

## 新規干拓地における畑地利用と灌漑スケジューリング

丸居, 篤

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

原口, 智和

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産環境情報学講座生産環境情報学研究室

坂元, 智彦

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

弓削, こずえ

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

他

<https://doi.org/10.15017/21130>

---

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 57 (1), pp.125-133, 2002-10. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

## 新規干拓地における畑地利用と灌漑スケジューリング

丸居 篤\*・原 口 智 和\*\*・坂 元 智 彦\*  
弓 削 こずえ\*・中 野 芳 輔 ・舟 越 保

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  
(2002年6月27日受付, 2002年7月12日受理)

### Irrigation Scheduling and Upland Utilizing of the Newly Reclaimed Land

Atsushi MARUI\*, Tomokazu HARAGUCHI\*\*, Tomohiko SAKAMOTO\*,  
Kozue YUGE\*, Yoshisuke NAKANO and Tamotsu FUNAKOSHI

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

#### 緒 言

新規干拓地の灌漑計画では、海面下にあった土壌が  
含んでいる塩分の操作を考慮しなければならない。干  
陸直後は、乾燥、耕耘、水切溝の掘削などにより塩類  
の溶脱を促進する必要がある、その後も暗渠の埋設、  
石膏の投入、リーチング、緑肥の混入などによる土壌  
改良を進めなければならない。土壌改良が進んだ後、  
根群域内の塩分濃度は低い値に改善されるが、暗渠付  
近の深層部は依然として高い塩分濃度に保たれている  
(天谷ら, 1983)。この状況下で干天が続くと、もとも  
と海面下にあった干拓土壌に含まれている多量の塩が、  
蒸発散により土壌水分と共に上昇し、畑作物に被害を  
及ぼす危険性がある(長堀・佐藤, 1975)。

そこで本研究では、干陸後5年目の熟畑化過程にお  
ける新規干拓地を対象地区として、現地調査、新規干

拓地の土壌を用いたポット栽培実験、水分・塩分移動  
シミュレーションを行うことにより土壌水分の動きと  
塩分濃度分布の変化を調査し、適切な灌漑計画を検討  
した。

#### 新規干拓地土壌の物理特性

干陸後の重粘土土壌は、乾燥、耕耘、暗渠による排  
水、石膏の投入、スプリンクラーによるリーチングな  
どの土壌改良操作によって、表層は大きく改善された。  
干陸後5年が経った時の水分特性曲線、有効水分量、  
仮比重、飽和透水係数、塩分濃度を調査した結果を記  
す。また、テンシオメータによる土壌水分ポテンシャル  
の連続観測の結果も併せて記す。

##### 1. 土壌水分特性曲線

干陸後5年を経た土壌を深さ毎(5 cm, 15 cm, 25  
cm, 35 cm)に採土し、吸引法、遠心法を用いて土壌

\* 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

\*\* 九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産環境情報学講座生産環境情報学研究室

\* Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction Environmental Science, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

\*\* Laboratory of Bioproduction and Environment Information Sciences, Division of Bioproduction and Environment Information Sciences, Department of Bioproduction Environmental Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University

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

水分特性曲線を作成した。調査地区土壤は土壤改良を進めている段階であり、図1に示すように、表層の5cmで大きく改良が進んでいるが、15cm、25cmでの改良はまだ進行中であり、35cmでは初期粘土の土壤物理性を保っている。

## 2. 容易有効水分量

有効水分量は作物に容易に利用され、正常生育を保證する水分状態である。ここでは、pF1.5からpF3.0までの間の容易有効水分量を仮比重と合わせて表1に示す。

## 3. 透水性

変水位透水試験から求めた飽和透水係数を表2に示す。0~20cmと20~40cmの層で大きく透水性が異なっており、20cm以下で透水性が低いことがわかる。この一因に機械による耕耘が深さ30cm程までしか及

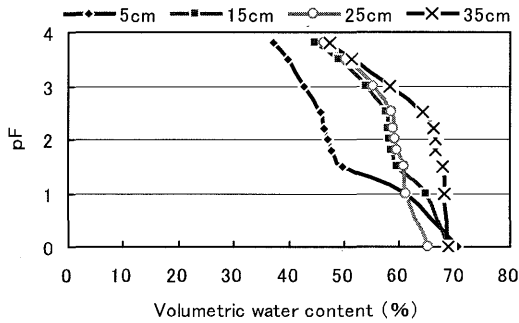


図1 水分特性曲線

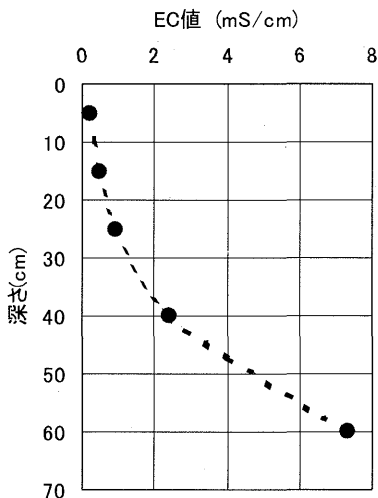


図2 新規干拓地のEC値

ばないことが上げられる。

## 4. 塩分濃度

1:5懸濁法によって求められた電気伝導度(EC値)を図2に示す。深さ25cmまでのEC値は1.0mS/cm以下であったが、深さ40cmで2.4mS/cm、深さ60cmでは7.4mS/cmと高い値を示した。Ayers and Westcot (1985)による土壤飽和抽出水のEC値と作物収量の関係を表3に示す。1:5懸濁法のEC値を飽和抽出法のEC値へ換算する方法は、伊藤(1984)によると1:5懸濁法のEC値は飽和抽出法のおよそ10分の1である。表3によると飽和抽出液のEC値が10mS/cmを超えるとほとんどの作物は生育に障害を

表1 有効水分量と仮比重

土層 (cm)	有効水分量 (mm)	仮比重 (g/cm <sup>3</sup> )
0~10	6.78	0.74
10~20	5.59	0.77
20~30	5.61	0.90
30~40	9.36	0.85

表2 飽和透水係数

深さ (cm)	飽和透水係数(cm/s)		
0~10	$4.80 \times 10^{-4}$	$8.04 \times 10^{-3}$	$2.31 \times 10^{-3}$
10~20	$1.26 \times 10^{-3}$	$7.62 \times 10^{-3}$	$1.12 \times 10^{-3}$
20~30	$2.66 \times 10^{-6}$	$3.93 \times 10^{-6}$	$3.60 \times 10^{-7}$
30~40	$6.43 \times 10^{-5}$	$2.94 \times 10^{-6}$	$5.35 \times 10^{-6}$

表3 電気伝導度と作物収量の関係

作物品種	土壤飽和抽出液の電気伝導度 (mS/cm)			
	収量 100%	収量 90%	収量 50%	収量 0%
大 麦	8.0	10.0	18.0	28.0
大 豆	5.0	5.5	7.5	10.0
ソルガム	4.0	5.1	11.0	18.0
大 根	4.0	5.1	9.6	15.0
ブロッコリー	2.8	3.9	8.2	13.5
キュウリ	2.5	3.3	6.3	10.0
キャベツ	1.8	2.8	7.0	12.0
タマネギ	1.2	1.8	4.3	7.5
ニンジン	1.0	1.7	4.6	8.0
いちご	1.0	1.3	2.5	4.0

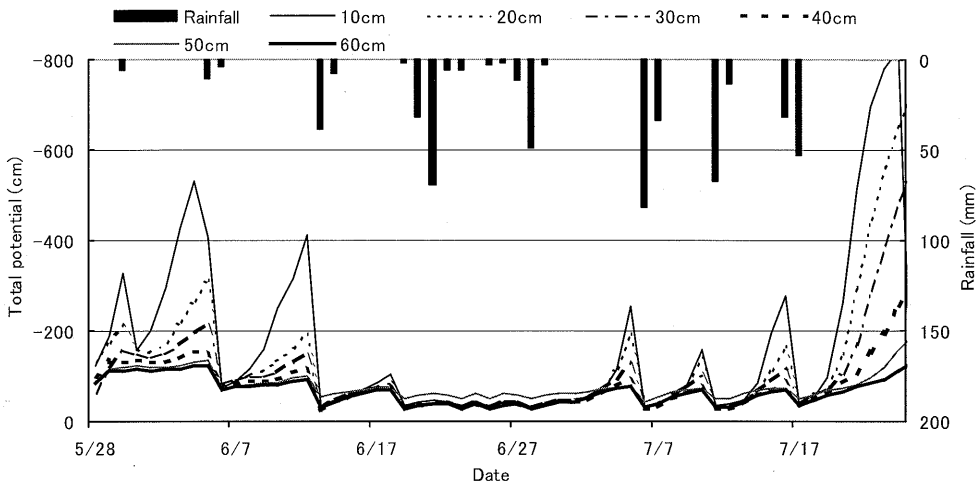


図3 降雨量と深さ毎トータルポテンシャルの経日変化

受ける。この結果から40cmより深い所からの水分の上昇は確実に作物に影響を及ぼすことがわかる。

5. 土壌水分ポテンシャル

1～4のような状況の新規干拓地の玉ねぎ畑に、テンシオメータを10cm毎に60cmまで6本埋設し、約10ヶ月間土壌水分変化を観測した。2001年の5月28日から7月24日までの深さ毎のトータルポテンシャルと降雨量の関係を図3に示す。土壌水はトータルポテンシャルが高いところから低いところへ流れる。したがって、図3によると50mm前後の降雨後、およそ5日で下層からの上向きの流れが発生していることが確認できる。干天が続くと、塩分濃度が高い深さ50～60cm間でも上向きの水分フラックスが観測された。

降雨後まとまった量の降雨がないと下層から確実に水分が上昇していることは明らかであり、塩分フラックスの上昇を抑えるためには適切な灌漑水量が必要である。

ポット栽培実験

九州大学農学部貝塚園場のガラス室にて、新規干拓地より土層別(0～10cm, 10～20cm, 20～40cm, 40～60cm, 60cm以下)に持ち帰った土壌を図4に示す栽培ポット(直径40cm, 高さ100cm, 暗渠直径7cm, 深さ70cm)に詰め、干拓地の土壌構造を再現した。テンシオメータと土壌溶液採取器を深さ5cm, 15cm, 25cm, 40cm, 60cmに埋設し、土壌水分量と土壌水のEC値を測定した。土壌溶液採取器については、1箇所ですすめ続けることで部分的に塩分濃度

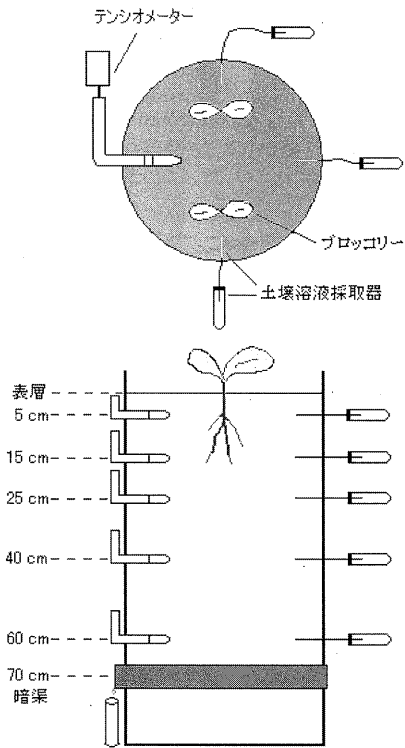


図4 栽培実験ポット

が低下することを防ぐため、各深さ毎に3箇所ずつ埋設し、交互に測定した。栽培試験のポットは二体として、灌水方法を表4に示すように、一つを畑地灌漑計画から得られたTRAM (Total Readily Avail-

able Moisture) 量を灌水する間断灌溉区, もう一つを除塩目的とした毎日 5 mm 灌水の頻繁灌溉区とした。なお観測期間は2001年12月6日から2002年1月21の47日間で, テンシオメータ測定は毎日午後5時, 土壤溶液採取器による測定は間断灌溉区の灌水後に行つた。また, 蒸発散位の測定には小型蒸発計を用いた。

実験の結果と考察

図5, 図6は, それぞれ間断灌溉区と頻繁灌溉区における5日間のトータルポテンシャルの変化を表している。間断灌溉区では, 灌溉後3日経つと全層の土壤水分移動は上向きを示し, 5日経つと表層の土壤水分

ポテンシャルは-500cmまで増加した。つまり, 灌溉後には下向きの水分移動が表層で起こっているが, 灌水量15mm(1日当り3mm)では下層で下向きの水分移動を保つことは出来ないことを表している。間断灌溉区において, 水収支から求めた消費水量は観測期間の平均で2.6mm/dであった。一方, 頻繁灌溉区における土壤水分移動はほぼ毎日下向きであった。しかし, 灌水量5mm/dに対し消費水量は2.7mm/dであったため節水をするのが望ましい。土壤水分状態を監視することで, 灌水量を5mm/dから適切な値に減らすことが可能であろう。

各ポットの EC 値の変化をそれぞれ図7, 図8に記

表4 ポットと灌水方法

ポット	灌水量 (mm)	間断日数 (日)
間断灌溉区	15	5
頻繁灌溉区	5	1

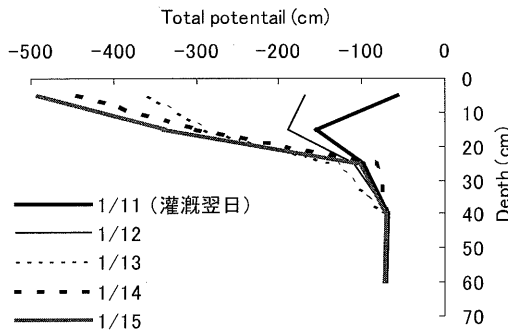


図5 間断灌溉区におけるトータルポテンシャルの変化

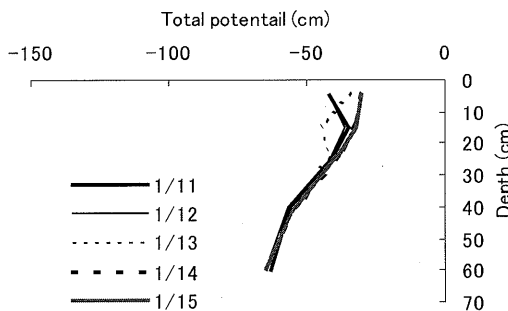


図6 頻繁灌溉区におけるトータルポテンシャルの変化 (毎日灌水)

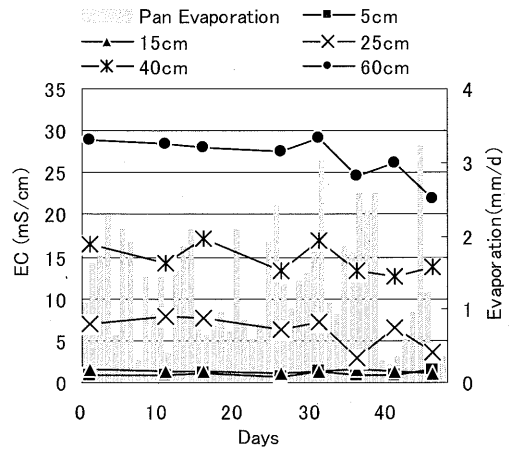


図7 間断灌溉区における EC 値の変化と蒸発散量

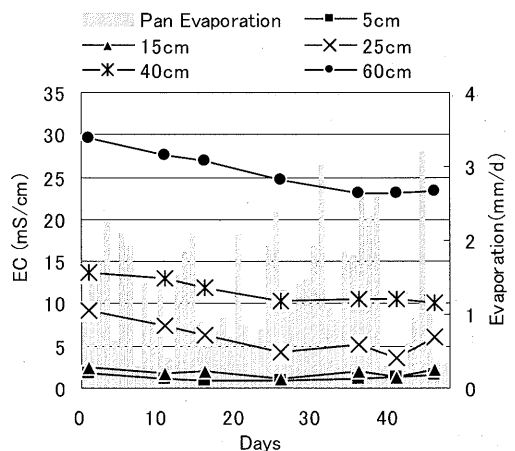


図8 頻繁灌溉区における EC 値の変化と蒸発散量

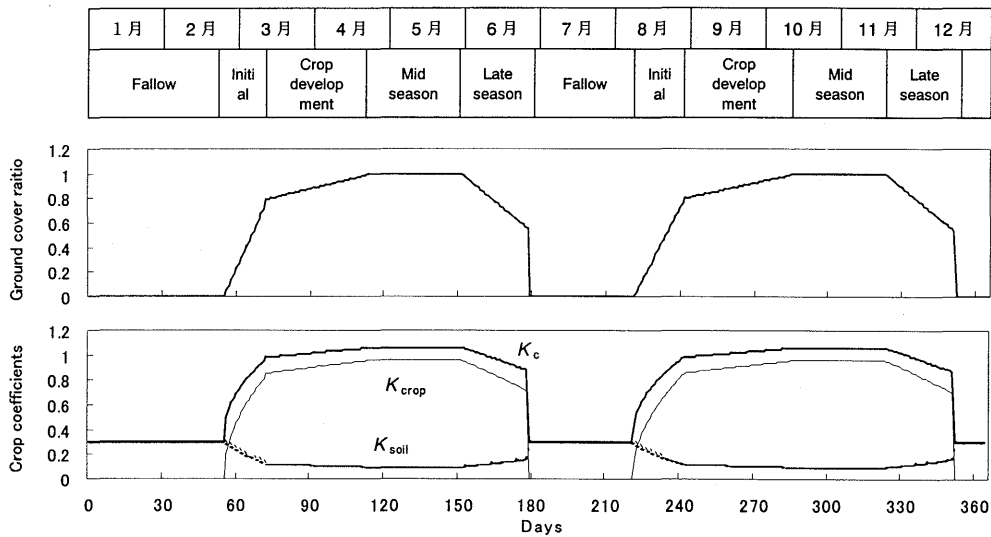


図9 作付けパターンと作物係数

す。図の示すように EC 値の初期値は、両ポットとも表層20cm で1~2 mS/cm, 暗渠の上部である60cm の層で30mS/cm 前後であった。およそ50日間の実験後、両ポットとも表層20cm の EC 値は除塩が進んでいたため低い値に保たれたが、40cm の層で約 3 mS/cm, 60cm の層では約 7 mS/cm 減少した。間断灌漑区の25cm 以下の層では、上向きと下向きの水分移動が繰り返し起こった結果、EC 値の増減につながったと考えられる。

間断灌漑区における上層の EC 値は低い値を保ったが、間断中の塩分の上昇は避けられないものであり、根群域内での塩分濃度の変動は時として作物生産に被害を及ぼすであろう。これらの結果は頻繁灌漑が常時上向きの水分移動を抑え、塩分の上昇を抑制するのに適していることを示している。しかし、灌漑水を節約するためには、土壤水分測定装置が必要である。

## 水分・塩分移動シミュレーション

### 1. 水分・塩分移動の基礎式

土壤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て鉛直次元のシミュレーションを行った。鉛直次元の土壤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、 $\theta$ : 体積含水率、 $D(\theta)$ : 水分拡散係数、 $K(\theta)$ : 不飽和透水係数、 $S_w$ : 根による吸収量。  $D$

( $\theta$ ) 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。

鉛直次元の溶質移動の基礎式は(2)式で表される

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

ここで、 $c$ : 土壤溶液濃度、 $D_c$ : 見かけの分散係数、 $V$ : 平均間隙流速、 $S_s$ : 溶質の溶解・析出である。ここでは、溶質は完全に土壤水に溶けているものと仮定した ( $S_s=0$ )。

見かけの分散係数  $D_c$  は一般に(3)式のように表される。

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

ここで、 $D_0$ : 水中での溶質の拡散係数、 $a$ ,  $b$ : 土性に依存する経験定数、 $\lambda$ : 間隙形態に依存する経験定数。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・溶解・析出過程については考慮していない。

### 2. 実蒸発散量と作物係数

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。

$$ET = K_c ET_p \quad (4)$$

ここで、 $ET$ : 実蒸発散量、 $K_c$ : 作物係数、 $ET_p$ : 蒸

発散位。

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項 ( $K_{crop}$ ) と土壌面蒸発による項 ( $K_{soil}$ ) 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。

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

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

ここではジャガイモの二期作を想定した。そのときの被覆率及び作物係数の変化を図9に示す。

### 3. シミュレーション条件

表5に示すように, 計算年には10年確率の干ばつ年である1994年の気象データを用いた。暗渠の埋設されている70cmを地下水面とし, 根群域は31cmに設定した。灌水条件は表6に示す。Marui *et al.* (2002) はTRAM量灌溉では作物に被害を及ぼす可能性があ

表5 シミュレーション条件

根群域	31cm
地下水位	70cm (暗渠排水の深さ)
気象データ	1994年 (干ばつ年)
不飽和透水係数	$10^{-4}$ cm/s~ $10^{-9}$ cm/s

表6 灌水条件

	灌水方法	灌水量 (mm)	灌水日
Case 1	TRAM量灌溉	15.0	TRAMが空になった時
Case 2	TRAM量の1.5倍を灌溉	22.5	TRAMの1.5倍が空になった時
Case 3	少量頻繁灌溉	2.0, 3.0, 4.0, 5.0	降雨のない日

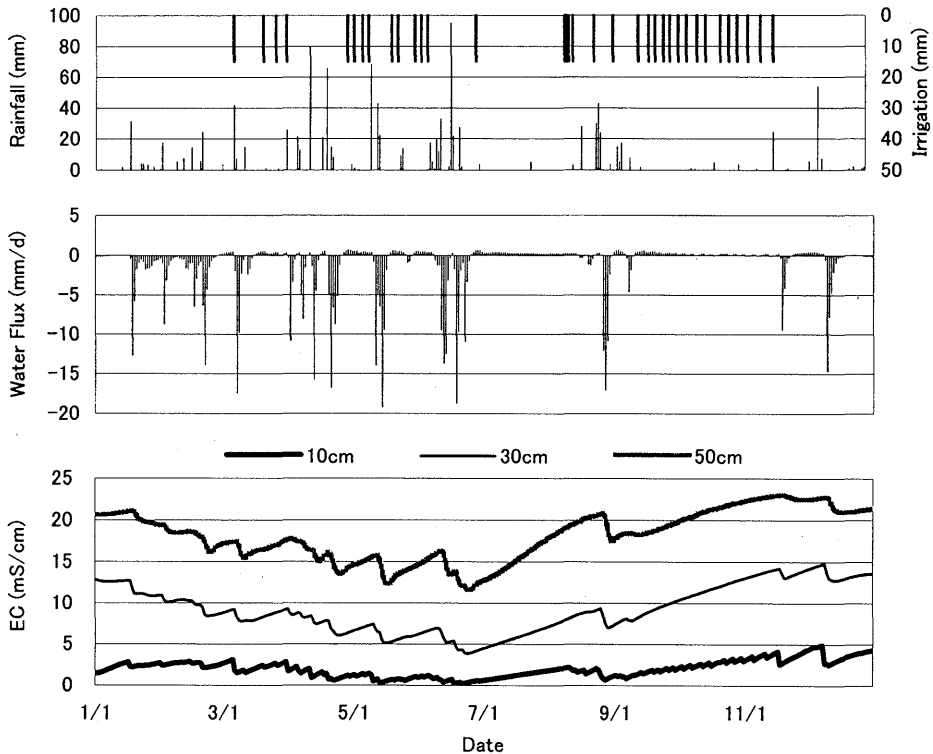


図10 Case 1での降雨・灌水量, 深さ30cmの水分フラックス, 10cm, 30cm, 50cmの電気伝導度

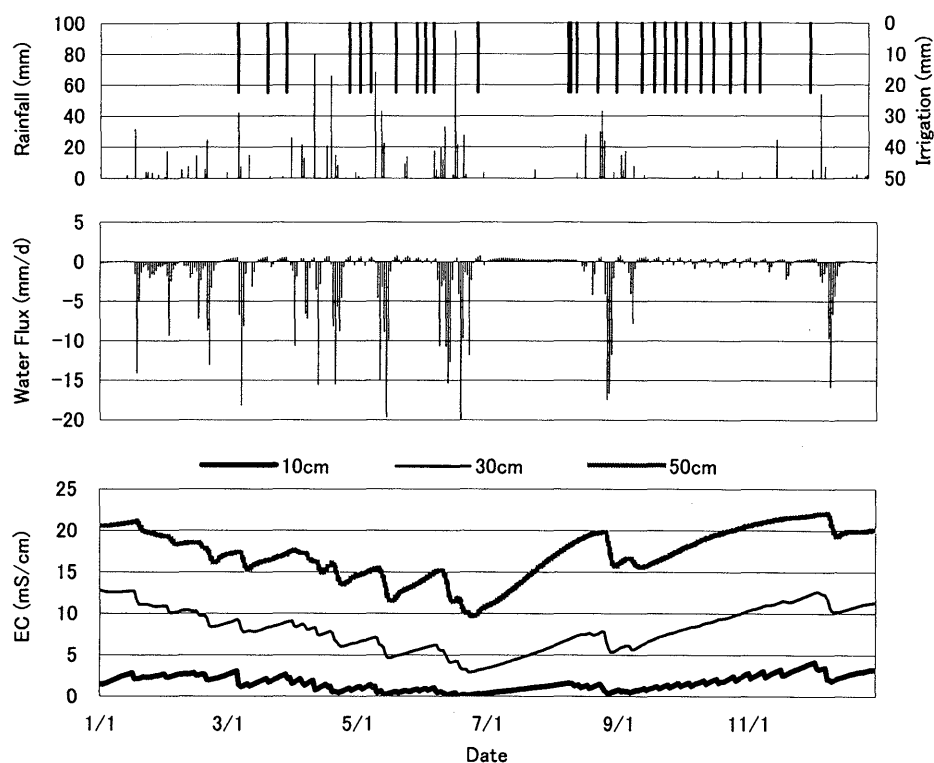


図11 Case 2での降雨・灌水量, 深さ30cmの水分フラックス, 10cm, 30cm, 50cmの電気伝導度

るとしていることから, TRAMが空になったときに灌水強度5 mm/hで灌水するTRAM量灌漑の他に, その5割り増しの灌漑を想定した。また, 降雨が無い日に少量(2, 3, 4, 5 mm/d)を灌水する少量頻繁灌漑について計算を行った。なお, 休耕時は灌水しないこととした。

#### 4. 結果と考察

新規干拓地において, ジャガイモの二期作を想定し, 10年確率の干ばつ年での土壌水分と塩分の移動シミュレーションを行った。図10, 図11, 図12にそれぞれCase 1, Case 2, Case 3(4 mm/d)の場合の降雨・灌水量, 深さ30cmの水分フラックス, 深さ10cm, 30cm, 50cmでのEC値を示す。シミュレーションの結果によると, TRAM量の灌漑では, 降雨が少なく蒸発散の多い時期にEC値が増加し, 10cmの層では初期値の約3倍である5 mS/cmを超える値となった。また, 30cm, 50cmの層でもEC値は増加しており, 作物に影響を与えることが考えられる。TRAM量の1.5倍の灌漑では, 灌水直後には下向きのフラックスが生じるが, その後の上向きのフラックスでEC値が

増加しており, TRAM量灌漑と同じ傾向を示している。一方, 少量頻繁灌漑については2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm灌水の場合について計算を行った。その結果, 2 mm灌水, 3 mm灌水では表層でのみEC値の増加が抑えられたが, 下層までは灌漑水が十分に行き届かなかったために, 下層でEC値が増大した。5 mm灌水(合計灌水量975mm)の時に最も低くEC値は抑えられたが, 節水の面を考慮すると4 mm灌水が適当である。4 mm灌水では, 上向きのフラックスを小さく抑え, また, 降雨がある時に大きな下向きのフラックスを生じさせることで, EC値の増加はさほどなく, 初期値とほぼ同じ値かそれ以下となり, 干ばつ年でも塩類が作物に与える影響は少ないといえる。

それぞれの灌水量の合計は525mm, 608mm, 780 mm(4 mm/dの場合)であり, 少量頻繁灌漑では雨季に灌水を行わないことなどを実施し, 節水する必要がある。そのためにも土壌水分状態を常に観測しておく必要がある。



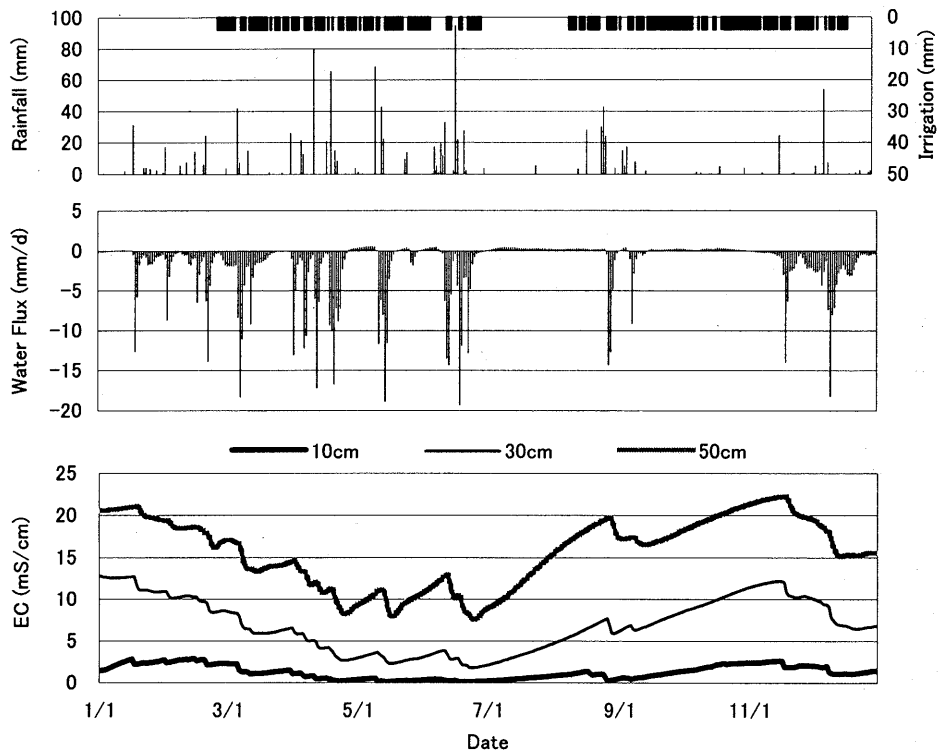


図12 Case 3での降雨・灌水量, 深さ30cmの水分フラックス, 10cm, 30cm, 50cmの電気伝導度

## 摘 要

干陸後5年の新規干拓地において現地調査を行うと共に、干拓地の土壌を用いてガラス室内での作物のポット栽培実験を行い、シミュレーションによる灌漑計画を検討した。

対象地区の土壌物理性は透水性が低く、上層から下層になるほど含水率が高くなり、塩分量も多くなる。現地データからまとまった降雨の後数日経過すると、下層からの毛管上昇が確認された。

ポット栽培実験の間断灌漑でも灌漑後数日で水分移動はほぼ全層に渡って上向きとなった。上向きの水分移動により塩分も共に上昇するという事態がおこるため、間断灌漑では作物生産に被害を及ぼす可能性がある。一方、頻繁灌漑では上層で上向きの水分移動が確認されたが、毎日灌水することにより中層、下層で常に上向きの塩分フラックスは抑えられ、塩分の上昇の抑制、除塩につながる事が明らかとなった。土壌面蒸発や植物の蒸散によって起こる上向きフラックスを抑制するためには、頻繁に灌漑を行うことが大切であ

る。ただし、頻繁灌漑は多量の灌漑水を要するため、土壌水分測定装置により水分状態を常に把握し、節水する必要がある。

蒸発散の多い夏季や干ばつが起こった時、上向きの毛管上昇がより大きくなることが予想され、計画的に灌漑スケジューリングを講じる必要がある。

## 文 献

- 天谷孝夫・長堀金造・高橋 強 1983 干陸後の塩分挙動解析と除塩対策への検討。農業土木学会論文集, 106: 41-50
- Ayers, R. S. and D. W. Westcot 1985 Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage paper*, 29(1): 13-58
- 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: 322-326
- Gardner, W. R. 1962 Note on the separation

- and solution of diffusion type equations. *Soil Science Society of America Proceedings*, **26**: 404
- 伊藤純雄 1984 施設栽培における新実用化技術〔3〕. 農業および園芸, **59**(8): 1081-1088
- Marui, A., T. Haraguchi, Y. Nakano, T. Funakoshi and K. Yuge 2002 Irrigation scheduling to control the capillary saltish water movement at crop fields newly reclaimed from the sea. *Proceedings of 2002 ASAE Annual International Meeting / CIGR World Congress*, Paper Number 022182
- 長堀金造・佐藤晃一 1975 干陸後の塩分挙動. 農業土木学会論文集, **56**: 1-7
- Nakano, Y. and M. Kuroda 1993 Practical application of microirrigation systems in greenhouse culture. *15th 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

## Summary

In the greenhouse, experimental study was conducted to clarify the properties on the saltish water movement in the newly reclaimed field under the applications of the intermittent and the frequent irrigation methods.

In the intermittent irrigation, salt concentration decreases after irrigation and increases before irrigation. These fluctuations will sometimes cause severe damage to the crop growth. In the small quantity frequent irrigation, the rise of saltish water to the root zone was suppressed by the irrigation application.

Though the small quantity frequent irrigation caused the downward flux at the whole soil layers, in the intermittent irrigation it is considered that the irrigated water goes through the same ways and the cracks. So the desalinization will occur at a part of soil layers in the intermittent irrigation.

The suitability of the intermittent irrigation for controlling saltish water movement was clarified with the simulation study. The method is effective for suppressing the upward water flux, but this type of irrigation scheduling needs much more water than intermittent irrigation scheduling. For determining the appropriate amount of water, a soil moisture monitoring system would be required.