

「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15年度は「研究の深化」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、黄河流域の水収支と水質変化の経年変化を把握するために、中国にある既存データの収集を継続した。これをもとに流出量推定モデルにて過去50年間の水循環を再現したところ黄河の断流についての新たな知見が得られた。第2に、河套灌区抗錦后旗の灌漑トウモロコシ畑で水収支を詳細に解明し、また農地における塩害を回避するために行われている秋期灌漑の効果が余り無いことを示した。第3に、都市において前年に引き続き現地観測を実施し、河川水の生下水に近い汚染の実態に変わりの無いことを確認した。また、対象空間を渭河流域に拡大し、流域特性を整理して原単位を定め、水量水質統合モデルを構築した。分散型水循環モデルをもとに河川流量、BOD物質濃度を推定し、精度を向上させなければならないことを確認した。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、経済成長予測のための地域開発モデルと社会変化要因を考慮した水資源需要将来予測モデルを作成し、両者を用いて水需給ギャップを推定し、それにより政策を評価した。高持続性の水循環システムの新デザイン手法の提案に一步近づくことができた。

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に大別される。流域を農地・乾燥地、都市に分けて空間的に水利用を検討し、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っている。同時に黄河特有の土砂輸送を河川水量に合

わせて検討した。今年度得られた結果は以下の通りである。

農地・乾燥地：

1) 托克托実験圃場における水・塩分の動態の検討

托克托実験圃場において土壌水分量とバルク土壌電気伝導度を季節ごとに測定し、この結果をもとに土壌溶液電気伝導度を推定する簡易法を考案した。この簡易法で得られる値と直接測定方法による結果を比較したところ、過大評価になるが、土壌溶液の塩分濃度や浸透圧の推定に有効であることが明らかになった。

2) 河套灌区における農業用水管理に関する調査

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。また、河套灌区管理総局にて、河套灌区全体の用水配分の概要について聞き取り調査を実施した。その結果、水利部から河套灌区までの水の配分、河套灌区の用水量計画策定の内容、用水路レベルに応じた配分方法の内容を確認した。あわせて、取水量削減策に伴う圃場レベルの地下水位・土壌水分分布変化の実態を把握した。

3) TDRで推定した未凍結水分量による凍結融解過程の特徴について

河套灌区抗錦后旗の灌漑トウモロコシ畑にてTDRで推定した未凍結水分による凍結融解過程を検討した。その結果、融解過程の速度は凍結過程より大きく、部分凍結層が4月末から5月の始めにかけて、深さ70cm～90cmに存在することが判明した。

4) 排水不良農地の秋季湛水灌漑による除塩効果の検証

河套灌区灌漑下流域に位置する排水不良農地で、秋季湛水灌漑を行っているが土壌塩類化の改良が上流部と比べて遅れている地域に調査圃場を設定し、除塩効果を検討した。調査地の排水不良農地では、秋季湛水灌漑により若干の除塩効果はあったものの、塩分の水平移動が極めて小さいこと、土壌塩分の不均一性を解消することは難しい事が明らかになった。

5) 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

河套灌区五原県にて砒素によると考えられる皮膚症状の有病率の調査、および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調査を実施した結果を分析した。その結果、飲料水中の砒素が生体に障害を与える機序について、酸化ストレスによるDNA障害が関与していること、また、従来考えられていた末梢神経障害は、低濃度の砒素汚染では起こりにくいことを明らかにした。さらに、GIS調査に基づきコミュニティにおける井戸封鎖と住民の水汲み負担の関係をしめす手法を開発した。これにより、公衆衛生政策的な提言に貢献できるものと期待できる。ただ、対象地域に平成15年9月に水道が設置され、調査の工学的な意味が薄らいたため、調査の視点を転換する予定である。

都市：

1) 渭河流域における水質・流量観測現地調査の継続

渭河、灞河、皂河、泾河において流量観測を実施し、合わせてBOD、D0、窒素、リン、砒素、重金属濃度等について前年度に続いて測定した。西安市の市区部の河川が排水の直接流入により深刻な有機物質汚染に見舞われていることは前年同様であった。ただ、重金属による汚染は基準値以下で余り問題にならないことが明らかになった。

2) 渭河流域の特性の整理

流域の年平均降水量400-800mm、年平均気温は6-12°Cである。流域南部の各主要都市周辺に居住区及び工業区の集積が見られる。耕地はその大部分が流域南東部の関中平原に分布し、広い範囲で小麦、トウモロコシの二毛作がなされている。2001年の流域内総人口は3,100万人で、うち城鎮人口2,030万人(65.5%)、郷村人口1,070万人(34.5%)である。2001年の渭河流域内の水利用量は計71.9億 m^3 である。灌漑用水が全体の70%、生活用水17%、工業用水13%である。地下水の割合が全体の40%程度である。

3) 河流域水量水質統合モデルの構築

自然系のみを考慮した分散型水循環モデルGBHM2に人工系水利用を組み込み、より現状に適した渭河流域水循環モデルを構築した。計算に必要なパラメータを各種統計値及び衛星画像解析結果により定め、河川流量を算定したところ、実測値と解析値を比較したところ、実測値の増減傾向及びピーク流量の出現時期を精度よく再現できた。これをもとに、河川へのBOD物質の負荷に係る水量水質統合モデルを構築した。実測値と解析値の相関は比較的良好であった。

土砂輸送：

1) 生産土砂の特性に関する検討

洪水流中の流砂濃度と50%粒径との関係は、窟野河では流砂濃度0.05を境にして、それ以下では $d_{50}=0.02mm$ 程度、それ以上では50%粒径が増加する。最大流砂濃度(=0.5)では $d_{50}=5mm$ 程度となることを明らかにした。また、現地資料より、窟野河の高濃度洪水の摩擦損失係数は、ピーク時に0.0049-0.027となり、実験結果による0.02-0.07よりかなり小さくなっていることを示した。

2) 黄河の土砂輸送に関する基礎的検討

窟野河の高濃度洪水の流出係数 f_o は、上流から王道恒塔で0.1-0.2、神木で0.12-0.18、最下流の温家川で0.24-0.28であることを明らかにした。

流出・水資源モデル：

1) 流出計算に必要な基本データの整備

流出計算に必要な基本データである土地利用形態を1キロメッシュで整備し、灌漑面積と灌漑用水量のデータも整備した。さらに、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を推定し、データ化した。

2) GBHM2分布型流出モデルの改良

昨年度に開発した分布型流出モデルに人工系水循環を組み入れ分布型水循環モデルに発展させ、10kmメッシュのシミュレーションを可能にした。これと整備されたデータを用いて過去50年間の水循環をシミュレーションし、水利用・水不足の実態を分析した。その結果、黄河の断流は水使用量の増加だけでなく年間降水量の減少にもよることを明らかにした。

上流域では、計算値と実測値はかなり一致したが、花園口では計算値が実測値の2倍近くになった。これは貯水を考慮していないことによる。そこで、流出計算においてダムは放流調節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、伊洛河流域を対象に流出解析を試みた。ダムは放流データを最低一ヶ所以上整備し、ダム操作規則を推定の上、もう少し精度の改善に努める必要がある。

3) BTOPMCモデルを用いた黄河全流域の流出解析

日降水量 (NOAA/NCD GSD, GDS, GDCN)、および月単位気象データ (UEA CRU TS2.0)を整備して黄河全流域の長期流出解析を行った。この場合には、上流域では融雪期を除いてほぼ妥当な流出量算定結果が得られたが、全流域の流出解析精度を向上させるためには、乾燥地帯の表面流出機構を考慮する必要があること、より精度の高い降水量データが不可欠であることなどが明らかとなった。今後は、流出モデルに表面流出機構を導入するとともに、より多くの地点の日単位降水量データを収集中し、流出量推定精度の向上を図る必要がある。

流域水マネジメント :

1) 水資源需給将来予測モデルによる水需給検討

水資源需給将来予測モデルは、行政データを回帰分析し構築したモデルで、地域開発モデル、水資源需要予測モデル、水資源供給予測モデルからなる。まず、地域開発モデルで、中心となる都市、その成長規模、成長時期を中心都市成長シナリオで設定し、周辺への人口集積の影響をアクセシビリティ指標を用いて推計した。ついで、水資源需要予測モデルを地域開発モデルによる推計値を反映できるものとするために、灌漑定数は自然条件と技術力で説明されると仮定し、省別に灌漑定数の重回帰分析を行い、良好な一致を得た。さらに、水資源供給予測モデルにて、県市レベルで降水量と可能蒸発散量を考慮の上、水供給可能量を推計した。それぞれ推計した結果より、水需給のギャップを明らかにした。

2) 政策効果分析

地域開発モデルにおいて、大都市集中シナリオ (省都中心、日本レベルの規模、急成長、波及効果が小)、中都市分散シナリオ (城市中心、中進国レベルの規模、低成長、波及効果が小)、全体分散シナリオ (中心都市なし、波及効果が小) なる経済発展シナリオを設定し、それぞれのシナリオにおいて、政策による需要側への効果分析を行った。その結果、農業部門では、中・上流域で生産性を向上させると効果が高いこと、黄河流域のみで食糧自給を維持するだけならば水需要を大きく削減できること、豊富な上流の水を下流に配分

することは有効であるが、最適な水配分計画は、毎年変化する水需要の空間的な把握が必要であることなどを明らかにした。

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、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) TDRによる土壌水分と塩分の動態解析および農業水文モデルの構築
2) 圃場内の土壌水文要素の空間変動性と季節変動

都市グループ

- ① 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）
- ② 研究項目：1) 渭河流域における水利用および水質汚染調査
2) 渭河流域における水量水質モデルの構築
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検討

土砂輸送グループ

- ① 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）
- ② 研究項目：1) 生産土砂の特性に関する検討
2) 黄河の土砂輸送に関する基礎的検討

流出・水資源モデルグループI

- ① 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）
- ② 研究項目：1) 黄河全流域の可能蒸発散量の推定
2) 分布型流出モデル(BTOPMC)を用いた黄河全流域の流出解析
3) 流出モデルへの土砂輸送過程の導入のため基礎的検討

流出・水資源モデルグループII

- ① 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）
- ② 研究項目：1) 分布型水循環モデルの改善と水循環のシミュレーション
2) 分布型水循環モデルによる過去50年間の水循環の再現

流域水マネジメントグループ

- ① 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）
- ② 研究項目：1) 水資源需給将来予測モデルの構築
2) シナリオに基づく政策効果分析

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

Wang, L., and T. Akae	Estimation of unfrozen water content by time domain reflectometry measurements in frozen soils	農業土木学会論文集, no.224, pp.89-95, 2003-04
Guo, X., Fujino, Y., Chai J., Wu, K., Xia, Y., Li, Y., Lv, J., Sun. Z., and T. Yoshimura	The Prevalence of Subjective Symptoms after Exposure to Arsenic in Drinking Water in Inner Mongolia, China	Journal of Epidemiology, vol.13, pp.211-215, 2003-07
Ishidaira, H., Takeuchi, K., Xu, Z. X., Ao, T., Magome, J. and M. Kudo	Effect of spatial and temporal resolution of precipitation data on accuracy of the long-term runoff simulation	Proceedings of symposium HS03b held during IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no. 282, pp.186-193, 2003-07
Xu, Z. X., Takeuchi, K., Ishidaira, H., and C. M. Liu	A distributed model for estimating erosion and deposition of sediment in the Yellow River basin	IAHS General Assembly, Sapporo, Japan IAHS Publ. no.279, pp.93-100, 2003-07
Magome, J., Ishidaira, H. and K. Takeuchi	Method for satellite monitoring of water storage in reservoirs for efficient regional water management	Proceedings of symposium HS02b held during IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no. 281, pp.303-310, 2003-07
Yang, D., Li, C., Musiaka, K., and T. Kusuda	Analysis of water resources in the Yellow River Basin in the last century	Proceedings of symposium HS02a held during IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no. 280, pp.70-78, 2003-07
Yang, D., Koike. T., and H. Tanizawa	Effect of precipitation spatial distribution on the hydrological response in the upper Tone River of Japan	Proceedings of symposium HS02a held during IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no. 282, pp.194-202, 2003-07

Jun. B., Hashimoto, H., Ueno, T., and K. Sugiyama	GIS Database of Kuye and Dali Tributary of the Yellow River and Its Practical Use	Proceedings of the 1st Asian Symposium on Geographic Information Systems from Computer Science & Engineering View, pp.41-50, 2003-09
久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹	電磁誘導法による均質土壌の塩分濃度測定法	農業土木学会論文集, no.227, pp.105-111, 2003-10
Xu, Z. X., Takeuchi, K., Ishidaira, H., Hu, C. H., and C. M. Liu	Application of a distributed hydrological model in Wei River basin. International Yellow River Forum (IYRF) on River Basin Management	IYRF, Zhengzhou, China Proceedings of the 1st international Yellow River Forum, vol.1, pp.273-280, 2003-10
Yang, D., Li, C., Musiaka, K., and T. Kusuda	Development of a distributed hydrological model for the Yellow River Basin	IYRF, Zhengzhou, China Proceedings of the 1st international Yellow River Forum, vol.3, pp.213-225, 2003-10
Yang, D., and K. Musiaka	A continental scale hydrological model using distributed approach and its application to Asia	Hydrological Processes, vol.17, issue.14, pp. 2855-2869, 2003-10
Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., and K. Musiaka	Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes	Hydrological Processes, vol.17, issue.14, pp. 2855-2869, 2003-10
Fang, W., and H. Imura	Comparison of Empirical Pet estimation Methods in the Yellow River Basin	第31回環境システム研究論文集, vol.31, 2003-10
Iwanaga, R., Yasutake, D., Kobayashi, T., He, W., Watanabe, E. and W. Wang,	A survey of the growth of corn in a JST experimental field in the Yellow River basin, China	Kyushu J. Agric. Meteorol., ser. 2, no.12, pp.13-16, 2003-11.
Watanabe, E., Wang, W., Kobayashi, T., Chow, H., He, W. and N Mohri, .	Measuring soil solution electrical conductivity using TDR at a JST experimental field in the Yellow River basin in Inner Mongolia, China.	Kyushu J. Agric. Meteorol., ser. 2, no.12, pp.17-22, 2003-11
東修, 楠田哲也, 王曉昌, 井上和久, 尾崎心平, 馬場啓輔	西安市の水利用及び汚染物質負荷過程の解明	環境工学研究論文集, vol.40, pp.171-181, 2003-11

白川博章、金子慎治、小鷹狩聡司	中国における工業用水の価格弾力性の推計	第14回国際開発学会全国大会報告論文集, pp.200-205, 2003-11
橋本晴行、高岡広樹、池松伸也、全炳徳、上野賢仁	黄河中流域における河道堆積土砂調査と高濃度流れの水路実験	水工学論文集, 第48巻(1), pp.943-948, 2004-02
馬籠純, 竹内邦良, 平野順子, 石平博	大規模貯水池における貯水量変化の衛星モニタリング	水工学論文集, 第48巻(1), pp.103-108, 2004-02
Zhang, X., Ishidaira, H., and K. Takeuchi	Simulation the Effects of High Sediment-laden Inundation Flow on the Variations of Floodplain in the Lower Yellow River Basin	水工学論文集, 第48巻(1), pp.595-600, 2004-02

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：0件）