

平成22年 5月14日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19380137

研究課題名（和文） 海水被曝沿岸低平農地の効率的除塩方法に関する研究

研究課題名（英文） A study on effective desalination method from low land agricultural field intruded by sea water

研究代表者

赤江 剛夫（AKAE TAKEO）

岡山大学・大学院環境学研究科・教授

研究者番号：10123423

研究成果の概要（和文）：

（1）インド洋津波による農地海水被曝事例を調査した。衛星画像と地形情報を用いて被害域を推定する方法を提案した。

（2）現地除塩枠試験により、海水被曝地の除塩方法として湛水リーチング法が最も効果的であることを見出した。

（3）湛水リーチングによる除塩用水量を評価する除塩特性指標を提案し、その有用性をカラム実験と数値シミュレーションで確認した。

（4）除塩特性指標を対象地域にマッピングし、人為的な除塩必要性を判定した。

（5）沿岸低平農地の除塩のための最適用水配分の策定法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

(1)A field research on damage in agricultural land by sea water invasion was conducted on case of 2004 Indian Ocean Tsunami. A method to predict the damaged area using satellite image and geological information was developed.

(2)The fresh water ponding irrigation method was found most effective for desaliinization of the sea water invaded farm land by a field experiment.

(3)A desalination characteristics index(DCI) by ponding irrigation was proposed. The validity of the index was confirmed by a column experiment and a numerical simulation.

(4)Water requirement for desalination was mapped on a studied area using the index.

(5)A scheme for optimum water allocation for desalination of farm land on coastal area was developed

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・「農業土木学・農村計画学」

キーワード：津波、海水、農地、除塩、灌漑

## 1. 研究開始当初の背景

世界の沿岸低平地には食料生産のための肥沃な農地が、特に東アジアにおいて広く分布している。これらは、近い将来予想される食糧危機の回避になくてはならない生産拠点であるが、近年、地球温暖化に起因する海水位上昇および異常気象の頻発に伴い、海水浸入被害の危険性が著しく増大している。したがって、沿岸低平地における塩水被曝農地の早期・効率的な除塩改良システムの確立は、地域にとっても、人類全体にとっても緊要な課題である。しかし、農地の除塩方法に関する研究の多くは乾燥地の塩分集積を対象としており、しかも特定の地域における圃場レベルでの除塩問題を扱ったものがほとんどである。湿潤地域も含めた沿岸低平地の海水被曝農地の除塩に向けて、広域的な視点から、地域に適合した除塩方法を系統的に提案することが緊急の課題として求められている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、以下のとおりである。まず（1）沿岸低平農地の海水被曝実態を明らかにし、被害域を推定する方法を提案する。ついで（2）現地試験を通じて、土壌条件に応じた最も効率的な除塩方法を選定し、除塩の容易さを評価する除塩特性指標を見出す。さらに、（3）除塩特性指標を用いて、対象地域における除塩必要量分布をマッピングする方法を開発する。さらに、（4）沿岸低平農地の効率的除塩のため、地域的除塩条件に基づいた最適除塩用水配分計画法を開発する。

## 3. 研究の方法

（1）津波による海水被曝現地調査と被害地

## 域予測

2004年インド洋津波被害を受けたタイ国南部プーケット地区において海水被曝農地の被害調査を行い、農地被害の実態を把握する。衛星画像を用いて、被害地分布を推定し、標高、土壌型、河川の配置など地理情報に関する要因を分析して、被害地域予測モデルを開発する。あわせて、海水被曝後の植生の回復状況を推定する。

## （2）現地圃場除塩枠試験

タイ国コンケン市近郊休耕水田および中国内蒙古河套灌区沙壕渠試験場の畑地圃場において、2007年～2009年にかけて除塩枠試験を実施した。処理区としては、①湛水リーチング区、②表層排土区、③フラッシュリーチング区、④石膏リーチング区、⑤対照区を設けた。

海水を模した3%NaCl溶液を10cm深湛水し、1週間経過した後、上記の処理を施し、排除されたNa量を測定し、効果を判定した。1年経過するまでの分析から中長期的な評価も行った。

## （3）室内カラム実験と除塩特性指標の提案

最も現地に適応した方法である湛水リーチングによる除塩法において、土性および除塩水量が除塩効果に及ぼす影響を室内カラム実験で確認した。既往の文献調査結果から、分散係数が粘土含量に比例することを見出し、移流分散方程式の解析解を利用した。除塩特性指標を定義する。すなわち海水で飽和された対象土層を作物生育に安全な塩分濃度まで除塩するのに必要な除塩用水量（＝除塩用水

量比、Q) を定義し、土壌型との対応関係を明らかにした。また、除塩用水量比に基づいて推定した除塩用水量は、シミュレーションによる結果と一致することを確認した。

#### (4) 除塩特性指標のマッピング

タイ国南部沿岸域を対象に、除塩用水量比QをGISデータ化した土壌図データの上に重ね合わせ、マッピングした。これにより、除塩に必要な用水量が地図上に分布図として表現できた。加えて、自然降雨により除塩ができる時期と地域および人為的な除塩用水の灌漑が必要な時期と地域を区分した。

#### (5) 除塩のための最適用水量配分計画策定法の開発

限られた水資源のもとで、除塩用水量比でマッピングされた地域の除塩を実際に行うため、線形計画法を適用して最適水配分を決定する方法を提案する。対象地域として、徳島県吉野川下流域を選定した。

制約条件としては、非灌漑期取水可能水量、用排水路の通水容量、および除塩必要期間を与え、公平性を担保する条件としていずれのブロックにおいても30%以上の面積を除塩する場合としない場合について検討した。目的関数には、「対象地域の全除塩面積を最大にする。」を設定した。本方法を乾燥地灌漑農地の最適水配分決定にも適用した。

### 4. 研究成果

#### (1) 津波による海水被曝現地調査と被害地域予測

##### ①2004年インド洋津波による農村地帯の農業被害実態と復旧対策

津波による農地被害とその後の復旧状況や有効な復旧対策について、タイ南部の被災事例を調査した。被災作物は多年生の果樹がほとんどであったため、農地の塩分は洗脱されても、生長障害や品質の低下が長期に渡ることが明らかになった。また土性など自然条件

に加え、畝の高さや排水の促進など営農管理により塩害の程度が異なることが示された。

②タイ国南部を事例として、津波による海水被曝によりもたらされる植生被害とその後の回復状況について、その空間分布と地理的条件を明らかにした。すなわち、(i)

Landsat/ETM+画像より求めたNDVI (正規化植生指標) の変化から、津波による植生被害は広範囲で発生したが一年後にはほぼ回復していたと推定された。これは、この地域の豊富な年降水量により1年で塩分がほぼ洗脱されたことによると考えられた。(ii) 植生被害に関するロジステックモデルによる回帰分析の結果は、海に近く標高の低い地点で、また、森林よりも農地で被害確率が高いことを示すとともに、土壌類型との関係も示された

(Fig. 1)。

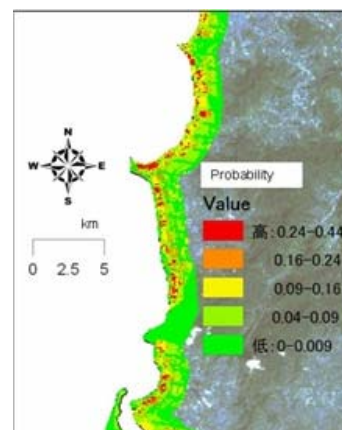


Fig. 1 津波による植生被害発生確率の推定結果

(iii) 被曝後の植生の回復に関するロジステックモデルによる回帰分析の結果は、海に近く標高の低い地点で、また、森林よりも農地の方が回復ポテンシャルが高いことを示すとともに、土壌類型との関係も示した。

#### (2) 現地枠試験による海水被曝後の水分・塩分の再分布と効率的除塩方法の検討

##### ①現地枠試験による海水被曝後の水分・塩分の再分布

土性と気象条件の異なるタイと中国の現地圃場において、模擬海水浸入後の土壤中の水分と塩分の中長期的な観測を行った。その結果、以下のようなことが分かった。

(i) 両現地圃場での乾季の1ヶ月後では表層のEC1:5は高く、塩分集積が確認され、除塩の必要性がある。

(ii) コンケン現地圃場では雨季終了時のEC1:5はすべての処理で作物生育限界塩分濃度以下にまで低下しており、海水被曝が起こった場合も雨季を経験すれば十分に自然降雨による塩分の洗脱が可能である。

(iii) 粘質土で乾燥気候にある沙濠渠試験場圃場では、1年後も土壤塩分濃度が高く維持され、自然条件下では塩分が洗脱されない。

#### ②現地枠試験による効率的除塩方法の検討

(i) 湛水リーチングにより塩分は1週間程度で根群域より下層に洗脱される。浸透水の排水が不良の場合、乾燥条件下では一度50cm以深に洗脱された塩分が表層に戻ってくる傾向があった。

(ii) 石膏リーチングによる土壤の物理性・化学性の改善やNaとCaの交換によるNa洗脱の促進などの効果は本試験からは確認できなかった。

(iii) 表層洗流法が除去できたNa量は加えたNa量に対して0.82~2.20%であり、両土壤型に対する除塩効果は非常に小さい。

(iv) 表土剥奪法は長期間の乾燥や複数回の除塩処理が必要であるため、適用される条件は限定的と考えられた。

#### (3) 室内カラム試験による海水被曝土壤のリーチング特性

土性の異なる5種類の模擬土壤を用いて、室内カラム試験による海水被曝土壤の湛水リーチング試験を行ったところ、以下の事実が明らかになった。

①流出液のECが作物生育限界濃度 (4mS/cm)

以下になる除塩用水量は、Sが1.2 pore volume (pv)、LSが1.4pv、SLが1.65pv、Lが1.2pv、SiCLが1.65pvであり、粘土含有率が高くなるにしたがって増加した。

②ほぼ全ての水溶性Naが1.5~2.0pvの水量で除去されるが、交換性Naが土壤中に多く残存する。

③粘質土壤で交換性Naが土壤中に残存しやすい傾向が強い。

④透水係数の大幅な低下と流出溶液濃度の大幅な低下は、同じ時間に生じた。湛水リーチングにより土壤溶液の塩分濃度は低下するが、土壤に残存する交換性Naにより、低塩分濃度・高ESPの状態が生じるため透水係数が著しく低下する。

#### (4) 除塩特性指標の決定と土壤型に基づく除塩特性指標の作成

広域的な除塩を検討するために、除塩の容易さを表す指標 (除塩特性指標) として除塩必要水量比を定義し、その算出方法を提案した。特に、土性と飽和透水係数、分散長の関係に着目し、除塩特性指標、すなわち、除塩必要水量比Q(Pore Volume)を次式で定義した。

$$Q=(qt+Et)/Vp$$

ここに、qは水分フラックス(cm/s)、Eは蒸発散位(cm/s)、tは除塩必要時間(s)、Vp(cm)は対象土層の間隙体積を表す。

この指標によると海水被曝後の除塩には1.22~3.42Pore Volumeの除塩用水が必要である。しかし、シルト分を多く含む土性(Silty Clay LoamやSilty Clay)などでは透水係数が少ないため、蒸発による損失が大きく、水利用効率が小さい。

#### (5) 土壤型別除塩特性指標のHYDRUSによる評価

土壤の水分特性パラメータの変化を考慮することで、現地の試験結果はHYDRUS-1Dコードを用いて、良く再現できた。粘土量が少ない

ほど除塩特性指標による結果と数値シミュレーションの結果が良く一致したことから、除塩特性指標は除塩必要水量と除塩時間の見積りにおいて有用であることが確かめられた。

(6) 土壌型除塩特性指標と土壌型分布に基づく除塩類型化マップ

除塩特性指標をGISと土壌図を用いてタイ沿岸地域にマッピングをし、各地域における除塩必要水量を特定した (Fig. 2)。

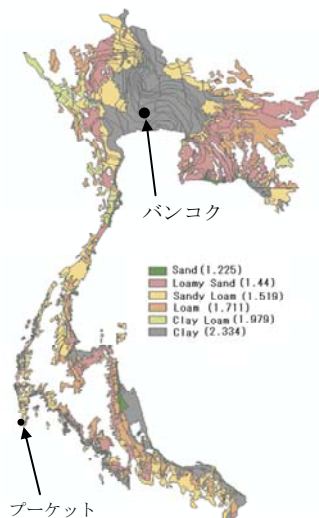


Fig. 2 タイ国沿岸地域における除塩必要水量比の分布

バンコクの周辺地域とタイ南部地域の東西沿岸部にはClayが広く分布しているため、除塩必要水量比は2.33と大きく、除塩が困難な地域である。一方、タイ東部の沿岸地域にはLoamy Sandが広く分布しているため、除塩必要水量比は1.44と小さく、比較的除塩の容易な地域である。また、米の生産拠点であるタイ中央部とタイ西部で除塩が困難であり、ゴムの生産拠点でもあるタイ南部でも除塩が困難である。

除塩特性指標マップと降雨量を比較し、自然降雨による除塩の可能性を検討した。その結果、降雨量の最も多い9月でも自然降雨によ

る除塩が期待できる地域は限定的であり、早期の除塩のためには大部分の地域を対象に除塩処理を行う必要があることが明らかとなった (Fig. 3)。8月から10月の積算降雨量からは、バンコク周辺部の一部と東側沿岸部を除くタイ南部、タイ東部で自然降雨による除塩が可能である。

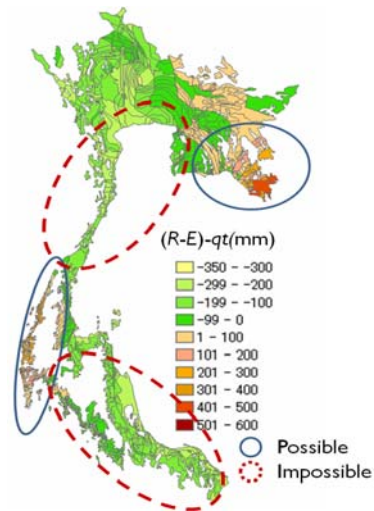


Fig. 3 タイ沿岸地域の自然降雨による除塩の可能性 (9月)

(7) モデル地域における海水被曝後の除塩特性指標に基づいた最適除塩用水配分計画

除塩特性指標に基づいた最適除塩用水配分の検討方法を徳島県吉野川下流域をモデル地域として示した。その結果、最適化を行わずに既存の計画配水を行うよりも、除塩特性指標に基づいて容易に除塩が可能である地区に優先的に配水することにより除塩面積(率)が増加した (Fig. 4)。また、除塩面積の公平性を考慮した場合でも、除塩特性指標に基づいた最適配水を行うことで除塩面積(率)は増加した。土壌条件に基づいた除塩特性指標による最適除塩用水配分は除塩をより早期かつ効率的にすることが可能なことを示した。

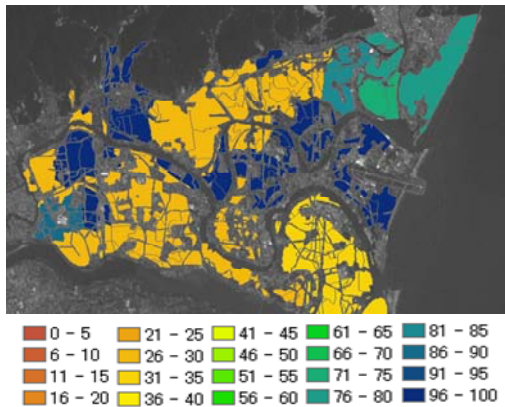


Fig. 4 除塩特性指標に基づいた場合の各地区の除塩面積率 (Case2)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① 赤江剛夫・濱田浩正・諸泉利嗣・石黒宗秀・守田秀則・中矢哲郎：2004 年インド洋津波による農村地帯の農業被害実態と復旧対策、農業農村工学会誌、査読有り

[学会発表] (計 5 件)

(2) 学会発表

① 泉あゆみ・諸泉利嗣・八谷智博・赤江剛夫：数値シミュレーションによる除塩特性表の検討，平成 21 年度農業農村工学会大会中国四国支部講演会講演要旨集，pp.113-115 (2009)

② 米浦大輔・守田秀則・赤江剛夫：中国内蒙古自治区河套灌区における塩類集積地分布の分析，平成 21 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.864-865 (2009)

③ 八谷智博・赤江剛夫：土壌型に適合した除塩特性指標の作成とマッピング，平成 21 年度農業農村工学会大会中国四国支部講演会講演要旨集，pp.110-112 (2009)

④ 米浦大輔・守田秀則・赤江剛夫：河套灌区における用排水路分布から見た塩類集積地の分布について，平成 20 年度農業農村工学会大会中国四国支部講演会講演要旨集，pp.46-48 (2008)

⑤ 中尾千晶・赤江剛夫：地域塩分収支を考慮した線形計画法による乾燥地農地の用排水量の決定，平成 19 年度農業土木学会大会中国四国支部講演会講演要旨集，pp.15-17

(2007)

[図書] (計 1 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

該当なし。

○取得状況 (計 1 件)

該当なし。

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤江 剛夫 (AKAE TAKEO)

岡山大学・大学院環境学研究科・教授

研究者番号：10123423

### (2) 研究分担者

諸泉 利嗣 (MOROIZUMI TOSHITSUGU)

岡山大学・大学院環境学研究科・准教授

研究者番号：60230174

守田 秀則 (MORITA HIDENORI)

岡山大学・大学院環境学研究科・准教授

研究者番号：60230174

石黒 宗秀 (ISHIGURO MUNEHIDE)

岡山大学・環境管理センター・教授

研究者番号：00294439

### (3) 連携研究者

濱田 浩正 (HAMADA HIROMASA)

(独)国際農林水産業研究センター・主任研究員、現在 International Water

Management Institute・主任研究員、(平成 19 年度)

研究者番号：60360393