

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-

福石幸生¹²³

2010年12月

KEO Discussion Paper No. 123

要約

全世界的な水資源問題への関心の深まりと共に、水資源を経済学の分析手法に応用した研究が、経済学だけでなく工学系などの他の分野においても、行われてきている。しかしながら、どのようにして、理論的・哲学的背景から水資源を経済学の枠組みの中で捉えるべきか、十分な考察がなされないままの実証的な研究が数多く行われている現状がある。

本論文は、先行研究をもとに、過去から現在まで積み上げられてきた経済学における水資源の理論的・哲学的背景を考察する。そして、Water Input-Output Programing を、平成 12 年(2000 年)の日本に応用する。これは、経済学の分析手法に水資源を応用する上で、1 つの指標となるだけでなく、経済活動と水資源を統合した政策決定においても、一助になると考えられる。

キーワード

経済学, 水資源, Water Input-Output Programing, 水のシャドウ・プライス, 水の需要曲線

¹ 慶應義塾大学商学研究科後期博士課程・助教. 慶應義塾大学産業研究所共同研究員.
Email: hideo.fukuishi@gmail.com

² 桜本光教授(慶應義塾大学商学部), 早見均教授(慶應義塾大学商学部)に, 経済学における水資源の理論的・哲学的背景について, 極めて重要なコメントをいただいた。また果実部門の淡水取水量の推計については, 田辺賢二名誉教授(鳥取大学農学部(園芸))より, 林業部門の淡水取水量の推計については, 古川郁夫教授(鳥取大学農学部(木材科学))より, ご指導いただいた。また両鳥取大学教授より, 農業部門の推計全般にきわめて有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝したい。

³ 本研究は, 平成 22 年度慶應義塾大学博士課程学生研究支援プログラムによる研究費の支援を受けて実施された。

目次

1. はじめに	...p.5
1-1. 本論文の目的	...p.5
1-2. 将来懸念される問題とそれに対する取り組み	...p.6
2. 水資源と国家戦略	...p.9
2-1. 経済学と水資源	...p.9
2-2. 統合的な水資源戦略	...p.13
2-2-1. 戦略決定のための分析	...p.13
2-2-2. 政策の選択	...p.13
2-2-3. 政策の実行	...p.14
2-3. 水資源計画への分析手法	...p.16
2-3-1. 部分均衡モデル	...p.16
2-3-2. 一般均衡モデル	...p.16
2-3-3. 計算可能一般均衡モデル	...p.21
2-3-4. 分析モデルの限界	...p.21
2-4. 環境の統計と経済の統計	...p.23
3. 分析手法	...p.25
3-1. 水収支	...p.25
3-1-1. 地球上の水と熱の循環	...p.25
3-1-2. 水資源循環	...p.25
3-1-3. 水収支の測定	...p.27
3-2. 水のシャドウ・プライス	...p.30
3-3. 経済への水資源の統合	...p.32
3-3-1. 水供給部門の水収支	...p.32
3-3-2. 経済財の生産プロセスにおける水収支	...p.34
3-4. 産業連関表への水資源情報の拡張	...p.35
3-4-1. 水産業連関表の作成方法	...p.35
3-5. 経済乗数分析	...p.39
3-5-1. レオンチェフの逆行列	...p.39
3-5-2. 乗数とその種類	...p.41
3-6. 水の経済価値	...p.43
3-6-1. Water Input-Output Programing	...p.43
3-6-2. 分析の結果とその解釈	...p.44

4. 日本における水の需要曲線 ...p.47

4-1. 現状の日本産業連関表における水の取り扱い ...p.47

4-2. 日本における水収支 ...p.47

4-3. 水利用産業連関表の推計 ...p.48

4-4. 分析結果 ...p.55

4-4-1. 水資源の利用可能性の感度 ...p.56

4-4-2. 水の需要曲線 ...p.58

5. 結論 ...p.60

参考文献 ...p.61

図目次

- 図 1 水供給部門の縦断的, かつ横断的な関わり ...p.12
- 図 2 水資源政策の 8 要素 ...p.15
- 図 3 水と経済 ...p.24
- 図 4 水資源循環 ...p.27
- 図 5 水資源循環の構成要素 ...p.28
- 図 6 水収支(Water Budget)の概念図 ...p.29
- 図 7 水収支(Water Budget)のフロー ...p.30
- 図 8 経済活動における水資源フロー ...p.38
- 図 9 水の需要曲線 ...p.45
- 図 10 日本の水収支(平成 12 年) ...p.49
- 図 11 日本の年間の水収支を示す模式図(平成 12 年) ...p.50
- 図 12 水の需要曲線 ...p.59
- 図 13 水の需要曲線(回帰分析) ...p.59

表目次

- 表 1 水供給部門の水収支 ...p.33
- 表 2 産業部門における水収支 ...p.35
- 表 3 産業連関表の構造 ...p.36
- 表 4 水産業連関表の構造 ...p.39
- 表 5 水産業連関表における投入係数行列 A の構造 ...p.40
- 表 6 日本水利用産業連関表の概要案 ...p.51
- 表 7 産業分類(28 部門) ...p.54
- 表 8 水のシャドウ・プライスと戦略部門 ...p.57

1. はじめに

1-1. 本論文の目的

本論文は、先行研究をもとに、過去から現在まで積み上げられてきた経済学と水資源の理論的・哲学的背景を考察する。

水資源の開発計画は、何千年の間に何度も行われてきたが、現在の各分野の知識を統合した水資源の開発計画の歴史は、約 60 年足らずのものである。そして、その開発計画は、約 40 年前から経済学とエンジニアの視点を含んだ分析への重要性が高まっている。

この統合的な水資源の開発計画において、最初の重要な試みは 1950 年代から 60 年代の間の **Harvard Water Program** であると考えられる。これは、水資源の計画のための分析フレームを作り上げようと、エンジニア、経済学者、そして政治学の分野横断的なチーム⁴による最初の重要な試みである。これが、**Harvard University** を超えて、**Massachusetts Institute of Technology (M.I.T)**の研究者に影響を与える⁵。そこで、**Isard and Romanoff (1967a)**は、経済学と水資源の間のリンクについて、一般均衡モデルである産業連関分析を応用することで最初の試みが行われた。この分析フレームは、様々な国・地域で応用され、**Bouhia (1998)**などの研究成果を見ることができる。

本論文は、この産業連関分析を応用した分析手法を中心として、どのようにして、理論的・哲学的背景から水資源を経済学の枠組みの中で捉えるべきかを考察する。多くの先行研究の努力に関わらず、水資源を経済学に取り込むことには未だ成功しているとは言い難いが、現状の問題点についても、整理が行われ、今後の課題を明らかにする目的も本論文にはある。これに加えて、水資源の循環と経済モデルを結び付けた意思決定のための分析手法である **Bouhia (1998)**の **Water Input-Output Programing** を、実際に平成 12 年(2000 年)の日本に応用し、検証する。これらの試みは、経済学の分析手法に水資源を応用する上で、1つの指標となるだけでなく、経済活動と水資源を統合した政策決定においても、一助になると考えられる。

特に、近年の水資源の研究において、「**Virtual Water**」や「**Water footprint**」をキーワードと

⁴ エンジニアの分野からは、**Gordon Fair, Harold Thomas, Jr.**が、経済学の分野からは、**Robert Dorfman, Otto Eckstein, John R. Maeyer**が、そして、政治学の分野からは、**Arthur Maass, Maynard Hufschmidt**が主に参加している。この統合的視点からの水資源のシステムの分析は、何年も先進性を持ったものであった(**Maass, Maynard, Dorfman, Harold, Stephen and Gordon, 1962; Loucks, Stedinger and Haith, 1981; Goodman, 1984**)。最初の実際の応用の一つは、**Major and Lenton (1977)**である。これらは、水資源の分野において(**Loucks et al., 1981**)、オペレーションズ・リサーチの道具として様々な種類の発展と応用の過程の中で、大きな進化が行われた(**Winston, 1996**)。詳しくは、**Reuss (2003)**を見よ。

⁵ **Isard and Romanoff (1967a)**より、「**This research is being carried out in cooperation with the Harvard Water Program.**」の記述を見ることができる。

した分析が盛んである。「Water footprint」については、ISO14046「Water footprint: Requirements and guidelines」という、Life Cycle Assessment (LCA) を基調とした「Water footprint」の評価と報告を行う際の要件とガイドラインの策定が進んでいる。産業連関分析の応用として、「Virtual Water」や「Water footprint」の概念を拡張した研究があるが、上記に述べた先行研究ではなく、「Carbon footprint」の応用としての研究が多く見られる。本論文では、Harvard Water Program からなる伝統的な研究と「Water footprint」の違いには着目しない。これは、ISO 策定後の将来の課題とする。本論文では、経済学と水資源を、理論的・哲学的背景から体系的に捉えることを目的とする。

そして、その先行研究の積み重ねの中で、水資源の配分を理論的に検証するために、最も基本的な検証材料であると考えられている水のシャドウ・プライスについて、2000年の日本において実際に測定する。これにより、数量分析、価格分析、そしてシナリオ分析の多重な視点から日本の水資源と産業構造の関係を明らかにする。

1-2. 将来懸念される問題とそれに対する取り組み

水は生命に必要なものであり、かつ、経済活動の全ての生産活動においても、必要不可欠なものである。水が欠乏するとき、私達は、それが重要な経済財の一つであることを強く認識することになる。水資源の政策とマネジメントは、経済活動における他の産業と、垂直的かつ水平的な関わりがあることを念頭に置く必要がある。

1978年にアルゼンチンにおいて開催された国連水会議が、国際的な最初の取り組みである。1970年代において、乾燥地帯に位置する世界の約1/3の国が淡水資源の不足に直面していることが指摘され、それに対する取り組みが開始された。

ブラジルのリオ・デジャネイロで1992年6月に開催された国連の環境開発会議(UNCED)において採択された、21世紀に向けた行動計画である「アジェンダ21(持続可能な開発のための行動計画)」において、持続的発展を行うための包括的な活動目標について議論がなされた。水資源においては、以下の発言が得られている。

“Effectively integrated management of water resources is important to all socio-economic sectors relying on water. Rational allocation prevents conflict and enhances the social development of local communities, as well as economic planning and productivity. Efficient demand management allows water-using sectors to achieve long-term savings on water costs and stimulates resource-conscious production technologies. Health conditions and environmental quality should also improve, either as a result of integrated development planning or as a beneficial consequence of improved environmental or social conditions.”

「効果的な統合水資源管理⁶は、全ての水に関係のある社会そして産業に重要である。合理的な水資源配分が、地域社会間の争いを防ぎ、経済政策と生産性の向上とともに社会の発展をもたらす。効果的な水需要のマネジメントは、水資源を使用するためのコストを長期的な視点で節約することが可能であり、限られた資源を効果的に使用するために必要となる技術の発展を促進することにもなる。我々人間を含めた生物の健康状態、そして生活環境もまた改善されるべきである。これらは、統合された発展計画の結果、もしくは、環境もしくは社会の状態を改善することによる便益により達成される。」（筆者訳）

そして、1992年の水と環境に関する国際会議において採択されたダブリン宣言において、4つの主義が提示された。

1. 水資源は有限な資源である。
2. 水資源開発・管理は参加型アプローチに基づくべきである。
3. 水供給、管理、保全において、女性は中心的な役割を果たす。
4. 水は経済的な価値を有し、経済財として認識されるべきである。

「アジェンダ 21」とダブリン 4 原則は、広く世界中の水資源の研究者たちの支持を得てきた。これを受けて、1992年12月の第47回国連総会本会議において、平成5年から毎年3月22日を「国連水の日」(World Day for Water)とした。国際的な水資源機関、例えば、Global Water Partnership や World Water Council は、この実現するための活動を行い、水資源が経済そして社会の財の中の一つであるという概念を広めた。その後、1993年には国際連合に「持続可能な開発委員会(Commission on Sustainable Development)」が設立され、1998年の第6回会合において淡水管理への戦略的アプローチが取り上げられることとなる。

この動きに合わせて、世界水会議(World Water Council)の第1回総会がカナダで、第1回世界水フォーラムがモロッコにおいて開催される。これは、近い将来深刻化する地球規模での水資源危機への対策を趣旨としたものである。20世紀最後の2000年においては、ニュ

⁶ 統合水資源管理 (Integrated Water Resource Management) は、水資源を開発、管理するうえで有効な手法として国際的に広まっている概念である。Global Water Partnership は、水や土地、その他関連資源の調整をはかりながら開発・管理していくプロセスのことで、その目的は欠かすことのできない生態系の持続発展性を損なうことなく、結果として生じる経済的・社会的福利を公平な方法で最大限にまで増大させることにある、と定義している。そして、ここでの「統合」とは、(1)自然界を統合的に考慮する水資源と土地資源、水量と水質、表流水と地下水など、自然界での水循環における水のあらゆる形態・段階を「統合」的に考慮すること、(2)様々な水関連部門を統合的に考慮する従来別々に管理されていた水に関する様々な部門を「統合」的に考慮すること、そして、(3)その「統合」水資源管理は、様々な利害関係者の関与を図る中央政府、地方政府、民間セクター、NGO、住民などあらゆるレベルの利害関係者を含む参加型アプローチであることが定義されている。

一ヨークにおいて開催された国連ミレニアム・サミットにおいて、「国連・ミレニアム開発目標(Millennium Development Goals: MDGs)」が宣言される。この中で、2015年までに、安全な飲料水及び衛生施設を継続的に利用できない人々の割合を半減する、という具体的な数値目標が掲げられることとなる。21世紀に入り、継続的に開催される世界水会議と世界水フォーラムにおいて、より具体的な目標が掲げられていくことになる。特に、第4回世界水フォーラムにおいて、「資金調達」、「水事業者パートナーシップ」、「衛生」、「モニタリング」、「統合的水資源管理」、「水関連災害」の各分野における具体的な行動計画が発表された。そして、2007年に日本の別府で開催された第1回アジア・太平洋水サミットにおいては、「水インフラと人材育成」、「水関連災害管理」、「発展と生態系のための水」の3つのテーマにおいて重点的に話し合われることとなる。2008年に北海道洞爺湖で開催された主要国閣僚会議(G8 サミット)では、水と衛生、循環型水資源管理などについて話し合いが行われることとなる。

以上のように、「アジェンダ 21」とダブリン宣言以降、水資源に関する政府間交流や国際木々などが積極的に行われているが、これは、ダブリン宣言の4つ目である経済財としての水資源が強く認識されてきていることの表れと言える。これらの取り組みには先進国だけでなく発展途上国も多数参加しているが、このような国は、水資源開発についての関心が非常に高い。発展途上国の幾つかについては、水供給部門は、使用可能な公共投資の資金の中で、大きな部分を必要としている。例えば、ブラジルにおいては、30%の総投資が水供給部門に使われている(Asad and Azevedo, 1999)。世界銀行のレポートによると、1990年代中ごろに、アルジェリア、エジプト、ジョーダン、レバノン、モロッコ、チュニジア、そしてイエメンなどの水資源の欠乏している地域のために、共同して毎年15億ドルの投資を行っている。そのうち10億ドルは他の国からの公的な援助により賄われた(World Bank, 1995)。

このような投資は、国家予算に大きな影響を持ち、実行される計画において、不必要な出費がなされていないか、もしくは余分なものが含まれていないかなど、注意深く精査していく必要がある。

経済活動におけるいくつかの主要な部門、例えば、エネルギー供給業などにおいては、投資は、一般的に国家の政策と強い結びつきがある。しかしながら、水供給産業においては、この結びつきが不明瞭である。水域から水域、そしてプロジェクトからプロジェクトの姿から、それらを結びつけるアプローチに変える必要がある。これは、より統合された包括的な国家戦略へと結びつく。しかし、あくまで水資源の部分的な側面でしかない。水資源への投資は、巨大なリターンを得ることを目的としているだけでなく、政策と調和を取りながら、継続的な水資源の供給を得ることが目的でもある。投資は、もし、的確な計画とそれに対応する制度がなければ、社会全体への、そのリターンは小さなものとなる。水資源への投資は、人々が不当に生活環境を移動しなければならなくなる、環境に被害をもたらすなどの問題についても、考慮する必要がある。

2. 水資源と国家戦略

2-1. 経済学と水資源

経済学は、制限のある資源を効率的に分配することを目的にしている。そして、伝統的な経済学者にとって、GDP は社会全体の富(welfare)の総計を示す指標であり、社会全体の富(welfare)は、GDP の値が最大化されることで、初めて最大化される。伝統的な経済分析においては、天然資源を経済成長の要素の一つとしては考えてはいない。伝統的な経済学者と環境経済学者は、天然資源をどのように扱うかについて長く続く議論を続けてきた⁷。例えば、伝統的な経済学者は、水資源などの天然資源を、生産活動への投入要素となるけれど、資本や労働によって代替可能なものと考えている。生産要素において補足的なものとは考えてはいない。しかし、これは、水資源が全ての経済財にとって、直接、間接共に、必要不可欠な投入であり、水資源の利用可能量とその質は、生産の産出、そして経済成長に大きく影響していることを無視している。水資源は、また、争いの元でもあり、水資源の欠乏は将来的に紛争へと発展する可能性もある。過剰な水資源もまた経済的、社会的な問題を生み出す可能性がある。

人口一人当たり使用可能な水資源の減少とは対称的に、地球全体の水資源への需要はますます増加の傾向にある。Postel (1992)より、発展途上国においては、2020 年までに、水需要は2倍に膨れ上がると予測されている。Shiklomanov (1997)は、2025 年の世界人口を約 83 億人と予測し、それに合わせて、経済の発展と都市化の進行を考慮した世界の水需要予測を行った。その結果として、1995 年と比較して約 1.4 倍の需要量の伸びが見込まれ、特に、アフリカと南アメリカは 1995 年時点の 1.5 倍と予測されている。Vorosmarty, Green, Salisbury and Lammers (2000)は、2025 年までの気候変動、人口増加、経済成長が水の利用可能性に及ぼす影響を分析している。この分析結果において、利用可能な淡水資源量に対する需要が世界のほとんどの地域において 120%を超えることが予測されている。そこには日本も含まれる。この需要と供給の不均衡を解消するための大規模な投資が行われている。

発展途上国における水資源配分の一般的な姿は、農業によるものが大きな割合を占めており、その平均値は約 80%に近い(Bouhia, 1998)。この水利用の実態は、社会そして経済活動における地域における伝統的な農業の構造が支配的であることからの結果である。しかし、時間の経過とともに、人口増加、都市化、工業化の進行、そして家計の所得の増加が、工業と都市に住む人々の水需要を増加させた。ほとんどの国において、地域によって入手可能である限定的な淡水資源を、農業、工業と都市化の中で、どのように分配するかという点で、競争的な状態にある。水供給の政策決定者は、農業用水のための水資源をより付加価値の高い使用に再配分するための困難さと政治的な難しさを解決するために、従来とは異なる

⁷ Weil(2009)より、資源の賦存度とその地域の豊かさの関係が、先行研究の積み重ねの中で、最初に考えられていたよりも、はるかに複雑であることがわかってきている。

形での水資源の供給を模索している。

例えば、水利用における損失を減少させる、使用された水の再利用など、異なる質の水資源を異なる使用目的に対して最適に配分する。もしくは、海水、そして塩分の含まれた地下水の淡水化などの様々な方法が、研究され、使用されている。しかしながら、このような、従来とは異なる形での水資源を供給するための費用が急速に増加しており、他の方法を見つける必要性が高まってきている。

無数の紛争の種が潜在的に眠っている水利用への水資源の配分は、政府の大きなジレンマの一つとなっている。そして、水資源へのアクセスを継続的に保証することが政府の一番の責任である(Rogers, 1992)。政府は、様々な産業部門が水資源に対して持つ関心を一つにまとめた政策を取りまとめ、彼らの経済発展と経営計画が、物理的、社会的、そして経済的な枠組みの中で、実行されるように、政策を維持していく必要がある。現在、中国を始めとした幾つかの国々は、水資源の欠乏に大きな影響を受けていると見られる。そして、その経済活動は、水の利用と強い関わりを持つ。その地域における持続的な経済の発展は、より持続的かつ合理的な水資源管理を含まない限り、成功は難しいと考えられる。

水資源の欠乏と、環境、経済、政治、社会、そして金融の圧力の増加の見通しから、それらを調整した政策決定が必要となっている。その中で、水資源は、長期的な視点において、持続的に、社会における便益を最大化するために分配される。事実、水資源が独占的かつ不完全な機関のコントロールにより運営されるような状態を続けようとする国は無い。

今日、我々は、水資源を、エンジニアの視点と経済学の視点の、そのどちらの視点のみで考えることはできない。水資源は、農業、都市の需要、経済、金融、インフラ、環境、衛生環境、そして国家のゴールを含んだ広い視点から考えていかなければならない。

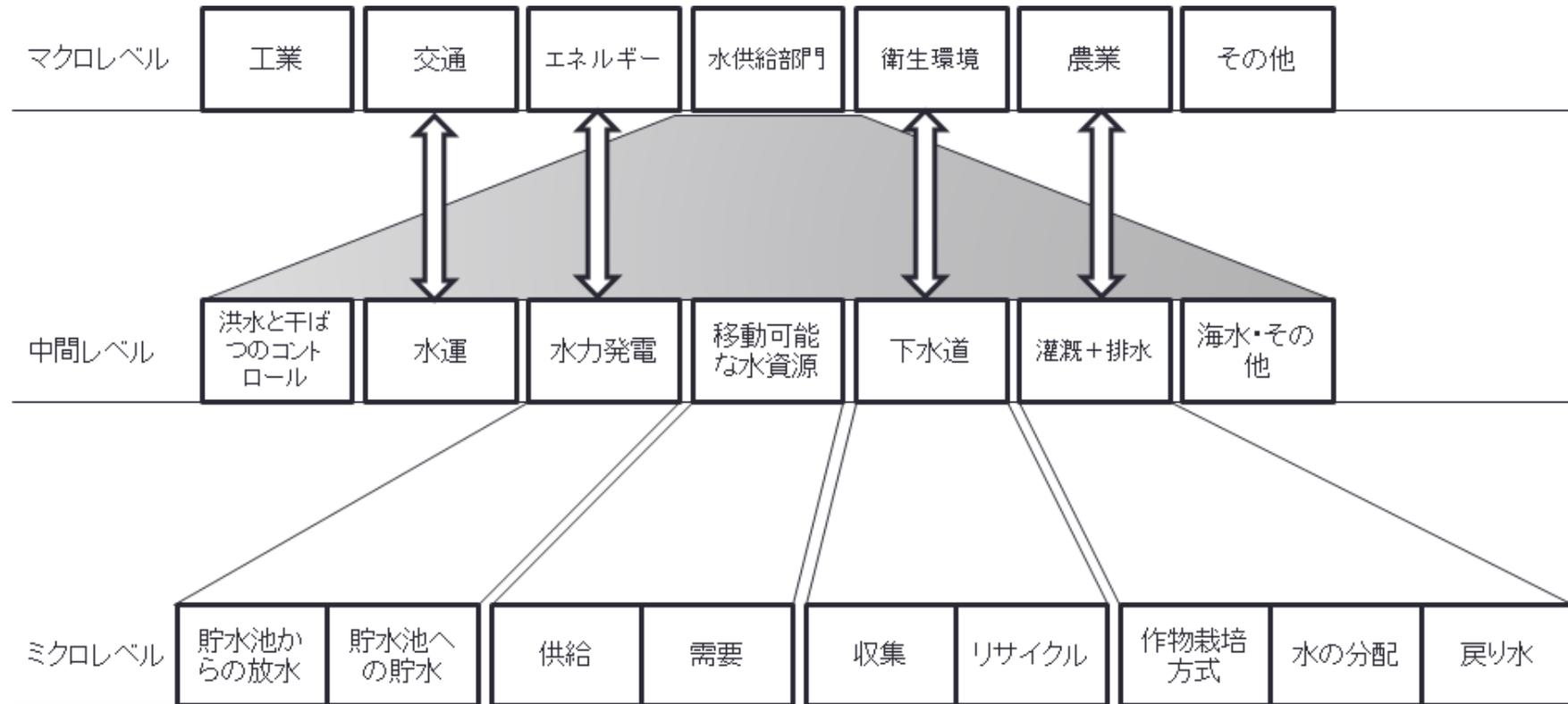
水資源は、農業、エネルギー、工業、そしてサービスなどの経済部門全体における、直接的、もしくは間接的な投入である。これは、横断的な水供給部門のリンクである。この横断的な関わりのために、全世界的な包括的、かつ多次元的なフレームの策定が必要である（横断的なつながりは、特に、経済政策と環境保全との強い関わりがある）。この分野の調整は、政策と国家の計画の段階で行われるべきである。そのような計画から出てくる結果は、地域、もしくは河川レベルの水資源政策の境界の条件と、シナリオの制約がある。

次に、水資源は、水資源の欠乏している地域において、経済成長の重要な要素となる。経済学者にとっては、生産の理論において、水資源は、代替的であるのか、それとも補完的な財であるのか、とても曖昧な状態が続いている。多くの国においては、農業は国の経済における重要な位置づけであり、もし、水資源が欠乏するのであれば、雇用、移民、貧困の削減、そして地方の発展などの社会的な影響を、総合的に検証する必要がある。これらは、縦断的な結びつきへと発展する。

Rogers (1992)は、経済的視点からの強調のために、水資源のマネジメントについて、包括的なアプローチが必要であると主張している。Munasinghe (1992)と Bouhia (1998)は、統合された水資源計画と政策分析の概念的なフレームを提示した。図 1 は、上記のリンクについて

整理している。農業、エネルギー、交通、工業などの異なる産業と同様、衛生環境、灌漑、水力発電などの横断的なつながりをしめしている。下の方の、縦断的なリンクは、2つのレベルがある。最初の政治的な段階においては、マクロと中間レベルの間にある。そして、中間とマイクロレベルの間は、より技術的かつ専門的なリンクである。この図のシステムの水平部分の一番下の部分は、国家政策における水資源の相互作用の点において、産業ごとの計画とマネジメントを表している。

図1 水供給部門の縦断的、かつ横断的な関わり



出典：Bouhia (1998)を参考に筆者作成

2-2. 統合的な水資源戦略

2-2-1. 戦略決定のための分析

国家の適切な水資源政策は、経済と社会の発展において必要不可欠である。それゆえに、包括的かつ統合的な生産プロセスが、水資源の持続的な開発のための国家戦略や入手可能な水資源のマネジメントのために必要不可欠となる。戦略は、目的と政策が合わさったものである。短期、中期、そして長期にわたる行動計画が、経済発展と、それを実現するために必要となる政策に不可欠である。戦略は、各地域において個別の姿となる。全ての国に適用できるような標準系の姿は存在しない。むしろ、地域の制限、資源、目的などを反映した個々の国ごとに作り上げるべきである。戦略は、変化していく状況と新たな目的に適応するために、テストされ、洗練され、定期的にアップデートされるべきである。戦略を作りだし使用することは、定式化の段階において、個別のステップを長期において反復的に実行するプロセスである。そして、そのプロセスの中に、直接・間接的な利害関係者を参加させる必要がある。

水資源戦略にとって、最適なゴールを決めることは、非常に複雑なプロセスを必要とする。最初、戦略策定者は、多重で、困難な戦略の定式化に出くわすだろう。しかも、戦略を考える上で、食品の安全、貿易、地方の発展、そして都市の発展などの水供給部門で無い論点との関わりを筋の通ったものにしておく必要がある。

水資源戦略を開発する上で最初のステップは、既存の水供給システムを分析し評価する必要がある。それは、既存の水供給システム（川、支流、池や湖、地下水、そして降水量）と水の利用者の情報を集めることから始まる。将来の人口増加の傾向と水需要のデータも必要となる。関係する既存の法律と政策、計画されているプロジェクトの詳細な中身も必要となる。これらは、将来の状態を知るだけでなく、戦略を作成する段階において、そのシナリオの限界、もしくは境界を知ることにつながるだろう。

2-2-2. 政策の選択

政策の選択は、開発されたモデルによって異なるシナリオを考えることによって評価される。それは、マクロかミクロのどちらか、そして、それらを組み合わせたもの、両方が見られる。そのシナリオは、内生変数と外生変数の制限を含んでいる。そして、その制限は、時間と投資の適切な範囲の中で実行することができる状況を表している。

シナリオ分析の結果は、政策分析者の中で、議論、トレードオフと妥協を容易にする。戦略が実現すべき目的を明確にしていく過程で、幾つかのシナリオを決定し、分析することは、経済と水供給部門の関わりを新しい政策と合わせることを可能にするように開発され

る。これは、適切な選択と政策の形成を行うことに役立つ。

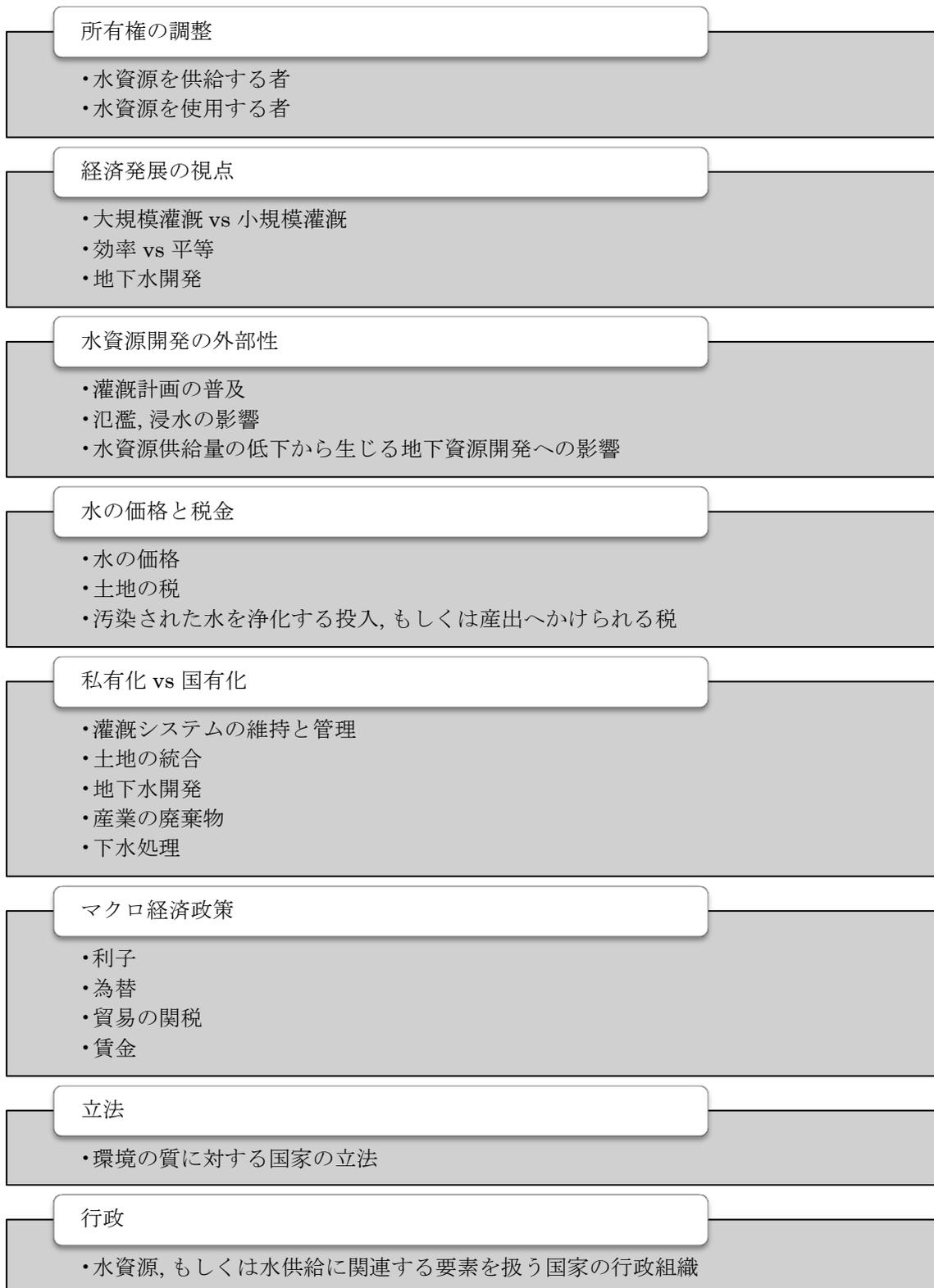
それぞれの国が設定する戦略は、制限もしくは限界を考慮して、シナリオを決定する必要がある。それらの制限や限界は、内生変数や外生変数に影響を与える。食料品の安全の目的や貿易の条約は、灌漑のために必要となる水資源の量と穀物の生産パターンに大きな影響を与える。環境の基準は、工業の排水に影響する。それは、より質の低い淡水を消費する動機を送ることによって、もしくは、化学薬品による浄化のコストをかけることによってである。エネルギー生産の必要性は、貯水池の貯水率のレベルに影響する。多くの国が、特に国家の経済と、社会的な発展の目的を持つ。そこで考えられるシナリオは、内生変数と外生変数の制約を含む。そして、それらの変数は、発展の目的を表現する。しかし、現実的な実行可能性の点において、上記で述べたことは、計画の期間と投資の適切な範囲の中にある必要がある。

2-2-3. 政策の実行

政策を実行するために、活動計画が必要となる。それは、国家の優先度と状況の緊急性を反映している。国家が目指す経済発展のための、広範囲におよぶ水資源のマネジメントを成し遂げるために、活動計画は、技術、経済、金融そして関係機関の包括的なパッケージである必要がある。

そして、各産業部門の目的から、より広範な経済と社会を考えることをしなければならない。その活動計画は、異なる次元を持つ。国家単位の活動計画を形成するために考慮しなければならないいくつかの領域がある。図 2 の 8 項目が考えられる。

図 2 水資源政策の 8 要素



出典：筆者作成

2-3. 水資源計画への分析手法

2-3-1. 部分均衡モデル

水資源計画への適応を考えた時、部分均衡のアプローチが、予想される競争的なユーザーの間での分配のために、水資源の経済価値を決定するために使用される基本的な方法である。このアプローチは、特定のサブセクターにおける水の使用の機会費用を推計することを必要とする。これは、他の部門が使用する水を奪うことの、社会の費用として考えられる。例えば、製造業における水資源の経済価値を決定するために、もしその水が、家計の飲み水として使用されるか、もしくは、灌漑農業として使用されるかを考えることである。同様に、農業のための水資源の経済価値は、工業で代替的に使用されることの金額価値を表していると推計される。

2-3-2. 一般均衡モデル

レオンチェフが産業連関モデルの中で、経済構造を推計する方法論を確立し、経済を、現在のデータで実際に測定可能にした。産業連関分析は、国、そして地域における、商品とサービスの流れ、そして、全ての生産、消費の過程における中間取引を測定することができる。これは、現在の経済における生産システムの中の、複雑かつ内的なつながりを分析すると言う新しい領域を開くものであった。

一国・一地域内モデルの応用

以前は考えられていなかった環境問題の外部性の経済の重要性が次第に増していく中で、持続可能な経済発展を評価するための新しい方法を推進することが刺激されてきた。レオンチェフは、産業連関のフレームにおいて、産業汚染を内に含むことによって、経済構造に環境の影響を内在させようとした(Leontief, 1986)。Isard は、物量ベースの水供給部門を、フィラデルフィアの都市のために開発された産業連関表に拡張することで、水とマクロ経済の間のリンクを設立した最初の試みを行った(Isard and Romanoff, 1967a)。Isard はまた、環境を経済の部門の一つと考えることで、環境マネジメントの産業連関分析を適用させた。そして、Isard and Romanoff (1967b)は、アメリカのフィラデルフィア、ボストン、そしてニューイングランドなどの水資源情報をまとめ、産業連関モデルを応用することで、水利用と水汚染について、分析を行っている。また、Daly (1968)や Isard (1972)は、経済モデルに水資源などの環境資源を組み込む可能性について、考察している。次に、Gray and McKean (1976)は、

コロラド州において、産業連関表に水利用の係数を拡張することで、生産誘発における水利用の測定を試みた。この研究では、15部門での分析が行われたが、Gray, McKean and Miller (1988)は、45部門に拡張し、分析を行っている。Harris and Rea (1984)は、1972年のアメリカ産業連関表に水資源情報を拡張し、分析を行った。Dufournaud, Harrington and Rogers (1988)は、CGEモデルの技法により環境と産業連関分析の結合を経済学に取り入れた。異なる試みが、DeHaan and Keuning (1993)により、環境をオランダの国家統計に組み込むことによりなされた。

1990年代に入ると、水資源が深刻な国や地域を対象とした研究が少しずつ広がっていくこととなる。特に、スペインにおいては、経済モデルに水資源を組み込むことで、水問題を解決しようとする動きが出てくる。Sanchez-Choliz, Bielsa and Arrojo (1992)が、スペインにおいて、産業連関分析を水問題に初めて適用した研究である。Sanchez-Choliz, Bielsa and Durte (1994)は、エブロ川流域の水資源の需要と供給について分析を行っている。そして、1997年からInstitute Nacional de Estadística(INE)より、水資源に関する統計(Water account)が作成されるようになると、この統計をもとに、スペインの一国全体、もしくは一部の地方を対象とした研究が行われてきた。Gonzalo (2000)は、1990年アンダルシア産業連関表に水利用情報を付加し、5部門のモデルを作成している。Durte, Sanchez-Choliz and Jorge (2002)は、スペイン経済における水利用を、水利用情報を拡張した8部門の1995年スペイン産業連関表を作成し、分析している。Velazquez (2004), Velazquez (2006)は、アンダルシア地方の水資源と産業構造の関係を、産業連関分析を応用し、研究を重ねている。Velazquez (2004)は、1990年アンダルシア産業連関表に、水情報を拡張し、25部門での生産誘発分析を行っている。Velazquez (2006)は、Consejería de Medio Ambienteが作成したAndalusian Environmental Input-Output Table (Tablas input-output medioambientales de Andalusia, TIOMA)を使用し、分析を行った。

スペインだけでなく、オーストラリアにおいても政府によるWater accountの改良が進んでいる。Vardon, Lenzen, Peever and Creaser (2007)は、Australian Bureau of Statistics (ABS)が作成しているWater accountの概略を詳しく説明している。これらの統計情報を使用し、産業連関分析を水利用に応用した。研究をLenzen and Foran (2001)らが行っている。1994-95年オーストラリア産業連関表(118部門)に水利用情報を拡張し、分析を行っている。また、Chanan, Kandasamy and Sharma (2008)が、オーストラリアの都市部における水利用の意思決定のために必要なフレームワークを、先行研究を参考にしながら考察している。

アジアにおいては、中国の水資源問題が、年々大きくなってきている。United Nations (1997a, 1997b)や、World Bank (2001)のように、その問題は世界的に認知されてきていた。そして、中国国内においても、「中国統計年鑑」の2004年度版では、「環境保全」が新たに独立した章として設けられ、環境関連の各種統計が加わることとなった。それに合わせて、中華人民共和国水利部(The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China)により、中国国内の各地域の水の供給と水の利用について、統計を作成し、「中国水資源公報」などの形で公開し始めた。統計の作成以前にも、産業連関分析に水利用を応用した分析が幾つ

かなされたが、統計の作成が始まると、研究は大きく進むこととなった。

Xie, Nie and Jin (1991)は、北京の水利用を、産業連関分析を応用して研究を行った。Chen (2000)は、淡水、再生水、そして下水の三つの水部門を、山西省産業連関表の内生部門に挿入している。そして、山西省における水の経済価値を推計している。Cuihong (2002)は、水資源の保全活動の効果を、1997年産業連関表を応用することで行った。Husback and Sun(2002)は、中国における経済と社会の変化が、水利用にもたらす効果を1992年産業連関表に水情報を拡張することで、分析している。Wang, MacLean and Adams (2005)は、北京における水資源の利用について、1985年、1990年、そして1992年産業連関表を用いて6部門での時系列分析をしている。Guan and Hubacek (2006a)は、産業連関表に水の消費と排水の情報を組み込み、分析を行った。これを改良し、中国北部を対象とした分析を行ったのが、Guan and Hubacek (2006b)、そしてGuan and Hubacek (2008)である。Hubacek and Sun (2007)は、1992年の国家統計を基準として2025年の中国経済における水の消費量をシナリオ分析している。上記は、1990年代を対象とした分析が主であるが、21世紀に入った中国を対象とした分析を、岡本(2009)が行っている。アジア経済研究所で進んでいる2005年アジア国際産業連関表のプロジェクトで推計された2005年中国延長表(76部門)を使用し、15部門でのシナリオ分析を行っている。

韓国においては、Heo, Park and Kim (1999)が、韓国における水道供給業の特徴について、産業連関分析を行っている。Lange (1998)は、インドネシアにおける産業連関表と National Resource Accounts (NRA)を合わせた分析を提案している。Pongsak and Nasu (2008a)は、タイにおける農業の水需要を、産業連関表を応用し、推計している。また、Pongsak and Nasu (2008b)と Pongsak and Nasu (2008c)は、タイにおける家計の水需要について、産業連関表を応用し、分析を行った。また、Pongsak, Asif and Nasu (2009)は、パキスタンにおける産業と家計の水需要について、産業連関分析を応用し、分析している。

なお、Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO)より、各国の水資源統計の収集とデータベース化が進んでいる。Aquastat database として、入手可能である。

2000年以降、仮想水(Virtual Water)に関する研究が、淡水資源の研究として大きく注目されるようになる。この仮想水を産業連関表のモデルに応用させた研究がある。Dietzenbacher and Velazquez (2007)と Velazquez (2007)は、スペインのアンダルシア地方における輸出入を対象にした仮想的な水移動を分析している。1990年アンダルシア産業連関表を使用し、25部門での分析を行っている。Ip, Wong, Jun, and Shao (2007)は、2000年の中国の甘粛地方における仮想的な水移動の大きさを、8部門表を使用し、分析している。

なお、仮想水は、輸入物資を自国で生産するとしたら必要となる仮想の水の量であるが、実際に消費された水の量を Water footprint と Hoekstra and Chapagain (2007)は定義している。Zhao, Chen and Yang (2009)は、Water footprint を産業連関表のモデルに応用させた研究を行った。2002年中国産業連関表(23部門)に水資源情報を拡張している。Yu, Hibasek, Feng and Guan (2010)は、イギリスにおいて、地域と全国を対象とした Water footprint を、産業連関分析を応

用し、行っている。

地域間モデルの拡張

地域間を対象とした産業連関分析を水資源に応用した先行研究として、まず、Carter and Ireri (1970)は、アメリカのカリフォルニアとアリゾナの二地域産業連関表に水資源情報を拡張し、水資源の移動を分析している。

近年では、Okadera, Watanabe and Xu (2005)は、中国重慶市において、地域産業連関表を用いた水資源分析を行っている。幡野・奥田 (2004)は、中国の 1997 年地域間産業連関表に水資源情報を拡張し、中国国内の仮想水移動を分析している。奥田・鈴木・幡野(2005)は、幡野他(2004)の 1997 年に加えて、2000 年の二時点比較を行った。Trinh, Secretario, Kim and Hung (2005)は、ホーチミン市と他の地域を対象として、地域間表に水資源表を拡張した表を作成している。Lenzen (2009)は、オーストラリアにおける仮想的な水移動を分析している。

日本における地域間における仮想的な水移動に関する研究として、岡寺・藤田・渡辺・鈴木(2005)は、茨城県、栃木県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県の間一都五県の地域産業連表をもとに、東京湾流域の 7 地域 31 部門の地域間表を作成し、水資源の情報を拡張している。地域間表については、井手・石本(2008)が、大阪府、京都府、兵庫県、奈良県、和歌山県、滋賀県、福井県の 2000 年関西地域間産業連関表を使用し、2000 年の経済活動に伴う琵琶湖の水資源の使用の実態を明らかにしている。福石(forthcoming)は、初めて日本全体の地域間を対象とした分析である。日本における仮想的な水の移動が都市圏に集中していること、そして、各地域の現実の水需要だけでなく仮想の水需要を合わせた潜在的な水需要を明らかにし、水資源の供給可能量と比較している。

線形計画モデルなどへの適用

伝統的に、経済学者は、水資源を経済の重要な要素とは全く考えてこなかった。しかし、多くの分析により、現実の世界の問題として、その重要性は益々強まってきている。乾燥したカリフォルニアにおいては、頻発する干ばつは、多くの経済的な問題を引き起こしてきた。そして、初期の幾つかの試みは、水をマクロ経済のシステムへ統合しようとしていた。この水資源を経済の論点へ統合しようとする概念は、1950 年代初頭によるものである。Lofting and McGauhey (1968)は、地域産業連関表で、水資源の論点を真剣に扱おうとした最初の試みである。その後、カリフォルニアにおいては、経済と地域の水モデルと統合したものが開発された。

Rogers, Hurst and Harshadeep (1993)は、水供給部門とマクロ経済を考慮した最適モデルを

バングラデシュのために開発している。この国は、国の GDP において、農業が重要な位置を占めている。多くの試みが、産業連関表における農業部門の細分化を促してきた。そして、これらは早い段階で水供給部門を含んでいる。これは、農業に頼る地域においては、水の使用が重要な位置を占めているからである(Kirsten and Van, 1990)。複雑なモデルは、フランスにおいても作られた。Seine-Normandy 流域における水の質と物量を、地域表に組み込んだものである(Emsellen and Bordet, 1985)。他のアプローチは、Henry and Bowen (1981)による産業連関表を基準とした線形計画法による異なる経済部門における水の経済価値を決定するものである。この方法は、様々な使用においての、水のシャドウ・プライスを明らかにすることができる。Bouhia (1998)は、産業連関モデルに金額と物量の水資源情報を付加し、線形計画法を応用した分析を、モロッコを対象に行っている。他には、福石(2010a)は、伝統的なスカイライン分析と宮川スカイライン分析を応用し、水資源分析用スカイラインを開発し、2000年と2005年の2時点において分析を行っている。福石(2010b)は、この時点を拡張し、1995年、2000年と2005年の3時点での分析を行った。福石(2010c)は、基本表レベルで初めて公表された平成17年地域産業連関表を使用し、農業部門を細分化した水資源分析用スカイラインを分析し、地域の差異を明らかにした。

一般均衡モデルの限界

このように、多くの研究者は、新しい地域、もしくは国の統計表に新しい部門を開発することによって、他の外部性を内在させた。それらは、経済モデルを基本にしている。しばしば、外部性は、産業部門の産出の割合として、計算される。産業連関表の構造は、様々な部門の産出を生み出す。そして、外部性は、産業部門の一つとしては取り込まれない。例えば、汚染である。汚染は、既存の経済部門から発生するものであり、産業の総産出の割合として特定することができる。このように、汚染のレベルは、外部性などを生み出す全ての産業部門の総計となる。

しかしながら、これらの努力に関わらず、水資源を経済学に取り込むことには未だ成功しているとは言いがたい。全ての水資源循環よりむしろ、降雨から最終使用、蒸発もしくは海への流出の部分においては、産業連関分析への統合は行われている。この部分的な統合では、意思決定における実際の使用において、高大すぎる水資源の循環を十分に満たすことができない。水源、流出、浄化、そして水質の側面を捉えられていない。そして水の需要、特に家計によるものであるが、全く分析されていない。水資源と経済学の間での意思決定の作用は、明確に考慮されてはいない。

水資源と一般的な経済理論の間の分析の統合の欠如は、パズルのようなものであると言える。それは、特に、エネルギーが結合された経済モデルにおいて説明されるようになってから、つまり、1970年代の石油危機からである。1980年代において、BEEAM(Brookhaven

Energy-Economic Assessment Model)は、初期的な投入から、最終需要までのエネルギーの閉じたサイクルを捉えようとしていた。これは、エネルギーから経済の他の部門までの流れを描写しようとしている。

エネルギーと水供給部門の間には多くの共通点がある。例えば、大きな助成金によって援助される傾向にある。既存の供給は、制限されているが、経済の多くの部門がそれを必要としている。需要と供給が地方と時点において大きく異なる。需要は、人口上昇の圧力にさらされやすい。保護と、代替の幅、そして、適切な計画が、これらの欠乏した資源をマネジメントするために必要である。もちろん、多くの重要な違いがある。エネルギーの方が、価格変動しやすい。水資源は、貯蓄しやすいが、エネルギーより移動が難しい。再利用や戻り水を水資源の場合には考える必要がある。水の質についてもある。

2-3-3. 計算可能一般均衡 (CGE) モデル

CGE(Computable General Equilibrium)モデルは、経済における一つの要素が変化した時の経済全体における相互的な作用を理解するために開発された。モデルの中に、好ましくない間接的な影響が、相対価格における変化の中に見ることができる。CGEモデルの定式化の中で、物量と相対価格の両方が、モデルの中で内生的に決定される。事実、CGEモデルは、価格内生モデルと呼ばれ、モデルの中の全ての価格は、経済の生産の枠組みの中で、家計や、他の良く分からない意思決定によって最終需要が決定と一致するまで、モデルは調整される。非線形の関係と内生価格の性質が、産業連関モデルとCGEモデルの違いである。

CGEモデルは、AGE(Applied General Equilibrium)とも呼ばれるが、ワルラスの一般均衡理論を経済の現実のモデルの中で抽象化することを基本としている。CGEモデルは、経済を数値によって特定する。すなわち、商品の価格と物量と、ワルラスの一般均衡理論を基礎とした需要と供給のバランスの調整の要素である。過去20年において、CGEモデルは、構造の調整や、貿易の戦略、所得の分配などの問題を解決するために使用されてきた。そして、研究者と政策決定者の両者において標準的なものとなった。汚染の排出の減少などの幾つかの環境政策が、価格、物量、そして経済構造に影響を与えることから、CGEモデルを環境政策のインパクトを測定するために使われることへの注目が増している⁸。

2-3-4. 分析モデルの限界

資源分析のモデルはいつも、シミュレーションと最適化の2つのカテゴリーのうちの1つに陥る傾向にある。それぞれが、異なる種類の質問に対し回答しようとする。シミュレーシ

⁸ 例えば、Seung, Harris, MacDiarmid and Shaw (1998)を見よ。

ョンのモデルは、異なる”what if”のシナリオのインパクトに注目している。一方で、最適化のモデルにおいては、”ought to be”を意思決定のための目的と制限のために提供することを目的としている。

これらのモデルの両方において、決定された推計方法による変数によって行われる単純な試行は、水資源のシステムの振る舞いを知ることの、最初の手がかりとなる情報を提供することができる。しかしながら、現実においては、これらのモデルの中で使用されている情報の中には、いつも大きな不確実性がある。これらの不確実性は、モデルの結果として注目しなければならない。しかし、この不確実性を分析するための、標準的なフレームワークが欠如している。これは、3つの理由がある。1つ目に、あまりにも多すぎる種類の不確実性がある。2つ目に、それらの不確実性を分析するためには、とても多くの方法が必要となる。そして、3つ目に、その結果を解釈する方法が、とても少ない。不確実性は、水文学、そして経済の需要、目的の公式化、もしくは、様々なデータに関係している。この問題は、以下の事実によって複雑化される。実際のデータの不確実な分布は、しばしば、非常に小さなものでしか見られていない。しかしながら、より大きな問題は、いつも水資源のモデル化の前に、立ちはだかる。手法、道具、そして技法は、システムの中の変化において経済の影響を引き出すことができる情報であるが、これを分析する広く多様な選択肢がある。事実、投入のパラメータや基準の多様性の影響を取り入れたシミュレーションと最適化のモデルの両方において、感応分析、確率的シミュレーションなどの多くの手法がある。

2-4. 環境の統計と経済の統計

純粋な経済指標は、国家や地域の成長を表すものであるが、それらは、資源の枯渇を表すことはできない。幾つかのアプローチは、環境の持続可能性を扱うために、国家統計のシステムにあわせたものを取り入れようとしている。1991年にOECDは、国家の統計のフレームワークと範囲の中に、環境要因を取り入れようとした。これは、資源の統計からなっており、それは、継続的なフレーム、物量、質の情報をストックとフローの両面で、集めている。これは、典型的には、物量で表される。OECDは、また、Satellite environmental accountを提案している。これは、国家統計のシステムを修正すること無く、国家統計のシステムの中に環境の統計を組み入れる方法である。

環境要因を、どのようにして経済分析の中に入るのかは、誰が分析し、その結果を使用するかに関係してくる。大きく分けて、3つのレベルで区別される。それは、マクロ（国家）レベル、産業部門レベル、そしてミクロ（工場）レベルである。本論文では、代表的な統計は、マクロレベルと産業部門レベルであり、水を資源として見ている。

1. マクロ（国家）レベルの視点

これは、Green GDPと呼ばれるような、GDPを環境要因に調整した代替的な指標である。これらは、主に、減少する資源と大きな国家レベルでの環境の質の低下を評価するために開発されている。現在、幾つかの国が、これらの代替的な指標を開発している。そして、それは、空気の汚染や温室効果ガスなどを対象としている。

2. 産業部門レベルの視点

これらの統計は、金額単位よりもむしろ物量単位で表される。そして、マクロ統計よりもより小さいスケールである。部門別の統計の目的は、自然資源の需要と供給をリンクさせ、特に、単一の資源に限定される。例えば、水、エネルギー、そして、木材などである。それらは、地域レベルでの計画とマネジメントに使用されている。

需要は、明確に認識され、政策の選択によって異なってくる。幾つかの国は、そのような統計が開発されてきている。例えば、日本における木材の統計は、貿易そして環境の分析のために木材のフローを国内そして貿易の両面から追跡し、作られている⁹。産業部門の水統計は、幾つかの国で開発されている。例えば、スペインにおいては、流域における水のフローの水量や水の質の情報を追跡し作成している¹⁰。

⁹ 詳しくは、農林水産省の木材統計を参照せよ。

¹⁰ 詳しくは、Instituto Nacional de Estadística(INE)を参照せよ。

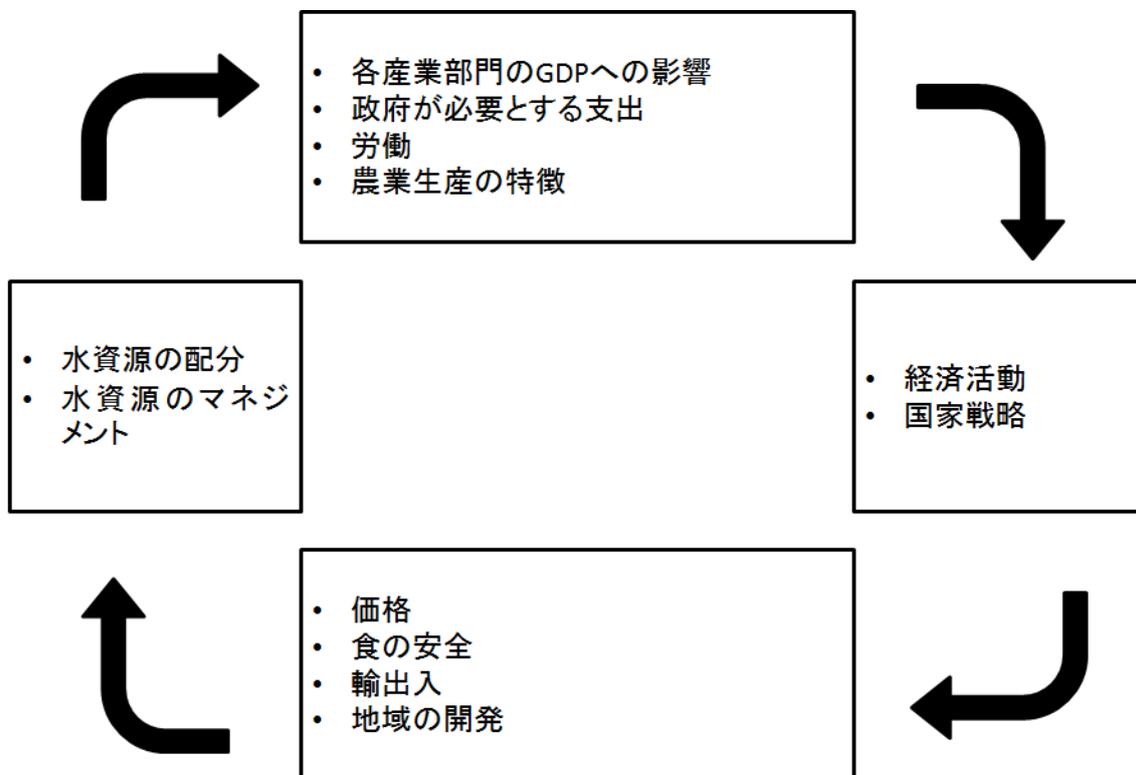
3. ミクロ（工場）レベルの視点

これは、工場レベルでの統計である。各産業の向上における商品の生産において、グリーン消費とコスト削減の実現のために必要である。

環境に適応した統計の作成の主な目的の一つは、環境と経済の情報を同時に扱うことにある。この結合は、異なる環境と経済の問題を分析することができる。そして、それは、資源の物的な欠乏を証明したり、資源の過剰な搾取を実際に明らかにしたり、資源の質の下降や減少を明らかにする。また、環境規制や税の効果を明らかにする。そして、産業部門の視点から資源の効率を測定することができることを含んでいる。

環境会計の目的は、水供給部門における変化の経済への影響を評価¹¹することである。この過程が、水資源と経済学を結び付ける最初の試みとなるだろう。図3は、水資源と経済の間の2方向のリンクを描写するものである。

図3 水と経済



出典：Bouhia (1998)を参考に筆者作成

¹¹ 例えば、Bouhia (1998)は、水資源を自然の資源とし、Blue GDP の作成の可能性について述べている。

3. 分析手法

本章は、いかに水資源循環と経済のモデルを結び付け、意思決定のための情報を提供するかについて、議論する。本章のモデルは、水資源の視点から、水資源の提供によって、社会の富の最大化を目的としている。その目的を達成するための手法の一つとして、多様かつ異なる産業部門のための水のシャドウ・プライスを紹介する。これは、原初的にはキュービックメーターで表される水と、金額で表現される経済活動の 2 つを結びつけるリンクを捉える最初の一步であると考えられる。

この方法論を表すために、最初に、異なる状況下における、水資源のシステムと水の経済価値の決定の二つのバランスの計算から始める。そして、どのようにして意思決定の過程において、経済分析の結果、そして政策への影響を表現するかを描く。本節が対象としているのは、基本的に、水の欠乏が経済に大きな影響を表している国であるが、そのアプローチは、水資源の問題の無い国や、水資源の過剰な国にも適用可能である。

3-1. 水収支

3-1-1. 地球上の水と熱の循環

地球は、水と熱エネルギーの 2 つの循環を持ち、その 2 つが相互依存的な関わりを果たしながら、全ての生態系の基礎となる環境を作り出している。太陽の放射によって地上は加熱される。一方、地表面が潜熱と顕熱を放出することで、放射による加熱にバランスした冷却を起こす。これが地表における平衡を保つこととなる。地表面で蒸発した水蒸気は、風と乱流閑散と上昇気流によって上空に運ばれ、上空で凝結して雲をつくる。これが、雨や雲の形で地上に降ってくる。この蒸発の過程において水と熱エネルギーは絶妙な結合を行う。

3-1-2. 水資源循環

地球上の絶え間ない水資源の循環によって、地球上の再生可能な水の供給は実現される(図 3)。人類の使用する水には 2 つの水源が有る。広大な地形からにおける雪と降雨から作られた、川、湖、貯水池などの、表流水である。地下水は、地下の砂や岩の層の中にある。雨や雪が染み込んだ淡水の層である。国において手に入れることができる 2 つの水の供給は、分かれてはいるがつながっている。

初めて、水の循環を明確に記述したのは、レオナルド・ダ・ビンチである¹²。水循環と太

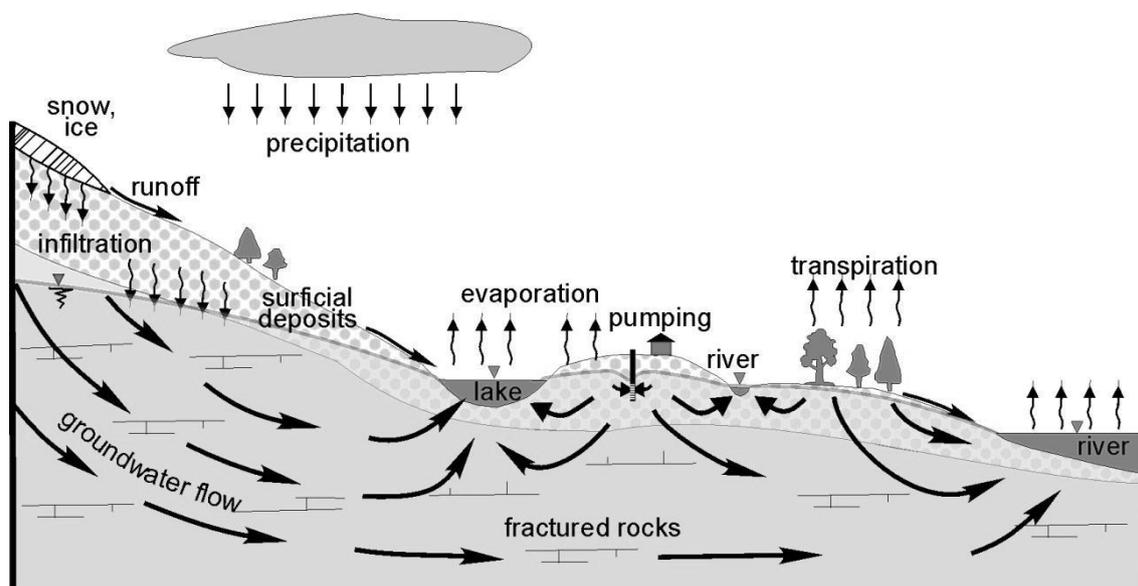
¹² 詳しくは、Biswas (1979)を見よ。

陽や風の役割を適切に表した。その後、時代を経るとともに水循環の研究は進化し、現在の水資源の循環システムは、地球上における蒸発・凝結・降雨・流出という水の移動を記述している (Dingman, 1996; Freeze and Cherry, 1979; Viessman and Garry, 1989)。図 4 は、海から、大気、大地、そして海へと戻る絶え間のない水の循環を表している。もちろん、人間の使用することのできる川や池、湖、もしくは地下水を持つ土壤に蓄えられている淡水資源に注目しなければならない。

太陽エネルギーは、海の水を蒸発する。蒸発した水は、風により大陸へと運ばれる。そして、大気の状態が良い時は、水は、雨か雪の状態で降り注ぐ。一度、雨や雪が地面に到達すると、多くの水が地面に吸収される。残りは、地中に吸収されず流れ、海へ戻る (遮断と言われる一部分は、土には届かず、植物の表面から蒸発する)。土に吸収された水は、土に浸透する過程を通して、土の中に無くなっていく。そして、土壤に浸透した状態となり、それは毛細血管のような力の働き方をする。もし土壤への水の浸透率が高まると、地下の層にある水は、川のシステムと似た動きが地下で起こる。それは、地下における流出である。土や岩の細孔が完全に水に満たされた時、地下水の層が生まれる。地下水は、これらの層を、泉、蒸気、湿地、もしくは湖として変化する可能性が有る。そして、これは、地下の水が地上へと流れ出す現象であり、もちろん、地下水が、穴掘り、ドリル、もしくはポンプを通じて地上へと移動させられる過程において、生じるものである。全ての雨、そして雪が土壤に染み込むことは無い。その中の幾つかが、土地の表面からの蒸発による。また、植物の生長の過程の一部分として、植物の葉から蒸発する。

この水文学の閉じたサイクルは、長い間、水文学者達によって研究されてきたものである。これは、どのようにしてこの水資源循環から、人類の土地と水資源の便益を増加することができるかを分析することに使用された。そして、**Water Balance** という表現をすることができる。このバランスとは、異なる形式、段階、そして地域における水の質量を示し、そして、それは、また水の収支として、計算される。ただし、もし、その姿が、水文学のサイクルの特質を修正する水資源循環の外部に存在する人類の干渉を含んでいる場合においてのみ考えられる。

図4 水資源循環



出典：Annapolis-Cornwallis Valley Aquifer study (ACVAS)

3-1-3. 水収支の測定

1. Water Balance

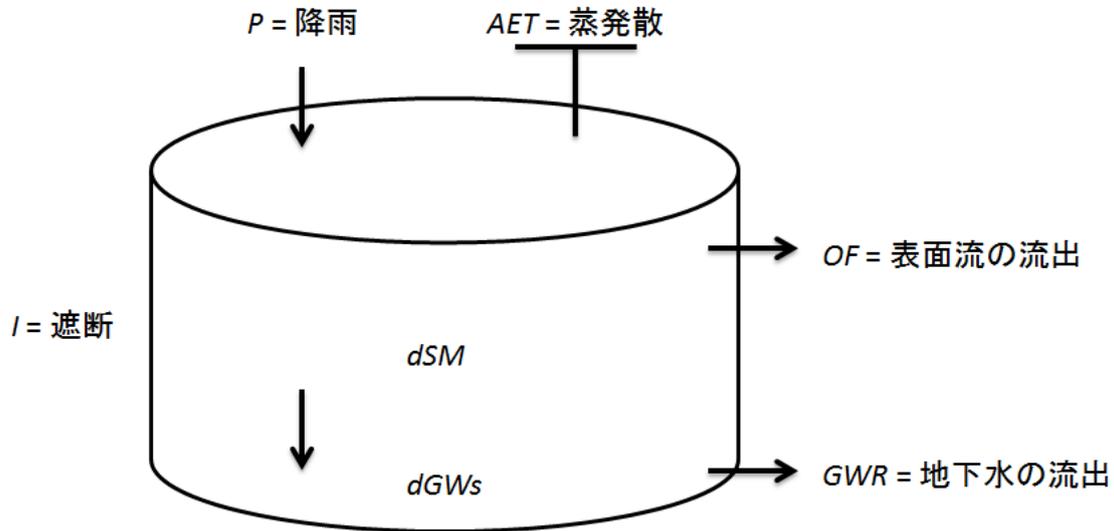
Water Balance という言葉は、気象学者の C. Warren Thornthwaite が、水の降雨と雪解けと、蒸発、地下水の再補給、そして川の流れによる、水の流出の間のバランスを研究していく中で、1944年に定義された(Dunne and Leopold, 1978). Water Balance は、土壌の状態もしくは、全体的な排水設備のために計算されることがある。バランスの方法は、広く計画の策定のために使用されてきた。例えば、灌漑用水の需要、穀物や植物の生育が土壌に与える影響、流出や地下水面の上昇の予測、湖への水の流動、それによる、湖の水質のレベルと塩度の変化などの、季節的、地域的なパターンを導き出すためである。

Water Balance は、また、水資源のサイクルにおける、人類の活動の影響を予測することにも使用される。気候変動や植物の育成のための変化による水資源への影響である。

小さな排水施設の流域のための Water Balance は、降雨 (precipitation(P)), 遮断 (interception(I)), 蒸発散(actual evapo-transpiration(AET)), 表面流の流出(overland flow(OF)), 土壌の水量変化(the change in the soil moisture(dSM)), 地下水量の変化(the change in groundwater(dGWS)), そして地下水の流出(groundwater(GWR))を考慮している。水資源のサイクルの中での異なる構成要素は、図5の中に表現される。その関係は、以下のようなになる。

$$P = I + AET + OF + dSM + dGWS + GWR$$

図5 水資源循環の構成要素



出典：Dunne and Leopold (1978)を参考に，筆者作成

Water Balance の等式の中のそれぞれの要素は，直接的にその中で評価することができる。Water Balance は，地域と国家のレベルで考えることができる。そして，水資源循環の中での人々の活動の影響を評価できる。本論文においては，土壌の水量の変化の影響は，捨象することを仮定する。そして，考慮しない。

2. Water Budget

Water Budget は，Water Balance の中の，人々の経済活動による水の使用の影響を捉えようとしている。それは，水のサイクルの異なる段階と，水を投入として必要としている経済活動における生産の両方を表している。Water Budget は時間軸を固定された状態で計算される。本研究では 1 年を設定する。これは，経済統計のサイクルと合わせるためである。図 6 は，Water Budget を，地下水と同様，降雨と雪解けの過程の中で，人間によって変化させられた，地域の水資源のサイクルへの変化を取りだす。これらは，水供給事業者と経済学者の考慮すべきことである。

別の角度から Water Budget は，図 7 のように表わされる。水源から使用者へと，水源へと戻っていく水の流れを表している。経済の部門は，水供給部門から，幾つかの方法によって処理された後，この水を使用している。水は，天水農業¹³，灌漑農業，製造業，サービス業，

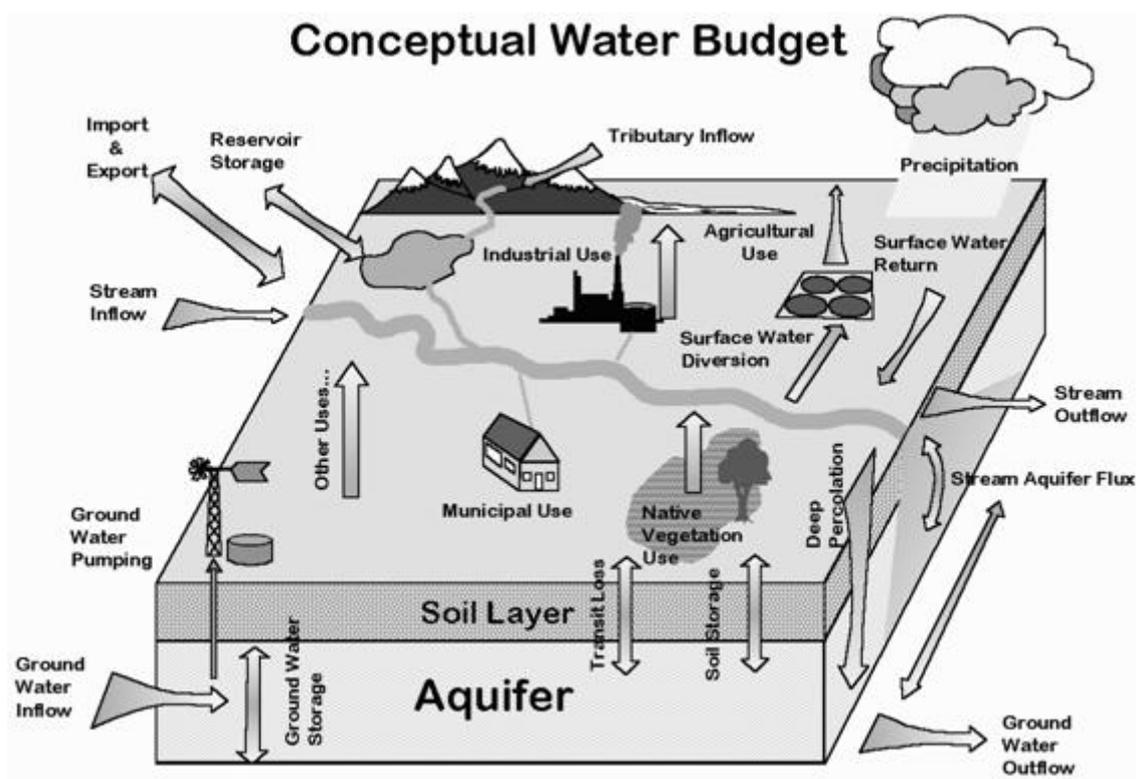
¹³ 天水農業は，農作物の生産における一つの重要な方法論ではあるが，計画的な経済財としての農作物の

そして国内の家計によって消費される。使用された水の中のいくつかの割合が、経済財として含まれ、それ以外のは、水資源のサイクルに戻る。これが、閉じたバランスである。経済活動に使用された後の残りの水は、自然の水と同じような動きを見せる。蒸発したり、地下に戻ったり、川に戻る。しかしながら、水の質は、多くの場合において、経済活動による使用により、変えられることを重要なこととして明記したい。

質量のバランスのみを考えていては、人間の経済活動により干渉された水資源のサイクルの中で、水質の変化がわからない。最初に経済活動に使用される段階よりも、自然界に戻される段階の方が、水質が低下しているという点で、水への外部性を低下させている。質の悪化した水の使用には、確実に大きな制限が生まれる。

水質の変化の影響と、一つの水源を、異なる経済の部門によって競合されることは、水の使用に経済的な価値を賦与することとなる。これについては、この後、水のシャドウ・プライスにおいて議論される。Water Budgetにおいて、最初の半分は、水資源循環を表している。そして、次の部分は、完全に国内経済によるものである。

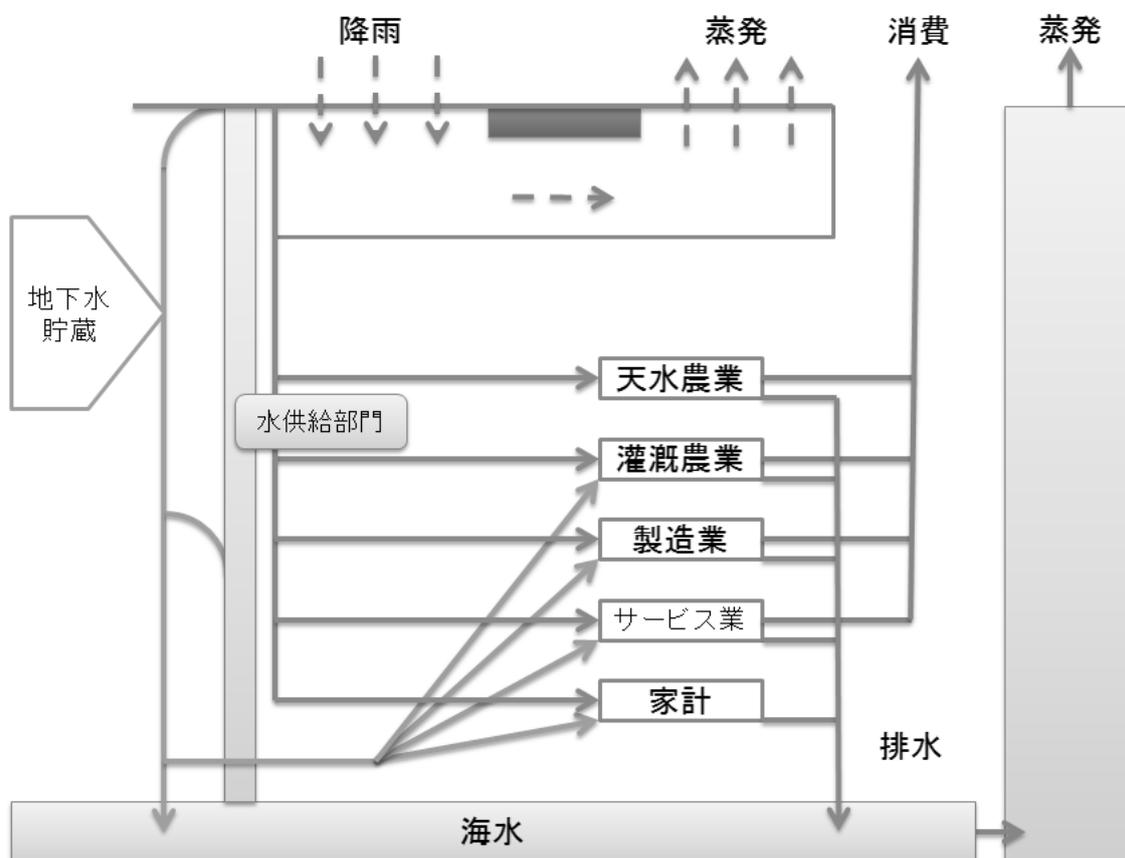
図6 水収支(Water Budget)の概念図



出典：Colorado Division of Water Resources, Office of the State Engineer

生産には適していない。これは、降雨の不確実性に起因する。そのため、比較的、降雨の頻度が高い日本においても、計画的な農作物の生産のために灌漑農業が行われている。詳しくは、農林水産省構造改善局(1993)を参照せよ。

図7 水収支(Water Budget)のフロー



出典：Bouhia (1998)を参考に，筆者作成

3-2. 水のシャドウ・プライス

制約された最適化問題において提供される水のシャドウ・プライスの測定は、水資源の配分を理論的に検証するために、最も基本的な検証材料の一つとなる。最適化のモデルにより、水は確かな純便益を生成する。これは、水を使用している産業部門への便益の機能である。これは、その部門への水を供給するコストによって減少される。水のシャドウ・プライスを得るための分析モデルは、自らが受ける純便益を最大化するための地域部門と地域への水の配分を達成するために構築される。この水のシャドウ・プライスは、水の追加的な単位から対象部門への投入の結果として表される。国内の使用のための水のシャドウ・プライスを決定するために、例えば、システムの中でのそれぞれの都市への水のシャドウ・プライスの加重平均が使用される。この重みは、国内利用のための水供給の合計によって割られることで、分配された水の物量によって表される。農業のための水のシャドウ・プライスは、異なる土地と穀物の生産において、同じように計算される。

水のシャドウ・プライスの概念は、以下の仮定を基礎としている。水資源としての需要が、その供給量を超えると、水の追加的な単位に対して、特定のユーザーが提供しているものは、コストを除いては存在しない。その水の単位は、他の需要者からの剥奪によって需要者が手に入れることができる。成功しなかった需要者の便益の喪失は、機会損失、もしくは、金額価値として配置されたコストとして表される。この価値はその時、水の推定上の価値となる、もしくは水のシャドウ・プライスとしてそれを受け取る需要者のものとなる。

それぞれの産業部門にとっての水の経済的な価値は、先に述べたとおりに、水の配分システムによって生成される。一度、水は、新しい経済の価値として、その部門に割り当てられる。その価値は変えることができるかもしれないが、価値、もしくはシャドウ・プライスを持ち、水循環のサイクルを経過していく水のフローの性質を持つ。それは、蒸発する水として、もしくは、生産物に付随する水として、もしくは、自然に戻るもの、システムからのロスを通じて供給された水源において変換されるものも含まれている。この価値は、システムにおける水のフローの勘定の中で、物理単位だけでなく、金額価値も計上することができる。水の金額価値、もしくはシャドウ・プライスを、そのステージにおいて、使用することで、水の質における変化の経済的な解釈を提供する。それは使用されてきた、もしくは、漏れや蒸発の過程の損失の経済的な意味を提供する。影の水の price tag を配置することはまた、水供給部門の経済的な外部性の影響をとらえることを可能にする。その影響を、水の m^3 のような物理単位で考えた場合には、比較することが、もっと難しくなるだろう。

3-3. 経済への水資源の統合

この節では、経済へ水資源を統合したモデルによってどのような情報が提供されるかをまとめる。その主な目的は、国内の水資源循環とそれに関連する政策の決定の間のリンクを作り出し、そして、水資源循環、もしくは政策の決定によって影響される経済の統計それ自身である。その分析手法は、国家のレベルで構築される。しかし、同様のアプローチが、地域レベルまで縮小可能である。本研究では、金額と物量の混合された単位によって水経済統計の表を作り出す。その手法を描くために、4つの経済部門を考える。農業、工業、サービス業、そして家計である。

最初に、基本的な等式と、異なる産業における水収支について議論する。その時、水のフローは、経済の産業のレベルによって検証される。最後に、伝統的な経済の産業連関表に淡水資源利用情報を統合することによって、統合化された表が作成され、そして、分析が行われる。

3-3-1. 水供給部門の水収支

1. 投入

生の水(Bulk water)、つまり何も加工のされていない水がシステムへの最初の投入である。全ての商品、サービスの生産に適用可能な水である。これは、超純水¹⁴などの加工された水ではない。その2つの構成要素は、降雨からの流出と地下水である。それは、初期のサイクルにおける雨からのものである。生の水は、最終需要の使用者から直接使用することができる。例えば、地下水は、家計によってポンプにより取水される。さらに一般的には、生の水の2つの形は、水供給事業者への主な投入となる。それは、使用者に配分される。いくつかの水は、その他のプロセスのために投入されていたものを、手に入れることができえる。それは、戻り水(return flows)として本論文では定義する。

2. 産出

水は、生産活動の連鎖の中で、初期的な投入の一つである。水の経済サイクルにおいては経済のそのパスの完全な分析が実行することができる。もし水が、経済の部門によって消費されるなら、部門の産出に内包される。そして、部門の産出の一部分として、産出の金額

¹⁴ 超純水 (ultra pure water) とは主に産業分野で用いられる用語で、極めて純度の高い水のことである。しかし、明確な定義や国家・国際規格は無い。

価値の中で伝統的な国民経済の統計の中で現れるだろう。このようにして、水に、金額単位が割り当てられる。それに含まれていないものは、水文学のシステムの中に存在する。それは、地下に浸透するか、地下水として再蓄積される。そして、地下水に物理単位として付け加えるだろう。もしくは、経済の生産活動の中に吸収されていない水の物量は、蒸発するか、そのシステムの最初の点へと戻ることとなる。

水供給部門の統計は、水の投入と産出の間の確かなバランスを表すことができる。それは、統計の表の中で要約される。水の異なる要素、タイプそして物量を詳細化したものである。これは、表 1 の中で再構築されている。水のシステムの一つとして、国内利用からの排水が集められる。そして、浄化され、再利用される。その投入と産出は、バランスされる。そして、戻り水として統計の中に現れるだろう。

表 1 水供給部門の水収支

投入 (水源)	産出 (水利用)
表流水	灌漑
地下水	製造業
戻り水	サービス業
	下水とリサイクル
	家計
	戻り水

生産のプロセスの後に、残っている水の物量は、経済価値としてその生産物に付加される。この価値は、次にそれを受け取るであろう産業部門の水のシャドウ・プライスに対応する。これは、水の最適化モデルの中で決定される。前の節で述べたように、水のシャドウ・プライスは水資源の分配システムによって決定される。経済の部門からのこれらの流出は、以下のように要約される。

1. もし、排水が浄化、もしくはリサイクルされるのであれば、それは、浄水もしくはリサイクルの産業部門へと行く。ただし、例えば、日本の製造業においては、約 80%の使用済みの水が、製造の過程においてリサイクルされている(国土交通省, 2010)。これは、回収水と本論文では定義される。

2. 使用された水は、自然に、もしくは人口の排水のプロセスによって地下水に浸透するならば、それは、流出の一部となる。その分類は、それぞれの方法によって地下水に再蓄積された地下水に含まれる。

3. もし水が蒸発するのであれば、それは、大気中の水分へと加えられるから、資本の変化の中で、正の変化であるとカウントされる。それは、産業連関表の最終需要の中の一部である。

水の損失は、付加される分類において、分離して考えることができる。しかし、これは、初期の投入の段階において、加算もしくは減算される。そして、供給される水の物量の中では、減算として表される。平均として、灌漑システムと都市の水の供給ネットワークの両方を考えられる確かなシステムの効率がある。異なる水に関連する分類のそれぞれにおいて、物量の統計は、異なる使用者（農業、工業、サービス、そして、家計）のシステムの投入と産出を捉えるように決定される。リサイクルと浄化のために、水資源は、工業、サービス業そして家計の中で使用される水である。流出のために、水資源はすべての部門において使用される水として表さわされる。しかし、主に、雨による、そして灌漑農業は、水から浸透されるため、自然に、もしくは排水の過程において地下水の帯水層の中に返される。

3-3-2. 経済財の生産プロセスにおける水収支

それぞれの経済部門の水収支は閉じた構造を持つ。Water Budget は、物量単位だけではなく、いくつかの経済価値を内包している。それは水の価格として表わされる。そして、その地域で生産された経済財に内包される。事実、経済のそれぞれの部門において、次のような関係が、全ての投入と産出として表される。

投入=産出

さらに、細分化すると、

投入	= 産出
初期投入	消費された水
+水道事業者から供給される水	+リサイクルされた水
+リサイクルされた水	+流出
-損失	+水資源のストックの変化
+流出	

経済の各産業部門の中で、この関係は、水の循環として描かれる。この流出は、物量単位と金額単位の両方において、表現される。その後は、流出の物量から、生産誘発させる各部

門における水の経済価値が表現される。経済の統計の各産業のために、水収支は同様のフレームとして計算される。それは、表 2 である。これらの産業部門への全ての投入は、それぞれの部門の産出は価格として計算されるけれども、物理単位として表される。それは、考慮されている部門のための水のシャドウ・プライスとして利用される。

表 2 産業部門における水収支

投入	= 産出
水資源の供給	消費された水
リサイクルされた水	リサイクルされた水
降雨	戻り水
地下水	蒸発
戻り水	

3-4. 産業連関表への水資源情報の拡張

伝統的に、経済統計は、国内におけるフローを集約し、労働、投資、政府支出などを通じた、各産業による異なる付加価値を決定するために計算される。そのような統計の表は、国家の経済規模を示すために使用され、金額ベースの GDP を表現する。しかし、伝統的な産業連関表は、各産業に投入され、全ての産出に寄与する水資源の量を考えてはいない。これは、何よりもまず、水の物量と経済の金額価値の間に一般的な単位を見つけることが困難であるという事実による。上記に示したとおりであるが、水資源の効果の幾つかが金額価値（例えば、農業の生産）により表現することができるが、初期投入は、物量単位でのみ表すことができ、それは、まだ経済に影響を表してはいない。ここで、水の統計を、物量、そして金額により表で表す。産業部門から水供給部門へのフローは、金額単位における経済フローの一部として、水経済システムの中の水の経済手価値に影響を与える。次に続く節は、水産業連関表¹⁵を作成する方法論について示す。

3-4-1. 水産業連関表の作成方法

産業連関分析は、商品とサービスのフローと、国もしくは地方の生産者と購入者の部門の間の全ての中間取引を検証することができる。それは、経済の全ての構造に関する価

¹⁵ Bouhia (1998)などでは、Water Input-Output Table (WIO)と表現されるが、Waste Input-Output Table (WIO)との混合を避けるため、日本における応用分析においては、Water Use Input-Output Table (WUIO)と本研究では表現する。

値ある情報を含んでいる。そして、数的な分析と記述による説明の両方を提供する価値ある手法である。この産業連関表は、所得と生産者の統計の詳細だけでなく、生産者と購入者の取引を記述する。産業連関分析の手法は、外生的な刺激が、経済全体の中の一つ、もしくは複数の部門へ与える影響を捉えることができる。

水資源循環は、その起源から、中間そして最終需要で使用されるまでの水資源によって産業連関表に記述される。これらの論点を表すために、その構造を、表 3 で表す。

表 3 産業連関表の構造

	中間需要	最終需要	国内生産額
中間投入	内生部門	外生部門	
付加価値	外生部門		
国内生産額			

この構造の中で、水資源は、以下のように分類される。

1. 生の水 (Bulk water)

これは、降水量、地下水、表流水から生産に使用される水を表している。国境を越えて流れ込む水¹⁶や、淡水化された水¹⁷は含まれず、降水と地下水として表される。

2. 水供給部門 (Water Related Activities)

これらは、産業連関表の左上の象限である中間需要の部分にある。それらは、水に関係する全てのサービスである。そして、水の初期投入から経済の異なる産業部門へのリンクの役割を持つ。この、水供給部門は、水の供給（異なる水資源の供給業と、水資源を異なるユーザーへと配分する部門）と下水のサービス（異なる産業部門から使用された水を集め、浄化し、再利用のために、水供給部門に販売、もしくは譲渡する）である。下水サービスは、中間需要と最終需要の両方にリンクする。この部門は、異なる質の水を、異なる浄化コストと各部門の付加価値として分類し、計上する。しかしながら、下水サービス部門は、水供給部門としか関係を持たない部門である。水資源の経済価値は、それを集め、配分し、必要によって浄化するコストによって増加する。

¹⁶ 例えば、複数の国にまたがって流れる国際河川のことである。これは、世界における水資源問題における大きな論点の一つである(橋本, 2009)。世界で一番長いナイル川(6,695km)は、ブルンジ、タンザニア、スーダン、エチオピア、エジプトなどの 10 ヶ国の国境を通過している。その他に、コンゴ川(4,667km)とニジェール川(4,030km)は、9 ヶ国を通過している。日本は、国際河川を持たない珍しい国の一つである。そのため、他の国との国際河川を巡る淡水資源による国際紛争の経験が無い。

¹⁷ 海水の淡水化には大きく分けて、海水を蒸発させて塩分を分離する蒸発法(Distillation Process)と逆浸透膜等の膜を用いて塩分を除去する膜法(Membrane Process)の 2 つのやり方がある。蒸発法は相対的に古くから普及している。膜法は蒸発法と比較して新しい方法である(中村, 2010)。

3. 戻り水 (Return flows)

水供給部門が、2つのタイプの戻り水を定義する。最初のタイプは、水資源の流れをシステム（排水もしくは浸透の比率）の中で捉える。そして、最後の時点で供給される、もしくは、効率的な水使用の技術により、引き受けることによって、減少される。この返ってくる水のタイプは、産業連関表の第二象限における水供給部門により考えられる。2つ目のタイプは、蒸発（短期的な視点においては、排水と浸透によって自然に返った水は、初期投入の中には、含まれない仮定を本研究では設定する。）によって自然界に返った水である。この2番目のタイプは、最終需要の象限の中で、水資源のストックへと変化する。水のリサイクルは、また、戻り水の一部として捉えられる。

4. 水資源のストックの変化 (Change in the overall water stock)

これは、最終需要の一部である。そして、対象となる年における水資源の利用可能量の変化（排水や浸透の影響）を捉える¹⁸。

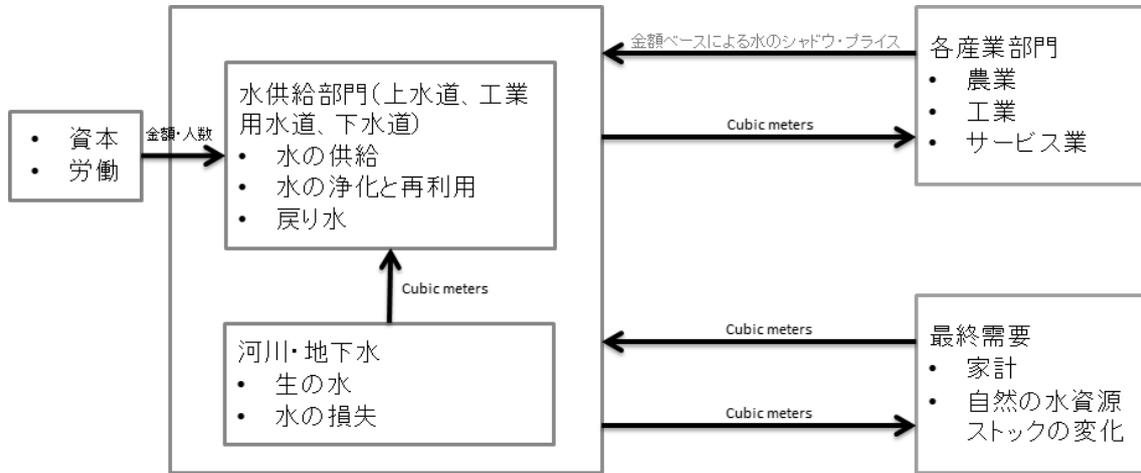
5. 蒸発 (Evaporation)

これは、最終需要の一つとして、分離して考えられる。これは、水資源循環からの蒸発と、農業からの蒸発の両方を含んでいる。

図8は、金額、もしくは物量単位でのフローのリンクとそのタイプについて概略的に表している。もし、水資源の、その初期の段階から、最後に使用されるまでの間のパスを見るのであれば、経済の中における全ての水のフローを捉えることができる。初期投入の一部として、損失の始まりがあり、表の中の水の流れをバランスさせるネガティブな価値として記される。水供給部門のために、生の水(Bulk water)の投入ではあるが、他の投入は、労働、資本、そして政府である。水供給部門は、また、他の部門への投入である。水は、中間投入が異なる産業部門へ、そして、家計を含む最終需要を満たすために売られる。

¹⁸ 水産業連関表において、水資源のストックをどのように推計するかの方法論は、未だ確立しておらず、将来の大きな課題の一つとなる。そのため、本論文における日本水利用産業連関表の作成において、水資源のストックは推計を行わない。

図8 経済活動における水資源フロー



出典：筆者作成

使用済みの水は、下水サービスによって集められる。そして、浄化の後、再配分される。農業生産に使用された使用済みの水の役割は、地表へ浸透する、もしくは地表の浸水を通じて部門から無くなる。帯水層への浸透や浸水は、再び地表面に現れる可能性がある。その間における蒸発は、水資源のストックにおいてネガティブな変化として現れる。この姿の寄与するところの一つは、各産業部門から水供給部門へのフローが金額価値として現れることである。経済部門から、水のシステムへと返ってくる水の物量は、対象となる経済部門における水のシャドウ・プライスによって誘発される。表4は、先に触れた水の要素と結合するために調整された産業連関表を表している。

この新しい構造は、水と経済活動の両方を内包しているわけであるが、水経済の統計表であると言える。産業連関の構造の使用は、経済活動だけでなく、水供給部門の間のリンクを捉えることを可能にしている。これは、新しく水産業連関表(Water Input-Output Table)と定義される。それは、産業部門の中での水のフローを表している。そして、初期投入と中間投入の両方の水の供給部門と中間の経済活動、そして最終需要の間に存在するリンクに光を当てている。本研究においては、水供給部門と生水を合わせた統計表を淡水取水量マトリックスと表現する。なお、水供給部門が取水する河川水と地下水は、生水には計上されない。これは、水資源の需要と供給を捉える上で重要な情報となる。そして、この淡水取水量マトリックスに、回収水と下水道を追加した統計表を淡水必要量マトリックスと表現する。これが、各産業の商品・サービスを生産するために直接的に必要な水資源の量となる。つまり、下水リサイクルなどの技術の進歩により、商品・サービスを生産するために本当に必要な水資源量と、実際に取水した水資源量が異なってくるのがわかる。ただし、現在の水産業連関表は、水の質を捨象していることを念頭に置く必要がある。

表 4 水産業連関表の構造

	中間需要	最終需要	水資源のストックの変化	国内生産額
中間投入	内生部門	外生部門	外生部門	
水供給部門	内生部門	外生部門	外生部門	
付加価値	外生部門			
国内生産額				

			中間需要	最終需要
淡水必要量マトリックス	戻り水	回収水		
		下水道		
淡水取水量マトリックス	水供給部門	上水道		
		工業用水道		
	生の水	河川水		
		地下水		

出典：筆者作成

3-5. 経済乗数分析

経済乗数分析は、産業連関分析において、地域における経済の変化における産出、労働、そして所得への影響を推計するために使われる。一般的に産業連関モデルの産出の結果は、最終需要の全ての要素における、非常に繊細な変化を表すことができる。次に続く節では、水の物量単位は立法メートルである。金額価値は円で表される。

3-5-1. レオンチェフの逆行列

最初の段階として、レオンチェフの分析は、投入係数の作成を必要とする。それは、産業の産出における全ての産業の投入の割合である。産業部門による行の全ての係数は、金額で表される。それは、経済の部門から水供給部門へのフローとして捉えられる。水供給部門による行の係数は、物量単位で表される。これらの2つのタイプの行の係数の合計は、同次であり、かつ、経済部門の金額単位の合計と、水供給部門の物量の合計を表している。それ故に、係数の行列は、その部門の総支出によって、各部門で全ての投入が分けられるように定義される。

この新しく定義された係数の表の第2象限は、レオンチェフ行列としてよく知られてい

る。これは、中間需要の要素に内的に関係している。

表5に表現されている投入係数行列Aは、4つの象限を持っている。もし、金額価値を円、そして水の物量を立方メートルで考えるならば、

表5 水産業連関表における投入係数行列Aの構造¹⁹

	経済部門	水供給部門
経済部門	円/円	円/m ³
水供給部門	m ³ /円	m ³ /m ³

円/円 産業部門の1単位の産出における、産業部門からの投入を示している。

円/m³ 水供給部門の1単位の産出における、産業部門からの投入を示している。

m³/円 産業部門の1単位の産出における、水供給部門からの投入を示している。

m³/m³ 水供給部門の1単位の産出における、水供給部門からの投入を示している。

これらの係数は、直接、もしくは経済への最初の影響を示している。線形性と係数の固定などの幾つかの仮定が作られる必要がある。この係数を使用する時は、係数の安定性と、それぞれの産業が購入する商品に対して、同じパターンを保持することを念頭におかなければならない。物量と金額は、変えることができる。

この研究の方法のために、主に水供給部門が目される。ただし、産業間の水の配分と使用される価格の如何なる変化が、水資源の国内のストックの変化を通じて、永久にバランスされることを保証されることで、実現される（しかしながら、部門の産出と水の供給の線形の仮定が保持される。）。

A 行列を使用し、レオンチェフ逆行列を応用することで、最終需要、各部門の産出、そして行列そのものの間のリンクは、代数の関係を使用することによって表現することができる。そのモデルは、経済の需要と供給の関係を表すことができる。この関係は、以下を表現することができる。

$$AX + FD = X \quad (1)$$

¹⁹ 日本の産業連関表においては、水供給部門（上水道・工業用水道・下水道）の産出は、金額価値により評価されている。そのため、日本水利用産業連関表の逆行列計算においては、水供給部門の産出を0として扱う。

ここで、

A：投入係数行列

X：各部門の産出ベクトル

FD：最終需要の合計ベクトル

X と FD のベクトルの両方が、2つのタイプの係数を持っている。経済部門の係数は金額を表している。そして、水供給部門の物量単位である。A 行列は、上記のように、4つの象限の特徴を持つ。

(1)式は、もし、X と FD の2つのベクトルのどちらか1つがわかるのであれば、解くことのできる同次方程式のシステムを表している。もし、最終需要 FD の中での変化は産出のレベルを予測することに興味があるのであれば、この等式を解くことで、産出額を推計することができる。レオンチェフによって、より簡略化された等式(1)は、以下のように示される。

$$X = (I-A)^{-1} FD \quad (2)$$

$(I-A)^{-1}$ 行列(レオンチェフ逆行列と呼ばれる)は、産業連関分析における乗数を決定するために使用される。その行例は、A 行列と同じ性質がある。最初に定義された A 行列は、全ての最終需要へとリンクしている。そして、最終需要を、経済における外生変数として扱っている。最終需要の産業部門の一つへ接近する新しいレオンチェフ逆行列によって、この等式は解かれる。この逆行列は、また、消費の誘発の直接、間接の影響を決定するために計算される。これらの指標は、最初の行列 A から決定されたものよりも、大きくなる。このレオンチェフ逆行列は、単位の面からは行列 A としての同じ特徴を持っている。これは、経済においては、消費の誘発の影響を決定するために使用される。

3-5-2. 乗数とその種類

雇用や汚染などの最後の産業連関表の係数によるパラメータは、直接、間接の影響を得るために産業ごとの産出を乗数の表から計算することができる。それらは、経済の構成要素の部門の間の関係の実際的計測が提供される。乗数は、以下の事実を考慮する。産出の全ての影響は、最終需要の中での初期の変化によって影響を受ける部門による。経済の変化を推計するために使用される乗数として、以下が使用される。

1. 産出乗数(Output Multipliers)

経済における産業の産出である。この乗数は、直接効果と間接効果を表している。

2. 所得乗数(Income Multipliers)

乗数効果によって得られた家計の所得の変化である。これらの乗数は、レオンチェフ逆行列の係数から決定される。それは、家計所得の係数を使用することで、直接・間接の影響を家計の所得の価値へと変換する。

3. 雇用乗数(Employment Multipliers)

乗数効果によって誘発された雇用者数である。得られる産業部門の産出の価値と、総労働者数の間の関係によって決定されることによって、労働者のレベルにおける産出の変化の影響を決定することができる。それは、所得の乗数と同じ手法で使用される。例えば、これは、農業の雇用における水資源戦略の影響、もしくは、経済政策を決定することに役立つ。

これらに加えて、以下を加える。

4. 淡水取水乗数(Water Use Multipliers)

それぞれの産業部門の産出において、淡水取水の影響の指標を表している。それは、異なる水の質を無視して総量で見ることによって、ある産業部門の総産出の部分として金額における初期投入 (**Bulk water**) と中間投入(**Water Related Activities**)の両方を合わせた量となる。淡水取水のインパクトは、淡水取水乗数を通じて評価することができる。

これらの乗数は、異なる経済の部門における投資のレベルを決定するために使用される。水資源の供給のレベルも同様である。これらの乗数は、また、経済における戦略的な部門を明らかにする。目的と制約の中で、より良いゴールを得るために、**GDP** の増加、もしくは、新規雇用の機会の創出などの代替や選択は、これらの乗数を使用されることによって評価することができる。

最後に、水産業連関表の構造は、係数は同質ではなく、一緒に合わせるできない。この論文においては、乗数のこれらの特徴を得るため、金額単位での経済部門への総影響と、物量単位での水供給部門への総効果の間を区別する。それぞれの経済部門の水のシャドウ・プライスを使用することによって、水供給部門から経済部門への影響は、金額単位によって評価することができる。それゆえに、経済部門によって生成された上記の影響が合計される。

3-6. 水の経済価値

3-6-1. Water Input-Output Programing (WIOP)

Bouhia(1998)の Water Input-Output Programing の手法の目的は、水資源の経済的な価値を、異なる経済の部門によって、個別かつ正確に、推計することである。この手法による分析結果は、水資源計画の骨格として持続的経済発展をサポートすると考えられる。国家の戦略の目指す所は、水を使用する全ての産業の純便益を最大化することである。産業連関表より、部門間の内的なリンクと水のシャドウ・プライスを導く線形問題が導き出される。これらの2つのアプローチの統合は、経済全体における水の価値を推計する。そして、水資源の欠乏から最も影響を受ける戦略的な部門を明らかにする手法を提供する。

それぞれの経済と水に関係した部門の産出は、モデルの決定変数を表している。そして、金額と水の物量を合わせている。異なる部門への付加価値は、次の要素を表している。家計、土地、資本、政府への支出、輸入、粗の企業利益である。その目的変数は、以下を表している。

$$Z = VX \quad (3)$$

ここで、

V = 各部門一単位当たりの総付加価値の列ベクトル

X = それぞれの部門の総産出を表す行ベクトル（経済部門においては金額価値、水供給部門においては物量単位で表される。）

水の使用から単位当たりの増加の変化の、水の経済価値を決定するために、水の利用の制限をする必要がある。各部門は、水の供給を手に入れるために争う。しかし、それぞれの部門は、他の部門の産出によっている。そして、これは前節で定義した A 行列を使用することで表現される。この最終需要は、上限と下限の両方を持っている、下限界の FD_{\min} は、部門が生産を止める最小の活動レベルを表している。この FD_{\min} は経済部門において金額単位で表される。これは、水供給部門における係数では立法メートルで表される。

$$(I - A)X \geq FD_{\min} \quad (4)$$

最終需要の上限界である Y_{\max} は、部門の発展の可能性の限界を表しており、以下の式で表される。

$$(I - A)X \leq FD_{\max} \quad (5)$$

N 部門における経済の 1 部門あたりの水の必要量の制限のために、係数 w は、それぞれの産出 i によるが、産出の価値 1 単位あたりの使用された水の物量 m^3 を表している。これは、生水（初期投入）と水供給部門（中間投入）の水の量を合わせた値である。産業と家計は、利用可能水資源量と以下の関係になる。

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i + W_{household} \leq W_{\max} \quad (6)$$

ここで、例えば、農業中心の国においては、労働者は、農業を通じた水資源に大きく依存している。労働の手に入れやすさの制約と同様に、農業によって提供される最小の労働は、水の使用における如何なる変化における労働の影響に注目し、この最適化の制約条件に加えることができる。これらの制約は、それぞれの部門の雇用の乗数を使用することによって表現される。 L_{\max} は、使用できる労働量を表している。 L_{agrlo} は、農業によって必要とされる最小の労働量を表している。

$$\sum_{i=1}^n l_i X_i \leq L_{\max} \quad (7)$$

$$l_{agr} X_{agr} \geq L_{agrlo} \quad (8)$$

最後に、この最適化の最後の等式は、産出の変数が非不であることである。

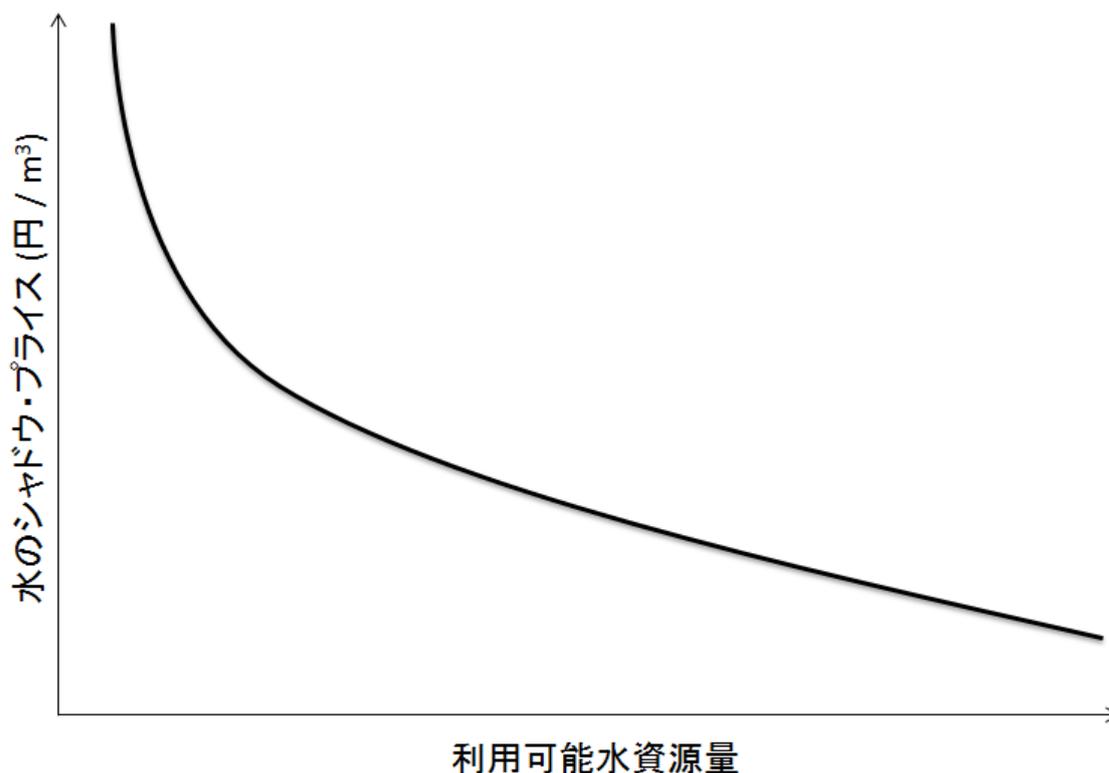
$$X \geq 0 \quad (9)$$

3-6-2. 分析の結果とその解釈

WIOP モデルは、水資源の利用可能性におけるそれぞれの部門の影響に注目しながら、それぞれの産業部門の産出を推計する。全ての部門を通じて、GDP への水資源の寄与は、目的関数を通じて見ることができる。その目的関数は、経済が水の欠乏によって脅かされることで、減少される。しかしながら、最も重要な結果は、水のシャドウ・プライスである。これは、水資源の利用可能性における 1 単位（日本であれば、100 万円）の変化が目的関数（付加価値）を変化させることによる。この水のシャドウ・プライスは、水資源の欠乏の影響を検証する良い指標となる。

そして、水資源の利用可能性の変化について、経済活動の振る舞いを検証することである。低品質の水から高品質の水までの利用可能性を異にする²⁰ことによって、水のシャドウ・プライスの変化が水資源の利用可能性の変化のために小さすぎる結果を得ることを観測することも可能となる。

図9 水の需要曲線



出典：筆者作成

水の需要曲線は、図9の中で、水の利用可能性の異なる制約による水のシャドウ・プライスを記述することによって証明することができる。一つは、この水の需要曲線は、短期、そして中期においてのみ検証価値がある。これは、産業連関表が投入係数が一定な状態を仮定しているという事実に起因している。長期の分析においては、A 行列は、各産業における技術進歩、水の配分の変化、そして、産出の変化を複合し、内包しなければならない。

異なる供給シナリオにおける需要曲線の導出は、水の使用の限界の純便益や、その部門の限界よりもむしろ、産業間の内的な関わりの視点から、導き出される。これは、意思決定

²⁰ 利用可能水資源量を水の質によって分類し、WIOPによって水のシャドウ・プライスを計測した先行研究は未だ存在しない。これは、水の質の違いをWIOPの手法において、どのように表現するかについての課題が存在するからである。

者が、異なる産業部門における水の使用のための、最適な価格決定システムとして決定するために有効な手がかりとなると考えられる。

政策決定という視点から、このモデルは、政策決定者や政策評価のためのサポートとしての構造を持つ。そこでは、何が適切な投資であるかを明確にし、評価される。WIOP モデルを使用することで、水の処理について提案された投資が、より高い質の水を手に入れる可能性を高めることによって表現される。これは、水のシャドウ・プライスの新しい解を与えるものである。同様に、水の損失を防ぐ計測の導入は、水資源を手に入れる可能性を高め、モデルの中の水の制約を緩和するものである。水資源の効率の技術が実行されることで、水の利用可能性の制限の中の変化だけでなく、WIOP における付加価値の中の水の損失による係数の変化の結果も提供することができる。水資源を、処理、保護、もしくは他の目的で開発することを提案すると共に、水の経済価値における変化の比較は、水供給部門の投資決定のための指標を提供する。

4. 日本における水の需要曲線

本章では、前章で検証した水資源の循環と経済モデルを結び付けた **WIOP** の分析手法を、実際に平成 12 年(2000 年)の日本において分析し、検証する。まず、日本における水資源の統計を整理するとともに、水利用産業連関表の作成手法を述べる。これは、水産業連関表の方法論を日本に適用し、その理想形を実現するための過程のデータベースである。そして、実際に作成された平成 12 年(2000 年)日本水利用産業連関表から水のシャドウ・プライスを非線形計画法より測定し、水の需要曲線を描いた。

4-1. 現状の日本産業連関表における水の取り扱い

産業連関表には、三つの水に関する部門がある。上水道・簡易水道、工業用水、下水道である。大きな特徴としては、担当府省庁が三部門とも異なることである。上水道・簡易水道部門は厚生労働省（旧厚生省）、工業用水部門は経済産業省（旧通商産業省）、そして下水道部門は内閣府（旧経済企画庁）である。推計の仕方もそれぞれ異なっている。上水道・簡易水道部門は、地方財政統計年報と水道統計である。工業用水部門は、工業統計表（用地・用水編）の工業用水道を主に対象として推計されている。下水道部門については、地方財政統計年報、地方公益企業年鑑、そして国民経済計算年報などが使用されている。

商品の生産に使用されるのは、公共水道と呼ばれる²¹上水道と工業用水道に加えて、その他に、河川水や井戸水、そして工業製品においては回収水などが別途使用されている。つまり、公共水道の上水道と工業用水道のみが産業連関表では表現されている。

4-2. 日本における水収支

図 10 は、国土交通省の日本の水資源賦存量と使用量の統計を、筆者が図式化したものである。日本において、理論上、人間が最大限利用可能な量、つまり最大の供給量は、4,200 億 m^3 である。この水が、河川と地下水を通じて、生活用水、工業用水、農業用水となる。生活用水は、164 億 m^3 、工業用水は 134 億 m^3 、そして農業用水は 572 億 m^3 である。その合計は、870 億 m^3 である。そのため、3,330 億 m^3 を使用していない計算となる。この使用されていない水は、河川を通じて海に流れ込んでいるか、地表の奥深くに蓄積されている状態となる。なお、第 3 次産業におけるオフィスなどの淡水利用については、生活用水に含められている。

この統計作成において基本となった先行研究の一つが山本・高橋(1987)であり、それを基

²¹ 上水道とは、一般の水道のことで、飲用に適する水を供給する水道（上水道）から取水した水をいう。工業用水道とは、飲用に適さない工業用水を供給する水道（工業用水道）から取水した水をいう。

に図 10 を別の視点から表したものが、図 11 となる。降雨による 4,200 億 m³の水が地表面で蒸発散、直接流出²²、地下水への涵養の三つに分かれる。蒸発散による損失は、2,300 億 m³となり、短期間に流出する不安定な成分の直接流出が 2,150 億 m³となる。降雨から蒸発散と直接流出を除いた 1,150 億 m³が基底流出²³であり、地下水で養われている河川の安定的な流出成分である。工業用の水と生活用の水へは、直接流出からダムを通じて供給される。これは、財団法人日本ダム協会の資料からもわかるように、日本におけるダムは、明治以降施工されたものだけでも約 2,500 基あり、日本中のほぼ全ての代表的な淡水資源供給源となる河川には、ダムが建設されている。そのため、工業用の水と生活用の水は、100%ダムより供給されていると仮定される。国土交通省の日本の水資源賦存量と使用量の統計はこの仮定を適用しており、本研究もそれを適用している。なお、本研究における淡水取水量マトリックスの推計において、水力発電のための河川からの淡水取水量は計上されない。これは上記の仮定より、ダムによる淡水取水は、水力発電ではなく、ダムの先の工業と生活のために使用されると仮定されるからである。なお、淡水必要量マトリックスの推計においては、これを考慮する必要がある。

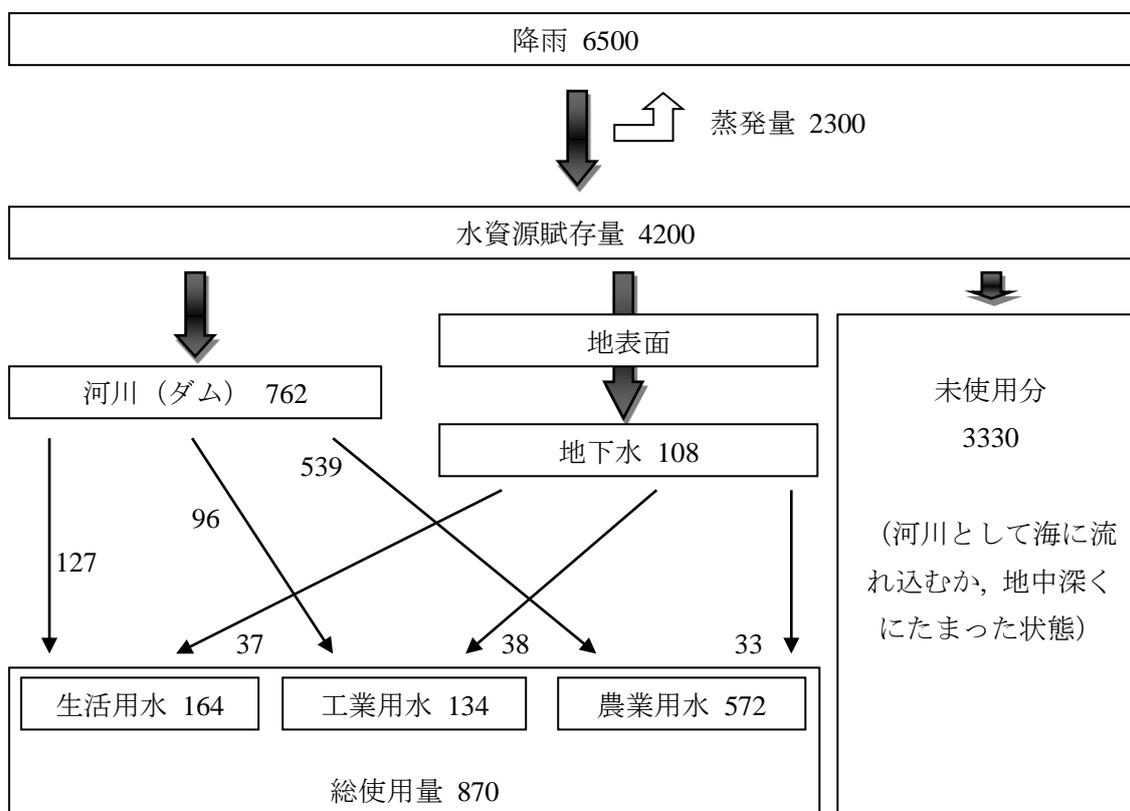
4-3. 水利用産業連関表の推計

日本における平成 12 年(2000 年)水利用産業連関表の推計にあたり、上水道、工業用水道、そして、河川水や井戸水などのその他の淡水の 3 種類に分類分けした。これは、現状の産業連関表で表現されている水供給部門 (Water Related Activities) である上水道と工業用水道と、表現されていない生水 (Bulk water) であるその他の淡水とを明確に区別するためである。そして、対象とする水を淡水に限定し、生産に対してどれだけの淡水を取水したかという観点から淡水量マトリックスを作成した (表 6 参照)。これは、前章の産業連関表のフレームワークを応用したものである。先行研究においては、Water account の入手の問題から農林水産業全体を 1 つの係数で扱うなどの限界が見られた。本研究においては、各商品の水に関する情報を詳細に推計していくことで、より精度の高いデータベースの作成を試みた。

²² 丸山・三野(1999)より、降雨の流出過程は、表面流出(surface runoff)、中間流出(subsurface runoff)、そして、地下水流出(groundwater runoff)の 3 つに分類される。ここで、表面流出とは、地表面を流下して河道に到達する雨水である。中間流出とは、地中に浸入した後に比較的浅い土層を流下して河道に到達する雨水である。地下水流出とは、深部に浸透した後に長い時間をかけて流出する雨水である。直接流出とは、この中の、表面流出と中間流出に該当する。

²³ 前脚注の地下水流出に該当する。

図 10 日本の水収支（平成 12 年）



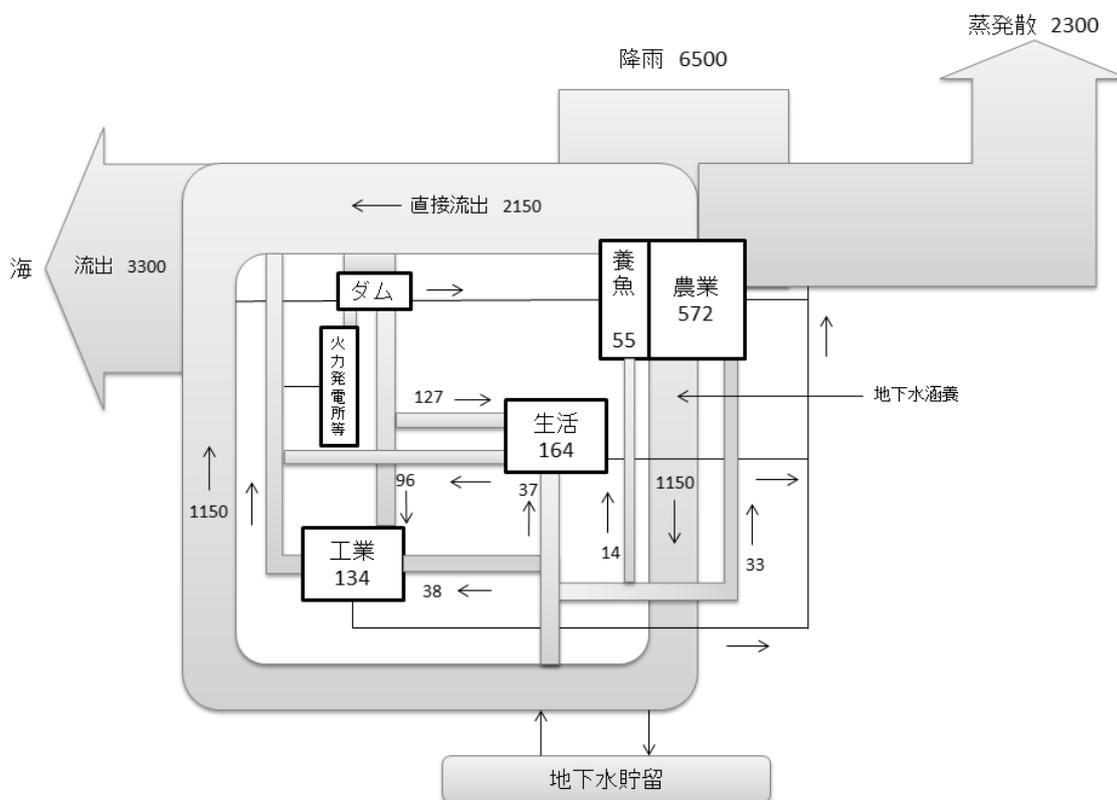
単位（億 m³/年）

出典：国土交通省『日本の水資源』の平成 16, 20 年度版より筆者作成

(注)

1. 降水量は昭和 46 年～平成 12 年のデータをもとに国土交通省水資源部が算出したもの
2. 水資源源賦存量は、理論上、人間が最大限利用可能な量をいう。昭和 46 年～平成 12 年のデータをもとに国土交通省水資源部が算出したもの
3. 四捨五入の関係で集計が合わないことがある。

図 11 日本の年間の水収支を示す模式図（平成 12 年）



単位（億 m³/年）

出典：山本・高橋(1987), 杉田・田中(2009), 国土交通省『日本の水資源』の平成 16, 20 年度版を基に筆者作成

(注)

1. 降水量は昭和 46 年～平成 12 年のデータをもとに国土交通省水資源部が算出したもの
2. 水資源源賦存量は、理論上、人間が最大限利用可能な量をいう。昭和 46 年～平成 12 年のデータをもとに国土交通省水資源部が算出したもの
3. 火力発電所等には、原子力発電所、ガス供給事業所、熱供給事業所を含む。
4. 直接流出と地下水涵養は、山本・高橋(1987)のデータの比率で流出を案分した。
5. 四捨五入の関係で集計が合わないことがある。

表 6 日本水利用産業連関表の概要案

日本産業連関表（単位：100 万円）

	商品 j	最終需要	生産額
商品 i	x_{ij}	F_i	X_i
付加価値	V_j		
生産額	X_j		

淡水取水量マトリックス（単位：m³）

			産業 j
総量			W_j^T
	水供給部門	上水道	W_j^W
		工業用水道	W_j^I
	生水	その他の淡水	W_j^O

$$W_j^T = W_j^W + W_j^I + W_j^O$$

(注)

1. W_j^T の T は, Total の T . W_j^T は, 産業 j 部門の W_j^W と W_j^I と W_j^O の合計
2. W_j^W の W は, Waterworks（上水道）の W . W_j^W は産業 j 部門が実際に使用した上水道の水量
3. W_j^I の I は, Industrial waterworks（工業用水道）の I . W_j^I は産業 j 部門が実際に使用した工業用水道の水量
4. W_j^O の O は, Others（上水道と工業用水道以外のその他の淡水）の O . W_j^O は産業 j 部門が実際に使用したその他の淡水の水量

淡水取水量マトリックスの推計にあたり、最初に、各部門に対応した金額1単位(100万円)あたりどれだけの淡水の量が必要となるかを、推計した。

第1次産業においては、穀物と畑作については、農林水産省構造改善局による土地改良事業計画基準農業用水(水田)と土地改良事業計画基準農業用水(畑)などを基本としている。この2冊は、日本における穀物と畑作に必要な要水量を計算する方法を詳しく紹介している。これに、野口(1978)や江原(1970)、そして、仮想水やウォーターフットプリントの先行研究などを参考にしながら、全ての商品について、金額1単位あたり生産に必要な淡水の量のデータをそろえた。それに、各商品の生産量のデータを使用することで、それぞれの産業の淡水取水量を推計した。畜産については、農林水産省生産局による草地開発整備事業計画設計基準などを参考として、穀物と畑作と同様、金額1単位あたり生産に必要な淡水の量のデータをそろえた。果実については、小林(1983)などを参考に、金額1単位あたり生産に必要な淡水の量のデータを計算した。また、養魚などの一部の産業については、国土交通省水資源部の統計資料を使用している。なお、産業連関表における、野菜などの多種多様な商品の一つの部門として扱っているものについては、各部門の推計資料を使用して、細分化し、淡水量を推計後にまとめた。例えば、野菜部門については、その推計資料として使用されている農林水産省による野菜生産出荷統計を参考して、各野菜の種類に分類後、それぞれの生産に必要な淡水量を推計した。その後、各野菜の淡水量を合計することで、野菜部門の淡水量を推計した。

なお、畜産の取水量は、農林水産省の畜産統計における、統計調査日の2月1日の飼養頭数を年平均の飼養頭数と仮定し、それに単位用水量を掛け合わせることで、1年間の畜産用水量を算定している。それに対して、仮想水や Water footprint の先行研究においては、畜産の商品の生産に必要な水資源量を算出している。

これは、本研究における Water Budget の設定において、1年間を分析対象期間と設定しているからである。肉用牛の淡水取水係数の推計において、仮想水や Water footprint の先行研究と、淡水取水の考慮する「期間」が異なる。例えば、山口県農林水産部畜産振興課の肉用牛経営の資料によると、例えば黒毛和牛においては、肥育牛の出征から出荷までに、28~30ヶ月の期間を要する。平均年数として、2~3年の期間を要するわけであるが、出荷された肉用牛に対して、仮想水や Water footprint などの係数を使用し、淡水取水量係数を推計することは、Water Budget の仮定に合わない。そのため、1年間の肉用牛が取水した淡水量に注目し、上記の算定方法を採用している。加えて、牛は、出生から出荷までを同じ土地で過ごさない。出生後、家畜市場を通じて、日本中の有数の産地に売られ、そこで一定の条件を満たしたものが、ブランド牛と呼ばれ、出荷される。例えば、農林水産省東海農政局によると黒毛和牛の飛驒牛の銘柄は、岐阜県内で14ヶ月以上飼養され、一定以上の品質を持つものに与えられる。その子牛の多くは、鳥取県、兵庫県、そして広島県から買われてきている。つまり、地域を対象とした分析を行った場合、ある地域で出荷された肉用牛に対して、その生産に付随する全ての淡水取水量を、出荷した地域の肉用牛部門に計上することは現実的では無

い。これに対しても、各地域の飼養頭数を基本として、淡水取水量を推計する本方法は、各地域の淡水取水の需要と供給の関係からも、より適した方法論であると考えられる。そして、乳用牛の淡水取水量の推計においても、同様の理由により、肉用牛と同様の推計が適していると考えられる。

なお、肉用牛においては、1年を超えた生産期間が必要となるわけであるが、福島県畜産課の資料によると、豚の飼養については、出生から出荷まで、約175日の期間を要する。秋田県農林水産部農畜産振興課の資料によると、鶏については、出生から出荷まで、約130～50日の期間を要する。そのため、肉用牛のような「期間」の問題は生じない。

第2次産業においては、産業連関表の工業用水部門の産出の推計に使用されている経済産業省による工業統計の用地用水編を使用した。この工業統計用地用水編は、30人以上の事業所を対象にして作成された統計である。4～29人の小規模事業所における工業用水の使用実態については国土交通省水資源部が統計を作成している。この2つの統計を基本とし、企業が公表している水に関するデータを参考としながら、各産業の淡水取水量を推計した。この淡水取水量には、回収水は含まれてはいない。確かに、日本の工業用水の使用量は年々増加しているが、日本の企業は、一度使用した水をろ過して再利用する回収水の量を増やしている。これにより、実際に取水する淡水を節約している。本研究では、部門ごとに、生産に使用した淡水を実際に取水した淡水と回収水に分割した。そして、実際に使用した淡水のみを、淡水取水量マトリックスに計上した。

第3次産業においては、厚生労働省健康局水道課の水道統計を基本として推計作業を行った。ただし、東京都については、東京都水道局資料「用途別使用水量の推移」などにより推計を行っている。これは、東京都においては、区部及び多摩地区28市町のうち、武蔵野市、昭島市、そして羽村市の3市は独自に水道事業を展開していることが関係している。厚生労働省の水道統計においては、口径別の統計はこの3市においても把握されているが、用途別の統計については、把握していない。

第1次産業から第3次産業までの推計を行った後、**図10**と**図11**を参考としながら、全体の調整を行った。今回推計した2000年日本水利用産業連関表は、**表7**の28部門に部門分類されている。代表的な水利用産業である第1次産業は、できるだけ細分化した。

表 7 産業分類(28 部門)

1	米
2	麦類
3	いも・豆類
4	野菜・果実
5	その他の食用作物
6	飼料作物
7	その他の非食用作物
8	畜産
9	農業サービス
10	林業
11	漁業
12	鉱業
13	食料品
14	繊維製品
15	パルプ・紙・木製品・出版・印刷
16	化学製品
17	石油・石炭製品
18	窯業・土石製品
19	鉄鋼
20	非鉄金属
21	金属製品
22	一般機械
23	電気機械
24	輸送機械
25	その他の製造工業製品
26	水供給部門
27	第 3 次産業
28	分類不明

4-4. 分析結果

新しく定義された水利用産業連関表の構造は、国内で生産された商品やサービスへの最終需要の変化による総産出と付加価値の変化を推定することができる。日本においては、工業製品は主に輸出のために行われ、穀物や野菜などの灌漑農業は、主に国内使用のために生産されている。産業部門間のリンクを実際認識できることが産業連関表の主な利点である。その重要な点は、最終需要のために必要とされる産出のレベルを決定することである。そのためには、水利用産業連関表を使用し、経済と水資源のそれぞれの制約のなかで、最終需要を満足させる必要がある。GDP を最大化する投入の組み合わせは線形問題の中で決定される。

線形問題は、資源や他の生産に関係する制約の中で、総産出を最大化する最適解を計算することができる。水資源利用可能性などの制約を検証することによって、追加的な資源の価値を証明することができる。現在の分析における目的関数は、国家の付加価値である。これは、農業、工業、サービス業から生み出される賃金、企業利益、政府、資本、固定資産税と税金を表している行ベクトルである。このベクトルの要素の合計は、購入者側より、むしろ、生産者側の GDP に近似している。この方程式を最大化することは、外生的に与えられる資源の制約から総産出を最大化することに似ている。

上記で定義されたレオンチェフ行列と需要と供給のベクトルをリンクする関係は、逆行列によって捉えられる内的なリンクを考慮した最終需要と総産出のリンクを、基本的な投入産出のバランスに持つ。そして、統合された産業連関線形計画法(Input-Output Linear Programming: IOLP)は、水の使用の必要性がモデルの構造の中で明確になる。そして、IOLP を解く段階で、最大化された GDP のレベルを保証するための各産業の産出を、最適化されたレベルに決定する。IOLP を操作するために、全体としての経済における水の価値が推計されることとなる。これは、制約下における GDP の最大化によって達成される。これは、以下のように表現される。

$$\text{Maximize } Z = Va X$$

次に制約である。最終需要の下限解と上限解は、以下のようなになる。

$$0 \leq (I - A)X \leq FD$$

平成 12 年(2000 年)の最終需要が、最終需要の上限解となる。

水の需要と供給の制約は以下のようなになる。家計の水需要は、本研究では固定であると仮定する。

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i + W_{household} \leq W_{max}$$

最後に、この最適化の最後の等式は、産出の変数が非不である。

$$X \geq 0$$

4-4-1. 水資源の利用可能性の感度

WIOP の結果は、利用可能な水資源に、高く依存している。水の制約が生じることにより、水の経済価値は、手に入れることができる水のシャドウ・プライスによって表現される。水の限界費用は、また、水資源利用可能量によって影響を受けている産業部門に影響する事実を反映している。水の制限は、水の利用可能量が 1,490 億 m³ まで減少した時に現れる。その時の水のシャドウ・プライスは 13.63 円である。影響を受ける最初の部門は、飼料作物である。

水のシャドウ・プライスは、水資源利用可能量の減少が進めば進むほど、増加していく。そして、水の減少が進むほど、水の経済価値は、注目を浴びる。水資源利用可能性によるモデルのふるまいをまとめた結果は、表 8 である。その表は、水資源利用可能性のレベルに対する、水の経済価値を示している。その範囲は、水の欠乏によって影響される産業部門による水資源量を示している、産業部門は一つずつ影響を受ける。それは、より淡水取水係数の高く、GNP への貢献の少ない産業部門から始まる。水のシャドウ・プライスの範囲は、13.63 円から 24,382.34 円へと動く。「地域公営企業年鑑」(2007 年 4 月 1 日～2008 年 3 月 31 日)におけるもっとも水道料金の高い市町村は、群馬県長野原町の 341.3 円/ m³ である。これは、利用可能水資源量が 1,360 億 m³ の時に等しい。これは、相対的に現在の水道料金の経済価値は低いと考えられる。ただし、飼料作物や米などの一部の産業については輸入に頼らなければならない水準である。このように、本分析結果より、水の経済価値が高いか低いか、そして、それにより影響を受ける産業を明らかにすることができる。これは、水資源政策や投資にとって、非常に重要な情報となる。

表8 水のシャドウ・プライスと戦略部門

水の利用可能性 (BCM)	水のシャドウ・プライス yen per m ³	影響を受ける産業		範囲 (BCM)
		No	産業名	
148.99				
148.98	13.63	6	飼料作物	144.93-148.98
144.93	45.39	1	米	143.95-144.93
143.95	133.36	8	畜産	140.60-143.95
140.60	226.41	5	その他の食用作物	138.62-140.60
138.62	273.31	3	いも・豆類	137.56-138.62
137.56	313.48	11	漁業	135.00-137.56
135.00	379.42	2	麦類	134.66-135.00
134.66	430.08	13	食料品	52.92-134.66
52.92	1135.96	4	野菜・果実	50.39-52.92
50.39	2800.53	10	林業	49.96-50.39
49.96	3118.86	9	農業サービス	49.94-49.96
49.94	3835.36	7	その他の非食用作物	49.76-49.94
49.76	4670.12	16	化学製品	48.55-49.76
48.55	4968.66	15	パルプ・紙・木製品・出版・印刷	47.55-48.55
47.55	5630.88	14	繊維製品	46.00-47.55
46.00	5911.98	25	その他の製造工業製品	44.52-46.00
44.52	5922.40	19	鉄鋼	44.46-44.52
44.46	7119.31	26	水供給部門	44.27-44.46
44.27	10065.20	20	非鉄金属	44.07-44.27
44.07	10886.36	18	窯業・土石製品	44.01-44.07
44.01	11393.28	17	石油・石炭製品	43.19-44.01
43.19	13817.57	21	金属製品	43.10-43.19
43.10	15853.96	24	輸送機械	42.28-43.10
42.28	16178.74	27	サービス業	16.81-42.28
16.81	16776.93	23	電気機械	15.10-16.81
15.10	18144.10	28	分類不明	15.08-15.10
15.08	18740.72	22	一般機械	14.04-15.08
14.04	24382.34	12	鉱業	13.69-14.04

(注)

1. BCM とは, Billion Cubic Meter の略である.

4-4-2. 水の需要曲線

水のシャドウ・プライスは、水の利用可能性によって大きく変動を受ける。その分析結果は、**図 12** のように描くことができる。この場合において、水の経済価値は、部分均衡のモデルによって生成された水の価値とは異なる。IOLP のモデルの目的関数は生産物の販売からの便益だけでなく、資本、土地、税、そして家計所得からのそれぞれの部門への付加価値を表している。これは、水資源のより広大な評価を提供することを可能にする。

水の需要曲線の生成のために使用されるデータの回帰曲線を描くことによって、この需要曲線の弾力性を決定することができる。本研究では、以下の指数関数の式によって水の需要曲線をフィットさせる。

$$Q = Be^{rx}$$

図 13 は、 $B=40,655$ と $r=-0.04$ による需要曲線のフィット(決定係数: 0.886)を示している。水の弾力性は、利用可能水資源量が 600 億 m^3 から 400 億 m^3 の間で急速に上昇することが、**図** よりわかる。

図 12 水の需要曲線

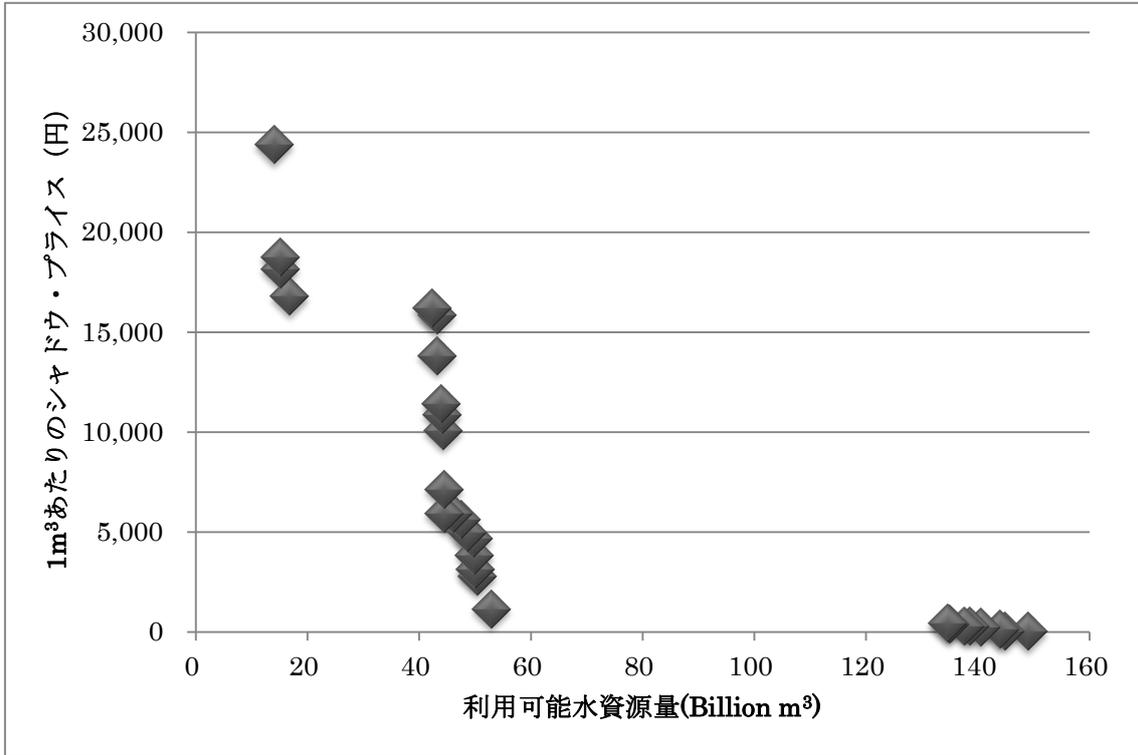
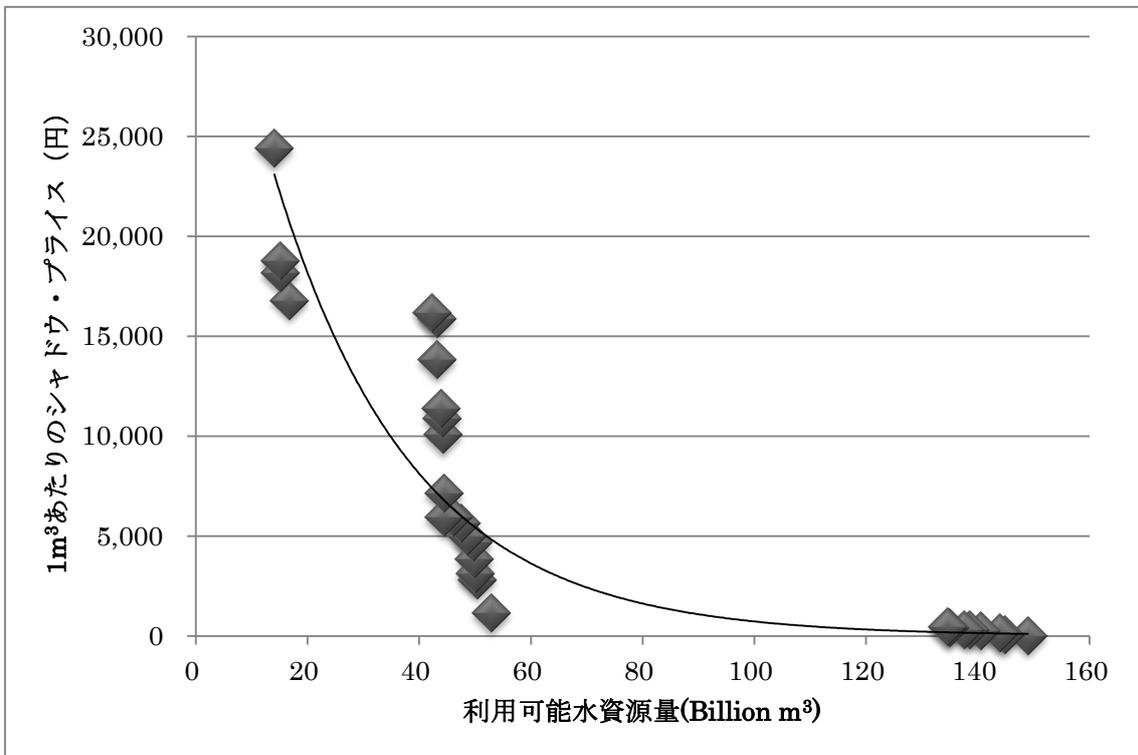


図 13 水の需要曲線 (回帰分析)



5. 結論

本論文においては, Isard and Romanoff (1967a)から始まる, 経済学 (特に産業連関分析) と水資源の理論的・哲学的背景をまとめ, 考察した.

意思決定モデルとしての水産業連関構造は, 水供給部門における投資の適切な選択を対象とし, かつ, 経済全体におけるそれらの影響を評価することにおいて, 政策決定を助ける.

この水産業連関分析のアプローチは, 水資源の評価と経済における意思決定の間に, 現在存在しているギャップを埋めようとしている. それは, 政策における議論について, 触媒となり, 有機的な結びつきを助け, 統合化された国家の水戦略の形成に役立つだろう. それは, 長い視点において, 持続的な国家計画の実現を可能にする.

この本論文における日本の水のシャドウ・プライスの分析は, 水市場が安すぎる水の値段を与えているかどうか検証し, 水の値段の上昇が経済に与える影響を明らかにする. 分析の結果は, 水資源と増加するインフラの支出の経済効果を測定することができる. 特に, 水のシャドウ・プライスは, 水の価格を調整することによって, 費用便益分析の投入として使用することができる. また, 水の利用可能性, 特に水の欠乏についての変動の影響を, 詳細に分析することに使用することも可能である.

日本における WIOP による水のシャドウ・プライスと水の需要曲線は, 本論文において初めて測定された. 利用可能水資源量の変化におけるシナリオ分析により, 日本の水のシャドウ・プライスは, 約 25,000 円/m³ まで上昇することがわかる. その弾力性は, 利用可能水資源量が 600 億 m³ から 400 億 m³ の間で急速に上昇する. 日本における水資源と産業構造の関係を考えるとき, 産業部門への利用可能水資源量が 600 億 m³ 以下になる場合, 経済財としての水を強く意識した政策を策定する必要がある. これが前述の持続的な国家計画の実行に重要な視点となり, 統合的水資源管理を実現する一助となるであろう.

最後に, ISO14046 の内容が, まだ正式に決定されていないため, 「Water footprint」の概念が, 本研究で述べられた伝統的な統合的水資源分析の研究の積み重ねに対して, どのような立ち位置にあるのか, 論ずることができない. 「Water footprint」が, 商品に付随した仮想的な水資源使用量という, 非常に限定された視点での概念になるのか, 水資源政策までを考慮に入れた概念になるのかはわからない. しかし, 単に「Carbon footprint」の副産物としての概念ではなく, 温故知新としての概念として, 水資源危機の予防としての役割を担うことを切に願う.

参考文献

井手慎司・石本貴之(2008)「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」『環境システム計測制御学会 (EICA)』 13(2/3), pp. 257-260

江原薫(1970)『栽培学大要』株式会社養賢堂

岡寺智大・藤田壮・渡辺正孝・鈴木陽太(2005)「流域管理のための環境負荷排出インベントリーシステムに関する研究－東京湾流域の水需要のケーススタディー－」『環境システム研究論文集』 33, pp. 377-387

岡本信弘(2009)「中国の水問題は解決可能か? -産業連関モデルからのアプローチ-」猪俣哲史・桑森啓編『2005年BRICs国際産業連関表の作成と利用』アジア国際産業連関シリーズ No.73 アジア経済研究所 pp. 117-139

奥田隆明・鈴木隆・幡野貴之(2005)「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」『環境システム研究論文集』 33, pp. 213-222

経済産業省経済産業政策局調査統計部／編(2002)『工業統計表 用地・用水編 平成12年』財務省印刷局

厚生労働省健康局水道課(2001)『水道統計 平成 11 年度』厚生労働省健康局

厚生労働省健康局水道課(2002)『水道統計 平成 12 年度』厚生労働省健康局

国土交通省土地・水資源局水資源部／編(2008)『平成20年度 日本の水資源』佐伯印刷

国土交通省土地・水資源局水資源部／編(2009)『平成 21 年度 日本の水資源』アイガー

国土交通省土地・水資源局水資源部／編(2010)『平成 22 年度 日本の水資源』海風社

小林章(1983)『果樹園芸大要 改定版』株式会社養賢堂

杉田倫明・田中正(2009)『水文科学』共立出版

中村吉明(2010)『日本の水ビジネス』東洋経済新報社

農林水産省構造改善局(1993)『土地改良事業計画設計基準 計画基準農業用水(水田)』農業土木学会

農林水産省構造改善局(1997)『土地改良事業計画設計基準 計画基準農業用水(畑) 基準書 技術書』農業土木学会

農林水産省統計情報部(2001)『耕地及び作付面積統計 平成12年』農林統計協会

野口弥吉(1978)『農学大事典』株式会社養賢堂

幡野貴之・奥田隆明(2004)「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」『環境システム研究論文集』32, pp. 1-10

橋本淳司(2009)『世界が水を奪い合う日・日本が水を奪い合う日』PHP 研究所

福石幸生(2009)「日本水利用産業連関表の作成と課題—生産活動によって誘発される淡水取水量—」『産業連関—イノベーション&IOテクニク—』第17巻3号, pp. 57-73

福石幸生(2010a)「水資源分析用スカイラインの開発—日本における2000-2005年の2時点分析—」慶應義塾大学産業研究所ディスカッションペーパー No. 122

福石幸生(2010b)「水資源分析用スカイラインによる日本の水利用構造の時系列分析」環境経済・政策学会2010年大会報告論文

福石幸生(2010c)「水資源分析用スカイラインによる日本の水利用構造の地域比較」環太平洋産業連関学会第21回学会報告論文

福石幸生(forthcoming)「日本の地域間における仮想的な水移動の特徴—水利用地域間産業連関表を利用して—」『産業連関—イノベーション&IOテクニク—』第18巻3号

丸山利輔・三野徹(1999)『地域環境水文学』朝倉書店

山本荘毅・高橋裕(1987)『図説水文学』共立出版

Asad, M. and Azevedo, L. T. (1999) "Management of Water Resources: Bulk Water Pricing in Brazil (World Bank Technical Paper)" The World Bank. Washington, D. C.

Biswas, A. K. (1979) *History of Hydrology* (高橋祐・早川正子(1979)「水の文化史」文一総合出版)

Bouhia, H. (1998) "Water in the Economy: Integrating Water Resources into National Economic Planning." Ph. D. Thesis. Harvard University.

Carter, H. O. and Ireri, D. (1970) "Linkage of California-Arizona input-output models to analyze water transfer patterns." In *Applications of input-output analysis. Proceedings of the fourth international conference on input-output techniques, Geneva, 8-12 January 1968. Published in honor of Wassily Leontief, Vol. 2*, edited by A. P. Carter and A. Brody. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Chanan, A., Kandasamy, J. and Sharma, D. (2008) "A Role for Input-Output Analysis in Urban Water Policy Decisions In Australia." International Input-Output Meeting on Managing the Environment, July 9-11, Seville, Spain.

Chen, X. (2000) "Shanxi water resources input-occupancy-output table and its application in Shanxi Province of China." In *Proceedings of the 13th International Conference on Input-Output Techniques*, Macerata, Italy, 21-25, August 2000.

Cuihong, Y. (2002) "The Impacts of Water Conservancy Investment by Using Input-Output Technique: A Case of China." Paper for the 14th International Conference on Input-Output Technique, October 10-15, 2002, Montreal, Canada.

Daly, H. E. (1968) "On economics as a life science." *Journal of Political Economy*, 76(3), pp. 392-406

DeHaan, M., Keuning, S. J. and Bosch, P. R. (1993) "Integrating Indicators in a National Accounting Matrix Including Environmental Accounts (NAMEA)." Statistics Netherlands, Occasional Paper n. NA-60.

Dietzenbacher, E. and Velazquez, E. (2007). "Analysing Andalusian Virtual Water Trade in an Input-Output Framework." *Regional Studies*, 41(2), pp. 185-196

Dingman, S. L. (1996) *Physical Hydrology*. Prentice Hall.

Dufournaud, C. M., Harrington, J. J. and Rogers, P. P. (1988) "Leontief's Environmental Repercussions and the Repercussions and the Economic Structure... Revised: A General Equilibrium Formulation." *Geographical Analysis*, 20(4), Ohio State University Press.

Duarte, R., Sanchez-Choliz, J. and Bielsa, J. (2002) "Water use in the Spanish economy: an input-output approach." *Ecological Economics*, 43(1), pp. 71-85

Dunne, T. and Leopold, L. B. (1978) "Water in Environmental Planning." W. H. Freeman and Co. San Francisco, Ca.

Emsellen, Y. and Bordet, J. P. (1985) "Model for the Seine-Normandy Basins, France." Edited by Asit K. Biswas. *Models for Water Quality Management*. MacGrawHill International Book Company.

Freeze, A. R. and Cherry, J. A. (1979) "Groundwater." Prentice-Hall, New Jersey.

Fukuishi, H. (2009) "Water Use in the Japan economy in 2000: an input-output approach." 17th International Input-Output Conference, Sao Paulo, Brazil, 13-17 July, 2009.

Fukuishi, H. (2010) "Interregional Virtual Water Trade in Japan: the applied idea to identify the characteristics of Virtual Water Trade using Input-Output Approach." 18th International Input-Output Conference, Sydney, Australia, 20-25 June 2010.

Gray, S. L. and McKean, J. R. (1976), "The Development of Water Multiplier Impacts From Input-Output Analysis: An Empirical Example From Boulder, Larimer, and Weld Counties, Colorado." *Water Resources Research*, 12(2), pp. 135-140

Gray, S. L., McKean, J. R. and Miller, T. A. (1988) "The economic role of water in Colorado: An input-output analysis." Colorado Water Resources Research Institute, Colorado State University.

Gonzalo, S. M. (2000) "A Hybrid Input-Output Model of Water." 13th International Conference on Input-Output Techniques University of Macerata, Italy August 21-25th, 2000.

Goodman, A. (1984) *Principles of Water Resources Planning*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

- Guan, D. and Hubacek, K. (2006a) "Assessment of regional trade and virtual water flows in China." *Ecological Economics*, 61, pp. 159–170
- Guan, D. and Hubacek, K. (2006b) "A Hydro-economic Accounting and Analytical Framework for Water Resource Consumption in China." Intermediate Input-Output Conference, Sendai, Japan, July 26-28th, 2006.
- Guan, D. and Hubacek, K. (2008) "A new and integrated hydro-economic accounting and analytical framework for water resources: A case study for North China." *Journal of Environmental Management*, 88(4), pp. 1300-1313
- Harris, T. R. and Rea, M. L. (1984) "Estimate the value of water among regional economic sectors using the 1972 national interindustry format." *Water Resources Bulletin*, 20(2), pp. 193-201
- Henry, M. S. and Bowen, E. (1981) "A method of estimating the value of water among sectors of regional economy." *Southern Journal of Agriculture Economics*, pp. 125-132
- Heo, E., Park, J. and Kim, T. (1999) "Input-Output Analysis on the Korean Water-Supply Industry." *Water Resources Planning and Management: Proceedings of the International Conference on Water, Environment, Ecology, Socio-economics and Health Engineering (WEESHE): October 18-21, 1999, Seoul National University, Seoul, Korea.*
- Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2007), "Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern." *Water Resource Manage*, 27, pp. 35-48
- Hubacek, K. and Sun, L. (2002) "Changes in China's economy and society and its effects on water use." *Life-cycle Approaches to Sustainable Consumption Workshop Proceedings*, 22 November 2002. Interim Report IR-02-073. pp. 87-100
- Hubacek, K. and Sun, L. (2007) "Economic and Societal Changes in China and their Effects on Water Use: A Scenario Analysis." *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), pp. 187-200
- Ip, W.C., Wong, H., Jun, X., Zhu, Y. and Shao, Q. (2007) "Input-output analysis of virtual water trade volume of Zhangye." *Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand paper 2007.*

Isard, W. (1972) "Ecologic-Economic Analysis for Regional Development." New York, NY, The Free Press.

Isard, W. and Romanoff, E. (1967a) "Water Utilization: Input-Output Coefficients." Regional Science Research Institute. Cambridge Office.

Isard, W. and Romanoff, E. (1967b) "Water use and water pollution coefficients: Preliminary report." Technical Paper No. 6, Regional Science Research Institute, Cambridge, MA, USA

Kirsten, J. F. and Van, Z. J. (1990) "Economic Impact of Irrigation Agriculture: Methodological Aspects and an Empirical Application." *Development Southern Africa*, 7, pp. 209-224

Lange, G. (1998) "An approach to sustainable water management in Southern Africa using natural resource accounts: the experience in Namibia." *Ecological Economics*, 26, pp. 299-311

Lenzen, M. (2009) "Understanding virtual water flows: A multiregion input-output case study of Victoria." *Water Resources Research*, 45. W09416.

Lenzen, M. and Foran, B. (2001) "An input-output analysis of Australian water usage." *Water Policy*, 3, pp. 321-340

Leontief, W. (1986) *Input-Output Economics*. Oxford University Press.

Lofting, E. M. and McGauhey, P. H. (1968) "Economic Evaluation of Water – Part IV: An Input-Output and Linear Programming Analysis of California Water Requirements." *Water Resource Center. Contribution No. 116*. University of California. Berkeley.

Loucks, D. P., Stedinger, J. R. and Haith, D. A. (1981) *Water Resource Systems Planning and Analysis*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Maass, A., Maynard, M. H., Dorfman, R., Harold, A. T., Stephen, A. and Gordon, M. F. (1962) *Design of Water-Resource Systems: New Techniques for Relating Economic Objectives, Engineering Analysis, and Government Planning*. Harvard University Press Cambridge.

Major, D. C. and Lenton, R. L. (1977) *Applied Water Resource Systems Planning*. Prentice-Hall.

Munasinghe, M. (1992) *Water Supply Policies and Issues in Developing Countries*. Natural Resources Forum. Butterworth & Co Ltd.

Okadera, T., Watanabe, M. and Xu, K. (2005) "Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input–output table: An application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China." *Ecological Economics*, 58(2), pp. 221-237

Pongsak S., Asif M. B. and Nasu, S. (2009) "Industrial and Household Water Demand Management: a Case of Pakistan." International Symposium on Society for Social Management Systems March 5-8, 2009, Kochi, Japan.

Pongsak, S. and Nasu, S. (2008a) "Agricultural water demand prediction model by using input-output table with impacts from declared strategy of Thailand." The International Symposiums on Social Management Systems (ISMS2008), 6-8 Mar, 2008, Kochi, Japan.

Pongsak, S. and Nasu, S. (2008b) "Household Water Demand Prediction Model with Changing Economic Effects by Using Input-Output Table Model." The International Symposium on Social Management Systems (ISMS2008), 6-8 Mar, 2008, Kochi, Japan.

Pongsak, S. and Nasu, S. (2008c) "Household Water Demand Prediction Model with Changing Economic Effects by Using Input-Output Table Model." The International Symposium on Social Management Systems (ISMS2008), 6-8 Mar, 2008, Kochi, Japan.

Postel, S. (1992) *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. The Worldwatch Environmental Alert Series. W. W. Norton & Co.

Reuss, M. (2003) "Is It Time to Resurrect the Harvard Water Program ?" *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(5), September/October 2003, pp. 357-360

Rogers, P. P. (1992) "Comprehensive Water Resource Management: A Concept Paper." Working Paper Series 879. Infrastructure and Urban Development Department. World Bank. Washington, D. C.

Rogers, P. P., Hurst, C. and Harshadeep, N. R. (1993) "Water Resources Planning in a Strategic Context: Linking the Water Sector to the National Economy." *Water Resources Research*, 29(7), pp. 1895-1906

Sanchez-Choliz, J., Bielsa, J. and Arrojo, P. (1992) "Water values for Aragon." Environmental and Land Issues. Wissenschaftsverlag vank Kiel KG. Ed. Albisu, L.M. and Romero, C. EAAE, CIHEAM.

Sanchez-Choliz, J., Bielsa, J. and Duarte, R. (1994) "On water supply and demand in a river basin: applications to the Ebro valley." Universidad de Zaragoza.

Seung, C. K., Harris, T. R., MacDiarmid, T. R. and Shaw, W. D. (1998) "Economic impacts of water reallocation: A CGE analysis for the Walker River Basin of Nevada and California" *Jrap-journal*, 28(2), pp.13-34

Shiklomanov, I. A. ed. (1997) "Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World: Assessment of Water Resources and Water Availability in the World." WMO, 556.18 SHI.

Shiklomanov, I. A. (1999) "World Water Resources at the Beginning of the 21st Century" prepared in the framework of IHP UNESCO. (<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/>)

Trinh, B., Secretario, F., Kim, K. and Hung, D. M. (2005) "Construction of an Inter-Regional Input-Output Table for Vietnam by the Hybrid Approach: The Case of Ho Chi Minh City and the Rest of Vietnam." The 15th international Conference on Input-Output Techniques, June 2005, Beijing.

United Nations (1997a) "China: Water Resources and Their Use" United Nations, New York.

United Nations (1997b) "Study on Assessment of Water Resources of Member Countries and Demand by User Sectors: China: Water Resources and Their Use." United Nations, New York.

Vardon, M., Lenzen, M., Peevor, S. and Greaser, M. (2007) "Water accounting in Australia" *Ecological Economics*, 61, pp. 650 -659

Velazquez, E. (2004) "Impact Analysis and Extraction Method: Applications on water resources in Andalusia" Intermediate Input-Output Conference, 2004-Brussels, Belgium.

Velazquez, E. (2006) "An input-output model of water consumption: analyzing intersectoral water relationships in Andalusia" *Ecological Economics*, 56, pp. 226-240

Velazquez, E. (2007) “Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use” *Ecological Economics*, 63(1), pp. 201-208

Viessman, W. and Garry, L. L. (1989) *Introduction to Hydrology*. Harper and Row Publishers.

Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R. B. (2000) “Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth” *Science*, 289, pp. 284-288

Wang, L., MacLean, H. L. and Adams, B.J. (2005) “Water resources management in Beijing using economic input-output modeling” *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32 (4), pp. 753-764

Weil, D. N. (2009) *Economic Growth, Second Edition*. Pearson Education, Inc. (早見弘・早見均訳
(2010) 『経済成長 第2版』ピアソン桐原)

Winston, W. L. (1996) *Introduction to Mathematical Programming: Applications and Algorithms*. PWS-Kent Publishing Co.

World Bank (1995) “From Scarcity to Security: Averting a Water Crisis in the Middle East and North Africa.” Report No. 14750-MOR. Washington, D. C.

World Bank (2001) “China: Air, land, and water environmental priorities for a new millennium.” Washington, DC: TheWorld Bank.

Xie, M., Nie, G. and Jin, X. (1991) “Application of an Input-Output Model to the Beijing Urban Water-use System” *In Chinese Economic Planning and Input-Output Analysis*, edited by Karen R. Polenske and Chen Xikang, Hong Kong, Oxford University Press, pp.239-257

Yu, Y., Hubacek, K., Feng, K. and Guan, D. (2010) “Assessing regional and global water footprints for the UK” *Ecological Economics*, 69, pp.1140-1147

Zhao, X., Chen, B. and Yang, Z.F. (2009), “National water footprint in an input-output framework- A case study of China 2002,” *Ecological Modeling*, 220(2), pp. 245-253

Water in the Economy
-Measuring the Shadow Price of Water using Water Input-Output
Programing Approach: Case in Japan-

Hideo Fukuishi

Abstract

This study examines the background of the issue on water resources theoretically and philosophically in economics by using the data from the past to the present and with the analyses of preceding studies. This study mainly applies Water Input-Output Programming to the data on Japan's water resources in 2000. This study not only provides a measure of how the analytical methods in economics are applied to the use of water resources, but also contributes to the integrated decision-making of economic activities and water resources.

Keywords

Economy, Water resource; Water Input-Output Programing, Economy Wide Demand Curve for
Water, Japan