

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22254004

研究課題名(和文) タシケント地域の成長を支える水量・水質管理技術とマネジメント手法の確立

研究課題名(英文) Development of a management method and technologies on water which supports economic growth in Tashkent region

研究代表者

楠田 哲也 (Kusuda, Tetsuya)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：50037967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,500,000円、(間接経費) 10,050,000円

研究成果の概要(和文)：ウズベキスタンのチルチク川流域を対象に、観測地点数が少ない気象データを活用するために改良型ティーン法を案出した。また、観測データの精度が低い場合の対処法を検討しシミュレーションによる賢明な水利用を検討できるようにした。統合的水マネジメント手法として塩害防止用、作物生育用、工業用水・都市用水、河川環境維持用水等を包含したモデルをチルチク川流域を対象に作成しシミュレーションした。その結果、水資源賦存量が農業生産を左右するので、節水灌漑と処理排水の再利用が欠かせないこと等を明らかにした。これをもとに、開発された手法を現地に移転するとともに、統合的水マネジメントの提言案を取りまとめた。

研究成果の概要(英文)：A modified Thiessen method for the Chirchik River Basin in terms of interpolated values for smaller fragments was developed. A method by which data in low quality are efficiently utilized is also considered. Using these methods, a model which promotes basin-wide development on wise water use and pollution control in the Chirchik River Basin was developed. Integrated river basin management in Chirchik River Basin in Uzbekistan was executed. Several scenarios based on the national plan on development was used to determine future targets. As the results, since the amount of water resources restricts agriculture production, water saving and reuse are inevitable for economic development.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：水質汚濁 土壌汚染防止 浄化 水圏現象 水循環 水資源 シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

水資源の効率的な利用のための統合的水管理が 1970 年代後半から提唱されている。水資源管理として水量的考察はかなり進んできているが、水質と水量を合わせて考慮するマネジメント方法論は未だ完成されていない。一方、水資源管理自体においても気候変動による水資源賦存量の変化、水使用効率の算定に関する経済的側面の考慮、地下水の取水可能限界の未設定など検討課題が多数残されている。

世界的にはアラル海の縮小が大きな問題とされているので、その保全を目指すには、もっとも経済的に豊かなシルダリア川流域のウズベキスタンの首都タシケントが位置するチルチク川流域における水管理を先行させる必要がある。本流域で利用する水資源に関し、融雪水の流出が気温上昇により年々早まってきていること、工業の進展により工場取廃水量が増加していること、農業の進展により農業用水は増加する傾向にあること、タシケントはオアシスに位置しているので地下水管理を徹底させないといけないこと、生活水準の向上により排水の汚濁負荷原単位と水使用原単位が年々上昇気味であること、などの課題を有している。さらに、タシケントを抱える本流域が率先してアラル海への水量を増加できるようにすることが求められている。

## 2. 研究の目的

本研究は、上記の課題を解決するために、

地下水を含めた水収支、物質収支、水利用の特性をタシケント流域を対象に調査・検討し、水関係データベースを構築し、さらに、将来シナリオや種々の制約条件を考慮して地域水問題をシミュレーションできるソフトウェアを作成し、シミュレーショ

ンにより、自然事象と社会事象を組み合わせ水問題を解決するためのマネジメントシステムを構築・活用し、チルチク川流域の将来の水問題の予防的解消を図り得るようにすることを目的とする。合わせて、日本側の知的ノウハウをウズベキスタンに伝えることも意図している。

## 3. 研究の方法

研究の流れは、データの収集、現地観測、データベースの構築に続いて、水マネジメントモデルを構築し、外的要因を変化させつつシミュレーションにより水収支・物質収支の将来動向を予測する。これらをもとに流域マネジメントに基づき、提言案を作成する。

具体的な検討内容は以下のとおりである。

### (1) 基礎データの収集と整理

水収支、水質、物質負荷量、水利用量と形態、排水量、地下水位、気象、土地利用、人口分布、人口密度、人口年齢分布、産業構造と生産額、業種別就労者数、移出入、輸出入などのデータを収集するとともに不足データを確定して観測項目を確定する。

### (2) 水利用構造の確定と水収支・物質収支の算定準備

降水量の多寡による水利用量とその構造を確定するとともに、水収支、物質収支を算定する。また年変化を把握できるように、長期にわたるデータを取得する。

### (3) 水問題の現況整理

セクター別水利用量、利水・排水時の水質をもとに、水量と水質および水関連施設に関わる現況を整理し問題点を抽出する。また農業における節水可能性についても検討する。

### (4) 水関連データベースの構築

上記 1,2,3 と GIS とを合わせて、水関連データベースを構築する。このデータベースの構築に際して、マネジメントの目的に応じて

データ群が容易に選択できるようにし関連の制約条件や外部条件も明らかにする。

(5) 汚濁削減にかかる適正技術の開発

経済の発展段階に応じた水処理技術を提示する。

(6) 流域水マネジメント用モデル構築

対象流域の地形、土地利用、人口分布、産業分布、蒸発散、流出形態、流下過程、取水量、貯水量、浸透量、排水量、および水循環過程における水質変化を対象に、サブモデルを水圏、地圏にて構築の上、統合する。

(7) 水質・水量に関する現地観測

水質・水量データに不足がある場合と原単位の算定のために現地観測を実施する。

(8) 現地検討会の開催

研究展開状況を公表し、その内容について議論するために検討会を現地で開催する。

(9) 研究遂行時における出現問題と対処法

降水量

チルク川流域における公的な降水量観測地点は4か所である。また山岳部における冬季積雪量の観測地点は1か所であり、流域前降水量の推定精度は高くない。そのため、高度(標高)を変数とした降水量推定式を作成し利用した。

河川水量

チルク川における公的な水量観測地点は6か所であるが伏流水は計測されていない。ただ、チャルバックダムからの放流水量が計測されているため、この値を正確なものとして、モデルによるシミュレーションの河川水量収支や融雪量推定の検定に利用した。

地下水位

地下水位の計測井戸は本流域で120か所以上存在していた。ただ観測地点位置は公開されていない。したがって、できる限り自ら観測した。加えて地質図も公式に公開されていないので、別途参考資料をもとに透水係数

と土層厚を仮定してシミュレーションした。

地下水汲み上げ量

工場での地下水汲み上げ量は計測されていないし、地下水が自噴している個所もあり、汲み上げ量と浸透量は不明であるので推定値を使用した。

河川水質

河川水質と地下水質は公的データとして数地点分、公開されている。しかし分析結果は精度上問題があることが判明したので一部の水質項目の利用を見送った。

浄水給水量と下水処理水量

タシケントにおける浄水は井戸からの取水であり、正確な汲み上げ量や給水過程における漏水量は不明である。公表値は推定値が多く精度上の問題があった。そのため、個人の水使用量は生活水準と生活形態や所得から推定した原単位を利用した。

下水処理場も処理が不十分であったので、シミュレーションにおいては負荷量原単位を推定して利用することにした。

下水処理水質

処理下水水質に精度上の問題があったので、負荷削減量を推定して参考にした。

種別工業出荷量

ウズベキスタン政府は流域単位や細分化された行政区単位での工業出荷量を公表していない。そのため、河川水量と水質の変化から必要に応じて河川への影響を推定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 基礎データの収集と整理

観測地点別降水量データやチャルバックダム放水量を旬単位で収集した。降水量データは1997年からのものを整理し、年間変動は少ないことを確認し、降水量変動特性を明らかにし得た。

2007年の灌漑水路流入端における水位観

測値から灌漑用水量を概略把握し基準値とした。

水質分析結果 2006～2012 年分を収集した。水質項目は、pH、水温、COD、電気伝導度、Cl イオン、重金属等である。重金属濃度は押しなべて低濃度であり、WHO の基準を上回るものは存在しないほど、良好であった。このことは、工場等からの排水の水質が劣悪でないことを意味している。一方、ストロンチウム濃度が高かった。これは土壤に含有されているストロンチウムによるものと推定された。この点は政府見解と同じである。

行政区ごとの人口の公開データを収集し、人口と人口密度を年度別に表化した。

土地利用データを取得し農地、住居地等の識別を可能にした。

## (2) 水利用構造と水収支・物質収支の算定

### 雨水流出に関わる係数の決定

旬あたりの降水量を用いてシミュレーションにおいて河川流出への限界降雨を設定しつつチューニングにて係数値を定めた。

### 土質特性の推定

土質は砂質が主体で、細粒分はローム、大粒径分は礫であるので、地表面での地質図からおおよその粒度分布を推定した。また、不透水層までの土層厚は 40m と仮定した。

### 地下水流動に関わる係数の設定

水理公式集に基づき、土質に応じて透水係数を設定した。シミュレーション結果ではチルチック川下流の平坦部では地下水面はほぼ水平になるものとした。

### 土地利用と作物種と生育期間の確定

現地の気温と降水量、および現地の作付期間のデータに基づき設定した。

### 水量・水質原単位の推定

家庭では所得に応じて水使用量原単位を設定した。平均値は 125L/人日である。

## 水利用構造

農業用水は灌漑地区面積と生育作物から灌漑水量を定めた。天水農業では 15% の地下水利用を認めた。家庭用使用量は原単位から地区別の所得比率を利用し推定することができた。工業用水は全量地下水利用と仮定した。蒸発散は土壤含水率に依存するペンマンモンティス法にて算定できた。

### モデル作成

300m にて本流域をメッシュ化し、まず、水量のみの水循環モデルを構築した。排出物質負荷は日本人と同じとした。

## (3) 水問題の現況整理

現地踏査により農地における塩害と土壤の状態を調査した。その結果、本流域では塩害を考慮する必要がないと判断した。

## (4) 水の経済的価値の算定

ウズベキスタンの輸出入に伴う間接的な水消費量を推定し、ヴァーチャルウォーター量を推定した。輸出作物としての小麦と綿花の生育用水資源量が灌漑用水のほとんどを占めていることから、工業製品の輸出を促すことによりさらなる水利用が可能になることを明らかにした。

## (5) 汚濁削減や塩害防止技術の開発

省エネルギーで停電にも耐えられる、緩速濾過方式の浄水処理、散水濾床法による下水処理を分散して建設し管渠整備コストを削減することを提案した。

塩害防止技術として、耐塩生植物を生育し塩分を吸収させるとともに生育植物を工業原料とすることを提案した。さらに、工業原料化後の残滓を用いてメタン発酵しエネルギー源とすることにも成功した。

## (6) 水質・水量に関する現地観測

2年間にわたり地下水と河川水の水質を測定した。流量は政府公表のデータを利用したが伏流水が含まれていないので、下記のシミュレーションにて推定した。

#### (7) 流域水マネジメント用モデル構築とシミュレーション

流域の水収支をモデル化した。降水量分布、土質分布、土地利用、生育作物分布、作物収穫量、蒸発散量、土壌水分、人口分布、水利用原単位、工業出荷額等を要素とした、このモデルを用いてシミュレーションした。

シミュレーションの基準年を2007年とし、この年の気象条件や社会条件、及び前述の諸係数を与えてシミュレーションした。将来予測には枠組みとしてのシナリオを設定し政府の計画に沿ったものとした。その結果、水資源賦存量が農業生産を左右するので、節水灌漑と処理排水の再利用が欠かせないこと、また、節水や再利用コストを負担できる農作物でなければならないことを明らかにした。

#### (8) 現地検討会の開催

研究成果について議論するために平成23、24年度、現地にて発表会を開催した。

#### (9) 提言案の作成

チルチク川流域の統合的水マネジメントを通して、ウズベキスタン領のシルダリア川流域の統合的水マネジメントへと移行し、さらにアラル海の保全へと拡大できるようにすることが望まれるので、研究成果で得られた事柄を取りまとめ提言案とした。

### 5. 主な発表論文等

#### 〔雑誌論文〕(計1件)

Saidislomkhon Usmanov, Mitsuharu Terashima, Yasuhiro Mitani, Hidenari Yasui, and Tetsuya Kusuda: Estimation of evapotranspiration in arid and semiarid environments using minimum

climate data set, Proceedings of ASPIR, 10G2-5, 2013.09 (in CD-ROM 査読有)

#### 〔学会発表〕(計9件)

國安慶太、松岡恵里子、松本亨：ウズベキスタンの水需要予測モデルの構築、土木学会西部支部研究発表会、2013年3月、pp.877-878

松岡恵里子、國安慶太、松本亨：ウズベキスタンの輸出入に伴う間接的な水消費量の推計、土木学会西部支部研究発表会、2013年3月、pp.879-880

原島正毅、沼田千尋、楠田哲也：ウズベキスタンのチルチク川流域における水環境、平成24年度日本水環境学会研究発表会論文集、p.478、2013年3月13日、大阪工業大学

沼田千尋、楠田哲也：ウズベキスタンのチルチク川流域の地下水流動、平成24年度日本水環境学会九州支部研究発表会論文集、2013年2月16日、北九州市立大学

Hendra PACHRI, Yasuhiro MITANI, Hiro IKEMI, Ibrahim DJAMALUDDIN, Atsushi MORITA: Development of water management modeling by using GIS in the Chirchik River basin, Uzbekistan, International Symposium on Earth Science and Technology, pp.3-10, 2012

沼田千尋・楠田哲也・Khurshidbek. Makhmudov:ウズベキスタンのチルチク川流域の水管理、平成24年度日本水環境学会九州支部研究発表会論文集、p.1、2012年3月、北九州市立大学

Saidislomkhon Usmanov, Hidenari Yasui, Estimating Evatranspiration Process of Chirchik River Basin, Uzbekistan by Using Remotely Sensed Data, 2012年度日本水環境学会九州支部研究発表会、p.64、2013年2月、北九州市立大学

松尾香織、安井英彦：塩生植物の嫌気性消化プロセスと反応モデルの開発、2012年度日本水環境学会九州支部研究発表会講演要旨集、p.32、2013年2月、北九州市立大学

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

楠田 哲也 (KUSUDA TETSUYA)  
九州大学・工学研究院・名誉教授  
研究者番号：50037967

#### (2) 研究分担者

松本 亨 (MATSUMOTO TORU)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授  
研究者番号：50274519

三谷泰浩(MITANI YASUHIRO)  
九州大学・工学研究院・教授  
研究者番号：20301343

安井 英斉(YASUI HIDENARI)  
北九州市立大学・国際環境工学部・教授  
研究者番号：70515329