

## 干拓地土壌における耕耘層が塩類の動態に及ぼす影響

染原, 昭仁  
九州大学大学院生物資源環境科学府

中野, 芳輔  
九州大学大学院農学研究院

弓削, こずえ  
九州大学大学院農学研究院

丸居, 篤  
九州共立大学工学部

<https://doi.org/10.15017/8866>

---

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 61 (2), pp.347-353, 2006-10-27. 九州大学大学院農学研究院  
バージョン：  
権利関係：

## 干拓地土壌における耕耘層が塩類の動態に及ぼす影響

染原 昭仁<sup>1\*</sup>・中野 芳輔  
弓削 こずえ・丸居 篤<sup>2</sup>

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室  
(2006年6月30日受付, 2006年7月24日受理)

### Effects of Plowing Layers on Salt Movement in the Reclaimed Land Soil

Akinori SOMEHARA<sup>1\*</sup>, Yoshisuke NAKANO, Kozue YUGE  
and Atsushi MARUI<sup>2</sup>

Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science,  
Department of Bioproduction Environmental Sciences, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

#### はじめに

諫早湾は、有明海の大きな潮の満ち干きと、流入する河川がもたらす砂や粘土、火山灰などが堆積することにより干潟が形成され易く、江戸時代前より干拓が行われ、水田や畑作に利用されてきた歴史を持つ。現在行われている諫早湾干拓事業は、大規模で平坦な優良農地を造成するとともに、地域の防災機能を強化することを目的としている。干拓地造成直後の土壌は高濃度の塩分を含み営農に適していないため、反転、緑肥混入、溝切、暗渠排水の埋設などを行うことによって土壌の物理的改善を行う必要がある。除塩が進行した後、畑地を整備し、耕耘・灌漑を継続することによって、土壌の構造が発達し、作物が良好に生育する熟畑化土壌へと変化していく。しかし、上層部の土壌の物理的改善が得られた後も、地下水付近をはじめ下層部の土壌中には多くの塩が残留している。

これまで、諫早湾干拓地土壌における塩の挙動に関する研究は行われてきたが(坂元, 2003; 山田, 2006)、表層土壌中の塩の挙動について毛管の切断という観点からの研究は少ない。土壌を耕耘することにより、毛

管が切断され、耕耘層以下の土壌からの塩の上昇が抑えられ、また、降雨や灌漑などの上からの水分の供給がリーチングの作用として働き、表層土壌の除塩が進行するものと考えられる。本研究では、干拓地土壌における耕耘層が塩類の動態に及ぼす影響について、ポット試験とシミュレーションにより検討することを目的としている。

#### 土壌の毛管切断試験

##### 1. 対象地区の土壌と調査実験

対象地区は長崎県諫早市の諫早湾中央干拓地試験圃場で、干陸後から土壌改良が進められ、2000年より試験栽培が行われている地区である。土壌の上層部は耕耘により団粒が発達しており、30cm付近からは青色のグライ層が見られた。60~70cmの暗渠付近には地下水が認められた。

諫早湾干拓地試験圃場において、深さ10~60cmの10cmごとの土壌を採土器により採取し、土壌水分特性の測定に供試した。pF 0~2.2の水分張力については吸引法によって、pF 3.0~3.8の水分張力については遠心法で測定した。その結果を図1に示す。各層の土

<sup>1</sup>九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学研究室

<sup>2</sup>九州共立大学工学部環境サイエンス学科

<sup>1</sup>Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction Environmental Sciences, Faculty of Agriculture

<sup>2</sup>Department of Environment Science, Faculty of Engineering, Kyushu Kyoritsu University

\*Corresponding author (E-mail: nori@bpes.kyushu-u.ac.jp)

壤の体積含水率は全体的に高く、粘性土の特徴を表している。35cm 以下は25cm までと比べて、有効水分量 (pF1.5~3.0) が小さく、上層と下層で構造が異なることがわかる。

表1は変水位測定試験により測定した透水係数である。土壤改良事業計画設計基準の目標透水係数は $10^{-4}$  cm/s であるが、作土層の0~30cmでこの値を満たしている。35cm 以下からは透水性が大きく低下していることがわかる。

EC 値は各深さのサンプルを乾燥土壤と蒸留水が1:5とする浸出液法で測定した。測定した結果を図2に

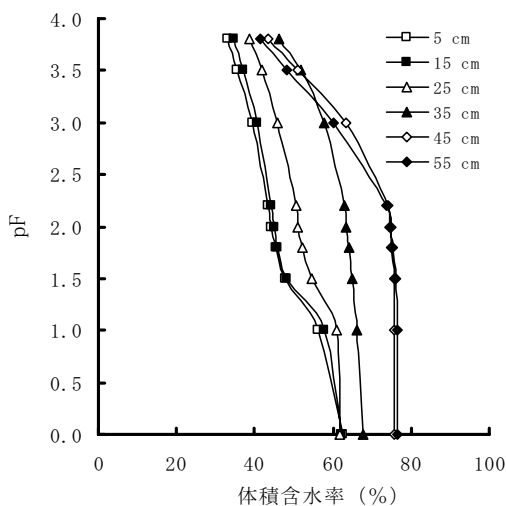


図1 諫早湾干拓地試験圃場の土壤水分特性曲線

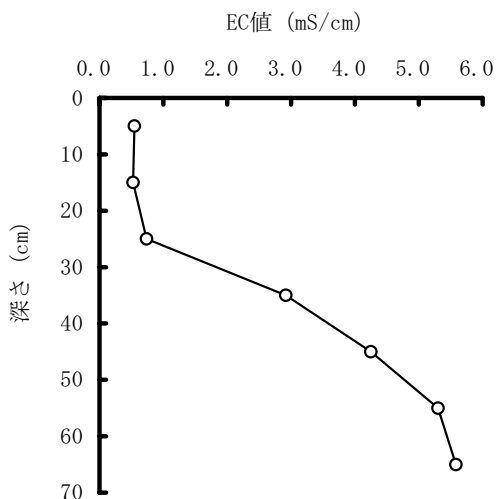


図2 浸出液法による現地土壤のEC値

示す。地表での EC 値は暗渠近くの深さの EC 値に比べ小さく、30cm 付近から EC 値は急激に増加している。地表面では土壤改良、降雨および灌漑によってこのように EC 値が低いと考えられる。一方、暗渠周辺の地下水の EC 値を測定したところ、27.9mS/cm (海水が約40mS/cm) と高い値を示し、地下水は塩分濃度の高い塩水であることが確認された。

2. 毛管切断についてのポット実験

実験の土壤として、諫早湾干拓地試験圃場内圃場において地表面から15cm 付近を作土層、45cm 付近を心土層として採取した。図3に示すように、ポット (1/5000a) に砂利を敷き、心土層の土壤を10cm、作土層の土壤を15cm、あらかじめ測定していた湿潤密度を用いて、対象地区と同じ密度になるように詰めた。地下水としてマリオット給水装置を用いて40mS/cm の NaCl 水溶液を供給した。

実験の条件は灌漑の有無および耕耘の有無による4種類の組み合わせで行った。灌漑は水分特性曲線から求めた TRAM 量 (全容易有効水分) 20.0mm を5日間断で2回行い、その後乾燥を促進させるため TRAM 量の半分10.0mm で7日間断を6回行った。また、耕耘層の厚さは土壤表面から約5cm に設定し、灌漑後2日目に耕耘を行った。それぞれの条件での状

表1 諫早湾干拓地試験圃場の飽和透水係数

深さ (cm)	透水係数 (cm/s)
5	$5.73 \times 10^{-4}$
15	$4.33 \times 10^{-3}$
25	$2.06 \times 10^{-4}$
35	$6.42 \times 10^{-5}$
45	$9.61 \times 10^{-6}$
55	$7.72 \times 10^{-5}$

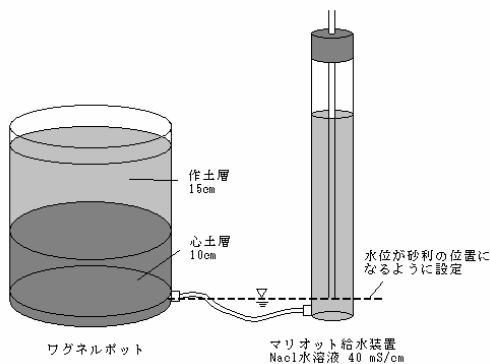


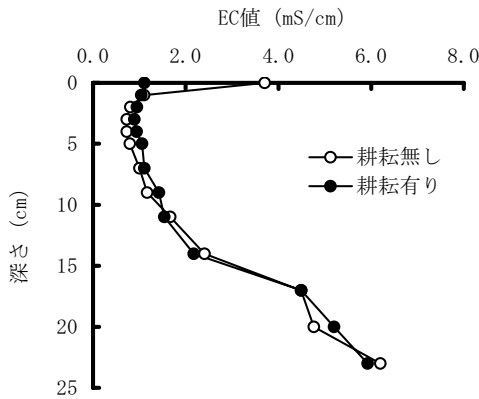
図3 毛管切断実験装置

態変化を見るために、ポットは8体用意し20日後および60日後に1つずつ解体し、深さごと（1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm, 11cm, 14cm, 17 cm, 20cm, 23cm）の土壌を採取した。各深さの土壌の EC 値を 1 : 5 浸出液法によって EC メータで測定した。

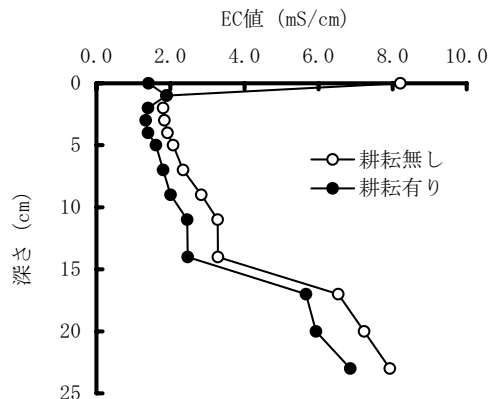
3. 耕耘による毛管切断の影響

図4, 5は、それぞれ実験開始から20日後および60日後の土壌の EC 値変化である。耕耘層の有無で EC 値を比較すると、全体的に耕耘した方が表面での EC 値は小さな値であったため、耕耘することで毛管が切断され地表からの水の蒸発が減少し、土壌表層での塩の集積が抑えられたと考えられる。灌漑無しの実験では、20日目から表面で EC 値に大きな差が認められ

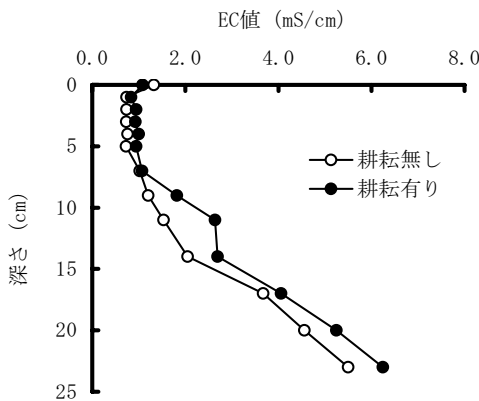
た。耕耘したポットでは表面の EC 値は20日後で約 1.0mS/cm, 60日後で約2.0mS/cm であったが、耕耘しなかったポットでは60日後に約9.0mS/cm まで上昇した。灌漑を行った実験では、20日後では各条件で 1.0mS/cm 前後と変化が見られなかった。60日後のグラフによれば、EC 値が2.6mS/cm から1.1mS/cm となり塩の表面集積は抑えられていることがわかる。次に灌漑の有無での EC 値を比較してみると、灌漑を行ったものでは共に60日後の値は耕耘層を設けたもので約 0.2mS/cm, 設けなかったもので約5.8mS/cm とそれぞれ低下しているため灌漑によるリーチングの効果が得られていることがわかる。このことから、現地の状態では耕耘された表層土壌は塩の集積が起りにくく、また灌漑を行うことによってリーチングの効果が得られ塩が下層に向うことが明らかとなった。



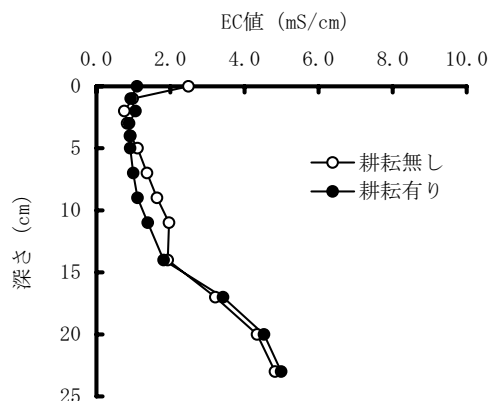
(a) 灌漑無し



(a) 灌漑無し



(b) 灌漑有り



(b) 灌漑有り

図4 実験20日目における各深さの EC 値

図5 実験60日目における各深さの EC 値

## 土壌中の水分と塩分の移動

土壌中の水分と塩分の移動を推定するために、コンパートメントモデルを用い鉛直一次元の解析を行った。コンパートメントモデルは領域に単一又は2個以上の区画（コンパートメント）を割り当て相互の物質収支を計算する方法である。ここでは、図6に示すように、鉛直方向に土壌上層が密になるように18層に分け解析を行い、根群域内の根の密集密度から吸水割合を決定した。計算では、耕耘層と下層の土壌とは透水係数に差異を持たせることによって区別した。

### 1. 水分・塩分移動の基礎式

鉛直一次元の土壌水分移動の基礎式は(1)式で表される。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta) \right) - S_w \quad (1)$$

ここで、 $\theta$ は体積含水率、 $D(\theta)$ は水分拡散係数、 $K(\theta)$ は不飽和透水係数、 $S_w$ は根による吸収量である。

鉛直一次元の溶質移動の基礎式は(2)式で表される。

$$\frac{\partial(c\theta)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D_c \frac{\partial(c\theta)}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} (V \cdot c\theta) + S_s \quad (2)$$

ここで、 $c$ は土壌溶液濃度、 $D_c$ は見かけの分散係数、 $V$ は平均間隙流速、 $S_s$ は溶質の溶出項である。見かけの分散係数 $D_c$ は一般に次のように表される。

$$D_c = \frac{D_0 a \exp(b\theta) + \lambda V}{\theta} \quad (3)$$

ここで、 $D_0$ は水中での溶質の拡散係数、 $a$ 、 $b$ は土性に依存する経験定数、 $\lambda$ は間隙形態に依存する経験定数である。なお、溶質の吸着・溶出過程については考慮していない。

$D(\theta)$ および $K(\theta)$ については、One-Step法(Gardner, 1962; Doering, 1965)で求めた表土層の値を用いた。各経験定数はOlsen and Kemper (1968)の研究によると、粘土の場合 $a=0.5$ 、 $b=10$ であり、Bresler (1973)によると $\lambda=0.5$ である。なお、溶質の吸着・溶出過程については考慮していない。ここでは、溶質は完全に土壌水に溶けているものと仮定し $S_c=0$ とした。

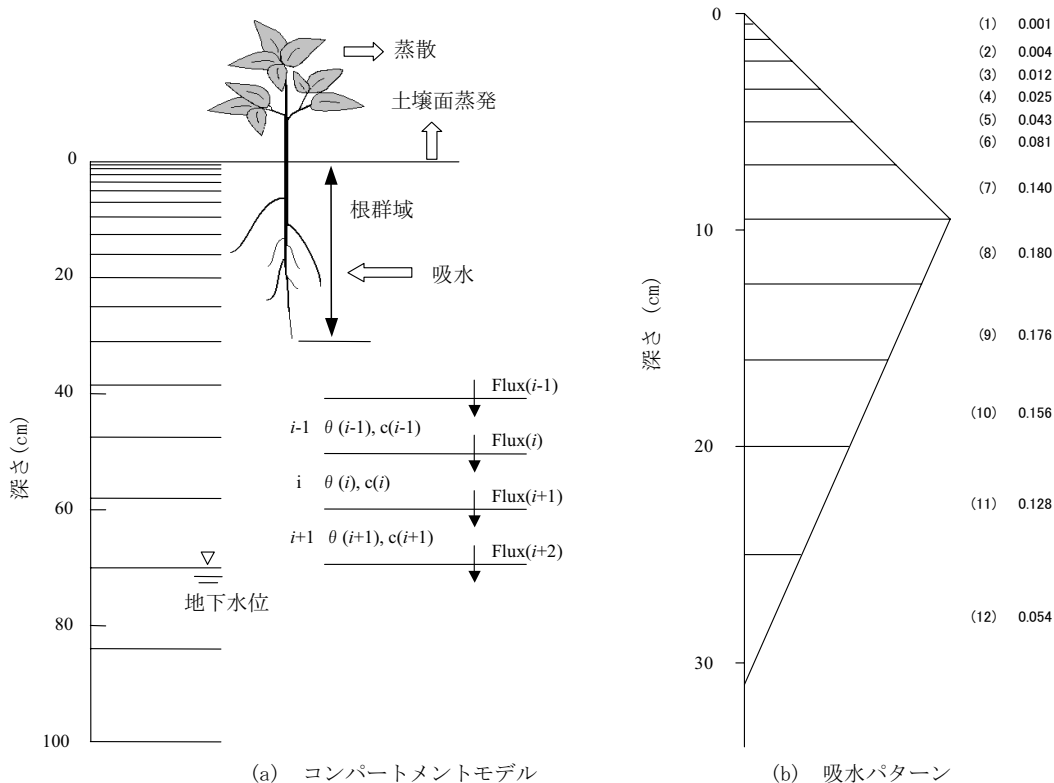


図6 コンパートメントモデルと根群の吸水パターン

2. 作物係数と実蒸発散量

一般に実蒸発散量は、Penman 法により蒸発散位を求め、作物係数をかけて推定する。

$$ET = K_c ET_p \tag{4}$$

ここで、 $ET$ は実蒸発散量、 $K_c$ は作物係数、 $ET_p$ は蒸発散位である。

作物係数  $K_c$  は土壌条件、気象条件、作物条件（作物の種類、生育ステージ）によって異なる値である。Nakano and Kuroda (1993) は作物係数を、作物蒸散による  $K_{crop}$  と土壌面蒸発による  $K_{soil}$  との和で表し、両項を(5)式、(6)式のように土壌面被覆率  $GC$  の関数で与えた。

$$K_{crop} = (0.92GC)^{1/2} \tag{5}$$

$$K_{soil} = 0.3 \exp(-1.1GC) \tag{6}$$

ここでは、長崎県の特産品のジャガイモで二期作が行われていると仮定した。作付パターンと作物係数を図7に示す。

3. 計算条件

計算年には、1994年（10年確率の干ばつ年）の気象データを用い、TRAM 20.0mm が空になったときに、灌漑強度 5 mm/h で灌水する間断灌漑について1年間の計算を行った。また、休耕時は灌水しないこととした。

また、耕耘層は粘土が破碎され孔隙が多くなるため、表層31cmのコンパートメントの不飽和透水係数を下層の10倍に設定した。このように耕耘層と下層の透水係数を大きく変化させることにより、乾燥条件下での水分移動の不連続を再現することができる。不飽和透水係数は丸居（2005）の研究結果を用いた。

4. シミュレーション結果

図8にシミュレーションから得られた一年間の水分フラックス（深さ30cm）と根群域内の総塩分量を示す。図に示すように、7月上旬～8月中旬、9月中旬～11月上旬の時期に連続干天が続き、耕耘層を設定した方では土壌中の塩分量の増加が緩やかであるのに対し、耕耘層を設定していない方では塩分量の増加は急である。つまり、毛管が切れていなければ地表面で多くの蒸発が起こり、地表面方向に水分が移動し、土壌中の塩が増加するという現象が計算結果に表れている。5月中旬、9月上旬、12月上旬では水分フラックスが下層に向かう流れとなり、そのときの根群域内の塩分量はいずれも減少している。このことから、土壌中の塩は灌漑や降雨などの水分の供給によってリーチングが進み除去されることが分かる。

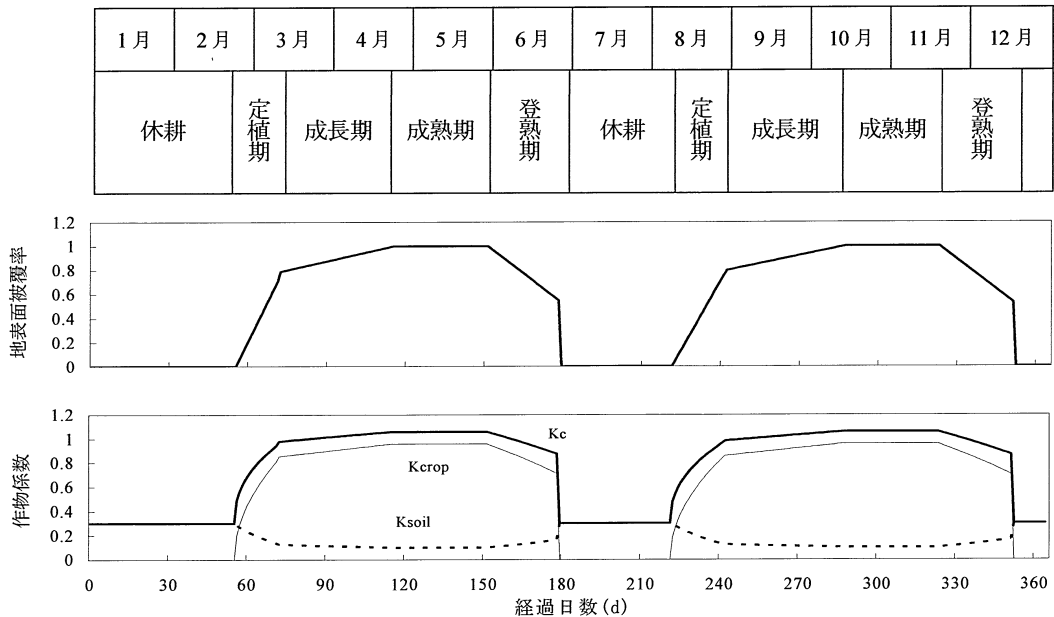
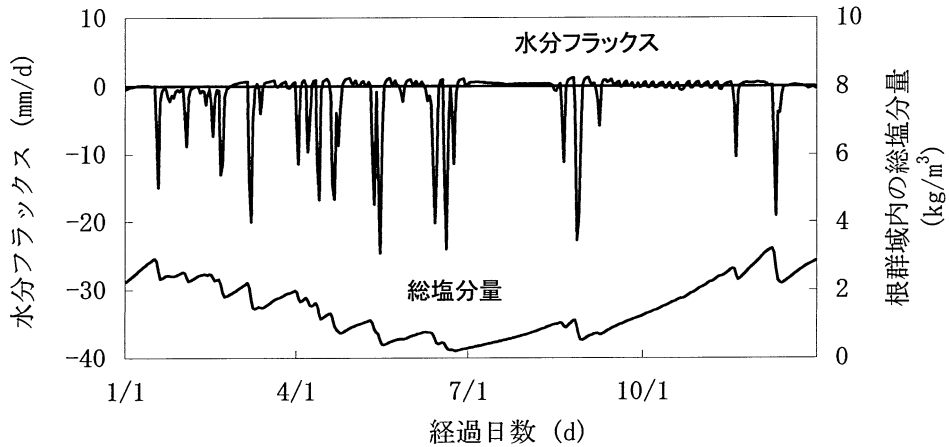
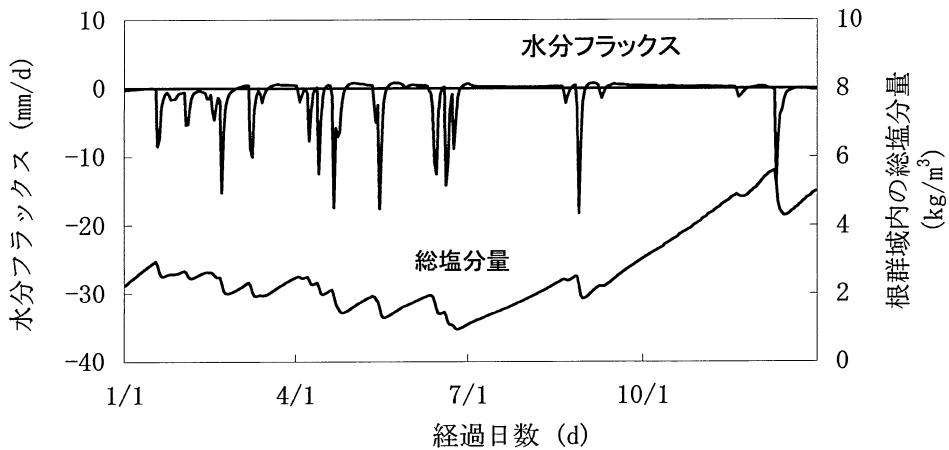


図7 ジャガイモ二期作の作付けパターンと作物係数



(a) 耕耘層有り



(b) 耕耘層無し

図8 耕耘層の有無による深さ30cmの水分フラックスと根群域内の塩分量変化

## 摘 要

毛管切断を行ったポット試験では、土壌を耕耘することによって土壌中の毛管が切断され、地表面方向への水分の移動が抑制されるため、水と共に移動する塩の土壌表層への集積が抑制されたと考えられる。さらに、降雨や灌漑などの水分の供給によりリーチングの

効果が生じ、土壌表層の塩分濃度が低下した。しかし、灌漑もしくは降雨によって土壌塊表面の土壌が流され、切断されていた土壌の毛管を再び接続するため、耕耘を頻繁に行い毛管の再接合を防ぐ必要がある。

圃場における土壌中の塩の挙動を探るためにコンパートメントモデルを用いて数値計算を行った。その結果、耕耘層を設定したものでは、設定しなかったものに比

べ連続干天が続いても土壤中の塩分量は少なく抑えられており、また降雨や灌漑により土壤中の塩分量が減少することも確認できた。今後の課題として、耕耘により作られる土壌塊中の塩の動態、植物の根群域における塩の分布を明らかにする必要がある。また、三次的な土壌中の塩の挙動も明らかにする必要がある。

## 文 献

- Bresler, E. 1973 Simultaneous transport of solutes and water under transient unsaturated flow conditions. *Water Resour. Res.*, **9**: 975-986
- Doering, E. J. 1965 Soil-Water Diffusivity By The One-Step Method. *Soil Science.*, **99**: 322-328
- Gardner, W. R. 1962 Note on the separation and solution of diffusion type equations. *Soil Science Society of American Proceedings.*, **26**:

404

- 畑地農業振興会 2000 諫早湾干拓事業畑地整備調査委託事業報告書
- 丸居 篤・原口智和・弓削こずえ・中野芳輔 2005 海岸農地における根群域下層からの水分と塩分の移動. *畑地農業*, **557**: 15-24
- Nakano, Y. and M. Kuroda 1993 Practical application of microirrigation systems in greenhouse culture. *15<sup>th</sup> Congress on Irrigation and Drainage.*, : 71-79
- Olsen, S. R. and W. D. Kemper 1968 Movement of nutrients to plant roots *Advance Agron.*, **20**: 91-151
- 坂本智彦 2003 新規干拓地土壌を用いた地下水位一定条件下での蒸発と塩の動態. 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻修士論文
- 山田朋哉 2006 干拓地暗渠周辺部における塩の挙動について. 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻修士論文

## Summary

A substantial big reclamation project for agricultural production is currently taking place at Isahaya Bay, Nagasaki prefecture located in the southwest of Japan. To improve the soil physical properties, a large amount of gypsum was added to the original heavy clay soil. Also, leaching was conducted for several months using a sprinkler to carry out the salts in the land surface.

In this report, some trials to control the salt damages were introduced. First, the soil's physical properties at the newly reclaimed field were introduced. Second, the pot experiments on the soil salinity movement when the surface layer was plowed were conducted. Finally, numerical studies on the soil water movement and salt movement in the fields were stated. So experimental and numerical effects on plowing soil surface were carried out.

Results from the experiments were that the accumulation of salts at surface layer was controlled because of the plowing effects that it cut off the capillary in the soil. Furthermore the rainfall and the irrigation into the field worked as action of reaching. It obtained more effects of the control of salts accumulation than dry states.

Though the results of the study are applicable for warm and humid climatic conditions with reclaimed land soils, the objective methodology developed has universal applicability.