

「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 17 年度は「研究の統合化」へ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、河套灌漑区における水收支を精度よく推定した。その結果、灌漑取水量の 6 割強は、蒸発散や水路からの漏水として消失していることが解った。このことは、水路の漏水を削減することのみでも必要水量を半減できる可能性を示唆している。第 2 に、圃場水管管理の改善の基礎となる作物毎の必要灌漑水量の算定のため、圃場蒸発散量をコムギ、トウモロコシ、ヒマワリの異なる圃場で観測し、モデル化して、その水量を算定できるようにした。第 3 に、渭河流域において引き続き現地観測を実施し、原単位を求めるために必要な時間データを取得した。来年度には原単位算定が可能となる。第 4 に、渭河流域を対象に開発したモデルをもとに、黄河流域の水量水質統合モデルの開発を開始した。人工系の水利用を考慮しないときには実測値と大きく異なるが、人工系の水利用を考慮すると実測値とかなり一致することを明らかにした。第 5 に、流量ハイドログラフが与えられれば流砂量ハイドログラフを推定できるようにし、観測点における流量ハイドログラフを境界条件として河床変動解析を実施し、観測点間の任意地点における流量、流砂量を推定できるようにした。そして、水理・水文観測点における洪水流量を境界条件として河床変動解析を行うことにより、観測点間の任意地点における洪水流量と流砂量を良好に推測できることを可能にした。第 6 に、GBHM3 分布型流出モデルと分布型水循環モデルを改良し、0.1 度グリッドでの流域全域での水循環計算を一層精度良く行えるようになった。第 7 に、流域に含まれる県市を単位として、降雨量、蒸発散量を月別に推計するとともに、耕地面積、食料生産、工業生産、都市人口と住民の所得水準などのデータから農業用水、工業用水及び生活用水の需要量を推計し、各県市の月別の水需給バランスを評価した。また、流域の社会経済発展についてシナリオを設定し、将来予想される水資源需給ギャップについて分析した。

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5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水質を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探っている。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) 河套灌漑区の水収支の推定

大型灌漑区である河套灌漑区全域の水収支構造の実態を把握すべく調査を実施し、これまで未知の部分が多かった河套灌漑区全域における水収支を Fig.1 のように明らかにした。この結果、灌漑取水量の6割強は、蒸発散や水路からの漏水として消失していることが解った。

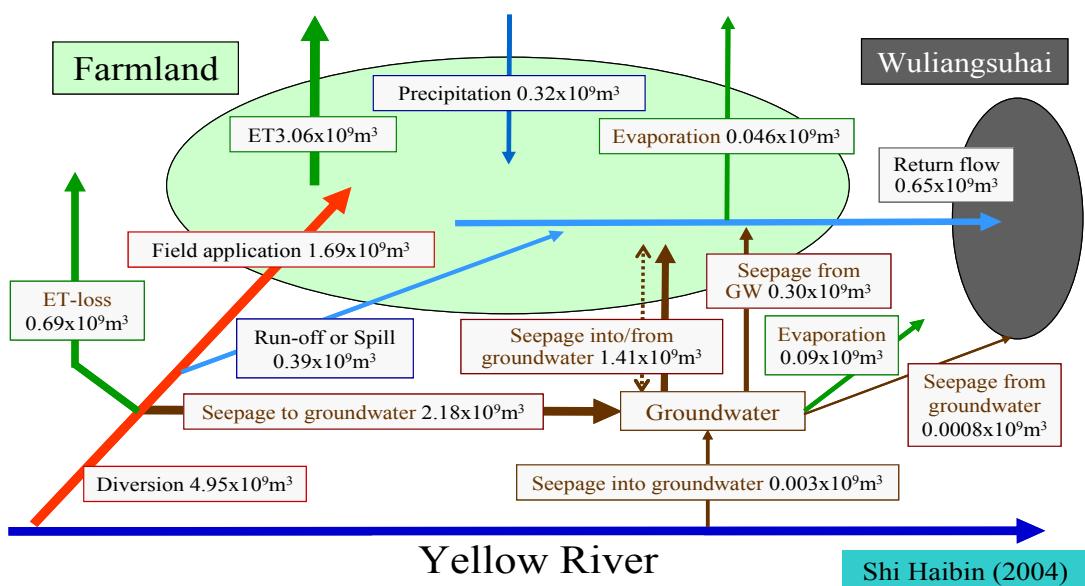


Fig.1 河套灌漑区の水収支

このことは、節水農業への示唆を与えている。

塩類集積の発生している河套灌漑区では、作物成長に対して影響を及ぼす Na イオンの移動・集積が他の Ca, Mg イオンなどに比べて卓越している事実を確認した。灌漑区全域の灌漑取水量と排水量さらに取水時と排水時の塩分量の比を用いて、除塩用水量を易溶解性陽イオン(Na)で評価した結果、取水と排水における Na 収支はほぼバランスしていることが明らかになった。

2) 半乾燥農地における水分・熱・塩分動態の解明

圃場水管理の改善の基礎となる作物毎の必要灌漑水量の算定のため、圃場蒸発散量をコムギ、トウモロコシ、ヒマワリの異なる圃場で観測し、モデル化した。モデルを用いた計算結果から、Fig.2 に示すように各作物の蒸散量が推定可能となった。

都市：

- 1) 渭河流域における水質・流量観測現地調査の継続

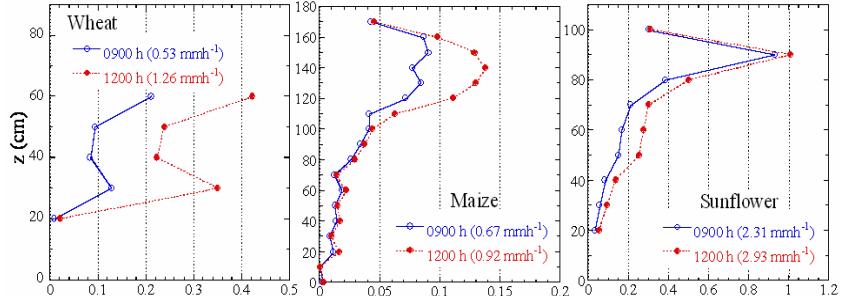


Fig.2 Transpiration from each canopy layer (mmh^{-1})

渭河流域及び皂河流域において 2002 年 10 月から現地水質観測を継続している。水質測定結果は例年の傾向とあまり差がない。渭河において、水質が激変する地点が 150km 付近（宝鸡市下流）にあり、理由確認のために精査した結果、取水堰にてほぼ全量取水されているためであることが判明した。

また、西安市中心部を流れる Zaohe の上流部にて新たに 24 時間調査を実施した。小河川ではあるが、 BOD_5 は 11 月に 50-200mg/l 変動した。ピーク時刻は正午と 21 時の 2 峰であった。

2) 渭河流域における水量水質統合モデルの改善

昨年度開発した渭河流域の水量水質統合モデルを、灌漑取水設定、ダム及び堰の設置等において改善を図った。ダムの放流水量のデータが得られないために、シミュレーション結果が大きく異なるところがあり、今後の課題として残された。

3) 黄河流域における水量水質統合モデルの開発

渭河流域を対象に開発したモデルをもとに、黄河流域の水量水質統合モデルの開発を開始した。人工系の水利用を考慮しないときには実測値と大きく異なるが、人工系の水利用を考慮すると実測値とかなり一致することを明らかにした。

土砂輸送：

1) 高濃度洪水の流出解析と土砂流出評価

窟野河を対象に、水文観測点における観測雨量と流量を用いて貯留関数法による流出解析を行い、洪水 1 波形毎にパラメータ同定を行った。その結果、水理・水文観測点において流量ハイドログラフを求めることができた。さらに、泥流型土石流モデルに基づく抵抗則と流砂量の評価式を用い、流れを等流と仮定して流砂量を推定した。流砂量の計算値と観測値を比較すると、両者は一致していることが分かった。このことから、流量ハイドログラフが与えられれば流砂量ハイドログラフの評価が可能となった。

2) 高濃度洪水による河床変動解析

観測点における流量ハイドログラフを境界条件として河床変動解析を実施し、観測点間の任意地点における流量、流砂量を推定した。計算対象は窟野河の神木～温家川の区間であり、基礎式は、運動方程式、全相連続式、固相連続式である。境界条件は神木における観測点の観測流量を与えた。温家川における流量、流砂量の計算値と観測値を比較した結果、両者は一致していることが分かった。したがって、水理・水文観測点における洪水流量を境界条件として河床変動解析を行うことにより、観測点間の任意地点における洪水流量と流砂量を良好に推測できることを可能にした。

流出・水資源モデル：

1) 分布型流出モデルと分布型水循環モデルの改良

GBHM3 分布型流出モデルにおける流出発生に関する課題を解決するため、昨年度に引き続き、土地被覆および気象条件(気温、風速、熱放射など)の時空間分布を考慮し、モデルを改善した。また、融雪量の正確な把握ができるように冬季の凍結、春季の融解に関わる熱収支の精度を向上させ、GBHM4 分布型流出モデルとした。

2) 流出モデルと土砂輸送モデルの統合

黄河本川の中流河道区間(Longmen～Sanmenxia)に中国水利水電科学研究院泥沙研究所の一次元土砂輸送モデルを適用し、モデルによる土砂輸送量、堆積量などの再現性をチェックし、実測値との比較によりモデル中の係数をチューニングし、昨年度より予測精度を向上させた。

流域水マネジメント：

1) 灌溉用水需要量予測

黄河流域の社会経済成長に伴う将来の水資源需要を予測し、水資源配分の政策評価を行えるようにするために、本年度は、流域に含まれる計 305 の県市を単位として、降雨量、蒸発散量を月別に推計するとともに、耕地面積、食料生産、工業生産、都市人口と住民の所得水準などのデータから農業用水、工業用水及び生活用水の需要量を推計し、各県市の月別の水需給バランスを評価した。また、県市を黄河本流及び主要支流の河道に沿って上流から下流へと一次元的に配置し、河川への還元水量をカスケード的に累積することによって河川流量の再現を試み、この結果をダイヤグラムとして表示することで流域全体の水資源需給の空間的・時

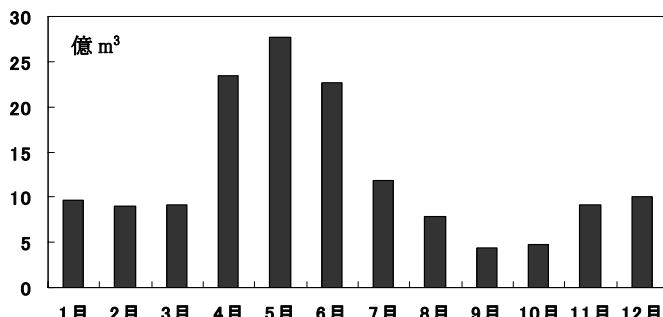


図 3 2050 年における黄河流域の月別の水需給ギャップ

間的パターンをビジュアルに把握した。さらに、この手法によって、1997年に発生した黄河断流現象をシミュレーションによって再現し、その発生メカニズムを分析した。また、流域の社会経済発展についてシナリオを設定し、将来予想される水資源需給ギャップについて分析した。Fig.3は2050年における中位の発展における水需給ギャップを示したもので、このギャップを埋める施策を案出する必要がある。

3. 研究実施体制

「農業乾燥地Ⅰ」グループ

- ①研究分担グループ長：渡邊紹裕（総合地球環境学研究所、教授）
- ②研究項目：
 - 1)：半乾燥農地における水分・熱・塩分動態の解明
 - 2)：農地の作付け体系や水管理と黄河などの流域レベルの水循環・水収支との関係の明確化

「農業乾燥地Ⅱ」グループ

- 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) トウモロコシ畑における灌漑水量の妥当性の検討
 - 2) 塩類化スポットの生成機構の検討

「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質・流量観測現地調査の継続
 - 2) 渭河流域の水量水質統合モデルの構築と校正
 - 3) 西安市都市部における河川への汚濁物質負荷過程の解明
 - 4) 渭河流域における将来の水利用可能量の算定と効果的水資源配分方策の検討

「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) 高濃度洪水の流出解析と土砂流出評価
 - 2) 高濃度洪水による河床変動解析

「流出・水資源モデル」グループ

- 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) GBHM4分布型流出モデルの改良
- 2) 分布型流出モデルと水利用モデルとの結合
- 3) 流出モデルへの土砂輸送過程の導入

「流域水マネジメントⅠ」 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) 灌溉用水需要量予測
- 2) 水資源需給将来予測モデルの構築
- 3) 経済成長の地域格差が水需要ギャップに与える影響

「流域水マネジメントⅡ」 グループ

①研究分担グループ長：金子 慎治（広島大学大学院国際協力研究科、助教授）

②研究項目：

- 1) 水需給将来予測、経済、食糧供給予測

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文（原著論文）発表

- Yang, D., G. Ni, S. Kanae, C. LI & T. Kusuda: Water resources variability from the past to future in the Yellow River of China: IAHS publication, No.295, pp.174–182: Apr, 2005
- Yasutake, D., Kitano, M., Hidaka, K., He, W., and T. Kobayashi: A Method for in Situ Evaluation of Transpirational Water Loss from Crop Field by Applying Abscisic Acid to Plants: J. Agric. Meteorol. (農業気象), vol.60(6), pp.1117–1120: Apr, 2005
- Ikegami,D.,Kobayashi, T.,Yasutake,D.,and M. Mori: Energy Gadgets and Thermal Environments over an Irrigated Cornfield in an Oasis in a Semi-Arid Region, China: Kyushu Journal of Agricultural Meteorology, no.II-14, pp.1-6: Nov, 2005
- Kaneko,T.,Kobayashi, T.,Wang,W.,He,W.,and H.Cho: Evaporation from a frozen soil surface in an oasis in Inner Mongolia, China: Kyushu Journal of Agricultural Meteorology, no.II-14, pp.1-6: Nov, 2005
- Fang,W., and H. Imura: The spatial and temporal changes of pan evaporation from 1971 to 2000 in the Yellow River basin: 第33回環境システム研究論文集, vol.33: Nov, 2005
- 井村秀文, 大西暁生, 岡村実奈, 方偉華: 黄河流域の県市別データに基づく水資源需給空間構造の把握に関する研究: 第33回環境システム研究論文集, vol.33: Nov, 2005
- 大西暁生, 井村秀文, 韓驥, 方偉華: 黄河流域の地域別穀物生産性の変化に関する研究: 第33回環境システム研究論文集, vol.33: Nov, 2005

- Iwanaga,R.,Kobayashi, T., and et al. : Evaluationg the Irrigation Need at a Cornfield in the Yellow River Basin Based on the "Dynamic Field Capacity": 水文水資源学会誌, vol.18, no.6, pp.664-674: Dec, 2005
- 東修, 楠田哲也, 王曉昌, 楊大文, 尾崎心平, 馬場啓輔, 柴田勝史: 渭河流域における水量水質統合モデルの開発と供給可能水量の将来予測: 環境工学論文集、第 42 回環境工学研究フォーラム（土木学会）（鳥取県）: Dec, 2005
- 邊見充, 楠田哲也, 王曉昌, 東修, 馬場啓輔 : 西安市の都市河川における汚濁物質流出過程の解明と節水システム導入効果の検討: 環境工学論文集、第 42 回環境工学研究フォーラム（土木学会）（鳥取県）: Dec, 2005
- Fang,W., and H. Imura: Wheat Irrigation Water Requirement Variability (2001~2030) in the Yellow River Basin under HADCM3 GCM Scenarios: 環境科学会誌, vol.19, pp.3-10: Jan, 2006
- Kobayashi,T.,Wang,W., Ikawa,Y., Cho,H., and W.He: An Easily Measurable and Practicable Index of Soil Salinity: 水文水資源学会誌, vol.19, no.2 : Mar, 2006
- Teshima,J.,Hirayama, Y., Kobayashi, T., and H. Cho : Estimating Evapotranspiration from a Small Area on a Grass-Covered Slope Using the BBH Model of Soil Hydrogy : 農業気象, vol.62(2): Jun, 2006