

② 塩類集積土壌の改良に関する研究

[要旨] 中央アジアのアラル海地域は年降水量 150 mm 以下の乾燥地域であり、第二次世界大戦後の大規模灌漑の導入による土壌の塩類集積の発生が著しい。研究対象として選んだカザフスタン共和国クジルオルダ州ジャラガシのゴルフーズにおいては、多くの灌漑農地が塩類集積のために栽培不可能となって放棄されている。放棄地における飽和抽出液の電気伝導度 (EC_e) は 1.5 m までの測定深さに対して、100 dS/m に近い値を示した。通常、4 dS/m 以上の土壌を塩類土壌と称しており、この値は異常に大きい。また、隣接農地においても約 20 dS/m の値を示し、現在、栽培を行っている農地においても塩類集積がきわめて進んでいる。交換性ナトリウム百分率 (ESP) は 30% 以下であり、ソーダ質土壌 (ESP > 15) に分類されるが、可溶性陽イオンのデータから予測される程にはソーダ性が強くなかった。

ゴルフーズ内の塩類集積によって放棄された農地に設けた実証圃場において、リーチング水量を 4 通りに設定したリーチング実験を実施した。リーチング方式は、設定水量を 1 回で供給する連続湛水方式ならびに何回かに分けて供給する間欠湛水方式とした。その結果、リーチング水量と、リーチング前の土壌 EC に対するリーチング後の土壌 EC の比で表したリーチング効率との関係は、場所毎に大きな違いを呈したが、平均的には、連続湛水方式よりも間欠湛水方式の場合のリーチング効率が高いことを示した。一方、現地土壌を用いたカラム実験においては、土性の違いによるリーチング効率の違いを検討した。その結果、リーチング効率は、砂質土壌ではリーチング方式の違いでは変わらず、粘質土壌では連続湛水方式よりも間欠湛水方式で高かった。灌漑水の水質の違いが土壌の透水性に及ぼす影響を検討するために、濃度 0.5、0.05、0.01 N 溶液 (SAR = 10) ならびに蒸留水を用いて、飽和透水係数を測定した。0.5 ならびに 0.05 N 溶液の結果には差がなかったが、0.01 N 溶液ならびに蒸留水の場合には、透水係数が減少した。これは、粘土の膨潤あるいは分散によるものであるが、改良剤としては、石膏のようなカルシウム塩よりも、分散抑制を目的とした凝集剤の効果が高いと判断された。

[キーワード] 塩類集積、リーチング、透水係数、土壌改良剤

1. 序

乾燥地の砂漠化現象は主として人為的原因によって発生し、灌漑農業における土壌の塩類集積も砂漠化の要因の一つである。灌漑農地の砂漠化面積は、世界的な灌漑の普及率がまだ十分に進んでいないために、放牧地や降雨依存農地における砂漠化面積に比べると著しく小さい。しかしながら、灌漑農地の生産性は放牧地や降雨依存農地の生産性に比べて格段に高いこと、今後の食糧増産は新規農地の開発よりも降雨依存農地の灌漑農地への転換によってまかなわれなければならないこと等を考えると、灌漑農地における塩類集積土壌の改良は重要な課題であり、改良技術の確立は世界の乾燥地に共通な研究課題である。

2. 研究目的

塩類集積土壌の改良は、水による土壌の洗浄、除塩が基本であるが、土壌の組成や構造、集積塩類の形態 (溶解性、不溶性)、対象地域の排水性等によって改良の方法は異なるため、その地域

の条件に適合した技術を確認しなければならぬ。本サブテーマは、カザフスタン共和国クジルオルダ州のゴルフコースにおいて、塩類集積のために放棄された農地で実証規模の圃場を用いて、現地の研究機関と土壌改良についての共同研究を行い、既存の土壌改良技術をより精度の高い技術として確立することを目的とする。

3. 研究方法

研究遂行の場として決定したシャメーノフ農場において、塩類集積のため放棄された農場で実証規模の圃場を用いて、土壌改良効果を比較検討するための実験的研究を遂行した。また、現地で測定不可能な項目については、現地土壌を持ち帰り、室内実験によって測定を行った。土壌改良の方法は、塩類土壌に関して、脱塩のための最適リーチング水量を決定し、リーチングを促進する最適土壌改良剤の決定を行うこととした。

4. 結果・考察

(1) リーチング実験圃場の現状

シャメーノフ農場の全体面積は19,200 haで、その内、1,900 haが灌漑農地である。リーチングによる土壌改良実験圃場予定地は四つの灌漑ブロックの中のメシエット・ブロックに位置する。この灌漑ブロックは、灌漑面積181 haの内、80 haだけが栽培されており、残りは塩類集積のために放棄されている。この放棄地ならびに隣接農地において、土壌試料を採取し、土壌物理性・化学性分析を行った。

表2.1には、メシエット・ブロック内の放棄された農地において1995年に測定した土壌物理性ならびに化学性の内で塩類集積に関するものを示す。この放棄農地は1976年に造成され、2年間だけ水稲栽培の後、塩類集積のため放棄され、現在に至っている。この放棄農地は、水稲を栽培した水田に隣接しており、土壌を採取した地点は水田側から数mの距離にある。西側と北側は排水路に接しており、水稲栽培中のため、排水路は満水状態であり、土壌採取地点の地下水位は地表面から60 cmの深さに存在した。排水路の水位との標高差は、西側の支線水路に対して49 cm、北側の幹線水路に対して37 cm、いずれも低くなっていた。水田の落水後、11月下旬には、地下水位は、大きさ144 m×174 mの農地の全体にわたって、深さ170～190 cmまで低下した。

表2.1 放棄地の土壌物理性ならびに化学性

土層 (cm)	土性	SP (%)	pH	EC _e (dS/m)	陽イオン・陰イオン (mmol _c /l)								ESP (%)	石膏 (g/kg)
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻		
5	軽埴土	24.5	7.8	143.7	28.3	312	1020.0	7.1	731	588.7	39.5	6.6	16.9	6.6
45	重埴土	48.2	7.4	81.7	15.2	207	588.3	8.6	367	356	90.7	4.2	24.5	17.7
70	砂質埴土	37.0	7.2	122.2	18.7	305	840.9	7	56.8	539.6	60.8	3.6	-	0.7

注1. SP:飽和水分量(体積含水率)

2. EC_e:飽和抽出液の電気伝導度

3. 化学性は飽和抽出液について測定

4. ESP:交換性ナトリウム百分率

土壌の採取は表層(地表面～深さ10 cm)、中層(30～50 cm)、地下水面下(70 cm)の3層で行った。土性はいずれも粘土分が25%以上を占める埴土であるが、表層は砂分が多い。土壌中の可溶性塩分が多く、飽和抽出土の電気伝導度(EC_e)が著しく高い。アメリカ農務省塩類研

究所の分類¹⁾ではEC_e > 4 dS/mの土壌を塩類土壌と称しており、極端な塩類土壌に分類される。一方、不溶性塩分量を表す交換性陽イオンについては、陽イオン交換容量（CEC）が乾土100 g当たり、表層で7.7、中層で14.3 mg当量であった。アメリカ農務省塩類研究所¹⁾によると、交換性Na百分率、ESP = 100・Ex.Na/CEC（Ex.Na：交換性Na量）の値が15以上の土壌をソーダ質土壌と称している。両層でESP > 15であり、この分類によると、ソーダ質土壌に分類されるが、それほど顕著なものではない。

ESPの実測値が得られない場合、可溶性陽イオンから推定する次式¹⁾ がしばしば用いられる。

$$ESP = 100(-0.0126+0.01475 \cdot SAR)/\{1-(0.0126+0.01475 \cdot SAR)\}$$

ここで、SARはナトリウム吸着比と呼ばれ、 $SAR = Na/\{(Ca + Mg)/2\}^{1/2}$ によって表される。なお、各陽イオン濃度は溶液1リットル当りのmg当量（mg/l）を用いる。表2.1のデータを用いると、土壌溶液のSARは上層78.2、中層55.9、下層66.1であり、推定ESPは、上層53.3、中層44.8、下層49.0となり、実測値とは大きく異なる。

図2.1は、1996年に測定した放棄農地ならびに隣接栽培農地における飽和抽出土壌の電気伝導度（EC_e）の深さ方向分布である。隣接農地は1996年は牧草のアルファルファを栽培している。図にみられるように、放棄農地の表層における塩類集積は極端に多く、深さ10 cm以下は100 dS/m程度、隣接農地は20 dS/m程度の一様な分布を示している。このように、現在、栽培を行っている農地でも、塩類土壌の限界値の4 dS/mをはるかに越える大きな値を示す。

圃場予定地のある灌漑ブロックは、1995年の水稲栽培からアルファルファ栽培になったため、地下水位は前年より下がり、地表面から3 mより深い位置に地下水面は存在した。地下水の

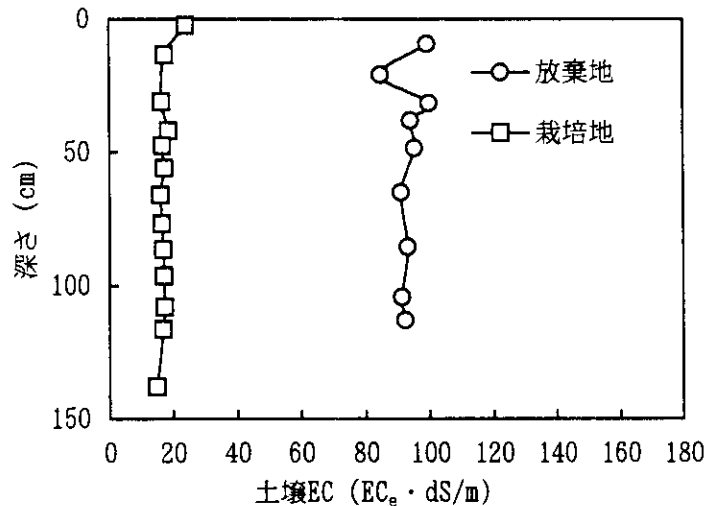


図2.1 土壌中の塩分分布

ECは65.4 dS/mという異常に高い値を示す。周囲で水稲栽培を行っている場合には、地下水位が深さ1 m以内と浅く、稲の収穫後、数カ月後には2 m以下まで下がるが、高濃度の地下水はシルダリア川に排出されることなく、翌年に水稲が栽培されると、再び高濃度の地下水が上昇し、地表面付近の塩類集積に寄与することになる。地下水の塩類濃度がこのように高い理由としては、この地域はシルダリア川のデルタ地帯に位置し、元々、土壌中の塩類濃度が高かったものと考えられる。

(2) 実証圃場におけるリーチング予備実験

大きさ150 m×300 mの実証圃場の大きさ150 m×150 mを占める作物栽培予定地において、リーチング実験の実験設定水量を決定する目的で予備実験を行った。リーチング水量は300、600、900、1,200 mmの4通りに設定した。リーチング実験を実施し、実験前後における深さ別の電気伝導度の測定を行った。各プロットの大きさは10 m × 150 m、リーチング方式はリーチング水

量を1回で与える連続湛水法とし、実際のリーチング水量は372、677、937、1,248 mm となった。土壌化学性の測定点は各3箇所、測定深さは5、10、20、40、60、80、100、120、140、160 cm であった。

図 2.2 にリーチングを行う前の土壌塩分の深さ分布を示す。ここで、土壌塩分は、土：水=1：5 抽出水の電気伝導度 ($EC_{1:5}$) で表した。土壌 EC は飽和抽出液の EC (EC_0) を用いることが多いが、ここでは、測定の簡便さを考慮して、 $EC_{1:5}$ とした。 $EC_{1:5}$ から EC_0 へは、 $EC_0 = 5(\rho_b/\theta_s) EC_{1:5}$ によって変換される。ここで、 ρ_b は土壌の乾燥密度 (通常、 1.5 g/cm^3)、 θ_s は飽和水分量 (通常、0.4 程度) したがって、 EC_0 は $EC_{1:5}$ の 20 倍程度の値となる。図によると、リーチング前の土壌塩分は、 $EC_{1:5}$ の値で、大部分が 5~10 dS/m の範囲にあった。

リーチング前後における土壌 EC 比の深さ方向の分布を図 2.3 に示す。ここで、 EC 、 EC_0 ：それぞれ、リーチング前後の土壌 EC (dS/m)。また、図中の数字はリーチング水量 (D_w , mm) を示す。これによると、いずれの区においても、深さ 40 cm より深い層では、土壌 EC の減少率が 40% 以下で、リーチング効果が十分でないことを示している。

図 2.4 はリーチング水量とリーチング効率との関係を示す。ここで、横軸は、リーチング水量 (D_w) を対象土層厚 (D_s) で除し、また、縦軸は、リーチング前後における $EC_{1:5}$ (EC 、 EC_0) の比で表した。ここで、対象土層厚は、EC の測定深さを中心とする層 (例えば、

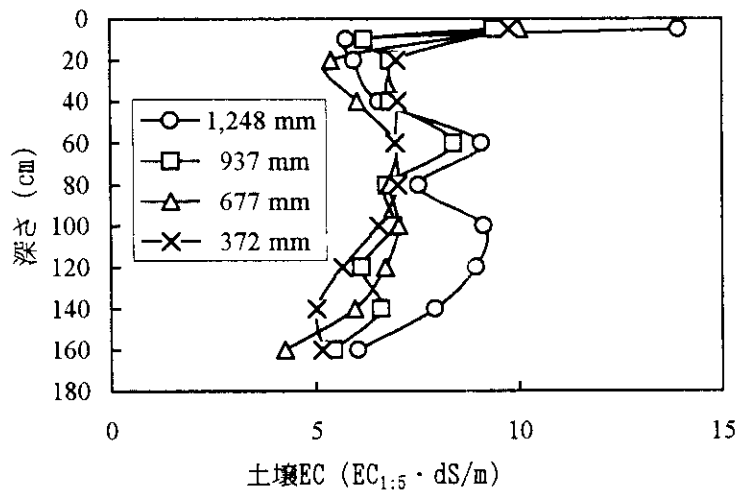


図 2.2 リーチング前の土壌塩分分布 (1997 年)

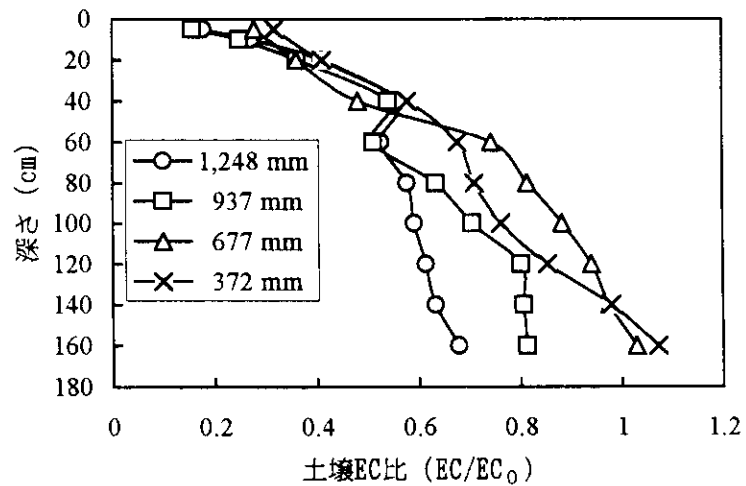


図 2.3 リーチング効率の深さ分布 (1997 年)

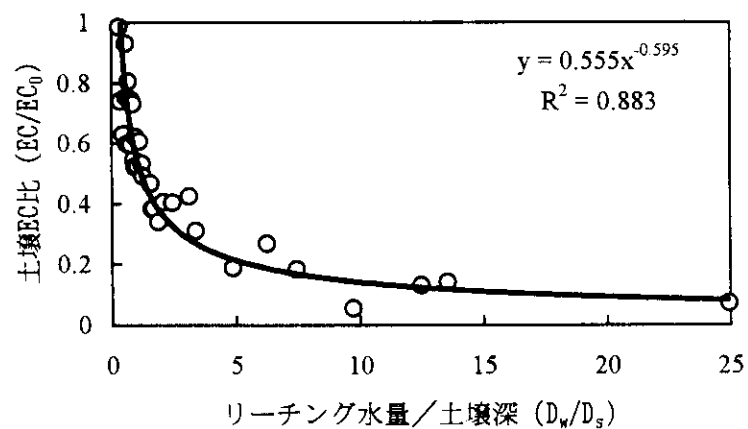


図 2.4 圃場におけるリーチング水量と効率 (1997 年)

0~7.5, 0~15, 0~30 cm) とした。また、両者の関係を冪関数で当てはめた曲線を図中に記入した。これによると、リーチングによって90%脱塩するためには、 $D_w/D_s = 1$ 程度が必要であるという従来の説²⁾と大きく異なり、リーチング効率が著しく低いことを示した。横軸の値が1の場合、当てはめ曲線を用いると、縦軸の値が0.55となり、土壌ECが50%弱しか減少しないことになる。この理由として、リーチング前の土壌塩分が著しく高い(飽和抽出液のECに換算すると、100~200 dS/m)、リーチング用水の電気伝導度が大きい($EC_w = 1.8$ dS/m)、土壌中に存在する石膏の溶解がある、などが考えられる。

(3) 実証圃場におけるリーチング本実験

従来、連続湛水方式よりもリーチング水を数回に分けて与える間欠湛水方式の方がリーチング効率が低いと言われており²⁾、1998年におけるリーチング本実験では、この二つのリーチング方式を採用した。実証圃場内のリーチング実験圃場は大きさ150 m×150 mであり、圃場を三つに分け、その内の二つに、通常の暗渠(間隔10 m、深さ1.5 m)による排水施設、シートパイプ方式³⁾(間隔4 m、深さ45 cm)と呼ばれる特殊な排水施設を設けている。この排水施設は作物栽培時における排水効果を検討するために設けたものである。この排水施設を有する圃場内にリーチング実験区を設けた。実験区の大きさは通常暗渠埋設区では大きさ5 m×2 m、シートパイプ埋設区では10 m×4 mとした。リーチング水量は、それぞれの実験区に対して300, 600, 900, 1,200 mmの4通りに設定した。さらに、同一実験条件を有する実験区を3通り設けた。また、土壌ECは土:水=1:1のEC($EC_{1:1}$)を用い、深さ0~5, 5~10, 10~30, 30~50, 50~70, 70~90, 90~110 cmの層について測定した。

連続湛水方式(continuous ponding, CP)については、常時7~10 cmの水位を保持して設定水量を供給し、間欠湛水方式(intermitting ponding, IP)については、7~10 cmの水位を12時間保持し、その後、水供給を停止し、12時間後に水を再び供給した。

リーチング前の土壌ECの深さ分布を図2.5に示す。図には各深さの土壌ECの平均値とデータのばらつきを標準偏差で示した。 $EC_{1:1}$ を EC_e に変換するためには、約4倍すればよい。 $EC_{1:1}$ の平均値は25~45 dS/mの範囲にあり、標準偏差は平均値の10~25%である。リーチング前における土壌ECの場所的な違いがこのようにあるのは、圃場内の土壌の土性が平面的にも鉛直的にもかなり異なることによるものである。

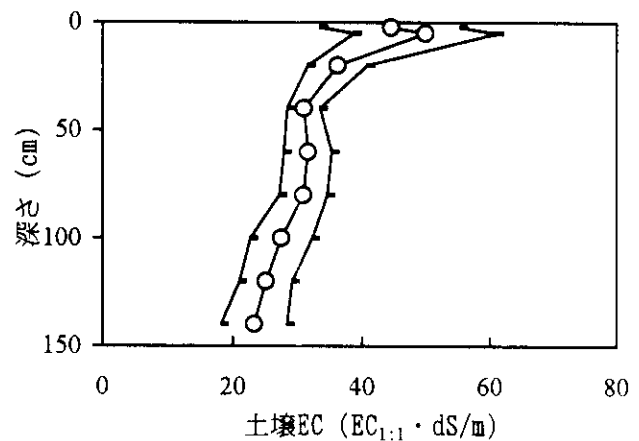


図2.5 リーチング前の土壌塩分分布(1998年)

図2.6はリーチング予備実験の場合(図2.3)と同様に、対象土層の深さで除して無次元にしたリーチング水量とリーチング効率との関係を示す。これらは、得られたすべてのデータを連続湛水方式(CP)、間欠湛水方式(IP)にわけてプロットしたものである。場所毎の変動が大きく、両方式によるリーチング効率の差は読み取れない。

図2.7は、横軸の等しい値に対する縦軸の値の平均値を連続湛水方式(CP)、間欠湛水方式(IP)にわけてプロットしたものである。これによると、連続湛水方式の場合よりも間欠湛水方式の場

合で、平均的にはリーチング効率が低いことを示している。前述のように、従来、連続湛水方式よりもリーチング水を数回に分けて与える間欠湛水方式の方がリーチング効率が低いと言われており²⁾、本実験の結果もそれを裏付けている。

Hoffman²⁾は、世界各地で得られたリーチング実験結果を検討し、塩類土壌を改良するために必要なリーチング水量に影響を及ぼす要素は、水適用方式と土壌の種類であるとした上で、次のように述べている。まず、連続湛水条件下では、対象土層厚に等しい水深の適用水によって、リーチング前に土中に存在する塩分の60%あるいはそれ以上が除去できる。除去できる塩分量の大きさは土性によって異なり、粘質土壌よりも砂質土壌において大きな値になり、砂質土壌では大体90%の塩分が除去できる（リーチング効率90%）。一方、間欠湛水条件下では、土性にかかわらず、同一水量でほぼ同じ量の塩分が除去でき、粘質土壌では、可溶性塩分の70%を除去するための水量は、連続湛水条件の場合の約3分の1である。

図2.6に示すように、本実験の場合、土性によってあまり影響されないとする間欠湛水方式の場合でも、リーチング効率は、

場所によって大きく変化しており、Hoffmanの結果とは異なっている。その原因として、土壌の初期塩分濃度、同一実験区における土層内の土性の変化、排水施設工事の際の土壌の攪乱などが考えられるが、リーチング効率への影響を解析できるデータが得られていない。

連続湛水方式と間欠湛水方式によるリーチング効率の違いについては、次のように説明できる。土壌中の溶質の移動には二つの形態があり、一つは、塩分、即ち、溶質が溶解している土壤水に乗って移動する移流による移動であり、もう一つは、場所による溶質の濃度差を均一にしようとする分散による移動である。土壌中の塩分移動はこの二つのプロセスの複合によって生じる。土壌中には亀裂や大小様々な間隙が存在しており、土壤水は小さな間隙よりも亀裂や大きな間隙中

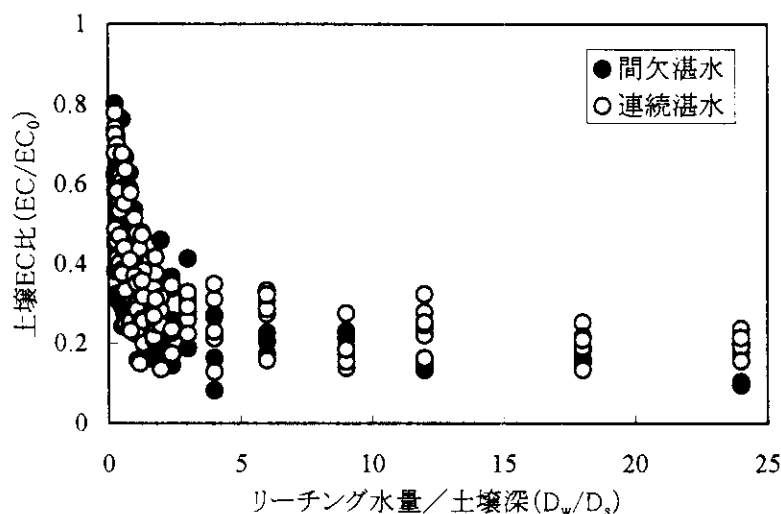


図2.6 圃場におけるリーチング水量と効率 (1998年, 全データ)

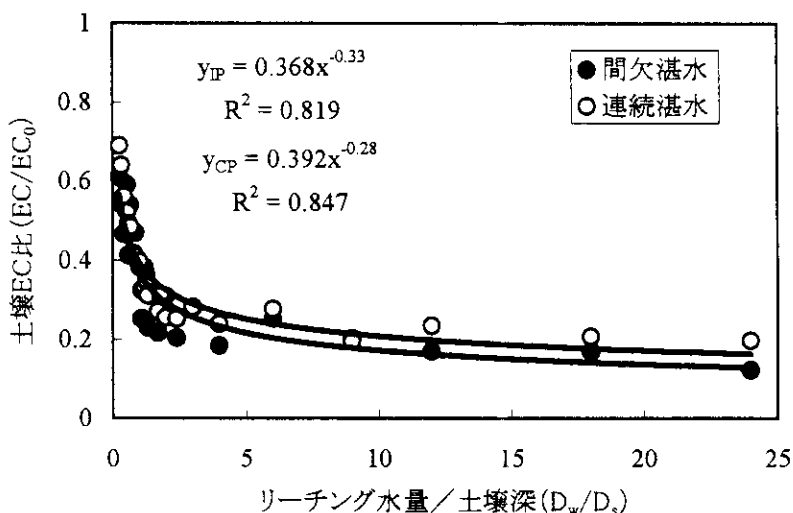


図2.7 圃場におけるリーチング水量と効率 (1998年, 平均値)

を大きな速度で移動する。このように、土壤中の水移動速度は決して均一でなく、このような水移動の場所的な違いをバイパス流あるいは選択流と呼ぶ。土壌の間隙を飽和した土壌水が1回通過して（1間隙容積、即ち、土層厚1 m に対して約0.4 m のリーチング水量）、土壌水中の溶解塩分を完全に除去したとすれば、その後リーチングによって通過する土壌水には、もし周囲からの塩分の拡散あるいは不溶性塩分の溶解による補給がなければ、灌漑水中の塩分以外の塩分の増大は考えられない。実際には、塩分拡散や土壌反応による塩分補給があるが、特に急速な水移動の場合には、異なる大きさの間隙のすべての塩分濃度は等しくならない。連続湛水方式のように、常に土壌中を飽和状態で移動する水の場合には、1間隙容積以上の水の通過によって、リーチング効率は低下することになる。したがって、間欠湛水方式のように、なるべく不飽和状態で水を流す方がリーチング効率の面では好ましいということになる。

(4) 土壌カラムを用いたリーチング実験

前述のように、実際の圃場においては、リーチング効率に及ぼす解析困難な要素が存在し、また、リーチングに際しては、土壌中に吸着した塩分の溶解がリーチング効率に影響するため、実験条件を単純化したカラムによるリーチング実験を試みた。

用いた土壌試料は、圃場で採取したA層の砂壤土とB層の埴壤土であり、風乾後、大きさ2 mm の篩を通し、通常の化学分析法を用いて、溶解塩ならびに交換性陽イオンの分析に供した。その物理的・化学的特性を表2.2 に示す。これらの土壌は、CaSO₄とCaCO₃をA層ではそれぞれ、1.6%、14.5%、B層ではそれぞれ、3.4%、24.9%含有していた。

土壌試料は直径5 cm、厚さ2 cm アクリル製リングをつなぎ合わせた土壌カラムに10 cm の厚さで均等に充填した。充填の際の土壌試料の質量と乾燥密度はA層試料に対して、それぞれ、274.0 g、1.40 g/cm³、B層試料に対して、それぞれ、240.0 g、1.22 g/cm³であった。実験に用いたリーチング水の水質は、現地の灌漑水の水質に合わせて調査した。その化学成分を表2.3 に示す。

リーチング実験において、リ

表2.2 カラム実験に用いた土壌の物理的・化学的性質

土壌特性	A層土壌	B層土壌
土性 (%)		
砂	65.9	55.3
シルト	18.1	21.1
粘土	16.0	24.0
飽和水分量 (質量%)	20.0	33.0
陽イオン交換容量, CEC (cmol _c /kg)	7.7	14.3
交換性陽イオン (cmol _c /kg)		
Ca	2.6	4.8
Mg	1.8	5.3
Na	2.7	3.5
K	0.8	0.7
交換性Na% (ESP)	34.8	24.5
可溶性陽イオン・陰イオン (cmol _c /l)		
Ca ²⁺	4.8	4.6
Mg ²⁺	27.8	16.1
Na ⁺	88.8	69.3
K ⁺	0.9	0.8
Cl ⁻	92.2	49.7
SO ₄ ²⁻	28.3	32.3
EC _e (dS/m)	99.3	61.0
Na吸着比 (SAR)	69.6	68.0

表2.3 カラム実験に用いた水の化学成分

イオン濃度 (cmol _c /l)						EC (dS/m)	SAR
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		
0.5	0.6	0.8	0.01	0.7	1.2	1.8	3.2

リーチング方式は圃場の場合と同じく、連続湛水方式ならびに間欠湛水方式を用いた。リーチング水量は、実際の水深でなく、間隙容積（以後、1 PV と称す）を単位として適用した。土壌カラムの 1 PV は、A 層試料に対して 90.7 ml（水深で 46.2 mm）、B 層試料に対して 103.9 ml（水深で 52.9 mm）である。連続湛水方式では、所定の水量を水位 1 cm を保持して 1 回で供給し、間欠湛水では、1 回につき 0.1 PV の水量を 24 時間おきに供給した。全供給水量は A 層試料に対して 1.8 PV、B 層試料に対して 1.5 PV とした。実験終了後、土壌カラムは厚さ 2 cm のリングに分解し、乾燥後に土壌の EC を測定した。その際、A 層試料は土：水 = 1 : 1 の抽出水、B 層試料は飽和抽出水を用いた。A 層試料で飽和抽出水を用いなかった理由は、砂質土壌のために水分貯留量が少なく EC の測定に必要な量が得られなかったためである。

図 2.8 に両方式によるリーチング効率を示す。これによると、A 層試料の場合、連続湛水、間欠湛水いずれの方式もリーチング効率は変わらないが、B 層試料の場合、両方式において A 層試料の場合よりリーチング効率が高く、また、連続湛水方式よりも間欠湛水方式でリーチング効率が高いことを示している。図 2.8 の値と図 2.7 に示した圃場におけるリーチング効率とを比較すると、圃場の場合は平均的にはあるが、 $D_w/D_s = 5$ のとき土壌 EC は 70~80% 減少するのに対して、カラム実験では A 層試料で 70% 以上には減少しないという一見、矛盾した結果を示している。これは、前述のように、A 層試料の EC 測定に 1 : 1 抽出水を用いたために、本来は不溶性である土壌中の石膏分が溶解し、EC 測定値が過大に示されたものであると考えられる。したがって、EC 測定を飽和抽出水で行ったとしたら、リーチング曲線は全体に下方に移行したであろう。

土壌試料によって連続湛水と間欠湛水のリーチング効率が異なる理由は土性である。まず、飽和状態の水移動が卓越する連続湛水では、土性の違いにかかわらず、リーチング効率が相対的に低い。この理由は前に述べた通りである。次に、砂壤土である A 層試料において、連続湛水と間欠湛水でリーチング効率に差がないのは、両方式ともに水移動が不飽和状態であったことによる。リーチ

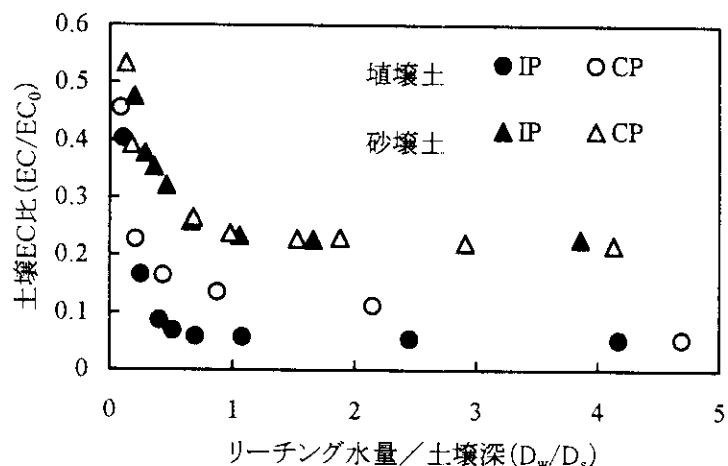


図 2.8 カラム実験によるリーチング水量と効率

ングによる浸入水量とカラム底部からの浸出水の関係を検討した結果、実験中の土壌の飽和度は両方式において 87% であった。一方、埴壤土である B 層試料では、連続湛水の場合 98%、間欠湛水の場合 82% であった。

(5) 土壌改良剤の必要性に関する検討

前述のように、従来、土壌水の SAR（土壌水中の陽イオンに占めるナトリウムイオンの割合）と土壌の ESP（交換性陽イオン容量に対する交換性ナトリウムの割合）は密接な関係があり、両者の値はほぼ 1 : 1 で対応するといわれてきた。そのため、塩類集積により放棄された農地での土壌中の可溶性イオンの値から、対象土壌は ESP が極端に大きいソーダ質土壌であると当初は考えた。ソーダ質土壌の場合、土壌の膨潤が助長されることによって、水移動が起こる間隙寸法

を減少し、その結果、土壤中の水移動速度が低下する。このため、灌漑水自体は十分にあって、土壌表面から浸入しにくいという現象が起こり、最終的に植物の生育に悪影響を及ぼす。この場合には、通常、土壌表面に吸着したナトリウムをカルシウム塩で置換し、ESPの値を下げるという改良方式が用いられる。

土壌のESPを実際に測定した結果、ESPは予想した程には高くなく、ソーダ質土壌の最低値、ESP > 15 をあまり上回る値ではないことが判明した。しかしながら、最近の研究結果によると、この場合でも、灌漑水の水質によっては、土壌の通水性を低下させることが判明しており、場合によっては、カルシウム塩とは違う種類の土壌改良剤が必要になる。土壌改良剤の必要性を検討するために、現地土壌を用いて、飽和透水係数に及ぼす土壌の初期塩分濃度と灌漑水の水質の影響に関するカラム実験を試みた。用いた土壌試料は、圃場で採取した土壌で粘土含有率が40%程度のシルト質埴土であり、乾燥土壌 120 g を乾燥密度 1.4 g/cm³ で直径 5 cm の土壌カラムに充填した。土壌の初期条件として、CaCl₂ と NaCl によって、濃度 0.5 N、ナトリウム吸着比(SAR) 10 に調整した溶液を用いて、土壌を飽和させた。次に、同一成分の溶液を用いて飽和透水係数を測定した。その後、濃度 0.05、0.01 N 溶液 (SAR はいずれも 10) ならびに蒸留水を用いて、順次カラムに浸透させ、それぞれの飽和透水係数を測定した。0.05、0.01 N 溶液の EC はそれぞれ、約 5、1 dS/m であった。

図 2.9 は、飽和透水係数の値を濃度 0.5 N における値で除した相対透水係数と累加浸透量との関係を示す。濃度 0.5 N における飽和透水係数の値は時間の経過によって不変であり、約 10 mm/hr の値を示した。図にみられるように、濃度 0.05 N 濃度における透水係数は基準とした濃度 0.5 N における値と違いがみられないが、濃度 0.01 N 溶液ならびに蒸留水の場合には、透水係数が減少している。このように、土壌中を浸透する溶液の濃度が薄くなるほど透水性が低下すると言える。この理由は、塩分の少ない水ほど、粘土を膨潤、あるいは土粒子を分散させ、膨潤の場合には団粒間隙径の減少、分散の場合には間隙の目詰まりによって、透水性を低下させるためである。本カラム実験では、SAR = 10 の溶液で土壌を飽和させたため、土壌の交換性 Na 百分率 (ESP) も 10 程度であったと考えられる。従来、ESP > 15 のソーダ質土壌における透水性の低下についてはよく知られているが、ESP < 15 の場合については、文献ではしばしば報告されているものの、実際上ではあまり重要視されていない。過去の研究によると、ESP > 15 の場合は膨潤による影響、ESP < 15 の場合には分散の影響が強いと言われていること⁴⁾から、透水性の低下は膨潤よりも分散の影響によるものと考えられる。浸透水の EC は定常状態に達した後でも、供給水の EC より高く、これは、土壌中に元々、存在する石膏あるいは炭酸カルシウムの溶解によるものと考えられることから、改良剤としては、石膏のようなソーダ質土壌の改良剤よりも、分散抑制を目的とした凝集剤の効果が高いものと判断した。

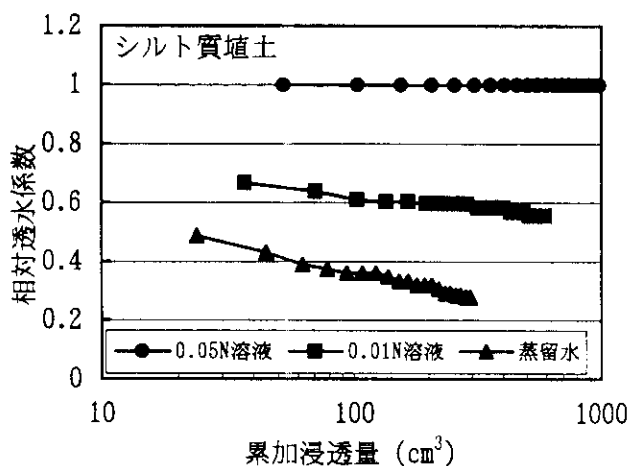


図 2.9 浸透水の水質と透水性

凝集剤は、最近、下水処理場における水中に浮遊した物質の凝集沈殿を目的として高分子ポリマーがよく用いられている。海外諸国では、灌漑水路の土壌浸食防止用として用いられ始めている。本研究では、凝集剤の添加によって、リーチング効率が向上するかについて検討するため、リーチング水に添加をして、リーチングを行ってみた。用いた凝集剤は、強アニオン性で分子量約1,000万のポリアクリルアミド（PAM）であり、添加量は600 kg/haを約1,000 mg/lの濃度でリーチング水に混合した。実験方法は(3)に述べたリーチング実験と全く同じである。

図2.10は、土層0~110 cmを対象とした場合のリーチング水量と土壌EC比との関係をPAM無添加の場合と対比させて示したものである。これによると、リーチング水量が少ない場合に、リーチング効率が向上している。この理由として考えられることは、透水性が向上することによって土壌水の不飽和の程度が増大するためであろう。ただ、凝集剤の使用の主目的は、リーチング効率を向上させることではなく、土壌粒子の分散による土壌の浸潤速度低下を防止することであり、本来は、灌漑効率の低下防止のために用いるべきものである。したがって、リーチング効率向上のために用いる場合は、経済的な観点からの評価が必要であろう。

5. 本研究により得られた成果

中央アジアのアラル海地域は年降水量150 mm以下の乾燥地域であり、第二次世界大戦後の大規模灌漑の導入による土壌の塩類集積の発生が著しい。研究対象として選んだカザフスタン共和国クジルオルダ州ジャラガシのゴルフコースにおいては、多くの灌漑農地が塩類集積のために栽培不可能となって放棄されている。放棄地における飽和抽出液の電気伝導度（EC₀）は1.5 mまでの測定深さに対して、100 dS/m

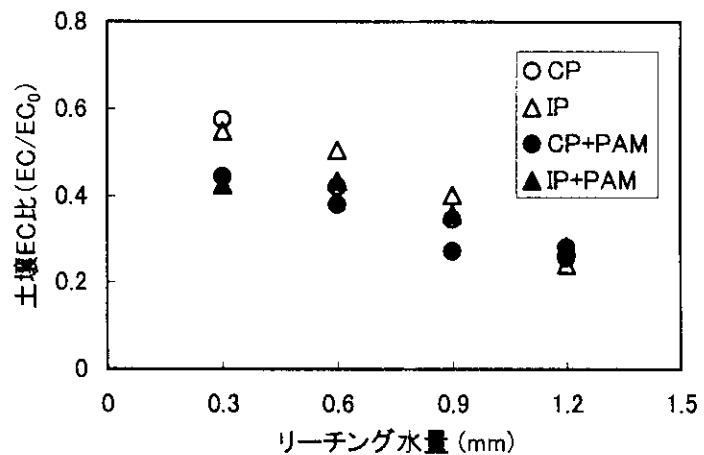


図2.10 凝集剤の添加によるリーチング効率の変化

に近い値を示した。通常、4 dS/m以上の土壌を塩類土壌と称しており、この値は異常に大きい。また、隣接農地においても約20 dS/mの値を示し、現在、栽培を行っている農地においても塩類集積がきわめて進んでいる。交換性ナトリウム百分率（ESP）は30%以下であり、ソーダ質土壌（ESP > 15）に分類されるが、可溶性陽イオンのデータから予測される程にはソーダ性が強くなかった。

ゴルフコース内の塩類集積によって放棄された農地に設けた実証圃場において、リーチング水量を4通りに設定したリーチング実験を実施した。リーチング方式は、設定水量を1回で供給する連続湛水方式ならびに何回かに分けて供給する間欠湛水方式とした。その結果、リーチング水量と、リーチング前の土壌ECに対するリーチング後の土壌ECの比で表したリーチング効率との関係は、場所毎に大きな違いを呈したが、平均的には、連続湛水方式よりも間欠湛水方式の場合のリーチング効率が高いことを示した。一方、現地土壌を用いたカラム実験においては、土性の違いによるリーチング効率の違いを検討した。その結果、リーチング効率は、砂質土壌ではリーチング方式の違いでは変わらず、粘質土壌では連続湛水方式よりも間欠湛水方式が高かった。灌漑水の水質の違いが土壌の透水性に及ぼす影響を検討するために、濃度0.5、0.05、0.01 N

溶液 (SAR = 10) ならびに蒸留水を用いて、飽和透水係数を測定した。0.5 ならびに 0.05 N 溶液の結果には差がなかったが、0.01 N 溶液ならびに蒸留水の場合には、透水係数が減少した。これは、粘土の膨潤あるいは分散によるものであるが、改良剤としては、石膏のようなカルシウム塩よりも、分散抑制を目的とした凝集剤の効果が高いと判断された。

6. 引用文献

- (1) Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, USDA Agricultural Hand- book No. 60, pp. 160, United States Department of Agriculture, Washington, D. C.
- (2) Hoffman, G. J. (1986). *Guidelines for reclamation of salt-affected soils*. *Appl. Agr. Res.* 1 : 65 - 72.
- (3) 津田 豊 (1989) シートパイプ暗渠、農山魚村文化協会、東京
- (4) Shainberg, I. and J. Shalhevet (1984). *Soil Salinity under Irrigation*. Springer-Verlag. pp. 15 - 31.

[研究発表の状況]

(1) 口頭発表

- ① 矢野友久：日本沙漠学会第8回学術大会（1997）
「中央アジア塩類集積土壌の回復技術の確立に関する研究—環境庁地球環境研究総合推進費による研究プロジェクト—」
- ② Wang, S., Y. Kitamura and T. Yano: Annual Meeting of JSIDRE, Shonan, Japan, 1997
“Reclamation of Highly Saline Soils in the Central Asia - The Present Situation of Salt Accumulation in Kzyl-Orda, Kazakhstan”
- ③ Wang, S., Y. Kitamura and T. Yano: Annual Meeting of JSIDRE, Branch of Chugoku-Shikoku, Takamatsu, Japan, 1997
“Leaching Efficiency and Chemical Changes in Highly Saline Soil Reclamation - A Column Study -”
- ④ Regea, M., E. Higaki, Y. Kitamura, I. Shainberg and T. Yano: Annual Meeting of JSIDRE, Kyoto, Japan. 1998
“Effect of Water Quality and Prewetting Rate on Column Hydraulic Conductivity”
- ⑤ Wang, S., Y. Kitamura and T. Yano: Annual Meeting of JSIDRE, Kyoto, Japan, 1998
“Effect of Leaching Method on Reclamation of Gypsiferous and Non-Gypsiferous Saline and Sodic Soils”
- ⑥ Yano, T. and S. Wang: The 12th Toyota Conference on Challenge of Plant and Agricultural Sciences to the Crisis of Biosphere on the Earth in the 21st Century, Nikkabi, Japan, 1998
“Water and Soil Management for Sustainable Agriculture in Arid Lands - Case Study in Kzyl Orda, Kazakstan -”

(2) 論文発表

- ① Wang, S., Y. Kitamura and T. Yano : 農業土木学会論文集 (Trans. JSIDRE), 64, 4, 59-67

(1998)

“Leaching Efficiency, Desalinization and Desodification Processes in Highly Saline Soil Reclamation – A Column Study –”

- ② Wang, S., Y. Kitamura and T. Yano: Proc. International Symposium on Arid Region Soils, Izmir, Turkey, pp. 120-125 (1998)

“Salt Accumulation and Reclamation of Soils in Kzyl-Orda, Kazakstan”

- ③ Wang, S., Y. Kitamura, T. Yano, and I. Shainberg : 土壤の物理性 (Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn), 80, 21-32 (1998)

“Reclamation of Gypsiferous and Nongypsiferous Sodic Soils by Leaching”

- ④ Regea, M., E. Higaki, Y. Kitamura, I. Shainberg and T. Yano: 土壤の物理性 (Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn), 81, 6-14 (1999)

“Response of Soil Hydraulic Conductivity to Prewetting Rates and Water Quality”

- ⑤ Wang, S., Y. Kitamura and T. Yano: Irrigation Science

“Effect of Leaching on Solutes of the Effluents of Gypsiferous Sodic Soil (投稿中)”