

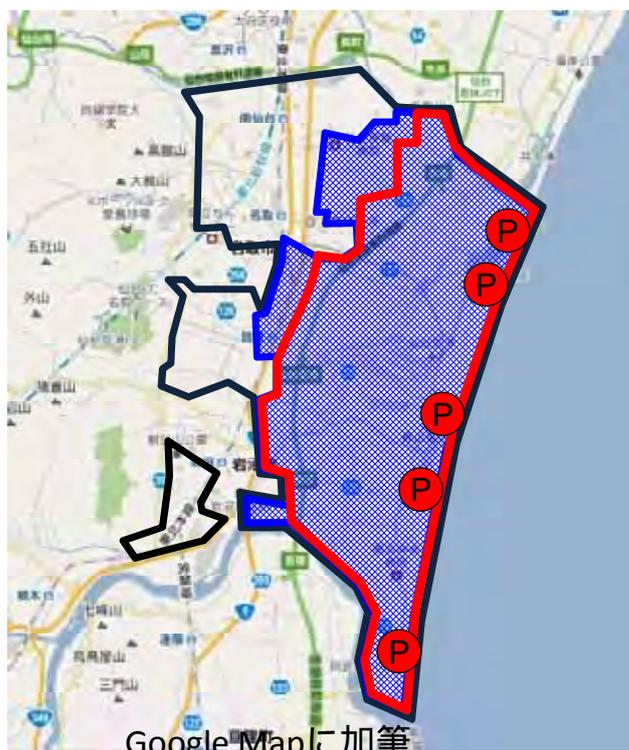
1

内容

1. 東日本大震災による農業被害の特徴
2. 除塩法と暗渠排水システム
3. 雨水の浸透除塩と弾丸暗渠の効果
4. 除塩事業
5. 被災農地の塩分モニタリング

2

宮城県名取・岩沼地区の津波被害



-  水田3,474ha
-  機械排水区域
(水田2,455ha)
-  津波浸水区域
(水田2,200ha)
-  排水機場

- 標高が低いため、津波が広範囲に浸入。
- 排水機場がすべて損壊し、除塩はまったくできず。

3



海水が浸水し湛水した水田と排水路(仙台市(3.25)) 4



ガレキだらけになった水田(名取市(4.26))

5



損壊した排水機場(山元町(6.10))

6



塩類が地表に集積した水田(名取市(5.10))

7

農業被害の特徴

- 沿岸部の水田地帯は標高が低いため津波が広範囲に浸水,2万4千haもの農地が塩害を受けた。
- 沿岸部に整備されている排水機場が損壊,また水路にガレキや土砂が堆積し,地域の排水機能が著しく低下。
- 下流域では海水が引かず,行方不明者の捜索などが困難な状態になった(国・県による災害応急ポンプの配備で対応)。
- 上流で水を使えば捜索活動が続く下流域に浸水被害をもたらすおそれがあり,灌漑水を使うことが極端に制限され,大量の水を使う除塩はほとんどの地域で実施できなかった。

除塩は自然の雨水に頼ることに

8

内容

- 1.東日本大震災による農業被害の特徴
- 2.除塩法と暗渠排水システム
- 3.雨水の浸透除塩と弾丸暗渠の効果
- 4.除塩事業
- 5.被災農地の塩分モニタリング

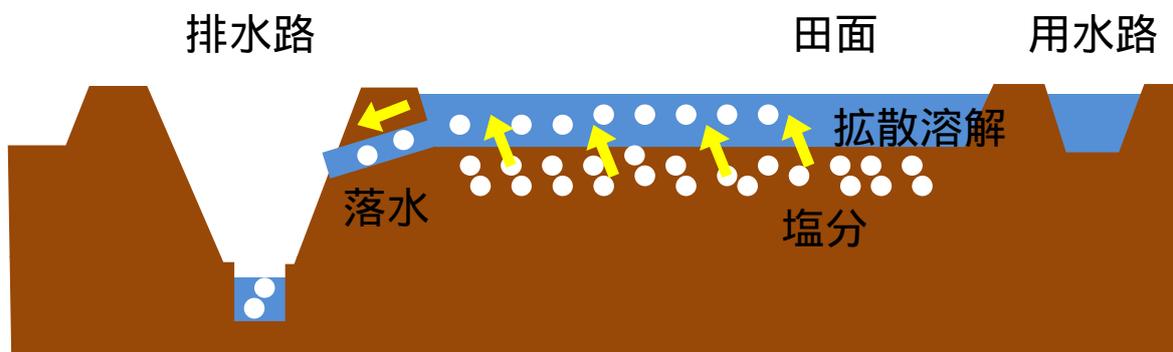
9

除塩の基本

- 真水(=灌漑水)を導水し,塩類と一緒に農地外に排水することが基本。
- 除塩には代かき除塩と浸透除塩のふたつがある。
- いずれの方法も大量の真水と排水経路の確保が必要。
- 暗渠が整備された農地では浸透除塩が有効,暗渠がなく水が浸透しにくい農地は代かき法が有効。

10

代かき除塩(溶出法)



湛水→代かき→土中の塩分を湛水に拡散溶解→落水

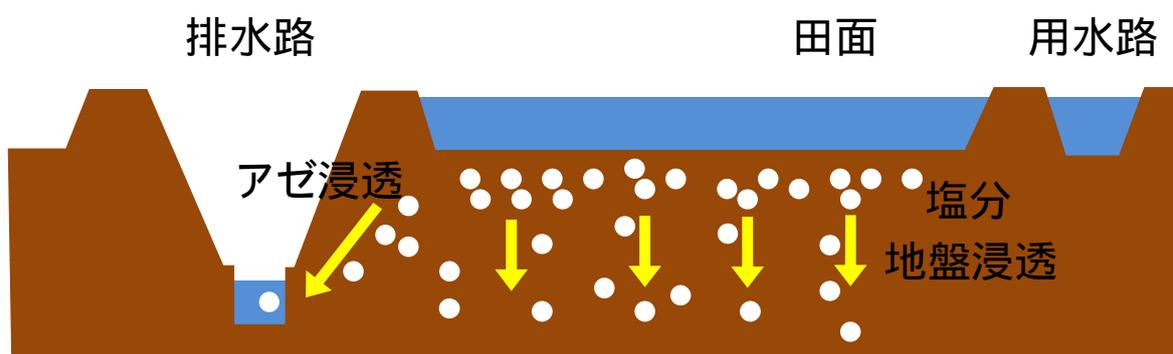
震災後, 石巻市などで中心に実施された

短所

深い土層の塩分は除去できない

11

浸透除塩(浸透法)



湛水→浸透水に塩分を拡散溶解→流下

短所

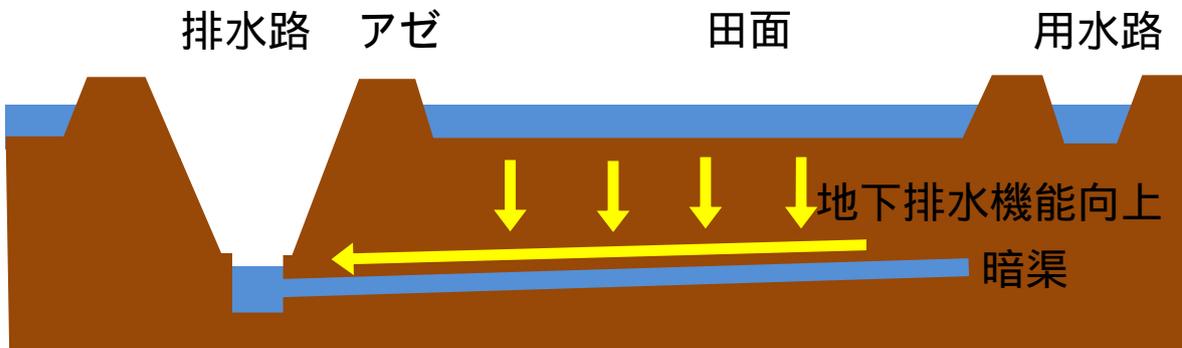
水を通しにくい土層の塩分は除去できない

→ 暗渠を利用すれば対応できる

12

暗渠

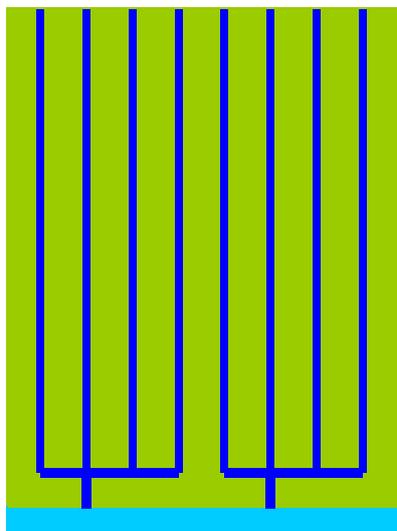
農地の地下排水機能を向上させるための地下排水路



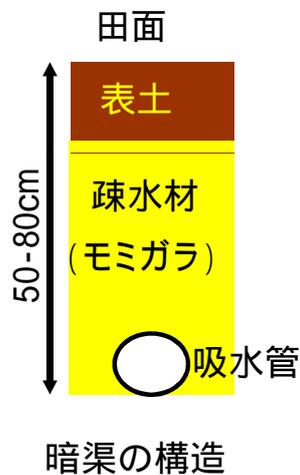
- 地下水や土壌の過剰な水分は暗渠を通じて排水路(農地外)に排出
- 水田の汎用化のために土地改良事業で普及

13

暗渠排水のシステムと構造



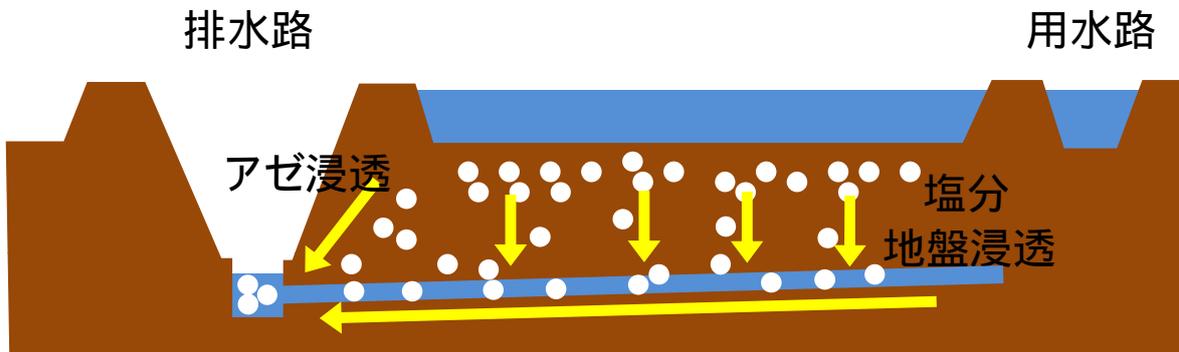
暗渠排水システム



暗渠からの排水

14

暗渠を使う浸透除塩



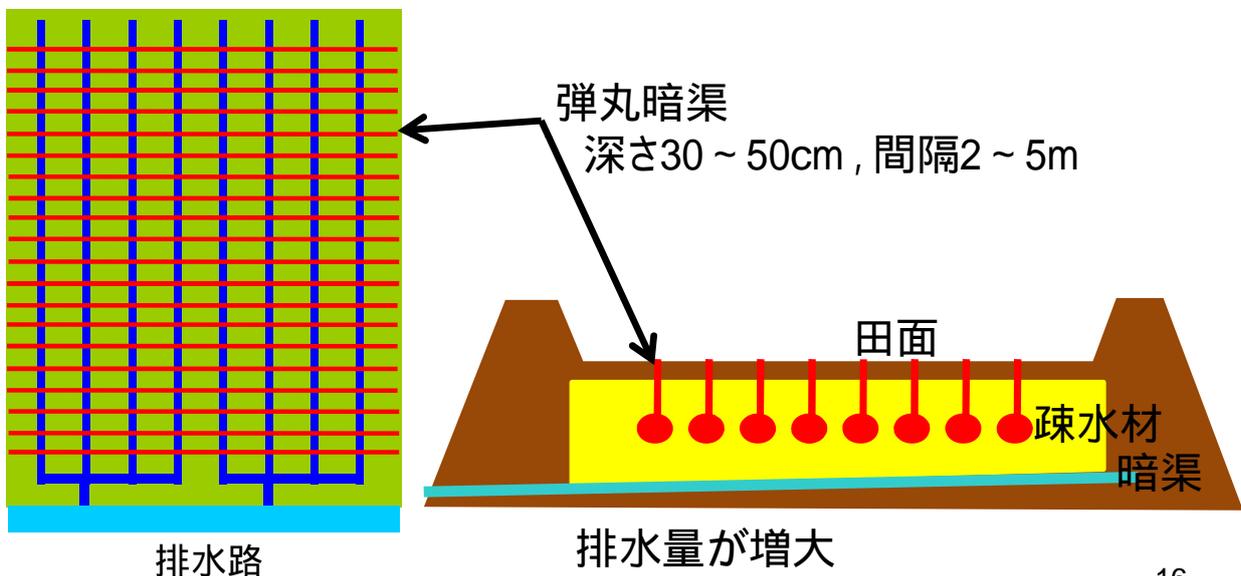
湛水→浸透水に塩分を拡散溶解→暗渠→排水路

- 確実に排水路に塩分を排出
- 地下排水機能が高ければ除塩効果も高い
- 弾丸暗渠などで地下排水機能を高めれば除塩効果が向上

15

弾丸暗渠

弾丸暗渠は暗渠の機能を高めるために農家が行っている営農排水



16

弾丸暗渠の施工



17

内容

1. 東日本大震災による農業被害の特徴
2. 除塩法と暗渠排水システム
3. 雨水の浸透除塩と弾丸暗渠の効果
4. 除塩事業
5. 被災農地の塩分モニタリング

18

雨水の浸透除塩試験

- 灌漑水を使う除塩は実施できず、当面の除塩は自然の雨水に頼らざるを得ない状況であった。
- 雨水が土中に浸透し、暗渠から排水される過程でどれくらいの塩類が除去されるのかは調査例が少なく、不明な点が多かった。
- そこで暗渠からどれくらいの塩類が排出されるのかを現地で測定することとした。また、弾丸暗渠を施工し、暗渠の排水機能を高めることによる除塩効果も検討した。
- 調査地は名取市館腰地区

19

調査地



□ 津波浸水区域

Google Mapに加筆

5日間程度海水が湛水。ガレキや土砂の堆積はなかった。

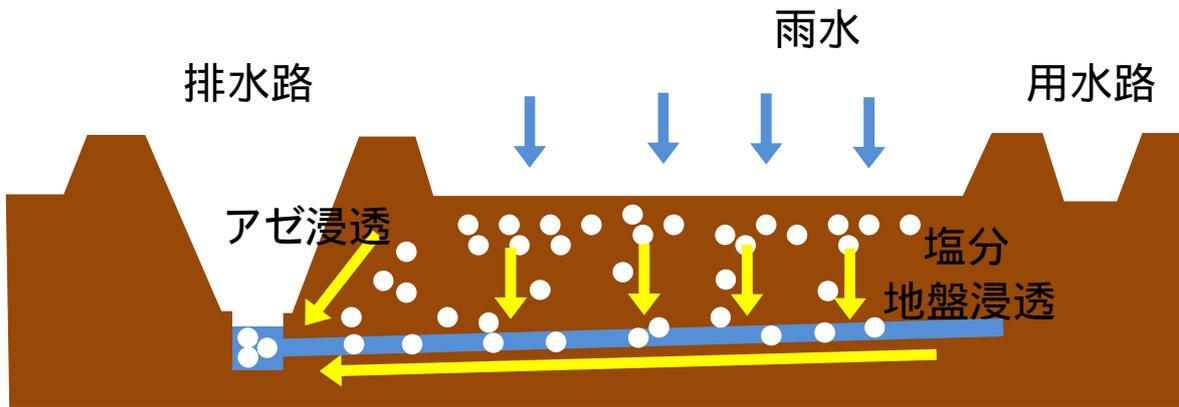
A区
弾丸暗渠なし
面積30a

B区
弾丸暗渠あり
(6/14施工)
面積30a



20

調査内容

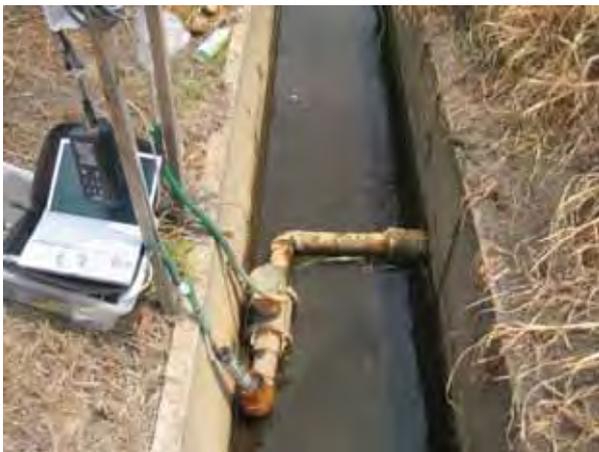


雨水→浸透水に塩分を拡散溶解→暗渠→排水路

- 暗渠からどれくらい塩分を含んだ水が排水されるのか
- その結果、土壌中の塩分は降雨でどれくらい低下するのか

21

調査機器



流量計と水質センサー

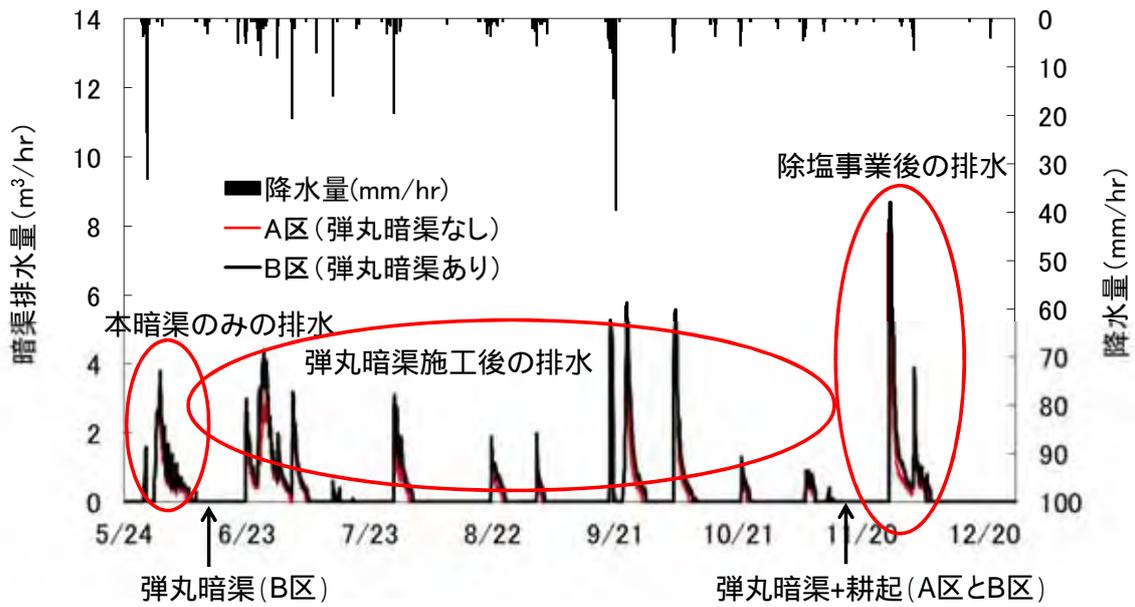


雨量計

暗渠排水量と排水の電気伝導度を1時間間隔で測定

22

暗渠排水量

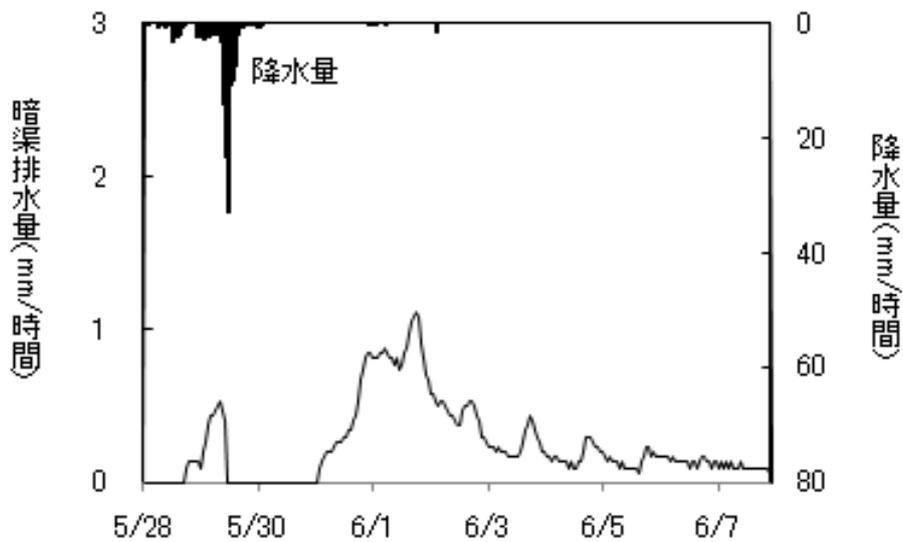


観測期間: 5/24-12/28

総降水量914mm 暗渠排水量: A区1,470m³, B区1,984m³

23

暗渠排水量(弾丸暗渠なし(A区))



総降水量147mm(5/28-30)

暗渠排水量65mm(5/29-6/7), 降水量の44%が排水

24

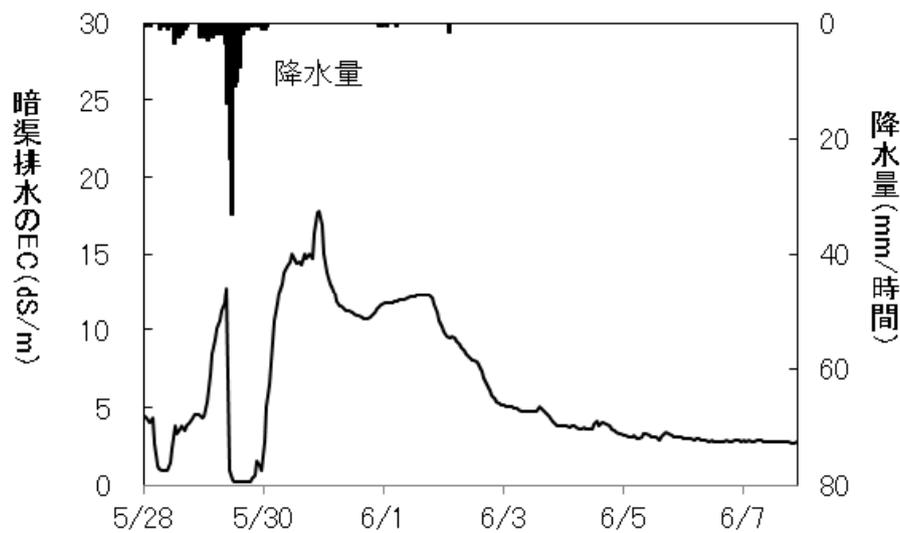
暗渠排水停止時の圃場



田面と排水路の水位が同じ
排水機場などが復旧していないため排水ができない

25

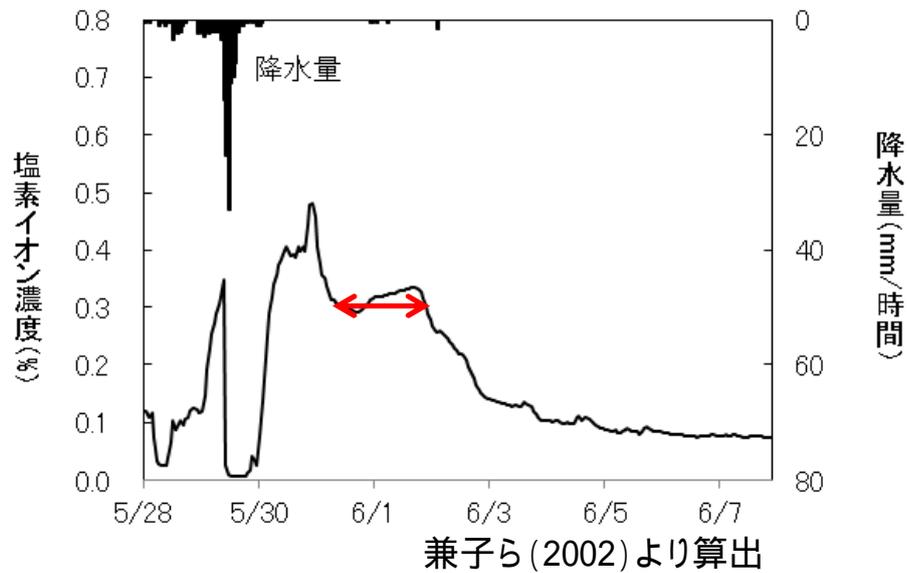
暗渠排水のEC(A区)



排水量の増加とともにECが高くなる

26

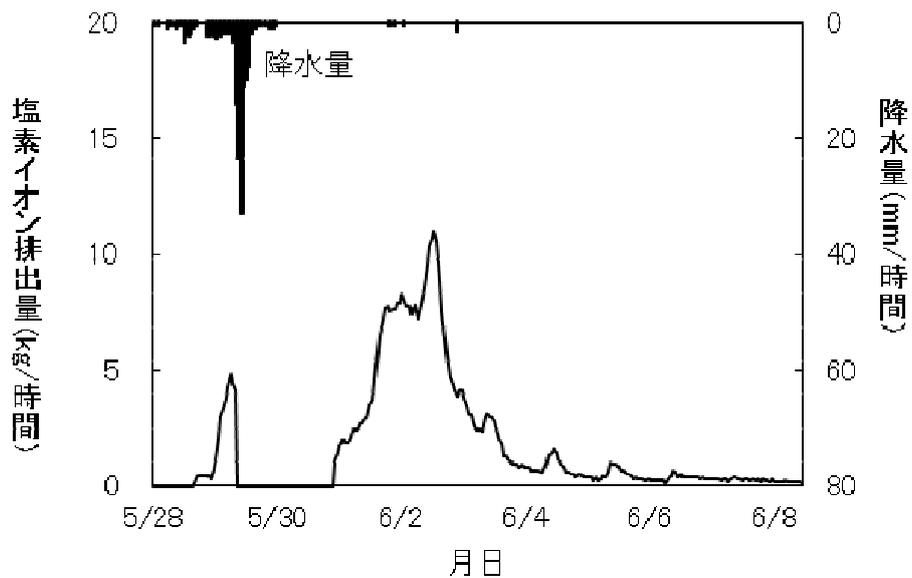
暗渠排水の塩素イオン濃度 (A区)



塩素イオン濃度0.3%以上の水が約2日間で77m³排出

27

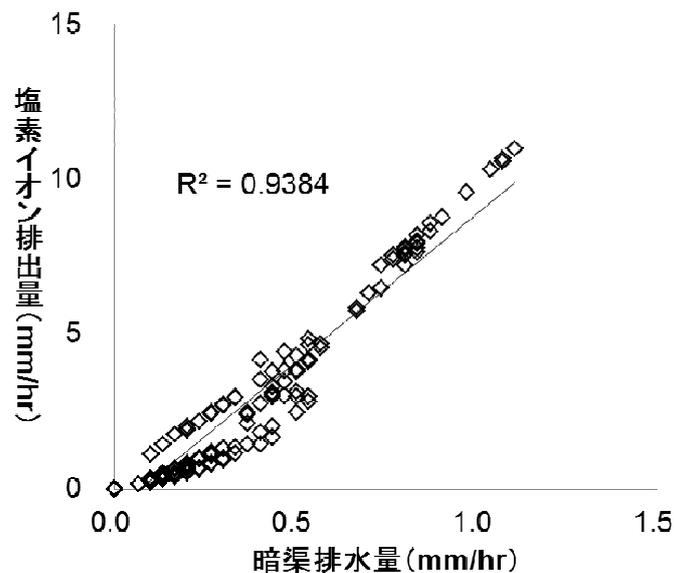
除塩量 (A区)



暗渠からの塩素イオン排出量441kg
 降雨が土中にしみ込み暗渠から排出される過程で除塩は進む。
 しかし、排水路の水位が早く低下すること(排水機場の復旧)が重要

28

暗渠排水量と除塩量の関係 (A区)



暗渠排水量が大きいときほど除塩量も大きい

除塩の効果を高めるためには暗渠排水量を大きくすればよい
弾丸暗渠を施工すれば除塩の効果は向上

29

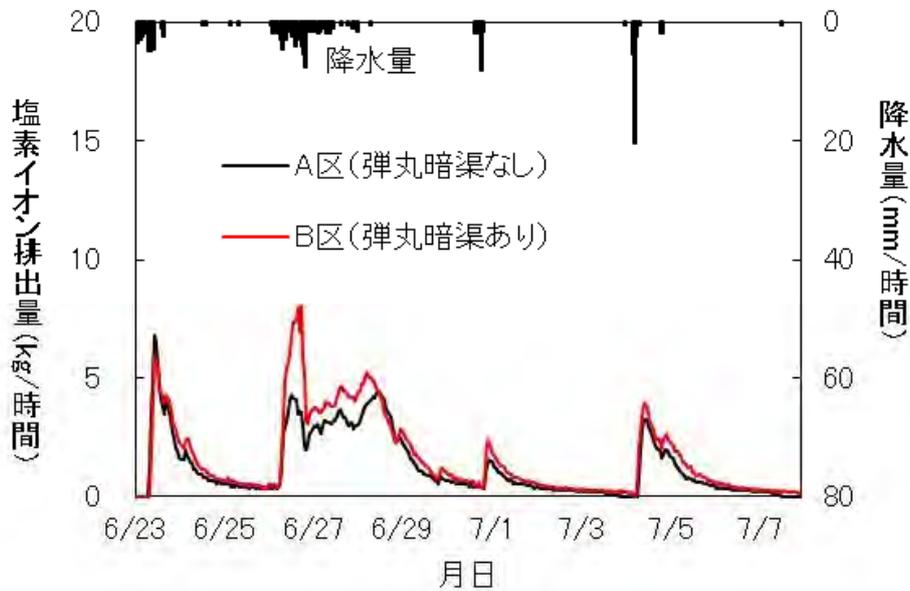
降雨前と降雨後の土壌EC (1:5)

調査圃場 (深度)		5月10日	6月6日
A区 (弾丸暗渠なし)	0-10cm	2.9	1.1
	10-20cm	1.3	1.2

表層の土壌EC (1:5) が約3分の1に低下

30

弾丸暗渠施工後の除塩量



総降水量161mm(6/23-7/8)
 塩素イオン排出量 A区473kg, B区609kg
 弾丸暗渠を施工したB区がA区を上回る

31

降雨前と降雨後の土壌EC(1:5)

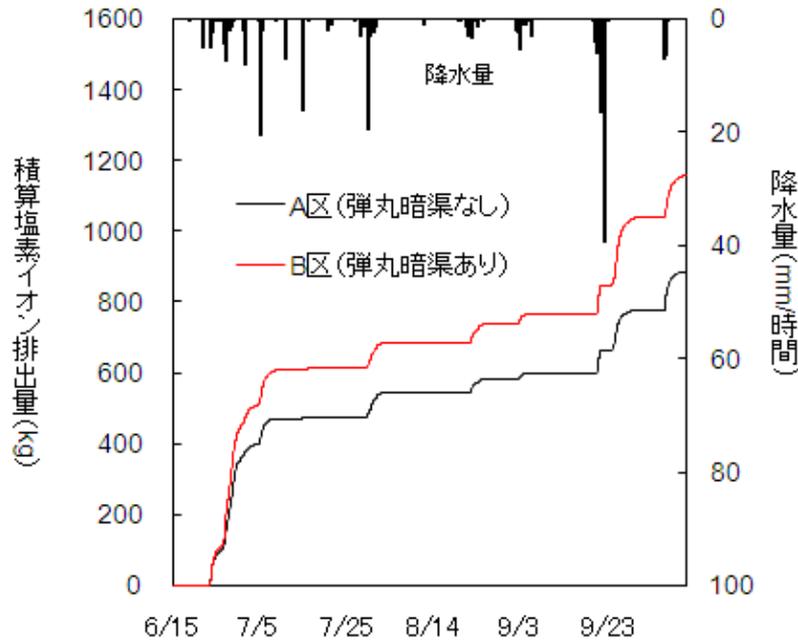
調査圃場(深度)		6月14日	7月9日
A区(弾丸暗渠なし)	0-10cm	1.5	0.5
	10-20cm	1.1	0.9
B区(弾丸暗渠あり)	0-10cm	0.9	0.3
	10-20cm	1.3	0.6

A区, B区とも表層の土壌EC(1:5)が約3分の1に低下
 B区では10cm以下の土層でも大きく低下

弾丸暗渠を施工することで除塩効果は高まる

32

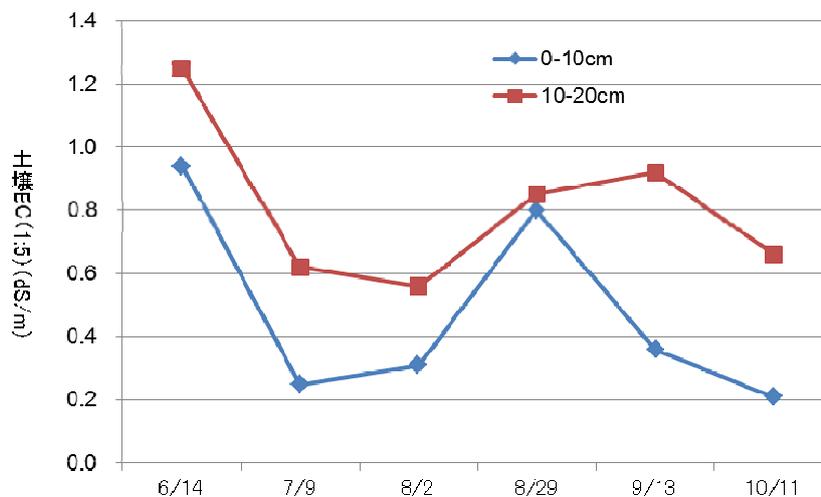
塩素イオン排出量(6-10月)



A区(弾丸暗渠なし) : 886kg , B区(弾丸暗渠あり) 1,202kg

33

土壌EC(1:5)の推移(B区(6-10月))



8月に一時上昇。降水が少なかったため毛管現象により、地下から水とともに塩分が上昇したと考えられる。9月の降雨で再び低下。塩害の再発を防ぐため、**除塩後のモニタリングが重要。**

34

内容

- 1.東日本大震災による農業被害の特徴
- 2.除塩法と暗渠排水システム
- 3.雨水の浸透除塩と弾丸暗渠の効果
- 4.除塩事業
- 5.被災農地の塩分モニタリング

35

除塩事業

調査地では排水機場と排水路の仮復旧が秋に完了し、11月から除塩事業が開始。



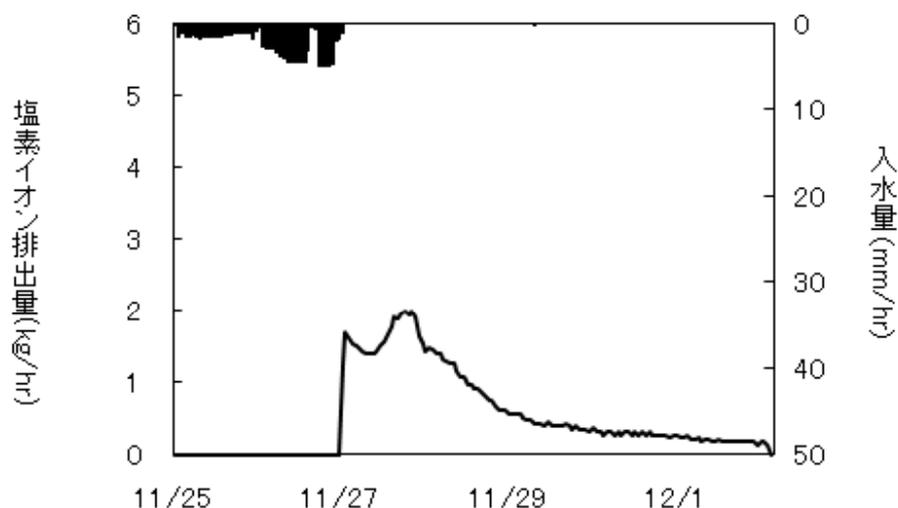
弾丸暗渠の施工(11/8)
この後耕起



湛水(11/27)

36

除塩事業による除塩量 (A区)



入水量116mm(347m³)

暗渠排水量88mm(262m³)以上(排水中に降雨あり)

塩素イオン排出量87kg

5月～10月の降雨で除塩はかなり進んだが、確実に塩分が排出

37

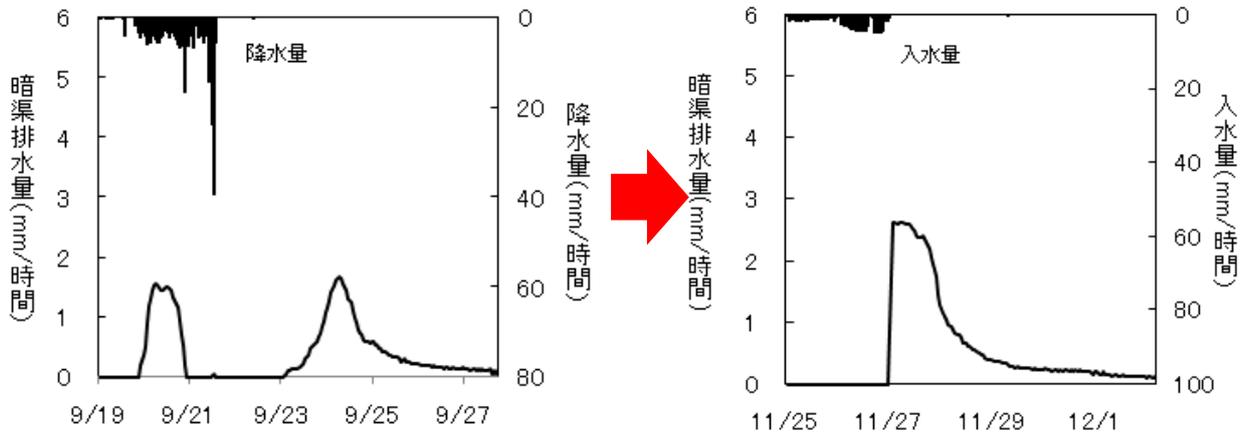
除塩事業前後の土壌EC (A区)

調査圃場(深度)	10月11日	12月2日
A区(弾丸暗渠なし)		
0-10cm	0.3	0.1
10-20cm	0.8	0.3
20-30cm	2.5	1.1
30-40cm	2.0	1.2

20cm以下の層で大きく低下

38

暗渠排水量の変化(A区)

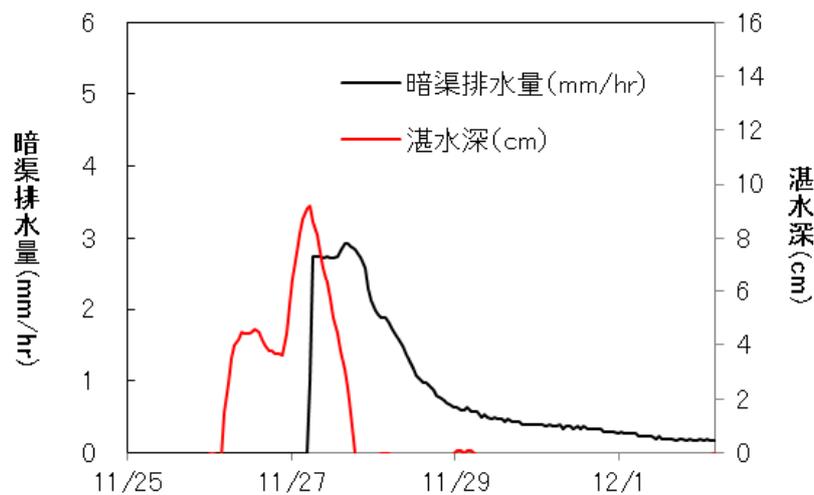


最大時間暗渠排水量が1.6mm/hr 2.6mm/hrに上昇

弾丸暗渠と耕起による効果

39

暗渠排水量と湛水深(B区)



暗渠解放後湛水深が急速に低下し19時間後になくなった。

湛水が1日程度でなくなるのが除塩における地下排水能力の目標か？

40

内容

- 1.東日本大震災による農業被害の特徴
- 2.除塩法と暗渠排水システム
- 3.雨水の浸透除塩と弾丸暗渠の効果
- 4.除塩事業
- 5.被災農地の塩分モニタリング

41

塩分のモニタリング

調査圃場



暗渠が機能している館腰地区A区と暗渠が機能していない寺島地区を比較



42

調査機器



ECセンサー (デカゴン社5TE)



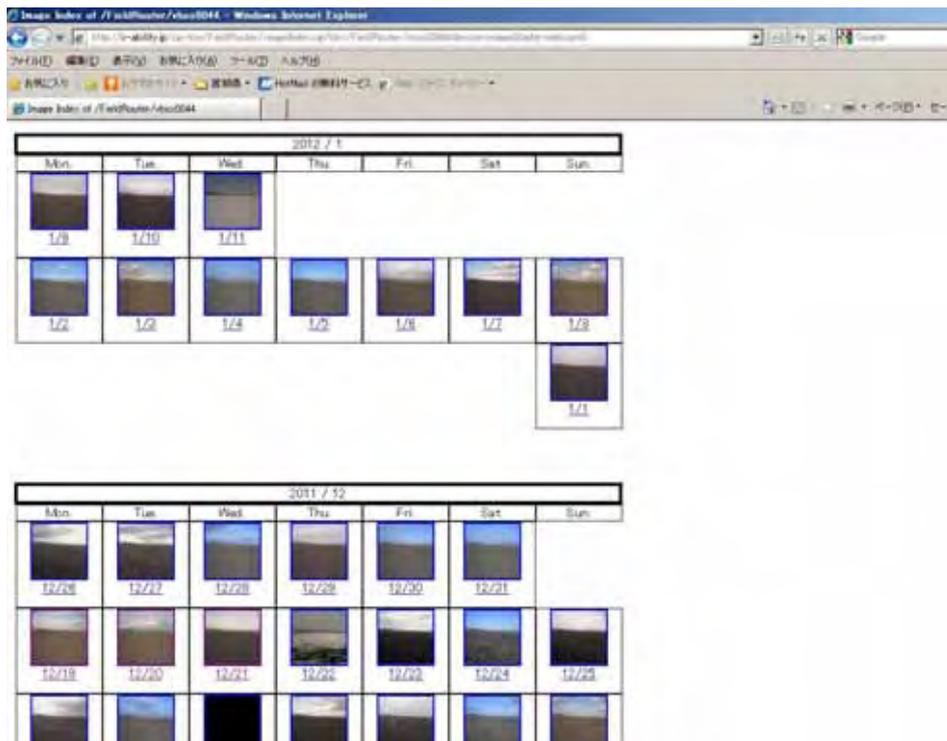
フィールドルーター

・調査項目

- 電気伝導度 (Bulk EC), 体積含水率, 降水量, 地温, 地下水位
- 毎日正午に内蔵カメラで圃場を撮影
- 地下水位以外のデータはインターネットで確認と回収が可能

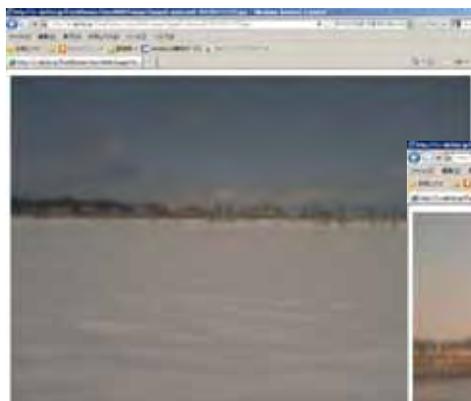
43

調査圃場の映像の確認画面

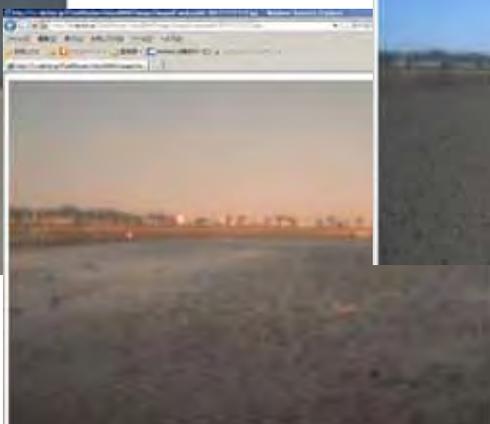


44

調査圃場の映像(館腰地区)



雪に覆われている
2012.1.11



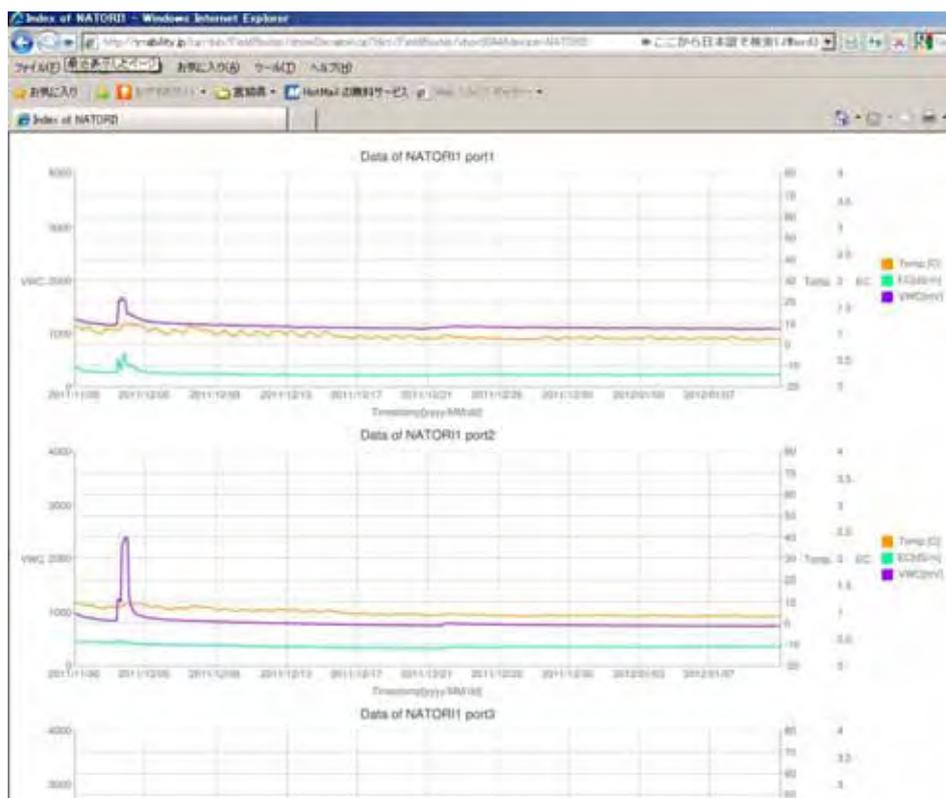
除塩事業で湛水
2011.11.27



晴天時
2011.11.17

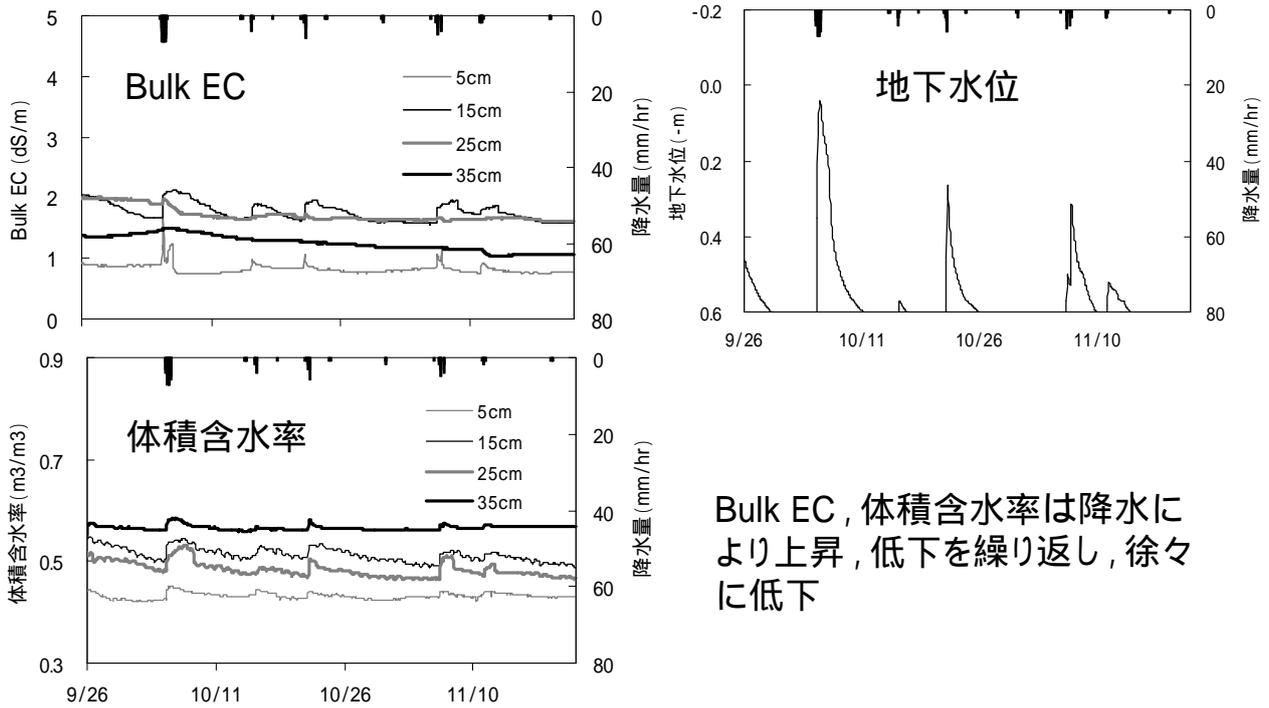
45

モニタリングデータの確認画面



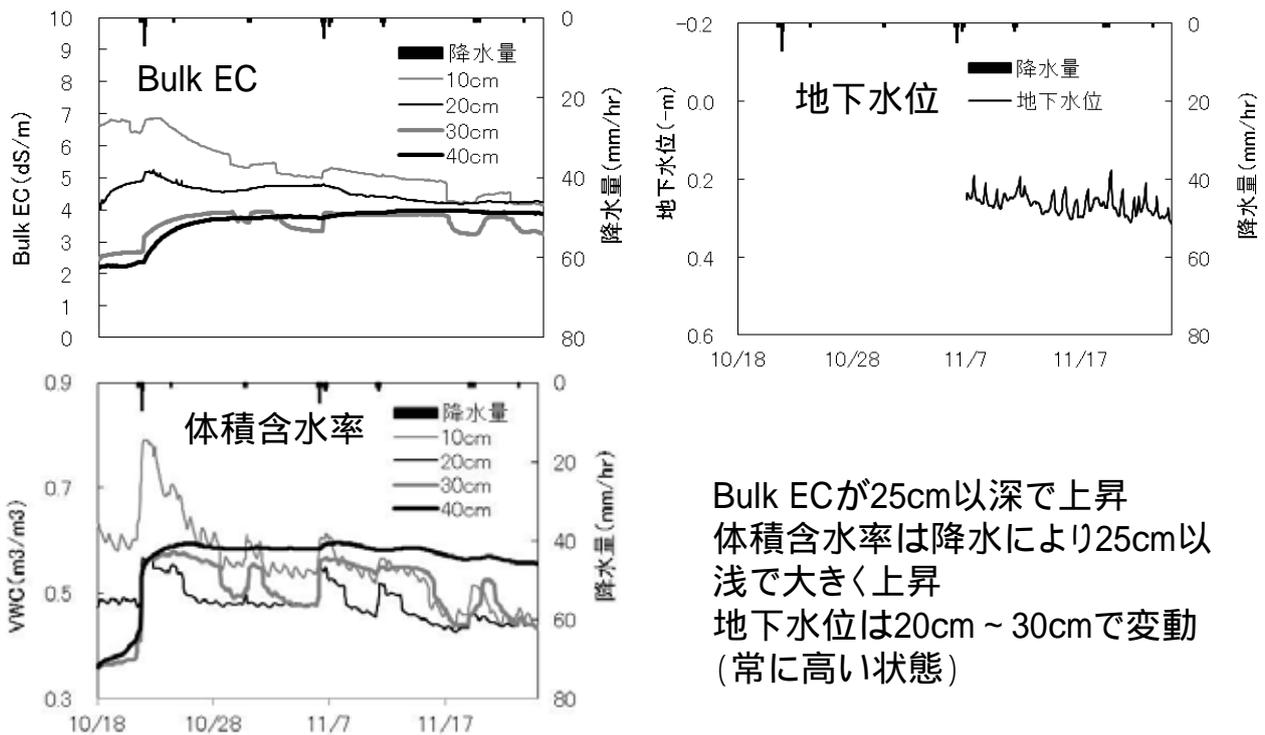
46

モニタリング結果(館腰地区)



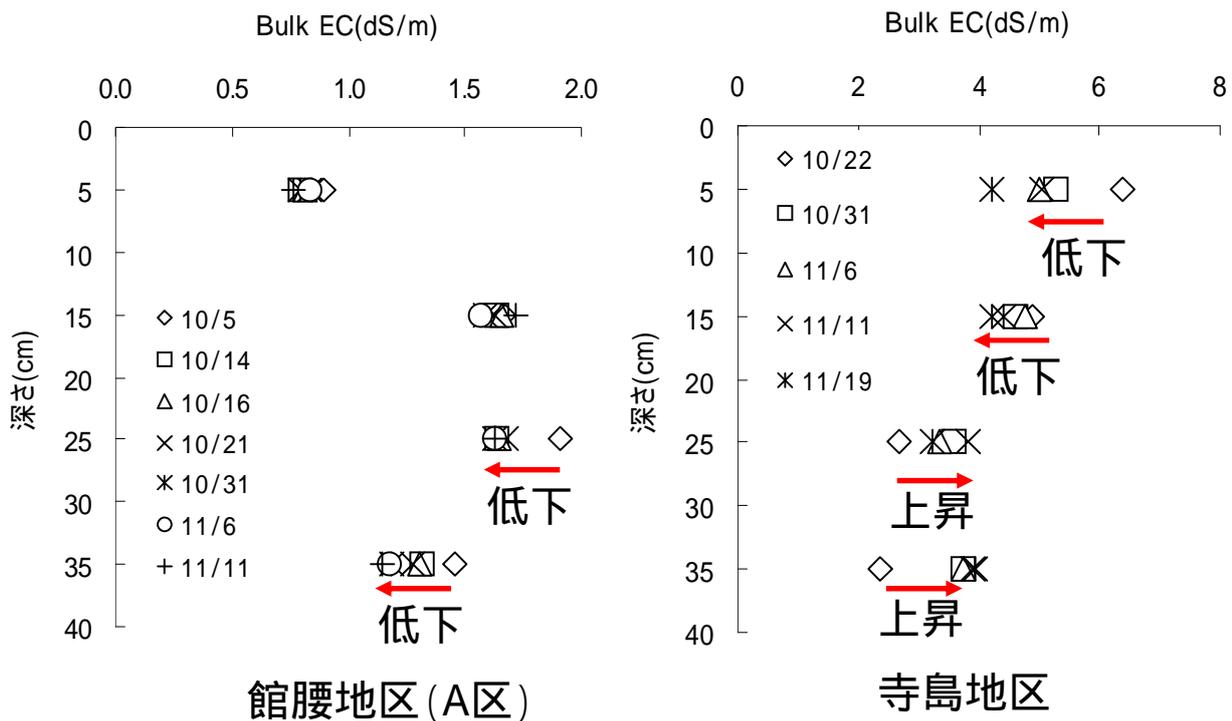
47

モニタリング結果(寺島地区)



48

Bulk EC (降水直前時)の推移



49

まとめ

- 雨水が土壤中に浸透し、暗渠から排出される過程で塩分が排出される。暗渠を開放するだけでも効果がある。ただし、排水路の水位が低いこと(排水機場が復旧していること)が重要である。
- 暗渠排水量が大きいほど、除塩効果は高い。弾丸暗渠を施工するとともに、耕起をすると除塩効果は高まる。
- 浸透除塩は地下排水機能を高めることで代かき除塩では困難な下層土の除塩も可能である。
- 除塩後長期間降水がない場合は下層から塩分が上昇し、塩害を再発するおそれもある。当た値利用の場合はモニタリングなどが重要。
- 暗渠が機能していない排水不良水田は雨水による除塩が進んでいないものがある。
- 暗渠が整備されていない水田、暗渠が古くなって機能が低下している水田、暗渠が機能していない水田は、暗渠の整備や復旧が必要である。将来の営農にも大きく役立つ。

50

3-7 . 津波による被災農地の除塩技術（畑地編）

V. 津波による被災農地の 除塩技術(その3) ＜畑地編＞

(財)日本水土総合研究所

1

— 目 次 —

- 1 . 津波被災状況と調査位置
 - 1) 地震・津波による農業への被害状況
 - 2) 実証試験ほ場詳細位置
- 2 . 試験ほ場の概況
 - 1) 調査開始前の作業状況
 - 2) 試験ほ場の土層
 - 3) 試験ほ場の土壌物理性
- 3 . 除塩実証試験概要
 - 1) 試験期間
 - 2) 試験方法
 - 3) 石灰質資材投入量の設定
 - 4) かん水量(除塩用水量)の設定
 - 5) 除塩の目標値の設定

2

4. 除塩効果確認（土壌試験）

1) 除塩効果確認のための土壌試験

5. 除塩用水の確保

6. かん水の散水方法

7. 除塩実証試験標準作業工程

8. 降水量及びかん水量

9. 実証試験の検証

1) 検証パターン 1

2) 検証パターン 2

3) 検証パターン 3

4) 検証パターン 4

10. 実証試験結果の取りまとめ

参考資料. 試験 から試験 の結果

3

1. 津波被害状況と調査位置

1) 地震・津波による農業への被害状況

実証試験ほ場(宮城県亶理地区)

津波により冠水し、がれきに埋まった農地(宮城県仙台市)



※ 緑色は震災による被害が確認された17県



【津波による田畑が流失・冠水被害(6県)】

県名	流失・冠水等被害推定面積	田畑別内訳試算	
		田	畑
青森県	79 ha	76 ha	3 ha
岩手県	1,838 ha	1,172 ha	666 ha
宮城県	15,002 ha	12,685 ha	2,317 ha
福島県	5,923 ha	5,588 ha	335 ha
茨城県	531 ha	525 ha	6 ha
千葉県	227 ha	105 ha	122 ha
合計	23,600 ha	20,151 ha	3,449 ha

(資料)「津波により流失や冠水等の被害を受けた農地の推定面積(平成23年3月)」

【農業関係被害】

被害内容	被害数	被害額
農地の損壊	17,456箇所	3,992億円
農業用施設等の損壊	21,867箇所	3,911億円
農作物、家畜等の被害	—	118億円
農業・畜産関係施設等	—	397億円
合計	—	8,418億円

新潟県中越地震の被害額(1,026億円)の約8.2倍

破損した農道(岩手県奥州市)



がれきの堆積した幹線排水路(宮城県名取市)

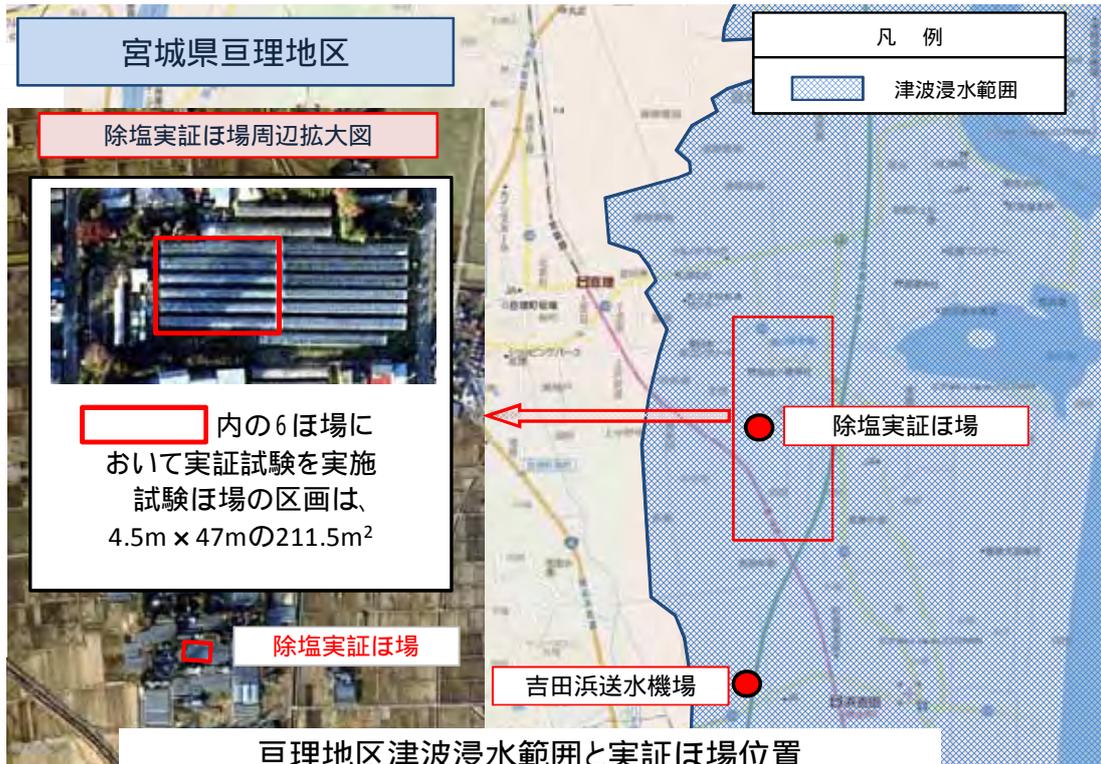
※被害関係の数値は平成23年8月23日時点

出典:農林水産省

4

2) 実証試験ほ場詳細位置

実証試験ほ場は、宮城県亶理郡亶理町長瀬地区のイチゴ畑である。詳細位置を下图に示す。



亶理地区周辺の津波被災状況

震災2日後(平成23年3月13日)



除塩実証試験前のイチゴ畑の状況

平成23年6月22日撮影



ガレキ・堆積物の撤去は、完了している状況であった。

7

2. 試験ほ場の概況

1) 調査開始前の作業状況 (H23.3/11 ~ H23.6/26)

堆積物・ガレキ撤去(~H23.5/10) ボランティアによる
ビニールハウスのビニールフィルム撤去(H23.6/10)

2) 試験ほ場の土層

試験ほ場は、作土層が約30cm程度。30cm以下の心土部は、黄土色の砂質土であった。
(右写真参照)



8

3) 試験ほ場の土壌物理性

試験ほ場の土壌の主な物理性

	粒径組成			土性	土粒子の密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和透水係数 (cm/s)
	砂	シルト	粘土				
作土	81 %	7 %	12 %	砂壤土 (SL)	2.70	1.24	2.8 × 10 ⁻³
心土	91 %	2 %	7 %	壤質砂土 (LS)	2.78	1.38	6.9 × 10 ⁻³

表II-1 土壌粒子の名称と粒径

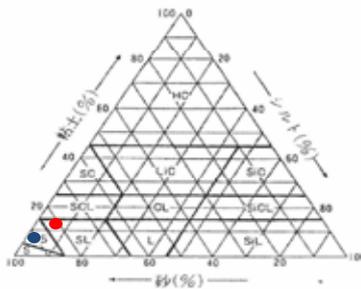
粒子名	直径(mm)
粗砂	2.0~0.2
細砂	0.2~0.02
シルト(微砂)	0.02~0.002
粘土	<0.002

粒径組成：ピペット法による

土性：国際土壌分類による

土粒子の密度：JIS A1202 による

飽和透水係数：変水位法による



図II-3 粒径組成

S：砂土 LS：壤質砂土 SL：砂壤土
L：壤土 SiL：シルト質壤土
SCL：砂質埴壤土 CL：埴壤土
SiCL：シルト質埴壤土 SC：砂質埴土
LiC：軽埴土 SiC：シルト質埴土
HC：重埴土

作土及び心土とも、透水係数が 1×10^{-3} cm/sと、透水性のよい土質であった。

9

3. 除塩実証試験概要

1) 試験期間

平成23年6月27日(月) ~ 平成23年8月10日(水)

2) 試験方法

実証試験では以下の除塩効果に着目した。

自然降雨による除塩効果

かん水による除塩効果

石灰質資材の投入による土壌物性値の改善による除塩促進効果

上記の除塩効果の組合せにより、より効率的かつ効果的な除塩手法を実証試験で検証するため、以下の ~ の試験を実施した。

かん水量 0m³/10a、石灰質資材投入量 200kg/10a

かん水量 0m³/10a、石灰質資材投入量 100kg/10a

かん水量 0m³/10a、石灰質資材投入量 0kg/10a

かん水量 0m³/10a、石灰質資材投入量 0kg/10a (心土破碎実施)

かん水量 50m³/10a、石灰質資材投入量 0kg/10a (心土破碎実施)

かん水量 50m³/10a、石灰質資材投入量 100kg/10a (心土破碎実施)

10

3) 石灰質資材投入量の設定

石灰質資材の投入量の目安は、以下を参考とした。

過去の高潮による除塩対策事業の石灰施用量を参考に、**100~200kg/10a**とした。(砂土、砂壤土について)

宮城県農業園芸環境課によると施用量は**100kg/10a**程度としていたこと。

4) かん水量(除塩用水量)の設定

砂質土壌の除塩に必要な真水の量は、香川県農業経営課によるカラム試験結果(平成16年12月)から、「10a当たり飽和状態で30t、乾燥状態で50t」と算出されていた。

ただし、この数値は、室内試験結果から推定されたものであるため、今回の実証試験では、1日当たりのかん水作業時間も考慮し、**10a当たり50t(m³)を4回に分けてかん水**することとし、段階的な除塩効果の確認も同時に行うこととした。

なお、除塩の目標値まで塩素濃度が減少しなかった場合には、継続して、かん水を行うこととした。

11

5) 除塩の目標値の設定

(イチゴ栽培における、土壌中の塩素の限界濃度)

除塩の目安となる塩素濃度目標値の設定に当たっては、以下を参考とした。

宮城県農産園芸環境課によると、イチゴ栽培に関する指標として、土壌中の塩素濃度を**40~50mg/100g (0.04%~0.05%)**

香川県・佐賀県では、作物の生育に被害を及ぼす限界濃度の目安として**40~50mg/100g (0.04~0.05%)**

徳島県では、塩害の恐れのない塩分の目安として**20mg/100g (0.02%)**としている。

などの目安がある。

また、当該地区は、地下水位が高いため、今後地下水の移動等による塩分濃度の変動があった場合でも安全側となるよう、これらの中間値を採用し、除塩の目標値としての塩素濃度を**30mg/100g (0.03%)**と設定した。

12

4 . 除塩効果確認（土壌試験）

1) 除塩効果確認のための土壌試験

土壌試験

土壌中の塩素濃度を確認するために、**塩素濃度イオンと相関性のあるEC値（電気伝導度）**を測定することで、除塩効果の確認を行った。

測定頻度

EC値の測定頻度は、かん水による段階的な除塩効果も把握するため、「**試験開始前**」「**かん水後**」「**試験終了後**」とした。

使用した電気伝導率計
CM - 25R
(東亜データケータ株式会社)

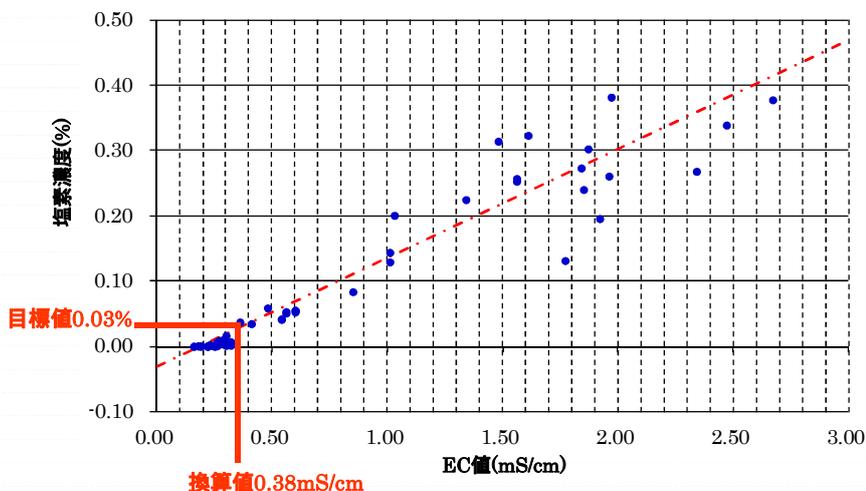


CM - 25R

13

塩素濃度と電気伝導度(EC値)との関係

実証試験ほ場において、EC値と併せて塩素濃度分析を57検体について試験を行った結果、以下の相関関係を算出した。

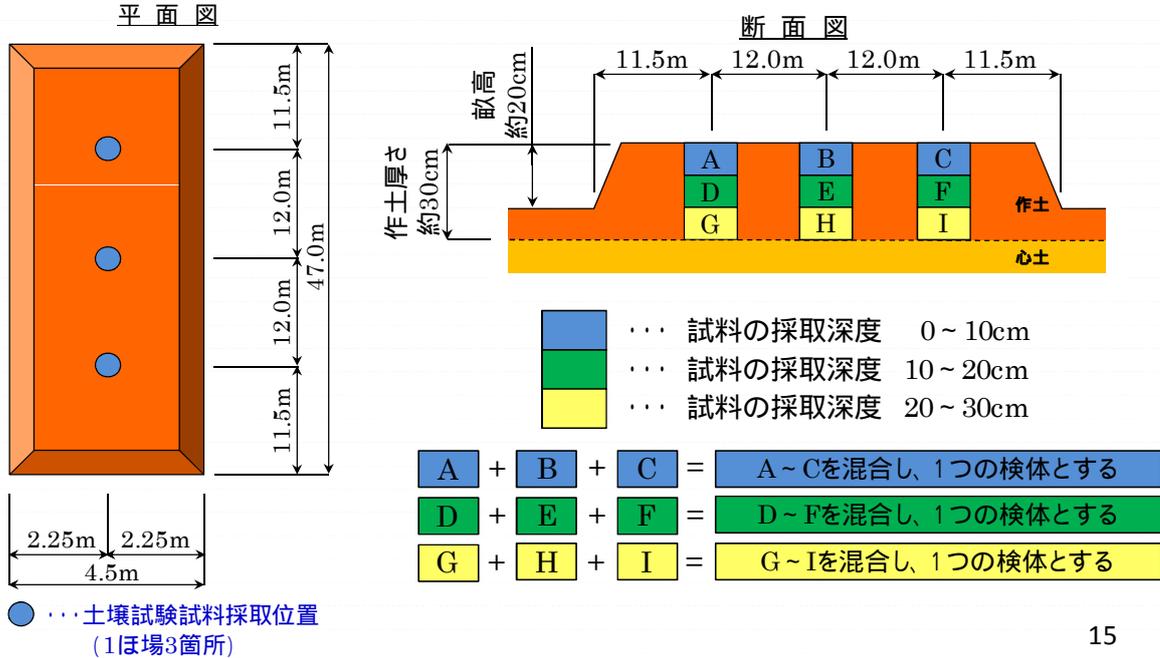


相関式は、 $[CL(\%)] = 0.16[EC(mS/cm)] - 0.03$ (相関係数0.95) となり、この式から除塩目標値の塩素濃度0.03%は、 $EC = 0.38mS/cm$ となる。

14

土壌試料の採取方法

土壌試料位置は、下図に示すように、1ほ場当たり3ヶ所とし、1ヶ所当たり30cm採取した。さらに、30cmの試料は、現地で3等分（深さ0～10cm、10～20cm、20cm～30cm）し、各深度ごとの3ヶ所分の試料を混合し、1つの検体とした。



15

【試料採取状況】



試料採取状況
(30cm分採取)



深度ごとに切出し

16

5 . 除塩用水の確保

試験ほ場周辺は、地下水位が高く（地表から1m程度）、従来より地下水をかんがい用水として利用していたが、津波による浸水後、地下水の塩分濃度が高くなり、除塩用水には適用できない状態であった。



試験ほ場近傍での試掘による地下水状況確認

17

試験ほ場から南に約3km離れた地区に、吉田浜送水機場の貯水槽があり、津波による直接的な浸水を免れていたため、貯水槽内の用水を除塩用水として使用することとした。

いちこの栽培に使用する用水の指標として、宮城県農産園芸環境課では**限界塩素濃度を210ppm以下**としており、これを香川県農業経営課資料のECとの相関式 $CL(ppm) = EC \times 370$ で換算した場合、**EC値は0.6mS/cm以下**程度となる。

なお、貯水槽内の水のEC値は、検査結果から**0.2mS/cm**であったため、除塩用水として使用することとした。



吉田浜送水機場貯水槽



貯水槽からの給水設備 (HIVP50使用)

18

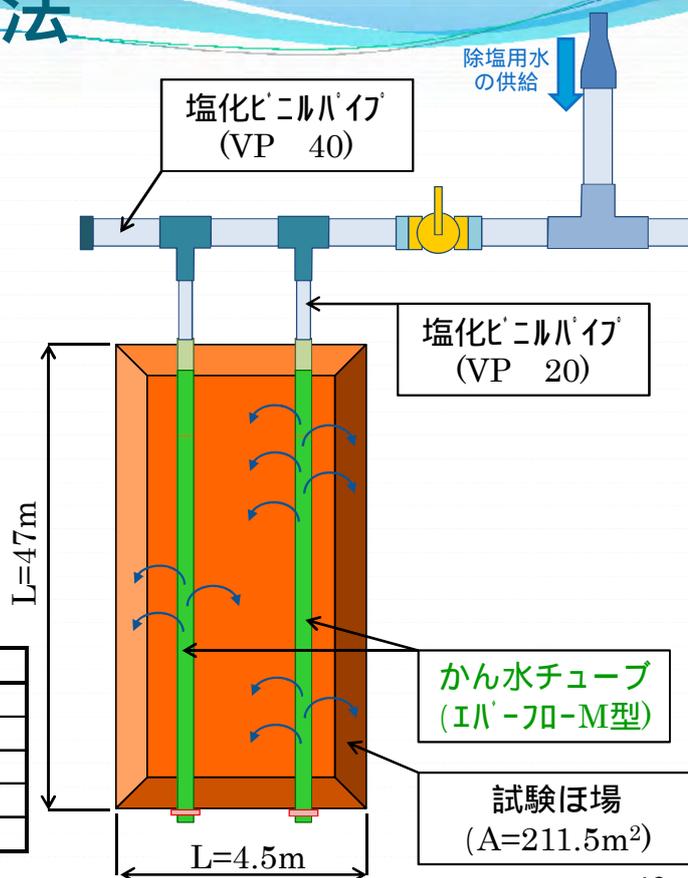
6 . かん水の方法

試験ほ場における、除塩用水のかん水方法として、かん水チューブ（エバーフローM型）を使用した。

右図のように、1ほ場あたり2本のかん水チューブを配置し、給水ポンプにより、除塩用水を供給した。

下表に、かん水チューブの仕様を示す。

項目	仕様
材質	特殊ポリエチレン
内径	約 23mm
最高使用圧力	1.0kg/cm ²
散水幅	0.6 ~ 2.0m
水量	0.2 ~ 0.5 $\frac{\text{L}}{\text{分} \cdot \text{m}}$



19

試験ほ場での除塩かん水状況写真

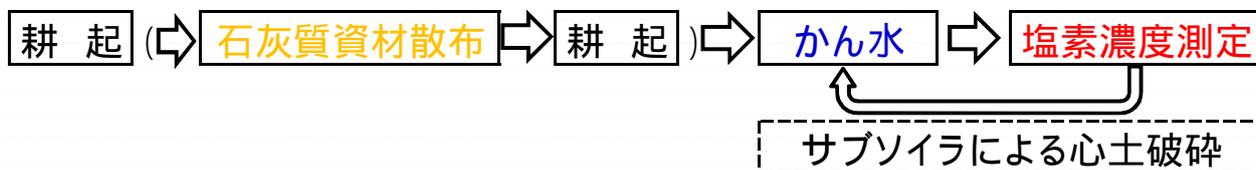


エバーフローM型

20

7. 除塩実証試験標準作業工程

除塩実証試験の標準的な作業工程は、以下の通りとした。



除塩目標値である塩素濃度0.03% (EC = 0.38mS/cm) になるまで、かん水作業を繰り返す。

実証試験に当たり、計画かん水量の50t(m³)/10aを散水後、一部のほ場の下層部において、塩素濃度の変動が停滞していたため、追加のかん水前に、縦方向の浸透性向上を目的とし、サブソイラによる心土破碎を実施した。

21

除塩作業状況写真



耕起状況



かん水状況



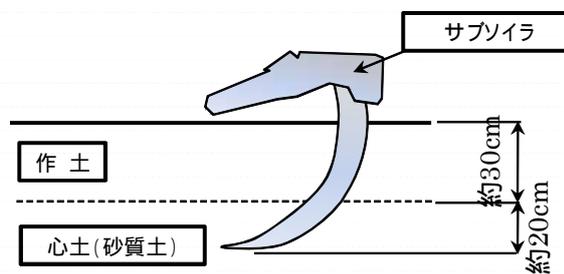
石灰質資材散布状況



サブソイラによる心土破碎



石灰質資材散布後、耕起



22

8. 降水量及びかん水量

試験期間中の降水量は、6月24日～8月10日までの間に、**累計193mm**を記録した。

また、かん水は、8回実施しており、**累計96.8mm**の散水を実施した。

降雨量とかん水量の合計は**約290mm**であった。

日付	日降水量 (mm)	累計降水量 (mm)	日かん水量 (mm)	累計かん水量 (mm)	備考欄
6月24日	0.0	0.0	0.0	0.0	
6月25日	4.5	4.5	0.0	0.0	
6月26日	36.5	41.0	0.0	0.0	
6月27日	28.5	69.5	7.1	7.1	1回目かん水
6月28日	3.5	73.0	4.7	11.8	
6月29日	0.0	73.0	0.0	11.8	
6月30日	0.0	73.0	11.8	23.6	2回目かん水
7月1日	14.0	87.0	0.0	23.6	
7月2日	0.0	87.0	0.0	23.6	
7月3日	0.0	87.0	0.0	23.6	
7月4日	13.5	100.5	11.8	35.4	3回目かん水
7月5日	3.0	103.5	0.0	35.4	
7月6日	0.0	103.5	0.0	35.4	
7月7日	0.0	103.5	14.2	49.6	4回目かん水(計画かん水量 50t/10a完了)
7月8日	0.0	103.5	0.0	49.6	
7月9日	0.0	103.5	0.0	49.6	
7月10日	0.0	103.5	0.0	49.6	
7月11日	0.0	103.5	11.8	61.4	5回目かん水
7月12日	0.0	103.5	0.0	61.4	
7月13日	0.0	103.5	0.0	61.4	
7月14日	3.5	107.0	11.8	73.2	6回目かん水
7月15日	0.0	107.0	0.0	73.2	
7月16日	0.0	107.0	0.0	73.2	
7月17日	0.0	107.0	0.0	73.2	
7月18日	0.0	107.0	11.8	85.0	7回目かん水
7月19日	0.5	107.5	0.0	85.0	
7月20日	26.5	134.0	11.8	96.8	8回目かん水
7月21日	13.5	147.5	0.0	96.8	
7月22日	0.0	147.5	0.0	96.8	
7月23日	0.5	148.0	0.0	96.8	
7月24日	0.0	148.0	0.0	96.8	
7月25日	1.0	149.0	0.0	96.8	
7月26日	0.5	149.5	0.0	96.8	
7月27日	9.0	158.5	0.0	96.8	
7月28日	15.0	173.5	0.0	96.8	
7月29日	0.0	173.5	0.0	96.8	
7月30日	4.5	178.0	0.0	96.8	
7月31日	15.0	193.0	0.0	96.8	
8月1日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月2日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月3日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月4日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月5日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月6日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月7日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月8日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月9日	0.0	193.0	0.0	96.8	
8月10日	0.0	193.0	0.0	96.8	

23

9. 実証試験の検証

実施した～の試験結果を相互に比較することにより、除塩効果の対比検証を行った。

かん水量	0m ³ /10a、	石灰質資材投入量	200kg/10a
かん水量	0m ³ /10a、	石灰質資材投入量	100kg/10a
かん水量	0m ³ /10a、	石灰質資材投入量	0kg/10a
かん水量	0m ³ /10a、	石灰質資材投入量	0kg/10a (心土破碎実施)
かん水量	50m ³ /10a、	石灰質資材投入量	0kg/10a (心土破碎実施)
かん水量	50m ³ /10a、	石灰質資材投入量	100kg/10a (心土破碎実施)

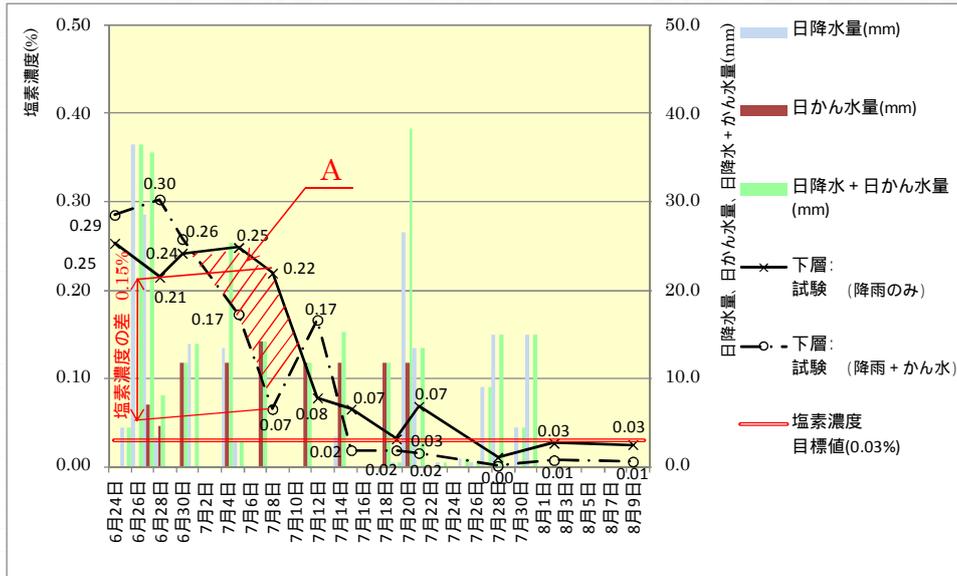
検証パターンを以下に示す。

- 【検証パターン1】 比較対象：試験 と試験
「降雨」と「かん水+降雨」による除塩効果の比較(石灰質資材投入無)
- 【検証パターン2】 比較対象：試験 と試験
「降雨」と「かん水+降雨」による除塩効果の比較(石灰質資材投入有)
- 【検証パターン3】 比較対象：試験 と試験
「石灰質資材投入」の有無による比較
- 【検証パターン4】 比較対象：試験 と試験
「サブソイラ」による除塩促進効果の比較

24

1) 検証パターン1

「降雨」と「かん水+降雨」による除塩効果の比較（石灰質資材投入無）



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (20~30cm)		0.25	0.21	0.24	0.25	0.22	0.08	0.07	0.03	0.07	0.01	0.03
試験 (20~30cm)		0.29	0.30	0.26	0.17	0.07	0.17	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01
累積降水量(mm)	0.0	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0
累積かん水量(mm)	0.0	0.0	11.8	23.6	35.4	49.6	61.4	73.2	85.0	96.8	96.8	96.8
累積降水+かん水量(mm)	0.0	0.0	84.8	96.6	138.9	153.1	164.9	180.2	192.5	244.3	270.3	289.8

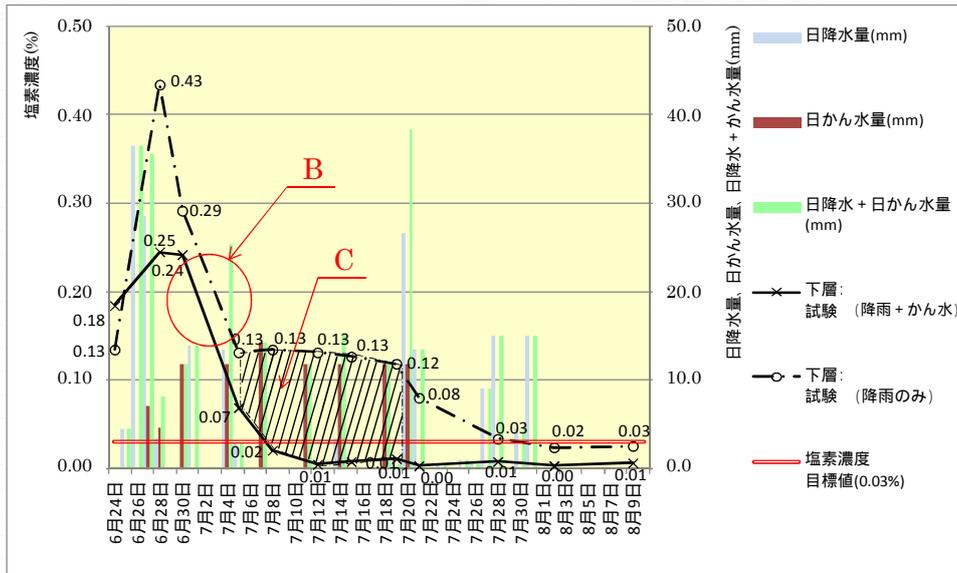
赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量、累積かん水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量、かん水量の総和を表す。

2) 検証パターン2

「降雨」と「かん水+降雨」による除塩効果の比較（石灰質資材投入）



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (20~30cm)		0.18	0.25	0.24	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
試験 (20~30cm)		0.13	0.43	0.29	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.08	0.03	0.02
累積降水量(mm)	0.0	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0
累積かん水量(mm)	0.0	0.0	11.8	23.6	35.4	49.6	61.4	73.2	85.0	96.8	96.8	96.8
累積降水+かん水量(mm)	0.0	0.0	84.8	96.6	138.9	153.1	164.9	180.2	192.5	244.3	270.3	289.8

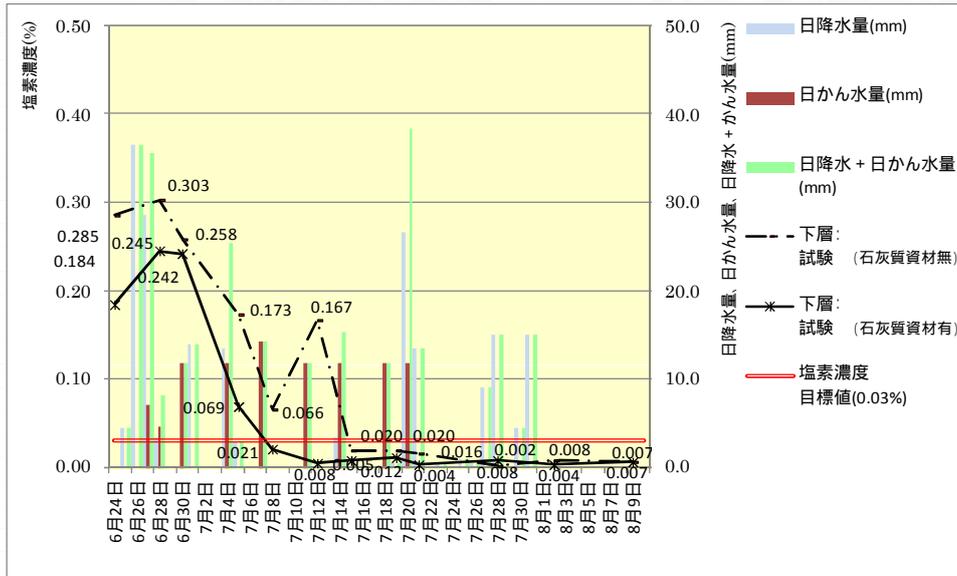
赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量、累積かん水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量、かん水量の総和を表す。

3) 検証パターン3

「石灰質資材投入」の有無による比較



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (20~30cm)	0.29	0.30	0.26	0.17	0.07	0.17	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01
試験 (20~30cm)	0.18	0.25	0.24	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
累積降水量(mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0
累積かん水量(mm)	0.0	11.8	23.6	35.4	49.6	61.4	73.2	85.0	96.8	96.8	96.8	96.8
累積降水+かん水量(mm)	0.0	84.8	96.6	138.9	153.1	164.9	180.2	192.5	244.3	270.3	289.8	289.8

赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

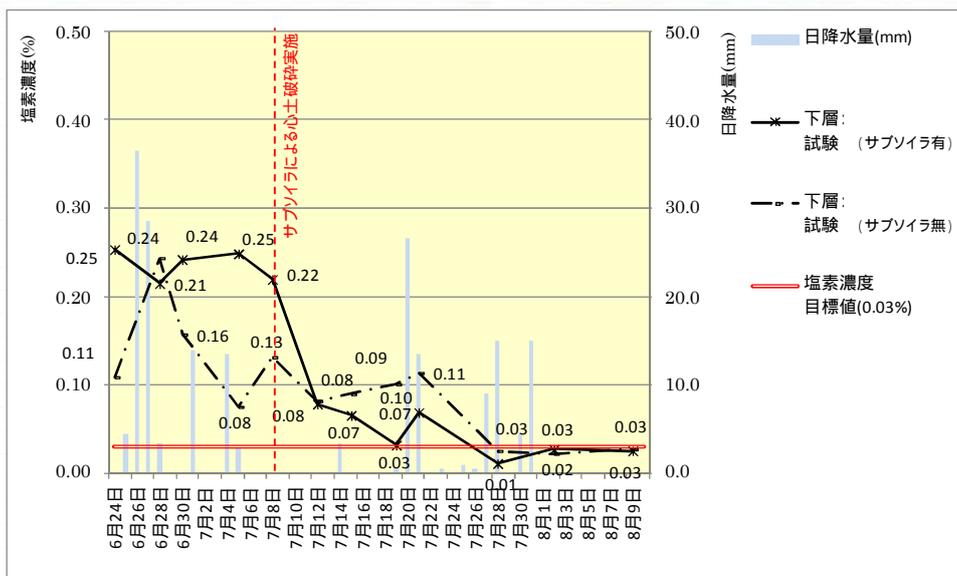
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量、累積かん水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量、かん水量の総和を表す。

27

4) 検証パターン4

「サブソイラ」による除塩促進効果の比較



EC値測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (20~30cm)	0.25	0.21	0.24	0.25	0.22	0.08	0.07	0.03	0.07	0.01	0.03	0.03
試験 (20~30cm)	0.11	0.24	0.16	0.08	0.13	0.08	0.09	0.10	0.11	0.03	0.02	0.03
累積降水量(mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0

赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量、累積かん水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量、かん水量の総和を表す。

28

10. 実証試験結果のとりまとめ

(1) 試験ほ場は、透水係数が 1×10^{-3} (cm/s)であり、透水性のよい畑地といえる。

上層及び中層(地表面～20cm)は、自然降雨のみでも十分に除塩が進んだが、下層(20～30cm)では、上層及び中層と比べ、塩素濃度の低下傾向が緩慢で、かん水をすることで除塩を促進することができた。

今回の試験では、**上層及び中層(地表面～20cm)**については、除塩用水量の目安として、**100t(m³)/10a程度**であった。

ただし、前述したように**下層(20～30cm)**については、同じ条件のほ場であってもEC値にバラツキがあるため、**150～180t(m³)/10a程度**かん水した段階で、塩素濃度を測定することが望ましいと考える。

(2) 今回使用したかん水チューブは、微細噴霧による散水であったため、比較的効率的に土壤へ浸透したと思われる。

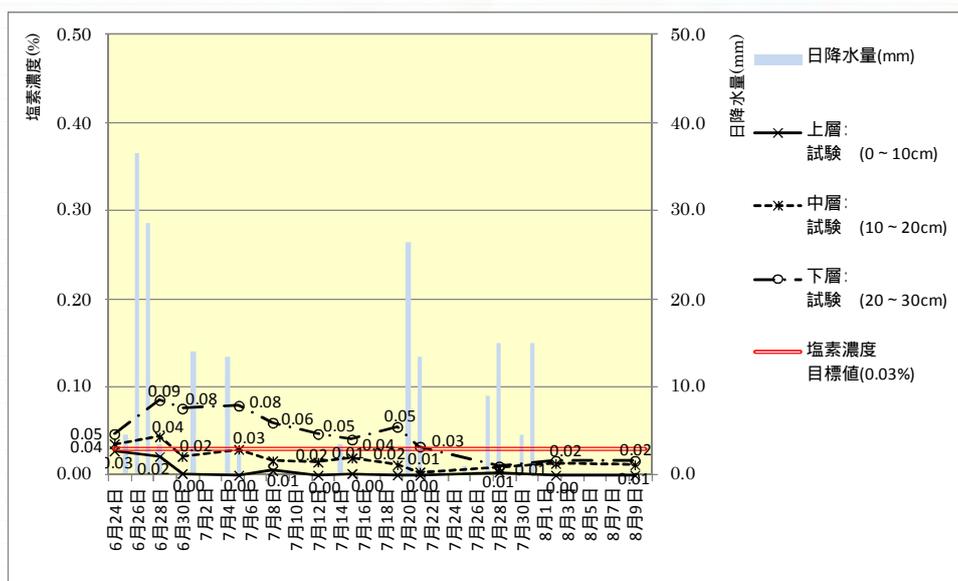
(3) 土壤粒子に付着したナトリウムの溶脱促進を目指した石灰質資材の投入は、効果が確認できなかった。これは、試験ほ場が、砂質土(SL、LS)であり、粘土分が少ないことによるものと考えられる。

(4) サブソイラによる縦浸透性の向上については、グラフ上ではその効果が確認できるが、確実な除塩促進効果が得られるかは不明である。

29

参考資料

【試験】石灰質資材 200kg/10a、かん水 0m³/10a



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (0～10cm)	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
試験 (10～20cm)	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
試験 (20～30cm)	0.05	0.09	0.08	0.08	0.06	0.05	0.04	0.05	0.03	0.01	0.02	0.02
累積降水量(mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0

赤数字 … 目標塩素濃度(0.03%)以上

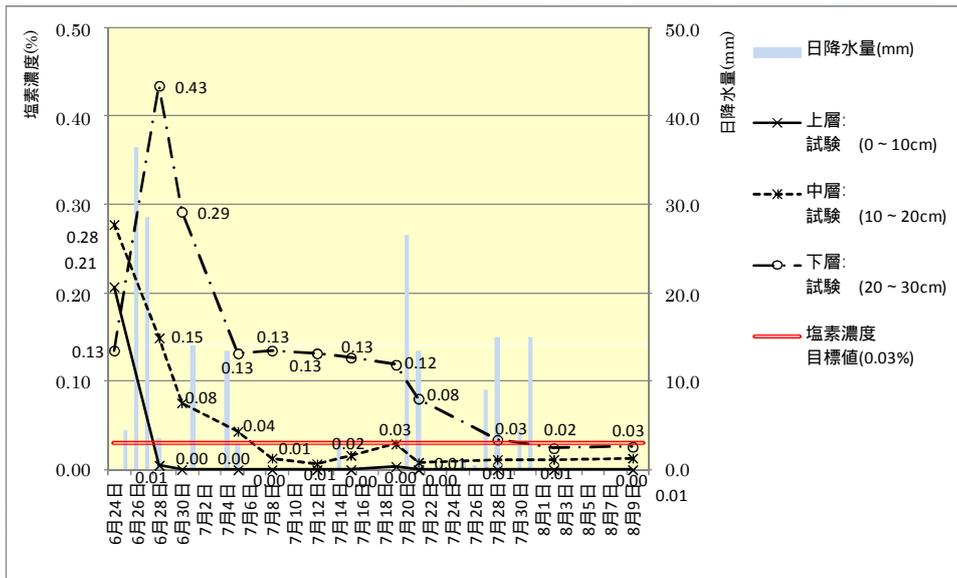
青数字 … 目標塩素濃度(0.03%)以下

累積降水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量の総和を表す。

30

参考資料

【試験】石灰質資材 100kg/10a、かん水 0m³/10a



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (0~10cm)	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
試験 (10~20cm)	0.28	0.15	0.08	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
試験 (20~30cm)	0.13	0.43	0.29	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.08	0.03	0.02	0.03
累積降水量 (mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0

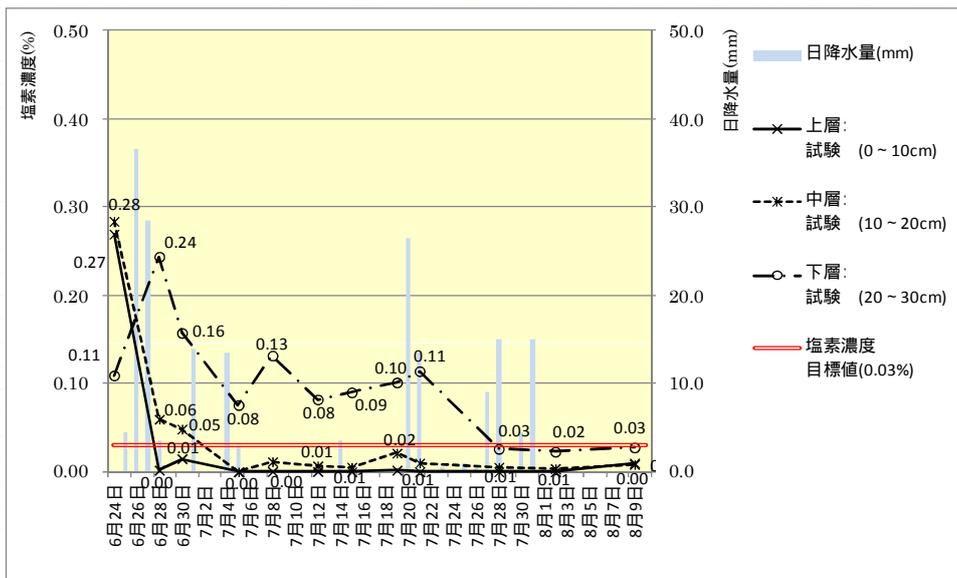
赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量の総和を表す。

参考資料

【試験】石灰質資材 0kg/10a、かん水 0m³/10a



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (0~10cm)	0.27	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
試験 (10~20cm)	0.28	0.06	0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01
試験 (20~30cm)	0.11	0.24	0.16	0.08	0.13	0.08	0.09	0.10	0.11	0.03	0.02	0.03
累積降水量 (mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0

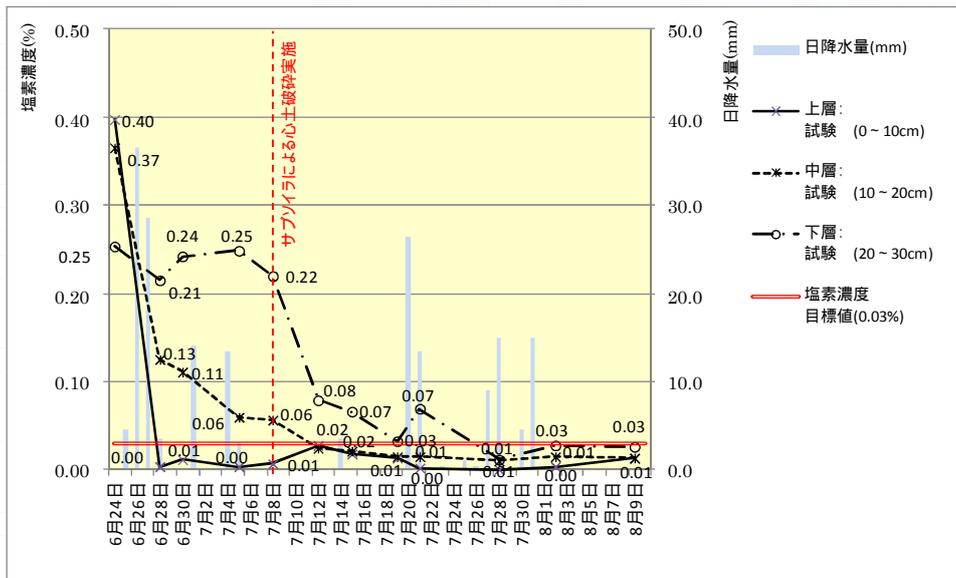
赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量の総和を表す。

参考資料

【試験】石灰質資材 0kg/10a、かん水 0m³/10a (心土破碎実施)



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (0~10cm)	0.40	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
試験 (10~20cm)	0.37	0.13	0.11	0.06	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
試験 (20~30cm)	0.25	0.21	0.24	0.25	0.22	0.08	0.07	0.03	0.07	0.01	0.03	0.03
累積降水量 (mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0

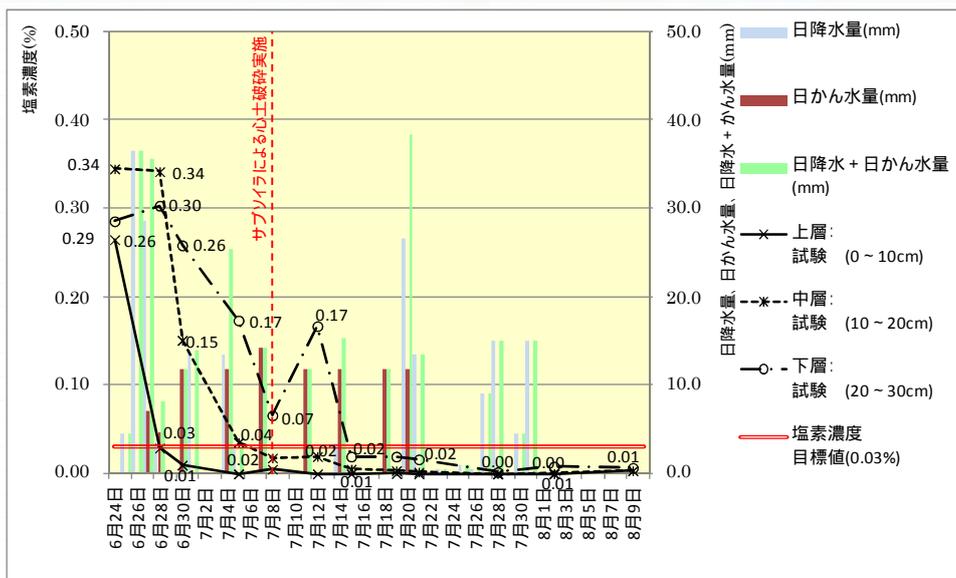
赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量の総和を表す。

参考資料

【試験】石灰質資材 0kg/10a、かん水 50m³/10a (心土破碎実施)



測定日	6/24(試験前)	6/28	6/30	7/5	7/8	7/12	7/15	7/19	7/21	7/28	8/2	8/9
試験 (0~10cm)	0.26	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
試験 (10~20cm)	0.34	0.34	0.15	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
試験 (20~30cm)	0.29	0.30	0.26	0.17	0.07	0.17	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01
累積降水量 (mm)	0.0	73.0	73.0	103.5	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	193.0
累積かん水量 (mm)	0.0	11.8	23.6	35.4	49.6	61.4	73.2	85.0	96.8	96.8	96.8	96.8
累積降水+かん水量 (mm)	0.0	84.8	96.6	138.9	153.1	164.9	180.2	192.5	244.3	270.3	289.8	289.8

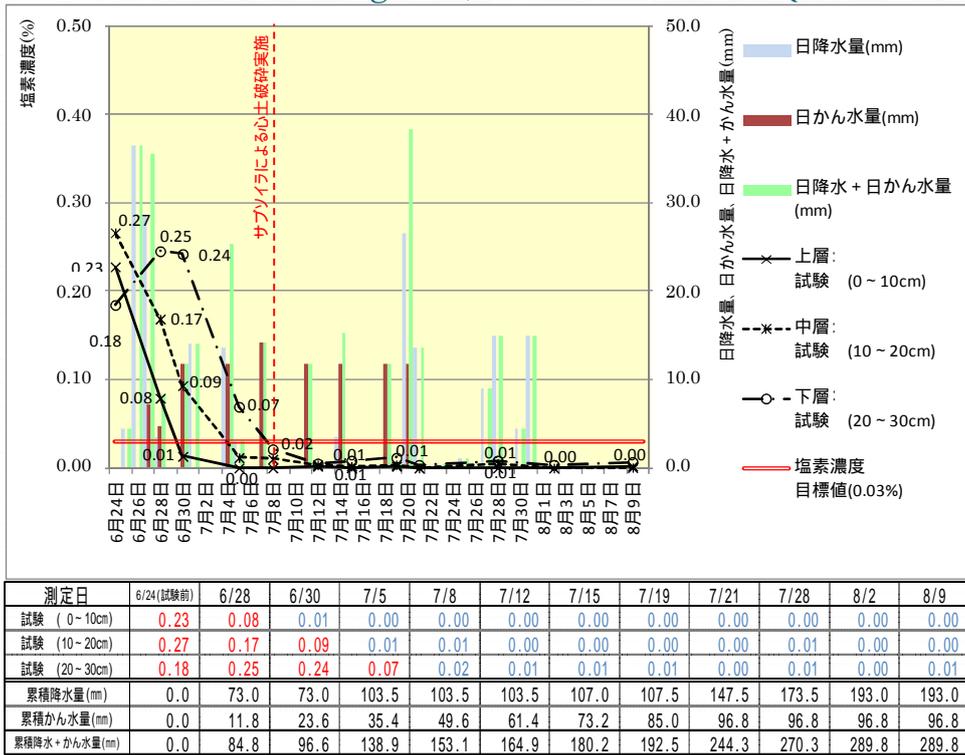
赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量、累積かん水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量、かん水量の総和を表す。

参考資料

【試験】石灰質資材 100kg/10a、かん水 50m³/10a (心土破碎実施)



赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

累積降水量、累積かん水量は、実証試験前のEC測定日から各測定日までの降水量、かん水量の総和を表す。



実証試験ほ場 (平成23年10月6日撮影)

ご静聴ありがとうございました

3-8 . 津波による被災農地の除塩技術（石灰質資材の施用）

農地の除塩技術の研修会

津波による被災農地の除塩技術 (その3) <石灰質資材の施用>

創立120年



東京農業大学 後藤 逸男 1

農地の塩害

浸透圧ストレス

土壤水の浸透圧が増加しそれがある程度以上になると、
作物の根の水分吸収機能が低下し、作物の生育が減退する。

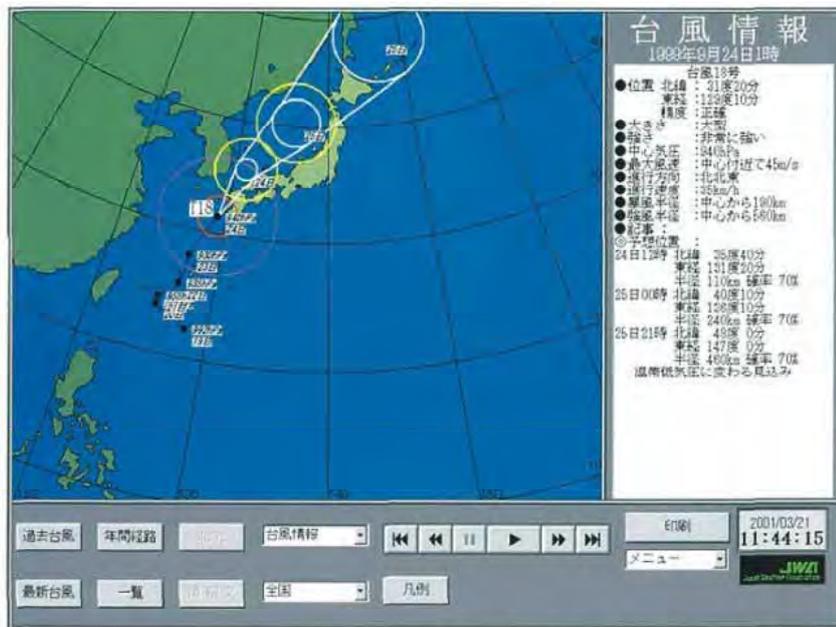
イオンストレス

海水によって土壤中に多量にもたらされたナトリウムイオンや塩素イオンなどの有害な成分を異常吸収したり、カルシウムやカリウム等の養分の吸収が阻害されたりして、作物の栄養と代謝機能に異常をきたす。

間接的障害

海水中に多量に含まれるナトリウムイオンが土壤粒子表面に吸着され、土壤の単粒化(団粒構造の破壊)や固結化など、土壤の物理性が悪化するために作物の生育障害を引き起こす。

農水省除塩マニュアルの原点は1999年(平成11年)の台風18号による高潮塩害対策



平成11年台風18号塩害対策試験成績書

熊本県農業研究センター

平成11年熊本県を襲った台風18号は、風速50m/秒を超え、
 不知火海沿岸に高潮被害を発生させた。
 海水及び泥土が流入した面積は1,426haに及び、
 3
 水稲、トマト、キャベツ等の農作物を収穫皆無にした。



東日本大震災による津波被害(相馬市)

5地点の堆積土砂についての分析結果

塩素イオン: 1,720 ~ 4,030mg/100g
 平均2,560mg/100g

Na₂O : 1,540 ~ 3,120mg/100g
 平均2,350mg/100g

(2011年5月)



熊本県八代沿岸での高潮被害

22地点の堆積泥土についての分析結果

塩素イオン: 347 ~ 3204mg/100g
 平均1528mg/100g

Na₂O : 407 ~ 2,300mg/100g
 平均1,170mg/100g



長崎県の諫早干拓地

干拓地土壤は、全層海底土砂

干拓後5年間かけて熟畑化

除塩

緑肥の作付・鋤き込み

家畜ふん堆肥の施用

表1 中央干拓地試験ほ場造成直後の土壤の化学性 (2000年3月)

層位	深さ (cm)	pH(H ₂ O) (1:2.5)	EC(1:5) (ms/cm)	CEC (me/乾土100g)	交換性陽イオン(mg/乾土100g)				塩基飽和 度 (%)	水溶性塩素 イオン (mg/乾土100g)
					CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		
表層部	0~15	8.7	0.91	38.5	708	326	489	542	181	2,917
中層部	15~35	8.8	1.70	37.8	516	331	571	783	192	8,021
下層部	35~50	9.2	2.30	36.5	622	309	627	1,343	258	12,782
深層部	50~80	9.1	2.60	33.6	1,009	370	625	1,622	357	19,034

5

福島県相馬市の津波被災水田の土壤化学性

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	
			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O				
10	津波土砂	6.6	10.3	393	370	183	1540	27.6	311	10.6
20	水田作土	5.3	2.47	407	131	43.7	287	22.4	139	8.6
30	鋤床	5.9	0.89	477	124	35.4	86.6	23.5	114	6.9
40	下層土	6.2	0.26	479	143	35.2	27.3	24.8	104	4.1
50	下層土	6.6	0.25	467	150	32.4	27.4	23.9	107	4.8

津波土砂層: EC約10mS/cm 塩分濃度約2.8%
水田には鋤床があるため、下層には塩分が移動していない。

6

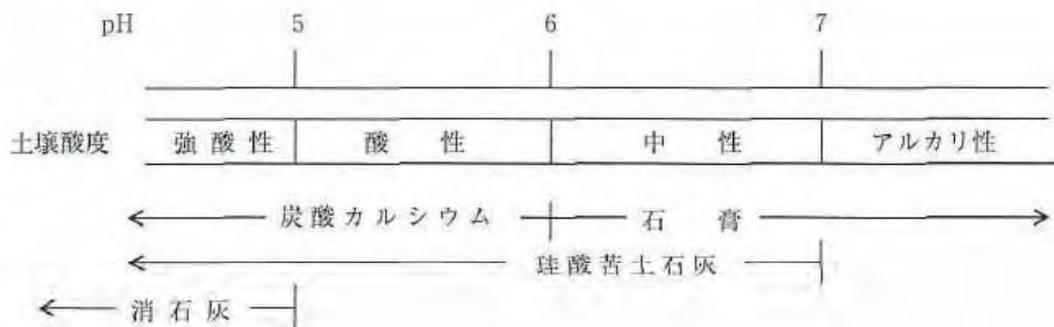
熊本県八代地域で高潮による塩害を受けた際の除塩対策用石灰資材

資材名	石 膏	炭酸カルシウム	珪酸苦土石灰	消 石 灰
対象土壌の pH	6.0未満 中性～ アルカリ性	6.0未満 弱酸性～ 酸性	(7.0未満) アルカリ性以外	(5.0以下) 強酸性土壌
施用方針	土壌pHに対する影響が少ないので、中性～アルカリ性の土壌に施用する。 最も一般的な除塩資材。	pHを高める効果があるのでpH 6以上の土壌には用いない。	アルカリ土壌以外において、石膏に含まれる硫酸根の影響を抑えたい施設土壌等に施用する。	pH 5 以下の強酸性土壌に対する除塩資材として施用する。 但し、炭酸カルシウムの方がpHへの影響が穏やかで施用に適する。
土壌pH上昇に対する影響	無～少	大	中	極大

「台風18号技術対策資料集」熊本県(2001年)より
9

熊本県では、主に土壌pHの相違により、石灰資材を選択した。

b) 土壌酸度と除塩資材選択の目安



pH(H₂O) 6以上 : 硫酸カルシウム(石こう)

pH(H₂O) 6以下 : 炭酸カルシウム(炭カル)

pH(H₂O) 5以下 : 水酸化カルシウム(消石灰)

pH(H₂O) 7以下 : 珪酸苦土石灰(ケイカル)

熊本県農業研究センターでの室内除塩試験

試験方法

カラム(直径16mm、断面積2cm²)に、
 塩害土のみ4g、塩害土2gの上に泥土2gをつめた。
 石灰処理区では、それぞれの石灰資材を添加した後、
 蒸留水20mlを加え、自由落水させた。
 流出水中のNaとCl量、落水後の土壌pH(H₂O)、
 土壌中に残存したNa量の測定を行った。

注1：4gの土壌は土層約2cmに相当する。
 注2：蒸留水20ml：雨量100mmに相当する。

石灰資材添加量

炭カル区：CaCO₃ 2mg (炭カル50kg/10a相当)

硫カル区：CaSO₄ 3.5mg (石灰量換算炭カル50kg/10a相当)
 (石こう)

	pH	CEC me/100g	Ca	Mg	K	Na	塩基飽和度 %	Cl mg/100g
			me/100g 風乾土					
泥土	8.0	21.1	11.1	16.6	3.16	41.0	341%	1,686
塩害土	6.1	17.8	10.2	4.91	1.23	6.83	130%	267

11

室内除塩試験結果

土壌条件	存在量		Ca 資材	溶出量		土壌 pH 1:2.5	残存Na量 (me)
	Na me	Cl mg		Na me	Cl mg		
塩害土2g+ 泥土2g	23.9	969	無添加	19.0	768	8.3	3.4
			炭カル	19.1	797	8.2	3.7
			硫カル	19.0	793	7.7	3.2
塩害土4g	6.8	267	無添加	4.7	222	7.0	1.3
			炭カル	5.0	225	7.3	1.0
			硫カル	5.1	220	7.0	0.8

pHを除き単位は100g風乾土当たり

試験結果の概要

約2cmの土層中の塩分の約80%は、約100mmの雨水により除塩できる。
 塩分溶出量に及ぼす石灰資材の効果は明瞭ではない。
 石こうの施用により、処理後の土壌pH(H₂O)が低下する。

12

熊本県農業研究センターでの室内除塩試験

試験方法

カラム(直径16mm)に塩害土2gと泥土2gを塩害土を下層にしてつめた。
蒸留水10mlを加え、自由落水させた。
石灰資材を加え、さらに蒸留水10mlを自由落水させた。

石灰資材添加量

炭カルCaCO₃ 8mg (炭カル200kg/10a相当)

硫カルCaSO₄ 14mg (石灰量換算炭カル200kg/10a相当)

塩カルCaCl₂ 12mg (石灰量換算炭カル200kg/10a相当)

13

室内除塩試験結果 (溶出量)

土壌条件	石灰資材	1回目溶出量					2回目溶出量				
		Ca me	Mg me	K me	Na me	Cl mg	Ca me	Mg me	K me	Na me	Cl mg
塩害土2g + 泥土2g	無添加	3.35	3.62	0.407	17.6	770	0.0490	0.0369	0.0292	0.962	7.9
	炭カル CaCO ₃	3.34	3.88	0.394	18.0	770	0.0661	0.0584	0.0417	1.21	7.7
	硫カル CaSO ₄	3.47	3.82	0.391	17.7	774	0.0594	0.0586	0.0654	2.35	5.4
	塩カル CaCl ₂	3.43	3.72	0.378	17.1	770	0.0858	0.0780	0.0848	2.94	87.1

溶出量結果の概要

水による1回目の洗浄で、大部分のNa, Clの他にCa, Mg, Kが溶出した。

水による2回の洗浄により溶出するのは主としてNaで、

Ca, Mg及びClの溶出量は1回の1%程度であった。

2回目の洗浄では、石灰資材施用の効果が認められ、塩カル > 石こう > 炭カルであった。

14

室内除塩試験結果 (溶出量合計と土壌残留量)

土壌条件	石灰資材	溶出量合計					土壌中残存量				土壌pH 1:2.5
		Ca me	Mg me	K me	Na me	Cl mg	Ca me	Mg me	K me	Na me	
△ ⁺ 0.2g + 土壌2g	無添加	3.40	3.66	0.436	18.6	778	7.44	8.49	1.79	4.37	7.8
	炭カル CaCO ₃	3.41	3.94	0.436	19.2	778	11.3	8.30	1.84	4.27	7.8
	硫カル CaSO ₄	3.53	3.88	0.456	20.1	780	10.8	8.13	1.82	3.27	7.3
	塩カル CaCl ₂	3.52	3.80	0.463	20.0	857	10.8	8.22	1.85	3.00	7.4
		未処理土					10.7	10.8	2.22	23.9	

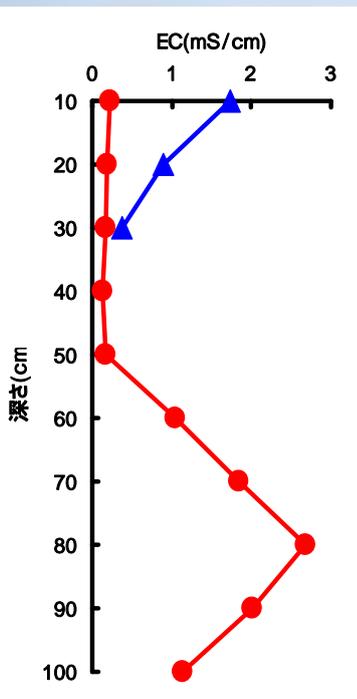
単位は100g風乾土当たり

結果の概要

石灰資材施用の有無にかかわらず、Na溶出合計量には著しい相違は認められなかった。Naの土壌残留量は、無施用 = 炭カル > 石こうであった。ただし、著しい相違ではなかった。石こう施用区では、洗浄後の土壌pH(H₂O)が低下した。

15

相馬市和田の津波土砂を取り除いたイチゴハウス



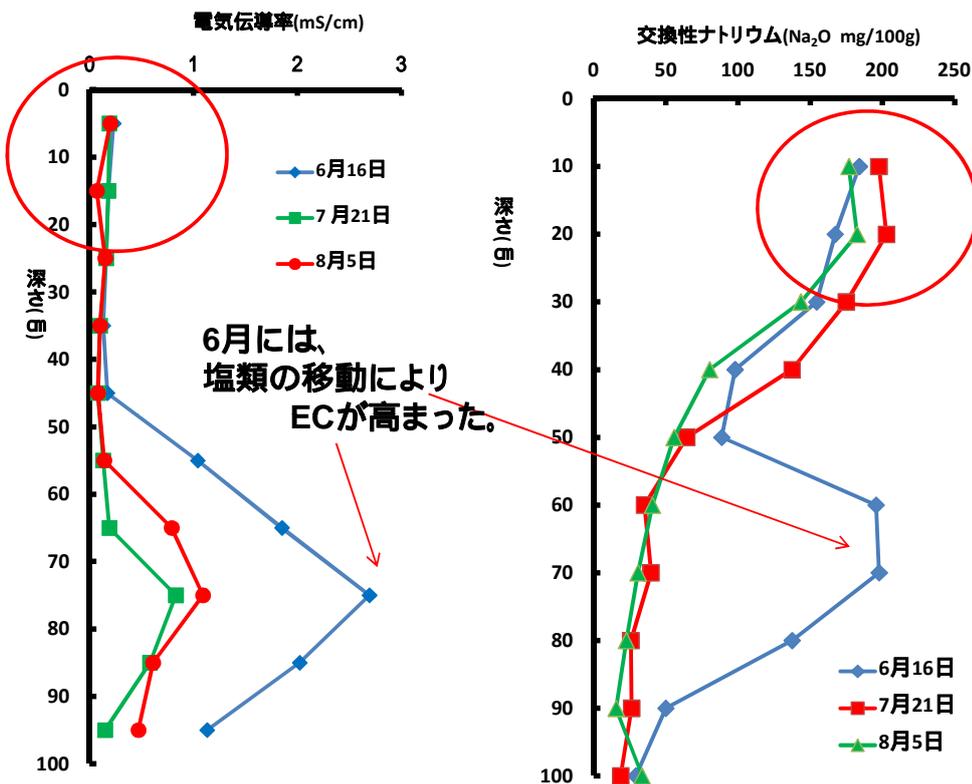
5月には作土のECが1.7mS/cmであった。
6月には0.2mS/cm以下に低下したが、80cmで3mS/cm。



土砂を除去した後、
消石灰(200kg/10a)施用

16

6月以降作土のECは低下したが、大量の交換性ナトリウムが残存している！



被災後に施用した消石灰の効果は7月の時点で消滅していったと思われる。除塩効果を上げるには、まず水だけで作土の水溶性ナトリウムを下層に移行させ、作土のpHが低下した段階で石灰資材を施用した方が効果がよい。

イチゴハウスにおける電気伝導率と交換性ナトリウムの経時変化

除塩効果を高めるための石灰資材の選択

石灰資材	除塩効果	持続性	跡地pH	塩基バランス
消石灰		×	×	×
炭カル				×
苦土カル				
石こう		×	×	×

転炉スラグ

中国などの内陸地域の塩性土壌(アルカリ性)の改良には、石こうが使われ、著しい効果を発揮した。平成11年の熊本県八代沿岸での高潮による塩害対策では、石こうあるいは炭カルが使われた。

石こうでは、除塩後の土壌pHが低下する。

相馬市と八戸市での津波塩害除塩には転炉スラグを用いた。

相馬市で採取した津波土砂のイオウ含有量とpH測定値

地 点	全イオウ(%)	pH(H ₂ O)	pH(H ₂ O ₂)
干拓地水田(柏崎1)	1.27	6.6	2.3
干拓地水田(柏崎2)	1.19	6.5	2.5
干拓地水田(蒲庭)	0.34	5.9	2.6
和田水田	1.11	7.3	2.2
和田イチゴ	1.14	7.5	2.3



pH(H₂O₂) 3.0 以下の土壌を酸性硫酸塩土壌と定義

全ての津波土砂が酸性硫酸塩土壌

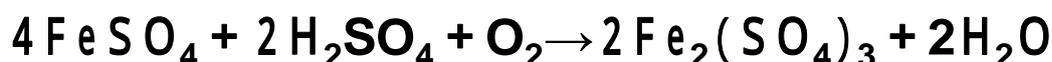
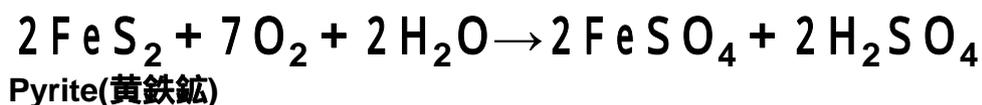
津波土砂が土壌と混ざると、酸性化する可能性

19

酸性硫酸塩土壌とは

海底や湖底の底泥には1～3%の硫黄が含まれている。
その一部が、パイライト(黄鉄鉱:FeS₂)として存在している。
パイライトは、空気に遮断された環境では安定な化合物。

干拓や浚渫などにより、酸化的雰囲気になると、
酸化して硫酸を生成し、強い酸性反応を示す。



生成した硫酸イオンが水田中で還元されると、
硫化水素(H₂S)が発生し、根腐れ(秋落ち)の原因となる。

20

最も合理的な土壌酸性改良資材



転炉スラグとは、
製鉄所の製鋼過程で出る副産物(日本では、年間約1,000万トン)

21

「転炉スラグ」は、従来から肥料取締法で登録された「肥料」



副産石灰肥料
(粒径が細かい)



特殊肥料
(粒径が粗い)

最近、アブラナ科野菜根こぶ病やキュウリホモブシス根腐病対策資材として、
東北各県で注目されている資材。

22



転炉スラグでは、高pH条件でも生育障害をきたさない。

23



転炉スラグには、(苦土カル + 微量元素肥料)の効果

24

転炉スラグの農業利用、今後の展望

畑地での、土壌酸性改良資材としての利用

全国各地で、土壌病害対策資材としての注目度が高まりつつある。

土壌の高pH化による作物へのカドミウム移行抑制が期待できる。

水田での、ケイ酸補給資材としての利用

ケイカルから製鋼スラグへの移行が望ましい。

転炉スラグには、ケイ酸・リン酸・鉄・マンガンなどの補給効果がある。

水田での、メタンガス発生抑制資材としての利用

転炉スラグの施用(2t/10a)により、メタンガス発生量が5～30%抑制される。

転炉スラグ中のリン酸の資源化

リン濃縮スラグの実用化が大いに期待される。

25

JA全農 営農技術センターで、石灰資材の除塩効果の比較試験が行われた。

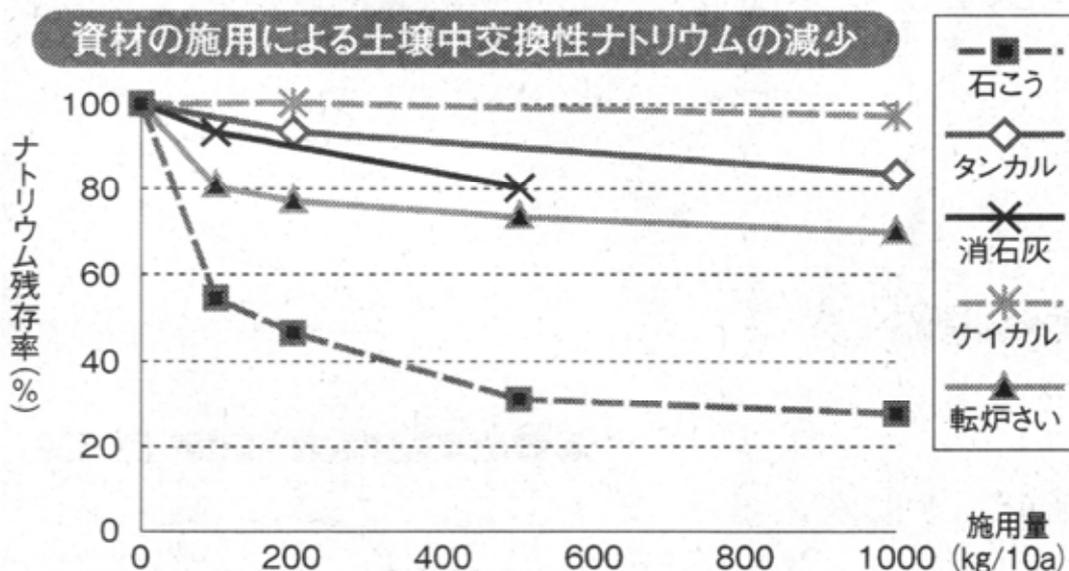


図2 除塩資材の種類と除塩の効果

除塩効果は、石こうが抜群、続いて転炉スラグ(転炉さい) > 炭カル

26

1月10日の日本農業新聞記事より引用

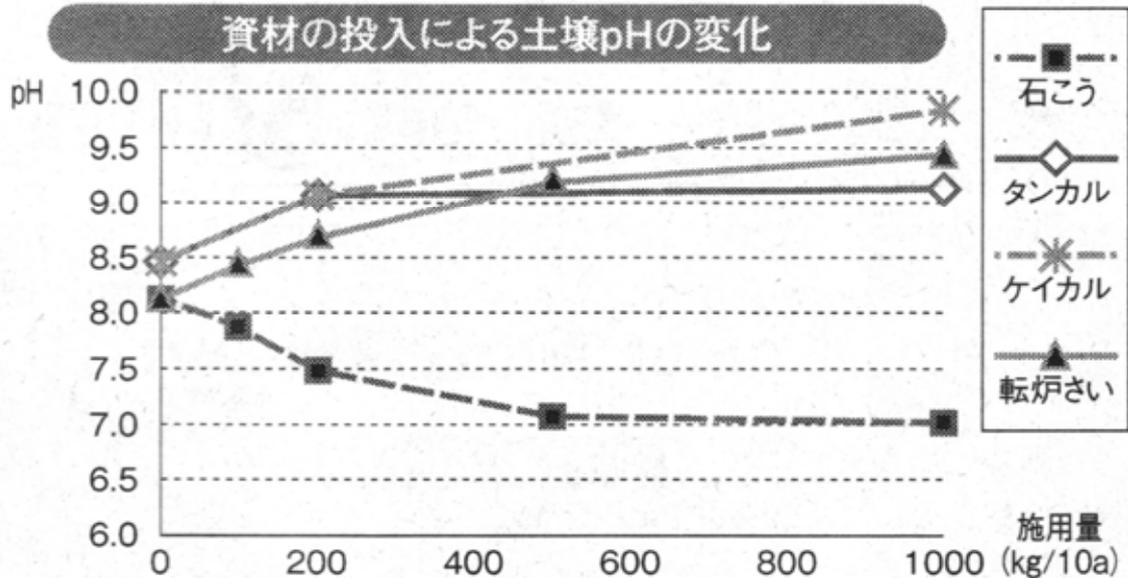


図3 除塩資材の種類と除塩後の土壌pHの変化

*水だけで除塩した後の土壌のpHは8.0~8.5(当初のpHは7.5)

石こうの施用により、除塩後の土壌pHが低下する。
 転炉スラグと炭カルのパH(H₂O)上昇程度は同等。

27

1月10日の日本農業新聞記事より引用



**津波被災以後、
 手付かずであったが、
 雨水だけでも進む除塩！**

6月16日 植生ほぼ皆無

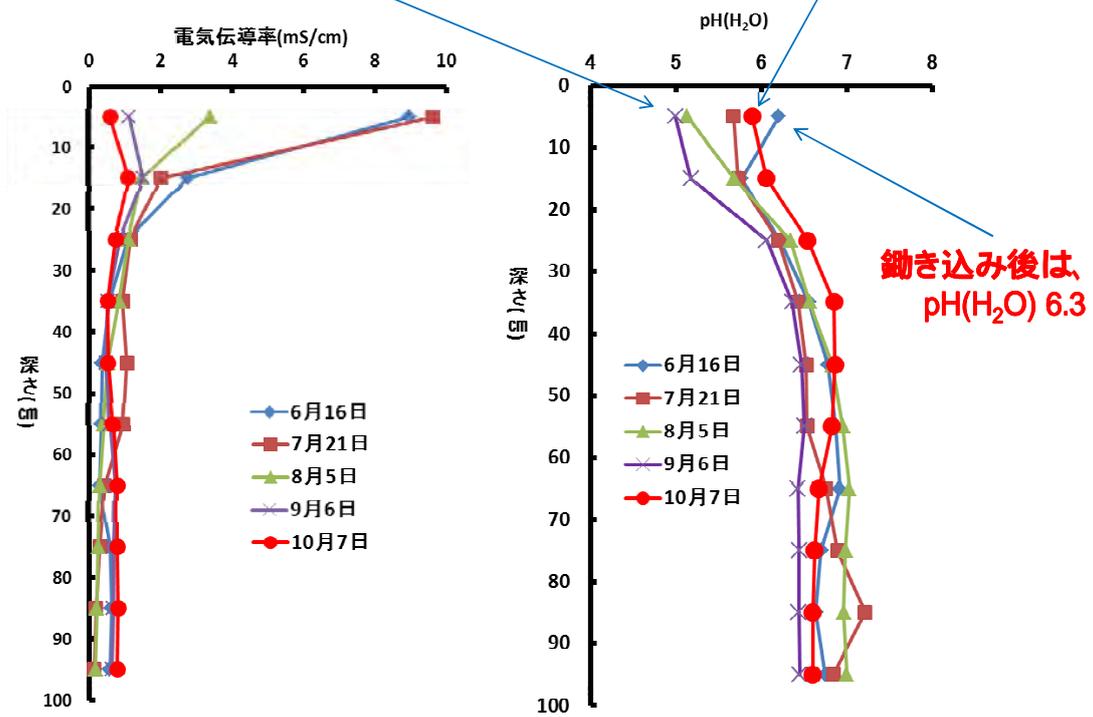
8月3日 雑草(ヒエ主体)が繁茂
 転炉スラグ200kg/10aを施用後、
 津波土砂を作土と混層した。



イチゴハウスに隣接する水田表面の経時変化

28

9月には、pH(H₂O)が4.9にまで低下したが、10月には5.9まで回復した。



水田における土壌pH(H₂O)と電気伝導率の経時変化

29



30

仙台空港に隣接するブロッコリー畑(被災前は、トマトハウス)
厚さ5cm程度の津波土砂を混層し、石こうを120kg/10a施用した。



仙台空港に隣接するカリフラワー畑(被災前は、トマトハウス)
厚さ5cm程度の津波土砂を混層し、石こうを120kg/10a施用した。



今後の除塩に当たって、地元で決断すべきこと

除塩(交換性ナトリウム除去)助材の選択？

【石こうの特性】

除塩効率は、最高。
除塩後に土壤の酸性化が懸念される。
塩基バランスを乱す。
含イオウ資材の水田施用には注意すべき。

【転炉スラグの特性】

除塩効率は、石こうに劣るが、持続効果が高い。
リン酸・ケイ酸・微量要素を補給できる。
土砂混層による土壤酸性化を抑制できる。
農作物へのカドミウム吸収を抑制できる。
鉄鋼業界からの支援を受けられる。

33

津波による塩害被災農地の復興への提言

津波土砂の除去・処分を基本とする必要はない。
土砂中にカドミウムなどの有害成分が含まれていないこと、放射能による高線量汚染を受けていないことを確認すれば、
津波土砂を作土と混和して、雨水などによる除塩対策を講じる。

津波土砂中には、1%程度の全イオウが含まれ、かつpH(H₂O₂)が3以下を示すことから、パイライトを含有する酸性硫酸塩土壌と見なされる。そのため今後、経時的に土壤が酸性化する可能性があるため、
除塩促進と土壤酸性化対策資材として、石灰資材を施用する。

推奨する資材は転炉スラグ(副産石灰質肥料)である。

石灰資材を施用するタイミングは、津波土砂の混層時ではなく、
作土の電気伝導率が1mS/cm程度以下にまで低下した時点とする。

石灰資材の施用量は、その種類や津波土砂と作土の性質により異なるが、
転炉スラグでは200～300kg/10aと思われる。

水田での除塩促進対策として、弾丸暗渠工を併用する。

34

農地の早期復興を目指して、

がんばろう 東北！

35

相馬市岩子の津波土砂混層水田

3-9 . 土壤中の重金属及び硫化物が農作物に及ぼす影響

・ 土壌中の重金属及び硫化物が 農作物に及ぼす影響について

宮城大学 食産業学部
木村和彦

1

内容

- 津波堆積物中の主な重金属含量
- ヒ素の挙動
- カドミウム



2

主なデータのソース

- 東北大学環境科学研究科 土屋範芳教授



3

土屋研究室の最近の成果

-  **地圏環境インフォマティクスシステム**
Geosphere Environmental Informatic Universal System

GENIUS : Geosphere Environmental Informatic Universal System

- このプロジェクトでは、土壌中に含まれる重金属類の含有量や溶出量、またどんな形態で含有されているかなどの地圏環境情報をGIS（地理情報システム）上で統合化し、公有財として活用できる環境情報システムの開発を進めています。
- 無償でデータを公開（<http://geoserv.kankyo.tohoku.ac.jp/genius/>）

4

津波堆積物の調査地点



- 岩手～相馬までの250km
- 約2kmに一点, 計129点

5

調査地点と分析

- ヒ素および重金属など：蛍光X線分析
- 水溶出（環境省告示18号試験）



6

全含量（土屋先生のまとめ）

サンプル名	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rh	Sr	Y	Zr	Nb	Cd
	濃度 (ppm)													
NH1	145.2	67.4	23.8	19.3	386.9	137.6	2563.3	26.4	64.0	309.7	16.6	103.4	4.2	0.1
NH2	111.9	59.3	21.9	21.8	298.8	129.9	1735.4	21.7	67.3	268.2	17.7	94.2	5.0	0.2
NH3	117.8	59.7	22.9	24.5	260.6	171.8	1840.4	25.0	65.5	261.8	20.0	145.4	5.9	0.4
NH4	124.4	59.5	21.7	40.4	62.2	201.1	226.5	7.5	68.4	206.0	29.0	132.0	7.1	0.3
NH5	141.9	52.1	18.0	24.4	73.6	159.2	15.4	7.8	82.7	225.5	22.7	198.5	9.0	0.0
NH6	151.0	45.6	18.3	21.9	89.9	131.4	11.7	9.5	85.1	264.1	21.8	167.9	7.5	0.0
NH7	154.4	52.7	22.6	26.4	124.9	175.0	20.0	29.7	84.4	208.2	28.1	165.7	8.8	0.1
NH8A	27.9	10.2	4.9	7.5	8.4	52.4	6.3	14.6	44.1	175.1	11.1	63.6	3.4	-0.0
NH8B	96.7	39.8	14.3	15.8	37.3	336.7	9.7	65.3	55.9	217.2	18.4	140.6	7.5	0.2
NH10	73.4	38.7	12.6	16.6	21.5	189.0	8.1	2.5	51.9	230.6	21.6	115.2	6.5	0.1
NH11	73.5	19.3	10.9	9.3	22.6	133.0	9.7	3.5	34.8	179.8	25.7	167.2	6.0	0.2
NH12A	75.8	22.2	11.7	12.8	33.5	100.9	22.3	16.9	28.8	124.5	31.1	181.9	7.2	0.3
NH12B	56.1	16.2	12.2	10.5	27.1	129.0	11.5	6.2	26.3	177.4	25.6	129.1	5.5	0.6
NH14	64.0	15.5	11.2	8.6	24.9	97.2	12.7	3.1	34.0	182.9	22.2	114.2	4.9	0.1
NH15	96.1	46.5	19.2	17.7	33.9	204.0	12.6	40.0	55.1	147.1	27.6	160.6	9.5	0.4

- ヒ素の含有量が高い、1000 ppmを越える極端に高い地域がある
(最高1840ppm, (鉱山鉱滓 2563ppm))
- Cu(30ppm~2000ppm>) , Zn(100ppm前後) , Pb(30~40ppm)
の含有量も高い

NT10	171.1	71.7	22.9	29.0	48.4	147.5	18.9	9.5	62.4	298.2	28.7	175.2	8.1	0.3
------	-------	------	------	------	------	-------	------	-----	------	-------	------	-------	-----	-----

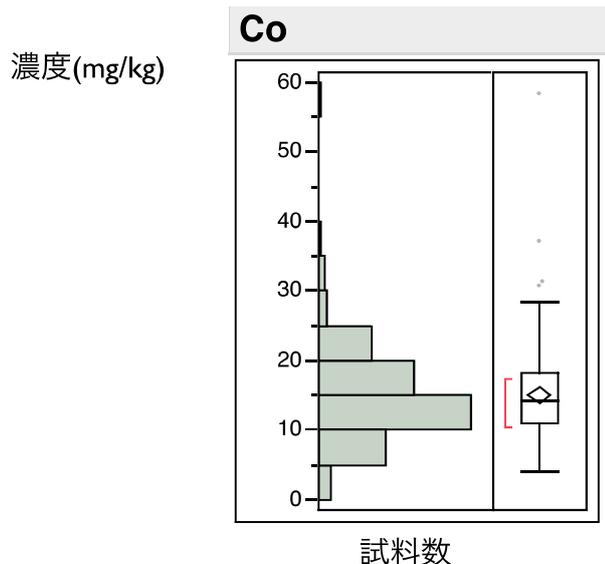
7

津波堆積物中の主な重金属含量

—特にヒ素—

8

通常のコストグラムを示す元素の例 (Co)

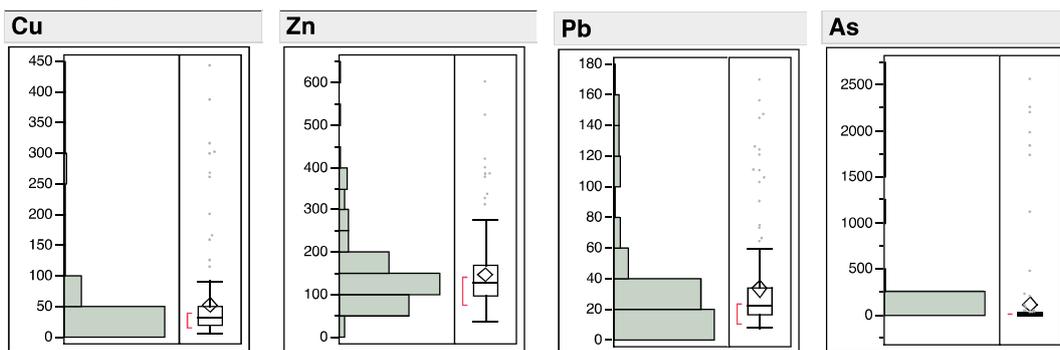


- 正規分布より対数正規分布に近い分布
- 汚染がない場合の一般的な分布

9

汚染を示す元素の例

濃度(mg/kg)



20.1 - 31.9 - 49.1
15.7 - 24.0 - 34.8

96 - 129 - 169
79 - 95 - 113

16.3 - 22.3 - 34.3
15.4 - 19.1 - 24.1

6.4 - 10 - 15.1

第一四分位 (25%) - 中央値 (50%) - 第三四分位 (75%) [土屋先生の津波堆積物データ]
第一四分位 (25%) - 中央値 (50%) - 第三四分位 (75%) [木村らの宮城農耕地データ]

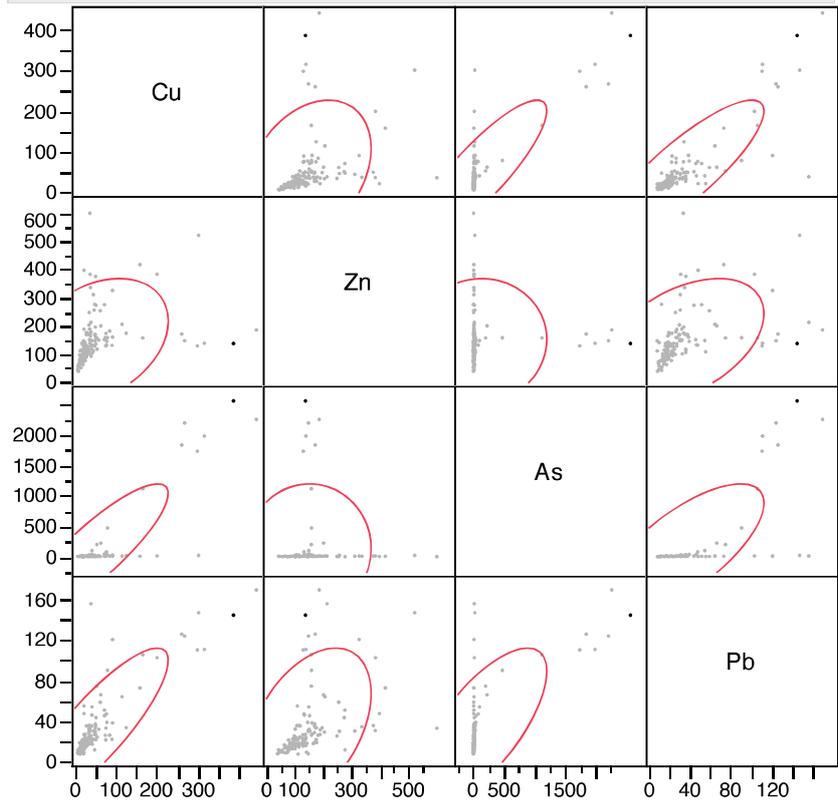
- Cu, Zn, Pb : 数百ppmオーダーのものがある。
ただし、農地でも存在する濃度範囲 (特に樹園地)
- **As : 1000 ppm を超えるようなものが一部ある。**
殆どは通常の濃度と見られる。

10

Cu, Zn, As, Pbの相関

- 亜鉛は相関なし
- As-Cu, As-Pb, Cu-Pbで相関
- 周辺に金, 銀, 銅などの鉱山

Scatterplot Matrix



11

ヒ素の起源

- 鉱山から直接？

北上山地の中・古生層

ジュラ紀の付加帯

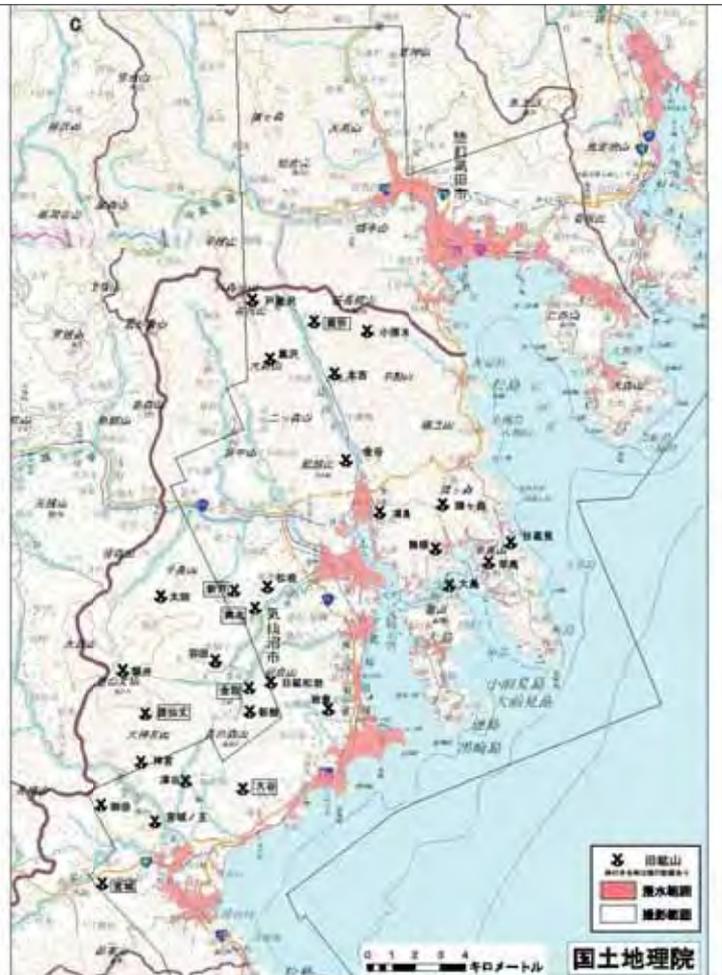
含金石英脈

金, 黄鉄鉱(FeS_2),

硫砒鉄鉱($FeAsS$)

例：大谷鉱山

- 一度海底に溜まったもの？



12

ヒ素の挙動

13

海底のヒ素、津波で岸に 東北大、岩手・宮城の36地点

ヒ素を含む海の泥が三陸沿岸に打ち上げられていることが、東北大の調査でわかった。環境基準を超える濃度を検出したのは、調査した東日本大震災の被災3県129地点のうち36地点。土屋範芳・同大学院教授は「過去に流れ込んで海底にたまっていたヒ素が津波で巻き上げられたため」とみている。

東北沿岸にはかつて鉱山が多く、製錬時にヒ素や重金属が出ていた。ヒ素は自然界にもあり、2006～08年の東北大調査でも宮城県沿岸の土壌から検出されていた。

(途中略)

ヒ素の環境基準（水に溶け出すヒ素の量が1リットルあたり0.01ミリグラム以下）を超えた地点があるのは岩手、宮城の両県。岩手県の大船渡港では基準の5倍超、野田村や宮城県の岩沼市と名取市で約4倍だった。

(以下略)

朝日新聞 2011.9.3



● 基準超過のヒ素

- データを見ると全含量が高い場所と一致しない

14

黄鉄鉱の形態変化とヒ素



パイライト
<http://ja.wikipedia.org/wiki/黄鉄鉱>

- パイライト(黄鉄鉱) FeS_2
 アルセノパイライト(硫砒鉄鉱) FeAsS
 (嫌氣的条件ではそのまま)

- 好氣的条件になると、鉄酸化菌や硫黄酸化細菌により鉄, 硫黄, ヒ素が酸化



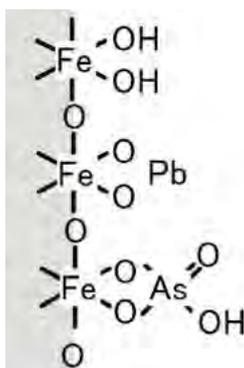
硫酸酸性となり、他の重金属を溶かした坑道廃水となる場合がある。

- 堆積物中の硫黄は FeS や FeS_2 として存在し同様の变化。

15

ヒ素の溶出

- As : 三価 (亜ヒ酸) 五価 (ヒ酸) で存在
 $\text{As(III)} : \text{As}_2\text{O}_3, \text{As(OH)}_3, \text{H}_3\text{AsO}_3, \text{AsO(OH)}_2^-$
 $\text{As(IV)} : \text{H}_2\text{AsO}_4^-, \text{HAsO}_4^{2-}$
- As(III), As(V) の酸化と還元
- 鉄の酸化物・水酸化物表面への吸着



★ OHが多いアルカリで溶出

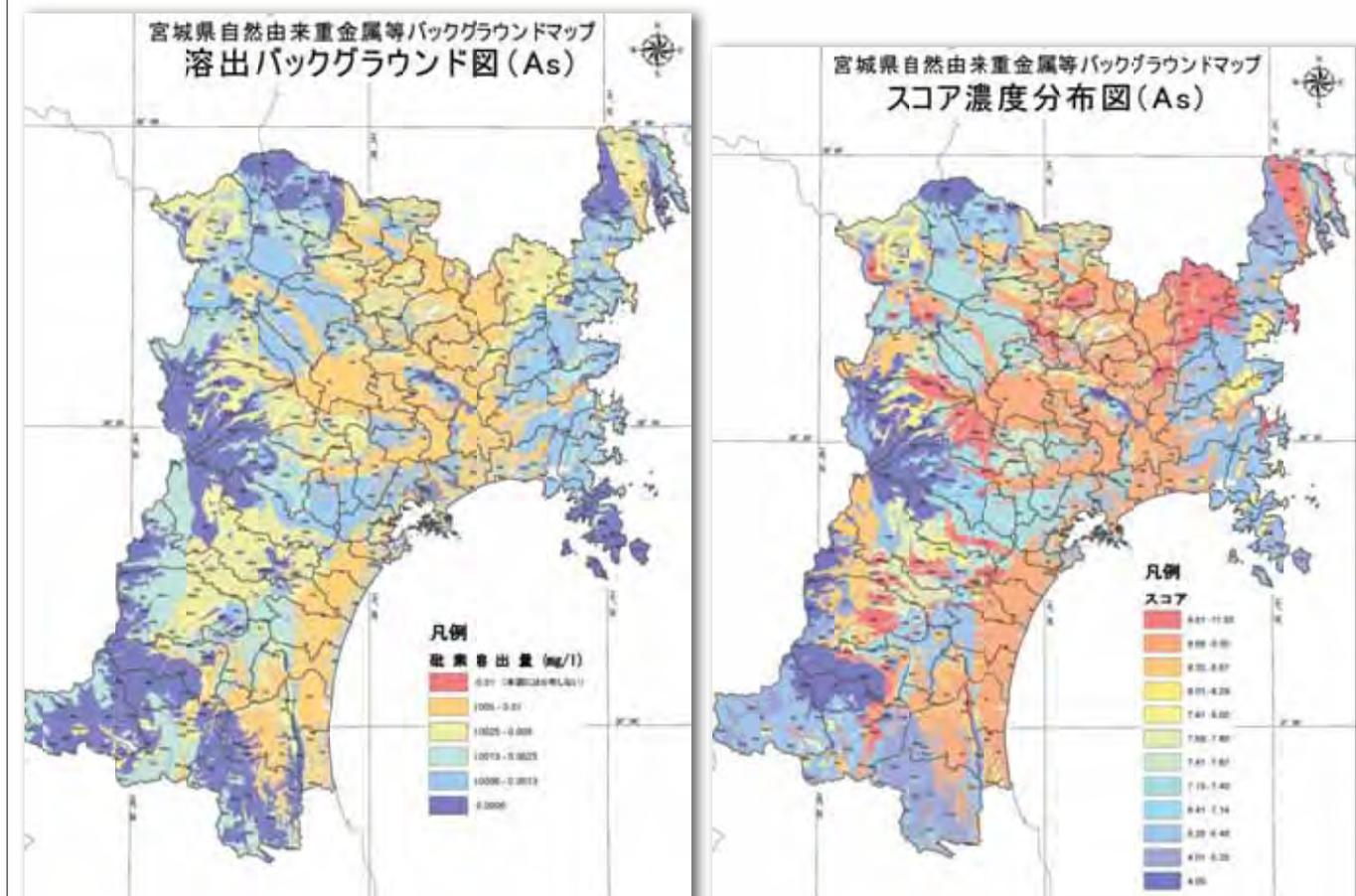
★ 鉄が還元されると溶出

★ 水稻はヒ素の吸収が多くなりやすい

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/cssj2/seminar1/section27/text.htm>

16

宮城はもともと溶出ヒ素が多い



17

ヒ素分析方法

- 全ヒ素：蛍光X線or酸分解後に原子吸光で測定
- 土壤汚染対策法
 - 土壤含有量（環境省告示第19号）
1 mol/L HCl 中に土壤が3%で抽出(50 ppm)
 - 土壤溶出量（環境省告示第15号）
純水1:10で抽出（0.01 mg/L）
- 農用地土壤汚染防止法
 - 1 N HCl (15 ppm)

18

ヒ素のまとめ

- 津波堆積物にはヒ素を高濃度に含むものが、鉾山周辺で存在している。
 - ✓ 硫化鉄鋼の酸化とともにヒ素が溶出する懸念あり
- 東北地域はもともとヒ素のバックグラウンドが高く、酸化鉄や水酸化鉄に吸着した無機ヒ素が溶出しやすい。
 - ✓ 全ヒ素が通常のバックグラウンドレベルであれば、植物への吸収は問題にならないとみられる。
 - ✓ 環境基準を超えており、水系（地下水）では注意が必要。

19

カドミウム

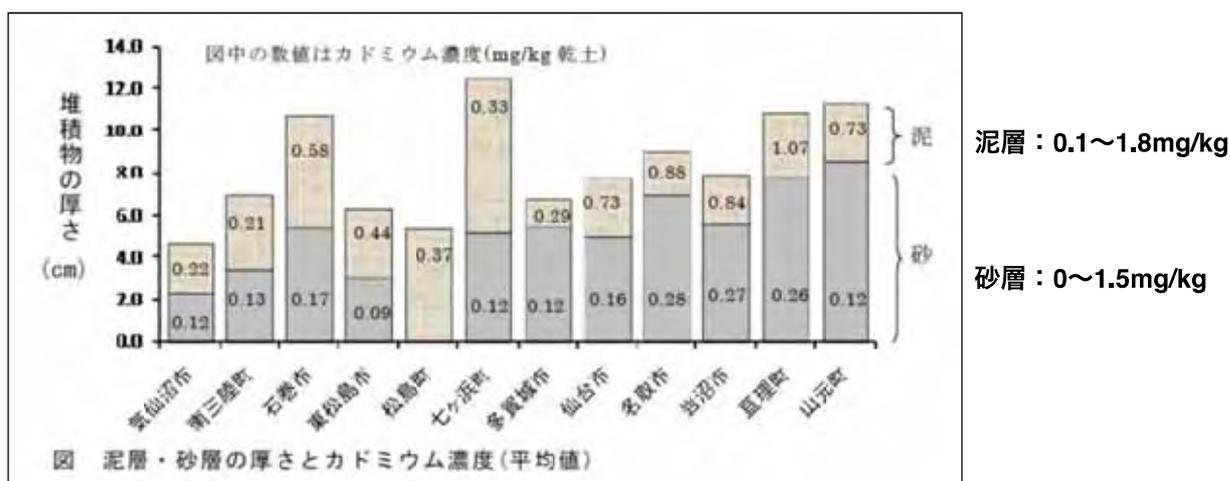
20

カドミウム問題

- 国際的には、CODEX委員会（FAO/WHO）で各種食品（米、野菜など）についての基準値案を作成
- 国内では食品安全委員会、厚労省の審議を経て
 - 平成22年4月8日に「玄米及び精米中に0.4 mg/kg以下」に改正（平成23年2月28日施行）
 - また、「米をはじめその他の農作物について、低減対策を推進するよう関係者に要請すること」とされた。
- 野菜はCdの濃度が高くなりやすい。

21

宮城県のカドミウム調査結果



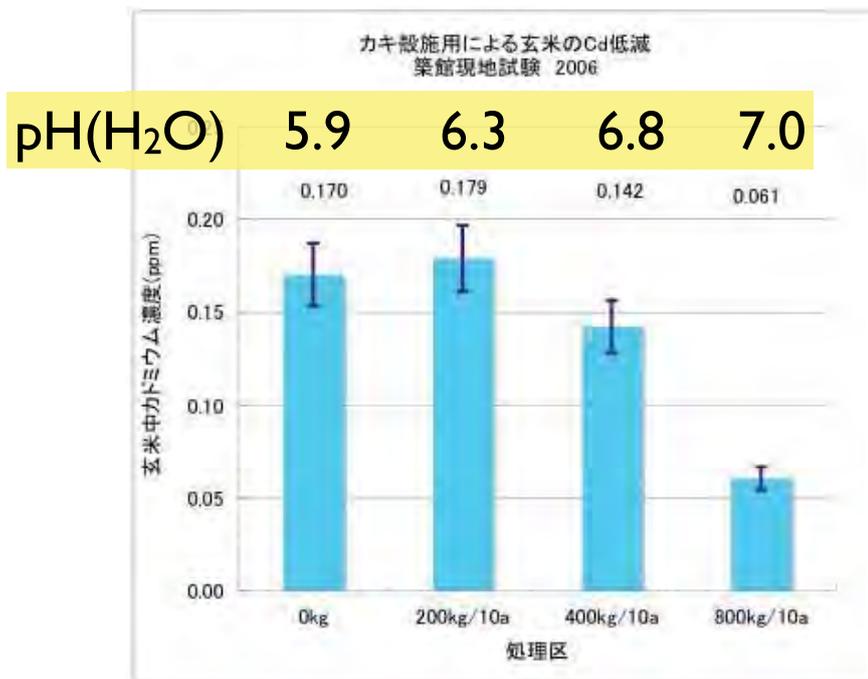
津波被災農地に堆積した土砂の調査結果（速報値）について
農業振興課普及支援班 H23.7.21

- 砂層よりも泥層で濃度が高い。
- 宮城県の農地の平均0.37 ppmを上回る場合が多い（特に泥層）。
- 砂質では植物の濃度が高まる懸念がある。

22

カドミウム汚染土壌の現実的な対策

- 湛水管理の徹底
- アルカリ資材の散布（pHを上げる）



23

カドミウムのまとめ

- 津波堆積土砂にはカドミウムが通常の土壌の数倍含まれる場合がある。
- 米や野菜のカドミウム濃度を高める可能性がある（特に、砂質の場合）。
- 対策としては、
 - 土砂を除去する。
 - アルカリ資材を投与する。

24

～参考資料～

農地除塩に関する民間企業の取組事例等について

< 参考資料 >

農地除塩に関する民間企業の 取組事例等について

1

主な民間技術・取り組み

.物理的手法

・雨水による除塩 ・反転耕起

.土壌改良材による除塩技術

・珪藻土焼成粒 ・ゼオライト ・木材チップ

.微生物菌による除塩技術

・塩害土壌改良材 ・特殊堆肥

.耐塩性作物栽培による除塩技術

・綿花 ・塩トマト ・菜の花

2

物理的手法-1

1.非湛水による除塩実証試験-1

NTCコンサルタンツ・西松建設

【試験圃場の概要】

場所：宮城県山元町小平地区 約0.5haの水田

圃場の特長：泥炭を基盤し、かつ承水路が耕地面から20cmと浅く、排水不良

津波堆積物：堆積厚 2～5cm、有害物質含まず

浸水直後EC：4.2mS/cm

排水施設が壊滅的な被害を受け、湛水除塩が実施できないことから、地元農家から何か他の対策を検討してほしいとの要望から試験が始まった



3

1.非湛水による除塩実証試験-2

【試験タイプ】

基本的に雨水による除塩を前提とし、補助的な対策で除塩促進を図ることを目的に実施

雨水のみによる除塩効果

雑草のヒエ・除塩作物の緑肥用ソルガムによる除塩効果

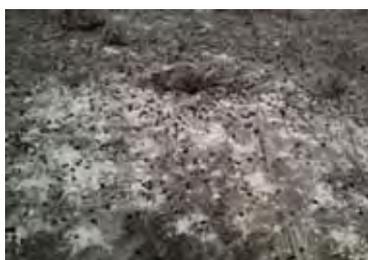
排水改良材や塩化イオン交換材等の土壌改良材による除塩効果

ヘドロ剥ぎ取りとヘドロ鋤き込みの違いによる除塩効果

について検証する目的で、対象区・雑草区等9タイプの試験区を設けて実施
現地試験は終了し、土壌性状等については分析中、ECについてはデータ整理済み



排水改良材



塩化物交換材



除塩作物ソルガム

4

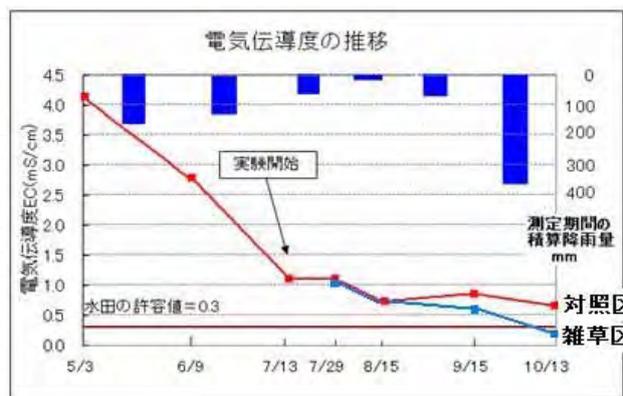
1.非湛水による除塩実証試験-3

【試験結果】

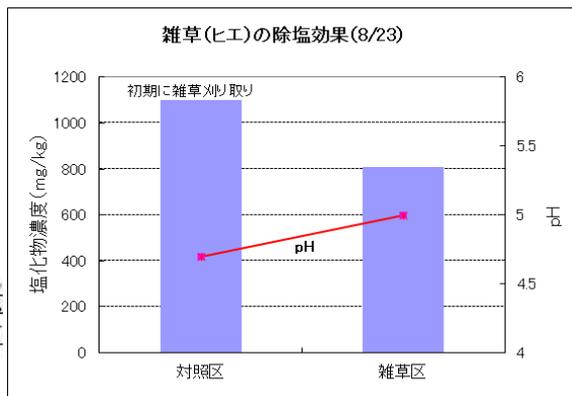
雨水だけでもかなり除塩が促進されている

雑草区や除塩作物区では、雑草等が塩分を吸収するため、さらに除塩が促進されている

特に雑草区では田面より20cm下の層まで除塩が進んでおり、土壌全体の塩分濃度低下が見込めるのではないかと期待されている



雨水のみによるECの変化(深さ5cm)



雨水のみによる土壌塩化物濃度変化

5

.物理的手法-2

2.反転耕起・心土破碎等通常営農技術による除塩-1

スガノ農機

【対策圃場の概要】

場 所 : 宮城県東松島市 約34haの水田

圃場の特長 : 暗渠排水は設置されているが、用排水分離がなされていないので、塩分を含んだ排水が戻らないように代かきローテーションを厳密に守る必要あり

津波堆積物 : 堆積厚 1~2cm、有害物質含まず

浸水直後EC: 4.6~4.7mS/cm

農業生産法人「アグリード鳴瀬」の依頼を受け、スガノ農機が湛水除塩に携わった際、試験的に一部の農地で反転耕起を実施

基本はあくまで湛水除塩であり、反転耕起は補助工法として採用

6

2.反転耕起・心土破碎等通常営農技術による除塩-2

【作業工程】



サブソラによる心土破碎



プラウでヘドロごと反転耕起



スタブルカルチによる耕起



湛水除塩実施



5月28日～6月11日代掻きと田植えを実施
EC = 0.3mS/cm

【結果】

対策前
EC=4.6～4.7mS/cm



対策後7月10日時点
EC=0.12mS/cm



通常の生育を確認

7

3.珪藻土焼成粒による除塩技術-1

3.珪藻土焼成粒による除塩技術-1

イソライト工業

【珪藻土焼成粒の概要】

藻類の一種である珪藻の殻の化石を成分とする堆積岩を焼いて人工的に多孔質の粒を生成

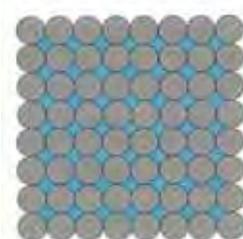
細かい粒により粘土質の土壤構造に空隙を生成して排水性を改良するとともに、粒内部に水分を保持

排水性と保水性という2面性を有するという特性がある

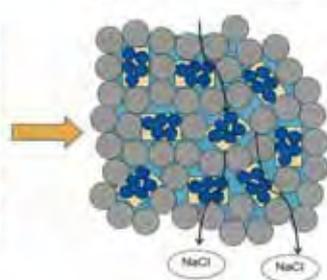


珪藻土焼成粒

改良前の土壤の構造



改良後の土壤の構造



珪藻土焼成粒による土壤構造の改良イメージ

8

3.珪藻土焼成粒による除塩技術-2

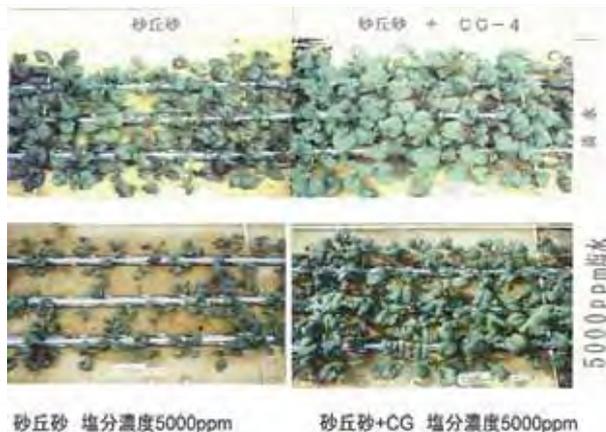
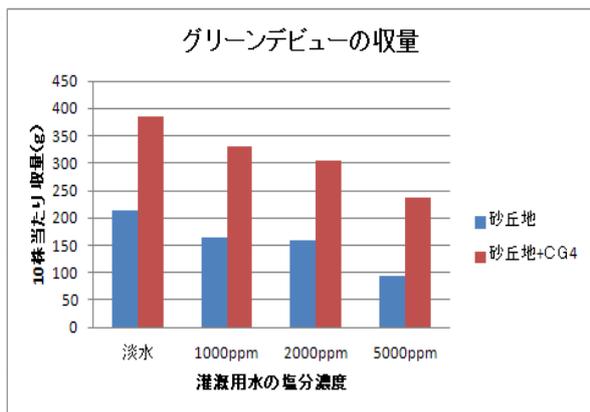
【過去の実証試験例】

鳥取大学が砂漠や砂丘の緑化研究を行っている中で、塩分を多く含んだ灌漑用水でも作物生育が可能な土壤改良材として珪藻土焼成粒の性能試験を1987年に実施

供試体として小松菜を用い、4タイプの灌漑用水で試験

珪藻土を混入した土壤では、いずれの場合でも生育は良好

土壤塩分除去に関する実験成果はないが、除塩にも適用可能



灌水の塩分濃度別小松菜生育状況

土壤改良材による手法-2

4.ゼオライトによる除塩技術-1

東京シンコール

【ゼオライトの概要】

イオン交換性が高く、特にNa、Clイオンと結合しやすい性質があるので、土壤塩分吸収材として利用することが提案されている。

その他に、亜鉛、カドミウム、水銀等の有害な重金属を吸収することがこれまでの実験でも確認されており、塩害だけでなく、有害物質が懸念される農地での活用が期待されている。

粉末状あるいは顆粒状で製品化されており、取扱いが容易で水に溶けやすく、農地表面に散布するだけで自然に土壤に浸透

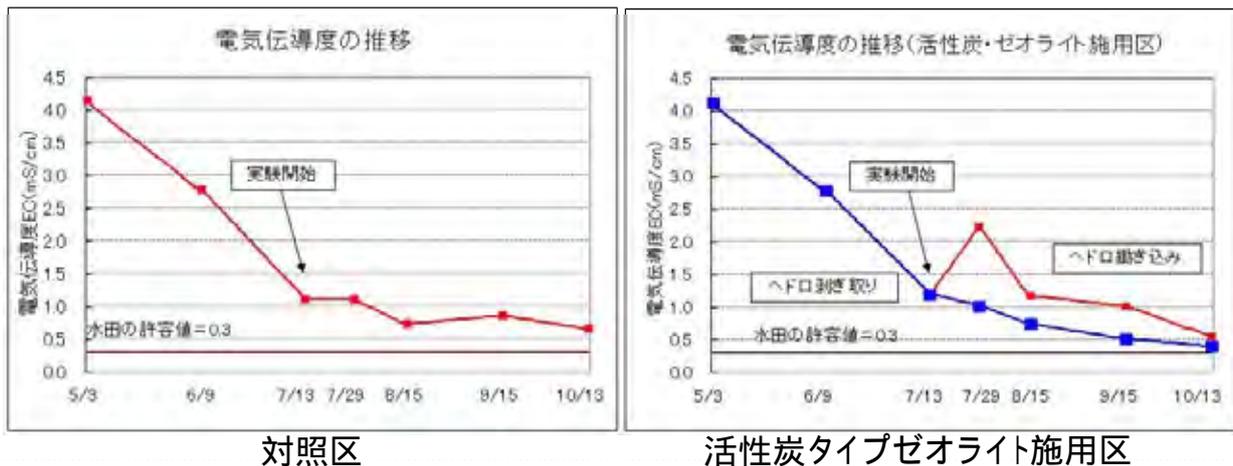


4.ゼオライトによる除塩技術-2

【除塩効果の検証について】

NTCコンサルタンツ・西松建設の除塩試験で、除塩の補助資材として試験区の一部で活性炭と混合したゼオライトを使用

同試験は雨水による除塩効果を主としているため、ゼオライトのみによる除塩効果は明確でないが、ゼオライトを施用した試験区の方が対象区よりECは低い値を示しているため、一定の効果があったと考えられる。



11

5.土壌改良材による手法-3

5.木材チップを利用した除塩実証試験の取り組み-1

【試験圃場の概要】

大林組

場所:宮城県岩沼市 阿武隈川左岸河口付近

特長:地盤沈下により、長期的に排水不良が続くと思われる農地であり、現在でも農地表層に塩分が噴出するなど、塩害が厳しい
 用排水路には油膜が見られ、農地にも大量の油分が含まれている
 このような農地では、湛水除塩による塩分除去だけではなく、油性物質も含めた総合的な土壌改良が求められる



ヘドロが厚く堆積した試験圃場予定地

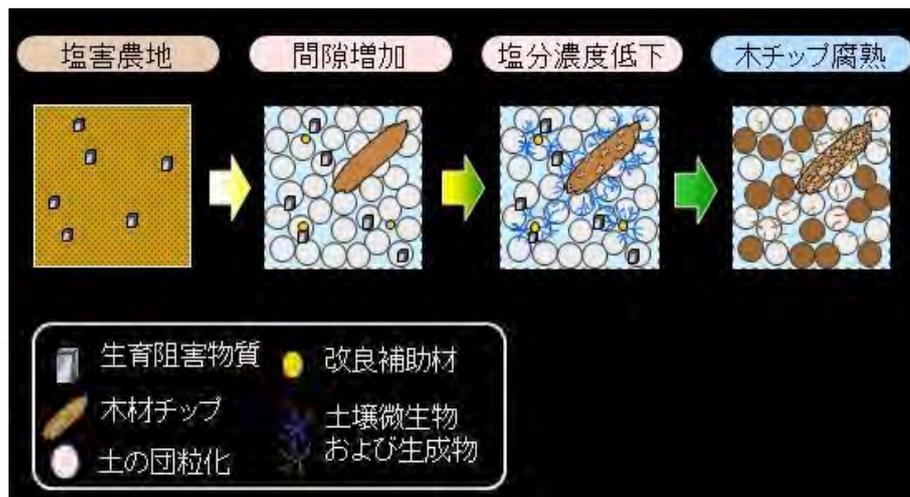


水面の油膜

12

5.木材チップを利用した除塩実証試験の取り組み-2

【木材チップによる土壌の改良方法】



木材チップ及び補助材を堆積土砂と混合し、土壌中に間隙をつくることで透水性を高める
 定期的な攪拌混合と水の浸透性を高める畦作りによって、雨水等の微量な水分で土壌中の塩分を下層に流す
 除塩後、微生物を活性化させ、木材チップを腐熟し、有機溶剤等の油脂分を分解して、土壌に還元

13

微生物菌による除塩技術-1

6.微生物菌とIT技術を活用した塩害農地の再生-1

マイファーム、NTTドコモ、NEC

【取り組み内容-1】

マイファームは数種類の微生物菌を堆肥中に繁殖させ、その中から、塩分土壌改良に適した製品を開発

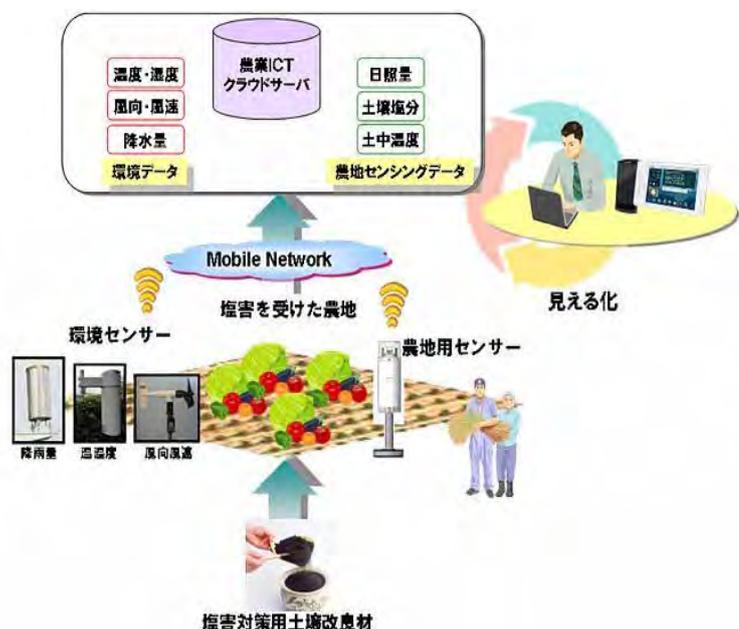
塩害農地の再生を効果的に行うため、NTTドコモのセンサー技術とNECのデータ集積処理技術を用いたシステムを構築し、地元農家に情報を還元

環境センサー

降水量や気温等の気象データ

農地用センサー

土壌塩分濃度等を自動で測定



14

6.微生物菌とIT技術を活用した塩害農地の再生-2

【取り組み内容-2】

被災地農家 約20カ所を対象として実験的に実施

微生物菌堆肥資材は1反当り300kg施用しており、その費用4000万円はマイファーム、NTTドコモ、NECが共同で負担

環境センサーとネットワークはNTTドコモが無償提供

農地センサーとサーバーシステムはNECが約80万円で貸出し

実証試験は平成23年9月から開始



農地被害当時の塩分濃度と施肥してから2ヵ月後の塩分濃度

15

微生物菌による除塩技術-2

7.微生物資材を利用した除塩・栽培実証試験-1

元氣はうす

【経緯】

- 日常的に塩害にさらされている沖縄離島での経験を今回の震災による塩害対策に活用

【実証試験圃場】

- 場所:宮城県石巻市蛇田地区
- 特長:可能な限り塩分濃度の高い地域として同地区を選定、湛水除塩は可能な地区

【試験内容】

- 最初に湛水除塩(土壌環境悪化を防ぐため2回以内)を実施
- 微生物資材として「Bio177」を投入

16

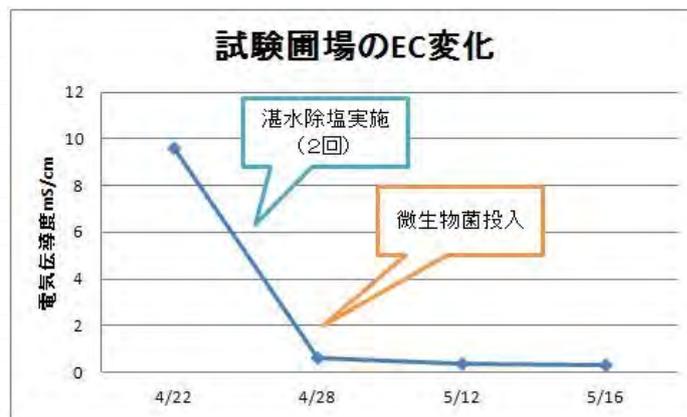
7.微生物資材を利用した除塩・栽培実証試験-2

【試験結果】

当初、ECが9.5 mS/cmであったものが、2回の湛水除塩で0.6 mS/cmまで低下

その後、微生物菌による除塩を進めたところ、20日後の5月中旬で0.3 mS/cm程度まで低下

微生物菌は、除塩だけでなく、土壌全体を作物生育に適した環境にするので、増収が期待される。



17

微生物菌による除塩技術 8.特殊堆肥を利用した除塩・栽培実証試験-1

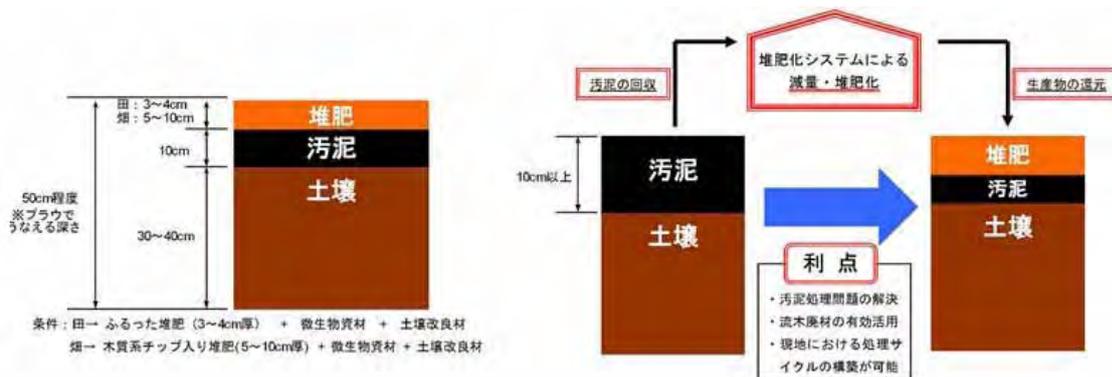
福萬産業

【実証試験概要】

経済産業省の後援を受け、(独)畜産環境整備機構等の公的研究機関の支援、指導のもと実施

場所:宮城県石巻市南境字新堤外

特徴:ヘドロごと微生物菌で土壌改良することが目的



ヘドロ厚 < 10 cm そのまま堆肥を散布

ヘドロ厚 10 cm ヘドロを堆肥化して戻す

18

耐塩性作物による除塩技術-1

9.綿花栽培による除塩の取り組み-1

東北コットンプロジェクト

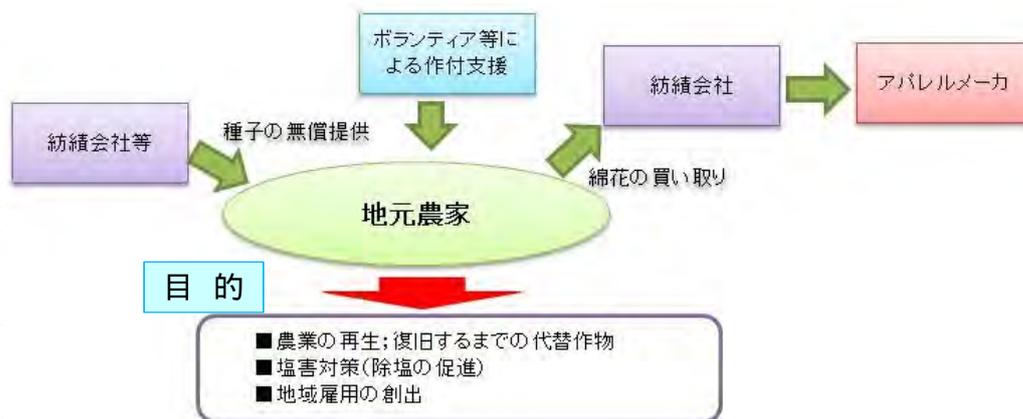
【取組の概要】

紡績会社と衣料メーカーが提唱した、塩害農地で完全復旧までの間、綿花栽培による農家支援を行うプロジェクト

綿花は耐塩性が非常に強く、塩害農地でも栽培可能

場所：宮城県仙台市荒浜地区 栽培面積1.2ha

宮城県名取市下増田地区 栽培面積0.4ha



19

9.綿花栽培による除塩の取り組み-2

【綿花の耐塩性・除塩効果】

綿花は極めて耐塩性が高く、主催者は過去の知見から、綿花を3年栽培した場合、塩分率が0.6%から0.15%まで下げられると期待している。

除塩効果、収穫状況についてはまだ結果が公表されていないが、平成24年の春には綿の製品化を予定している。



ボランティアによる綿花の播種作業

20

・耐塩性作物による除塩技術-2

10.農地復興支援塩トマト栽培プロジェクト

NPO法人農商工連携サポートセンター

【塩トマトについて】

塩トマトは熊本県八代地域など土壌塩分濃度が高い干拓地などで栽培される特別栽培のトマトで、糖度が8以上のもの

【栽培農地の概要】

場所:宮城県岩沼市の塩害を受けた畑 栽培面積 約15a

栽培:露地トマト 400株 ハウストマト 200株



塩トマトツアーの実施(6/24)

21

10.農地復興支援塩トマト栽培プロジェクト-2

【取り組み概要】

6/18 塩トマトツアーを募集し、苗作付を実施

8/20-21 収穫ツアー 8/21 復興トマト無料配布会実施

(株)マイファーム、岩沼ロータリークラブ、東京大学都市持続再生センター共催で取り組み



8/20-21 収穫ツアー



8/21復興トマト無料配布会(東京京橋)

22

耐塩性作物による除塩技術-3

11.菜の花プロジェクト実証試験-1

【活動の概要】

東北大学大学院農学研究科が提唱し、同大学の水平横断的組織として「菜の花プロジェクト」を立ち上げている

活動は5～10年スパンで実施するもので、早期の本格的な活動開始が重要であることから、(独)科学技術振興機構の支援を受け、現場試験を開始

【活動の目的】

地域の塩害状況に適応したアブラナ科作物品種を選定

適正な品種を地域に広め、バイオ燃料の資源、地域景観作物化、そして、これらの取組を通じた地域コミュニティの形成

宮城県仙台市若林区の被災農地1.4haを使用して試験栽培に着手

東北大学



23

11.菜の花プロジェクト実証試験-2



ボランティアによるヘドロの除去
(7/30)



ボランティアによる菜の花播種作業
(10/10)

24

11.菜の花プロジェクト実証試験-3



9/25播種の生育状況



10/10播種の生育状況

特に湛水除塩を行わなくても順調に育っている

問合せ先一覧

除塩対策に関する民間の技術・取組み内容	会社名	住所	電話番号 FAX番号
物理的手 1.非湛水による除塩実証試験	NTCコンサルタンツ株式会社 開発事業部	〒160-0004 東京都新宿区四谷三丁目五番地不動産会館	TEL : 03 - 3357 - 5916 FAX : 03 - 3357 - 6398
	NTCコンサルタンツ株式会社 東北支社	〒160-0004 宮城県仙台市泉区泉中央4-15-7	TEL : 022-771-8375
	西松建設株式会社 北日本支社東北支店	〒980-0804 宮城県仙台市青葉区大町2丁目8-33	TEL : 022-261-8161 FAX : 022 - 261 - 8168
2.反転耕起・心土破碎等通常営農技術による除塩	スガノ農機株式会社 盛岡営業所 (担当: 斎藤保)	〒028-0804 岩手県紫波郡矢巾町東徳田第9地割4-1	TEL : 019-698-1255 FAX : 019-698-1256
土壌改良材による手法 3.珪藻土焼成粒による除塩技術	イソライト工業株式会社 環境事業部	〒530-6108 大阪府北区中之島三丁目3番23号 中之島ダイビル802号	TEL : 06 - 7711 - 5803 FAX : 06 - 7711 - 5813
4.ゼオライトによる除塩技術	東京シンコール株式会社 (担当: 福井、高橋)	〒114-8512 東京都北区西ヶ原1-46-13 イソライト工業株式会社環境事業部	TEL : 03-5961-1151 FAX : 03-5961-1196
5.木材チップを利用した除塩実証試験の取組み	株式会社大林組 技術本部技術研究所 環境技術研究部	〒204-8558 東京都清瀬市下清途-640	TEL 042-495-1067
微生物菌による除塩技術 6.微生物菌とIT技術を活用した塩害農地の再生	株式会社マイファーム	〒600-8107 京都府京都市下京区 東かざり屋町189 クマガイ五条ビル3F	TEL 075-708-2105
7.微生物資材を利用した除塩・栽培実証試験	元氣はうす	〒906-0013 沖縄県宮古島市平良字下里522-2 ウエストスカイコート1	TEL 0980-73-6336
8.特殊堆肥を利用した除塩・栽培実証試験	萬産業株式会社	〒992-0011 山形県米沢市中田町2004	TEL : 0238- 37- 5483
9.綿花栽培による除塩の取組み	東北コットンプロジェクト事務局 (株式会社クルック内)	〒150-0001 東京都渋谷区神宮前2丁目18-21	TEL : 03-5414-6273 FAX : 03-5414-6274
10.農地復興支援塩トマト栽培プロジェクト	NPO法人 農商工連携サポートセンター	〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-21 ちよだプラットフォームスクエア1207	TEL : 03-5259-8097 FAX : 同上
11.菜の花プロジェクト実証試験	東北大学農学部	〒981-8555 仙台市青葉区堤通雨宮町1-1	TEL : 022-717-8664 FAX : 同上

農地除塩の手引き [技術参考資料(案)]

農地除塩の手引き

〔技術参考資料（案）〕

財団法人 日本水土総合研究所

本手引の作成の趣旨

東日本大震災によりおよそ2万4千ヘクタールの農地に海水が浸入し、営農再開に向けた除塩が喫緊の課題となっている。

このため、平成23年6月、農林水産省農村振興局から除塩の実務に携わる担当者を対象に除塩の作業手順や技術的な留意事項等を整理した「農地の除塩マニュアル」(以下「マニュアル」という。)が公表された。

その後、東北農政局において「農地の除塩実証調査」が実施され、宮城県名取市の水田及び亘理町の畑で実証試験が行われた。本手引きは、これら実証試験の経緯を踏まえ、実際の現場で担当者が除塩作業を行うに当たって参考となる留意事項を取りまとめたものである。

なお、本手引きの作成に当たっては、過去に農地の除塩を実施した熊本県と今回の東日本大震災により農地の津波被害を受け、その後、除塩を行った青森県、岩手県、宮城県及び千葉県の意見を参考にして、除塩作業に携わる現場担当者の実務に直接参考になる事項を記載している。

目 次

【水田編】

1 . 除塩工（水田）の概略フローチャート	1
2 . 事前調査	
2.1 現地踏査と基礎資料の収集	2
2.2 用排水路及び用排水系統の確認	2
2.3 瓦礫・堆積土砂の有無	3
2.4 土壌調査	5
2.5 塩分(塩素)濃度の測定と電気伝導度(EC)の相関	7
3 . 除塩工と留意事項	
3.1 堆積土砂等の除去・処分	11
3.2 客土工	13
3.3 弾丸暗渠の施工	13
3.4 石灰質資材の散布	15
3.5 耕起・碎土	16
3.6 湛水及び排水	17

【畑編】

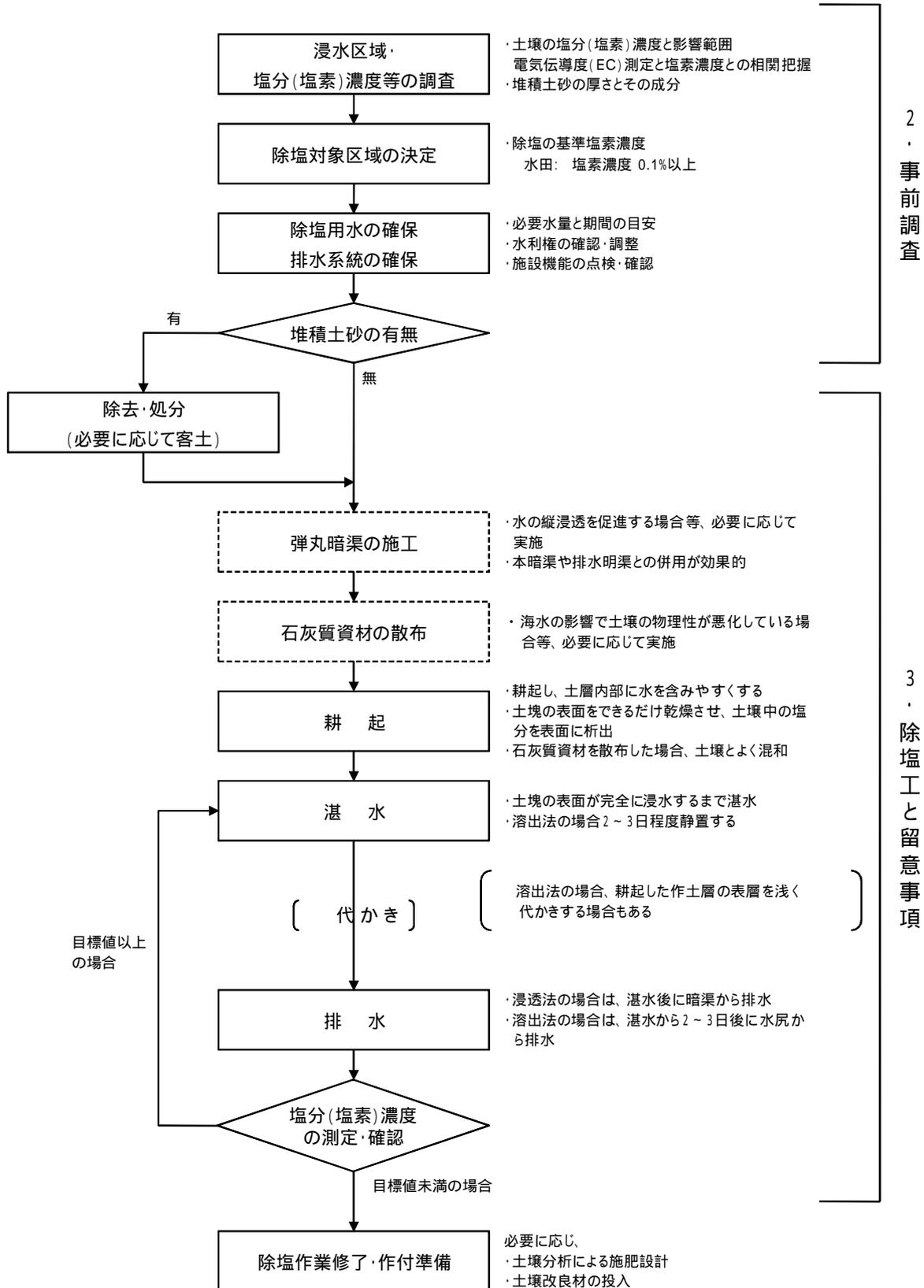
5 . 除塩工（畑）の概略フローチャート	18
6 . 事前調査	
6.1 現地踏査と基礎資料の収集	19
6.2 用排水路及び用排水系統の確認	19
6.3 瓦礫・堆積土砂の有無	20
6.4 土壌調査	21
6.5 塩分(塩素)濃度の測定と電気伝導度(EC)の相関	22
7 . 除塩工と留意事項	
7.1 堆積土砂等の除去・処分	24
7.2 客土工	24
7.3 石灰質資材の散布	25
7.4 耕起・碎土	25
7.5 湛水及び排水	26

【参考編】

- < 参考 1 > 施工歩掛 ----- 27
- (1) 試料採取
 - (2) 堆積土砂鋤取り除去・積込
 - (3) 土壌改良資材散布 (ライムソワー)
 - (4) 弾丸暗渠
 - (5) 耕起
 - (6) 代かき
- < 参考 2 > 簡易 EC 測定器を用いて
現場で塩素濃度を推定する手法 (案) ----- 29
- < 参考 3 > 簡易 EC 測定器を用いた場合の
現場管理 EC 値の設定手法 (案) ----- 37

1. 除塩工（水田）の概略フローチャート

「農地の除塩マニュアル 2011.6 農林水産省農村振興局」(以下、「除塩マニュアル」という。)の5.1 図-1を参考に、水田ほ場を対象とした除塩工について概略フローチャートを示す。



2. 事前調査

2.1 現地踏査と基礎資料の収集

- (1) 対象農地について現地踏査を行い、海水の浸水区域の調査データを整理する。
調査データは、「水土里情報」等の農地地図情報を活用して整理すると、調査結果のとりまとめや面積集計等が容易である。



水土里情報を活用した調査結果とりまとめ事例

- (2) 除塩計画の立案に資することを目的として、暗渠排水設備の有無、配置、地下水位、土壌性（土質区分、透水性等）等の既存資料を収集する。
- (3) 対象農地に暗渠が整備済みの場合は、疎水材の埋設深を把握し、排水性向上を目的とした弾丸暗渠の計画に利用する。

2.2 用排水路及び用排水系統の確認

- (1) 対象農地までの用水機能及び排水機能（ほ場レベルから広域的な排水機能まで）が確保されているかを確認する。
- (2) 除塩用水を確保するため、用水源と水利権（取水期間と取水量）を確認する。
- (3) 除塩用水の塩分濃度の確認を行う。
- (4) 用排水路内にも海水が流入しているために、用排水系統を確認する時は通水試験を通じてフラッシング（洗浄）を行うことが望ましい。
- (5) 除塩に必要な用水量については短期間に計画的な除塩を行うため、可能な限り多量の用水を確保する必要がある。このため、代かき用水量等により用水量を算定し、既存の施設容量も考慮した最大取水可能量を取水することが望ましい。

なお、湛水前に行う耕起作業において生じた土塊群が完全に浸水する深さを目安に、1回の湛水作業に必要な用水量を決定する。

(例) 土塊の浸水深さを 10cm で想定した場合の 10a 当たり 1 回湛水の必要水量

$$1,000 \text{ m}^2 \times 0.1 \text{ m} = 100 \text{ m}^3 = 100 \text{ t}$$

- (6) 除塩工における計画取水量は、河川協議により河川管理者の了解を得た上で最終決定を行う。また、河川協議資料の内容については、河川管理者へ事前に確認しておくことが望ましい。
- (7) 対象農地の暗渠施設を確認する。
 暗渠施設の機能確認の目安
 暗渠排水口からの排水状況（従前の排水状況との比較が有効である。）
 降雨後の農地残留水の状況
 農地表面の不陸や陥没箇所の有無
- (8) 他の農地への影響の有無を確認する。
 特に用排兼用水路の場合や用水の反復利用を行っている地域等では、他の農地へ影響が生じないように配慮するとともに、施工順序を計画する際に十分注意する。
 また、除塩工の一般的な施工順序としては、上流側から下流側に向かって作業を進めることが望ましい。

2.3 瓦礫・堆積土砂の有無



農地に散在する瓦礫の状況



農地に堆積する土砂(ヘドロ)

- (1) 瓦礫が存在する場合は除去を行い、堆積土砂の有無と堆積厚を確認する。
- (2) 海底から運ばれた堆積土砂は塩分（塩素）濃度が高いため、原則として全量が除去・処分とされる。（参照 除塩マニュアル 5.3 堆積土砂の除去）
 ただし、「3.1 堆積土砂等の除去・処分に係る留意事項（1）」に示すとおり、現地状況によっては耕土に鋤き込む処理法も考えられること、また、産廃処理を行う際にも処分方法の検討が必要となることから、堆積土砂の汚染状況について確認のための成分分析を行っておくことが望ましい。
 現在、農用地土壌汚染防止法では、人の健康を損なうおそれがある農畜産物の生産、または農作物等の生育阻害を防止することを目的に農地の土壌に含まれる特定有害物質として、カドミウム、銅及び砒素を規定している。なお、「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律施行令（昭和46年6月24日政令第204号）」の第二条第4項に「カドミウム、銅及び砒素の量の検定の方法は、環境省令で定める。」とある。
 参考に、環境省が定める一般的な土壌の汚染に係る環境基準を別表に添付する。

別表「土壌環境基準」

項目	環境上の条件	測定方法
カドミウム	検液1lにつき0.01mg以下であり、かつ、農用地においては、米1kgにつき0.4mg以下であること。	環境上の条件のうち、検液中濃度に係るものにあつては、日本工業規格K0102(以下「規格」という。)55に定める方法、農用地に係るものにあつては、昭和46年6月農林省令第47号に定める方法
全シアン	検液中に検出されないこと。	規格38に定める方法(規格38.1.1に定める方法を除く。)
有機燐(りん)	検液中に検出されないこと。	昭和49年9月環境庁告示第64号付表1に掲げる方法又は規格31.1に定める方法のうちガスクロマトグラフ法以外のもの(メチルジメトンにあつては、昭和49年9月環境庁告示第64号付表2に掲げる方法)
鉛	検液1lにつき0.01mg以下であること。	規格54に定める方法
六価クロム	検液1lにつき0.05mg以下であること。	規格65.2に定める方法
砒(ひ)素	検液1lにつき0.01mg以下であり、かつ、農用地(田に限る。)においては、土壌1kgにつき15mg未満であること。	環境上の条件のうち、検液中濃度に係るものにあつては、規格61に定める方法、農用地に係るものにあつては、昭和50年4月総理府令第31号に定める方法
総水銀	検液1lにつき0.0005mg以下であること。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表1に掲げる方法
アルキル水銀	検液中に検出されないこと。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表2及び昭和49年9月環境庁告示第64号付表3に掲げる方法
PCB	検液中に検出されないこと。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表3に掲げる方法
銅	農用地(田に限る。)において、土壌1kgにつき125mg未満であること。	昭和47年10月総理府令第66号に定める方法
ジクロロメタン	検液1lにつき0.02mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2又は5.3.2に定める方法
四塩化炭素	検液1lにつき0.002mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2、5.3.1、5.4.1又は5.5に定める方法
1, 2-ジクロロエタン	検液1lにつき0.004mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2、5.3.1又は5.3.2に定める方法
1, 1-ジクロロエチレン	検液1lにつき0.02mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2又は5.3.2に定める方法
シス-1, 2-ジクロロエチレン	検液1lにつき0.04mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2又は5.3.2に定める方法
1, 1, 1-トリクロロエタン	検液1lにつき1mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2、5.3.1、5.4.1又は5.5に定める方法
1, 1, 2-トリクロロエタン	検液1lにつき0.006mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2、5.3.1、5.4.1又は5.5に定める方法
トリクロロエチレン	検液1lにつき0.03mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2、5.3.1、5.4.1又は5.5に定める方法
テトラクロロエチレン	検液1lにつき0.01mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2、5.3.1、5.4.1又は5.5に定める方法
1, 3-ジクロロプロペン	検液1lにつき0.002mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2又は5.3.1に定める方法
チウラム	検液1lにつき0.006mg以下であること。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表4に掲げる方法
シマジン	検液1lにつき0.003mg以下であること。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表5の第1又は第2に掲げる方法
チオベンカルブ	検液1lにつき0.02mg以下であること。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表5の第1又は第2に掲げる方法
ベンゼン	検液1lにつき0.01mg以下であること。	日本工業規格K0125の5.1、5.2又は5.3.2に定める方法
セレン	検液1lにつき0.01mg以下であること。	規格67.2、67.3又は67.4に定める方法
ふっ素	検液1lにつき0.8mg以下であること。	規格34.1に定める方法又は規格34.1c(注(6)第3文を除く。)に定める方法(懸濁物質及びイオンクロマトグラフ法で妨害となる物質が共存しない場合にあつては、これを省略することができる。)及び昭和46年12月環境庁告示第59号付表6に掲げる方法
ほう素	検液1lにつき1mg以下であること。	規格47.1、47.3又は47.4に定める方法
備考	<p>1 環境上の条件のうち検液中濃度に係るものにあつては付表に定める方法により検液を作成し、これを用いて測定を行うものとする。</p> <p>2 カドミウム、鉛、六価クロム、砒(ひ)素、総水銀、セレン、ふっ素及びほう素に係る環境上の条件のうち検液中濃度に係る値にあつては、汚染土壌が地下水面から離れており、かつ、原状において当該地下水中のこれらの物質の濃度がそれぞれ地下水1lにつき0.01mg、0.01mg、0.05mg、0.01mg、0.0005mg、0.01mg、0.8mg及び1mgを超えていない場合には、それぞれ検液1lにつき0.03mg、0.03mg、0.15mg、0.03mg、0.0015mg、0.03mg、2.4mg及び3mgとする。</p> <p>3 「検液中に検出されないこと」とは、測定方法の欄に掲げる方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。</p> <p>4 有機燐(りん)とは、パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及びEPNをいう。</p>	

「環境省 HP より引用 <http://www.env.go.jp/ki jun/dojou.html>」

2.4 土壌調査

除塩工では、対象農地の土壌条件に合った排水方法（縦浸透法・溶出法）の選定や土壌物理性の改善を目的に実施する石灰質資材の散布等、事前調査における土壌調査結果に基づいた適切な除塩計画を策定することが重要である。

土壌調査において、地方公共団体の普及センターや農業関係機関が実施している土壌調査に関わる既存資料の収集を行い、対象農地の従前状況を把握するとともに排水方法や石灰質資材の選定等、除塩計画の策定に際して有効活用を図るものとする。

以下に、宮城県名取市の実証試験ほ場（水田）の土壌調査結果について、（１）土壌の物理性を示す。また、（２）に宮城県亶理町の実証試験ほ場（畑）の従前の土壌化学性についての事例を示す。

（１）土壌の物理性

	粒 径 組 成			土 性	土粒子の密度	飽和透水係数
	砂	シルト	粘土		(g/cm ³)	(cm/s)
作土層 (0 cm ~ -10 cm)	58%	26%	16%	埴壤土 (CL)	2.46	9.0 × 10 ⁻⁴

粒径組成：ピベット法 土性：国際土壌分類による 土粒子の密度：JIS A1202による 飽和透水係数：変水位法による

（２）従前の土壌化学性

ほ場	pH	EC	CEC	塩基飽和度	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	CaO/MgO	MgO/K ₂ O
A	7.30	0.10	9.7	134.5	208.0	287.0	46.1	28.0	4.5	3.8
B	6.40	0.64	12.1	121.8	186.0	329.0	47.9	30.1	4.9	3.7

出所：亶理農業普及センター(2010.7.1) 実証試験ほ場。CEC, 塩基飽和度は推計値。

また、海水の浸水により従前状況と土壌条件が大きく変化していることが想定される農地では、事前調査の段階で改めて土壌調査を行い、その調査結果に基づいて効果的な除塩工（排水方法、土壌物理性の改善等）を計画することが望ましい。

なお、除塩計画に関わる排水方法の選定、石灰質資材の選定及び散布の有無については、土壌調査の結果を総合的に検討し判断を行うものとする。

(3) 土壌物理性

基本的な土壌物理性を確認する試験内容を以下に示す。

土粒子の密度試験

粒度試験

土の含水比試験

現場透水試験

現場透水試験の方法について

対象農地の土壌条件が従前状況に比べ大きく変化している場合は、原位置において現場透水試験を行うことが望ましい。

透水性調査の手法については、「土地改良事業計画設計基準 計画「暗渠排水」技術書 2．現場透水係数測定法」等を参考とする。

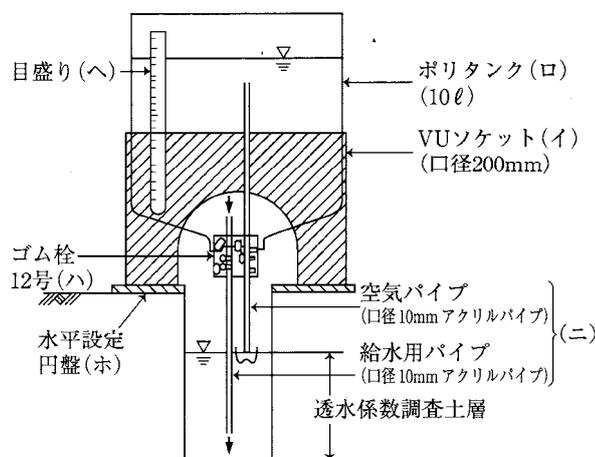


図-2.2 現場透水係数測定器の設置例

「土地改良事業計画設計基準 計画「暗きょ排水」H12.11 技術書 p.98」

縦浸透法と溶出法の選定方法については、透水係数を判定基準とした明確な選定方法が確立されていないため、現時点では近傍地区の除塩実績や現場状況により判断を行うものとする。

(4) 土壌の化学性

土壌の化学性については、極力、従前の調査結果を参考とする。

2.5 塩分（塩素）濃度の測定と電気伝導度（EC）の相関

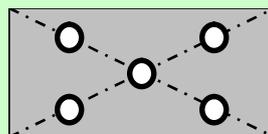
- (1) 塩素濃度調査は、海水の浸水範囲の農地を対象とし、概ね 10ha に 1 カ所程度の割合で測定することを基本とする。ただし、調査範囲が 10ha に満たない場合は、最低 1 カ所は測定を行う。
- (2) 堆積土砂は除去を行うことを基本（除塩マニュアル 5.3 堆積土砂の除去）とするため、土砂堆積（ヘドロ等）がある場合は、塩素濃度測定前に調査地点の土砂除去を計画する。
- (3) 塩素濃度調査の対象土壌は、ほ場の堆積土砂を除いた作土表層部（地表から 10cm 以内）、作土下層部（地表から 20cm 程度）について測定する。特に必要な場合は、作土層以深（地表から 20cm 以深）の層についても測定する。詳細については、地方公共団体の普及センターや農業関係機関の営農指導部門の指導によるものとする。
なお、土壌採取の際には、土壌区分、心土の状況を確認し、弾丸暗渠の必要性検討の基礎資料とする。

【土壌の採取方法】

標準的には、概ね 10ha に 1 カ所程度の割合で採取・測定することを基本とするが、異常値の棄却も考慮して、土壌採取は調査農地の 3～5 カ所程度より行っておくことが望ましい。



3カ所の土壌採取例



5カ所の土壌採取例

採土器は、アルミ、ステンレス、プラスチック等の土壌分析結果に影響を与えない材質のものを使用する。試料採取の際は肥料やゴミ等の混入に十分注意する。



作土表層部(地表～10cm)の土壌採取



作土層下部(20cm 深さ)の土壌採取

実証試験ほ場 水田(名取市)

【表 1 土性区分】

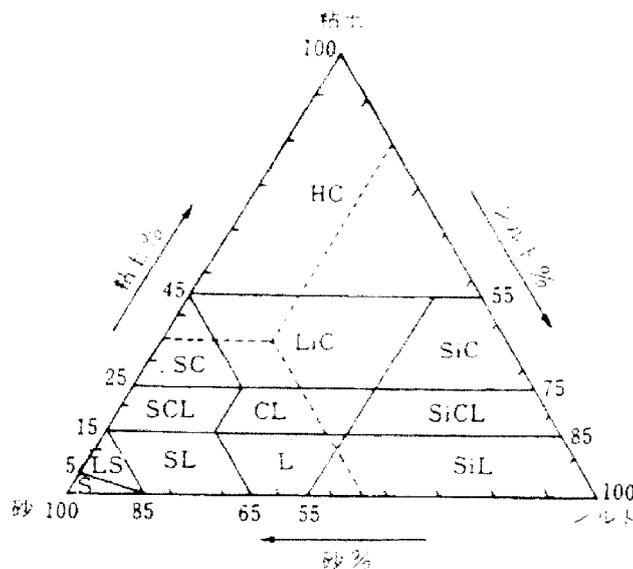
粘土含量	土性区分	略記号	粘土 (%)	シルト (%)	砂 (%)
15% 以下	砂 土 (Sand)	S	0~5	0~15	85~100
	壤質砂土 (Loamy Sand)※	LS	0~15	0~15	85~95
	砂 壤 土 (Sandy Loam)※	SL	0~15	0~15	65~85
	壤 土 (Loam)	L	0~15	20~45	40~65
	シルト質壤土 (Silt Loam)	SiL	0~15	45~100	0~55
15 ~ 25%	砂質埴壤土 (Sandy Clay Loam)	SCL	15~25	0~20	5~85
	埴 壤 土 (Clay Loam)	CL	15~25	20~45	30~65
	シルト質埴壤土 (Silty Clay Loam)	SiCL	15~25	45~85	0~40
25 ~ 45%	砂質埴土 (Sandy Clay)	SC	25~45	0~20	55~75
	軽 埴 土 (Light Clay)	LiC	25~45	0~45	10~55
	シルト質埴土 (Silty Clay)	SiC	25~45	45~75	0~30
45%以上	重 埴 土 (Heavy Clay)	HC	45~100	0~55	0~55

※壤質砂土及び砂壤土は、粗砂及び細砂の含量により次のように細分される。

- ①壤質粗砂土(LCoS) : 細砂40%以下、粗砂45%以上
- ②壤質細砂土(LFS) : 細砂40%以上、粗砂45%以下
- ③粗砂壤土(CoSL) : 細砂40%以下、粗砂45%以上
- ④細砂壤土(FSL) : 細砂40%以上、粗砂45%以下

【表 2 土壌の塑性による判断と理化学的な特徴 (土性区分と特徴)】

区分	記号	粘土細工の塑性性で判断	指の感触	耕うん性	通気性	排水性	保水力	保肥力
砂質	S, LS	こねても固まらない	ザラザラで砂だけ	易	大	大	小	小
壤質	SL, L, SiL	鉛筆程度の太さに影響できる	砂が多いか、粘土と砂が半々くらい	易	中	中	中	中
粘質	SCL, CL, SiCL	マッチ棒程度の細さまで繋がる	粘土が大半で、砂もわずかに感じる	やや難	やや小	小	大	やや大
強粘質	SC, SiC, LiC, HC	こより程度に糸長く作れる	双対した粘土で砂は感じられない	難	小	極小	小	大



土性三角図表

「農林水産省生産局資料より引用」

【表3 各土性の特徴】

<p>重粘土 (HC)</p> <p>適当な水分があれば、指先でこねると太さ2mm程度のひも状に彫塑できる。感触は粘りが強く、つるつるとした感覚となる。</p> <p>排水不良で耕耘性が低く明きょ、暗きょ等による排水が必要である。</p>
<p>埴土 (SC, LiC, SiC)</p> <p>砂質、シルト質等を名称に冠する。(砂質埴土など)指先でこねるとひも状に彫塑でき、触感土性は粘りが強く、つるつるとした感覚である。</p>
<p>埴壤土 (SCL, CL, SiCL)</p> <p>埴土と壤土の中間の土壌で、砂質、シルト質等を名称に冠する。触感土性は粘りがあり、つるつるとした感じと同時にザラザラとした砂の感触が少しある。</p>
<p>壤土 (L), シルト質壤土 (SiL)</p> <p>壤土は中間的な土壌で、触感土性はザラザラとした砂の感じと、つるつるとした粘土の感覚が半々程度感じる。</p> <p>壤土よりシルト分を含有するものをシルト質壤土 (SiL) とする。</p>
<p>砂壤土 (SL)</p> <p>砂と壤土の中間の土性で、触感土性はザラザラとした砂の感触と、つるつるとした粘土の感触が少しある。砂質であるが砂そのものではなく、やや乾きやすい土である。</p>
<p>砂土 (S), 壤質砂土 (LS)</p> <p>触感土性はザラザラしており、粘土の感触はほとんど無い状態である。保水力、保肥力ともに低い土である。</p> <p>砂土 (S) よりやや粘土分を含有するものを壤質砂土 (LS) とする。</p>

「農林水産省生産局資料を(財)日本水土総合研究所にて編集」

(4) 現地の計測結果や既知の技術資料等より、塩素濃度(%)と電気伝導度(EC)(mS/cm)の相関図を作成する。

次の相関図は、東日本大震災における宮城県名取市の水田の実証試験ほ場で得られた相関結果の例であり、実際の除塩工では各県の指導のもとに対象地域毎の調査結果に基づいた相関図を利用されたい。

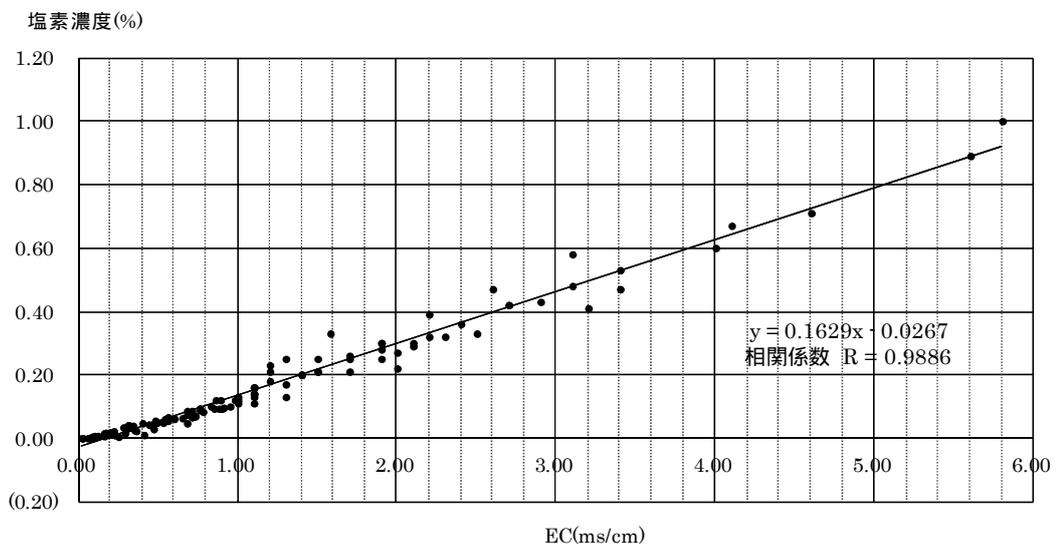


図 塩素濃度とEC値の関係(40地点120検体)

【除塩に係る塩分濃度の基準値】

除塩の対象とする土壌の塩素濃度基準は、「東日本大震災に対処するための農用地の除塩に係る特定災害復旧事業実施要綱」（平成23年5月2日付け23農振第372号農林水産事務次官通知）に規定されており、水田の場合0.1%（Cl 100mg/100g 土）以上、畑の場合0.05%（Cl 50mg/100g 土）以上としている。

「除塩マニュアル 4.除塩の対象となる塩素濃度基準」

- (5) 除塩用水排水後の塩素濃度の確認は、「除塩マニュアル 3.2 塩分（塩素）濃度の測定」に定められた試験法により行うことを基本とする。

ここで、現地において土壌 EC 計等の簡易計測器により電気伝導度（EC）を計測し、その EC 値を現地で評価して作業の継続・終了を判断する方法もあるが、この場合、前出の相関図は室内試験における塩素濃度（%）と EC 値（mS/cm）との関係であるため、室内試験結果の EC 値（mS/cm）と現地計測結果の EC 値（mS/cm）との関係の把握や、別途、簡易計測器を用いて EC 値（mS/cm）を測定し塩素濃度の確認を行う場合の現場管理の目標値を設定するなど、十分な検討が必要である。



(参考)土壌 EC 計タイプ



(参考)コンパクト EC メータータイプ

また、対象農地の土壌 pH 値は、除塩に用いる石灰質資材の選定や除塩後の農地の施肥設計等の参考データとなることから、併せて測定しておくことが望ましい。



(参考)コンパクト pH メーター

3 . 除塩工と留意事項

3.1 堆積土砂等の除去・処分

堆積土砂は除去を行うことを基本とする。（除塩マニュアル 5.3 堆積土砂の除去）

〔堆積土砂等の除去・処分に係る留意事項〕

原則として、堆積土砂は全量除去とする。

ただし、土砂の堆積厚が薄く、油類や重金属等を含まないと判断される農地については、対象農地の暗渠施設に留意し、関係農業者の合意を得た上で耕土に鋤き込むことも可能である。

瓦礫や堆積土砂の処分先については、事前に関係機関と調整を図る必要がある。

がれき等の除去後、表土に細かい木片・金属片が混入し、人力作業による除去が困難な場合は、重機施工による必要最小限の表土剥ぎも検討する。

堆積土砂除去の施工事例
(実証試験ほ場 水田)

1) 農地における
堆積状況



【実証試験ほ場の堆積厚】
0cm ~ 5cm 程度



2) 堆積土砂
の除去



【掘削機械】
バックホウ 0.45m³ 級
【アタッチメント】
法面バケットタイプ

(バックホウ積み込み) 

3) ほ場内の
運搬状況



【場内運搬車】
10t キャリアダンプ

(バックホウ積み込み) 

4) 堆積土砂の
搬出状況



【場外搬出車】
4t ダンプトラック

3.2 客土工

除塩対象となる農地については、必要に応じて客土工を計画する。

客土が必要となる主な要因としては、以下の事象が考えられる。

- (1) 津波により土壌が流出した場合
- (2) 地震動に起因した地盤沈下が発生した場合
- (3) 堆積土砂の除去作業時に不可避免的に作土層が除去される場合

〔客土工に係る留意事項〕

原則として従前のほ場面標高までを対象とし、客土厚は不足分を計上する。

客土厚は、現況表土厚を現地で確認の上決定する。

3.3 弾丸暗渠の施工

弾丸暗渠は、トラクタ等で砲弾状のモールドを牽引することにより、作土層直下の難透水性層を破砕するとともに土層に孔を開ける。これにより、土壌中の水分は形成されたスリットや亀裂を通じて弾丸暗渠孔に集水され、本暗渠や明渠（除塩溝）を通じてほ場外へ排水される。したがって、本暗渠の整備・未整備に拘わらず、縦浸透法による除塩を選択する場合は、土壌の透水性（排水性）促進により除塩効果の増大が期待できることから、弾丸暗渠の施工を行うことが望ましい。

なお、本暗渠未整備の場合の弾丸暗渠の施工の流末処理は、明渠とポンプ排水の組み合わせを行うと有効である。（次頁、「施工説明図」＜本暗渠が未整備の場合＞参照）

「除塩マニュアル 5.4 弾丸暗渠の施工（3）」より、弾丸暗渠施工機械の選定の目安は以下のとおりとする。

- (1) 作土層直下に本暗渠の疎水材を埋設している場合（弾丸暗渠施工深度 30cm 程度，施工間隔は除塩工事の実績より 5m 程度を標準とし、土壌条件等により間隔を検討する。）は、出力 14.7KW（20PS）～22.1KW（30PS）級程度のホイール型トラクタで施工が可能。
- (2) 本暗渠疎水材の埋設深が 30～50cm 程度の場合は、出力 44.1KW（60PS）級程度以上のクローラ型トラクタが必要である。

弾丸暗渠の
施工状況



【施工機械】

農業用トラクタ

規格：乗用・ホイール型

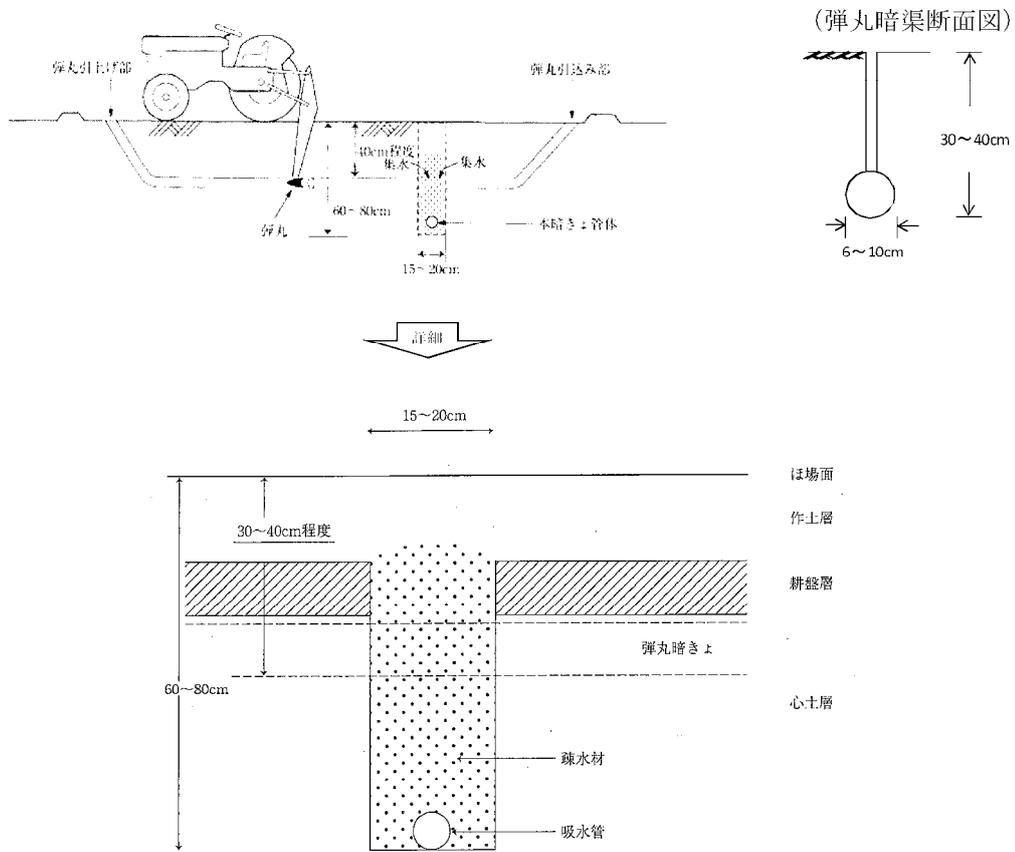
四輪駆動 33ps

付属機：プロバネ振動ガソリン

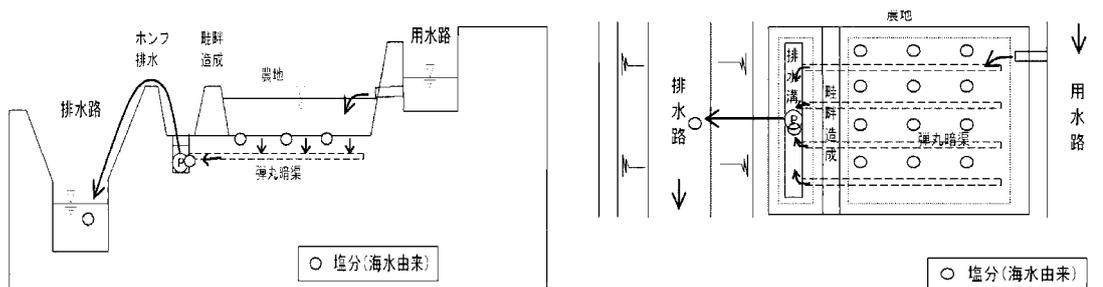
実証試験ほ場 水田

施工説明図 「除塩マニュアル 5.4 弾丸暗渠の施工 図 - 3 及び図 - 4」

< 本暗渠が整備されている場合 >

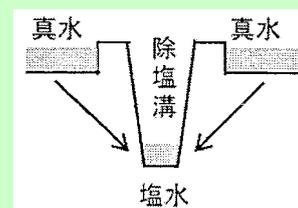


< 本暗渠が未整備の場合 >



除塩溝(明渠)

除塩を促進させるために設置する明渠(図3)。
 土壌深部まで除塩でき、透水性のよい水田に有効な方法。
 透水性の悪い水田にあっては、弾丸暗渠との併用で実施。



〔弾丸暗渠の施工に係る留意事項〕

弾丸暗渠を施工する場合は、予め農業者の了解を得る必要がある。

弾丸暗渠を施工する場合は、雨水による除塩効果が期待できるため、できるだけ早い段階で施工することが望ましい。

弾丸暗渠の施工間隔は工事実績より 5m を標準とするが、重粘土などの難透水性土壌の場合は、排水性を高める目的から弾丸暗渠の施工間隔を狭めることも検討する。

弾丸暗渠の施工前には水閘を開放し、本暗渠の機能確認を行っておくことが重要であり、確認方法には以下のようなものがある。

- 1) 暗渠排水口からの排水状況の確認
- 2) 降雨後の農地の残留水の状況確認
- 3) 農地表面の不陸や陥没箇所の有無の確認

弾丸暗渠の機能を最大限に発揮させるには、本暗渠の疎水材部と確実に交差させることが必要である。弾丸暗渠の施工前には、本暗渠や疎水材の位置及び状態を十分把握しておくことが重要である。特に疎水材が 30cm 以深に施工されている場合や腐食による機能低下が認められる場合は、疎水材の深さに注意するとともに暗渠管上部の亀裂等の深さまで弾丸暗渠を確実に施工することが必要となる。

ナトリウムイオンの影響で土壌が著しく硬化（ナトリウム粘土化）し、一般の営農機械による弾丸暗渠の施工が困難な場合は、大型重機等による施工、あるいは土壌物理性の改善を目的とした石灰質資材の散布を検討する必要がある。

本暗渠が整備されている場合、施工深度が深すぎると吸水管を引き上げたり本暗渠を破損する恐れがあるため、施工深度は予め十分検討する必要がある。

本暗渠が整備されていない場合、地下浸透のみに依らず、除塩溝を設置して速やかな排水に努める。

3.4 石灰質資材の散布

海水に含まれるナトリウムイオンの影響で土壌がナトリウム粘土化し、土壌構造の単粒化や固結化などの進行により、土壌の透水性が著しく低下している場合は、石灰質資材を散布し、悪化した土壌の物理性を改善した上で除塩する。

「除塩マニュアル 5.5 石灰質資材散布」

石灰質資材の
散布状況



〔施工機械〕
農業用トラクタ
規格：乗用・ホイール型
四輪駆動 22kw 級
(32ps)

実証試験ほ場 水田(名取市)

〔石灰質資材の散布に係る留意事項〕

事前調査における土壌採取の段階で、目視調査結果より表 1～表 3 を参考に対象農地の土壌区分を行っておくことが重要である。

各方面の除塩実績資料等から、資材の種類については一般的に土壌が酸性の場合には炭カル（炭酸カルシウム〔CaCO₃〕）、アルカリ性の場合には石膏（硫酸カルシウム〔CaSO₄〕）等が使用されている。

石灰質資材の種類や施用量によっては、除塩後の土壌の pH 値に影響を与えることがあるため、その施用に当たっては十分な注意が必要である。

したがって、資材の種類や施用量については、地方公共団体の普及センターや農業関係機関の営農指導部門の指導の下に決定するとともに、予め農業者の了解を得る必要がある。

3.5 耕起・碎土

耕起は、土壌と石灰質資材の混和や除塩用水の土壌浸透性を向上するために行う。

ロータリー耕耘が一般的だが、深耕する場合はプラウによる耕起も検討する。

耕起状況



【施工機械】

農業用トラクタ

規格：乗用・ホイール型

四輪駆動 22kw 級

（32ps）



実証試験ほ場 水田(名取市)

〔耕起・碎土に係る留意事項〕

石灰質資材を散布した場合は、耕起作業により石灰質資材と土壌を良く混和することが重要である。

碎土後の土塊は、小さいほど湛水時における塩分の溶出効果が高い。

耕起後は、土壌の空隙確保や塩分を土塊の表面に析出させるため、耕起した土塊の表面をできるだけ乾燥させる。（土壌乾燥は、団粒化促進にも効果的である。）

事前調査結果より、排水不良が想定される水田の場合、塩分の溶出を促進させるため、湛水後の代かきも検討する。

3.6 湛水及び排水

耕起後、土塊が完全に浸水する深さまで湛水し、縦浸透法や溶出法に応じた排水を行い、排水後に土壌の電気伝導度(EC) (mS/cm) を測定する。電気伝導度(EC)と塩素濃度の相関関係より最終的に塩素濃度が目標値以下になるまで湛水から排水に至る工程を繰り返す。

(1) 縦浸透法の場合の作業工程

ア) 耕 起 イ) 水尻を閉塞の ウ) 湛 水 エ) 排水(土壌の浸透作用により排水)

本暗渠が整備されている場合、湛水直後に水閘を開放する。

(2) 溶出法の場合の作業工程

ア) 耕 起 イ) 水尻を閉塞 ウ) 湛 水 (必要に応じて代かき)
エ) 2～3日間の静置期間後に排水(水尻の開放)

水田の
湛水状況



実証試験ほ場 水田(名取市)の湛水状況

[湛水及び排水に係る留意事項]

縦浸透法の場合は、塩分を確実に排水路に排出するため、湛水後、暗渠の水閘は直ちに開放するだけでなく、可能な限り湛水深を確保することが望ましい。

縦浸透法の場合は、浸透抑制作用のある湛水攪拌(代かき)は実施しない。

縦浸透法の場合は、土壌中の塩分を確実に下方へ押し流す必要性から、水尻からは排水させない。

溶出法の場合は、耕起した作土層の表層を浅く攪拌する場合もある。湛水攪拌した場合は、極力濁水を排出しないように攪拌後の静置期間を確保する。

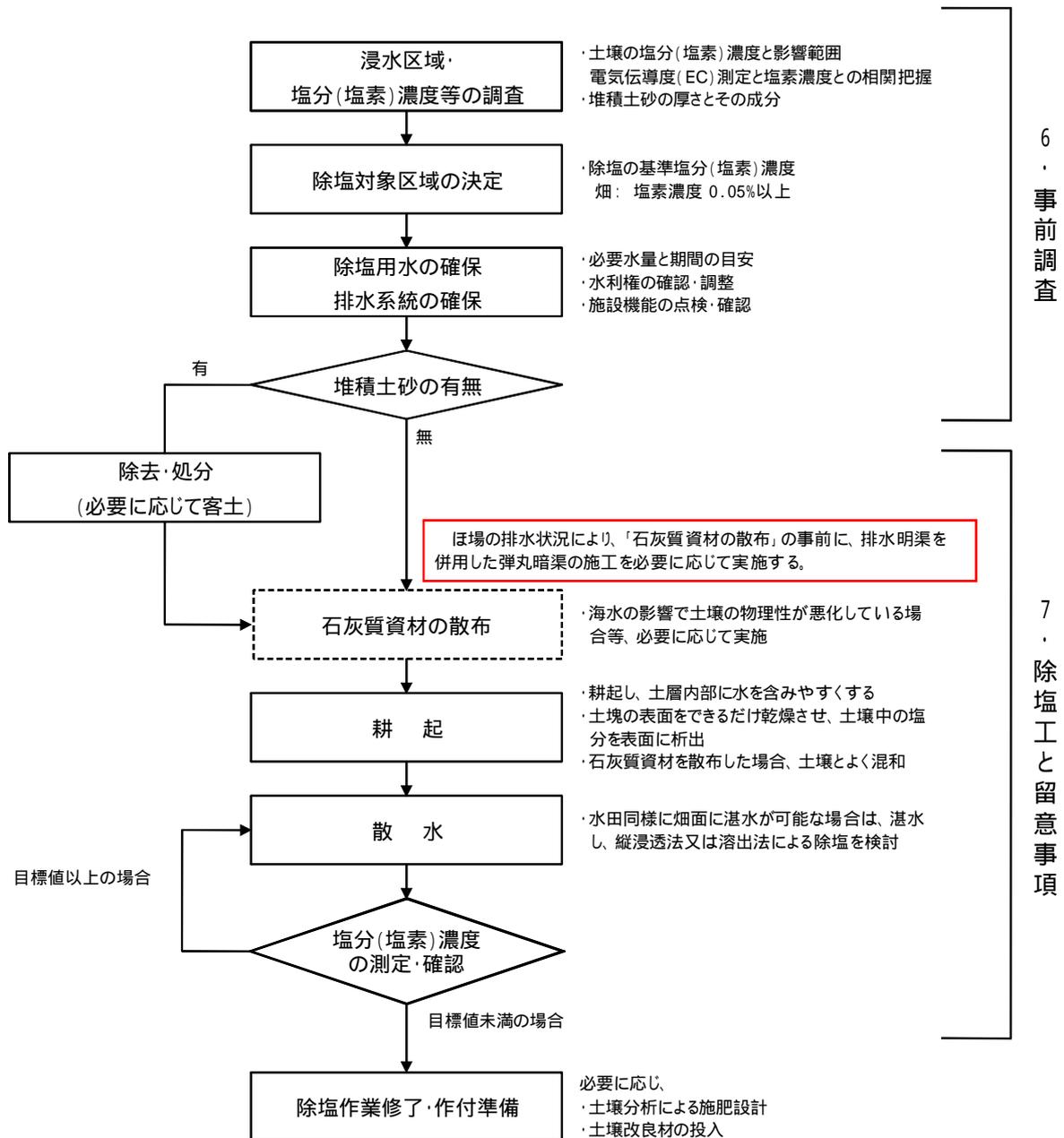
排水後は、土壌中の塩素濃度を測定し、塩素濃度が目標値を上回っている場合は、塩素濃度が目標値以下になるまで ウ) 湛水～エ) 排水 に至る工程を繰り返し行う。

自然降雨による除塩効果も確認されていることから、作付け時期までの期間を考慮にいれて除塩作業の計画作成を行う必要がある。

畦畔漏水で周辺の水田に塩分が流出する恐れがあるため、湛水の前に畦畔の状況を確認し、必要に応じて畦塗りをを行う。

5. 除塩工（畑）の概略フローチャート

「農地の除塩マニュアル 2011.6 農林水産省農村振興局」（以下、「除塩マニュアル」という。）の5.1 図-2を参考に、畑を対象とした除塩工事について概略フローチャートを示す。



6 . 事前調査

6.1 現地踏査と基礎資料の収集

- (1) 対象農地について現地踏査を行い、海水の浸水区域の調査データを整理する。
調査データは、「水土里情報」等の農地地図情報を活用して整理すると、調査結果のとりまとめや面積集計等が容易である。



水土里情報を活用した調査結果とりまとめ事例

- (2) 除塩計画の立案に資することを目的として、地下水位、土壌性（土質区分、透水性等）等の既存資料を収集する。

6.2 用排水路及び用排水系統の確認

- (1) 除塩用水を確保するため、用水源と水利権（取水期間と取水量）を確認する。
(2) 対象農地までの用水機能（パイプライン等）が確保されているかを確認するとともに、対象農地からの排水による地下水への影響、近傍の用・排水施設等への影響を併せて確認する。
(3) 除塩用水の塩分濃度の確認を行う。
(4) 除塩に必要な用水量については以下を参考とするとともに、地方公共団体の普及センターや農業関係機関の営農指導部門の指導に従って計画する。

かん水除塩法による場合

H23 年度に実施した、畑の実証試験ほ場（宮城県亶理郡亶理町長瀬地区）での計画かん水量について例示する。

透水係数 1.0×10^{-3} (cm/s) の排水性の良い畑地の場合、実績データより 100t/10a のかん水量が目安とできる。

湛水除塩法による場合

水田の場合と同様に、湛水前に行う耕起作業において生じた土塊群が完全に浸水する深さを目安に、1回の湛水作業に必要な用水量を決定する。

(例) 土塊の浸水深さを10cmで想定した場合の10a当たりの必要水量

$$1,000 \text{ m}^2 \times 0.1\text{m} = 100 \text{ m}^3 = 100 \text{ t}$$

湛水の計画回数は、過去の除塩工実績や近傍地区の事例を参考に計画されたい。

- (5) 除塩工における計画取水量は、河川協議により河川管理者の了解を得た上で最終決定を行う。また、河川協議資料の内容については、河川管理者へ事前に確認しておくことが望ましい。

6.3 瓦礫・堆積土砂の有無



農地に散在する瓦礫の状況

- (1) 瓦礫が存在する場合は除去を行い、堆積土砂の有無と堆積厚を確認する。
- (2) 海底から運ばれた堆積土砂は塩分(塩素)濃度が高いため、原則として全量が除去・処分とされる。(参照 除塩マニュアル 5.3 堆積土砂の除去)
- ただし、現地の状況によっては耕土に鋤き込む処理法も考えられること、また、産廃処理を行う際にも処分方法の検討が必要となることから、水田の場合と同様に堆積土砂の汚染状況については分析試験を行っておくことが望ましい。
- 一般的な土壌の汚染に係る環境基準については、「2.3 瓦礫・堆積土砂の有無(2) 別表」を参照されたい。

6.4 土壌調査

除塩工の排水方法や石灰質資材の選定に資することを目的とした土壌調査の内容は、水田の場合に準ずるものとする。（参照 2.4 土壌調査）

以下に、宮城県亶理郡亶理町長瀬地区の実証試験ほ場（畑）の土壌調査結果について、（１）土壌の物理性、（２）従前の土壌化学性を示す。

（１）土壌の物理性

	粒径組成			土性	土粒子の密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和透水係数 (cm/s)
	砂	シルト	粘土				
作土	81 %	7 %	12 %	砂壤土 (SL)	2.70	1.24	2.8 × 10 ⁻³
心土	91 %	2 %	7 %	壤質砂土 (LS)	2.78	1.38	6.9 × 10 ⁻³

粒径組成：ピベット法による。土性：国際土壌分類による。土粒子の密度：JISA1202による。飽和透水係数：変水位法による。

（２）従前の土壌化学性

ほ場	pH	EC	CEC	塩基飽和度	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	CaO/MgO	MgO/K ₂ O
A	7.30	0.10	9.7	134.5	208.0	287.0	46.1	28.0	4.5	3.8
B	6.40	0.64	12.1	121.8	186.0	329.0	47.9	30.1	4.9	3.7

出所：亶理農業普及センター(2010.7.1) 実証試験ほ場。CEC, 塩基飽和度は推計値。

6.5 塩分（塩素）濃度の測定と電気伝導度（EC）の相関

（１） 塩素濃度調査は、海水の浸水範囲の農地を対象とし、水田の場合と同様に概ね 10ha に 1 カ所程度の割合で測定することを基本とする。

ただし、調査範囲が 10ha に満たない場合は、最低 1 カ所は測定を行う。

なお、施設畑の場合は、ハウス毎に測定することが望ましい。

（２） 堆積土砂は除去を行うことを基本（除塩マニュアル 5.3 堆積土砂の除去）とするため、土砂堆積（ヘドロ等）がある場合は、塩素濃度測定前に調査地点の土砂除去を計画する。

（３） 塩素濃度調査の対象土壌は、ほ場の堆積土砂を除いた作土表層部（地表から 10cm 以内）、作土中層部（地表から 20cm 程度）、作土下層部（地表から 30cm 程度）について測定することを基本とする。

ただし、作物によっては作土層がそれぞれ異なることから、測定深さの決定については注意が必要である。また、ほ場の状態や将来の畝立て計画及び作付作物等を想定し、測定箇所を追加検討することも考慮されたい。詳細については、地方公共団体の普及センターや農業関係機関の営農指導部門の指導によるものとする。

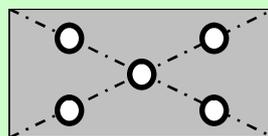
また、土壌採取の際には、水田の場合と同様に表 1～表 3 を参考に目視で土壌区分を確認しておく。

【土壌の採取方法】

標準的には、概ね 10ha に 1 カ所程度の割合で採取・測定することを基本とするが、異常値の棄却も考慮して、土壌採取は調査農地の 3～5 カ所程度より行っておくことが望ましい。



3カ所の土壌採取例



5カ所の土壌採取例

採土器は、アルミ、ステンレス、プラスチック等の土壌分析結果に影響を与えない材質のものを使用する。試料採取の際は肥料やゴミ等の混入に十分注意する。



地表～20cm 深さ土壌採取の状況



採取試料体

実証試験ほ場 畑（巨理町）

(4) 現地の計測結果や既知の技術資料等より、塩素濃度(%)と電気伝導度(EC)(mS/cm)の相関図を作成する。

次の相関図は、東日本大震災における宮城県亶理郡亶理町長瀨地区の実証試験ほ場(畑)で得られた相関結果の例であり、実際の除塩工では各県の指導のもとに対象地域毎の調査結果に基づいた相関図を利用されたい。

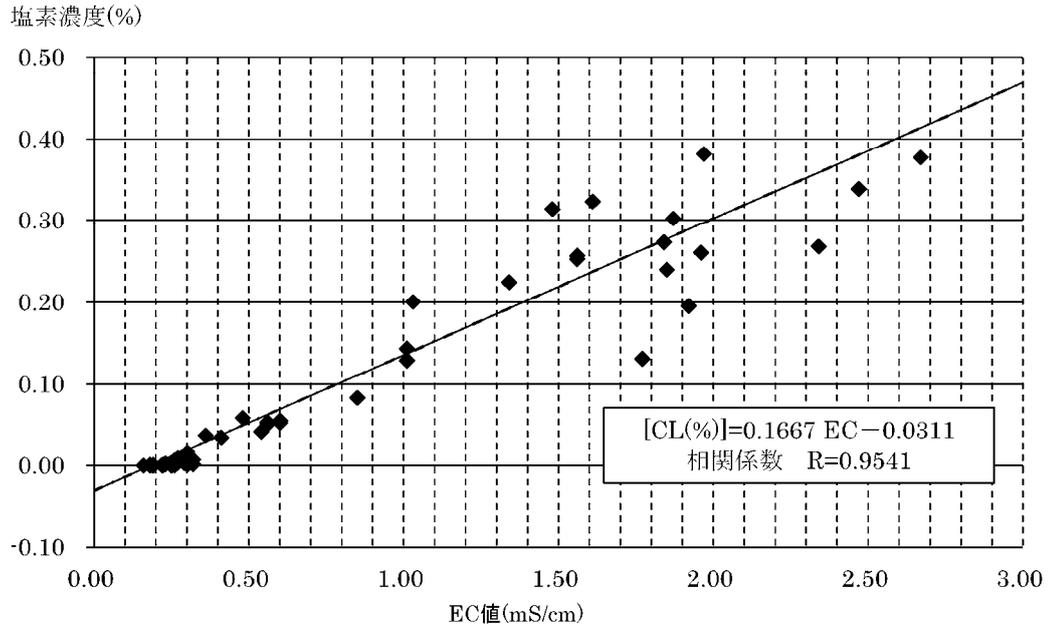


図 塩素濃度とEC値の関係

【除塩に係る塩素濃度の基準値】

除塩の対象とする土壌の塩素濃度基準は、「東日本大震災に対処するための農用地の除塩に係る特定災害復旧事業実施要綱」(平成23年5月2日付け23農振第372号農林水産事務次官通知)に規定されており、水田の場合0.1%(Cl 100mg/100g 土)以上、畑の場合0.05%(Cl 50mg/100g 土)以上としている。

「除塩マニュアル 4.除塩の対象となる塩素濃度基準」

7. 除塩工と留意事項

7.1 堆積土砂等の除去・処分

堆積土砂は除去を行うことを基本とする。（除塩マニュアル 5.3 堆積土砂の除去）

〔堆積土砂等の除去・処分に係る留意事項〕

原則として、堆積土砂は全量除去とする。

ただし、土砂の堆積厚が薄く、油類や重金属等を含まないと判断される農地については、対象農地の暗渠施設に留意し、関係農業者の合意を得た上で耕土に鋤き込むことも可能である。

瓦礫や堆積土砂の処分先については、事前に関係機関と調整を図る必要がある。

がれき等の除去後、表土に細かい木片・金属片が混入し、人力作業による除去が困難な場合は、重機施工による必要最小限の表土剥ぎも検討する。

7.2 客土工

除塩対象となる農地については、必要に応じて客土工を計画する。

客土が必要となる主な要因としては、以下の事象が考えられる。

- (1) 津波により土壌が流出した場合
- (2) 地震動に起因した地盤沈下が発生した場合
- (3) 堆積土砂の除去作業時に不可避免的に作土層が除去される場合

〔客土工に係る留意事項〕

原則として従前のほ場面標高までを対象とし、客土厚は不足分を計上する。

畑の客土厚は、現況表土厚を現地で確認の上決定する。

7.3 石灰質資材の散布

海水に含まれるナトリウムイオンの影響で土壌がナトリウム粘土化し、土壌構造の単粒化や固結化などの進行により、土壌の透水性が著しく低下している場合は、石灰質資材を散布し、悪化した土壌の物理性を改善した上で除塩する。

「除塩マニュアル 5.5 石灰質資材散布」

石灰質資材の
散布状況



【散布方式】
人力施工
【使用器具】
背負い肥料散布器

実証試験ほ場 畑(巨理町)

〔石灰質資材の散布に係る留意事項〕

事前調査における土壌採取の段階で、目視調査結果より表 1～表 3 を参考に対象農地の土壌区分を行っておくことが重要である。

各方面の除塩実績資料等から、資材の種類については一般的に土壌が酸性の場合には炭カル（炭酸カルシウム〔 CaCO_3 〕）、アルカリ性の場合には石膏（硫酸カルシウム〔 CaSO_4 〕）等が使用されている。

石灰質資材の種類や施用量によっては、除塩後の土壌の pH 値に影響を与える場合があるため、その施用に当たっては十分な注意が必要である。

したがって、資材の種類や施用量については、地方公共団体の普及センターや農業関係機関の営農指導部門の指導の下に決定するとともに、予め農業者の了解を得る必要がある。

7.4 耕起・砕土

耕起は、土壌と石灰質資材の混和や除塩用水の土壌浸透性を向上するために行う。

ロータリー耕耘が一般的だが、深耕する場合はプラウによる耕起も検討する。

耕起状況



【施工機械】
農業用トラクタ
規格：乗用・ホイール型
クボタ GB130 (13ps)

実証試験ほ場 畑(巨理町)

〔耕起・碎土に係る留意事項〕

石灰質資材を散布した場合は、耕起作業により石灰質資材と土壌を良く混和することが重要である。

碎土後の土塊は、小さいほど湛水時における塩分の溶出効果が高い。

耕起後は、土壌の空隙確保や塩分を土塊の表面に析出させるため、耕起した土塊の表面をできるだけ乾燥させる。（土壌乾燥は、団粒化促進にも効果的である。）

7.5 湛水及び排水

畑の場合は、散水による除塩方法を基本とするが、湛水が可能な場合は水田と同様な除塩方法も検討する。

畑の散水状況



実証試験ほ場 畑(巨理町)

〔湛水及び排水に係る留意事項〕

自然降雨による除塩効果も期待できるため、除塩工が開始されていなくてもビニールシート等の遮蔽物は取り外しておくことが望ましい。

自然降雨の除塩効果を最大限に利用するため、ヘドロ等の堆積土砂は、極力、除去しておくことが望ましい。

井戸水を除塩用水として利用する場合は、塩素濃度を測定し除塩用水の適用の是非を確認しておく重要である

ほ場全体にムラ無くに散水する。また、散水強度については、土質条件も踏まえた上で浸食作用による耕土の流亡が生じないように注意する。

< 参考 1 > 施工歩掛

本施工歩掛は、実証試験ほ場（水田）の施工実績値ある。

ただし、各工種の歩掛については、除塩工の対象となる各農地の土壌条件（土壌区分、土壌硬度、排水性、土壌物理性等）により大きく変わることが想定される。

よって、実際の除塩工では本歩掛を参考にするとともに、対象地区や近隣地区の施工実績も十分考慮して計画することが望ましい。

(1) 試料採取

予備調査における試料採取

(100箇所当り)

分類 土質名	職 種	区 分	試料採取 (人)
砂・砂質土	普通作業員		3.35

現地実証試験における試料採取

(100箇所当り)

分類 土質名	職 種	区 分	試料採取 (人)
砂・砂質土	普通作業員		2.53

(2) 堆積土砂鋤取り除去・積込

作業の種類	名 称	規 格	土質名	数量(m ²)
				障害なし
堆積土砂の 鋤取り除去・積込	バックホウ運転	排出ガス対策型 (第1次基準値) クローラ型 法面バケット (0.45m ³ 級)	砂・砂質土	2,322

(3) 土壌改良資材散布（ライムソワー）

機 械 名	規 格	単 位	運 転 時 間	摘 要
農業用トラクタ	乗用・ホイール型 四輪駆動 50ps	h	1.53	1ha当たり運転時間

(4) 弾丸暗渠

機 械 名	規 格	単 位	運 転 時 間	摘 要
農業用トラクタ	乗用・ホイール型 四輪駆動 33ps	h	1.48	1ha当たり運転時間

(5) 耕起

機 械 名	規 格	単 位	運 転 時 間	摘 要
農業用トラクタ	乗用・ホイール型 四輪駆動 50ps	h	0.02	100m ² 当たり運転時間

(6) 代かき

機 械 名	規 格	単 位	運 転 時 間	摘 要
農業用トラクタ	乗用・ホイール型 四輪駆動 32ps	h	0.03	100m ² 当たり運転時間

<参考2> 簡易 EC 測定器を用いて現場で塩素濃度を推定する手法(案)

<参考2>では、簡易 EC 測定器を用いて現場で塩素濃度を推定する手法(案)について検討してみる。

1. 室内試験と相関図の作成

これまでの各方面の研究成果により、塩素濃度 Cl (%) と電気伝導度 EC (mS/cm) との間に相関関係が成立することが知られている。

「農地の除塩マニュアル(以下、除塩マニュアルという)3.2 塩分(塩素)濃度の測定」では、「土壤環境分析法」に基づいて塩素濃度及び電気伝導度の測定を行い、測定結果を整理して得られる回帰式を用いて、電気伝導度 EC (mS/cm) の計測値から簡易に塩素濃度 Cl (%) を把握するとある。

具体的な分析方法について除塩マニュアルでは、塩素濃度及び電気伝導度(EC)の測定方法(室内試験)を以下のとおりとしている。

塩素濃度の測定方法

ほ場から、未風乾新鮮土を採取する。
乾土 10g 相当量の未風乾新鮮土を 125ml 容のポリエチレン製振とうビンに入れる。
土壤水分を考慮して乾土に対する水の比が 1:5 になるように純水を加える。
60 分振とう後、NO.6 程度の乾燥ろ紙でろ過する。
試料液をさらに 0.45 μ m のメンブランフィルターでろ過し、 Cl^- をイオンクロマトグラフィーで測定する。
【土壤環境分析法 1997.6 日本土壤肥料学会】

電気伝導度 (EC) の測定方法

ほ場から、未風乾新鮮土を採取する。
乾土 10g 相当量の未風乾新鮮土を 125ml 容のポリエチレン製振とうビンに入れる。
土壤水分を考慮して、乾土に対する水の比が 1:5 になるよう純水を加える。
60 分間振とう後、懸濁液に電気伝導度計の電極を浸し、測定する。
【土壤環境分析法 1997.6 日本土壤肥料学会】

下図は、上記の試験法による水田実証試験ほ場(宮城県名取市)の相関結果である。

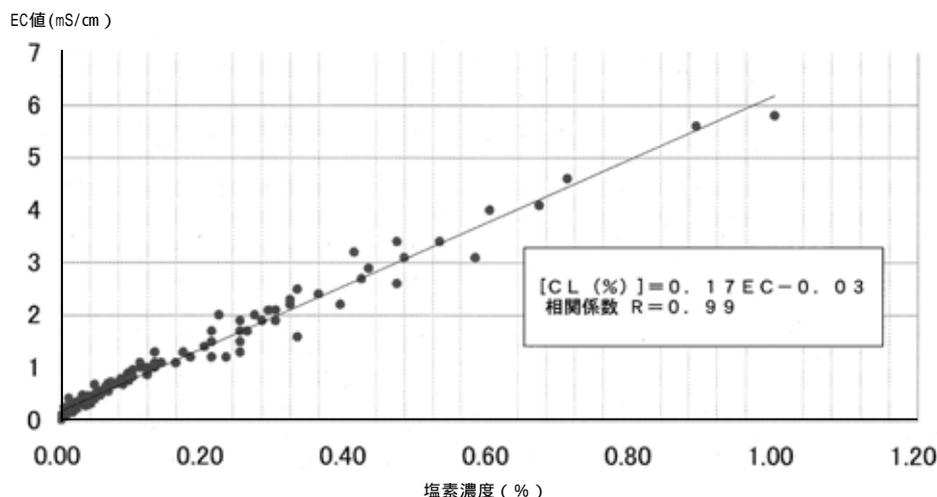


図-1 塩素濃度とEC値の関係(40地点120検体)

2. 室内試験(1:5水浸出法)結果と土壌EC計による測定値について

除塩工では、対象農地において「湛水～排水」を繰り返し行い、既定値未満の塩素濃度になった時点で除塩作業が終了となる。

ここで、除塩作業の継続・終了の判断について、除塩用水の排水後、対象農地に対し、その都度、除塩マニュアルに示される分析方法(室内試験)により電気伝導度(EC1)測定し、相関図を用いて塩素濃度の確認を行うことは、試料採取～試験結果整理までの一連の試験工程を要することとなり、その間は除塩工が中断され工事の長期化に繋がる場合も懸念される。

一方、今回の実証試験(水田ほ場)では、室内試験用の試料採取時に併せて図-2に示すポータブル土壌EC計により、原位置において土壌に電極を直接突刺し、電気伝導度(EC2)の直接計測を行っている。(写真-1～3参照)



図-2 土壌 EC 計



写真-1 測定状況その1



写真-2 測定状況その2



写真-3 測定状況その3

土壌 EC 計により原位置で測定される EC 値 (EC2) から塩素濃度を把握することが可能となれば、現地にて即時に「除塩作業の継続・終了」の判断ができる。

ここで、今回の実証試験において室内試験結果による EC 値 (EC1) と土壌 EC 計を用いて原位置で測定した EC 値 (EC2) の測定データ一覧を表-1 に示す。

表-1 測定データ一覧表

試験日	測定箇所	測定方法別 EC値		試験日	測定箇所	測定方法別 EC値	
		1:5水浸出法 での測定値 EC1 (mS/cm)	土壌EC計 での測定値 EC2 (mS/cm)			1:5水浸出法 での測定値 EC1 (mS/cm)	土壌EC計 での測定値 EC2 (mS/cm)
7月27日	ほ場 1 N1 -10cm	0.05	0.07	8月5日	ほ場 3 N1 -10cm	0.04	0.02
	ほ場 1 N2 -10cm	0.04	0.09		ほ場 3 N2 -10cm	0.05	0.08
	ほ場 1 N3 -10cm	0.03	0.06		ほ場 3 N3 -10cm	0.04	0.11
	ほ場 1 N1 -20cm	0.03	0.02		ほ場 3 N1 -20cm	0.04	0.06
	ほ場 1 N2 -20cm	0.04	0.25		ほ場 3 N2 -20cm	0.06	0.41
	ほ場 1 N3 -20cm	0.04	0.02		ほ場 3 N3 -20cm	0.05	0.21
	ほ場 9 N1 -10cm	0.03	0.03		ほ場 4 N1 -10cm	0.04	0.05
	ほ場 9 N2 -10cm	0.09	0.10		ほ場 4 N2 -10cm	0.03	0.07
	ほ場 9 N3 -10cm	0.03	0.07		ほ場 4 N3 -10cm	0.03	0.06
	ほ場 9 N1 -20cm	0.05	0.18		ほ場 4 N1 -20cm	0.03	0.01
	ほ場 9 N2 -20cm	0.09	0.27		ほ場 4 N2 -20cm	0.04	0.12
	ほ場 9 N3 -20cm	0.03	0.09		ほ場 4 N3 -20cm	0.04	0.07
7月29日	ほ場 3 N1 -10cm	0.04	0.07		ほ場 5 N1 -10cm	0.04	0.11
	ほ場 3 N2 -10cm	0.05	0.06		ほ場 5 N2 -10cm	0.05	0.05
	ほ場 3 N3 -10cm	0.05	0.04		ほ場 5 N3 -10cm	0.05	0.04
	ほ場 3 N1 -20cm	0.05	0.07		ほ場 5 N1 -20cm	0.05	0.15
	ほ場 3 N2 -20cm	0.06	0.43		ほ場 5 N2 -20cm	0.06	0.13
	ほ場 3 N3 -20cm	0.05	0.29		ほ場 5 N3 -20cm	0.05	0.07
	ほ場 5 N1 -10cm	0.14	0.13		ほ場 6 N1 -10cm	0.07	0.14
	ほ場 5 N2 -10cm	0.22	0.25		ほ場 6 N2 -10cm	0.07	0.03
	ほ場 5 N3 -10cm	0.50	0.67		ほ場 6 N3 -10cm	0.10	0.06
	ほ場 5 N1 -20cm	0.20	0.66		ほ場 6 N1 -20cm	0.06	0.10
	ほ場 5 N2 -20cm	0.40	1.16		ほ場 6 N2 -20cm	0.08	0.02
	ほ場 5 N3 -20cm	0.51	1.36		ほ場 6 N3 -20cm	0.06	0.01
	ほ場 6 N1 -10cm	0.09	0.21	ほ場 7 N1 -10cm	0.12	0.27	
	ほ場 6 N2 -10cm	0.27	0.37	ほ場 7 N2 -10cm	0.04	0.08	
	ほ場 6 N3 -10cm	0.41	0.24	ほ場 7 N3 -10cm	0.14	0.17	
	ほ場 6 N1 -20cm	0.37	0.85	ほ場 7 N1 -20cm	0.07	0.08	
	ほ場 6 N2 -20cm	0.34	0.75	ほ場 7 N2 -20cm	0.04	0.22	
	ほ場 6 N3 -20cm	0.54	1.21	ほ場 7 N3 -20cm	0.66	1.88	
	ほ場 7 N1 -10cm	0.27	0.43	ほ場 8 N1 -10cm	0.06	0.19	
	ほ場 7 N2 -10cm	0.04	0.08	ほ場 8 N2 -10cm	0.06	0.18	
	ほ場 7 N3 -10cm	0.09	0.22	ほ場 8 N3 -10cm	0.05	0.23	
	ほ場 7 N1 -20cm	0.30	0.38	ほ場 8 N1 -20cm	0.04	0.09	
	ほ場 7 N2 -20cm	0.03	0.15	ほ場 8 N2 -20cm	0.04	0.06	
	ほ場 7 N3 -20cm	0.29	0.84	ほ場 8 N3 -20cm	0.07	0.28	
ほ場 8 N1 -10cm	0.06	0.18	ほ場 9 N1 -10cm	0.03	0.02		
ほ場 8 N2 -10cm	0.05	0.15	ほ場 9 N2 -10cm	0.04	0.03		
ほ場 8 N3 -10cm	0.06	0.22	ほ場 9 N3 -10cm	0.03	0.05		
ほ場 8 N1 -20cm	0.06	0.18	ほ場 9 N1 -20cm	0.03	0.01		
ほ場 8 N2 -20cm	0.06	0.21	ほ場 9 N2 -20cm	0.05	0.23		
ほ場 8 N3 -20cm	0.06	0.28	ほ場 9 N3 -20cm	0.03	0.01		
8月1日	ほ場 4 N1 -10cm	0.04	0.05	8月12日	ほ場 5 N1 -10cm	0.04	0.05
	ほ場 4 N2 -10cm	0.03	0.11		ほ場 5 N2 -10cm	0.05	0.08
	ほ場 4 N3 -10cm	0.03	0.05		ほ場 5 N3 -10cm	0.06	0.04
	ほ場 4 N1 -20cm	0.03	0.02		ほ場 5 N1 -20cm	0.07	0.18
	ほ場 4 N2 -20cm	0.03	0.14		ほ場 5 N2 -20cm	0.02	0.01
	ほ場 4 N3 -20cm	0.04	0.07		ほ場 5 N3 -20cm	0.21	0.75
	ほ場 9 N1 -10cm	0.03	0.04		ほ場 6 N1 -10cm	0.05	0.10
	ほ場 9 N2 -10cm	0.06	0.06		ほ場 6 N2 -10cm	0.06	0.12
	ほ場 9 N3 -10cm	0.02	0.05		ほ場 6 N3 -10cm	0.05	0.04
	ほ場 9 N1 -20cm	0.03	0.04		ほ場 6 N1 -20cm	0.04	0.02
	ほ場 9 N2 -20cm	0.11	0.48		ほ場 6 N2 -20cm	0.03	0.00
	ほ場 9 N3 -20cm	0.03	0.11		ほ場 6 N3 -20cm	0.03	0.01

測定データについて回帰式による整理を行った結果、室内試験結果の EC 値 (EC1) と原位置での測定した EC 値 (EC2) との関係について、以下の相関式が得られた。

$$[EC1] = 0.3616 [EC2] + 0.0202 \quad \dots \text{式 1}$$

(相関係数 R=0.8907)

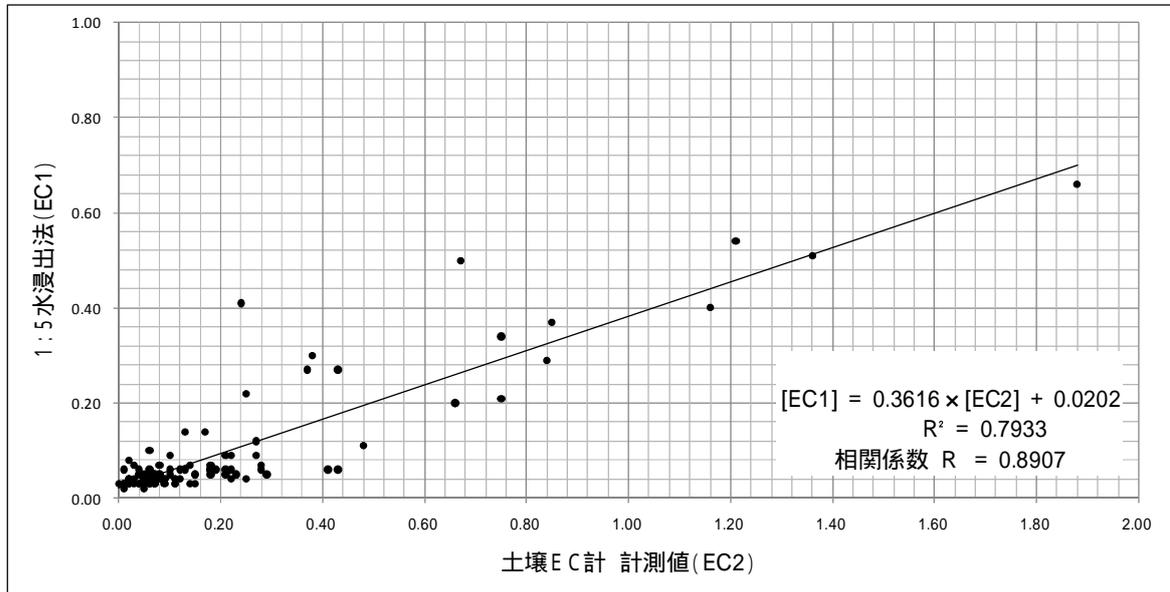


図-3 1:5 水浸出法による測定値 (EC1) と土壤 EC 計による測定値 (EC2) との関係

3. まとめ

今回の実証試験 (水田ほ場) の結果より、室内試験結果 EC1 と土壤 EC 計を用いて原位置で測定した EC2 との間には式 1 に示すとおりの相関関係 (相関係数 R=0.8907) が認められた。これにより、室内試験結果を整理して作成する図-1 以外に、EC1 と EC2 の関係 (図-3) についても調べておくことで、現地測定値の EC2 を EC1 に換算 (換算 EC1) し、図-1 を用いて塩素濃度 Cl 2 (%) を把握する手法も考えられる。

(算定例) 7月 29 日 [ほ場 No.6 N1 - 20cm EC2 : 0.85 (mS/cm)] の例

前出の式 1 に EC2 = 0.85 (mS/cm) を代入して、換算 EC1 を算定する。

$$\begin{aligned} [\text{換算 EC1}] &= 0.3616 \times [EC2] + 0.0202 = 0.3616 \times 0.85 + 0.0202 \\ &= \underline{0.328 \text{ (mS/cm)}} \end{aligned}$$

次に、図 1 の相関式に換算 EC1 = 0.380 (mS/cm) を代入し Cl 2 (%) を算定する。

$$\begin{aligned} [Cl 2 (\%)] &= 0.17 \times [\text{換算 EC1}] - 0.03 = 0.17 \times 0.328 - 0.03 \\ &= \underline{0.026 (\%)} \end{aligned}$$

除塩工において、土壤 EC 計により原位置で塩素濃度 Cl 2 (%) の管理を行う場合は、不完全な除塩作業により作物生育に支障がでないことに十分留意することを基本とし、各県の普及部門等とも十分調整の上、対応することが必要と考える。

表-2 原位置測定値 (EC2) より算定した塩素濃度 Cl 2 (%)

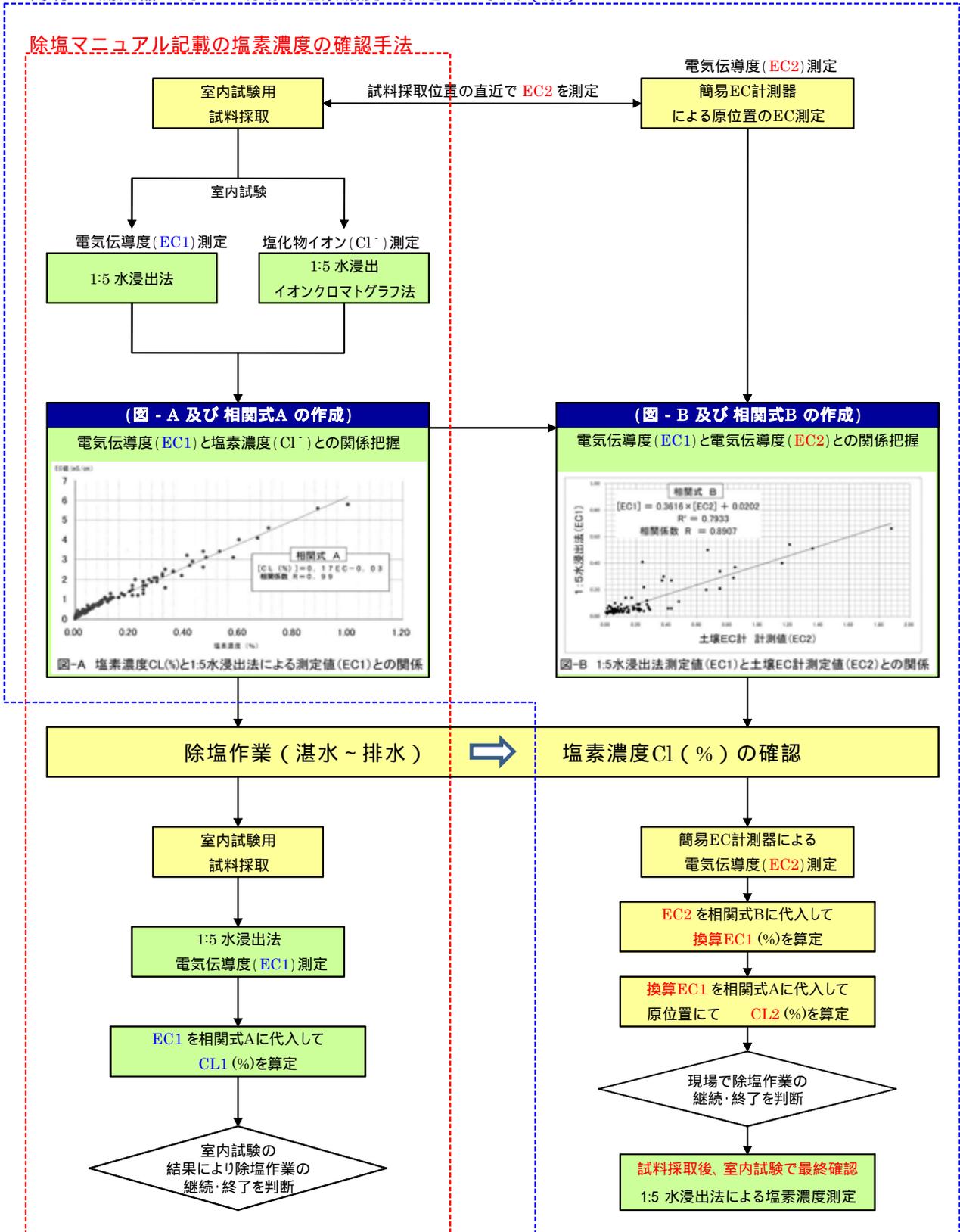
試験日	測定箇所	測定方法別 EC値		EC1を相関式Aに 代入して算定した Cl 1(%)		EC2より得た換算EC1を相関式Aに 代入して算定した Cl 2(%)		
		1:5水浸出法 での測定値 EC1 (mS/cm)	土壌EC計 での測定値 EC2 (mS/cm)	塩素濃度 Cl 1 (%)	判定 0.1%以下	換算EC1 (mS/cm)	塩素濃度 Cl 2 (%)	判定 0.1%以下
7月27日	ほ場 1 N1 -10cm	0.05	0.07	-0.022	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 1 N2 -10cm	0.04	0.09	-0.023	OK	0.053	-0.021	OK
	ほ場 1 N3 -10cm	0.03	0.06	-0.025	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 1 N1 -20cm	0.03	0.02	-0.025	OK	0.027	-0.025	OK
	ほ場 1 N2 -20cm	0.04	0.25	-0.023	OK	0.111	-0.011	OK
	ほ場 1 N3 -20cm	0.04	0.02	-0.023	OK	0.027	-0.025	OK
	ほ場 9 N1 -10cm	0.03	0.03	-0.025	OK	0.031	-0.025	OK
	ほ場 9 N2 -10cm	0.09	0.10	-0.015	OK	0.056	-0.020	OK
	ほ場 9 N3 -10cm	0.03	0.07	-0.025	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 9 N1 -20cm	0.05	0.18	-0.022	OK	0.085	-0.016	OK
	ほ場 9 N2 -20cm	0.09	0.27	-0.015	OK	0.118	-0.010	OK
	ほ場 9 N3 -20cm	0.03	0.09	-0.025	OK	0.053	-0.021	OK
7月29日	ほ場 3 N1 -10cm	0.04	0.07	-0.023	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 3 N2 -10cm	0.05	0.06	-0.022	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 3 N3 -10cm	0.05	0.04	-0.022	OK	0.035	-0.024	OK
	ほ場 3 N1 -20cm	0.05	0.07	-0.022	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 3 N2 -20cm	0.06	0.43	-0.020	OK	0.176	0.000	OK
	ほ場 3 N3 -20cm	0.05	0.29	-0.022	OK	0.125	-0.009	OK
	ほ場 5 N1 -10cm	0.14	0.13	-0.006	OK	0.067	-0.019	OK
	ほ場 5 N2 -10cm	0.22	0.25	0.007	OK	0.111	-0.011	OK
	ほ場 5 N3 -10cm	0.50	0.67	0.055	OK	0.262	0.015	OK
	ほ場 5 N1 -20cm	0.20	0.66	0.004	OK	0.259	0.014	OK
	ほ場 5 N2 -20cm	0.40	1.16	0.038	OK	0.440	0.045	OK
	ほ場 5 N3 -20cm	0.51	1.36	0.057	OK	0.512	0.057	OK
	ほ場 6 N1 -10cm	0.09	0.21	-0.015	OK	0.096	-0.014	OK
	ほ場 6 N2 -10cm	0.27	0.37	0.016	OK	0.154	-0.004	OK
	ほ場 6 N3 -10cm	0.41	0.24	0.040	OK	0.107	-0.012	OK
	ほ場 6 N1 -20cm	0.37	0.85	0.033	OK	0.328	0.026	OK
	ほ場 6 N2 -20cm	0.34	0.75	0.028	OK	0.291	0.019	OK
	ほ場 6 N3 -20cm	0.54	1.21	0.062	OK	0.458	0.048	OK
	ほ場 7 N1 -10cm	0.27	0.43	0.016	OK	0.176	0.000	OK
	ほ場 7 N2 -10cm	0.04	0.08	-0.023	OK	0.049	-0.022	OK
	ほ場 7 N3 -10cm	0.09	0.22	-0.015	OK	0.100	-0.013	OK
	ほ場 7 N1 -20cm	0.30	0.38	0.021	OK	0.158	-0.003	OK
	ほ場 7 N2 -20cm	0.03	0.15	-0.025	OK	0.074	-0.017	OK
	ほ場 7 N3 -20cm	0.29	0.84	0.019	OK	0.324	0.025	OK
	ほ場 8 N1 -10cm	0.06	0.18	-0.020	OK	0.085	-0.016	OK
	ほ場 8 N2 -10cm	0.05	0.15	-0.022	OK	0.074	-0.017	OK
	ほ場 8 N3 -10cm	0.06	0.22	-0.020	OK	0.100	-0.013	OK
	ほ場 8 N1 -20cm	0.06	0.18	-0.020	OK	0.085	-0.016	OK
ほ場 8 N2 -20cm	0.06	0.21	-0.020	OK	0.096	-0.014	OK	
ほ場 8 N3 -20cm	0.06	0.28	-0.020	OK	0.121	-0.009	OK	
8月1日	ほ場 4 N1 -10cm	0.04	0.05	-0.023	OK	0.038	-0.024	OK
	ほ場 4 N2 -10cm	0.03	0.11	-0.025	OK	0.060	-0.020	OK
	ほ場 4 N3 -10cm	0.03	0.05	-0.025	OK	0.038	-0.024	OK
	ほ場 4 N1 -20cm	0.03	0.02	-0.025	OK	0.027	-0.025	OK
	ほ場 4 N2 -20cm	0.03	0.14	-0.025	OK	0.071	-0.018	OK
	ほ場 4 N3 -20cm	0.04	0.07	-0.023	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 9 N1 -10cm	0.03	0.04	-0.025	OK	0.035	-0.024	OK
	ほ場 9 N2 -10cm	0.06	0.06	-0.020	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 9 N3 -10cm	0.02	0.05	-0.027	OK	0.038	-0.024	OK
	ほ場 9 N1 -20cm	0.03	0.04	-0.025	OK	0.035	-0.024	OK
	ほ場 9 N2 -20cm	0.11	0.48	-0.011	OK	0.194	0.003	OK
	ほ場 9 N3 -20cm	0.03	0.11	-0.025	OK	0.060	-0.020	OK
8月5日	ほ場 3 N1 -10cm	0.04	0.02	-0.023	OK	0.027	-0.025	OK
	ほ場 3 N2 -10cm	0.05	0.08	-0.022	OK	0.049	-0.022	OK
	ほ場 3 N3 -10cm	0.04	0.11	-0.023	OK	0.060	-0.020	OK

表-3 原位置測定値 (EC2) より算定した塩素濃度 Cl 2 (%)

試験日	測定箇所	測定方法別 EC値		EC1を相関式Aに 代入して算定した Cl 1(%)		EC2より得た換算EC1を相関式Aに 代入して算定した Cl 2(%)		
		1:5水浸出法 での測定値 EC1 (mS/cm)	土壌EC計 での測定値 EC2 (mS/cm)	塩素濃度 Cl 1 (%)	判定 0.1%以下	換算EC1 (mS/cm)	塩素濃度 Cl 2 (%)	判定 0.1%以下
8月5日 (続き)	ほ場 3 N1 -20cm	0.04	0.06	-0.023	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 3 N2 -20cm	0.06	0.41	-0.020	OK	0.168	-0.001	OK
	ほ場 3 N3 -20cm	0.05	0.21	-0.022	OK	0.096	-0.014	OK
	ほ場 4 N1 -10cm	0.04	0.05	-0.023	OK	0.038	-0.024	OK
	ほ場 4 N2 -10cm	0.03	0.07	-0.025	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 4 N3 -10cm	0.03	0.06	-0.025	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 4 N1 -20cm	0.03	0.01	-0.025	OK	0.024	-0.026	OK
	ほ場 4 N2 -20cm	0.04	0.12	-0.023	OK	0.064	-0.019	OK
	ほ場 4 N3 -20cm	0.04	0.07	-0.023	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 5 N1 -10cm	0.04	0.11	-0.023	OK	0.060	-0.020	OK
	ほ場 5 N2 -10cm	0.05	0.05	-0.022	OK	0.038	-0.024	OK
	ほ場 5 N3 -10cm	0.05	0.04	-0.022	OK	0.035	-0.024	OK
	ほ場 5 N1 -20cm	0.05	0.15	-0.022	OK	0.074	-0.017	OK
	ほ場 5 N2 -20cm	0.06	0.13	-0.020	OK	0.067	-0.019	OK
	ほ場 5 N3 -20cm	0.05	0.07	-0.022	OK	0.046	-0.022	OK
	ほ場 6 N1 -10cm	0.07	0.14	-0.018	OK	0.071	-0.018	OK
	ほ場 6 N2 -10cm	0.07	0.03	-0.018	OK	0.031	-0.025	OK
	ほ場 6 N3 -10cm	0.10	0.06	-0.013	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 6 N1 -20cm	0.06	0.10	-0.020	OK	0.056	-0.020	OK
	ほ場 6 N2 -20cm	0.08	0.02	-0.016	OK	0.027	-0.025	OK
	ほ場 6 N3 -20cm	0.06	0.01	-0.020	OK	0.024	-0.026	OK
	ほ場 7 N1 -10cm	0.12	0.27	-0.010	OK	0.118	-0.010	OK
	ほ場 7 N2 -10cm	0.04	0.08	-0.023	OK	0.049	-0.022	OK
	ほ場 7 N3 -10cm	0.14	0.17	-0.006	OK	0.082	-0.016	OK
	ほ場 7 N1 -20cm	0.07	0.08	-0.018	OK	0.049	-0.022	OK
	ほ場 7 N2 -20cm	0.04	0.22	-0.023	OK	0.100	-0.013	OK
	ほ場 7 N3 -20cm	0.66	1.88	0.082	OK	0.700	0.089	OK
	ほ場 8 N1 -10cm	0.06	0.19	-0.020	OK	0.089	-0.015	OK
	ほ場 8 N2 -10cm	0.06	0.18	-0.020	OK	0.085	-0.016	OK
	ほ場 8 N3 -10cm	0.05	0.23	-0.022	OK	0.103	-0.012	OK
	ほ場 8 N1 -20cm	0.04	0.09	-0.023	OK	0.053	-0.021	OK
	ほ場 8 N2 -20cm	0.04	0.06	-0.023	OK	0.042	-0.023	OK
	ほ場 8 N3 -20cm	0.07	0.28	-0.018	OK	0.121	-0.009	OK
ほ場 9 N1 -10cm	0.03	0.02	-0.025	OK	0.027	-0.025	OK	
ほ場 9 N2 -10cm	0.04	0.03	-0.023	OK	0.031	-0.025	OK	
ほ場 9 N3 -10cm	0.03	0.05	-0.025	OK	0.038	-0.024	OK	
ほ場 9 N1 -20cm	0.03	0.01	-0.025	OK	0.024	-0.026	OK	
ほ場 9 N2 -20cm	0.05	0.23	-0.022	OK	0.103	-0.012	OK	
ほ場 9 N3 -20cm	0.03	0.01	-0.025	OK	0.024	-0.026	OK	
8月12日	ほ場 5 N1 -10cm	0.04	0.05	-0.023	OK	0.038	-0.024	OK
	ほ場 5 N2 -10cm	0.05	0.08	-0.022	OK	0.049	-0.022	OK
	ほ場 5 N3 -10cm	0.06	0.04	-0.020	OK	0.035	-0.024	OK
	ほ場 5 N1 -20cm	0.07	0.18	-0.018	OK	0.085	-0.016	OK
	ほ場 5 N2 -20cm	0.02	0.01	-0.027	OK	0.024	-0.026	OK
	ほ場 5 N3 -20cm	0.21	0.75	0.006	OK	0.291	0.019	OK
	ほ場 6 N1 -10cm	0.05	0.10	-0.022	OK	0.056	-0.020	OK
	ほ場 6 N2 -10cm	0.06	0.12	-0.020	OK	0.064	-0.019	OK
	ほ場 6 N3 -10cm	0.05	0.04	-0.022	OK	0.035	-0.024	OK
	ほ場 6 N1 -20cm	0.04	0.02	-0.023	OK	0.027	-0.025	OK
ほ場 6 N2 -20cm	0.03	0.00	-0.025	OK	0.020	-0.027	OK	
ほ場 6 N3 -20cm	0.03	0.01	-0.025	OK	0.024	-0.026	OK	

簡易EC測定器を用いて現場で塩素濃度を推定する手法（案）

除塩マニュアル記載の塩素濃度の確認手法



フロー中の 囲み数字は、前出の表-2、表-3 中の 囲み数字の項目に相当している。

現場作業 : 黄色
室内作業 : 緑色

図-4 簡易 EC 測定器を用いて現場で塩素濃度を推定する手法（案）のフローチャート

< 参考 3 > 簡易 EC 測定器を用いた場合の現場管理 EC 値の設定手法 (案)

除塩工における除塩作業の終了・継続の判断を現場で行うことを目的として、簡易 EC 測定器の測定結果に対する現場管理 EC 値の設定手法について検討する。

以下に検討手順 **STEP 1** ~ **STEP 7** を示す。

- STEP 1** 「農地の除塩マニュアル」に準拠し、室内試験結果より求めた塩素濃度 Cl_1 及び < 参考 2 > の提案手法により算定した Cl_2 のデータ整理を行う。
- STEP 2** Cl_1 、 Cl_2 及び算定誤差 Cl ($Cl_1 - Cl_2$) の整理を行う。
- STEP 3** 「 Cl の集合は正規分布を成す」と仮定し、誤差データ Cl について統計処理を行う。
- STEP 4** 統計処理結果より、 Cl が 95% の確率で取り得る誤差範囲の設定を行う。
- STEP 5** Cl の誤差範囲から、発生誤差の最大値 (Cl_{max}) を設定する。
- STEP 6** 「農地の除塩マニュアル」で規定する室内試験結果に依った場合の塩素濃度の基準値 (水田 : 0.1% , 畑 : 0.05%) に対し、発生誤差の最大値 (Cl_{max}) を塩素濃度の基準値に安全率として考慮し、現場管理用の塩素濃度の目標値 $Cl'(\%)$ を算定する。
- STEP 7** < 参考 2 > で示した相関式 A に $Cl'(\%)$ を代入し、現場における電気伝導度 EC の管理目標値 EC_1' を算定する。

1. EC 測定方法の違いにより生じる塩素濃度の誤差整理 (STEP 1 ~ STEP 2)

<参考2>の実証試験ほ場(水田)の場合を例として、除塩マニュアルの手法に則り室内試験結果により算定した塩素濃度 Cl 1、土壌 EC 計(簡易 EC 測定器)により原位置で測定した EC 値から推定した Cl 2、また、それらの誤差 Cl については、次頁の表-4のとおり整理できる。

表-4 Cl 1 と Cl 2 の誤差の整理

試験日	測定箇所	塩素濃度 Cl 1 (%)	塩素濃度 Cl 2 (%)	ΔCl (-) (%)	試験日	測定箇所	塩素濃度 Cl 1 (%)	塩素濃度 Cl 2 (%)	ΔCl (-) (%)
7月27日	ほ場 1 N1 -10cm	-0.022	-0.022	0.000	8月5日	ほ場 3 N1 -10cm	-0.023	-0.025	0.002
	ほ場 1 N2 -10cm	-0.023	-0.021	-0.002		ほ場 3 N2 -10cm	-0.022	-0.022	0.000
	ほ場 1 N3 -10cm	-0.025	-0.023	-0.002		ほ場 3 N3 -10cm	-0.023	-0.020	-0.003
	ほ場 1 N1 -20cm	-0.025	-0.025	0.000		ほ場 3 N1 -20cm	-0.023	-0.023	0.000
	ほ場 1 N2 -20cm	-0.023	-0.011	-0.012		ほ場 3 N2 -20cm	-0.020	-0.001	-0.019
	ほ場 1 N3 -20cm	-0.023	-0.025	0.002		ほ場 3 N3 -20cm	-0.022	-0.014	-0.008
	ほ場 9 N1 -10cm	-0.025	-0.025	0.000		ほ場 4 N1 -10cm	-0.023	-0.024	0.001
	ほ場 9 N2 -10cm	-0.015	-0.020	0.005		ほ場 4 N2 -10cm	-0.025	-0.022	-0.003
	ほ場 9 N3 -10cm	-0.025	-0.022	-0.003		ほ場 4 N3 -10cm	-0.025	-0.023	-0.002
	ほ場 9 N1 -20cm	-0.022	-0.016	-0.006		ほ場 4 N1 -20cm	-0.025	-0.026	0.001
	ほ場 9 N2 -20cm	-0.015	-0.010	-0.005		ほ場 4 N2 -20cm	-0.023	-0.019	-0.004
	ほ場 9 N3 -20cm	-0.025	-0.021	-0.004		ほ場 4 N3 -20cm	-0.023	-0.022	-0.001
7月29日	ほ場 3 N1 -10cm	-0.023	-0.022	-0.001	ほ場 5 N1 -10cm	-0.023	-0.020	-0.003	
	ほ場 3 N2 -10cm	-0.022	-0.023	0.001	ほ場 5 N2 -10cm	-0.022	-0.024	0.002	
	ほ場 3 N3 -10cm	-0.022	-0.024	0.002	ほ場 5 N3 -10cm	-0.022	-0.024	0.002	
	ほ場 3 N1 -20cm	-0.022	-0.022	0.000	ほ場 5 N1 -20cm	-0.022	-0.017	-0.005	
	ほ場 3 N2 -20cm	-0.020	0.000	-0.020	ほ場 5 N2 -20cm	-0.020	-0.019	-0.001	
	ほ場 3 N3 -20cm	-0.022	-0.009	-0.013	ほ場 5 N3 -20cm	-0.022	-0.022	0.000	
	ほ場 5 N1 -10cm	-0.006	-0.019	0.013	ほ場 6 N1 -10cm	-0.018	-0.018	0.000	
	ほ場 5 N2 -10cm	0.007	-0.011	0.018	ほ場 6 N2 -10cm	-0.018	-0.025	0.007	
	ほ場 5 N3 -10cm	0.055	0.015	0.040	ほ場 6 N3 -10cm	-0.013	-0.023	0.010	
	ほ場 5 N1 -20cm	0.004	0.014	-0.010	ほ場 6 N1 -20cm	-0.020	-0.020	0.000	
	ほ場 5 N2 -20cm	0.038	0.045	-0.007	ほ場 6 N2 -20cm	-0.016	-0.025	0.009	
	ほ場 5 N3 -20cm	0.057	0.057	0.000	ほ場 6 N3 -20cm	-0.020	-0.026	0.006	
	ほ場 6 N1 -10cm	-0.015	-0.014	-0.001	ほ場 7 N1 -10cm	-0.010	-0.010	0.000	
	ほ場 6 N2 -10cm	0.016	-0.004	0.020	ほ場 7 N2 -10cm	-0.023	-0.022	-0.001	
	ほ場 6 N3 -10cm	0.040	-0.012	0.052	ほ場 7 N3 -10cm	-0.006	-0.016	0.010	
	ほ場 6 N1 -20cm	0.033	0.026	0.007	ほ場 7 N1 -20cm	-0.018	-0.022	0.004	
	ほ場 6 N2 -20cm	0.028	0.019	0.009	ほ場 7 N2 -20cm	-0.023	-0.013	-0.010	
	ほ場 6 N3 -20cm	0.062	0.048	0.014	ほ場 7 N3 -20cm	0.082	0.089	-0.007	
	ほ場 7 N1 -10cm	0.016	0.000	0.016	ほ場 8 N1 -10cm	-0.020	-0.015	-0.005	
	ほ場 7 N2 -10cm	-0.023	-0.022	-0.001	ほ場 8 N2 -10cm	-0.020	-0.016	-0.004	
	ほ場 7 N3 -10cm	-0.015	-0.013	-0.002	ほ場 8 N3 -10cm	-0.022	-0.012	-0.010	
	ほ場 7 N1 -20cm	0.021	-0.003	0.024	ほ場 8 N1 -20cm	-0.023	-0.021	-0.002	
	ほ場 7 N2 -20cm	-0.025	-0.017	-0.008	ほ場 8 N2 -20cm	-0.023	-0.023	0.000	
	ほ場 7 N3 -20cm	0.019	0.025	-0.006	ほ場 8 N3 -20cm	-0.018	-0.009	-0.009	
ほ場 8 N1 -10cm	-0.020	-0.016	-0.004	ほ場 9 N1 -10cm	-0.025	-0.025	0.000		
ほ場 8 N2 -10cm	-0.022	-0.017	-0.005	ほ場 9 N2 -10cm	-0.023	-0.025	0.002		
ほ場 8 N3 -10cm	-0.020	-0.013	-0.007	ほ場 9 N3 -10cm	-0.025	-0.024	-0.001		
ほ場 8 N1 -20cm	-0.020	-0.016	-0.004	ほ場 9 N1 -20cm	-0.025	-0.026	0.001		
ほ場 8 N2 -20cm	-0.020	-0.014	-0.006	ほ場 9 N2 -20cm	-0.022	-0.012	-0.010		
ほ場 8 N3 -20cm	-0.020	-0.009	-0.011	ほ場 9 N3 -20cm	-0.025	-0.026	0.001		
8月1日	ほ場 4 N1 -10cm	-0.023	-0.024	0.001	8月12日	ほ場 5 N1 -10cm	-0.023	-0.024	0.001
	ほ場 4 N2 -10cm	-0.025	-0.020	-0.005		ほ場 5 N2 -10cm	-0.022	-0.022	0.000
	ほ場 4 N3 -10cm	-0.025	-0.024	-0.001		ほ場 5 N3 -10cm	-0.020	-0.024	0.004
	ほ場 4 N1 -20cm	-0.025	-0.025	0.000		ほ場 5 N1 -20cm	-0.018	-0.016	-0.002
	ほ場 4 N2 -20cm	-0.025	-0.018	-0.007		ほ場 5 N2 -20cm	-0.027	-0.026	-0.001
	ほ場 4 N3 -20cm	-0.023	-0.022	-0.001		ほ場 5 N3 -20cm	0.006	0.019	-0.013
	ほ場 9 N1 -10cm	-0.025	-0.024	-0.001		ほ場 6 N1 -10cm	-0.022	-0.020	-0.002
	ほ場 9 N2 -10cm	-0.020	-0.023	0.003		ほ場 6 N2 -10cm	-0.020	-0.019	-0.001
	ほ場 9 N3 -10cm	-0.027	-0.024	-0.003		ほ場 6 N3 -10cm	-0.022	-0.024	0.002
	ほ場 9 N1 -20cm	-0.025	-0.024	-0.001		ほ場 6 N1 -20cm	-0.023	-0.025	0.002
	ほ場 9 N2 -20cm	-0.011	0.003	-0.014		ほ場 6 N2 -20cm	-0.025	-0.027	0.002
	ほ場 9 N3 -20cm	-0.025	-0.020	-0.005		ほ場 6 N3 -20cm	-0.025	-0.026	0.001

2. 現場管理目標値 EC1'の算出 (STEP 3 ~ STEP 7)

STEP 3 ~ STEP 4

誤差データ Cl (%) の平均値、分散及び標準偏差を求め、「95%の確率で誤差データ Cl (%) がとり得る範囲」を算定する。

95%の確率でデータがとり得る範囲

$$\text{平均} - 1.96 \times \text{標準偏差} \sim \text{平均} + 1.96 \times \text{標準偏差}$$

表-4 より Cl について、1) 平均値、2) 分散、3) 標準偏差は以下のとおりである。

- | | | |
|-------------|---|-----------|
| 1) Cl の平均値 | : | - 0.000 |
| 2) Cl の分散 | : | 0.0000891 |
| 3) Cl の標準偏差 | : | 0.0094 |

以上より、「95%の確率で誤差データ Cl (%) がとり得る範囲」は、以下のとおりである。

- | | | |
|---------------------|---|------------------------|
| 4) 平均 - 1.96 × 標準偏差 | = | -0.000 - 1.96 × 0.0094 |
| | = | -0.0186 |
| | | -0.02 (%) |
| 5) 平均 + 1.96 × 標準偏差 | = | -0.000 + 1.96 × 0.0094 |
| | = | 0.0184 |
| | | 0.02 (%) |

-0.02 (%) ~ 「95%の確率で誤差データ Cl (%) がとり得る範囲」 ~ 0.02 (%)

STEP 5 ~ STEP 6

「平均 ± 1.96 × 標準偏差」の値は、「95%の確率で誤差データ Cl がとり得る範囲」における誤差の最大値 (Cl_{max}) であるため、これを塩素濃度の基準値 0.1% (水田の場合) に安全率として考慮し、現場管理用の塩素濃度目標値 Cl' を算定する。

次に、「95%の確率で誤差データ Cl がとり得る範囲」における誤差の最大値 (Cl_{max}) を基準値 0.1% に安全率として見込む。

$$0.1 (\%) - 0.02 (\%) = 0.08 (\%) \quad \text{現場管理用の塩素濃度目標値 (Cl')}$$

STEP 7

安全率を考慮した現場管理用の塩素濃度の目標値 Cl' (%)より、現場管理用の電気伝導度の目標値 $EC1'$ を逆算して求める。

次に、＜参考2＞の相関式 A に現場管理用の塩素濃度の目標値 Cl' を代入し、 $EC1'$ を逆算する。

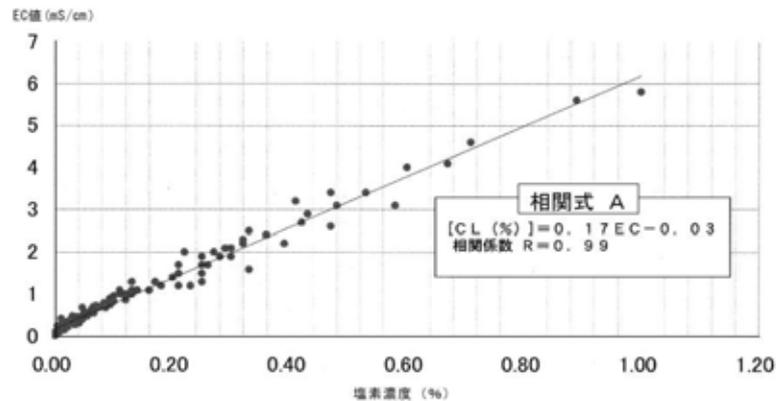


図-A 塩素濃度 Cl (%)と1:5水浸出法による測定値($EC1$)との関係

相関式 A ($[Cl(\%)] = 0.17 EC - 0.03$) より、0.08%の塩素濃度目標値 Cl' に相当する電気伝導度 $EC1'$ は次のとおり。

$$EC1' = (0.08 + 0.03) / 0.17 = 0.647 \\ 0.64 \text{ (mS/cm)}$$

【検討結果まとめ】

現場における電気伝導度 EC の管理目標値 : $EC1' = 0.64 \text{ (mS/cm)}$

(参考) 除塩マニュアルに準拠して塩素濃度の評価を行う場合

塩素濃度の基準値 $Cl : 0.1\%$ = 電気伝導度 $EC1 : 0.79 \text{ (mS/cm)}$

表-5 測定誤差 CIの統計処理

標本 番号	算定 誤差	階 級 別 度 数															
1	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	-0.012	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0.005	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	-0.003	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	-0.006	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	-0.005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	-0.004	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	-0.020	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	-0.013	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0.013	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
20	0.018	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
21	0.040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
22	-0.010	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	-0.007	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0.000	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0.020	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
27	0.052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
28	0.007	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0.009	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0.014	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
31	0.016	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
32	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0.024	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
35	-0.008	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	-0.006	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	-0.004	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	-0.005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	-0.007	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	-0.004	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	-0.006	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	-0.011	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	-0.005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	-0.007	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
49	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	0.003	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	-0.003	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	-0.014	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	-0.005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	-0.003	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
59	-0.019	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	-0.008	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
61	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
62	-0.003	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
63	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
64	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
65	-0.004	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
66	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
67	-0.003	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	-0.005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
71	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
74	0.007	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
75	0.010	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
76	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
77	0.009	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
78	0.006	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
79	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

算定誤差 : <参考2>の表 - 2、表 - 3におけるCI1とCI2の差分(-)

表-6 測定誤差 CI の統計処理

標本番号	算定誤差	階級別度数															
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0.010	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
82	0.004	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
83	-0.010	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
84	-0.007	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	-0.005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
86	-0.004	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
87	-0.010	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
88	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
89	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90	-0.009	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
91	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
92	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
93	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
94	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
95	-0.010	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
97	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
98	0.000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
99	0.004	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
101	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
102	-0.013	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
103	-0.002	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
104	-0.001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
105	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
106	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
107	0.002	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
108	0.001	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
階級別度数		0	2	5	14	36	35	6	4	2	2	0	0	0	1	1	
度数合計		108															
最大値	0.052																
最小値	-0.020																
		階級区分		階級値	度数	相対度数											
		-0.025	X < -0.020	-0.023	0	0.00 (%)											
		-0.020	X < -0.015	-0.018	2	1.85 (%)											
		-0.015	X < -0.010	-0.013	5	4.63 (%)											
		-0.010	X < -0.005	-0.008	14	12.96 (%)											
		-0.005	X < 0.000	-0.003	36	33.33 (%)											
		0.000	X < 0.005	0.003	35	32.41 (%)											
		0.005	X < 0.010	0.008	6	5.56 (%)											
		0.010	X < 0.015	0.013	4	3.70 (%)											
		0.015	X < 0.020	0.018	2	1.85 (%)											
		0.020	X < 0.025	0.023	2	1.85 (%)											
		0.025	X < 0.030	0.028	0	0.00 (%)											
		0.030	X < 0.035	0.033	0	0.00 (%)											
		0.035	X < 0.040	0.038	0	0.00 (%)											
		0.040	X < 0.045	0.043	1	0.93 (%)											
		0.045	X < 0.050	0.048	0	0.00 (%)											
		0.050	X < 0.055	0.053	1	0.93 (%)											
		合計			108	100.00 (%)											

CI1とCI2の誤差量の分布

平均値 :	-0.000074
分散 :	0.000089
標準偏差 :	0.009438
平均 - 1.96 × 標準偏差 :	-0.0186
平均 + 1.96 × 標準偏差 :	0.0184

算定誤差 : < 参考2 > の表 - 2、表 - 3 におけるCI 1とCI 2の差分(-)

< 参考 4 > 除塩工の選考実施例からの教訓

(農村工学研究所 農地基盤工学研究領域 友正主任研究員 寄稿)

震災後、比較的被害の小さかった農地では除塩が行われた。震災後に創設された除塩事業が実施された農地は5月20日までの集計で1,800haである。この除塩事業の担当者によれば、除塩を実施した農地ではいずれも概ね順調に塩分濃度が低下したが、一部で充分除塩できず田植え後に葉先枯れなどが現れた。その原因としては、水量の不足(水源不足、入水時の湛水深不足)、側方への落水が不十分(排水路の水位が高い、圃場の均平不足)

下方浸透が少ない(透水性が低い、暗渠が効いていない) 用水からの塩分流入(水源への塩水浸入、排水の反復利用・循環灌漑)、側方からの塩分流入(周辺の水田からの畦畔浸透)、下方からの塩分流入(下層に塩分濃度が高い土壌、地下水がある)が指摘されている¹⁾。

このことから、除塩作業における留意点として、表面の瓦礫、土砂、稲わら等の除去が重要な除塩作業であることの再認識、ほ区単位での集団的な除塩作業(側方からの塩分流入の防止)、用排水系統に応じた上流地区からの除塩作業(用水からの塩分流入の防止)など地区内、地区間での作業スケジュールの調整の重要性、作業する農家に理解しやすい説明の重要性が指摘された²⁾。

1) 農村工学研究所(2011)「農地からの除塩に関する技術検討会」資料,
http://www.nkk.affrc.go.jp/2011fukkoushien/fukkyuuhouhou/nouchi/joenkentou_2.pdf

2) 農村工学研究所(2011)農地からの除塩に関する技術検討会の開催,
http://www.nkk.affrc.go.jp/2011fukkoushien/pdf/joenkentou_1.pdf

4 . 各研修会における主な質疑応答の内容について

第1回 農地の除塩技術の研修会（石巻市）における主な質疑応答の内容

< 堆積土砂の除去に関する事項 >

【研修生】

- ・市では、土壌の堆積土砂排土後の放射線量は 10～20 ベクレル程度であるが、風評被害もあるので、堆積土砂は排土したいと考えているが、いかがなものか。

【後藤講師】

- ・セシウムは塩分と違って流れない。反転・混層により放射線量は低下する。堆積土砂を排土するためには莫大な費用と労力がかかるので、排土することは勧められない。また、作物の放射能物質の吸収は、土壌改良技術によりある程度抑えることができる。

< EC 値に関する事項 >

【研修生】

- ・土壌の下層までのEC値が低下すれば作物はきちんと生育するのか。Na⁺イオンとか残っていて、生育に支障を及ぼす場合もあるのか。

【鈴木講師（古川農試）】

- ・その件については、復興プロジェクトの中で追跡調査として継続するよう考えている。

【千葉講師】

- ・一度 EC 値が下がった圃場でも、後から EC 値が上がることはあるので、モニタリングすることが重要である。

【後藤講師】

- ・下層 30～50cm まで除塩することが大切である。また、焦らず、少し我慢することを啓発することも重要ではないかと思う。

< 大豆等の作付けに関する事項 >

【研修生】

- ・大豆等の作付けがいつから出来るのかといった質問が多いのだが、何か判断基準になるようなものはないか。

【後藤講師】

- ・土壌の下層の EC 値を判断材料としている。基準ではないが EC 値が 0.5mS/cm より小さければ良いのではないかと思う。
- ・作土を剥いだ場合は、窒素の低下がみられ、混層した場合は窒素がどの程度出るのかモニタリングが必要である。窒素の量によっては稲が倒れてしまい生育に支障がでる場合がある。排土工事等の状況をみながら窒素の施肥量を決める必要がある。

根は塩分の少ないところへ伸びていくと考えているので、植物をみただけでは判断は難しい。土壌中の塩分は、水分と一緒に動くという挙動を示している。

< ナトリウムイオンの影響に関する事項 >

【鈴木講師（総研）】

- ・透水性の高い圃場で除塩の実証試験を行い、石灰質資材を施用したが、その効果は確認できず、Na⁺イオンが残っているように思うが、生育に支障がでてくるか。

【後藤講師】

- ・交換性 Na⁺イオンが生育に与える影響は小さいので、大きな問題にはならないと思う。
- ・交換性 Na⁺イオン量の測定ができる試験機関等は少ないが、フィルターを1枚入れれば分析は他の試験機関等でもできるので、必要とあれば富士平というメーカーがこのフィルターを製作しているので購入して実施して下さい。
- ・CECが20程度の圃場であれば、Na⁺イオン量が100 mg以下になれば問題なし、CECが10程度の圃場であれば、Na⁺イオン量が50～60 mg以下になれば問題なしと考えている。

第2回 農地の除塩技術の研修会（相馬市）における主な質疑応答の内容

<ナトリウムイオンの評価に関する事項>

【研修生】

- ・Na⁺イオンの評価法で何か良い方法はないでしょうか。

【後藤講師】

- ・塩害のインデックスとしては、EC、Cl⁻イオン、Na⁺イオンがある。交換性Na⁺イオン量を測定できる試験機関は少ない。ただ、フィルターがあれば測定可能であるが、このような状況から、Na⁺イオンを測定することが容易ではないため、ECで評価している。目安としてCECが20程度であれば、交換性Na⁺イオン量は100mgを目安として下げれば良いと思う。

<放射能汚染に関する事項>

【研修生】

- ・ゼオライトに関する情報やセシウム対策について何かアドバイス等あればお願いします。

【後藤講師】

- ・ゼオライトについては、私は30年の研究の中でこれを取り扱っていますが、ゼオライトに除塩効果はありません。
- ・セシウム対策ですが、ゼオライト133を使用すると非放射能セシウムの吸収効果が確認されています。私は、この試験に取組みたいと考えていますので、ほ場等の試験場所を提供してほしいと考えています。現段階での対策としては、15cmのプラウでセシウムが半分になったような報告もありますが、混層することで放射能は希釈されますので、混層することが重要です。

<石灰質資材の選定に関する事項>

【研修生】

- ・石灰質資材の選定方法についてアドバイス下さい。

【後藤講師】

- ・塩分を除去するのが目的ではなく、良い土壌をつくるという観点から資材を選定して下さい。私としては、転炉スラグがおすすめです。
- ・また、堆積土砂をとって塩分を下げるとpHは上がってきます。これはCl⁻イオンに代わりOH⁻イオンが多くなるためです。これによりpHを下げるための石灰資材が選定されがちですが、これは、じきに下がってくるので問題ありません。pH6.5以上は作物の生育に好ましくないという悪しき考えがあるようですが、こういった考えは打破する必要があります。

< EC 値に関する事項 >

【研修生】

- ・ 除塩に関して、弾丸暗渠が効果的ということであるが、実際は本暗渠が無く、代かきによる除塩がほとんどである。この場合、どの程度の深さまで塩分濃度を下げておく必要があるのでしょうか。

【千葉講師】

- ・ 耕起することが重要で、しっかり起こして毛管をきることが基本となります。田面より -30 cm の位置で EC が高ければ大豆等は作らない、低ければ中干しとかしないように留意するなどの工夫が必要と思います。

【後藤講師】

- ・ 水稲の場合、田面から 50 cm 下まで抜けていれば問題はないと思う。作土では EC が 0.5mS/cm 以下であれば大丈夫だと思われる。一方、大豆の作付けは控えた方が良いと思う。

第3回 農地の除塩技術の研修会（亶理町）における主な質疑応答の内容

< ナトリウムイオンの測定方法に関する事項 >

【研修生】

- ・ Na⁺イオンの測定の仕方の良い方法がありますか。

【後藤講師】

- ・ 水稻の場合は、EC と Na⁺イオンの両方を測定することをおすすめします。Na⁺イオンは通常の土壤診断室や試験機関では測定できるところが少ないですが、フィルターがあれば、多くの機関で測定可能になります。

< 除塩に要する日数について >

【研修生】

- ・ これから除塩を実施しますが、土側溝の水路で重粘土層のほ場では EC が 9.0mS/cm程度あります。弾丸暗渠等の対策を講じますが、目安として除塩にどの程度日数がかかるか、分かれば教えて頂きたい。

【千葉講師】

- ・ 除塩溝を新たに設けて縦浸透により大きい排水路にぶつけて除塩する必要があります。お話のようなほ場では、浅くて狭くて排水が流れていない場合が多いです。弾丸は 2m ピッチで設置すれば十分です。感覚的には、1 回の湛水 - 排水で EC が 1/3 程度になるので、3 回 ~ 4 回程度で除塩できると思います。

< 石灰質資材の施用に関する事項 >

【研修生】

- ・ 石灰資材は施用した方が良いのですか。また、土砂は有害物質がどの程度以下なら混層しても大丈夫か教えて頂きたい。

【後藤講師】

- ・ 堆積土砂は海に近いほど砂が多く、厚さも厚い。一方陸側の方が粘土が多くなります。私の考えでは、堆積土砂が 10 cm 程度なら混層する。15 cm になるとロータリーで耕起しても作土と混ぜるだけツメが届かないので、堆積土砂を混ぜているだけのことになり意味がありません。
- ・ 青森のケースでは、きれいな砂でイチゴハウスだったので混ぜて排水性を良くして除塩を行っています。油、ガラス等があれば除去することで対応します。基本的に、石灰資材は施用した方が良いです。

< ナトリウムイオンの影響に関する事項 >

【研修生】

- ・ Na⁺イオンが過剰な場合、生育にどのような影響があるのでしょうか。
また、それは施肥を行う過程において良くなっていくのでしょうか。

【後藤講師】

- ・ 水稲作付けの場合は、EC で管理すれば良いと思います。Na⁺イオンにより生育に障害がでるケースは殆どありません。
- ・ Na⁺イオンについては、CEC が 20 程度であれば、交換性 Na⁺イオン量が 100mg 以下なら大丈夫です。通常は 10mg 程度です。施肥の過程においてもアンモニウムとか入ってくるので Na⁺イオン量は減少すると思います。

< 堆積土砂の撤去に関する事項 >

【研修生】

- ・ 現実的な話しとして、堆積土砂が薄いところでも撤去してきたので、すべて土砂は撤去しなければならない状況にあります。石灰資材の施用量についても 10a 当たり 100kg 施用で発信しているのが、今から変更することが大変なので少し困っています。
有害物質の問題もあるので、撤去するように発信しています。

【木村講師】

- ・ 砒素については基準があるが、カドミウムについては基準がないですからね。作物中の含有量の基準はありますが。

【後藤講師】

- ・ 目安としては 1ppm だと思います。この程度なら物理化学的にコントロールできます。
砒素は目安として 10 ~ 20ppm 位ですね。
- ・ JA や農家の方は、土砂撤去に反対な方が多いので、反転耕起を主に行っています。

第4回 農地の除塩技術の研修会（盛岡市）における主な質疑応答の内容

< 堆積土砂の撤去に関する事項 >

【研修生】

- ・堆積土砂を撤去した後の処分について、何か情報があれば教えて頂きたい。

【鈴木講師（総研）】

- ・宮城県では、当初、撤去する方向で考えていたが処分する場所もないので、有害な物質が含まれていなければ鋤込んで除塩する方向で考えています。一方、最近になって撤去した土砂を再利用する方法が見つかったとの話もあります。東京農業大学の後藤先生の話では、堆積土砂はミネラル分が多く、有害な物質やガラス及びガレキ類の混入がなければ、撤去する必要もないのではないかということですので、ケースバイケースで考えていく必要があると思います。

< ナトリウムイオンの影響に関する事項 >

【研修生】

- ・EC値が下がったことを確認して水稻の作付け等を行っていますが、Na⁺イオンの飽和度が高いかなと思われる場合もあります。先ほど先生は、Na⁺イオンが200mgあると好ましくない。100mg以下に下げることがあるとおっしゃっていましたが、何かNa⁺イオンがこれくらいあると生育状況が好ましくなかったとかいう事例はあるのでしょうか。

【稲垣講師】

- ・生育が止まってしまって大きくなれないといった事例はあります。Na⁺イオンが多く含まれているとカルシウムやカリウムを吸収しなくなるので生育に障害は出ます。

< ナトリウムイオンの測定方法に関する事項 >

【木村講師】

- ・ナトリウムイオンは、ある程度存在していても特には問題にならないといった話になると思うが、それでは、どの程度ナトリウムイオンが含まれているのか測定しようとした時に測定する機械がないとよく聞きますが、いかがでしょうか。

【稲垣講師】

- ・スパッドという機械、富士平のですが、そういった機械で測定できます。フィルターを変えれば、ナトリウムイオンを測定することが出来ます。

【研修生】

- ・実際問題として、ほ場にはガレキ類も混じっているので、客土する必要もあると思います。このよう大変な作業に加え、ナトリウムイオンの心配もしないといけなくなるとさらに大変です。現段階では、ナトリウムイオンについてはあまり気にしないで作業を進めていますが、もしナトリウムイオン障害が発生したらと思うと心配です。

【稲垣講師】

- ・一般に EC 管理による除塩をして頂いて、水が浸透するようなほ場では、ナトリウムイオン量は 100mg 程度以下まで低下していますので、特に問題ないと思います。

< 土壌の酸性化に関する事項 >

【研修生】

- ・パイライトについてですが、今、酸性化していないほ場でも今後、酸性化の心配はあるのでしょうか。

【稲垣講師】

- ・長期的にみていく必要があります。可能性はあるかもしれませんが、また、酸性化する場合は、pH が大きく変動するので、そういった点から推察することもある程度可能です。

【木村講師】

- ・そんなに pH が大きく下がることは無いでしょうといった話を後藤先生と前回の研修の際にしていました。相馬の方では pH が 3.0 以下になる場合があるようですが、宮城の方では 3.0 以下になることはありませんでしたので、少なくとも北側の岩手では大丈夫ではないかと思っています。

第5回 農地の除塩技術の研修会（八戸市）における主な質疑応答の内容

< 転炉スラグに関する事項 >

【研修生】

- ・転炉スラグの施用が除塩には非常に有効であるということでしたが、転炉スラグを施用する場合の施工単価はどのくらいになるのでしょうか。

【後藤講師】

- ・水田の場合には、概ね200kg / 10aが標準施用量であろうと考えています。東北地方で市販されている転炉スラグは、転炉石灰（ミネックス（株））の一種類だけです。地域によって運搬費の差があるとは思いますが、概ね20kgで400～500円程度だと思えます。普通の苦土カルとそれほど大きな価格差はありませんが、施用量が2倍になるので少し割高になるかもしれません。ただし、転炉スラグの場合、持続効果やその他の効果が期待できます。

< 除塩方法に関する事項 >

【千葉講師】

- ・八戸における除塩作業は、代かきを行っているということですが、表面から落とすという手法（溶出法）で除塩を行っているということでしょうか

【研修生】

- ・基本的にはそうです。ただ、厳密に言えばある地区で漁協との協議の中で濁った表面水を河川にそのままの状態排水しないということで、表面排水と浸透排水の兼用を行った次第です。除塩作業の時期が、ちょうど鮭の遡上の時期と重なったため、漁協には立ち会い形式で排水の確認をしてもらいました。弾丸暗渠は施工していません。

【千葉講師】

- ・代かきを行って表面から塩分を排水する事例（溶出法）として、宮城県の畑作の場合、下から塩分が上がってきて植生が枯れた例があります。ですから、なるべくお米を作った方がよいと思います。宮城では溶出法を行った水田では塩害は起こりませんでした。気になったことがあります。水田の場合で浸透させて暗渠を通じて排水する場合は代かきを行わないで下さい。代かきを行うと透水性が悪くなるので排水性が低下してしまいます。

< ナトリウムイオンの影響に関する事項 >

【研修生】

- ・塩素イオンのようにナトリウムイオン量にも何か目安があるのでしょうか。また、ある程度除塩が終わった後に下からナトリウムが上がってくる場合、それを防ぐ資材はあるのでしょうか。もしくは、EC値が高い水を使用する場合に有効な資材はありますか。海

外の資材で有機酸やフミン酸等の濃縮資材がありますが、それらについて何か知見があれば教えて下さい。

【後藤講師】

- ・交換性ナトリウムイオンが沢山付いていたからといって、植物に対する影響はないと思います。つまり、EC値さえ下がっていれば問題ないということです。ただし、土壤の物理性が落ちて間接的に植物の生育が悪くなることは考えられます。ですから出来るだけ交換性ナトリウムイオンは減らした方が良く、そのために石灰資材を使用するということなのです。また、塩分上昇を抑える資材ですが、例えばフミン酸のようなものを水に溶かして入れたとしても、ナトリウムイオンと何の反応も起こさないと思いますけど、少なくともフミン酸に関しては、有機酸に関しても同じですね、上昇してくるナトリウムイオンに対して影響があるとは考えられないですし、通常、クエン酸等を畑に施用すれば、数日でCO₂と水に分解されるので何の意味もないと考えます。

【千葉講師】

- ・結局、塩分は水と一緒に毛管現象で上がってくる訳で、細かい隙間で発生する現象になります。ですから丁寧に耕起を行って、重力水だけが通過するような隙間の土壌にしてあげれば毛管水の上昇はある程度抑えられます。細かい隙間から上がってくるので大きな隙間だと上がってくる事が出来ませんよね。