

第 52 回土壌物理学学会シンポジウム総合討論

猪迫 耕二¹ (シンポジウム企画担当者)

Discussion at the 52nd symposium on countermeasures against soil salinization problem in arid land,
JSSP

Koji INOSAKO¹

1. はじめに

2010年10月23日に鳥取大学農学部1号館大講義室で開催された「第52回土壌物理学学会シンポジウム 乾燥地における塩類化の問題と対策—世界の現場からの報告—」における総合討論(座長:石黒宗秀,西村拓の両氏)の模様を取りまとめたので,今後の研究活動の資料としてここに報告する.当日,時間の都合で議論できなかった質問事項も下記の総合討論の中で回答していただいた.なお,発表要旨中の図表に関する議論が本文中で展開されているが,これらの図表については本誌第115号シンポジウム特集に掲載している資料を参照されたい.

2. 総合討論

今回,講演直後の質疑応答については時間の都合により省略された.

司会(西村):

演者の皆様どうもありがとうございました.会場から寄せられた質問票をもとに総合討論を始めたいと思います.それでは講演の順番通りで行きたいと思います.まず,山本さんへの質問です.

岩田(北海道農業研究センター):

農家の一戸当たりの面積はどれくらいでしょうか.

山本:

当地の圃場の一区画の面積は1km²で,基本的に一区画が一つの農家ということになっています.この管区内の灌漑面積は648km²で,灌漑区内の水利用者は約1300戸とされていますので,単純に考えると一戸当たり0.5km²となります.しかし,複数の区画を所有する農家もあれば,一つの区画を複数の農家でシェアしている場合もあります.

塩沢(東京大学)

井戸水の価格(水価)はどれくらいでしょうか.また,井戸水を配分するような組織はあるのでしょうか.

山本:

水の価格は,それほど高価なものではなかったと記憶していますが,具体的な数字は覚えておりません.この井戸水の管理ですが,基本的には州政府が行っています.各々の井戸に水量計がついています.一年間に使用できる水量の上限が定められており,農家はそれを超えないように水量計をチェックしながら水を使用します.また,一年に一回,それぞれの井戸の水質検査が行われています.検査項目にはSalinityから陽イオン組成まで含まれています.これはすべて無償で行われています.

井戸水の管理は,Comisión Nacional del Aguaという組織が担当しています.

岩田(北海道農業研究センター),長(佐賀大学):

農家が水を潤沢に使える理由は何でしょうか.水価が低いからでしょうか.

山本:

水価はそんなには高くありませんので,それも一因とは思いますが.それに加えて,もう一つの理由として,技術指導があると思います.この地域を含んだメキシコ北西部一帯の灌漑技術というのは主に本土(カリフォルニア半島)から来ています.本土で展開されている灌漑農



Photo. 1 総合討論の様子.

¹Tottori University, 4-101 Koyama-cho, Tottori, 680-8553 Japan. 鳥取大学農学部
キーワード:塩類集積,リーチング,アルカリ化,灌漑
2011年3月2日受稿 2010年3月8日受理
土壌の物理性 117号, 23-30 (2011)



Photo. 2 山本定博氏の講演風景。

地は、水源である河川がセツトになっており、たくさん水をを使うというものです。当地では、そのような「水を使う」感覚を身につけた技術者が技術指導を行っており、それが「水は使うものだ」という意識を農家に与えているということが背景にあるのではないかと考えています。

西脇（明治大学）：

塩類集積が深刻ではないということで作物も障害に合わずに栽培できるということですが、このまま収支を取れるようにして現状維持で行くような状況なのでしょう。塩類除去を積極的に行おうという方向には向いていないのでしょうか。

山本：

灌漑地区の地域によって深刻さが異なります。地下水の塩分濃度の高い北部では、塩類集積が深刻で、アルファルファなど作物の収量が大きく低下しています。除塩に用いる水源が限られており、かつ、その水質が悪いため、リーチングによる積極的な除去は困難です。不定期ですが、時々ある豪雨が塩類集積の状況を緩和していると考えられます。積極的な塩類集積対策としては、灌漑水量を減少させ、付加される塩の量を軽減させることです。

筑紫（九州大学）：

土壌断面を評価したわけですが、目視や触診で塩類化土壌とアルカリ化土壌を区別するような方法があれば教えていただけないでしょうか。

山本：

塩類が溜まりやすいか、溜まりにくいというリスクを現地で判定するために、私どもは対象地域で次のような方法を用いています。

まず、深さ 20～50 cm の層の土をぐっと握って、その湿り具合をチェックします。湿り具合をチェックすることによって、その排水性の良し悪しとか、そういった諸々の情報が伝わってきます。それと同時に、水を多少加えて指で土をこねて土性を判定します。野外土性ですね。現地で、それが砂質なのか、粘土質なのか、その中間のローム質なのかという 3 段階評価で判定し、例えば、

粘土質だったらちょっと高い点数を付加して、塩類化に大きく寄与するという形で判定していきます。そういった指標をいくつか組み合わせ、フィールドで塩類化を促進する要因として点数化していくという方法です。これに加えて、指で押してみてもその硬さをみます。硬さと土性とかから、「こういう感じだから、この土の透水性はいいよね、悪いよね」といった所を半定量的に読み取って、それも点数化して評点をつけます。さらに、地形が窪んでいるとか、雨が降った時に水が溜まりやすい・溜まりにくいといった情報と、そこに灌漑している水の電気伝導度（EC）を点数化します。さらに、灌漑方法や総灌漑水量も点数化し、それぞれを全部足して、スコア化します。これを基に、塩が溜まるリスクが高いと判定された圃場の所有者である農家にその判定理由を説明します。

この方法では、現場で土に触って感じる情報が塩害の危険性を評価する上で重要な意味を持っています。基本的には下層の 20～25 cm の部分が粘質であれば、かなり高い頻度で塩が溜まってきます。そこが例えば、ロームとか砂質という風に判定されますと、塩はあまり溜まりませんが、逆に塩組成がリーチングとともに変化して、pH が高くなる、あるいは、ソーダ質化という形で SAR も高くなり更に困った状態に変わっていく危険性があることを予測できます。

当地は、下方から地下水として上昇してくる分がほとんどなく、比較的シンプルな系ですので、こういった形で評価できるということです。

筑紫（九州大学）：

地下数十 cm の硬い土層が炭酸カルシウムの集積によるものと説明されていましたが、アルカリ化によるものとは考えられないでしょうか。要旨の Fig. 7（山本, 2010）では下層で SAR が大きくなっている例もあるようですが。

山本：

この灌漑地区を代表する土壌は、硬化した炭酸カルシウム集積層を有し、これは自然の土壌生成過程の結果できあがったもので、アルカリ化によるものではありません。Fig. 7（山本, 2010）の土壌の一つ（低塩類濃度の地下水を粘質土壌に灌漑している圃場）は、深さ 1 m 付近の SAR が非常に高くなっています。これは、ご指摘のとおり、二次的なソーダ質化の結果です。塩分濃度は低いですが、炭酸ナトリウムを主体とする地下水を多量に灌漑したためです。この層は、SAR が高く、かつ、EC が低いので、粘土が分散性を最も高めており、不透水層になっています。この圃場では、下層がソーダ質化の結果、灌漑水から付加された塩が除塩されにくくなり、表層が塩性化し、作物生育が不能になっています。ソーダ質化と塩性化が複合的に生じているわけです。

鈴木（東京農業大学）：

コメントです。土壌断面の調査で、粗孔隙が発達している様子を見せていただきました。水の流れや塩類集積で粗孔隙の流れと土塊（マトリクス）への集積に違いが生じるように感じられますので水の流れを飽和透水係数

だけでは表せないのではないかと思います。興味ある発表をありがとうございました。

永淵（九州大学）：

まとめの部分で一提言として資本・エネルギーなどに先進的な技術を加えるといった話がありましたが、これについて何か構想があればコメントをお願いします。

山本：

水をいかに使わないようにするかという工夫、知恵をどう技術として実現させるかという所だと思います。そのためには資金も必要ですし、エネルギーも必要だと思います。エネルギーに関して言えば、ここは日射や風といった再生可能なエネルギーの豊富な所です。これらを当地の農業生産に活用できれば、と考えています。

当地は、近くに大きな市場を持っていて、半島内でも大きないくつかのリゾート地があります。すなわち、かなり付加価値の高い農産物を要求するような背景があるといえます。農業も一つの産業としてそこで活性化していかなければなりませんので、そういった所も鑑みながら、集約的かつ先端的、先進的といいますか、水を本当に最小限使いながら、高付加価値の農産物を作ってというような灌漑農業、現代的、先進的オアシス農業のようなものを再生可能エネルギーの利用などの先端技術を加味して確立する。まだ漠然としています。何かそのようなことをイメージしています。

永淵（九州大学）：

わかりました。ありがとうございました

長谷川（北海道大学）：

地下水の涵養源は灌漑水ですか、それとも背後に広がっている山の地下水ですか。

山本：

地下水の供給源は、東側にある山がメインになると思います。ちょうど山脈が東側にずれて位置していますので、西側斜面に降った雨が、この西側のこのエリアの地下水を涵養していると思われるのですが、詳細なメカニズムは良く分かりません。

長谷川（北海道大学）：

蒸発量が2000 mm/年以上で非常に大きいのですが、測定はどのようにして行われたのでしょうか。

山本：

蒸発量は一般的な計器蒸発計法です。大きなパン蒸発計を置いて実測されています。

宮崎（東京大学）：

最良のシナリオと最悪のシナリオという話がありましたが、最悪としては、この対象地域ではどんなものが想定できるのでしょうか。

山本：

水の枯渇、地下水の枯渇ということになると思います。土壌、農地に関しては、水がなくなれば、そこで農業は営めないわけです。植物が育たないようなレベルになるまで土壌が塩類化する前に、おそらく、水の方が底をついてしまうと思います。水がなければ、もう、手がつけ

られない状態になるわけで、放置するか、何か別な形での利用を考えるかということになると思います。

もし、裸地の状態で、そこがかなり長時間維持されるとすれば、風の強い所ですので、風食などによる周辺環境への問題というの付随的に起きてくると思われる。現地の研究者によると、人が農業での土地利用などを始めてから、大気中のダスト量が若干増えてきた。それにとまって、とくに子供の呼吸器系の疾患が増えてきているそうです。最悪の状態がどのくらいシビアなものになるかというのは想定していませんが、今お話ししたような状況をイメージしていました。

司会（西村）：

山本先生ありがとうございました。では、次に北村先生に出ている質問に移りたいと思います。

岩田（北海道農業研究センター）：

水田と畑が混在しているという話でしたが、現地のカザフスタンの農家は、日本のように散在している農地を持っていて、隣接する圃場の所有者が異なるということが多いのでしょうか。

北村：

本日紹介しました所は、もともとコルホーズという集団農場のところ。それがソ連崩壊後、民営化され農業企業に改編されたということですね。しかしながら、実態は当時の所長が経営の主導権を握り、旧構成員は農業労働者として働くという、旧コルホーズ時代の生産構成、内部組織がそのまま維持された形で、農場経営が行われています。

八年輪作システムを導入しているということがありまして、各構成員の意向で営農するのではなく、サブブロック毎に営農計画を立てて、それに基づいて、ほぼ計画的に、今年はこのサブブロックは稲作、隣のサブブロックは牧草、あるいは休閑という風に割り当てていきます。ただし、これはあくまで水の状況にもよります。営農上の問題として、ちゃんとした時期に水を引くことができるかどうか、これによってずいぶん違ってきます。と言いますのは、本地域は大陸性の気候下にありますので、農作物を栽培できる期間が非常に限られています。ですから、時期を逸しますと、結局そこで作付しても収穫までこぎつけることができないということもあります。その場合は、計画を変更して休閑にするとか、あるいは牧草にするということになります。つまり、農場での耕起・均平作業の進捗状況や灌漑水の農場到達時期によって、本来のルールが修正されることもあります。そういうことで、個々の構成員が今年に牧草にしたいというようなことよりも、むしろ、全体的な圃場の配置の状況から割り当てをしていくというのが現地の実態ということになると思います。

登尾（明治大学）：

小アラル海を保全するために大アラル海に流れ込んでいる水を堤防でせき止めるという話でしたが、大アラル海の崩壊、劣化がますます進むと言う懸念はないのでしょうか。



Photo. 3 北村義信氏の講演風景。

北村：

これは明らかにあります。現地の判断としては、今の状態が続けば、小アラル海も大アラル海もダメになってしまうということですね。ですから、どちらかを可能な限り保全しようという観点から、このような選択がとられたということです。1992年頃に同様の構想がありました。小アラル海と大アラル海に分かれたのが1988年ですが、それ以降は別水系になってしまっています。水系全体の管理としても分けてしまった方が管理しやすい、ということもあります。そういうことで、1992年頃から何度か堤防が建設されましたが、施工状態が悪かったため、嵐のたびに決壊していました。その後、2003年から世銀の融資を受けて、現在のコカラルダム建設に本格的に取り掛かったわけです。アラル海自体はカザフスタンとウズベキスタンにまたがっていますが、両国の合意のもとに進められたということです。小アラル海で、シルダリア川の流入水が明らかに余っているという場合には、余水吐がありますから、大アラル海の方に水を移すことは可能で、現に、そういう措置はとられています。基本的に小アラル海は海面を海拔42mという状態で維持管理していくという管理方針が定められています。もっとも、1960年代の海面は海拔53mですので、現在、いい形で保全されつつあるといいながらも、当時と比べると11mも海面が低い状態ということになります。それでも、1990年代の終わり頃の最悪の状態に比べますと、随分、小アラル海の方はよくなってきています。水の塩類濃度もずいぶん低くなってきて、現在はもう14g/Lくらいまで下がってきているのではないかと思います。1960年代の水質に戻ってきている。そうしますと、魚や他の生物も戻って来ますので、漁業の復活も夢ではないという状態になってきています。

ただし、反面、大アラル海は非常に危機的な状態になっています。現在、西側の方に南北方向に長い湖がありますが、おそらく、その部分を保全するのがせいぜいだと思います。そのあたり、現地関係者は苦渋の選択をしたわけですが、やはり、客観的に考えて最良の選択であったと私は考えています。

長（佐賀大学）：

シャメーフ農場における塩分収支が年間について入力より出力の方が小さいということでしたが、これは根群域内に蓄積されているのでしょうか、下方損失とか地下水への流出などは測定できるのでしょうか。また、地下水への出力を大きくすると、下流への影響が大きくなると思いますが、最終的には流域としてどのように塩分を処理しようと考えておられるのでしょうか。

北村：

私たちが対象としていた灌漑ブロックでの塩収支を検討する際に、どうしても明らかにできない、実測不能なものが、地下水での塩の移動です。あの灌漑ブロックの周辺地域に地下水流出という形で出ていきますので、そういった所で、周辺地域にとどまるものも必ずあります。私たちが今日簡単に紹介した塩類収支は、地表水として入ってくるもの、地表水として出ていくもの、それからあとは推定ですが水路ロスとして地中に入っていくもの等、塩類収支を構成する要素で計算できるものは全て計算しています。結局、求めたものは灌漑ブロックとその周辺地域に留まった塩類量です。これは、灌漑ブロックそのものに留まったものに加えて、地下水流動により周辺に流れ出ていくものも留まったものとしてカウントしています。

水稻栽培をしている圃場でははっきりいって塩の貯留量に変化はありません。むしろ減る方向にあります。しかし、畑状態で栽培しているところに塩が移っている、あるいは、周辺地域に移っている、ということはありません。つまり、根群域に留まったというよりも、地区内で横移動が起っているとと言えます。今までの調査から、土壌中の塩というのは単に湛水状態を保っても抜けないということがわかりました。やはり、本格的に塩を圃場から排除しようとする暗渠排水しかないと思います。明渠を深くしても限界があります。やはり、この地域で塩を本格的に除去しようとする暗渠排水しかない。ただし、それは、長先生も心配しておられましたが、下流域に問題を転嫁することになりますので、これについては、「流域内に何点かチェックポイントを設け、許容最大塩類濃度を協議によって決め、この値を超えないように上流側の水利権者は取水・排水管理を行う」といったようなルールを流域レベルで作っていく必要があると思います。個別に排水改良事業をやる場合は、下流域に及ぼす影響は明らかに出てくると思います。

長谷川（北海道大学）：

二次的塩類集積とはどのようなことですか。

北村：

自然に起こる塩類集積（一次的塩類集積：Primary salinization）に対して、人間活動によって起こる塩類集積を二次的塩類集積（Secondary salinization あるいは Human-induced salinization）と呼んでいます。灌漑農地で起こる塩害がその代表であり、Irrigation-induced salinization と呼んでいます。

宮崎（東京大学）、長谷川（北海道大学）：

要旨集の Table 2（北村・清水，2010）とスライドでお話になった数値の符号が逆になっていましたが，これはどういうことでしょうか。

北村：

スライドでは，ブロックへの流入塩類およびブロック内の溶出塩類源を負値とし，ブロック内および周辺部への集積塩類と流出塩類を正值としています。すなわち，スライドの塩類収支を構成する6項目の合計（①＋②＋③＋④＋⑤＋⑥）は0となります。したがって，集積塩類の増分＝②＋③＋④＋⑤＝－（①＋⑥）となります。

一方，要旨集の Table 2（北村・清水，2010）ではすべての項目の値を正值として扱っていますので，集積塩類の増分＝(7)＝(1)－(6)＝(3)＋(5)－(2)－(4)となります。

宮崎（東京大学）：

シャメーノフ農場の地下水位データは存在するのでしょうか。あれば示していただけると幸いです。

北村：

私たちが測定したのは，灌漑期間とその前後約10日間だけで，対象圃場はほぼ湛水状態にありましたので，観測井ではなくピエゾメータを0.6 m 深，1.15 m 深，1.8 m 深，3.0 m 深に設置し，各深さの土中水圧を測定したことになります。その内容については，私どもの論文（Kitamura et al., 2006）を参照いただければと思います。

長谷川（北海道大学）：

干上がったアラル海の湖底から人間活動の跡が見つかったという話がありますが，それを考えると，アラル海とその流域の水文環境というのは長い歴史の中で大きく変動しているのでしょうか。必ずしも灌漑だけが現在の状況の原因ではないということはあるのでしょうか。

北村：

これは私自身が実際調べたことではないのですが，シルダリア川，アムダリア川というのは河状係数が大きく非常に暴れやすく蛇行しやすい川で，ちょっとしたことで大きく流れが変わる可能性もあります。ヘロドトスによれば，アムダリア川は一時期，カスピ海の方に流れていたようであり，その時期にはアラル海へはシルダリア川だけが流入していたようです。つまり，非常に平坦な地域では，ちょっとした地形の変化（自然的であれ，人為的であれ）で水の流れが変わる可能性はあるということです。長い歴史の中で，アラル海の底が干上がっていた時期もあり，そのときに人が生活していたということであると思います。最近見つかった遺跡は，その時代の名残であると思います。シルダリア川，アムダリア川の源流は氷河に覆われた山岳地域ですので，温暖化あるいは寒冷化が進んで気温が高く（低く）なれば，それだけ氷河が融解（凍結）して河川流量が大きく（小さく）なるといったこともあります。このような変化で，カスピ海に流れ込んでいた水が再びアラル海に戻ってきたとい

うところではないかと私自身は推測しています。

ただ，20世紀以降だけについて見てみますと，明らかに1960年代の自然大改造計画，主に灌漑開発ですが，これによる影響が大きく，アラル海の縮小をもたらしたということは間違いのないと思います。

司会（西村）：

北村先生ありがとうございました。それでは，赤江先生への質問に移りたいと思います。

西脇（明治大学）：

要旨の中で，ナトリウムリスクは低いと示されているのですが，その根拠やリスクの評価基準のようなものがあれば教えていただけないでしょうか。

赤江：

これは相対的なものです。ナトリウムがたくさん溜まっているブロックと，そうでないブロックとで単位面積当たりのナトリウムの集積量を考えて，相対的に評価したものです。特に基準があるわけではありません。

吉田（東京大学）：

灌漑方法を変えない限り，洗脱効果を高めるためには，洗脱効果係数をマトリックス中心型にしなければ，無駄な灌漑水が必要になると思います。この観点から，マクロポア流を減らしつつも，全体の透水性を下げない土層管理が有効と思われるのですが，このような方向の技術開発の余地はありますか。

赤江：北村先生も言及しておられましたが，やはり暗渠排水が有効だと思います。バイパス流の中，粗間隙水とか，マトリックスを通らないと区分された水の中には，過剰に取水してしまい，圃場に入れずに排水してしまう場合もあります。まず，そういった無駄な水をなくすということです。それから，土の中にできるだけ有効に通して，排水に導くことが重要です。そのためには暗渠排水が有効だと思います。また，下層に透水性の悪い層がある場合は，その層を破碎すればより抜けやすくなると思っています。また，石膏を客入して土壌を凝集させ，透水係数を高めることも試験的に行われています。具体的に考えられる措置としてはそういったところじゃない



Photo. 4 赤江剛夫氏の講演風景。



Photo. 5 総合討論で回答する山本氏.

でしょうか。

宮崎（東京大学）：

「地下水の蒸発率」という概念がよくわかりません。物理的にはどの現象を指しているのでしょうか。また、洗脱効果を改善するのに洗脱効果係数を考慮すると良いということですが、土壌の保水性や透水性と洗脱効果係数との関連性は、この理論の中では扱わないで良いのでしょうか。

赤江：

「地下水の蒸発率」とは、地下水として排水路に流入する水が平均的に何%の蒸発を経験したかを表しています。また、洗脱効果係数は排水へ至る水量のうち、どれだけの量が土壌マトリックスを通過したかを表す機能的なパラメータです。もちろん、洗脱効果係数には保水性や透水性のような物理定数が関係します。これらの影響を含んだ機能的なパラメータとご理解下さい。

司会（西村）：

本日、話題提供して下さった皆さんにご意見をいただきたいという要望が2つ出ています。最後にそれらを取り上げたいと思います。

長谷川（北海道大学）：

粘質な土は塩がたまりやすいという話がありましたが、土性と塩のたまりやすさという点について皆さんからご意見をいただけないでしょうか。

赤江：

そうですね。塩を抜くためには水が動かなければなりません。やはり粘質な土というのは水が動きにくい。そのため、粘質な土では除塩が困難になります。また、ナトリウム塩がたまった場合、分散して水が動きにくくなります。それが成層していると不透層となり、さらに塩が抜けなくなってしまいます。このように、たしかに粘質な土から塩を抜くのは非常に難しいと感じています。

司会（西村）：

北村先生、お願いします。

北村：

そうですね。私もやはり赤江先生の仰るとおりだと思います。カザフスタンの水稻栽培圃場で湛水状態を維持

しても全く変化がなかった、というところから見てもやはり抜きにくいと言えます。ですから、塩を抜くためには、排水をうまくやるということが一つのポイントであろうと思います。

また、カザフスタンの大規模な圃場で気がついたことの一つとして、非常に粘質な土壌の水田の中に部分的に透水性の良い土壌があるような場合に、塩害はそういう所で起きやすいという点があります。透水性の高い部分では、下方に堆積している塩類が上昇しやすいのではないかと感じました。特に、同じ圃場でありながら、スポット状に塩が集積している部分が所々にあって、そこでの生育状態は非常に悪い。土壌を掘り返してみると比較的透水性の良さそうな土壌でそういった被害が出ているということを感じました。様々な土壌が同じ圃場の中に混在している場合、粘質の土壌の方が塩類の上昇速度を遅く抑えられる。逆に、透水性の良いところに高濃度な地下水が上がってきやすくなり被害を受けやすい。そういった現象があるように思います。そのような圃場では、むしろ、周りと同じ土壌に置き換えてやるのが塩害を防ぐ方法になるのではないのでしょうか。実は、これは一つの研究テーマとして実証したいと長年思っているのですが、なかなか現場に出る機会がなくなってしまっていて、実証できていません。このあたりを会場においでどなたかがやってくれることを熱望しています。

司会（西村）：

山本先生お願いします。

山本：

溜まりやすいというのは、先ほど、お二人の先生がおっしゃったように抜けにくいということが一つの原因だと思います。溜まった塩を水で洗い流すわけですが、このときに、どんな水を使うのかというのが、さらに抜けにくさに関わってくると思っています。Salinityの低い、塩分濃度の低い、かつ、炭酸イオン、重炭酸イオンをたくさん含むような水で除塩を行いますと、結局、土壌が除塩時に重炭酸ナトリウム溶液で飽和されるような状態になります。そのような場合、粘土鉱物表面の陽イ



Photo. 6 総合討論で回答する北村氏.



Photo. 7 総合討論で回答する赤江氏。

オンの吸着状態というのがナトリウム優占的な状態に変わっていくわけですが、いわゆる **Sodicitation** というのが進行します。そして、それによってますます水が抜けにくくなっていく。ですから、除塩によって、確かに塩は多少抜けるかもしれませんが、実は、かえって水が抜けにくい環境というのを作り上げてしまっている。そういうものの繰り返しの中で作られた抜けにくい環境で、塩がますます溜まっていくという状況が作られていくものと思います。ですから、水質をどう評価するかが問題となります。除塩時は、塩分濃度の高い水が良い場合もあり、塩分濃度の低い水が不適切なケースもあります。

ナトリウムが特に粘土の分散性に大きく関わってきますが、マグネシウムも同様に同じような効果を持つと言われています。これについては様々な報告がなされています。ユーラシア大陸の内陸を流れる河川の水や地下水では、結構マグネシウム濃度が高くなっています。そのような水、すなわち、マグネシウムの相対的な割合が高い水では、**Salinity** は逆に低くなります。**SAR** で評価すると分母が大きくなるので、**SAR** も低くなります。そこで、これは良質の水だと思って灌水してやると、結果的に土壌のマグネシウム飽和度が高くなって、透水性が極めて悪化していくということになります。このようなケースもありますので、粘質な土壌を扱う場合には水質を十分に考慮した上で、どのような方法がベストなのかというのを考えていく必要があると思います。

司会（西村）：

ありがとうございました。では最後の質問票に移ります。

西田（東京大学）：

不適切な灌漑や水管理システムが、塩害や塩類集積の原因になるわけですが、各サイトで最も不適切だったものは何でしょうか。具体的に教えていただけないでしょうか。また、それが改善されない理由は何なのか、例えば、土壌や水文といった自然的原因なのか、それとも社会経済的な原因なのかといった点についてコメントをお願いできないでしょうか。

山本：

なかなか難しい質問ですね。まず一つ、不適切な灌漑についてですが、事例というのを申し上げれば、下層に非常に透水性が悪い粘質な層がある圃場に、かなり塩分濃度の高い地下水をかけつづけた事例があります。灌漑には点滴チューブを使っていますが、バルブ全開モードで灌水していますので、特に節水的にはなっていません。その農地は標高のちょっと高い所と低い所があったのですが、そこにたくさんの水を灌漑しましたので、その結果、窪地に可動性の高いナトリウムが集まって過度にソーダ質化した部分ができました。一方、やや標高の高い所には非常にシビアな塩類集積が発生しました。一枚の圃場の中でまったく違う塩類集積の状態が作られたというケースです。これが、メキシコのカリフォルニア半島でみた最も不適切な事例です。これも基本的には水質のチェックとともに、水を不用意にかけてしまった結果と思っています。

さて、これが改善されない理由についてですが、その答えを得るのは非常に難しいと言えます。先ほど話の中で、農家の意識のことを繰り返し強調していましたが、「水が不足して農作物が育たなかったらどうしよう」という農家の気持ちはよくわかります。その農家の立場では、基本的には不足しないように作物に水を与えるというのがそのスタンスになります。そういうときは、ある水準があるとしたら、それ以上の水をやりつづけてしまうという所が一つの問題になると思います。ですから、解決策としては、どこまで灌漑水量を減らせるかを明確に示してあげることが、意識を変える上で重要ではないかと考えています。実際に、カリフォルニア半島で出会った何人かの農家で非常に節水意識の高い方は、自分でトライアルした結果として、周辺の農家の1/2～1/4くらいの灌漑水量で十分問題のない生産をあげています。そのような情報を農家の皆さんがシェアできれば、大きく変わっていくのではないかと思います。

研究の成果として技術が組み上げられても、それが現場に適用されなければ意味がありません。そのジョイントをどう取っていくかというのがすごく重要ではないかと思っています。

司会（西村）：

山本先生ありがとうございました。それでは北村先生お願いします。

北村：

まず広域的にみた場合、例えば、シルダリア川全体でみた場合ですと、上流側から、キルギスタン、ウズベキスタン、タジキスタン、再度ウズベキスタンを経て、カザフスタンとなるわけですが、上流側ではどちらかというと綿花栽培をやっています。その排水は必ず元の河川に戻ってきます。したがって、河川水の塩類濃度をみますと、上流のキルギスタンのあたりですと、塩類濃度が300 mg/L程度で、これは非常に良質な水といえます。これがウズベキスタンに入ってきますと1000～1500 mg/Lになってしまう、さらに、カザフスタンの下流側に行く



Photo. 8 会場からの質問風景。

と、それが 2000 ~ 2500 mg/L 位になってしまいます。日本などでは、上流からの排水を下流側で再利用する流域内の反復利用は、流域水資源の有効利用の観点から、非常に良いモデルだと言えますが、乾燥地でそれをやる場合は、どうしても下流側の塩類濃度が高くなってしまいますから、下流側に塩害問題を転嫁してしまうこととなります。この辺りからまず解決していくことが大事だと思います。そのためには国際水利協定といったレベルで水の使い方、排水の仕方を明確に決めていく、水質の管理を各地点地点でやっていくといったような取り組みが第一にあるべきだと思います。それに加えて、各圃場レベルでは水稲作をやっているというのが塩害の一番の問題だと思います。短期的にみれば、蓄積された塩を洗い流すということで、問題を先送りしていることになる所は若干あります。しかし、サステイナブルな形で農業をやっていくためには、水稲作自体はある程度制限すべきではないかと私は思います。水稲栽培をやる、そのために水をたくさん入れる、周辺地域にウォーターロギングをまねく、塩類集積につながる。この連鎖が問題解決に至らない一つの元凶ではないかと思えます。しかしながら、現地の人にとってみれば「一番作りたい作物」は、やはり水稲であるわけです。しかも、あれだけ塩が溜まってしまうと、水稲栽培しか選択の余地がないという点もあります。水を溜めて塩を少しでも押し下げて作物を作るしかない。したがって、水稲作から抜けきれない、という非常に苦しい悪循環に陥っているという面があります。やはり、改善していくためには、少しずつ水稲作においても、それほどの水を必要としないような形に改善していくしかない。あとはやはり水管理ですね。システム内をスムーズに水が動くような形に改善していくことが重要であると思えます。

司会 (西村) :

ありがとうございます。河套灌区は若干改善しつつあるという話だったかもしれないのですが、赤江先生コメントをお願いします。

赤江 :

改良しながら、農地を拡大しているという状況です。

先ほどの水稲についていえば、河套灌区も当初ですね水稲を作っていたそうですが、これは数年で駄目になって切り替えたと聞いています。やはり水稲というのは、乾燥地のような蒸発の多い所で生育させるのは難しいと私も考えています。河套灌区の場合は、計算結果で示しましたように、現在対象地域 9 ブロックで 35.6 億トンくらい使っています。これを最適化しますと 25.2 億トンとなります。これには送水損失も含めています。これは過剰な灌漑といえます。ただし、最適化の前提として、その計算通りに水が配分されるという前提があります。計画的に配分されればそこまで減らせるが、実態として 35.6 億トン使っている。その理由としては、平坦な地形などいろいろ自然的な条件もあるかと思いますが、計画通り配水されていないことが反映して、現状ではこれだけの水を使っているということだと思います。

農家としては安心のためにたくさん水を取っておきたい、かけたいという心理があるようです。先ほど、横方向に水が移動し、そこで蒸発が起って集積するという話がありました。農家は小さな圃場でお互い接しながら水を使っています。隣の圃場がたくさん灌水する、自分の圃場は少ない。このような状況では、自分の圃場で蒸発と塩分集積が起こってしまうわけです。水価が安いということもありまして、そういう心理が働き、自分の圃場の安心のためにどうしてもかけ過ぎてしまうのではないかと思います。末端としてはそういうことが起きています。それから、灌漑のスケジュールですね。例えば、今年はお麦ができなくて、そのための水は不要のだけれども送水元からは、当初定めたスケジュールに従って送水されてくる。そうした水は圃場に灌漑されずに排水として落ちてしまう。こういうケースです。広い所ですから難しいのかもしれませんが、きめ細かいスケジューリングができれば、ロスは少なくなるのではないかと思います。このように、改善されない理由はいっぱいあると考えています。

司会 (西村) :

ありがとうございました。ちょうど終了時間が来てしまいました。それでは本日ご講演いただいた演者の皆様にもう一度拍手をして終了したいと思います。

引用文献

- 北村義信・清水克之 (2010) : カザフスタンにおける灌漑農地の塩類化の現状と対策. 土壌の物理性, 115 : 37-42.
- 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.
- 山本定博 (2010) : メキシコ・カリフォルニア半島コモンドウ地域における灌漑農地の土壌塩類化の実態と要因解析. 土壌の物理性, 105 : 31-36.