

# 土壌の物理性

Journal of the Japanese Society of Soil Physics

第 118 号

2011 年 7 月



土壌物理学会

Japanese Society of Soil Physics

# 土壌の物理性

第 118 号 2011 年 7 月

## 目 次

---

### 巻頭言

波多野隆介 ... 1

### 論 文

Impacts of soil slaking and drying on release and retention of cations during  
desalinization from saline soil

A.H.Md. SHAMIM and T. AKAE ... 3

### 研究ノート

熱水土壌消毒時におけるサーモグラフィーを用いた地表面温度分布の評価

落合博之・登尾浩助・太田和宏・北浦健生・北 宜裕・加藤 高寛 ... 13

植生下における田面水の対流を誘発する要因について

花山 奨・安中武幸 ... 19

### 土粒子

北の国から 2011 春

塚本康貴 ... 25

会務報告 ..... 27

編集後記 ..... 29

---

### 表紙写真の説明

児島湾干拓地下層土の初期含水比を 30% にした試料（左）と、40% にした試料（右）のスレーキングの状況。最適スレーキング含水比の 30% ではもっとも土壌から  $\text{Na}^+$  が放出され、土壌からの除塩を効果的にこなうことができる。今号掲載の論文「Impacts of soil slaking and drying on release and retention of cations during desalinization from saline soil」をご参照ください。

## 第9回（2011年度） 土壤物理学会賞候補の推薦（公募）

土壤物理学会では、下記の要領で学会賞候補（推薦）を公募いたします。

### 記

学会賞種類：論文賞

対象論文：2010（平成22）年度に「土壤の物理性」（第115, 116, 117号）に掲載された論文  
（original paper）

推薦期限：2011（平成23）年7月29日（金）、消印有効

推薦書様式：推薦書一部に必要事項をご記入いただき、下記事務局までお送り下さい。  
推薦書の様式は下記 URL からダウンロードして下さい。

表彰：2011（平成23）年10月

書類送付先：

〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学大学院農学研究院内  
土壤物理学会 学会賞選考委員会 事務局 柏木淳一 宛

問い合わせ先：

土壤物理学会事務局庶務幹事 柏木淳一

E-mail：spsyomu@ml.affrc.go.jp

TEL：011-706-3641 FAX：011-706-2494

学会ホームページ：<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/>

学会賞候補の推薦に当たっては、「学会賞規程」「学会賞選考委員会規程」（本誌巻末に掲載）をご確認下さい。

# 2011 年度土壌物理学会大会（ご案内）

期日：2011 年 10 月 28 日（金）

場所：北海道大学大学院農学研究院

参加費：2,000 円（講演要旨集代）

## 1. 第 53 回シンポジウム

「フィールド科学としての土壌物理学と社会への貢献」

**Soil Physics as a field science and its role to our society**

土壌物理学は、土壌中の物質やエネルギーの動態、さらには大気や地質領域との交換現象について、土壌に生息する動植物との関連性を考慮して研究する学問であり、フィールド科学の一つである。フィールドを対象とした研究で得た知見や成果は、フィールドに返し、そこで生じている様々な問題の解決に実際に役立てることが土壌物理学には求められる。これまでの膨大な土壌物理学研究で得られたデータ、測定手法、解析法、それらに基づき開発された技術などの研究成果は、食料生産だけでなく近年の環境問題の解決に対し、どのように役立てられ、どの程度貢献してきたのだろうか。また、今後はどのような貢献が求められ、そのためにはどんな研究や活動が必要なのだろうか。本シンポジウムでは、日本の土壌物理研究の歴史を振り返るとともに、食料生産の維持・向上、地域環境の保全に対して土壌物理学が果たしてきた具体的な貢献事例を紹介し、あわせて社会貢献の観点から今後の研究の展開方向を論議する。

### 1) 日本の土壌物理研究の歴史を振り返る

長谷川周一（北海道大学名誉教授）

### 2) 畑土壌における排水性改善技術

北川 巖（農村工学研究所）

### 3) 泥炭地の土地利用と保全

井上 京（北海道大学大学院農学研究院）

### 4) 地下水の硝酸汚染防止のための窒素環境容量

中辻 敏朗（北海道立総合研究機構）

### 5) 水田および浅層地下水中の脱窒による環境浄化

江口 定夫（農業環境技術研究所）

## 2. ポスター・セッション

### 「土壌物理研究の最前線 Challenges of Soil Physics」

個人会員が土壌物理に関する最新、最先端の研究成果をポスター・セッション形式で発表するプログラムです。皆様の積極的な参加を歓迎いたします。発表様式などの詳細については、学会ホームページをご覧ください。

## 3. 企業展示

土壌の状態と変化を計測する技術の開発は、土壌物理学が貢献すべきテーマの一つです。そこで、土壌物理学会に協賛頂いている企業の方々、あるいは関係企業の方々に参加を呼びかけ、最新の計測機器やセンサなどを紹介して頂き、理論と実際の間を埋めるような土壌物理の計測技術に関する情報交換の場を提供致します。

## 4. 情報交換会

詳細については学会ホームページをご覧ください。

## 5. 参加・発表申し込み方法

詳細については学会ホームページをご覧ください。

## 問い合わせ先

土壌物理学会事務局庶務幹事 柏木淳一  
〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目  
北海道大学大学院農学研究院 土壌保全学研究室  
E-mail : [spsyomu@ml.affrc.go.jp](mailto:spsyomu@ml.affrc.go.jp)  
TEL : 011-706-3641 FAX : 011-706-2494

学会ホームページ : <http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/>

## 「土壌の物理性」 読者氏名の公表とご協力へのお礼

土壌物理学会編集委員会

学会誌「土壌の物理性」は、1959年（昭和34年）の創刊以来、今号で118号を迎えます。「土壌の物理性」の編集・発行に際しては、とりわけ読者の方に多大なご協力を頂いています。

土壌物理学会編集委員会では、読者への謝意を表すべく、ここに2009～2010年度（平成21～22年度）に閲読をお引き頂いた方の氏名を公表（五十音順・敬称略）致します。

今後とも、編集業務へのご支援、ご協力を賜りますよう、お願い申し上げます。

赤江 剛夫	足立 忠司	飯山 一平	石黒 宗秀
井上 光弘	岩田 幸良	大淵 清志	小倉 力
長利 洋	亀山 幸司	川本 治	川本 健
北川 巖	木原 康孝	小松 満	近藤 文義
斎藤 広隆	坂井 勝	鈴木 伸治	高松利恵子
長 裕幸	筑紫 二郎	辻 修	取出 伸夫
中野 恵子	中村 公人	西田 和弘	西村 拓
登尾 浩助	濱田 浩正	濱本昌一郎	原口 暢朗
日笠 裕治	藤川 智紀	藤卷 晴行	前田 守弘
溝口 勝	三石 正一	宮本 輝仁	宮本 英揮
武藤 由子	望月 秀俊	諸泉 利嗣	矢内 純太
弓削こずえ	吉川 省子	渡辺 晋生	

注) 投稿原稿と依頼原稿「シンポジウム紹介」を対象とする。但し、「土粒子」「書評」およびシンポジウム総合討論の紹介原稿は除く。



## 会長就任にあたって

波多野隆介<sup>1</sup>

土壤物理学会は、地球陸地の表面近くにある土壤における、水、エネルギー、物質の移動・変換・貯留、および大気、地下水との交換現象について、土壤に生息する植物、微生物、動物の活動との関係を含めて研究対象としている学会です。

土壤は、岩石の風化に始まり生物の活動により地表面に生成した唯一地球に存在する自然物です。その生成過程は、気候（化学反応や生物の活性に影響を与える水、温度、光）、生物（有機物を生産して土壤から養分を吸収し、また遺体を土壤表面に還す植物の活動、植物遺体を分解し養分を再循環させたり、大気の不活性ガスである窒素ガスを固定したりする土壤微生物の活動、落ち葉を粉碎したり地中に有機物を持ち込んで地中の鉱物と化合させたりするミミズなどの活動）、地形（標高により温度が違ったり、斜面の向きにより日当たりが異なったり、窪地には水たまりができたりして、気候条件を変えたり、生物の生育に影響する）、母材（岩石、堆積物、植物遺体など土の基になる材料）に影響を受け、ながい時間をかけてゆっくりと進行しています。

例えば、年間の長い間を氷に覆われる土地では、表面から2 m以内に氷塊をもつ永久凍土となります。大規模な窪地には水が停滞し、泥炭地が形成されます。年間半分以上も植物が育たないほど降水量が少ないと塩類土壤ができます。このように、土壤はその土地の条件に規定されて存在しています。一方で土壤はその土地で植物を育み、食物連鎖の起点になっています。そこへ、私達が間違えた管理をしたら、あるいは気候が変化したら、その土地固有の土壤の発達と、その発達に伴う土壤を起点にした食物連鎖は壊れてしまうことは容易に想像がつかます。例えば、温暖化したら、氷はとけてしまい、水浸しになりそれまで育っていた植物は水没して死んでしまうでしょう。泥炭地を排水すれば、泥炭を作っている有機物は分解してCO<sub>2</sub>を出し温暖化を促進するでしょう。塩類土壤に水を撒くのはどうでしょうか？一見よさそうに見えますが、水は液体で動く塩を溶かして移動させます。水を撒くと、液体水が増えて、植物の水吸収により根の周りに塩が集まってきて、しばらくたつと、塩類濃度は植物が生育できないほど高まってしまいます。土壤の管理は、なかなか難しいことがわかります。

このような土地固有の土壤中における水、エネルギー、物質の移動・変換・貯留を計測し、生物活動との関係を解析することは、生態系を保全し、食料生産を維持し、持続可能な社会を構築するために欠かせないことが判ります。本学会は計測方法の開発、解析ツールとしての数値モデルの開発も研究し、広く陸域生態系の保全と利用に貢献することを目指しています。

歴史を振り返りますと、土壤物理学会は、土壤肥料学会、農業土木学会の研究者を中心に、1958年に土壤物理研究会として発足しました。発足以来、雑誌「土壤の物理性」を年2、3回発行し、現在117号に至っています。この「土壤の物理性」という用語から、土の重さや、手触り、水持ち、色といった物性しか連想しないかもしれませんが、しかし、この物性は、土壤中のダイナミックな反応、あるいは土壤そのものがどのように作られ、どのような方向に変わっていくとしているのかの一断面を見せてくれている土壤の大切な性質なのです。また、かつて我が国の食料生産の安定のために、土壤物理研究会監修で「土壤の物理性と植物生育」、「土壤物理性測定法」を出版し、また、近年では教育への貢献として「土壤物理用語辞典」が出版されています。さらに、土壤物理学に係る教科書のほとんどすべては、本学会員の研究者により執筆されてきました。

気候変動の抑制が叫ばれる中、土壤物理学の知識は益々重要となっています。皆様のご貢献により、さらに土壤物理学の知識の充実が図られることを期待しております。

<sup>1</sup> 北海道大学大学院農学研究院

# Impacts of soil slaking and drying on release and retention of cations during desalinization from saline soil

Abul Hasnat Md. SHAMIM<sup>1,2</sup> and Takeo AKAE<sup>1</sup>

**Abstract:** The mechanism of soil slaking is the breaking of soil aggregates by entry of water which is accompanied by salt releasing process when the soil contains salt. The objective of this paper is to describe the impacts of soil drying and slaking on cations release to outer solution and shift of cations during desalinization under different initial water contents (IWC). A slaking test on natural and air-dried soils was carried out for evaluating the effect of slaking in different IWC (60, 50, 40, 30, 20 and 10 % by weight). After 24 hours immersion in water, Na was predominantly released in every case both of the natural and air-dried soils. At the water content of 30 % that is around optimum slaking water content, maximum Na was released and at the water content of minimum slaking rate the release of Na was lowest. However, too dry condition (10 % water content) did not contribute to release Na more. On the other hand, we did not find any special relationship between the IWC and release of other cations like Ca, Mg and K in outer solution. Most of the  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  stay in exchange site (60 to 80 %) in soil and little amounts of them came out in outer solution. Water-soluble cations in slaked and unslaked soils followed the order of  $\text{Na} \gg \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$  whereas, the amount of exchangeable state cations followed  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ . As a whole, the proportion of Na released in outer solution of natural soil was greater than that of air-dried soils. The results indicate that the water content for optimum slaking and the slower slaking rate is more efficient for desalinizing of Na from the saline soil.

**Key Words :** soil slaking, soil water content, cations release, desalinization, exchangeable state

## 1. Introduction

Salinity within irrigated soils clearly limits productivity in vast areas of Japan and other parts of the world. Soil degradation caused by salinization and sodification is of great concern in the modern world because it reduces potential agricultural lands (Tanji, 1990; Sadiq et al., 2007).

Although salinity has adversely affected agriculture for thousands of years, the recognition that salt-affected land

can be used for agriculture is relatively recent. Interest in the use of saline land resources has escalated over the last 20 years, with a renewed focus on saline agriculture in a range of countries including Pakistan (Qureshi and Barrett-Lennard, 1998), Australia (Barrett-Lennard and Malcolm, 1995; Marcar et al., 1995; Bennetta et al., 2009), the Middle East and North Africa (ICBA, 2006). In humid areas like Japan, residual salt in polder soil and salt in ground water affected by sea water intrusion can cause salt accumulation and damage crop growth, in particular, on polders and low land areas along sea coasts.

In reclaiming those saline soils to find out the effective (an efficient and low cost) method is required. Soil slaking is the process of soil aggregates collapse when they are rewetted after drying. The slaking has long been studied from the stand point of stability of aggregates. However, it has not been studied from that of salt removal. Drying followed by rewetting and slaking is commonly found in a natural soil processes. During the process, salt in the soil moves and accumulates to inner and outer surface of soil blocks and released to outer solution. But the details of cation shifting are not well understood. Akae et al. (2003) had also reported that slaking is the salt releasing process and salt concentration was decreased from shallow layer to the deeper layer accompanied with land drying processes. Note that breakdown of soil aggregates results in collapse of pores, which reduces infiltration rate, leads to runoff and erosion, and may, subsequently cause soil degradation.

Our previous research successfully identified the optimum water content for slaking of a studied soil and salt release from soil blocks (Shamim and Akae, 2010). The optimum soil slaking occurred when the gravimetric water content was around 30 % equivalent to pF 4.25 (1800 kPa). It is close to the shrinkage limit (31.8 %) which is the critical water content for air-entry of this soil. The results revealed that the maximum salt is released at the soil water content of maximum slaking. In addition, the amount of salt released into equilibrium water after 24 hours immersion was proportional to the fraction of slaked soils (slaking rate). Here, we hypothesize that desalinization may be enhanced by simply putting the soil at the proper soil water content by land drying practice or by rewetting.

In this study, the amount of Na in the outer solution

<sup>1</sup> The Graduate School of Environmental Science, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan. Corresponding author: Abul Hasnat Md. Shamim

<sup>2</sup> School of Agriculture and Rural Development, Bangladesh Open University, Gazipur-1705, Bangladesh.

2010年6月29日受理 2011年2月23日受理  
土壤の物理性 118号, 3-11 (2011)



**Table 1** Fundamental properties of Kojima Bay Polder (paddy field; depth: 50 – 70 cm).

Properties	Unit	
Texture	Silty clay	
Clay	38.2	%
Silt	50.4	%
Sand	11.4	%
Soil pH	7.5	
(Soil : Water = 1 : 2.5)		
Hardness	3.83	mm
Particle density	2.51	$\text{g cm}^{-3}$
Plastic limit	39.5	%
Liquid limit	72.9	%
Electrical Conductivity	2.92	$\text{dS m}^{-1}$
(Soil : Water = 1 : 2.5)		
Exchangeable ions (Bolt et al., 1976)		
Sodium	19.6	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Potassium	3.26	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Calcium	7.72	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Magnesium	10.7	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Water-soluble ions (Soil : Water= 1 : 5 by weight)		
Sodium	8.45	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Potassium	0.74	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Calcium	0.28	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$
Magnesium	1.26	$\text{c mol}_c \text{ kg}^{-1}$

surrounding the slaked soil blocks was mainly discussed, which is an exact measure of Na exclusion from the soil block. In addition, sites and states (exchangeable sites and soluble salts) of cations in soil were examined.

## 2. Material and methods

### 2.1 Sample collection and analysis method

The soil was collected from the depth of 50 to 70 cm (salinized layer) of Kojima Bay Polder (paddy field: 34°32'15.1" N and 133°55'37.0" E), located in Okayama prefecture in western Japan. The soil is classified to Ochric Gley Sols and the land use is rice cultivation. The clay minerals of the soil are composed of mainly halloysite-illite intermediate, nontronite and montmorillonite accompanied with quartz, feldspars, chlorite and free sesquioxides (Kawaguchi et al., 1957). The disturbed soil samples were air-dried and mixed with distilled water at the ratio of 1 : 5 by weight. Then the supernatant water was taken and  $\text{EC}_{1:5}$  were measured using a portable electrical conductivity meter (B-173; Horiba Ltd.). The soil pH was measured in a 1 : 2.5 (Soil : Water by weight) suspension using a portable pH meter (B-212; Horiba Ltd.).

Soluble cation concentrations were measured using an atomic absorption spectrophotometer (AAS; Z 5300; Hitachi Ltd.) in the supernatant water after centrifuging the natural soil. Insoluble salts and exchangeable cations were extracted using ammonium acetate. The 1.0 g of the

disturbed air-dried soil was mixed with 200 ml solution (0.0114 M  $\text{SnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and 1 N  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) then the mixture was shaken for 1.5 hours. After settling and centrifuging, the cations in the supernatant were analyzed by the AAS. Finally, we subtracted the amount of free ions from that of the total ions to obtain true amount of exchangeable cations (Bolt et al., 1976). Fundamental physical properties of soils; particle size distribution, soil density, hardness, Atterberg Limits were measured by the standard methods of the Japanese Geotechnical Society (The Japanese Geotechnical Society, 2000).

### 2.2 Fundamental properties of the studied soil

Fundamental properties of the studied soils are given in Table 1. The studied soil showed a silty clay texture (clay 38.2, silt 50.4 and sand 11.4 %); the pH and  $\text{EC}_{1:5}$  were 7.5 and  $2.92 \text{ dS m}^{-1}$ , respectively. The soil has relatively higher liquid limit of 72.9 %. Both the water-soluble ( $8.45 \text{ c mol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) and exchangeable ion Na ( $19.6 \text{ c mol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) of the natural soil were higher than that of other ions like K, Ca and Mg (Table 1). The mass basis natural water content of the studied soil was 94.9 %.

### 2.3 Preparation of soil sample for slaking test

The flow chart for slaking test is given in Fig. 1. The slaking test was conducted at the Agricultural Land Research Laboratory, Graduate School of Environmental Science, Okayama University, Japan during February, 2009 following basically to Experimental Guide of Physical-Mechanical Properties of Soil (The Editing Committee of Experimental Guide of Physical-Mechanical Properties of Soil, JSIDRE, 1983). The natural soil was separated into two batches, one batch was air-dried and another was not dried (natural). Each batch of soil was mixed thoroughly and the air-dried batch was re-saturated. The soils were packed into stainless steel cylinders (2.5 cm height and 5 cm diameter) by pushing them into the soil. The specimens were kept in a desiccator at 30 °C for drying treatment to attain different initial soil water contents of 60, 50, 40, 30, 20 and 10 % by weight. The weight of each specimen was monitored carefully until the desired water contents. The each water content treatment was replicated thrice. After completing water content adjustment the soil specimens were sealed and kept in a refrigerator.

Lastly, the each soil specimen was placed on the 4.75 mm sieve and immersed into tap water ( $\text{EC}$ :  $0.112 \text{ dS m}^{-1}$ , volume:  $9080 \text{ cm}^3$ ) for slaking test. After 24 hours immersion in the water the slaked (fell down through the sieve) and unslaked (remained on the sieve) soils were collected and weighted separately. The cations in the extract solution (Soil : Water = 1 : 5) from the slaked and the unslaked soils were measured by AAS. The exchangeable cations of the slaked and unslaked soils were also measured by the same method described previously.

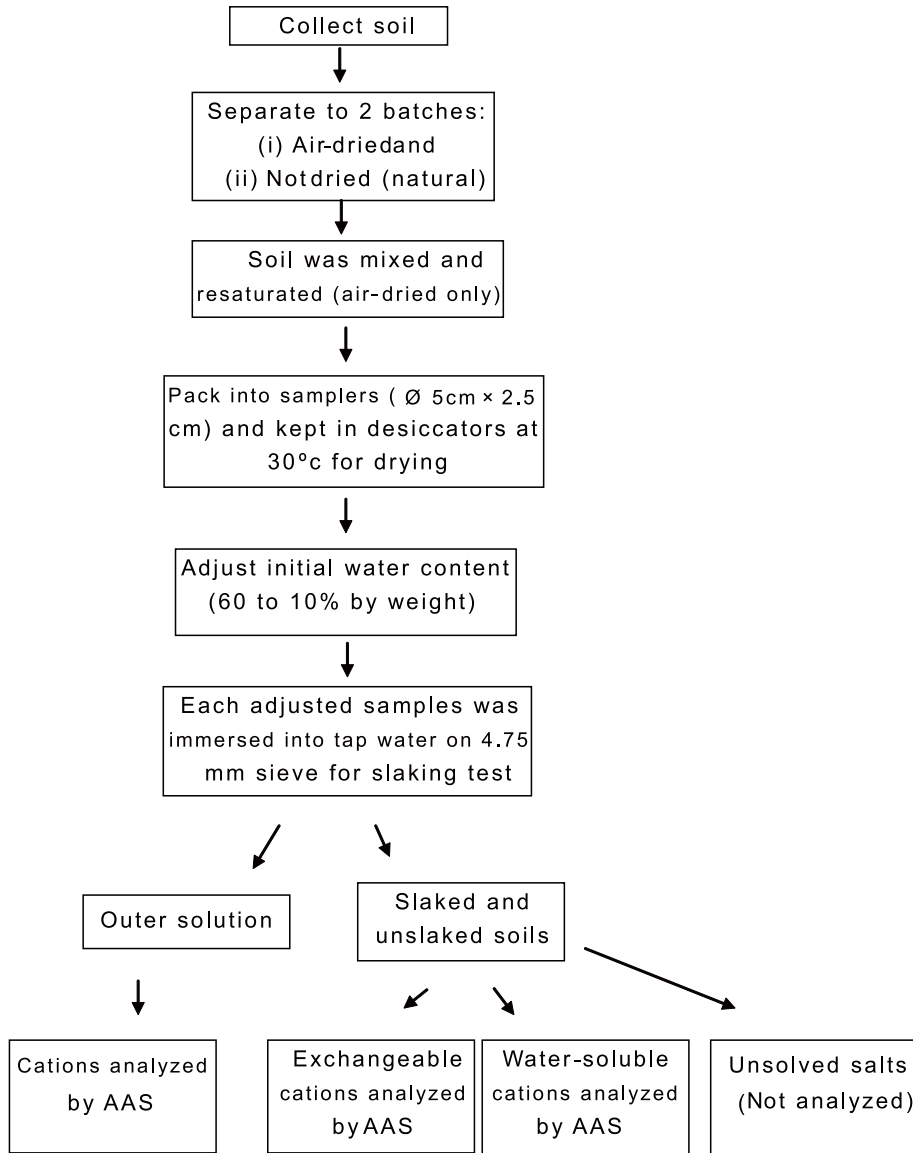


Fig. 1 Flow chart for slaking test.

#### 2.4 Calculation of slaking rate of soil

The slaking rate,  $SR$  (%) was calculated by using the following equation;

$$SR(\%) = s / (s + u) \times 100 \quad (1)$$

Where  $s$  represents the weight of the slaked soil and  $u$  indicates the weight of the unslaked soil.

#### 2.5 Calculation of cations in solution and soil

The salt released into outer solution ( $M_i$ ) was calculated by the following equation;

$$M_i = C_i \times V_w \quad (2)$$

Where  $C_i$  is concentration of the cations;  $V_w$  refers to the volume of the outer solution of the slaking test.

As the cation concentrations were measured on 1 : 5 solution ( $C_{1:5}$ ), the amount of a cation in the slaked soil,  $M_s$  is given by equation (3),

$$M_s = (C_{s1:5} \times 5 \times W_s) / \rho_w \quad (3)$$

Where  $W_s$  represents the weight of soil;  $\rho_w$  is the density of the water. Similarly, cation in the unslaked soil,  $M_u$  is given by equation (4);

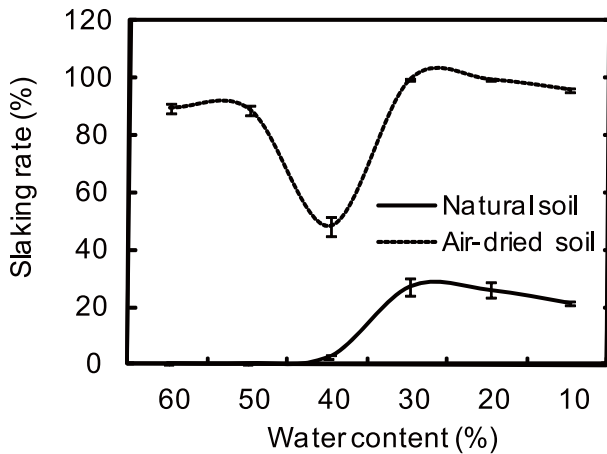
$$M_u = (C_{u1:5} \times 5 \times W_s) / \rho_w \quad (4)$$

The total cation remains in the soil,  $M_t$ , is given by sum of  $M_s$  and  $M_u$ .

$$M_t = M_s + M_u \quad (5)$$

Letting the amount of released Na in the outer solution as  $R_{Na}$ , then desalination rate of Na ion on soluble salt,  $DR$ , is defined by equation (6).

$$DR(\%) = R_{Na} / (R_{Na} + M_{t,Na}) \times 100 \quad (6)$$



**Fig. 2** Dependence of slaking rate against initial water contents after 24 hours immersion in water. Vertical bar indicates  $\pm$  SE of three replicates.

Where  $DR$  is the fraction of Na released into the outer solution divided by the sum of Na in outer solution, water-soluble Na in the slaked and the unslaked soils. It is noted that this  $DR$  does not include the exchangeable Na in the soil, nor the confined salt.

### 3. Results and discussion

For discussing the displacement of cations from a site to site, we specified the sites into four categories (phases): (1) free cations in outer solution, (2) water-soluble cations in soils (slaked and unslaked) and (3) exchangeable cations. In addition, some salts may remain in confined or stagnant pores, although the amount of that cannot be measured.

#### 3.1 Effect of initial water content on slaking rate

Dependence of slaking rate on water content is shown in Fig. 2. The bars in the figure show the standard error of three replicates.

##### 3.1.1 Natural soil

The slaking rates of the specimen at 60 and 50 % water content were only 0.15 and 0.16 %, respectively, after 24 hours immersion. It may be due to the sample was initially saturated and contained no entrapped air, resulting the low force of escaping air. Under the water content of 40 %, the slaking rate, 2.54 %, was higher than that of 50 %. This indicates that the natural soil started to slake below this water content. A significant change was observed at water content of 30 %. The slaking rate (27.3 %) was much higher in comparison with other water contents. It seems due to that the initial water content of 30 % was close to shrinkage limit and contained more air than that of 40 to 60 %. It resulted higher force of escaping air pressure, which is favourable condition for slaking. The slaking rate kept the almost same value (26.0 %) at water content of 20%.

##### 3.1.2 Air-dried soil

On the other hand, 88 – 89 % of the air-dried specimens were slaked at water contents of 60 and 50 % which in-

dicates that after experiencing air-drying, soil changed to slake much more easily. The slaking rate was very high (99 %) under 30 and 20 % in comparison with any other water contents. The slaking rate at water content of 10 % was comparatively higher than that of 60 and 50 and 40 % but lower than 30 and 20 % water content in both of natural and air-dried soils (Fig. 2). This is attributed to that the strong linkage developed between soil particles by the intensive drying, which might enhance resistance to slaking.

##### 3.1.3 Difference between natural and air-dried soil

The slaking rate of air-dried soil was higher than that of the natural soil at all water contents. It is due to that air-drying increased entrapped air than the natural soils at the same water content, resulting the higher force of escaping air pressure. Much more bubbles were observed during slaking of the air dried soil than the natural soil.

#### 3.2 Effect of initial water content on cations in the three phases

Table 2 and Table 3 show the variance of measurement on amount of shifted cations among three categories. They also express the precision of each cation measurement in different water contents. These tables reveal that the cations measurement of Na, Ca and Mg is statistically reliable enough because the range is below 25 % against the mean values. Note that the variance of K measurement in water-soluble phases was so large in comparison with other cations in both the natural and the air-dried soils. This is due to critically small values of K against precision of measurement, but contribution of K is not important in desalination from saline soil.

#### 3.3 Cations released into outer solution after 24 hours immersion

Fig. 3 shows the cations released into outer solution after 24 hours immersion of different pre-drying treatment (natural and air-dried) of soils. The bars in the figure show range of the measured values, indicating the variance of measurement is small enough statistically. The figure shows that Na exists predominantly in the outer solution and the release of Na is maximum at water content of 30 %.

##### 3.3.1 Natural soil

At the lower water content of 20 and 10 %, the amount of Na released to outer solution ( $R_{Na} = 0.25 \text{ mmol g}^{-1}$  and  $0.25 \text{ mmol g}^{-1}$ , respectively) were high, and it was highest at 30 % ( $0.35 \text{ mmol g}^{-1}$ ). The  $R_{Na}$  at 60, 50 and 40 % water content were 0.185, 0.18 and  $0.19 \text{ mmol g}^{-1}$ , respectively. The difference in the total Na under different water content is mainly due to the amount of Na in the outer solution. The fractions of Na in outer solution were 74.6, 73.2, 76.7, 71.5, 70.1 and 65.9% at water content of 10, 20, 30, 40, 50, 60%, respectively. At water content of

**Table 2** Mean of range/average ratios on amount of cations in three phases in natural soil.

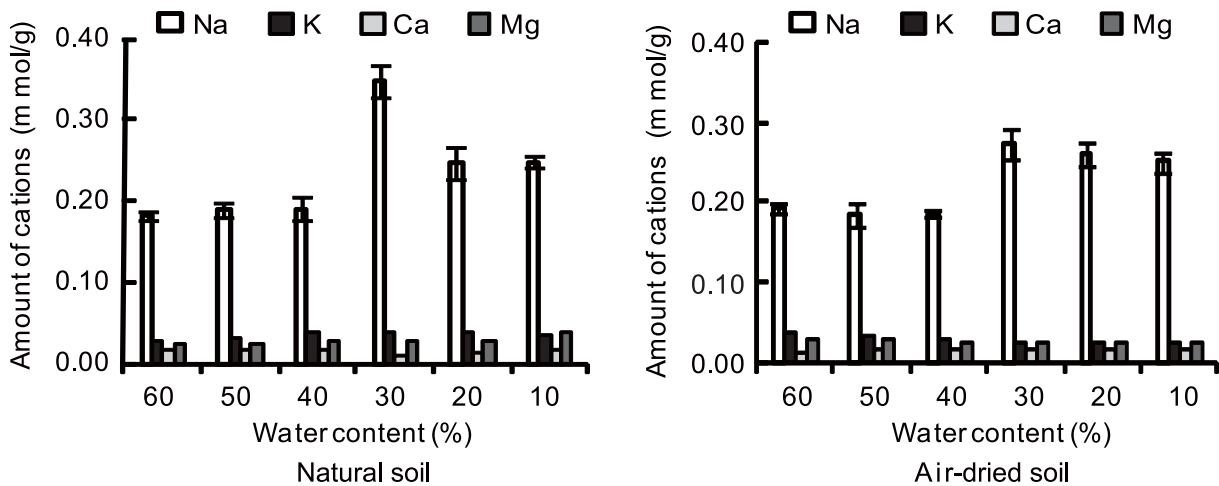
Phases	Water content	Na	K	Ca	Mg
		*IV (%)	IV (%)	IV (%)	IV (%)
Outer solution	60~10%	17.5	14.3	23.3	16.1
Exchangeable	60~10%	15.3	25.6	16.8	13.4
Water-soluble	60~10%	22.8	75.7	0.18	15.5

\* IV (Index of Variance) = mean {range (maximum value – minimum value)/average} on cation concentration of different water content. Measurements were replicated thrice on each water content, i.e., n = 18.

**Table 3** Mean of range/average ratios on amount of cations in three phases in air-dried soil.

Phases	Water content	Na	K	Ca	Mg
		*IV (%)	IV (%)	IV (%)	IV (%)
Outer solution	60~10%	17.7	14.1	23.4	18.1
Exchangeable	60~10%	8.5	12.8	12.6	17.5
Water-soluble	60~10%	17.3	75.7	2.30	1.30

\* IV (Index of Variance) = mean {range (maximum value – minimum value)/average} on cation concentration of different moisture content. Measurements were replicated thrice on each water content, i.e., n = 18.



**Fig. 3** Cations released into outer solution after 24 hours immersion in different pre-drying treatments. Vertical bar indicates  $\pm$  SE of three replicates.

30%, maximum Na was released from confined or stagnant pores to outer solution because the maximum slaking occurred and collapsed aggregates at this water content (Fig. 2). At water content of 10 %, samples slaked in short time and the  $R_{Na}$  was low as  $0.25 \text{ mmol g}^{-1}$ . It was shown that very dry condition and quick slaking did not contribute the more Na release from the soil.

### 3.3.2 Air-dried soil

At water content of 30 and 20 %, the  $R_{Na}$  was 0.27 and  $0.26 \text{ mmol g}^{-1}$ , respectively. On the other hand, when the soil was in the driest condition of 10 % water content slaking made limited contribution to  $R_{Na}$  ( $0.25 \text{ mmol g}^{-1}$ ) which was equal to that of the natural soil.

### 3.3.3 Difference between natural and air-dried soil

Both the natural and air-dried soil followed the same trend for releasing Na in relation to the initial water contents. The water content above 40 % showed less  $R_{Na}$ , and below water content of 30 %  $R_{Na}$  was high. But the effects were more pronounced in the natural soil. The maximum release of Na occurred around at the coincident water content as maximum slaking. The results indicate that higher water content and too rapid slaking at low water contents were not efficient for removing Na from the soil block.

In terms of other cations release like Ca, Mg and K, all the soils show almost the similar trends. Note that very little amount of Ca and Mg comes out to outer solution. The release of cations to outer solution in soils followed the order of  $Na \gg K > Mg > Ca$ , and drying did not affect the composition of K, Mg and Ca except for a slight increase in Mg and slight decrease in K in a few cases (Fig. 3).

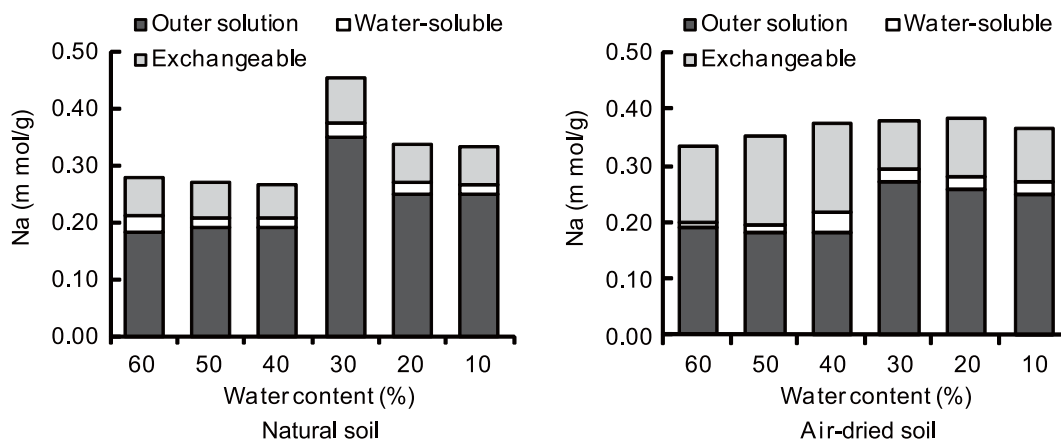


Fig. 4 Amount of Na in outer solution and left in soils after 24 hours immersion under different initial water contents.

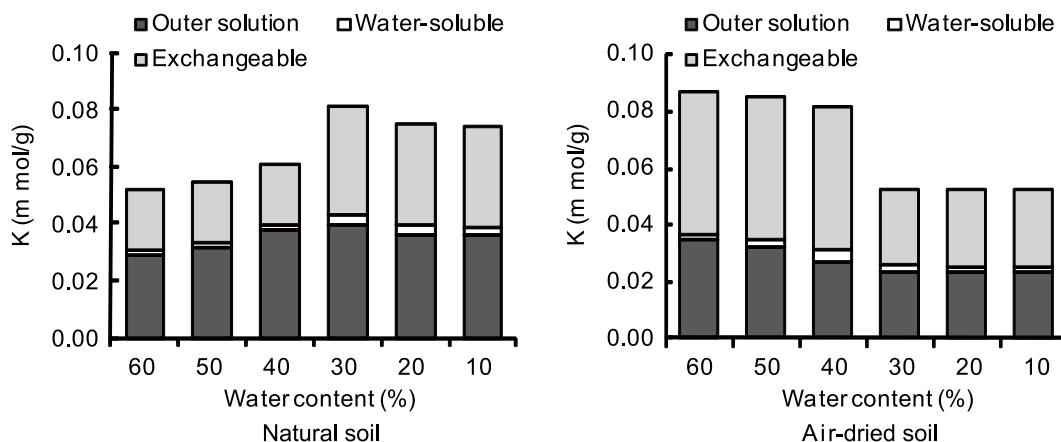


Fig. 5 Amount of K in outer solution and left in soils after 24 hours immersion under different initial water contents.

### 3.4 Impacts of slaking and drying on water-soluble cations in soils

Fig. 4, 5, 6 and 7 shows the sites and amounts of each cation (Na, K, Ca and Mg) after 24 hours immersion, respectively. The site where the cations exist is divided into four categories; outer solution, exchangeable state and water-soluble state in the soil and salts in confined pores which cannot be measured. It is seen that the fraction of the water soluble state is relatively very small. Among them Na showed much higher values than the other cations, showing slight increase with drying. We did not find any significant differences in amount of other water-soluble cations like Ca, Mg and K in the slaked and unslaked soils in almost all the cases.

#### 3.4.1 Natural soil

In terms of water-soluble Na (after 24 hours immersion) in slaked and unslaked soils, more Na (8 to 10 %) existed in the soil at higher water content (60 %). This is because some of Na stayed in stagnant part inside the soil in higher water contents. On the other hand, when soil slakes at lower water content the Na staying in soils was lowest proportion (5 %) which might be due to the Na stayed mainly

close to the surface. It was found higher water content was not effective from the stand point of Na release from soil. The water-soluble K, Ca and Mg in soils were in small amounts ( $< 0.02 \text{ mmol g}^{-1}$ ) in both the higher and lower water contents.

#### 3.4.2 Air-dried soil

The higher water content of 60 and 50 % held less Na (2 to 3 %) as water soluble than the natural soil which means most of the Na released into outer solution. This is because, the air-dried soil at that water content slaked more than the natural soil. It is due to decrease in the Na staying in the stagnant part inside the aggregates. The water-soluble Ca and Mg in air-dried soil followed the same trend as the natural soil.

#### 3.4.3 Difference between natural and air-dried soil

At lower water content the air-dried soil held slightly more water-soluble Na than that of the natural soil. But the amounts of water soluble cations were affected very little by the drying. The amount of water-soluble cations followed the order of  $\text{Na} \gg \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$  in all these soils after 24 hours immersion.

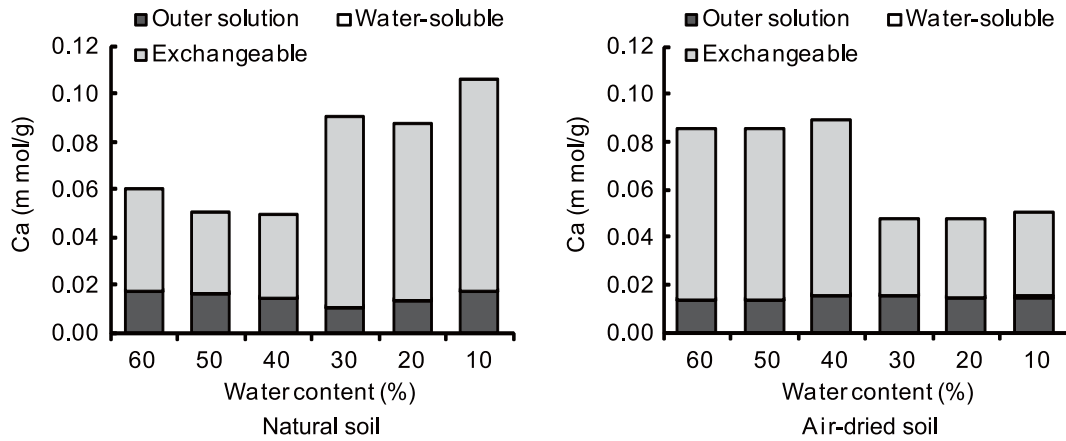


Fig. 6 Amount of Ca in outer solution and left in soils after 24 hours immersion under different initial water contents.

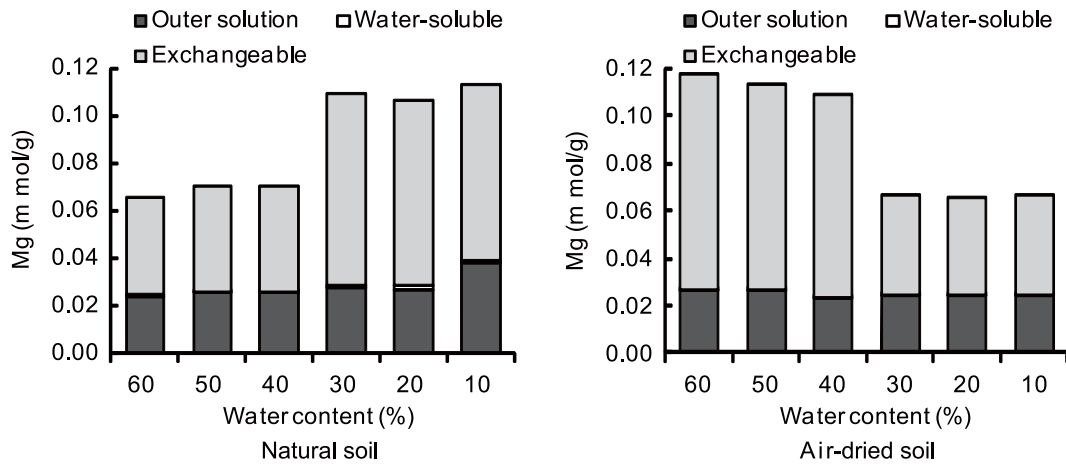


Fig. 7 Amount of Mg in outer solution and left in soils after 24 hours immersion under different initial water contents.

### 3.5 Impacts of slaking and drying on exchangeable cations in soils

#### 3.5.1 Natural soil

In terms of exchangeable cations, Na was slightly affected by slaking and drying after 24 hours immersion (Fig. 4). The lower water content held slightly higher exchangeable Na than higher water contents, especially at 30%. It means a part of Na on exchange sites was replaced by the other exchangeable cations during drying and slaking under higher water content. Exchangeable  $K^+$  below water content of 30% was higher than that of above 40% water contents. Most of the  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  stay in exchange site (60 to 80%) and showed much higher proportion at lower water contents in the natural soil (Fig. 6 and Fig. 7).

#### 3.5.2 Air-dried soil

The air-dried soil showed the different trends in remaining exchangeable Na from the natural soil. Note that the cations exist in exchangeable state at highest amount at water content of 40% (Fig. 4). This result is very special, the soils at this water content did not slake well in comparison with other water contents (Fig. 2). Whereas, the air-dried soils show exchangeable  $K^+$  is low in lower water contents different from that of Na (Fig. 5). In terms of  $Ca^{2+}$

and  $Mg^{2+}$ , the air-dried soil showed similar trends to  $K^+$ , the exchangeable  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  was in lower proportion at lower water contents (Fig. 6 and Fig. 7).

#### 3.5.3 Difference between natural and air-dried soil

The exchangeable  $Na^+$  was mainly replaced by  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  at lower water contents. The results also indicate that the exchangeable cations were increased by the effect of drying (ion concentration in equilibrium solution was condensed by drying). This is because the  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  ions are more strongly bonded with exchange sites of soil particles due to their higher valence; on the other hand,  $K^+$  has strong binding capacity with clay particles in comparison with  $Na^+$  ions.

The holding of exchangeable cations followed the order of  $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$  except for a minor increase in  $Mg^{2+}$  and slight increase in  $Ca^{2+}$  than  $Na^+$  in few cases under the natural soil. It is due to the presence of insoluble Ca and Mg salts in the original polder soil.

#### 3.6 Desalination rate to outer solution

Fig. 8 shows the desalination rate ( $DR$ ) to outer solution in different pre-drying treatments of soils. In this case, we considered the Na released into outer solution and



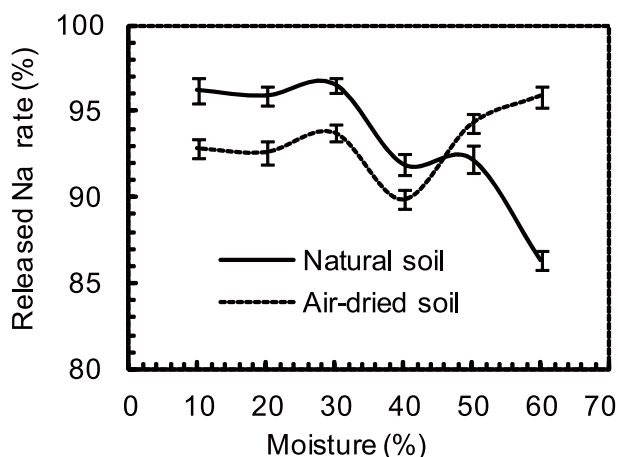


Fig. 8 Desalination rate or released water-soluble Na from soils after 24 hours immersion under different initial water contents. Vertical bar indicates  $\pm$  SE of three replicates.

water-soluble Na remaining in slaked and unslaked soils after 24 hours immersion. It is a measure of water soluble salt released to outer solution from all of water soluble salt in the soil block.

### 3.6.1 Natural soil

It was shown that desalination rate was higher at lower water content after 24 hours emersion. At higher water contents (60, 50 and 40 %) the DR was low ( $DR = 86, 92$  and  $91$  % respectively) than that of lower water contents (30, 20 and 10 %;  $DR = 96, 95$  and  $96$  % respectively).

### 3.6.2 Air-dried soil

Both the higher and lower water contents showed high desalination rate except for 40 % ( $DR = 90$  %). However, if the soil was in excessively dry condition (10 % water content), slaking did not release more Na, resulting the low DR (93 %), which might be due to the strongly trapped Na between the soil particles during drying.

### 3.6.3 Difference between natural and air-dried soil

The desalination rate of the air-dried soil showed similar trend as the natural soil under lower water content, but showed the opposite trend at higher water contents. In the natural soil, at higher water content, soil did not slake well, on the other hand air-dried soil slaked very quickly at the same water content. The trend was similar to that of slaking (Fig. 2).

The whole result indicates that the desalination rate is somewhat affected by the initial water content and by the intensity of pre-drying. The soluble salt release to outer solution is slightly enhanced by soil slaking. Shamim and Akae (2010) had also reported that the salt release is linearly proportional to the slaking rate in both of the natural and the air-dry soils. The higher salt release was caused by higher slaking rate. At slaking rate is almost zero (60 and 50 % moisture contents) in the natural soil, the proportion

of salt released into water were 86.4% after 24 hours immersion. It increased to 96.6 % at 27 % slaking rate in the natural soil. For the air-dried soil, it is highest (93.8 %) at slaking rate close to 100 %. It means that under the optimum water contents, soil slaking can enhance releasing of soluble salt from the natural soil by 10.2 %. The results suggested that the lower water content and the slower slaking is more efficient for desalinating of saline soil.

## 4. Conclusions

In this study, the Na in the outer solution surrounding the slaked soil blocks were measured, which is a substantial measure of the amount of Na exclusion from the soil block. In addition, sites and states (exchange sites and soluble salts) of cations in soil were examined. The following facts were revealed by this study:

- (1) Na was predominantly affected by slaking (and drying) in terms of releasing cations. However, there were not any special differences between water content and released water-soluble cations like Ca, Mg and K.
- (2) Most of the  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  stay in exchange sites (60 to 80 %) in soil and very few come out in outer solution.
- (3) The exchangeable cations of the natural soil were increased by the effect of drying. This revealed that shift of cations were caused to exchange phase by drying.
- (4) The lower water content (30 %) released more Na, and at the minimum slaking rate the release of Na was lowest in both the natural and air-dried soils.
- (5) However, when the soil was too dry condition (10 % water content) and slaking was very rapid, Na release was not enhanced more.

But the further study and research in this challenging field is encouraged in order to discover the most effective and applicable desalination method for the soil.

## References

- Akai, T., Nukumizu, H. and Nagahori, K. (2003): Land drying practice and its effects on soil properties in reclaimed lands. Proc. 2nd International Workshop on Sustainable Development for Tidal Areas. pp 22–31.
- Barrett-Lennard, E.G. and Malcolm, C.V. (1995): Salt land pastures in Australia: A practical guide. p.112, Department of Agriculture Western Australia, Perth, Western Australia.
- Bennetta, S.J., Barrett-Lennarda, E.G. and Colmera, T.D. (2009): Salinity and waterlogging as constraints to saltland pasture production: A review. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 129: 349–360.
- Bolt, G.H., Bruggenwert, M.B.M. and Kamphorst, A. (1976): Adsorption of cations by soil. In: Soil Chemistry. A Basic Elements, G.H. Bolt and M.G.M. Bruggenwert (eds). pp. 54–95, Elsevier Sci., Amsterdam.

- ICBA (2006): Annual Report 2006. pp.130, International Center for Bio-saline Agriculture, Dubai, UAE.
- Kawaguchi, K., Hattori, T. and Waki, K. (1957): Some chemical and mineralogical studies on profiles of dry rice fields of polder land in Kojima basin, Okayama prefecture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 3: 7-14.
- Marcar, N., Crawford, D., Leppert, P., Jovanovic, T., Floyd, R. and Farrow, R. (1995): Trees for salt land: A guide to selecting native species for Australia. p.72, CSIRO Press, Melbourne, Victoria.
- Qureshi, R. and Barrett-Lennard, E. (1998): Saline agriculture for irrigated land in Pakistan: A handbook. Monograph No.50, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Sadiq, M., Hassan, G., Mehdi, S M., Hussain, N. and Jamil, M. (2007): Amelioration of saline sodic soil with tillage implements and sulphuric acid application. *Pedosphere*, 17 (2): 182-190.
- Shamim, A.H.M. and Akae, T. (2010): Effect of pre-dried history and initial water content on soil slaking and desalinization. *Trans. of JSIDRE*, 269: 325-330.
- Tanji, K.K. (1990): Nature and extent of agricultural salinity. In: *Agricultural salinity assessment and management*, Tanji K.K. (eds). pp. 71-92, American Society of Civil Engineers, New York.
- The Editing Committee of Experimental Guide of Physical-Mechanical Properties of Soil (1983): A guide book on experiments on physical-mechanical properties of soil. pp. 123-124, the Editing Committee of JSIDRE (In Japanese), Tokyo.
- The Japanese Geotechnical Society (2000): The testing on soil mechanics-fundamentals and manuals. pp. 17-48, The Japanese Geotechnical Society (In Japanese), Tokyo.

## 要 旨

スレーキングの機構は、水の流入による土壤団粒の破壊であり、土壤が塩分を含む時、塩分を解放する過程を伴う。本論文の目的は、異なる初期含水状態での除塩において、スレーキングと乾燥が、陽イオンの外液中への排出と状態の移動に及ぼす影響を述べることである。初期含水比を変えた（60, 50, 40, 30, 20, 10 % 重量含水比）自然土と風乾土へのスレーキングの効果を評価するため、スレーキング試験を行った。24 時間の水浸後、自然土と風乾土の全てのケースで、Na が卓越して排出された。最適スレーキング含水比にほぼ等しい比較的低い含水比（30 %）で最大の Na が解放され、スレーキング率が最低の含水比で、Na の排出は最も低かった。しかしながら、低すぎる含水比（10 %）は、それ以上の Na の解放に寄与しなかった。一方、外液中の他の陽イオン Ca, Mg, K の解放と初期含水比の間には特別な関係は認められなかった。ほとんど（60～80 %）の Ca と Mg は、交換性サイトに停滞し、外液中には僅かしか出て来ない。スレーキング後の土に残存する水溶性陽イオンは、 $Na \gg K > Mg > Ca$  の順であり、これに対し、交換態の陽イオンの量は  $Na > Mg > Ca > K$  の順であった。全体として、外液中に解放された Na 量は自然土の方が風乾土よりも多かった。最適スレーキング含水比と、よりゆっくりとしたスレーキングが土壤からの Na の除塩により効率的であることが示された。

キーワード：土壤のスレーキング， 土壤水分状態， 陽イオンの解放， 除塩， 交換態

# 熱水土壤消毒時におけるサーモグラフィーを用いた 地表面温度分布の評価

落合博之<sup>1</sup>・登尾浩助<sup>1</sup>・太田和宏<sup>2</sup>・北浦健生<sup>2</sup>・北 宜裕<sup>2</sup>・加藤高寛<sup>1</sup>

## Evaluating the distribution of soil surface temperature using thermography during soil sterilization with hot water

Hiroyuki OCHIAI<sup>1</sup>, Kosuke NOBORIO<sup>1</sup>, Kazuhiro OHTA<sup>2</sup>, Takeo KITAURA<sup>2</sup>, Nobuhiro KITA<sup>2</sup> and Takahiro KATO<sup>1</sup>

**Abstract:** The use of methyl bromide, which had been widely used all over the world, was banned in 2005 in Japan, so that it is very important to develop new techniques for soil sterilization. Using hot water for soil sterilization has become popular in Japan as an alternative for methyl bromide. Many studies have been done on bacterial survival in soil when hot water was applied. Few studies focused on measurement temperature at multiple locations in the field. Even it is necessary to keep soil temperature between the surface and 30 cm deep with 45 °C for 5 h although hydraulic conductivity for hot water varied place to place at a field. Therefore, we investigated temperature distribution before and after using hot water for soil sterilization in a greenhouse by measuring soil surface temperature using thermography. We also focused on effect of water movement by repacked soil at field with hot water application. We found that a temperature measurement was expressed the representative temperature at the field by the sterilization with hot water applied. However, a place, where we dug a hole for putting the sensors, was showed higher temperature than other places because of large amount of hot water application due to higher hydraulic conductivity and to destroyed hard pan layer. Therefore, we have to take care of refilling a hole after putting the sensors. Otherwise, over estimates of temperature occur due to applying large amount of hot water at such a place.

**Key Words :** hot water sterilization, thermography, temperature, soil surface

### 1. はじめに

近年、土壤消毒の中心となって使われていた臭化メチルの使用が、日本では 2005 年に、世界的にはモントリオール議定書によって 2010 年に全面禁止された。そのため、臭化メチルによる土壤消毒の代替技術の一つとし

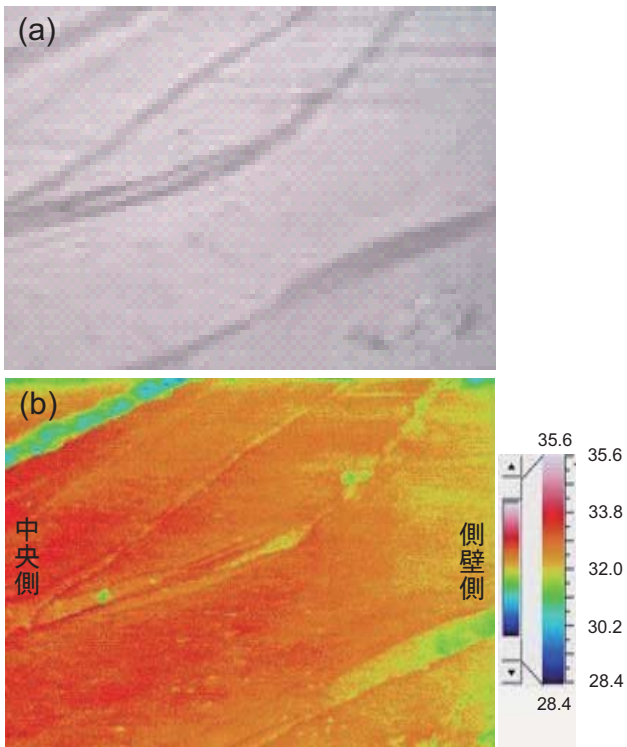
て、1979 年から開発が始まった熱水を用いた土壤消毒方法が、環境にできるだけ負荷を与えない技術として注目されている。この方法は、水のみを用いているので、環境に比較的低負荷な土壤消毒法と考えられる。熱水を土壤に散布し、根群域である地表面から深さ 30 cm 以内の土壤を、45 °C 以上で 5 時間保つことによって線虫やバクテリアを死滅させる（北，2006）。しかし、歴史が浅く、多方面にわたった研究はされてきていないのが現状である。これまでの研究は、國安・竹内（1986）や西ら（1990）などが行ってきた熱水消毒の有無による病原菌や線虫の数を調べることによる作物の品種に対する熱水土壤消毒効果の評価が主である。環境に低負荷な熱水消毒法であっても使用法を間違えると、臭化メチルを用いた土壤消毒法と同様に、環境に負荷をかける可能性がある（永井ら，2006）。必要以上の熱水の散布は、使用水量とエネルギー経費が増加するばかりでなく、熱水による溶脱の促進によって必要以上の溶質を土壤から奪い、深層土壤へ移動させるため（落合ら，2009）、地力の低下や地下水汚染も起こす危険性がある。そのため、最適な熱水の散布量を決定する必要がある。加藤ら（2009）は、PVC パイプに 5 cm 間隔で熱電対を付けることで鉛直に挿入可能な温度センサーを用いて熱水処理時にハウス内土壤の 3 地点で深さごとの温度測定を行って、地表面の温度が 65 °C 以上のとき深さ 30 cm で 45 °C 以上であることを報告した。圃場では多点での測定が困難であることに加えて、場所ごとに透水係数や乾燥密度が大きく異なる可能性があり、このことが土壤の温度上昇に影響を与えると考えられる。その上で、熱水土壤消毒では、圃場内すべての場所で根群域である深さ約 30 cm まで線虫やバクテリアが死滅する温度（45 °C で 5 時間以上）に地温を上昇させる必要がある（北，2006）。しかし、これまでの研究では、熱水土壤消毒時の土壤温度を多点で測定した例はほとんどない。そこで本研究では、サーモグラフィーを用いて熱水土壤消毒を行ったハウス内の地表面温度分布を評価することで、熱水土壤消毒の効果を評価した。また同時に、94 °C の熱水処理を利用して、土壤断面の温度を比較することで、センサー設置時の土壤の攪乱が土壤水分量や地温に与える影響を評価した。

<sup>1</sup>Meiji University, School of Agriculture, 1-1-1 Higashimita, Tama, Kawasaki, Kanagawa 214-8571, Japan. Corresponding author: 落合博之, 明治大学農学部

<sup>2</sup>Kanagawa Agricultural Technology Center, 1617 Kamiyoshizawa, Hiratsuka, Kanagawa 259-1204, Japan.

2010 年 9 月 3 日受稿 2011 年 4 月 19 日受理  
土壤の物理性 118 号, 13-17 (2011)





**Photo. 1** 熱水散布前の地表面（ビニール被覆無し）(a), 熱水散布前の地表面温度（ビニール被覆無し）(b).  
Picture of soil surface before applying hot water (without cover) (a), Thermographic image of soil surface before applying hot water (without cover) (b).

## 2. 実験方法

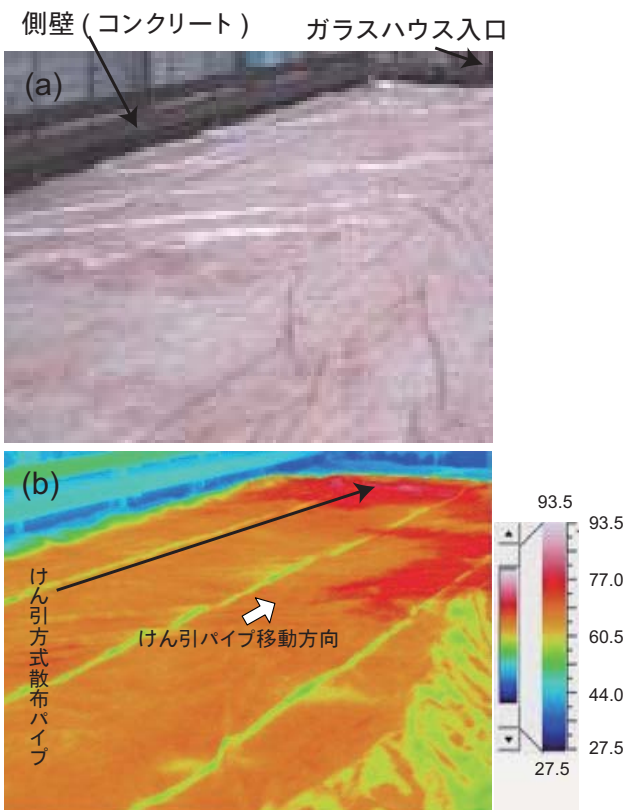
実験は、神奈川県平塚市の神奈川県農業技術センターのガラスハウス内（幅 9.0 m, 長さ 30 m）土壌で行った。熱水散布には、神奈川県農業試験センターが中心となって開発した牽引方式を用いた。牽引方式では、ウインチを用いて散水用鉄パイプを一定速度で引っ張ることで、土壌表面に熱水を定量散水した。本実験では熱水の温度を  $94^{\circ}\text{C}$  に、散水パイプの移動速度を  $2.5\text{ m h}^{-1}$ 、散水量を  $4000\text{ L h}^{-1}$  ( $204\text{ L h}^{-1}$  で 3 時間、散水強度  $68\text{ mm h}^{-1}$  に相当) となるように設定した。熱水散布時と散布後は、地表面からの熱損失を低減するために地表面を耐熱性の高いビニールシートで覆った。ビニールシートは地表面と接触していることからビニールシート表面の温度変化が地表面の温度変化を反映しているとみなし、熱水散布前と熱水散布終了直後にサーモグラフィー (TVS-500EX, NEC) で地表面の温度分布を測定した。サーモグラフィーの精度は  $100^{\circ}\text{C}$  以下で  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  である。また、同時に土壌水分量と温度の測定を経時的に行うため、温室の入り口から 10 m, 側壁から 4 m の地点に TDR センサーを深さ 100 cm まで 20 cm 毎に埋設し、それぞれの TDR プロブの横に熱電対を埋設した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 圃場全体における熱水処理による地表面温度分布の評価

Photo. 1 に熱水散布前に撮影した通常写真 (a) とサーモグラフィーによる温度分布 (b) を示した。ハウス内の地表面温度は  $31.0 \sim 34.0^{\circ}\text{C}$  であった。地表面の温度分布は、ハウスの側壁付近 (Photo. 1 (b) 右側) に比べてハウス中央 (Photo. 1 (b) 左側) の温度が約  $1^{\circ}\text{C}$  ほど高かった。これは、測定精度を考慮すると熱水土壌消毒前のガラスハウス内の土壌表面温度は、ほぼ一様であると言える。

Photo. 2 に熱水散布直後の通常写真 (a) とサーモグラフィーで測定したビニールシート表面温度分布 (b) を表した。熱水散布中のため、地表面にビニールシートを被せた。そのため、実際はビニールシートの温度を測定した。Photo. 2 (b) 右上に高温の部分を確認されたが、これは終了直後に撮影したため、熱水の一部が土壌中に浸透しないで地表面に残っている部分として目視で確認できた。また、熱水が地表面に残っていない場所のビニールシート表面温度がハウス内全域で  $68.0 \sim 73.0^{\circ}\text{C}$  で  $5^{\circ}\text{C}$  の範囲内であることがわかった。西 (2001) は黒ボク土で、北・植草 (1999)、加藤ら (2009) は関東ロームで、地表面温度が、 $65^{\circ}\text{C}$  以上に達していると、深さ 30 cm までの土壌では  $45^{\circ}\text{C}$  以上で 5 時間以上保たれたことを報告している。従って、本研究の結果から、けん引方式による熱水散布はハウス内すべての場所で一様に消毒効果があると考えられる。



**Photo. 2** 熱水散布直後のビニールシート表面（ビニール被覆越し）(a), 熱水散布直後のビニールシート表面温度（ビニール被覆越し）(b).  
Picture of soil surface after applying hot water (with cover) (a), Thermographic image of soil surface after applying hot water (with cover) (b).

### 3.2 熱水処理による地表面温度分布の経時変化

Photo. 3 に熱水散布 1 日後のセンサー埋設場所の通常写真 (a) とサーモグラフィーで測定したビニールシート表面温度分布 (b) を表した。Photo. 3 (b) の左側にピンク色の部分 (黒枠内) があり、他の部分に比べ 3 ~ 7°C 高いことがわかった。ここは、土壤水分センサー等を埋設するために掘った穴を埋め戻した部分である。熱水散布の影響によりセンサーが水没してしまい測定不可能となったことから、センサー埋設の土壌かく乱の影響を調査するため、熱水散布 9 日後に再びセンサー埋設部分に穴を掘り、土壤断面の温度分布を測定した (Photo. 4 (a, b))。Photo. 4 (b) は、地表面から深さ 70 cm までの土壤断面の温度である。中心より左側がセンサー埋設時に穴を掘り埋め戻した部分で右側が何もなかった部分である。地表面から深さ 40 cm まではほぼ等しい温度分布を示した。このことから、熱水土壤消毒時に約 3 ~ 7°C の温度差が起きたとしても、9 日後の作土層の地温はほぼ均一と考えてよいことがわかった。一方、深さ 40 cm 以深では右側に比べて左側での温度が平均で約 3°C 高いことがわかった。土壤水分センサー等を埋設するために掘った穴を埋め戻した部分で乾燥密度と透水係数が他の部分と異なったため、透水係数が高くなり、深層土壤へ熱水が選択的に浸透したことにより、熱水散布 9 日後でも埋め戻した場所で土壤温度が高かったと考えられる。さらに、熱水土壤消毒前に行った耕起の深さで深までセンサー埋設のために穴を掘ったことによって、耕盤層上部で水平方向の水移動も起こり、より多くの熱水の浸透が起きた影響と考えられる。地表面からの選択流に対しては、センサー埋設の際に穴を掘って埋め戻した部分の土壤沈下が熱水散布後に目視で確認できたことから、この部分に選択的に熱水が浸透した可能性が大きいと考えられる。このことから、埋め戻しを正確に行わない場合、土壤水分量や地温に影響する可能性があると考えられる。

センサー埋設部分を再び掘り起こす前にビニールシート表面温度を調べた。Photo. 5 に熱水散布 9 日後のセンサー埋設場所の通常写真 (a) とサーモグラフィーで測定したビニールシート表面温度分布 (b) を表した。センサー埋設のため穴を掘った埋め戻し部分の温度の上昇はほとんどなくなり、熱水散布翌日に比べ、埋め戻した場所と通常でビニールシート表面温度の差は、ほとんどなかった。これは、熱移動が頻繁に起こる地表面付近では 9 日間の間に熱拡散によって温度が平衡になったと考えられる。また、ビニールシート表面と地表面の温度差を検証するため、ビニールシートを剥がし、センサー埋設部分の地表面温度を測定した (Photo. 6 (a, b))。Photo. 5 (b) と Photo. 6 (b) の比較からビニールシート越しとビニールシート無しでの温度差は、2 ~ 3°C あるが、温度分布はほぼ等しくなることから、ビニールシート表面の温度分布が地表面の温度分布を反映していることみなせることがわかった。センサー埋設部分による温度

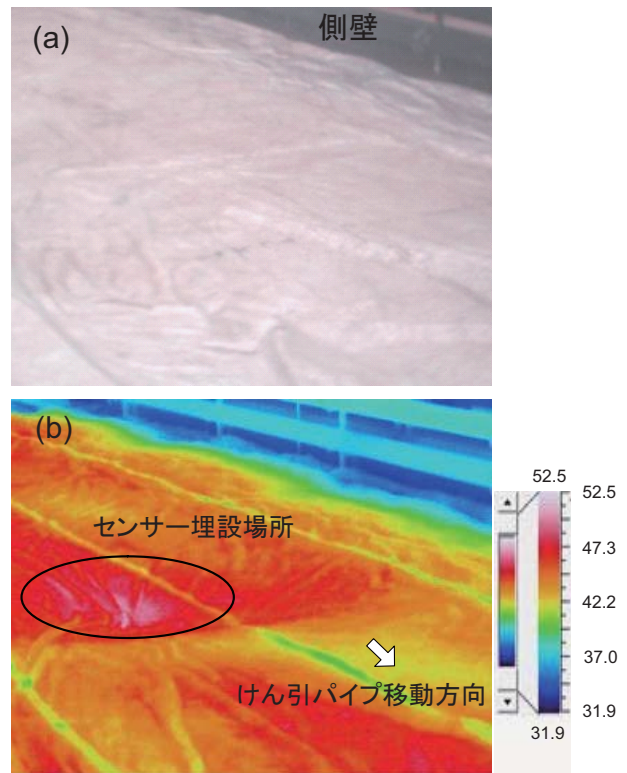


Photo. 3 熱水散布 1 日後のビニールシート表面 (ビニール被覆越し) (a)、熱水散布 1 日後のビニールシート表面温度 (ビニール被覆越し) (b)。

Picture of soil surface in one day after applying hot water (with cover) (a), Thermographic image of soil surface in one day after applying hot water (with cover) (b).

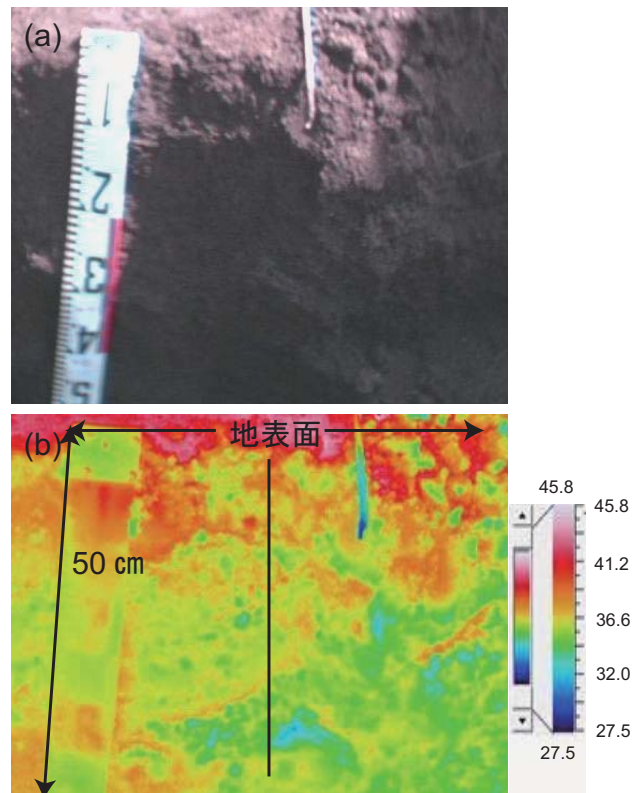
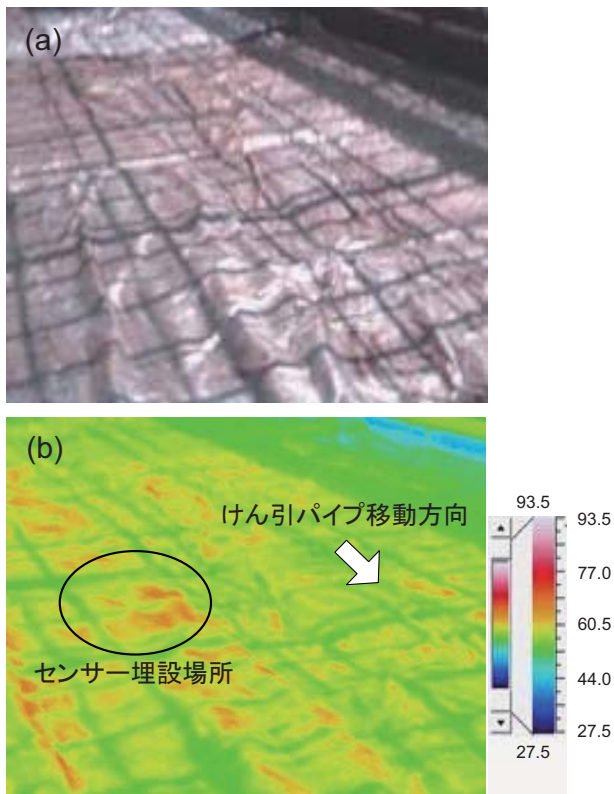


Photo. 4 熱水散布 9 日後の土壤断面 (ビニール被覆無し) (a)、熱水散布 9 日後の土壤断面温度 (ビニール被覆無し) (b)。

Picture of soil section in nine days after applying hot water (without cover) (a), Thermographic image of soil section in nine days after applying hot water (without cover) (b).





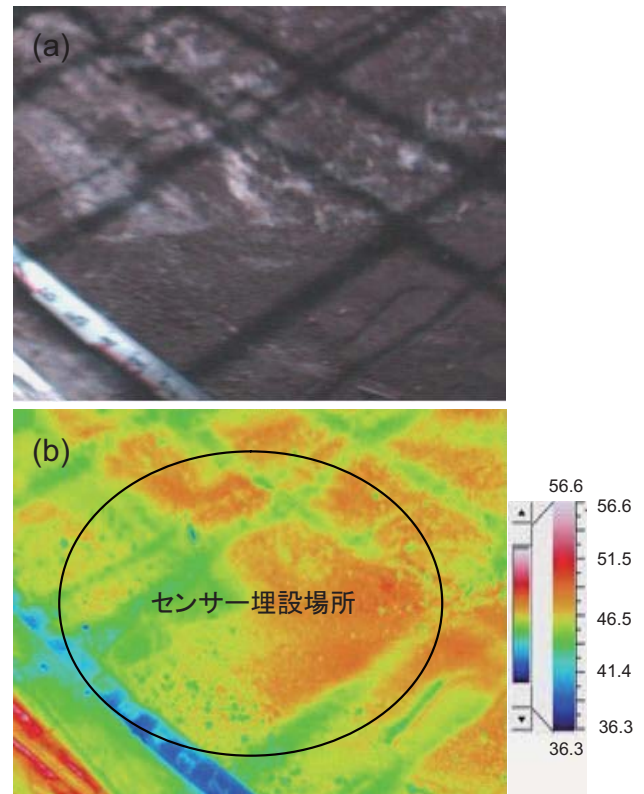
**Photo. 5** 熱水散布 9 日後のビニールシート表面（ビニール被覆越し）(a), 熱水散布 9 日後のビニールシート表面温度（ビニール被覆越し）(b).

Picture of soil surface in nine days after applying hot water (with cover) (a), Thermographic image of soil surface in nine days after applying hot water (with cover) (b).

差よりも日向と日陰の温度差のほうが明らかに大きかった。このことから熱水散布 9 日後には地表面温度は、どの部分でもほぼ均等になることがわかり、熱拡散によってハウス内の地表面温度はほぼ等しくなることがわかった。熱水散布から 9 日後でのビニールシート表面温度と地表面温度の比較だったため、地表面の乾燥が進んだことが考えられる。それを考慮すると、熱水散布直後や熱水散布 1 日後は、地表面とビニールシートが密着しており温度差はほとんどなかったと考えられる。

#### 4. まとめ

サーモグラフィーを用いた地表面温度解析の結果、熱水土壤消毒後における地表面での空間的な温度分布はほとんど一様であることがわかった。このことから、熱水土壤消毒による土壤温度は、ハウス内全体で線虫や細菌を死滅させる条件に十分に達していると考えられた。しかし、センサーを埋設するために掘った穴を埋め戻した場所では、熱水散布 1 日後に地表面温度が 3~7 °C、他の部分に比べて高くなった。これは、透水係数が他の部分より大きいことによって起こる選択流により、他の部分より深い部分まで高温の水が浸透したことが原因であると考えられた。また、熱水散布 9 日後は、地表面の温度分布は、日照の影響や熱拡散の影響により、すべての場所でほぼ等しくなるのに対して、深層土壤では、



**Photo. 6** 熱水散布 9 日後の地表面（ビニール被覆無し）(a), 熱水散布 9 日後の地表面温度（ビニール被覆無し）(b).

Picture of soil surface in nine days after applying hot water (without cover) (a), Thermographic image of soil surface in nine days after applying hot water (without cover) (b).

選択流によって起こった温度上昇の影響が残っていることがわかった。このことから、センサー埋設後の埋め戻しを適切におこなうことの重要性を、温度変化を指標にして評価することができたと考えられる。

本研究は、関東ロームのみでの成果であることから、他の土壤においてもサーモグラフィーを用いて熱水散布後に地表面温度のばらつきがないかを調べる必要があり、同時に埋め戻しによる土壤中の温度分布にどのような影響があるかを調べる必要があると考えられる。さらに、今回はセンサーの水没により土壤水分量と地温の経時測定がうまくいかなかったが、今後は、温度・水分センサーによる地温と土壤水分の鉛直プロファイルと熱画像を併用することで、より詳細な検討が可能であると考えられる。

#### 引用文献

- 加藤高寛・登尾浩助・北 宣裕 (2009) : 熱水土壤消毒時における熱・水・溶質移動の測定. 明治大学農学部研究報告, 58: 75-84.
- 北 宣裕 (2006) : 新段階を迎えた臭化メチル規制とその対策技術 物理的消毒法の効果と普及. 野菜茶業研究集報, 3: 7-15.
- 北 宣裕・植草秀敏 (1999) : 熱湯散布による土壤消毒. 農業と園芸, 54: 105-109.



- 國安克人・竹内昭士郎（1986）：熱水注入による土壤消毒のトマト萎ちょう病に対する防除効果. 野菜試報, A14: 141-148.
- 永井耕介・牧浩之・小河 甲・竹川昌宏（2006）：熱水消毒における熱水の温度と量が土壤の化学性に及ぼす影響. 近畿中国四国農研, 8: 12-15.
- 西 和文・國安克人・高橋廣治（1990）：熱水土壤消毒によるダイズ黒根腐病の防除. 菌草研究所研報, 28: 293-305.
- 西 和文（2001）：熱水を利用した最新の土壤消毒法. 農業および園芸, 76: 485-489.
- 落合博之・登尾浩助・北 宜裕・加藤高寛（2009）：熱水土壤消毒時及びその後の土壤中における溶質動態. 土壤の物理性, 112: 9-12.

## 要 旨

土壤への熱水の浸透が均一でない圃場における研究では、温度分布の状況把握が行われていない。本研究ではサーモグラフィーを用いて熱水土壤消毒後のハウス内での熱水散布時における地表面温度分布について調べた。同時にセンサー埋設での埋め戻しによる土壤状態の変化によって起こる土壤中の水分移動の影響を温度変化を指標として評価した。熱水散布後、ハウス内全域で地表面温度分布がほぼ一様であることがわかり、これまで行ってきた1点での温度測定がハウス内全体の代表値となりうることがわかった。また、センサー埋設のために掘った穴の埋め戻し部表面では、熱水の浸透の影響と耕盤層破壊の影響で他の場所より温度が高くなった。このことより、埋め戻し部から選択的に熱水が浸透して深層土壤で不均一になることがわかり、不適切な埋め戻しが土壤水分量や地温の測定値に大きく影響する可能性があることがわかった。

キーワード：熱水消毒，サーモグラフィー，温度，地表面

# 植生下における田面水の対流を誘発する要因について

花山 奨<sup>1</sup>・安中武幸<sup>1</sup>

Causes inducing convection of ponding water in a vegetated paddy lysimeter

Susumu HANAYAMA<sup>1</sup> and Takeyuki ANNAKA<sup>1</sup>

**Abstract:** This study investigated the convective velocity of ponding water in a vegetated paddy lysimeter. We improved the measurement method for convective velocity by reducing the heat to the constantan line of the sensor. Then, to clarify the causes of ponding water convection in the vegetated paddy lysimeter, we conducted a model experiment under conditions of inhibited evaporation and with similar water temperature profiles to those in the vegetated paddy lysimeter. In the vegetated paddy lysimeter, the convective velocity of ponding water increased from 0.1 to 0.6 mm s<sup>-1</sup> between 7:00 and 17:00, an increase that was related to air-water vapor pressure differences. In the model experiment, the convective velocity remained constant at approximately 0.6 mm s<sup>-1</sup> and 0.2 mm s<sup>-1</sup> during night and day, respectively. In addition, less heat was lost by air-water temperature differences during the day than at night. These results suggest that evaporative heat loss induces the convection of ponding water in a vegetated paddy lysimeter.

**Key Words :** ponded water, convection, vegetation, heat loss, evaporation

## 1. はじめに

湖沼において水の対流は生態系を維持する上でその重要性が認識されている (Horne and Goldman, 1994; 花里, 1998; 奥宮ら, 2001). 湖沼の場合, 夏場の表層に密度成層が形成される. ここで密度成層とは, 密度の小さい水が上部にあり下部に向かって密度の大きい水が分布する状態である. そのため湖水の対流が抑制される. 対流の抑制は湖底への酸素供給を減少させ, 底泥直上の溶存酸素が底泥表面に蓄積された有機物のさまざまな生物による分解作用によって消費され枯渇する. その結果, 底泥からリン酸やアンモニアが放出され水質汚濁を招く. 一方, 土壌と田面水が接する土水界面もまた水田土中で生物相および物質の変化の最も激しい場である. しかし, 水田において土水界面は活発な生物活動があるにもかかわらず, 湖沼で起こるような水質汚濁はあまり生じない. その理由として田面水の対流が関与していると推測され

る. 田面水の対流は大気-水面間のガス交換を促進し, また, 対流は田面水中の溶存酸素濃度を一様にする能力を有する (Mowjood and Kasubuchi, 1998, 2002). この対流によって大気から田面水に供給された酸素が土水界面に供給されることにより, 土壌から田面水へのリン酸やアンモニアの放出が抑制されると考えられる. それゆえ, 田面水の対流現象の把握は水田の生態系の維持向上のみならず田面水の水質汚濁防止にも寄与する.

近年水田の稲の生育状況によってその対流特性が異なることが明らかにされてきた. Hanayama et al. (2009) はライシメーターを使って植生下と非植生下の田面水の対流速度を測定した. 非植生下の対流速度は一日の間に約 0.4 mm s<sup>-1</sup> から約 1.6 mm s<sup>-1</sup> の範囲で変化した. 一方, 植生下の対流速度は約 0.4 mm s<sup>-1</sup> から約 0.7 mm s<sup>-1</sup> となり, 非植生下の田面水の対流速度に比べ植生下の対流速度は遅くなることを明らかにした. 植生下の場合, 植生による日射および蒸発の減少により日中水面の温度が地表面の温度より約 1 °C から 2 °C ほど高くなり, 田面水中に密度成層が形成された. つまり, 植生下の場合, 朝から昼過ぎにかけて発達した田面水の密度成層が対流を抑制したと推測される.

非植生下の場合, 蒸発による水面温度の低下と日射による地表面温度の上昇より水面温度と地表面間に温度差が生じ対流が発生するとされる (Mowjood et al., 1997). しかし, 植生下の場合, 日中密度成層が形成されるため, 非植生下の対流発生のメカニズムで植生下の日中の対流現象を説明できない. Hanayama et al. (2009) は, 植生下の対流を水平方向の温度差による水平対流と推測した. 一方, 新野 (1992) は, 密度成層を形成した水層において水面を冷却することで対流が発達することを確認した. そして, 対流の発達は水面で与えられる熱エネルギー流束によって規定されることを示した. この指摘は, 植生下において生ずる蒸発および大気-水面間の温度差が対流を引き起こす要因となりうることを示唆する.

そこで本研究は, 田面水に密度成層を形成させたモデル水田を使い, 蒸発が田面水の対流速度におよぼす影響を調べた. そして, モデル水田の結果をもとに植生下の田面水の対流を引き起こす要因について検討することを目的とした.

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23 Wakaba-machi, Tsu-ruoka, Yamagata, 997-8555, Japan. Corresponding author : 花山 奨, 山形大学農学部

2010年12月7日受稿 2011年4月20日受理  
土壌の物理性 118号, 19-24 (2011)

## 2. 実験方法

実験はライシメーターにおける植生下の田面水の対流速度および水温などの環境要因の測定を最初に行った。次に、植生下の水温分布をもとにモデル水田における対流速度の測定を行った。

### 2.1 植生下の田面水の対流速度測定

実験は Hanayama et al. (2009) の報告とほぼ同様にして行われた。山形大学農学部実験ほ場内のライシメーター（内寸：縦 1.8 m × 横 1.8 m × 深さ 1.8 m）における稲の栽培は慣行栽培とし、2009 年 5 月上旬に田起こしと代掻きを行い、基肥として窒素  $5 \text{ kg m}^{-2}$  を同時に施肥した。苗（品種：はえぬき）は 5 月 17 日に  $30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  の間隔で移植された。移植後から 9 月上旬まで田面水の落水は行わなかった。なお、田面水の水深は 8 月から 10 cm とした。

計測期間は 2009 年の 8 月中旬とした。しかし、当年東北地方は冷夏であり、この期間において晴天日は 8 月 16 日と 17 日しかなかった。計測結果は両日ともほぼ類似したものとなったことを予め述べておく。

各種計測機器は次のように設置した。気温、水温、地温を測定するために地表面を基準として 30 cm（大気）、10 cm（水面）、7.5 cm, 5 cm, 2.5 cm, 0 cm（地表面）、-2.5 cm, -5 cm, -10 cm, -20 cm, -40 cm の位置に熱電対を設置した。また、水平方向の水温差を調べるため、ライシメーターの中心と中心から東西方向の 15 cm と 30 cm の 5 箇所（W30cm, W15cm, Center, E15cm, E30cm）に地表面から 5 cm の水中にそれぞれ熱電対を設置した（Fig. 1）。その他、植生上と植生内の日射量を測るため、日射計（LI200X, Campbell Scientific）をそれぞれ地表面から 30 cm と 150 cm の位置に、3 杯交流発電機式風速計（03101-5, Campbell Scientific）を地表面から 110 cm の位置に設置した。また、地表面から 30 cm 上に湿度センサー（CHS-UPS Ab2, TDK）を設置した。これらのセンサーはリレーマルチプレクサー（AM16/32, Campbell Scientific）をともなったデータロガー（CR10X）に接続された。測定は 1 分毎とし、10 分毎に平均化されたデータがデータロガーに記録された。ところで、本実験で使用した風速計は、風による 3 杯の回転から得られる交流の周波数を風速に変換する方式のものである。この風速計を上記のデータロガーに接続して使う場合、交流の周波数が風速に変換される際、オフセット値を  $0.2 \text{ m s}^{-1}$  と設定することになっている。それゆえ、風速は無風でも  $0.2 \text{ m s}^{-1}$  と測定されることになる。

田面水の対流速度は Fujimaki et al. (2000) によって開発された熱線風速計の原理を応用した装置を使って測定した。この測定法は対流によって加熱されたセンサー周辺の熱の移動に及ぼす対流の影響を温度変化として検出する方法である。詳細な測定原理は花山ら (2008) の論文を参照されたい。センサーの主要部は対流による温度変化を検知するニッケル（Ni）線（直径 0.10 mm、長さ

500 mm）に発熱体のコンスタンタン（Co）線（直径 0.11 mm、長さ 500 mm）を張り合わせた Ni + Co 線である。筆者らがこれまで行ってきた対流速度測定において、Co 線に 3V の電圧を付加して発熱量を  $0.52 \text{ W m}^{-1}$  とした（花山ら, 2008; Hanayama et al., 2009）。本実験では、Co 線に 1.5 V の電圧を付加して発熱量を  $0.13 \text{ W m}^{-1}$  とした。発熱量を  $0.52 \text{ W m}^{-1}$  で Co 線を発熱させるとセンサーの極近傍にて水の流れが生じてしまい、 $0.3 \text{ mm s}^{-1}$  以下の対流測定が困難となる（花山ら, 2008）。花山・安中 (2009) は、発熱による対流測定への影響を少なくするため発熱量  $0.13 \text{ W m}^{-1}$  にすることで  $0.3 \text{ mm s}^{-1}$  以下の対流速度の測定が可能であることを示した。後述のモデル水田の実験において蒸発の防止により対流速度が極めて遅くなるものと予測される。そこで、ライシメーターおよびモデル水田の実験において Co 線の発熱量を抑制して対流速度を測定することにした。なお、対流センサーは区画のほぼ中央に地表面から 5 cm 上の水中に固定され、対流速度の測定は 2 時間毎とした。

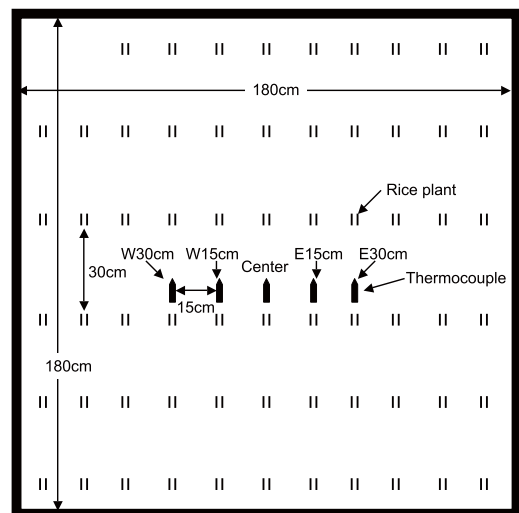


Fig. 1 植生下の水平方向の水温測定における熱電対の配置図。Schematic layout of thermocouples to measure horizontal water temperature in the vegetated paddy lysimeter.

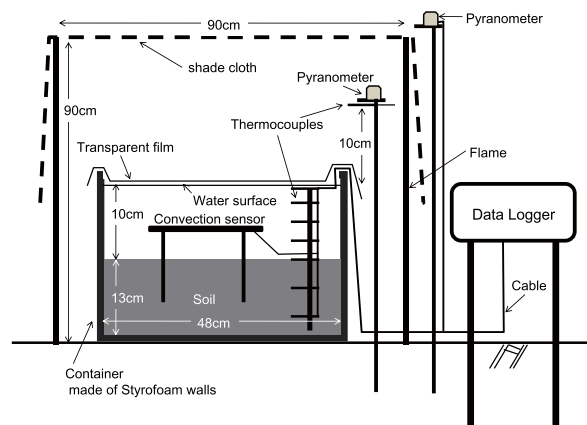


Fig. 2 モデル水田における対流測定の概要図。Schematic of the model experiment system.

## 2.2 蒸発を防止したモデル水田における田面水の対流速度測定

測定は発光スチロール製の容器（内寸：縦 48 cm × 横 38 cm × 深さ 24 cm, 壁厚 4 cm）を使ったモデル水田で行った (Fig. 2). モデル水田は, 前述のライシメーターから採取された代掻き土を用いた厚さ 13 cm の土層と水深 10 cm の堰水層で構成され, 非植生とした. 水面からの蒸発は水面を食品包装用の透明フィルムで被覆し防止した. また, モデル水田は遮光ネットを取り付けたフレーム（縦 60 cm × 横 90 cm × 高さ 90 cm）の中に設置された. 遮光した理由は植生下の田面水と類似した水温分布を形成させるためである.

気温, 水温, 地温の測定はライシメーターにおける測定と同様とし, 地表面を基準として 15 cm (フレーム内大気), 10 cm (水面), 7.5 cm, 5 cm, 2.5 cm, 0 cm (地表面), -2.5 cm, -5 cm, -10 cm の位置に熱電対を設置した. 大気とフレーム内の日射量を測定するため, 日射計 (LI200X) をフレーム内外にそれぞれ設置した. また, 対流センサーを容器のほぼ中央に地表面から 5 cm 上の水中に固定した. これらのセンサーを使った測定は前項 2.1 で示された方法と同様である. なお, 無蒸発状態で, 8 月中旬における植生下の田面水の水温分布に類似した状況を作るため, 本実験は 2009 年 9 月上旬に行った.

## 3. 結果と考察

### 3.1 植生下における田面水の対流速度

ライシメーターにおける植生下の計測結果として 2009 年 8 月 16 日の結果を示す. 稲の生育は登熟期で, 葉の色は緑色であり, 稲の草丈は  $91.9 \pm 3.1$  cm であった. 植生上および植生内の積算日射量はそれぞれ  $23.7 \text{ MJ m}^{-2}$  と  $7.5 \text{ MJ m}^{-2}$  であった. Fig. 3 は植生上の風速変化を示し, 11 時ごろから 15 時過ぎまでこの時期としては比較的強い風速が観測された. Fig. 4 は大気（地表面 30 cm 上）と水面間の水蒸気圧差の変化を示す. 本実験では田面水の蒸発量を直接測定することができなかったので, 大気と水面間の水蒸気圧差から蒸発の程度を推定した. 水蒸気圧差は以下に示す Tetens の式を用いて求めた (近藤, 2000).

$$e_s(t) = 6.11 \times 10^{7.5t} / (237.3 + t) \quad (1)$$

ここで  $e_s(t)$  は飽和水蒸気圧 (hPa) であり,  $t$  は温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) である. 水面直上の水蒸気圧は飽和と仮定し, 水面温度を (1) 式に代入して求めた. また, 大気の水蒸気圧は気温 (地表面 30 cm 上) を (1) 式に代入し, 相対湿度を掛けることによって求めた. 7 時から 17 時にかけて水蒸気圧差は増加し, 夜間より日中において蒸発が増加したものといえる.

Fig. 5 は気温, 水温, 地温分布を示す. 3 時, 19 時および 23 時の夜間において気温が水温より低く, また水中の鉛直温度分布は一様となった. 7 時において大気（地表面 30 cm 上）から地表面までほぼ同じ温度となっ

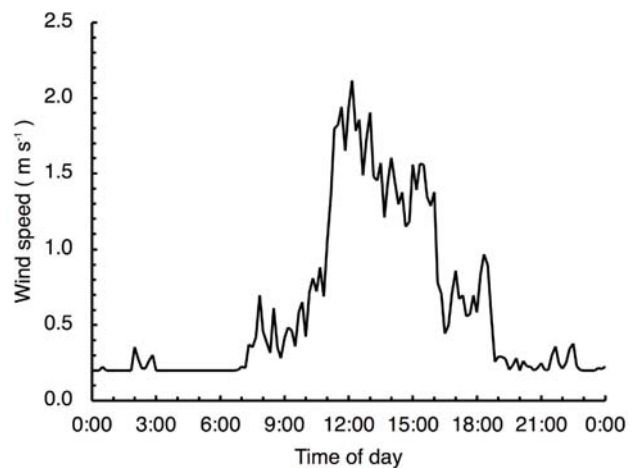


Fig. 3 植生上の風速変化.  
Change in the wind speed at 100 cm above water surface in the vegetated paddy lysimeter with time.

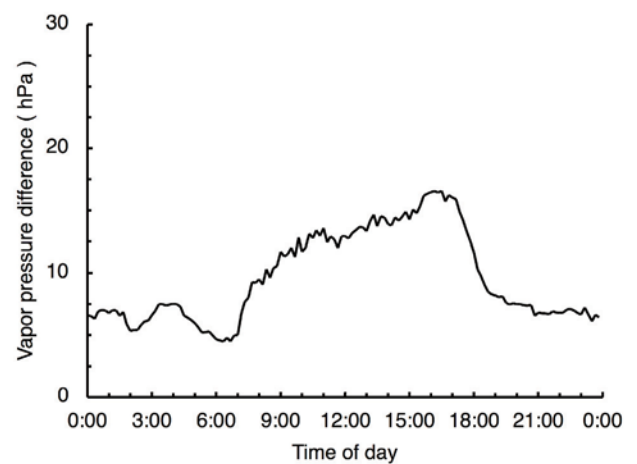


Fig. 4 植生内における水面と水面直上 20 cm との間の水蒸気圧差の変化.  
Change in the vapor pressure differences in the vegetated paddy lysimeter with time.

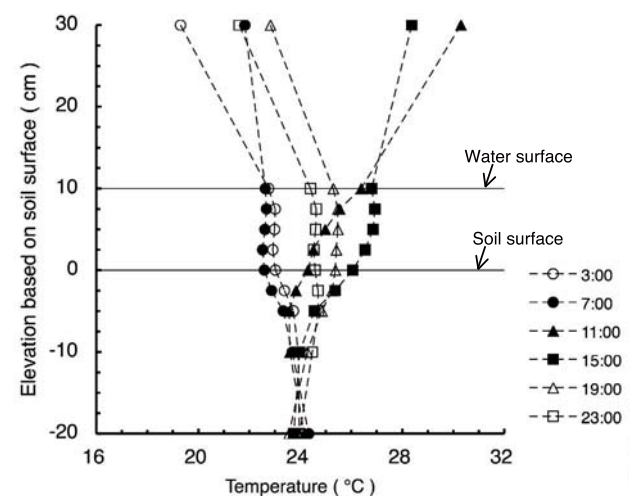


Fig. 5 植生下における気温・水温・地温分布.  
Temperature profiles of ponding water and the soil layer in the vegetated paddy lysimeter.



た。11時から15時にかけて水面温度が地表面温度より高く、15時において水中の鉛直温度分布が水面から徐々に地表面に向かって様になり始めた。Fig. 6は田面水の対流速度的日変化を示す。対流速度は3時から7時にかけて減少し、7時に約 $0.1 \text{ mm s}^{-1}$ で最小となり、その後増加し13時に約 $0.6 \text{ mm s}^{-1}$ で最大となり、そして19時以降再び減少した。

Fig. 6で示された対流速度的変化は、Hanayama et al. (2009)で示された植生下の対流速度的変化とほぼ類似した傾向を示した。本計測でも田面水に密度成層が形成されている時間帯(11時)において、田面水の対流が観測された。また、7時に最低対流速度的 $0.1 \text{ mm s}^{-1}$ を観測した。この最低対流速度は、Hanayama et al. (2009)で示された最低対流速度的( $0.4 \text{ mm s}^{-1}$ )より遅い。本計測7時における最低対流速度は植生下の対流の誘発要因を検討する上で大きな意味をもつと考えられる。その理由は次節で述べる。

Hanayama et al. (2009)は植生下の対流の誘発要因として水平方向の温度差を推測した。しかし、センサーを中心として周囲30 cm以内の水平方向の温度分布はほぼ一様であり、水平対流は生じてないと判断される(Fig. 7)。この結果から第1節「はじめに」で述べた水面における放熱が対流におよぼす影響を次に検討した。

### 3.2 蒸発が密度成層における田面水の対流速度的におよぼす影響

Fig. 8はモデル水田の温度分布を示す。モデル水田の水温分布はFig. 5の植生下の温度分布とほぼ同様となった。3時、19時そして23時の夜間では気温が水温より約 $2 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 低くなった。7時では気温、水温、地温間にほとんど温度差が見られなかった。その後、気温が水温より高くなり、また、水面温度が地表面温度より高くなった(11時)。ただし、15時から水面温度は地表面温度より高いが、気温が水面温度より低くなり始めた。Fig. 9はモデル水田における対流速度的日変化を示す。7時から17時の間の対流速度は夜間の対流速度的より遅くなった。この対流速度的変化から、密度成層において水面からの放熱がないあるいは少ない場合、対流は抑制されるといえる。

モデル水田における田面水の対流速度的変化は大気-水面間の熱輸送に影響されることを示した。このモデル水田の結果を踏まえ、植生下の田面水の対流の仕組みを夜間、明け方(7時前後)、そして日中に分けて考察した。

夜間の3時、19時そして23時には気温が水温より低くなった(Fig. 5)。気温が水温を下回るとき、水面付近の水は下層水よりも重くなり、水面から地表面に向かう下降流が発生する(大西, 2008)。また、夜間においてほとんど無風状態であるが(Fig. 3)、大気(地表面30 cm上)と水面間の水蒸気圧差は平均して約 $7 \text{ h Pa}$ となり、わずかであるが蒸発があったと推測される(Fig. 4)。これらのことから、夜間の対流は水面からの顕熱および潜熱による放熱によって生じたと考えられる。

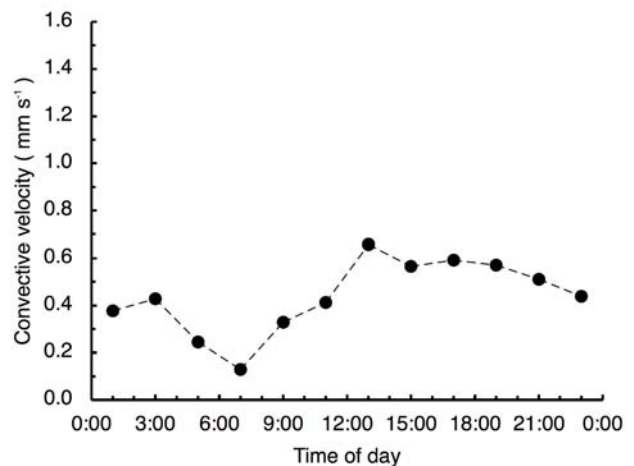


Fig. 6 植生下における田面水の対流速度的変化。  
Change in the convective velocity of ponding water in the vegetated paddy lysimeter with time.

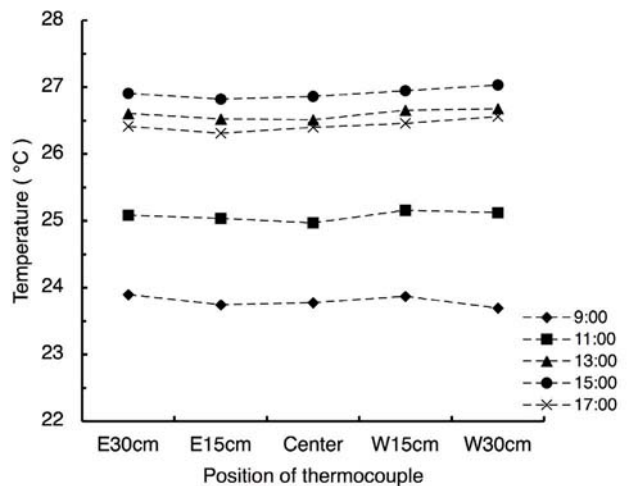


Fig. 7 植生下の水平方向の水温分布。  
Horizontal temperature profiles of ponding water in the vegetated paddy lysimeter.

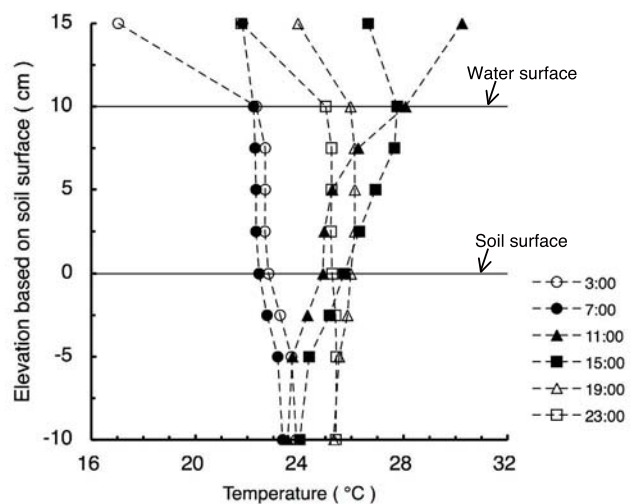


Fig. 8 モデル水田における気温・水温・地温分布。  
Temperature profiles of ponding water and the soil layer in the model experiment.

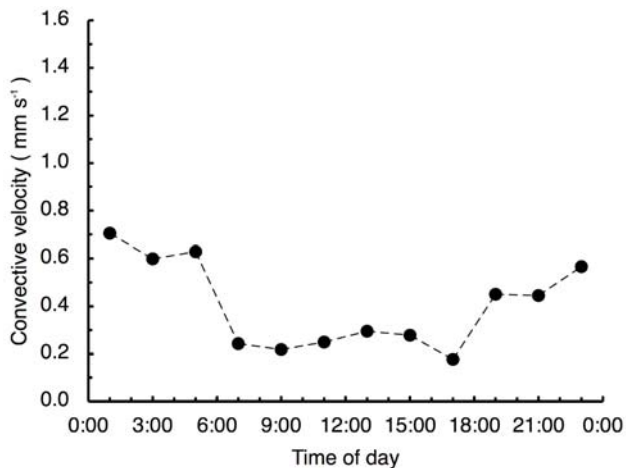


Fig. 9 モデル水田における田面水の対流速度の変化。  
Change in the convective velocity of ponding water in the model experiment with time.

次に、明け方7時の対流速度が一日を通して最小であった (Fig. 6)。Fig. 4 と Fig. 5 から7時における大気-田面水間の熱輸送について推測する。7時における大気(地表面30 cm上)と水面の間の温度差は約1°C、大気と水面間の水蒸気圧差は約5 h Paとなり、大気と水面の温度差、そして大気と水面間の水蒸気圧差は一日の中で最も少なかった。なお、この時間において無風であったため (Fig. 3)、蒸発は水蒸気圧差によって生じたのみなせる。つまり、7時における大気-水面間の放熱は一日の中で最少であり、この最少の放熱ゆえに対流速度が最も遅くなったと考えられる。

最後に、日中の対流現象について考察する。11時および15時と水面温度が地表面温度より高く、密度成層においても対流速度が増加した (Fig. 5, 6)。11時および15時において気温は水温より高く、顕熱による放熱はないとみなせる。一方、大気(地表面30 cm上)と水面との間の水蒸気圧差および植生上の風速は7時以降増加し、蒸発による水面からの放熱も7時以降時間の経過に伴い増加したと推測される (Fig. 4, 5)。モデル水田の結果において、日中の密度成層をなした田面水において蒸発による放熱がない場合、対流は抑制された (Fig. 9)。浅枝ら (1981) は、静止した水の水面を冷却した場合、熱の放出がなされている境界部付近では熱的な擾乱によって下降流が発生し、水層全体の対流に発達することを明らかにした。濱上ら (2008) は、密度成層化した水槽において水面冷却による対流セルの形成および発達過程について粒子画像流速測定法で解析を行った。その結果、水面が冷却されると小さな冷水塊が沈降し始め、その冷水塊は密度成層の上向きの浮力を受けながらも対流セルに発達することを明らかにした。つまり、植生下の日中の対流は蒸発で引き起こされた水面における熱的擾乱によって生じたと考えられる。

## 4. まとめ

本研究は、田面水に密度成層を形成させたモデル水田を使い、蒸発が植生下の田面水の対流速度におよぼす影響を調べた。そして、モデル水田の結果をもとに植生下の田面水の対流を引き起こす要因について検討した。モデル水田において田面水に密度成層が発達した場合、水面における放熱がなければ対流は抑制されることがわかった。このことから植生下における田面水の日中の対流は蒸発によって生じることが示唆された。今後この推定を検証するにあたり、大気-田面水界面および田面水-土壌界面における熱輸送の定量的な測定および解析が課題である。

## 引用文献

- 浅枝 隆, 玉井信行, 高橋由多加 (1981): 表層冷却時の対流形成に関する研究. 水理講演会論文集, 25: 643-649.
- Fujimaki, Y., Mowjood, M.I.M. and Kasubuchi, T. (2000): Measurement of convective velocity of ponded water in a paddy field. *Soil Sci.*, 165: 404-411.
- 濱上邦彦, 森 健, 平井康丸 (2008): 密度成層化した閉鎖性水域の不均一冷却過程. 農業農村工学会論文集, 256: 47-54.
- 花里孝幸 (1998): ミジンコ その生態と湖沼環境問題. pp.125-139, 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 花山 奨, 粕渕辰昭, 安中武幸 (2008): 田面水の対流速度を測定する装置の改良. 土壌の物理性, 109: 51-56.
- 花山 奨, 安中武幸 (2009): 対流センサーのコンスタンタン線の発熱が対流速度測定におよぼす影響. 土壌の物理性, 113: 21-24.
- Hanayama, S., Kasubuchi, T. and Annaka, T. (2009): Convective velocity of ponded water in the vegetated paddy lysimeter. *Paddy and Water Environ.*, 7: 255-258.
- Horne A.J. and Goldman C.R. (1994): *Limnology*, 2nd edn. pp.70-99, McGraw-Hill, New York.
- 近藤純正 (2000): 地表面に近い大気の科学. p.30, 東京大学出版会, 東京.
- Mowjood, M.I.M., Ishiguro, K. and Kasubuchi, T. (1997): Effect of convection in ponded water on the thermal regime of a paddy field. *Soil Sci.*, 162: 583-587.
- Mowjood, M.I.M. and Kasubuchi, T. (1998): Dynamics of dissolved oxygen (DO) in ponded water of a paddy field. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44: 405-413.
- Mowjood, M.I.M. and Kasubuchi, T. (2002): Effect of convection on the exchange coefficient of oxygen and estimation of net production rate of oxygen in ponded water of a paddy field. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48: 673-678.
- 新野 宏 (1992): 大気および海洋混合層におけるエネルギー輸送の室内実験. 気象研究所技術報告, 30: 75-84.
- 奥宮英治, 中村由行, 中山恵介, 井上徹教, 石飛 裕 (2001): 湖沼の物質循環に及ぼす夜間の水面冷却の影響. 水工学論文集, 45: 1147-1152.
- 大西外明 (2008): 水圏の水理学. p.175, 森北出版, 東京.



## 要 旨

植生下と同様な環境を模したモデル水田を用いて植生下の田面水の対流を引き起こす要因を検討した。一日の植生下の対流速度は  $0.1$  から  $0.6 \text{ mm s}^{-1}$  の範囲で変化し、対流速度の日変化は植生内大気と水面との間の水蒸気圧差の日変化と対応していた。そこで、蒸発による水面からの放熱を抑制し、植生下と同様な水温分布を模したモデル水田における対流速度を測定した。夜間の対流速度は約  $0.6 \text{ mm s}^{-1}$  であり、7時から17時の日中における対流速度は約  $0.2 \text{ mm s}^{-1}$  と減少した。モデル水田の気温・水温分布から、大気－水面間の温度差は夜間より日中で小さくなり、水面からの放熱と対流速度との間に相関が見られた。この結果から、植生下における日中の田面水の対流は蒸発によって誘発されるものと推定された。

キーワード：田面水，対流，植生，放熱，蒸発

## 北の国から 2011 春

塚本康貴<sup>1</sup>

私の住んでいる北海道道央地域での今年の春の訪れは例年になく遅く、春の農作業を行うのに非常に苦労した。職場周辺（岩見沢市）の根雪終日は平年に比べ1日遅い程度であったが、4月下旬から5月上旬にかけて頻繁に雨が降り、圃場がなかなか乾かなかった。私の職場では、農作物の生育状況と気象概況を示した定期作況報告を、農耕期間である5月から11月までの間、月に1度のペースで出している。それによると4月下旬の降水量は平年値18.7 mmに対し121 mmと驚くような値で、日照時間についても平年値57.6時間に対し26.7時間とかなり低値であった。雨は多いし寒いし、ゴールデンウィークを過ぎても除雪で積み上げた雪が残っている。近所の公園にある桜の見頃も、ゴールデンウィーク明けの週末であった。

圃場の様子は地域全体の地下水位が高い状態で、地下に水が抜けていかない。作土についても一度しっかりと乾いてくれば、多少の雨にあたっては乾きが早くなるのだが、晴れたかと思うとすぐに雨が降り、あともう一日晴れてくれば、という場面が幾度もあった。4月下旬に予定をしていた春播小麦の播種は、ゴールデンウィーク明けに半ば強引に行った。

私の職場は水稻の育種、栽培と転換畑の試験研究を行っているため、天候の恵まれた年でさえ、水稻移植と直播、春播小麦とダイズの播種作業で思いっきり競合する。農業試験場なので、当然耕起の仕方や施肥設計など細かな処理を設けるわけで、耕起や播種作業を行う圃場管理部門の職員にとってはたまったものではない。それに加えて今年の天気である。早く試験処理を済ませたい研究職員と、晴れた日にどっと仕事が押し寄せてくる圃場管理部門の職員とのやりとりは、壮絶なものであった。幸いなんとか乗り切れそう（6月上旬現在）であるが、反省点や、新たに気づかされたことがあるため、土壌物理性に関連する内容を取り入れながら話を進めようと思う。

反省点としては、お恥ずかしい話であるが排水対策である。圃場内に流入した余剰水の排出ルートは、大きく表面排水と地下排水に分けられる。表面排水については、レーザーレベラーなどによる圃場内のデコボコの修

正や、転換畑では幅、深さが20～30 cm程度の浅い明渠を畦沿いに掘り、畦際に設置された落水口へとつなげる額縁明渠などが有効である。地下排水については暗渠排水の整備を基本とし、土中の余剰水を暗渠管へと導くために、下層が堅密であったり重粘質な圃場では特に、暗渠疎水材の使用や、余剰水を疎水材に導くための心土破碎、弾丸暗渠の実施が必要となる。先日、水はけが悪くて暗渠排水も排水路も無い圃場で、暗渠排水や排水路整備をせずに排水改良できないかといった相談を身内から受けたが、余剰水の排出先が無い状況でどうすればよいのか頭を抱えた。とりあえずは圃場内に明渠を掘って、作土の乾燥促進に努めるようなことを述べたが、付け焼き刃かもしれない。

私の職場における表面排水対策についてであるが、職場にはレーザーレベラーがあり、例年春先の耕起作業前に不陸のひどいところは修正をしている。今年の春は前述のとおり圃場に入れない日が続き、均平作業を予定していた圃場も出来ずじまいとなった。前年の作物収穫後からの均平作業を検討すべきであった。また、額縁明渠など圃場内に明渠を形成することは、特に融雪後春先の表面排水には有効な手段であることがこれまでの研究成果からわかっている。昨年まで、秋播小麦に対する圃場内明渠による排水促進効果の試験をしており、昨年の試験終了後、圃場内明渠をそのまま今年春まで維持させておいた圃場があるが、その圃場は他の圃場に比べて明らかに作土の乾燥が早かった。転換畑での試験であったが、水田についても効果がありそうなので、今後は水田についても秋に圃場内明渠を施工しようと考えている。

次に地下排水対策についてであるが、これまでは作物の収穫後、雪が降る前の圃場が乾いている時に、サブソイラによる心土破碎や弾丸暗渠を実施していた。職場周辺は埋木が多い地域で、心土破碎を行うと必ずといっていいほど埋木が地表面に露出する。時には数メートルもある切り株が出てくるため、人力での搬出は不可能で、バックホーをレンタルしての大きかりな除去作業となる。全圃場面積は21.5 ha、相当な労力を要する。ここ数年春先の天気が良く、春の圃場作業に排水不良で困ったことがなかったことから昨年秋は省略してしまった（言い訳ですが）。心土破碎なり弾丸暗渠は暗渠疎水材と交わるように施工することで、暗渠管への水みちができるが、私の職場においては、暗渠排水の機能も低下傾向にあると思われる。暗渠排水の施工年を調べたところ、平成7年にモミガラを疎水材とした素焼き土管の暗渠が

<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構 農業研究本部 中央農業試験場 岩見沢試験地

2011年6月9日受稿 2011年6月9日受理  
土壌の物理性 118号, 25-26 (2011)

施工されていた。私の先輩が調べた結果では、疎水材として埋設したモミガラは、早くて10年程度で腐朽して疎水材断面が減少し、疎水材としての機能が無くなる。今は平成23年なので施工後15年は経過しており、疎水材はかなり少なくなっていることが想定される。北海道で主に使用されている疎水材はモミガラの他に、木材チップ、ビリ砂利（粒径10mm程度のもの）、火山礫や火山灰がある。腐朽のことを考えると砂利や火山礫、火山灰などの無機質資材の方が長持ちし、木材チップもモミガラに比べると格段に腐朽が遅い。昨年、北海道空知地方の水田と上川地方の畑において、疎水材の種類と施工年の異なる圃場で、暗渠管の埋設部周辺を掘削し、疎水材の断面形状や暗渠周辺の土壌物理性と、圃場の排水状況について調査を行う機会を得た。無機質資材であるビリ砂利は、水田、畑ともに14年程度経過した状態においても疎水材の断面形状が施工時とほぼ変わらず、長期間安定的に疎水材の断面が維持されることが示唆された。疎水材暗渠の機能としては、無機質資材を用いた方が長持ちすると思われる。実際に使用する資材は、施工圃場の地域で入手可能なもので、できるだけ安価なものを採用することになるが、「疎水材暗渠の機能の維持管理」といった視点でみると、ビリ砂利のような少々高価な資材を初期に投入し、営農管理で行える範疇で長期間疎水材暗渠の機能を維持するか、モミガラのような安価な資材を短期的に補充する形で維持管理を行うかは判断に迷うところである。今後、暗渠排水機能の維持、管理手法について検討していくことになるが、疎水材の種類にあまり限定をかけずに、地域の状況に応じた方法を提示できればと思っている。

話を私の職場の圃場に戻すと、特に転換畑として使用している圃場については、モミガラ疎水材は相当量減少していることが考えられるため、疎水材の補充なり、疎水材暗渠の再整備なりが必要かと思われるが、疎水材暗渠の再整備を行うのであれば、既存の浅い排水路や、小さな区画、狭い畦の改善も合わせて整備したい。そもそも整備のための予算を確保するのが難しいので、当面はモミガラや木材チップを用いた有材の補助暗渠を自前で施工する対策となるであろう。

続いて、この春の圃場作業で改めて気づいた点として、まず段取りの大切さがある。

はじめにも述べたが、今年の春の悪天候のおかげで一日に行う作業量が非常に多くなった。例年なら一週間前の打ち合わせで当該週の作業内容を決めたら、概ね予定通りに作業が進むのであるが、今回は毎朝、天気の確認

とその日に行う作業の優先順位を決め、できるところまで行い、毎夕、その日に終わった内容と翌日の予定を立てた。このような状況なので、たとえば圃場内に施肥量を変えた処理区を設置するため、数名の作業員を用いて肥料散布作業を行う場合、さあ始めましょう、というときに、散布作業ではなく処理区画の測量から始めたのであれば時間もったいない。なるべく手の空く作業員を作らない工夫＝段取りができていくかどうか、予定した作業を行うことができるかどうかの決め手となる。圃場の排水状態が悪いなどで「ここの圃場ではできそうにない」とわかった時点で、「では面積は小さくなるけど、こちらの圃場で行いましょう」といったように、代替案を用意しておくことも重要である。予算をもらって試験をしている以上、最後まであきらめず、できる限り試験遂行への努力をしたい。

最後に、今回最も勉強になったことは、コミュニケーションと職場内の作業全体を把握することの大切さであった。

自分が行いたい作業は、他の研究職員の作業が終わらないと始められない。自分の作業が終わらないと、他の研究職員の作業が始まらず、次に行いたい自分の作業も始まらない。周りの人の作業を順調に行うことで、自分の作業が可能になることを、当たり前のことと言われるかもしれないが、しみじみと実感した。他の研究職員の作業を順調に運ぶためには、その作業内容や進捗状況を把握せねばならず、必要な作業員の数や機械の使用状況、さらには作業員の健康状態や心理状態も把握した方が良くなる。私の職場は、研究職員の部屋と、圃場管理部門の職員の部屋、研究補助を行う臨時職員の部屋が分かれている。そのため、ことある毎に圃場管理部門の職員の部屋や、臨時職員の部屋に顔を出した。話しかけると作業状況の他に、体調や、不満に感じていることなども話してくれるので、話し手のストレス緩和にもなるし、聞き手であるこちらも、問題が大きくなる前に対応が可能になる。意思の疎通を図ることで、作業の進捗状況や問題点を把握でき、素早い対応が可能となり、自分も含めた職場全体の試験研究を順調に進めることができる。

結局、反省点で述べた排水対策も、段取りも、コミュニケーションも、職場内の作業全体の把握も、すべて自分の試験研究の確実な遂行に向けた大切な手段なのである。

以上が、私が今年の春に北の国で経験した貴重な出来事である。圃場作業における話であるが、きっと職場の運営にもあてはまるようなことだろうと感じている。

# 会 務 報 告

## I. 新旧引継ぎ事務局会議

日 時：2011年3月28日  
場 所：北海道大学 農学部  
出 席：旧事務局（5名）／井上（会長）、諸泉（編集委員長）、猪迫（庶務幹事）、木原（庶務幹事）、森（会計幹事）  
新事務局（6名）／波多野（新会長）、志賀（新副会長）、中辻（新編集委員長）、柏木（新庶務幹事）、倉持（新会計幹事）、岩田（新編集幹事）

議 題：

1. 新体制の確認
2. 全体および個別の引継ぎ
3. 意見交換
  - (1) ホームページサーバーの移転について
  - (2) 出版体制について

## II. 2011 (H23) 年度第 1 回編集委員会

開催形式：電子会議

日 時：質疑応答・討論  
2011年4月8日～4月14日  
採決  
2011年4月15日～4月19日

出席委員：中辻敏朗、飯山一平、木村園子ドロテア、古賀伸久、竹内晴信、永田修、丹羽勝久、花山奨、早川敦、笹木伸彦、宮本輝仁、森昭憲、山本忠男  
(委員 13 名中 13 名参加：成立)

○ 議事内容

1. 報告
  - (1) 編集幹事より、現在閲読中の原稿の進捗状況が報告された。
  - (2) 編集幹事より、各種企画（講座）の進捗状況が報告された。
2. 議題
  - (1) 編集委員の自己紹介がおこなわれた。
  - (2) 編集委員長より閲読作業の流れについて説明があった。
  - (3) 編集委員長より平成 23・24 年度の「土壌の物理性」刊行計画について説明があり、全会一致で承認された。
  - (4) 編集委員長より、平成 23・24 年度の巻頭言・土粒子・編集後記の執筆者の候補について提案があり、全会一致で承認された。

## III. 2011 (H23) 年度第 1 回事務局会議

日 時：2010年5月19日  
場 所：北海道大学 農学部  
出 席：波多野会長、志賀副会長、中辻編集委員長、柏木庶務幹事、倉持会計幹事、岩田編集幹事  
議 題：

1. 年間事業計画の検討
  - (1) 2011 年度土壌物理学会大会
  - (2) ホームページのサーバー移転
  - (3) バックナンバーの保管・管理
2. 2011 年度会計決算状況について
  - (1) 予算決算および会員の動向と会費の納入状況
3. 編集委員会報告
  - (1) 現在の投稿原稿の編集作業状況
  - (2) 原稿執筆要領改正案について
4. その他
  - (1) 学会賞の選考について
  - (2) 日本地球惑星科学連合について

## IV. 2011 (H23) 年度第 2 回編集委員会

開催形式：電子会議

日 時：質疑応答・討論  
2011年6月14日～6月20日  
採決  
2011年6月21日～6月24日

出席委員：中辻敏朗、飯山一平、木村園子ドロテア、古賀伸久、竹内晴信、永田修、丹羽勝久、花山奨、早川敦、笹木伸彦、宮本輝仁、森昭憲、山本忠男  
(委員 13 名中 13 名参加：成立)

○ 議事内容

1. 議題
  - (1) 編集委員長より提案のあった「土壌の物理性 118 号」の発行計画が全会一致で承認された。
  - (2) 宮本編集委員より提案があった「特集：古典を読む」の今後の執筆計画について議論がなされ、編集委員会の中で引き続き議論をおこなうことが確認された。

## V. 会員消息 (2011 年 6 月 20 日まで, 敬称略)

入会 正 会 員 宮崎 憲二  
 正 会 員 小林 幹佳  
 学生会員 Priwoco Hari Kuncoro  
 学生会員 加藤 孝  
 学生会員 滝沢 啓

退会 正 会 員 齊藤 龍司  
 正 会 員 加藤 正樹  
 正 会 員 足立 一日出  
 正 会 員 神谷 光彦  
 正 会 員 天谷 孝夫  
 正 会 員 箱山 晋  
 正 会 員 山田 正幸  
 正 会 員 林 祐妃

正 会 員 秋山 博子  
 学生会員 藤井 尚  
 学生会員 安永 敬吾  
 購読会員 静岡県農林技術研究所生産環境部

## 現在会員数 (2011 年 6 月 20 日現在)

正会員 (国内) : 327  
 正会員 (海外) : 5  
 学生会員 (国内) : 32  
 学生会員 (海外) : 2  
 賛助会員数 : 9

---

小 計 : 375

購読会員数 : 47

---

合 計 : 422



## —編集後記—

勤め先の大学に、新入生を対象とした「情報処理基礎」の授業があります。この授業で先日、大学の図書館員の方々に解説頂く機会が在りました。内容の中に、図書館の利用方法と共に、情報との付き合い方が含まれていました。曰く、インターネットの発達は、情報入手の利便性を桁違いにした一方、玉石混淆の摘み食いにも陥りやすい、でした。図書館は、情報の質や情報の利用性において、鍛えられてきた知恵、と思います。

「土壌の物理性」もまた、鍛えられてきた知恵です。論文執筆も、年々巻号を積んで行く編集も、知恵を鍛え

る営みと思います。優れた目利きの生まれる処で在り続けますように。

今号より学会事務局・編集部が交代致しました。前任までの皆様にお世話になりました。編集部の一員として、また、原稿を送ってくださる皆様と共に、知見の報告・集積の好い場作りに努めます。どうぞよろしくお願い致します。

今号では、自主投稿頂いた論文を三報、お届けします。皆様からのご投稿を、お待ちしております。

飯山 一平（編集委員）

### 土壌物理学会

事務局構成	会 長	波多野 隆介	(北海道大学)
	副 会 長	志賀 弘行	((地独)北海道立総合研究機構)
	庶務幹事	柏木 淳一	(北海道大学)
	会計幹事	倉持 寛太	(北海道大学)
	編集幹事	岩田 幸良	((独)農業・食品産業技術総合研究機構)
編集委員会	会計監査	井上 京	(北海道大学)
	委 員 長	中村 和正	((独)土木研究所)
		中辻 敏朗	((地独)北海道立総合研究機構)
	委 員	飯山 一平	(宇都宮大学)
		木村園子	(東京農工大学)
		古賀 伸久	((独)農業・食品産業技術総合研究機構)
		竹内 晴信	((地独)北海道立総合研究機構)
		永田 修	((独)農業・食品産業技術総合研究機構)
		丹羽 勝久	((株)ズコーシャ)
		花山 奨	(山形大学)
		早川 敦	(秋田県立大学)
		笛木 伸彦	((地独)北海道立総合研究機構)
		宮本 輝仁	((独)農業・食品産業技術総合研究機構)
	森 昭憲	((独)農業・食品産業技術総合研究機構)	
	山本 忠男	(北海道大学)	
	渡辺 晋生	(三重大学)	

- 第1条 本学会は土壌物理学会 (Japanese Society of Soil Physics) と称する。
- 第2条 本学会は土壌物理に関する研究の進歩と普及を図り、農業技術及び環境科学の発展に貢献することを目的とする。
- 第3条 本学会はその目的を達成するために次の事業を行う。  
 (1) 研究発表会、討論会および見学会などの開催  
 (2) 学会誌「土壌の物理性 (Journal of the Japanese Society of Soil Physics)」並びにその他の印刷物の発行  
 (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力  
 (4) 優れた論文に対する表彰  
 (5) その他、本学会の目的を達成するために必要な事業
- 第4条 本学会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種類とする。会員となるには、評議員会の承認を受けなければならない。退会するには、その旨を本学会に書面により届け出なければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- |           |      |         |
|-----------|------|---------|
| 正会員       | 年額   | 5,500円  |
| 学生会員      | 年額   | 3,000円  |
| (大学院生を含む) |      |         |
| 賛助会員      | 一口年額 | 22,500円 |
| 購読会員      | 会誌年額 | 7,500円  |
| 広告料       | 賛助会員 | 15,000円 |
| 賛助会員以外    |      | 22,500円 |
- 第6条 本学会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は次による。  
 (1) 会長1名、副会長1名、編集委員長1名  
 正会員の中から評議員会によって選出される。  
 (2) 評議員  
 イ 15名 正会員の中から選挙によって選出される。  
 ロ 3名以内を会長が正会員の中から委嘱する。  
 (3) 会計監査2名  
 正会員の中から評議員会によって選出される。  
 (4) 幹事若干名  
 若干名の庶務、会計、編集の幹事を会長が委嘱する。
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。  
 (1) 総会は本学会の最高議決機関であって、事業計画、予算・決算、会則の変更等を決定する。総会は正会員及び学生会員で構成される。  
 (2) 評議員会は、会員の選挙によらない役員の選出、総会議案、その他の重要事項を検討する。評議員会の議長は会長がこれにあたる。  
 (3) 総会及び評議員会の議決は委任状を含む多数決とする。ただし、会則の変更は、総会出席者の3分の2以上の賛成を要する。
- 第8条 本学会の会務は、評議員会及び総会の議を経て、会長、副会長、編集委員長及び幹事がこれを執行する。会務執行に必要な規程は別に定める。
- 第9条 本学会に次の委員会をおく。  
 (1) 選挙管理委員会  
 正会員の中から評議員会によって選出され、本学会の評議員選挙を管理する。  
 (2) 編集委員会  
 正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、学会誌その他の印刷物の編集に当たる。  
 (3) 学会賞選考委員会 正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、学会賞を選考する。
- 第10条 本学会の経費は会費その他の収入を持ってあてる。本学会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。

附則

- (1) 本学会の連絡先は、これを当分の間次に置く。  
 〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目  
 北海道大学大学院農学研究院内
- (2) 本会則は、2011年4月1日より施行する。

(2010.10.23 改正)

- 筆頭著者は本学会会員であること。
- 投稿原稿の区分と規定ページは下記による。
  - 「論文」(Original papers): 独創性があり、土壌の物理性に関する研究および技術の進歩に寄与すると見なされるもの。一編ごとに論文としての構成を整えていて、他誌に未発表のものに限る。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「研究ノート」(Notes): 土壌の物理性に関する新しい事実や研究方法の改良などの短い報告で、独創性があり他誌に未発表のもの。規定ページを刷り上がり4ページ以内とする。
  - 「総説」(Reviews): 土壌の物理性に関する主題について、それまでの研究を総括し、今後の発展方向を展望するもの。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「解説」(Lectures): 土壌の物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説、ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介など。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「研究紹介」(My research): 現在行っている研究、他の学会誌等に掲載された論文、研究上の工夫などについての平易な紹介。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「資料」(Miscellaneous): 広く会員の参考となる報告や情報。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「土粒子」(Readers' column): 「土壌の物理性」周辺のことについての随想や意見など。規定ページを刷り上がり2ページ以内とする。
  - 「講座」(Lecture series): 「解説」と本質的な違いはないが、特に編集委員会が企画して複数回にわたって行うものを指す。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「特集」(Topics): 「解説」、「総説」、「論文」が混在したもので、特に編集委員会が企画して複数回にわたって行うものを指す。規定ページを刷り上がり6ページ以内とする。
  - 「書評」(Book reviews): 規定ページを刷り上がり2ページ以内とする。
  - 「巻頭言」(Foreword): 規定ページを刷り上がり2ページ以内とする。  
 なお、上記区分において、編集委員会が会員または会員以外に投稿依頼することがある。
- 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は、「論文」および「研究ノート」については2名、その他の投稿原稿には1名の閲読者を選んで閲読を依頼する。ただし、「土粒子」、「書評」、「巻頭言」については、この限りでない。
- 投稿原稿が2. に記す規定ページを越える場合には、1ページあたり15,000円を著者負担とする。また、カラー印刷の場合は実費を著者負担とする。
- 投稿する場合は、投稿原稿(本文、図表含む)および原稿送り状(別紙書式)のPDFファイルを編集委員長宛に提出する。ただし、編集委員会が別途指示した場合はこの限りではない。
- 投稿原稿を受け付けた場合、編集委員会は速やかに受付番号と受付日付を明示した電子メールまたは書状を投稿者に送る。また、投稿原稿の掲載を決定した場合、最終原稿を受領したのちに受理日付を明示した書状を著者に送付する。
- 著者に対して修正を求めた原稿が、特別な事情なく6ヶ月以内に再提出されないときは取り下げと見なす。
- 著者校正は初校のみとする。また、特に申し出がない限り印刷ずみの原稿は返さない。
- 掲載された原稿のPDFファイルを著者に贈呈する。また、著者は別刷りを印刷業者から購入することができる。
- 本誌に掲載された原稿の著作権は土壌物理学会に帰属する。

(2009.12. 1 改正)

「土壌の物理性」原稿執筆要領

1. 原稿は、日本語または英語で執筆する。
2. 日本語の原稿は、A4判、25字、23行とし、上下左右に30mm以上の余白をとる（4枚で1ページになる）。
3. 日本語の投稿原稿（ただし、書評は除く）は、はじめに日本語で表題、著者名を書き、そのあとに英語で表題と著者名（フルネーム）、所属機関、所在地を書いてから本文を書き始める。また、第1ページ下の脚注に、日本語で所属機関と所在地、5個以内のキーワードを書く。
4. 日本語の論文および研究ノートは、英語による所属機関・所在地表記と本文の間に英語で175 words程度のAbstractと5個以内のKey wordsを入れる。
5. 日本語の投稿原稿（ただし、資料と土粒子、書評を除く）は、本文の後に日本語で350字程度の要旨をつける。
6. 英語の原稿は、A4判、ダブルスペースで作成する（約600 wordsで1ページになる）。
7. 英語の投稿原稿（ただし、書評は除く）は、はじめにManuscript title, Full names of authors, Address of institutions of authorsを書いてから本文を書き始める。
8. 英語の投稿原稿（ただし、資料と土粒子、書評を除く）は、Address of institutions of authorsと本文の間に175 words程度の英文Abstractと5個以内の英語のKey wordsを入れる。
9. 英語の投稿原稿（ただし、書評は除く）は、本文の後に日本語で表題と著者名、所属機関、所在地、350字程度の要旨、5個以内のキーワードをつける。なお、著者が外国人のみのために日本語部分の作成が困難な場合、英語部分からの和訳により、編集委員会の責任でこれらを作成する。
10. 原稿には、閲読作業の効率化を図るため、本文に行番号を5行毎に書き入れる。
11. 英語の適正化はすべて著者の責任において行うこと。自然科学論文の執筆や校正に経験のある英語のネイティブスピーカーによってチェックされている事が望ましい。
12. 閲読終了後に最終原稿を提出するときには、編集委員会が指示する形式・媒体の文書ファイルを同時に送付する。
13. 本文は、章の見出しを1., 2., 3., 節の見出しを1.1, 1.2, 1.3, 項の見出しを1.1.1, 1.1.2, 1.1.3のようにする。
14. ゴシック、イタリック等の字体や上付き、下付き文字など、まぎらわしい文字は、誤植防止のため鉛筆で指定する。
15. 略語、略号を使うときには、はじめにそれが出たときに正式名称とともに示す（例：陽イオン交換容量(CEC)）。
16. 単位の使い方は、国際単位系(SI)による。
17. 日本語の原稿では、図、表、写真の番号は図1、表2、写真3のように書く。英語を並記する場合は、Fig. 1, Table 2, Photo. 3のように書く。英語の原稿では、図・写真ともFig. 1, 表はTable 2のように書く。
18. 日本語の論文、研究ノートの場合、図、表、写真の題名には英語を併記する。
19. 図、表、写真は必要最小限度とし、同一事項を表と図に重複して表示する事は避ける。
20. 図、表、写真は1枚毎にA4判で作成するか、またはA4判の紙に貼り付ける。余白に著者名と図表等の番号を鉛筆で記す。
21. 図と写真はそのまま製版されるので、鮮明なものを提出する。
22. 図は1/2倍などとおよその縮小率を指定し、2倍くらいに大きく書く。図の線の太さや文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。
23. 地図や顕微鏡写真には定尺をつけ、縮尺や倍率はつけない。
24. 図、表、写真の番号と題名は、別紙にまとめて一覧表とする。
25. 本文中で文献を引用する場合は、著者名（西暦）、または（著者名、西暦）とする（例：Tanaka (1994),

- (Nakamura and Suzuki, 1981)). 著者が3名以上の場合は第1著者名のあとに—ら、またはet al.をつける（例：山田ら(1978), (Tayler et al., 1945)).
26. 引用文献は、本文のあとに著者名のABC順に書く。未発表、私信は引用文献として記載しない。
  27. 引用文献の書き方は以下のようにする。  
Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978): A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. Geoderma, 20: 27-40.  
FAO (1988): Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p.119, FAO, Roma.  
(雑誌のページにはp. やpp. をつけない。本の単数ページを示す場合にはp., 複数ページを示す場合にはpp. をつける)
  28. 本要項のほか、科学技術情報流通技術基準(SIST)に準拠する。

(2004. 6.29 改正)

「土壌物理分野のSI使用例」

国際単位系(SI)については多くの出版物で解説されているので、ここには、土壌物理に特に関連の深い単位の使用例を示す。

	推奨される単位	認められる単位
含水比	kg kg <sup>-1</sup>	*
体積含水率	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
体積	m <sup>3</sup>	L, cm <sup>3</sup> , mL
密度	kg m <sup>-3</sup> , Mg m <sup>-3</sup>	
濃度	kg m <sup>-3</sup> , Mg m <sup>-3</sup>	g L <sup>-1</sup> , mg L <sup>-1</sup>
モル濃度	mol m <sup>-3</sup>	mol L <sup>-1</sup>
力	N	
水分ポテンシャル	J kg <sup>-1</sup>	kPa, m, cm, **
透水係数	m s <sup>-1</sup>	cm s <sup>-1</sup>
イオン交換容量	mol, kg <sup>-1</sup> , cmol, kg <sup>-1</sup>	
回転数	s <sup>-1</sup>	min <sup>-1</sup>
収量	kg m <sup>-2</sup>	kg ha <sup>-1</sup> , Mg ha <sup>-1</sup> , t ha <sup>-1</sup>

\* %表示は、原則として分母と分子の内容が同じものの場合にだけ用いる。

\*\* cm H<sub>2</sub>Oは使わない。

その他、疑問のあるものについては意見を聞いて編集委員会で検討する。

(2000. 3.10 改正)

「土壌の物理性」投稿案内

1. 投稿原稿に対する基本方針  
編集委員会は常に会員からの自主投稿を歓迎すると共に、投稿された原稿をなるべく早く、できるだけ掲載する方向で処理したいと考えています。ただし、「土壌の物理性」に掲載する原稿は読者にとって有益かつ完成したものであることが必要です。編集委員会は、投稿原稿が「土壌の物理性」に掲載するのにふさわしい内容を持つ原稿であるかどうかを基準として、掲載の可否を判断します。なお、他誌との二重投稿は認められません。
2. 投稿原稿に求められるもの 投稿に当たっては、「投稿案内」と共に「投稿規定」「原稿執筆要領」をよく読んでそれに従うと共に、閲読者が多忙な中で時間を割くことをよく理解して最大限に努力して完成した原稿としてから投稿して下さい。投稿原稿に求められるものは下の通りです。
  - (1) 内容について
    - 1) オリジナリティーがあること（論文、研究ノートの場合）。
    - 2) 本誌の読者にとって有益であること。
    - 3) 導入、研究手法から結論に至る過程に論理性があること。
  - (2) 表現について
    - 1) 原稿全体の構成が整っていること。
    - 2) 表題が適切であること。
    - 3) 文章表現が適切であること。
    - 4) 英文アブストラクトや和文要旨が適切であること。
    - 5) SI単位や記号の使い方が適切であること。
    - 6) キーワードが適切であること。
    - 7) 英語の表現が適切であること。



3. 投稿原稿の受付  
編集委員会は投稿原稿が体裁上最小限必要とする条件を満たしていることを確認した後、原稿を受け付けます。条件を満たしていない場合には、著者への問い合わせ、もしくは原稿を受け付けずそのまま返稿する場合があります。

4. 閲読の目的と姿勢

編集委員会は受け付けた投稿原稿が「土壌の物理性」へ掲載するのにふさわしいかどうかを判定する資料を得るために閲読を行います。編集委員会は適任の閲読者を選定し、閲読を依頼します。編集委員会は閲読者に対して特に次の点について注意をお願いします。

- 1) 原稿の内容に対する責任は著者にあること。また、原稿の価値は読者が判断するものであること。
- 2) 閲読は内容の批判や討議を行うものではないこと。従って、見解の相違は掲載不適の理由にならないこと。
- 3) 閲読者は投稿者に対して研究指導する立場にないこと。従って、新たな実験や計算の追加要求などは極力避けること。
- 4) 閲読依頼期限を厳守すること。

閲読者から出された問題点について、編集委員会は原稿が投稿原稿に求められるものを満たすために必要に応じて著者に修正を求めます。ただし、これは著者に対する指導や助言ではありません。原稿の内容に対する責任はあくまで著者にあります。

5. 閲読の手順と投稿原稿の採否

- (1) 編集委員会は論文、研究ノートについては2人、その他の区分の投稿原稿については1人の適任者へ閲読を依頼します。

- (2) 閲読者は「2」の投稿原稿に求められる各項目について投稿原稿を評価し、閲読結果を全体意見および個別指摘事項と共に編集委員会へ報告します。

- (3) 編集委員会は閲読結果を審議し、投稿原稿の採否を決定します。この際、論文・研究ノートについては原則として下のように取り扱います。

- 1) 閲読者2名とも総合判定がA（このまま掲載可）の場合には、閲読結果を受け取った日付で原稿を受理（掲載決定）します。
- 2) 1名の総合判定はA、もう1名はB（指摘の点が修正されれば掲載可）の場合、または2名ともBの場合には、指摘事項について著者に比較的小さな修正を求めます。修正原稿が提出され、編集委員会が修正内容を確認した時点で受理します。
- 3) 1名の総合判定はB、もう1名はC（指摘の点が修正された後、再閲読する必要あり）の場合、または2名ともCの場合には、指摘事項について著者にやや大きな修正を求めます。提出された修正原稿は再び閲読を行います。
- 4) 1名の総合判定がD（掲載不適）の場合には、第3の閲読者に判定を依頼することを含め、編集委員会が対応を判断します。
- 5) 2名の総合判定ともDの場合には、その理由を付けて著者へ返稿します。
- 6) 閲読は2回までとし、再閲読においてもCまたはDの判定がある場合には、編集委員会が対応を判断します。

- (4) 閲読結果の総合判定をDとする理由は次のようなものです。

- 1) 既発表とみなされるもの。
- 2) 重要な部分に根本的な誤りがあるもの。
- 3) 事実に基づいた内容ではなく、単なる主観が述べられているに過ぎないもの（論文、研究ノートの場合）。
- 4) 通説が述べられているだけで、新しい知見が全くないもの（論文、研究ノートの場合）。
- 5) 修正を要する根本的な指摘事項を多く含んでいるもの。
- 6) 連載形式で構成されており、1編ごとに独立したものと認めがたいもの。
- 7) 全体構成や文章が粗雑で、内容の判定ができないもの。

- 8) 内容が本誌の趣旨に合わないもの。

- 9) その他、本誌に掲載する原稿としてふさわしくないもの。

6. その他

- 1) 共著者は全員が原稿に責任を負って下さい。共著者がいるにもかかわらず、その共著者が原稿を読んでないと判断されるような基本的なミスがある場合には、閲読を中止して返稿することがあります。

- 2) 修正原稿を返送する場合には、修正結果がすぐに分かるような回答書（指摘事項に対応した修正箇所・内容一覧）を作成し、添付して下さい。

- 3) 原稿は一度印刷公表されると未永く評価と批判の対象になります。閲読意見に対しては極力冷静かつ慎重に対処して下さい。誤解があった場合には、その誤解を解くだけでなく、誤解を受けないような書き方に改める努力が求められます。

- 4) 「掲載不適」で返稿された原稿を再投稿する場合は新規投稿扱いとなります。「掲載不適」とした理由を十分に確認・検討の上、再投稿して下さい。

(2004. 6.29 改正)

「土壌の物理性」閲読の手引き

1. 閲読依頼期限の厳守をお願い致します。万一、期限内に閲読が困難な場合には、速やかに編集委員会事務局へ連絡して下さい。

2. 「投稿案内」において、下のものを投稿原稿に求めています。閲読においても、これらをその基準とします。

(1) 内容について

- 1) オリジナリティーがあること（論文、研究ノートの場合）。
- 2) 本誌の読者にとって有益であること。
- 3) 導入、研究手法から結論に至る過程に論理性があること。

(2) 表現について

- 1) 原稿全体の構成が整っていること。
- 2) 文章表現が適切であること。
- 3) 表題が適切であること。
- 4) 英文アブストラクトや和文要旨が適切であること。
- 5) SI単位や記号の使い方が適切であること。
- 6) キーワードが適切であること。
- 7) 英語の表現が適切であること。

3. 「掲載不適」とする理由としては、下のようなものが挙げられます。

- 1) 既発表とみなされるもの。
- 2) 重要な部分に根本的な誤りがあるもの。
- 3) 事実に基づいた内容ではなく、単なる主観が述べられているに過ぎないもの（論文、研究ノートの場合）。
- 4) 通説が述べられているだけで、新しい知見が全くないもの（論文、研究ノートの場合）。
- 5) 修正を要する根本的な指摘事項を多く含んでいるもの。
- 6) 連載形式で構成されており、1編ごとに独立したものと認めがたいもの。
- 7) 全体構成や文章が粗雑で、内容の判定ができないもの。
- 8) 内容が本誌の趣旨に合わないもの。
- 9) その他、本誌に掲載する原稿としてふさわしくないもの。

4. 原稿の内容に対する責任はあくまで著者にあります。また、原稿の価値は読者が判断するものです。

5. 閲読は内容の批判や討議を行うものではありません。従って、見解の相違は掲載不適の理由にはなりません。

6. 閲読者は投稿者に対して研究指導する立場ではありません。よって、新たな実験や計算の追加要求などは極力避けて下さい。

7. 閲読者は著者と直接折衝をしないで下さい。著者との交渉はすべて編集委員会の責任で行います。



8. 閲読者として知り得た印刷前の原稿の内容はいかなる形でも利用・引用等出来ません。厳にご注意下さい。
9. 著者に修正を求めた後に再閲読で総合判定を D (掲載不適) とすることは、閲読者にとっても著者にとっても非生産的です。完成度の低い原稿などにおいては、修正を求め再閲読を行うよりも「掲載不適」として練り直してから新たに投稿するよう促した方がよい場合があります。その場合には、「掲載不適」の理由（「3」参照）を明示して下さい。個別指摘事項への意見は不要です。
10. 閲読者から編集委員会へ意見等がある場合は、必ず「編集委員会への意見」として別紙への記入をお願いします。  
(2003. 5.28 改訂)

#### 土壌物理学会学会賞規定

1. 種類 学会賞に論文賞と優秀ポスター賞をおく。
2. 論文賞の選考 論文賞は、年 1 回、以下の手順により論文賞選考委員会「以下、選考委員会」で審査し、評議員会で決定する。
  - (1) 賞の対象とする論文は、「土壌の物理性」に、原則として前年度（前年 4 月 1 日から翌年の 3 月 31 日まで）に掲載された原著「論文」とする。
  - (2) 審査対象とする論文は、以下のいずれかとする：
    - 1) 選考委員会が (1) に該当する論文の中から第 1 次審査として選考したもの、
    - 2) (1) に該当する論文の中から正会員 1 名以上により推薦（自薦もしくは他薦）されたもの。
  - (3) (2)-(2) に記す論文の推薦は、学会誌「土壌の物理性」に公示された募集を受け、所定の書類を必要部数揃え、期日までに学会事務局へ提出しなければならない。
  - (4) 選考委員会は、(2) に該当する論文の中から、第 2 次審査として受賞候補論文（以下、候補論文）を審査・選考し、評議員会へ付議する。

- (5) 評議員会では、候補論文が受賞に適格かどうかを判定する。
3. 優秀ポスター賞の選考 優秀ポスター賞（以下、ポスター賞）は、年 1 回、以下の手順により決定する。
  - (1) 選考の対象は、当該年度の土壌物理学会大会において発表されたポスターであって、筆頭者は会員とする。ただし、ポスターの筆頭者が学生の場合に限り、会員外であっても選考の対象に含める。
  - (2) ポスター賞は、(1) に該当するポスターの中から、選考委員会および会員の投票により選考する。（5 件以下）
4. 表彰
  - (1) 論文賞は、通常総会において表彰を行う。また、会誌上に公表する。
  - (2) ポスター賞は、土壌物理学会大会において表彰を行う。また、会誌上に公表する。  
(2002.11.23 制定 2009.10.24 改正)

#### 土壌物理学会学会賞選考委員会規定

1. 目的 学会賞選考委員会（以下委員会という）は、論文賞及び優秀ポスター賞の選考を行うことを目的とする。
2. 業務 委員会はつぎの業務を行う。
  - (1) 学会賞規定に基づく論文賞及び優秀ポスター賞の選考。
  - (2) 土壌物理学会学会賞選考に関するその他の事項。
3. 構成 委員会は委員長 1 名および委員 5 程度を持って構成する。
  - (1) 委員会は正会員より構成される。
  - (2) 委員は評議員会の推薦に基づき総会で決定する。
  - (3) 任期は 2 年とする。ただし、再任はさまたげない。
  - (4) 委員長は委員の互選により選出する。
  - (5) 若干名の専門委員をおくことを認める。
4. 開催 委員会は年 3 回程度開催する。  
(2002.11.23 制定 2003.11.22 改正)

# 原稿送り状

受付番号（本会で記入）：

発送年月日	年 月 日	受付年月日（本会で記入）	年 月 日
区分	論文 研究ノート 総説 解説 資料 研究紹介 土粒子 書評		
表題（和文）			
表題（英文）			
キーワード （日本語：5語以内）			
キーワード （英語：5語以内）			
著者名1 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
著者名2 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
著者名3 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
連絡先氏名			
住所 電話・FAX番号 E-mail	〒 TEL. : FAX. : E-mail		
本文原稿枚数	A4：（ 枚） ・ 400字詰原稿用紙（ 枚）		
表 枚	図 枚	写真 枚	
別刷り	30部 ・ 50部 ・ 100部 ・ 150部 ・ 200部 ・ 300部		

付記：投稿の宛先は土壤物理学会ホームページを参照のこと（<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/>）

## 土壤物理学会会員登録用紙 [入会・退会・登録事項変更]

必要事項をご記入の上、このまま下記宛先に（郵便、FAX、E-mail の添付ファイルなどで）お送りください。

届出内容	入会 ・ 退会 ・ 登録事項変更
申込年月日	西暦 年 月 日
会員種別	正 ・ 学生 ・ 購読 ・ 賛助
氏名	
同上ローマ字読み	
性別	男 ・ 女
生年月（西暦年・月）	西暦 年 月
勤務先	
勤務先所在地	〒
勤務先電話番号 / FAX 番号	
勤務先 e-mail	
自宅住所	〒
自宅電話番号 / FAX 番号	
自宅 e-mail	
会誌の送付先	勤務先 ・ 自宅
本学会以外の主な所属学会	

本会記入

受付年月日：

承認年月日：

送付先・問い合わせ先

土壤物理学会事務局（庶務幹事）

〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目

北海道大学大学院農学研究院 柏木淳一 宛

E-mail spsyomu@ml.affrc.go.jp

*Journal of the Japanese Society of Soil Physics*

No. 118

July, 2011

## Contents

<b>Foreword</b> .....	R. HATANO	...	1
<b>Original Papers</b>			
Impacts of soil slaking and drying on release and retention of cations during desalinization from saline soil .....	A.H.Md. SHAMIM and T. AKAE	...	3
<b>Notes</b>			
Evaluating the distribution of soil surface temperature using thermography during soil sterilization with hot water .....	H. OCHIAI, K. NOBORIO, K. OHTA, T. KITAURA, N. KITA and T. KATO	...	13
Causes inducing convection of ponding water in a vegetated paddy lysimeter .....	S. HANAYAMA and T. ANNAKA	...	19
<b>Readers' column</b> .....	Y. TSUKAMOTO	...	25
<b>Announcements</b> .....			27
<b>Editor's Postscript</b> .....			29

Published by

Japanese Society of Soil Physics

Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

Kita9 Nishi9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8589 Japan

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/>