

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006-2007
 課題番号：19405035
 研究課題名（和文） 半乾燥地における水土利用の変容と地域環境の保全に関する研究
 研究課題名（英文） Conservation on regional environment in semi-arid area
 by transfiguration of water management and landuse
 研究代表者
 長澤 徹明（NAGASAWA TETUAKI）
 北海道大学・大学院農学研究院・教授
 研究者番号：30002067

研究成果の概要：

本研究では、半乾燥地域の持続的農業のために、適正な水土利用と管理に関する提言をおこなうことを目的とし、タリム河流域の農業水利と塩類集積の発生要因について検討した。その結果、この地域特有の農業水利の現状がある程度把握できた。特に冬季灌漑の特殊性が明確となった。また、塩類集積の発生についても、従来、この地域で云われていた高い地下水位を原因とする説とは異なる要因の予測ができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2008 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
年度			
総計	11,000,000	3,300,000	14,300,000

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：タリム河、塩類集積、農業水利、環境保全、持続的農業

1. 研究開始当初の背景

タリム河流域における環境問題の本質は、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ことで、伝統的水土利用秩序が変容したことにある。すなわち、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、また流域生態は河水によって涵養されてきたが、上中流の取水強化がこれらを攪乱するに至ったのである。

さらに深刻な問題として、温暖化に由来するとの議論もある山岳氷河の縮小があげられるが、地球規模での気候変動は予断を許さず、水資源の枯渇と農業生産の関係を議論することは本研究の目的から一応除外する。そして、生物生産の基盤を保全し、社会の安定と福祉の向上を図るための農学、とくに農地工学上の視点からこの問題を考えたい。なぜなら、氷河が縮小するしないの議論とは別に、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からである。

経済発展の著しい中国は, 環境問題も又深刻化の一途をたどり, わが国にとっても「対岸の火事」と傍観することはできない。一衣帯水の隣国の環境問題は, 物理的にも社会経済的にもわが国に波及するとともに, 地球環境問題としても影響は小さくないものと考えられる。

今回の科学研究費補助期間に自費による研究交流期間を加えると, 足かけ6カ年の学術調査を重ねてきた。この間, タリム河上中流における大量取水が下流の断流をもたらす, 生態環境を劣化させている現状と回復の試みにかかわる実態を調査した。また, 中流域の代表的灌漑地区であるオゲン灌区を対象とし, 河川取水, 灌区内配水, 農地配水, 水資源の河川還元, 農地圃場の水分環境と塩類集積等の実態を把握することに務めた。そうしたなかで, 用水管理の不合理性に起因する圃場水環境が塩類集積の一要因になっている実態が明らかになりつつある。

2. 研究の目的

このような研究背景のもと, 本研究では以下の点に着目して研究をすすめてきた。

- ・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, さらに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。

- ・現行の用水管理は「供給主導型」となっており, 許可された期間中は栽培管理上の需要に関係なく「取れるだけ取る」のが慣行となっている。こうした状況は合理的な水管理とは言い難く, 水資源の有効利用にそぐわないばかりか圃場基盤の水環境にも問題が発生する。そこで, 「需要主導型」の水管理体制整備を想定(シミュレーション)し, それに対する課題解決の道筋を日中共同の検討項目として位置づける。

- ・タリム河周辺は, 本流の流況変化によって生態系が劣化しており, 自治区政府による回復のための検討が進められている。この取り組みに対する農業利水の影響を評価し, 生態系回復に関する農業的水土利用のあり方について考察する。

これらの研究を通じて, タリム河流域の水土利用と地域生態・環境保全の両立に関するシナリオが描ければ, 他の半乾燥地域にとっても意義あるものと期待される。

3. 研究の方法

調査対象とした沙雅県はタリム盆地北縁, タリム河上流の支流河川オゲン河の下流域に位置する(図1)。この地域の主要作物はワタであり, 灌漑用水はオゲン河上流のキジルダムに依存する。キジルダムに水源を依存している灌区は, 沙雅県(灌区)のほか, 庫車県(灌区)と新和県(灌区)であり, 行政界と灌区が一致している。沙雅県内のオゲン河の用水受益地には, 上流より红旗鎮, 英买力鎮, ノルバック郷, 海楼郷, 沙雅鎮, 新墾農場, 古力巴克郷, 托依堡鎮が位置している。

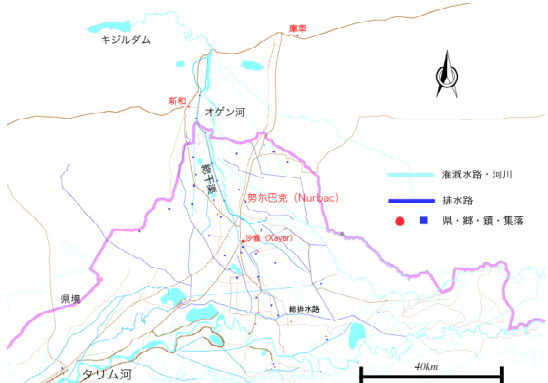
灌漑農業の実態を把握するために, 沙雅県水利局, その出先機関であるノルバック水管站, および地域の農民・農業関係者への聞き取り調査を実施した。また, 水利局より沙雅県の灌漑水量の1998年から2008年8月までのデータ, 2007年の県内各郷鎮の農地面積等に関するデータの提供をうけた。

灌漑状況の把握と塩類集積の要因とされる地下水水位の変動把握について, 重点調査地をノルバック郷に設け, 地下水水位と土壌水分の連続観測をおこなった。

灌漑によるリーチング効果を検討するために, 灌漑前後に土壌サンプリングを実施し, 塩類の分析をおこなった。

塩類集積と作物生育の関係を把握するために, シャヤ県ノルバック郷の調査圃場において, 観測線を設け, 草丈の測定と土壌サンプリング(EC測定)をおこなった。

塩類集積のメカニズムを検討するために, 現地の土壌をサンプリングし, 塩類濃度を測定した。現地調査は, 2007年6月, 8月,



11月, 2008年3~4月, 8月, 12月の6回実施した。

図1 調査地概要

本研究をすすめるにあたり, 以下に記する中国国内の研究者ならびに行政関係者には, 研究協力者として, 協力いただいた。阿布都沙拉木(46) 新疆大学・資源与環境科学院・助教授, 姜卉芳(50) 新疆农业大学・水利与土木工程学院・教授, 劉志輝(49) 新疆大学・資源与環境科学学院院长・教授, 陳

巫寧 (49) 中国科学院・新疆生態与地理研究所・教授, 凱色爾 (47) 新疆水利庁・副総工程師, 伊力哈木 (38) 新疆水利庁・農水処・副処長 (工程師), 安外爾 (39) 新疆ウイグル自治区シャヤ県水利局・副局長 (工程師)

4. 研究成果

(1) シャヤ県における用水管理

ここでは, オゲン灌区に位置するシャヤ県を例に水利局の管理内容と水費について述べる。

県内の農業水利施設の維持管理主体は県の水利局である。水利局は, オゲン河管理处 (オゲン河の用水管理) への取水量の申請と結果を報告する。また, 管轄の各水管站 (事業所) への水量配分, 灌漑施設の管理, 維持補修などを行っている。水利局は, 総干渠 (幹線用水路) の送水量を灌漑面積割で各郷 (鎮) の干渠に分水し, 同時かつ連続配水する方式を採っている。水管站は, 支渠と支渠以下の用水路に輪番送水を実施し, 各村への送水が公平に行われるよう管理することが義務づけられ, 各村全体の灌漑が完了されるまで灌漑用水を供給する責任を負う。

(2) シャヤ県における灌漑の実態

タリム河流域の灌漑水源の多くは, 山岳水河に由来するものであり, そのため夏季に灌漑水量が増加し, 冬季は減少する。オゲン灌区でも, キジルダムが灌漑水源となっているものの, 流入水は夏季に集中することから, 基本的な灌漑水量の変化は同様である。図 2 にシャヤ県 (シャヤ灌区) の月別灌漑水量 (1998-2007 年の平均) を示す。これより, 灌漑水量の季節的な偏重が明らかである。一年のうち7月の灌漑供給水量は最大で, 次いで8月の値が高い。これは, 作物生育のための灌漑であり, 供給水量も多い。3月と11月にも供給量が多く, 3月は播種のため, 11月はコムギへの灌漑が実施されている。冬季の12月においても灌漑がおこなわれているが, これは冬灌漑の実施にともなうものである。1月はダムへの流入量が減少することと, 厳寒期にあたるため基本的には灌漑をおこなわない。1~6月までは, 各郷鎮の積算灌漑水量より, 竜口分土工での供給量が多く, 7~12月では供給量より, 積算灌漑水量が若干上回っている。

7~12月に竜口分土工の供給量より, 積算灌漑水量が多い原因として, 幹線水路の一部が土水路であり, また周辺農地よりも標高が低いため, 地下水を介して, 灌漑水の一部が幹線水路に復帰していることが推察される。いっぽう, 1~6月に同様の傾向がみられない原因としては, 6月までは地下水を涵養し, 水路へ伏流するほどの灌漑がおこなわれて

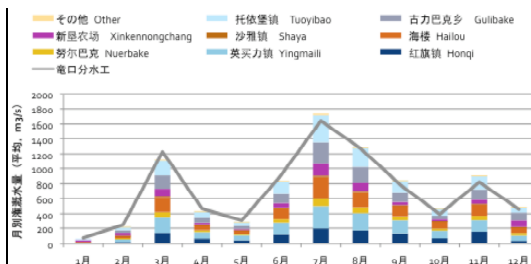


図 2 シャヤ県の月別平均供給水量

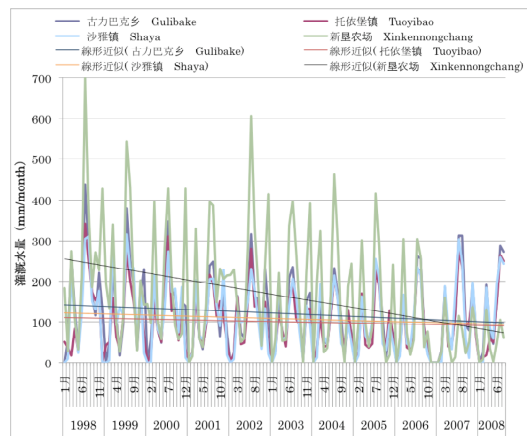


図 3 郷・鎮の月別供給水量の変化

いないことが考えられる。

1998年から2008年8月までの各郷鎮への月別供給水量 (mm) の変化の一例を図 3 に示す。この結果, 新墾農場を除く郷鎮では, 単位面積当たりの供給水量は僅かに減少傾向にあるが, ほとんど変化が無いに等しい。いっぽう, 新墾農場では, 徐々に灌漑水量が減少する傾向が顕著であった。この地域では節水灌漑が 2007 年より計画的にすすめられているが, 新墾農場ではそれよりも先行して節水灌漑がおこなわれている。現在, 地下水を利用した節水灌漑の場合, 水費の負担は無い。そのため節水灌漑をすすめることによって水費の抑制というインセンティブがはたらく。すなわち, 今回の結果は, 節水灌漑の推進が幹線用水からの供給量減少につながったものと云える。他の郷鎮で同様の傾向がみられない原因としては, 節水灌漑のための施設管理を主体的におこなえる技術レベルに無いこと, 整備のための経済的負担が大きいことが挙げられる。

(3) 塩類集積が作物生育におよぼす影響

生育の悪い 40 m 地点の A ラインにおいては図 4 に示すように, 裸地化した部分があり, ワタの草丈も均一ではない。一方, 生育の比較的均一な 12m 地点の B ラインでは裸地部分はなく, 草丈に 10cm 近く差はあるものの比較的均一であった。ワタはビートやアルファルファと並んで耐塩性の作物で, 8 dS/m までは良い収量が得られる。

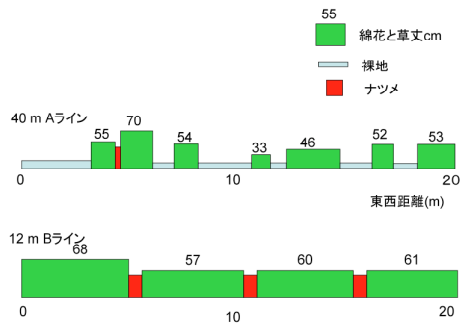


図4 F2 圃場のワタの生育状況

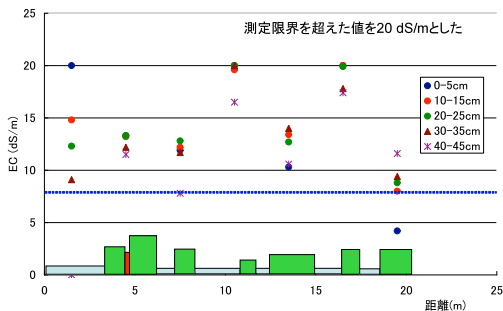


図5 Aライン（生育不良地）のEC

AラインのECをワタの草丈と対応させて図4に示す。場所によってはECメータの測定限界である20 dS/mを超えることがあったので、この場合は一律に20 dS/mとして図に示した。裸地化した箇所では、特に浅い部分のECは20 dS/mを超えている。図にはワタが良好に生育する限界である8 dS/mの線を入れた。一番西側の地点を除くと、Aラインでは全ての地点、深さでこの限界を超えていることがわかる。また、必ずしも全てではないが、浅いほどEC値が高い傾向にあり、蒸発により塩が地表に集積したことを示している。一方、ワタの生育が比較的均一であったBラインでは、EC値は同一地点でも深さによりバラツキが大きい、EC値は15 dS/mを超えることがなかった。また、0-5 cmのEC値は1地点を除くと限界値の8 dS/m未満であり、10-15 cmでは多くが限界値付近にあり、深くなるにつれてEC値が大きくなる傾向にあった。BラインではAラインと異なり、灌漑水による溶脱の効果が土面蒸発による塩類集積の影響よりも強かったと判断できる。

2008年8月に近隣の14筆の畑で実施した灌漑では、灌漑量の最大は250 mm 最小は100 mm 未満であり、平均は145 mmであった。そこで、145 mmの灌漑がF2の塩害を受けている場所に行われた場合、浸透水のECが8 dS/mに低下する深さを求めると53 cmになる。生育可能な根群域が50cm以上確保できることになる。しかし、145 mmの灌漑量は適切かと

いう問題は別である。

(5) 圃場灌漑作業の実際と圃場内および圃場間の灌水均等性

約20筆の圃場からなる調査ブロックにおいて、灌漑時にインテークレートを調査し、灌漑水量の計算結果から、すべてのトウモロコシ圃場でマルチがなされている条件での値であるが、圃場ごとに大きな差はなかった。灌漑水量は、100mm 未満～250mm とやや偏りがあった。水管員からの聞き取りでは、今回の灌漑水量の目安は20cmということであったから、水量の不足しているおそれのある圃場があることになる。

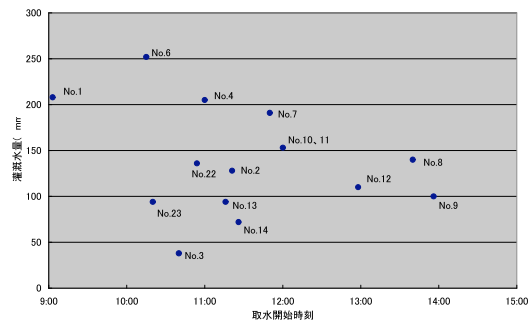


図6 取水開始時刻と灌漑水量

現在の灌漑水量の目視方法（スコップ目安）は比較的簡便な方法であり、水管員としても慣れていて利便性のある方法だと考えられる。それゆえ、現状では灌漑水量の不均等があるが、スコップ以外の新たな器具の利用に移行してまで、灌漑水量の均等性を向上させるのが適当であるとはいえないであろう。

図6は、圃場の灌漑開始時刻と灌漑水量の関係を整理したものである。今回の調査ブロックでは、灌漑開始の早いいくつかの圃場で灌漑水量が200mmを超えていたが、開始時刻が早く（午前中）ても、灌漑水量が100mm 未満の圃場もみられた。

(6) タクラマカン砂漠北縁地域の土壌構造に関する考察

全体的に見て粒度組成は、シルトが優勢な土質で、含まれる砂は0.25mm以下の細砂で構成されている。また、タクラマカン砂漠の砂も90%は細砂あり、風により淘汰されているもので、粒度組成より見ると調査地点の砂と同様と推定される。

各調査地点の粒度組成、電気伝導度（図7）および地下水位の変動を関連づけて考察すると、F1は上部の砂の含有量が多く、その下もシルト質であるため、浸透性が良く、灌漑用水による塩分の溶脱が容易であるため、電気伝導度は小さくなるものであり、また、地下水位も地表面下2.5～3.0mと最も低い。

F2-0の土層構成は20cmの作土の下に、43cmまで粘性土があり、それ以深は粘土含有量の小さい砂質層である、それゆえ、蒸発に伴って上昇した塩類が、灌漑による上部からの水の供給があっても、難透水性の粘土層よって溶脱されないため、塩類が上部に滞留して、電気伝導度が大きくなっている。また、地下水位もF1よりやや高い。すなわち、上部の粘土層の存在と地下水位の高いことが複合的に作用して塩類集積が生じたものと推定できる。

塩類集積被害の少ないF2-7およびF2-12についてみると、F2-7は53cmまでが作土で、以深の103cmは砂・粘土の互層となっているが、いずれの層とも粘土含有量が比較的大きく、電気伝導度もF2-0と類似の傾向を示している。F2-12は25cmまでが作土、63cmまでは砂・粘土の互層、それ以深は2層のシルト質土で構成され、上部の2層の粘土含有量が比較的大きく、電気伝導度も大きい、下部の2層はシルト質が優勢で、電気伝導度も深くなるに従い小さくなっていく。また、地下水位はF2-0よりやや低いと同様の傾向を示している。

塩類集積によって放棄された農地跡のF3は作土の下の35~67cmにF1と同様なシルト質が優勢な層があり、それ以深は粘土含有量の多い層で構成されている。そのため、重力水が粘土層の上部に停滞したため、塩の溶脱が進まず塩害に至ったものと思われる。

粘土含有率と透水係数の関係を図8に示

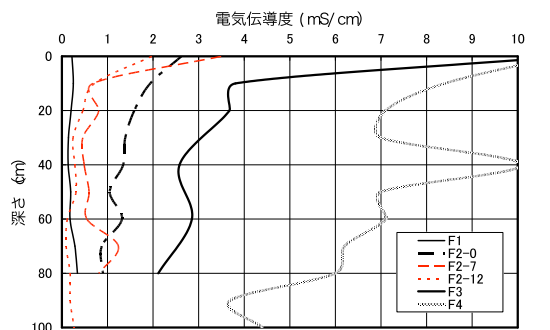


図7 深さ別の電気伝導度の分布

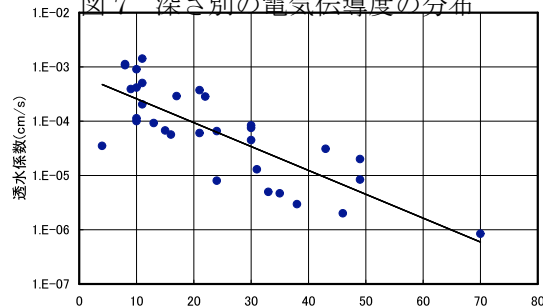


図8 粘土含有量と透水係数の関係

す。透水係数は粘土含有率の増加に伴って減少し、その相関も高い。それゆえ、調査地域

のように生因がほぼ同じ土質では、細粒の粘土含有率が透水係数を支配する因子となり、土の透水性に起因する塩類の移動が粒度組成により説明ができる。

(7) 塩類集積の発生要因に関する検討

この地区におけるこれまでの調査と前述した報告等から、この地区の水と塩類の移動には、以下の現象が関与していると考えられる(図9)。

a. 乾燥による塩類と水分の上方への移動

土壌中の水分は表土の乾燥によって、上方へのフラックスが発生し、それにともない塩類も上方に移動する。地下水位が十分に低い場合は、上方フラックスは小さいが、地下水位が高い場合や圃場が過湿な場合、毛管現象による水分の上昇移動のフラックスは大きい。また、下層に粘土層が存在する場合は、その層からの水分と塩類の供給がなされ塩類集積が促進する。

b. 灌漑による地下水への塩類の移動(リーチング効果)

灌漑による水の浸透にともない塩類は下方へ移動する。ただし、下層に粘土・粘質土が存在する場合には、透水性が低いいため水の下方移動は抑制される。また、粘土層は塩類

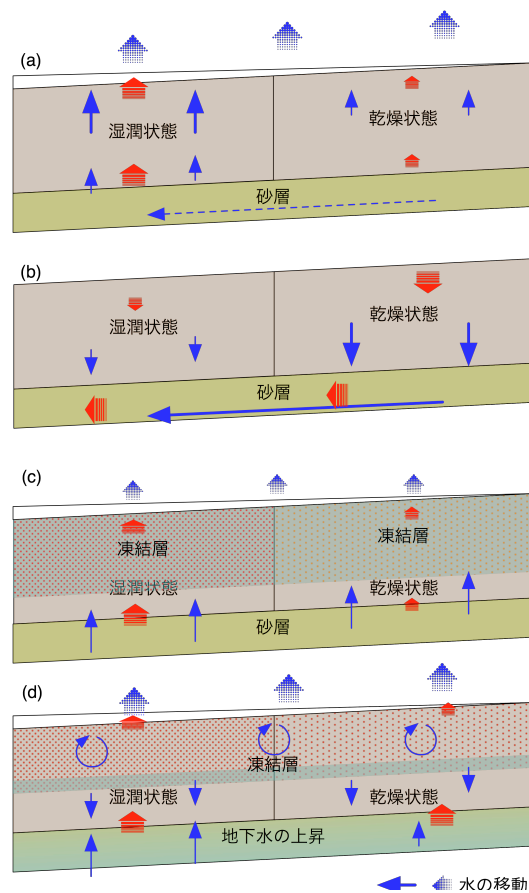


図9 塩類集積の発生メカニズム

を吸着する傾向にあることから十分なリーチング効果は得られにくい。

c. 土壌凍結にともなう地下水と塩類の上方への移動

土壌が凍結するに従い、凍結土層の下層に位置する未凍結土層から凍結土層へ水の移動が生じる。このとき、水とともに塩類が上方に移動し凍結層内に留まる。

d. 融解による、①表層から凍結土層間における土壌水分の飽和状態、②地下水位の急激な上昇と塩類の上方への移動

凍結土層の融解は、地表面と地下から進展する。凍結土層は難透水層となるため、凍結土層より上層では水の浸透が妨げられ、土壌水分が過飽和状態となる。また、凍結土層内に固定されていた塩類は土壌水中に拡散し、極めて高濃度の塩類を含む土壌水が保持される。いっぽう、土壌凍結層下では、下方への水の移動が生じ、地下水を涵養することとなる。

e. 地下水を介した用水路（上流）から排水路（下流）方向への塩類移動

地下の透水層の勾配によっては、単純かつ迅速な移動ではないと考えられるが、下層に移動した塩類は、上流から下流方向へ横方向に移動する。

さらに、この地域では冬灌漑という特殊な灌漑を実施しており、これが〈d〉の影響を助長し、融解時に表層部分に大量の水分が存在することとなる。すなわち、土壌水分の過飽和状態を形成し、土壌中の可溶性塩類が土壌水に溶出、あるいは土粒子から遊離し、高濃度の塩類を含む土壌水が生成される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ①. 神谷光彦・長谷川周一・長澤徹明・山本忠男・Abdisalam JALALDIN：タクラマカン砂漠北縁地域の土の粒度組成と塩類集積，地盤工学会北海道支部技術報告集，No.49，pp.125-130，2009，査読無し
- ②. 神谷光彦・長谷川周一・長澤徹明・山本忠男・Abdisalam JALALDIN：タクラマカン砂漠北縁地域の塩類集積と土の物理的性質，北海道工業大学研究紀要，Vol.37，pp.1-6，2009，査読有り
- ③. 山本忠男・長澤徹明・阿布都沙拉木・加拉力丁，タリム盆地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-，新疆ウイグルの環境変動に関するシンポジウム論文集，7，pp.23-31，2007，査読なし

〔学会発表〕（計 4 件）

- ①. 中村和正，タリム河流域シャヤ灌区における灌漑用水の管理，平成 20 年度農業農村工学会大会講演会，2008. 8. 26，秋田県立大学
- ②. 長澤徹明，タクラマカン砂漠北縁地域の農地における塩類集積の状況-半乾燥地の農業水利と塩類集積（1）-，平成 20 年度農業農村工学会大会講演会，2008. 8. 26，秋田県立大学
- ③. 山本忠男，タクラマカン砂漠北縁地域の農地における塩類集積の要因-半乾燥地の農業水利と塩類集積（2）-，平成 20 年度農業農村工学会大会講演会 2008. 8. 26，秋田県立大学
- ④. 山本忠男，タリム盆地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-，新疆ウイグルの環境変動に関するシンポジウム，2007.2.28，千葉大学

〔図書〕（計 1 件）

長澤徹明，山本忠男，千葉大学，中国新疆ウイグルの環境変動とその危機，2009（印刷中），4 章，6 章，7 章

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長澤 徹明 (NAGASAWA TETUAKI)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：30002067

(2) 研究分担者

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・助教

研究者番号：00312398

長谷川 周一 (HASEGAWA SHUICHI)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号：10333634

神谷 光彦 (KAMIYA MITSUHIKO)

北海道工業大学・工学部・教授

研究者番号：60001997

中村 和正 (NAKAMURA KAZUMASA)

(独) 土木研究所・寒地土木研究所・上席研究員

研究者番号：30414220

鶴木 啓二 (UNOKI KEIJI)

(独) 土木研究所・寒地土木研究所・研究員
研究者番号：90414226

(3) 連携研究者

なし