

# 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\*

## Virtual water analysis comparing two time points on China\* by using multi-regional I-O tables

奥田 隆明\*\* 鈴木 隆\*\*\* 幡野 貴之\*\*\*\*

By Takaaki Okuda\*\* Takashi Suzuki\*\*\* Takayuki Hatano\*\*\*\*

### 1. はじめに

中国は改革・開放政策の実施によって急速な経済成長を実現した。しかし、更なる経済成長を遂げるためには幾つかの課題を解決しなければならないことも明らかになってきた。黄河流域では急速な経済成長によって水問題が深刻化し、水資源の管理が重要な課題として浮かび上がってきた。黄河のような広大な流域で水資源管理を実現するためには、水需要の実態を十分把握した上で、科学的な根拠に基づく対策を具体的に検討していくことが重要である。

他方で、中国国内では市場経済の導入によって地域分業が確実に進展し始めている。そのため、相対的に水資源の乏しい地域では水資源の豊かな地域から財貨を移入することも可能になり始めている。こうした地域分業が進む中で、国内各地域の経済成長が水需要にどのような影響を与えているのか、その構造を明らかにしていく必要がある。こうした問題意識から筆者らはこれまでも中国国内の財貨の移動に注目し、これに伴う仮想的な水の地域間移動(以下では、これを仮想水移動と呼ぶ)について分析を行ってきた<sup>1)</sup>。しかし、中国国内では1990年代後半急速な経済成長が続き、特にこうした経済成長は沿海部で実現したため中国国内の地域構造も大きく変化した。これに伴って国内の財貨移動が変化し、仮想水移動も大きく変化したことが予想される。

こうした経済成長に伴う水需要構造の変化を把握しておくことは、今後更なる経済成長の中で水資源管理をどのように変化させるか考える上で貴重な情報となる。そこで本研究では、2000年における中国国内の仮想水移動を明らかにし、その結果を1997年のものと比較することにより、1990年代後半、中国の経済成長によって国内の水需要構造がどのように変化したのかを明らかにすることを目的とするものである。以下、**2.**では、仮想水の推計方法について述べ、**3.**では、1997年と2000年の比較分析の結果について述べる。

### 2. 水分析用地域間産業連関表の推計

#### (1)水分析用地域間産業連関表

ある地域で財貨が需要される場合、その周辺地域でこれに関連した多くの生産が行われる。仮想水は、これらの生産を仮にすべて当該地域で行った時に必要となる水資源の量を求めたものである<sup>2)</sup>。本研究では仮想水を求めるために水分析用地域間産業を利用した。水分析用地域間産業連関表は1)地域間産業連関表と、2)地域別産業別水投入量のデータから構成される。

中国では各省市区の統計局が5年に一度、それぞれの地域産業連関表の推計を行っている。筆者らはこれらの地域産業連関表をリンクして1997年の中国地域間産業連関表を作成してきた。また、現在、中国では2002年の地域産業連関表の推計作業も行われているが、これが公表されるまでにはかなりの時間がかかる。他方、2000年のマクロな地域経済統計についてはすでに公表されているものも多いため、本研究ではこれらのデータを用いて2000年の地域間産業連関表の延長推計を行う。

また、地域別産業別水投入量についても後述する

\*キーワード：水資源計画、国土計画、産業立地

\*\*正員、工博、名古屋大学大学院環境学研究科

地圏空間環境学講座

(愛知県名古屋市千種区不老町環境学総合館 5F 506、

TEL052-789-4654、FAX052-789-1462)

\*\*\*学生員、工学士、名古屋大学大学院環境学研究科

\*\*\*学生員、農修、名古屋大学大学院環境学研究科

通り 2000 年の値が中国水資源広報に公表されている。そのため、本研究ではこのデータに基づきながら、地域間産業連関表の産業分類と整合が取れるように調整を行う。

## (2)地域間産業連関表の延長推計

### 1)問題設定

産業連関表の延長推計については、これまでもいくつかの方法が提案されてきている。筆者らはエントロピー法を用いて競争移入型の地域間産業連関表を推計する方法を提案し、日本の地域間産業連関表を用いてこの方法がどの程度の推計精度を持つのかについても検証を行ってきた。本研究では基本的にこの方法を用いて中国の地域間産業連関表の延長推計を行う。

競争移入型の地域間産業連関表は 1)地域産業連関表と 2)地域間交易表の 2 種類の表から構成される。このとき中国の地域統計から、生産額  $X_j^s$ 、付加価値  $V_j^s$ 、最終需要  $F_i^s$ 、輸出  $E_j^s$ 、輸入  $M_i^r$  については 2000 年の値が入手できる。そのため、この延長推計によって中間投入  $x_{ij}^s$  と地域間交易  $y_i^{rs}$  を推計することになる。

### 2)一次推計

中間投入については、1997 年の地域間産業連関表から各地域の投入係数を求め、これに 2000 年の生産額を乗じて一次推計値を求める。つまり

$$\bar{x}_{ij}^s = \bar{a}_{ij}^s X_j^s \quad (1)$$

また、地域間交易については 1997 年の地域間産業連関表から地域間交易係数を求め、これに地域内需要から輸入を控除した値を乗じて一次推計値を求める。つまり

$$\bar{y}_i^{rs} = \bar{t}_i^{rs} \left( \sum_j \bar{x}_{ij}^s + F_i^s - M_i^r \right) \quad (2)$$

### 3)バランス調整

しかし、こうして求めた中間投入、地域間交易は地域間産業連関表としてのバランスが取れていない。そこで 2000 年の地域間産業連関表としてのバランスを保ちながら、出来る限り一次推計値に近い中間投入と地域間交易を求めることにする。このとき、

近接性の尺度としてエントロピーを用いるとこの問題は次の最適化問題として定式化できる。

目的関数：

$$\sum_s \sum_i \sum_j x_{ij}^s \left( \ln \frac{x_{ij}^s}{\bar{x}_{ij}^s} - 1 \right) + \sum_i \sum_r \sum_s y_i^{rs} \left( \ln \frac{y_i^{rs}}{\bar{y}_i^{rs}} - 1 \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

制約条件：

$$\sum_i x_{ij}^s + V_j^s = X_j^s \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ij}^s + F_i^s = Y_i^s \quad (5)$$

$$\sum_r y_i^{rs} + M_i^s = Y_i^s \quad (6)$$

$$\sum_s y_i^{rs} + E_i^r = X_i^r \quad (7)$$

式(3)の目的関数は、一次推計値  $\bar{x}_{ij}^s$ 、 $\bar{y}_i^{rs}$  で最も小さな値を取り、この値から離れるにしたがって次第に大きな値を取る関数である。また、制約条件(4)、(5)は地域間産業連関表の列方向、行方向のバランスを保つための条件式、制約条件(6)、(7)は地域間交易表の行方向、列方向のバランスを保つための条件式を表している。この最適化問題を解き、中間投入、地域間交易を求めた。

## (2)水投入量の推計

2000 年の水投入量については、中国水資源公報に地域別部門別の値が推計されている。しかし、その部門は農林水産業、工業、生活の 3 部門となっているため、これを 11 産業に分割した。つまり、1997 年の水分析用地域間産業連関表から水投入係数 (29 地域 11 産業) を求め、その値に 2000 年の生産額を乗じて 2000 年の水使用量の一次推計値を求める。そして、この一次推計値の大きさに基づいて中国水資源公報の値を按分して 2000 年の水使用量 (29 地域 11 産業) を求めた。

## 3. 仮想水移動の二時点比較分析

### (1)仮想水量の推計方法

2. で推計した水分析用地域間産業連関表を用い

て地域間産業連関分析を行うことにより、最終製品の生産に必要な水資源のみならず、中間製品の生産に必要な水資源についても考慮した仮想水移動を明らかにすることができる。本研究では、競争移入型の地域間産業連関表を用いて地域間産業連関分析を行うため、次のチェネリー・モーゼス型モデルを用いた。

$$X = \{I - A(I - \hat{M})T\}^{-1} \{I - \hat{M}\}TF + E \quad (1)$$

ここで、 $X$  は生産ベクトル、 $F$  は最終需要ベクトル、 $E$  は輸出ベクトル、 $A$  は投入係数行列、 $T$  は地域間交易係数行列、 $\hat{M}$  は輸入係数行列である。

このとき、地域  $s$  の最終需要ベクトルを  $F^s$  とすると、この最終需要による生産誘発額  $X^s$  は次のようになる。

$$X^s = \{I - (I - \hat{M})TA\}^{-1} (I - \hat{M})TF^s \quad (2)$$

つまり、上式を用いれば、地域  $s$  の最終需要によってどの地域でどんな生産が行われているのかを明らかにすることができる。仮想水はこうした生産を仮にすべて当該地域  $s$  で行った場合に新たに必要となる水資源の量を求めたものである。したがって、式(2)で求めた生産額に地域  $s$  の水投入係数を乗じれば地域  $s$  への仮想水移動を求めることができる。つまり、

$$W^s = B^s X^s \quad (3)$$

ここで  $W^s$  は地域  $s$  からの仮想水移動、 $B^s$  は地域  $s$  の水投入係数行列

## (2) 中国国内の仮想水移動

図1は南部沿海部、内陸部、黄河流域の3つの地域の仮想水移動(2000年)を示したものである。図中、矢印は地域間の仮想水移動の大きさ、円柱は地域内での仮想水移動の大きさを表している。まず、南部沿海と内陸部の関係を見ると、南部沿海部から内陸部に流出する仮想水は165億 $m^3$ 、逆に内陸部から南部沿海部へ流出する仮想水は122億 $m^3$ となっており、水資源の豊富な南部沿海部から水資源の乏しい内陸部への流出が超過していることがわかる。その主な

原因は、南部沿海部で生産された二次産品がこれらの地域に移出されていることにある。南部沿海部は長江の下流域に位置しており、この地域で多くの水資源を必要とする工業製品を生産し、相対的に水資源の乏しい内陸部にこれらを出していることがわかる。

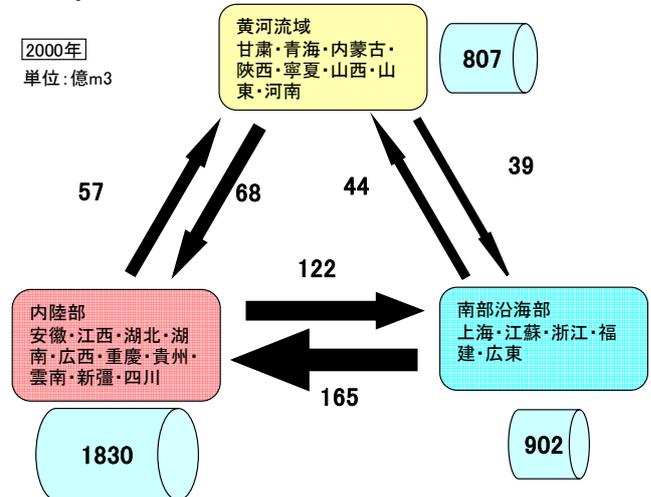


図1 中国国内の仮想水移動 (2000年)

他方、図2は1997年から2000年の仮想水移動の変化を示したものである。図中、黒の矢印は仮想水移動が増加していることを、白の矢印は仮想水移動が減少していることを示している。この図から、南部沿海部から黄河流域に流出する仮想水は9.1億 $m^3$ の増加、南部沿海部から内陸部に流出する仮想水は55億 $m^3$ の増加となっている。これは南部沿海部からこれらの地域への二次産品の移出が増加したことによる原因がある。逆に、黄河流域から南部沿海部に流出する仮想水も21億 $m^3$ の減少となっている。それらの原因がこれらの地域から南部沿海部への一次産品、二次産品の移出が減少したことにある。

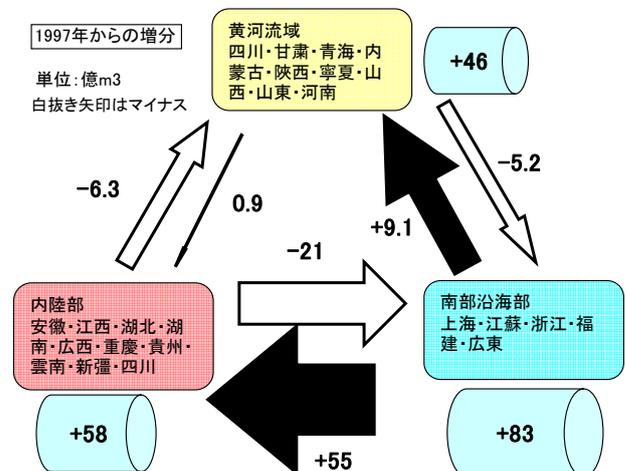


図2 中国国内の仮想水移動の変化 (1997-2000)

南部沿海部は 1990 年代の中国経済成長の中心となった地域である。この地域では生産の増加に伴って労働や資本の投入が増加するだけでなく、水資源の投入も急速に増加している。そして、この地域で生産された製品が内陸部や黄河流域に移出される地域構造がさらに顕著なものになりはじめている。他方、中国政府は沿海部と内陸部の所得格差を解消するため、積極的に内陸部の開発を進めている。しかし、水資源の乏しい内陸部の開発を進めるためには、1) 如何にして水資源を確保するか、2) 如何にして水資源を有効利用するかについて十分な検討を行って行く必要がある。また、こうした努力によっても水資源の確保が難しい地域では、3) 水資源の豊かな地域から如何にして製品を移入するかについても十分な検討を行って行く必要があると言える。

### (3) 中国国内の仮想水移動

図 3 は黄河流域を上流、中流、下流の 3 地域に区分し、その仮想水移動(2000 年)を示したものである。この図から、黄河流域では下流域から中流域に流出する仮想水が 9.4 億 $m^3$ 、また、上流域から中流域へ流出する仮想水が 7.2 億 $m^3$ と大きいことがわかる。中流域は乾燥帯に位置し、相対的に水資源が乏しい地域である。そのため、中流域では上流域や下流域から一次産品を移入しており、これに伴う仮想水移動が大きいことがわかる。

また、図 4 は 1997 年から 2000 年の仮想水移動の変化を示したものである。この図から上流域から中流域へ流出する仮想水は 2.4 億 $m^3$ の増加、下流域から中流域へ流出する仮想水も 0.9 億 $m^3$ 増加していることがわかる。特に、上流域から中流域への仮想水移動は、一次産品の移入が増えたことによって大きく増加している。この背景には、1) 上流域では穀物生産を中心とした農業から付加価値の高い牧畜業へとその生産が変化していること、2) 中流域でも所得上昇によって食生活が変化し、食肉等の需要が増加したこと等が考えられる。また、(2) で説明した中国国内での変化と同様に、下流域では工業化が進み、二次産品の生産が増加している。そしてこうした製品は上流域、中流域に供給されはじめているため、下流域から中流域、上流域への仮想水移動が増加していることもわかる。

黄河流域全体では、上流域から中流域、さらに下流域へと水資源が流下して行く。しかし、下流域ではこの水資源を利用して生産が行われ、その製品が中流域、上流域へと戻り、黄河流域全体で新しい水循環を形成し始めていると言うこともできる。他方、上流域や中流域でも生産体制が変化し、また、ライフスタイルの変化によって新たな水資源を必要としはじめている。しかし、上流域や中流域での水利用が増加すれば、当然、下流域で利用可能な水資源は減少する。こうした点を考えると、中国の経済成長は黄河流域内の相互依存関係を変化させており、こうした変化を十分考慮した上で水資源の利用について再検討することが必要な時期に来ていると言える。

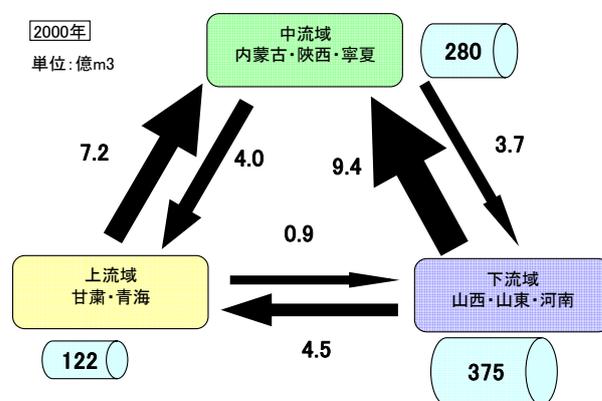


図 3 黄河流域内の仮想水移動 (2000 年)

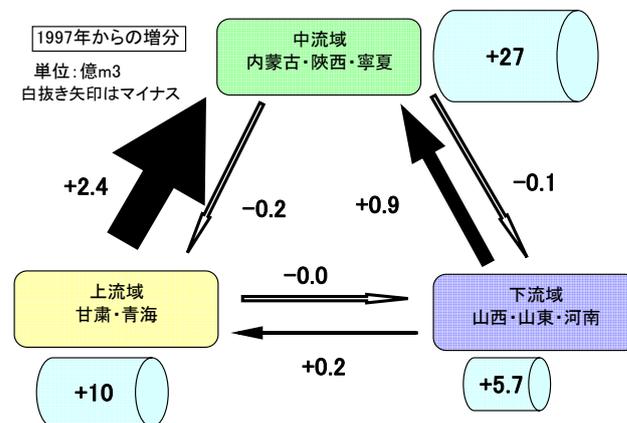


図 4 黄河流域内の仮想水移動の変化 (1997-2000)

### 参考文献

- 1) 幡野貴之・奥田隆明(2004): 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, pp.1-9.
- 2) Allan, J.A.: Water Stress and Global Mitigation, Water, Food, and Trade, ALN#45 Spring/Summer 1999, 1999