

G-2 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

(1) 塩類集積の現状及び塩類集積土壌の改良に関する研究¹

研究代表者 国際農林水産業研究センター海外情報部 松井重雄

(委託先) 鳥取大学乾燥地研究センター 矢野友久
鳥取大学農学部 本名俊正

平成8-10年度合計予算額 40,246千円
(平成10年度予算額 9,678千円)

① 塩類集積の現状に関する研究

〔要旨〕中央アジア・アラル海沿岸における灌漑農地において急速に進行している土壌の塩類化の現状を明らかにするために、カザフスタン共和国クジルオルダ州の集団農場（旧コルホーズ）の耕作地と放棄地を中心に土壌調査と水質調査を行った。

その結果、土壌母材はシルダリア川による堆積物であり、同一圃場でも堆積様式はかなり異なる場合が多く、特徴的な点は、塩類集積放棄地は点在ではなく、各ブロック内にまとまって出現していること、放棄地は下層が粘土に富む粘質な土壌、耕作地は下層が砂に富む砂質な土壌であり、下層土の土性が塩類集積に大きく関与していることが明らかになった。

また、集積塩類はナトリウム塩が主体であり、放棄地では塩化ナトリウム換算で表層1mにha当たり100tオーダーの極めて多量の塩が集積していた。比較的近年に開発された新しい耕作地においてもすでにEC_e=約10dS/m程度に達しており、塩類土壌の基準（EC_e=約4dS/m）を大きく上回っていて、栽培条件としてはすでに限界を超えた状況であった。

粘土鉱物組成の同定の結果、農場一帯の土壌はスメクタイト等の2:1型を主体とすることが明らかになり、リーチングに伴う粘土のナトリウム化と膨潤から透水性の悪化が懸念された。

また、灌漑水は、河川から取水され灌漑網の末端に届く過程で、塩類濃度（EC値）は倍増し、質的にはナトリウム化が著しかった。地下水濃度は極めて高く灌漑水としての利用は不可能であり、住民の健康にも影響している可能性が高かった。

このような土壌の塩類化の原因は、ほとんどの灌漑排水路が未整備の素堀りの状態で、多量の灌漑水を利用することに起因している。そのため、集団農場における灌漑農地面積は約1900haのうち、すでに約30%に相当する600haが塩害のために放棄されている。この現実と今回の土壌・灌漑水・地下水・飲料水等の調査と分析結果からは、この地域における塩類化は極めて深刻な状況にあることが明らかであり、農業のみならず、地域住民の生活そのものに大きな影響が及んでいる。現在のような灌漑システムが続く限り、今後土壌の塩類化、さらにアルカリ化はさら

¹ 本サブ課題は平成8、9年度においては、塩類集積土壌の改良剤に関する研究（サブ課題）ならびに塩類集積の現状に関する研究（サブサブ課題）であったが、平成10年度にサブ課題として統一されたため、本報告書においては、別々に執筆することにした。執筆は、前者については矢野友久(②)、後者については本名俊正(①)が担当した。

に加速されて進行するものと予想される。対象地域は広大であり、多くの困難が予想されるが、長期的展望に基づく抜本的・総合的な改善対策が早急に必要である。

[キーワード] 塩類土壌、塩類集積、土壌劣化、灌漑、水質、中央アジア

1. 序

近年、中央アジア・アラル海に流入するシルダリア、アムダリア川流域では、1950年代から1960年代にかけて大規模な灌漑農業開発計画が実施され、広大な農地が開発された。そして一時的にはカザフスタン共和国の米生産の約70%を産出するまでに至ったが、土壌の塩類化をはじめとした種々の原因により、生産量は低下してきている。そして現在はシルダリア、アムダリア川流域では土壌塩類化による耕地の砂漠化が急速に進行している。同時に両河川からの流入量の激減により、アラル海が急速に縮小しており、複合的な環境破壊が進行しつつあり、深刻な環境問題となってきた。

本研究ではカザフスタン共和国クジルオルダ州ジャラガシ村の集団農場（シャメーノフ農場）を研究地点として、塩類集積の実態を把握することを目的とした。この集団農場は、州都クジルオルダ市の北西の方向約75kmに位置し、シルダリア川北側の氾濫原に広がっている。約20年前に整備が開始され、農場内に数カ所の灌漑ブロックが点在する。灌漑面積は1900haに及び、各ブロック毎に水稻作を含む八圃式輪作が行われてきた。しかし、灌漑開始直後から土壌の塩類化が急速に進行し、現在ではすでに約600haの耕地が放棄されているが、土壌の塩類化の勢いは増加の方向にあり、今後も衰える気配をみせていない。

本研究では、現地の栽培圃場、放棄地、実証圃場を対象として、詳細な土壌断面調査を中心とした土壌調査を行うとともに、さらに土壌及び水質の化学分析から、土壌断面内における塩類の分布・移動等をはじめ、現地における塩類集積土壌の面的な広がりとその原因、灌漑水、地下水、飲料水等の現状について解析した。現地圃場の主要な栽培作物は水稻、アルファルファ、小麦であり、調査は集団農場の中の比較的大きなブロックであるメシット、サルタバーン、イエルタイを中心に1996～'98年の8～10月に行った。

2. 研究目的

本研究は、シルダリア川流域で進行している塩類集積の実態と塩類集積機構を解明することを目的として、集団農場の中の比較的大きなブロックであるメシット、サルタバーン、イエルタイを中心に、土壌調査を行なった。

そのため、最も早くから開発され灌漑施設が古く漏水等で放棄地が多いメシット・サルタバーンおよび灌漑排水システムが正常に機能している最も新しい灌漑イエルタイの塩類集積の状況、水田が周辺地区の塩類集積に及ぼす影響、塩類集積と下層土の土性との関係、土壌の粘土鉱物組成、水質（灌漑水、排水、地下水等）等について調査・分析・検討し、塩類集積の現状を明らかにしようとした。

3. 研究方法

(1) 土壌断面調査と土壌分析

最も古くから開発され塩類化の進んでいるメシット・ブロックでは、耕作放棄地（実証圃場）（M1）、アルファルファ畑地（M2）、耕作放棄地（ブロックの中心）（M3）、小麦の耕作地（M4）の4地点、主に水稲作が行われているサルタバーン・ブロックでは、水田に近接した放棄水田（C1）、水田からやや離れた放棄水田（C2）の2地点、最も新しく整備されたイエルタイブロックにおいては、耕作放棄地1断面（E1）、アルファルファ草地2断面（E2、E3）、水田（前年も水田）（E4R）、水田（E5R）の計5断面、合計10断面について、深さ1.5～2.0mまでの詳細な断面調査を行い、土壌試料を採取した。イエルタイは開発が比較的近年のため耕作放棄地がまだ少なく、八圃式輪作が唯一おこなわれているブロックである。耕作地の調査は水稲作が地下水位と塩類集積に及ぼす影響をみるために、水田からの距離を変えておこなった。採取した土壌は日本へ持ち帰り、各種の理化学的分析に供試した。

(2) 塩類集積と土層堆積様式の関係

塩類集積と下層土の土性との関係を明らかにするために、塩集積放棄地と耕作地についてメシットブロックで4地点、またイエルタイブロックで7地点をソイルオーガー用いて深さ1.5～1.8mまで調査した。

(3) 粘土鉱物組成：土壌試料から粘土画分を採取した。その試料について粘土鉱物組成をX線回折法、赤外線吸収法で同定した。

(4) 水質調査：河川水、灌漑水、水田の田面水、排水、地下水、生活用水計25点を採取し、分析した。

4. 結果・考察

(1) 土壌断面調査

土壌断面調査（深さ1.6～2.0m）の結果、全体的な特徴としては、土壌母材はいずれもシルダリア川による堆積物であり、同一圃場でも堆積様式はかなり異なる場合が多かった。各土壌断面において土層の堆積様式に規則性は認められず、各土壌断面を構成する堆積層を面的に結びつけることはできなかった。有機物含量は少なく、全層で極めて硬く、緻密度30以上を示すことが多かった。耕作地は放棄地よりも土性が砂質であった。作物の生育は全体的に良くなく、根量も乏しかった。

各土壌断面はいずれも50～100cmの深さに、鉄の斑紋が認められた。鉄の斑紋の存在は、その部位が一時的に水で飽和されて還元的な環境になることを意味している。これは、水田作の影響が大きいと考えられる。また、100cm程度の深さには、鉄が溶脱されたことを示す形態的な特徴（灰色斑）が認められ、地下水面が1m付近まで上昇していることを意味していた。すなわち、土壌断面形態からは、地下水はかなり高いところまで上昇していることが明瞭であった。

メシットブロックの塩類集積による放棄地の表層には、1～2cmの厚さのクラストが一面に広く形成されており、その下部には3～5cmの厚さの柔らかく白色の塩類が析出した層が存在した。また、断面内にも白色の易溶解性の塩類の結晶がスポット的に、あたかも白ゴマを蒔いたように析出していた。放棄地の塩類集積はすさまじく、NaCl換算で0.6～9%もあり、深さ1mの土壌中（容積重150g/100ccと仮定）に2%の含量で塩類が含まれているとすると、1haの面積あたり300tもの塩類が存在することになり、塩の集積量は極めて多量であることが推定された。

サルタバーンブロックでは、水田からの距離が異なる2地点について調査した。いずれも表

層に多量の塩が集積していたが、水田隣接地点の方により多量の塩類が集積していた。水田隣接地点では 1.5m の深さに地下水面（この地下水の EC 値は非常に高く、現地では EC メーターがオーバーレンジで測定できなかった）が存在したが、水田から離れた地点では少なくとも 2m の深さまでは地下水面の存在が確認できなかった。放棄地でも、隣地に水田があると地下水位が高くなり塩集積が徐々に進行しているといえる。

イエルタイブロックの土壌も母材はシルダリア川起源の堆積物である。表 1.1 に土壌調査の一例を示した。開発が遅いため同じ塩放棄地でも、メシット、サルタバーンのような土壌断面全体における塩の析出はみられず、局所的であった。表層から下層まで土壌が非常に堅く締まっており、山中式硬度計で 30 以上の値を示し、堅牢な角塊状の土壌構造が発達していた。放棄地（E1）と牧草地（E2）の下層土（1m 程度まで）はともに粘質であったが、詳細に調査すると、牧草地の方が放棄地よりも微少な孔隙に富んでおり、さらに水田隣接の牧草地（E3）は下層土がより砂質で孔隙に富んでいた。各断面とも全層に褐色の酸化鉄の斑紋が、また、深さ 50cm より深い層には根の周辺、構造表面にそって疑似グライ化作用によるものと思われる灰色の斑紋が認められた。前者は、水稻作付けに伴って生成され、また後者の生成は、畑作時に地下水が高位で停滞し土壌が一時的に還元状態になったことを示唆している。このブロックの土壌は地下水位がかなり高い状況におかれていると考えられる。水田隣接の E3 は深さ 160cm で地下水（EC=16.1dS/m）が湧水しており、灌漑水が下方と共に、横方向に移動していることが明瞭であった。

表 1.1 土壌断面調査結果の一例（イエルタイブロック）

	E1（放棄地）	E2（牧草畑）	E3（牧草畑：水田隣接）
作物生育状況	（ヨシ群生）	アルファルファ生育極不良、ヨシ多	アルファルファ比較的良好、ヨシ雑草多
塩類集積	表層クラスト形成（局所的） 40～100cm塩多量析出（スポット状）	表層クラスト無し 0～60cm構造表面に塩析出	表層クラスト無し 断面内析出塩無し
湿り	0～50cm：乾 50～110cm：半湿 110cm以下：湿	0～60cm：半湿 60～150cm：湿	0～20：乾 20～60cm：半湿 60～120cm：湿 120cm以下：潤
地下水	確認されず	確認されず	160cm（16dS/m）
斑紋 （疑似グライ斑）	50cm以下： 構造面・根の周囲灰色化	60cm以下： 構造面・根の周囲灰色化	40cm以下： 構造面・根の周囲灰色化
土性	0～110cm：粘質（LiC～SiC） 110cm以下：粗粒（SiL）	0～110：粘質（LiC～SiC） 110cm以下：粗粒（CL）	0～70cm：粘質（LiC） 70～140cm：粗粒（CL） 140cm以下：粘質（LiC）
下層の孔隙	微小孔隙含む	微小孔隙含富む	微小孔隙含富む
緻密度	0～10cm：30以上 30～110cm：30以上	0～80cm：30以上	40～70cm：30以上
根	生根はヨシのみ1mまで	アルファルファ根1m近くまで ヨシ根1.5mでも確認	アルファルファ根50cmまで 50cm以下はヨシ根

(2)調査断面の塩類集積状況

土壌断面における飽和抽出の EC を図 1.1 に示した。表層土の飽和抽出液の EC 値は、耕作地

で 9.7~50ds/m, 放棄地で 17.9~155ds/m であり, いずれも塩類土壌の基準($EC > 4ds/m$)をはるかに超えるきわめて高い値を示した. EC 値から $NaCl$ に換算すると, 土壌中に約 0.6~9% 程度含まれていることになり, 多い場合は ha あたり数 100t, 耕作地でさえ水稻, 小麦などの生育限界を超える多量の塩が集積していた. 飽和抽出液中の可溶性塩類の主体は, $NaCl$ と $MgSO_4$ 等の中性塩であり, 土壌の pH は 7~8 の間にあった.

また最も塩類集積の進んでいないイエルタイの塩類集積状況(表 1.2)は, 最表層の飽和抽出溶液の $EC(Ec: ds/m)$ は,

放棄地の E1 が最も高く $ECe=17.9$, 耕作地は E2 が $ECe=11.4$, そして, E3 が最低で $ECe=9.7$ であった. 概観すれば, 耕作地の ECe は放棄地の約 1/2 程度といえる. 集積塩類はメシット, サルタバーンと同様にナトリウム塩を主体としていた. イエルタイ放棄地 E1 の最表層の ECe 値は作物生育の限界付近にあるが, 他のブロックの放棄地と比較すれば 1/10 程度であり, メシットの耕作地($ECe=20\sim50$)よりも低かった. ECe で評価すれば, イエルタイ耕作地の塩類集積量は他のブロックの耕作地よりもはるかに少ないといえる. しかし, 塩類土壌と判定される $ECe=4$ を大きく超えており, 作物にはやはり非常に過酷な状況にある. また, イエルタイでは下層で ECe が漸増する傾向が認められた. これは, 八圃式輪作の影響で塩分に富む地下水が比較的高いところに存在しているためと考えられ, 塩類が表層へ向かって徐々に移動することが懸念される. なお, イエルタイの土壌 pH は 7~8 であり, 現状ではアルカリ化については問題なかったが, 今後急速に進行する可能性もある.

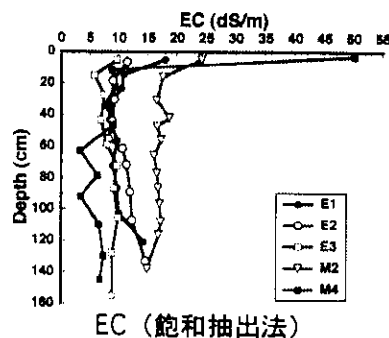


図 1.1 土壌断面における EC

表 1.2 土壌断面中の塩類集積状況 (飽和抽出法・イエルタイ・最も塩類集積の少ないブロック)

	E1 (放棄地)	E2 (牧草畑)	E3 (牧草畑: 水田隣接)
$ECe(ds/m)$	1層目: 20弱 2層目以下: 10前後 最下層やや増加(15)	作土層10前後 下層ほど高くなる (10→15)	3断面中最低(特に作土層) (5~10) 全層を通じてほぼ10未満
土壌 pH	3断面とも, 表層で高く(7.6前後), 下層で低い(7.2~7.4).		
塩類組成	3断面とも, Na 塩(塩化物, 硫酸塩)が主体. Mg 塩がそれに次ぐ(Na の1/5~1/10オーダー)		

(3) 塩類集積と土性との関係

メシット・サルタバーンブロックの 11 地点の土層の堆積様式をソイルオーガー調査した, その結果, 耕作地では 50~60cm 以下の下層土が砂質 ($SL\sim L$), 塩類集積放棄圃場は 50cm 以下の下層が粘土に富む非常に粘質な土性 ($LiC\sim HC$) であることが確認された. このことはサルタバーンをふくめた 3 角ブロックの土壌断面調査からも明らかであり, この地域全体として放棄地には, 下層に粘土とシルトを主体とした粘質な層が存在しており, この層の存在が塩類集積に大きく関与しているといえる. すなわち, この粘質な層が, 灌漑した場合の透水性の不良とともに, 同時に毛管水の上昇の原因ともなり, 土層内に大量に塩分を集積し, 耕作が不可能になったものと推察された. 一方耕作地は, 全体的に砂質の層で占められており, 透水性が良好であった. 同一ブロック内においても, 塩類集積の程度に大きな違いが見られる原因として, 下層土の土性が

大きく関与していることが明らかであり、このことは栽培実証圃場における植物生育と土壌との関係からも明確に確認された。

(4) 粘土鉱物組成

実験圃場（メシット）の砂質な表層（Az2-2：18～29cm）と粘質な下層（2Bzg2：75～95cm）の粘土鉱物を X 線回折法、赤外線吸収法で同定した結果、表層、下層ともほぼ同じ組成で、2:1 型を主体とすることが明らかになった（図 1.2）。推定される主要粘土鉱物は、スメクタイト、クロライト（緑泥石、2:1:1 型）、バーミキュライト、イライトあるいはセリサイト（雲母系鉱物）であり、赤外線吸収特性からカオリン系鉱物はほとんど含まれていないと判定された。この周辺一帯の土壌母材はシルダリア川起源の堆積物であることから、他の圃場も同様な組成であると思われる。農地の土層が堅密であったこと、また乾湿の繰り返しのある土壌上層部に堅牢な角塊状構造が発達していたことは、スメクタイトに富むことに起因すると考えられる。

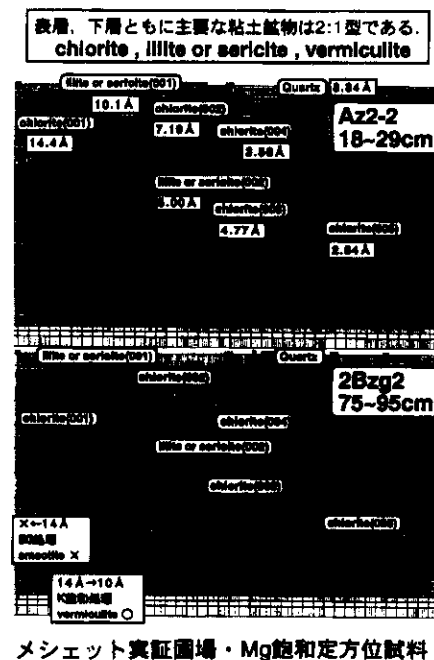


図 1.2 粘土画分の X 線回折

(5) 水質・灌漑水の水質の変化と土壌に及ぼす影響

この地域内の水質について分析した（表 1.3）。水源であるシルダリア川の水質は、EC=1.7dS/m、SAR=2.5 で、FAO のガイドライン(Ayers and Westcot, 1985)によれば、塩分濃度がやや高く、作物栽培用水としては多少問題がある。そして、シルダリア川から取水された灌漑水は、圃場に至る過程でナトリウム濃度がほぼ倍増し、塩分濃度がさらに上昇した（EC 値では 1.7→2.6dS/m）。当地の河川水、用排水、地下水には、EC≒SAR の関係が認められ、塩分濃度の上昇はナトリウム塩の付加によるものといえる。

表 1・3 集団農場地域の水質（平均値）

	河川	運河	用水	田面水	排水	地下水	飲料水
点数	1	3	2	6	6	4	2
EC _(ds/m)	1.7	→ 2.2	→ 2.6	→ 2.8	→ 3.7	→ 14.4	2.7
pH	7.6	→ 7.7	→ 7.7	→ 7.8	→ 7.8	→ 7.6	8.2
SAR	2.5	→ 3.4	→ 3.7	→ 4.2	→ 4.7	→ 16.1	27.8

地下水の EC は非常に高く平均 14dS/m 以上あった（昨年調査では 60dS/m 以上のものもあった）。高濃度の塩分を含む地下水の存在は、土壌表層への塩類集積を大きく助長するといえる。地下水の EC 値は水田、用水路に近い地点ほど低下しており、水田、水路から相当量の水が地下浸透し、塩分濃度を下げていると考えられた。例えば、メシット用水路隣接の放棄地地下水は EC=8.6dS/m。また、水田の地下水は EC=2.2dS/m で田面水と同レベルであった。つまり、水稻作付けは、土壌中の塩を洗脱させ、その塩が地下水とともに周辺の圃場へ移行することを示唆している。今後、定量的な地下水と塩類の動きを掌握する必要がある。飲料水は pH が高く、他と組

成が異なっており、SAR も約 28 と高く、Na に富み（90%以上が Na 塩）、住民の健康への影響が極めて大きいことが懸念された。

5. 本研究により得られた成果

土壌への多量の塩類集積は、粘質な下層土と水稻作を含む輪作体系が複合的に絡み合い、ウォーターロギングの典型ともいえる状況が作り出された結果と考えられる。

水稻作を含む八圃式の輪作は、周辺の畑地へ地下水を介して水分を補給でき、水を有効利用できる利点はあるが、下層土が粘質な場合、毛管上昇による表層への塩集積を助長する危険性が極めて高いといえる。また、この地域一帯の土壌がスメクタイトに富んでいることは、塩のリーチング過程で土壌溶液の濃度が低下してナトリウムイオンが卓越してくると、スメクタイトが分散性を増し、土壌の透水性が大きく悪化することが懸念される。分散性を増したスメクタイト粘土は灌漑水とともに断面内を下方に移動し、粘土集積層を形成する可能性もある。このことは、土壌の透水性を更に悪化させることにもなる。

これらのことから考えれば、下層土がスメクタイトに富む粘質な圃場で水稻作を行うことは、下層土の透水性を大きく悪化させ、より緻密化した下層土は塩分の上昇をさらに助長することになり、表層へ多量の塩類を移動集積させることにつながる。よって、この地域で田畑輪換を行う場合、下層が粘質な地点は極力避けた方が望ましいといえる。これは土壌の塩類化をこれ以上進行させないようにするための有効な耕種的手段の一つと考えられる。そのためにも、下層土の特性を面的に広く掌握し、水田耕作可能地とそうでないエリアに区別する必要がある。

6. まとめ

現地では八圃式輪作が導入され、水田利用時に、生産とともにそれまで集積した塩類の除塩が期待されていた。しかし現状では、逆に水田利用時に周辺の圃場の塩濃度が著しく上昇し、かえって、地域全体の塩類集積を早めているものと推定された。

土壌・灌漑水・地下水・生活用水等の調査と分析結果から、この地域における塩類化は極めて深刻な状況にあり、農業のみならず、地域全体の環境、地域住民の生活そのものに大きな影響があらわれている。現状では、今後、土壌の塩類化さらにアルカリ化の急速な進行が予想される。対象地域は広大であり、多くの困難が予想されるが、新しい灌漑・水管理システムなど、自然の摂理にかなった、長期的な展望に基づく抜本的・総合的な対策が早急に必要である。

7. 参考文献

- 1) Ayers, R.S. and D. W. Westcot. (1985) Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper 29(rev.1).FAO, Rome. pp.174
- 2) 塚谷恒雄 (1997) 砂漠化とアラル海, 環境科学の基本, pp.108~122, 化学同人, 京都

[研究発表の状況]

口頭発表

- ① 山本定博・本名俊正・高島雅子・遠藤常嘉：日本砂丘学会第 45 回大会（1998）
「アラル海沿岸で急速に進行している土壌塩類化の実態と解析」