

津波被災地の農業再生に向けた 対策技術研究の貢献と課題



伊藤豊彰
(東北大学大学院農学研究科)

1. 農地の津波被災の実態

宮城県における津波被災農地の広域
土壤調査より

- (1) 被災した圃場と土壤の状況
- (2) 土壌塩分濃度の状況

1. 農地の津波被災の実態
2. 津波被災農地の除塩：実態と対策技術
3. 津波堆積泥土の問題と対策
4. 除塩土壤の交換性塩基の問題と対策
5. 津波や除塩工事によって作土が削剥された農地の問題
6. 今後の課題

宮城県における津波被災農地の広域土壤調査

- 宮城南部の平坦地では、海岸から2～5kmの地域まで津波が到達。用排水路・排水機場などの農業水利施設のほとんどが破壊された。
 - 14,300haの水田を主体とした農地（全農地の11%）が被害を受けた。
- 被災農地を含む地域、1kmメッシュあたり3地点の圃場調査
 - 堆積物／10cm／20cm、1圃場につき2力所を調査。
 - 344圃場を調査し、1074の層別に採取した試料を得た。
 - 宮城県試験研究機関、地元普及センター、振興事務所、自治体、JA、東北大学の連携によって、2011年5月中旬に行つた。

(1) 農地と土壤の津波被災状況



写真：高橋正（東北大大学）

園芸作物の被害



- 亘理町
- ・イチゴ
 - ・1m以上、2日間冠水。
 - ・塩害によってイチゴは枯死。

- 岩沼市
- ・キュウリ
 - ・1m以上、2日間冠水。
 - ・キュウリは塩害によってすべて枯死。

写真：伊藤豊彰

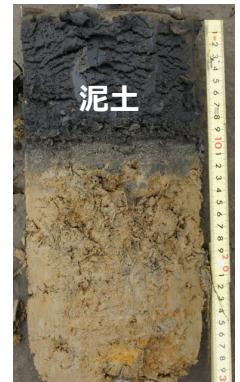
被災土壤の実態：砂の堆積



- ・一見、被害が無いように見える。
- ・海岸砂が10cmの厚さで堆積。

写真：高橋正（東北大大学）⁷

泥土の堆積



- 石巻市：北上川近くの水田
►10cmの厚い泥土状堆積物

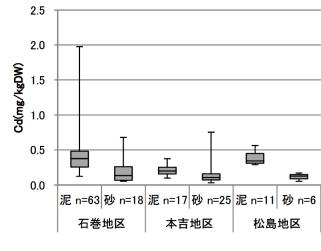
(2011年5月13日)

写真：山本岳彦（東北大大学）⁸

津波被災農地に堆積した土砂の重金属濃度

津波堆積土砂の重金属濃度と処理方針 :

- 堆積した泥の厚さとカドミウム濃度からみると、土壤汚染の危険性は低い。
- 堆積土砂は、泥土・砂中に重金属(特にカドミウム)が含まれ、塩分が高く、硫化物による酸性硫酸塩土壤となる可能性があることから、排除することが有効。
- 排除した土砂の処理は農用地には利用しない。
- 詳細な調査は山形県農試による支援を受けた。



島・小野寺・金澤・小野寺・阿部・若嶋・稻生・森谷・今野・上山・伊藤・菅野（2012）東日本大震災による津波堆積物の化学的性質（宮城県北部）、宮城古川農試報告、10：33-42

第6表 堆積物中のカドミウム(1M塩酸抽出)										
仙台市		名取市		岩沼市		亘理町		山元町		
泥	砂	泥	砂	泥	砂	泥	砂	泥	砂	
n=44	n=32	n=31	n=17	n=23	n=16	n=46	n=32	n=26	n=28	
最大値	1.70	0.69	1.63	0.99	1.85	0.71	1.73	1.45	1.06	0.50
中央値	0.65	0.11	0.84	0.24	0.98	0.24	1.10	0.22	0.74	0.06
平均値	0.70	0.16	0.85	0.30	0.98	0.27	1.07	0.27	0.73	0.12
最小値	0.13	0.01	0.35	0.00	0.24	0.05	0.18	0.00	0.35	0.00

第6表 堆積物中のカドミウム(1M塩酸抽出)									
仙台市		名取市		岩沼市		亘理町		山元町	
泥	砂	泥	砂	泥	砂	泥	砂	泥	砂
n=63	n=18	n=17	n=6	n=25	n=11	n=6	n=8	n=26	n=28
石巻地区	本吉地区	松島地区							

作土の浸食

岩沼市：海岸近くの農地

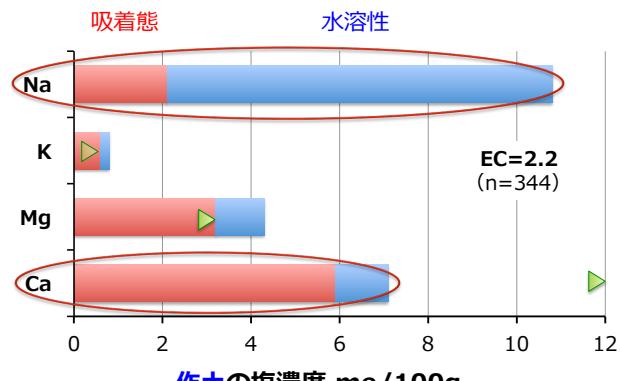


- 作土の大部分が侵食され、下層土が浅い位置から出現。

写真：高橋正（東北大字）¹⁰

（2）津波被災土壤の塩分

作土の塩類：水溶性のNaが多く、交換性Caが減少傾向

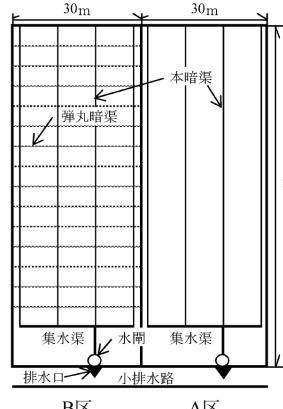


2011年5月11日～19日に採取した津波被災農地の土壤
(宮城県津波被災農地広域土壤調査チーム、2011、東北大学・菅野とりまとめ)

2. 津波被災農地の除塩 ：実態と対策技術

- 除塩工事
- 自然降雨による除塩

(1) 除塩効率に対する弾丸暗渠の効果



宮城県名取市、基盤整備圃場
2011年

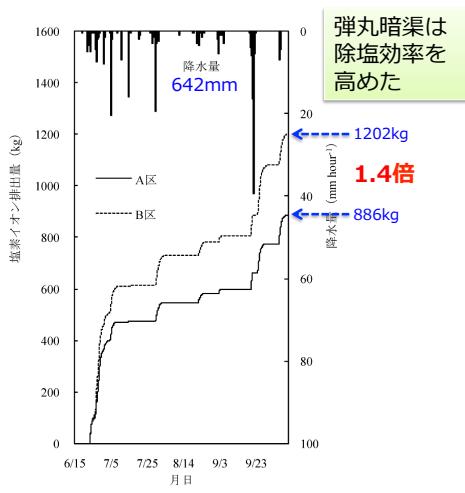


Fig. 6 塩素イオン排出量 (2011.6.15 – 10.10).

千葉・冠・加藤 (2012)

津波被災農地における暗渠を利用した雨による浸透水除塩。土壤の物理性、121 : 29-34

13

津波堆積物がある圃場の対策技術 ▶津波堆積物の作土混和は、除塩効率を高める

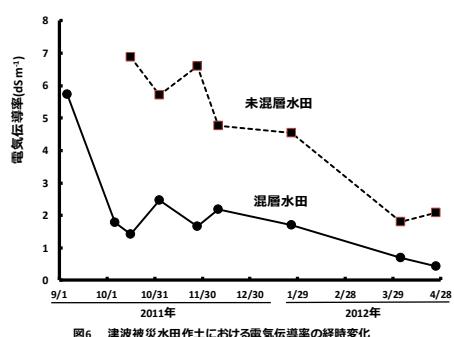


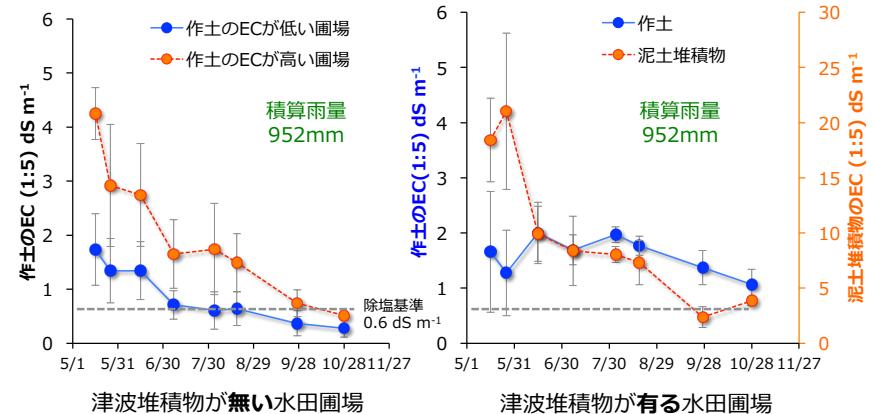
図6 津波被災水田作土における電気伝導率の経時変化

- ・ 塩分濃度の高い津波土砂（約10cm）は自然降雨による塩分濃度低下を緩慢にした。
- ・ 泥土を作土に混和することによって、除塩が促進された。

後藤・稻垣 (2015)

福島県相馬市津波被災地の営農再開のための技術的対策。土肥誌、86、452-458

(2) 自然降雨による除塩：津波堆積物の影響



宮城県亘理地域の津波被災圃場の作土20cmのEC

- ・ ECの値が相対的に低い圃場（細粒灰色低地土2圃場、細粒強グライ士3圃場の計5圃場）と高い圃場（細粒灰色低地土、細粒強グライ士、泥炭土の3圃場）に区分。▶ ECが3.4と高い圃場でも、0.5に急速に低下した。
- ・ 中粗粒灰色低地土2、灰色低地土下層有機質1の計3圃場における作土（20cm）と泥土堆積物（厚さ3.5～4.8cm、平均EC18 dS m⁻¹）のEC▶表層の泥土堆積物のECは高く（平均で3.9 dS m⁻¹）、その下の作土のECは1.7から1.1 dS m⁻¹へと、わずかにしか低下しなかった。

（伊藤・今関・渋谷・今野 (2015) 土肥誌、86、406-408.）

14

(2) 自然降雨による除塩：圃場排水性の影響

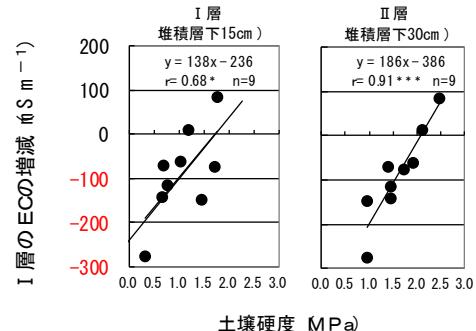


図5 土壤硬度とI層ECの増減との関係
陸前高田市7地点、山田町2地点)

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, * $p < 0.10$

岩手農研成績書(2012)より作成

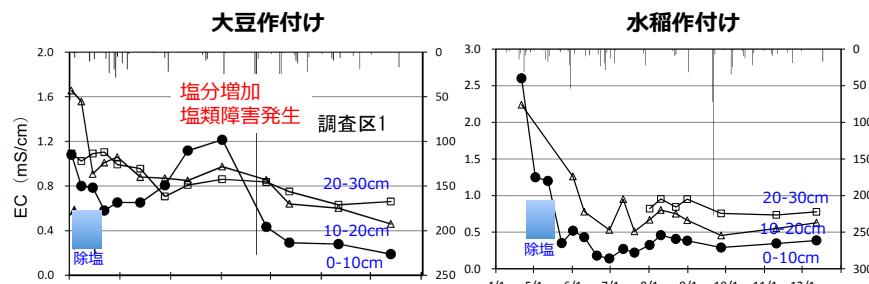
- ・ 対象地：岩手県陸前高田市、山田町
- ・ 4/4～11/1（調査時）までの積算雨量：1020mm
- ・ 作土、または鋤き床層の硬度が高い圃場は透水性が低く、除塩されにくい。
- ・ 土壤硬度は圃場排水性の簡易指標になりうる。
- ・ 青森県（谷川 (2015) 土肥誌、86, 418-420）でも、土壤硬度が塩分溶脱に関与することが明らかにされた。

佐藤喬 (2015) 岩手県の無作付け水田におけるECを指標とした塩類の溶脱に対する土壤物理性の影響。土肥誌、86、396-398

15

対策技術

▶下層に塩分が残存する圃場では、水稻作が有効



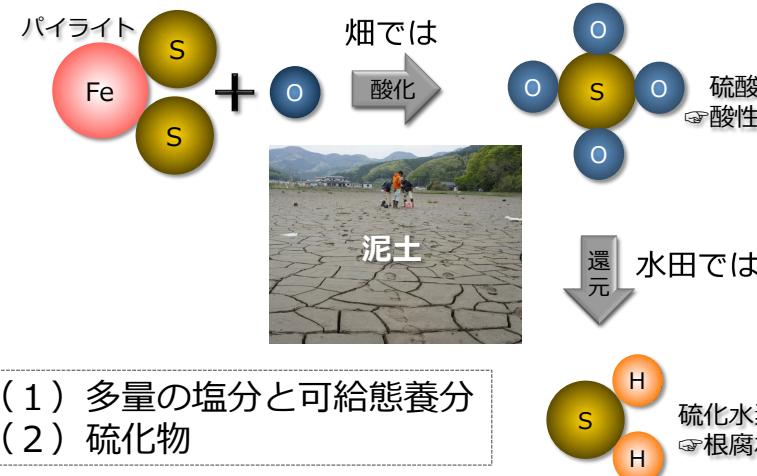
除塩後の大豆畑、水稻作水田における土壤ECの推移 (2011年)
石巻市蛇田地区のグライ土被災水田。代かき除塩

- ・代かき除塩では、塩分除去は作土に限定される。
- ・下層土に塩分が残存するほ場では、大豆作では夏期に塩分が作土に上昇してくる。
- ・水稻作を行うことによって、下層土からの塩分上昇を抑制できる。

阿部・平 (2015)
宮城県の津波被災ほ場の除塩後のイネまたはダイズ栽培. 土肥誌, 86, 432-433

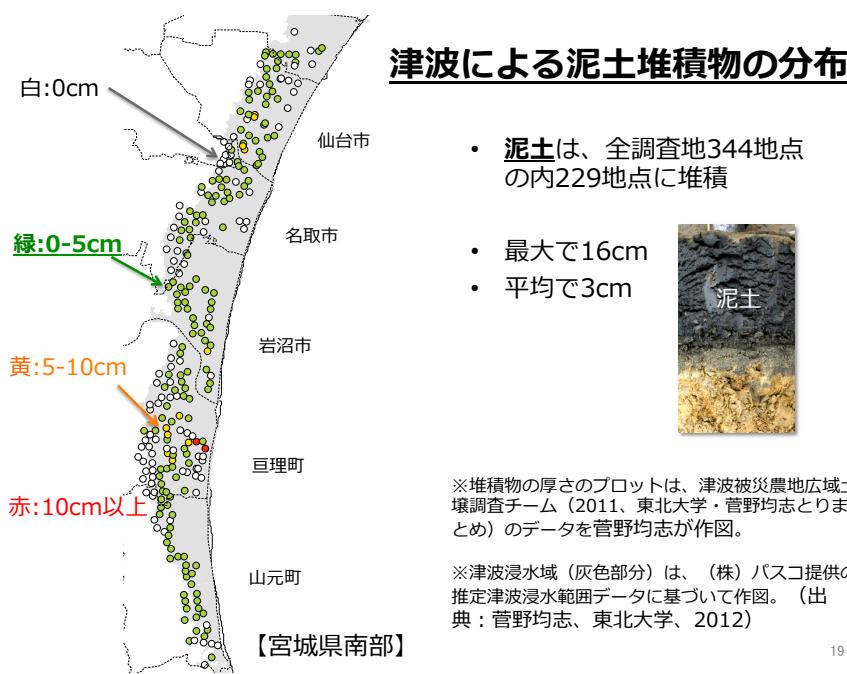
17

3. 津波堆積泥土の問題と対策



- (1) 多量の塩分と可給態養分
(2) 硫化物

18



- ・泥土は、全調査地344地点の内229地点に堆積

- ・最大で16cm
- ・平均で3cm

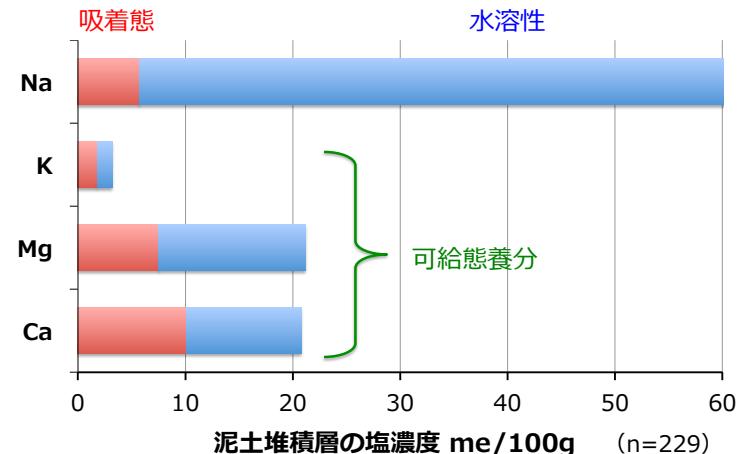


※堆積物の厚さのプロットは、津波被災農地広域土壤調査チーム（2011、東北大学・菅野均志とりまとめ）のデータを菅野均志が作図。

※津波浸水域（灰色部分）は、（株）バスコ提供の推定津波浸水範囲データに基づいて作図。（出典：菅野均志、東北大学、2012）

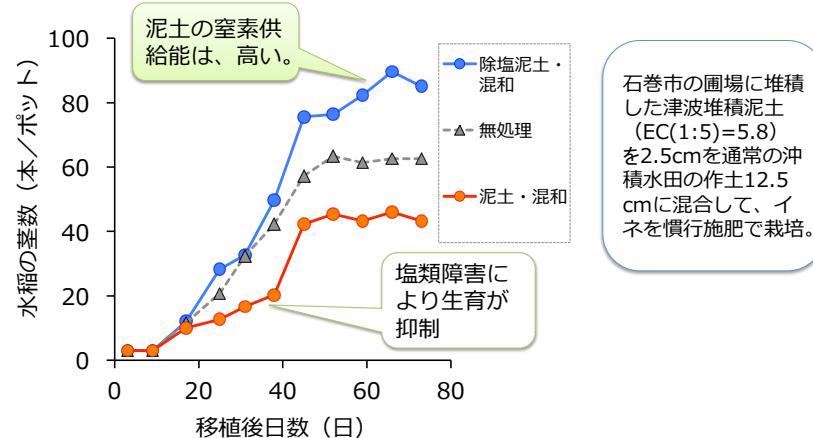
19

(1) 多量の塩分と可給態養分



2011年5月11日～19日に採取した津波被災農地の土壤
(宮城県津波被災農地広域土壤調査チーム、2011、東北大学・菅野とりまとめ)

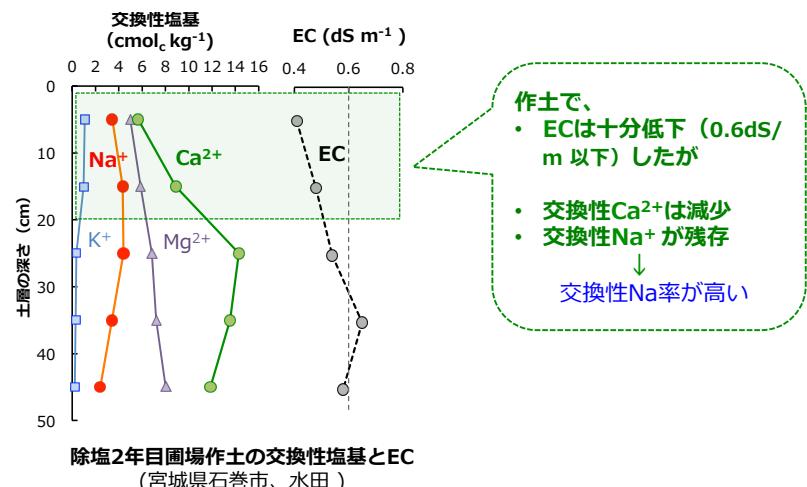
堆積泥土の可給態養分：窒素供給能



▶堆積泥土は、重金属や可酸化性イオウの含量に問題がなければ、農業利用が可能（した方が良い）。

伊藤豊彰（2014）津波被災水田における除塩後の作物生産上の問題と対策. ペドロジスト、²¹ 58, 51–58.

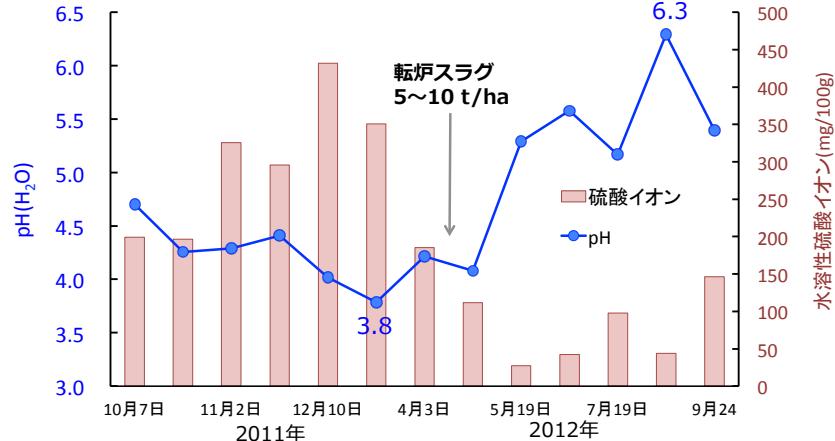
4. 除塩土壤の交換性塩基の問題と対策



伊藤豊彰（2015）津波被災農地の除塩対策. 7. 宮城県の津波被災農地の除塩後の交換性塩基の状況. 土肥誌、86(5), 434-436.

津波堆積泥土混和による土壤酸性化対策 ：石灰質資材の施用

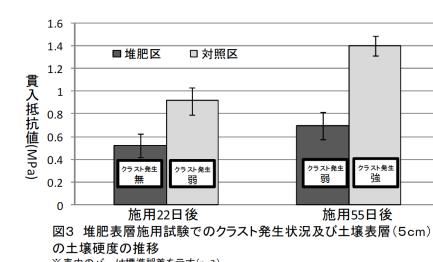
津波堆積泥土には、可酸化性イオウ（パイライト等）を多量に含む場合があり、それを土壤にすき込んだ場合は硫酸生成より土壤の酸性化が生じる。その対策として転炉スラグの施用が有効であることが現地圃場で実証された。



後藤・稻垣（2015）福島県相馬市津波被災地の営農再開のための技術的対策. 土肥誌、86、452-458²²

交換性Naが多い土壤の問題（1）

▶粘土の分散による、クラスト発生-出芽障害



クラスト対策：

緑肥施用による土壤粒子の結合抑制、不織布や堆肥の表面被覆による土壤乾燥抑制

半澤・玉手・大鷲（2015）

宮城県の津波被災露地野菜畠におけるクラスト発生と対策. 土肥誌、86、445-446.²³

高交換性ナトリウム率の問題（2）

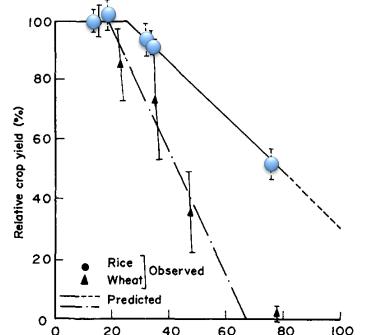


Fig. 1. Observed and predicted response curves of rice and wheat (piecewise linear model)

S. K. Gupta and S. K. Sharma (1990)
Irrigation Science, 11:173-179

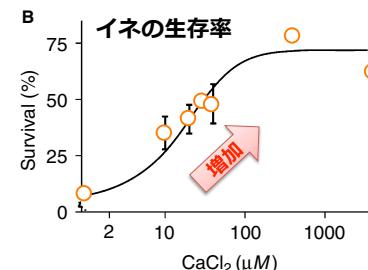
25

Naイオン害

植物に吸収された過剰なNaがCa、Kの吸収を抑制
(Kinraide, 1999)

Naイオン害の発生条件

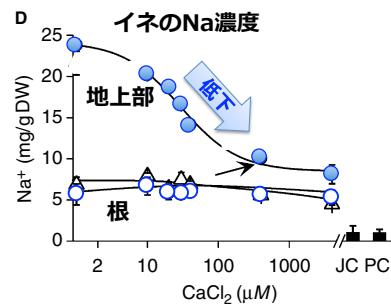
交換性ナトリウム率
> 20% : IRRI 2012
> 約30% : Gupta and Sharma



□ イネ（品種；Pokkali）の苗を200mM NaClの溶液で2日間生育させた。この培地溶液に、0-4000μMのCa²⁺を添加。

- 培地のCa²⁺濃度の上昇に伴って
 - ▷ 地上部のNa⁺濃度は減少
 - ▷ 生存率が増加

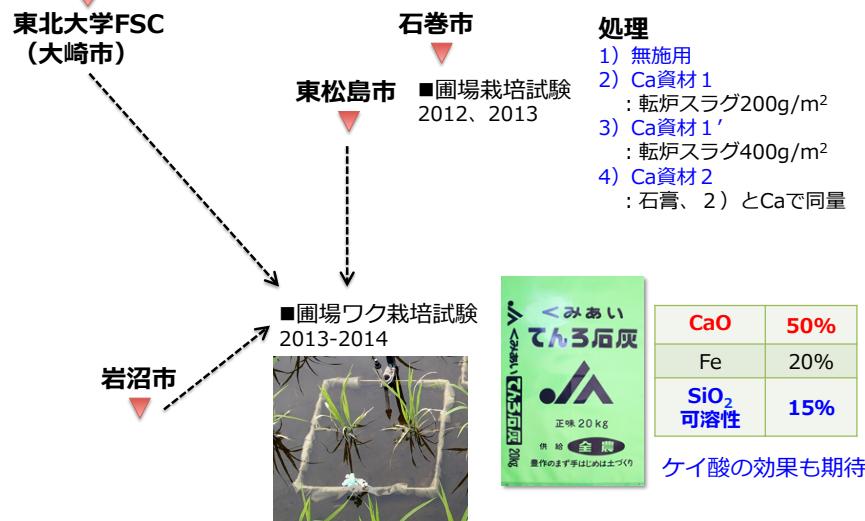
※Caの添加・吸収は、Naの地上部への移送を抑制し、Na過剰害を改善する。



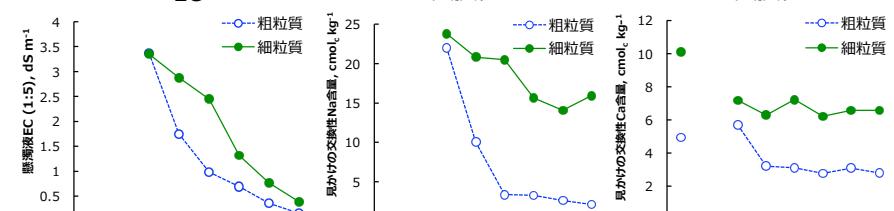
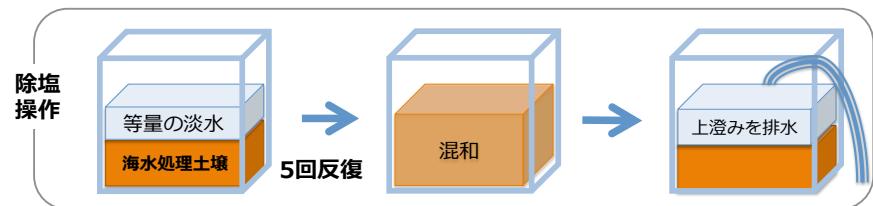
V. S. Anil, P. Krishnamurthy, S. Kuruvilla, K. Sucharitha, G. Thomas and M. K. Mathew (2005) Physiologia Plantarum, 124: 451-464.

除塩土壤にCaを補給し、塩基組成を改善する必要がある。

製鋼スラグ系肥料による海水流入・除塩水田の生産力改善 (日本鉄鋼協会プロジェクト研究 ; 2012-2014)



27



粒径組成の異なる沖積水田土壤の除塩過程におけるECおよび交換性Na、Ca含量の推移 (伊藤豊影 (2015) 津波被災農地の除塩対策. 7. 宮城県の津波被災農地の除塩後の交換性塩基の状況. 土肥誌, 86(5), 434-436.)

- 沖積土壤100kgに対して100Lの海水を添加し、3日間静置。攪拌後、上澄み液を50L排水した後、淡水を50L加えて、同様の操作を合計5回繰り返した。粗粒質：灰色低地土（土性L）、細粒質：グライ低地土（土性Sic）
- 土性（CEC）の異なる土壤では除塩過程におけるNa, Caの溶出量が異なる。

28

海水流入・除塩水田の生産力改善に、 転炉スラグの施用は有効

- 可溶性ケイ酸と多量のCaを含む転炉スラグ（製鋼スラグ、転炉石灰）が津波被災・除塩土壌における水稻生産性改善に有効かどうかを検討した。
- 津波被災・除塩土壌において、交換性ナトリウム率が高い粘土質土壌では転炉スラグの施用によって水稻のカルシウム吸収の増加、ナトリウム吸収の低下、ケイ酸吸収量の増加とともに玄米収量が増加した
(茄子川恒ら (2014) 除塩土壌における製鋼スラグの水稻生育・収量改善効果. 日本国土壤肥料学会、日本土壤肥料学会講演要旨集 (60), 136)。
- この結果より、交換性Na率の高い除塩水田土壌の生産力回復には、Caの補給が有効であると判断された。
- さらに、ダイズは耐塩性、耐酸性、耐湿性が低いこと、ダイズ根粒の窒素固定活性は塩類ストレスへの感受性が高いこと(池田ら, 1987)、我が国では水田が畑に転換されて、定期的にダイズが栽培されることを考慮すると、津波被災・除塩土壌の改善にはCa補給、pH矯正、団粒構造の維持による透水性向上効果が期待できる観点から、Ca資材の施用は必要であると考えられた。

29

5. 津波や除塩工事によって 作土が削剥された農地の問題

岩沼市：海岸近くの農地



表面に砂も泥もなく、一見問題がない。
表層から非常に硬い耕盤層が出ており、
▶作土の大部分が消失

写真：高橋正（東北大字）³⁰

作土が侵食された圃場に客土された山土の問題



客土：
礫まじり、有機物含量が低い
▷生産力は低い

撮影：伊藤豊彰、岩沼市寺島（2013年10月18日）

仙台市若林区の一部の農地では、津波や、その後の復旧工事で作土が除去された圃場に、山砂が最大14cm客土された。
▶収量は30%減
(日本農業新聞 2014年3月12日より)

土壤診断と有機物および無機改良資材の適切な施用によって、作土の肥沃度を回復する必要がある。

31

6. 今後の課題

- 津波や除塩工事によって作土が削剥され、低肥沃性土壌が客土された圃場の生産性回復は未解決であり、重大な課題である。
- 海水流入とその後の除塩によって広範囲な水田土壌の塩基組成(Caの低下、Mgの増加)が変化していると考えられる。ダイズ作への影響も含めて、モニタリング調査と対策技術研究が必要である。
- 被災された多くの皆様に心からお見舞いを申し上げますとともに、一日も早く被災地の農業と農村が復興しますことを祈念いたします。

32