

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（海外）

研究期間：2009～2011

課題番号：21405031

研究課題名（和文）

中国西北地域の持続的農業と農業水利システムの構築に関する実証的研究

研究課題名（英文）

Empirical study on constructs of sustainable agriculture and agricultural water management system in northwest of China.

研究代表者

長澤 徹明 (NAGASAWA TETUAKI)

北海道大学・名誉教授

研究者番号：30002067

研究成果の概要（和文）：

本研究では、タリム河流域の水土保持を目的として、農業水利の把握と問題の提起、塩類集積の発生要因と対策について検討した。その結果、この地域の灌漑における配水管理の合理性を確認し、水不足対策としての節水灌漑の実践における問題点を明らかにした。また、現在の湛水灌漑の継続が塩類集積を加速させる可能性を指摘し、対策方法を示した。さらに広い灌漑域における塩類収支では、ナトリウムが流出傾向にあることが認められた。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we examined the water management issues based on present condition, and the mechanisms of soil salinization and its measures, for the purpose of soil and water conservation in Tarim River Basin. As results, we confirmed that the agricultural water distribution is rational system and the water saving irrigation systems have some problems. In addition, the continuous of border irrigation have possibilities to accelerate soil salinization. And sodium tends to flow out from irrigation district in the view on salinity balance.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業土木学・農村計画学

キーワード：農業水利，塩類集積，環境保全，乾燥地農業

1. 研究開始当初の背景

タリム河流域では、降水量が絶対的に不足する土地で継承されてきた従来の伝統的農地基盤を近代的技術によって拡張し、用水はタリム河本支流から取水するようになった。伝統的水土利用秩序が乱れたことで、水不足の深刻化や土壌の塩性化が問題となってきた。

た。この地域の水資源のおおくは天山山脈とパミール高原の融雪融氷水であり、年間の河川流量は基本的に限定されている。その水資源を流域全体が慣習的取水方法で利用し、また流域生態は河川水によって涵養されてきたが、上中流の取水がこれらを攪乱するに至っているのである。現実の地域社会では、水

資源量偏在に起因する生態環境問題の顕現、非合理的灌漑技術による大規模な塩害、それを主因とする砂漠化、そして農地排水によるタリム河本支流の水質劣化、などの諸問題が突きつけられており、長期的課題とは別に喫緊の打開策を必要としている。

2. 研究の目的

・タリム河流域の水土利用のうち、制度や管理の実情はおおよそ把握できたが、灌区内の上流域と下流域、あるいは用水系統の取水地近傍と末端、などの取水規則とその実態を把握して問題点を整理し、現行の用水管理の妥当性を検証する。

・圃場への用水供給のかたよりがウオーターロギングや塩類集積など、圃場環境劣化の原因となっていることが予想されたが、なお詳細な要因分析を加えて劣化の抑制とリハビリテーションの方途を検討する。

・この地域では塩類集積農地が広く展開しており、流域規模での持続的な水土利用のためには、圃場レベルはもとより流域レベルでの塩分の動態も考慮する必要がある。そこで調査灌漑地区を対象に水収支と塩分収支について検討する。

3. 研究の方法

(1) 農業水利に関する調査

- ①タリム河流域の気象・水文データの収集
- ②重点調査灌漑地区に水位計の設置: 用排水路・地下水位データの収集
- ③水管理に対するヒアリング調査

(2) 塩類集積に関する調査

- ①調査対象圃場における土壌水分調査
- ②土壌の物理性ならびに化学性の調査

(3) 水土の持続的利用に関する調査

- ①河川ならびに用排水路、圃場における土壌水の水質分析
- ②タリム河上流/下流における灌漑と地域環境に関する現地調査

4. 研究成果

(1) 灌漑における配水管理の妥当性

タリム河流域では、近年、農業生産が増加する傾向にある。この要因には品種改良や施肥技術の進歩、農業機械の導入と大型化などが考えられるものの、根本的には農地開発の影響が大きいと云えよう。しかしながら慢性的な水不足の地域が広く展開しており、農地開発による水需要の逼迫はこれまで以上に大きな問題となっている。そのため新しい水資源が確保されない限り、営農や配水管理による対応のみが水不足の対処方法となっている。本研究では、水不足問題を抱えるタクラマカン沙漠北縁地域のシャヤ灌区を対象に配水ルール of 適応状況を把握し、この地域の農業水利における配水管理の妥当性と課

題を検討した。

①シャヤ灌区における配水ルール シャヤ灌区では、幹線水路から郷や村レベルまでの配水を行政(水利局)主体でおこなっており、ほぼ供給主導型の水管理がなされている。基本的には作物ごとの要水量と作付面積に応じた灌漑水量が公平に分配される。しかし、水不足が厳しい場合、すべての用水需要を満たすことはできない。そのため優先すべきルールがある。播種期と生育期の灌漑では、(i)上流優先、(ii)水路の送水損失を考慮して大規模な水路(灌漑ブロック)を優先、といったルールがある。さらに、冬季灌漑(播種期の要水量を保障する目的)では、(iii)下流優先(播種期の優先順位が低いことへの補償)、(iv)コムギ作付圃場・30年(50年)請負農地を優先(自給的作物の確保)、などがある。

②県レベルにおける配水管理の状況 1998-2008年の幹線用水路の月別総用水量をもとに最小値(渇水時)を示す年を抽出し、そのときの各郷鎮への供給水量を確認した。国営農地開発がなされた新墾農場では総じて供給水量が多い。それ以外の郷鎮をみると、生育期の渇水時には最上流の郷鎮で供給水量が多い傾向を、冬季には下流の供給水量が多い傾向を示した。また、播種期や秋季には明確な傾向はみられないものの、必ずしも上流優先ではなかった。このことから、水不足のときに上流を優先するルールは、生育期の5-9月に限定し、それも最上流に位置する郷を優先するものと考えられる。

③ノルバック郷における配水管理の状況 2008-2011年の郷内の主要な用水路(3本)の用水量と郷内各村への供給水量から配水管理状況を把握した。その結果、生育期の灌漑では、下流の受益地(面積小)に通水する用水路より、上流の受益地(面積大)に通水する用水路で優先性が認められた。一方、冬季灌漑における下流側の優先性はみられなかった。また、観測期間中の渇水年(2009)でもコムギへの供給水量は平年並みであることから、コムギ作付への優先性が確認された。各水路の上下流に位置する村への供給水量をみると、供給水量の多い水路では水路規模とコムギの優先性が認められたものの、播種・生育期の上流優先性や冬季灌漑の下流優先性は明確でなかった。一方、供給水量の少ない水路では上流優先性や冬季灌漑の下流優先性は確認されたが、コムギの優先性は認められなかった。渇水時であっても基本ルールが厳守されないのは、その時々々の圃場の作物生育状況に関する情報や灌漑履歴等が考慮されるためと考えられる。

(2) 持続的な農業水利に関する検討

①一般的な灌漑における課題 ダムの築造によって灌漑面積は増加したものの、一方で

灌漑の自由度の高まりは水資源が十分にあるとの錯覚を引き起こし、耕地面積の増加を容認することとなった。そのため、水不足を解消するには至っていない。これは、農地開発（土地管理行政）と水資源開発（水利行政）の不十分な調整に起因する慢性的な水不足であり、限られた水資源の合理的な配分が課題となっている。また、頭首工では計画用水量に見合った取水がなされているものの、末端水路ほど土水路が多いことから搬送効率が低く、圃場への供給水量が絶対的に不足している（YAMAMOTO TADAO et al., 2010）。このような状況下では、農民は供給が計画用水量（作物ごとに定められた回数・量）に満たないことを想定している。そのため、個別の圃場への灌漑時には適量を超えて取水する傾向にあり、その結果、ほかの圃場（灌漑ブロック）への用水供給量が不足するという悪循環に陥っている（T. Yamamoto et al., 2010）。

②節水灌漑における課題 節水灌漑の導入以降、夏季の河川からの取水量は減少する傾向にある（山本ら, 2010）。節水灌漑施設の整備・管理主体には個人（資本金家）と共同（一般農民）の大きく2つのケースが存在する。共同利用型節水灌漑施設は、複数の一般農民で構成されるグループを対象に国の補助によって整備した施設である。なお、共同利用型においても、初期投資の負担を要する整備と全額国費負担の整備が存在する。これらの管理主体の違いは節水灌漑の成否に強く影響し、共同利用型の場合は必ずしも維持管理が適正でないことが明らかとなった。共同利用型の場合を対象にゲーム理論を適用し、その問題点を検討した。その結果、節水灌漑の導入によって可能となる水費の削減や収量増大による収益の増加よりも、労働力や維持管理に費やすコストが大きいことが示された。共同管理の節水灌漑施設の効果的な利用・普及には、従来の2倍以上の収量増加、あるいは水費の大幅な値上がりといった要件が必要であると考えられる。

③持続的な灌漑農業の要件 この地域における水不足の原因には、行政における問題、水路のライニングといったハード面の課題、農民の節水意識の欠如といったソフト面の課題などがある。また節水灌漑の導入によって水不足に対処する方策がとられているものの、運用面での課題がある。行政的な課題としては、縦割り行政から統合的な計画・事業実施を行うための機関内調整の充実が必要であろう。またそれ以外の諸問題の対応には、他の省ですでに導入されている住民参加型水管理方式（農民用水戸協会）の速やかな導入が望まれる。今回、検討対象とした地域では灌漑に起因する塩類集積も問題となっており、それらの対策としての灌漑方法の改

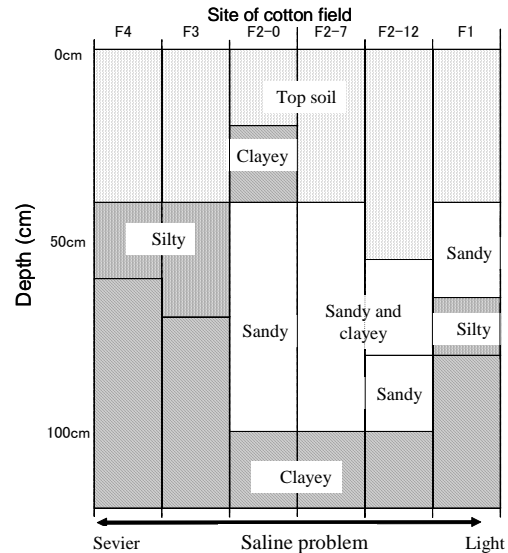


図1 土壌断面と塩害（神谷, 2009）
(Soil profile and saline problem)

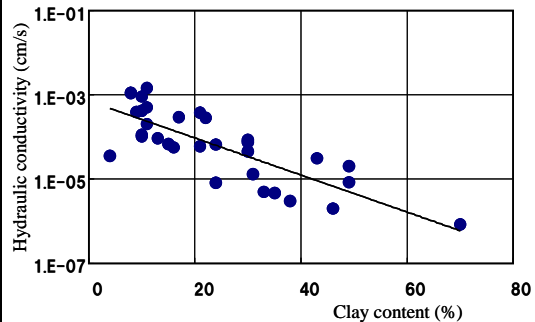


図2 透水係数の範囲 (Range of hydraulic conductivity)

善や地下水位低下を期待した地下水の有効利用なども、水資源の確保と併せて重要な対策と考えられる。

(3) 塩類集積の発生と抑制に関する検討

調査を行った新疆ウイグル自治区シャヤ県はタリム河支流オゲン河の沖積平野に位置する。土壌は過去の繰り返しの氾濫により、粘土分の多い細粒層と砂分の多い粗粒層が成層化している。年降水量が 50mm 未満であるため、灌漑が必須である。灌漑水は天山山脈からの流出水を用いており、幹線用水の電気伝導度は約 0.5 dS/m である。この地域に広く分布する綿花畑では、1 枚の畑の中でも塩害の強弱がパッチ状に分布する。そこで、いくつかの綿花畑を対象とした土層構造、透水性、塩類濃度と綿花の生育の調査結果をもとに、現行の湛水灌漑を続けることにより塩類が集積される可能性が高いことを指摘した。

①重点調査圃場の物理化学性 綿花畑の土壌断面と綿花の生育状況は図1に示すように、下層土が細粒質なほど生育は悪い傾向にあった。また、1 筆の畑のなかで生育の悪い場所では 0-45cm の飽和抽出液の電気伝導度 (ECe) は綿花の生育限界の 8 dS/m を超え、最大で約 20 dS/m であった。一方、生育が良い

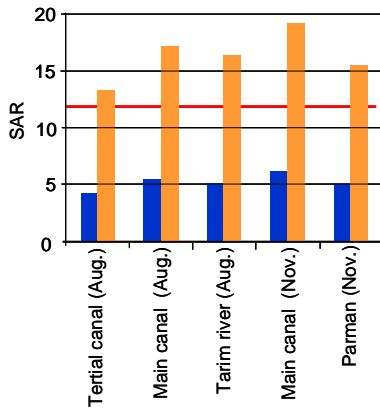


図3 灌漑水のSAR (Irrigation water SAR. Right bar indicates 10 times concentration)

場所のEC_eは0-5cmでは約5 dS/m, 10-15cmでは8 dS/mと深くなるにつれて増大した。

室内透水試験では図2のように、透水係数は粘土含量によって大きく異なった。一方、湛水灌漑の現地調査では、14筆の浸入速度は $3 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$ cm/sであり、透水試験で見られた小さな浸入速度はなかった。灌漑水の水質はナトリウムが主体であり、ナトリウム吸着比(SAR)は、図3の左側の棒グラフのように多くの灌漑用水で約5であった。

②塩害のモデル化 綿花畑は透水係数の異なる粗粒層と細粒層が成層化しており、水と塩の移動は図4のように生じていると考えた。灌漑による下方浸透流は粗粒層を優先的に流れ、蒸発散に伴う上昇流では粗粒層、細粒層とも同等に寄与すると考えた。

③除塩の可能性とアルカリ化の危険性

粗粒層と細粒層の透水性の違いから粗粒層では除塩が行われていると考えられる。しかし、このまま従来の湛水灌漑を続けた場合、透水性の小さな細粒層の塩濃度はどのように変化するのだろうか。水と塩の収支から、塩類化、ナトリウム化について考察した。湛水灌漑を継続し、土層中の塩が平衡に達したときの細粒層のEC_eは次のようになる。

$$EC_e = \frac{\theta_{fc}}{\theta_s} \times \frac{1}{l_r} \times EC_{iw} \quad (i)$$

ここで、 θ_{fc} は圃場容水量の体積含水率、 θ_s は飽和体積含水率、 l_r は深部浸透量を灌漑水量で除した値、 EC_{iw} は灌漑用水の塩濃度(dS/m)である。つぎに、モデルにより、降下浸透水は粗粒層を優先的に流れるので、灌漑水のうち細粒層を流れる流量の割合を f とし、粗粒層を流下する水質は灌漑水と同じと仮定すると(1)式は、

$$EC_e = \frac{\theta_{fc}}{\theta_s} \times \frac{1}{l_r f} \times EC_{iw} \quad (ii)$$

となる。また、年平均の細粒層の溶液濃度を c_o (mol/L)、年平均体積含水率を θ_o 、灌漑水の濃度を c_{iw} (mol/L)とすると、(ii)式は

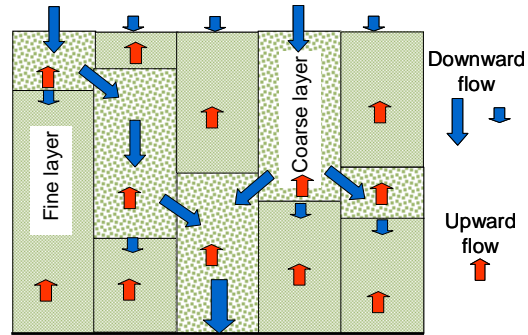


図4 塩害のモデル化 (Model of salinization)

以下のように書くことができる。

$$c_o = \frac{\theta_{fc}}{\theta_o l_r f} \times c_{iw} \quad (iii)$$

(ii)式の $EC_e = 4$ dS/mが塩類化の閾値となる。また、灌漑水の溶質濃度が10倍に濃縮されると、図3の右側の棒グラフに示すようにSARは12を超える。そこで、これらの値が生じる条件を考察した。灌漑水量は現地調査より約900 mm、水分特性曲線からは、細粒層の θ_s と θ_{fc} は $0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ で近似でき、 θ_o は圃場で採土したときの平均値 $0.30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ を用いれば、(ii)式からは、 $l_r f = 0.125$ 、(iii)式からは $l_r f = 0.133$ が得られる。年間の実蒸発散量は得られていないが、これを計画灌漑水量540 mmとみなすと、 $l_r = 0.4$ となる。したがって、 f は約1/3となる。つまり、深部に浸透した360 mmの水量のうち1/3が細粒層を、2/3が粗粒層を流れると、細粒層の $EC_e = 4$ dS/m、 $SAR > 12$ になる。また、 $EC_e = 8$ dS/mの畑では、深部浸透水の84%が粗粒層を流下したことになる。粗粒層と細粒層の透水性の大きな違いがあることから、このような現象が実際に生じていると考えられる。

細粒層の EC_e とSARの上昇を抑制するには3通りの方法が考えられる。第1は灌漑水量を増やして l_r を大きくすることであるが、これは、水の無駄使いと地下水位の上昇に結びつく。第2は、従来の湛水灌漑を止め、点滴灌漑のような非湛水の浸透で灌漑を行うことである。そして、第3は、畑の作土の透水性のバラツキを少なくするような深耕と作土の水平移動を行って、透水性の均一化を図ることである。

(4)水収支と塩の移動に関する考察

この地域では農地の約8割で塩類集積が発生していると云われている。また、タリム河の下流ほど河川中の塩分濃度が高くなるのが知られている。これらは灌漑農業の進展(=水の移動)によって引き起こされるものと考えられる。そのため流域規模での持続的農業のためには、水利用と塩分の移動状況を把握し、適切な対策を講じる必要がある。

これまで、圃場や灌漑ブロックレベルでの塩類集積対策については多くの研究があるものの、広域での塩分の動態に関する研究は少ない。本研究では、流域（灌区）規模での水・塩類収支の把握をとおして、乾燥地における灌漑農業が塩類移動に与える影響を検討した。地域内の水収支の推定には、水利局からの取水量・排水量データ（2007-2011.8）を用いた。年間の水収支に関して、蒸発散量は可能蒸発散量（2000mm/y）×0.1と仮定し、降雨量は平均降雨量43mm/yとした。取水量と降雨量の和から排水量と蒸発散量の和を差引いた量を、深層への浸透量とした。塩類収支は、用水・排水の各月別流量とそれぞれの水質の平均濃度より推定した。

①灌漑に伴う水収支の推定 3月、夏期、11月は水需要が高まり取水量が多い。排水量は融雪期に多く、夏期に少ない。蒸発散量の季節変動が影響したと考えられる。年間の水収支から、流入水の約80%が地下深層に浸透していると推察された。2009年の取水量が少ない原因は、1-3月の高温、1-8月の少雨による供給水量の相対的な減少によると考えられる。また、この地域におけるワタの目標灌水量は540mm/yであるが、節水灌漑実施地域全域で地下水からこの量を汲み上げていると仮定すると、地下浸透した水の1-2割程度が利用されたとみなせる。

②灌漑に伴う塩類収支の推定（表1） 各物質の濃度は、用水よりも排水の方が大きくなっており、土壌に元来塩が含まれている、もしくは灌漑・施肥により塩類の供給を受けていると考えられる。塩類の収支をみると、Na⁺は流出負荷が流入負荷を上回る流出型であったが、それ以外は流入負荷が流出負荷を上回る貯留型であった。Na⁺は、灌漑・施肥により供給されたとしても、植物に吸収されにくいために溶脱し、流出が大きくなったと考えられる。K⁺は、植物に吸収され易いために流出量が小さくなったと推察できる。Ca²⁺、Mg²⁺は、年により収支の傾向がばらつくものの、流入・流出負荷の差が小さかった。

用水・排水の水質をみると、EC・SARについて、用水は灌漑の限界とされる基準値を下回り、排水は値を上回る結果となった。下流でこの排水を利用する場合、塩害発生の可能性が高くなると予想される。

③土壌中の塩の動態 灌漑によるNa⁺の流出が示唆されたが、一方でこの流域内の土壌では下流ほど、また圃場の下層ほどNa⁺によるアルカリ化の促進が明らかとなっている。Na⁺の流出は、アルカリ化の抑制につながると考えられる。しかし、土壌中の塩類分布をみる限り、灌漑農業を継続するには十分な流出とは云いがたい。なぜなら、灌漑用水中のNa⁺濃度は相対的に高く、土壌中のNa⁺濃度を低下させることが難しいためである。これまで

以上に地域外への塩類の流出を促進するためには、より適切な有機物の施与によるNa⁺の土壌吸着性の低下と、深層への移動を抑制するための暗渠等の敷設が有効であると考えられる。

表1 塩類の収支

	Na	K	Mg	Ca
2007	17,125	16,072	12,470	12,559
2008	-37,752	12,968	-1,752	501
2009	-42,903	10,671	-4,153	-1,798
2010	-5,491	17,360	7,974	9,085
2011	-10,936	11,080	3,387	4,410
平均*	-17,256	14,268	3,635	5,087

※2011年は8月までのデータ *2007-2010の4年間の平均

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6件）

- ① Abdisalam Jalaldin, Yamamoto Tadao, Oikawa Taku, Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki; Influences of Agricultural irrigation on Regional Salinity Balance in Arid Areas of Northern China, International Journal of Environmental and Rural Development, 2012 (投稿中)
- ② 神谷光彦, 長谷川周一, 山本忠男, 長澤徹明; タクラマカン砂漠北縁地域の塩類集積と土壌の物理的性質, 地盤工学会誌 60 (1), 20-23, 2012, 査読有
- ③ Yamamoto Tadao, Hasegawa Shuichi, Kamiya Mitsuhiko, Abdisalam Jalaldin, Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki; Influence of Soil Salinization on Growth of Cotton in an Arid Area in Northwest of China, International Journal of Environmental and Rural Development 2(1), 19-24, 2011, 査読有
- ④ Yamamoto Tadao, Abdisalam Jalaldin, Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki; Land Reclamation and Water Management in an Arid Region: A Case Study of Xayar County in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China, Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies III, 3-14, WIT Press, 2010, 査読有
- ⑤ 山本忠男; 塩類集積対策における農業水利の課題, 中国新疆ウイグルの環境に関するシンポジウム論文集 9, 29-34, 2010, 査読無
- ⑥ Yamamoto Tadao, Abdisalam Jalaldin, Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki; The Present Condition and Problem of Agricultural water

Management in the Northern Part of Taklamakan Desert , International Journal of Environmental and Rural Development 1(1), 50-56, 2010, 査読有

[学会発表] (計7件)

- ① Abdisalam Jalaldin, Yamamoto Tadao, Oikawa Taku , Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki ; Influences of Agricultural irrigation on Regional Salinity Balance in Arid Areas of Northern China, 3rd International Conference on Environmental and Rural Development, 2012.1.21 (Khon Kean, Thailand)
- ② 山本忠男, 長澤徹明, 阿布都沙拉木 ; タリム河流域における灌漑農地の水管理体制にみる現状と課題, 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011.9.8 (福岡市)
- ③ Yamamoto Tadao , Hasegawa Shuichi, Kamiya Mitsuhiro, Abdisalam Jalaldin, Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki ; Influence of Soil Salinization on Growth of Cotton in an Arid Area in Northwest of China, 2nd International Conference on Environmental and Rural Development, 2011.1.8 (Phnom Penh, Cambodia)
- ④ 山本忠男, 阿布都沙拉木, 艾尼瓦爾, 長澤徹明 ; タクラマカン砂漠北縁地域における節水灌漑の導入効果, 平成22年度農業農村工学会大会講演会, 2010.9.1 (神戸市)
- ⑤ Yamamoto Tadao , Abdisalam Jalaldin , Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki ; Land Reclamation and Water Management in an Arid Region : A Case Study of Xayar County in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China, Sustainable Irrigation 2010, 2010.6.8 (Bucharest, Romania)
- ⑥ Yamamoto Tadao , Abdisalam Jalaldin , Anwaire Maimaidi and Nagasawa Tetuaki ; The Present Condition and Problem of Agricultural water Management in the Northern Part of Taklamakan Desert , 1st International Conference on Environmental and Rural Development, 2010.3.4 (Phnom Penh, Cambodia)
- ⑦ 栗原 望, 山本忠男, 長澤徹明 ; 半乾燥地における灌漑農業の課題-新疆ウイグル自治区・シャヤ県を事例に, 第58回農業農村工学会北海道支部研究発表会, 2009.10.9 (札幌市)

[図書] (計0件)

[産業財産権]
○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長澤 徹明 (NAGASAWA TETUAKI)
北海道大学・名誉教授
研究者番号: 30002067

(2) 研究分担者

波多野 隆介 (HATANO RYUSUKE)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 40156344
井上 京 (INOUE TAKASHI)
北海道大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 30203235
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
長谷川 周一 (HASEGAWA SHUICHI)
北海道大学・名誉教授
研究者番号: 10333634
(H22→H23 連携研究者)

(3) 連携研究者

神谷 光彦 (KAMIYA MITSUHIKO)
北海道工業大学・名誉教授
研究者番号: 60001997