

中国黄河流域における水配分の応用一般均衡分析

幡野 貴之¹・奥田 隆明²

¹学生会員 農修 名古屋大学博士後期課程 大学院環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail: thatano@urban.env.nagoyau.ac.jp

²正会員 工博 名古屋大学助教授 大学院環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail: okuda@genv.nagoyau.ac.jp

急速な経済成長を続ける中国にとって、持続可能な経済成長に向け対策すべき課題の1つに水資源問題を挙げることができる。中国北部、特に黄河流域では利用可能性が漸減しているが、これは気候など自然現象ばかりでなく不十分な水資源管理体制に起因する”無駄使い”も大きく寄与している。そして経済成長の観点から、市場メカニズム等の経済的側面を勘案した水配分とその有効利用が求められている。本研究は黄河流域の水資源を考慮した省区レベルでの仮想一般均衡水市場モデルを提案する。そこでは水資源制約下で黄河流域全体が適正な経済成長をするために、各地域が執るべき水配分のあり方が明らかにされた。そして市場水価格がシグナルとなり、地域間・産業間で生産調整することが地域単独での調整よりも効果的であることが確認された。

Key Words: water allocation, water trading market, CGE model, Yellow River Basin, water price

1. はじめに

近年、中国は全国平均で年9%を超える経済成長を遂げている。しかし、中国が更なる経済発展を遂げるために解決すべき問題もいくつか浮上してきている。とりわけ水資源問題は最重要課題の1つと考えられ、不適切な水資源管理は持続可能な開発を妨げると指摘されている¹⁾。中国北部、特に黄河流域では急速な経済成長に伴い水不足が年々深刻化し²⁾、また黄河のような広大な流域を管理するためには水需要の実態を明確にし、科学的な根拠に基づいた水資源管理の実施が重要である。その一方で、市場経済化は中国の地方分業を進展させ、水資源に富める地域は乏しい地域に財・サービスを移出することも可能となってきた。こうした財・サービス取引に伴う水需要の実態を明らかにすることを目的に、筆者らはこれまでに中国国内の水需要分析に仮想水(Virtual water)の概念³⁾を取り入れ、国内の移出入に伴う仮想的な水の地域間移動を1時点(1997年)⁴⁾ならびに2時点間(1997年と2000年)⁵⁾において明らかにしてきた。

しかし、市場経済化が進展するにしたがい、水資源は石油や土地と同様に経済活動に必須の希少資源として扱うべきとのコンセンサスが成立してきている。すなわち、

水資源を市場取引可能な「経済財」として捉え、市場経済メカニズムを援用して適正な価格付けをして取引すべきであると考えられる⁶⁾。また水資源価値は市場経済活動に関わるすべての財・サービスの取引にも密接に関連し、それらの生産や価格決定にも影響を与えている。これらを考慮すると、仮に水取引市場が成立しても当市場が単独で機能していくことは不可能であり、水資源以外の財・サービス取引市場も同時に考えていかねばならないと言える。特に市場経済化が徐々に浸透し、また水資源の貯存量が地域により偏っている中国においては、今後も経済発展を達成していくためには水資源を経済財として評価した上で配分していく必要がある。応用一般均衡分析(CGЕ分析)は、このように複数の財・サービス市場を統合的に扱うことが可能な手法であり、これまでに先進国を対象に水資源を生産要素の一つとして捉え市場メカニズムによりその配分をおこなう分析も実施されている⁷⁻⁹⁾。ところが市場経済メカニズムが発展途上の中国に対してCGЕ分析により求められる水資源配分の結果は、決して現状の中国における水資源配分を再現するものではない。しかし、一般均衡理論のフレームに基づき、規範的な立場から最も効率的な水資源配分の状態を知っておくことは、将来の中国における水資源配分のあり方を考える上

で一つのベンチマークを与えるものと言うことができる。

本研究ではこれらを踏まえ、これまで筆者らが開発してきた中国省市区レベルの地域間産業連関をベースにし、水資源を生産要素の一つとした多地域一般均衡モデルを開発した。具体的には、黄河流域(8省区)に1つの仮想水取引市場を設け、地域間で水価格をシグナルとして水取引した後の各地域の経済的適正状態を評価している。そしてこの手法を用いて、将来の中国における水配分のあり方について検討することを目的としている。以下、2.では水資源の市場取引に関する既存研究を俯瞰する。3.では中国における水資源分析のためのCGEモデルについてその基本的な考え方、モデルの具体的な定式化および開発に用いたデータセットについて説明する。最後に当CGEモデルを用いて得られる水配分がどのように変化したかを分析した結果を4.で述べる。

2. 既往の関連研究

(1) 中国国内の水配分モデルに関する研究

数理モデルを用いた中国の水配分研究は、主に灌漑用水利用に関し多く実施されている。Shangguan *et al.* (2002)¹⁰⁾ は、中国・黄土高原を対象に灌漑用水の最適配分計画をダイナミックプログラミング(DP)を用いて計算している。また、水資源需給量を考慮した水配分用空間モデル(SWAN)を陝西省での灌漑計画に適用し、投資や水価格が灌漑用水配分に与える影響評価¹¹⁾や、システムダイナミクス(SD)援用により、気象変化、灌漑効率などのシナリオに基づき黄河全体の水需給量を予測した研究¹²⁾もおこなわれている。

(2) 中国国内の水資源CGEモデルに関する研究

しかしながら、これらモデルでは水資源配分を地域の産業構造や交易活動とは関連付けずに評価している。広大な国土を有する中国は水資源が地域的に偏在しているが、一方で地域分業や地域間交易は進展している。このことから、水配分では地域特性と産業構造を考慮することが重要である。よって、水資源を経済財と捉え、市場メカニズムを利用した仮想水市場での取引を通じて水配分を検討することが必要と言える。一般均衡分析(CGE)は仮想的な水取引市場の設定が可能であり、価格を通じて経済的観点での最適配分状態を示す。これまでに中国国内の水資源CGE分析では、南水北調プロジェクト実施による水取引および便益評価を5産業・3地域(北京・中国その他・その他世界)で実施した例¹³⁾がある。しかし、地域区分が少ないため、配分という観点では必ずしも満足できる設定ではない。

(3) 本研究の位置づけ

水資源を経済財と考え、よって市場メカニズムを利用した水の市場取引およびその結果としての水配分を検討することが市場経済化および地域分業が進展している中国には必要であること、そしてそれらを具体化する手法にCGEモデルがあることは既に述べた。しかし、地域分業と地域間交易が進展する中で有効な水配分を検討するには、地域間相互作用を考慮する必要がある。この点を勘案すれば、分析は多地域構造を有するモデルで実施することが必要となってくる。本研究では、筆者らが作成した1997年中国地域間産業連関表(29省市区, 11産業)をベースに、将来の中国が迎えるであろう経済環境を多地域CGEモデルにより仮想化した。そして、水配分のあり方を規範的に捉えることにより、将来の中国における水資源管理のための情報提供をおこなうことを試みるものである。

3. 水資源分析用CGEモデルの構築

(1) 水資源配分モデル

現在の中国における水供給機構は、産業間でのやりとりはほとんどなされていないと考えられる。すなわち、例えば農業のような水集約型産業では既得した水資源の存在が節水に対する誘因を働きにくくさせ、結果的に非効率な水利用が継続している。また、当然ではあるが地域間での配分もされていない。しかしながら、これまでの議論を集約すれば、①産業間・地域間での適正配分、②市場メカニズム原理の応用といった事項が水需要戦略には必要であると言える。

そして、上記①および②の条件を勘案して現状の水配分モデルを発展させると、より望ましい水配分には以下に示すモデルが適していると考えられる。

- I. 地域内で仮想の水取引市場を形成し、各産業に適正配分する段階(図-1)
- II. 一地域・産業間水需給モデルを多地域間で適正配分する段階(図-2)

また、③水資源は財貨生産の制約要因であることから、水資源は資本や労働と同等の生産要素とみなすことができる。そして、上記①～③までの条件を満たすには複数産業市場を同時に評価できるCGE分析が適しており、特に多地域・産業間水需給モデル(図-2)は地域間での水配分を考慮していることから、国連などが提唱する黄河等の渇水河川の流域全体を視野に入れた水資源管理に迎合すると言える。

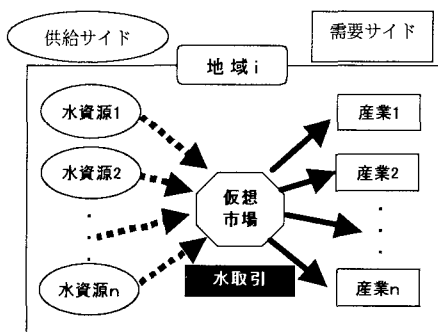


図-1 一地域・産業間水需給モデル

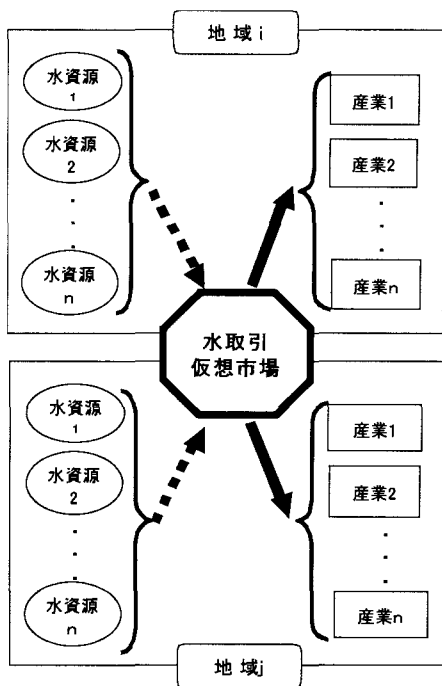


図-2 多地域・産業間水需給モデル

(2) CGEモデルの枠組み

当モデルでは、各地域で行われる経済活動を数学モデルで記述し、これを用いて各産業への水資源配分が変化した際の各地域の経済活動にどのような影響を与えるかを分析する。その際、設定パラメータ数の節約やモデル簡略化などの理由から以下の仮定を設けることとする。

①各地域には生産活動を行なう生産者と消費活動をおこなう家計がそれぞれ立地しているとする。

②さらに生産者がいくつかに分類されるものとする。その際、各地域で生産された財はそれぞれ異なるものとして定式化をおこなうものと仮定する。

(Armington の仮定)。

③生産者が生産活動のために必要とする生産要素には労働と資本に加え水資源を考える。

④生産要素はすべて家計が保有し、家計はこれら要素を市場に供給することで所得を得て消費活動を行っているものとする。

⑤資本については全国に1つの市場が成立し、労働は地域毎に市場が成立するものとする。

(3) 各主体の行動モデル

a) 生産者の行動

生産者は生産技術制約の下で財を生産し、利潤を最大にするように行動する。図-3では生産者の生産関数を概説する。生産者はまず各産業から中間財と付加価値合成財を一定量投入して(Leontief 関数)生産を行なうものとする。この時、付加価値合成財のうち資本・労働は Cobb-Douglas 関数で合成される。水資源は生産には不可欠な要素であり、単純に労働や資本等の生産要素とは置換えることはできないとされているため、他の生産要素とは代替不可と仮定している。当該合成財を水資源と Leontief 関数で合成し付加価値合成財とする。また、中間財は国内財と海外からの輸入財が CES 関数で合成され、さらに国内財は各地域からの移入財が CES 関数で合成されるものとする。

b) 家計の行動モデル

家計は予算制約の下で効用が最大になるように各需要量を制御する。各地域の家計は資本、労働および水資源を持ち、これを市場に供給することで得た所得で消費活動をしているものとする。この時、家計は図-4に示すような効用関数を持つとする。すなわち、消費財と水資源が Leontief 関数で合成され、また合成消費財は各産業からの消費財も Cobb-Douglas 関数で合成されているとする。また生産者の場合と同様に各産業からの消費財は国内財と輸入財の合成財と定義され、更に国内財は各地域からの移入財の合計財として定義されるものとする。

(4) 水取引市場の定式化

本章で示した水取引市場モデルは、それぞれ以下の式(1)~(3)のように定式化することができる。

現状の水需給モデル

$$W_j^s = \bar{W}_j^s, W^s = \bar{W}^s \quad (1)$$

一地域・産業間水需給モデル

$$\sum W_j^s + W^s = \sum \bar{W}_j^s + \bar{W}^s \quad (2)$$

多地域・産業間水需給モデル

$$\sum \sum W_j^s + \sum W^s = \sum \sum \bar{W}_j^s + \bar{W}^s \quad (3)$$

W_j^s : 地域・産業 の水需要量

$\bar{W}_j^s$: // への水供給量

W^s : 地域sの家計 の水需要量

$\bar{W}^s$: // への水供給量

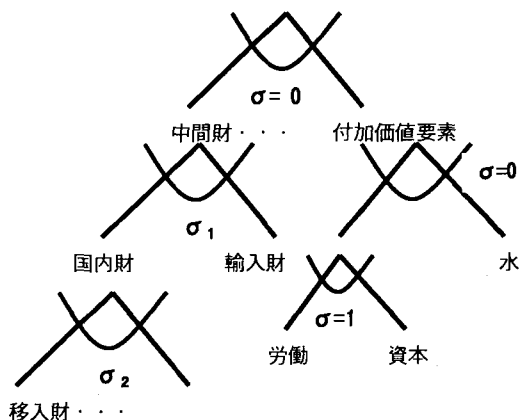


図-3 生産関数

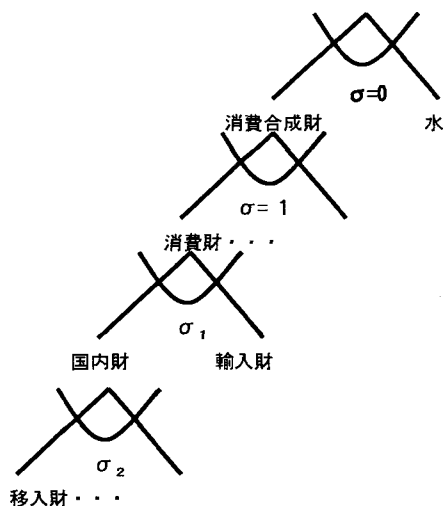


図-4 効用関数

(5) データセットの作成

中国国家统计局が公表した 1997 年地域産業連関表(29 省市県, 38 産業)を, 競争移入型地域間表として推計した^{14), 15)}。なお, 今回の分析では産業分類を 11 産業とした。表-1 には産業分類を示す。

表-1 産業区分

No	産業名	対象となる産業
1	農林水産業	農業・畜産業・林業・水産業
2	鉱業	金属鉱業・非金属鉱業・石油・天然ガス・石炭
3	食料品	食料品
4	化学	化学・石油石炭製品
5	金属	鉄鋼・非鉄金属・金属・
6	機械	一般機械・輸送機械・電気機械・電子機械・事務機械・機械修理
7	その他製造業	繊維・衣服・木材・木製品・パルプ・紙・加工品・窯業・土石・その他手工業
8	建設業	建築
9	公益事業	電力・熱供給・ガス・水道
10	商業・運輸	商業・運輸
11	サービス	飲食業・金融保険・教育文化・その他サービス

4. モデルによる水取引市場の効果

(1) モデルの選択と設定条件

本研究では, これまでに紹介した水取引モデルのうち多地域・産業間水需給モデル(図-2)についてその効果を検証する。水取引市場の対象地域は黄河流域 8 省区(山東省, 河南省, 山西省, 陝西省, 内蒙古自治区, 寧夏自治区, 甘肅省および青海省)とする。

モデル設定条件(シナリオ)は, 黄河流域の各省区に賦存する利用可能水資源量が 1997 年時点と同量とした条件下で各省区が一律 10% の経済成長を達成すると仮定する。なおこの値は近年の中国の経済成長率に近似している。

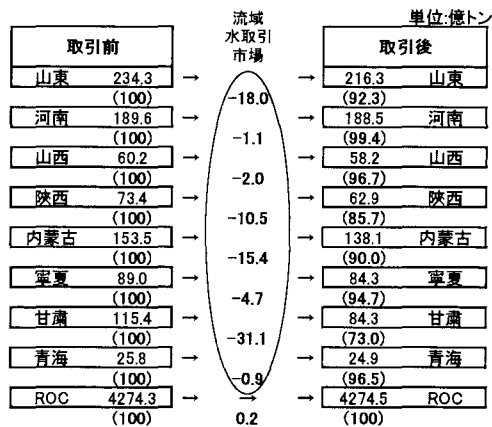
利用可能な水資源量が制限される中, 流域全体で水取引が可能となれば水価格がシグナルとなって生産や雇用調整が流域全体で起こり, その結果, 水資源を集約利用できる。また逆に水資源を市場へ積極的に提供できる地域や産業を明確にすることができると考えられる。ここでは評価指標として利用可能水資源量および財生産額の変化を観察し, それらの水価格や賃金, 財価格などの変化との関連性を考える。また, その結果として地域効用にどの程度の変化を与えるかも観察する

(2) 利用可能水資源量の変化

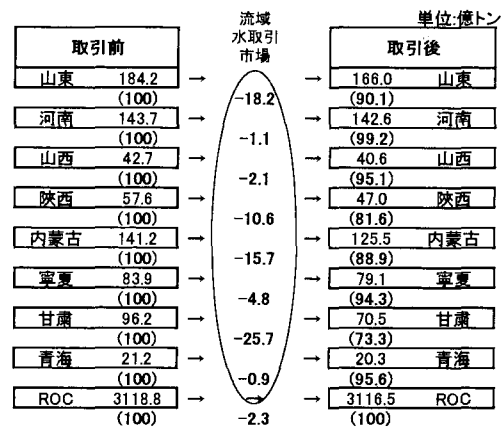
図-5 および図-6 には水市場取引前後の利用可能水資源の変化量を示す。11 産業計では, 甘肅省ならびに陝西省で取引後の利用可能量が大幅減となっている(甘肅省 27% 減, 陝西省 14% 減)。もし各省区が地域内で個別に水取引をしていれば, 取引後の水利用可能量は各地域同等に 10% 減となるはずである。甘肅・陝西省以外は 10% 未満減なので, この 2 省の水資源は他の 6 省区に配分されたと考えてよい。全水資源の約 70% を費やす農林水産業での変化を見ると, 11 産業計で見られた変化パターンと

酷似している。よって、農林水産業での水資源配分が産業全体の水資源配分を支配していることが確認できる。

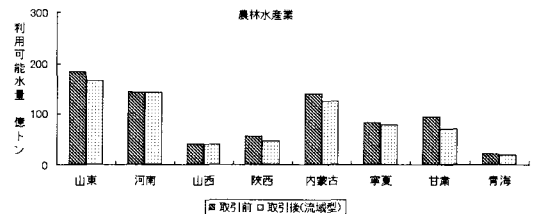
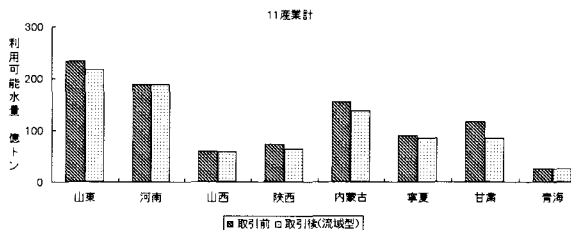
11 産業計



農林水産業



図－5 水取引前後の利用可能水資源量の変化



図－6 水取引前後の利用可能水資源量の変化

利用可能水資源量が取引により変化するに伴い、各地域での財生産量も変化する。ここでは財生産額の変化を水市場取引前の各産業生産額を 100 として市場取引前後の生産額を比較することとし、黄河下流域の山東省ならびに上流域の甘肅省の結果を図－7 に示す。

ここで特徴的なのは、流域のどの地域に属するかにより生産変化が異なることである。すなわち、山東省などの下流域は生産量を大きく変化しないで済み、上流へ向かうにしたがって生産形態を変化させることが必要となる傾向がある。図－7 では農林水産業はどの省区でも減産するが、その程度は上流域で大きく、下流域の山東省はほとんど変化させないで済む。この原因としては農林水産業での水使用効率の差異が考えられる。図－8 には農林水産業における水使用原単位を示すが、下流域に比べて上流域での原単位が大きいのが

わかる。利用効率の悪い上流域で農林水産業生産を控え、下流域の生産への影響を最小限とするのが流域全体の生産を最適化するには得策であると言える。

(3) 水資源量・生産額に影響を与える要因の解析

水資源を市場で売買すればその需給均衡により水価格が決定される。今回の条件下では各地域の水価格と比較し平均で 2.9 倍の水価格上昇となった。

産業全体の賃金変化を黄河流域省区別に図－9 に示す。賃金はすべての省区で水取引により減少しているこれは農林水産業の生産減少による余剰労働力が発生したからと考えられる。このことは水資源を取引市場に積極的に提供した甘肅・陝西省で賃金が大きく低下していることからわかる(－9%および－8%)。そして水価格変化は財の価格にも転嫁されている。図－10 で

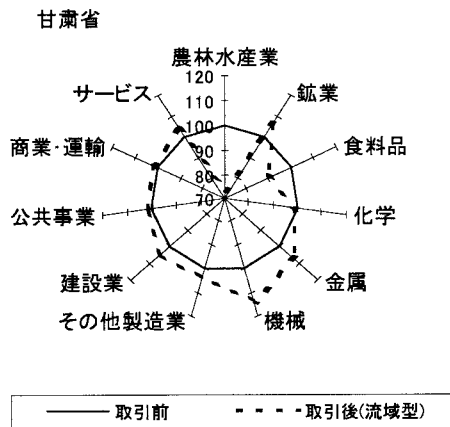
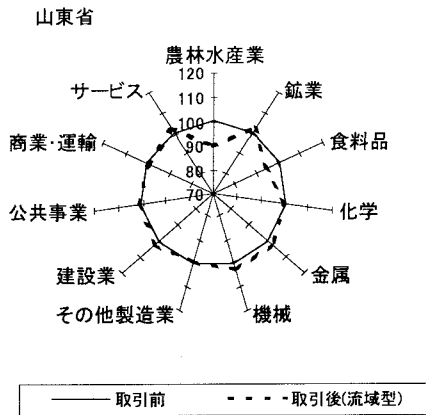


図-7 水取引前後の生産額変化(相対値)

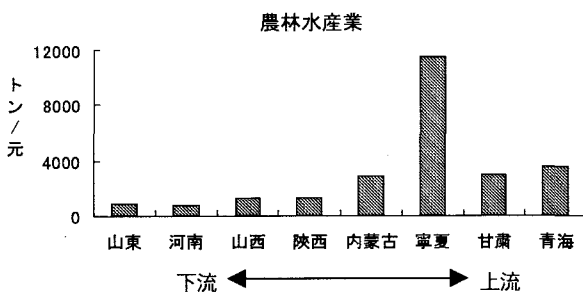


図-8 水使用原単位(農林水産業)

は、特に影響を受けている農林水産業と機械の財価格変化を示すが、生産額が減少した農林水産業では全省区で財価格上昇が見られる。そして生産地価格と消費

地価格を比較すれば全省区で消費地価格の変化率が小さい。これは自地域で生産した財よりも、交易により流域外を含めた他地域から購入した財価格の方が低いと考えられる。一方、図-8で原単位が高かった寧夏自治区や青海省は価格上昇が抑えられているが、これは当該地域の水資源賦存量が少ないため市場での水資源移動も少量であったことが考えられる。それに対し機械では財価格が全省区で低下している。これは他の第二次産業でも同じ傾向にある。青海省以外では生産地価格の低下率のほうが消費地価格よりも大きく、かつ農業財価格が高騰した甘肅省での低下率は他省区に比べ大きいことがわかる。

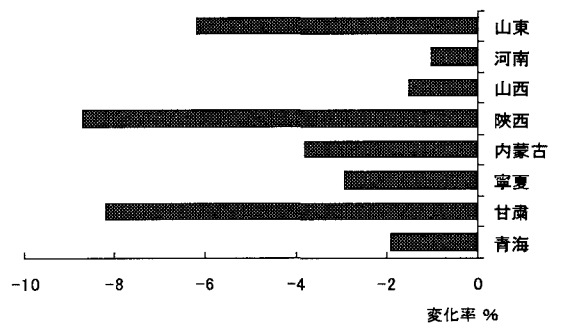


図-9 賃金の変化(市場取引後)

(4) 黄河流域全体での水循環

これまで筆者らがおこなってきた黄河流域内での仮想水移動研究より、上流から下流へと流れる実際の水資源(実態水)とは逆に、仮想水は下流から中・上流へ移動していることが明らかになっている。本研究においても、水取引市場を通じて水資源配分をおこなうと経済的に優位な下流域が水資源を多く購入し、その結果水制約下でも有効に経済発展を達成する可能性が示唆された。こうした事実から、黄河流域の地域構造は上流から下流へ移動する実態水が財・サービスの形で仮想水として上流へ戻る、新しい水循環を形成していると言われている(図-11)。他方、上・中流域でも生産体制の変化や政府の内陸部開発政策の進展により新たな水資源を必要としている。本研究では各地域の産業における経済効率性が指標となっており、黄河流域全体で経済的に望ましい水配分を示しているが、上記のように地域発展を考慮すると黄河流域の水配分は経済的な「公益性」とともに、上・中流域に対する「公平性」も視野に入れて検討すべき時期を迎えていると言える。

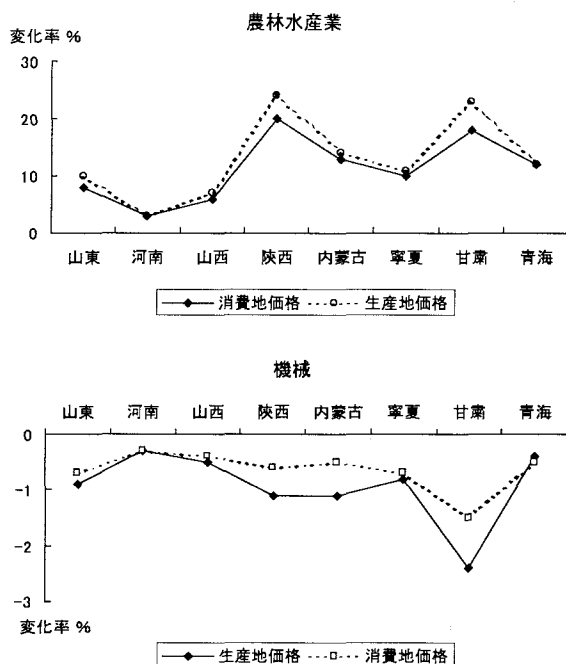


図-10 財価格の変化（市場取引後）

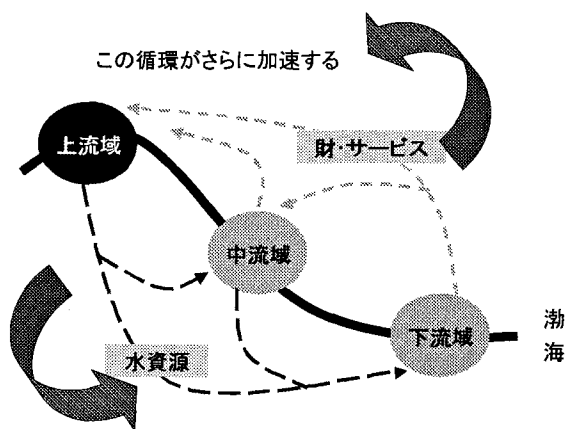


図-11 黄河流域における水循環

5. 結論

(1) 研究の成果

本研究では、経済成長著しい中国にあって水資源不足が問題となっている黄河流域を取り上げ、水資源を財・サービスのひとつとして取引できる仮想取引市場モデルを構築した。今後中国が持続可能な経済成長を遂げていくためにも、効率的な水管理実施は早期に必

要であり、またその実施を援用するベンチマークを与えることが本研究の目的である。応用一般均衡モデルを基礎とした、黄河流域8省区全体を統合した水取引市場モデルにおいて、水使用制約下での経済成長(10%成長)を達成するためには流域全体でいかに水配分をし、かつ各地域の経済活動がなされるかを明らかにし、以下の知見が得られた。

- ①市場取引の際に市場へ積極的に水を提供する省区とほとんど取引しない省区が明らかになった。前者には甘肅省、陝西省が、後者には河南省や山東省が相当する。これより、水資源が不足する下流域が市場で水資源を購入することで生産体制を維持することが確認された。
- ②生産額では取引前後で地域によって変化パターンが異なっている。山東省や河南省などの下流域は大きな生産変化はなく、逆に甘肅省などの上流域では大きな生産変化が余儀なくされる。経済規模や水使用効率性が優っている下流域の経済活動はそのまま、経済性に劣る上流域が生産構造を変化させることが流域全体にとって得策であることが示された。
- ③水資源循環は、上流域から下流域へ流れる実態水が財やサービスの形で仮想水として下流域より還流することがわかった。経済発展が進行すればこの循環はさらに大きくなっていくと考えられるが、上中流域の開発および水資源配分の公平性を考慮すると経済性以外の指標を考慮した水配分を検討すべきである。

(2) 今後の課題

本研究では1997年の中国地域間産業連関表をベースに検討されている。しかし、急速な経済成長中の中国では年々、各地域の産業構造が変化していると考えられる。筆者らは1997年表を基準にし2000年地域間産業連関表の延長推計を実施している⁹⁾が、推計精度については参照する基準表が中国にはないため十分担保できていない。しかし、現在作業中の2002年の中国地域産業連関表が完成すれば、中国でもその推計精度を検証することが可能であると考えられる。その他では、中国政府の考える地域開発計画とマッチングさせるためのシナリオ設定、それに経済効率以外の「公平性」考慮した指標、例えば上流域の自然環境保全を勘案した水配分のあり方を検討することが必要であろう。

参考文献

- 1) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): Improving water management: Recent OECD experience, OECD, 2003
- 2) 例えば, 国際協力銀行(JBIC): 中国北部水資源問題の実情と課題—黄河流域における水需給の分析—, JBIC Research Paper No. 28, 2004
- 3) Allan, J.A.: Virtual water: long term solution for water short Middle East economies?, Proceedings of the Paper Presentation at the 1997 British Association Festival of Scientists, University of Leeds, Water and Development Session, 1997
- 4) 幡野貴之・奥田隆明: 省市レベルの地域間産業連関表を用いた中国国内の仮想水分析—黄河流域を中心にして—, 環境システム研究論文集 Vol.32, 1-9, 2004
- 5) 奥田隆明・鈴木隆・幡野貴之: 中国地域間産業連関表を用いた仮想水移動の二時点比較分析, 環境システム研究論文集 Vol.33, 2005 (in print)
- 6) ICWE・UNCED 資料研究会: 21 世紀の水と環境: 水と環境をめぐる国際的な動き, 大成出版社, 1992
- 7) Seung, C., Harris, T. and MacDiarmid, T.: Economic impacts of surface water reallocation policies: A comparison of supply-determined SAM and CGE models, J. Reg. Anal. Policy, Vol.27 (2), 55-76, 1997
- 8) Seung, C., Harris, T., Englin, J. and Netusil, N.: Impacts of water reallocation: A combined computable general equilibrium and recreation demand model approach, Ann. Reg. Sci., Vol.34, 473-487, 2000
- 9) 高木朗義, 武蔵真一, 濱平涼子: 地域間の公平性を考慮した洪水調整ルールを検討, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, Vol.56, 386-387, 2001.
- 10) Shangguan, Z., Shao, M., Horton, R., Lei, T., Qin, L. and Ma, J.: A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its application, Agr. Water Management, Vol.52, 139-154, 2002
- 11) Fang, L.: A spatial model(SWAM) for water efficiency and irrigation technology choices – A case study from Northwestern China, Farming & Rural Systems Economics, Margraf Verlag, 2003
- 12) Xu, Z., Takeuchi, K., Ishidaira, H. and Zhang, X.: Sustainability analysis for Yellow River water resources using the system dynamics approach, Water Resource Management, Vol.16, 239-261, 2002
- 13) Feng, S., Li, L., Duan, Z. and Zhang, J.: Assessing the impacts of south to north water transfer project with decision support systems, Decision Support Systems, 2004 (in print)
- 14) 奥田隆明, 橋本浩良: 地方生活圏レベルの地域間産業連関表の推計, 第 28 回土木計画学研究発表会・講演集, 2003.
- 15) 奥田隆明, 種蔵史典, 幡野貴之, 斉舒暢: 中国省市レベルの地域間産業連関表の推計とその分析, 土木計画学論文集 Vol. 21, 247-254, 2004.

A GENERAL EQUILIBRIUM MODELING ON WATER ALLOCATION IN THE YELLOW RIVER BASIN, CHINA

Takayuki HATANO and Takaaki OKUDA

In order to continue the sustainable economic growth, China has to tackle water problems that are one of the challenges to be solved to develop. Notably along the Yellow River Basin amount of available water has been decreasing, this may depend not only on the natural process like the climate change but also mainly on the wasteful use deriving from an insufficient water resource management. Because of the reason, an efficient water management is required with support of market mechanisms. In accordance with the situation, we propose a virtual water trading market based on general equilibrium model at a province level in the Yellow River Basin.

The results unveil the way of water allocation that each region would have to manage in order to attain a proper economic growth in the whole basin under the water resource limitations. In addition, it is confirmed that doing production management among regions and sectors could be more effective than doing it only within a region.