

乾燥地灌漑水田における水管理が塩分移動に及ぼす影響

水利用学分野 兵頭正浩

キーワード：連続灌漑、間断灌漑、水田、塩分移動

1.はじめに

中央アジアの乾燥地・半乾燥地においては、水資源に制約がある中で様々な背景のもとに水稲栽培は営まれている。しかし、このような地域において多量の灌漑水を必要とする水稲栽培を営めば、周辺地域や隣接畑地にウォーターロギング・塩類集積を容易に引き起こす。そのため、乾燥地・半乾燥地で水稲栽培を営むことは好ましくないが、様々な地域で営まれているのが現状である。

対象としたカザフスタン共和国・クジルオルダ州は、水稲栽培の中心地域であり、深刻な塩害による被害が大きく、耕作放棄される農地も多い。この地域の水稲栽培においては、ある種の間断灌漑が取り入れられている。間断灌漑とは、通常、畑作に用いられている灌漑方式であるが、水稲作りに用いた場合には、水移動を作物根群域に生起させ、ダイナミックな上向きの塩移動が誘発することが懸念される。

本研究では、北村(1998)の事例を分析し、間断灌漑を取り入れた水稲作区における塩類挙動の特性を明らかにする。また、得られた結果を検証するための室内カラム実験を行った。

2.事例分析

2.1 カザフスタン共和国・クジルオルダ州での事例

水稲作区(2.4 ha: 136 m × 177 m)における水と塩類の挙動を把握するために、地下水位、湛水状態下での深度別圧力水頭、ECを測定した。

地下水位の観測は、圃場に直径 50mm の PVC パイプを埋設し観測井とした。各深度における圧力水頭と、土壌水の EC は、あらかじめ設置したピエゾメーター(0.6、1.15、1.8、3.0m)を用いて測定した。

対象圃場においては、水稲栽培開始後 51 日間に 3 回の間断灌漑が繰り返された。後半の 53 日間は連続灌漑が行われ、圃場は湛水状態に保たれた。

図 1 は各深度の圧力水頭の観測値から求めた土層別の動水勾配の変化を示す。図 2 は各深度における土壌水 EC 値の変化を示す。図 1 から、ほとんどの層で動水勾配が正の値を示しており、湛水状態において地表水が深部へ移動していることを示す。しかしごく限られた時期にいくつかの層において土壌水は上向きの動水勾配を呈していることが伺える。灌漑中断期後再度灌漑を開始する時期において、0.6-1.15m の層で特にその傾向が伺える。図 2 から 1.8m における塩類濃度が 20-25 dS/m と異常に高い値を示し

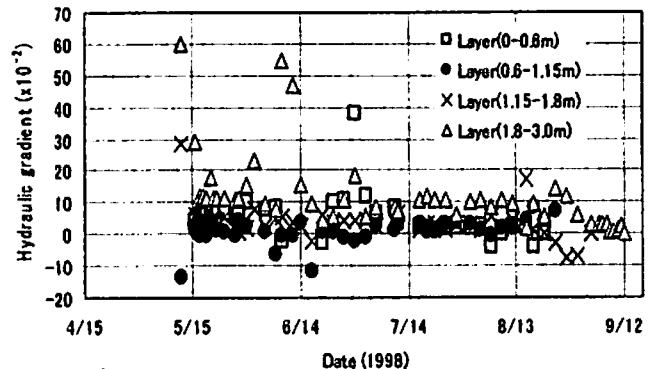


図 1 各層における動水勾配

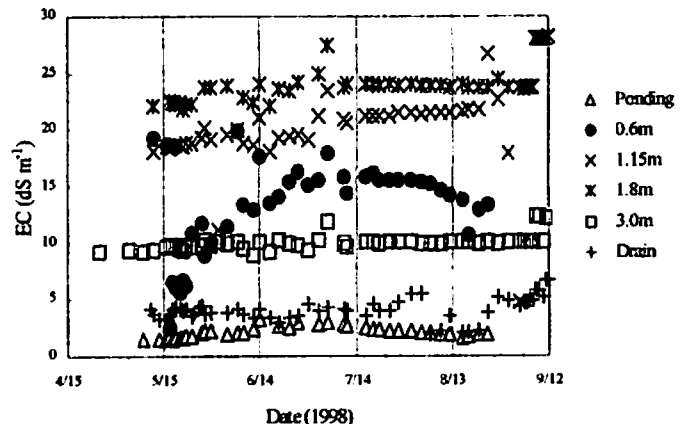


図 2 各深度における塩類濃度の変化

ており、この深度付近に塩類集積層が形成されていることが伺える。また、3m 付近の土壌水塩類濃度は栽培期間を通して 9-10 dS/m となっている。このことから、この付近には主要な地下水流が年間を通して存在すると考えられる。また、灌漑期間を通して湛水の塩類濃度は約 2.5 dS/m であるのに対して 0.6m 付近の土壌水塩類濃度は興味深い動きをしている。初期段階において、土壌水塩類濃度は高く約 18 dS/m を示しており、灌水直後は約 2.5 dS/m まで下降しているが、その後、一時的に高い値を示しながら、徐々に上昇し、連続灌漑期には約 15 dS/m を継続的に維持し、落水の開始とともに若干低下している。

このような塩類の挙動は、次のように説明することが出来る。灌漑期間初期において、0.6-1.15m の層から大きな負の動水勾配が発生することで、下層に含まれていた塩類が土壌水とともに上昇し、上層へ塩類を導くこととなる。その直後、上層での塩類濃度の急激な低下は、初期段階において灌水が下方へ浸潤することにより、リーチング効果が見られたことによるものと考えられる。その後、徐々に上層の塩類濃度が上昇したのは、圃場における水管理(灌漑の中断と再開)にその原因があると考えられる。特に、灌漑再開時には、瞬間的に高い塩類濃度を記録し、その時の動水勾配が負となっていることにも符合する。瞬間的な上昇後の下降は、上方からの浸透水の希釈によるものである。

灌漑期間を通して灌水が連続的に行われたり、間断的に与えられたりすることで、地下水位が大きく変動する。そのため瞬間的に大きな負の動水勾配が生じ、上向きの流れが発生して、上層の塩類濃度が徐々に上昇したと考えられる。

2.2 結果及び考察

塩類濃度の高い地下水位が上昇し、深部への排水性を確保できなければ、水稻栽培においても塩類集積を招く恐れがある。また間断灌漑においては、水管理の変化時に、表層付近において、負の動水勾配を生起させることがあり、上向きの流れが発生することで、下層に含まれている塩類を土壌水とともに上昇させることとなる。このような水管理操作に伴う瞬間的な上向きの流れは、現地の圃場の空間的異質性によるものである。

特に周辺部に比べ、部分的に透水係数の高い層が存在する場合は、下層に含まれている塩類が、負の動水勾配、蒸発、作物の吸水を受け、上向きの流れが生じ易くなるため、塩類が作物根群域に与える影響が大きくなると考えられる。

3.カラム実験による分析結果の確認

3.1 実験方法

実験は鳥取大学構内にあるビニールハウス内にて行なった。また、測定期間は 2005 年 9 月 21 日から 2005 年 10 月 24 日である。

供試体作成方法:土壌表面を 0cm 深とし、カラム内の目詰まり防止目的で、疎水材を 37-40cm 深に敷き詰め、風乾させた土壌を 30-37cm 深まで充填し、その上部 20-30cm 深まで塩類集積層と想定した塩類土壌を充填し、さらに、風乾させた土壌を 0-20cm に充填した。また塩類土壌として、風乾土壌に顆粒上の塩化カリウムを加え、その飽和抽出溶液が $EC_e=10$ dS/m となるようにあらかじめ調節した土壌を用いた。

水管理の方法としては、マリOTTタンクを用いて湛水深を 5cm に保つ連続灌漑と、週に 1 度灌水を行う間断灌漑を区別した 2 方法を設定した。土壌の透水性の違いによる塩類の移動の影響を確認するために、3 種類の土壌(水田土、まさ土、砂丘砂)を組み合わせる 6 本の供試体を作成し、全ての供試体において 2 反復とし、合計 12 本の供試体を作成した。各土壌における特性を表 1 に示す。土壌表面から 5cm、15cm、25cm、35cm 深に内径 1cm のアクリルパイプを挿入しピエゾメーターとした。同深度の土壌水を採水するために土壌水採取器を 3 方向から設置し、ひとつの供試体につき 4 深度、3 方向から土壌水を採水した。ただし水田土においては、特殊な採取器を用いたため 1 方向のみとした。

測定項目は、表層付近における土壌塩類濃度、各層における土壌水塩類濃度、地温、圧力水頭、蒸発量、排水量、灌水量である。測定日は、初期1週間は毎日測定とし、以降、週4回火曜日、水曜日、金曜日、日曜日とした。

表1 各土壌における特性

	乾燥密度 ρ_d ($g\ cm^{-3}$)	飽和透水係数 K_s ($cm\ s^{-1}$)	土壌充填量 (g)	塩類混入量 (g)
水田土	1.22	4.84E-05	31891	36.63
まさ土	1.50	1.69E-03	39211	26.12
砂丘砂	1.51	1.29E-01	39472	17.12

灌漑水の水質については、乾燥地における一般的な塩分濃度とするため、灌漑水塩類濃度 $EC_w=1.02\ dS/m$ を用いた。

3.3 結果 蒸発量

期間(34日間)を通した全蒸発量を表2に示す。それぞれの供試体において、連続灌漑供試体では蒸発量は49-59mm(1.44-1.74mm/日)、間断灌漑供試体では18-27mm(0.53-0.79mm/日)となっている。

連続灌漑、間断灌漑は表層条件が異なるため、両者の蒸発量に違いが生じたと考えられる。それぞれの土性で比較すると連続灌漑を用いた場合と、間断灌漑を用いた場合において2.2-2.8倍の蒸発量の違いが生じた。

表2 水管理と土性が与える蒸発量の影響

土性	灌漑方式	蒸発量 (mm/34day)
水田土	連続	49
	間断	18
まさ土	連続	59
	間断	27
砂丘砂	連続	55
	間断	23

水分移動

測定期間に与えた灌水量は水田土の場合、連続灌漑供試体において約26.6 ℓ 、間断灌漑供試体において約19.7 ℓ となり、約1.4:1の違いが生じた。同様に、まさ土、砂丘砂においてもそれぞれ約1.4:1と約1.2:1となった。本実験において、栽培実験を考慮に入れていないため、上述した灌水量で、作物の生長が可能かどうか判断できないが、灌水量の違いが確認された。土壌中の水の動き

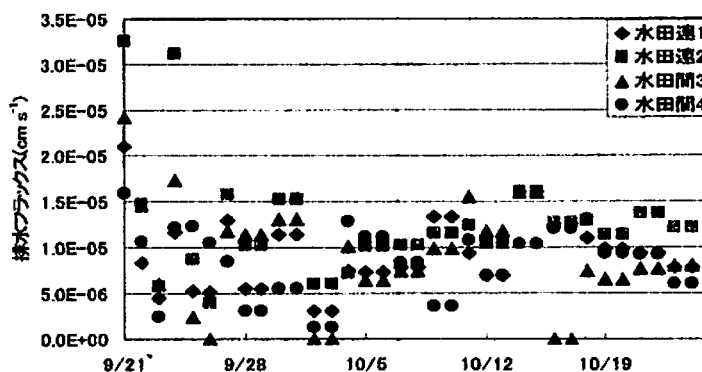


図3 排水フラックス(水田土)

をコントロールすることが極めて難しく、各日において排水フラックスを変化させた形となり、排水フラックスのオーダーは図3に示すように 10^{-6} - $10^{-5}cm/s$ となった。

塩分移動

表層付近における塩類濃度は、連続灌漑供試体では、測定期間を通して1.0-1.1 dS/mとほぼ一定の値を示した。蒸発は湛水の塩類濃度に影響を与えるが、湛水の塩類濃度が上昇するほど蒸発量は大きくなかったため、測定期間を通してほぼ一定の値を示したと考えられる。間断灌漑供試体では、測定期間の前半まで、塩類濃度の上昇、下降を繰り返している。その理由として、間断灌漑供試体は、3日湛水4日非湛水としているため、非湛水期間に蒸発の影響を受けたと考えられる。しかし、後半においては、蒸発量が減

少ししたため非湛水状態の期間に表層付近における塩類濃度が上昇しなかったと考えられる。水田土の連続灌漑供試体、間断灌漑供試体の各層における塩類濃度の変化を図4に示す。20-30cm深に塩類集積層を作成したが、測定開始にあたり上部から灌水を行なったため、下層まで塩類を押し流していることが伺える。その後も、排水バルブから土壌水が排水され、測定開始2週間後にはカラム内に充填した塩類が、洗脱されていることが分かる。

図5にリーチング効率について示す。測定開始1週間において連続灌漑供試体と間断灌漑供試体で比較すると、前者は塩類1gの排除に日平均144mlの排水を要し、後者は日平均99mlを要した。すなわち両者には1.45:1の効率の違いが確認された。同様に、まさ土、砂丘砂において1.14:1、1.05:1の効率差が得られた。

3.4 考察

低速での排水を試みたが、カラム内に充填した塩類が初期段階においてほぼ流出したことから、間断灌漑においてピエゾメーターによる圧力水頭の測定が正確に行なえなかったため、水管理の操作に伴う塩類上昇を確認するという所期目的は達成できなかった。

しかし、今回の実験から約 $5.0E-06\text{cm/s}$ 以上の排水フラックス(測定期間を通した連続灌漑供試体の平均 $1.1E-05\text{cm/s}$ 、間断灌漑供試体の平均 $8.7E-06\text{cm/s}$)を確保することが可能ならば、両方式において水稻栽培はリーチング効果を期待できることが確認できた。さらにリーチング効果については、連続灌漑よりも間断灌漑の方が有効であり、その効果は、土粒子が細かいほど顕著であることが分かった。

4.おわりに

本研究は過去の事例を分析し、室内実験において分析結果の確認を目的とした。

分析の結果より、地下水位が高く、下層部に塩類集積層が形成されている圃場において、間断灌漑を取り入れた結果、急激な水管理操作による塩類集積を加速させていることが伺えた。

これらの条件を想定した室内実験では、排水速度の制御がスムーズに行えず、所期の目的を達成できなかった。しかしながら本実験を通して、暗渠排水などの排水設備を整えることで排水性を確保することが可能ならば、連続灌漑よりも間断灌漑がリーチング効果と節水効果の面で有効であることが確認された。

参考・引用文献

- 1)北村義信(1998): 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、平成8年度～平成10年度 環境庁地球環境研究総合水深費終了研究報告書、pp.21-35.
- 2)北村義信(2005): 小アラル・シルダリア川流域における上下流間の利水競合と調整、月刊畑地農業 564号、pp.1-9.
- 3)取手伸夫(1997): 不均一な土中水の流れを伴う圃場中の溶質移動、水文・水資源学会誌 10巻5号、pp.485-497

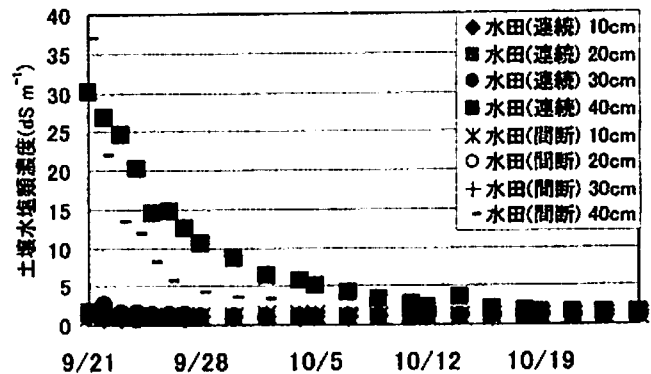


図4 各層における塩類濃度変化

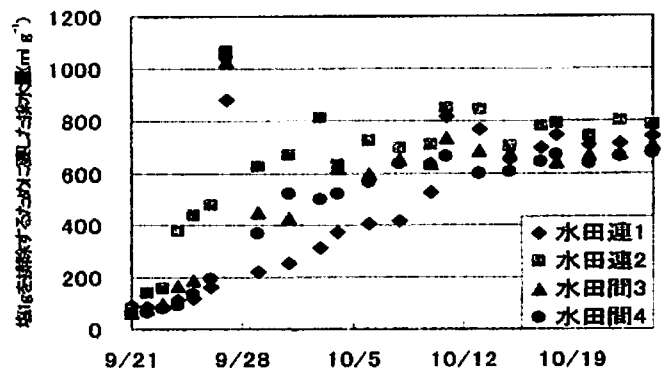


図5 リーチング効率(水田土)