

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24405039

研究課題名(和文) 乾燥地における持続的農業に向けた水土資源利用のクリティカルレベルの検討

研究課題名(英文) Consideration of critical levels in management of water and soil resources for sustainable agriculture in an arid area.

研究代表者

山本 忠男 (YAMAMOTO, TADAO)

北海道大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師

研究者番号：00312398

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、乾燥地における土壌の塩性化を予防しつつ持続的灌漑農業を確立するための水土利用について検討をした。中国・トルファン地区を対象に農業用水利用の把握と圃場の塩性化と灌漑との関係について調査をおこなった。

その結果、農業水利においては近年導入された住民参加型水管理が効果的であることを確認した。さらに井戸の普及と地下水利用がカレーズの流量に影響を与えることを明らかとした。また、井戸水の水質は深さや位置によって異なることも確認できた。圃場の塩性化の原因としては、ドリップ灌漑が導入されたため、リーチングに必要な水量が得られず、塩類が表層から60cm程度の間を移動していると推察された。

研究成果の概要(英文)：The study object is to examine the wise use of land and water for establishment of sustainable irrigation agriculture with preventing a soil salinization in an arid area. The field research is carried to grasp of the agricultural water use and the relations with salinization and irrigation on the cultivated field in Turpan district, China.

As results, (a) farmers participation water management introduced in late years is effective in water distribution, (b) diffusing of well and increasing of groundwater use affect the decreasing of Karze (Qanat) discharge and (c) water quality in well is different by wells depth and location, were become clear. Then, it was confirmed that accumulating saline between soil surface and about 60cm depth occurs the salinization in the field. This reason is that sufficient water volume for leaching could not be secured because of the drip irrigation introduced by rearranging from border irrigation.

研究分野：農業土木学

キーワード：地下水 灌漑 塩類集積

### 1. 研究開始当初の背景

寒冷乾燥地の農業は、灌漑施設の整備によって農地拡大、そして食糧増産を可能にしている。一方で、水不足と塩性化の問題を常に根底に抱えている。本研究は、世界中の乾燥地で問題となっているこの問題に取り組むものである。研究対象地域であるタリム河流域においても地下水利用が急増しており、先行調査の結果、2008年以降、従来の河水に依存したボーダー灌漑から地下水を利用した節水灌漑の導入が計画的に進められており、農業水利システム自体が大幅に変化しつつあることが明らかとなった (YAMAMOTO et al., 2010)。同時に、農業水利の不合理性に起因する塩類集積の発生が認められている (山本ら, 2008)。研究代表者はこれまでタリム河流域の水土利用を対象とした研究に携わってきたなかで適切な水利用と効果的な土壌の塩性化抑制は喫緊の課題であることを再確認した。そこで塩性化を予防しつつ持続的灌漑農業を確立するためには、水利用のクリティカルレベル策定の必要性を認識した。

### 2. 研究の目的

本研究の全体構想は、寒冷乾燥地の灌漑農地における水・土壌資源の保全に向けた定量的な評価を行い、地域資源管理・活用および環境修復のための工学的手法の導入オプションを提示することで、農業生産物の質・量ともに向上させる水・土利用体系の確立と農村社会の持続可能な成長戦略を構築することである。

特に、本研究では、寒冷乾燥地の水不足と土壌・地下水の塩性化に関する基礎的な現地調査・実験を踏まえ、近年増加している地下水利用とその枯渇問題についても取り組む。最終目標は、水管理形態、土地利用、栽培作物などを考慮した上で、塩性化を修復・予防しつつ持続的な農業を確立するための水利用のクリティカルレベルを算定し、現地関係機関に提案することである。

### 3. 研究の方法

本研究では、研究目的を達成するために以下の個別課題を設定した。

- (1) 農業水利の実態把握と適切な管理方法
- (2) 地下水賦存量の把握と適正な地下水利用
- (3) 地域的な塩分収支構造の把握と塩性土壌改良
- (4) 水利用のクリティカルレベルの策定

中国・新疆ウイグル自治区・トルファン市の灌漑地域を重点調査地とし、トルコ・カラブナル、タイ・ウボンラチャタニを地下水に依存する農業地域として比較対照地区とした (当初計画では同自治区・コルラ市近郊のみを予定していたが、昨今の日本と中国の情勢の変化により調査が困難になったため、重点調査地等を変更した)。

重点調査地は、新疆ウイグル自治区トルフ

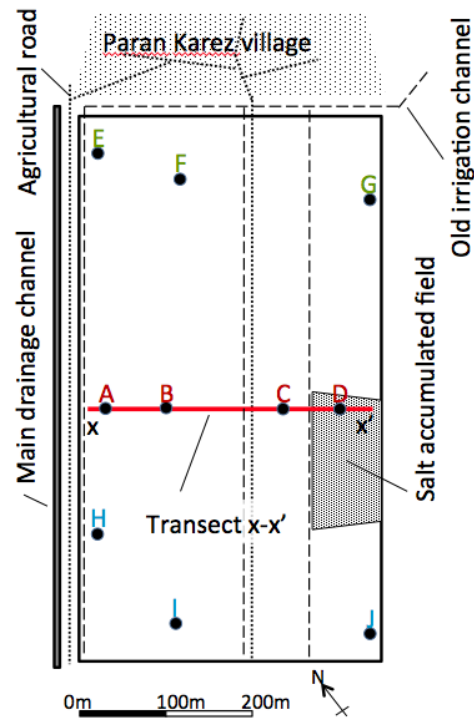


図1 パランカレーズの土壌調査概要

アン市内を流れるミヤゴウ河およびタルラン河 (ともに平均年総流量 0.8 億  $m^3$ ) の流域である。年平均降水量は 50mm 以下で、農業用水はトルファン市の北側に位置する天山山脈の融雪水に依存している。河川取水、井戸による地下水の揚水、伝統的な地下水集水システムであるカレーズなどにより灌漑がおこなわれている。主な栽培作物はワタ、ブドウ、トウモロコシ、コムギである。配水管は、河川レベル (総干渠) では水管站 (市水利局の出先機関)、郷レベル (幹渠～支渠) では用水戸協会、村レベル (斗渠、農渠) では水管員が行っており、井戸とカレーズはそれぞれの所有者 (村あるいは個人) が個別に管理している。

農業水利に関する調査として、ミヤゴウ河から取水するチャッカル郷とタルラン河から取水するヤアール郷の用水戸協会の職員と地域農民を対象にヒアリング調査をおこなった。

農地の塩性化に関する調査として、チャッカル郷のパランカレーズ村に位置する灌漑区にて、横断面 (X-X') 10m 間隔で地表 0-5cm と 5-15cm の土壌をサンプリングし、EC (1:5) を測定した。さらに A~J では深度別 (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-90, 90-120cm) に土壌サンプリングを行い、EC、土性、透水性、密度を測定した。

地下水賦存量の把握と地下水管理に関して、パランカレーズ村の井戸 2 箇所と近隣のクンカレーズに水位計を設置した。加えてトルファン地区広域 (南北 30km 東西 20km の範囲 20 地点) で河川水や地下水、カレーズ水を採水し、各種溶存イオンと安定同位体比 (水素、酸素) を測定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 農業水利の実態-トルファン市

この地域の灌漑用水は、河川水と地下水に依存している。そして地下水は通常の井戸と伝統的農業水利施設であるカレズ(カナート)により供給されている。これまでに農地拡大にともないカレズや河川水による灌漑では十分な用水が確保できないため、井戸による地下水灌漑の直接的な利用がすすめられてきた。その結果、カレズの流量減少や枯渇などの問題が発生し、それに対応するためにさらなる井戸が整備されるという悪循環に陥っている状況にある。

これまでは農業用水の配水管理は、行政による完全な管理であったが、中国でも 1990 年以降、農民の参加型水管理(用水戸協会による管理)がみられるようになり、2003 年より調査対象地区においてもその取り組みがはじまった。これまでの行政主導型の水供給については、先行研究(Yamamoto et. al, 2010)に示されているため、その特徴については省略する。ここではこの地区で導入された農民参加型水管理が地域の水管理に与えた影響について考察をすすめる。

用水戸協会は各郷に設置されている河川利用に限定した水管理組織であり、用水戸協会の主な業務は、郷内の村への配水、配水量の記録、水利施設の維持管理、水費の徴収である。用水戸協会は河川水の配水管理を行い、地下水の利用には関与しない。また、各村の作物の生育状況や受益地内の井戸の数などを考慮して、各村への配水ローテーションと供給水量を決定する。各村への配水量は 24 時間記録し、従量制によって各村から水費を徴収する。水費と配水量は原則毎月公開される。水費は河川水の利用料と施設維持管理費からなり、前者は市の収入となり後者は施設整備や協会運営費に充てられる。なお、水費の徴収がとくに重要な役割と認識されているものの、水費は地区政府(市や県の上位行政単位)で決定されており、用水戸協会に水費の決定権はない。また、協会の経理は水管站からの出向職員が担当するのが慣例となっている。用水戸協会は郷内の農民の代表により組織される。協会職員の定数は市水利局によって規定されており、チャッカ爾郷とヤアル郷の職員数はともに 13 名である。用水戸協会の職員は、農民の中から推薦された者を被選挙者として、各郷で年に 2 回開かれる人民代表会議において信任投票を経て承認される。協会長の任期は 5 年であり、不正をおこなった場合は任期に関わらず解任される。用水戸協会の設立によるメリットとしては以下のことが挙げられる。

行政機関の負担軽減

選挙の導入による不正への抑止力

地域住民の参画による水利用の円滑化

節水意識の向上

トルファン市では、総幹渠である河川や幹渠は概ねライニングされ、地下水を利用した

灌漑ではパイプラインの普及やドリップ灌漑の導入がすすめられている。また、ダム建設も進行中であり、ハード面の対策は着実に進められている。このように用水戸協会の設置は、より合理的な水利用を可能にできたが、一方で「渇水時に 24 時間夜通しで配水作業をするのがつらい」、「今の職員の数で業務をこなすのはかなり厳しいが、これ以上職員を増やすのは人件費の関係で難しい」といった運営上の問題も明らかになった。地下水位の低下による地域生態系への影響も出始めており、今後は地下水の管理も含めた統合的な水管理組織として用水戸協会を運営していく必要がある。

##### (2) 地下水の水質と特性

地区の水源別の EC と SAR を比較すると、比較的下流域でそれらの値が高くなる傾向にあった(図 2)。また、井戸の水質に注目すると、上流より下流の井戸で EC が高くなる傾向もみられた。耐塩性の高いワタの作付は下流域で多く、ブドウなどは上流部分で作付されていたことから、水質に見合った作付が経験的になされていることが示された。井戸とカレズの水質を比較すると、カレズにくらべて井戸水では変動が大きい傾向も確認された。農家の多くは、河川水やカレズ水の利用を強く望んでいるが、水質の安定性も影響しているものと考えられる。

パランカレズ村では生活用と農業用の井戸が設置されており、農業用の井戸水の水質は EC が高く、飲用に不適であった。しかしながら、同位体分析の結果、いずれの水も同じ帯水層に由来すると判断されたことから、この地区には幾つかの地下水脈があり、そのうち灌漑によって溶脱された塩分等が流入しやすいものがあると考えられる。

村の地下水位は、農業用水利用が活発となる 3 月から農閑期の 10 月までは大きく低下し、50m 近くまで低下することが予測された(測定レンジを超えたため、連続データは得られず)。一方、11 月から 2 月には地下水位が徐々に上昇し、おおよそ 20m 程度となる。この村ではドリップ灌漑が 1 年で大きく普及したため、節水の効果があるものと予測していたが、実際には年々低下する傾向を示した。

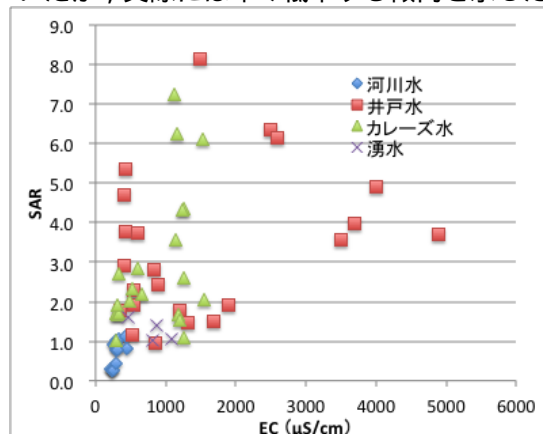


図 2 水源別の EC と SAR

地下水位の変動とあわせて、近傍のクンカレーズの水位変動をみると、夏季に水位減少（流量の減少）がみられ、冬季に流量が増加する傾向があった。このことから井戸の利用がカレーズの流量に大きく影響していることが確認された。

この地区では、行政の直接的な管理にある井戸は無く、地下水の管理は村や個人が行っている。そのため深井戸（70 m 以深）の無計画な建設や揚水量の増加により地下水位が低下し、井戸やカレーズが枯渇するといった問題が生じている。2012 年からトルファン市は井戸の新設の禁止と既存の井戸への課税をはじめたが、井戸の揚水量に対する規制は行っておらず、地下水資源の保全には十分な対策とは云えない。

### (3) 土壌の塩性化とその対応

図 1 に示すトランセクト上の A-D のいずれもシルト質ローム土であり、透水係数は  $10^{-5}$  ~  $10^{-6}$  cm/s, 土粒子密度 2.64-2.76g/cm<sup>3</sup>, 体積密度は 1.27-1.35g/cm<sup>3</sup> であった。また有機体の含有量は少なかった。このことは土壌の違いが圃場の塩性化の分布状況の違いを引き起こす直接的な要因ではないことを示している。一方、未灌漑圃場（塩類集積圃場）を含むサンプル（n=31）と灌漑圃場のみのサンプル（n=28）の表層土の EC（平均値）には明確な差が認められた。この地区ではドリップ灌漑が 2014 年から導入されたが、その前後で土壌の EC の変化に違いがあった。ドリップ灌漑以前はボーダー灌漑が行われていたが、このときは灌漑により表層の塩類が下層に移動（リーチング）し、その後の蒸発にともなう水の表層方向への移動とともに塩類が再度戻ってくる傾向にあった。しかし、ドリップ灌漑ではリーチング効果は小さく、毛管上昇にともなう塩類の下方から表層への移動が卓越した状況にあった。このことはボーダー灌漑は塩類のリーチングを促進し、ドリップ灌漑は深いところに位置する塩類を表層まで引き上げていることを示している。

さらに排水路からの距離が大きくなるほど、標高と EC は高くなる傾向にあり、とくに塩性化の進んだ放棄地では、その傾向が顕著であった（図 3）。このことは、標高が高いためリーチング必要な水量が得られなかったことと、近傍の圃場（標高の少し低いところ）から溶出した塩が移動したことを示唆している。A から J の各地点の鉛直方向の塩分分布をみると、放棄地 D を除く各点で、おお

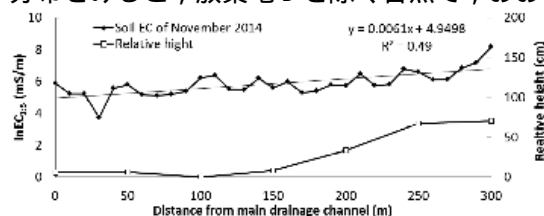


図 3 排水路からの距離と標高、EC の関係（2014 年 11 月）

よそ 60cm の深さに高い塩分の土層の存在が確認された。この地区の地下水位は年間をつうじて、4.0m 以深であることから地下水による塩分供給の影響は小さいと考えられる。すなわち、灌漑農地の 60cm 深に位置する高い塩分土層は、それよりも浅い部分からの塩の供給により形成されており、また灌漑用水によるリーチング水量が少ないため下方への浸透も少ないことが推察される。

### 引用文献

山本忠男, 長澤徹明, 鶴木啓二, 阿布都沙拉木加拉力丁, タリム河北縁地域における塩類集積の発生要因に関する考察—新疆ウイグル自治区シャヤ県を事例として—, 第 7 回ウイグルの環境変動に関するシンポジウム」論文集, 23-31, 2008  
Yamamoto Tadao, Abdisalam Jalaldin, Anwaier Maimaidi and Nagasawa Tetuaki, The Present Condition and Problem of Agricultural Water Management in Northern Part of Taklamakan Desert, International Journal of Environmental and Rural Development, 1-1, 50-55, 2010

### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Abd Elhamed Khater, Yoshinobu Kitamura, Katsuyuki Shimizu, Hiroaki Somura and Waleed H. Abou El Hassan, Improving water quality in the Nile Delta irrigation network by regulating reuse of agricultural drainage water. Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol.12(2), 132-140, 2014 査読有

C. Kumbuyo, H. Yasuda, Y. Kitamura, K. Shimizu, Fluctuation of rainfall time series in Malawi: An analysis of selected areas. Geofizika, 31, 13-28, 2014 査読有

T. Anzai, Y. Kitamura and K. Shimizu, The influence of seepage from canals and paddy fields on the groundwater level of neighbouring rotation cropping fields—A case study from the lower Ili River basin, Kazakhstan, Paddy and Water Environment, DOI : 10.1007/s10333-013-0393-z

(published online), 2013, 査読有

安西俊彦, 清水克之, 北村義信, 灌漑地区における農地・水利用がイリ川に及ぼす影響に対する考察, 沙漠研究, 23(2), 41-49, 2013, 査読有

Takashi Kume, Daisuke Naito and Ken-ichi Abe, Building

Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters, International Journal of Advances in Management, Technology and Engineering Science, vol.2, Issue 6 (2), 69-72, 2013, 査読有

Abdisalam JALALDIN, YAMAMOTO Tadao, OIKAWA Taku and NAGASAWA Tetuaki, Influences of agricultural irrigation on regional salinity balance in arid areas of northwestern China, International Journal of Environment and Rural Development, 3(1), 108-113, 2012, 査読有

Shimizu, K., Anzai, T., Takahashi, N. and Kitamura, Y., An analysis on propriety of paddy rice and upland crop rotation system in the Lower Ili River Basin, Kazakhstan, Journal of Arid Land Studies, 22(1), 111-114, 2012, 査読有

李鴻, 清水克之, 北村義信, 東條雅行, チェックダムにおける塩類集積と地下水位変動. 水土の知, 80(2), 7-10, 2012, 査読有

〔学会発表〕(計 8 件)

KUME Takashi, Analysis of Heterogeneous Distribution of Soil Salinity in an Irrigated District in Xinjiang Uygur, China, International Conference of Environment and Rural Development, 2015 年 3 月 7 日, ポホール州立大学(フィリピン・ポホール)

SHIMIZU Katsuyuki, Soil salinization and its mechanism on check dam farmlands in the Loess Plateau, China, JIRCAS International Symposium on Soil Environment and Crop Production, 2014 年 11 月 28 日 秋葉原コンベンションホール(東京都)

山本忠男, 環境変動に対するレジリエンス強化からみた乾燥地農業の持続可能性, 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 28 日, 朱鷺メッセ(新潟・新潟市)

久米崇, 乾燥地域における灌漑農地の塩性化に対するレジリエンス, 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 28 日, 朱鷺メッセ(新潟・新潟市)

清水克之, 社会体制の変化による灌漑面積の減少とその後の回復-カザフスタンにおける水稻-畑作物輪作システムの事例-, 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 28 日, 朱鷺メッセ(新潟・新潟市)

YAMAMOTO Tadao, Verification of the water supply rules in an arid area - case study of the Xayar irrigation

district in the northern part of the Taklamakan Desert -, Sustainable Irrigation 2014, 2014 年 6 月 19 日, Novotel Poznan Centrum Hotel (Poland, Poznan)

山本忠男, タクラマカン砂漠北縁地域の灌漑における配水ルールの検証, 農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 20 日, 東京農業大学(東京都)

山本忠男, タリム盆地北縁地域における灌漑の実態, 農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 19 日, 東京農業大学(東京都)

〔図書〕(計 3 件)

YAMAMOTO Tadao, Abdislam Jalaldin, NAGASAWA Tetuaki, Verification of the water supply rules in an arid area - Case study of the Xayar irrigation district in the northern part of the Taklamakan Desert -, Irrigation and Drainage, Witpress, 2014, 1-9

北村義信, 清水克之, 天水を集めて各種用水に使う「ウォーターハーベスティング」, 乾燥地を救う知恵と技術 砂漠化・土地劣化・干ばつ問題への対処法, 丸善, 2014, 46-49

YAMAMOTO Tadao, Abdisalam Jalaldin, NAGASAWA Tetuaki, Factors responsible for the effective introduction of water-saving irrigation facilities in the Tarim River Basin Sustainable Irrigation and Drainage IV, Management, Technologies and Policies, Witpress, 2012, 245-253

〔産業財産権〕

該当無し

〔その他〕

該当無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 忠男 (YAMAMOTO, Tadao)  
北海道大学・大学院農学研究院・講師  
研究者番号: 00312398

(2) 研究分担者

清水 克之 (SHIMIZU, Katsuyuki)  
鳥取大学・農学部・講師  
研究者番号: 10414476

久米 崇 (KUME, Takashi)  
愛媛大学・農学部・准教授  
研究者番号: 80390714