

# 黄河中流域への水文・水資源モデルの適用 —人間活動の影響—

佐藤嘉展・松岡真如・福嶋義宏（総合地球環境学研究所）  
馬 燮銚（地球環境フロンティア研究センター）

## 1. はじめに

黄河のような大規模河川流域の流出特性を把握するためには、自然要因だけでなくダム操作や灌漑取水といった人為的な要因も考慮する必要がある。本研究では黄河流域を図1のように区分し、チベット高原から唐乃亥までを源流域、唐乃亥から頭道拐までを上流域とした。さらに上流域は唐乃亥から蘭州までの区間（上流域1）と蘭州から頭道拐までの区間（上流域2）にわけて解析した。これまでに、源流域については、従来の水文・水資源モデル(SVAT-HYCY model ; Ma et al., 2002)を適用することにより、自然要因のみに規定される黄河源流域の流出特性を良好に再現できることを確認し、上流域1については、劉家峡ダムと竜羊峡ダムによる人為的な流量調節効果を、上流域2については、青銅峡灌区と河套灌区による河道からの人為取水の効果を考慮したモデルを構築することにより、実測流量を良好に再現できることを明らかにした。ここでは、土地利用形態、土壤水分（乾燥）条件による蒸発抑制、灌漑地域（期間）の蒸発の影響をより厳密に反映できるように従来の水文・水資源モデルの構造を改良し、それを1960年以降の黄河中流域までモデル適用域を拡大した結果について報告する。

## 2. モデルの概要

図2に本研究で用いた水文・水資源モデルの概要を示す。このモデルは1960年から2001年までの1度グリッド単位の日単位気象データ（気温・水蒸気圧・風速・降水量・日照時間）から、熱収支計算により地表面温度を求め、そこからポテンシャル蒸発量： $E_p$ （近藤・徐;1997）を算出し、衛星土地利用判別データから土地被覆を5タイプ（裸地・草地・森林・灌漑地・水面）に区分し、土地被覆区分ごとの実蒸発散量： $E$ は、葉面積指数(LAI)と土壤体積含水率( $\theta$ )の関数形で表現することによって求めた。なお、灌漑地では、灌漑期間中は常にポテンシャル蒸発となるようにし、不足水分（蒸発散量から降水量を差し引いた残差）は河道から取水して補うようにした。河道流出量は、0.1度グリッド単位で計算され、各支流から流入した日流量を積算し、唐乃拐、蘭州、頭道拐、三門峡、花園口の5地点において計測されている月単位の実測流量との比較に用いた。各地点における実測流量と計算流量との比較結果を以下に示す。

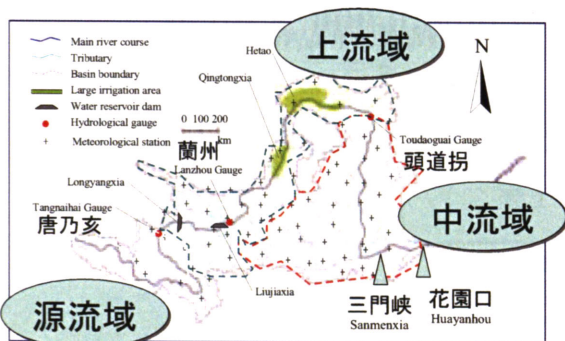


図1 黄河流域の概要

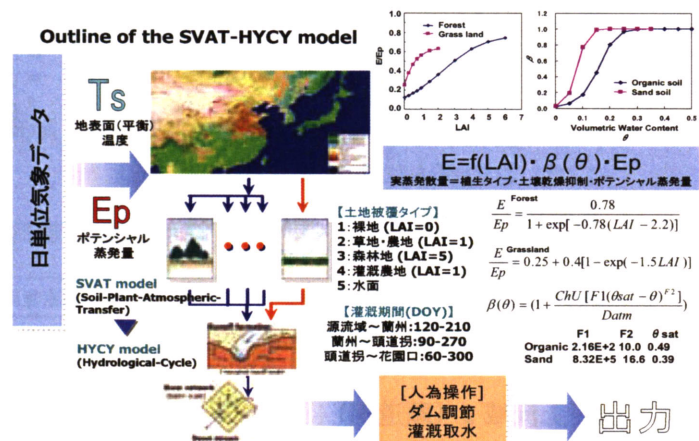


図2 水文・水資源モデルの概要

### 3. 源流域（唐乃亥）

黄河源流域では、流域内の90%以上が草地であり、ダムや大規模な灌漑農業による人為的な流量操作は行われていない。1960年から2001年までの年平均降水量505.3mmに対し、モデルによる実蒸発散量の計算値は約300mmとなり大きな年変動は見られなかった。このため、推定流出量は、年単位の降雨量の変化パターンによく対応し、月別ハイドログラフも実測流量ともよく一致する結果が得られた(図3)。

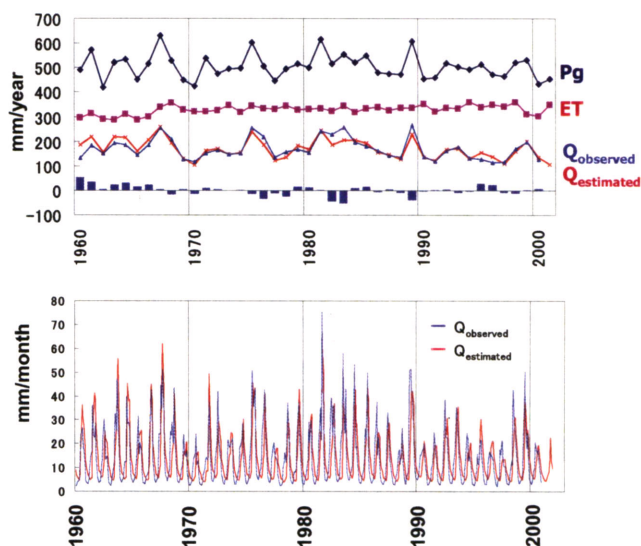


図3 源流域（唐乃亥）水収支

### 4. 上流域1（蘭州）

黄河上流域の唐乃亥から蘭州までの区間には、1969年から運用を開始した劉家峡ダム（56.6億t）や1987年から運用を開始した竜羊峡ダム（247億t）といった大型のダムが設置されており、流量が人為的に操作されている。しかし、ダムによる流量操作は、河道流量の季節配分を変えるのみで、年間の水収支には影響を与えない（図4中段）。図4上段は、ダムによる操作が行われていない1968年以前と、劉家峡ダムが運用を開始した1969年以降、および竜羊峡ダムが運用を開始した1987年以降の蘭州における実測月流量の変化を示している。この図から、ダムが運用されることによって、流量パターンが自然条件のパターンとは大きく変化することがわかる。そこで、このダムによる人為的な流量操作の影響をダムの運用段階別にモデル化した結果（Sato et al., 2004）、実測流量の変化を良好に再現できた（図4下段）。

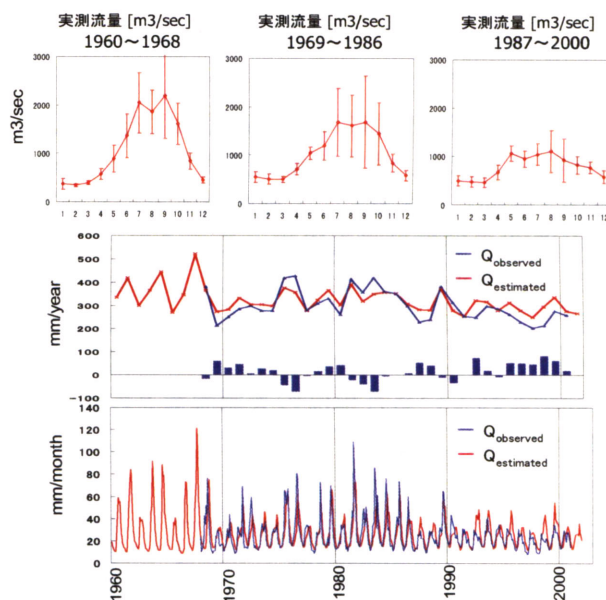


図4 上流域1（蘭州）水収支

### 5. 上流域2（頭道拐）

蘭州から頭道拐までの間では、年平均降水量(1960-2001)が266.2mmしかないにもかかわらず、青銅峡と河套で大規模な農業生産を行うために河道から大量の水を人為的に取水(灌

漑)している。各漑漑農地の正確な取水量が明らかではないため、ここでは上流側(蘭州)からの河道流入量(頭道拐到達流量)と区間降水量の和(入力水量)から頭道拐流量(実測値)を差し引いた値が「区間損失量=蒸発散による水分損失量」に相当すると仮定して、その変化パターンを調べた(図5上段)。図から晩春と晩秋に明確な損失のピークがあることがわかる。これは実際の漑区における春と秋の漑漑取水パターンに対応しているが、実際の取水時期はこの図のピークの位置より少し早くなる(この図は頭道拐での水収支として算出しているため)。また、春先の損失量が徐々に増加していることもわかる。ここでは、「入力水量」からこの「区間損失量」を差し引くことによって頭道拐流量を推定したが、このような単純な推定でも、年収支・月変化ともに実測値とよく一致することがわかった。区間損失量の年平均値(約100億t)は、青銅峽漑区と河套漑区における損失量(=取水量-排水量)が71.4億tであり、両漑区の漑漑面積の合計が、この区間全体の漑漑面積の60%以上を占める(表1)ことを考慮すれば、妥当な値と思われる。

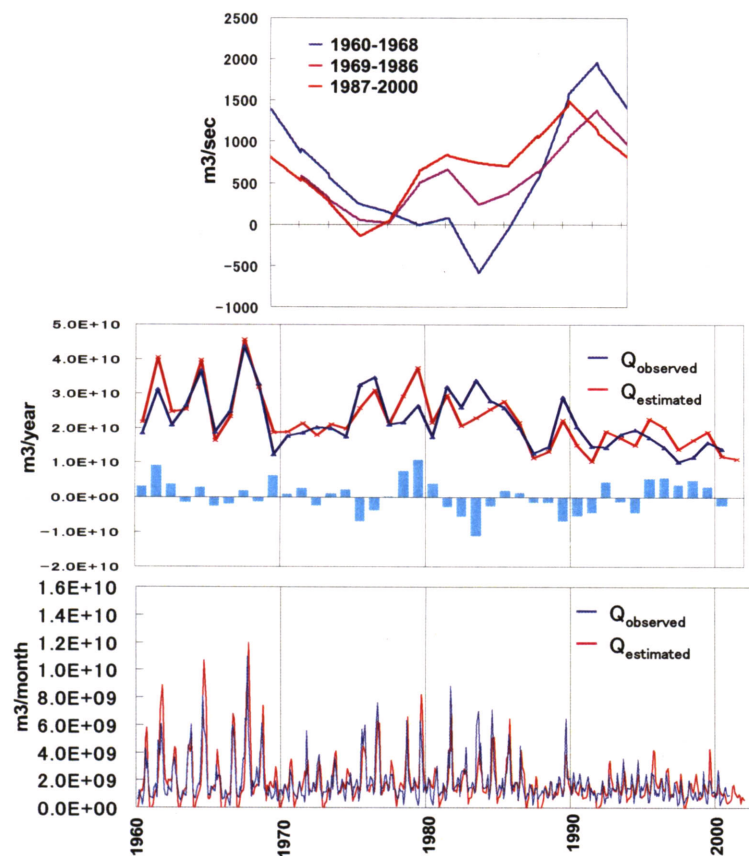


図5 上流域2(頭道拐)水収支

表1 上流域2漑漑面積

	青銅峽漑区	河套漑区	その他	区間(蘭州~頭道拐)全体
漑漑面積(衛星判別)	40.1万ha	60.6万ha	65.8万ha	166.5万ha
	24.1%	36.4%	39.5%	100%
漑漑面積(統計資料)	33.0万ha	57.6万ha		
取水(統計資料)	62.0億t	50.0億t		
排水(統計資料)	35.3億t	5.3億t		
取水-排水(統計資料)	26.7億t	44.7億t		

## 6. 中流域 1・2 (三門峡・花園口)

図6および図7は、黄河中流域(三門峡・花園口)へ、今回構築した新しい水文・水資源モデルを適用した結果を示す。図から三門峡および花園口ではモデルによる計算流量が実測流量よりも常に過大となることがわかった。図上段に示す年水収支の結果から、この区間ではすでに降水量の80~90%を蒸発させており、これ以上蒸発させることはできない。このことは、黄河中流域においても河道から灌漑農業のために取水が行われていることを示唆している。今回中流域に適用したモデルでは、中流域区間では河道からの灌漑取水はないものとしてシミュレーションを行ったが、今回の結果を踏まえ、今後は中流域に適用するモデルにも河道からの灌漑取水の影響を考慮するようにする予定である。

## 7. おわりに

黄河中流域へ水文・水資源モデルを適用するために、以下の課題に取り組んだ。(1)流域内5地点(唐乃拐, 蘭州, 頭道拐, 三門峡, 花園口)の流出特性の再現, (2)モデルへの衛星土地利用判別データの組み込み, (3)モデルへのダム操作・灌漑取水効果の組み込み, (4)乾燥に伴う蒸発抑制モデルの改良, (5)入力気象ステーション数の増加(76→116), (6)解析対象期間の延長(1980年～→1960年～), (7)ポテンシャル蒸発を基準とした実蒸発散量の算出。新しく構築したモデルによるシミュレーションの結果、黄河源流域は自然要因のみ、上流域は人間活動の影響(ダム操作・灌漑取水)を考慮することで、河道流出量を良好に再現できることが確認できた。黄河中流域については、河道からの取水効果を考慮したモデルを適用することによりモデルの再現性が向上することが示唆された。

## 参考文献

- 近藤純正・徐 健青(1997): ポテンシャル蒸発量の定義と気候湿潤度. 天気, 44, 875-883.  
 Ma X. and Fukushima Y. (2002): Numerical models of river flow formation from small to large scale river basin. In Mathematical models of large watershed hydrology, Singh VP, Frevert DK(eds). Water Resources Publication: Highland Ranch, Co;433-470.  
 Sato Y., Ma X., Matsuoka, M., Hoshikawa, K., Fukushima Y. (2004): Runoff formation and runoff control system in a source area of the Yellow river basin. Proceedings of 2nd international workshop on Yellow river studies, Nov. 8-10 2004 Kyoto, 95-98.

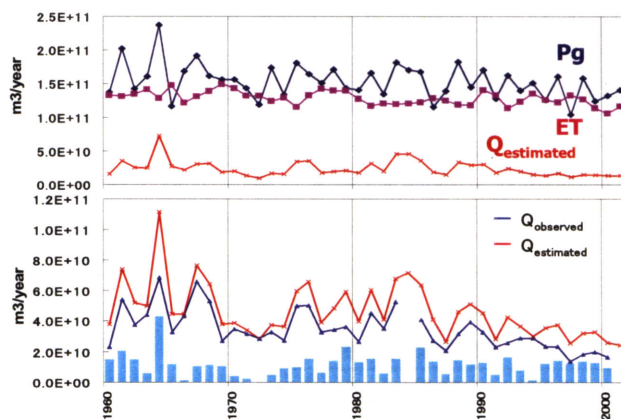


図6 中流域 1 (三門峡) 水収支

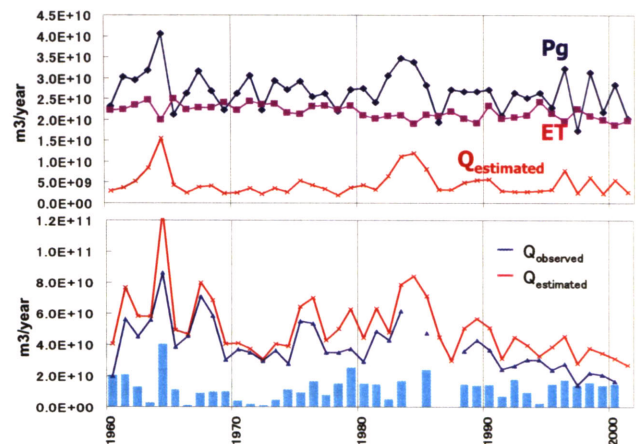


図7 中流域 2 (花園口) 水収支