

### Ⅲ. 研究活動の取り組み

#### 1. 概要

##### (1) 国際的な研究活動

本拠点の大きな特長は、海外連携機関とともに、国際的な研究活動を強力に進めたことである。

- (1) DRI(米国)との共同研究：地球環境グループを中心として、乾燥地地球科学の研究で世界最高水準にあるDRIと黄砂に関する共同研究を実施した。本事業によりモンゴル草原において黄砂発生の国際共同観測を行い、その成果をもとに黄砂発生の生物物理モデルを開発することによって、世界でも類をみない黄砂発生ハザードマップの作成に成功した。
- (2) ICARDA(シリア)との共同研究：分子育種グループを中心としてコムギの耐乾性品種の作出に関する共同研究を実施した。これまで鳥取大学が開発した耐乾性コムギ系統をICARDAの圃場に栽培し、助教1名を派遣して耐乾性関連の生理的形質を調査した。またポストドク研究員1名をエジプト農業遺伝子工学研究所(AGERI)に派遣することによって、これまできわめてむずかしいとされていたコムギの遺伝子組換え法を確立し、系統を育成することが可能になった。
- (3) その他の海外研究：塩類集積地の水管理に関する研究を、Tethys科学協会およびカザフスタン水管理研究所と、また中国の塩類集積問題に関する研究を、中国科学院水土保持研究所や新疆農業大学(中国)等との連携で進めた。

##### (2) 実質的な協力・連携体制

本拠点では、以下のような方策により関連研究者が本拠点形成に実質的に貢献してきた。

- (1) 海外連携機関との連携：DRIおよびICARDAとの調整を図るため、毎年3機関代表者会議を開催した。このほか研究者間での会合、3機関でのセミナーおよび研修・研究活動等によって緊密に連携し、強い信頼関係を醸成することができた。
- (2) 研究グループ間の連携：プログラム推進会議を開き、本プログラムの計画・実行・調整を行った。3重点研究課題については、とくにグループ間連携研究を実施することによって、学際的な研究を推進した。

##### (3) 研究体制

本拠点では、五つの研究グループ(Research Group: RG)のもとで研究活動を進めた。それぞれのグループの目標は以下の通りである。

- (1) 環境修復RG：二次的塩類集積の防止・改良技術に関し、水管理による防止マニュアルを作成するとともに、塩生植物の利用及び緑化樹木の耐塩性向上技術の開発を目指す。
- (2) 農業生産RG：乾燥地での農業生産技術を確立する。土壌診断、土壌・水管理、保水・保肥性の改善、ファイトレメデーションに関する研究を行い、節水・節肥栽培技術と土壌改良技術の確立を目指す。
- (3) 分子育種RG：野生種の染色体を導入したコムギから耐乾性形質に関わる遺伝子・連鎖マーカーを同定し、耐乾性品種同定のための独自のDNAマーカーとして利用する。耐乾性関連遺伝子を単離し、作物への遺伝子組換えにより、5年以内に、耐乾性作物の乾燥地での栽培を目指す。
- (4) 保健医学RG：黄砂による特異的疾患・家畜への影響を研究し、その対策の樹立を目指す。
- (5) 地球環境RG：地上・衛星観測をもとに黄砂発生の生物物理モデルを開発し、東アジアにおける黄砂発生ハザードマップを作成する。

# 研究課題と目標



## ※ グループ間連携研究の実施

### (4) 重点研究課題

世界の乾燥地科学の中で本拠点が優位性をもち、かつ乾燥地における重要な問題の解決につながる以下の3研究課題を重点的に強化する。砂漠化、貧困、黄砂という乾燥地における3つの問題の解決に資するため、上述の5研究グループを有機的に連携し研究を推進した。

- (1) 砂漠化土地の修復：「塩類集積地改良・修復技術の開発」緑化及び作物生産に有望な塩生植物の開発利用及び、耐塩メカニズムの解明と耐塩生向上に関する研究を進める。
- (2) 農業生産の向上：「耐乾性コムギ系統の育種とその普及」異種遺伝子を遺伝子組換え法及び遠縁交雑法でコムギに導入して、耐乾性・耐塩性コムギ系統を育成し、乾燥地で評価する。
- (3) 黄砂被害の軽減：「黄砂発生ハザードマップの作成」黄砂発生の生物物理モデルを開発することで、世界で初めてダスト発生ハザードマップの作成を目指す。

### (5) 新たな分野の創成や学術的知見等

本拠点の研究活動によって以下のような顕著な学術的知見が得られた。

- (1) 塩類集積地改良技術の開発に関する研究：二次的塩類集積の防止対策を広域水管理の観点から提案した。また中国山東省での実証試験により、好塩性作物の導入によって塩類化した土壌を修復し、さらに土壌の有効利用が可能となることを証明した。
- (2) 耐乾性コムギ系統の育種とその普及に関する研究：これまで複雑な性質のため開発が困難とされていた耐乾性作物（ジャガイモ、コムギ等）を遺伝子組換え法または遠縁交雑法により

開発することができた。これらを乾燥地域で評価し、実用化への道を開いた。

- (3) 黄砂発生生物物理モデルの開発：乾燥地研究センターとDRI両機関の最先端の黄砂発生観測システムを利用して、黄砂発生生物物理モデルを開発することによって、世界でも類をみない黄砂発生ハザードマップの作成に成功した。

#### (6) 連携機関との連携による有効性

- (1) DRIとの連携による有効性：DRIが開発した最先端の黄砂発生観測技術を用いて、モンゴル草原において共同観測を実施することにより、黄砂発生に対する土壌水分・植生の詳細な影響を明らかにすることができた。ポスドク研究員をDRIに派遣し、その観測技術を習得させ、モンゴルでの共同観測にあたらせた。このように、日米それぞれの最先端観測技術を集結させることで当該研究の飛躍的發展が可能となった。
- (2) ICARDAとの連携による有効性：ICARDAとの連携によって、本拠点で開発された技術や知見を、単に基礎的な内容にとどめず、実際の乾燥地の現場において、評価する事ができた。さらに、ICARDAの共同研究機関であるAGERIとの研究交流により、高効率なコムギ遺伝子組換え法を開発し、これにより耐乾性コムギを開発することができた。これらの連携で、実際の乾燥地の状況を把握でき、乾燥地農業の課題を整理でき、多くのアイデアを生み出すことができた。

(恒川篤史)

## 2. 環境修復研究グループ

### (1) 研究課題と組織

(1) 研究課題：砂漠化土地の環境修復

(2) 事業推進担当者：

山中典和（グループリーダー・乾燥地研究センター）：塩害対策（緑化研究）、  
水食対策（緑化研究）

北村義信（農学部）：塩害対策（広域的水管理）、水食対策（チェックダム利用）

安田裕（乾燥地研究センター）：水食対策（緑化研究、チェックダム利用）

(3) 研究協力者

山本福壽（農学部）：塩害対策（緑化研究）、水食対策（緑化研究）

清水克之（農学部）：塩害対策（広域的水管理）、水食対策（チェックダム利用）

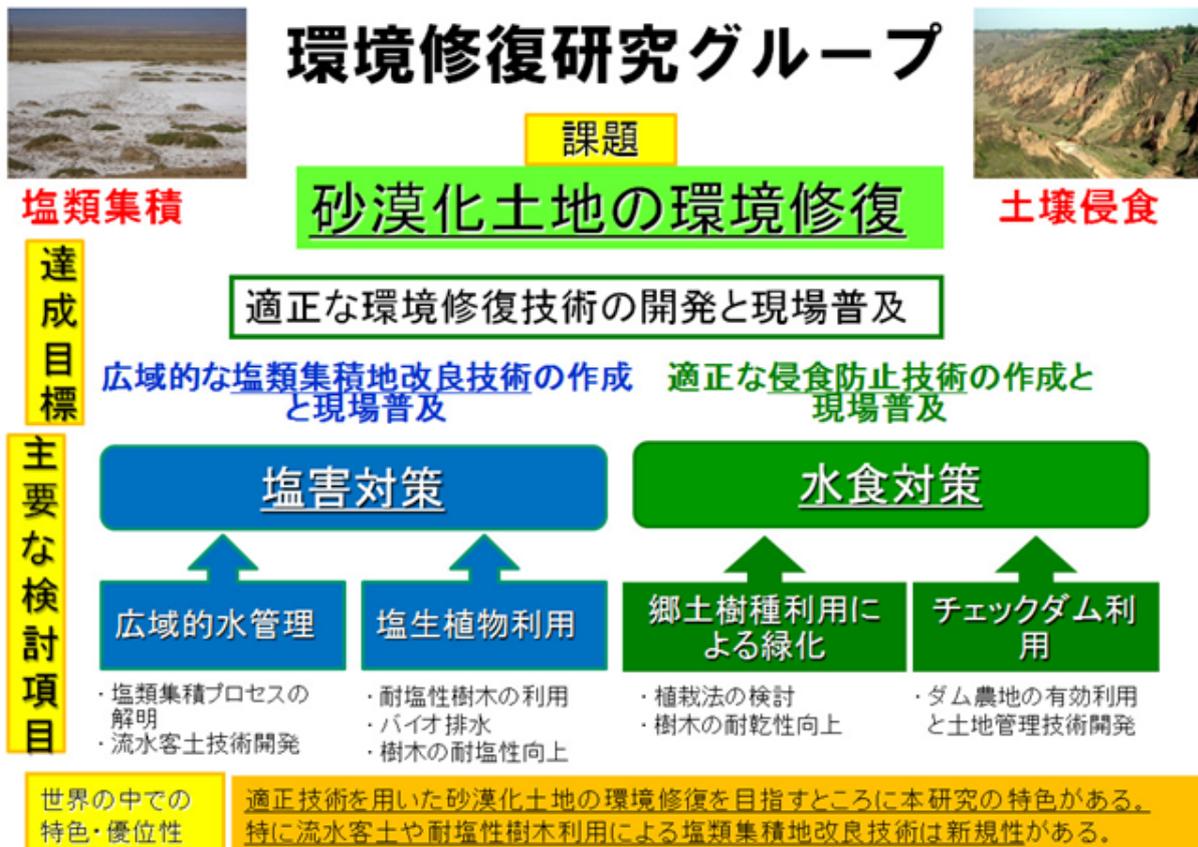
### (2) 研究の目的と期待される成果

環境修復研究グループは砂漠化土地の環境修復という課題のもと、適切な環境修復技術の開発と現場普及を目的に、主要な砂漠化現象である「塩害」と「水食」に焦点を絞り研究を行った（図Ⅲ-2-1）。

「塩害対策」研究としては、二次的塩類集積の防止・改良技術に関し、広域水管理による防止マニュアルを作成するとともに、塩生植物の利用及び緑化樹木の耐塩性向上技術の開発を行った。

「水食対策」研究としては、郷土樹種利用による持続可能な緑化方法の検討と、チェックダムによるダム農地の有効利用と土地管理技術開発研究を行った。

また、本研究は適正技術を用いた砂漠化土地の修復を目指すところに特色をもつものである。



図Ⅲ-2-1 環境修復グループの研究目的と達成目標

### (3) 研究対象地域と研究方法

各研究における研究対象地域を図Ⅲ-2-2 に示す

#### A) 塩害対策研究

##### A-1 広域的水管理研究

- 1) シルダリア川流域 (Tethys Scientific Society, KAZGIPROVODKHOZ との共同研究)
- 2) イリ川下流域 (Tethys Scientific Society, KAZGIPROVODKHOZ との共同研究)
- 3) 中国陝西省洛恵渠灌区 (中国科学院水土保持研究所との共同研究)

##### A-2 塩生植物利用研究

- 1) 中国新疆ウイグル自治区 (新疆農業大学との共同研究)
- 2) 中国内蒙古自治区ダラツ旗 (中国内蒙古林業科学研究院との共同研究)
- 3) 中国陝西省塩地県 (中国科学院水土保持研究所との共同研究)
- 4) アメリカ・モハベ砂漠 (アメリカ砂漠研究所との共同研究)

#### B) 水食対策研究

##### B-1 郷土樹種利用による緑化研究

- 1) 中国陝西省神木市 (中国科学院水土保持研究所との共同研究)
- 2) 中国陝西省延安市 (中国科学院水土保持研究所との共同研究)

##### B-2 チェックダム利用研究

- 1) 中国陝西省神木市 (中国科学院水土保持研究所との共同研究)
- 2) 中国陝西省子洲県 (中国科学院水土保持研究所との共同研究)

## 研究を展開するサイト



図Ⅲ-2-2 環境修復グループが研究を展開する地域

## (4) 研究成果

### A) 塩害対策研究

#### A-1 広域的水管理による塩類集積地改良技術の作成

##### 1) シルダリア川流域

シルダリア川流域においては、下流域において深刻な塩類集積問題に直面している。それに加えてソ連崩壊後、国際河川に転じたことに伴い生じた上下流問題がその問題に拍車をかけている。この点を踏まえて、本流域では中下流域における農地の塩性化の原因究明とその防止対策、ならびに上下流問題の現状掌握と水政策シナリオの提案を目的に研究を行った。

##### ① 下流域における農地の塩性化の原因究明とその防止対策

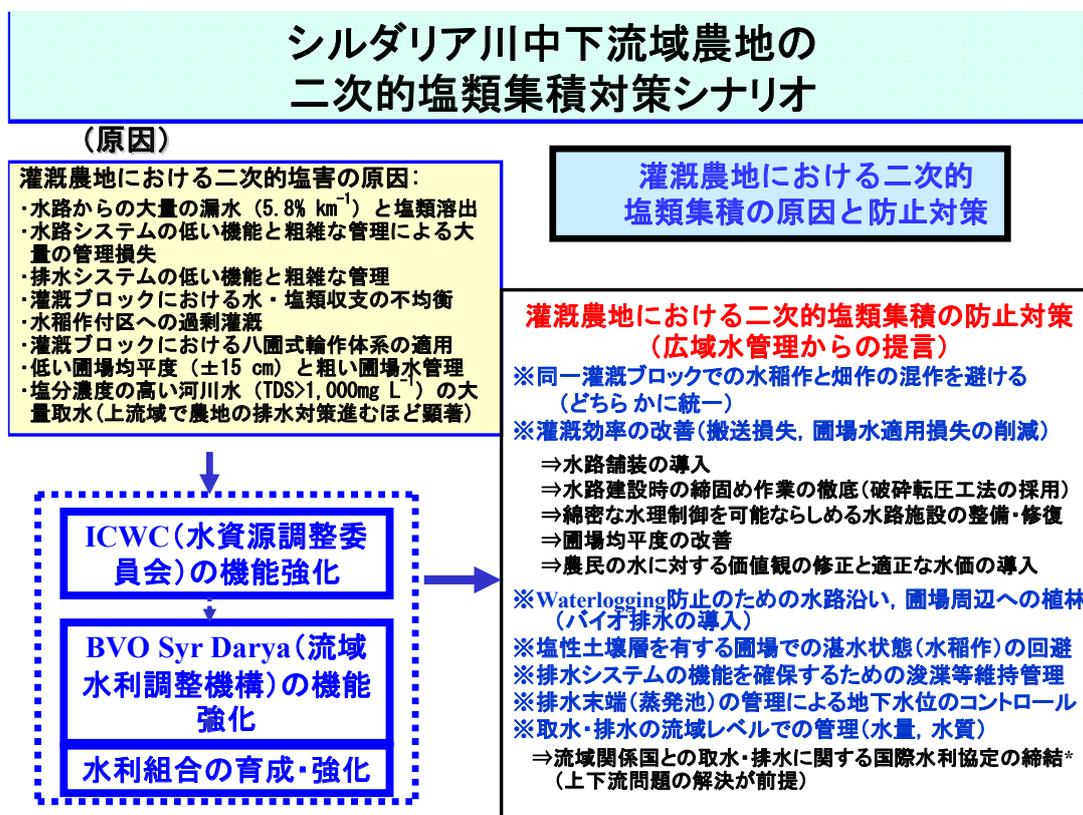
シルダリア川の中下流域における農地の塩性化は極めて深刻な問題であり、このことにより、多くの塩害農地で耕作放棄が進んでいる。中流域の農地では1年間に1 ha 当たり 5.3 トンの塩類が集積すると報告されている。下流域に位置するジャラガシの灌漑区 (716 ha) での調査では、1年間に1 ha 当たり 0.6–6.2 トンの塩類集積が観測された。同一地区における本研究から、シルダリア川下流域で普及している水稻を基本とした輪作システムにおける、二次的塩類集積の形成機構が明らかになった。特筆すべき点は、上層土中水の灌漑期間中における塩類濃度の変動特性や下層土の集積塩類が上方に移動するメカニズムを明らかにしたことである。すなわち、下層土の集積塩類の上方への移動は、拡散によるのではなく、圃場湛水管理における急激な給排水操作によって一時的に下層土で生ずる上向きのフラックスによる。一連の研究から、塩類集積は、まず水路からの漏水と過剰灌漑により農地およびその周辺が過湿状態になり、次の段階として生起するのが一般的なプロセスであり、その根本的な原因は水管理に関係し、次のように要約できる。

(1) 用水路からの大量の漏水、(2) 用水路の低機能に起因する大量の用水管理損失、(3) 排水路系の低機能と劣悪な管理、(4) 灌漑農地における水収支・塩類収支の不均衡、(5) 水稻作付圃場への過剰灌漑、(6) 八圃式輪作体系の運用 (湛水状態の圃場と畑状態の圃場が同一灌漑区で混在)、(7) 粗雑な圃場の均平と水管理、(8) 湛水操作に伴う下層高塩分土中水の上方移動、(9) 可溶性塩類総量 (TDS) が  $1,000 \text{ mgL}^{-1}$  を超える河川水 (灌漑用水) の常時取水、(10) 水路周辺部の集積塩類の溶出。

したがって、これらの問題を解決することが、そのまま塩類集積防止対策となる。水管理の観点から行った塩類集積防止のための提言は、以下のとおりである。

(1) 同一灌漑区での水稻作と畑作の混作を避ける (水稻作か畑作のどちらかに統一することにより、地域の排水管理・地下水管理を徹底させる)。(2) 灌漑効率を改善 (搬送損失、圃場水適用損失の削減) する。そのためには、水路舗装の導入、水路建設時の締固め作業の徹底 (破碎転圧工法の採用など)、綿密な水理制御を可能にする水路施設の整備・修復、圃場均平度の改善、下層集積塩の上昇を生起させる急激な給排水操作の回避、農民の水に対する価値観の修正と適正な水価の導入、等が具体的な対策として挙げられる。(3) 過湿状態を回避するために水路沿い、圃場周辺に植林を導入し、樹木の吸水能力を利用した排水改善を進める (生物学的排水)。(4) 塩性土壌層を有する圃場では湛水状態 (水稻作) を極力回避する。(5) 排水路系の機能を確保するため、浚渫等により排水路の維持管理を徹底する。(6) 排水末端 (蒸発池) を適正に管理することにより、灌漑区における地下水位を適正に制御する。(7) 取水・排水の流域レベルでの量的・質的管理を

徹底する。そのためには、流域関係国との取水・排水等水質保全に関する国際水利協定の早期締結が鍵となる。シルダリア川中下流域における農地の二次的塩類集積対策シナリオ（図Ⅲ-2-3）を示す。

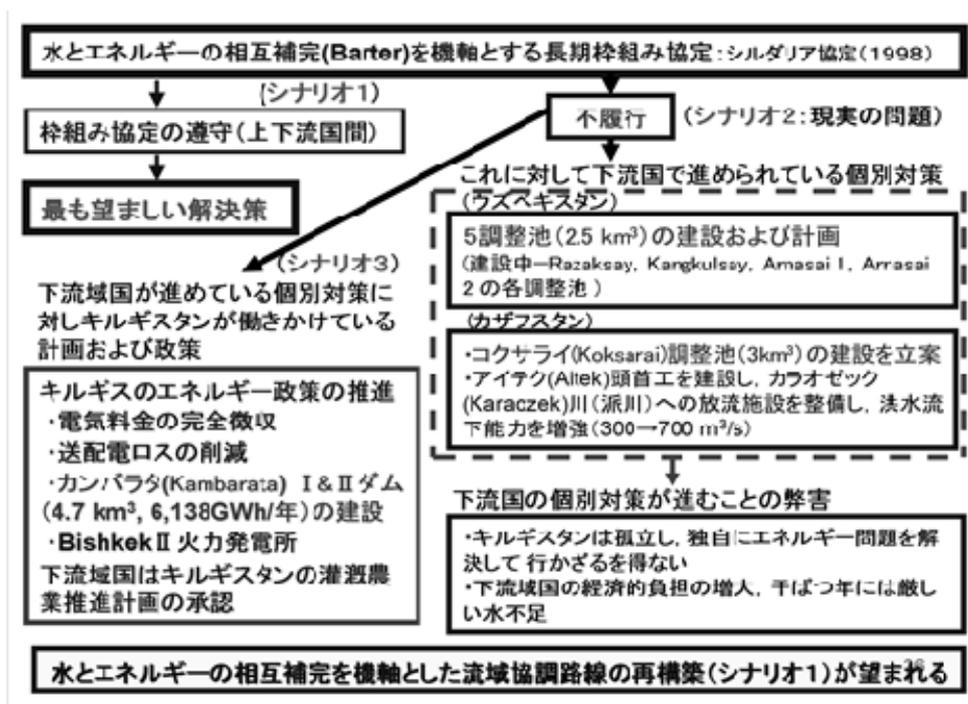


図Ⅲ-2-3 シルダリア川中下流域における農地の二次的塩類集積対策シナリオ

②上下流間の利水競合と問題解決へ向けての将来シナリオ

ソ連崩壊後、キルギスタンは、流域最大の規模を誇る Toktogul ダム (貯水量 195 億 m<sup>3</sup>) を冬期の発電用運転に切り替えた。旧ソ連時代の夏期灌漑放流量は年間放流量の 75% を占めていたが、1993 年以降は 50% を割り、1993-97 年には 44%、1998-2003 年には 36% と減少の一途をたどっている。本来取り決めに基づいて Toktogul ダムの放流管理がなされるべきであるが、実際には、1992 年以降夏期の放流量は協定で定められた放流量を年平均 10 億 m<sup>3</sup> 下回っている。協定で定められた夏期放流パターンは Toktogul ダムへの流入ピークに一致しており、かつ流入量を下回るように設定されていることから、妥当であると評価できる。また、放流パターンがソ連崩壊前の夏期大ピーク-冬期小ピーク型から、崩壊後には夏期小ピーク-冬期大ピーク型に変換しており、このことが、夏期に灌漑用水の不足を生じさせ、冬期に深刻な洪水被害をもたらしている。カザフスタンは下流域の洪水被害の軽減を図るため、Chardara ダム (貯水量 57 億 m<sup>3</sup>) の運用と Arnasai 低地-Aidar 湖への放水を余儀なくされている。この結果 Aidar 湖は拡大の一途をたどり、巨大化している。1993 年以降毎年 Arnasai 低地への冬期放流が行われ、2003 年までの 11 年間に 33.65 km<sup>3</sup> (年平均 3 km<sup>3</sup> 以上) もの貴重な水資源が小アラルではなく、Aidar 湖へ流入したことになる。

図Ⅲ-2-4は、シルダリア川流域における上下流問題を解決していくための3つのシナリオを示す。まず「シナリオ1」は、水とエネルギーの相互補完(Barter)を機軸とする長期枠組み協定である1998年のシルダリア協定を関係国が完全に遵守するというものである。これが最も望ましい解決策といえるが、現在までの状況を見ると、極めて難しい。「シナリオ2」は、下流域国が現在進めている対策で、キルギスタンの冬期放流に対処するため、ウズベキスタンでは5調整池の建設・計画を、カザフスタンは「Koksarai 調整池」の建設計画を進めている。このシナリオでは、建設コスト、周辺水環境の保全等の面で詳細な検討が必要となる。「シナリオ3」は、下流域国が進めている個別対策に対しキルギスタンが働きかけている計画および政策である。この中心になるのは、キルギスタンの Toktogul ダムの上流に Kambarata 第1、第2ダムを建設し、冬期用の発電を割当て、その放流量は Toktogul ダムで貯留して下流域の灌漑期の放流にまわすという方法である。このシナリオでは、建設コスト、流域の水管理にもたらす効果、関係国の賛同獲得の可能性、エネルギー需給バランスの見直し等の詳細な検討が前提となる。経済および水環境保全の点から、シルダリア協定を遵守して水資源とエネルギーの相互補完を基軸とする流域強調路線の再構築を強く提案したい。



図Ⅲ-2-4 シルダリア川流域における上下流問題解決に向けての3つのシナリオ

## 2) イリ川下流域灌漑地区の水稲・畑作物輪作と塩類集積

イリ川流域下流域の水稲・畑作物輪作地区において畑作農地での淡水化・塩類化が問題である。そこで、水稲・畑輪作が適正な塩類化対策技術であるのかの是非を検証することを目的に研究を行い、対象地区における適正な農地・水管理技術についてまとめた。

[塩類化影響要因の特定とメカニズムの解明]

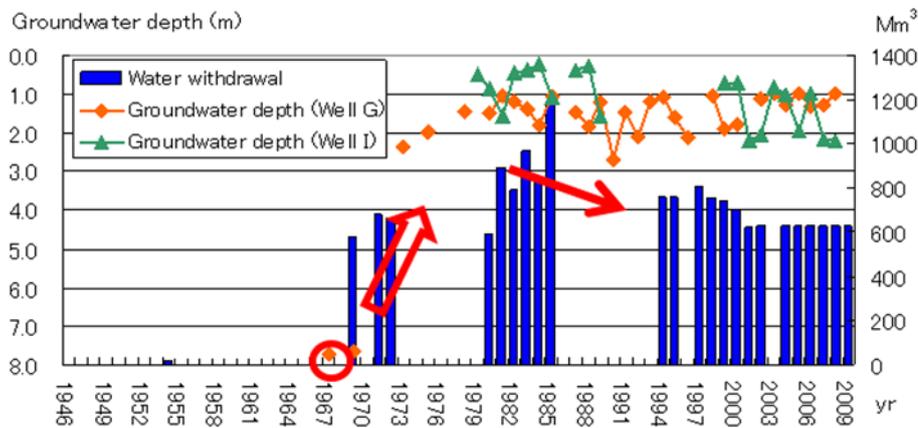
- ① 河川からの大量な取水と農地への灌漑のため、水稲作導入後に地下水位は開発当初の8 m から2 m 程度まで上昇した。近年、取水量は減少傾向にあり、地下水位はわずかながら低下傾向に

ある（図Ⅲ-2-5）。

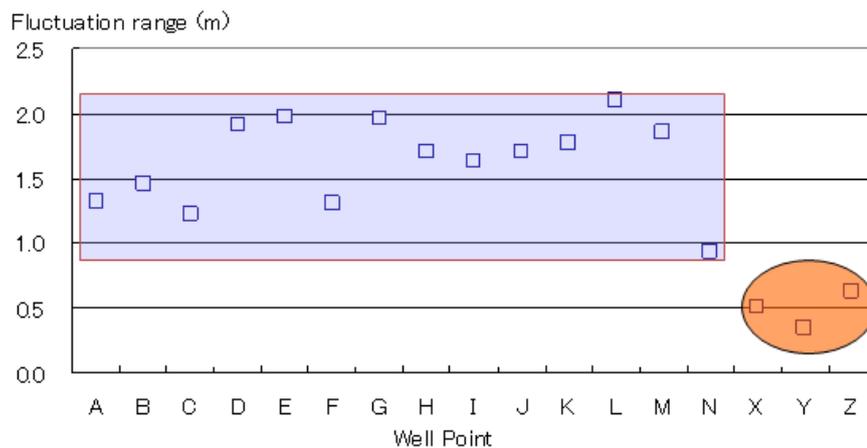
- ② 灌漑直前の4月と灌漑盛期である8月の地下水位の変動幅は灌漑地区内では1~2 m、灌漑地区外でも0.5 m程度変動する（図Ⅲ-2-6）。
- ③ 灌漑期には、水路・水田からの大量の浸透により、畑作農地の地下水位が上昇するため、地下からの水分供給が行われるが、地下水位が上がりすぎるとウォーターロギング、ひいては塩類集積を引き起こす。
- ④ 水稲作農地の空間分布、地区内配水量、排水不良農地の空間分布、地理・地形条件を合わせて、地下水位の変動要因を分析し、地下水位変動要因のマップ化を行った（図Ⅲ-2-7）。

[塩類化対策]

本地区の持続的な水稲・畑作物輪作における農地・水の適正管理について、輪作のメリット・デメリット（リスク）を整理し、現行の輪作を維持しつつ湛水化・塩類化を避けるために必要な条件が地下水位の適正なコントロールであることを明らかにし、それを行う方策について検討した（図Ⅲ-2-8）。

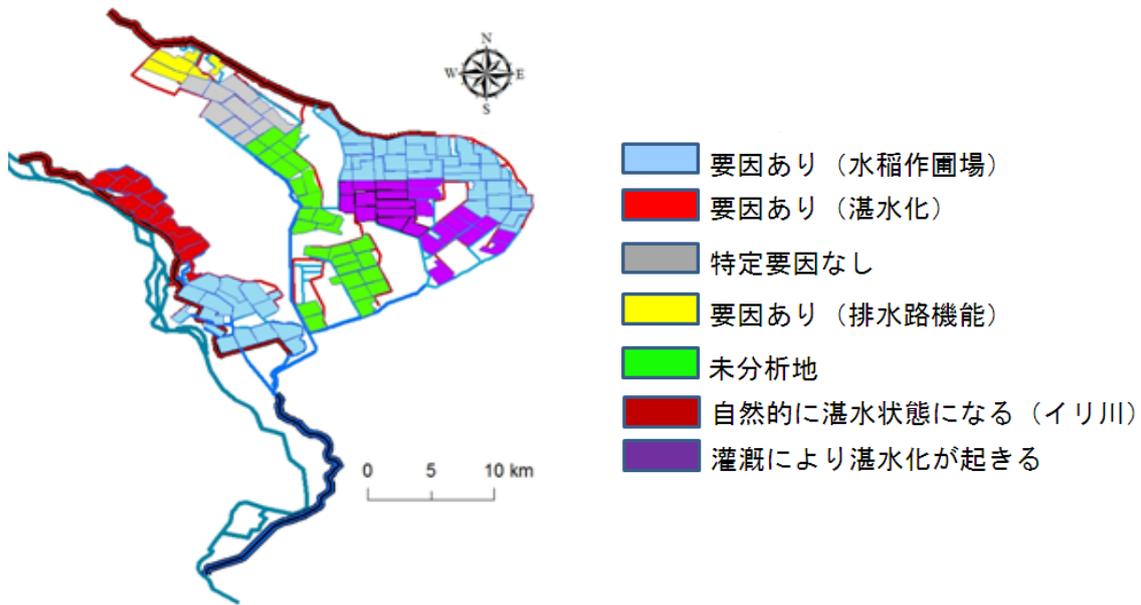


図Ⅲ-2-5 地下水位と取水量の変動



図Ⅲ-2-6 地下水位変動差の空間分布

（四角および丸の囲みはそれぞれ灌漑地区内、灌漑地区外の地下水位変動差）



図Ⅲ-2-7 地下水位の変動要因のマップ化

## イリ川下流域の灌漑地区における適正な農地・水管理技術

問題：畑作農地における湛水化(ウオータロギング)・塩類化

→問題解決のポイント:本地区区の特徴的な水稲-畑作物輪作における農地・水の適正管理

### 水稲-畑作物輪作のメリットとデメリット(リスク)

#### メリット

1. 畑作時に進行する農地の塩類集積の抑制  
(畑作時に集積する塩を水稲作時に下方に押し流す)  
(地区外への塩類排出は少ない。)
2. 連作障害なし
3. 低コスト農業  
(水田の水管理40ha/人, 畑地への灌漑は不要)

#### デメリット(リスク)

1. 湛水化・塩類化進行のリスク  
(高い地下水位, 農地が輪作に組み込まれない場合)
2. 水ストレスに対する高いぜい弱性  
(十分な水がないと, 畑作物の水分供給が不可能)
3. 適切な地下水位管理(2~3m程度)が難しい
4. 低い節水の可能性  
(地区内水路のライニングによる浸透ロス減少は畑地への適度な灌漑を必要とする)

### 現行の輪作を維持しつつ、湛水化・塩類集積を避けるために必要な条件 = 地下水位の適正なコントロール

1. 地形条件(排水を機能させるために、平坦ではなく、緩やかな勾配のある地形での農地開発)
  2. 農地造成(地区内の低位部や高位部での農地造成を避ける。末端圃場では圃場の均平化)
  3. 十分な排水機能(地下水位を過剰に上げない)
  4. 地区内の地理・地形・土性を考慮した用水管理(31,500haの灌漑地区に対して、単一の灌漑必要水量をあてはめるのではなく、高低差、用排水路配置、土性を考慮した灌漑必要水量の決定)
  5. 地下水位を上げるための十分な水供給
  6. 良好な灌漑水質
- 赤字は現在の問題点、橙色は将来懸念される問題

図Ⅲ-2-8 イリ川下流域の灌漑地区における適正な農地・水管理技術

### 3) 中国陝西省洛惠渠灌区における農地の塩性化の原因究明とその防止対策

灌区における塩類化プロセスを類型化し、さらにそのプロセスを引き起こす要因について考察を行った。塩類集積を防止するためには、これらのプロセスを阻止・回避し、その誘因を除去す

ることが不可欠である。それを実現するための方策として広域水管理の立場から、以下のような提案を行った。

#### [塩類化プロセスの類型化]

本地区の灌漑農地における塩類化プロセスは、(1)地下水の毛管上昇による塩類集積、(2)高塩類濃度地下水の継続的灌漑使用による塩類集積、(3)井戸の掘削残土(高塩類濃度)を圃場面に締固め盛土したことによる塩類集積、(4)地区内の地形特性および排水特性に起因して起こる排水不良部の塩類集積の4タイプに類型化できる。

#### [塩類集積プロセスを起こす要因]

塩類化プロセスを助長する要因・誘因として、以下の事項を挙げることができる。

- (1)地下水位が高いこと。特に、地下水位が地表面下3m以内の場合は大きな要因となる(北部および中央部)。(2)排水路管理と地下水管理が不十分で、地下排水はほとんど機能していない。
- (3)排水システムの管理者が灌漑システムのそれと異なり、管理上の問題があること。(4)特に未舗装・舗装部欠損水路の搬送損失が大きく、長い畦長のもとでの畝間・ボーダー灌漑により、圃場内浸透損失が大きいこと。(5)地下水の塩類濃度が高いこと(北部および中央部)。(6)下層土に可溶性塩類が集積していること。(7)下層に難透水性の土壌が存在していること(北部上位段丘面)。

#### [灌漑農地の塩類化の防止対策]

本地区における塩類化を防止するための広域水管理のあり方として、次の点を提案した。

- (1)排水システムの効率を高め、地下水位が適正な高さになるように管理する。したがって、地表排水だけでなく、地下排水も考慮に入れた検討が必要となる。
- (2)地表排水を阻害するような行為を禁止するとともに、排水が阻害される危険性のある箇所(修復・整備を推進する(住民に対する啓発活動が重要))。
- (3)現在灌区が管理している灌漑システムと大荔県人民政府が管理している排水システムについて、両システムの一元管理化を図り、管理体制を整備する。
- (4)灌漑効率の改善(搬送損失、圃場水適用損失の削減)を推進する。よって、1)水路舗装を推進し、欠損部の補修を徹底させ、舗装の高度施工に注意を払う。2)圃場の畦長(長辺方向長さ)を極力短くし、水足を速めるために圃場均平作業の精度を上げる。
- (5)ウォーターロギング(過湿状態)を防止するために水路沿い、あるいは圃場周辺部への植林(生物学的排水)を奨励する。
- (6)塩類濃度の高い地下水については、利用を制限する。塩類濃度に応じた使用基準を設ける。
- (7)井戸の掘削にあたり、塩類濃度の高い掘削土については影響の及ばないところへ搬出する。
- (8)黄土高原よりの流出土砂を活用した流水客土を積極的に導入し、普及する。

## A-2 塩生植物利用研究

### 1) 塩生植物の耐塩メカニズムに関する研究

中国新疆ウイグル自治区の塩類集積地を中心として、塩類集積地の緑化に有望な木本塩生植物について、耐乾・耐塩性にかかわる浸透調節物質の同定と定量を行い、種によって適合溶質の種類が異なることを明らかにした。

また、新疆に生育する塩生植物の *Elaeagnus oxycarpa* では、植物体に軽度の前ストレス(ポリエチレングリコールによる浸透ストレス)を与えることにより、適合溶質の蓄積が進み、耐塩性が向上することが明らかになった(図III-2-9)。

### 2) 塩生植物タマリスクを利用した塩害対策研究

塩類集積地の緑化に有望な木本塩生植物のタマリスクについて、中国内蒙古自治区ダラツ旗、中国陝西省塩地県、そして、アメリカ・モハベ砂漠で研究を行った。

中国内蒙古自治区ダラツ旗では塩類集積地に生育するタマリスクを対象として、塩分胴体に関する研究を行い、樹体内への塩蓄積量を明らかにした。この結果を踏まえて、アメリカの砂漠研究所(DRI)とタマリスクに関する研究を推進した(図III-2-10)。アメリカ・モハベ砂漠のバージン川流域に侵入したタマリスクの研究では、タマリスク林の塩蓄積量を明らかにするとともに、

タマリスクの塩分泌パターンや、タマリスクの浸透調節メカニズムを明らかにした。さらに、タマリスクの細根分布と菌根共生系の関係を調査、解析し、塩類集積地に特異的な微生物群集の存在も明らかにした。

これらの研究結果をもとにして、現在は薬用植物の生産を目的とした、塩類集積地へのタマリスク植栽に関する研究を、中国陝西省塩地県で進めている。

## 塩生植物タマリスクを利用した塩害対策

### DRI (Desert Research Institute) との共同研究

1. タマリスク林の塩分動態解明  
→タマリスク林の塩蓄積量を明らかにした。
2. タマリスクの塩分泌メカニズム解明  
→タマリスクの塩分泌パターン(日変化)を明らかにした。
3. タマリスクの浸透調整メカニズム解明  
→タマリスクの浸透調節物質としてプロリンの重要性解明  
(分子育種グループとの連携研究)
4. タマリスクの細根分布と菌根共生系の解明  
→塩類集積地に特異的な微生物群集の存在！！



図Ⅲ-2-9 PEG による浸透圧ストレスが耐塩性に与える影響

### 現場普及

薬用植物の生産を目的としたタマリスクの植栽へ

中国陝西省定辺政府  
中国科学院水土保持研究所

寄生植物：肉しょうよう 塩類集積地への植栽



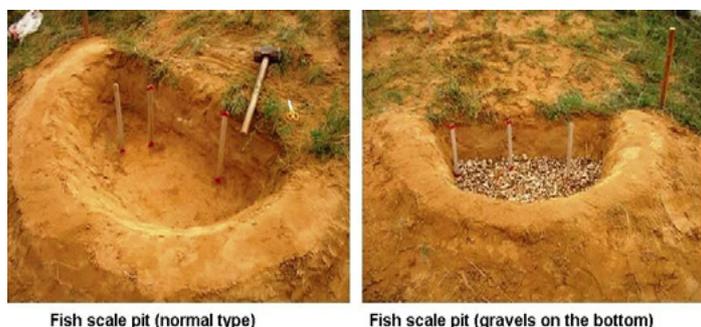
図Ⅲ-2-10 塩生植物タマリスクを利用した塩害対策研究

## B) 水食対策研究

### B-1 郷土樹種利用による緑化研究

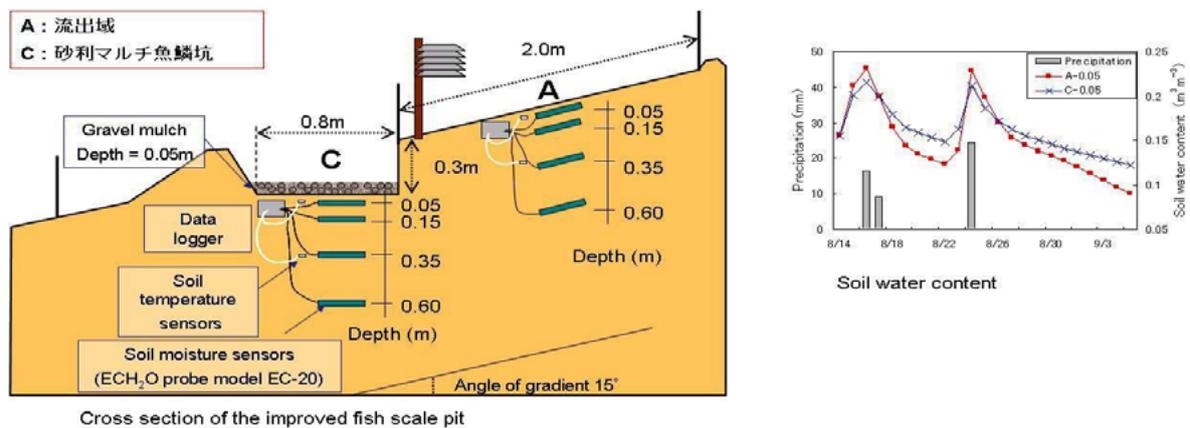
#### 1) 中国陝西省神木市における魚鱗坑の改良

現地の伝統的ウォーターハーベスト手法である魚鱗坑につき現地調査・実証試験を行った結果、魚鱗坑の底面に砂利を入れると浸透・保水効果が高まることが判明した。深すぎる魚鱗坑は作成時の労力を含め効果的でない可能性も示された。



図Ⅲ-2-11 魚鱗坑現地実証実験サイト

左は従来型、右は底部に砂利を入れた改良型

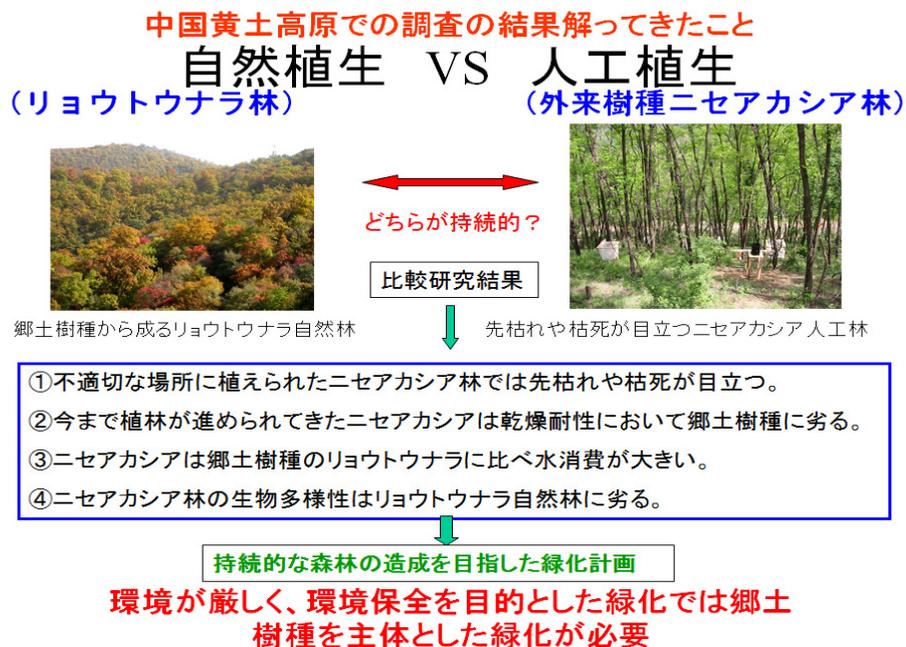


図III-2-12 斜面部と改良型魚鱗坑における 0.05 m 深での土壌水分の変化

## 2) 中国陝西省延安市における郷土樹種と外来樹種の比較研究

黄土高原の中心部に位置する、中国陝西省延安市郊外の森林で、黄土高原での持続可能な緑化をめざし、現地に本来存在する、郷土樹種からなる自然植生と、外来樹種ニセアカシアからなる人工林の比較研究を行った。その結果、特に環境が厳しく、環境保全を目的とした緑化では郷土樹種を主体とした緑化が必要であることが明らかとなった(図III-2-13)。この結果は古今書院から出版された乾燥地科学シリーズ第5巻「高度高原の砂漠化とその対策」に取りまとめられた。

さらに、郷土樹種を進めるに当たり、郷土樹種を中心とした多くの樹種を対象として、乾燥耐性に関わる浸透調節メカニズムの研究を行った。その結果、浸透調節に関わる物質の蓄積は植物種によって、物質の種類や量が大きく異なることが明らかとなった。



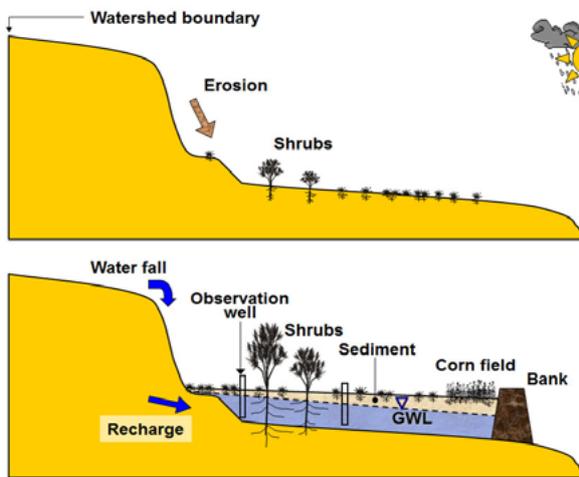
図III-2-13 中国黄土高原における自然植生と人工植生の比較

B-2 チェックダム利用研究

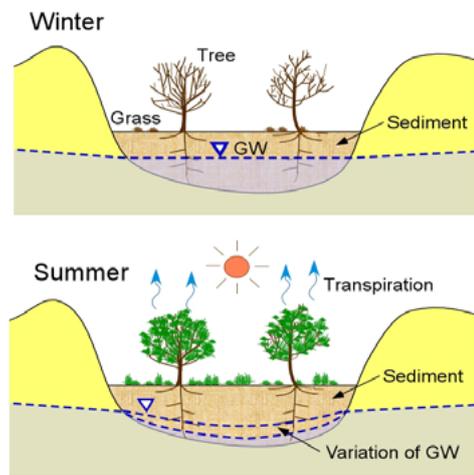
1) 黄土高原におけるチェックダム農地の地下水位変動と水収支

① 黄土高原では、チェックダム建設後数十年で激しい侵食により大量の土砂が貯水池に流入し、平坦なダム農地が形成される。このようにして形成されたダム農地には不圧地下水が存在する。

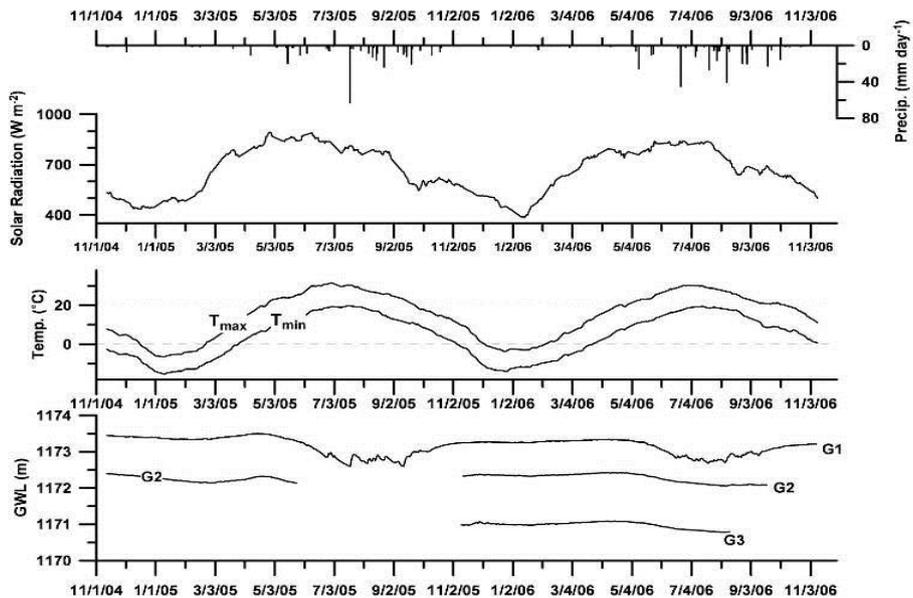
② ダム農地内地下水は植生の吸水による水位低下の影響が大きかった。ダム農地全体の地下水位については、植生の吸水により夏期に低下していた。地下水位の低下は、気温の上昇・低下に反応して、春季に始まり、秋季に終了していた。浅層の地下水位にあつては、近傍の植生による日変動が顕著であった。日変動については、夏季の日照との連関が顕著であった。黄土高原のダム農地における限定された水資源である地下水を、農業利用する場合、現況の野生植生による吸水と、作物による吸水を置き換えることになる。



図III-2-14 チェックダムの建設後流亡土砂により貯水池が堆積してダム農地が形成される。



図III-2-15 植生の吸水による地下水位の季節変化



図III-2-16 ダム農地内地下水位の変動(2004-2005年) (Yasuda et al, 2012)

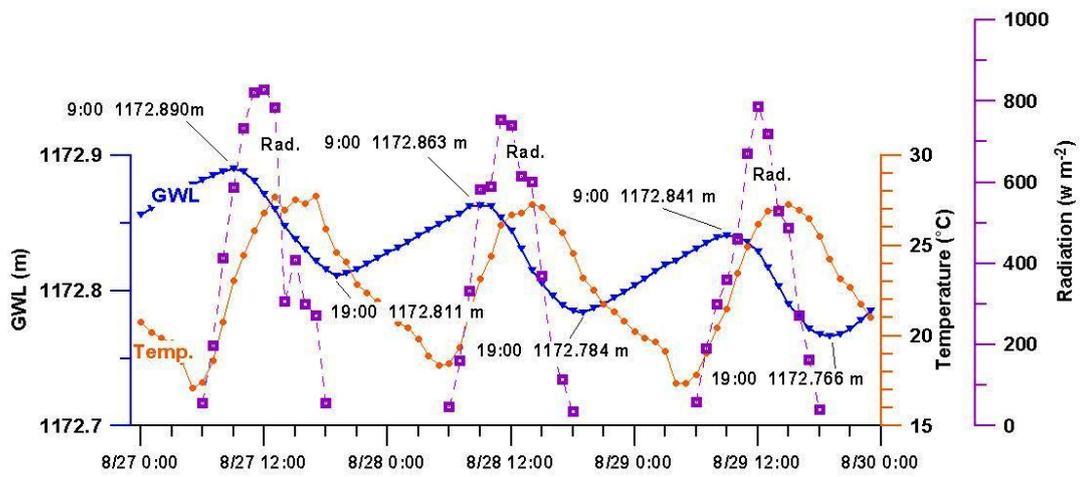
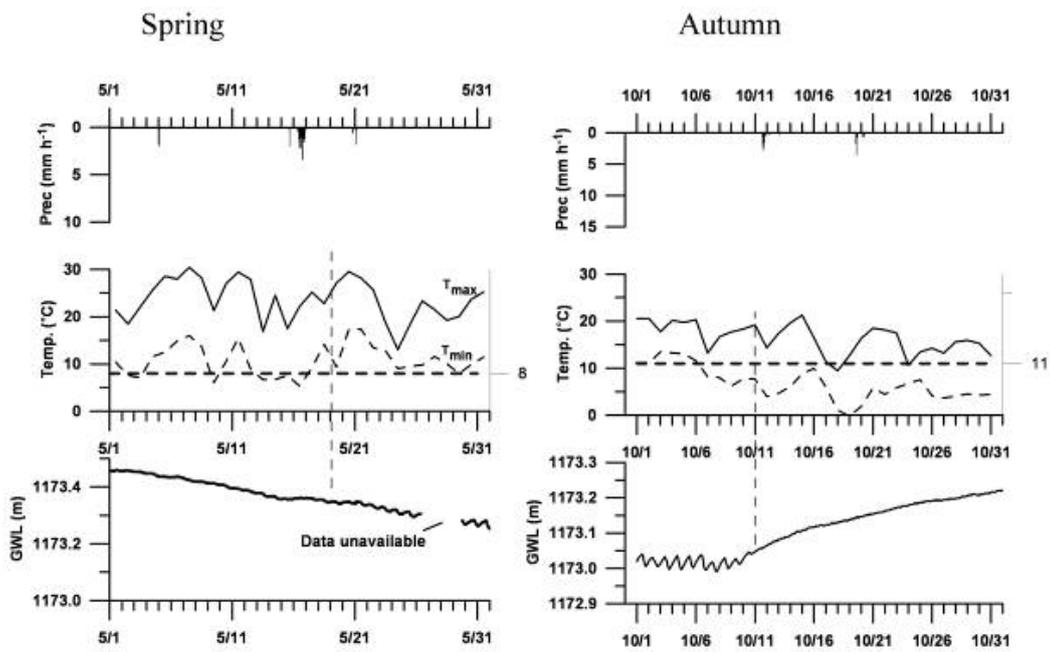


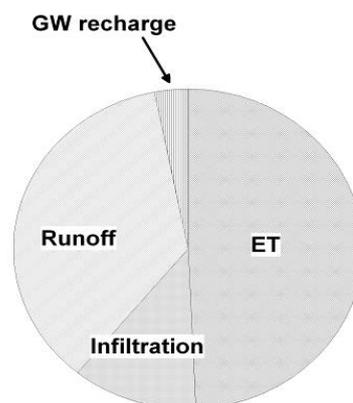
図 III-2-17 日照と連動した地下水水位の変化 (Yasuda et al, 2012)



図III-2-18 春季・秋季の地下水水位変化

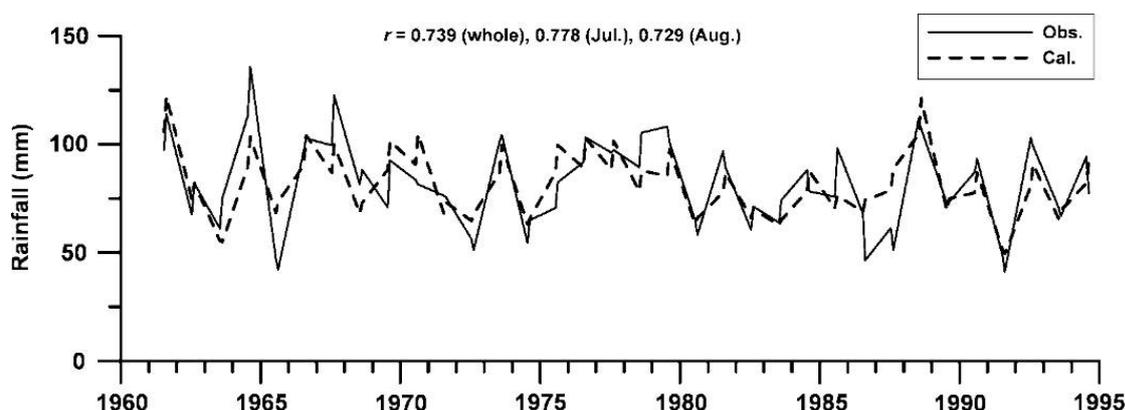
春に気温が上昇すると地下水水位が低下し、日変動も始まる。秋に気温が低下すると日変動が停止し、地下水水位が上昇する。(Yasuda et al, 2012)

③ 黄土高原の水収支上極めて重要であるチェックダムについて、Kinematic-waveを用いたダイナミックモデルによる数値シミュレーションを行った。チェックダム建設前は流出が卓越していたが、建設後形成されるダム農地からの蒸発が極めて卓越し、ほぼ50%を占めていたものであった(図III-2-19)。



図III-2-19 チェックダム流域の水収支  
ほぼ半分は蒸発散(ET)。(Huang et al, 2012)

④ 黄土高原の降水量時系列を解析し、雨季・乾季の差違が大きく、経年変化も大きいことが示された。また、夏季(雨季)の経年降水量時系列と太平洋の海面温度時系列との相関が高いことが示された。太平洋海面温度とのリンクを用いたニューラル・ネットワークによる予測モデルが構築され、雨季の降雨の予測が高相関で可能であることが示された(図III-2-20)。



図III-2-20 太平洋海面温度による夏季降水量の予測 (Yasdua et al., 2009)

## 2) 黄土高原におけるチェックダム農地の塩類集積

中国・陝西省子洲県の小河沟流域下流のチェックダム農地で塩類集積の状況や関係要因を観測・調査分析を行い、これらの結果に基づき塩類化プロセスを解明し、対策を検討した。

[塩類化状況]

① 小河沟および榆林沟の両流域において塩類化が発生するダム農地は、流域内の位置にかかわらず大規模なダム農地、および流域下流に位置するダム農地である(図III-2-21)。

② ダム農地下流側では塩類化は発生しないが、農地上流側においては発生しやすい(図III-2-22)。

[塩類化影響要因の特定とメカニズムの解明]

① 健全農地と塩類化農地の土壌EC、土性、地下水位を比較分析した結果、農地の塩類化には土性よりも地下水位が大きく影響することが明らかになった。

② 塩類化農地の地下水位の長期変動を分析した結果、ダム農地における地下水位は冬季に上昇し春季に下降することがわかった。また、地下水位の上昇には、冬季における土壌の凍結に起因した上昇と雨季における降雨に起因した上昇の2種類があることがわかった(図III-2-23)。

③ 特に、降水に対する地下水位の応答は速く大きい。その応答は降水当日が最も大きく、ダム農

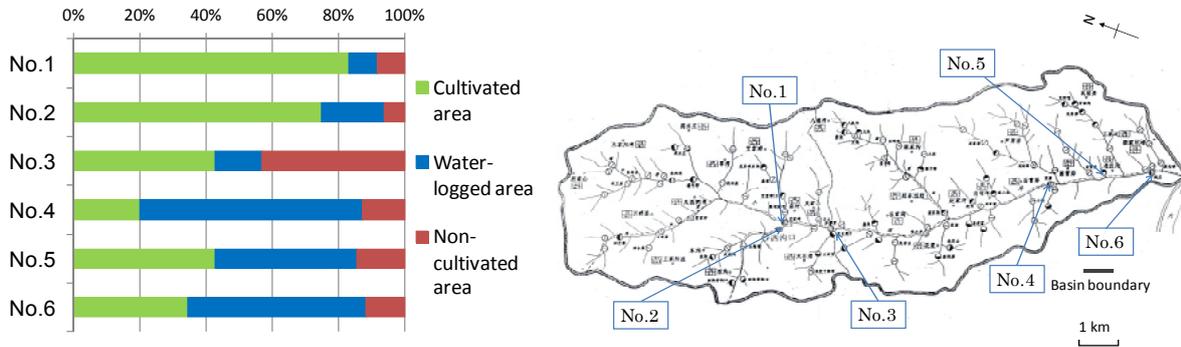
地側面の斜面からの表面流出を主とする浸透の影響が大きいことが示唆された（図Ⅲ-2-23）。

④ 塩類集積の発生過程は、冬季に凍結した土壌が春季に融解することと高い地下水位が相まって発生する毛管上昇と、夏季の高い蒸発散能による毛管上昇が主であると考えられる（図Ⅲ-2-23）。

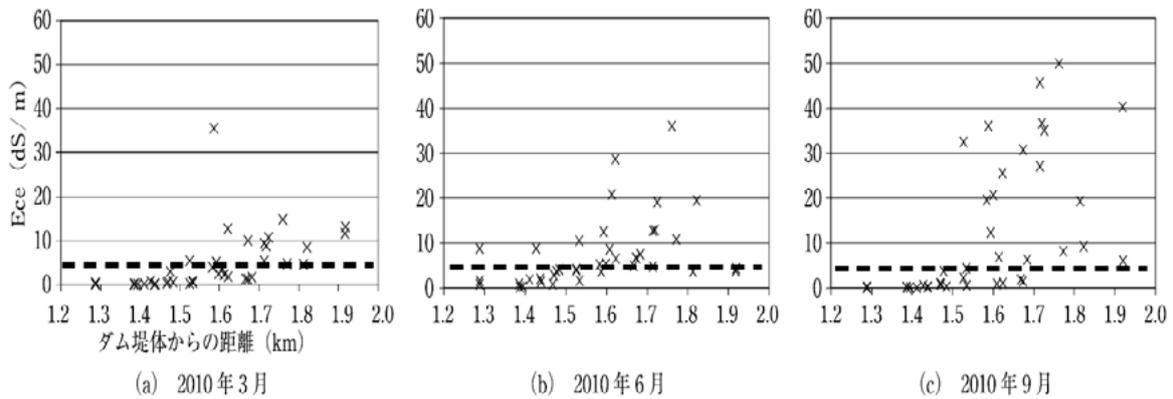
[塩類化対策]

① 農地の地下水位上昇の主要因がダム農地側面の山腹斜面からの表面流出の浸透であることが示唆された。すなわち、地下水位を下げる対策としてダム農地周囲への承水路設置が有効。

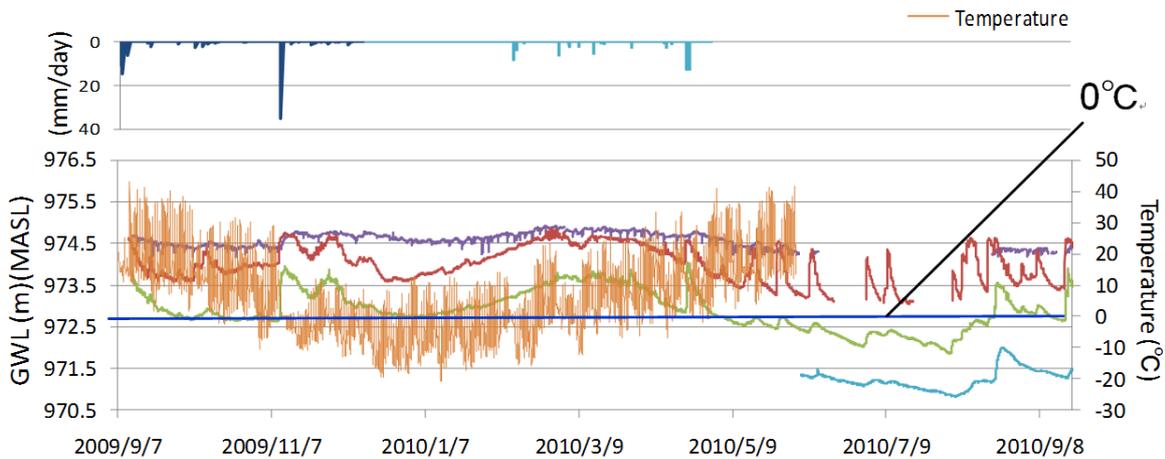
② 冬季の地下水位上昇を抑制する排水対策が必要である。



図Ⅲ-2-21 チェックダムの位置および規模と塩類集積農地の関係（Nos.2, 3, 5 は小規模ダム農地）



図Ⅲ-2-22 チェックダム位置および規模と塩類集積農地の関係（Nos.2, 3, 5 は小規模ダム農地）



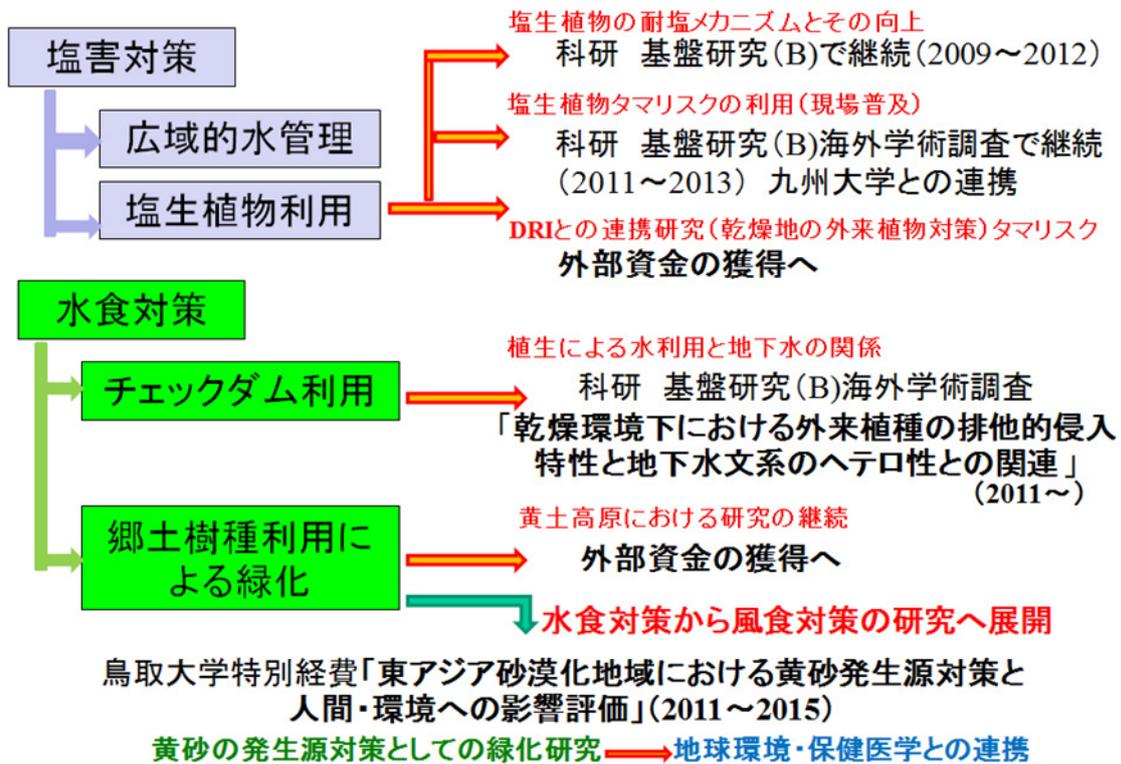
図Ⅲ-2-23 地下水位と降雨，気温観測結果

(5) 成果の公表

巻末に論文・著書リストを掲載。

(6) 今後の展開

### 今後の展開



環境修復グループが行ってきた塩害対策研究のなかで、塩生植物研究については、耐塩メカニズムとその向上に関して、科学研究費 基盤研究 (B) 一般「乾燥地緑化への応用を目指した耐乾・耐塩性植物の浸透調整能の解明とその向上 (2009~2012)」(代表：山中典和)で継続。塩生植物タマリスクの利用に関しては、九州大学、中国科学院水土保持研究所との連携研究として、科学研究費 基盤研究 (B) 海外「乾燥地の塩類化農地における持続可能な植物生産と塩類動態制御 (2011~2013)」(代表：北野雅治 (九州大学))で継続。さらに、アメリカにおけるタマリスク研究に関しては、外部資金の獲得に向けて検討中である。

水食対策のなかで、チェックダム利用に関しては、植生による水利用と地下水の関係解明を目指す、科学研究費 基盤研究 (B) 海外「乾燥環境下における外来植種の排他的侵入特性と地下水文系のヘテロ性との関連 (2011~2015)」(代表：安田裕)として、新たな展開を行っている。さらに、郷土樹種利用による緑化研究は、地球環境グループ、保険医学グループとの連携により、文部科学省特別経費事業「東アジア砂漠化地域における黄砂発生源対策と人間・環境への影響評価」(代表：山中典和)として水食対策から風食対策の研究へと新たな展開を行っている。

(山中典和)