

# 多地域応用一般均衡モデルを用いた渇水時の水資源配分の経済的評価<sup>1)</sup>

岡川 梓\*、増井 利彦\*

## I. はじめに

近年、世界各国で水資源の希少性が認識されるようになった。日本では、水需要に対して十分な供給がされるように水資源開発が進められてきた結果、普段生活している中で水不足を実感することは少ない。しかし、2010年にも西日本では少雨の影響から給水制限が実施されるなどの渇水の影響が出ており、毎年全国のいずれかの地域で渇水が発生しているのが現状である。渇水による大きな影響が出た例として、1994年夏期の「列島渇水」と呼ばれる異常渇水が挙げられる。この時には全国的に節水や取水制限が行われ、利害関係者の水融通などによって渇水被害の緩和が図られたものの、517市町村で断水や減水の影響を受け、全国226の工業用水道のうち64か所で給水制限が行われた。農作物の被害額は1,377億円と言われている<sup>2)</sup>。また、将来的には温暖化の影響により、水資源に対する需要が供給を上回る年が増える可能性が高くなるとされている。『地球温暖化「日本への影響」－最新の科学的知見』<sup>3)</sup>によると、日本が将来直面する可能性のある水資源問題として、(1)北上川(東北)で代掻きの時期に十分な農業用水が得られない可能性(2)北海道・東北で現在よりも水需給が逼迫し、九州南部、沖縄でとくに逼迫する可能性が指摘されており、水利用の安定性を確保するためにこれまで以上の対策が求められるようになっていくと考えられる。

世界各国において、主に歴史的経緯によって決められてきた用途別の水配分(水利権)に基づいて水が利用されている。水資源利用のための費用は、水道料金や水利費といった形で負担されているが、平常時の水資源は、用途間での利用量調整のための追加的費用がほとんど発生しないという意味で、おおそ自由財であると考えてよい。しかし、いったん渇水が起ると、需要が供給を上回り、希少性を持つようになるため、自由財ではなくなる。すなわち、誰かが利用すれば他の誰かが利用することができなくなるという利用者間での競合が起こることになり、水資源の配分をどのように決めるかが問題となる。現在の日本では、河川法によって利水者同士の水の融通が可能とされており、渇水時には、節水率の差という形で利用者間の水融通が行われてきた。しかし、利権関係や歴史的経緯の複雑さにより、円滑な水融通を行うための具体的な規定の整備に至っておらず、地域間・用途間の渇水リスクには格差が存在するのが現状である。また、水利権は一度手放すと再度手に入れることは難しく、必要性の低い水利権を保持し続ける動機となっている。こういったことが必要性に応じた水資源配分を妨げる原因となっている。

水資源の利用者間の配分を効率的に決める手段として、近年では水の市場取引(水取引)による水資源の配分に関心が向けられている。水取引とは、水資源に利用許可証などを設定することで価格をつけ、利用者が購入するという制度であり、最もよく知られている事例はカリフォルニア渇水銀行によるプログラ

受理日：2011年8月29日、採択日：2011年10月13日

\* 独立行政法人国立環境研究所  
連絡先：茨城県つくば市小野川16-2  
E-mail：okagawa.azusa@nies.go.jp

ムである。カリフォルニアでは、1987年から連続的な干ばつに見舞われた。とくに1991年に深刻化し、こうした背景から渇水時の水銀行の設置が1991年に提案された。このプログラムの中核となる仕組みは、州の水資源局が渇水時に水資源を買い上げ、必要とする利用者に売るという水資源の価格付けにあり、水資源に価格がつくことによって、水資源利用の限界便益に応じて利用者間で配分されることになる。すなわち、ある価格の下で、水資源利用の限界便益が限界費用を下回る利用者は水資源を売り、限界便益が限界費用を上回る利用者が水資源を購入することができるという市場メカニズムの要素がプログラムに含まれており、全体として費用効率的な水資源配分が達成される仕組みとなっている<sup>4)</sup>。

日本においても、渇水時の効率的な水資源配分を通じた水利用の安定性の確保や、未使用淡水資源の有効利用といった観点から、水取引制度に目が向けられ始めている。福石（2010）では、水資源の限界生産性が産業部門別に大きく異なることが示されており、このことは、水取引を実施することにより、現在より効率的な水資源配分を達成する可能性があることを示唆している。しかし、利水者間で水資源の利用が限られていることの費用に関する研究は進んでおらず、制度に関する議論をするための情報は依然として乏しい。

本研究の目的は、限界便益に基づいた用途間の水融通、すなわち水取引による農業用水・都市用水の水資源配分に注目し、用途ごとに水利用が限られていることの費用を定量的に評価することである。想定する渇水は、カリフォルニアの例のように数年間（3～5年間）にわたる連続的な渇水とする。渇水は流域スケールで起こるが、たとえば農作物の収量に影響が出た場合、その影響は農業部門のみではなく、域内・周辺地域の飲食料品部門や家庭部門にも広く波及すると考えられる。また、地域間で産業構造や水資源への生産の依存度は大きく異なることから、水資源が制約された場合の経済的影響も地域間で異なると考えられる。そこで本研究では、日本を9地域に分割した多地域応用一般均衡モデルを用い、関東・九州でそれぞれ渇水が起こった場合の域内の影響と、周辺地域への波及的影響を分析することとする。

本研究の構成は以下の通りである。第Ⅱ節で水資源問題を応用一般均衡モデルで分析した先行研究を俯瞰し、第Ⅲ節で分析に使用するモデルとデータについて述べ、第Ⅳ節でシミュレーション分析の結果を紹介した後、第Ⅴ節で結論を述べる。

## II. 先行研究

### 1. 日本国内の水資源配分に関する研究

日本を対象とした用途間の水資源配分に関する定量分析を行った研究として、福石（2010）が挙げられる。ここでは、産業連関線形計画法によって部門別の水資源利用によるGDPへの限界的な寄与が計算されており、農業部門よりも製造業部門の方が水利用によるGDP増加への貢献度が高いという結果が得られている。しかし、水取引によって限界便益に応じた水資源を配分した場合については言及されていない。また、計算されているのは全国の平均的な値であるが、気候変動による影響を踏まえるのであれば、降雨の変化などの影響は日本全国で均一ではない上、地域間で産業構造や水資源への依存度は大きく異なる。したがって、水資源が制約された場合の経済的影響を地域ごとに見ておく必要がある。

### 2. 応用一般均衡モデルを用いた水資源問題の経済的評価に関する研究

応用一般均衡モデルを用いて水資源配分問題の経済的評価を行った先行研究は海外で多く行われており、(1) 水資源と貿易の関わりを分析したものと、(2) 水逼迫度の高い国を対象に、国内でどのように水資源をマネジメントするのかを分析したものに分けられる。

### (1) 水資源と貿易の関わりに関する先行研究

Diao and Roe (2003) では、モロッコを対象として、農作物貿易の自由化と水資源の再配分について動学的応用一般均衡モデルで分析を行っている。農作物の関税が撤廃されることで国内の農業部門は縮小するが、同時に水資源市場を創設することで、水資源の最適配分を達成することができるとともに、農家が貿易自由化による損失を補填することが可能であるとされている。Berrittella et al. (2007) では、世界を対象とした応用一般均衡モデル (GTAP-W) を用いて、農業部門への水資源量が減少した場合に経済 (貿易・GDP・厚生) にどのような影響が出るのかを定量的に把握している。水資源制約をうける地域での農作物の生産が減少する一方、制約を受けない地域での生産は増加するという結果を示している。また、水資源制約に直面する地域の厚生が悪化するケースが多く、水が部門間で移動できない場合には、影響がより深刻に出るという結果を示している。Calzadilla et al. (2010) では、GTAP-W を用いて、農業部門で利用される水の供給源 Blue water と Green water<sup>5)</sup> を区別して扱い、2025 年における農業部門での水利用形態の違いによる経済への影響を評価しており、経済と環境の持続性の間にトレードオフ関係があることを明らかにしている。

### (2) 国内の水資源マネジメントに関する先行研究

国内の水資源配分や、水資源配分による所得配分への影響を評価した先行研究も多数存在する。Letsoalo et al. (2007) では、南アフリカにおいて、灌漑農業部門、資源採掘部門、林業部門での水資源利用に対して水利用税を徴収することで、三重の配当<sup>6)</sup> が得られるかどうかを、応用一般均衡モデルで評価している。Van Heerden et al. (2008) でも南アフリカの用途間ごとの水利用税と所得配分の関係が明らかにされている。Hassan and Thurlow (2011) でも、同じく南アフリカにおける水資源マネジメントを対象とされており、農業部門内での水資源の配分や都市部の製造業部門と農村部の水資源配分について論じられている。Cakmak et al. (2008) では、多地域応用一般均衡モデルを用いて、食料価格の世界的高騰や気候変動による外生的なショックがあった場合に、トルコの農業部門と非農業部門にどのような影響があるかを、水資源の配分を含めて分析されている。

以上の先行研究の中では、世界と日本国内という対象の違いや、農業部門分類の細かさという違いはあるものの、特定地域での水資源制約による地域間取引 (貿易) を通じた経済的影響を分析しているという点では、Barrittella et al. (2007) が本研究に最も近い立場にある。また、産業部門別の水の限界便益の評価に関しては、福石 (2010) が参考となる。

## III. 分析に使用するモデルとデータ

### 1. 多地域応用一般均衡モデル

分析に使用するモデルは、多地域応用一般均衡モデルである。応用一般均衡モデルとは、経済学分野における一般均衡理論に基づいて構築される経済モデルの 1 つである。応用一般均衡モデルでは、ある外生ショックに直接関係する市場だけでなく、他の複数の市場との相互作用まで含めた分析を行うことができるため、貿易自由化や、温暖化対策制度の導入の議論において広く使用されているツールである。本研究で使用するモデルでは、9 地域それぞれに 34 生産部門 (34 種類の財を生産する 34 の代表的企業) と 1 つの代表的家計が存在し、それぞれ経済活動を行うことが想定されている (表 1、2)。1 つの生産部門に 1 つの代表的企業が存在し、財・サービスの生産を行っている。生産技術は CES 型生産関数として特定化し、生産量、財価格、生産要素 (労働、資本) 価格を所与として、利潤が最大となるように生産要素・中間投入財の投入量を決定する (図 1)。家計は、生産要素の所有者であり、それらを企業に供給することで所

表1 モデルの地域分類と2005年における9地域の人口とGDPシェア(%)

モデルの地域分類	人口 (千人)	GDPシェア (%)	都道府県
1 北海道	5,628	3.8	
2 東北	9,635	6.3	青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島
3 関東	50,799	43.8	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、新潟、山梨、長野、静岡
4 中部	13,515	11.6	富山、石川、岐阜、愛知、三重
5 近畿	21,715	16.5	福井、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山
6 中国	7,676	5.9	鳥取、島根、岡山、広島、山口
7 四国	4,086	2.8	徳島、香川、愛媛、高知
8 九州	13,353	8.6	福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島
9 沖縄	1,362	0.7	
10 全国	127,768	100.00	

データ出所:人口データは、人口問題研究所(2009)「都道府県別人口」。GDPシェアは、モデルのベンチマークケースの値。

表2 財・産業区分と水利用

財・部門名	市場水	非市場水	財・部門名	市場水	非市場水
1 農林水産業	×	○	18 輸送機械	○	○
2 鉱業	○	×	19 精密機械	○	○
3 石油・原油・天然ガス	○	×	20 その他製造業	○	○
4 飲食料品	○	○	21 再生資源回収	○	×
5 繊維	○	○	22 建設	○	×
6 紙パルプ	○	○	23 電力	○	○
7 化学	○	○	24 ガス・熱供給	○	○
8 石油・石炭製品	○	○	25 水道・廃棄物処理	○	○
9 プラスチック	○	○	26 商業	○	×
10 窯業・土石	○	○	27 金融保険	○	×
11 鉄鋼	○	○	28 運輸	○	×
12 非鉄金属	○	○	29 通信	○	×
13 金属製品	○	○	30 公務	○	○
14 一般機械	○	○	31 教育・医療	○	×
15 電気機械	○	○	32 対事業所サービス	○	×
16 通信機器	○	○	33 対個人サービス	○	×
17 電子部品	○	○	34 その他サービス	○	×

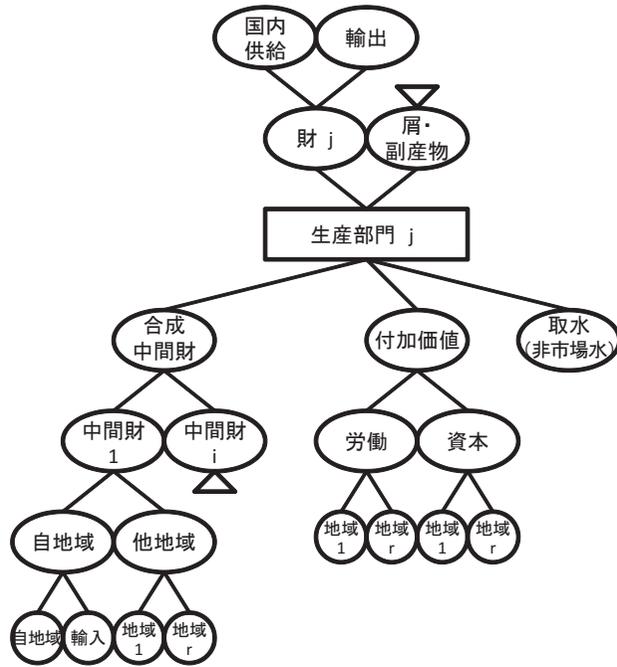


図1 生産部門の投入・産出構造

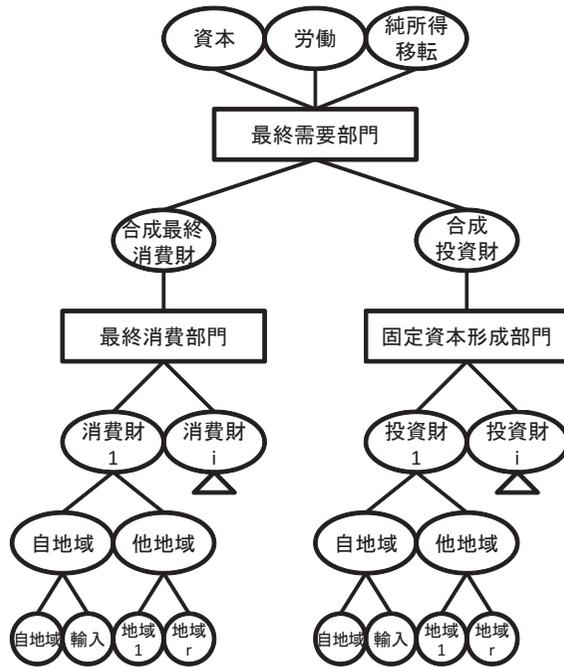


図2 家計部門の消費構造

得を得ている。家計は、財価格を所与として、効用が最大となるように企業の生産した財・サービスに対する需要量を決定する。効用関数はコブ＝ダグラス型を仮定しているため、各財・サービスへの支出シェアは一定となる（図2）。34の市場では、企業の生産した財の供給量と、中間投入需要量と消費需要量の合計がそれぞれの市場で一致するように、価格による調整が働く。本研究が分析対象とするのは、数年単位の連続的な渇水である。そのため、静学モデルを使用することとし、したがって投資は一定としている。また、人口の増加によって労働が増加することや、新規の投資によって資本が増加することも考えられておらず、家計が保有する労働・資本の量は一定である。労働については完全雇用されるように賃金によって調整され、現存する資本についても企業によって全て使用されるように価格によって調整される。労働と資本は産業間で完全移動すると仮定する。

9 地域の間では財・サービスの取引が行われる（図3）。異なる地域で生産された同種類の財・サービスの間不完全代替の仮定（Armingtonの仮定）を置いている。これは部門分類の粗さを補完するために通常用いられる仮定である。例えば、「北海道で生産された農作物」と「東北で生産された農作物」では、同じ「農作物」であってもその内訳が大きく異なることから、似て非なる財として両者を区別して扱い、それぞれが異なる価格を持つということを意味している。なお、労働と資本についても地域間産業連関表において生産地域以外の資本や労働が投入されていることから、地域間での移動を可能としているが、地域ごとの労働・資本が差別化されており、地域ごとに価格がつく。

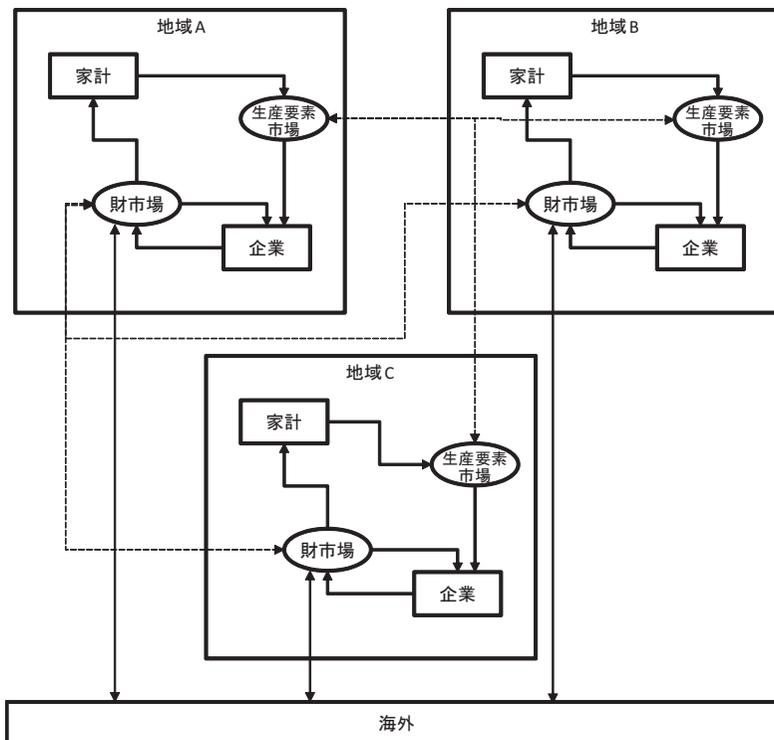


図3 モデルの全体構造

本モデルでは市場水と非市場水を分けて考えている。市場水とは、水道事業部門（上水道・工業用水道）を通して供給される水を指しており、価格（水道料金）を支払うことで使用することができる。市場水の利用者は、家庭部門、製造業部門、サービス産業部門である。非市場水とは、表流水・伏流水、井戸水などの直接取水される淡水を指しており、価格はついていない<sup>7)</sup>。非市場水の利用者は、農林水産部門、製造業部門、公益事業部門（電力・ガス・熱供給）、公務部門である（表2）<sup>8)</sup>。なお、本研究における非市場水は、新たに補給される水のみを対象とし、製造業部門における回収水、および水力発電に使用される水は除外している。市場水・非市場水をどのように応用一般均衡モデルの枠組みに導入するかについては次項で述べる。

各生産財の地域間の取引は、地域別に行われる。地域間産業連関表では、部門別にどの地域からの財であるかが明示されている（非競争型）が、本モデルでは、これを競争型に簡略化して用いている。つまり、各地域における各生産財の市場は1つであり、生産部門、家計部門は、この市場から必要な財を購入するとしている。なお、輸出入については、国産財と区分されるべきところであるが、地域間産業連関表のデータから、財によっては輸入された財を他地域に移出していると推測できるものもあることから、自地域で生産された財と輸入財を統合し、これと他地域から移入される財と統合するという構造とした。また、輸出については、各地域で生産された段階で、国内市場向けと輸出向けに区別されるとした。

## 2. 水資源の応用一般均衡モデルへの導入

市場水は水道部門を通じて消費者へ供給される財であるため、水道部門から供給される生産財（水道水）に他ならない。したがって、応用一般均衡モデルへの導入という意味では、従来の一般的なモデルでも明に暗に考慮されており、新たな工夫をする必要はとくにないと言える<sup>9)</sup>。一方、非市場水の場合は初期均衡において市場で取引されていない。したがって独立した供給部門のような存在は考えにくいだが、投入要素の1つとして社会会計表の1行に物量単位（ $m^3$ ）で計上し、応用一般均衡モデルの枠組みに導入することができる。応用一般均衡モデルによる先行研究のほとんどは、非市場水を生産要素の1つとして捉えており、本研究でも同様の方法を採用している。こうすることで、非市場水の超過需要が発生するとシャドウプライスが発生するので、これを水資源使用の機会費用として利用者が負担するというメカニズムを取り入れることができ、賦存量の変化によって引き起こされる経済的影響の評価や、水の価格付けに関する分析を行うことが可能となる<sup>10)</sup>。

次に、非市場水に関してどのような投入構造を想定するかが問題となる。先行研究を俯瞰してみると、Berrittella et al. (2007) では、水の投入量が生産量に比例して必要となると仮定し、入れ子型のCES型生産関数の最上位で他の中間投入財や付加価値と比例的に投入されるようにモデル化されている<sup>11)</sup>。Calzadilla et al. (2010) では、灌漑用水と天水が区別されており、天水に関してはBerrittella et al. (2007) と同様の仮定が採用されている。灌漑用水については、水資源価格の変化に対して弾力的であると仮定されており、灌漑された土地の投入との代替が可能とされている。代替弾力性の値はIMPACT-Waterモデル<sup>12)</sup>で設定された値を使用している。Van Heerden et al. (2008) では、水資源価格の上昇によって灌漑設備の効率を高めるというメカニズムを考慮するため、灌漑用水の投入については資本との代替を仮定しており、林業で使用される天水については生産量に比例して必要となると仮定している。このように常態的な水不足の下での水資源マネジメントを分析する場合には、農業部門や製造業部門における水利用効率改善のための投資を考慮し、非市場水とそれ以外の投入財・生産要素との間の代替関係を仮定する必要があると言えよう。しかし本研究では、(1) 数年間の渇水の下での用途間の非市場水配分に関する分析を行うことを目的としていること (2) 日本の農業部門・産業部門の水需要の価格弾力性に関する情報の蓄積がないこと (3) 分

析結果の解釈を容易にすることを理由として、非市場水需要量は生産量に完全に比例的であると仮定する。また、先行研究の多くは土地利用データなどを用いて灌漑農業と天水農業を区別している。日本についても同様の作業を行えば両者の区別は可能であると考えられるが、本研究では「農林水産業」を1部門として扱い、灌漑用水と天水の分離は今後の課題とする。

製造業部門で問題となるのが、回収水の取扱いである。製造業部門では、水資源集約的な部門を中心に、回収水の利用（水の繰り返し利用）が進んでおり、2005年における製造業部門全体の回収率は78.7%、とくに用水消費産業である化学、鉄鋼は80-90%となっている。水利用コストが増加することで回収水の利用は増加すると考えられるが、回収率の推移は近年横ばい傾向であることと、水利用コストと回収率上昇に関する情報の入手が難しいことから、本モデルでは、このようなメカニズムを考慮していない。

### 3. データ

本モデルで使用している経済データは、『2005年地域間産業連関表』<sup>13)</sup>である。各地域のGDPのシェアは、表1に示す通りである。関東地方のGDPは全国の44%を占め、次いで近畿、中部が大きな経済規模を持つ地域となっている。関東・中部・近畿は農林水産業部門の締める割合が他の地域よりも低い。

各地域・各部門の取水量データについては、製造業部門については『工業統計調査』<sup>14)</sup>を使用した。製造業部門の非市場取水原単位は、工業統計調査用地用水編に記載されている「井戸水」および「その他の淡水」の合計を「製造品出荷額」で割ったものとした。この原単位を地域間作業連関表の粗生産額にかけることによって、地域別・部門別取水量を以下のように算出した（添え字*i*は部門を、*r*は地域を表す。）。

$$\text{部門別取水量}_{i,r} = \frac{\text{井戸水}_{i,r}(\text{m}^3) + \text{その他淡水}_{i,r}(\text{m}^3)}{\text{製造品出荷額}_{i,r}(\text{円})} \times \text{粗生産額}_{i,r}(\text{円})$$

これは、工業統計表が従業員数30名以上の事業所を調査対象としているためであり、産業連関表がカバーしている全ての活動に拡張するためにこのような計算を行っている。このため、本モデルの製造業部門非市場取水量の合計値は、工業統計表における合計値とは異なる。

農業部門・発電・水道・公務部門における取水量（非市場水投入量）については『日本の水資源』<sup>15)</sup>に掲載されている国土交通省水資源部による推定量を使用した。農林水産部門で投入されている取水量には、養魚用水、農業用水の合計量を用いた。農業用水には、水田灌漑用水、畑地灌漑用水、畜産用水が含まれる。水道事業部門については、生活用水（取水ベース）と工業用水（取水ベース）の合計量を、電力部門およびガス・熱供給部門については、表流水、伏流水、井戸水、その他の合計量を使用した。公務部門の非市場水投入量とした。消・流雪用水は公務部門で使用されているとし、「消雪パイプ使用水量」および「流雪溝使用水量」の合計量を用いた。

以上のような手続きにより、日本全体の水使用量をモデルで再現したところ、日本全体では、約922億 $\text{m}^3$ となった（表3）。「平成20年度版日本の水資源」によると、2005年における全国の水使用量は834億 $\text{m}^3$ とされている（表4）。この違いは「日本の水資源」と本モデルがカバーする活動の範囲の違いに起因しており、とくに製造業部門の淡水補給量の違いが大きい。また「日本の水資源」では、農業用水に養魚用水が含まれていないことと、公務部門で使用される消・流雪用水が含まれていないといったことも原因である。

主要部門の取水原単位（ $\text{m}^3$ /百万円）を表5に示す。同一部門であっても、地域によって取水原単位は大きく異なる。これは、各部門を構成する基本部門の違いや、各基本部門が保有する技術の違いに起因

表3 地域別・部門別の淡水補給量（千 m<sup>3</sup>）－モデルによる計算値

	農林水産	製造業			水道・ 廃棄物処理 (生活用水+ 産業用水)	電力	ガス・ 熱供給	公務	取水量計
		工業用水 ((1)+(2))	(1)直接取水	(2)上水道・ 産業用水道					
北海道	5,282,700	1,189,822	1,066,840	122,982	797,967	19,396	240	63,700	7,230,843
東北	17,476,600	1,196,133	657,365	538,768	1,986,179	71,581	297	828,800	21,020,822
関東	8,891,000	3,375,098	1,573,883	1,801,215	7,067,802	162,070	4,937	7,300	17,706,993
中部	8,965,500	2,422,159	1,348,763	1,073,396	3,752,016	71,025	1,095	326,300	14,464,699
近畿	4,506,200	1,657,362	629,489	1,027,873	3,771,468	82,168	2,489	23,700	9,015,513
中国	4,666,400	2,029,164	757,623	1,271,541	2,230,974	37,615	325	25,500	7,718,437
四国	2,411,400	844,103	340,954	503,149	1,057,473	17,720	82	0	3,827,630
九州	7,725,700	1,512,792	867,635	645,157	2,147,174	46,690	587	0	10,787,786
沖縄	240,100	40,248	29,356	10,893	202,070	4,852	19	0	476,397
全国	60,165,600	14,266,881	7,271,908	6,994,974	23,013,125	513,118	10,070	1,275,300	92,249,120

表4 地域別・部門別の淡水補給量（千 m<sup>3</sup>）－「日本の水資源」より

	農林水産			製造業	水道・廃棄物処理		電力	ガス・ 熱供給	公務	取水量計	
	合計	農業用水	養魚用水	(工業用水)	合計	生活用水 産業用水					
北海道	5,282,700	4,650,000	632,700	980,000	－	670,000	－	－	63,700		
東北	17,476,600	15,840,000	1,636,600	1,370,000	－	1,430,000	－	－	828,800		
関東	8,891,000	8,180,000	711,000	2,190,000	－	5,220,000	－	－	7,300		
中部	8,965,500	7,980,000	985,500	3,140,000	－	2,660,000	－	－	326,300		
近畿	4,506,200	4,120,000	386,200	1,400,000	－	2,720,000	－	－	23,700		
中国	4,666,400	4,380,000	286,400	1,600,000	－	950,000	－	－	25,500		
四国	2,411,400	2,190,000	221,400	740,000	－	550,000	－	－	0		
九州	7,725,700	7,380,000	345,700	1,160,000	－	1,490,000	－	－	0		
沖縄	240,100	240,000	100	40,000	－	190,000	－	－	0		
全国	60,165,600	54,960,000	5,205,600	12,620,000	－	15,880,000	－	513,118	10,070	1,275,300	90,464,088(※)

※ 「日本の水資源」第2章の冒頭で全国の水使用量として示されているのは83,400,000千m<sup>3</sup>である。しかしこの値には、電力・ガス・熱供給部門・公務部門の直接取水量は含まれていないとされる。そこで著者らがこれらの部門まで含めて計算したところ、日本全体の合計は90,464,088千m<sup>3</sup>となった。なお、「日本の水資源」においても、製造業部門の工業用水使用量は、工業統計の値を参照し、推計されている。

する。例えば農林水産部門について見ると、東北と中部の値が他の地域に比べてかなり大きい。この違いをもたらしている最も大きな要因は作付けの違いであり、東北や中部などの水田の割合が高い地域では取水原単位の値が大きくなる<sup>16)</sup>。製造業部門における原単位の違いの要因としては、部門分類の粗さ、すなわち同じ部門に分類されてもその構成が地域によって異なることと、回収水利用などの生産設備の違いが挙げられる。

表5 生産額あたりの非市場水投入量 (m<sup>3</sup>/千円)

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
農林水産	2,567.3	8,892.8	2,723.6	8,777.1	5,605.8	6,182.2	3,333.1	3,142.6	2,282.5
食料品	88.7	27.0	21.4	29.2	17.8	19.2	38.5	39.3	107.2
繊維	28.7	337.3	81.1	274.5	131.3	90.9	299.6	227.8	198.5
紙・パルプ	1,487.3	531.8	156.4	331.6	59.1	700.1	191.6	615.8	497.1
化学	77.2	74.8	12.7	90.0	17.8	71.4	41.5	154.8	46.9
石油・石炭製品	0.5	0.5	0.8	1.2	0.9	0.9	0.5	0.5	0.5
プラスチック	13.2	13.8	14.3	38.9	42.6	13.1	73.5	65.1	30.1
窯業・土石	56.4	55.2	36.3	48.4	26.7	51.8	102.1	35.7	21.3
鉄鋼	163.8	40.7	21.1	6.1	11.3	8.0	6.7	31.5	16.3
非鉄金属	154.7	48.3	25.2	31.4	8.7	4.6	10.7	4.3	20.9
金属製品	1.4	13.5	7.4	16.5	4.1	8.0	3.2	6.5	8.2
一般機械	2.0	2.8	2.4	5.0	1.4	0.6	6.6	1.6	2.9
電気機械	10.9	2.0	5.3	4.5	3.9	4.2	2.6	6.2	4.4
通信機器	0.2	0.8	1.2	1.4	0.7	0.1	0.0	0.8	—
電子部品	17.6	4.2	6.7	13.0	10.8	0.9	5.7	11.3	—
輸送機械	0.9	3.4	3.3	2.0	2.1	0.9	0.3	1.6	2.2
精密機械	7.7	6.3	5.3	10.1	2.7	13.2	3.3	51.5	7.7
その他製造業	6.1	12.2	6.9	10.2	5.1	4.6	15.0	12.3	4.4
電力	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5
ガス・熱供給	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
水道・廃棄物処理	2,658.1	3,331.2	2,075.6	4,258.1	2,735.4	4,435.7	4,873.2	2,856.3	2,560.5
公務	34.8	341.7	0.7	139.5	6.5	14.3	—	—	—

なお、沖縄では通信機器・電子部品産業の生産額がゼロであるため、原単位は設定していない。また、四国・九州・沖縄では、「消雪パイプ使用水量」および「流雪溝使用水量」がゼロであるため、原単位を設定していない。

家庭部門について言えば、飲用井戸等からの供給を受けている地域も存在する。しかし水道水以外の飲用水については、データ入手の難しさに加え、日本全体の水道普及率は2005年時点で97.2%<sup>17)</sup>であり、全体に占める割合が小さいため、本研究では家庭用の飲料水は水道事業によって供給されていると仮定して分析を進めることとする。

## IV. 水資源評価のためのシミュレーション分析

### 1. 渇水時の水資源の配分とシミュレーションシナリオ

本研究では、基準ケースを平常時、すなわち水資源の供給が需要を上回っている状態とし、水資源利用のための追加的費用は発生していないものとする。この基準ケースに対して、渇水が起こった場合に、水取引制度によって水資源利用の限界便益の大きい利用者が水資源価格を負担して水資源を利用することを想定した以下4つのシナリオについてシミュレーション分析を行う。

## (1) 関東・全部門取引ケース

関東で5%の水資源不足が発生する。全部門で取水の限界便益が均等になるように取水権を配分する。

## (2) 九州・全部門取引ケース

九州で5%の水資源不足が発生する。全部門で取水の限界便益が均等になるように取水権を配分する。

## (3) 関東・部門別取引ケース

関東で5%の水資源不足が発生する。農林水産業部門、製造業部門、公益部門（電力・ガス・熱供給、公務）、水道・廃棄物部門の4部門（4用途）において、それぞれ5%の取水制限を行う。各用途内では、取水の限界便益が均等になるように取水権を配分する。

## (4) 九州・部門別取引ケース

九州で5%の水資源不足が発生する。農林水産業部門、製造業部門、公益部門（電力・ガス・熱供給、公務）、水道・廃棄物部門の4部門（4用途）において、それぞれ5%の取水制限を行う。各用途内では、取水の限界便益が均等になるように取水権を配分する。

(1)(2)では、全部門の合計取水量に上限が設定されるのに対し、(3)(4)は、用途ごとに取水量の上限が設定され、同一用途内の部門同士のみで水資源量を融通することを想定している。したがって、農林水産業部門、製造業部門、公益部門、水道・廃棄物部門の間で異なる水資源価格が発生することとなる。(1)(2)と(3)(4)を比較することで、用途を超えた水融通によって、渇水による被害がどの程度緩和されるのかを評価することができる。また、水資源取引における潜在的な売り手と買い手を特定することができる。

渇水発生が想定される地域については、関東と九州とした。温暖化影響予測プロジェクトチーム（2008）は、温暖化影響による将来の水資源供給量の変化と、将来の需要推定値を比較し、地域ごとの水需給バランスと渇水リスクを計算している。計算結果によると、降雨の減少と気温上昇に伴う蒸発量の増加によって、九州南部・沖縄の水資源が特に逼迫し、渇水が増加することが予測されている。そこで本研究では、渇水の増加が予測されている九州に加え、経済規模が大きく、周辺地域に対して大きな影響力を持つ関東で渇水が起こった場合を想定することとした。

## 2. シミュレーション結果

## (1) 関東・全部門取引ケース

関東の水資源価格は35.0円/m<sup>3</sup>となった（表6）。図4(1)によると、取水制約に直面した関東地方の

表6 水資源価格（円/m<sup>3</sup>）

	(1) 関東・全部門	(2) 九州・全部門	(3) 関東・部門別	(4) 九州・部門別
農林水産	35.0	21.8	18.8	17.4
製造業部門	35.0	21.8	848.6	101.2
電力、ガス・熱供給、公務	35.0	21.8	2,282.4	5,061.9
水道・廃棄物処理	35.0	21.8	79.0	49.4

注) (1)(3)は、関東地域の各部門の水資源価格を、(2)(4)は九州地域の各部門の水資源価格を表す。製造業部門は表2に掲載している「4 飲食料品」～「20 その他製造業」を指す。なお、基準ケースでは水資源供給が必要を上回るとしていることから、どの部門にも水資源価格は発生しない。

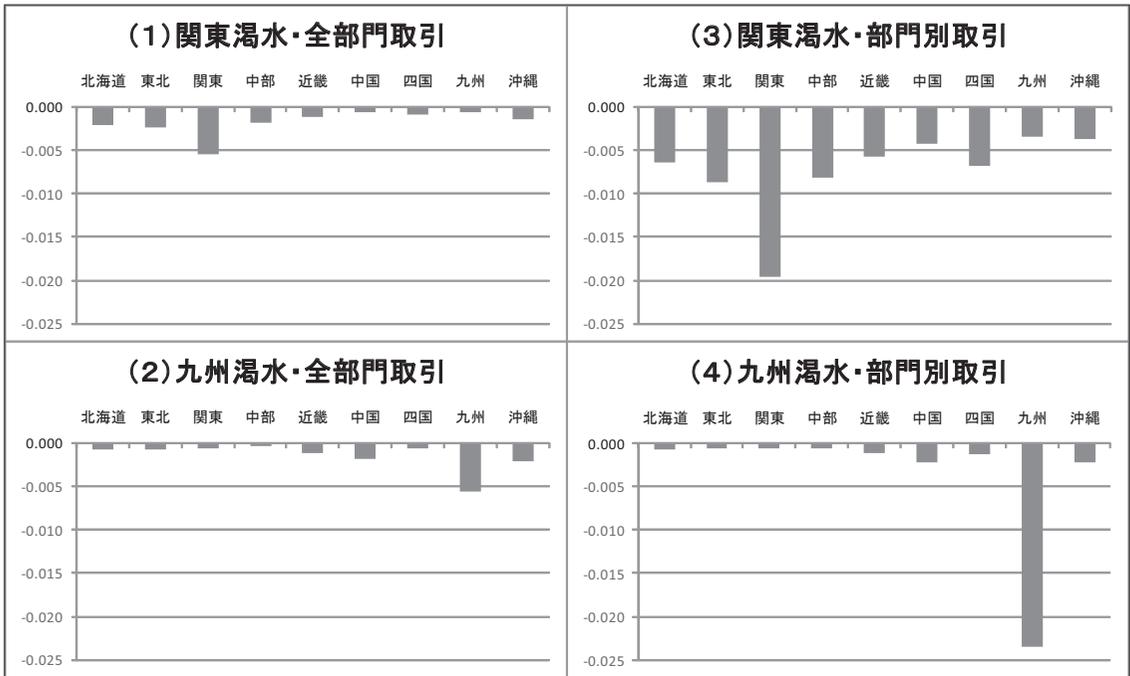


図4 地域 GDP への影響 (基準ケースからの変化率 (%))

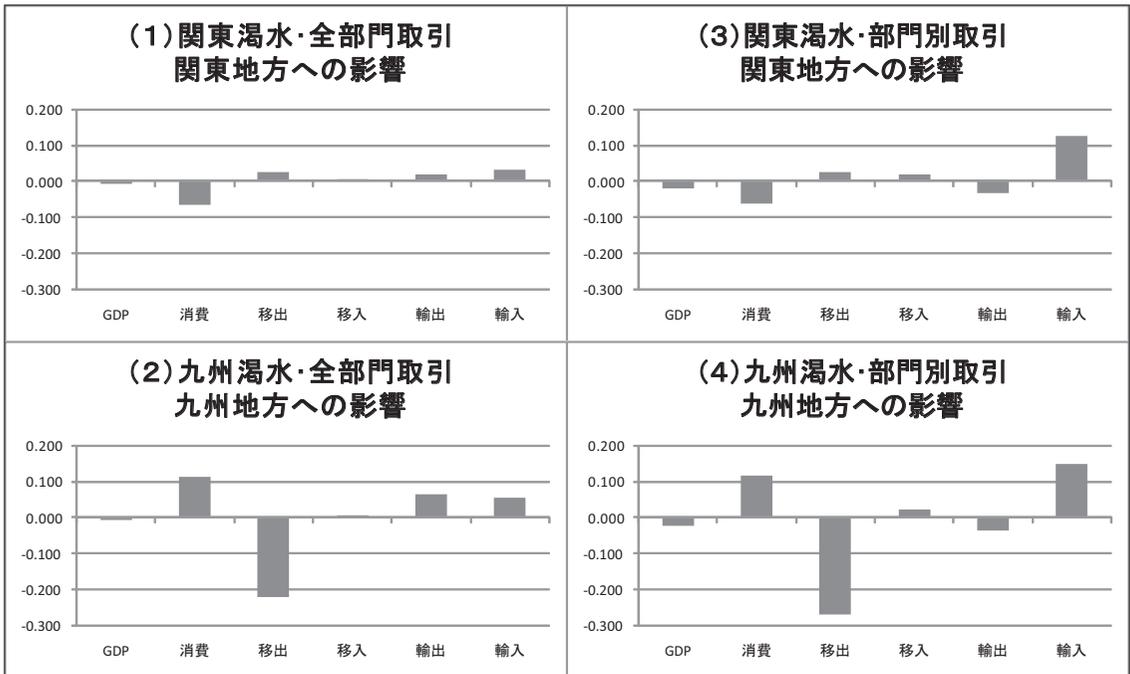


図5 GDP 変化率 (%) に対する寄与度 (%)

地域 GDP<sup>18)</sup> 減少幅が一番大きく、0.005%減少する。その他の地域では、東北・北海道・中部の順に影響を受ける。関東の GDP 低下の要因は、消費の減少である (図 5 (1))。消費が減少することから、輸入・移入も減少する。

部門別の影響を見てみよう。表 7 によると、関東地方の農林水産部門の生産量は 8%減少し、他の地域での同部門の生産量が増加している。とくに、関東に近い地域である東北、中部の増加率が大きい。飲食料品部門は農作物を多く投入していることから、農林水産業の生産量が減少した影響を強く受けることとなり、他の地域にシェアを奪われる結果となった。

飲食料品以外の製造業部門では、非市場取水原単位の大きい飲食料品、繊維、紙パルプ・プラスチック部門を除いて生産量が増加する。これは、農林水産部門における要素需要の減少を受けて要素価格が低下し、生産コストが低下するためである。その結果、関東の製造業は域外でも競争力を持つこととなり、このことが全体として移出・輸出を増加させる原因となっている (図 5 (1))。

他の地域への影響を見ると、北海道・東北では、農林水産業の生産量が増加し、製造業部門の生産量は減少する。これは、関東の農林水産業部門が競争力を失い、製造業部門が競争力を強めた結果、関東とは逆に製造業から農林水産業への構造変化が起こっていると考えることができる。関東の製造業部門が競争力を強めたことは、中部・近畿の製造業にも負の影響を与える。製造業・サービス業の生産量低下を受けて、中部・近畿の要素価格は低下する。

## (2) 九州・全部門取引ケース

(1) 関東・全部門取引ケースとは異なる結果となった。これは、両地域の産業構造や水資源利用、競争相手となる地域が異なるためである。

水資源価格は 21.8 円/m<sup>3</sup> となり、関東地方で渇水が起こった場合と比べて低い値となっている (表 6)。これは、九州においては、水資源の限界便益の高い製造業部門のシェアが低いことが原因であると考えられる。図 4 (2) によると、九州の GDP は 0.006%減少する結果となった。中国・沖縄の順に近隣地域も影響を受ける。図 5 (2) によると、九州における GDP 減少の要因は、輸入・移入の増加となっている。(1) 関東・全部門取引ケースにおける関東への影響とは違って、消費が増加している。これは、九州地域の農産物の消費減少の効果よりも、製造業部門の生産物への需要シフトの効果が勝るためである。製造業部門が域内供給を増やし、移出を減少させることも特徴である。

(1) のケースと同様に、製造業部門・サービス部門で生産量が増加するのは、農業部門での要素需要低下を受けて要素価格が低下し、生産コストが小さくなるためである (表 8)。ただし、水資源集約的な飲食料品・繊維・紙パルプ・化学・プラスチックでは、他の地域の同部門と比べても非市場水投入係数が大きいため、水資源制約の影響が大きく出る。他の地域への影響を見てみると、九州と結びつきの強い中国・沖縄の農林水産部門を中心に、生産量が増加する。

## (3) 関東・部門別取引ケース

部門別の水資源価格は、農林水産業部門で 18.8 円/m<sup>3</sup>、製造業部門で 848.6 円/m<sup>3</sup>、水道部門で 2282.4 円/m<sup>3</sup>、公益部門で 79.0 円/m<sup>3</sup> となった (表 6)。この値はそれぞれの部門における非市場取水 5%削減による限界費用を表している。全部門で水取引を行った場合の水資源価格 35.0 円/m<sup>3</sup> よりも低い価格がついているのは、農林水産業のみである。このことから、全部門で取引を行うケースでは、農林水産業が水資源の売り手、それ以外の部門が買い手であったことがわかる。

部門別生産量を見ると、関東地域の農林水産業と水道・廃棄物部門の生産量は 5%減少する (表 9)。これは、他の部門との水取引を認めておらず、非市場取水量が生産量に比例しているという生産技術構造の仮定による。関東地域以外の農林水産部門では、生産量が増加する。

表7 部門別生産量への影響（(1) 関東・全部門取引ケース）

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	全国
農林水産業	1.96	2.95	-8.01	2.34	1.34	1.18	1.39	1.41	2.08	-0.55
鉱業	-0.26	-0.13	0.09	0.03	0.03	0.00	-0.03	-0.09	-0.03	-0.02
石炭・原油・天然ガス	-0.17	-0.17	0.03	Undef	Undef	Undef	Undef	-0.02	Undef	-0.04
飲食料品	0.09	0.11	-1.13	0.15	0.22	0.27	0.17	0.22	0.12	-0.33
繊維	0.23	-0.02	-0.59	0.15	0.19	0.09	0.05	0.02	-0.01	0.02
紙パルプ	0.31	0.47	-0.65	0.24	0.17	0.47	0.37	0.17	0.22	-0.04
化学	-0.01	-0.17	-0.02	0.02	0.05	-0.04	-0.08	-0.06	0.18	-0.02
石油・石炭製品	-0.20	-0.14	0.03	-0.03	0.01	0.00	-0.09	-0.03	0.01	-0.01
プラスチック	-0.14	-0.23	-0.04	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.10	0.08	-0.05
窯業・土石	-0.16	-0.16	0.01	0.05	0.05	0.00	-0.06	-0.07	-0.02	-0.00
鉄鋼	-0.45	-0.26	0.12	0.02	0.05	-0.01	-0.09	-0.17	-0.09	0.01
非鉄金属	-0.15	-0.15	0.07	0.03	0.02	0.01	-0.03	-0.08	-0.13	0.02
金属製品	-0.25	-0.29	0.10	-0.05	-0.02	-0.07	-0.14	-0.14	-0.09	-0.01
一般機械	-0.46	-0.33	0.19	-0.08	-0.06	-0.13	-0.23	-0.25	-0.22	0.01
電気機械	-0.27	-0.26	0.21	-0.06	-0.02	-0.11	-0.16	-0.22	-0.18	0.05
通信機器	-0.03	-0.15	0.12	0.06	-0.00	-0.02	-0.06	-0.07	Undef	0.04
電子部品	-0.24	-0.22	0.21	0.01	0.04	-0.01	-0.09	-0.08	Undef	0.04
輸送機械	-0.25	-0.18	0.16	0.02	-0.07	-0.04	-0.08	0.06	-0.21	0.06
精密機械	-0.01	-0.22	0.16	-0.09	-0.03	-0.08	-0.10	-0.11	-0.05	0.05
その他製造業	-0.07	-0.09	0.04	0.00	0.02	0.01	-0.02	-0.05	-0.04	0.01
再生資源回収	-0.63	-0.46	0.28	-0.09	-0.04	-0.12	-0.17	-0.29	-0.25	0.00
建設	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00
電力	0.00	-0.21	0.01	-0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.01	-0.03
ガス・熱供給	-0.03	-0.06	0.01	-0.00	0.00	-0.00	-0.02	0.03	0.00	0.00
水道・廃棄物処理	0.09	0.12	-2.37	0.05	0.03	0.03	0.06	0.05	0.02	-0.97
商業	-0.41	-0.39	0.26	-0.09	-0.04	-0.10	-0.22	-0.18	-0.12	0.04
金融保険	-0.08	-0.04	0.14	-0.01	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	0.06
運輸	-0.38	-0.28	0.22	-0.04	-0.00	-0.05	-0.15	-0.13	-0.18	0.03
通信	-0.37	-0.30	0.15	-0.14	-0.10	-0.15	-0.18	-0.20	-0.16	0.04
公務	0.14	0.15	-0.06	0.04	0.01	0.05	0.08	0.08	0.07	0.02
教育・医療	0.08	0.07	0.09	0.01	-0.00	0.02	0.05	0.05	0.03	0.05
サービス	-0.21	-0.19	0.10	-0.08	-0.04	-0.10	-0.17	-0.12	-0.14	0.01
個人サービス	-0.05	-0.01	-0.16	-0.02	-0.01	0.02	0.01	0.01	-0.05	-0.08
その他サービス	-0.09	-0.03	0.22	-0.02	-0.00	-0.00	-0.00	-0.02	-0.02	0.09

※ 基準ケースからの変化率%。「Undef」は、もともと生産がないことを表す。

表 8 部門別生産量への影響 ((2) 九州・全部門取引ケース)

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	全国
農林水産業	0.64	0.69	0.76	0.56	1.22	1.59	0.80	-6.23	1.88	-0.50
鉱業	-0.10	-0.03	0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0.29	-0.04	0.03
石炭・原油・天然ガス	-0.03	-0.02	0.01	Undef	Undef	Undef	Undef	0.06	Undef	-0.00
飲食料品	0.02	0.05	0.07	0.13	0.08	0.05	0.17	-2.35	0.07	-0.21
繊維	0.05	0.00	0.04	0.03	0.05	0.03	-0.00	-1.26	0.08	-0.00
紙パルプ	-0.02	0.06	0.11	0.11	0.15	0.26	0.16	-2.40	0.57	-0.01
化学	0.11	0.02	0.06	0.03	0.04	-0.00	-0.03	-0.80	0.23	-0.00
石油・石炭製品	-0.03	0.00	0.02	0.01	-0.00	-0.07	-0.09	0.05	-0.09	-0.01
プラスチック	-0.03	-0.05	0.02	0.00	-0.00	-0.01	-0.08	-0.21	0.11	-0.01
窯業・土石	-0.06	-0.07	0.01	-0.02	-0.00	-0.05	-0.05	0.20	-0.03	0.01
鉄鋼	-0.19	-0.09	0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.06	0.43	-0.13	0.02
非鉄金属	-0.03	-0.03	-0.00	-0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.40	-0.20	0.01
金属製品	-0.08	-0.07	0.00	-0.02	-0.01	-0.04	-0.08	0.21	-0.11	-0.00
一般機械	-0.14	-0.08	-0.00	-0.03	-0.02	-0.04	-0.09	0.42	-0.04	0.00
電気機械	-0.07	-0.07	0.01	-0.02	-0.00	-0.02	-0.11	0.50	-0.08	0.02
通信機器	0.01	-0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.01	0.31	Undef	0.01
電子部品	-0.11	-0.09	-0.01	-0.03	-0.02	-0.04	-0.05	0.85	Undef	0.07
輸送機械	-0.05	-0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	-0.03	0.55	-0.05	0.05
精密機械	0.01	-0.05	0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.14	-0.01	0.01
その他製造業	-0.01	-0.01	0.02	0.03	0.02	-0.03	0.00	-0.22	0.01	-0.00
再生資源回収	-0.19	-0.12	-0.02	-0.02	-0.02	-0.06	-0.10	0.48	-0.10	0.00
建設	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.02	-0.00	0.00
電力	-0.01	-0.05	0.01	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.02	-0.01	-0.00
ガス・熱供給	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.23	-0.03	0.00
水道・廃棄物処理	0.03	0.01	-0.01	0.05	0.05	0.11	0.09	-2.17	0.01	-0.18
商業	-0.13	-0.09	-0.01	-0.04	-0.03	-0.08	-0.13	0.54	-0.06	0.01
金融保険	-0.03	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	0.32	-0.02	0.02
運輸	-0.12	-0.06	-0.01	-0.03	-0.02	-0.07	-0.09	0.34	-0.08	0.00
通信	-0.09	-0.05	-0.01	-0.02	-0.01	-0.03	-0.05	0.49	-0.06	0.01
公務	0.04	0.03	-0.02	0.01	0.00	0.02	0.03	0.16	0.02	0.02
教育・医療	0.02	0.01	-0.01	0.00	-0.00	0.00	0.01	0.27	0.00	0.03
サービス	-0.05	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.05	0.26	-0.04	0.01
個人サービス	-0.03	-0.02	-0.03	-0.02	-0.04	-0.06	-0.01	0.06	-0.13	-0.02
その他サービス	-0.03	-0.01	-0.02	-0.00	-0.01	-0.02	-0.01	0.58	-0.03	0.04

※ 基準ケースからの変化率%。「Undef」は、もともと生産がないことを表す。

表9 部門別生産量への影響 ((3) 関東・部門別取引ケース)

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	全国
農林水産業	1.05	1.00	-5.00	1.31	0.92	0.63	0.45	0.90	1.41	-0.53
鉱業	0.36	0.56	-1.93	0.84	0.84	1.06	0.94	1.00	0.46	0.04
石炭・原油・天然ガス	-0.13	2.05	-1.01	Undef	Undef	Undef	Undef	0.43	Undef	-0.43
飲食料品	0.51	0.32	-2.56	0.46	0.46	0.36	0.18	0.52	0.37	-0.73
繊維	2.74	2.25	-9.38	2.16	2.19	1.75	2.50	1.44	1.81	0.09
紙パルプ	6.70	7.26	-12.47	8.61	6.69	2.82	6.06	3.93	5.45	-0.32
化学	1.34	0.65	-1.69	1.05	0.99	0.99	0.68	1.26	1.11	-0.21
石油・石炭製品	-0.33	-0.29	-0.23	0.06	0.18	0.24	-0.07	0.46	-0.03	-0.03
プラスチック	0.92	0.46	-1.57	0.66	0.66	0.47	-0.09	0.70	0.97	-0.26
窯業・土石	0.97	0.80	-2.35	1.20	0.86	0.83	0.58	0.73	0.22	-0.05
鉄鋼	1.85	1.85	-3.43	1.30	1.42	1.26	0.90	1.44	0.71	-0.03
非鉄金属	1.47	0.71	-2.22	1.08	1.21	1.31	1.07	1.34	0.61	-0.13
金属製品	0.23	-0.17	-0.64	0.28	0.28	0.18	0.05	0.31	0.46	-0.09
一般機械	0.07	-0.55	0.18	-0.12	-0.13	-0.17	-0.37	0.13	0.35	-0.01
電気機械	0.53	-0.18	-0.44	0.12	0.10	0.20	-0.89	0.35	0.70	-0.16
通信機器	0.24	-0.68	0.15	-0.45	-0.13	-0.11	0.07	-0.15	Undef	-0.13
電子部品	0.45	-0.24	-0.59	0.21	0.24	0.25	0.13	-0.04	Undef	-0.12
輸送機械	0.55	-0.11	-0.31	-0.19	0.19	-0.27	-0.70	-0.77	0.81	-0.25
精密機械	0.38	-0.41	-0.15	0.17	0.04	0.15	0.35	0.24	0.24	-0.09
その他製造業	0.50	-0.02	-0.35	0.12	-0.02	0.09	0.33	0.17	0.19	-0.09
再生資源回収	-1.22	-0.94	0.23	-0.39	-0.05	-0.12	-0.14	-0.14	-0.61	-0.10
建設	0.00	0.08	-0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	-0.00	-0.01
電力	0.53	4.46	-5.36	1.27	0.80	0.83	1.25	0.24	0.04	-0.62
ガス・熱供給	0.20	0.20	-0.42	0.22	0.16	0.25	0.11	0.09	0.01	-0.12
水道・廃棄物処理	0.23	0.35	-5.00	0.21	0.11	0.15	0.28	0.09	0.01	-2.00
商業	-0.41	-1.25	0.91	-0.68	-0.44	-0.65	-0.92	-0.20	0.02	0.13
金融保険	-0.09	-0.02	0.42	-0.04	-0.03	-0.04	-0.07	-0.05	-0.00	0.18
運輸	-0.42	-0.86	0.62	-0.39	-0.22	-0.35	-0.51	-0.14	0.09	0.07
通信	-0.64	-0.96	0.52	-0.68	-0.59	-0.66	-0.74	-0.55	-0.29	0.11
公務	0.03	0.24	-0.04	0.10	0.05	0.13	0.17	-0.00	-0.06	0.04
教育・医療	-0.07	0.08	0.30	0.01	-0.05	0.04	0.06	-0.08	-0.10	0.10
サービス	-0.34	-0.42	0.25	-0.34	-0.21	-0.40	-0.64	-0.28	-0.24	-0.00
個人サービス	-0.13	-0.11	0.04	-0.05	-0.03	0.02	-0.01	-0.04	0.03	-0.00
その他サービス	-0.19	-0.20	0.71	-0.11	-0.06	-0.09	-0.11	-0.11	-0.06	0.27

※ 基準ケースからの変化率%。「Undef」は、もともと生産がないことを表す。

部門別取引ケースでは農林水産業からの水供給が受けられないため、製造業部門のみで非市場取水量を5%削減しなければならず、全体として生産を縮小することとなった。通信機械、一般機械では生産量が増加しているが、これらの部門は非市場取水原単位が小さいため、水資源コスト上昇の影響をさほど受けない上に、他部門の生産縮小によって要素価格が低下したことで東北、中部、近畿の同部門に比べて有利となったことが原因である。農林水産業・製造業部門による要素需要低下を受け、サービス部門が有利となり、生産を伸ばしている。

関東全体として労働・資本への需要が減少することから要素所得は減少し、関東地域のGDP減少率は0.02%と、(1)の全部門取引ケースと比べて影響が大きくなっている(図4(3))。製造業部門の生産コストの上昇は国際競争力にも影響を与え、輸出が減少し、輸入が増加する(図5(3))。

#### (4) 九州・部門別取引ケース

部門別の水資源価格は、農林水産業部門で17.4円/m<sup>3</sup>、製造業部門で101.2円/m<sup>3</sup>、水道部門で5061.9円/m<sup>3</sup>、公益部門で49.4円/m<sup>3</sup>となる(表6)。(3) 関東・部門別取引ケースと比べると、製造業における水資源価格が小さく、水道部門で高くなるという特徴がある。これは、九州では非市場水を取水せず、水道部門からのみ水の供給を受けているサービス産業のシェアが高いことを反映している。

九州地方の製造業部門では全体的に生産量が減少し、他の地域の同部門の生産量が増加する(表10)。とくに関東地方の製造業の伸びが他の地域に比べて大きいと言える。非市場取水原単位の大きい部門で生産量が大幅に減少する一方で、一般機械、電気機械、通信機器、輸送機械では生産量が増加する。また、関東のケースと同様に、九州地域内の要素需要が減少することから、九州地域のGDPは0.02%減少し、(2)全部門取引ケースよりも影響が大きくなる(図4(4))。また、水取引を全部門から部門別に制限した場合の、渇水発生による他地域GDPへ及ぼす影響は、関東よりも九州の方が小さい(図4)。これは、両地域で経済の規模が異なることと、周辺地域との競争の度合いが地域・部門ごとに異なるためである。

### 3. シミュレーション結果のまとめ

本研究の分析結果を以下にまとめる。第一に、同じ5%の渇水であっても、関東と九州では影響が異なることが示された。関東で渇水が起こった場合には北海道・東北・中部などが大きな影響を受けるが、九州で起こった場合には、農林水産業に関しては中国・沖縄、製造業に関しては関東への影響が大きく出る。また、GDP変化の内訳や、周辺地域のGDPへの影響の大きさも両地域で異なる。これは、産業構造、競争相手となる地域、競争の度合い、非市場取水原単位の違いに起因していると考えられる。

第二に、水資源の限界便益は用途間で大きく異なることがわかった。とくに関東では、農業部門と製造業部門の水資源の限界便益の差が大きいと言える。関東・九州とも、農業部門は潜在的な水資源の売り手、他は買い手である。

第三に、用途を超えた水資源配分を市場取引によって行うことで、渇水の影響は全体として緩和されることが示された。全部門で取引を行うケースでは、農林水産業から製造業・サービス業へと生産が置き換わる結果となった。それに対し、部門ごとに水市場が分断されているケースでは、両部門とも生産量が減少し、サービス部門の生産量のみが増加する結果となった。

第四に、非市場水投入係数の大きい部門ほど生産量が低下するわけではない。これは、中間投入財として水資源集約的な財を投入しているか否かと、他の地域との競争による影響を強く受けるためである。

以上の結果を先行研究との比較によって評価する。福石(2010)によると、日本の全国平均の部門別水シャドウプライスは、農林畜産業部門で低く、製造業部門で高い結果となっている。これは本研究の分析結果の傾向と概ね一致するものである。Barrittella et al. (2007)では、ある地域で水資源制約が課せられ

表10 部門別生産量への影響 ((4) 九州・部門別取引ケース)

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	全国
農林水産業	0.50	0.54	0.59	0.44	0.96	1.22	0.60	-5.00	1.43	-0.42
鉱業	-0.02	-0.02	0.08	0.06	0.09	0.05	-0.08	-0.68	0.02	-0.07
石炭・原油・天然ガス	-0.01	-0.00	0.05	Undef	Undef	Undef	Undef	-2.15	Undef	0.02
飲食料品	0.03	0.05	0.06	0.11	0.08	0.06	0.14	-2.11	0.07	-0.18
繊維	0.12	0.08	0.14	0.14	0.15	0.18	0.14	-5.08	0.38	-0.03
紙パルプ	0.07	0.15	0.41	0.62	0.81	1.07	0.84	-10.57	2.14	-0.04
化学	0.27	0.21	0.26	0.23	0.22	0.19	0.16	-4.46	0.57	-0.01
石油・石炭製品	-0.00	0.01	0.04	0.02	0.02	-0.05	-0.21	-0.76	-0.08	-0.03
プラスチック	0.04	0.03	0.09	0.05	0.06	0.05	-0.09	-1.64	0.41	-0.01
窯業・土石	-0.01	0.01	0.07	0.06	0.07	0.12	0.03	-0.61	0.08	-0.01
鉄鋼	0.08	0.10	0.13	0.13	0.16	0.12	0.01	-1.37	0.53	-0.02
非鉄金属	-0.13	-0.07	0.08	0.02	0.05	-0.05	-0.11	-0.38	0.24	0.01
金属製品	-0.04	-0.03	0.02	-0.02	-0.01	-0.05	-0.08	-0.03	-0.09	-0.01
一般機械	-0.10	-0.07	-0.01	-0.05	-0.03	-0.06	-0.11	0.52	-0.04	-0.00
電気機械	-0.04	-0.05	0.00	-0.03	-0.01	-0.03	-0.16	0.41	-0.05	0.00
通信機器	0.02	-0.03	0.00	-0.02	-0.00	-0.01	-0.00	0.23	Undef	0.00
電子部品	-0.02	-0.01	0.07	0.03	0.04	0.02	-0.02	-0.77	Undef	-0.05
輸送機械	-0.02	-0.01	0.03	-0.01	0.00	-0.05	-0.26	0.37	0.02	0.03
精密機械	0.04	-0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	-0.12	-0.02	0.01
その他製造業	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02	-0.02	0.04	-0.44	-0.05	-0.02
再生資源回収	-0.09	-0.03	-0.08	0.05	-0.01	-0.10	-0.03	-0.52	-0.01	-0.08
建設	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.00	-0.00
電力	0.01	-0.02	0.07	0.04	0.05	0.12	0.10	-5.05	-0.00	-0.42
ガス・熱供給	-0.01	-0.01	-0.00	0.02	0.04	0.01	-0.00	-1.28	-0.03	-0.06
水道・廃棄物処理	0.08	0.01	0.00	0.12	0.11	0.26	0.21	-5.00	0.05	-0.40
商業	-0.11	-0.10	-0.02	-0.08	-0.06	-0.13	-0.17	0.95	-0.04	0.03
金融保険	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.56	-0.01	0.03
運輸	-0.11	-0.07	-0.03	-0.07	-0.05	-0.12	-0.12	0.65	-0.02	0.01
通信	-0.08	-0.05	-0.03	-0.03	-0.03	-0.05	-0.07	0.86	-0.06	0.02
公務	0.03	0.02	-0.02	0.01	0.00	0.02	0.03	0.21	-0.00	0.02
教育・医療	0.01	0.01	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.00	0.46	-0.03	0.05
サービス	-0.05	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.05	-0.07	0.32	-0.03	-0.00
個人サービス	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	-0.04	-0.06	-0.02	0.11	-0.09	-0.02
その他サービス	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	-0.01	-0.03	-0.02	1.11	-0.03	0.08

※ 基準ケースからの変化率%。「Undef」は、もともと生産がないことを表す。

ると、別の地域での水の利用量が増加するという結論が出されており、本研究の分析結果は整合するものである。制約のかかった地域の GDP は減少し、水が部門間で移動できない場合には、影響が深刻に出るという点でも一致している。また、農業部門における水利用の限界便益が他の部門に比べて小さいという結果も一致するものである。

## V. 結論

本研究では、数年単位で起こる連続的な渇水を想定し、水資源を限界便益に応じて配分した場合の経済的影響を多地域応用一般均衡モデルを用いて分析し、用途ごとに水利用が限られていることの費用を評価した。分析結果に基づけば、用途間での水利用の限界便益は大きく異なることから、渇水時に水資源に価格をつけて用途間で取引を行うことにより、全体としての経済的影響は緩和される。ただし、水資源の効率的な配分により生産要素の再配分が起ることによって、農業部門の生産は減少し、製造業が拡大するという個別部門への影響がある。このことから、水資源の効率的な配分は、農業部門の縮小に拍車をかけるという側面も否定できない。将来温暖化が進み、渇水が頻発するようになれば、用途間で水をスムーズに融通し、各地域・各部門の渇水リスクを分散するニーズが高まっていくと考えられる。水資源の利用について、歴史的経緯や食料や貿易といった他の政策との整合性と併せて、効率性に配慮した制度設計が求められる。

最後に、本研究の今後の課題を指摘する。水資源問題、とくに渇水を応用一般均衡モデルの枠組みでとらえることには、様々な限界がある。第一に、時間スケールである。本研究の計算結果は、年間を通じた慢性的な渇水の影響であると言える。しかし実際には、水資源の需給には季節性があるため、渇水は断続的に起こると考えられる。つまり、年間取水量に対する不足量は同じであっても、1ヶ月間断水が続く場合と、1年を通して慢性的に不足しているのでは、経済的影響は異なるということであり、とくに農作物については成長時期に水供給がないことが収量に大きな影響を受けるであろう。このように日単位・月単位の渇水の影響を、年単位の時間スケールを持つ経済データとモデルでどのように評価するかは今後の大きな課題である。また第二の課題は、対象とする地域区分の問題である。渇水は河川の流域単位の問題であるのに対し、応用一般均衡モデルで使用する経済データは県別、地方別、国別といった区分でしか手に入れることができない。以上のような問題点を念頭に置いて、水資源配分を経済的に評価するには、異なったアプローチによる評価も併せて行っていく必要がある。

## 注

- 1) 本論文は、環境科学会 2011 年会（関西学院大学）に於いて報告した論文に加筆・修正したものである。会場から有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝申し上げたい。また、本誌の匿名レフェリー二名から大変有益なコメントを頂戴した。ここに記して深く感謝申し上げます。
- 2) 宮本ほか（1999）
- 3) 温暖化影響予測プロジェクトチーム（2008）
- 4) ただし、遠藤（2007）では、カリフォルニアの渇水銀行では、取引価格が固定されており、買い手の絞り込みがされていること等から、完全な自由市場とは言えないことが指摘されている。
- 5) Blue water とは、降雨のうち蒸発と蒸散で大気中へ戻るものを指し、森林や天水作物への供給源となっている。Green water とは、降雨のうち河川、湖沼、貯水池、地下水層に留まるものを指し、この一部が灌漑に利用されている。
- 6) ここでいう「三重の配当」とは、水資源マネジメント料金を課して水資源の配分を効率的にし、かつ収入をうまく還流することで（1）水資源の節約（2）経済成長の加速（3）衡平な所得配分に資することができるという意味で使用されている。

- 7) 現実には水利権があり、非市場水の利用についても価格が発生しているが、本研究では従来の水利権に相当する費用負担については農林水産業に含まれる農業サービスへの支払いとして取り扱うこととしている。
- 8) 家庭部門においても、東北や九州の一部の県を中心として非市場水の利用が認められる。しかし、我が国の水道普及率（給水人口／総人口）は2008年時点で97.5%に上ることから（厚生労働省健康局水道課調べ）、本研究では対象としないこととする。
- 9) 水道価格に対する需要量の変化についての検討や、固定的な水道料金をモデルでどのように扱うかについての議論は必要である。
- 10) これは、例えば気候変動問題において、温室効果ガス排出を化石燃料消費等に伴う生産投入要素としてモデルに導入するのと全く同じ考え方である。気候変動問題の場合は、温室効果ガス排出制約のシャドウプライスを炭素の価格として環境税や排出量取引制度の分析が行われている。
- 11) つまり、他の投入財・要素との代替の弾力性が0とされている。
- 12) Rosegrant et al. (2002)
- 13) 経済産業省 (2010)
- 14) 経済産業省 (2007)
- 15) 平成19年度版、平成20年度版、平成21年度版、平成22年度版の各版より、2005年に関する該当データを収集した。ただし、発電事業、ガス供給、熱供給部門の非市場水使用量については、2003年の値を参照している。
- 16) また、モデルにおける地域分類と、「日本の水資源」における地域分類に若干の違いがあることに注意が必要である。具体的には、「日本の水資源」では新潟県が東北地方に（モデルでは関東に分類）、長野・静岡・福井が中部地方に分類されている（モデルでは、長野・静岡は関東、福井は近畿に分類）。したがって、関東の農林水産業部門の淡水補給量は過少、東北・中部の淡水補給量は過大となっている可能性が高いが、このことは本研究の結論に大きな違いをもたらすものではないと考えられる。なお、製造業部門については「工業統計」の都道府県別の値に基づいて淡水補給量を計算していることから、影響はない。
- 17) 厚生労働省健康局水道課調べ。
- 18) 地域GDPは「 $GDP = 消費 + 投資 + 移出 - 移入 + 輸出 - 輸入$ 」と定義される。

#### 参考文献

- Berrittella, M., A. Y. Hoekstra, K. Rehdanz, R. Roson and R. S. J. Tol “The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis.” *Water Research*, 41(8), 1799-1813, 2007.
- Cakmak, E. H. , H. Dudu, D. Ş. Saracoğlu, X. Diao, T. L. Roe and Y. Tsur “Macro-Micro Feedback Links of Irrigation Water Management in Turkey.” *Policy Research Working Paper No.4781*, The World Bank, 2008.
- Calzadilla, A., K. Rehdanz, and R. S. J. Tol “The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis.” *Journal of Hydrology*, 384(3-4), 292-305, 2010.
- Diao, X. and T. Roe “Can a water market avert the “double-whammy” of trade reform and lead to a “win-win” outcome?” *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(3), 708-723, 2003.
- Hassan, R. and J. Thurlow “Macro-micro feedback links of water management in South Africa: CGE analyses of selected policy regimes.” *Agricultural Economics*, 42(2), 235-247, 2011.

- Rosegrant, M. W., X. Cai, and S. A. Cline “World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity.” International Food Policy Research Institute, Washington, D. C., 2002.
- Van Heerden, J. H., J. Blignaut and M. Horridge “Integrated water and economic modelling of the impacts of water market instruments on the South African economy.” *Ecological Economics*, 66(1), 105-116, 2008.
- 遠藤崇浩「カリフォルニア渇水銀行の一考察 水配分における政府の役割」『水資源・環境研究』20、125-136、2007。
- 温暖化影響予測プロジェクトチーム『日本への影響－最新の科学的知見』、2008。
- 経済産業省『平成 17 年度地域間産業連関表』、2010。
- 経済産業省『工業統計調査,平成 17 年確報 用地用水編』、2007。
- 国土交通省土地・水資源局水資源部『平成 22 年度版日本の水資源』第 II 編 日本の水資源と水需給の現況、2010。
- 国土交通省土地・水資源局水資源部『平成 21 年度版日本の水資源』第 II 編 日本の水資源と水需給の現況、2009。
- 国土交通省土地・水資源局水資源部『平成 20 年度版日本の水資源』第 III 編 日本の水資源と水需給の現況、2008。
- 国土交通省土地・水資源局水資源部『平成 19 年度版日本の水資源』第 III 編 日本の水資源と水需給の現況、2007。
- 人口問題研究所『都道府県別人口』、2009。
- 福石幸生「経済学と水資源－日本における水のシャドウ・プライスの測定－」、慶應義塾大学産業研究所 ディスカッションペーパー、No.123、2010。
- 宮本幸一、藤森新作、仰木文男（1999）「慣行水利権届け出後の灌漑地区における水利用要素の経年変化」『農業工学研究所技報』197、1-17、1999。

