

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成13年度採択研究代表者

楠田 哲也

(九州大学大学院工学研究院 教授)

「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」

1. 研究実施の概要

研究のフェーズを「基礎の確立」（データ準備、観測準備、モデル構築、中国側との関係の確立等）、「研究の深化」（観測によるデータ蓄積、節水技術開発、モデル改善、水マネジメントシステム構築等）、「研究の統合化」（要素研究成果を基にしたシステム化、指標による判定、水循環システムの新デザインの決定など）とすると、平成14年度は「基礎の確立」のフェーズに当たる。

具体的な研究成果は以下の通りである。第1に、黄河流域の水収支をおおよそ把握できるようにするために、既存データを収集整理した。これをもとに流出量推定用モデルを構築したが、精度を向上させる必要がある。第2に、水使用量を推定するために灌漑農地で水収支を概略調査し、詳細な検討のための蒸発散量の測定準備を終えた。また農地における塩害の様相の調査手法を考案し調査を開始した。第3に、都市において現地観測を実施し、河川水の生下水に近い汚染の実態を明らかにした。これらの結果をもとに河川・ダム群・地下水を統合的に管理した水資源計画を樹立できるようにするための方策について検討を開始した。第4に、流域水マネジメントのための統合モデルを構想し、後年度の持続性の高い水循環システムの新デザインの決定方法を提案すべく研究基盤を固めた。中国との研究協力体制を一層強固なものにするために関係を強化した。

2. 研究実施内容

黄河の水収支を理解し、水の利用方法を工夫して単位水量当たりのサービスをより高める水循環システムの新しいデザインを検討するために研究を続け、第3年目に入った。

研究課題は、農地・乾燥地、都市、土砂輸送、流出・水資源、流域水マネジメントからなっている。流域を農地・乾燥地、都市という空間に分けて水利用を検討し、降水から流出・水資源化に至るプロセスと組み合わせて流域の水循環を検討し、これらをまとめて流域の水マネジメントを検討する手順を採用している。同時に黄河特有の土砂輸送を河川水量に合わせて検討することにもしている。今年度得られた結果は以下の通りである。

農地・乾燥地：

1) 河套灌区抗錦后旗と達拉特旗壕慶河流域における水・塩分の動態の検討

河套灌区抗錦后旗の灌漑トウモロコシ畑で微気象観測を実施し蒸発散量を測定し、合わせて高温乾燥条件における作物からの蒸発散量の決定機構および推定法を検討し、灌漑区の水収支と塩分収支を算定する基礎を確立した。さらに、達拉特旗壕慶河中流域の農業地域にて地下水の賦存量と利用の実態を調査し、地域の水循環の概要を見るために地下水位測定パイプを埋設し土層断面調査と地下水位測定を開始した。この成果は広域的な土地利用管理・土壌保全に活用する予定である。

2) 灌漑農地における塩分分布の測定

乾燥農地において塩害の回避は必須である。電磁誘導法を用い灌漑農地と塩害を受けている農地において土壌中の塩分分布を測定できることを確認の上、塩分分布を計測し、土壌塩分が高いところでのヒマワリの生育の悪さの度合いを数学的に関係づけた。この手法は広域に渡る塩害調査を可能にしたもので、次年度以降の調査を容易にするものである。さらに、塩分濃度と土壌水のイオン組成の関係も明らかにした。

3) 河套灌区五原県における地下水砒素汚染と健康影響に関する疫学的調査

砒素が混入した地下水を摂取すると皮膚異常角化や各種のがんが生じる。河套灌区では灌漑開始と同時期に井戸の深さを変更し、その後井戸水の砒素汚染が始まったことが知られている。この汚染の人体影響および因果関係を明らかにするために、砒素によると考えられる皮膚症状の有病率の調査、地下水位の6ヶ月連続観測、村内において、安全な飲料水を共有するための利用モデルを検討するためのGIS調査を実施した。そして、これまで不明であった、砒素が生体に与える健康影響の生物学的機序として酸化ストレスとの関連を解明しえた。

都市：

1) 西安市域における水質・流量観測現地調査と原単位設定

WEI河、RA河、ZAO河、JING河において流量観測を実施し、合わせてBOD、DO、窒素、リン、砒素、重金属濃度等について測定した。西安市の市区部（住宅密集エリア）の河川では、BODが100mg/lを超えることがあり、排水の直接流入による深刻な水質汚染が見られることを明らかにした。

また、各種統計資料より、西安市の水利用、排水、汚濁負荷の原単位を算定した。生活用水の原単位は、都市部(210ℓ/人日)と農村部(40ℓ/人日)であった。BOD、窒素、リンの年間負荷量を地域別に見た場合、BODについては都市部で、窒素、リンについては都市郊外の農地で高い値を示していることを明らかにした。

2) GISデータ解析と西安市全体の水循環システムの把握

LANDSAT-7:ETM+センサによる衛星画像を解析し、西安市の土地利用状況を把握した。これより得られた各種作物の作付面積を推定した。以上の結果を用い、地域別の水利用、排水状況及び河川への汚濁負荷の現状を把握した。水利用量は、都市部で5.6億m³/年であり、西安市全体の年間水利用量の35%を占めた。また、西安市全体の水循環フローを作成した。

2001年の全体の水利用量(16億 m^3)のうち、7割が地下水を水源としており、生活、工業、農業等、あらゆる分野において地下水に頼る現状が浮き彫りとなった。

土砂輸送：

1) 高濁度流の特性把握

循環水路を用いて黄河の高濃度洪水を模擬した高濃度流れを発生させ、細砂、微細砂、シルトの高濃度流れを作成し、それらの抵抗則を明らかにした。抵抗係数は、シルトの場合、輸送濃度が小さい場合には、清水流とほぼ同じ値をもつが、輸送濃度が0.35付近になると急増することを示した。

2) 現地堆積物粒度調査

窟野河と大理河において堆積物の現地調査を行い、窟野河の源流地点では細砂から粗砂、下流河道ではシルトから微細砂、また大理河の上流地点ではシルト、下流地点ではシルトから微細砂であることを明らかにした。

3) 黄河の土砂生産・輸送に関する基礎的検討

中国水利水電科学研究所泥沙研究所のモデルを用いて、黄河下流域を対象とした一次元土砂輸送モデルのテストランを実施し、さらに、地形、地質、土地被覆などのGIS情報とUSLE法により黄河全流域の土砂生産量分布を推定した。

流出・水資源モデル：

1) 流出量推定精度の向上のための分布型流出モデルの改良

ブロックごとに与えていたモデルパラメータを、地質、地被等のGIS情報をもとにグリッド毎に与えることができるようモデル構造を改善した。また、各グリッドにおける飽和不足量などの物理量の時間変化から、モデル計算の物理的な妥当性を検証した。さらに、流出計算においてダムや灌漑取水の情報を取り入れるためのモデルインターフェースを整備した。これらをもとに伊洛河流域を対象とし流出解析を行った。

2) 黄河流域における地域別・用水部門別の水需給バランスの把握

10kmグリッド単位の分布型水循環モデルを構築した。1980年代の水循環のシミュレーションを試みおおよその再現が可能であることを示し得たが、依然として精度の向上が必要である。一方、黄河全流域の長期気象データを整備するとともに、これを用いて流域の可能蒸発散量の空間分布とその年々変動を再現した。さらに水需給推計システムダイナミックス(SD)モデルを開発し断片的に得られる水文・気象・水利用データをもとに、河川区間別に農業用水使用量・工業用水使用量・生活用水使用量をそれぞれ推定し、これらにより、黄河流域における水需給バランスを評価した。

流域水マネジメント：

1) 経済社会フレームの設定

黄河流域を省別に分割し、地域ごとの経済成長、人口、都市化、産業構成に関するシナリオを相互の連関を過去のトレンド等に基づいて設定基礎を構築した。そして、応用一般均衡モデルと産業構造変化シナリオに基づいた黄河流域における経済社会フレームに水資源供給モジュールと食糧生産モジュールを組み合わせ流域統合モデルを作成することを

試みた。

2) シナリオ分析に基づく黄河流域水資源需要量予測

上述の事項の記述に必要な水資源需要量を、工業、農業、生活、生態系別に原単位と人口のような基本変化指標をもとに算定できるように工夫し、地域ごとに推定した。また、気候変動についても合わせて検討した。

3) 食糧供給予測

水需要の70%が農業用水なので、工業化、都市化によって工業用水、都市生活用水の需要が増えれば、その皺寄せは農業用水に集中する。経済成長とともに、産業の重点は工業、サービス業にシフトするが、中国の膨大な人口を養うためには農業用水が不可欠である。そのため、まず、農業用水の逼迫が食糧生産に及ぼす影響、節水型農業による農業用水使用量削減の可能性について検討した。

3. 研究実施体制

農地・乾燥地グループI

- ①研究分担グループ長：渡辺 紹裕（総合地球環境研究所、助教授）
- ②研究項目：1) 乾燥地の大規模灌漑地区（河套灌区抗錦后旗）における水・物質循環の解明
2) 天水・地下水利用農牧交錯小流域（達拉特旗壕慶河流域）における水循環構造の解明

農地・乾燥地グループII

- ①研究分担グループ長：小林 哲夫（九州大学大学院農学研究院、助教授）
- ②研究項目：1) 気象・水文観測システムによるデータ収集とその解析準備
2) 土壌水文モデル（BBHモデル）の精度と安定性の確認

都市グループ

- ③研究分担グループ長：楠田 哲也（九州大学大学院工学研究院、教授）
- ④研究項目：1) 西安市域における水利用および水質汚染調査
2) 河套灌区五原県における地下水砒素汚染と健康影響に関する疫学的調査

土砂輸送グループ

- ⑤研究分担グループ長：橋本 晴行（九州大学大学院工学研究院、助教授）
- ⑥研究項目：1) 高濁度流の特性把握
2) 現地堆積物粒度調査

流出・水資源モデルグループI

- ⑦研究分担グループ長：竹内 邦良（山梨大学大学院医学工学総合研究部・教授）
- ⑧研究項目：1) 流出量推定精度の向上のための分布型流出モデル(BTOPMC)の改良
2) 黄河流域における地域別・用水部門別の水需給バランスの把握
3) 黄河の土砂生産・輸送に関する基礎的検討

流出・水資源モデルグループII

⑨研究分担グループ長：楊 大文（東京大学大学院工学系研究科・助教授）

⑩研究項目：1) 分布型水循環モデルの構築と水循環のシミュレーション
流域水マネジメントグループ

⑪研究分担グループ長：井村 秀文（名古屋大学大学院環境学研究科・教授）

⑫研究項目：1) 社会経済システムと水資源システムの相互関係の理解

2) シナリオ分析に基づく黄河流域水資源需要量予測

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1）論文（原著論文）発表

- Zhang, Xiangwei, K. Takeuchi and H. Ishidaira (2003): Geostatistical Applications to the Estimation of Unconfined and Confined Groundwater Heads in Quasi-3D Groundwater Flow Modeling in Kofu Basin, 水工学論文集, pp. 289-294.
- 網屋香・森杉雅史・井村秀文
大都市の水循環構造と資源配分に関する研究～中国北京市を例として～, 環境システム研究論文発表会講演集, Vol. 30, pp. 193-198, 2002
- 小澤亮輔・小川茂・方偉華・井村秀文
中国黄河流域の農業生産と水資源配分に関する研究, 環境システム研究論文発表会講演集, Vol. 30, pp. 199-204, 2002

（2）特許出願

H14年度特許出願件数：1 （研究期間累積件数：1件）