

機関番号：14201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21780204

研究課題名（和文） 地下水資源保全のための灌漑用水プライシング政策の開発と評価

研究課題名（英文） A Development of Integrated Modeling Framework for Economic Analysis in Groundwater Conservation

研究代表者

田中 勝也 (TANAKA KATSUYA)

滋賀大学・環境総合研究センター・准教授

研究者番号：20397938

研究成果の概要（和文）：

本研究では、灌漑農業が黄河中上流域の水資源に与える影響を経済・水文モデルによる統合的な分析枠組により分析した。そこで本研究ではまず、MIKE SHE 分布型水循環モデルを利用して対象地域の水循環プロセスのモデル化を実施した。構築されたモデルは1994-1995年の月別水量の観測値でキャリブレートし、1996-1997年の観測値を利用してモデルの妥当性を検証した。その結果、対象地域における河川水量・地下水涵養量を妥当な範囲で予測できることを確認した。次に構築されたモデルにより、灌漑農地の拡大や灌漑効率の変化が地域の水資源量に与える影響の分析をおこなった。その結果、灌漑面積の更なる拡大は対象地域の水資源に危機的な影響を与えかねない一方で、灌漑方式の変更などによる効率改善が問題の軽減に大きく寄与する可能性が定量的に示された。

研究成果の概要（英文）：

This study evaluated the impacts of increased irrigation agriculture on surface and groundwater availability in middle and upper Yellow River Basin in China. To this end, we developed an integrated modeling framework consisting of economic and MIKE SHE hydrologic models. Developed model was calibrated using streamflow and groundwater table data during 1994-1995, and then validated using the data during 1996-1997. Streamflow and groundwater table simulated by the MIKE SHE model matched historical observations reasonably well. Our results indicate that further expansion of irrigation agriculture have serious impacts on the amounts of surface and groundwater in the region. Adopting better and more efficient irrigation systems may be one of the most cost-effective measures to conserve surface and groundwater resources in the basin.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究代表者の専門分野：農業経済学・環境経済学

科研費の分科・細目：農業経済学・農業経済学

キーワード：農業と環境

1. 研究開始当初の背景

持続的な発展の「生命線」として、水資源の保全は多くの途上国に共通する課題である。アジア諸国の一部ではすでに深刻な水不足が顕在化しているが、その原因として多くの国・地域に共通しているのが灌漑農業による河川・地下水の汲み上げである。アジア諸国では水の総利用に占める灌漑用水の割合が高く、中国北部のように90%以上を占める地域も少なくない(アジア開発銀行 2007)。

中国北部はもともと降雨量が少ないことに加え、黄河の断流が大きな社会問題となったことから、灌漑農業が河川の水資源に与える影響の問題は1980年代から指摘されてきた。このことから農業利用における河川水から地下水への移行が急速に進められている。地下水は気象の変化に左右されにくく、安定した供給が利点であるが、過剰な汲み上げによる環境への負荷は河川水と同様に無視できないものである。中国北部では地下水位の低下によりすでに数多くの湖沼が消失し、天津をはじめとする沿岸都市部では、地盤沈下が他に例をみない速度で進行している。また土壌の塩類集積により、耕作に適さず放棄された農地が急速に増加し、農村部において大きな社会問題となっている。また、地下水は帯水層に補充(涵養)されるには数万年以上を要すこともあり、事実上の枯渇性資源であることにも注意が必要である。このことから、気候変動などにより中国北部の降雨量は今後も減少することが予測されているが、農業生産における河川水への依存は今後も一定の水準で続き、その傾向は黄河中上流域では特に顕著と考えられる。

中国では1999年より、乾燥地帯の保全を目的とした退耕還林(生産性の低い農地を森林に戻す政策)が実施されており、黄河流域でも特に黄土高原においてその進捗は著しい。しかしながら、近年の人口増と経済成長の圧力により、農地を再び拡大する可能性も指摘されてきている。このことが環境保全のみならず水資源に与える影響も懸念されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2点である。まず第1点は、水資源が限られる黄河流域において、分布型水循環モデルを使用して流域の水循環をモデル化することである。第2の目的は、構築された水循環モデルを使用して、流域の農業生産の拡大が黄河の水資源に与える影響を考察することである。

実証分析の対象地域は黄河中流域であり、黄河の総延長は約4,700 Kmである(図-1)。総面積は772,000 Km²におよび、流域は8つの省・自治区にまたがっている(山西、陝西、

甘肅、内モンゴル、青海、寧夏、四川、河南)。流域の28%が農業生産に用いられており、そのうち43%が灌漑設備を利用している。降水量は黄土高原の670mmから流域南東部の290mmまで、流域の中でも地域により大きく異なる。人口密度は1 kmあたり143人で、全国平均(127 人/km)を若干上回る。この地域での主な農産品は冬小麦、トウモロコシ、米、などである。

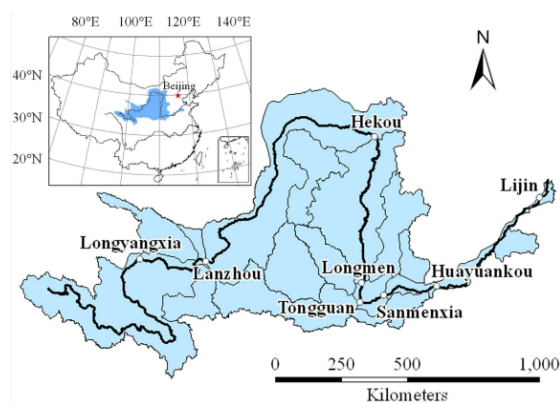


図-1 黄河中流域

3. 研究の方法

本節では分析に使用するMIKE SHEモデルの概要と、その開発の背景について説明する。その上でモデル構築に利用した主要データについて、それぞれの概要と出所について述べる。

(1) MIKE SHEモデル開発の背景
デンマーク水理研究所(DHI)が開発するMIKE SHE水文モデルは、イギリス水文研究所、フランスのコンサルタント企業、およびDHIの3社共同で開発されたSHE (Systeme Hydrologique Europeen) に端を発する。このモデルはヨーロッパに適用可能な水文モデルを開発することを目的としてヨーロッパ共同体委員会 (Commission of European Countries) の補助を受け、5年の歳月を経て最初のバージョンが提供されたのは1982年のことである。SHEはその後、複数の異なる機関を中心に独自の開発が進められることとなり、DHIではSHEを分布型物理モデル(後述)に拡張し、MIKE SHEモデルとして発展させた。現在MIKE SHEは水文、環境、生態、気象など、幅広い分野で国・地域を問わず幅広く利用されている。

またDHIは河川の1次元解析モデルとしてMIKE11、湖沼や海洋における2次元解析にはMIKE21、下水道整備のシミュレーションにはMOUSE、水棲環境における生態系アセスメントにはECO Labなど、さまざまなソフトウ

エアを MIKE シリーズとして提供している。これらのソフトウェアを用途に合わせて組み合わせることにより、水環境を相互的に評価することが可能となる。DHI が提供する MIKE シリーズのソフトウェア群をまとめたものを図 2 に示す。



図-2 MIKEソフトウェア群の構成

なお、開発元の DHI は半官半民で非営利の組織であり、水環境に関する総合的な研究・コンサルティングを目的として 1964 年に設立された。当初の活動範囲は主にヨーロッパ諸国であったが、現在では世界各国でプロジェクトの実施・ソフトウェアの販売をおこなっている。デンマークの本社と日本を含む海外 23 カ国の支社における全職員数は 2009 年時点で約 850 人であり、そのうち 75% は技術スタッフである (DHI Japan 2009)。

(2) MIKE SHE モデルの概要

MIKE SHE は流域の水循環解析 (表層水・地下水を含む) を目的とした、メッシュベースの分布型物理モデルである。これは地形や流出特性に応じて流域を分割し、分割された各流域からの流出を河川への入力として取り扱う。また河川における水の流れは物理的なモデルで追跡するものである (山下他 2006 年)。解析手法には他に集中型があり、両者の詳細については山下他 (2006) を参照されたい。

計算に当たっては対象となる流域全体を水平方向には直交するメッシュに、鉛直方向には柱状の複数の土壌層に分割する。この分割されたブロックごとに、降雨・積雪などの観測値と地表面の透水係数などのパラメータを与え、流域全体における水循環を解析する。このような分布型物理プロセスに基づく解析モデルは今日では数多く存在するが、MIKE SHE は世界的な業界標準の 1 つとして幅広く利用されている。

MIKE SHE により水循環に関するさまざまな解析が可能であるが、よく用いられるものとして (1) 河川管理計画の策定、(2) 水質保全政策の策定、(3) 湿原管理計画の策定、(4) 気候変動による水循環への影響評価、

(5) 土地利用変化による水循環・水質への影響評価、(6) 農業の灌漑排水計画の策定および影響評価、(7) 洪水氾濫解析、などが挙げられる。図 3 は MIKE SHE の概要をまとめたものである。

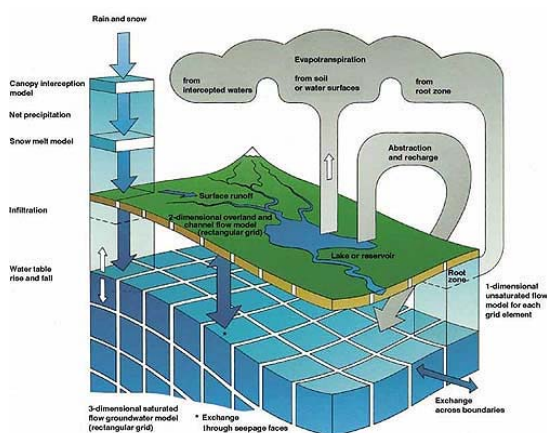


図-3 MIKE SHE モデルにおける水循環

米国農務省 (USDA) の SWAT モデルや米国陸軍工兵隊 (USACE) の HEC モデルなど、同様の水収支モデルは数多く存在するが、MIKE SHE モデルが持つ長所として (1) 分布型モデルであり水循環をシミュレートするアルゴリズムのほぼ全てが物理プロセスに基づいていることと (2) MIKE ソフトウェア群の操作環境は GUI ベースの MIKE Zero に統一されており、ArcGIS をはじめとする外部 GIS 環境との連携も容易なことが挙げられる。また (3) 乾燥地帯で一般に見られる地表流プロセスをシミュレートすることが可能なことも、本研究のように黄河中上流域をモデル化する上で大きな強みといえる。

(3) データ

MIKE SHE モデルによる流域モデルの構築には、対象流域の空間情報ははじめとするさまざまなデータが必要となる。以下、主要なデータについて概要と出所等について説明する。

まず流域界を規定する標高データであるが、本研究では SRTM-3 (Shuttle Radar Topography Mission) を利用した。このデータは標高地を全球に渡り 3 秒角 (90m メッシュ) で網羅しており、米国ジェット推進研究所 (JPL) より無償で提供されている。

次に土地利用データは、米国メリーランド大学・地球土地被覆観測センターが提供している GLCF (Global Land Cover Facility) データを利用した。このデータは 1 Km と解像度は高くないものの、全球利用でき信頼性も高い土地利用マップである。

また、本研究では土壌データとして世界土壌マップ (Digital Soil Map of the World)

を利用する。これは国際連合食料農業機関 (FAO) および国際連合教育科学文化機関 (UNESCO) が開発・提供する全球レベルの土壌データである。この土壌図の縮尺は500万分の1と非常に粗いものであるが、全球範囲で利用可能なほぼ唯一のデータである。

4. 研究成果

(1) モデル・ヴァリデーション

MIKE SHE モデルにより1995-1996年の水量データでキャリブレーションをおこなった。パラメータに大きな変更はなかったが、保水容量など土壌の特性に関する係数について補正をおこなった。キャリブレーションの結果を受け、モデルを1997-1998年の水量データと比較して妥当性を検証した。その結果は図4に示す通りであるが、夏期の水量を過剰に見積もる傾向はるが、モデル適合度を示すR2も0.87であり、観測された水量の変動のうち9割近くはMIKE SHEモデルにより説明されることが示された。この水準は、黄土高原を対象としてMIKE SHEモデルを黄土高原の小流域に適用したZhang et al. (2008)などの関連する先行研究と比較しても遜色ないものであり、モデルの予測信頼性は妥当な水準であると考えられる。

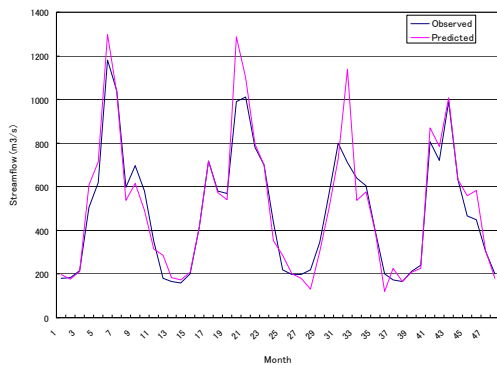


図-4 観測値およびMIKE SHEモデルによる予測値の比較 (1994年1月-1997年12月)

(2) 結果の考察

上述のモデル結果を踏まえ、現行の土地利用と比較して農業生産が増加し、農地が拡大した場合の黄河中上流域での水収支への影響について予測を試みた。分析の単純化のため、流域全体での農地拡大の割合は一定とし、転換は牧草地からなされると仮定した。その結果は図5に示す通りである。

図5では、農地利用が拡大することによって一貫して黄河における水量が減少することが示されている。この結果は当然のことながら予期されたものであるが、その減少の割合は当初の予想よりも大きい。減少

の割合は農地拡大に対しほぼ一貫しているが、減少の幅が小さい (<10%) 時に若干ながら顕著であるといえる。仮に農地が20%拡大した場合、黄河上流域における水量の平均値は433.6 m³/秒であり、これは現行の土地利用における水準 (490.1 m³/秒) と比較して約12%の減少となることが示された。

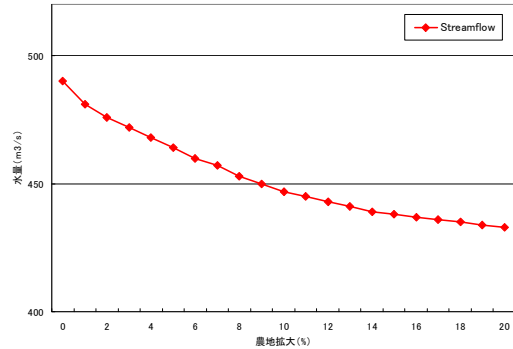


図-5 農地拡大と黄河水量の関係性の予測

(3) まとめと結論

本研究では中国の黄河中上流域において、農業生産と河川水量の関係性について定量的な分析を試みた。この目的のため、まず本研究ではMIKE SHE分布型水循環モデルを利用し、対象流域の水循環をモデル化した。モデルは1994-1995年の月別水量の観測値でキャリブレートし、1996-1997年の値を利用して妥当性を検討した。次に構築された水循環モデルに基づき、流域に農地面積の拡大が黄河の水量に与える影響を予測した。

本研究の分析結果によれば、MIKE SHEモデルにより黄河中上流域における河川水量の動態を妥当な範囲で予測できることが確認された。また流域における農業生産の拡大が、河川の水量を大きく減少させることが示された。中国では人口増加・経済発展の圧力により農地を拡大させる機運がみられるが、水資源の制約が大きい黄河流域においてその動向には細心の配慮をもって対応することが必要といえる。

本研究では以下の2点について課題を残した。まず第1点はデータの制約である。本研究で利用した土地利用や土壌などの空間情報は、いずれも全球レベルで利用可能なもので、その分解像度は粗いものである。国内向けのより詳細なデータを活用することで、結果の精度は有意に向上できると考えられる。第2点として、農業生産のスケジュールや耕作の内容について利用できるデータが限られた点である。本来であれば現地でのフィールド調査に基づき具体的な耕作状況を把握することが望ましいが、本研究では限定的な情報に基づき一般的と考えられる耕作方式についてモデルに組み込んだ。以上2点は分析の予測精度と信頼性を高める

ための重要な今後の課題としたい。

参考文献

- 山下三男他 (2006) 「河川水文シミュレーションモデルの現状と新しい提案」『陸水学会誌』67, pp. 267-280.
- アジア開発銀行「アジア水開発展望 2007 年度版 - アジアの水の安全保障の達成に向けて」アジア開発銀行, 2007 年.
- DHI (2010) *WFD Basin Planning Tool - Program of Measures*. Available at: <http://climatechange.dhigroup.com/sitecore/content/www,-d-,dhigroup,-d-,com/Solutions/WaterAndEnvironmentalManagement/EUWaterFrameworkDirective/WFDBasinPlanningToolProgramOfMeasures.aspx>.
- DHI Japan (2009) 『水理統合解析ソフトウェア MIKE シリーズについて』製品説明会配布資料, 2009 年.
- OECD (2003) *Social Issues in the Provision and Pricing of Water Services*, Paris: OECD Publishing, 2003.
- Zhang, Z. et al. (2008) “Evaluation of the MIKE SHE Model for Application in the Loess Plateau, China,” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 44, pp. 1108-1120.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

①田中勝也(2010)「中国における持続可能な流域管理に関する統合モデル分析 (プロジェクト研究活動報告)」『滋賀大学環境総合研究センター年報』第 7 巻, p. 75. 査読無し

[学会発表] (計 1 件)

①田中勝也「水環境政策の経済モデリング」環境経済・政策学会 2010 年大会 (2010 年 9 月 11 日, 名古屋大学)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 勝也 (TANAKA KATSUYA)

滋賀大学・環境総合研究センター・准教授

研究者番号: 20397938

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: