

〈研究発表〉

水資源利用分析用産業連関表を用いた琵琶湖の水資源利用の実態把握

井手 慎司¹⁾, 石本 貴之²⁾

滋賀県立大学 環境政策・計画学科(〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500, E-mail: ide@ses.usp.ac.jp)¹⁾

滋賀県立大学大学院 環境科学研究科(〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500, E-mail: t13tishimoto@ec.usp.ac.jp)²⁾

概要

本研究では、琵琶湖の水資源利用をめぐる滋賀県と下流府県を中心とした国内外の他地域との関係性を把握するために、産業部門毎の水消費原単位と汚濁負荷原単位を組み込んだ、水資源分析用産業連関表を構築し、同連関表を用いた分析を実施した。その結果、滋賀県では、農林水産業が量的・質的ともに、琵琶湖に対する主要な負荷源になっていることや、琵琶湖の水資源を利用して県内で生産される財・サービスの消費による便益が下流府県に大きく提供される一方で、同県に対する下流府県からの便益が非常に小さいことなどが明らかになった。

キーワード: 琵琶湖, 水資源管理, 産業連関表, 水消費, 水質汚濁負荷

1. はじめに

わが国最大の湖沼である琵琶湖は、湖水の給水区域が滋賀と下流府県(京都, 大阪, 兵庫)の4府県にまたがる日本最大の水資源である。また、集水域が滋賀県の県域とはほぼ一致しており、県内において財・サービスの生産にともない発生する水質汚濁負荷の巨大な受け皿ともなっている¹⁾。

一般に水資源は、生活・工業・農業用水などの量としての「量的」利用と、利用の結果として発生する汚濁負荷の受け皿という質としての「質的」利用の2つの側面を有している²⁾。また、水資源は有限かつ地域偏在的であり、財等の生産にともなう「直接的」利用だけでなく、財等の移輸入によって補完される「間接的」利用という側面も有している³⁾。

一方、資源の保全管理と経済活動は一般的にトレードオフ関係にあり、資源管理を進めるためには、経済的側面から資源利用を捉えなければならない。そのようなトレードオフ関係を把握するツールとして開発されてきたのが、環境分析用の産業連関表(I/O表)である。環境分析用産業連関表(E-I/O表)を用いれば域内と域外の取引とから発生する環境負荷を把握することが可能となる。しかし、現在までに開発されてきたE-I/O表の多くはエネルギー消費や大気汚染を対象としたものである。

これらのことから、琵琶湖の水資源管理を進めるためには、量的・質的な水資源利用に拡張したE-I/O表を構築することが必要だと考えられる。

なお、水資源保全・利用と経済活動との関係性については、末石が提唱した「水集約度分析」³⁾やAnthony Allanが提唱した「仮想水」⁴⁾などの概念がある。水集約度分析の概念については、末石の研究以降、使われることがなく、現在、水資源利用を論じる際には、後者の

仮想水の概念が広く用いられている。

ただし、本研究における主要な問題意識は、滋賀県における琵琶湖の水資源利用のうち、下流府県を中心とした県外地域による間接的利用量を把握しようとするものである。同利用量は、厳密に言うところ、仮想水(仮想投入水量)ではなく、むしろ現実投入水量⁴⁾にあたる。また、本研究では仮想水では対象とされてこなかった、質的利用としての汚濁負荷までも対象としている。このような違いがあることから、本研究では、仮想水という概念は用いず、量的・質的かつ直接的・間接的な水資源利用という概念を用いて論議を進めていく。

本研究の目的は、2000年の滋賀県の産業部門毎の水消費原単位と水質汚濁負荷原単位を算定し、同原単位を組み込んだ水資源分析用産業連関表(以下、WR-I/O表)を構築するとともに、同連関表の分析によって、滋賀県と下流府県を中心とした県外地域の経済活動にともなう琵琶湖の水資源の量的・質的かつ直接的・間接的利用の実態を明らかにすることである。

経済活動にともなう琵琶湖の水資源利用の実態を明らかにすることができれば、琵琶湖の水資源管理に向けた計画立案に資すると考えられる。また、産業部門毎の水資源の量的・質的利用量を把握するためのWR-I/O表を構築する手法を開発することができれば、国内の他地域における同様のWR-I/O表の構築にも役立つと考えられる。

2. 水資源分析用産業連関表の構築

本研究で構築する、量的・質的な水資源利用に拡張したWR-I/O表は、2000年の滋賀県I/O表⁵⁾(32部門)と統合大分類部門(32部門)別の水消費量および汚濁負荷量と両原単位(係数ベクトル)から構成される。

Table 1: Data and calculation methods for water consumption

使用データと算出方法	
生活用水	「滋賀の水道」 ⁶⁾ に「業務・営業用」として報告されている産業部門による総水消費量に、産業部門毎の上水道使用量が同部門から下水道への排除(水)量にほぼ一致するという仮定の下、下水道接続事業所の部門毎の排除量の比(表-2)を乗じ、部門毎に案分して算出。
工業用水	工業調査結果(経済産業省、2000年)に記載されている、日本標準産業分類で分けられた事業所を先ず、I/O表大分類部門に分類し直し、同I/O表部門毎に、工業用水量(「地表水/伏流水」「井戸水」などを含む)のうち回収水量を除いた淡水補給量を集計して算出。
農業用水	滋賀県農林水産統計 ⁷⁾ の農産物毎の生産量に灌漑栽培手法(減水深)によって設定された該当農産物の原単位 ⁸⁾ 、 ⁹⁾ を乗じて算出。なお、降水は潜在的な琵琶湖の水資源であるとみなした。

2.1 産業部門別水消費原単位の算定

水消費量を算出するために使用したデータと算出方法を **Table 1** に示す。産業部門別の水消費原単位は、表中の各用水について算出した水消費量を部門毎に集計し、集計値を同部門の滋賀県 I/O 表生産額で除すことで算定した。

上記の方法で水消費量を算出した結果、滋賀県では第一次産業の水消費量が産業全体の 70%以上を占めていたことがわかった。

2.2 産業部門別水質汚濁負荷原単位の算定

汚濁負荷量を算出するために使用したデータと算出方法を **Table 2** に示す。汚濁物質としては COD, T-N, T-P を対象とした。産業部門別の汚濁負荷原単位は、各種事業場および農林水産業について算出した汚濁負荷量を部門毎に集計し、集計値を同部門の滋賀県 I/O 表生産額で除すことで算定した。

上記の方法で汚濁負荷量を算出した結果、すべての汚濁物質において、第一次産業の割合が約 50%もしくはそれ以上を占めていたことがわかった。

3. 水資源分析用産業連関表による分析

3.1 下流府県別移出入額の推計

県外地域のうち、特に下流府県による琵琶湖の水資源と、滋賀県による同府県の水資源の間接的な利用を把握するためには、下流府県毎に滋賀県からの移出入額を求める必要がある。同移出入額の推計には、関西地域間 I/O 表¹⁵⁾を用いた。

3.2 分析方法

最終需要が増加すると、生産が誘発され、それにともない水資源利用が増加する。本研究では、これを生産誘発による水資源利用(以下、それぞれ「生産誘発水消費量」と「生産誘発汚濁負荷量」とよぶ。

先ず、滋賀県の最終需要項目(下流府県および他都道府県への「移出」と海外への「輸出」を含む)毎の生産

Table 2: Data and calculation methods for pollution loads

使用データと算出方法	
日排水量 10 m ³ 以上	滋賀県の特設施設設置の届出データ(排水量)に同県が 1997 年度から 2004 年度にかけて、県内の全特定事業場を対象に実施した排水検査の実測値データ(汚濁物質濃度)を乗じて算出 ^{10), 11)} 。
日排水量 10 m ³ 未満	滋賀県の特設施設設置の届出データ(排水量)に同県が第 3 期湖沼計画 ¹²⁾ (1995 年)の策定時に設定した業種値(汚濁物質濃度)を乗じて算出 ^{10), 11)} 。
下水道接続事業所	2004 年度における滋賀県内の接続事業所毎の下水道への排除量データ(排出量)に第 4 期湖沼計画 ¹³⁾ (2000 年)の排除先下水処理場の放流水質(汚濁物質濃度)を乗じて算出 ¹⁴⁾ 。
農林水産業	第 4 期湖沼計画(2000 年)の策定時に用いられた、畜産系および土地利用系の原単位とフレーム値を用いて算出。

誘発額は式(1)で求めることができる^{16), 17)}。

$$X = (I - (I - \hat{N} - \hat{M})A)^{-1} ((I - \hat{N} - \hat{M})FD + U_L + U_O + E) \quad (1)$$

ここで、 X : 県内生産額ベクトル、 I : 単位行列、 \hat{N} : 移入係数行列、 \hat{M} : 輸入係数行列、 A : 投入係数行列、 FD : 県内最終需要ベクトル、 U_L : 移出ベクトル(下流府県)、 U_O : 移出ベクトル(他都道府県)、 E : 輸出ベクトルである。

式(1)で求めた産業部門 i の生産誘発額(百万円/年)から、同部門の生産誘発水消費量 W_i (m³/年)と生産誘発汚濁負荷量 L_i (kg/年)は、次式で算出することができる。

$$W_i = \omega_i \times X_i \quad (2)$$

$$L_i = \mu_i \times X_i \quad (3)$$

ここで ω : 水消費原単位(m³/百万円)、 μ : 汚濁負荷原単位(kg/百万円)である。

次に、滋賀県の最終需要項目毎の移輸入誘発額(移入額 N と輸入額 M)はそれぞれ式(4)と式(5)で求めることができる^{16), 17)}。

$$N = \hat{N}A(I - (I - \hat{N} - \hat{M})A)^{-1} \times ((I - \hat{N} - \hat{M})FD + U_L + U_O + E + \hat{N}FD + \hat{M}FD) \quad (4)$$

$$M = \hat{M}A(I - (I - \hat{N} - \hat{M})A)^{-1} \times ((I - \hat{N} - \hat{M})FD + U_L + U_O + E + \hat{N}FD + \hat{M}FD) \quad (5)$$

式(4)と式(5)で求めた移輸入誘発額から、産業部門 i の移輸入誘発水消費量 (m³/年)と移輸入誘発汚濁負荷量 (kg/年)は、次式で算出することができる。

$$W'_i = \omega_i \times N_i \text{ or } \omega_i \times M_i \quad (6)$$

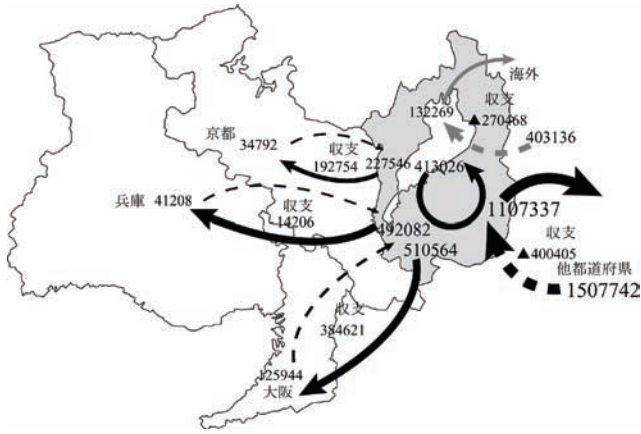


Fig.1: Water consumption flows between Shiga and the other areas (m³/year)

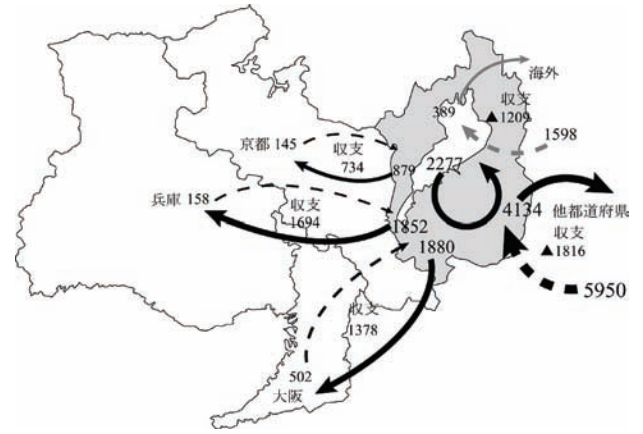


Fig.2: Pollution load (COD) flows between Shiga and the other areas (kg/year)

$$L_i = \mu_i \times N_i \text{ or } \mu_i \times M_i \quad (7)$$

なお、本研究では、移輸入元の県外地域における水消費原単位および汚濁負荷原単位が滋賀県における当該部門の両原単位と同じであると仮定している。

3.3 琵琶湖の水資源利用をめぐる滋賀県と県外地域間の関係性

以上の計算により算出した滋賀県と県外地域間における量的・質的な水資源利用量のフロー図をそれぞれ Fig.1 と Fig.2 に示す。なお、ここで T-N と T-P 負荷量のフロー図は割愛するが、両負荷量についても COD 負荷量とほぼ同様のフロー図が得られている。

図において、黒の実線の矢印は滋賀県から下流府県または他都道府県への水資源の移出を、破線の矢印は下流府県または他都道府県から滋賀県への移入を表している。それに対して、灰色の実線の矢印は、滋賀県から海外への水資源の輸出を、破線の矢印は、海外から滋賀県への輸入を表している。また、それぞれの矢印の太さは、水資源利用量の大きさを表している。

図に示すように、滋賀県による琵琶湖の水資源の利用は、県外需要によって、水消費量として(量的には)県内需要の約 5 倍、汚濁負荷量として(質的には)平均で約 3 倍と、大きく誘発されていた。特に、下流府県による間接的利用量が大きく、同 3 府県だけで量的にも質的にも、他都道府県合計とほぼ同程度の利用量があった。これは、量的・質的にも、琵琶湖に対する主要な負荷源となっていた県内の「農林水産業」が生産した農産品の大半が下流府県に移出されていたためである。

このことは、下流府県が、量的には、琵琶湖からの放流水を下流で取水し、消費することで、直接的に同湖に依存しているだけでなく、滋賀県から財等を移入することで間接的にも同湖の水資源に依存していることを、また、質的には、それによって水源地である琵琶湖への汚濁負荷量を大きく増加させていることを意味している。

これに対して、滋賀県による下流府県の水資源の間

接的利用量は小さく、量的・質的にも滋賀県が移出超過となっていた。一方、同県は下流府県以外の他都道府県と海外に対しては、移輸入超過となっていた。

4. おわりに

本研究では、WR-I/O 表を構築し、同 I/O 表を用いた分析から、滋賀県と県外地域の経済活動にともなう琵琶湖の水資源の量的・質的かつ直接的・間接的利用の実態を明らかにしようとした。その結果、次のような知見を得ることができた。

- ・ 滋賀県が琵琶湖の水資源利用による便益を下流府県に対して大きく提供している一方で、同県に対する下流府県からの便益の提供は非常に小さかった。
- ・ 滋賀県では、第一次産業である「農林水産業」が、量的(水消費量)・質的(汚濁負荷量)ともに、琵琶湖に対する主要な負荷源になっていたが、県内の「農林水産業」が生産した財は、その大半が下流府県の需要を満たすために生産されたものであった。
- ・ また、同県はこの下流府県に対して移出超過となっていた便益とほぼ同程度の便益を、他都道府県や海外に対する移輸入超過によって得ていた。

以上、本研究で明らかになったように、琵琶湖の水資源利用(水消費量と汚濁負荷量)のかなりの部分は、下流府県を中心とした県外地域の需要によって誘発されたものであった。水資源を利用して生産された財等の移動がもたらす影響については、物質循環の観点から、同一流域内の地域間と流域を超えた地域間では区別して議論する必要があるだろう。また、滋賀県自身も他都道府県と海外の水資源に大きく依存している事実には留意する必要がある。しかし、いずれにせよ、本研究の結果が示唆する点は、琵琶湖の水資源の管理保全に関する責任が滋賀県のみには帰せられるべきではないということだと考える。さまざまな地域が同湖に大きく依存している実態を踏まえた上での、琵琶湖という重要な水資

源を将来的にわたって健全に管理保全していくための仕組みと、それを協議するための枠組を考えていく必要があるだろう。また、そのためにも、上記依存構造の実態を社会的に周知させることが必要だと考える。

謝辞:本研究の一部は、科学技術振興事業団および滋賀県地域結集型共同研究事業「環境調和型産業システム構築のための基盤技術の開発」の助成を受けて実施したものである。ここに記し、感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 松居弘吉, 深田富美男: 琵琶湖流域における小規模排水事業場対策, 用水と廃水, Vol.39, No.5, pp.50-55 (1995)
- 2) 吉田文和, 宮本憲一: 環境と開発, p.196, 岩波書店 (2002)
- 3) 末石富太郎, 新沢秀則: 財の水集約度にもとづく水需要構造分析, 第3回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.51-56 (1987)
- 4) World Water Crisis and Japanese Water Resources Issues: <<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/>>, 2008-03-05.
- 5) 滋賀県政策調整部統計課: 平成12年滋賀県産業連関表(32部門表) (2007)
- 6) 滋賀県健康福祉部公衆衛生課: 滋賀県の水道 (2000)
- 7) 農林省滋賀統計調査事務所: 滋賀農林水産統計年報, pp.27-39 (2003)
- 8) 沖大幹ら: 日本を中心とした仮想水の輸出入 Basic Study of Virtual Water Trade of Japan, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.728-733 (2002)
- 9) 山口悟司ら: 天塩川流域におけるバーチャルウォーターの算出—天塩川流域の将来性の指針として—, <http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/pdf_files_h17/03gijyutu/gt-56.pdf>, 2007-11-07.
- 10) 石本貴之, 井手慎司: 水質汚濁負荷量の流入原単位の算定と減少要因の特定に関する研究—滋賀県の工業系汚濁負荷を対象として—, 環境システム研究論文集, Vol.33, pp.199-205 (2005)
- 11) 吉田徹, 石本貴之, 井手慎司: 水質汚濁負荷量の汚濁負荷原単位の算定と減少要因の特定に関する研究—滋賀県の産業系汚濁負荷を対象として—, 第18回環境システム計測制御(EICA)研究発表会, Vol.34, No.2/3, pp.227-234 (2006)
- 12) 滋賀県・京都府: 第3期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画 (1995)
- 13) 滋賀県・京都府: 第4期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画 (2000)
- 14) 石本貴之, 吉田徹, 井手慎司: 産業系水質汚濁負荷量の推定に関する研究—滋賀県内の事業所を対象として—, 環境システム計測制御学会誌, Vol.12, No.2/3, pp.23-28 (2007)
- 15) (株)関西社会経済研究所: 2000年関西地域間産業連関表 (2006)
- 16) 朝倉啓一郎ら: 環境分析用産業連関表, pp.49-51, 慶應義塾大学出版会 (2001)
- 17) 井出眞弘: Excelによる産業連関分析入門, pp.56-92, pp.104-106, 産能大学出版部 (2003)