

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：13401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23860024

研究課題名（和文）析出塩と土壌中の熱・水分移動の相互作用を考慮した塩析出予測モデルの構築

研究課題名（英文）Development of salt accumulation model considering effects of salt crystallization on heat and water movement in a soil

研究代表者

寺崎 寛章（TERASAKI HIROAKI）

福井大学・大学院工学研究科・特命助教

研究者番号：40608113

研究成果の概要（和文）：本研究は、東日本大震災の津波による農地浸水に代表される“土壌塩害”に対する解決の一助として、従来の土壌中の塩移動に加えて、塩害の象徴である塩集積量を予測するモデルを構築することを目的として、析出塩の日射反射率（アルベド）および蒸発抵抗を定量評価した。そして、開発した塩析出予測モデルが、概ね析出塩量、塩濃度、蒸発量および土壌温度を再現することができることを確認した。

研究成果の概要（英文）：This paper aims to develop a salt accumulation model considering effects of salt crystallization on heat and water movement in a soil. In this research, the relationship between mass of salt accumulation and albedo or evaporation resistance was evaluated through indoor experiments. Conclusively, our proposed model could reproduce the time variations of salt accumulation mass on the soil surface, evaporation, soil temperature and salt concentration.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：塩害、土壌、塩移動、析出塩、塩析出予測モデル

1. 研究開始当初の背景

代表的な地球環境問題の一つである土壌の塩害は世界中で年々深刻化している。例えば、パキスタンでは 4.2Mha、中国では 6.7Mha およびインドでは 7.0Mha が塩害を受けていると言われる。また、オーストラリアではユーカリやオールドグロスの森林伐採により、地下水位が上昇し 1.7Mha の農地が塩害により耕作が出来ない状態に陥っている。さらに、スマトラ沖地震や東日本大震災など、津波による農地の塩性化が問題になっており、塩害農地の改善が急務かつ必須である。

これらの社会的背景から、従来、土壌塩濃度鉛直分布の実験値と計算値との比較によるモデルの妥当性が論じられているが、塩害予測で重要となる地表塩濃度、析出開始時間および析出塩量の測定および予測を行った研究は申請者の研究を除けば殆ど皆無であり、塩集積/塩析出予測モデルおよび塩害防止策の開発は不十分と言わざるを得ないのが現状である。加えて、地下水位が浅い場合(高含水状態)や申請者が研究対象としているシルト(または粘土)土壌に関する研究は、多大な労力と時間を要するため、研究が比較的容易な砂

質土と比して塩析出メカニズムには未解明な点が多い。

上述のように塩析出メカニズムが明らかになり、塩析出モデルが開発されれば、塩害の拡大防止に寄与するだけではなく、東北地方における塩害農地の除塩の効率化にも寄与することが期待できる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、中国の代表的な塩害土壌(チャオソイル)表面からの析出塩発達メカニズムを調べるとともに、析出塩量とアルベドの関係および析出塩量と水蒸気移動抵抗の関係を定量評価し、析出塩を考慮した熱・水分・塩移動理論モデル(塩析出予測モデル)を構築し、その妥当性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では以下の手順により、塩析出予測モデルを開発する。

(1) アルベド予測モデルの構築

- ① 周囲に遮蔽物の無い福井大学の屋上にて、図1に示す土壌盤、アルベド計、ビニールシートを用いて、アルベド計の受感域を考慮した真のアルベドを求める。
- ② 恒温恒湿室にて、図2に示す小型アルベド装置、小型短波放射計および試験土壌を用いて、体積含水率および析出塩量を変化させながら、それぞれの土壌表面のアルベドを測定した(ボックス法と呼称)。
- ③ 小型アルベド装置の精度を検証し、任意の析出塩と体積含水率を考慮したアルベド予測モデルを提案する。

(2) 析出塩による蒸発抵抗の定量化

- ① 恒温恒湿室内において、熱電対、データロガー、重量計および土壌カラムを図3のように設置する。
- ② 塩水飽和土壌カラムから自然蒸発させ、蒸発量、析出塩量、土壌温度をそれぞれ計測する。
- ③ リング厚を変え、上述の①および②を繰り返す、析出塩の水蒸気移動抵抗を定量評価(および定式化)する。

(3) 塩析出予測モデルの構築と精度検証

- ① 既存の飽和-不飽和土壌中における熱水分(水蒸気を含む)および塩移動の同時連成解析モデルに、上述の(1)および(2)を組み込んだ、塩析出予測モデルを構築する。
- ② 室内塩析出カラム実験を行い、上述の(3)で開発した塩析出モデルの妥当性を検証する。

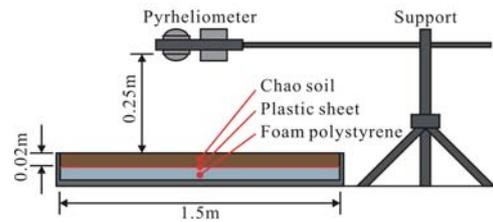


図1 野外土壌盤アルベド実験

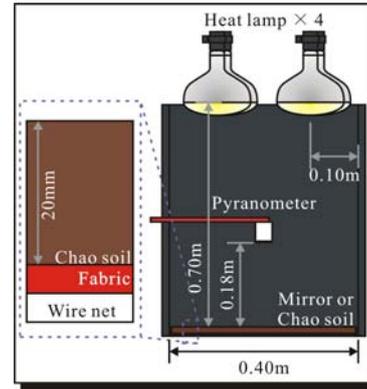


図2 小型アルベド実験装置概要

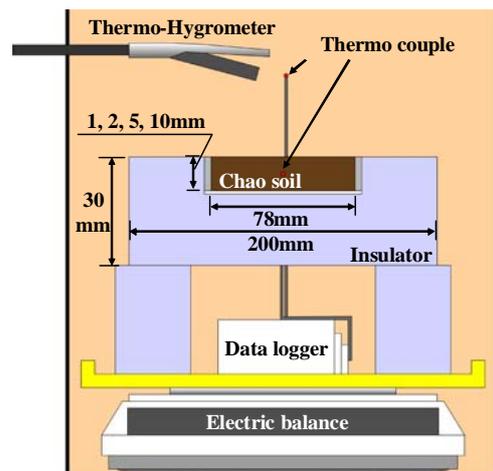


図3 蒸発抵抗実験概要

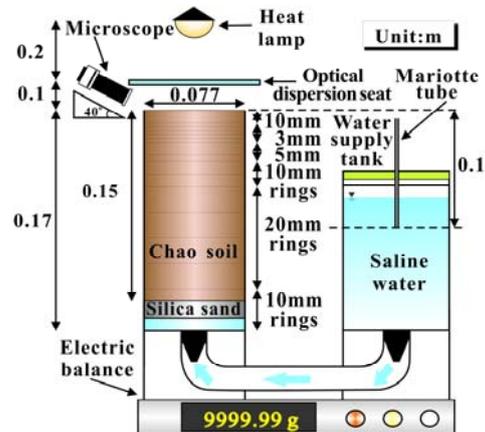


図4 塩析出実験概要

4. 研究成果

本研究で得られた結果を以下に示す。

(1) アルベド予測モデルの構築

- ① 真のアルベドに対するボックス法のアルベド測定誤差は4%であり、ボックス法はアルベド測定に有効である。
- ② 乾燥土壌と湿潤土壌のアルベドの差は析出塩量が増加するにつれて小さくなり、両者は概ね0.8に漸近すると推測される。
- ③ 塩の析出が発生しない場合、チャオソイルのアルベドと体積含水率の関係は、アルベドが体積含水率に依存せず、一定値を示す乾燥一定域および湿潤一定域、および体積含水率の増大とともにアルベドが減少する遷移域の3つに区別される。
- ④ 本研究では3つのアルベド予測モデルを提案し、図6の左上に示すモデルの計算精度が最も高いことが分かった。

(2) 析出塩による蒸発抵抗の定量化

- ① 蒸発中は(i)地表塩濃度が上昇することで地表の水蒸気密度が低下する期間、(ii)地表塩濃度が飽和に達して出現する析出塩によって蒸発抵抗が急上昇する期間、その後(iii)析出塩量の増加に伴い蒸発抵抗が緩やかに上昇する期間、にそれぞれ分けられる。
- ② カラム厚 5mm で実施した塩析出実験の結果、析出塩量が少ない場合は析出塩量が増加するに従い蒸発抵抗は概ね線形的に増加するが、その増加率は析出塩量が増加するに従い鈍化する。
- ③ 析出塩量と蒸発抵抗の関係は、図7に示す式により表すことができる。

(3) 塩析出実験結果と塩析出予測モデルの精度検証

- ① 実験開始初期において、土壌温度は上昇をヒートランプによる熱放射により上昇し始めるが、その上昇率は時間とともに鈍化し、蒸発量は概ね一定値を示す擬似恒率蒸発期間を示す。
- ② 地表からの塩析出に伴う蒸発抵抗により蒸発量は急激に低下し、蒸発潜熱の低下に伴い土壌温度も上昇する。
- ③ その後、蒸発量は擬似恒率蒸発期間の約1/3まで低下し、概ね一定値を示した。
- ④ 実験開始数時間後に析出が開始され、時間の経過に伴い緩やかに増加する。
- ⑤ 析出塩によるアルベドおよび蒸発抵抗の影響を考慮した塩析出予測モデルを構築し、塩析出実験結果①～④と比較した結果、本予測モデルは概ね析出塩量(図8を参照)および土壌内部塩濃度、土壌温度および蒸発量を再現できた。

今後は本モデルを東北地方の塩害に適用して、除塩作業の効率化および塩害再発防止を図る。

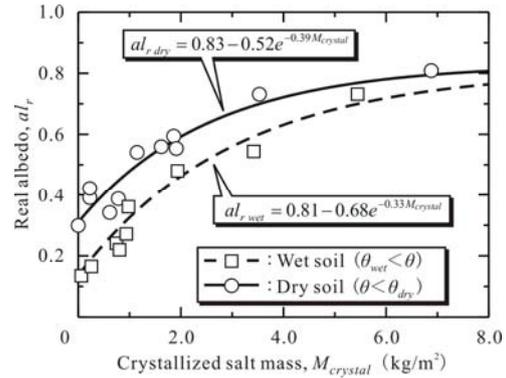


図5 アルベドと析出塩量の関係

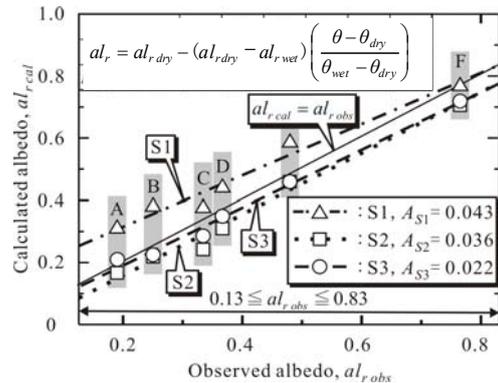


図6 アルベド予測モデルの精度検証

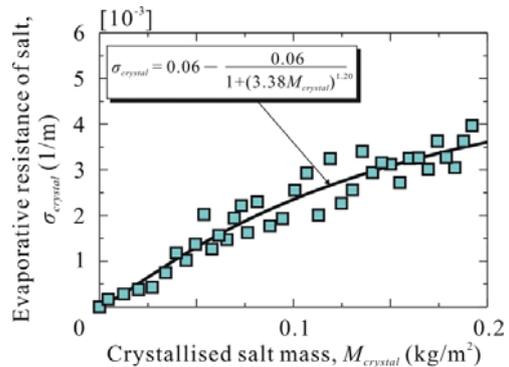


図7 析出塩量と蒸発抵抗の関係

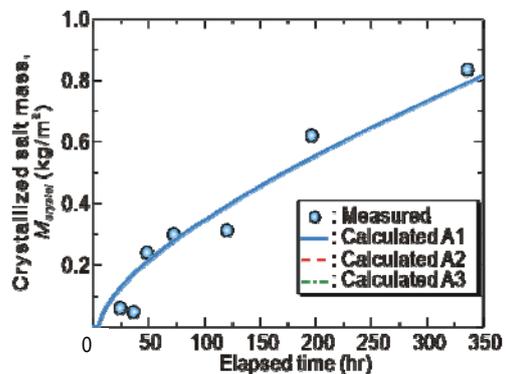


図8 析出塩量の経時変化

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 5 件)

- ① 寺崎寛章, 草間政寛, 福原輝幸: 宮城県名取市, 岩沼市および亘理町における津波後の水田土壌塩害調査, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 査読無し, Vol. 67/CS10-017, pp. 33-34, 2012
- ② 草間政寛, 寺崎寛章, 福原輝幸: ボックス法を用いた豊浦標準砂およびマサ土のアルベド測定, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 査読無し, Vol. 67/3-158, pp. 315-316, 2012.
- ③ Xi Man Liu, Hiroaki Terasaki, Masahiro Kusama and Teruyuki Fukuhara: Effect of soil sampling thickness on starting time of salt crystal production, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 査読無し, CS4-036, pp. 71-72, 2012.
- ④ Qihan Qiu, Hiroaki Terasaki, Masahiro Kusama and Teruyuki Fukuhara: Effect of soil crust on evaporation and water infiltration, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 査読無し, CS4-052, pp. 103-104, 2012.
- ⑤ 草間政寛, 寺崎寛章, 福原輝幸: 円筒カラム土壌内の熱移動に関する一考察, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, 査読無し, 登載決定, 2013.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 寺崎寛章, 草間政寛, 福原輝幸: 宮城県名取市, 岩沼市および亘理町における津波後の水田土壌塩害調査, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 名古屋大学東山キャンパス, 9 月 5~7 日, 2012.
- ② 草間政寛, 寺崎寛章, 福原輝幸: ボックス法を用いた豊浦標準砂およびマサ土のアルベド測定, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 名古屋大学東山キャンパス, 9 月 5~7 日, 2012.
- ③ Xi Man Liu, Hiroaki Terasaki, Masahiro Kusama and Teruyuki Fukuhara: Effect of soil sampling thickness on starting time of salt crystal production, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 名古屋大学東山キャンパス, 9 月 5~7 日, 2012.
- ④ Qihan Qiu, Hiroaki Terasaki, Masahiro Kusama and Teruyuki Fukuhara: Effect of soil crust on evaporation and water infiltration, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 名古屋大学東山キャンパス, 9 月 5~7 日, 2012.
- ⑤ 草間政寛, 寺崎寛章, 福原輝幸: 円筒カラム土壌内の熱移動に関する一考察, 土

木学会第 68 回年次学術講演会, 日本大学生産工学部津田沼キャンパス, 9 月 4~6 日, 2013 (発表決定).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺崎 寛章 (TERASAKI HIROAKI)

福井大学・大学院工学研究科・特命助教

研究者番号: 40608113