

塩析出下の土壌アルベドモデルの開発

寺崎 寛章* 草間 政寛** 福原 輝幸*

Development of Soil Albedo Model under Salt Crystallization

Hiroaki TERASAKI*, Masahiro KUSAMA** and Teruyuki FUKUHARA*

(Received February 10, 2012)

This paper proposes an empirical model, "Albedo model" to estimate the change in the albedo, al , of Chao soil associated with salt accumulation on the soil surface and the volumetric water content, θ , of the soil surface. A basic element of the model is derived from experimental results by a new method, "Box method". It is seen from the box method that (1) al in a dry state is larger than that in a wet state but the difference becomes small as the crystallized salt mass, $M_{crystal}$, increases, (2) al decreases with the increase in θ , for $0.05 \leq \theta \leq 0.30$. From these results and a similarity law of the dependency of al on θ , the albedo model was created in this study. The model made it possible to calculate the albedo of Chao soil with an arbitrary θ and $M_{crystal}$.

Key Words : albedo, albedo model, salt accumulation, crystallized salt, Chao soil, box method, soil filled plate method, volumetric water content

1. はじめに

近年, 世界的に拡大している環境問題の1つに, 土壌の塩害が挙げられる. 塩害とは, 土壌中の塩濃度の上昇により土壌の浸透圧が上昇し, 植物が十分な吸水を行えず, 枯死や生育障害を起こす現象である. 塩害は砂漠化の原因の一つであり, 中国やタイをはじめとする諸外国では, 塩害による土壌の不毛化や砂漠化した農地が多数報告されている^{[1], [2]}. 日本では, 台風によって九州地方で塩害が発生した例^[3]を除き, 特別問題視されていなかった. しかしながら, 先の東日本大震災に起因する津波によって, 東北地方を中心に23,600haの農地が海水により冠水し, 土壌中に浸入した塩類が農業の早急な再開を妨げている. 従って, 一刻も早い除塩が実施されるべきだが, 実際にはコストや実施手順, またはその除塩効果に不明な点が多く, 必ずしも順調に進んでいるとは言い難い.

代表的な除塩方法の1つに, 土壌に淡水を湛水し, 土壌中の塩を洗脱するリーチング法^[4]が挙げられる. リーチング法は降水の多い地域には適しているが, 海水が陸側に浸入し易い地域, あるいは塩性地下水位の浅い地域では, 湛水によって地表と塩性地下水域の間に形成される水みちを介して, 蒸発に伴う2次の塩害を起こすことがある^[5].

このように, 除塩方法を検討する際には降雨・灌水(散水)による浸潤過程(塩類の下方移動)のみならず, 蒸発に伴う乾燥過程(塩類の上方移動)も重要となる.

蒸発の影響因子の1つに, 地表の日射反射率(アルベド, al)が挙げられる. 例えば, Blyth et al.^[6]は野外実験を行い, al および植生が蒸発に及ぼす影響をそれぞれ評価し, 蒸発量予測精度に及ぼす al の影響は無視できないことを示した. また, 従来から al は地表の体積含水率 θ および地表の析出塩量 $M_{crystal}$ に影響されることが報告されている. 例えば, Farifteh et al.^[7]は, 塩水湿潤-乾燥過程を経た土壌表面の分光特性を調べ, 土壌と純水を質量比1:2で攪拌した溶液の塩濃度と al の関係を定量評価したが, $al-M_{crystal}$ 関係には言及していない. Idso et al.^[8], Gu et al.^[9]およびFujimaki et al.^[10]は $al-\theta$ 関係を調べ, その分布形状は土性に依存しないことを示した. また, Fujimaki et al.^[10]は地表から

* 福井大学大学院工学研究科

** 福井大学大学院工学研究科建築建設工学工学専攻

* Dept. of Architecture and Civil Engineering

** Architecture and Civil Engineering Course,

Graduate School of Engineering

5mmおよび20mmの土壤に含まれる塩量と al を調べ、両者の関係の定量評価を試みたが、データのバラつきが多く、特定の関係を見出すまでには至っていない。この原因は、 al に影響を及ぼす $M_{crystal}$ の抽出(析出塩と土壤内塩の分離)ができなかったことに起因する。以上のように、 $al-\theta$ 関係に比して、 $al-M_{crystal}$ 関係を定量評価した研究例は少なく、依然として塩害の象徴とも言うべき析出塩の al に関して不明な点が多く、モデル化はできていない。

一般的に al は、植生や構造物のない周囲が開けた空間で全天日射量と反射日射量の比から求められるが^[10]、対象土壤が広範囲かつ均一に分布している必要がある。また al の測定は長期化し、多大な労力を要する場合があります、決して容易ではない。土壤試料が限られる場合、野外土壤を模した土壤盤法^[10]が用いられる。土壤盤法は、野外土壤に比べて少ない試料で済むが、試料の準備に要する労力が大きく、加えて測定された al には試料面積による補正が必要となる。また、小規模な装置で al を求める方法として分光特性法^[12]が挙げられる。分光特性法は予め al が既知の試料を用意し、試料と対象土壤を一画像に同時撮影することで、両者の輝度から対象土壤の al を推定する方法であり、測定期間が短く、労力が少なく済むなどの利点を有する。しかしながら、両者の輝度が必ずしも al を反映している保証がなく、 al の測定精度に課題を有する。また、ヒートランプ

を用いた室内アルベド測定^[7]では、太陽光の al が既知の試料を用意し、太陽光とヒートランプの al の比較に基づいて、ヒートランプの al を補正する必要がある。以上のように、既往のアルベド測定方法は必ずしも容易ではなく、それぞれ課題を有している(表1を参照)。

そこで本研究では、土壤盤法よりも小規模かつ簡易なアルベド測定方法(以下、ボックス法)を提案し、土壤盤法との比較に基づいてボックス法の精度を検証するとともに、ボックス法を用いた蒸発実験により、任意の θ および $M_{crystal}$ を有する土壤の al を推定できるアルベド予測モデルの提案を目的とする。

2. 実験概要

2.1 土壤盤法

実験は周囲に遮蔽物の無い福井大学の屋上で、図1に示す土壤盤(内法:1.5×1.5m、高さ:0.02m)を用いて2010年6月から8月にかけて行われた。土壤盤を白色シート(寸法:6×6m)の中央に設置し、中国の代表的な塩害土壤であるチャオソイル(シルト質ローム)を密度1500kg/m³で土壤盤に充填した。その後、土壤盤中央の地表から0.25m上方にアルベド計(Kipp & Zonen製)を設置して al を測定した。なお、この al を見かけのアルベド al_a と呼称する。

本実験では、土壤盤の表面積(2.25m²)がアルベド

表1 既往のアルベド測定法

測定法	コスト	試料面積	測定精度	労力	測定期間	備考
一般的な野外観測 ^[11]	低	大	高	大	長	天候による影響を受ける
土壤盤法 ^[10]	高	中	高	多大	長	
分光特性法 ^[12]	低	小	課題有り	小	短	al が既知の試料が必須
室内アルベド測定 ^[7]	高	小	不明	小	短	

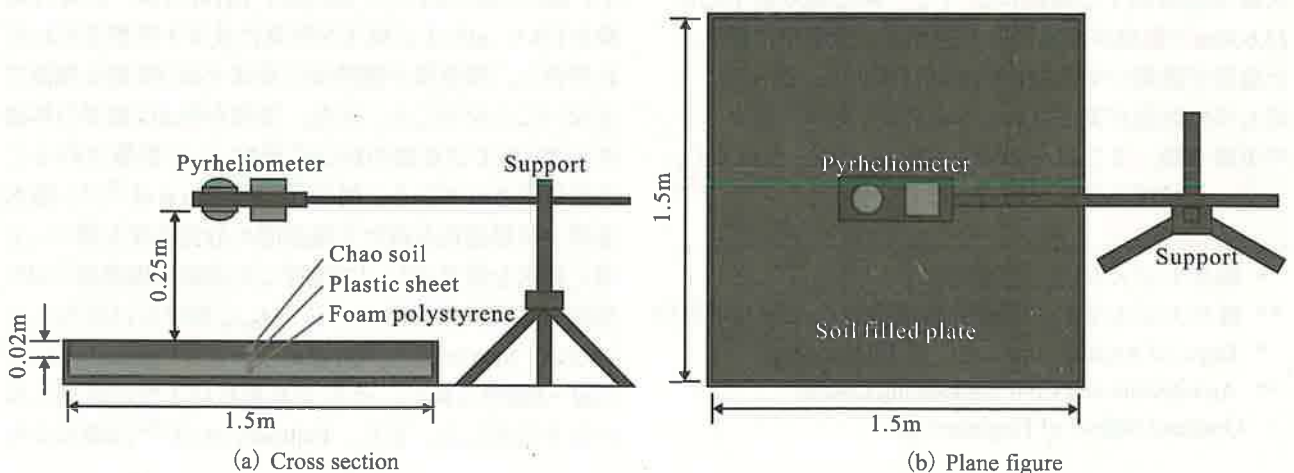


図1 土壤盤法概要

計の受感域 (6.33m^2)^[13]よりも小さいため、 al_a の補正が必要である。そこで、Fujimaki et al.^[10]に倣い、以下の手順で al_a の補正を行った。

- 1) アルベド計の受感域より十分に大きいシート (寸法: $6 \times 6\text{m}$, 色: 白色, 茶色, 青色および黒色の4種類)を屋上床面に敷設し, シート中央の上方 0.25m にあるアルベド計で測定された al を真の (信頼性の高い)アルベド al_r と呼称する。
- 2) 上述と同種のシート (寸法: $1.5 \times 1.5\text{m}$)を土壤盤上に敷設し, 屋上で土壤盤法と同様の手順にて装置を設置し, 各シートの al_a を測定する。
- 3) 各シートの al_a と al_r を比較し, $al_a - al_r$ 関係を求める。

次に, $al_r - \theta$ 関係を求めるための実験手順を述べる。

- 1) 既知量の淡水を含むチャオソイルを土壤盤に均一に充填し, 目標とする θ の土壤を作製する。
- 2) al_a を測定した後, 鋼管 (高さ: 0.10m , 内径: 0.05m)を用いて, 地表から 1mm までの土壤を3箇所採取する。
- 3) 採取後および炉乾燥後の質量を最小読み $1/1000\text{g}$ の重量計 (Mettler Toledo 製)で測定し, 両者の差より水量および土量をそれぞれ求める。
- 4) 土量と充填密度より土壤体積を求めた後, 水量と土壤体積より θ を求める。
- 5) $al_a - \theta$ 関係を求めた後, $al_a - al_r$ 関係より al_r を計算し, $al_r - \theta$ 関係を求める。

2.2 ボックス法

実験は図2に示す矩形の小型アルベド測定装置 (以下, ボックス)を用いて恒温恒湿室にて行われた。木製のボックス (内法: $0.40 \times 0.40\text{m}$, 高さ: 0.70m)を用意し, ボックス底面に鏡 (寸法: $0.39 \times 0.39\text{m}$)または

土壤トレイ (内法: $0.39 \times 0.39\text{m}$)を設置した (図2(a)を参照)。土壤トレイの底面には金網および織物を敷設し, 厚さ 20mm のチャオソイルを密度 $1500\text{kg}/\text{m}^3$ で充填した。その後, その表面中央から上方 0.18m に受感部を下向きにした小型短波放射計 (プリード製)を, 上方 0.70m , 側面内壁から 0.10m の位置にヒートランプ (東芝製赤外線家畜用電球: $150\text{W} \times 4$ 基)を設置した。

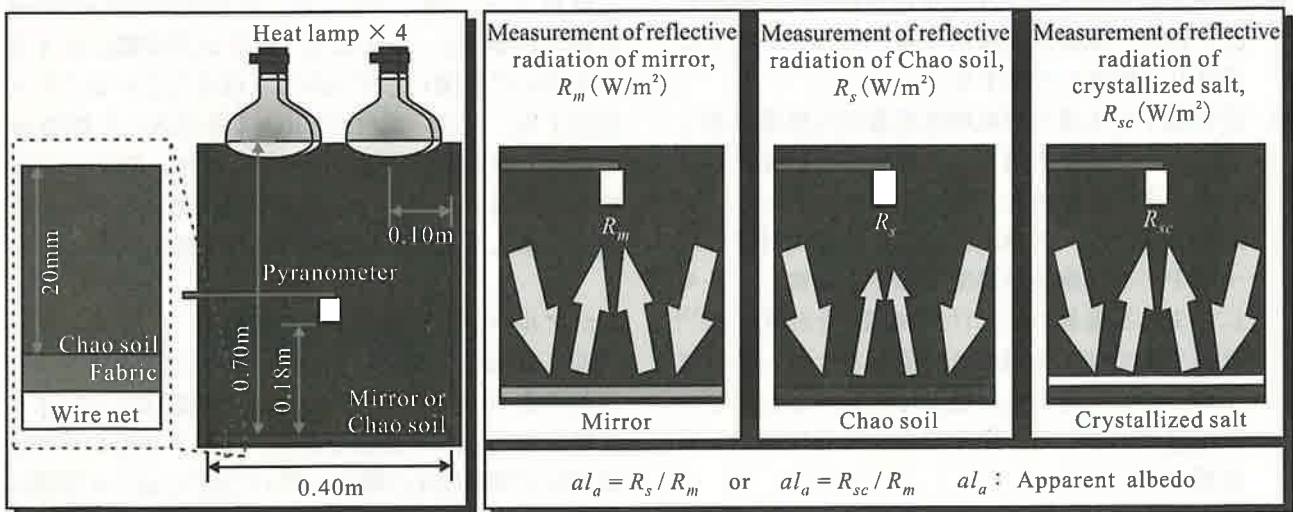
ボックス法では, 図2(b)に示すようにして al_a を求めた。ヒートランプを照射し, 鏡の反射フラックス R_m , チャオソイルの反射フラックス R_s および析出塩の反射フラックス R_{sc} を測定する。次に, 鏡の al を1と仮定し, R_m と R_s の比および R_m と R_{sc} の比を al_a とした。なお, 内壁面によるヒートランプの多重反射を極力小さくするため, 内壁に黒色布を貼り付けた。

光源およびアルベド計の受感域の補正は Farifteh et al.^[7]および Fujimaki et al.^[10]に倣い, 以下の手順で行われた。

- 1) 土壤盤法に用いた4種のシートに加えて, al が既知のケント紙およびトレーシングペーパー^[14] (寸法: $0.39 \times 0.39\text{m}$)をボックス底面に設置し, それぞれの al_a を測定する。
- 2) 各シートの al_r は, 前述の土壤盤法で測定された各シートの al_r を採用する。
- 3) 1)と2)を用いて $al_a - al_r$ 関係を求める。

また, $al_r - \theta$ 関係は土壤盤法と同様の手順にて, 目標とする θ の土壤を土壤トレイに充填し, al_a を測定した。その後, θ を変化させて実験を繰り返し, 上述の $al_a - al_r$ 関係を用いて, $al_r - \theta$ 関係を求めた。

次に, $al_r - M_{crystal}$ 関係を求めるための実験手順を述べる。



(a) Set up of the box method

(b) Measurement of three different reflective radiation fluxes

図2 ボックス法

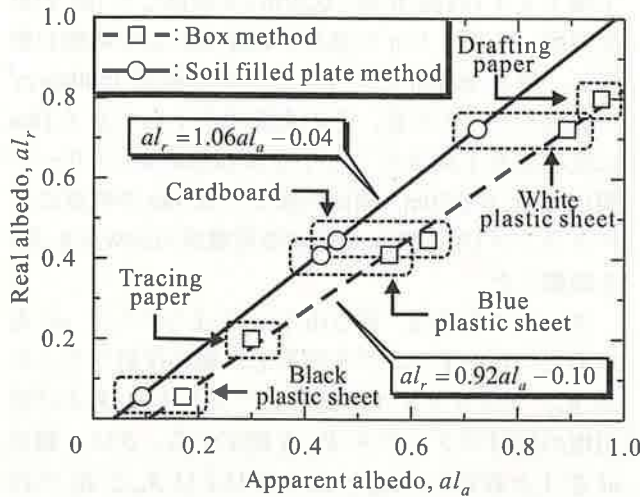


図3 見かけのアルベドと真のアルベドの関係

- 1) 土壤トレイ底面から塩水を常時供給して高含水状態を保持しつつ、地表から 0.55m 上方にヒートランプ(東芝製赤外線乾燥用電球:375W×4基)を設置し、これらを照射することで地表からの蒸発および析出塩の成長を促進させる。
- 2) (I) 湿潤土壤(給水停止後、重力排水およびヒートランプの照射によって目標とする θ に水分を制御した土壤)および (II) 乾燥土壤(給水およびヒートランプの照射停止後、土壤トレイを 60°C のオーブンに入れ、乾燥させた土壤)をそれぞれ作製する。
- 3) al_a を測定した後、土壤盤法と同様に、鋼管を用いて析出塩および析出塩下の土壤(1mm厚)のサンプルを3箇所それぞれ採取する。
- 4) 各サンプルの採取後および炉乾燥後の質量をそれぞれ測定し、両者の差より各サンプルに含まれる水量を求める。
- 5) 炉乾燥後の各サンプルを希釈水(純水)で攪拌し、その溶液の塩濃度と希釈水量から各サンプルに含まれる塩量を計算する。
- 6) 析出塩下の土壤の炉乾燥後質量から塩量を差し引くことで土量を求め、土壤盤法と同様にして土量、充填密度および水量より θ を求める。
- 7) 湿潤土壤では、析出塩および析出塩に付着した土壤中の水は飽和塩濃度であると仮定し、各々に含まれる塩量の合計(付着塩量)を計算する^[15]。乾燥土壤では、析出塩に付着した土壤と析出塩下の土壤の土量当りの塩量は等しいと仮定し、析出塩に付着した土壤の塩量を付着塩量として計算する。
- 8) 3)のサンプルの塩量から付着塩量を差し引くことで $M_{crystal}$ を計算する。

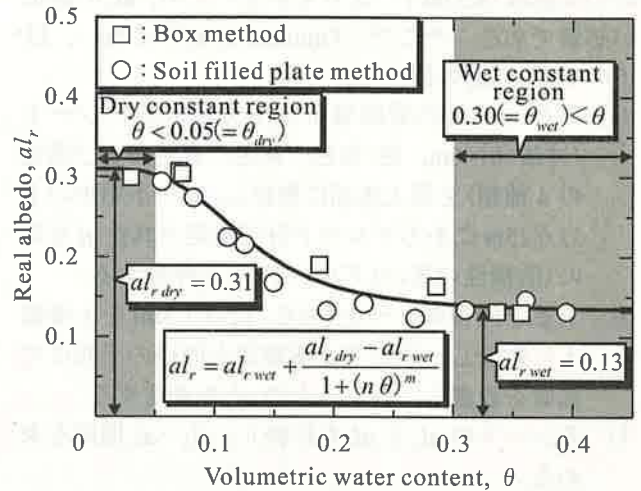


図4 真のアルベドと体積含水率の関係

- 9) $al_a - al_r$ 関係より al_r を求め、 $al_r - M_{crystal}$ 関係を求める。

なお、本論文中の θ および $M_{crystal}$ の値は3箇所のサンプルの平均値とした。

3. 実験結果および考察

3.1 見かけのアルベドと真のアルベドの関係

図3はボックス法(□)および土壤盤法(○)によって得られた $al_a - al_r$ 関係を示す。ボックス法および土壤盤法の $al_a - al_r$ 関係は、以下の式(1)および式(2)によりそれぞれ表される。

$$\text{ボックス法: } al_r = 0.92al_a - 0.10 \quad (1)$$

$$\text{土壤盤法: } al_r = 1.06al_a - 0.04 \quad (2)$$

式(1)、式(2)ともに線形であり、土壤盤法の al_a は概ね al_r と一致しているが、ボックス法の al_a は al_r を過大評価する。これは主に鏡の al が実際には1より小さいにも関わらず、 $al=1$ と仮定していることに起因する。なお、式(1)に $al_a=1$ を代入して鏡の al_r を推定した結果、0.82となった。また、式(1)により得られた各シートの al_r と土壤盤法により得られた al_r を比較した結果、その平均誤差は約4%であった。

3.2 アルベドと体積含水率の関係

図4は塩を含まない(淡水を用いた)チャオソイルに対するボックス法(□)および土壤盤法(○)によって得られた $al_r - \theta$ 関係を示す。ボックス法および土壤盤法の実験結果は概ね一致しており、 $al_r - \theta$ 関係は、以下の式により表される。

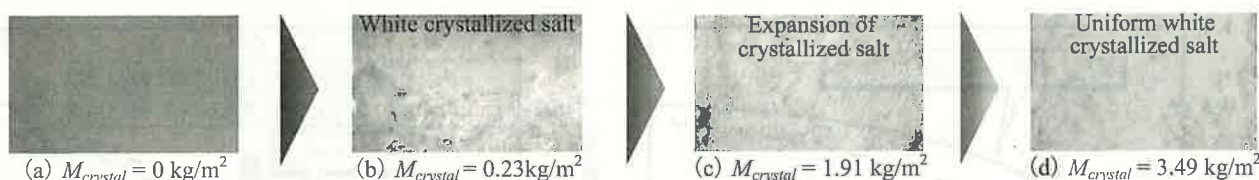


図5 乾燥土壌上の析出塩の成長

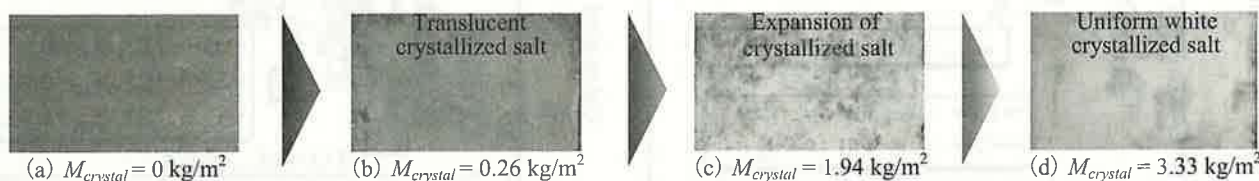


図6 湿潤土壌上の析出塩の成長

$$\left\{ \begin{array}{l} = al_{r\ dry} \quad (\theta < \theta_{dry}) \quad (3) \\ al_r = al_{r\ wet} + \frac{al_{r\ dry} - al_{r\ wet}}{1 + (n\ \theta)^m} \quad (\theta_{dry} \leq \theta \leq \theta_{wet}) \quad (4) \\ = al_{r\ wet} \quad (\theta_{wet} < \theta) \quad (5) \end{array} \right.$$

ここに、 al_r および θ の添え字 *dry* および *wet* は、2.2 で述べた乾燥土壌および湿潤土壌をそれぞれ意味する。なお式中、 $al_{r\ dry} = 0.31$ 、 $al_{r\ wet} = 0.13$ 、 $\theta_{dry} = 0.05$ 、 $\theta_{wet} = 0.30$ 、 $n = 7.87$ および $m = 3.49$ である。

式(3)～式(5)に示すように、 $al_r - \theta$ 関係は3つの領域に分類される。すなわち、式(3)のように(I)乾燥によって al_r が一定値を示す領域、式(4)のように(II) al_r が θ の増大に伴い減少する領域、式(5)のように(III)十分な湿潤によって al_r が一定値を示す領域である。なお、(I)を乾燥一定域、(II)を遷移域、(III)を湿潤一定域、とそれぞれ呼称する。

また、他の土壌での $al_r - \theta$ 関係においても、同様に3領域に分類されることが認められている^{[8]~[10]}。

3.3 アルベドと析出塩量の関係

図5および図6は、 $M_{crystal}$ の増加に伴う乾燥土壌および湿潤土壌上の析出塩の成長過程をそれぞれ示す。両土壌ともに、 $M_{crystal}$ が少ない場合は析出塩が地表に斑点状に現れ、白色化が進行した(図5(b)および図6(b)を参照)。その後、 $M_{crystal}$ が増加するにつれて、析出塩は地表全体を覆う堅固な析出塩層を形成し(図5(c)および図6(c)を参照)、さらに析出塩の層厚が増すと、一様な白色状態となった(図5(d)および図6(d)を参照)。

上述のように、乾燥土壌および湿潤土壌に依らず、 $M_{crystal}$ の増加に伴い地表の白色化は進行するが、その過程において顕著な差異が観られた。写真では判別し難いが、乾燥土壌の析出塩は $M_{crystal}$ に無関係に白色であったのに対し、湿潤土壌の析出塩は $M_{crystal}$ が少ない場合、図6(b)および(c)に示すように、白色半透明であった。そのため、図6(b)および(c)は図5(b)

および(c)に比べて濃色となる。その後、析出塩層が厚くなるに従い、図6(d)のように透明性が消えて白色化が鮮明となり、図5(d)と比較して色彩の違いは殆ど観られなくなった。これは初期の湿潤土壌においては、析出塩が土壌水と付着することにより半透明化した為である。一方、析出塩層が厚くなるにつれて、土壌水と析出塩が付着し難くなるため、上述の透明化が生じなくなったと推察できる。

図7はボックス法によって求められた乾燥土壌および湿潤土壌の $al_r - M_{crystal}$ 関係を示す。両土壌ともに $M_{crystal}$ の増加に伴い al_r は非線形的に増加した。両土壌の $al_r - M_{crystal}$ 関係は、以下の式(6)および式(7)によりそれぞれ表される。

$$\text{乾燥土壌: } al_{r\ dry} = 0.83 - 0.52e^{-0.39M_{crystal}} \quad (6)$$

$$\text{湿潤土壌: } al_{r\ wet} = 0.81 - 0.68e^{-0.33M_{crystal}} \quad (7)$$

ここに、 e は自然対数の底を意味する。

$M_{crystal} = 0$ における $al_{r\ dry}$ と $al_{r\ wet}$ の差は0.18であったが、 $M_{crystal}$ の増加に伴いその差は小さくなった。これより、 $M_{crystal}$ の増加に伴い θ が al_r に及ぼす影響は小さくなり、 $al_{r\ dry}$ および $al_{r\ wet}$ は概ね0.8に漸近すると推測される。

4. アルベド予測モデル

上述のように、 $M_{crystal}$ の増加(析出塩の層厚が増す)に伴い $al_r - \theta$ 関係は変化すると予想される。そこで、任意の θ および $M_{crystal}$ に対する al_r を予測するモデル(アルベド予測モデル)は以下の3つのシナリオ(S1, S2 および S3)に基づいて構築される。

(S1) 図7より $M_{crystal}$ の増加に伴い $al_{r\ dry} = al_{r\ wet}$ になることが予想される。そこで、 al_r は θ に依存せず、

$$al_r = al_{r\ dry} \quad (8)$$

に従うとする。ここで、 $al_{r\ dry}$ は式(6)で与えられる。

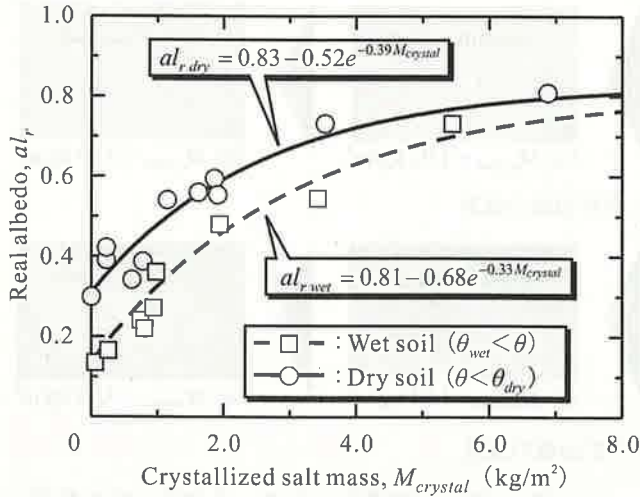


図7 アルbedoと析出塩量の関係

(S2) 遷移域の $al_r - \theta$ 関係は $M_{crystal}$ に依らず式(4)に従い、 θ の適用範囲も変わらないとする。なお、式(4)中の $al_{r,dry}$ および $al_{r,wet}$ は式(6)および式(7)で与えられる。

(S3) S1 と S2 の中間として、遷移域の $al_r - \theta$ 関係は $al_{r,dry}$ 、 $al_{r,wet}$ 、 θ_{dry} および θ_{wet} を用いた線形比例関係で与えられるとする。すなわち、 $(al_{r,dry} - al_r) : (al_{r,dry} - al_{r,wet}) = (\theta - \theta_{dry}) : (\theta_{wet} - \theta_{dry})$ (9)

al_r は式(9)を変形して、次式となる。

$$al_r = al_{r,dry} - (al_{r,dry} - al_{r,wet}) \left(\frac{\theta - \theta_{dry}}{\theta_{wet} - \theta_{dry}} \right) \quad (10)$$

ここに、式(10)中の $al_{r,dry}$ および $al_{r,wet}$ は S2 と同様に、式(6)および式(7)で与えられ、 θ_{dry} および θ_{wet} も $M_{crystal}$ の値に関わらず、変化しないとする。

図8は S1, S2 および S3 のシナリオに従って計算された遷移域の $al_r (= al_{r,cal})$ と実験値 ($= al_{r,obs}$) の比較を示す。各シナリオの精度は θ および $M_{crystal}$ に依存するため、図中に全データ(A~F)の両値を記載する。S1の $al_{r,cal}$ (□)は θ の増大に伴う al_r の低下が考慮されていないため、 $al_{r,obs}$ を過大評価する。また、S2の $al_{r,cal}$ (△)は $al_{r,obs}$ が大きくなるに従って、過小評価となる。これは $M_{crystal}$ が増大、すなわち析出塩の層厚が増すと、土壤水による析出塩の透明性が薄れ、 θ の増大に伴う al_r の低下が図4の分布ほど顕著にならないためと推察される。同様の傾向が S3 の $al_{r,cal}$ (○)に認められるが、S3は S2 に比して θ の増大に伴う al_r の低下が緩やかなため、S3の $al_{r,cal}$ は S2 のそれよりも全体的に $al_{r,obs}$ に近づいた。

S1, S2 および S3 (式(8)、式(4)および式(10))の精度は、図中に示すそれぞれの回帰直線(一点鎖線、

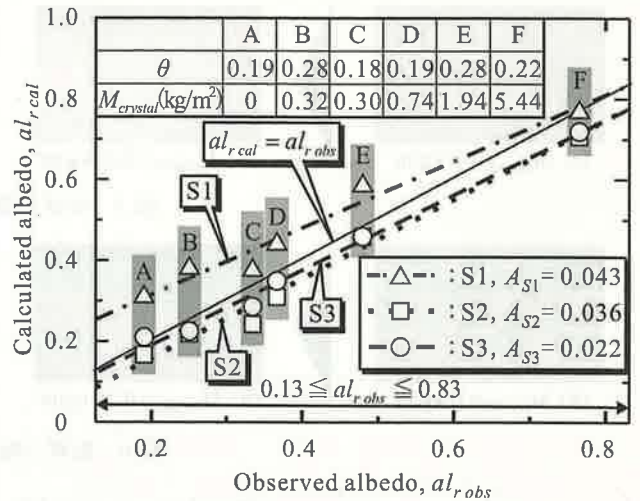


図8 3つのアルbedo予測モデルの精度比較

点線および破線)と $al_{r,cal} = al_{r,obs}$ (実線)で囲まれた面積 A_{S1} , A_{S2} および A_{S3} で評価した(ただし、 $0.13 \leq al_{r,obs} \leq 0.83$ とする)。結果は図中に示すように、 $A_{S1} = 0.043$ 、 $A_{S2} = 0.036$ および $A_{S3} = 0.022$ となり、計算による $al_{r,obs}$ の再現性は S3, S2, S1 の順に向上した。

5. おわりに

本研究では、土壤盤法よりも小規模かつ簡易にアルbedoを測定できるボックス法を提案するとともに、土壤の体積含水率および地表の析出塩量を考慮したアルbedo予測モデルの構築を試みた。

その結果を以下に列挙する。

- (1) 真のアルbedoに対するボックス法のアルbedo測定誤差は4%であり、ボックス法はアルbedo測定に有効である。
- (2) 塩の析出が発生しない場合、チャオソイルのアルbedoと体積含水率の関係は、アルbedoが体積含水率に依存せず、一定値を示す(I)乾燥一定域および(II)湿潤一定域、および(III)体積含水率の増大とともにアルbedoが減少する遷移域の3つに区分される。
- (3) 乾燥土壤の析出塩は析出塩量に無関係に白色だったが、湿潤土壤では析出塩量が少ない場合は白色半透明であり、析出塩量が増加するにつれて白色化する。
- (4) 乾燥土壤と湿潤土壤のアルbedo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。
- (5) 本研究で提案した3つのアルbedo予測モデル(式(4)、式(8)および式(10))の中では、式(10)の計算精度が最も高いことが分かった。

参考文献

- [1] 佐藤文彦：中国の塩害・乾燥地視察報告—河北省の塩類集積土壌を見学して—, 植物の成長調節, Vol. 38, No. 1, pp. 139-141, 2003.
- [2] Thirapong, P., 飯塚敦, 河井克之: タイ東北部の塩害調査と「ジグソー・ピース作戦」, 土と基礎, Vol. 55, No. 3, pp. 22-24, 2007.
- [3] 山本晴彦, 岩谷潔, 鈴木賢士, 早川誠而, 鈴木義則: 1999年台風18号による九州・山口地方の農業災害の概要と水稲塩害の実態, 日本作物学会記事, Vol. 69, No. 3, pp. 424-430, 2000.
- [4] Letey, J., Hoffman, G. J., Hopmans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D., Corwind, D. L., Oster, J. D., Wu, L., Amrhein, C.: Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines, Agricultural Water Management, Vol. 98, pp. 502-506, 2011.
- [5] 何超, 福原輝幸, 高野保英: 浅い地下水位をもつ地下水と散水浸透水との連結および蒸発に伴う塩集積, 水文・水資源学会誌, Vol. 18, No. 3, pp. 221-232, 2005.
- [6] Blyth, E. M., Evans, J. G., Finch, J. W., Bantges, R., Harding, R. J.: Spatial variability of the English agricultural landscape and its effect on evaporation, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 138, pp. 19-28, 2006.
- [7] Farifteh, J., Van der Meer, F., Van der Meijde, M., Atzberger, C.: Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment, Geoderma, Vol. 145, pp. 196-206, 2008.
- [8] Idso, S. B., Jackson, R. D., Reginato, R. J., Kimball, B. A., Nakayama, F. S.: The dependence of bare soil albedo on soil water content, Journal of Applied Meteorology, Vol. 14, pp. 109-113, 1975.
- [9] Gu, S., Otsuki, K., Kamichika, M.: Albedo characteristics of Tottori sand dune, Journal of Agricultural Meteorology, Vol. 56 pp. 217-225, 2000.
- [10] Fujimaki, H., Shiozawa, S., Inoue, M.: Effect of salty crust on soil albedo, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 118, pp. 125-135, 2003.
- [11] Matthias, A. D., Fimbres, A., Sano, E. E., Post, D. F., Accioly, L., Batchily, A. K., Ferreira, L. G.: Surface roughness effects on soil albedo, Soil Science Society of America Journal, Vol. 64; pp. 1035-1041, 2000.
- [12] 藤田剛志, 寺崎寛章, 齊田光, 福原輝幸: 不飽和チャオソイルの分光特性を利用したアルベド測定, 土木学会第64回年次学術講演概要集, III-166, pp. 331-332, 2009.
- [13] 牛山素行編: 身近な気象・気候調査の基礎, pp. 115-116, 古今書院, 2000.
- [14] 建築学大系編集委員編: 建築学大系22 室内環境計画, pp. 206-207, 彰国社, 1957.
- [15] 寺崎寛章, 福原輝幸, 竹嶋大貴: 析出塩直接測定法による飽和チャオソイルの塩析出特性, 水工学論文集, Vol. 53, pp. 511-516, 2009.

