

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 25 年 3 月

一般財団法人 日本水土総合研究所

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24年7月26日	室内研修 (宮城県仙台市)	仙台市 エスポールみやぎ	24人
	平成24年7月27日	現地研修 (宮城県名取市)	名取市 園芸ほ場	15人
第2回	平成24年9月13日	室内研修 (宮城県石巻市)	石巻市 こもれびの降る丘 遊楽館	27人
	平成24年9月14日	現地研修 (宮城県東松島市)	東松島市 野蒜長沼地区 水田	20人

第1回 農地の除塩技術の研修会 開催状況 室内研修（宮城県仙台市）



第1回 農地の除塩技術の研修会 開催状況 現地研修（宮城県名取市）



第2回 農地の除塩技術の研修会 開催状況 室内研修（宮城県石巻市）



第2回 農地の除塩技術の研修会 開催状況 現地研修（宮城県東松島市）



1.2 事業の成果

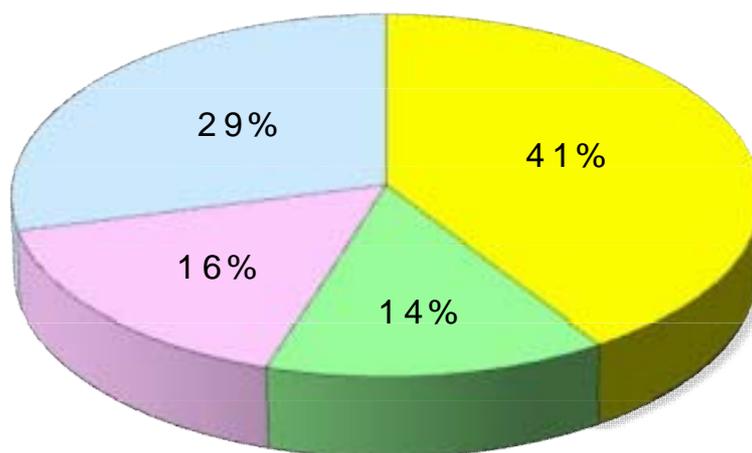
	開催場所	事後アンケートで理解できたと回答した割合	目標値
第1回研修	宮城県仙台市、名取市	90.9%	70%以上
第2回研修	宮城県石巻市、東松島市	100.0%	〃

理解できたと回答した割合は、事後アンケートQ-5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。

また、以下には第1回及び第2回研修のアンケート結果を全て集計したグラフを示す。

<アンケート Q-1>

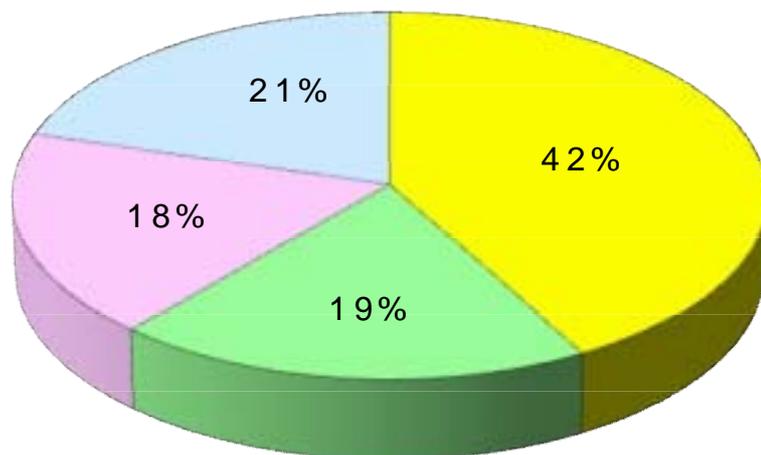
除塩技術の習得に当たって、あなたの関心があったカリキュラムについて



- 徐塩技術（主に交換性Na⁺、石灰質資材に関すること）
- 徐塩後の作付に関すること
- 徐塩方法に関する調査結果に関すること
- 重金属及び硫化物の対処法に関すること

<アンケート Q - 2 >

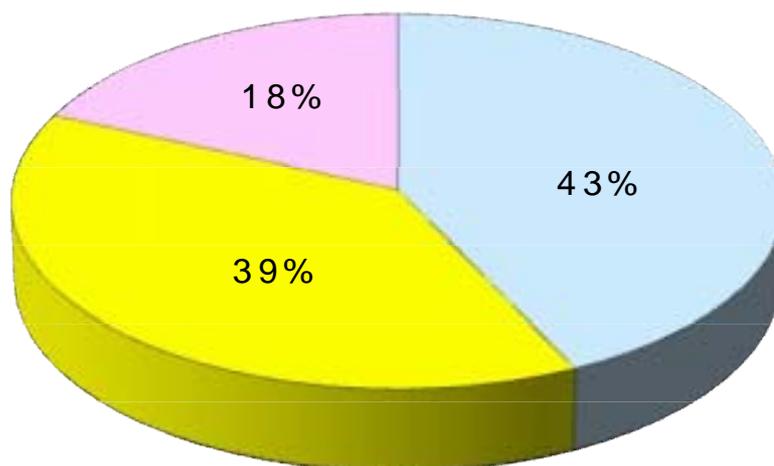
あなたが実際に除塩及び営農に関する技術普及を行うに当たり、役に立つと考えられるカリキュラムについて



- 徐塩技術（主に交換性Na+、石灰質資材に関すること）
- 徐塩後の作付に関すること
- 徐塩方法に関する調査結果に関すること
- 重金属及び硫化物の対処法に関すること

<アンケート Q - 3 >

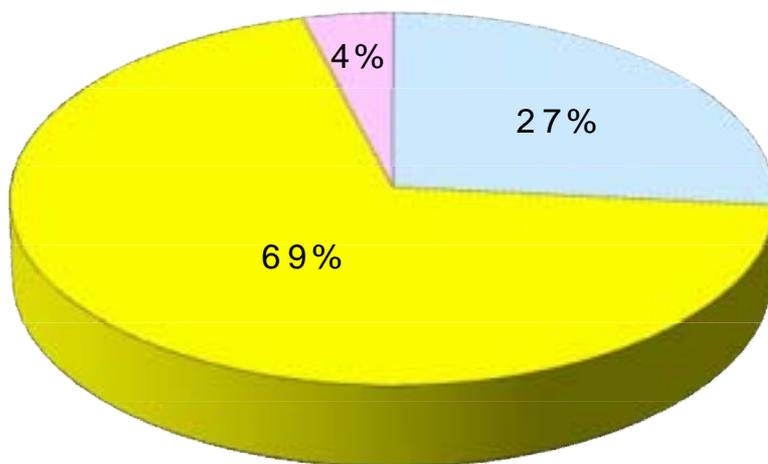
研修カリキュラム内容の満足度



- 大いに満足できる
- 満足できる
- 普通
- やや不満である(0%)
- 不満である(0%)

<アンケート Q - 4 >

研修の講義レベルについて

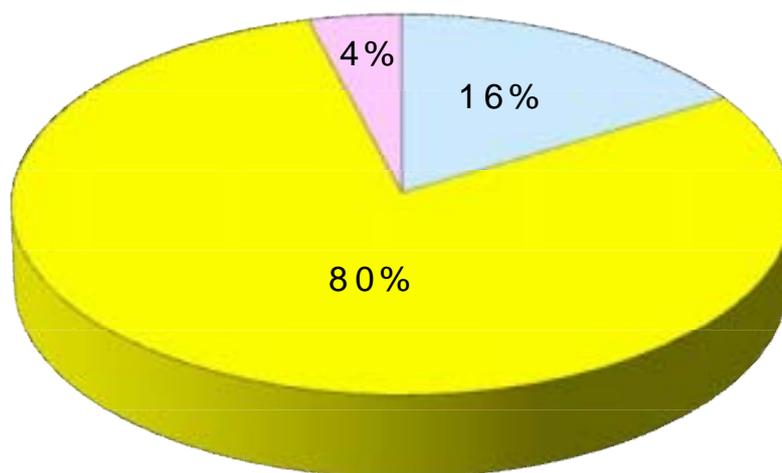


■高すぎる(0%) □やや高い ■適当

□やや低い ■低い(0%)

<アンケート Q - 5 >

研修の講義に関する理解度について

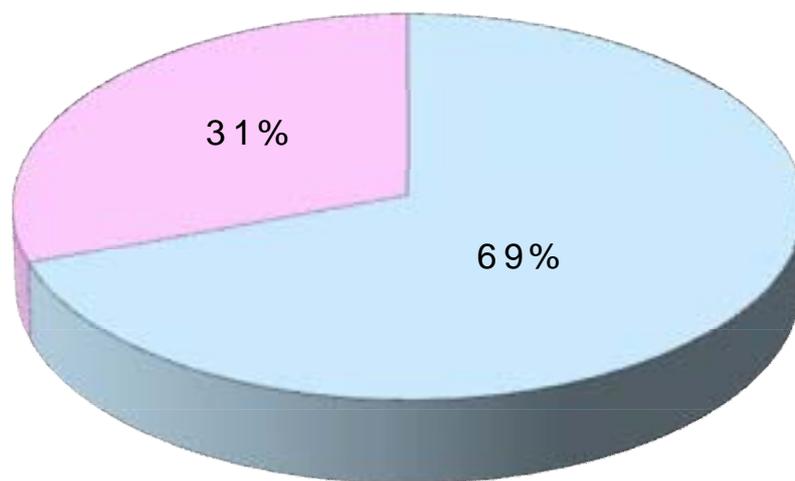


□よく理解できた ■ある程度理解できた

□あまり理解できていない ■理解できていない(0%)

<アンケート Q - 6 >

来年度以降の農地の除塩技術に関する研修会の必要性について



□必要と思う

□必要と思わない

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（宮城県仙台市、名取市）

【第1日目】平成24年7月26日（木） 会場：仙台市 エスポールみやぎ

1. 13:00～13:10 <開会挨拶> (一財)日本水土総合研究所
2. 13:10～13:40 <講義> 「農地の除塩技術(その1)」
Na⁺の挙動を中心に
東京農業大学 応用生物科学部
教授 後藤 逸男
3. 13:40～14:10 <講義> 「農地の除塩技術(その2)」
津波被災園芸ほ場における除塩後の作付
に関する留意事項について
宮城県農業・園芸総合研究所
園芸栽培部 野菜チーム
研究員 大鷲 高志
4. 14:10～14:40 <講義> 「農地の除塩技術(その3)」
農地の除塩実証試験結果について
(一財)日本水土総合研究所
主任研究員 仁後 祐輔
5. 14:40～15:10 <講義> 「農地の除塩技術(その4)」
重金属及び硫化物の対処方法について
宮城大学 食産業学部
教授 木村 和彦
- 15:10～15:30 <休憩>
6. 15:30～16:30 <総合討議> 質疑応答を交えた総合的な意見交換を行う。
7. 16:30～16:40 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施する。

【第2日目】平成24年7月27日（金） 会場：名取市小塚原地区ほ場

1. 10:00～12:00 <現地研修> 「農地の除塩技術(その5)」
除塩後の作付けを実施した園芸ほ場（カー
ネーション）において、除塩後の作付に関す
る留意事項や課題等について、試験研究機関
担当者や営農者の方と研修受講生及び講師
の方を交えた意見交換を行う。

2.2 第2回農地の除塩技術の研修会（宮城県石巻市、東松島市）

【第1日目】平成24年9月13日（木） 会場：石巻市 こもれびの降る丘遊楽館

- 1 . 13:00 ~ 13:10 <開会挨拶> (一財)日本水土総合研究所
- 2 . 13:10 ~ 13:40 <講 義> 「農地の除塩技術(その1)」
Na⁺の挙動を中心に
東京農業大学 応用生物科学部
教授 後藤 逸男
- 3 . 13:40 ~ 14:10 <講 義> 「農地の除塩技術(その2)」
土壌塩分濃度と作物生育の関係
及び栽培管理
宮城県古川農業試験場
土壌肥料部 土壌肥料班
技師 本田 修三
- 4 . 14:10 ~ 14:40 <講 義> 「農地の除塩技術(その3)」
農地の除塩実証調査結果について
(一財)日本水土総合研究所
主任研究員 仁後 祐輔
- 5 . 14:40 ~ 15:10 <講 義> 「農地の除塩技術(その4)」
重金属及び硫化物の対処方法について
宮城大学 食産業学部
教授 木村 和彦
- 15:10 ~ 15:30 <休 憩>
- 6 . 15:30 ~ 16:30 <総合討議> 質疑応答を交えた総合的な意見交換を行う。
- 7 . 16:30 ~ 16:40 <アンケート調査> 研修に対するアンケート調査を実施する。

【第2日目】平成24年9月14日（金） 会場：宮城県東松島市野蒜長沼地区ほ場

- 1 . 9:30 ~ 11:30 <現地研修> 「農地の除塩技術(その5)」
除塩後の作付けを実施したほ場において、
除塩後の作付けに関する留意事項や課題等について、
試験研究機関担当者や営農者の方と
研修受講生及び講師の方を交えた意見交換
を行う。

3 . 研修テキスト

3-1 . - Na⁺の挙動を中心に -

2012年度 農地の除塩技術に関する研修会

農地の除塩技術(その1) -Na⁺の挙動を中心に-

創立121年



東京農業大学 後藤 逸男

S1

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。

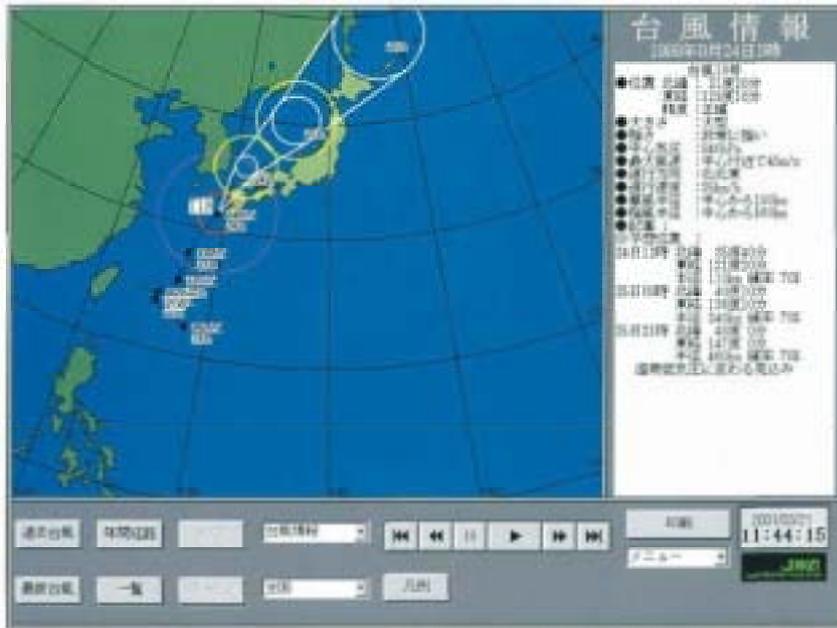
間接的障害

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:農地の除塩マニュアル(2011年6月)より

S2

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、
水稲、トマト、キャベツ等の農作物を収穫皆無にした。

S3



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

S4



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 (meq/乾土100g)	交換性陽イオン(mg/乾土100g)				塩基飽和 度 (%)	水溶性塩基 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

S5

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。

S6

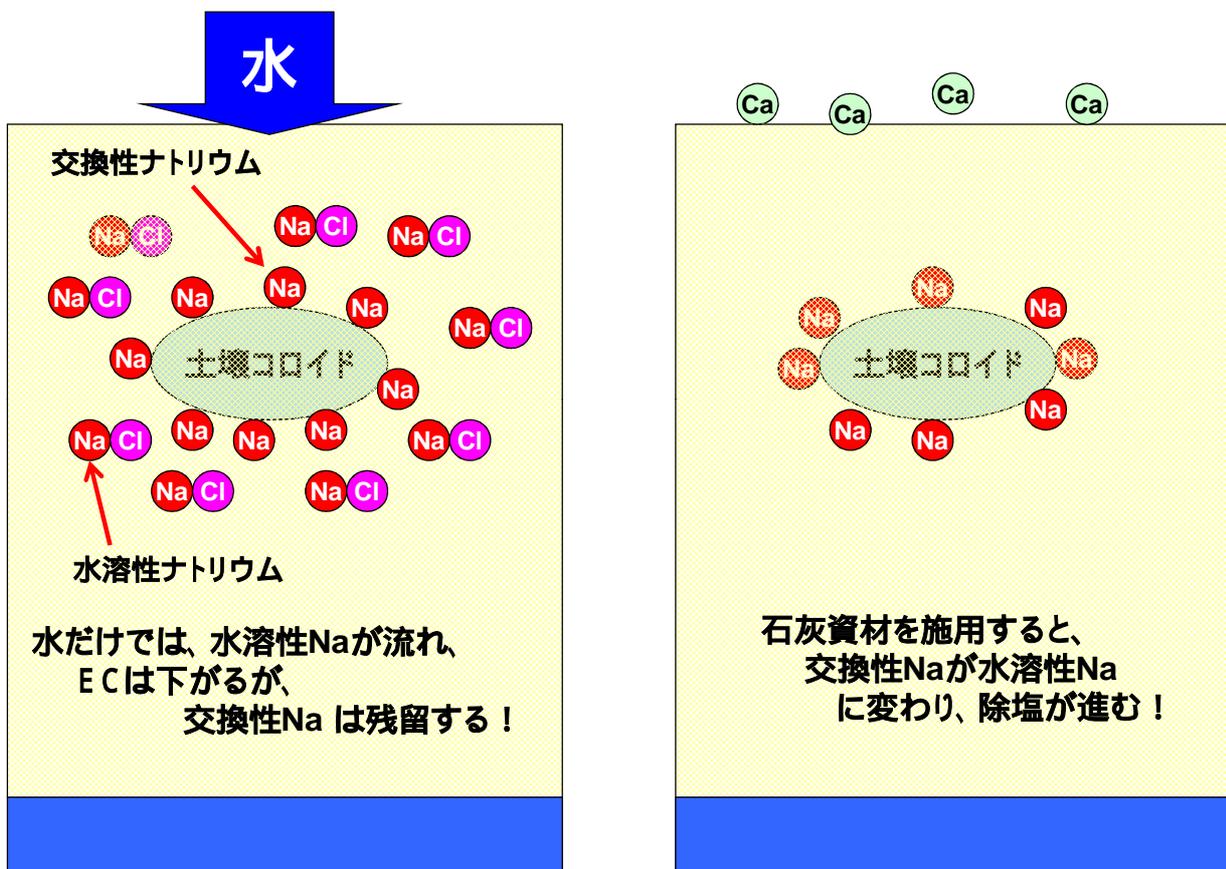
塩害被害程度の測定指標とその限界域

作物名	pH (H ₂ O)	EC (1:5, mS/cm)	(上限値)
			土壌中 C 1 (mg/100g)
イロゴ	7.0	0.3	30
メイゲ	*	0.4	40
ニンゲ	*	0.6	50
ニレタ	*	*	*
レタネ	*	0.8	60
ソマシ	*	*	*
バレイ	*	*	*
エレン	*	*	*
ハウレ	*	1.0	70
ホキヤ	*	*	*
キトマ	*	*	*
ブロッコ	*	*	*
グネ	*	*	*
水い	*	1.5	100
		*	*

植生回復には、津波土砂層と作土中の塩分を除去し、
 ECを少なくとも1mS/cm以下にする必要がある。
 ただし、塩分を除去しても、
 土壌コロイドには多量の交換性ナトリウムが残存する。
 土壌中の塩分(塩化ナトリウム)と交換性ナトリウム除去が「除塩」である。

S7

石灰資材の除塩促進効果のメカニズム



S8

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	球酸苦土石灰	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

S9

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。

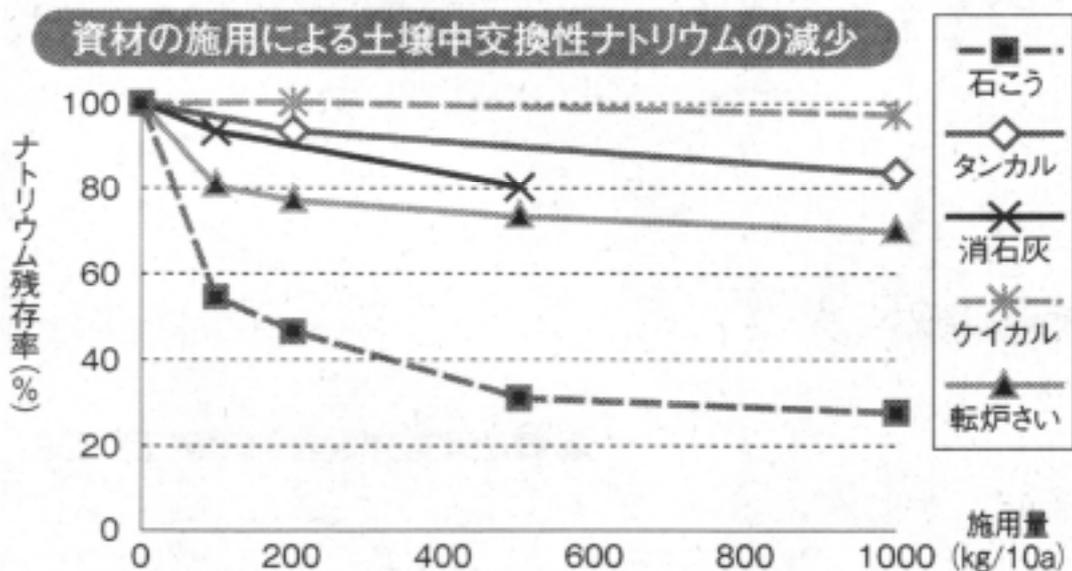


図2 除塩資材の種類と除塩の効果

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

2012年1月10日の日本農業新聞記事より引用

S10

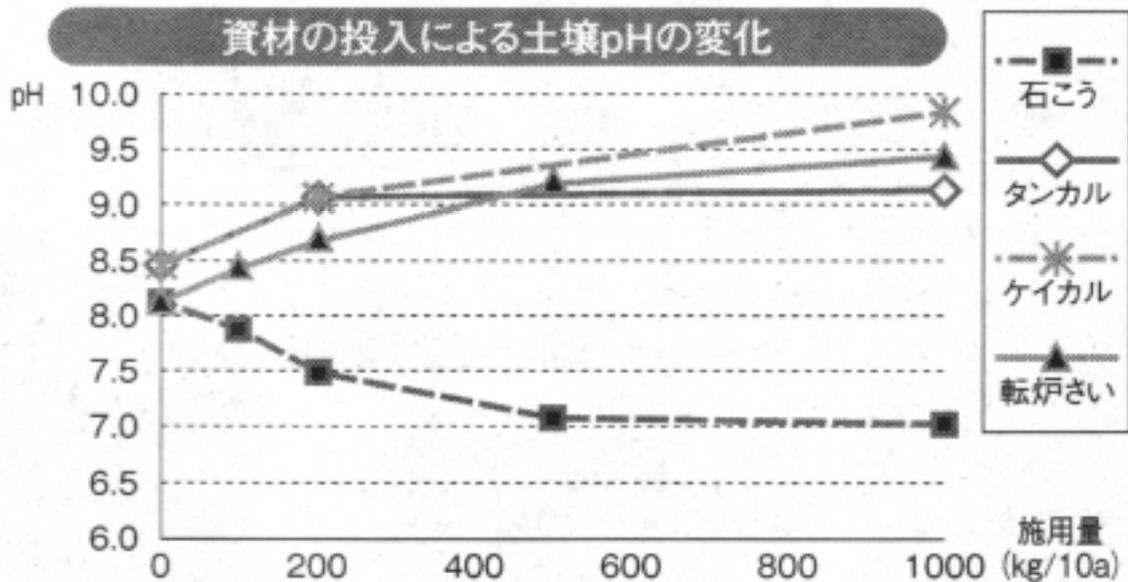


図3 除塩資材の種類と除塩後の土壌pHの変化

*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とのpH(H₂O)上昇程度は同等。

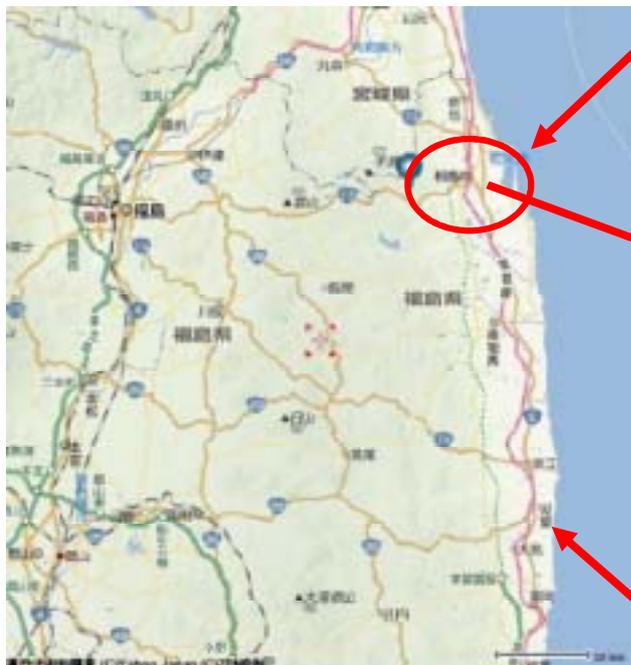
2012年1月10日の日本農業新聞記事より引用

S11

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

S12

海岸より約3kmのイチゴハウス

畝間には厚さ約10cmの
津波土砂が堆積



S13

除塩に当たって、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
干拓地土壤は、海底土砂100%



【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。
混層後に、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

S14

福島県相馬市で採取した津波土砂と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

S15



6月16日に津波土砂混層・転炉スラグ施用



7月にソルゴー播種、8月6日に鋤き込み



スナップエンドウ(11月29日)



10月から各種野菜を作付け

S16

**相馬市岩子地区の被災水田で
2011年9月より除塩対策を開始した
実証水田付近の2011年5月の状況**



S17

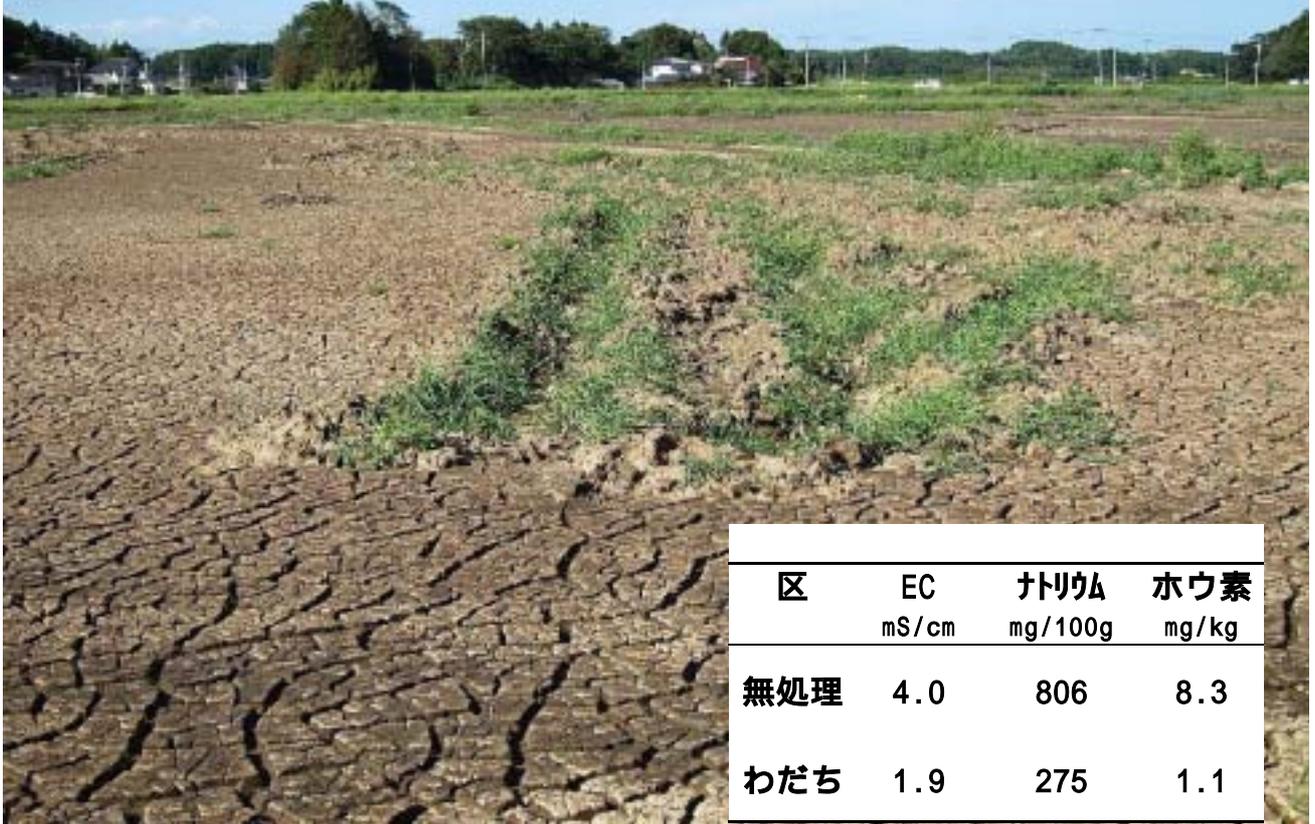
**2011年9月6日の相馬市岩子
ほとんどのがれきが除去され、表面が乾燥**

津波土砂のECは、5 ~ 6mS/cm →



S18

**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

S19

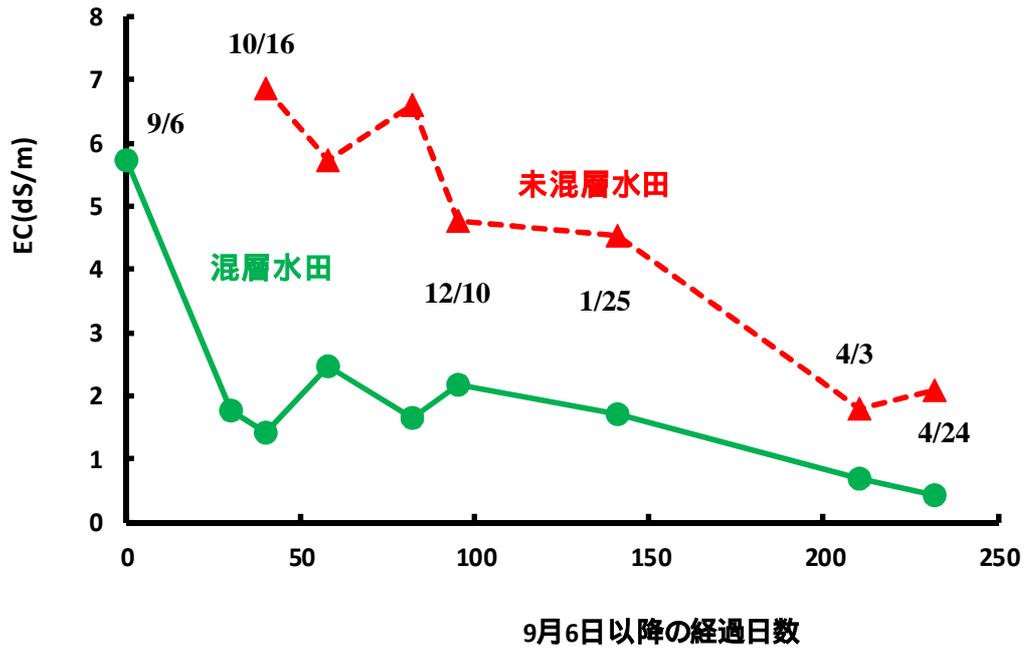


**↑
岩子の混層水田**

隣接する未混層水田 →

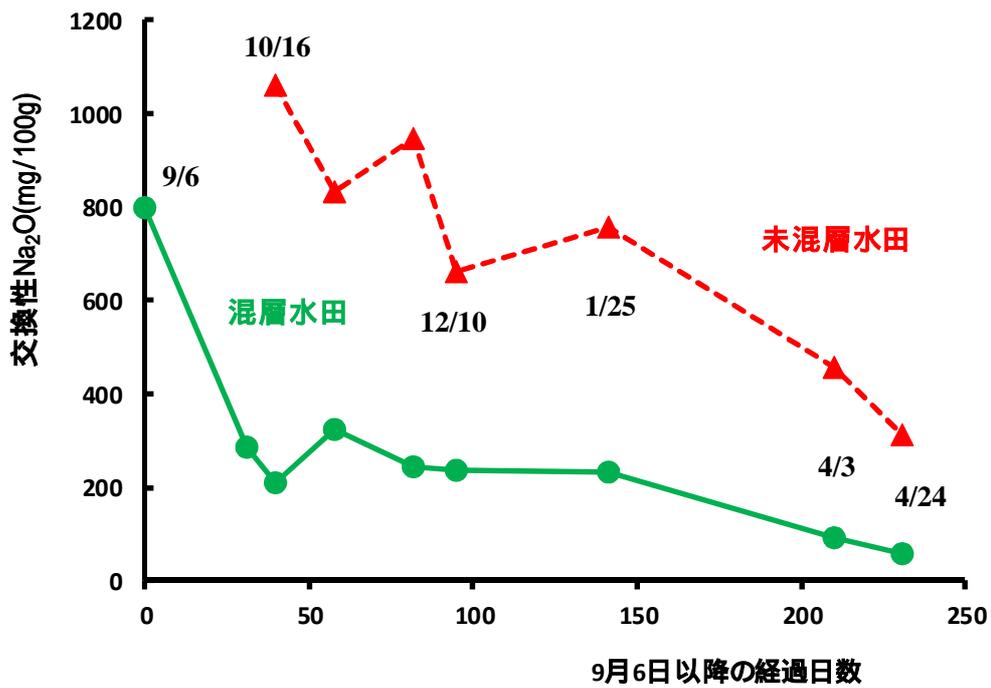


S20



相馬市岩子の津波被災水田作土における電気伝導率の経時変化

S21

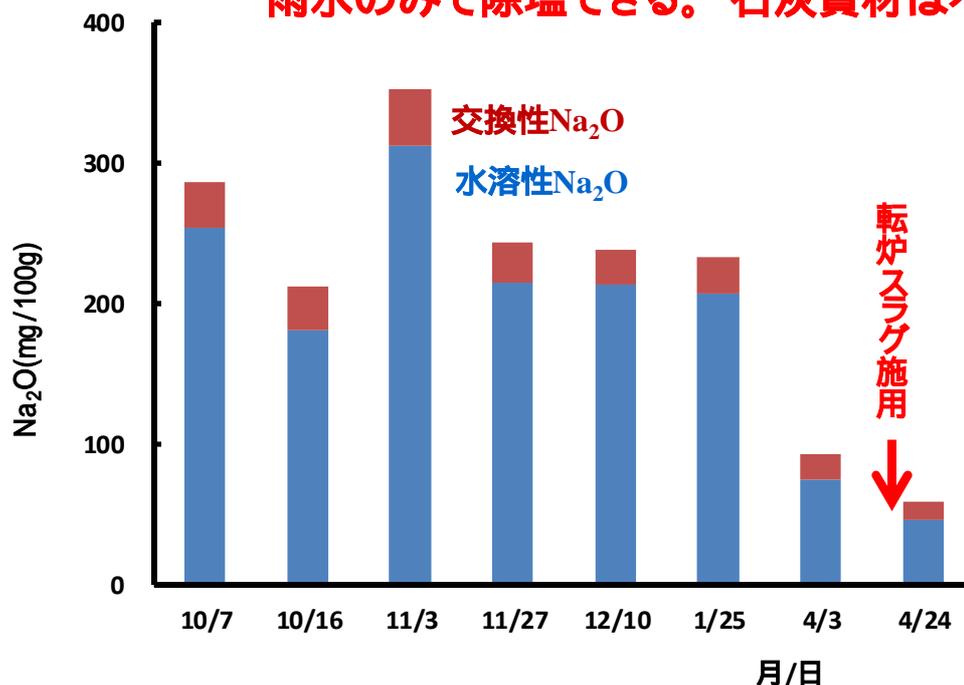


相馬市岩子の津波被災水田作土における交換性ナトリウムの経時変化

S22

交換性ナトリウムとして測定される80～90%が水溶性ナトリウムとして存在している。

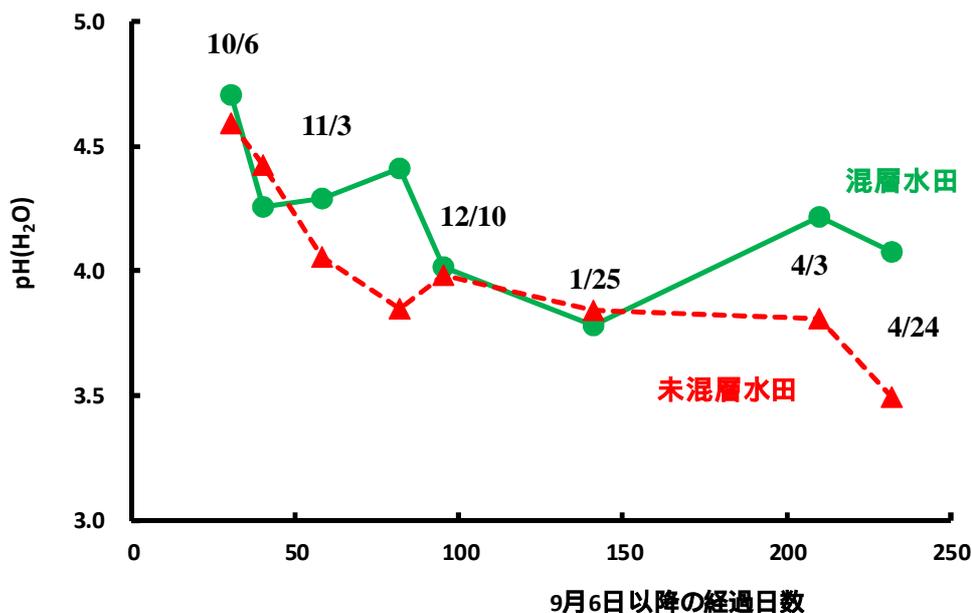
雨水のみで除塩できる。石灰資材は不要では？



相馬市岩子の津波被災水田作土における交換性ナトリウムに占める水溶性ナトリウム

S23

2012年4月には、水田表層のpH(H₂O)が4程度以下にまで低下した！
その原因は？



相馬市岩子の津波被災水田作土におけるpH(H₂O)の経時変化

S24

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

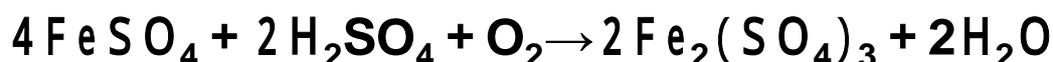
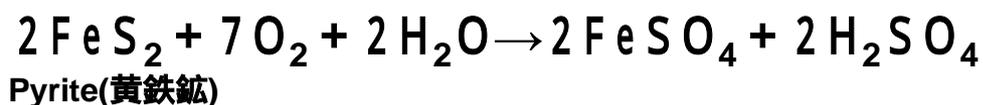
津波土砂が土壌と混ざると、酸性化する可能性

S25

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。

S26

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				

石こうでは、除塩後の土壌pHが低下するため、
酸性硫酸塩土壌対策には不向き。

津波土砂除去工でも、完全除去は現実不可能。

津波被災地での石灰資材の選択には、
除塩効果より土壌酸性化対策を優先するべき。

S27



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)

S28

「転炉スラグ」は、従来から肥料取締法で登録された「肥料」



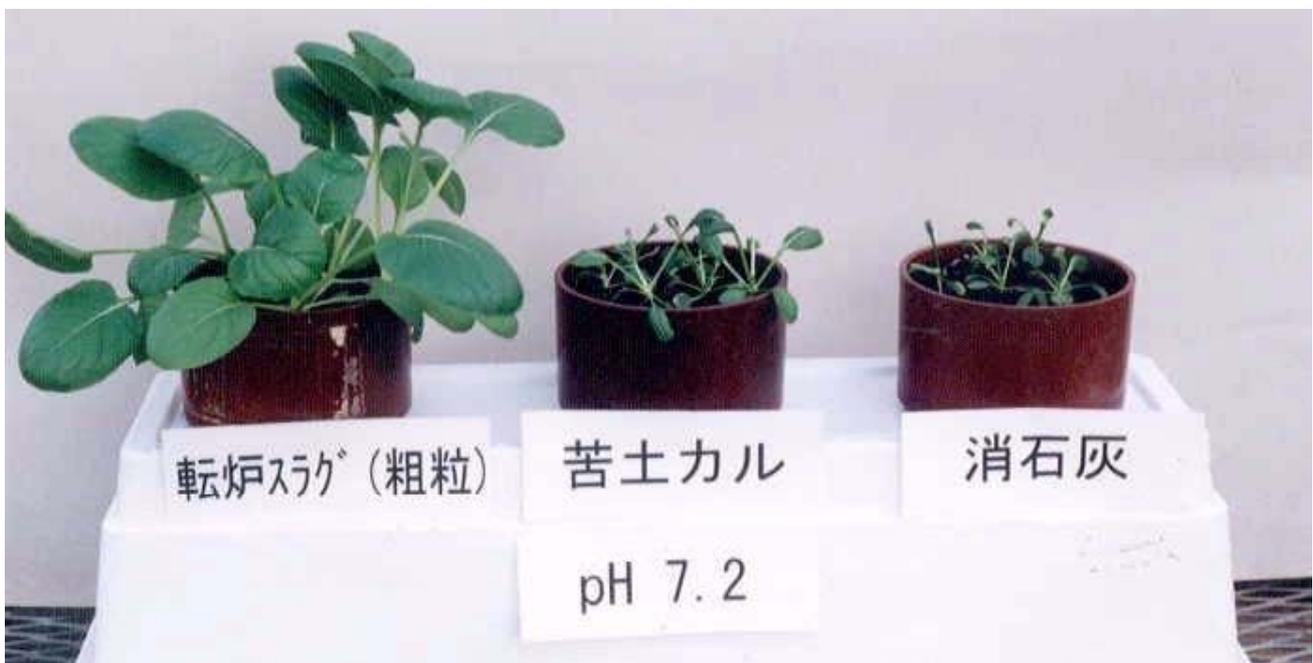
副産石灰肥料
(粒径が細かい)



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。

S29



転炉スラグでは、高pH条件でも生育障害をきたさない。

S30



転炉スラグには、(苦土カル + 微量要素肥料)の効果

S31

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。

S32



転炉スラグを施用中の津波被災水田(相馬市岩子)

S33

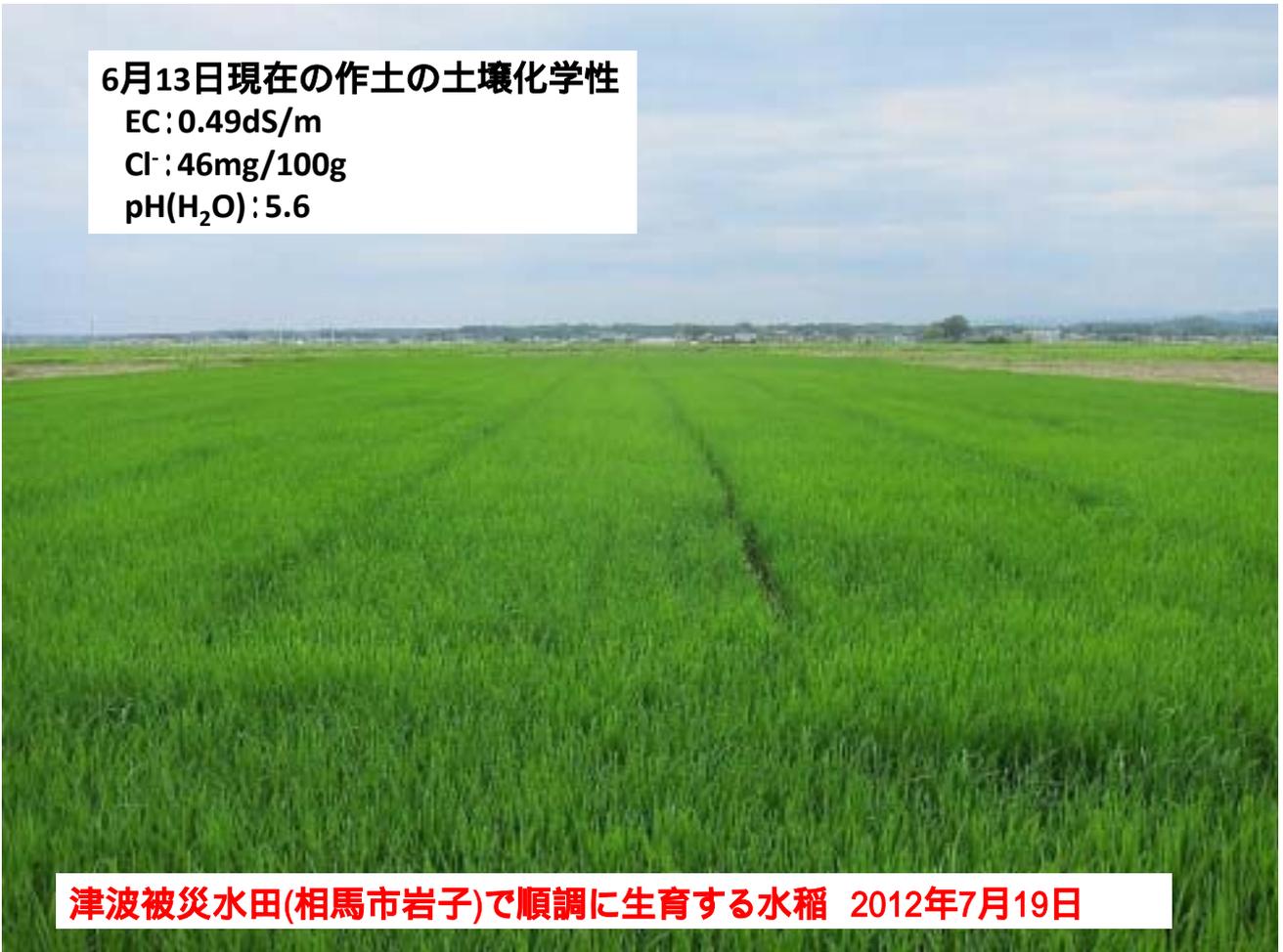


転炉スラグ施用後に田植えを行った津波被災水田(相馬市岩子) 2012年4月

S34

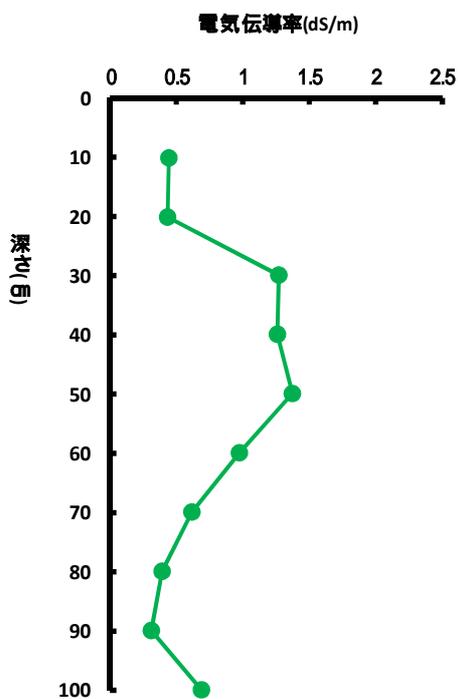
6月13日現在の作土の土壌化学性

EC:0.49dS/m
Cl:46mg/100g
pH(H₂O):5.6



津波被災水田(相馬市岩子)で順調に生育する水稲 2012年7月19日

S35



作土は除塩完了だが、
下層に塩分が残存している！

水稲・ダイズ輪作地域では；
除塩後には水稲を作付ける。
中干しに注意する。
2年目に、ダイズを作付ける。

津波被災水田(相馬市岩子)におけるECの垂直分布
(2012年4月24日)

S36

福島県相馬市岩子地区では、実証水田以外は手付かず状態

福島県内における津波被災農地の復興率はわずか10%！



S37

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、経時的に土壌が酸性化する可能性があるので、

除塩促進と土壌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500kg/10a程度と思われる。

水田での除塩促進対策として、弾丸暗渠工を併用する。

S38

農地の早期復興を目指して、

がんばろう 東北！

相馬市岩子の津波塩害復興水田

S39

3-2 . 津波被災園芸ほ場における除塩後の作付に関する留意事項について



S1

耐塩性作物の活用

津波被災ほ場では交換性ナトリウムが大量に土壤に吸着し、灌水による除塩では除去が困難。

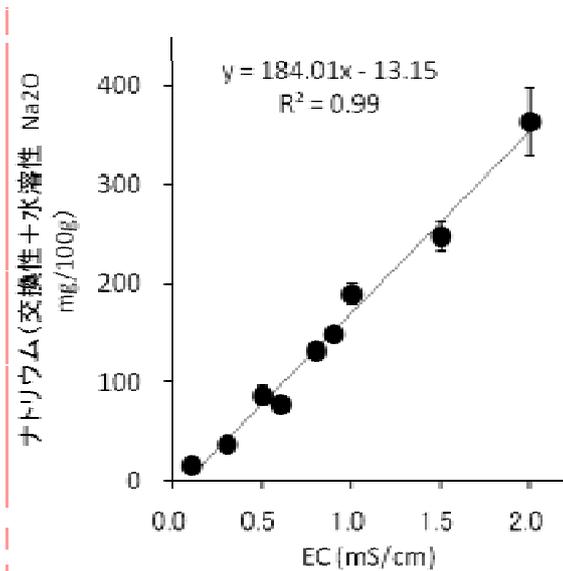
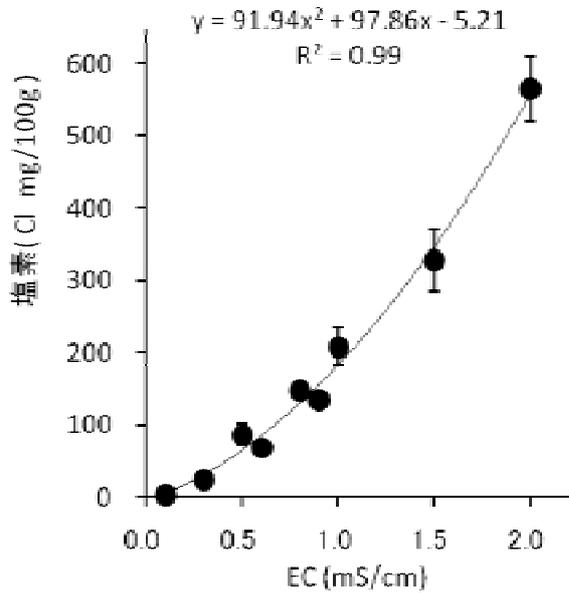
交換性ナトリウムの除去には石灰資材を利用した大掛かりな除塩作業が必要で、広大な被災産地を全て処理するには時間がかかる。

産地の早期復興の一つの方法として考えられるのが塩害に強い耐塩性作物の栽培。

S2

野菜・花きの耐塩性の評価

- 1 土壌の塩分濃度を段階的に変え、各品目の耐塩性との関連を検討。



試験区のECと塩類濃度の関係

S3

イチゴ

対照



枯死株: 埴土(0/12)・砂質土(0/12)

EC: 0.3



枯死株: 埴土(0/12)・砂質土(0/12)

EC: 0.6



枯死株: 埴土(0/12)・砂質土(2/12)

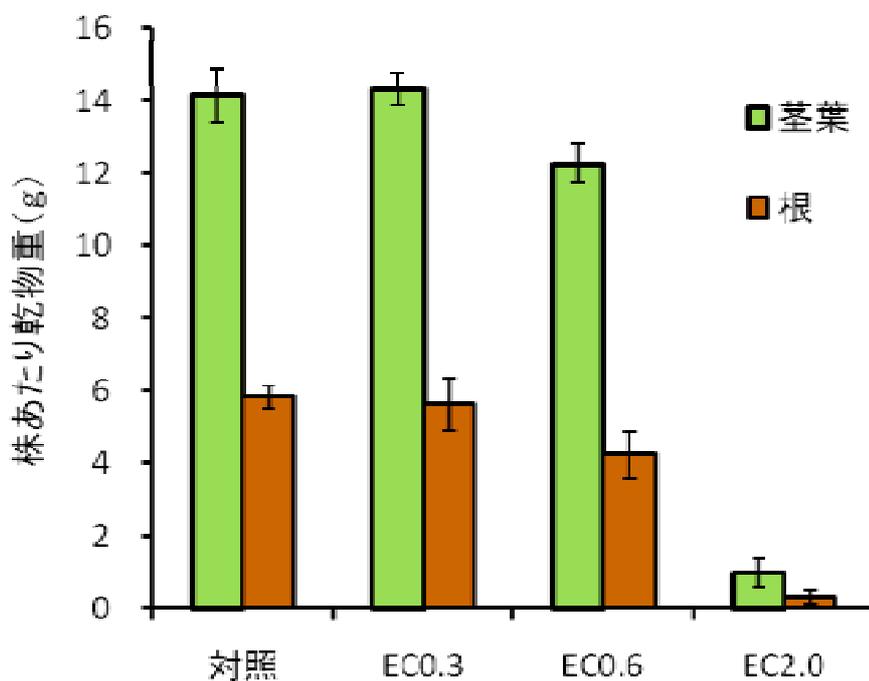
EC: 1.0(砂質土)・2.0(埴土)



枯死株: 埴土(11/12)・砂質土(6/12)

S4

塩害土壌がイチゴの地上部乾物重に及ぼす影響



図中のエラーバーは標準偏差を示す(n=4)

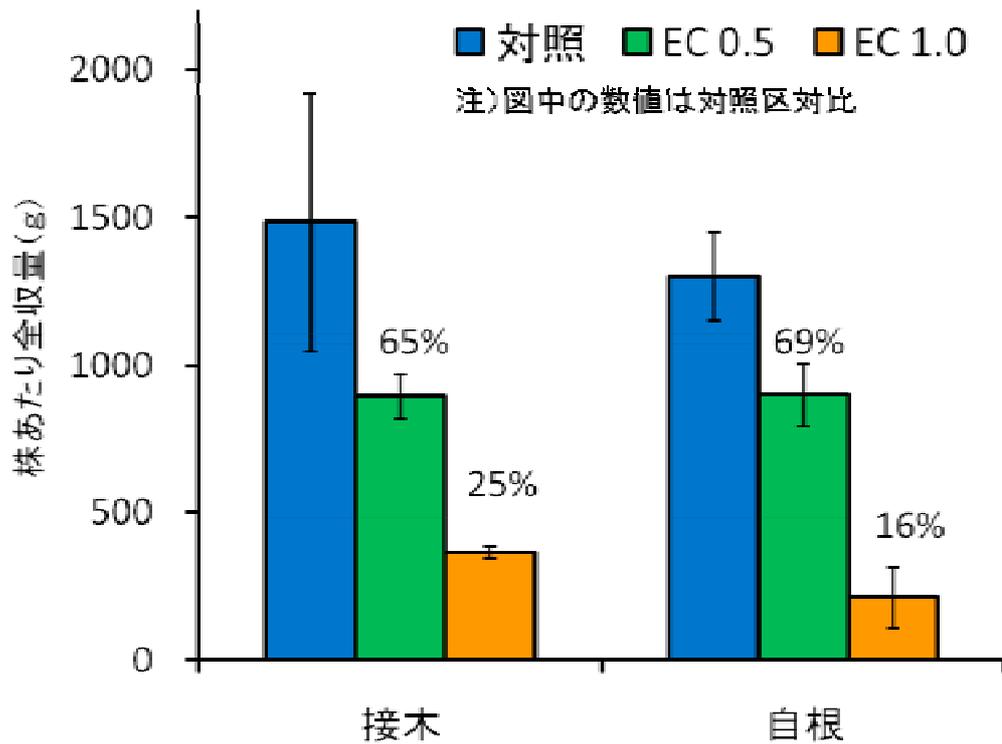
S5

キュウリ



S6

塩害土壌がキュウリの収量に及ぼす影響



図中のエラーバーは標準偏差を示す(n=2)

S7

キク



EC	1.5	0.9	0.6	0.3	対照
枯死株	30%	15%	なし	なし	

S8

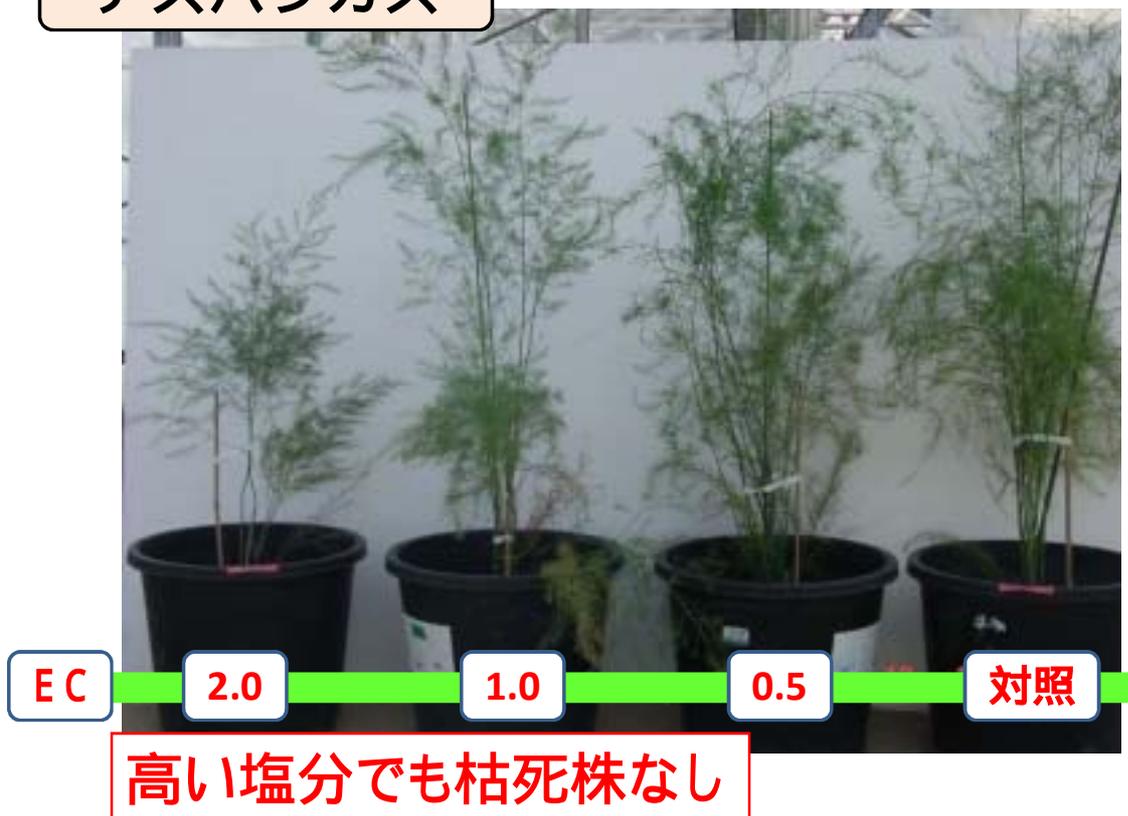
キク(深志の匠)の生育および品質

試験区	切花長 (cm)	切花重 (g)	茎径 (mm)	到花 日数
対照	107 ± 4	98 ± 4	7.1 ± 0.3	97
EC 0.3	105 ± 6	90 ± 12	6.8 ± 0.5	97
EC 0.6	97 ± 4	88 ± 7	6.6 ± 0.4	97
EC 0.9	95 ± 10	87 ± 22	6.5 ± 1.0	96
EC 1.5	80 ± 16	67 ± 16	6.0 ± 0.6	98

数値は平均値 ± 標準偏差(n=5)

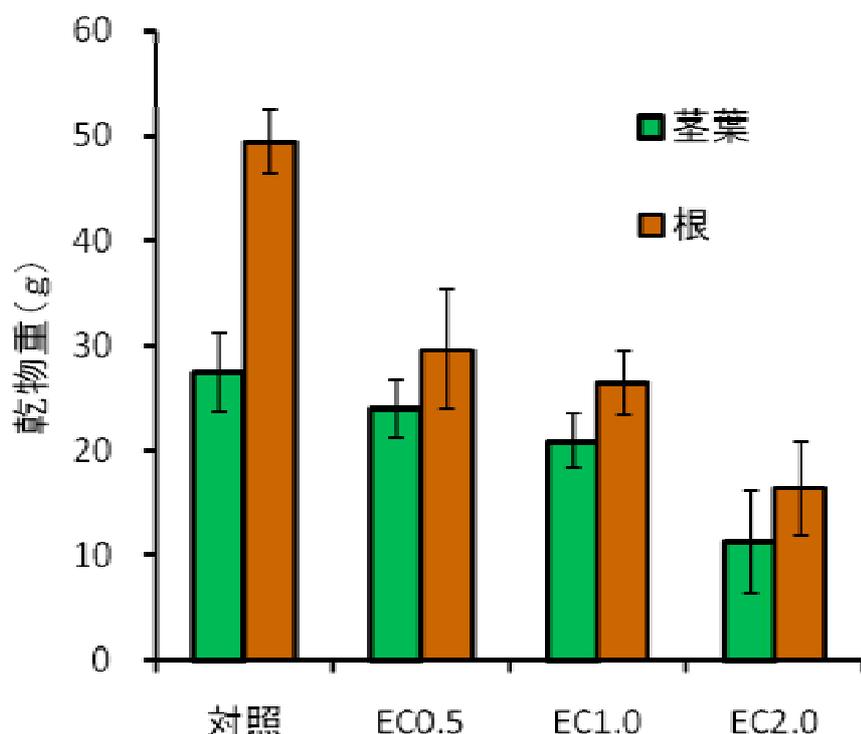
S9

アスパラガス



S10

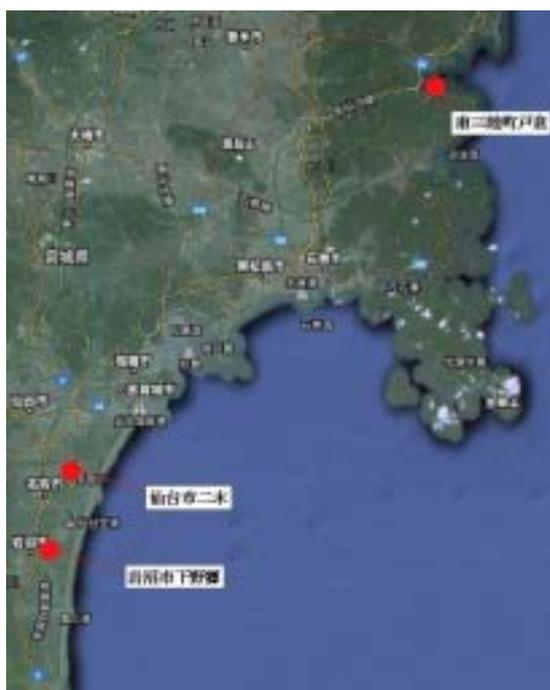
塩害土壌がアスパラガスの乾物重に及ぼす影響



図中のエラーバーは標準偏差を示す(n=5)

S11

2 津波被災地での現地栽培実証試験



Googleマップを加工

- 1 仙台市実証圃
 - ・海岸より約2.5km内陸の仙台市二木地区の名取川左岸河川敷内に立地。
 - ・津波により2日間程度海水滞留、海砂等若干の津波堆積物あり。
- 2 岩沼市実証圃
 - ・海岸より約2km内陸の岩沼市下野郷地区の小河川後背地に立地。
 - ・津波により3日間程度海水滞留、ヘドロ等若干の津波堆積物あり。
- 3 南三陸町実証圃
 - ・海岸より約0.5km離れた南三陸町戸倉地区の段々畑に立地。
 - ・傾斜地につき、津波による海水滞留は1日程度、大量の瓦礫があり栽培前に撤去を要す。

S12

津波被災が土壌の化学性に与える影響

地区名	採取日	pH	EC	Cl	塩基（交換性+水溶性）				CEC	
					Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O		
			dS/m	mg/100g	mg/100g					
仙台市	8/26	7.1	0.3	7	244	236	85	144	21.8	
岩沼市	8/24	6.8	0.4	27	206	318	86	84	21.3	
南三陸町	8/25	5.6	0.9	121	135	303	57	72	17.3	
参考：名取市高館	10/3	6.1	0.1	2	3	321	65	68	21.5	

S13

仙台市実証圃



現地実証圃での野菜栽培

各圃場において6～15品目の秋冬野菜を8月上旬より随時栽培。

野菜種子は(株)渡辺採種場より提供されたものを使用し、同社の助言を基に播種または苗による移植を行った。

他の栽培管理は現地慣行に準じた。

岩沼市実証圃



南三陸町実証圃



S14

現地における生育状況

科名	品目名	仙台市	岩沼市	南三陸町
アブラナ	ブロッコリー早生	△	○	-
	キャベツ早生	○	○	-
	カリフラワー	-	○	-
	ハクサイ	○	○	-
	ダイコン	○	○	-
	聖護院ダイコン	○	○	-
	からみダイコン	○	○	-
	カブ	△	○	○
	ナバナ	△	○	○
	三陸つぼみ菜	△	○	○
	カラシナ	△	○	○
	コマツナ	△	○	○
	アカザ	ホウレンソウ	△	○
キク	シュンギク	△	△	-
	リーフレタス	○	○	-
ユリ	タマネギ	○	-	-
	ニンニク	○	-	○

注) ○:生育良好 △:一部で発芽・活着不良になったが、生育は良好
-:栽培なし

S15

園芸作物の耐塩性の評価

耐塩性	基準	野菜・花き品目名
強	土壌中のEC1.5~2.0mS/cmでも枯死が発生せず、生育抑制も少ない	アスパラガス、ワタ
中	土壌中のEC1.5~2.0mS/cmで枯死株が発生するが、EC0.5mS/cmでは生育抑制が少ない	ハクサイ、キャベツ、ブロッコリー、コマツナ、カブ、ダイコン、ナバナ類、タマネギ、ニンニク、ホウレンソウ、キク、カーネーション、スイトピー、ストック
弱	土壌中のECが2.0mS/cm以上で生育抑制、EC3.0mS/cm以上で枯死、顕著な生育抑制あり	イチゴ、キュウリ、リーフレタス(ボウダイオオホ)、カラシナ

多くの品目の耐塩性は「中」以上と強く、被災ほ場で栽培が可能だが、重要品目であるイチゴ、キュウリの耐塩性は「弱」で注意が必要。

S16

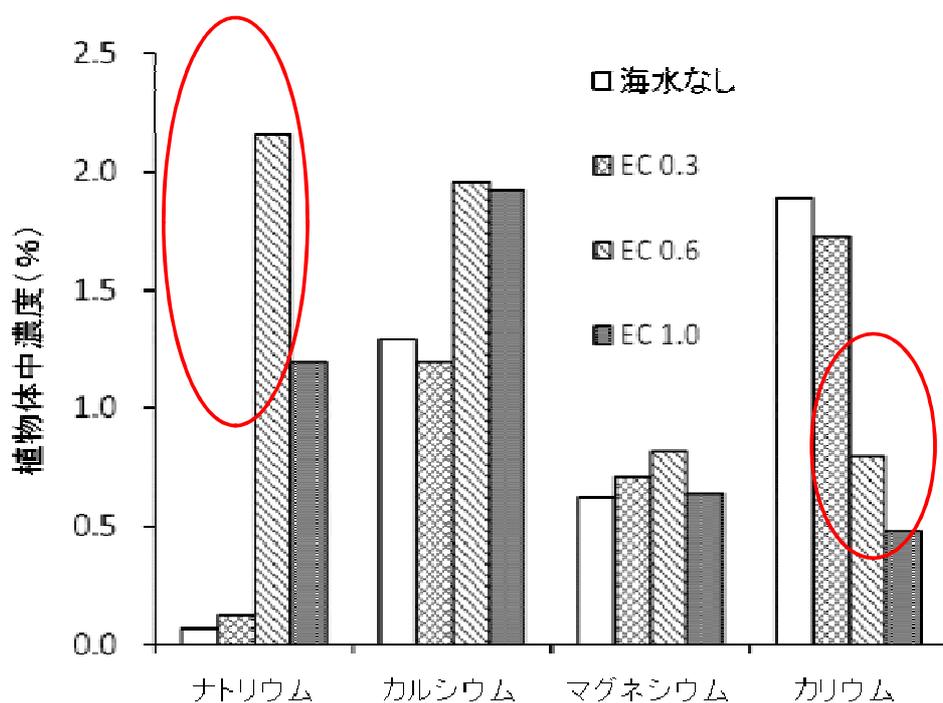
塩害発生と耐塩性

塩害が発生する要因。

塩害に対する強さ = 耐塩性について

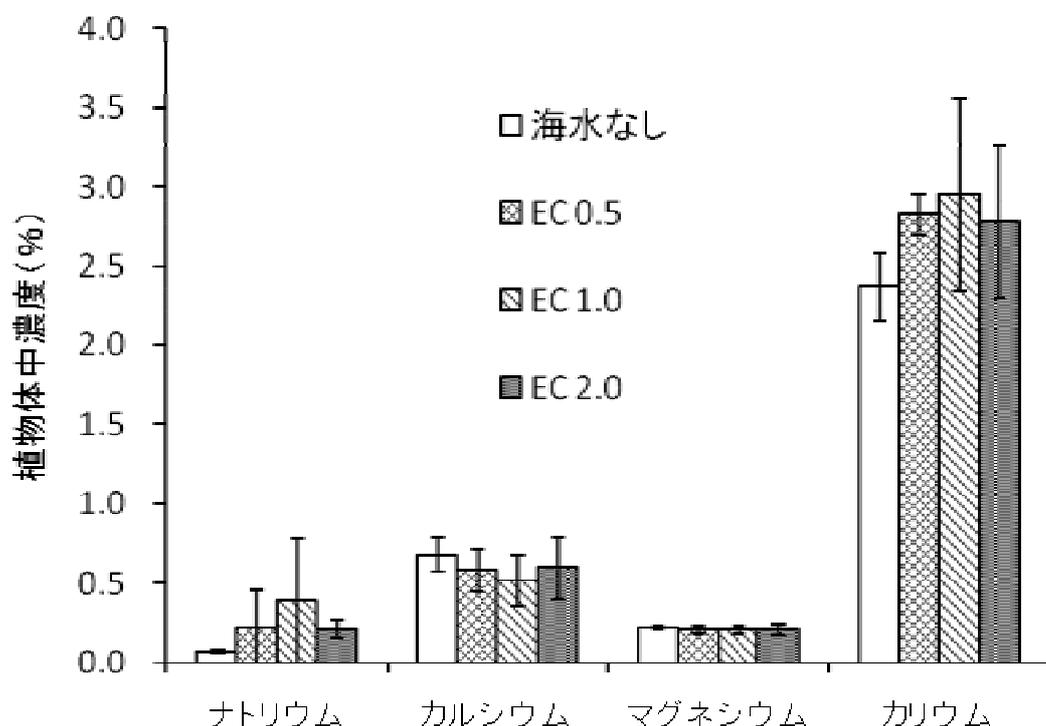
S17

塩害試験におけるイチゴの茎葉中の塩類吸収



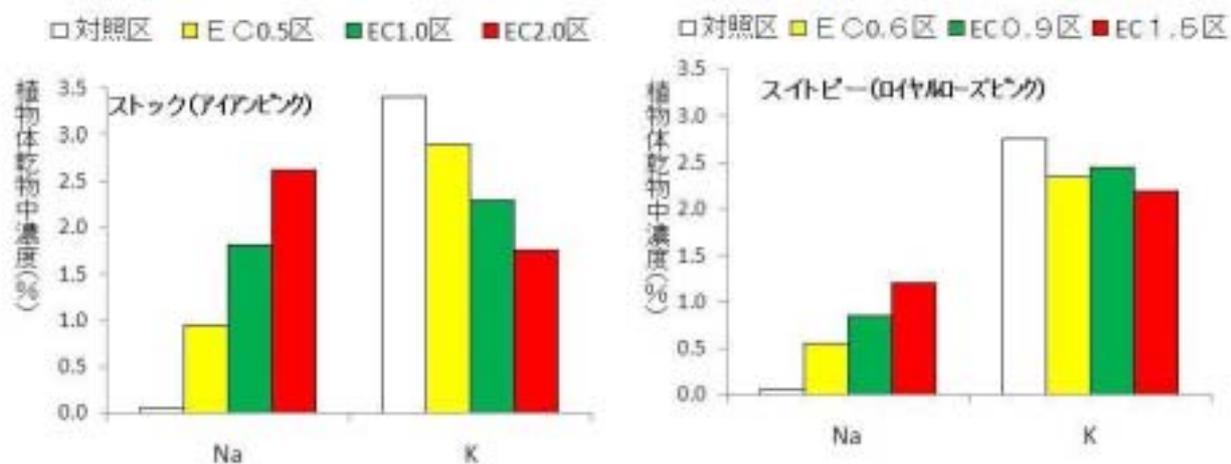
S18

塩害試験におけるアスパラガスの茎葉部の塩類吸収



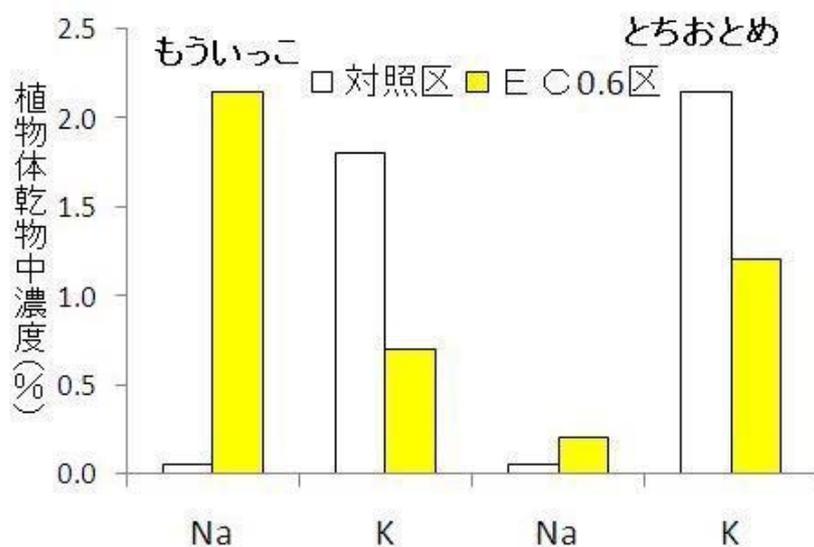
S19

塩害試験における一物品目での茎葉部の塩類吸収パターンの違い。



S20

塩害試験における茎葉部の塩類吸収でのイチゴの品種間差



S21

まとめ

塩害は水分ストレス以外ではナトリウムを吸収すること及びカリウムの吸収が阻害されることを主要因として発生すると考えられる。

ナトリウムを吸収しやすい品目は耐塩性が弱く、吸収しにくい品目は強い傾向が見られた。

一部品目ではナトリウムを吸収してもカリウムの吸収阻害が起こりにくい現象がみられた。

耐塩性には品種間差があることが判明。

S22

土壌物理性の悪化

- ・被災ほ場では土壌粒子にナトリウムが吸着する「ナトリウム粘土化」により、土壌の団粒構造が破壊されている。
- ・細かくされた土壌粒子は土壌間隙を塞いで透水性を悪化させるほか、降雨で土壌表面に拡散し、その後、日射により急激に乾燥することでほ場表面に固いクラスト(土膜)を発生させる。

クラスト:岩沼市実証圃



クラスト剥片:仙台市実証圃



S23

クラストの発生による影響

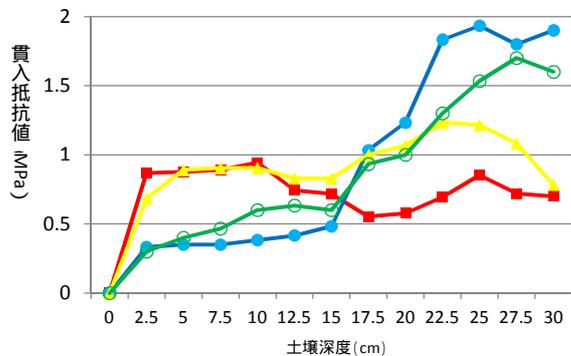
1 野菜の出芽・苗立ちの阻害



仙台市実証圃のホウレンソウ
(平成23年10月27日)

2 土壌表層の硬化

- 仙台市(クラスト強)
- 岩沼市(クラスト強)
- 南三陸町(クラスト弱)
- 参考:名取市高館(クラスト無)



現地実証ほにおけるクラスト発生と土壌硬度

S24

クラスト発生防止試験

【方法】

- 1) 試験圃場: 仙台市実証圃(仙台市二木地区)
- 2) 供試作物: ホウレンソウ(バルチック7)
- 3) 試験実施期間: 平成23年10月27日～
- 4) 試験方法: 耕起した圃場で以下の試験区(80cm×200cm)を3反復で設置し, 作物の出芽苗立ちやクラスト発生程度の調査を行う。

【試験区】

堆肥区: ペレット堆肥2,000kg/10aを表層(5cm)混和。

籾殻区: 稲籾殻2,000kg/10aを表層(5cm)混和。

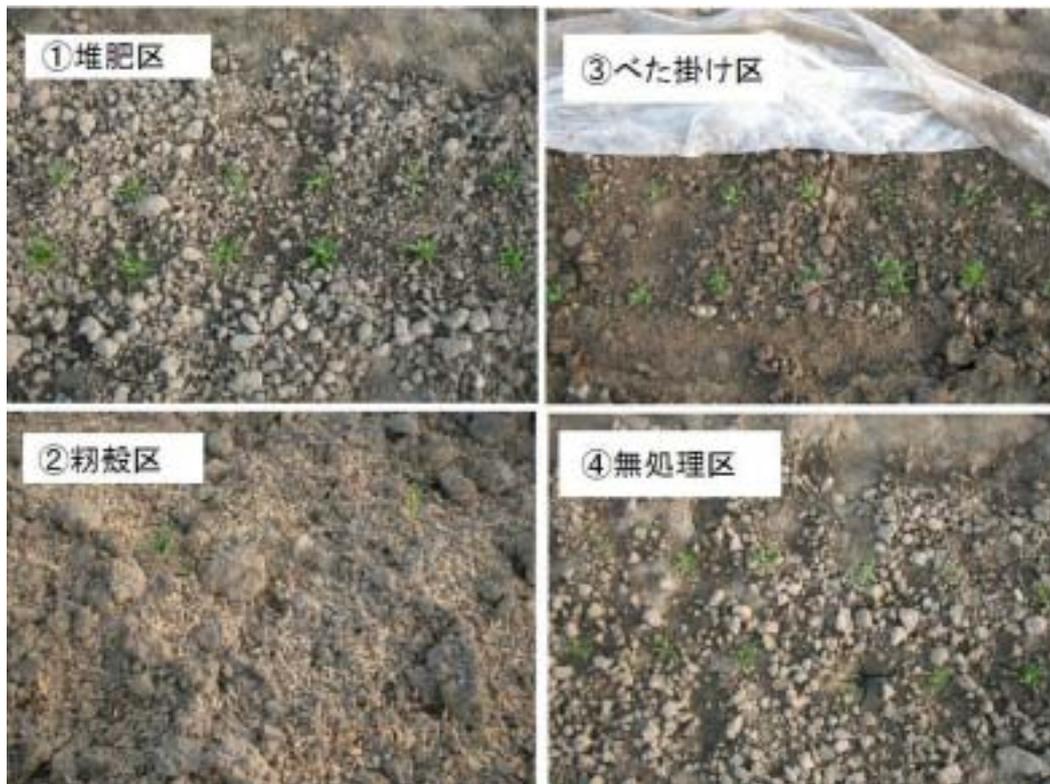
べた掛け区: べた掛けシートを設置。

シートは出芽苗立ち後の11月18日に除去。

無処理区

S25

各種資材の施用が出芽・苗立に及ぼす影響



平成23年11月18日調査

S26

各種資材がクラストの発生に及ぼす影響

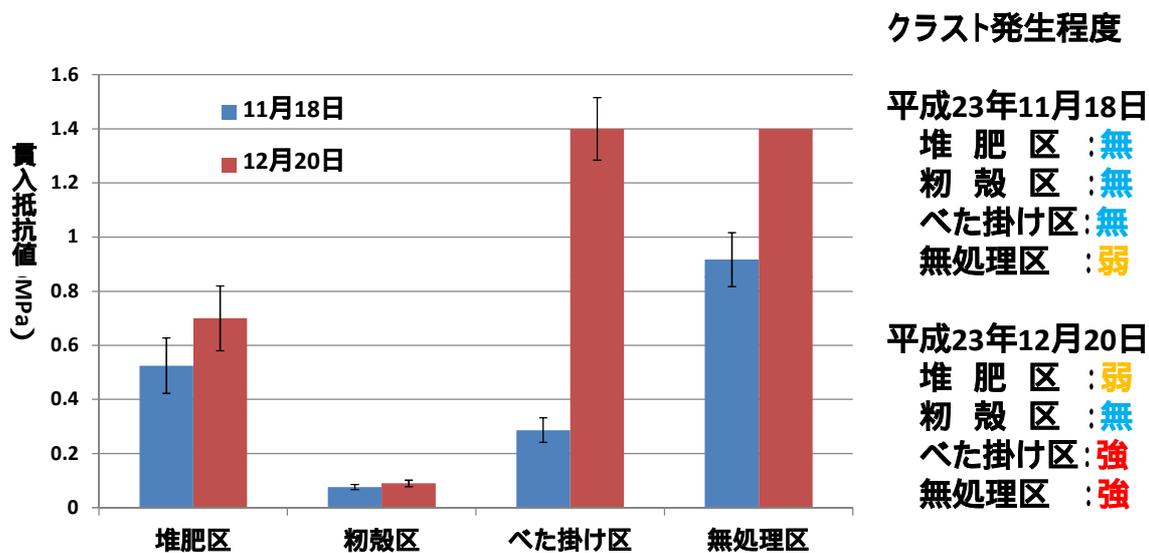


図 各試験区の土壌表層5 cmにおける土壌硬度

エラーバーは標準誤差を示す (n=3)

S27

まとめ

- 1 塩害以外では土壌の団粒構造破壊に伴うクラストの発生など土壌物理性の悪化が問題となる。
- 2 べた掛けシート設置によりクラスト発生を防いで出芽苗立を維持する方法や籾殻等の施用により土壌物理性を改善する方法が考えられる。

S28

3-3 . 土壤塩分濃度と作物生育の関係及び栽培管理

農地の除塩技術(その2) 土壌塩分濃度と作物生育の関係及び栽培管理

宮城県古川農業試験場土壌肥料部



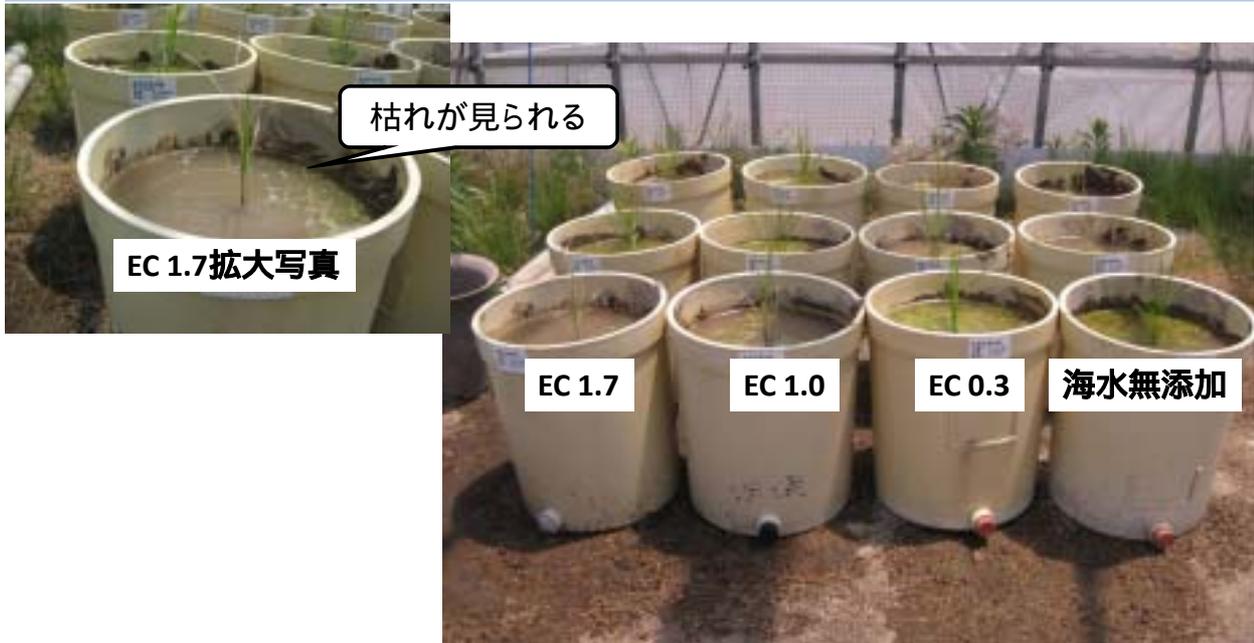
本日の内容

試験研究の現状

- 土壌塩分濃度と作物生育の関係
- 津波堆積物の窒素無機化
- 石灰質資材の施用

今後の課題

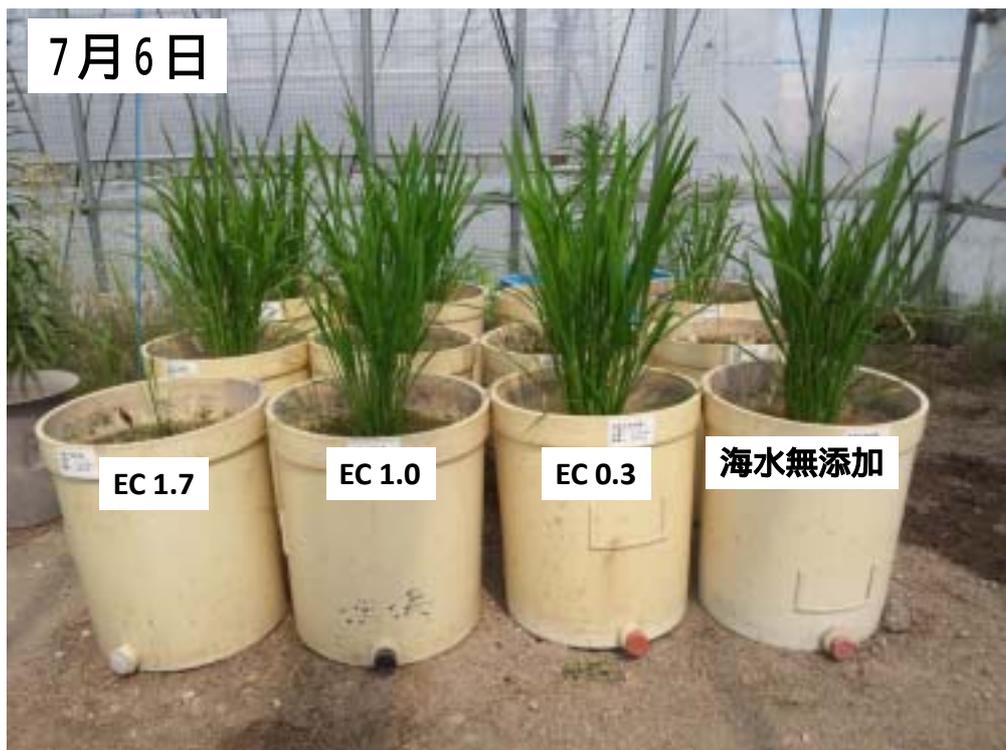
ECの違いが水稻生育に与える影響



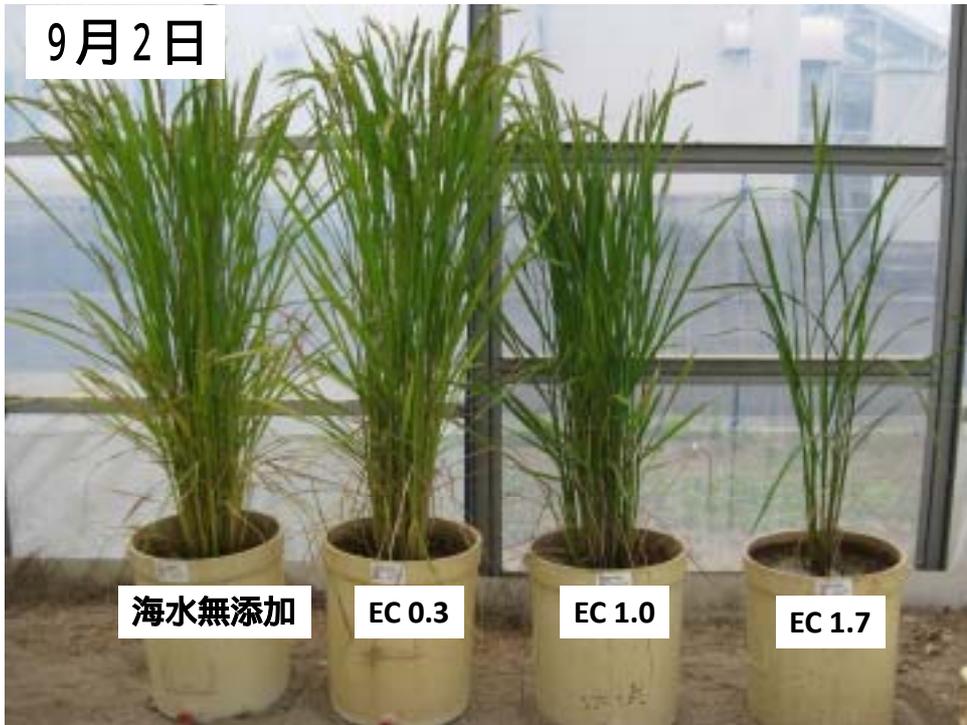
水稻ポット試験の様子(6月9日移植, 撮影日6月15日)
品種 ひとめぼれ, 古川農業試験場ほ場土壤に海水を
混和し, 土壤ECを調節。ポットはハウス内に設置。

EC1.0mS/cm以上では移植後6日に稲の葉に枯れが見られた。

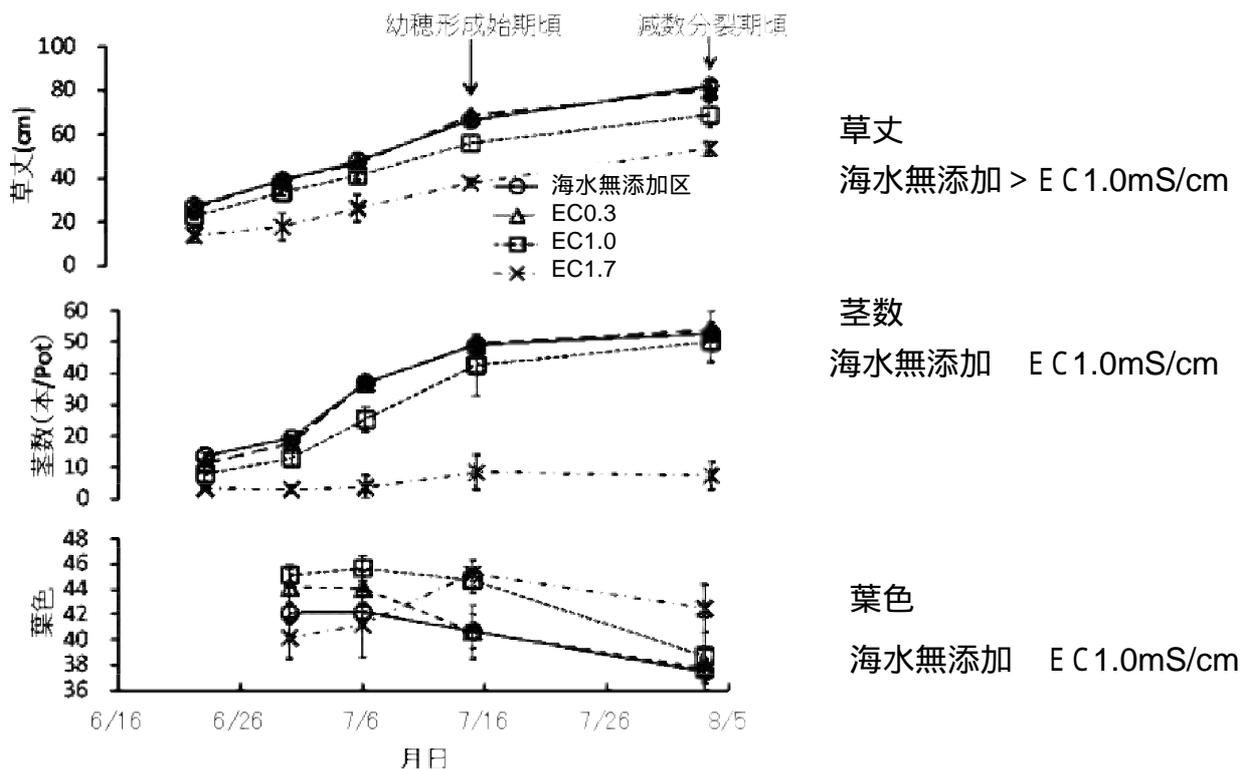
EC1.7mS/cmでは分けつが極めて少ない。
EC1.0mS/cmでも若干株が小さめである。



EC1.7mS/cmでは分けつが極めて少ない。
 EC1.0mS/cmは若干株は小さいが茎数等は海水無添加区に近づいている。

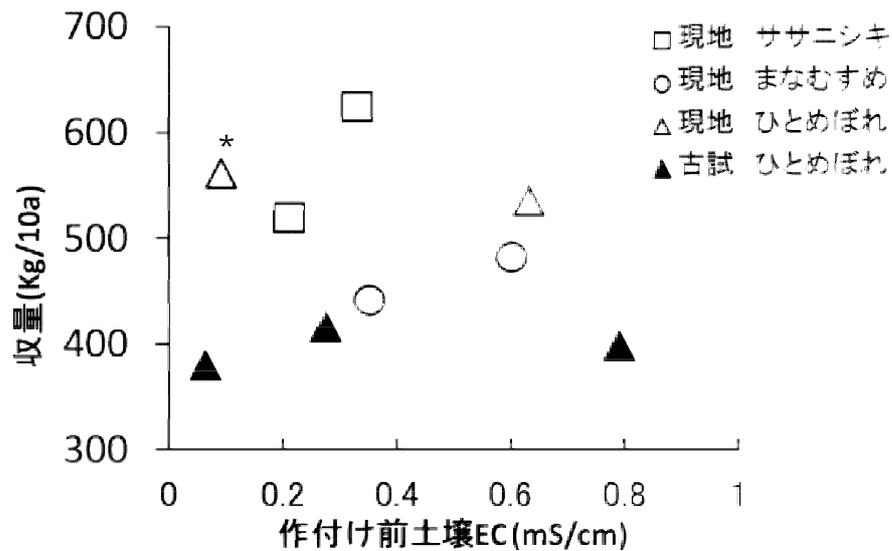


幼穂形成始期頃まで、土壌EC 1.0mS/cm以上では茎数は低く抑えられるが、減数分裂期頃までには海水無添加区と同等になる。



土壌ECの違いと水稲草丈、茎数および葉色の関係

作付け前土壌ECと収量に一定の傾向は認められない。



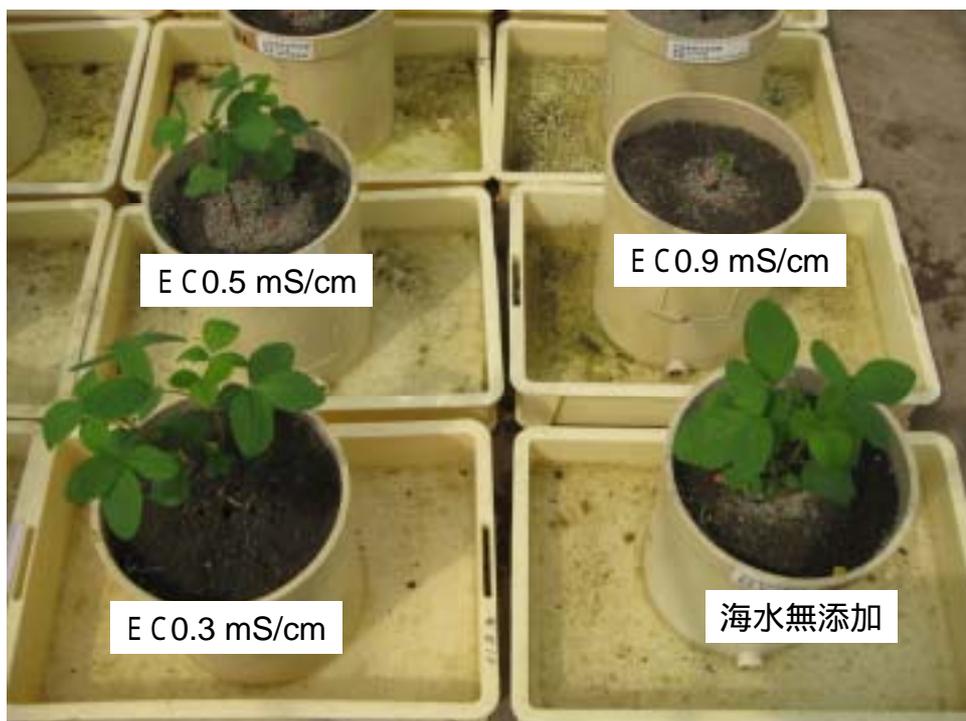
現地ほ場および枠試験における収量と作付け前土壌EC

注1) * がついた点は津波被害を受けていないほ場

注2) * のない現地ほ場は津波による被害を受けたので、作付け前に代かき除塩を行った。

注3) 古川農業試験場の値は、場内ほ場において50cm×50cm枠を深さ15cmまで差し込み、枠内土壌に海水を混和後水稻を移植したもの。現地ほ場の収量は石巻農業改良普及センター調べ。

ECの違いが大豆生育に与える影響



大豆ポット試験の様子(9月6日撮影)

EC0.9mS/cmでは、大豆の発芽が遅く植物体も小さい。

大豆はEC 0.3 mS/cm以下で海水無添加と同等の生育が得られる。

土壌ECおよびNaCl濃度と出芽率および開花期生育の関係

区	NaCl ^{注1)} (%乾土)	EC ^{注1)} (mS/cm)	出芽率 ^{注2)} (%)	開花期頃(9月29日)		
				茎長 (cm)	主茎節数	分枝数
海水無添加	0.013	0.134	100	44.9	9.7	3.5
EC 0.3	0.052	0.342	100	44.6	9.3	4.0
EC 0.5	0.102	0.518	93	38.7	8.8	2.7
EC 0.9	0.213	0.884	40	26.6	7.5	0.3

注1) 土10mlに水50ml添加振とう後の抽出液の測定値。NaCl濃度はCl⁻濃度から推定。

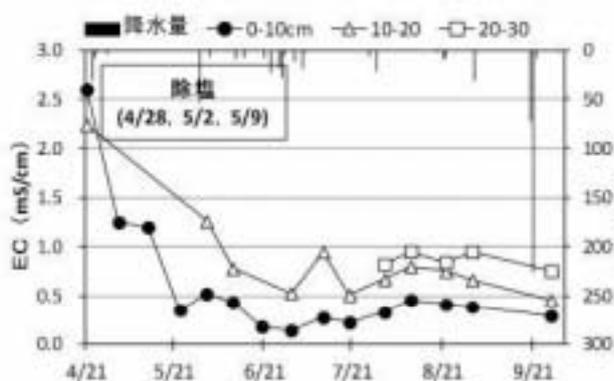
注2) 播種日は8月18日。出芽率は播種後2週間に測定

注3) 海水添加土壌は、海水を古川農業試験場内ほ場土壌に混和し、最大容水量の約60%に調製した。調製土壌には施肥後播種し、雨水の入らないハウス内に設置した。水はポット底面から補給した。

水稻・大豆ほ場の層位別ECの動態

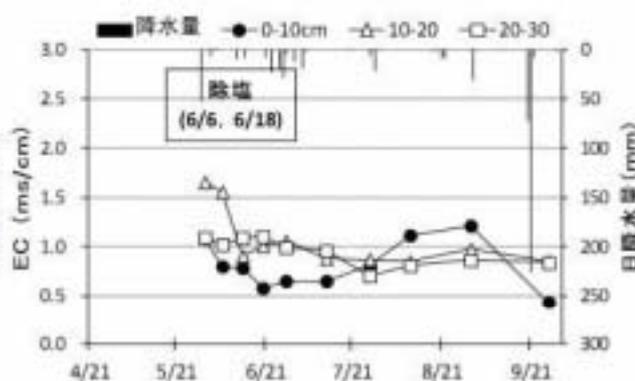
現地ほ場: 石巻市

除塩方法: 代かき除塩



水稻ほ場

5月19日移植
中干し無し



大豆ほ場

7月19日播種
9月中旬に枯死

水稻ほ場では、表層のECは低く維持された。
大豆ほ場では、乾燥時に表層のECが上昇した。
下層のECは水稻ほ場、大豆ほ場ともに高いまま停滞した。

強い中干しを行うと下層から塩分が上昇する

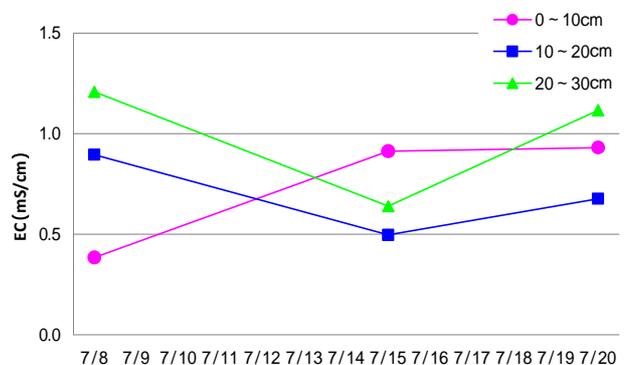
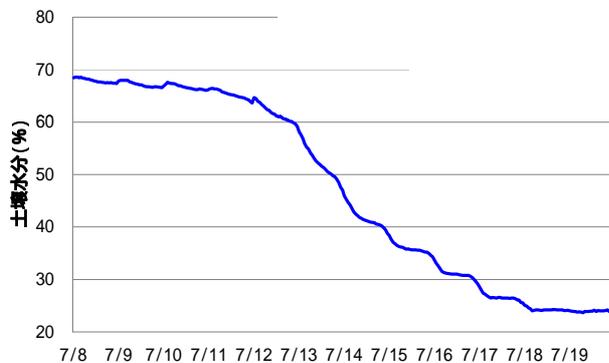
実施場所:石巻市蛇田地区

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

中干し期間:平成23年7月7日～20日 13日間



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。

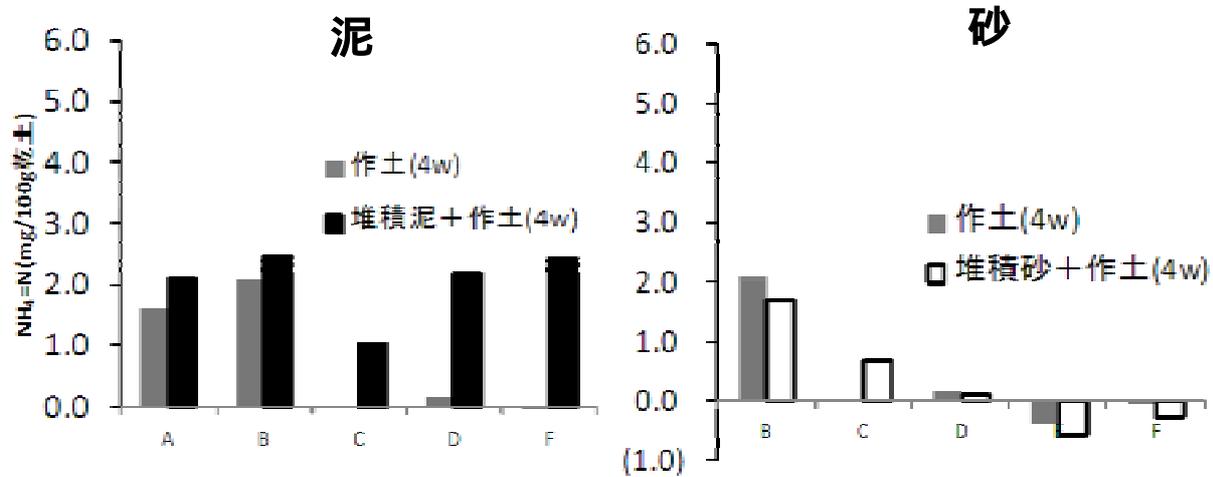
極端な中干しは要注意

津波堆積物の窒素無機化量



水田における津波堆積土砂(松島)

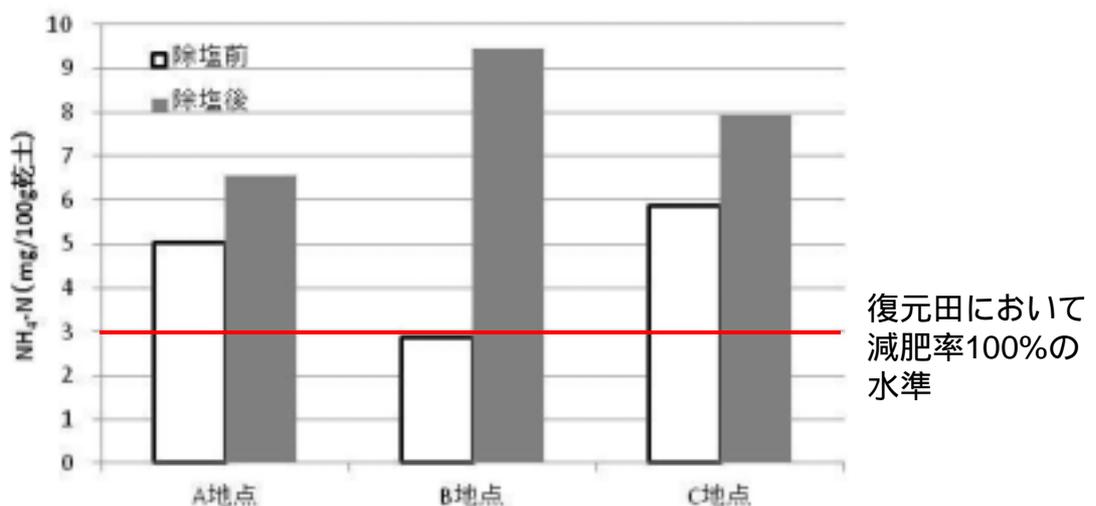
堆積泥(堆積厚2cm)を作土に混和することで窒素無機化量は作土より高くなるが、堆積砂を混和すると窒素無機化量は低くなる。



堆積物混和土壌の無機化窒素量

注) 堆積物の混和量は堆積層の厚さ2cm分(仮比重から計算)。
堆積物混和後30 で4週間培養。

除塩事業において堆積泥を鋤き込んだ場合は、窒素の発現量が多くなるので、水稻の基肥は無窒素とする。



農地復旧除塩事業前後の土壌可給態窒素(生土)の発現 (30 4週培養)

注1) 農地復旧除塩事業実施地区: 石巻市

注2) 試料採取日 除塩前: 10/21, 除塩後: 12/19

注3) 除塩実施前に耕起作業1回(7/15)実施し、泥土2cm程度を鋤き込みしている。

注4) 除塩は、縦浸透法で10cmの水深で5回実施。

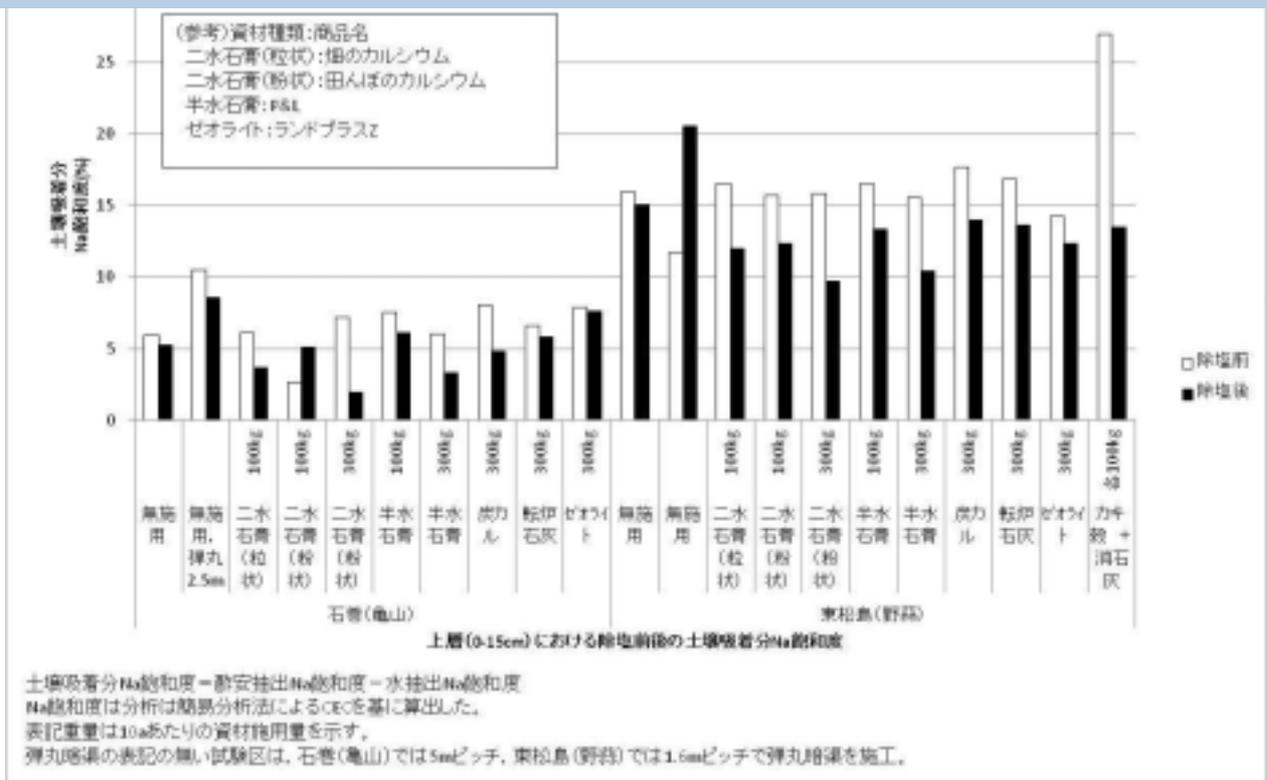
注5) 図中の (実線) は、復元田における水稻の肥培管理法(追補)(第84号参考資料)で、灰色低地・グライ土壌の4週培養窒素無機化量(3mg/100g乾土)のひとめぼれ減肥率100%ラインを示す。

石灰質資材施用によるNa排出効果



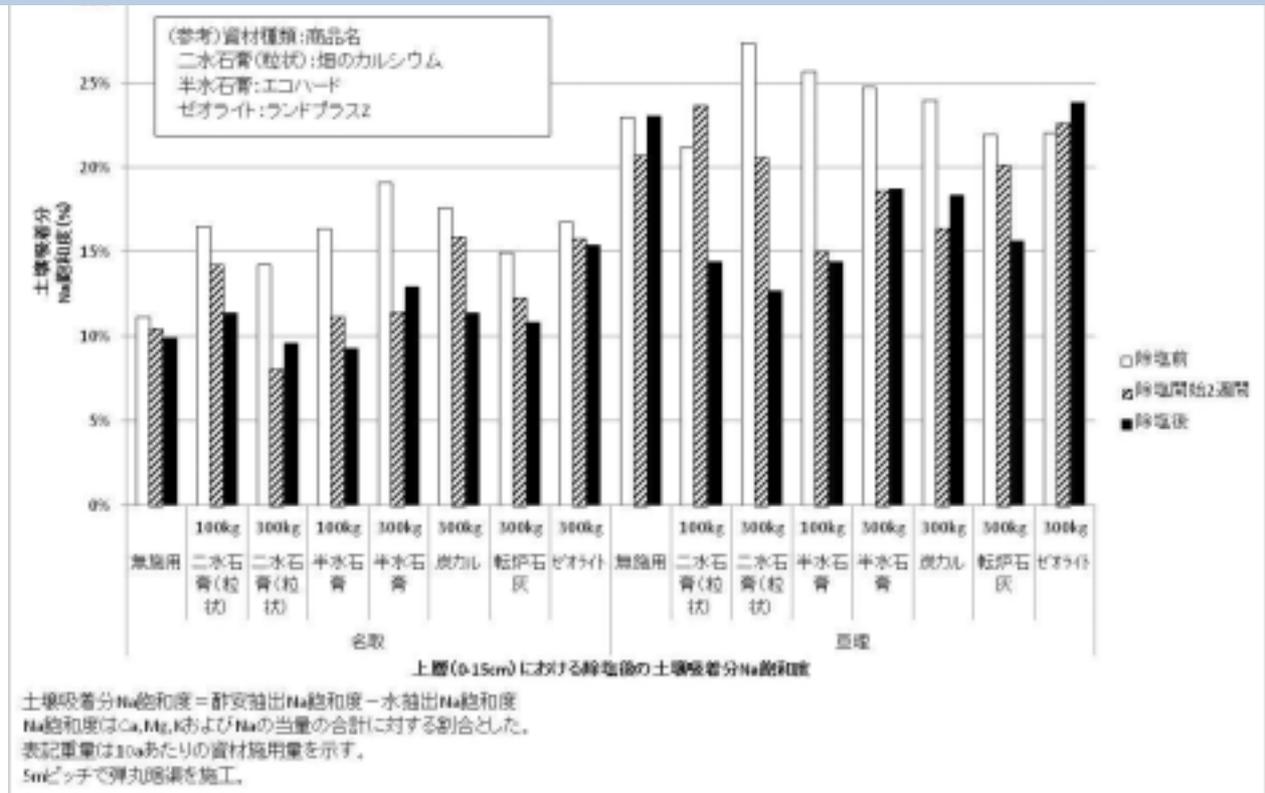
土壤吸着Naの資材による排出効果1 (石巻, 東松島)

Na飽和度が10%程度では石灰資材300kg/10a施用でNa飽和度の低下がみられる。

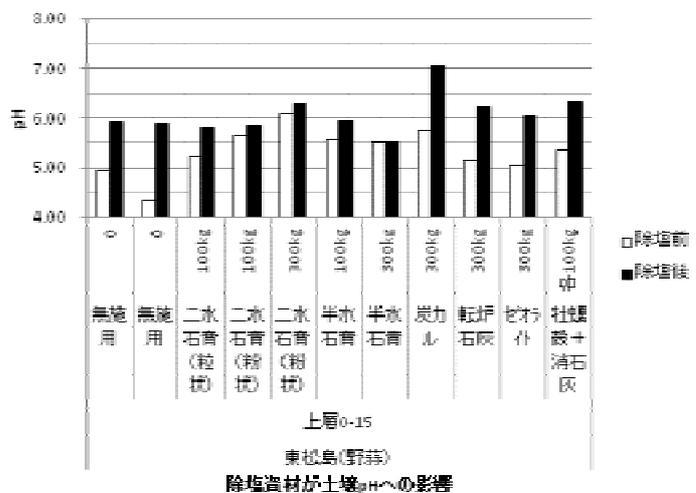
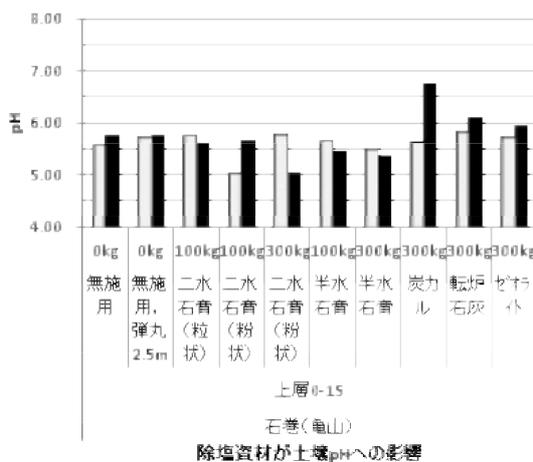


土壤吸着Naの資材による排出効果2 (名取, 亶理)

Na飽和度が高い圃場では石灰資材100~300kg/10a施用でNa飽和度の低下がみられる。



除塩前後における土壤pHの変化



炭カル施用ではpHが大きく上昇した。

除塩により石灰質資材無施用でもpHの上昇がみられる。

まとめ1

土壌塩分濃度と作物生育

- ・ 水稻栽培において、茎数確保の観点から少なくとも土壌ECは1.0mS/cm以下に抑える必要がある。
- ・ 大豆栽培において、土壌ECを0.3mS/cm以下に抑えることで海水無添加と同等の生育が得られる。
- ・ 除塩後の水稻水管理では、5～7日程度中干しを実施し、強い中干しは行わない。

まとめ2

津波堆積物の窒素無機化

- ・ 堆積泥を鋤き込んだ場合は、窒素の発現量が多くなるので、水稻の基肥は無窒素とする。
- ・ 堆積砂を多く鋤き込んだ場合は、窒素の発現量が少なくなるので、水稻の基肥は慣行とする。

石灰質資材の施用によるNa排出

- ・ 石灰質資材散布は、土壌のNa飽和度が高い圃場で、Na排出の効果が高い。
- ・ 石灰質資材散布は、除塩前後のpHの変化に注意し、資材を選定する。

今後の課題

- 水稲における適正塩素濃度 (EC) の確認。
- 堆積土の窒素発現と水稲の窒素吸収量の解析による窒素施肥対策。
- 作土喪失等により土壌肥沃度が低下した圃場における土づくり対策。
- 作物の生育に影響を及ぼさない土壌Na飽和度の適正範囲の解明。
- 大豆における下層塩分の上昇防止対策。

3-4 . 農地の除塩実証試験結果について

「農地の除塩技術(その3)」

<農地の除塩実証試験結果について>

一般財団法人 日本水土総合研究所
仁後 祐輔

S1

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(畑地:宮城県亘理地区)
(水田:宮城県名取市地区)

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	78 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・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

新潟県中越地方の被害額(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)



※被害関係の数は平成23年6月23日時点

出典:農林水産省

S2

2) 実証試験ほ場詳細位置



実証試験開始前のほ場の状況

S3

3) ほ場の土壌特性

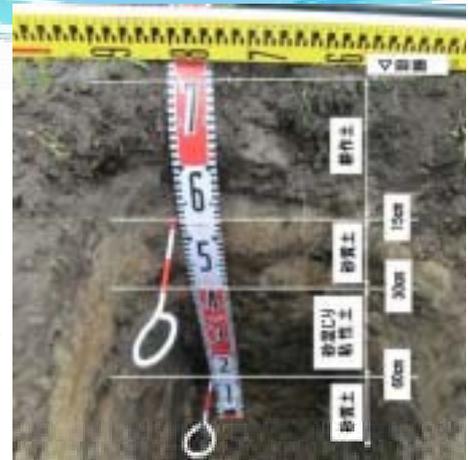
実証ほ場の土層

実証ほ場の土層は以下の通り。

- 田面 ~ 15cm . . . 耕作土
- 15cm ~ 30cm . . . 砂質土
- 30cm ~ 60cm . . . 砂混じり粘性土
- 60cm ~ . . . 砂質土

土壌の物理性

実証試験ほ場の作土層から試料を採取し、土壌の物理性に関する試験を行った。土性は埴壤土で、飽和透水係数は 9.0×10^{-4} と比較的透水性の高いほ場であった。



	粒径組成			土性	土粒子の密度 (g/cm^3)	飽和透水係数 (cm/s)
	砂	シルト	粘土			
作土層 (0cm ~ -10cm)	58%	26%	16%	埴壤土 (CL)	2.46	9.0×10^{-4}

S4

3. 現地予備調査

1) 試験ほ場周辺の広域的な塩素濃度調査

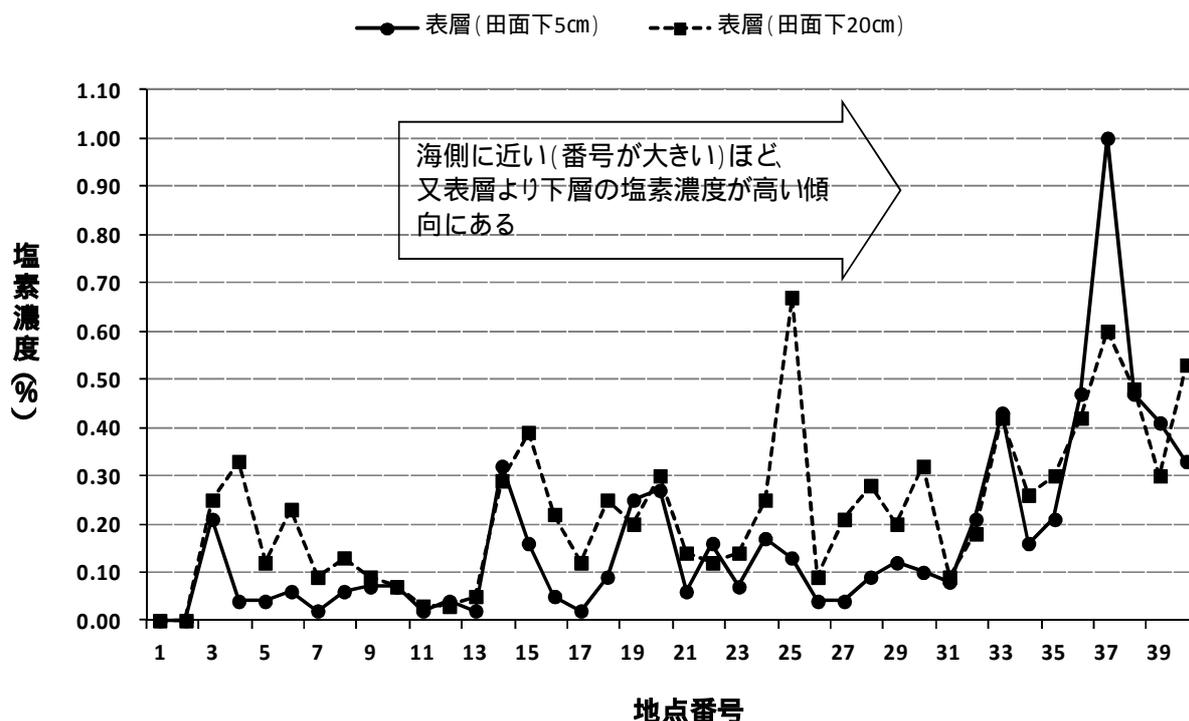
現地予備調査において、広域的な被害の程度を把握するため、試験ほ場の周辺に500m×500mのメッシュを設定し、メッシュの交点40地点から6月下旬に試料を採取して、塩素濃度の調査を行った。

試料は1地点につき、堆積土砂、表層(田面-5cm)、下層(田面-20cm)の3箇所から採取した。

この調査結果より、海側に近いほど、また表層よりも下層の方が塩素濃度が高い傾向にあることがわかった。

S5

試験ほ場周辺農地の表層、下層の塩素濃度



S6

2) 塩素濃度と電気伝導度の関係

塩素濃度と電気伝導度 (Electric Conductivity : 略称EC) には相関性があり、塩素濃度を示す尺度としてECが用いられている。

本調査では、この相関を求め、比較的測定が容易な電気伝導度による管理を行うこととした。

相関性の調査は、実証試験ほ場周辺の広域的な塩素濃度調査における塩素濃度の測定とあわせて電気伝導度の測定を、1地点当たり3検体、**合計120検体**の試料を採取し実施した。

この結果、式1に示す相関式が得られた。

$$[CL(\%)] = 0.17 [EC] - 0.03 \quad \dots (式1)$$

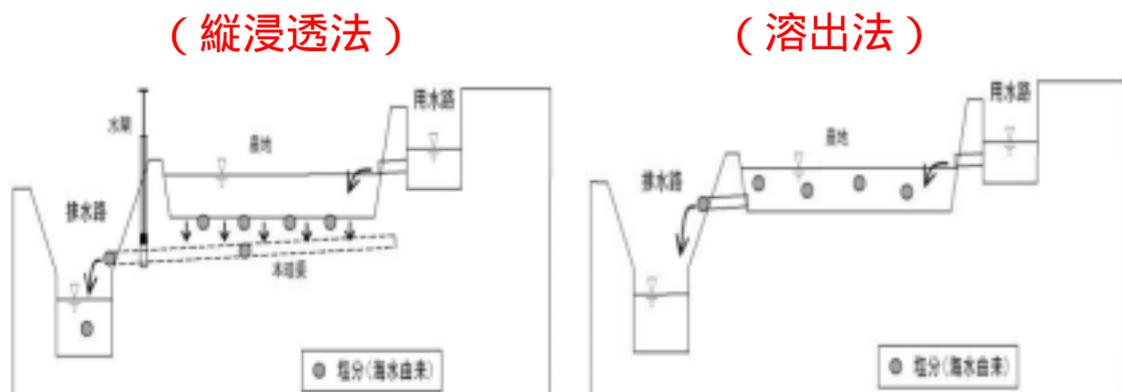
相関係数 : $R = 0.99$

S7

4. 実証試験

1) 除塩の方法

除塩の方法には、ほ場に湛水した水が降下浸透する際に土壌中の塩水を下方に押し出すことにより除塩する**縦浸透法**と、土壌中の塩分を湛水中に溶出させた後、ほ場の水尻から塩水を排水して除塩する**溶出法**の2つがある。以下にこれらの方法による除塩の概念図を示す。



S8

2) 除塩効果の検証方法

効果的な除塩方法を検証するため以下のパターンについて実証試験を実施した。

除塩方法	縦浸透法（暗きよ整備済みほ場）						溶出法（暗きよ未整備ほ場）					
	ほ場No.											
試験タイプ	タイプ7	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ6	タイプ4	タイプ5	タイプ7	
実証試験フロー	津波堆積土砂撤去						津波堆積土砂撤去					
	塩素濃度測定						塩素濃度測定					
			弾丸暗渠			弾丸暗渠						
						石灰質資材			石灰質資材			
		耕起			耕起			耕起		耕起		
		湛水			湛水			湛水		湛水		
		暗きよから排水						水尻から排水				
	塩素濃度測定						塩素濃度測定					
										代かき		

S9

3) 除塩効果の検証パターン

効果的な除塩方法を検証するため以下のパターンについて実証試験を実施。

検証パターン	検証内容	縦浸透法（暗きよ整備済みほ場）						溶出法（暗きよ未整備ほ場）				
		タイプ7	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ6	タイプ4	タイプ5	タイプ7
1	弾丸暗渠の効果											
2	石灰質資材の施用の効果											
3												
4	代かきよる効果											
5	除塩方法(縦浸透法と溶出法)の違いによる効果											
6	自然状態											

S10

4) 除塩作業の実施方法

津波土砂撤去

バックホウによる鋤取り(平均堆積土砂厚 3cm)

弾丸暗渠の設置

φ75mmのモールドを使用し、深さ50cmの位置に、5mピッチで、本暗渠と直角方向に設置。

石灰質資材の施用

ほ場No. に硫酸カルシウム(石膏)を150kg/10a

ほ場No. に炭酸カルシウムを150kg/10a

湛水-排水作業

湛水深さは10cm。

縦浸透法では、湛水後すぐに水閘を開けて排水。

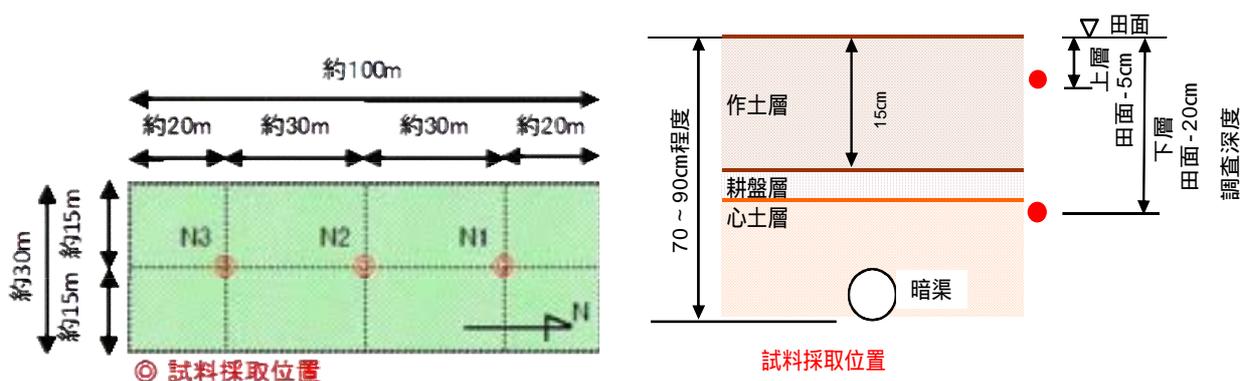
溶出法では、2日間湛水後、水尻から排水。

S11

5) 土壌検体の採取

試験期間中の実証試験ほ場の土壌の塩素濃度を把握するため、「試験開始前」、各「湛水-排水後」及び「試験終了後」に土壌を採取し、EC値(1:5水浸出法)を測定した。

検体の採取は、下図のように、試験ほ場ごとに3箇所(深度-5cmと-20cm)採取し、各深度ごと3箇所分を混合し、1つの検体を作成した



実証ほ場土壌検体採取位置平面図及び断面図

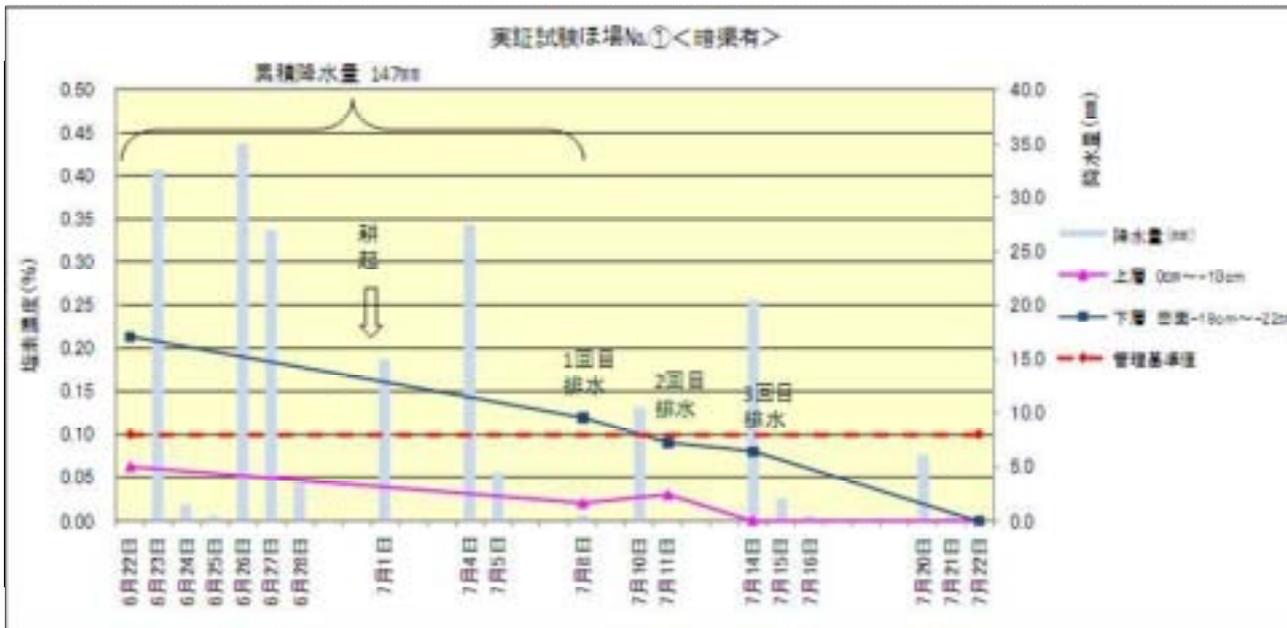
S12

5 . 実証試験結果

1) 除塩の結果及び評価

縦浸透法の効果

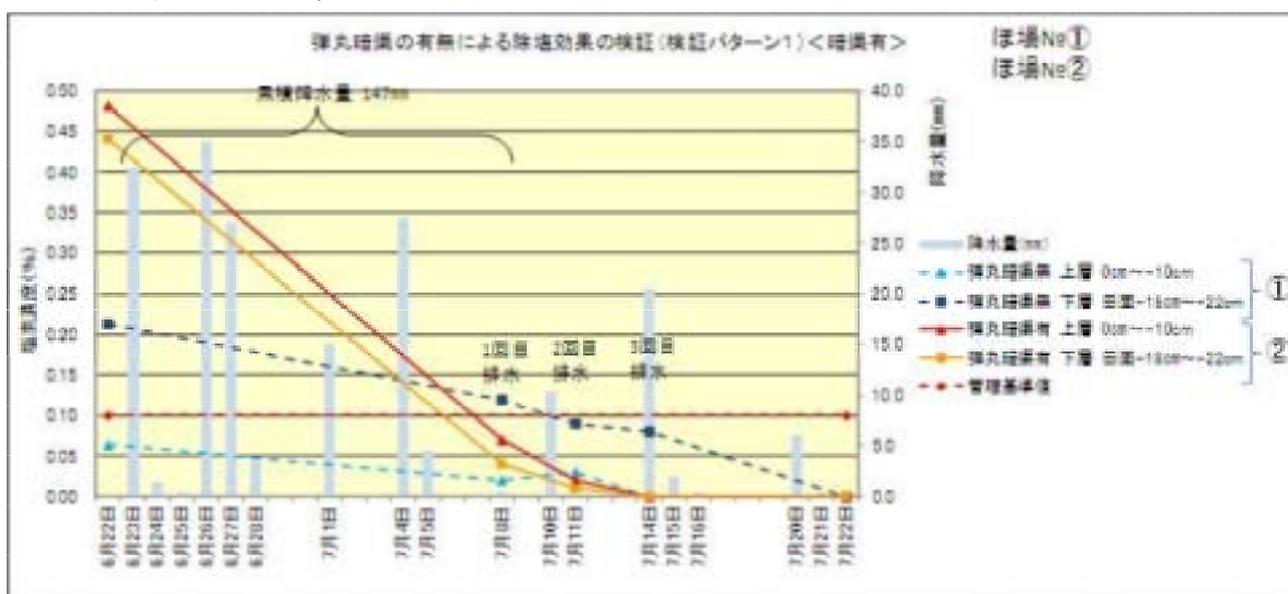
今回の実証試験ほ場は比較的透水性のよいほ場であったため、2回の除塩湛水で塩素濃度目標値(0.1%以下)まで低下させることができた。



S13

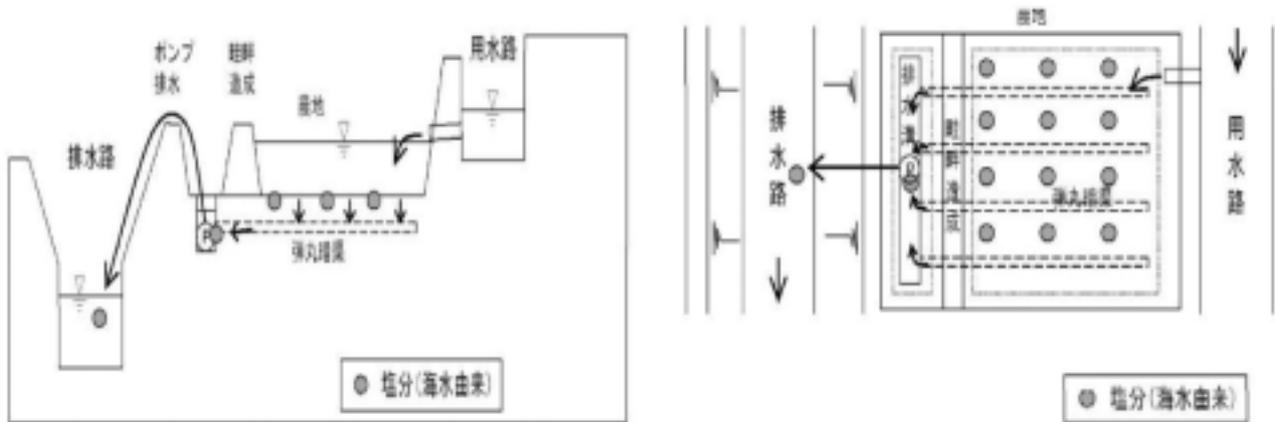
弾丸暗渠の評価

弾丸暗渠の有効性として、下層部(田面-20cm)まで除塩する方法として有効である。塩分の降下浸透の促進効果が確認できる。



暗渠未整備ほ場においても、除塩溝及び弾丸暗渠を設置することで、除塩促進効果が期待できると考える。

S14



暗渠未整備の場合における弾丸暗渠による除塩の概念図

S15

縦浸透法と溶出法の評価

今回の溶出法の試験では、暗渠が整備されたほ場において暗渠の水閘を締めた状態にし、小排水路をせき止め水位を高くすることで、排水不良の状態を疑似的に再現し、溶出法の試験を実施したが、結果として、十分な湛水ができず、縦浸透により塩分が低下したことから、溶出法の検証が十分にできなかった。

今回の試験では、弾丸暗渠を併用による縦浸透法の促進効果が確認できたことから、暗渠整備ほ場では、縦浸透法が有効である。

なお、暗渠未整備ほ場においては、溶出法を基本としているが、下層部に残留した塩分が再び上昇することもあるため、中干しを行わないなど、営農面での配慮が必要と考える。

S16

石灰質資材の施用及び代かきの評価

実証試験では、効率的な除塩方法の検証を目的として、石灰質資材を施用した。

除塩用水の浸透性向上を目的とした今回の試験では、試験ほ場が、透水性の高いほ場であったため、効果を示す明確なデータを得ることはできなかった。

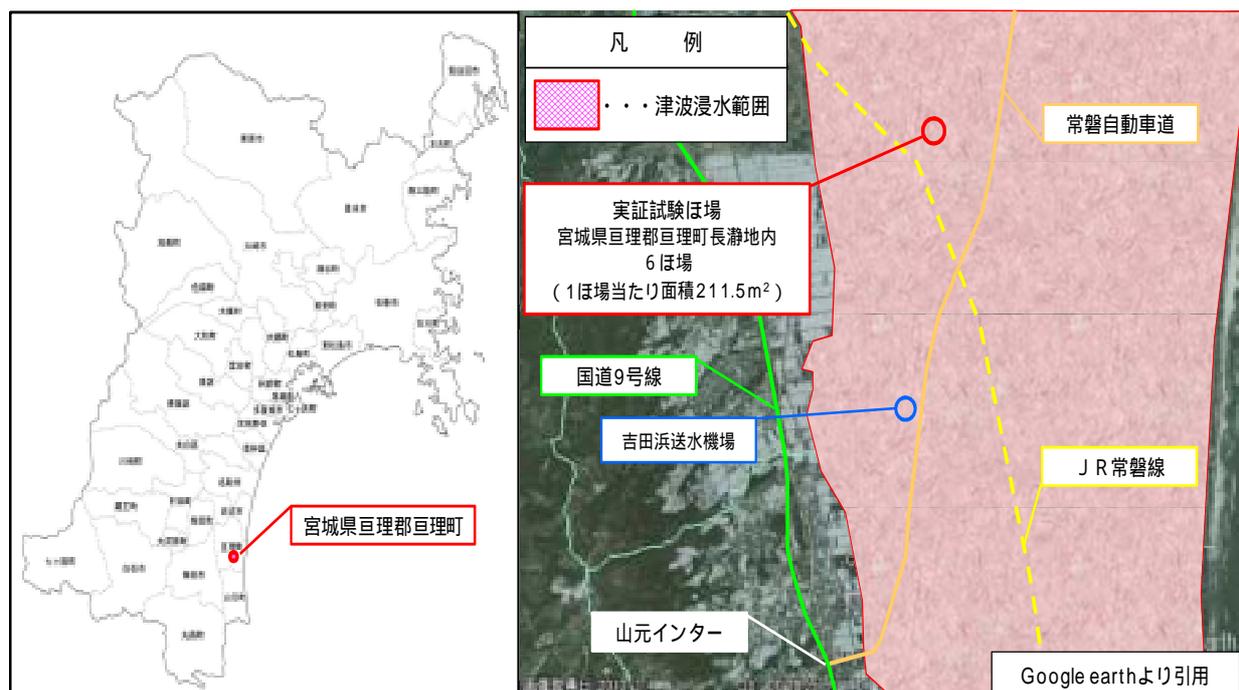
また、代かきについては、縦浸透法で除塩する場合、縦方向の浸透が抑制させる可能性があるため、代かきをしない方が良いと考えられる。

降雨による除塩促進効果

降雨のみ(自然状態)のほ場では、塩素濃度にばらつきがみられるものの、塩素濃度は確実に低下する。

S17

畑（宮城県亶理郡亶理町）



S18

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



S19

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)

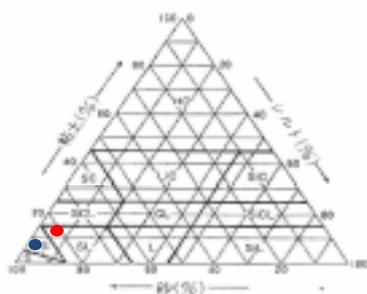


S20

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

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 : 砂質壤土 CL : 粘壤土
 SICL : シルト質粘壤土 SC : 砂質粘土
 LIC : 粘砂土 SIC : シルト質粘土
 LC : 粘粘土

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

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

S21

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)

S22

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。

宮城県農産園芸環境課の「東北地方太平洋沖地震に伴う農産物の技術情報(第1報)」では、除塩対策として「石灰質資材(炭酸カルシウムや石膏(硫酸カルシウム))**100kg/10a**程度施用とあったこと。熊本県農村整備課の「平成11年9月23日～24日台風18号による塩害被害の対策に関する資料」では、除塩の考え方として「アルカリ土壌に対する石膏の使用量は**100～140kg/10a**程度が適当としている」とあったこと。

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。

S23

5) 除塩の目標値の設定

(いちご栽培における、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。

熊本県八代農業改良普及センターの「台風18号技術対策資料集」では、いちごの栽培限界域の上限値として、ECでは**0.3mS/cm**、土壌中Clでは**30mg/100g**としていたこと。

香川県農業経営課資料では、いちごの土壌中のClの栽培限界域を**40～50mg/100g**としていたこと。

宮城県農産園芸環境課によると、いちご栽培に関する指標として土壌中の塩素濃度を**40～50mg/100g**としていたこと。

これらの文献から、いちご畑における除塩の目標値としての塩素濃度**30mg/100g (0.03%)**と設定した。

S24

4 . 除塩効果確認（土壤試験）

1) 除塩効果確認のための土壤試験

土壤試験

土壤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。

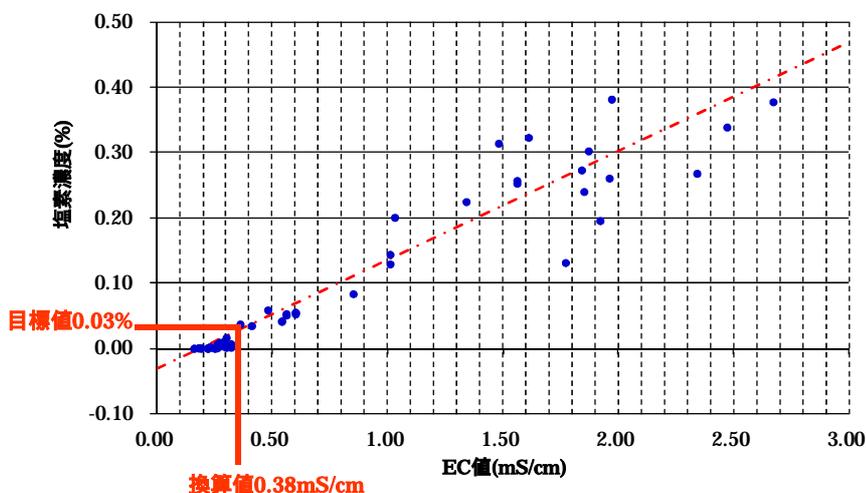
測定頻度

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。

S25

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。

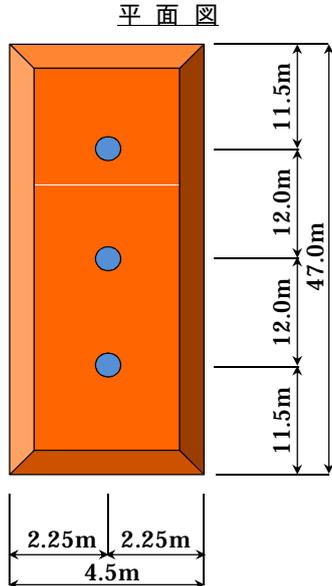


相関式は、 $[CL(\%)] = 0.16[EC(mS/cm)] - 0.03$ (相関係数0.95)となり、この式から除塩目標値の塩素濃度0.03%は、 $EC = 0.38mS/cm$ となる。

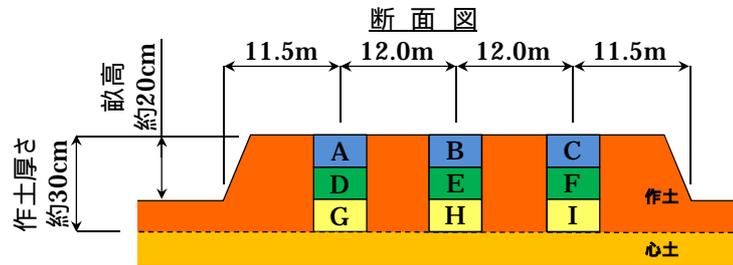
S26

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、20～30cm）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。



● … 土壌試験試料採取位置
(1ほ場3箇所)



- … 試料の採取深度 0～10cm
- … 試料の採取深度 10～20cm
- … 試料の採取深度 20～30cm

A	+	B	+	C	=	A～Cを混合し、1つの検体とする
D	+	E	+	F	=	D～Fを混合し、1つの検体とする
G	+	H	+	I	=	G～Iを混合し、1つの検体とする

S27

【試料採取状況】



試料採取状況
(30cm分採取)



深度ごとに切出し

S28

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

S29

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。



貯水槽内に、水中ポンプを設置し、給水

吉田浜送水機場貯水槽



貯水槽からの給水設備 (HIVP50使用)

S30

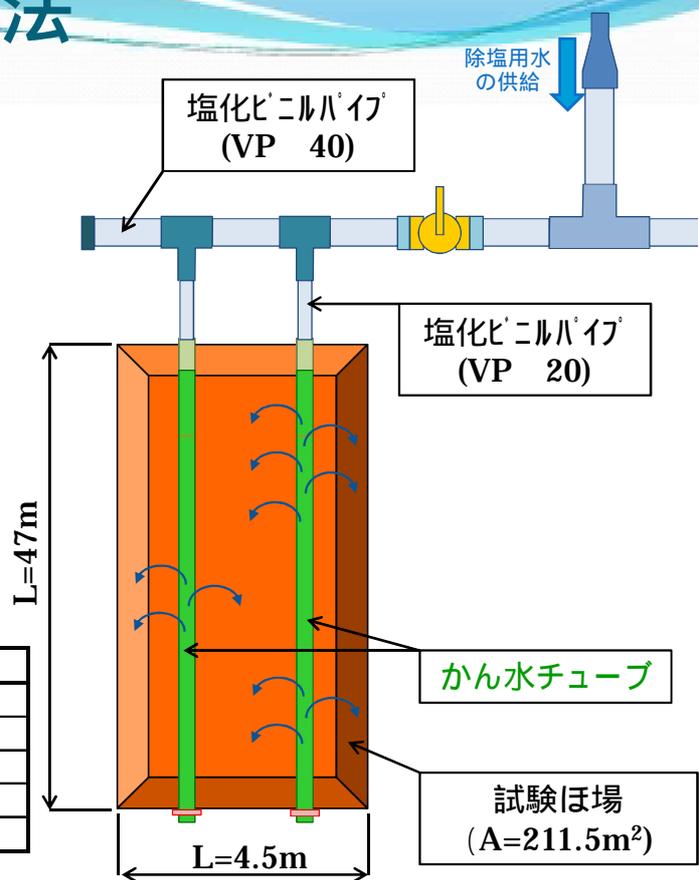
6 . かん水の方法

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 $\frac{\text{L}}{\text{分} \cdot \text{m}}$



S31

試験ほ場での除塩かん水状況写真

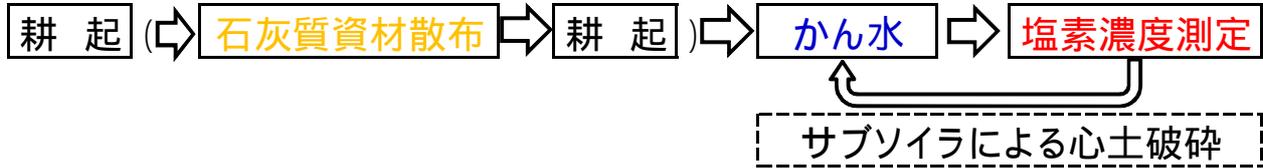


エバーフローM型

S32

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。

S33

除塩作業状況写真



耕起状況



かん水状況



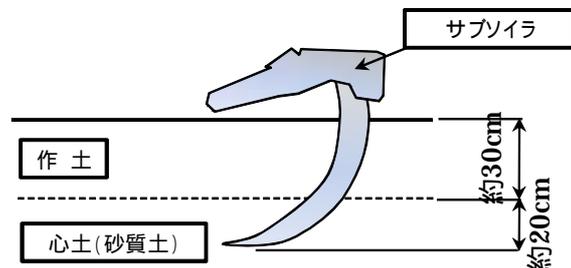
石灰質資材散布状況



サブソイラによる心土破碎



石灰質資材散布後、耕起



S34

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	0.00	107.0	0.00	73.2	
7月16日	0.00	107.0	0.00	73.2	
7月17日	0.00	107.0	0.00	73.2	
7月18日	0.00	107.0	11.80	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	

S35

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 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)

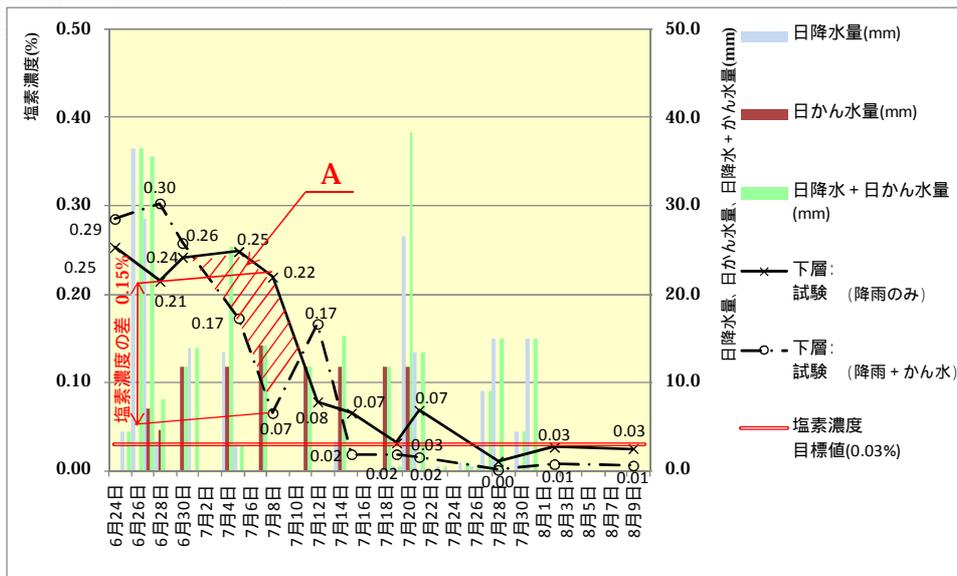
検証パターンを以下に示す。

- 【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

S36

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	103.5	103.5	107.0	107.5	147.5	173.5	193.0	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

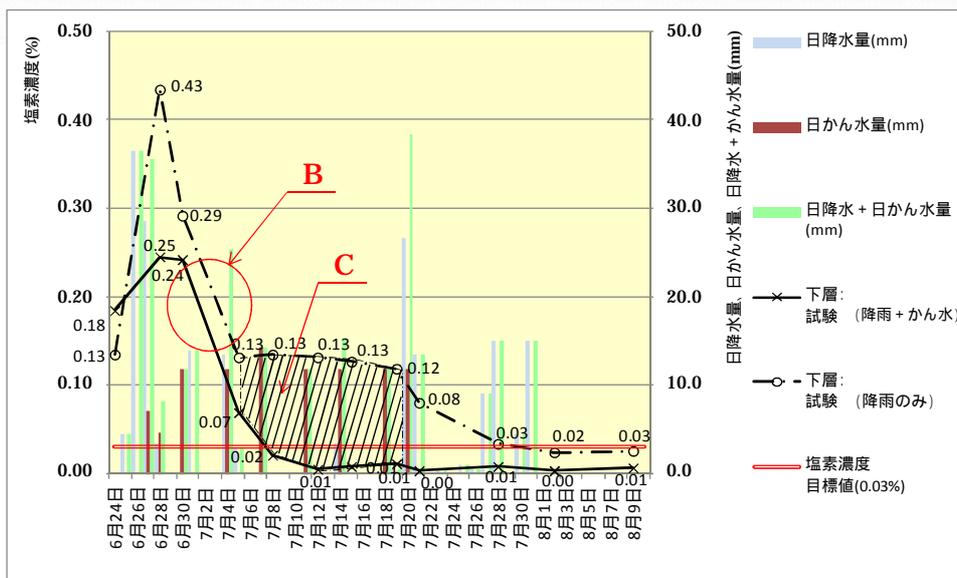
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S37

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	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	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

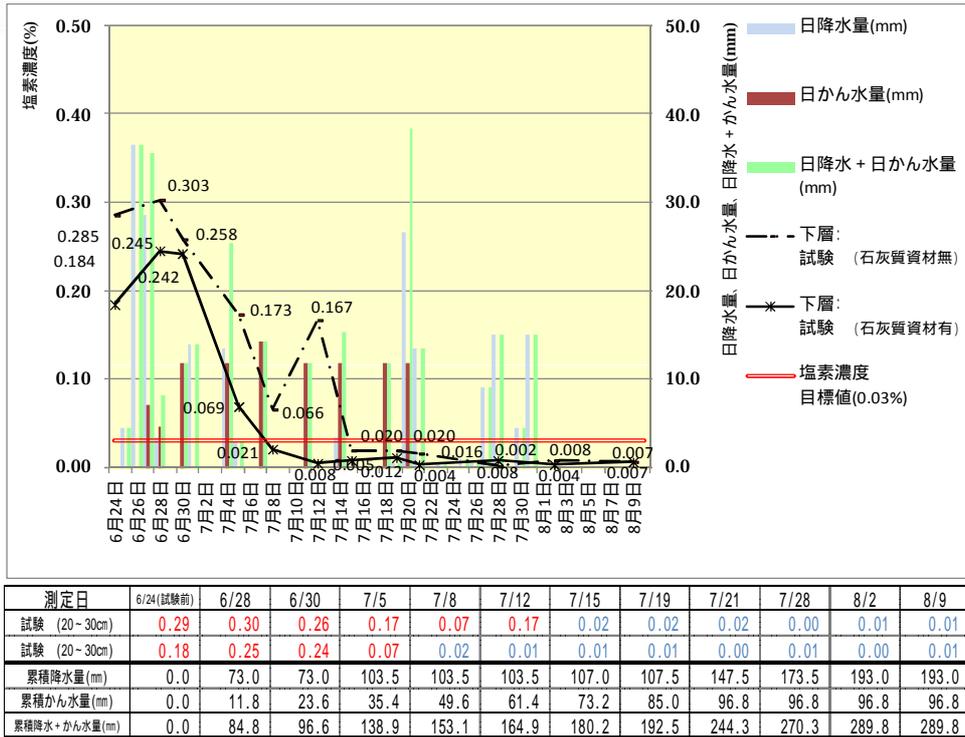
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S38

3) 検証パターン3

「石灰質資材投入」の有無による比較



赤数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以上

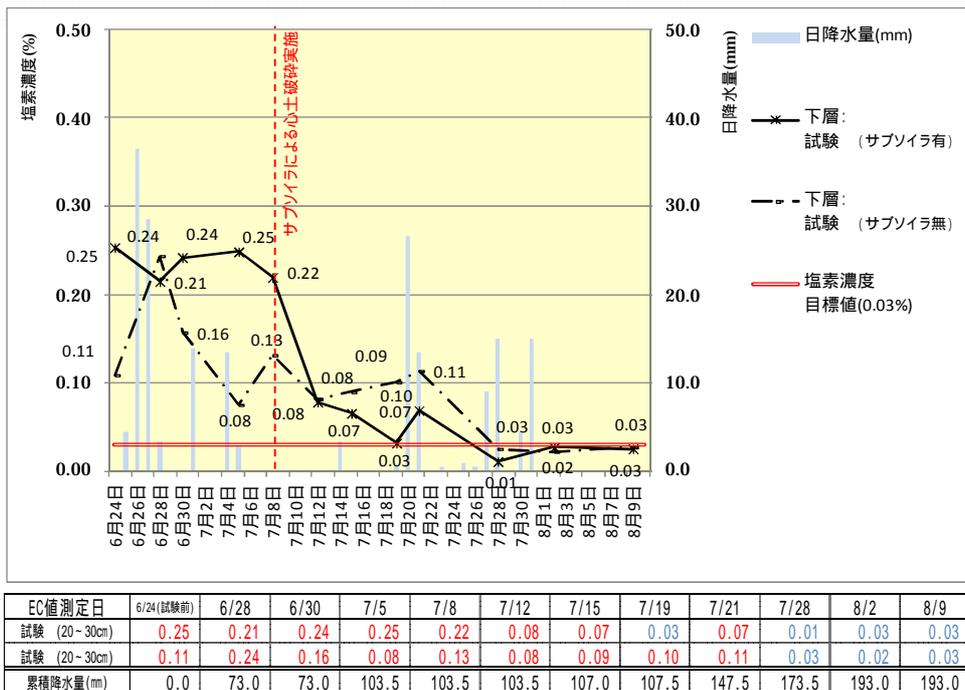
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S39

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



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。

S40

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。

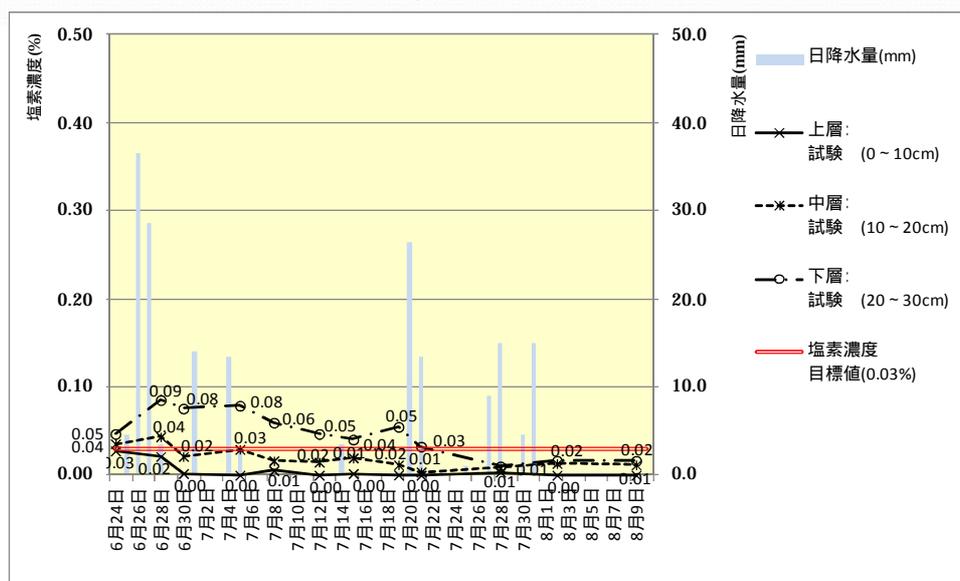
ただし、前述したように**下層(20～30cm)**については、同じ条件のほ場であってもEC値にバラツキがあるため、**150～180t(m³)/10a程度**かん水した段階で、塩素濃度を測定することが望ましいと考える。

- (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、比較的効率的に土壌へ浸透したと思われる。
- (3) 土壌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。

S41

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

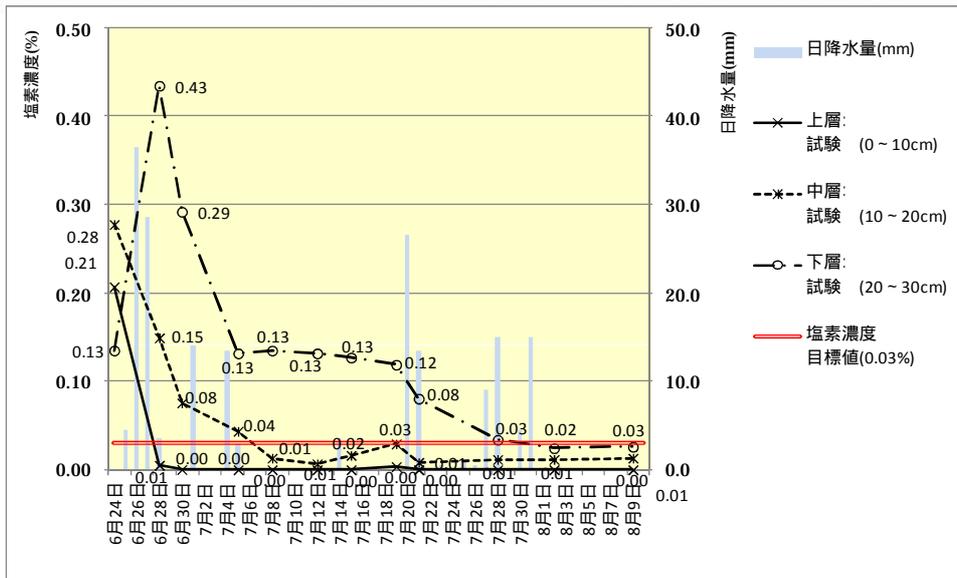
青数字 … 目標塩素濃度(0.03%)以下

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。

S42

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

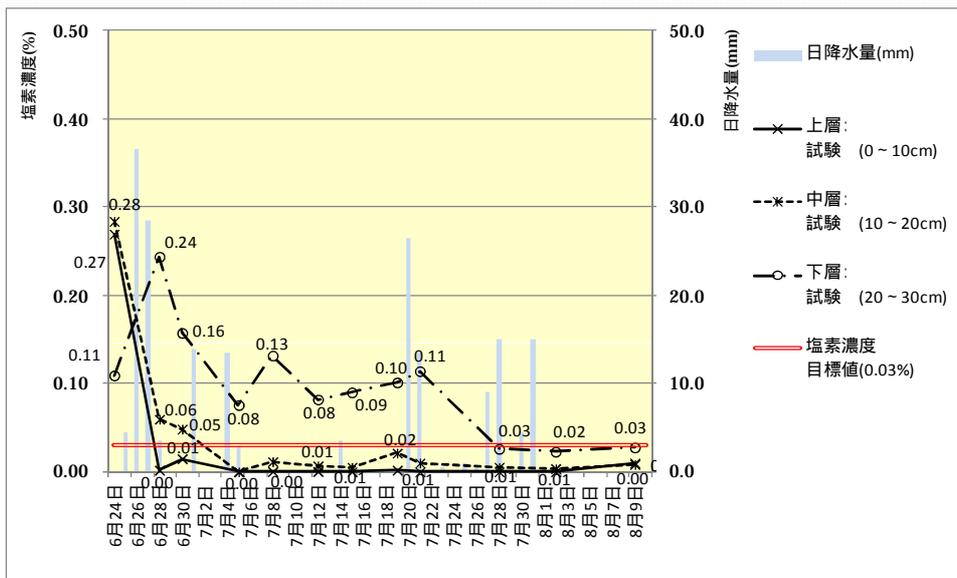
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S43

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

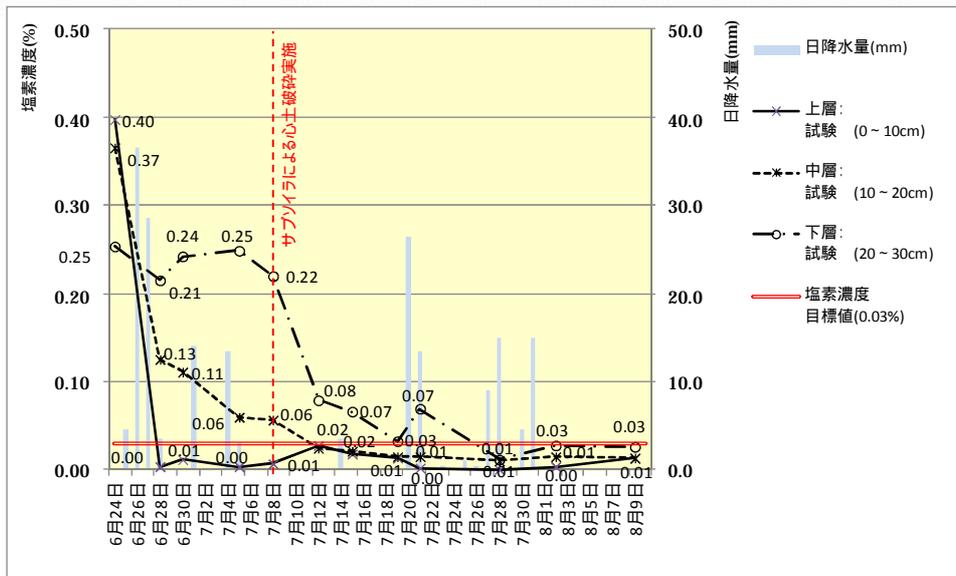
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S44

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

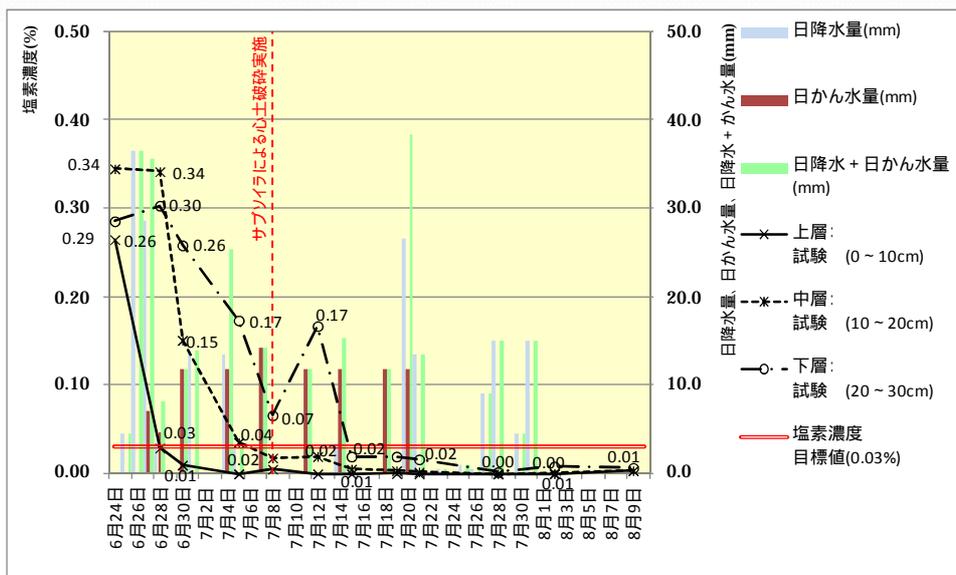
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S45

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

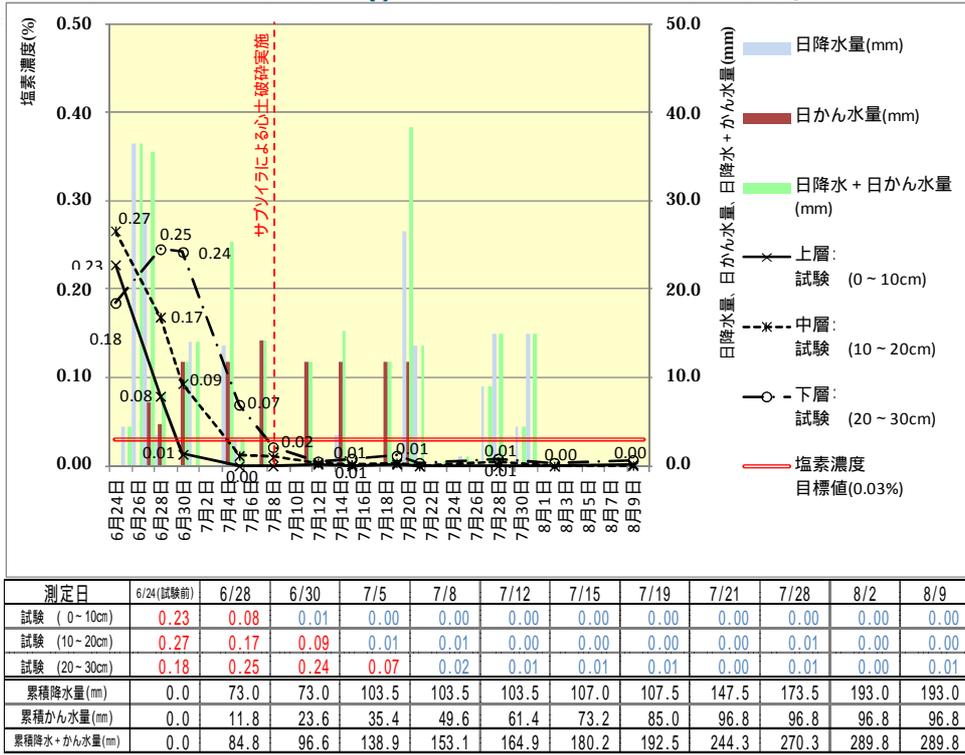
青数字 …… 目標塩素濃度(0.03%) 以下

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。

S46

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。

S47



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

S48

3-5 . 重金属及び硫化物の対処方法について

4. 重金属及び硫化物の 対処方法について

宮城大学 食産業学部
木村和彦

平成24年度 農地除塩技術の研修会
H24.7.26 仙台, H24.9.13 石巻

S1

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
- 重金属と硫化物の対策



S2

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



S3

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/>)

S4

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**

S5

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）



S6

6

問題になりそうな元素

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

S7

7

全含量（土屋先生のまとめ）

サンプル名	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	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	129.5	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, (鉍山鉍滓 2563ppm))
- Cu(30ppm~2000ppm>) , Zn(100ppm前後) , Pb(30~40ppm)
の含有量も高い

NH10	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
------	-------	------	------	------	------	-------	------	-----	------	-------	------	-------	-----	-----

S8

8

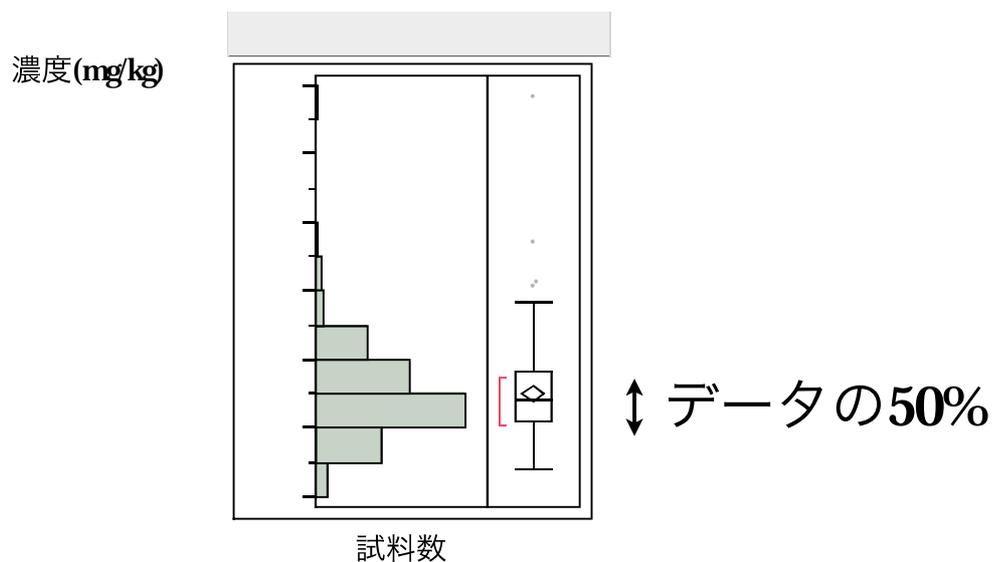
津波堆積物中の主な重金属含量

—特にヒ素—

S9

9

通常のコストグラムを示す元素の例 (Co)



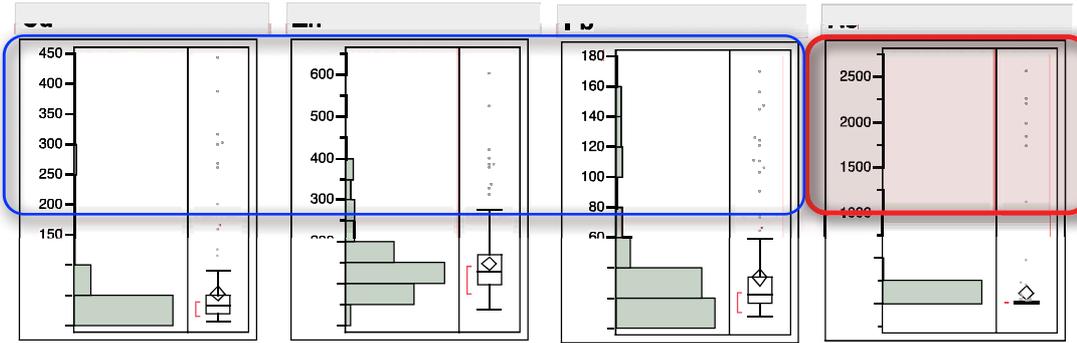
- 正規分布より対数正規分布に近い分布
- 汚染がない場合の一般的な分布

S10

10

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%) [土屋ら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]

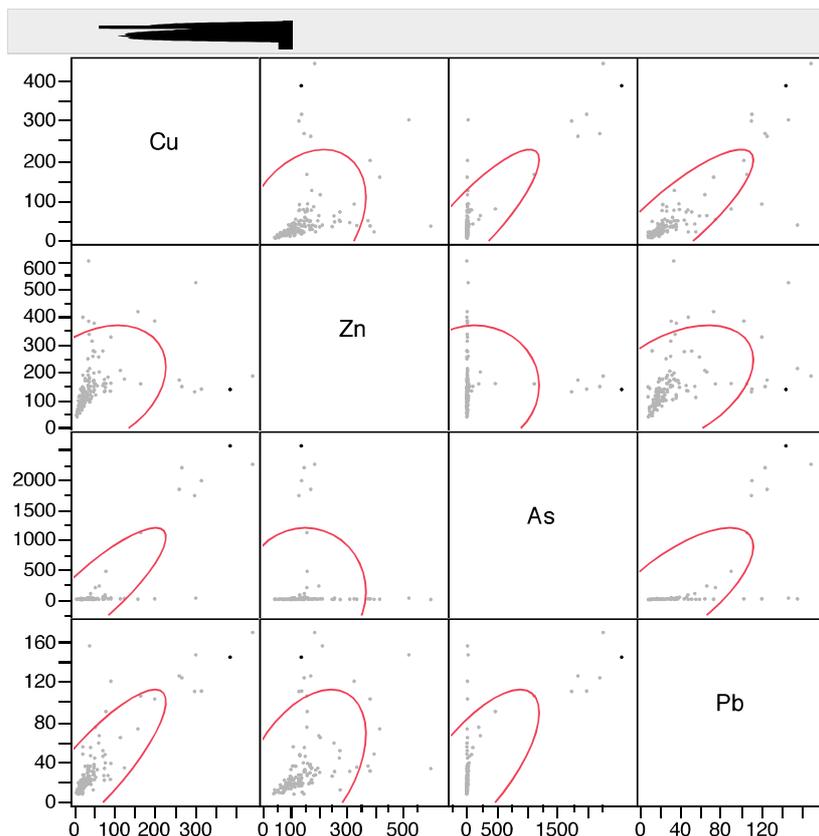
- **Cu, Zn, Pb**: 数百ppmオーダーのものがある。
ただし、農地でも存在する濃度範囲 (特に樹園地)
- **As**: 1000 ppm を超える試料が一部にある。
明らかかつ重大な汚染

S11

11

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**



S12

12

ヒ素の起源

- 近くの鉱山

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)

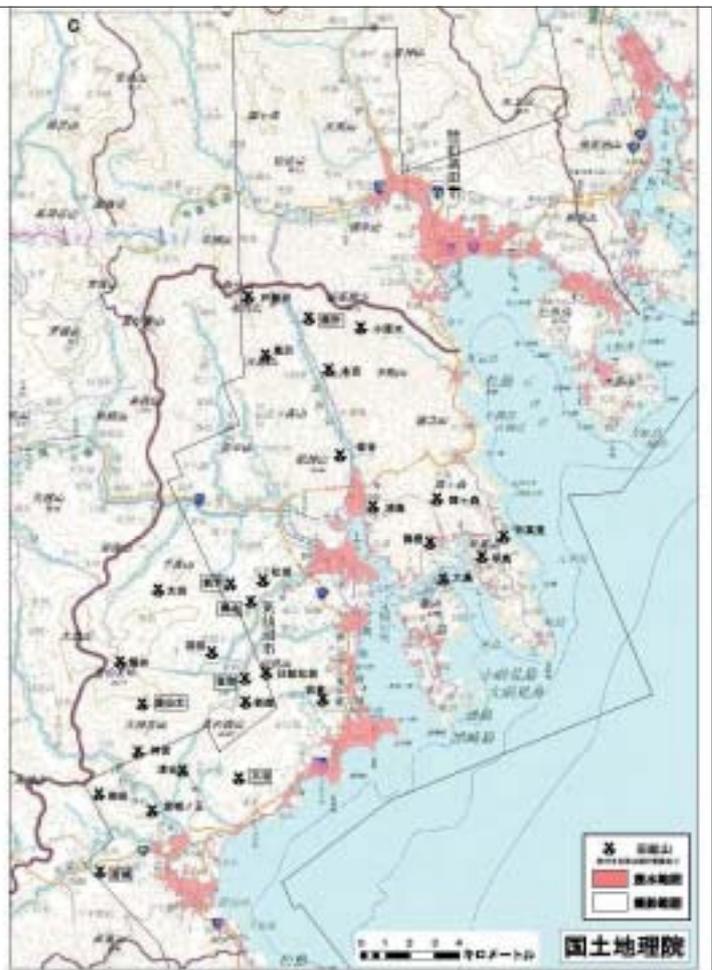
例：大谷鉱山

- 汚染ルート

- 直接

- 一度海底に溜まっ

たものが津波で？



S13

13

S14

ヒ素の挙動

S15

14

黄鉄鉱の形態変化とヒ素

- パイライト(黄鉄鉱) FeS_2
アルセノパイライト(硫砒鉄鉱) FeAsS

(嫌気的条件下では変化無し・溶けず)



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

- **好気的条件下**になると、鉄酸化菌や硫黄酸化細菌により鉄、硫黄、ヒ素が酸化する。(土壤の酸性化とヒ素の溶出)



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変化。
⇒土壤酸性化の懸念 (実際は殆ど心配ないレベル)

☑ 対策：アルカリ資材の投与

S16

15

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。

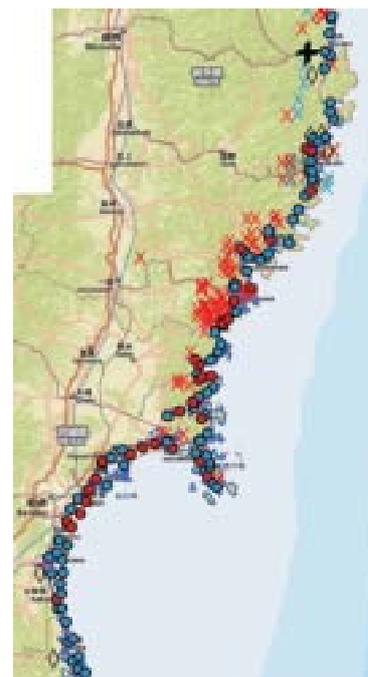
東北沿岸にはかつて鉱山が多く、製錬時にヒ素や重金属が出ていた。ヒ素は自然界にもあり、2006～08年の東北大調査でも宮城県沿岸の土壌から検出されていた。

(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

S17

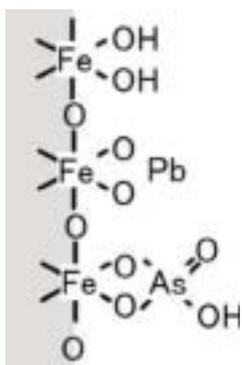
16

ヒ素の溶出

- **As**: 三価（亜ヒ酸）五価（ヒ酸）で存在



- **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
(フェリハイドライト, ゲータイト, シュベルマナイト, ヘマタイト)



★ OHが多いアルカリで溶出

★ 鉄が還元されると溶出

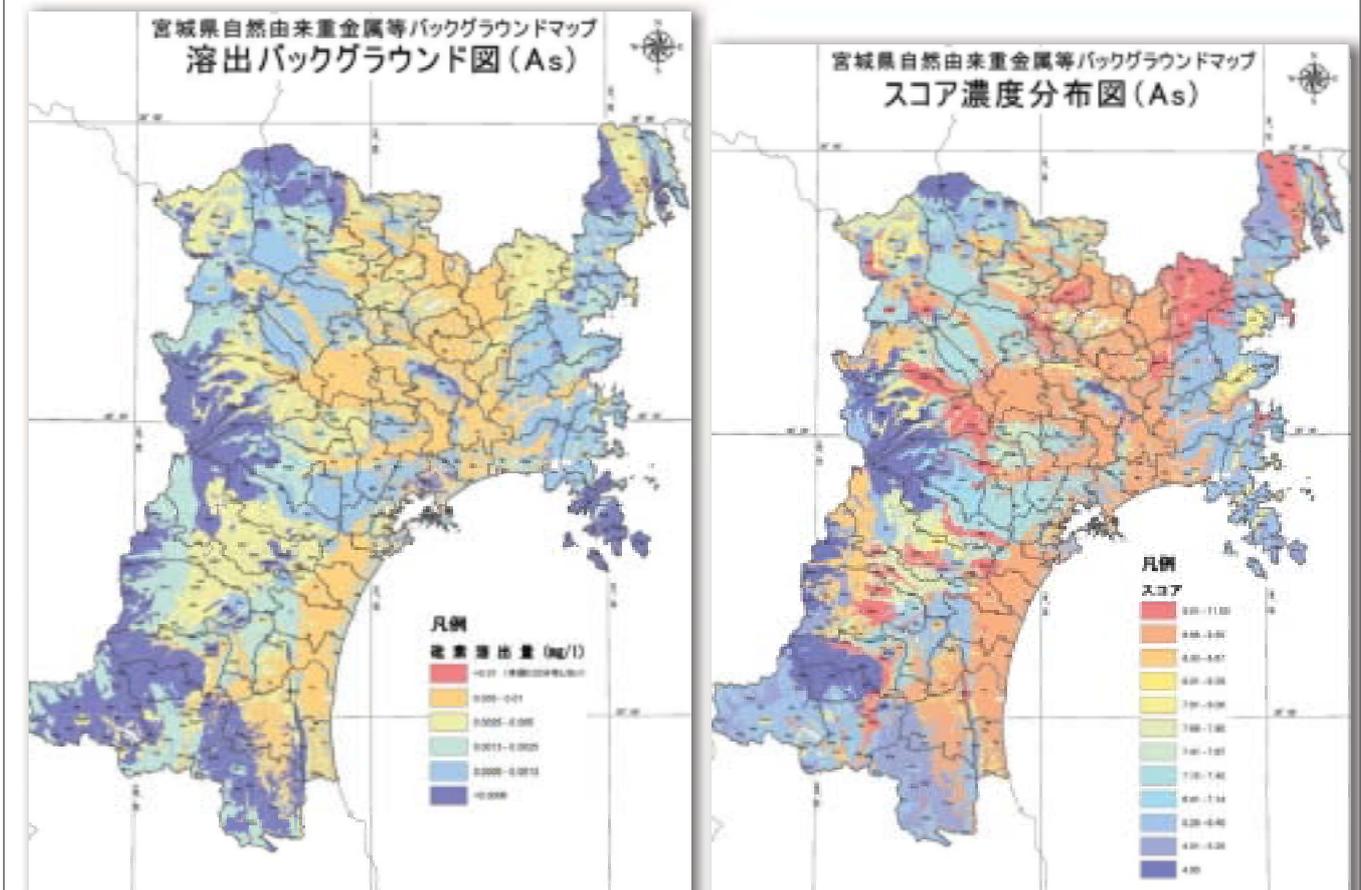
★ 水稻はヒ素の吸収が多くなりやすい

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

S18

17

宮城はもともと溶出ヒ素が多い



S19

18

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46,18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)

S20

19

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、鉦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
- 宮城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。

S21

20

S22

カドミウム

S23

21

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）
（以前は 1.0 mg/kg, 0.4 mg/kgは農水の基準だった）
 - 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。（野菜の基準はできなかった。）
- 野菜はCdの濃度が高くなりやすく、Codexの基準を超えるものがかなりある。今後の重要な検討課題。

S24

22

カドミウム汚染の原因

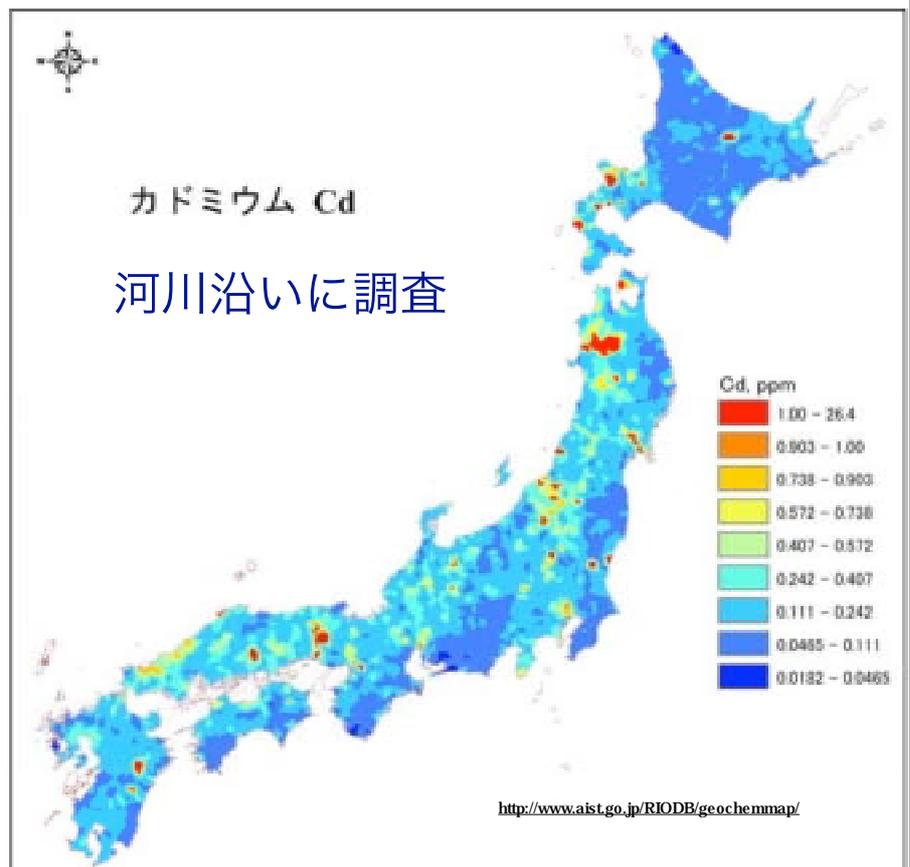
- 鉱山/精練工場（昔）
- ニッカド電池などの使用に伴う汚染が懸念(今後)
- 日本は世界一のCd消費国



S25
23

カドミウムの高い地域

- 主に鉱山
- 河川水から農業用水を通じて水田へ

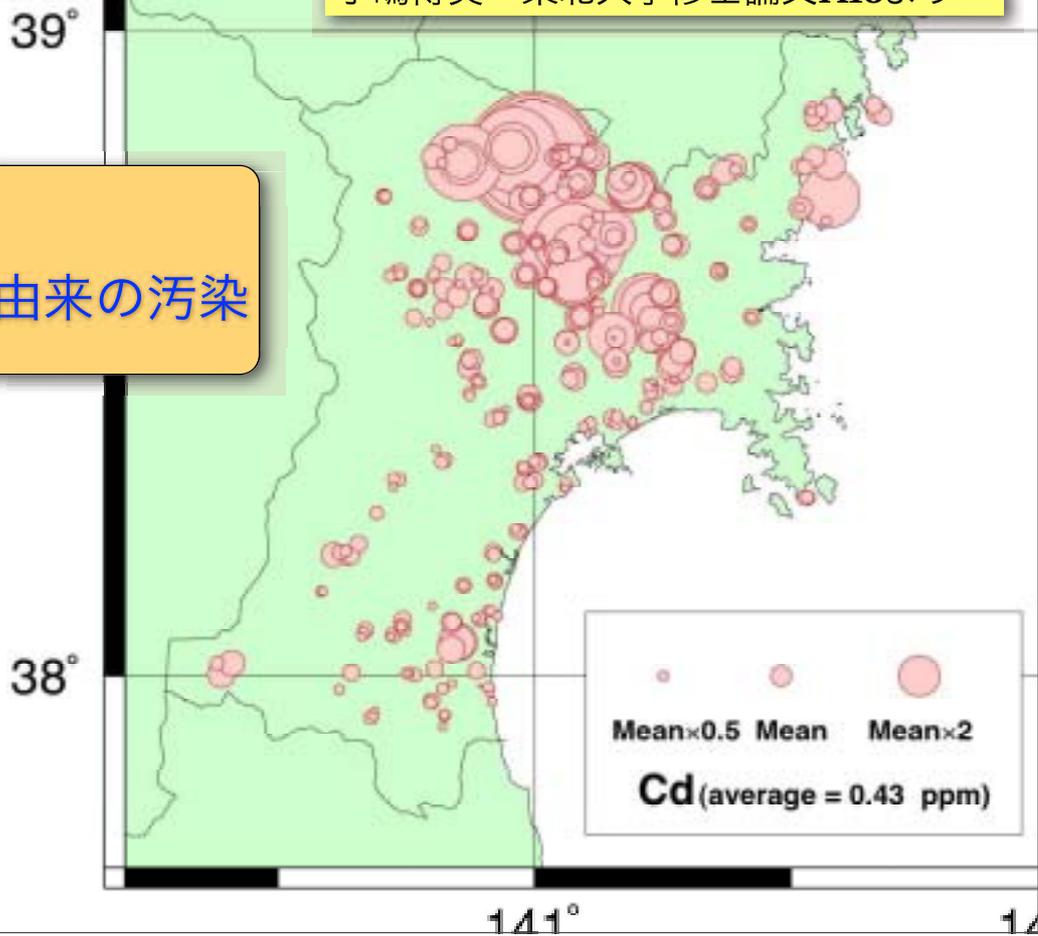


S26
24

宮城県のCd

手嶋博美 東北大学修士論文H13より

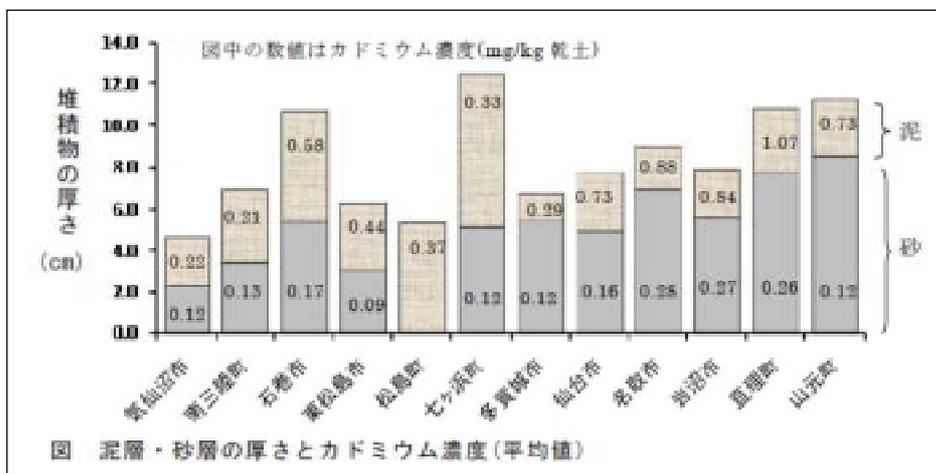
農耕地：
細倉鉱山由来の汚染



S27

25

宮城県の津波堆積物のカドミウム調査結果



津波堆積物
泥層：0.1～1.8 mg/kg
砂層：0～1.5 mg/kg
通常の平均値
0.37 mg/kg

図 泥層・砂層の厚さとカドミウム濃度(平均値)

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

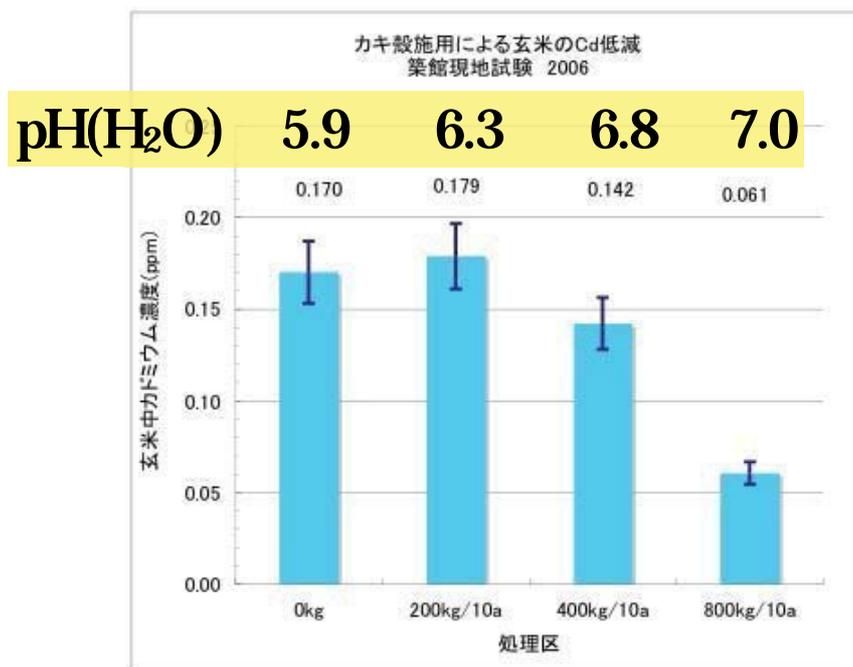
- 砂層よりも泥層で濃度が高い。
- 宮城県の農地の平均**0.37 ppm**を上回る場合が多い(特に泥層)。
- 砂質では植物の濃度が高まる懸念がある。

S28

26

カドミウム汚染土壌の現実的な対策

- 湛水管理の徹底（還元によるCd \downarrow /pH上昇）
- アルカリ資材の散布（pHを上げる）



S29

27

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。

S30

28

- 津波堆積物に含まれる重金属で含量が多いケースが見られるものは？
 - 答え：ヒ素
- この元素は
水への汚染が懸念される **or** 作物が汚染される？
 - 答え：水への汚染が懸念される
- 最後に示したカドミウムの汚染をどう考えるか？
全く問題にならない **or** 作物への影響が懸念される
 - 答え：作物への影響が少し懸念される
- 最後に示したカドミウムの汚染の対策の基本は？
客土 土壌を酸性にする アルカリ資材（選択）
 - 答え：アルカリ資材

簡単な復習