

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

奥田隆明¹・鈴木隆²・幡野貴之³

¹正会員 博(工学) 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.nagoya-u.ac.jp

²学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

³学生会員 農修 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

中国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き上がってきている。本研究では、中国国内の移出入に伴う水資源の地域間移動（これを仮想水移動と呼ぶ）の実態を明らかにし、1990年代後半の急速な経済成長によって中国国内の仮想水移動がどのように変化したのかを明らかにする。論文の前半では中国国内の仮想水移動を明らかにするために必要となる水分析用地域間産業連関表の推計方法について検討する。また、論文の後半では仮想水移動の分析が行われ、1)水資源の豊富な南部沿海部から水資源の乏しい内陸部、黄河流域への仮想水移動が増加していること、2)黄河流域でも下流域から中流域、上流域への仮想水移動が増加していること、3)上流域、中流域でも水需要が増大しており、流域内の相互依存関係の変化を考慮して水利用のあり方を再検討する必要があること等が明らかにされる。

Key Words : *Virtual water, Multi-regional input/output tables, Yellow river basin*

1 はじめに

1978年から実施された改革・開放政策によって中国は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き上がってきている¹⁾。黄河のような広大な流域で水資源を管理するためには、水需要の実態を十分明らかにした上で科学的な根拠に基づき水資源の管理を行っていくことが重要であると言える。

他方で、中国では市場経済の導入によって地域分業が進展し、水資源の乏しい地域では水資源の豊かな地域から製品を移入することも可能になり始めている。そのため、こうした国内における移出入についても十分考慮した上で、その水需要の実態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水需要分析に仮想水（Virtual Water）の概念を導入し、国内の移出入に伴う仮想的な水の地域間移動の実態（1997年）を明らかにしてきた²⁾。

しかし、中国では1990年代後半、急速な経済成長が続き、これによって国内の生産体制が大きく変化した。また、これに伴う移出入の変化は中国国内の仮想水移動を大きく変化させたものと予想される。こうした経済成長に伴う水需要の変化を把握しておくことは、今後、更なる経済成長が続く中で中国の水需要がどのように変化するのか、また、これに伴って水資源の管理をどのように変化させていく必要があるのかについて考える上で幾つかの示唆を与えるものと考えられる。

そこで、本研究では、これまで筆者らが行ってきた1997年の中国国内の仮想水移動の分析に加え、2000年の仮想水移動の実態を明らかにする。そして、両者を比較することにより、1990年代後半の

経済成長によって中国国内の仮想水移動がどのように変化したのかを明らかにする。以下、2. では仮想水移動に関する関連研究について説明し、3. では仮想水移動を求めるために必要な水分析用地域間産業連関表の推計方法について説明する。また、4. ではこの水分析用地域間産業連関表を用いて 2000 年の仮想水移動の実態を明らかにし、1997 年から 2000 年の間にこれがどのように変化したのかを分析した結果について述べる。

2 従来の関連研究

(1) 仮想水の研究

仮想水 (Virtual Water) の概念は 1990 年代に J. A. Allan が提案したものである^{3)~4)}。通常、農産品や工業製品の生産には水資源が投入されるが、これらの輸出入によって間接的に水資源も輸出入することとなる。仮想水は輸入した生産物を仮にすべて当該地域で生産し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。特に農産品の生産には多くの水資源を必要とするため、これまで農産品の輸入に伴う仮想水を分析する研究が数多く行われてきた。例えば、三宅・沖ら (2002) は日本の農産品の輸入による仮想水の移動を明らかにしている^{5)~6)}。

(2) 中国国内における仮想水の研究

しかし、中国のような広大な国土を持ち、水資源も地域的に偏在している国では、国内の移出入に伴う仮想水移動が問題になる。こうした問題意識から、筆者らはこれまで国際的な取引を対象として行われてきた仮想水分析を、中国国内の地域的な取引を対象として行うことを提案し、実際に 1997 年における仮想水分析を行ってきた²⁾。また、この分析には中国国内を 29 省市に区分した水分析用地域間産業連関表が用いられ、これによって最終製品のみならず、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してきた。

(3) 本研究の位置づけ

しかし、中国では 1990 年代後半の経済成長によって国内の生産体制が大きく変化した。その結果、中国国内の仮想水移動も大きく変化していることが予想される。これまで仮想水分析は、ある一時点における水資源の地域間移動を明らかにするために行われてきたが、これを複数の時点で比較すれば、水需要の構造がどのように変化したのかを明らかにすることができる。特に、中国のような急速な経済成長を遂げようとしている国では、こうした水需要の

変化の実態を把握することができれば、更なる経済成長によって今後、その構造がどのように変化するのかを予想する上でも貴重な情報となることが考えられる。そこで、本研究では、これまで筆者らが行ってきた 1997 年の中国国内の仮想水移動の分析に加え、2000 年の仮想水移動の実態を明らかにし、この間に仮想水移動がどのように変化したのかを明らかにすることを試みる。

3 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

2. でも説明した通り、中国国内の仮想水分析を

表1 水分析用地域間産業連関表

a) 地域産業連関表			
地域 s	産業 j	最終需要	地域内需要
産業 i	x_{ij}^s	F_i^s	Y_i^s
付加価値	V_j^s		
生産額	X_j^s		

b) 地域間取引表			
産業 i	地域 s	輸出	生産額
地域 r	y_i^{rs}	E_i^r	X_i^r
輸入	M_i^s		
地域内需要	Y_i^s		

c) 水投入量	
	産業 j
地域 s	W_j^s

行うためには、水分析用地域間産業連関表が必要となる。このとき、水分析用地域間産業連関表は、1) 地域間産業連関表と 2) 地域別産業別の水投入量のデータから構成される (表 1 参照)。

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⁷⁾。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既に公表されているものも多いため^{8)~9)}、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、後述する通り 2000 年の値が中国水資源公報に公表されている¹⁰⁾。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、これまでにも幾つかの方法が提案されてきている^{11)~12)}。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¹³⁾。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表 1 に示す通り、1) 地域産業連関表と 2) 地域間取引表の 2 種類の表から構成される。このとき、生産額 X_j^s 、付加価値

V_j^s 、最終需要 F_i^s 、輸出 E_i^r 、輸入 M_i^s については、

中国の地域統計から 2000 年の値が入手できるものとする。そのため、この延長推計によって中間投入 x_{ij}^s 、地域間交易 y_i^{rs} 、地域内需要 Y_i^s 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、

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

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、

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

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、できる限り一次推計値に近い中間投入、地域間交易、地域内需要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：

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

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 $\bar{x}_{ij}^s$ 、 $\hat{y}_i^{rs}$ で最も小さな値を取り、この値から離れるに従って次第に小さ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)は地域間取引表の行方向、列方向のバランスを保つための条件式を表している。

4) 最適化条件

この最適化問題の一階の条件を導くと、以下のようになる。

$$x_{ij}^s = R_i^s \bar{x}_{ij}^s S_j^s \quad (8)$$

$$\sum_i x_{ij}^s = X_j^s - V_j^s \quad (9)$$

$$\sum_j x_{ij}^s = Y_i^s - F_i^s \quad (10)$$

$$y_i^{rs} = A_i^s \bar{y}_i^{rs} B_i^r \quad (11)$$

$$\sum_r y_i^{rs} = Y_i^s - M_i^s \quad (12)$$

$$\sum_s y_i^{rs} = X_i^r - E_i^r \quad (13)$$

$$R_i^s = \frac{1}{A_i^s} \quad (14)$$

ここで、 R_i^s 、 S_j^r は地域産業連関表を求めるための

補正係数、 A_i^s 、 B_i^r は地域間取引表を求めるための補正係数である。

式(8)～(10)は、地域産業連関表をRAS法で推計した場合、収束時に成立する条件と一致する。また、式(11)～(13)は、地域間取引表をRAS法で推計した場合、収束時に成立する条件と一致する。したがって、地域産業連関表、地域間取引表は何れもRAS法によって推計すべきことを意味している。ただし、

式(14)は地域産業連関表の補正係数 R_i^s と地域間取引

表の補正係数 A_i^s が満たすべき条件を示している。

つまり、2つのRAS法は完全に独立したものではなく、その補正係数が式(14)を満たさなければならないことを意味している。

(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¹⁰⁾に地域別部門別の値が公表されている。しかし、その部門は農林水産業、工業、生活の3部門のみとなっているため、本研究では図1に示す推計フローに従ってこれを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

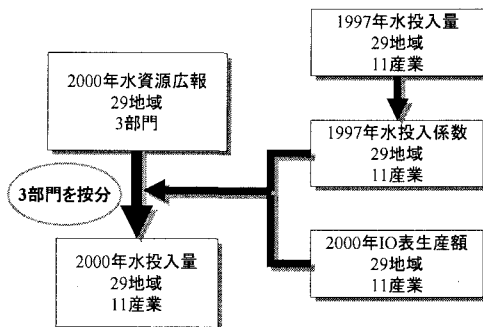


図1 水投入量の推計方法

地域11産業)を求め、その値に2000年の生産額を乗じて2000年の水投入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年の水投入量(29地域11産業)を求めた。

4 仮想水移動の二時点比較分析

(1) 仮想水の推計方法

3.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。

$$X = \{I - A(I - \hat{M})T\}^{-1} \{I - \hat{M}\}TF + E \quad (15)$$

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

このとき、地域 s の最終需要ベクトルを F^s 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。

$$X^s = \{I - (I - \hat{M})TA\}^{-1} \{I - \hat{M}\}TF^s \quad (16)$$

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。2.でも説明した通り、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(16)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、

$$W^s = B^s X^s \quad (17)$$

ここで、 W^s は地域 s への仮想水移動、 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

3.では中国国内を29省市区に区分した水分析用

地域間産業連関表を作成したが、紙面の都合によりこれを幾つかの地域に統合して中国国内の仮想水移動の実態を分析した結果について述べる。

図2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、円柱は地域内の仮想水移動の大きさを表している。まず、南部沿海部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、比較的水資源の豊富な南部沿海部から水資源の乏しい内陸部¹⁰⁾への流出が超過していることがわかる。また、南部沿海部と黄河流域の関係を見ても、南部沿海部から黄河流域に流出する仮想水は44億 m^3 、逆に黄河流域から南部沿海部へ流出する仮想水は39億 m^3 となっており、水資源の豊富な南部沿海部からの水資源の乏しい黄河流域への流出がやや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や黄河流域にこれらを出していることがわかる。

他方、図3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（特に化学、機械、その他製造業等の製品）の移出が増加したことに原因がある。逆に、黄河流域から南部沿海部に流出する仮想水は5.2億 m^3 の減少、内陸部から南部沿海部へ流出する仮想水も21億 m^3 の減少となっている。その原因はこれらの地域から南部沿海部への一次産品、二次産品（特に化学、その他製造業等の製品）の移出が減少したことにある。

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、

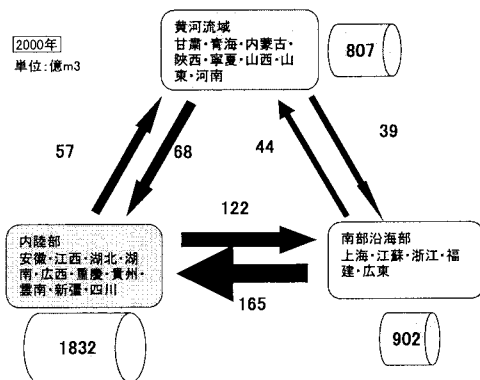


図2 中国国内の仮想水移動
(2000年)

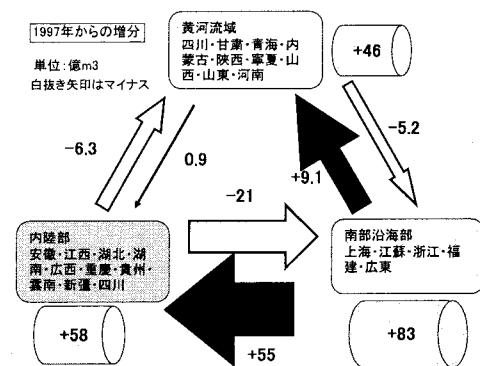


図3 中国国内の仮想水移動の変化
(1997年～2000年)

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いく必要がある。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中間製品を移入するのかについても十分な検討を行っていく必要があると言える。

(3) 黄河流域内の仮想水移動

図4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5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、上流域から中流域への一次産品の移出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) 中流域では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、2) 上流域では飼料の生産を含め、より多くの水資源を必要とする牧畜業の生産が増加している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、上流域に供給され始めている。こうした地域構造の変化によって仮想水は下流域から再び中流域、上流域へと回り、黄河流域全体で新しい水循環を形成しはじめているということもできる。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、市場経済の導入による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。

5 結論

(1)研究の成果

本研究では、筆者らがこれまで行ってきた1997年における中国国内の仮想水分析に加え、2000年の仮想水移動を明らかにし、両者を比較することによって1990年代後半の経済成長によって、中国国内の仮想水移動が如何に変化したのかを明らかにした。まず、中国全体を黄河流域、南部沿海部、内陸部の3地域に区分した分析によって、工業化の進んだ南部沿海部では多くの水資源を投入して工業製品を生産し、これを黄河流域、内陸部に供給する地域構造が一層顕著なものとなり、南部沿海部からその他の地域への仮想水移動が増加していることがわかった。また、黄河流域を上流域、中流域、下流域の

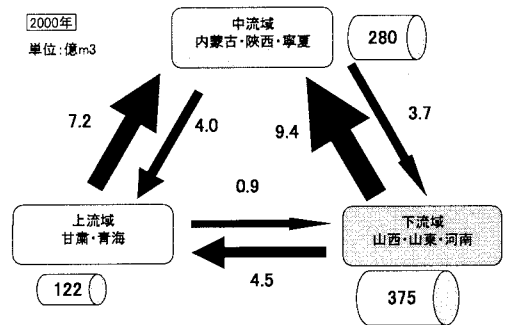


図4 黄河流域内の仮想水移動
(2000年)

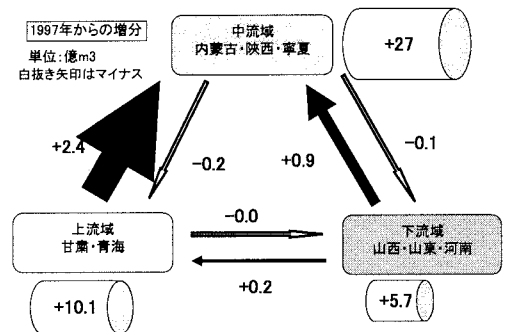


図5 黄河流域内の仮想水移動の変化
(1997年～2000年)

3 地域に区分した分析では、黄河流域でも工業化の進んだ下流域で生産された工業製品は中流域、上流域に供給され始めており、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、他方で上流域や中流域では生産の変化や食生活の変化が水需要を増大させていること、そのため、こうした地域の相互依存関係の変化を十分考慮した上で、流域全体での水資源の利用について再検討することが必要な時期に入ってきていることなどを明らかにした。

(2)今後の課題

本研究では入手可能な統計データから中国における水分析用地域間産業連関表を延長推計する方法を検討してきた。2.でも述べた通り、日本の地域間産業連関表を用いてその推計精度を確認しているものの²⁾、中国では十分な統計データが入手できないため、推計精度の検証を行うことができない。現在、各省市区の統計局が進めている2002年地域産業連関表が完了すれば、中国でもその推計精度をある程度検証することが可能であると考えている。

また、本研究では、推計した水分析用地域間産業連関表を用いて幾つかの分析結果を示したが、これらは幾つかの例に過ぎず、今後、他の地域でも同様な分析を行うことが可能であると考えている。上述した推計精度の検証と合わせて、こうした課題についても、今後、検討していく必要がある。

なお、本研究は科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））「21 世紀中国における持続的成長の課題—数量的評価—」（研究代表：江崎光男、研究課題番号：12572013）により行った研究成果の一部である。特に中国の水分析用地域間産業連関表を作成するにあたって中国国家统计局から多くの地域統計をご提供頂いた。記して感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 例えば、小林亮輔・小川茂・方偉華・井村秀文: 中国黄河流域の水資源需要将来予測に関する研究, 第 31 回環境システム研究論文発表会講演集, 295-302, 2003
- 2) 幡野貴之・奥田隆明: 省市区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—, 環境システム研究論文集 Vol. 32, 1-9, 2004
- 3) Allan, J.A.: Water Stress and Global Mitigation, *Water, Food, and Trade*, ALN#45 Spring/Summer 1999, 1999
- 4) Allan, J.A.: Virtual water: along term solution for water short Middle Eastern economies?, *Proceedings of the Paper Presentation at the 1997 British Association Festival of Scientists*, University of Leeds, Water and Development Session, 1997
- 5) 三宅基文・沖大幹・虫明功臣: 日本を中心とした仮想水の輸出入, 第 6 回水資源に関するシンポジウム論文集, 728-733, 2002
- 6) Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S. and Musiake: Virtual water trade to Japan and in the world, in *Virtual Water Trade-Proceedings of the international export meeting on virtual water trade*, IHE Delft, 2003.
- 7) 奥田隆明・種蔵史典・幡野貴之・斉舒暢: 中国省市区レベル地域間産業連関表の推計とその分析, 第 28 回土木計画学研究発表会・講演集, 2003
- 8) 国家统计局編: 中国統計年鑑 2001
- 9) 中国統計出版社: 中国工業経済統計年鑑 2001
- 10) 中華人民共和国水利部: 中国水資源広報, 1997-2002
- 11) Lecomber, J.: A critique of methods of adjusting, updating and projecting matrices, in Allen, R., *Estimating and projecting input-output coefficients*, Input-output publishing: London, 2-26, 1975.
- 12) Schneider, M. and Zenios, S.: A comparative study of algorithms for matrix balancing, *Operations research*, Vol.38, No.3, 439-455, 1990.
- 13) 奥田隆明: エントロピー法を用いた地域間産業連関表の延長推計について, 応用地域学会研究発表会, 2003

VIRTUAL WATER ANALYSIS COMPARING AT TWO POINTS IN TIME ON CHINA BY USING MULTI-REGIONAL TABLES

Takaaki OKUDA, Takashi Suzuki and Takayuki HATANO

In 1978, the government of China started reforms and open-door policies, and they contribute to economic growth. However as the result of the growth, water demand has been increasing and it worsens water shortage. In this study we showed a structure of water demand in 2000 by using virtual water. Concretely speaking we made multi-regional I-O tables in 2000, and calculated the mount of virtual water. And we analyzed the transformation of virtual water by comparing with the result of 1997. In consequence the virtual water displacement from south coastal area to other area increased. In the view of Yellow River Basin the virtual water from developed downstream increased. At the area of upstream the forms of agriculture was changed and the demand of water was increased.