

干拓地土壌の化学特性と除塩に関する実験的研究

諫早湾干拓地を事例として

猪迫耕二*・吉田 勲*・下野展明**

平成10年6月26日受付

*鳥取大学農学部生存環境科学, **農林水産省中四国農政局

An Experimental Study on Chemical Properties and Salt Exclusion of Polder Soil

A Case in Isahaya Bay Polder

Koji Inosako*, Isao Yoshida* and Nobuaki Shimono**

* *Department of Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori, 680-0947, Japan*

** *Chugoku-Shikoku Division, Agricultural Ministry, Okayama, 700-8532, Japan*

Soil in sea coast reclamation has rich salt. High electric conductivity of the soil could be the largest trouble in crop culture. Therefore it is important for crop product to remove salt from the soil. A purpose of this study is to clear the process which desalinization in sea coast reclamation is progressing. Isahaya bay polder soil was selected as the material in this study. At first, chemical properties of the soil were analyzed. Next, salt exclusion experiment using four wagner pots with the soil and gypsum were carried out. The results were summarized as follows: 1) The soil was judged to be the alkaline soil, because the ESP were 25~68%. 2) The gypsum dressing more than calculated amounts was an effective countermeasure for the salt exclusion. 3) It suggested that the sufficient mix of the soil and the gypsum was important. 4) It was important that the amount of gypsum dressing was determined after consideration of the decrease of CEC with the desalinization

(Received 26 June 1998)

Key words: polder, desalinization, CEC, exchangeable cation,

緒 言

わが国の干拓は、従来水田利用が目的でなされてきた。しかし、最近の農業を取りまく諸情勢の急激な変化、とりわけ米の過剰による水田利用再編対策にともなって、干拓地の水田利用は見直され、畑地利用として計画されるようになった[4]。干拓地には海面干拓地と湖沼干拓地がある[6]。これらのうち、海面干拓地を畑地として利用

する場合、土壌中の高い塩分濃度が作物栽培の障害となる。したがって、畑地利用を可能な限り早く実現するためには、塩分濃度の低下すなわち除塩が必要となる。

淡水による除塩のメカニズム等に関しては、わが国初の畑地利用干拓地である岡山県笠岡湾干拓地において詳細な研究が行われた[1][2][3][4][9]。これら一連の研究によって、淡水のみの除塩には限界があることが示された。これは、土壌中の豊富な交換性 Na^+ (ex-Na^+) に起因する

壤物理性の悪化によるものである。その対策として笠岡湾干拓地では石膏の客入を行い、効果を挙げている[5,8,10]。

笠岡湾干拓地の事例は、淡水によってある程度除塩が進行した後には石膏を客入した場合のものであり、干陸当初から石膏を客入した場合も同様の効果が得られるか否かは明らかではない。そこで、本研究ではまず海面干拓地である長崎県諫早干拓地の土壌を供試土とし、その土壌化学性について分析を行った。その結果をもとにソーダ質土壌であるか否かの判定を行った。次いで、下方からの塩補給のない閉鎖系条件下での石膏客入による除塩の進行過程を明らかにするため、ポット試験を中心とした実験を行った。

土壌の分析

1. 供試土壌

第1図は諫早湾内の土性分布図である。本研究では図中の地点番号 1, 7, 8, 10 で採取された土壌について分析を行い、その化学特性を明らかにした。各地点の土性

はそれぞれ、植壤土、壤土、植壤土、植土であった。

2. 分析方法

採土した諫早湾干拓地土壌のpH, Cl^- , EC, 水溶性 Na^+ (dis- Na^+), ex- Na^+ , 陽イオン交換容量(CEC)の測定を行った。分析方法は以下の通りである。

① pH

乾土:水の重量比が1:2.5となるようサンプルを調整し、pHセンサーを用いて測定した。また水の代わりに1N KCl溶液を使ってpHを調べた。結果はそれぞれpH(H_2O), pH(KCl)として表している。

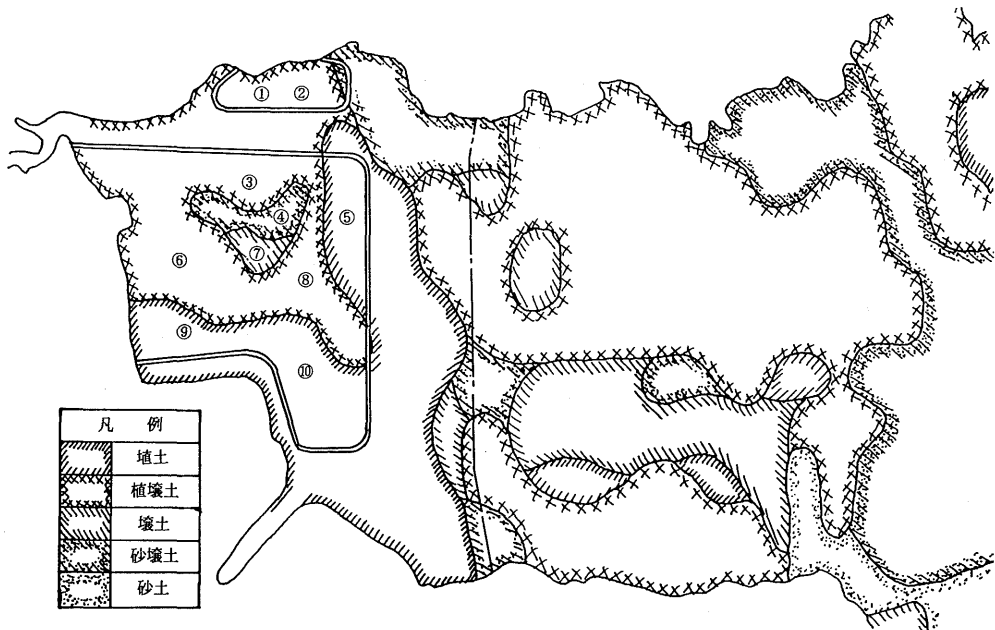
② 電気伝導度(EC)

ECセンサーを用いて測定した。ECは温度の影響を受けるので、ここでは1°C上昇する毎にECが2%増加するものとして補正し、25°CにおけるECの値を示した。(EC_{25°C}と表記)

③ Cl^-

1:5抽出液を1000倍に希釈し、チオシアン酸水銀(Ⅱ)吸光度法により定量した。

④ dis- Na^+



第1図 諫早湾内の土性図

第1表 干拓地土壌の化学特性

地点 番号	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	EC _{25°C} * (mS/cm)	Cl ⁻ (g/100g 乾土)	dis-Na ⁺ **	ex-Na ⁺ **	CEC**	ESP (%)
1	7.43	7.10	20.5	3.60	84.4	12.0	48.0	25.0
7	7.60	7.42	17.3	3.03	77.2	14.0	36.9	37.9
8	7.80	7.55	14.4	3.54	63.1	16.5	36.2	45.6
10	7.79	7.46	13.6	2.53	66.9	22.9	33.7	68.0

*乾土:水=1:5, **単位は meq/100g 乾土

ECを測定した残りのサンプルをブフナー漏斗でろ過し、得られたろ液を500倍に希釈してICP発光光度計によって定量した。

⑤ CEC

セミマイクロSchollenberger法によって定量した。

⑥ ex-Na⁺

CEC測定の過程で得られる1N酢酸アンモニア抽出液を500mlに定容し、50倍に希釈した後ICP発光光度計によって測定した。

3. 分析結果

第1表に土壌の分析結果を示す。表より、dis-Na⁺が非常に多いことがわかる。ソーダ質土壌と非ソーダ質土壌との境界値として一般的にはESP=15%が用いられている[2]。表より、ESPはいずれの地点でも15%をこえており、本土壌はソーダ質土壌と分類できる。

除塩実験

1. 石膏客入量の決定

ソーダ質土壌の改良では土壌が保持しているex-Na⁺をCa²⁺で置換する必要がある。石膏は安価であるため、この場合の土壌改良材としてよく用いられる。客入すべき石膏の1haあたりの客入量(kg/ha)は次式より計算される[8]。

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 20 \cdot (\text{ESP}_i - \text{ESP}_f) \times \text{CEC} \times \gamma_d \times D_{\text{soil}} / 100 \times 172 / 40 \quad (1)$$

ここで、20:Caの1グラム当量(g/eq)、ESP_i, ESP_f:未改良土壌および最終目標のESP(%), CEC:陽イオン交換容量(meq/100g), γ_d :土壌の乾燥密度(g/cm³), D_{soil}:改良土層の厚さ(cm), 172/40:石膏とCa²⁺の分子量比である。この(1)式から γ_d , D_{soil}をのぞくと、乾土100gあたりの石膏客入量の式を得ることができる。

2. 比色管実験

(1)実験方法

石膏客入による土壌改良効果を確認するために、比色

第2表 比色管実験の設定

項目	比色管番号			
	1	2	3	4
風乾土重 (g)	10.99	10.99	10.99	10.99
含水比 (%)	9.89	9.89	9.89	9.89
乾土重 (g)	10.0	10.0	10.0	10.0
乾土重:水量	1:9	1:9	1:9	1:9
石膏客入量 (g)	0.0	0.03	0.06	0.12

第3表 実験終了時の土壌の化学性

No.	EC (mS/cm)	CEC*	ex-Na ⁺ *	ex-Ca ²⁺ *	ESP (%)
1	2.60	27.2	11.4	29.4	41.9
2	3.14	26.7	9.12	33.1	34.1
3	3.52	26.5	8.24	35.6	31.1
4	4.29	27.3	7.42	39.1	27.2

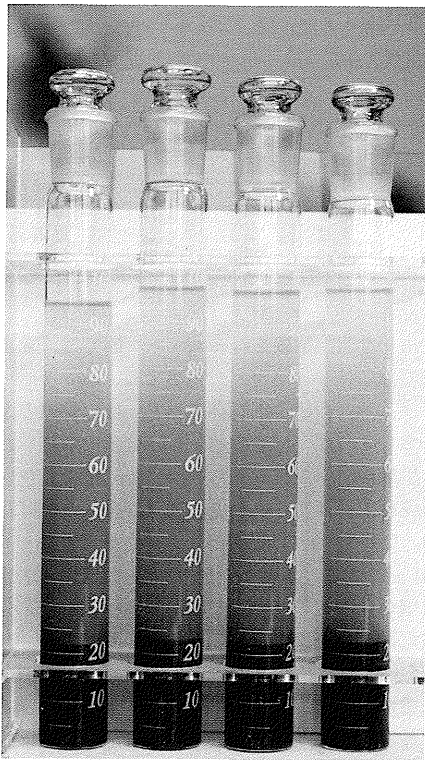
* 単位は meq/100g 乾土

管を用いた室内実験を行った。本実験では、まず、供試土壌のECを低下させ、分散させる。次いで所定量の石膏を投入し、採水希釈を繰り返す。比色管内の土壌が再び分散した時点で実験を終了し、諸量を測定した。具体的な手順は以下の通りである。①100 mlの比色管に同量の風乾細土と純水を入れる。②これを転倒攪拌し、静置する。③静置後、上澄み液のECを測定する。④上澄み液40 mlを捨て、新たに純水40 mlを加える。⑤比色管内の土壌が分散するまでこの操作を繰り返す。⑥分散を確認した後、各管に所定量の石膏を客入する。⑦再び、②~④の操作を繰り返し、上澄み液の塩基濃度を測定する。⑧土壌が分散した時点で、無添加、計算最適値の半分、計算最適値、計算最適値の倍となるよう石膏を添加する。⑨その後、前述の実験操作⑦に従って採水希釈を繰り返し、再び分散が生じるまで継続する。⑩分散が生じた時点で実験を終了する。実験終了後、供試土を風乾し、そのCEC、ex-Na⁺、交換性Ca²⁺(ex-Ca²⁺)を測定した。供試土壌には地点番号①の土壌を用いた。ESP=10%として、(1)式に諸量を代入し、乾土10g当たりの最適石膏客入量を算出したところ0.06gとなった。各比色管の実験条件は第2表にまとめている。

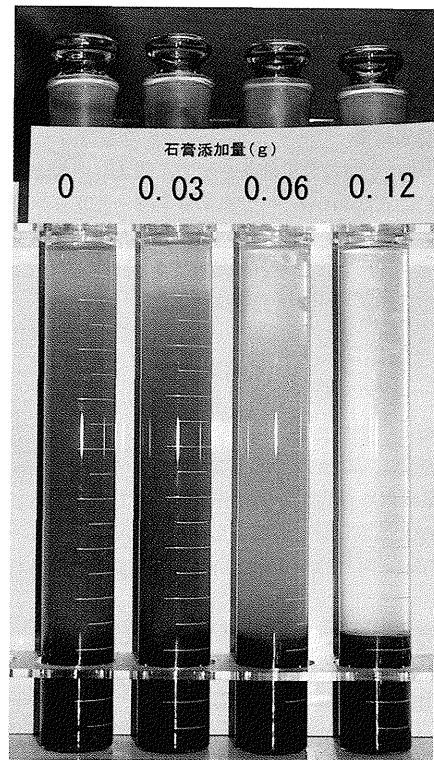
(2)結果と考察

ソーダ質土壌では、土壌水のECが低下すると分散が生じ、土粒子は沈降しなくなる。本実験では管内のECが5 mS/cmになったところで土壌は分散した。石膏投入直後に懸濁物は、一旦すみやかに沈降した。石膏添加によって上昇したEC値も、その後の採水・希釈によって、低下していき、5mS/cmまで低下したところで、No.2, 3は再び分散を始めた。No.4ではECが5mS/cmを下回っても分散は生じなかった。第3表は実験終了時の各管のECとCEC, ex-Na⁺, ex-Ca²⁺, ESPをまとめたものであり、写真1は石膏添加前と実験終了時の比色管の状況を示したものである。

写真より、石膏無添加、0.03g添加では実験終了時に分散はさらに進行しているが、0.06gではやや沈降しており、0.12gでは全く分散が生じていないことがわかる。このことと、CECの値は4本とも大きな差は認められないこと、ex-Na⁺ではNo.1>No.2>No.3>No.4であること、ex-Ca²⁺ではNo.1<No.2<No.3<No.4であることなどから、石膏客入によって土壌に保持されていたex-Na⁺がex-Ca²⁺に置換され、土壌の物理性が若干改善されたと判断できる。しかし、ESPはNo.4で27.2%であり、いぜんソーダ質土壌の範疇にある。このことから、石膏添加によるNa⁺のCa²⁺による置換にはある程度の反応時間が必要と推察される。



石膏添加前



実験終了時

写真1 比色管実験における石膏添加効果の比較

ポット試験

次に、灌水と蒸発の繰り返しによって、石膏客入の効果かどのように発現するかを調べるため、ポット試験を行った。また、所定の除塩を行うのに必要な水量の算定を試みた。

1. 実験方法

第2図に示したように、1/5000アールのワグネルポットに基盤層として礫層（4cm）、砂層（4cm）を設け、その上に地点7の土壌を厚さ10cmとなるように充填した。実験に用いた土壌の含水比は232%であった。また、第2図のポットを第3図のように設置し、重力によってポット内の土壌水が浸出するようにした。

以上のような装置を4基準備し、1基は対照実験として石膏無添加とし、残りの3基に石膏を所定量客入した。各ポットの条件を第4表にまとめている。石膏客入後、土壌を撈拌し、石膏ができるだけ一様になるようにした。

なお、本装置で基盤として用いた砂のCECを測定したところ極めて微量であったため、本実験ではその影響は無視した。

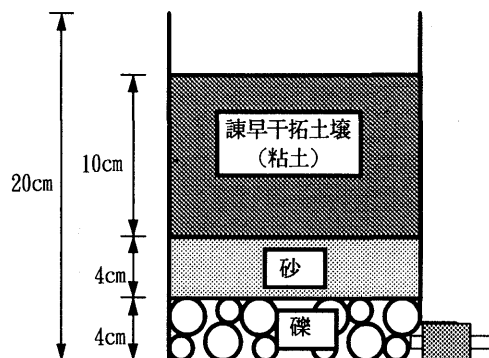
実験期間(1~4月)と室内であることを考慮して、間断日数を5日間、1日あたりの灌水量は水深単位で4mmとなるようにした。内訳は蒸発損失1mm、除塩水量3mmである。したがって一回の灌水量は400mlとなる。

粘土質土壌では乾燥するに伴い亀裂が発生する。亀裂は乾燥が進行するにつれて大きくなっていく。水がこの亀裂を通過して灌水後直ちに浸出するのを防ぐために、灌水後、浸出水が直ちに出てきはじめて第6回灌水時から実験装置末端の採水用三角フラスコの位置をポットと同じ高さにして1日湛水状態に置いた。その後、所定の負圧がかかるように三角フラスコを下げ4日間放置した。三角フラスコ内に溜まった浸出水は全量採取され、浸出水量、EC、 Na^+ 濃度の測定に供された。 Na^+ 濃度の測定にはICPS-5000（島津製作所）を使用した。

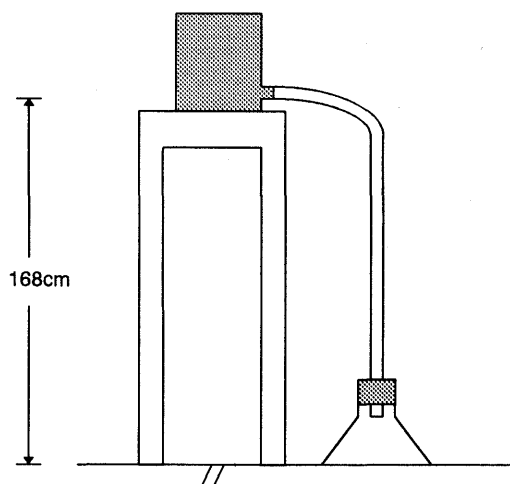
2. 結果と考察

第4図は灌水回数と各ポットからの浸出水量を表している。1回毎の浸出水量は一定ではなく、回毎の増減が認められる。量的な相違はあるものの、すべてのポットで浸出水量は同様の増減傾向を示した。18回の灌水によって生じた最終積算浸出水量と、最終積算灌水量から、ポットの除塩終了までの100g乾土あたりの必要灌水量を計算すると、No.1が1.63ℓ、No.2が1.57ℓ、No.3が1.65ℓ、No.4が1.54ℓであった。

第5図は各ポットにおける積算浸出水量と積算灌水量との関係を表している。上述したように1回毎の灌水量と浸出水量にはそれほど相関があるとは思われないが、



第2図 実験ポット



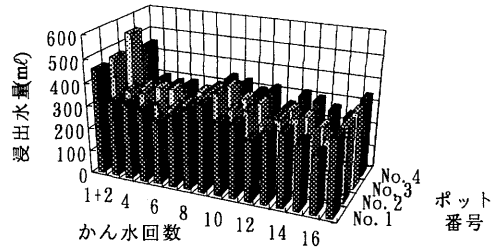
第3図 実験装置の概要

第4表 ポット試験の実験条件

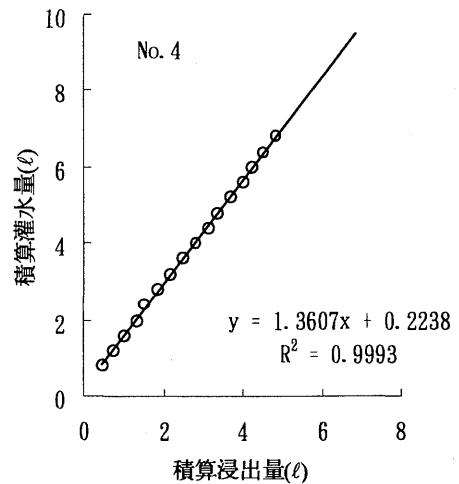
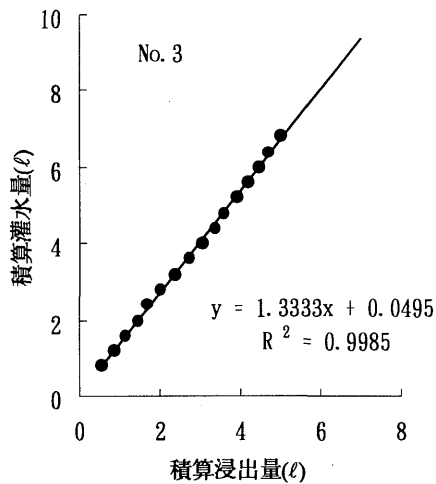
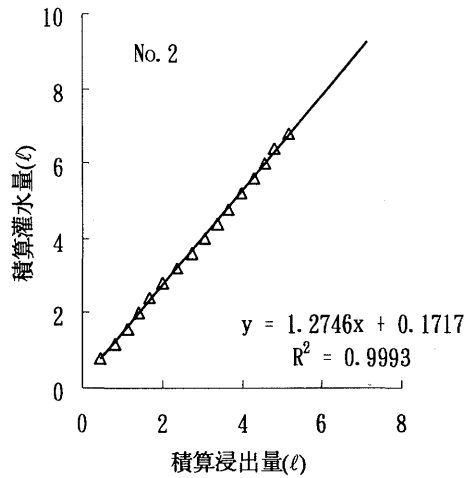
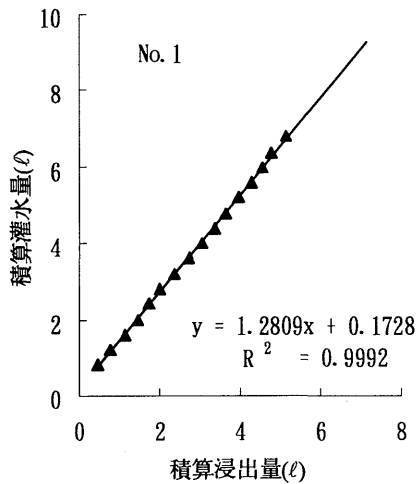
項目	ポット番号			
	1	2	3	4
生土重 (g)	1000	1000	1000	1000
含水比 (%)	218	205	230	315
乾土重 (g)	314	327	303	315
乾燥密度 (g/cm ³)	0.157	0.164	0.152	0.158
石膏客入量 (g)	0	0.95	1.76	3.66

積算量には強い相関関係が認められた。このことは、除塩の終了する時点での積算浸出水量が推定できれば、そのまま除塩に必要な灌水量が求められることを意味している。

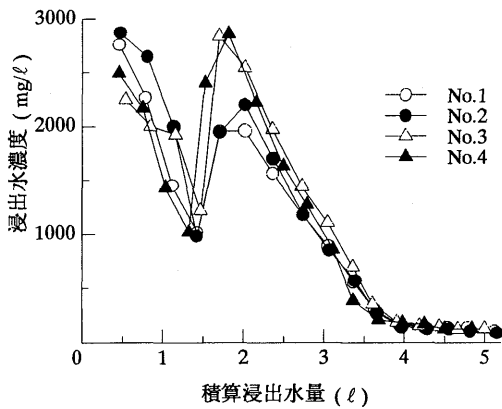
第6図は各ポットから出る浸出水中の Na^+ 濃度と積算浸出水量の関係を表している。積算浸出水量 1.7ℓ まではNo.2の Na^+ 濃度が大きい、 1.7ℓ 以上では、No.4の Na^+ 濃度が最大で、次いでNo.3, No.2, No.1となった。これは土壌中の ex-Na^+ が石膏中の Ca^{2+} と交換されたためであり、各ポットの石膏客入量から考えて妥当な結果といえる。なお、 1.7ℓ 前後で Na^+ 濃度の大きいポットが異なった原因は、第6回目灌水時から実験装置末端の採水用三角フラスコの位置をポットと同じ高さにして、1日灌水状態におくようにしたことより土壌中の陽イオンが溶け込みやすくなったためと思われる。



第4図 各ポットからの浸出水量



第5図 各ポットにおける積算浸出量と積算かん水量との関係

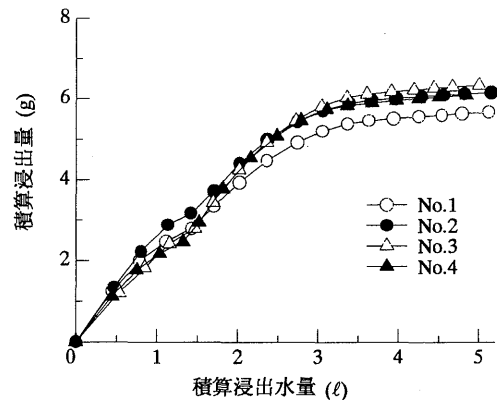


第6図 浸出水中のNa⁺濃度と積算浸出量との関係

第7図はNa⁺の積算浸出量と積算浸出水量との関係を表している。図よりNo.3とNo.4は積算浸出水量1.7ℓ以降ほぼ同一の傾向を示している。これら2つのポットからの浸出量とNo.2の浸出量の差は徐々に縮小していき、2.5ℓで逆転した。その後、No.3のみ差異を広げていったがNo.4はNo.2と同一の傾向を示した。また、No.1は積算浸出水量1.7ℓまでNo.3, No.4と同様の積算浸出量であったが、その後、差は拡大していった。比色管の場合と異なり、ある程度のボリュームがある土壌の場合には効果の発現まで時間を要することがわかる。

石膏投入量が多いNo.4の積算浸出量が増加せずNo.3との差異が拡大した理由は、No.4の石膏の混合割合が十分でなかったことが考えられる。

ポット試験後、各土壌を分析した結果を第5表に示す。ESPは、いずれのポットとも15%以上になっており、いぜんソーダ質土壌であると判定される。これは、CECの値が実験開始時よりも低下したことによっている。実験開始時のCEC36.9meq/100g乾土を用いれば、No.3およびNo.4では、ESPはそれぞれ14.99、13.92%となり、閾値15%をわずかに下回る結果となる。このことは、石膏客入による除塩効果は期待できるものの、実際の客入量は理論値よりも大きくなること、および、除塩の進行によるCECの低下を考慮して客入量を決定する必要があることを示唆するものである。このCECの低下は比色管実験でも認められている。この原因は明らかではないが、干陸直後の土壌によるCECは実際よりも大きく測定される可能性がある。したがって、干陸直後に石膏を客入する場合には除塩の進行によるCECの低下を考慮して石膏客入量を決定する必要がある。石膏客入まで時間がある場合には客入直前の土壌データをもとに石膏客入量を決定する必



第7図 Na⁺の積算浸出量と積算浸出水量との関係

第5表 ポット試験終了後の土壌分析結果

	No.1	No.2	No.3	No.4
EC (mS/cm)	1.63	1.74	1.89	2.41
残存 ex-Na ⁺ (meq/100g 乾土)	7.59	6.09	5.53	5.14
CEC (meq/100g 乾土)	26.4	29.3	28.9	29.3
ESP (%)	28.8	20.8	19.1	17.5

要がある。

結言

本研究で明らかになった点は以下のようにまとめられる。

- (1) 諫早湾干拓地土壌のESPは25～68%であり、明らかにソーダ質土壌といえる。
- (2) 石膏客入によって十分な除塩効果を得るためには、計算上の最適値よりも大きな客入量を必要とする。
- (3) 最適値以上の客入をしたとしても効果の発現には時間を要する。また、土壌と石膏とを十分に混合する必要がある。
- (4) 干陸直後に石膏を客入する場合には除塩の進行によるCECの低下を考慮して石膏客入量を決定する必要がある。石膏客入まで時間がある場合には客入直前の土壌データをもとに石膏客入量を決定する必要がある。

引用文献

- 1) 天谷孝夫, 長堀金造, 高橋強: 除塩の進行過程に関する

- るモデル試験－笠岡干拓地における塩分挙動と除塩に関する実証研究 (II)－, 農土論集, 102:15-24(1982)
- 2)天谷孝夫, 長堀金造, 高橋強: 除塩の進行過程に関するライシメータ試験－笠岡干拓地における塩分挙動と除塩に関する実証研究 (III)－, 農土論集, 104:1-8(1983)
- 3)天谷孝夫, 長堀金造, 高橋強: 大亀裂に囲まれた土塊中の脱塩機構－笠岡干拓地における塩分挙動と除塩に関する実証研究 (IV)－, 農土論集, 105:1-8(1983)
- 4)天谷孝夫, 長堀金造, 高橋強: 干陸後の塩分挙動解析と除塩対策への検討－笠岡干拓地における塩分挙動と除塩に関する実証研究 (V)－, 農土論集, 106:41-50 (1983)
- 5)天谷孝夫, 三野徹, 長堀金造: 笠岡湾干拓地圃場における石こうによる土層改良効果の検討と現地施工試験, 農土誌, 59:249-255(1991)
- 6)安富六郎: 農地工学, 穴瀬真, 小出進, 竹中肇編, 文永堂, 東京(1983) pp.75-78
- 7)Bolt.G.H and Bruggenwert M.G.M.: 土壌の化学, 岩田ら訳, 学会出版センター, 東京(1980) pp.191-212
- 8)三野徹, 天谷孝夫, 長堀金造: 笠岡湾干拓地圃場における除塩問題の発生と対策工法の検討, 農土誌, 59:163-169(1991)
- 9)長堀金造, 天谷孝夫, 高橋強: 干拓ヘドロの基礎諸特性と助演機構について－笠岡干拓地における塩分挙動と除塩に関する実証研究 (I)－, 農土論集, 101:15-25(1982)
- 10)長堀金造, 天谷孝夫, 三野徹: 笠岡湾干拓地圃場における石こう客入後の土層改良効果に関する第一次追跡試験, 農土誌, 59:257-266(1991)