

地域間産業連関表を用いた 北海道内の生産活動による水資源の利用・移送に関する研究

A study on the use and transportation of water resources
by production activities in Hokkaido using an interregional I-O table

北海道大学工学部 ○学生員 佐藤雄亮 (Yusuke SATO)
北海道大学大学院工学研究科 正会員 田中岳 (Gaku TANAKA)

1.はじめに

「水紛争の世紀」と比喻される今、効果的な水利用と配分のための水戦略が求められている。日本の多くの場所では水資源に恵まれているために危機感を持ちにくい、今後、無降雨日数の増加、積雪量の減少、融雪時期の早期化などの気候変動の影響は不可避であり¹⁾、こうした変化を前に日本でも高まる水資源リスクへの適応策が必要不可欠である。国内の水資源使用量の70%は農業用水と言われており、農畜産が盛んで「日本の食糧庫」と呼ばれる北海道の水使用量は大きな値をとる。地球に存在する水は一定だが、水の時間的・空間的偏在性が水資源を利用する段階で問題を引き起こす場合がある。この食料庫を継続的に守るためにも、水を有限な資源として扱い、きちんとマネジメントしながら使用する事が重要なのである。

水資源マネジメントの研究課題は現状の把握や将来の予測を行い、問題があれば適正な解決方法を模索することである。しかし現状把握の段階において、水を資源として捉えてその消費のされ方に焦点を当てた研究はまだ完成されておらず、例えば都道府県のスケールで水資源利用についてまとめた公の統計データは存在していないのが現実である。そこで本研究では、北海道における水需要戦略立案の一助となる事を念頭に、水資源使用量の大きさ、消費地、水資源の移送に関して、算出方法とともにそれら値を基礎資料として準備することを目的としている。

2.生産活動に基づく水資源利用

大気汚染や森林破壊などの環境問題に代表されるように、人の生産活動が自然環境に与える影響は無視できないものとなっている。ほとんどの生産活動には水資源利用が必要であるから、この二つの関係が深い事は想像に難くない。よって、経済取引量をパラメーターとして生産活動に焦点を当て、現時点で入手可能な情報に基づいて北海道内について水消費量の算定を行う。そこで、本論文では生産活動と水資源利用を結びつけるために、仮想水と言う概念と産業連関表を用いる。上記のように水資源マネジメントに必要な統計データが欠如している事を考えると、人の手により水資源がどのように使用・移送されているか、または水資源の使用状況を水資源賦損量と比較してどの程度の大きさになるかを把握しておく必要性は大きいと考えられる。

2.1 仮想水の概念について

本研究では経済活動による水の利用状況と水資源の移

送の実態を把握するために、「仮想水」（または「製品内包水」）と訳されている VirtualWater という概念を用いる。これは Allan ら²⁾により提案されたもので、財やサービスの生産により消費された（内包された）水を Virtual Water と呼び、「仮想的な水」の人為的な空間移動を把握する概念である。この概念では、農産物の生産や製品の製造をし、輸出入することは、財・サービスの生産の際に必要なとなるぶんの水（仮想水）を、財・サービスの購入者が間接的に消費したと考える。例えば、日本は多くの農産物を輸入しているが、農産物の栽培のために輸出国では水が消費されており、この水は生産物に内包されたと言える。そう考えると、日本は農産物の輸入に伴ってこれに内包されている水資源 Virtual Water (VW)も輸入している事になる。つまり、VW の概念では製品の消費が間接的に生産に用いた生産地の水資源の消費を意味しているのである。

この VW に関する既往研究の大半は、最終製品交易ベースのデータを基に国際間の VW 取引量についての推計している。しかし、財・サービスの生産にはその過程で多くの中間投入（材料や設備）を経ているため、生産活動を完成させるために必要な水資源はそう言った中間投入物の生産に必要な水資源も加味されるべきであると考えられる。したがって、最終取引量をもとに推計される既往研究の VW には中間投入段階で使用された VW が十分に考慮されていないという欠点がある。

また、国家間ではなく国内の小スケールの地域間における水取引を扱った研究は、中国全土³⁾と滋賀県⁴⁾について VW を推計した論文があるが、小スケールについて十分なケーススタディはされていない。

以上の二つの問題点に着目し、本研究では北海道内の「地域間産業連関表」を用いることで、中間投入財および地域間取引を考慮した VW 推計を行った。この方法では、生産から最終的な消費までに、他産業を通じて間接的に利用する VW も考慮する事が可能である。さらに北海道内の地域ごとの VW の生産・利用・移送の実態をつかめるので、戦略的な水資源政策を構築するためによりミクロな視点での VW の把握を試みた。

2.2 産業連関表とは

地域経済を構成する各産業は、域内・域外の産業と相互に密接な取引関係を結びながら生産活動を行い、地域独自の産業構造を構成している。ある一つの産業は他の産業から原材料や燃料などの中間投入財（サービス）を購入し、これを加工して新たな財・サービスを生産して他の産業に

販売する。このような関係が各産業間で連鎖的につながり、最終需要者に対して必要な財・サービスが供給される事となる。産業連関表は、このような産業間の取引をある地域について一年間の経済活動の実態として一つの表にまとめた経済取引一覧表である。

これには大きく分けて2種に分類され、特定の地域内について産業間の取引をまとめたものを地域内産業連関表、複数地域間についてまとめたものを地域間産業連関表と呼ぶ。また、産業連関表では海外との取引量である輸出・輸入量の他に、国内の注目地域外との取引量を移出・移入量として扱う。この移輸入量由来の需給を圏内産出の需給と別個に扱うか否かによって、連関表はさらに非競争型と競争型に分類される。

この表は、その注目地域・産業の生産のために各地域・産業に対してどれだけの額を投入したのか、すなわち中間投入としてどれほどの財・サービスを購入し材料としたかを読み取る事が出来る。また、注目地域・産業の生産物がどのように消費されたかを読み取る事も出来る。

本研究では、北海道内を6圏域(図-1)に分割し、それぞれ33の産業(表-1)について取引量をまとめてあるH15年度版の競争型北海道内地域間産業連関表⁵⁾を用いた。



図-1 対象の6圏域

1 耕種農業	12 出版・印刷	23 建設補修
2 畜産	13 化学製品	24 土木
3 林業	14 石油・石炭製品	25 電力・ガス・水道
4 漁業	15 皮革・ゴム	26 商業
5 鉱業	16 窯業・土石製品	27 金融・保険・不動産
6 畜・肉・酪農品	17 鉄鋼製品	28 運輸・通信・放送
7 水産食料品	18 非鉄金属一次製品	29 公務
8 その他の食料品	19 金属製品	30 公共サービス
9 繊維	20 機械	31 サービス業
10 製材・家具	21 その他の製造品	32 事務用品
11 パルプ・紙	22 建築	33 分類不明

表-1 対象の33産業

3.算出方法

具体的な手順は、北海道内地域間産業連関表に扱われる6圏域33産業ごとに求まる百万円分の生産に必要な水資源量である「水資源使用原単位[m³/百万円]」を算出し、その値に連関表から得られる取引額[百万円]を乗ずることで生産により利用される水資源量(=仮想水量)を推計する。

3.1 中間投入まで考慮した水資源使用原単位の算出

気候や産業構造は水消費原単位に反映し、その値には地域特性があるとの予想から、中間投入と地域特性を反映さ

せるために、今回は原単位の算出についても産業連関表とを用いて推計を行う。

各地域・産業の水使用原単位を算出するにあたり、「地域・産業ごとに直接または間接的に利用する水資源量と、総生産に内包される水資源量は等しい」という関係と、後述の輸入係数 m_{ri} と直接水消費量 E_{ri} を用いれば、地域 r の産業 i について式(1)の等式が成立する。

$$E_{ri} + \sum_s \sum_j \varepsilon_{sj} (1 - m_{sj}) x_{risj} = \varepsilon_{ri} X_{ri} \quad (1)$$

ここに E_{ri} : 直接水消費量, ε_{ri} : 原単位, m_{ri} : 輸入係数, x_{risj} : 中間取引額, X_{ri} : 最終生産額を表している。これを6圏域33産業について連立して行列計算を行うと、水使用原単位として式(2)を得る。

$$\varepsilon = E X^{-1} \{I - (I - M) x X^{-1}\}^{-1} \quad (2)$$

ここに ε : 原単位ベクトル, E : 直接水消費量ベクトル, X : 最終生産額を成分とする対角行列, I : 単位行列, M : 輸入係数を成分とする対角行列, x : 中間取引額行列を表している。なおここでは、輸入額が地域内需要(中間需要+最終需要)に比例している、との仮定のもと、式(3)で表される輸入係数 m_{ri} を用いて水消費原単位の算出を行っている。

$$m_{ri} = \frac{M_{ri}}{\sum_s \sum_j x_{risj} + F(D)_{ri}} \quad (3)$$

ここに m : 輸入係数, M : 輸入額, x_{risj} : 圏域 s 産業 j の圏域 r 産業 i に対する需要, $F(D)_{ri}$: 圏域 r の産業 i の県域内最終需要を表している。

3.2 直接水消費量算出方法

本研究では水消費原単位の推計にあたり、最終製造段階で直接的に消費される水資源量の値を知る必要がある。ここでは入手可能な情報を基に、4つの方法で直接水消費量の推計を行った。

(1)工業統計調査

製造業については、経済産業省および北海道がまとめたH15年工業統計調査⁶⁾により与えられる工業用水量より推計した。なお、工業統計調査では道内11か所の工業地区に関する統計しか整理されていないが、この工業地区を各圏域の代表地区と位置づけて各圏域の産業構造は代表地区のそれと等しいとの仮定と、工業統計調査からわかる各工業地区と各圏域の出荷額の比を用いる事で、代表工業地区の用水量から圏域の直接水使用量を推計した。それでも直接水使用量が推計できなかった場合には、日高山脈にそって6圏域を東西2地域に分類し、その中で隣接圏域の平均値に代表させて直接水消費量を推計した。

(2)原単位法+工業統計調査

製造業のうち、用水量が推計不能だった産業は、石本らにより算出された金額ベースの原単位⁴⁾と工業統計調査から得られる圏域ごとの出荷額を利用して推計した。

(3)原単位法②

耕種農業については沖らによって整理されている農作物の重量ベースの原単位⁷⁾と農業統計⁸⁾から得られる道内の主要22作物の収穫量からその生産に必要な直接消費水

資源量を求めた。

(4)その他

なお現時点で直接水使用量がわからなかった畜産・林業・漁業・その他製造業・分類不明についてはその直接水使用量は0として計算を行った。

3.3 VW の算出

本研究では、経済活動に伴う仮想水の移動を評価するために3種類の水量を算出した。式(4)は最終生産段階の水利用量に中間投入分を積み重ねた仮想水量を表しており、これはその地域産業の生産活動の一連のプロセスの中で利用された仮想水の値である。式(5)は VW 取引の概念を反映した値となっており、その地域・産業が中間投入物を生産する事で他の産業の水資源利用の節約に貢献した量は差し引いた値となっている。この値の総和が該当地域の全利用水資源量である。また、式(6)は中間投入量分の水の収支を表している。例えば、この値が正だった場合には、該当地域・産業は他の地域産業に対して中間投入として仮想水を供給する立場にあることを意味する。

$$VW1_{ri} = \varepsilon_{ri} \left(\sum_k \sum_t x_{ritk} + X_{ri} + EX_{ri} \right) \quad (4)$$

$$VW2_{ri} = \varepsilon_{ri} \left(\sum_k \sum_t x_{ritk} + X_{ri} + EX_{ri} \right) - \sum_j \sum_s \varepsilon_{ri} x_{sjri} \quad (5)$$

$$VW3_{ri} = - \sum_j \sum_s \varepsilon_{ri} x_{sjri} + \varepsilon_{ri} x_{rii} + \sum_k \sum_t \varepsilon_{kr} x_{ritk} \quad (6)$$

ここに、 X ：最終域内需要額、 EX ：輸出額（域外需要額）を表している。

4. 推計結果と考察

4.1 算出結果と産業ごとの動向

式(4)から式(6)によって得られた水使用量を縦軸に、産業を横軸にとってグラフにまとめたものを図-2 から図-4 に示す。（凡例は表1を参照）式(4)から求めた値を圏域ごとに整理したものが図-2 である。推計より、北海道内の生産活動に必要な使用水量の総量は約 351 億 5 千 m^3 と推計された。これは北海道内の水資源賦損量が約 557 億 m^3 である事を考えれば、その 63.1%にあたる量である。この図-1 と、二酸化炭素の排出権取引のように貢献分を控除した式(5)の結果の図-3 を比較すると各産業の水利用量に大きな差があることがわかる。その差の原因となっている貢献度を表しているのが図-4である。この図-4より、仮想水を他地域・産業に供給する貢献型産業と逆に他地域・産業に供給してもらう依存型産業に分類出来る。貢献型としては、耕種農業、繊維、パルプ・紙、化学製品、石油石炭、皮革ゴム、鉄鋼、非鉄金属一次製品がそれにあたる。

図-2 から、経済活動が最も活発である道央において水の使用量が多い事がわかる。この道央を除けば他の圏域の各産業の消費バランスは類似しており、図-2 からは地域特性よりも産業特性をはっきりと読み取る事が出来る。使用量が大きい産業は全圏域共に耕種農業となっており、その他の食料品、と畜・肉・酪農品、パルプ・紙がそれに続く。と畜・肉・酪農品の水使用量が大きな値となるのは、水を大量に使用する耕種農業から飼料として中間投入があり、例え

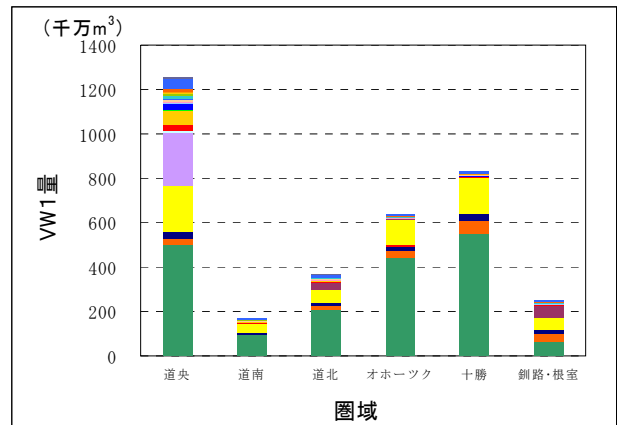


図-2 圏域別 VW1 量

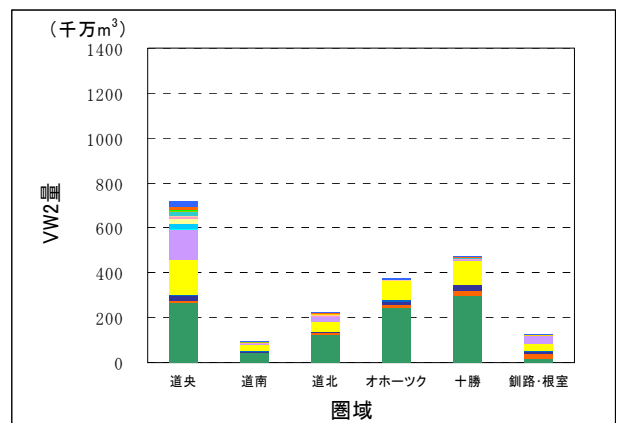


図-3 圏域別 VW2 量

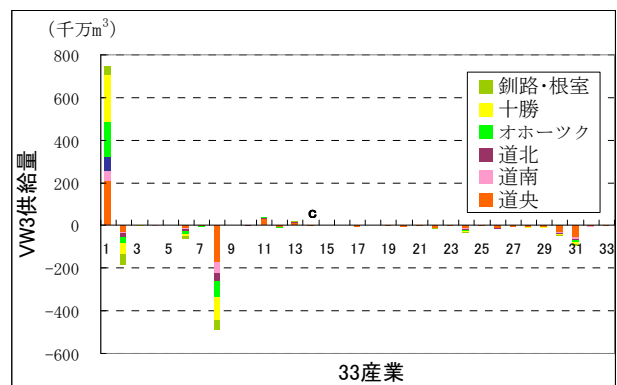


図-4 圏別 VW3 量

ば缶詰の中身が耕種農業由来の果物や野菜などであるためである。その他の食品が大きくなる理由も同様であり、最終製造段階の他に素材の製造段階で多くの仮想水が投入されたためであると考えられる。今、各産業の生産に必要な水使用量に対する中間投入量の割合を求めてみると、耕種農業およびパルプ・紙で 40%、窯業、鉄工業で 65% であるものの、他の 29 産業ではその割合は 90%を上回る。この数値は中間投入量分の水使用量が総使用量の多くを占めている事を表しており、各産業の生産が必要とする水資源量を推定するにあたり、中間投入量を考慮する必要性が非常に高い事を示していると言える。

一般に水利用における農業用水の割合は約 70%とされているが、本研究では、各産業の生産に必要な水資源量

の総和をとった全水資源利用量に対する耕種農業の水消費の全圏域の総和の割合が 53.8%となり、70%という値を大きく下まわった。これは中間投入量を考慮したため得られた結果である。

これらの結果より、これまで不明だった中間投入として生産に寄与する水資源利用量とその算出の必要性を証明する事が出来た。

4.2 仮想水の圏域間移送について

続いて圏域ごとの仮想水移送の考察を行う。図-5 と図-6 から、供給・享受の両ケースにおいて、各圏域ともに道内ではなく域外との仮想水貿易が盛んである事がわかる。さらに、北海道の移輸出量と移輸入量を比較すると移輸出量の方が大きく、北海道は貿易を通して他地域に仮想水を供給する立場にある事が明らかになった。これは日本の食糧基地として、北海道が多くの農作物や畜産物を移輸出している事が最大の要因であると考えられる。

また、各圏域の動向を調べると、道央、道南、釧路・根室圏域については仮想水を圏外から享受する傾向にあり、一方、道北、オホーツク、十勝圏域は仮想水の供給量が享受量を上回る。これは域外との交易量（図中の青い部分）を考慮しなくても同じ結果を得る事が出来る。収支量については両ケースともに産業が集中する道央が最も大きな値をとる事がわかった。これにより、道内6圏域の仮想水移動の特性を把握する事が出来た。

5.まとめ

地域間産業連関表を用いる事によって、最終段階での水利用に加えて中間投入を考慮した新しい水利用評価の指標を得る事が可能となった。

- ・中間投入量を考慮した場合の生産に必要な水資源量
- ・他地域の生産に貢献分を控除した使用水資源量
- ・仮想水の中間投入収支量

今回算出した値より、北海道内の生産活動に必要な使用水量の総量は約 351 億 5 千 m^3 と推計された。これは北海道の水貯存量の 63.1%にあたる量である。使用量が多い産業は全圏域共に耕種農業となっており、他の産業と比較すると圧倒的に多くの水を必要としていることが分かる。耕種農業以外では、その他の食料品、と畜・肉・酪農品、パルプ・紙の水資源使用量が大きな値をとる。また、圏域別仮想水取引に注目すれば、供給・需要ともに道央の仮想水取引が大きく特徴的であった。

仮想水の需給関係については、まず北海道は道外に仮想水を供給する立場にある事が判明した。また圏域別に見ると、道央・道南・釧路根室は消費地、道北・オホーツク・十勝は供給地であることがわかった。さらに産業が持つ水使用の特徴などを読み取る事が出来た。

このように、本論文では産業連関表が示す経済取引量を基にして、北海道内の水利用状況に関する傾向を把握することができた。今後の研究課題としては原単位算出のために必要な直接水使用量の把握が中心となると考えられる。また、本論文では生産活動を産業中分類に該当する 33 産業に分類していたが、統計データ収集の段階ではさらに詳細な産業分類のもとデータが集められることを考えれば、

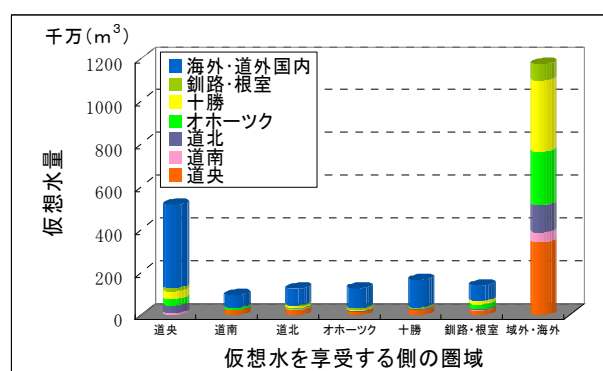


図-5 圏別仮想水を享受した量

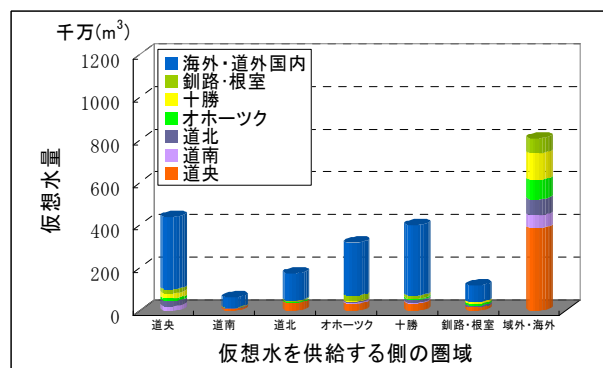


図-6 圏別仮想水を供給した量

今以上に詳しい産業分類のもと、産業構造をより複雑にすることでさらに現実に近い水使用量にせまることが可能である。

参考文献

- 1) 国土交通省：地球温暖化に伴う気候変動が水関連災害に及ぼす影響について
http://www.pref.saga.lg.jp/web/var/rev0/0009/3744/kikouhenndou_mizukannrennsaigai.pdf
- 2) J.Anthony Allan, Water Stress and Global Mitigation : Water, Food and Trade, ALN #45, Spring/Summer 1999,1999
- 3) 幡野貴之、奥田隆明：省市県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-
- 4) 石本貴之：経済活動に伴う琵琶湖の水資源利用の実態把握に関する研究、滋賀県立大学、修士論文、2007年
- 5) 北海道開発局：H15 年北海道内地域間産業連関表
http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/toukei/renkanhyo/h15_renkan3.html
- 6) 北海道：H15 北海道工業統計調査
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sk/tuk/010cmn/03.htm>
- 7) 三宅基文 沖大幹：日本を中心とした仮想水の輸出入、第六回水資源に関するシンポジウム論文集、2008年
- 8) 農林水産省：農林水産関係市町村別データ(年産)
<http://www.tdb.maff.go.jp/toukei/a02smenu1?TokID=D003&TokKbn=B&Nen=2003&HNen=H15>