

カザフスタンにおける灌漑農地の塩類化の現状と対策

北村 義信¹・清水 克之¹

Salinity of irrigated lands in Kazakhstan: present state and measures

Yoshinobu KITAMURA¹ and Katsuyuki SHIMIZU¹

1. はじめに

中央アジアのアラル海流域においては、アムダリアとシルダリアの両河川沿いにほぼ 800 万 ha にも達する大規模な灌漑農業が展開されている (FAO, 1997). この地域では、ウォーターロギング (以下、湛水害) と塩害が深刻な問題となっており、灌漑農地の約 40 % が塩類集積の影響を受け (FAO, 1997), 耕作放棄されている農地も多い.

本研究ではこの灌漑農地の塩類化に着目し、シルダリア川下流域に位置する、カザフスタン共和国クジルオルダ州の灌漑農地を対象に、二次的塩類集積の発生原因を解明し、それを防止するために必要な対策について検討を行った.

2. 灌漑農地の概要と塩類集積の現状

研究対象とするシャメーノフ農場は、シルダリア川の河口から約 350 km 上流の右岸に位置する旧ソ連時代の集団農場で、その全体面積は 19,200 ha である. このうち、農地は 1,900 ha であり、分散的に分布している. 農地の分布状況から、農地開発は主に灌漑水の供給が容易で、かつ低平な地形のところにおいて優先的に行われてきたと推測される. 起伏があり、水供給が困難なところは開発されないで、放置されている. 同農場では、農地の 3 割強の約 600 ha が、強烈な塩類集積のため放棄されている (Fig. 1, Fig. 2, Photo. 1).

クジルオルダ地域では、水稲作を中心とする 8 年輪作体系が普及している. 特に、灌漑区を 8 区に分け輪作を行う方式が一般的である. この体系の作付の順番は、1 ~ 2 年目: 水稲, 3 年目: 休閑, 4 ~ 5 年目: 水稲, 6 年目: 小麦 + 被覆作物としてアルファルファ, 7 ~ 8 年目: アルファルファである.

Table 1 (Kitamura et al., 1999b) は農場およびその周辺の地表水、地下水の水質について整理したものである. 電気伝導度 (EC) は地表水 (河川水・灌漑水) が 1.3 ~

2.9 dS m^{-1} (平均 1.8 dS m^{-1}) であるのに対し、地下水は 4.1 ~ 73.0 dS m^{-1} (平均 22.9 dS m^{-1}) と 10 倍以上高くなっている. 特に、放棄農地の地下水の EC は異常に高い傾向を示す. Fig. 3 は放棄農地とその隣接栽培農地における土壌の飽和抽出液の EC (ECe) の深さ方向分布である (矢野, 1999). 隣接農地ではこの年アルファルファを栽培しているが、前作は水稲であった. 放棄農地における ECe は極端に高くて 100 dS m^{-1} 程度、隣接農地では 20 dS m^{-1} 程度で深さに対して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、



Fig. 1 アラル海流域と研究対象農場 (Shamenov kolkhoz) の位置図.

Location of the studied farm (Shamenov kolkhoz) in the Aral Sea basin.



Photo. 1 塩類集積のため放棄された農地.

Abandoned farmland due to severe salt accumulation in the studied farm.

¹Faculty of Agriculture, Tottori University, Koyamacho-Minami 4-101, Tottori 680-8553, Japan. Corresponding author: 北村 義信, 鳥取大学農学部

2010年6月2日受稿 2010年6月17日受理

土壌の物理性 115号, 37-41 (2010)

キーワード: 二次的塩類集積, 水管理, 水・塩収支, 乾燥地, 8年輪作体系

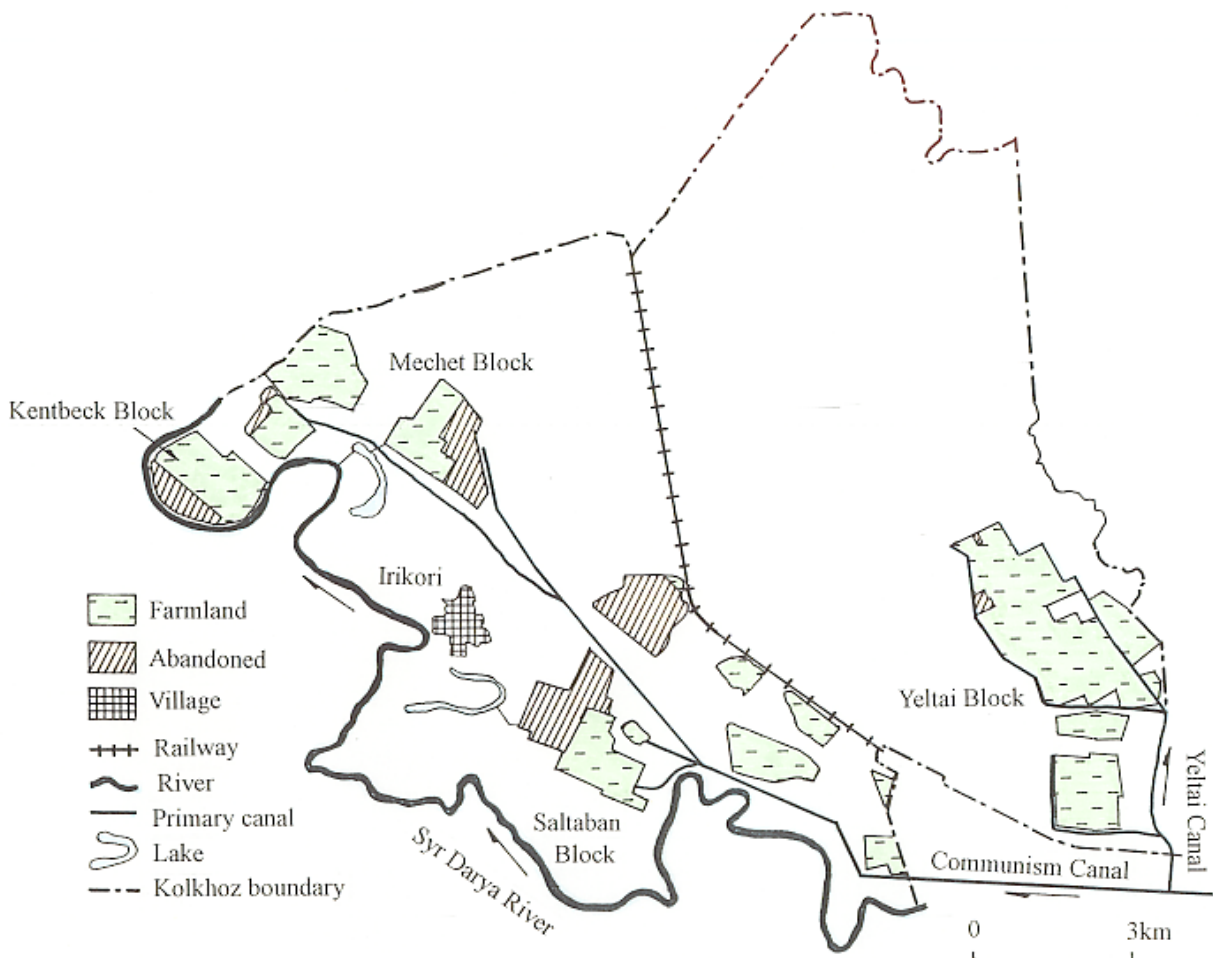


Fig. 2 研究対象農場における灌漑区の配置図。
Plan of the studied farm in the Lower Syr Darya basin.

Table 1 シルダリア下流域における水質特性。
Characteristics of water quality related to salinity in Lower Syr Darya basin (Kitamura et al., 1999b)

Parameter	Units	Water quality in and around Shamenov kolkhoz				Usual range for irrigation (FAO*)
		Surface water			Groundwater	
		River & irrigation canal water	Ponded water in rice fields	Drainage water	Cultivated & abandoned fields	
EC	dS m ⁻¹	1.31–2.88 (1.78)	1.84–3.06	2.63–4.40 (3.42)	4.13–73.00 (22.9)	0–3
TDS	mg L ⁻¹	955–2151 (1285)	1384–2337	2053–4143 (2620)	2765–86360	0–2000
Ca ²⁺	meq L ⁻¹	4.6–9.3	6.2–9.1	8.4–19.2	20.3–29.1	0–20
Mg ²⁺	meq L ⁻¹	5.6–11.3	7.3–12.7	11.6–18.3	20.8–437.0	0–5
Na ⁺	meq L ⁻¹	5.9–17.0	7.7–15.1	13.1–20.9	17.3–982.6	0–40
CO ₃ ²⁻	meq L ⁻¹	–	–	–	–	0–0.1
HCO ₃ ⁻	meq L ⁻¹	–	–	–	–	0–10
Cl ⁻	meq L ⁻¹	4.5–12.2	6.0–13.1	12.6–25.1	26.0–795.9	0–30
SO ₄ ²⁻	meq L ⁻¹	11.2–22.4	14.0–24.9	23.7–43.7	13.6–633.5	0–20
K ⁺	meq L ⁻¹	0.1–0.3	0.2–0.3	0.2–0.5	0.6–3.2	0–2
pH		7.60–8.14	7.75–7.94	7.62–8.10	7.42–8.14	6.0–8.5
SAR		2.46–6.08	2.70–5.36	4.13–5.04	3.68–129.36	0–15
Mg ²⁺ /Ca ²⁺		1.05–1.44	1.10–1.72	0.95–1.63	0.90–15.90	0–1

* FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 (Ayers and Westcot, 1985).

Table 2 対象灌漑区 (716 ha) の塩類収支 .
Salt balance in the study block (716 ha).

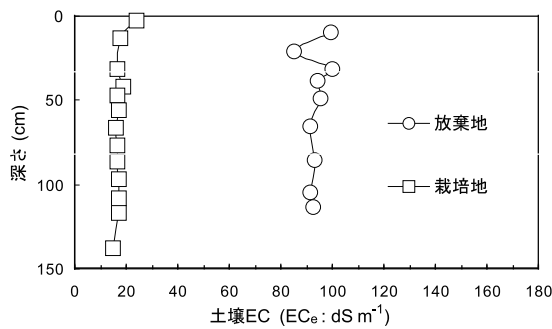
Year	Salt inflow to the block (1)	Dissolved salt from canal (2)	Accumulated salt in adjacent area (3)	Dissolved salt from fields (4)	Accumulated salt in fields (5)	Drained salt from the block (6)	Increase in accumulated salt in the block (7)
1997	33508 t	945 t	4643 t	4483 t	5202 t	29091 t	4417 t
1998	24923 t	703 t	3452 t	7109 t	4769 t	24514 t	409 t

$$(7) = (1) - (6) = (3) + (5) - (2) - (4)$$

Table 3 対象灌漑区 (716 ha) 内の水稲作付区における水収支 (単位: mm).
Components of water consumption for rice in the study block (mm).

Year	Rice plots irrigated	Period of water balance	Withdrawal at canal head (1)	Canal losses (2) = (1) × 0.277	Field intake (3) = (1) - (2) (mm d ⁻¹)	Field consumption (4) (mm d ⁻¹)	Drained (5) (mm d ⁻¹)
1997	384 ha	128 days	6136 (2.32 m ³ s ⁻¹)	1700	4436 (34.7)	1259 (9.8)	3177 (24.8)
1998	537 ha	123 days	3990 (2.23 m ³ s ⁻¹)	1105	2885 (23.5)	1123 (9.1)	1762 (14.3)

$$(4) = (3) - (5)$$

**Fig. 3** 土壌の飽和抽出液の電気伝導度 .
ECe of soil at 0 - 150 cm depth.

塩類土壌の指標である 4 dS m^{-1} を大幅に超える塩類の集積がみられる .

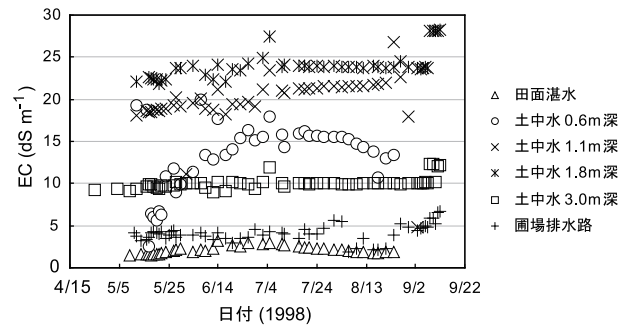
ある灌漑区での塩類収支の調査結果を Table 2 に示す (Kitamura et al., 2006) が, かなりの塩類が地区内およびその周辺に年々残留することが確認された . また, 塩類集積はある特定の場所に集中する傾向がみられた . 塩類集積が作物生産の可能な範囲以上になれば, その農地は耕作されないで放棄される .

3. 塩類集積の起こる原因

一連の研究から (Kitamura et al., 1999a,b; Kitamura et al., 2006), シルダリア川下流域で普及している水稲を基本とした作付体系における, 二次的塩類集積の形成機構が明らかになった . その根本的な原因のほとんどは, 水・土壌管理に関することで, 次のように要約できる .

3.1 水路からの大量の漏水

この地域の水路は, 一般に無舗装で施工もよくないため, 搬送損失が多い . 典型的な土水路での搬送損失の実測値は約 $5.8 \% \text{ km}^{-1}$ であった (Kitamura et al., 1999a). このような高い搬送損失は水路周辺の湛水害と塩類集積の原因となる .

**Fig. 4** 水稲区土中水と排水の電気伝導度 (EC) の変動 .
Change in EC of soil water in a paddy plot and drainage water.

3.2 水路の機能不足に起因する大量の用水管理損失

ある灌漑区での水収支調査の結果より (Kitamura et al., 2006), 農地への灌漑水量は作物の必要水量に関わらず, 水路の送水能力一杯の状態 で取水されていることが判明した (Table 3). この理由として, 極端に平坦な地形に加え, 末端耕区内の劣悪な均平状況のもとで重力灌漑に必要な水頭を確保するため, 水稲区の深水を確保するため, 搬送損失分を補充するため, 水価が約 $0.7 \text{ US\$} / 1,000 \text{ m}^3$ と極端に安く農民の節水意識が希薄なため, などが挙げられる . 用水管理損失の増大は, 灌漑区への過剰給水を招き, 湛水害と塩類集積の原因となる .

3.3 排水路系の機能不足と管理の劣悪さ

圃場排水路は十分な地下排水機能を有していないため, 水稲区と畑作区間の水理的連続性の遮断, および水稲区の余剰塩類の排除という本来の役割を果たしていない . このことは排水の塩類濃度が水稲区の土中水のそれよりはるかに低いことから明らかである (Fig. 4) (Kitamura et al., 1999b). 水稲区からの浸透水は排水路の下方を経て移動し, 隣接する畑作区の地下水位を上昇させ塩類集積を加速する .

3.4 水稲作付区への過剰灌漑

灌漑期を通じて水稲区へは大量の水が灌漑されている (Table 3) (Kitamura et al., 2006). この理由は水稲区湛水の塩類濃度の上昇を抑えるためなどである. このことが隣接畑地の湛水害と塩類集積をさらに助長する.

3.5 8 年輪作体系の適用

この地域で普及している 8 年輪作体系は, 1 つの灌漑区内に水稲区と畑作区を混在させることになる. このため, 水稲区から畑作区への水移動, 塩移動が活発化し, 畑作区において塩類集積が促進される (Kitamura et al., 1999b).

3.6 粗雑な圃場均平と圃場水管理

水田区の均平度は極めて劣悪である. 例えば, ある耕区 (2.4 ha) の高低差は $-15.4 \sim +14.9$ cm であり, 別の耕区 (1.8 ha) では $-17.9 \sim +16.6$ cm であった (Kitamura et al., 1999a). このような均平状況のもとでは, 各耕区の最高位部を冠水させるために湛水位を高く維持しなければならない. 深水湛水は 3.4 の傾向を助長し, 隣接畑地の湛水害, 塩類集積に拍車をかける.

3.7 全溶解物質 (TDS) が $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ を超える河川水の常時取水

水源であるシルダリア川の塩類濃度は比較的高く, 灌漑期間の EC は $1.3 \sim 2.9 \text{ dS m}^{-1}$ (平均 1.8 dS m^{-1}), TDS は $955 \sim 2,150 \text{ mg L}^{-1}$ (平均 $1,285 \text{ mg L}^{-1}$) であった (Table 1) (Kitamura et al., 1999b). このような塩性水の大量取水は, 塩類収支不均衡の最大の原因である.

3.8 水路周辺部の集積塩類の溶出

水路沿いに集積していた塩類は灌漑開始とともに水路中に溶出し, 塩類濃度を高める. Fig. 5 は幹線水路の取水地点とその 50 km 下流の地点における EC を比較したものであるが, 下流側で EC が 1.23 倍高くなっている. このことも灌漑農地における二次的塩類集積の原因の 1 つと考えられる.

4. 水管理の改善に向けての提案

上記 3. で述べた原因を解決することが, そのまま二次的塩類集積防止対策となる. これらの原因は, 互いに関連しており, その背景には自然環境の制約に起因する場合が多いので, 総合的な対策が基本となる.

4.1 水路損失の軽減, 塩類の溶出防止および湛水害対策

水路からの大量の漏水, 水路への塩類の溶出の問題は, 土水路という構造上の特性に加えて, 一般に長い水路延長を有するという点にも起因する. これは平坦な地形条件下で重力灌漑を行う以上, 避けられない点である. また, シルダリア川は緩やかな河床勾配と大きな河状係数を持つため, 非常に蛇行し易い特性を有している. このため, 水路延長が長くなっても, 流況が安定した箇所に取水施設を設置せざるを得ないという制約も加わる. これらの対策としては, 次のような施設の改良等投資を伴うものが中心となるので, 投資効率を前提とした評価が必要である.

- (1) ポンプ灌漑を導入し, より近いところに水源を確保して, 水路延長を可能な限り短くする.
- (2) 重力灌漑を適用する場合は, 目的地にできるだけ近く, かつ安定的な取水ができるよう取水施設を整備する.
- (3) 土水路のライニングもしくはパイプライン化
- (4) ライニングが経済的に困難な場合は, 施工時に破碎転圧工法など漏水を抑制する工法を採用する.
- (5) 定期的な水路管理を徹底して水路の粗度を低く維持し, 通水能力を確保する.
- (6) 水路からの漏水に伴う湛水害を抑止する方法として, バイオ排水を導入する. すなわち, 水路沿いに植林して緩衝帯を設け, 樹木に漏水を吸収させて地下水位を下げる. この方法は地域の環境改善効果も期待できる. 対象樹木としては, ポプラなどが考えられる.

4.2 用水路の水利制御施設の整備と管理技術の高度化

用水路の制御機能の低さに起因する用水管理損失の問題は, 上記 4.1 と密接に関わっており, 一体的に対策を検討する必要がある. 最大の問題は, 水路中の流水を制御するためのゲートが, 分岐点, 分水点など最低限必要な箇所に設置されていないか, 破損して機能していないことである. ゲートの欠損は, 圃場への給水に必要な水頭確保のために, 管理用水の上乗せ取水を余儀なくし, 灌漑効率を著しく低下させる. この実態は, 上述の水収支調査結果からも確認されている. この問題は, 適切な箇所に堅固な水位制御用ゲートを設置し, 適正に管理することにより, 大幅に改善できると考えられる.

4.3 排水路系の機能, 管理体制の改善

排水路系の機能不足と管理の劣悪さは, 灌漑区での塩類収支の均衡を崩し, 塩類を灌漑区内に集積させることになる. 二次的塩類集積を防止するもっとも基本的な概念は, 流入塩類量に相当する塩類量を灌漑区から排除し, 全体的な均衡を保つことである. そのためには, 排水路系の機能を向上させ, その機能を維持する適正な管理が必要である. 特に, 現在の排水路は堆砂がひどく, 機能低下が著しい. 圃場排水路の底標高は, 圃場面標高より約 1.8 m 低くなっているが, 非灌漑期の地下水位は圃場面から約 2.5 m であることを考えると, 水路底標高をさらに 0.7 m 程度下げるのが望ましい. また, 排水路の両

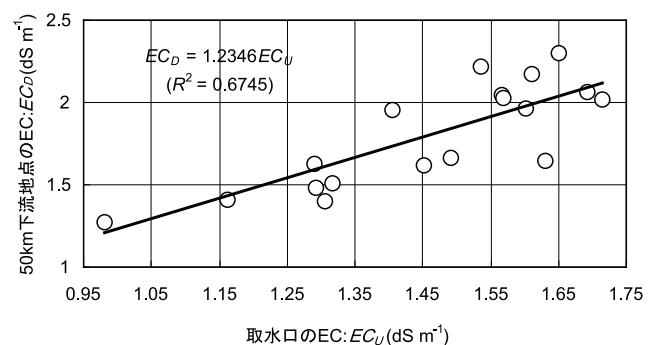


Fig. 5 水路内塩類溶出に伴う電気伝導度の増加.

Increase in EC of canal water due to dissolution of accumulated salts from canal system.

岸が農道として利用され、締固めが進んでいることも、水稲区からの浸透水を遮断し、地下排水機能を大きく損ねている。この改善のためには、両岸（農道）の下に適度な間隔でパイプを埋設するなどして、圃場浸透水の排水路への排出を促進する必要がある。

暗渠排水の採用は、土壌中の塩類を効率的に除去できる点で有効であるが、この地域の経済力から考えてコスト的に問題がある。また、塩類が大量に集積した土層に暗渠を敷設する場合には、大量の塩類が流出して下流域の水質を悪化させることになるので、十分な注意が必要である。排水対策は下流域への影響を十分に検討した上で、決定すべきであり、各灌漑区の排出口の管理が重要になる。将来的に、灌漑区単位でしっかりとした排水管理池を排水路系の末端に整備し、河川へ還元する際の水質基準を定めるなどの対策を、流域（関係国）全体で検討していく必要がある。

4.4 圃場管理（水・土壌管理）の改善

上記 3. の 3.4 ~ 3.6 は、互いに関連した問題であり、一体的に対策を検討する必要がある。これらを解決するためには、次のような対策が考えられる。

- (1) 現行の 8 年輪作体系を、灌漑区単位で適用し、同一灌漑区内では、水稲（湛水）作か畑作の何れかに統一して作付を行うことが望ましい。
- (2) 圃場の均平度を極力高めること。一般に、この地域では水稲区の湛水深を深く管理する傾向がある。深水管理は、倒伏防止、夜間の保温等栽培上の必要性からきている面もあるが、各圃場の不陸に起因する面が大きい。均平精度が上がれば、湛水深を低く抑えることが可能となり、圃場での水適用効率は向上する。また、その結果、確保すべき水路水頭を下げることが可能となり、水路損失も軽減される。
- (3) 塩類濃度の高い土壌での水稲作は、下層の可溶性塩類を上層に移動させる可能性がある。すなわち、湛水条件下では下方の塩類の影響で湛水の塩類濃度が上昇し、これを防ぐために、掛流しと深水湛水を継続する必要がある。必然的に水稲区への過剰灌漑を誘発することになる。この地域には、灌漑開発が行われる前から、塩類集積土層が存在していたと考えられるため、基本的には水稲作は好ましくない。この地域においてコメは重要な換金作物であり、農民のコメに対する執着は非常に強い。ため、即座に水稲作を否定することは、非現実的である。しかしながら、将来的には水稲作からの脱却を志向していかなければならないと考えられる。当面、水稲作を継続するにしても、節水管理を徹底していく必要がある。
- (4) 農民の水に対する価値観を是正する必要がある。現行の水価はあまりにも安価過ぎるので、農民の節水努力を促す適正な水価に改正すべきである。

4.5 流域関係国の取水、排水に関する協定の締結

この対策がもっとも重要で急を要する。TDS が 1,000 mg L⁻¹ を超える河川水を大量に灌漑農地へ供給するこ

とは、そのまま大量の塩類を農地へ供給することにほかならない。河川水は上流側から繰り返し反復利用されているため、その塩類濃度は下流側ほど高くなっている。上流側での取水が大量であるほど、また排水量が多くその塩類濃度が高いほど、下流側の水質は劣悪になる。したがって、流域関係国が共存していくためには、早急に取水と排水についての細かい規定を協議して、協定を取り交わし、それに基づいた適切な流域水資源管理を行う必要がある。

5. おわりに

灌漑農地の二次的塩類集積は、不適切な水管理・土壌管理に由来する部分が大半であり、灌漑損失が多く、効率の悪い灌漑システムほど生じやすい。本研究の対象とした農場では、まさにこのことを実感させる粗放な灌漑農業が実施されていた。そこでの一連の研究を通して、二次的な塩類集積機構がかなり鮮明になった。特に、「乾燥地における水稲作には、その持続可能性において根本的な問題があること」、そして、「そのあり方を根本的に考え直す必要があること」を痛感した。本研究で得られた成果をもとにさらなる研究を展開させ、乾燥地における灌漑農業とその周辺水環境の改善に少しでも貢献したいと考えている。

引用文献

- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. (1985): Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, 29, 186p., FAO, Rome.
- FAO (1997): Irrigation in the countries of the former Soviet Union in figures. FAO Water Report, 15, 236p., FAO, Rome.
- Kitamura, Y., Yano, T., Yasuda, S. and Oba, T. (1999a): Water balance in an irrigation block under rice-based cropping system in Central Asia — Research on water management to prevent secondary salinization in Arid Land (I) —. Trans. of JSIDRE, 205: 55–64.
- Kitamura, Y., Yano, T., Yasuda, S. and Oba, T. (1999b): Water and salt behavior in an irrigation block under rice-based cropping system in Central Asia — Research on water management to prevent secondary salinization in Arid Land (II) —. Trans. of JSIDRE, 206: 47–56.
- Kitamura, Y., Yano, T., Honna, T., Yamamoto, S. and Inosako, K. (2006): Causes of farmland salinization and remedial measures in the Aral Sea basin — Research on water management to prevent secondary salinization in rice-based cropping system in arid land. Agricultural Water Management, 85 (1–2): 1–14.
- 矢野友久 (1999): 塩類集積土壌の改良に関する研究。「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終了研究報告書, pp.8-19.