

ネパールにおける水マネジメントの経済評価

武藤 慎一¹・福地 良平²・新藤 純子³

¹正会員 山梨大学准教授 大学院総合研究部工学域 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)
E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp

²正会員 (株)建設技術研究所 交通システム部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

³非会員 山梨大学教授 大学院総合研究部生命環境学域 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-4-37)

ネパールは潜在的な水資源は比較的豊富な国であるが、特に乾季には必ずしも十分に水が存在するとはいえない状況になる。また、上水道設備も不十分であり、人々は井戸等からの地下水も利用しながら生活を営んでいる。そのため、上水道整備を含む、適切な水マネジメントが必要な状況であった。本研究では、ネパールにおける水マネジメント施策の経済評価を行うために、地下水等の利用を考慮した応用一般均衡 (CGE) モデルを開発した。これにより、各施策の実施に伴い、地下水等の非市場水から上水道施設を介して供給される市場水に転換し、その結果どの程度の効果が発現するのか、その経済評価を実施することが可能となった。本研究では、現在、首都のカトマンズにおいて計画されている上水施設改善計画を対象に数値計算を実施し、費用便益比等の算定を行った。

Key Words : *water management, CGE analysis, non-market water, benefit evaluation*

1. はじめに

ネパールは、ヒマラヤ山脈の南に位置し、モンスーンによる降雨や雪解け水が河川および地下に流入するため、潜在的な水資源は比較的豊富な国である。しかし、雨期と乾期があり、乾期には必ずしも水資源が十分に確保できない状況となる。また、ネパールでは、首都のカトマンズを中心に将来人口が増加するとされている。さらに、観光サービス業を中心に経済発展も進む可能性が高く、将来的に水需要が高まると考えられている。そのため、今後のことも考えると適切な水マネジメントの方策を確立し、それを着実に実行していくことが必要といえる。

また、環境面での問題もある。ネパールでは、水道管自体は一定程度整備がなされているものの、時間給水となっていたり、断水等の問題があったりする。そのため、人々は井戸による地下水の利用も行っている。地下水は、浄化处理等がなされていないため、環境負荷物質が混入する場合もあり、それが下痢等の健康被害を生じさせるとされている¹⁾。したがって、環境面での水マネジメントも求められているのが現状である。

以上の問題に対し、水利用と水環境の両面での水マネジメントが重要となる。水利用に関するマネジメントでは、水供給と水需要の不均衡の解消が最終的な目的となる。ネパールにおける水供給は、これまで日本を含む各

国や赤十字、NGO等の援助により水道管整備がなされてきた。しかし、上水道施設が不足しており、水道管があるにも関わらず水供給は十分になされないというのが現状であった。その結果、利用者は井戸からの地下水に頼る状況が続く、健康被害を被ることになる。

そのため、水マネジメントとしては、まず上水道施設の整備により安定的な水供給を行い、水需要を確実に賄えるようにすることが重要となる。それとともに、井戸からの地下水利用から水道利用に転換させるためのマネジメントも必要になる。これは、地下水利用から被る健康被害の抑制にもつながるからである。こうした水マネジメントについて有効な方策を検討するためには、産業における水需要も考慮に入れる必要がある。ネパールのような発展途上国では、今後急速な経済発展をする可能性もあり、その場合には産業の水需要がどのように変化するのかも水マネジメントを検討する上で重要になるからである。また、地下水からの利用転換に関するマネジメントでは、税や賦課金等の経済的手法も有効になる。そのため、本研究では施設整備評価だけではなく、経済的手法も同じフレームで分析できることが求められる。

そこで、本研究では産業部門の行動も考慮され、また市場均衡を前提とした経済分析モデルである応用一般均衡 (CGE: Computable General Equilibrium) モデルを用いた水マネジメント施策の評価、検討を行う。なお、CGEモ

デルは、原則的には産業連関表に基づくデータのみを利用して計算が行えるため、発展途上国での分析に有効という利点もある。ただし、通常のCGE分析では市場で取引されているものしか考慮されない。そのため、地下水利用のような産業連関データに存在しないものは原則として評価できないという問題があった。本研究ではまず地下水のような非市場水を考慮したCGEモデルを開発する。その上で、浄水施設整備や地下水利用への課金政策等の水マネジメントの評価を行う。そして、最終的には計測される便益から最も有効な水マネジメント施策を明らかにすることが本研究の目的である。

2. ネパールの水事情と水マネジメント必要性

ネパールでは、1974年以降、各国、JICA、国連およびNGO等の援助により、水道整備がなされてきた²⁾。主なプロジェクトの概要を示したものが表-1である。その結果、ネパールでの水道管へのアクセス率は約88%と高水準を達成しているとされる。しかし、浄水処理施設の整備あるいはそこでの水処理利用は十分ではなく、水道管は整備されているにも関わらず時間給水となっているところがほとんどであり、一部では一週間に6時間程度しか給水されない地域もある。そのため、人々は地下水を水源とする井戸からの取水やタンカーと呼ばれる給水車から水を得ている。大きなホテルなどは独自に井戸を掘り、取水しているケースもあるようである。地下水は、井戸の掘削、維持等の費用は必要であるものの、取水自体には基本的に料金が課されない。そのため、水道料金が必要な水道管を介した水需要より、井戸等からの取水に頼る傾向が続いている。ネパールにおける水需要の水源別割合を示したものが表-2である³⁾。水道管へのアクセス率は90%近くあるにも関わらず水道（Piped water）を水源とする水需要の割合は45%ほどとなっている。

ネパールは発展途上国であり、今後人口がさらに増加し、急激に経済成長する可能性もある。そうになると、ますます水需要が高まる可能性は高い。しかし、地下水は、特に乾期になるとその存在量が減少する。また、その分布も時期、あるいは年を経るごとに変わっており、井戸の枯渇は現実的問題として大きな懸念となっている。

井戸水は、水環境の観点からも問題が指摘される。地下水は、地下を移動する際にある程度浄化されるという面はあるが、それでも水質的には問題がある。井戸を利用して生活をしている人々は、年に数回下痢等の健康被害を受けており、水安全性の向上も大きな課題となっている。

こうした問題に対し、適切な水マネジメントが必要と考えられる。具体的には、まず浄水施設の整備を行い、

表-1 ネパールにおける水道整備プロジェクトの概要

名称	「ネパール王国地方都市水道整備計画」プロジェクト
機関	国際協力機構（JICA）
期間	1990年～1994年（5箇年）
対象地域	地方9都市
主な内容	新規水道整備 既存施設の改修・拡張

名称	「JAKPAS 村落水道整備事業」プロジェクト
機関	世界銀行・国連開発計画（UNDP）
期間	1993年～1996年（4箇年）
対象地域	全国113ヶ所
主な内容	機材に関わる資金協力 施設整備を指導するNGO への資金協力 受益住民の労働協力

表-2 ネパールにおける水需要の水源別割合

Piped water	45.0
Hand pump/Boring	39.1
Well	3.6
Spout/Spring water	9.6
Others	2.7
Total	100.0

（単位：%）

水道による安定的な水供給が必要といえる。しかし、水道による水供給を進めたとしても、基本的に無料で手に入る井戸による地下水があれば利用者はそちらを選択する可能性が高い。そのため、井戸からの利用転換を進める方策を同時に検討することが重要となる。その際、税や賦課金等の経済的手法の活用が有効と考えられる。税や賦課金は、その導入にあたっては国民や市民の抵抗感が強いとの問題があるが、直接規制がモニタリング等の費用が必要となることを考えた場合、経済理論的には最も余剰損失が少ない形で地下水利用を抑制できるとされている⁴⁾。

そこで、本研究では地下水のような非市場水を考慮したCGEモデルを開発し、こうした水マネジメントの評価を行い、有効なマネジメント施策について明らかにすることにする。

3. 非市場水を考慮したCGEモデルの構築

(1) 水資源問題を検討した既存CGEモデル研究

水資源問題を対象とした既存のCGEモデル研究はいくつか存在する。Berrittella et al.⁵⁾では、世界的CGEモデルとして有名なGTAPモデルをベースに水資源問題を対象としたGTAP-Wモデルを開発し、水資源が農業部門へ与える影響を中心に分析がなされている。また、わが国においても、岡、高木⁶⁾ではCGEモデルではないが、経済分析モデルにより渇水時の水融通政策の有効性に関する分析がなされている。岡川、増井⁷⁾は、多地域CGEモデルを用いて、渇水時の水資源配分問題の検討を行っており、そこでは非市場水が明示的に考慮されている。本研究は、

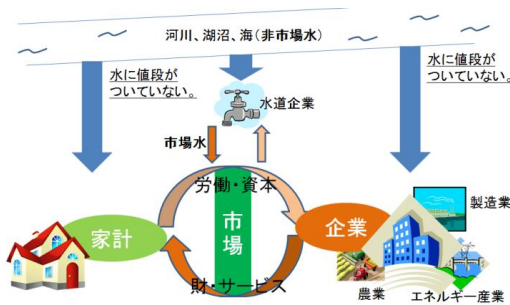


図-1 非市場水を考慮したCGEモデルの全体構成

地下水等の非市場水の扱いが重要であることから、岡川、増井の研究を参考に、非市場水を考慮したCGEモデルを構築し、それをネパールに適用して水マネジメント施策の有効性評価を行う。

(2) 本CGEモデルの概要

本研究で構築したCGEモデルは、地下水等の非市場水を考慮する点に違いがあるが、全体構成は標準的なCGEモデル⁹⁾と同様である。すなわち、社会には家計と企業が存在し、家計は生産要素（労働と資本）を企業に提供して所得を得る。そして得た所得を用いて、支出を最小とするように企業の生産する財・サービスを消費する。一方、企業は家計が提供する生産要素と中間財を投入し、費用を最小化するように行動して財・サービスの生産を行う。家計が財・サービスを消費する際、あるいは企業が中間財を投入する際には、市場を介した取引を行う。市場は、需要と供給が均衡するように財・サービス価格調整がなされることを想定する。

CGEモデルの長所として、必要なデータの量の少なさが挙げられる。原則、一年間の産業連関表があればよく、クーデターなどによって大きく経済・社会情勢が変化する途上国の経済分析などに有効とされている。発展途上国の産業連関表がアジア開発銀行により作成、公開されており⁹⁾、本研究でもその中のネパールの産業連関表に基づくデータを用いて分析を行うこととした。

本研究では、ネパール1国を対象として、そこに代表家計、産業部門ごと（ここでは15部門を想定）の代表企業からなるCGEモデルを用いる。ただし、地下水等の非市場水をモデルに導入した点異なる。モデルの全体構成を図-1に示す。家計、企業とも、水道部門を介して購入する水（これを市場水と呼ぶ）以外に、直接河川や井戸から取水する水（これを非市場水と呼ぶ）も消費、投入している。なお、この非市場水の投入については、自家生産部門を仮想的に設け、当該部門が非市場水を供給するものと想定する。

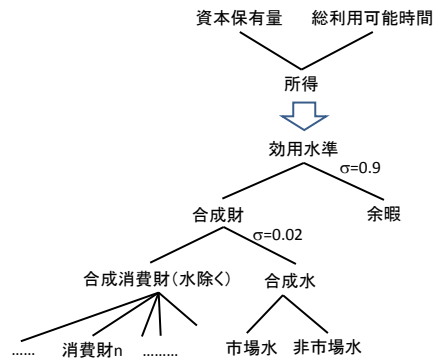


図-2 家計の行動モデルツリー

(3) 家計の行動モデル

家計は、生産要素（労働と資本）を提供して所得を得て、それを基に企業の生産する財・サービスを消費する。その行動モデルツリーを示したものが図-2である。このうちの最上位の行動モデルは、森杉が交通整備評価のために開発した空間的CGEモデル¹⁰⁾と同様であり、以下のように定式化される。

$$p_U U_H = \min_{z_H, l_{SH}} [p_{ZH} z_H + w_H l_{SH}] \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } U_H = \gamma_H \left[\alpha_{ZH} \left\{ \beta_{ZH} z_H \right\}^{\frac{\sigma_H-1}{\sigma_H}} + (1-\alpha_{ZH}) \left\{ (1-\beta_{ZH}) l_{SH} \right\}^{\frac{\sigma_H-1}{\sigma_H}} \right]^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H-1}} \quad (1b)$$

ただし、 z_H, l_{SH} ：家計の合成財消費量、余暇消費量、 p_{ZH}, w ：家計の合成財消費価格、賃金率（余暇価格）、 p_U ：効用価格、 U_H ：家計の効用水準、 $\alpha_{ZH}, \beta_{ZH}, \gamma_H$ ：パラメータ、 σ_H ：代替弾力性。

式(1)を解くと、以下のとおり合成財需要関数、余暇需要関数が得られる。

$$z_H = \frac{1}{\gamma_H \beta_{ZH}^{1-\sigma_H}} \left(\frac{\alpha_{ZH}}{p_{ZH}} \right)^{\sigma_H} \Psi_H^{\frac{\sigma_H}{1-\sigma_H}} \cdot U_H \quad (2a)$$

$$l_{SH} = \frac{1}{\gamma_H (1-\beta_{ZH})^{1-\sigma_H}} \left(\frac{1-\alpha_{ZH}}{w_H} \right)^{\sigma_H} \Psi_H^{\frac{\sigma_H}{1-\sigma_H}} \cdot U_H \quad (2b)$$

$$\text{ただし、} \Psi_H = \alpha_{ZH}^{\sigma_H} \left(\frac{p_{ZH}}{\beta_{ZH}} \right)^{1-\sigma_H} + (1-\alpha_{ZH})^{\sigma_H} \left(\frac{w_H}{1-\beta_{ZH}} \right)^{1-\sigma_H}.$$

式(2)を式(1)の目的関数に代入すると、以下のとおり効用価格が求められる。

$$p_U = \frac{1}{\gamma_H} \Psi_H^{\frac{1}{1-\sigma_H}} \quad (3)$$

式(1)の家計の効用水準の導出を示しておく。通常、家計の支出水準（式(1a)の左辺）が所得と一致する条件より、効用水準が求められるが、それに加え、ここでは非市場水の消費量によっても影響を受けるものとする。

すなわち、非市場水の消費により環境被害あるいは健康被害が発生する点を考慮するものである。ただし、これは外部性であると考え、それらの影響まで含めて非市場水の消費量の決定を家計は行わないものと仮定する。これより、家計の効用水準は以下より求められる。

$$U_H = \frac{I_H}{p_U} - \delta_E \cdot \overline{x_{W2H}} \quad (4a)$$

ただし、 I_H ：家計所得、 $\overline{x_{W2H}}$ ：家計の非市場水消費量を表すが、一度決定された非市場水消費量が外部性として影響を与えるものとする点を考慮するためを付記している、 δ_E ：非市場水の消費が環境あるいは健康にあたる影響の度合いを表すパラメータ。

なお、家計所得は以下より求められる。

$$I_H = [w\Omega_H + rK_H](1 - \tau_H) - S_H \quad (4b)$$

ただし、 Ω_H, K_H ：家計総利用可能時間、資本保有量、 τ_H ：所得税率、 S_H ：貯蓄額（固定とする）。

以上より、数値的にも式(2)の合成財および余暇の消費量が計算可能となる。

次に、得られた合成財需要に対し、まず合成水需要とそれ以外の合成財の消費量を決定する。そして、合成水消費については、市場水と非市場水の消費量を決定する。非市場水は、地下水等を直接取水するもので、市場では供給されない水である。それを本モデルでは、非市場水の自家生産部門を仮想的に設け、当該部門が供給するものとする。非市場水自家生産部門の行動モデルは後述するとして、ここではその供給された非市場水を需要する家計の行動モデルを先に定式化するものである。

合成水需要とそれ以外の合成財の消費量の決定は、以下の支出最小化モデルにより定式化される。

$$p_{ZH} z_H = \min_{z_{MH}, z_{WH}} [p_{MH} z_{MH} + p_{WH} z_{WH}] \quad (5a)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } z_H \\ = \gamma_{ZH} \left[\alpha_{MH} \{ \beta_{MH} z_{MH} \}^{\frac{\sigma_{ZH}-1}{\sigma_{ZH}}} + (1 - \alpha_{MH}) \{ (1 - \beta_{MH}) z_{WH} \}^{\frac{\sigma_{ZH}-1}{\sigma_{ZH}}} \right]^{\frac{\sigma_{ZH}}{\sigma_{ZH}-1}} \end{aligned} \quad (5b)$$

ただし、 z_{MH}, z_{WH} ：それぞれ水以外の合成財消費量および合成水消費量、 p_{MH}, p_{WH} ：家計の水以外の合成財消費価格、合成水価格、 $\alpha_{MH}, \beta_{MH}, \gamma_{ZH}$ ：パラメータ、 σ_{ZH} ：代替弾力値。

ここで、 σ_{ZH} は水以外の合成財消費と合成水消費の間の代替弾力性を表すパラメータである。水と他の合成財との間の代替性は低いと考えられ、後述する数値計算では $\sigma_{ZH} = 0.02$ として可能な限り小さな値として設定した。

式(5)を解くことにより、水以外の合成財需要関数、合成水需要関数が求められる。

$$z_{MH} = \frac{1}{\gamma_{ZH} \beta_{MH}^{1-\sigma_{ZH}}} \left(\frac{\alpha_{MH}}{p_{MH}} \right)^{\sigma_{ZH}} \Psi_{ZH}^{\frac{\sigma_{ZH}}{1-\sigma_{ZH}}} \cdot z_H \quad (6a)$$

$$z_{WH} = \frac{1}{\gamma_{ZH} (1 - \beta_{MH})^{1-\sigma_{ZH}}} \left(\frac{1 - \alpha_{MH}}{p_{WH}} \right)^{\sigma_{ZH}} \Psi_{ZH}^{\frac{\sigma_{ZH}}{1-\sigma_{ZH}}} \cdot z_H \quad (6b)$$

$$\text{ただし、} \Psi_{ZH} = \alpha_{MH}^{\sigma_{ZH}} \left(\frac{p_{MH}}{\beta_{MH}} \right)^{1-\sigma_{ZH}} + (1 - \alpha_{MH})^{\sigma_{ZH}} \left(\frac{p_{WH}}{1 - \beta_{MH}} \right)^{1-\sigma_{ZH}}.$$

式(6)を式(5)の目的関数に代入することにより、合成財価格が以下のとおり求められる。

$$p_{ZH} = \frac{1}{\gamma_{ZH}} \Psi_{ZH}^{\frac{1}{1-\sigma_{ZH}}} \quad (7)$$

以上により、水以外の合成財および合成水の消費量が求められる。このうち合成水合成水需要に対しては、市場水消費量と非市場水消費量を決定する。なお、水以外の合成財に対しても、個別財の消費量を決定することになるが、それらは既存のSCGEモデルあるいは式(5)～(7)の支出最小化問題と基本的に同様であるため、その定式化は割愛したい。

市場水と非市場水の決定に関する支出最小化問題は以下のとおり定式化される。

$$p_{WH} z_{WH} = \min_{x_{W1H}, x_{W2H}} [p_{W1} x_{W1H} + p_{W2} x_{W2H}] \quad (8a)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } z_{WH} \\ = \gamma_{WH} \left[\alpha_{WH} \{ \beta_{WH} z_{W1H} \}^{\frac{\sigma_{WH}-1}{\sigma_{WH}}} + (1 - \alpha_{WH}) \{ (1 - \beta_{WH}) z_{W2H} \}^{\frac{\sigma_{WH}-1}{\sigma_{WH}}} \right]^{\frac{\sigma_{WH}}{\sigma_{WH}-1}} \end{aligned} \quad (8b)$$

ただし、 x_{W1H}, x_{W2H} ：それぞれ市場水費量および非市場水消費量、 p_{W1}, p_{W2} ：市場水価格、非市場水価格、 $\alpha_{WH}, \beta_{WH}, \gamma_{WH}$ ：パラメータ、 σ_{WH} ：代替弾力値。

式(8)を解くことにより、市場水需要関数、非市場水需要関数が求められる。

$$x_{W1H} = \frac{1}{\gamma_{WH} \beta_{WH}^{1-\sigma_{WH}}} \left(\frac{\alpha_{WH}}{p_{W1}} \right)^{\sigma_{WH}} \Psi_{WH}^{\frac{\sigma_{WH}}{1-\sigma_{WH}}} \cdot z_{WH} \quad (9a)$$

$$x_{W2H} = \frac{1}{\gamma_{WH} (1 - \beta_{WH})^{1-\sigma_{WH}}} \left(\frac{1 - \alpha_{WH}}{p_{W2}} \right)^{\sigma_{WH}} \Psi_{WH}^{\frac{\sigma_{WH}}{1-\sigma_{WH}}} \cdot z_{WH} \quad (9b)$$

$$\text{ただし、} \Psi_{WH} = \alpha_{WH}^{\sigma_{WH}} \left(\frac{p_{W1}}{\beta_{WH}} \right)^{1-\sigma_{WH}} + (1 - \alpha_{WH})^{\sigma_{WH}} \left(\frac{p_{W2}}{1 - \beta_{WH}} \right)^{1-\sigma_{WH}}.$$

式(9)を式(8)の目的関数に代入することにより、合成水価格が以下のとおり求められる。

$$p_{WH} = \frac{1}{\gamma_{WH}} \Psi_{WH}^{\frac{1}{1-\sigma_{WH}}} \quad (10)$$

以上により家計の非市場水消費量が決定される。この消費によって家計の効用水準は増大することになる。た

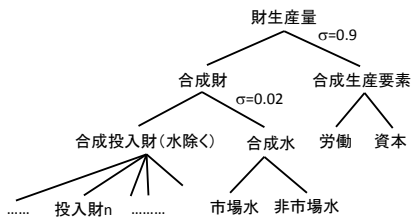


図-3 企業の行動モデルツリー

だし、それらの消費は環境被害、健康被害を生じさせる可能性がある。そこで、環境被害および健康被害の影響を効用水準に反映させたものが式(4)である。

(4) 企業の行動モデル

企業は家計が提供する生産要素と中間財を投入し、費用を最小化するように行動して財・サービスの生産を行う。 m 財を生産する企業の行動モデルツリーを示したものが図-3である。その最上位の定式化は以下のとおりである。

$$p_m y_m = \min_{z_m, cf_m} [p_{zm} z_m + p f_m c f_m] \quad (11a)$$

$$\text{s.t. } y_m = \gamma_m \left[\alpha_{zm} \{ \beta_{zm} z_m \}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} + (1 - \alpha_{zm}) \{ (1 - \beta_{zm}) c f_m \}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} \right]^{\frac{\sigma_m}{\sigma_m-1}} \quad (11b)$$

ただし、 $z_m, c f_m$: 企業 m の合成財投入量、合成生産要素投入量、 $p_{zm}, p f_m$: 企業 m の合成財価格、合成生産要素価格、 p_m : m 財価格、 y_m : m 財の生産量、 $\alpha_{zm}, \beta_{zm}, \gamma_m$: パラメータ、 σ_m : 代替弾力値。

式(11)を解くと、以下のとおり合成財需要関数、合成生産要素需要関数が得られる。

$$z_m = \frac{1}{\gamma_m \beta_{zm}^{1-\sigma_m}} \left(\frac{\alpha_{zm}}{p_{zm}} \right)^{\sigma_m} \Psi_m^{\frac{\sigma_m}{1-\sigma_m}} \cdot y_m \quad (12a)$$

$$c f_m = \frac{1}{\gamma_m (1 - \beta_{zm})^{1-\sigma_m}} \left(\frac{1 - \alpha_{zm}}{p f_m} \right)^{\sigma_m} \Psi_m^{\frac{\sigma_m}{1-\sigma_m}} \cdot y_m \quad (12b)$$

$$\text{ただし、} \Psi_m = \alpha_{zm}^{\sigma_m} \left(\frac{p_{zm}}{\beta_{zm}} \right)^{1-\sigma_m} + (1 - \alpha_{zm})^{\sigma_m} \left(\frac{p f_m}{1 - \beta_{zm}} \right)^{1-\sigma_m}.$$

式(12)を式(11)の目的関数に代入すると、以下のとおり m 財価格が求められる。

$$p_m = \frac{1}{\gamma_m} \Psi_m^{\frac{1}{1-\sigma_m}} \quad (13)$$

次に、企業も得られた合成財投入に対し、まず合成水需要とそれ以外の合成財の投入量を決定する。そして、合成水投入については、市場水と非市場水の投入量を決定する。非市場水は、家計の場合と同様、非市場水自家生産部門によって供給される。以上の行動モデルは、家

計の行動モデルにて示したものの枠組みは同様であるため、ここでは割愛したい。

(5) 水生産部門の行動モデル

水生産部門の中で、市場水生産部門は、これは通常的水道部門である。アジア開発銀行によって作成されたネパールの産業連関表⁹⁾においても「Collection, Purification and Distribution of Water」が存在しており、合計で707(million Nepalese rupees)の生産額となっている。これが水道部門、すなわち本モデルでいう市場水生産部門である。なお、これらの行動モデルは、3.(4)で示した企業の生産行動モデルと全く同じである。市場水生産部門も、生産要素および中間財を投入して、水の取水、浄化、配水を行うことによって水生産を行う。そして、それらは水市場に供給され、市場を介して家計および企業に需要されることになる。

一方、非市場水は市場において供給されない水である。すなわち、家計あるいは企業が、自身で井戸を掘ったり湧き水をくみ上げたりして取水する水である。しかし、その際にも井戸を掘ったり、その管理をしたり、水汲みもそこまで行き水を汲んできたり、その場の管理をしたり、実際には様々なコストがかかっている。これを、ここでは自家生産の概念に基づき定式化を行う。

自家生産とは、交通部門においてしばしば用いられる手法である。自家用車による交通は、実際には料金等を支払っていないが、自身で輸送サービスを生産しそれを自身で消費していると解釈できる。そして、仮想的にではあるが、自家輸送サービスの生産部門を設け、その生産行動を明示的に考慮したものが輸送に係わる自家生産である。太田、加藤、小島¹⁰⁾が指摘するように、自家輸送も経済を支える重要な要素であり、それらの国民経済的な意味での考慮が重要であるといえる。それらを踏まえ、ここでは非市場水の生産について自家生産していると解釈してモデル化を行う。

ただし、モデル化自体は、市場水生産部門と全く同様である。すなわち、非市場水生産部門も、生産要素と中間財を投入して非市場水を生産し、家計および企業に供給している。実際には、それらのデータをどのように作成するのが重要になる。この点は、次章の数値計算の設定において説明を行うことにする。

(6) 便益の定義

本研究では、水マネジメント施策の評価を行う際、便益の概念を用いる。ここでは、式(4a)の家計の効用水準に基づき、等価的偏差の概念によって以下のように便益を定義する。

$$\begin{aligned}
EV &= e(p_U^A, U_H^B) - e(p_U^A, U_H^A) \\
&= p_U^A \left(\frac{I_H^B}{p_U^B} - \delta_E \cdot \{x_{W2H}\}^B \right) - p_U^A \left(\frac{I_H^A}{p_U^A} - \delta_E \cdot \{x_{W2H}\}^A \right) \\
&= \frac{p_U^A}{p_U^B} I_H^B - I_H^A - p_U^A \delta_E \left(\{x_{W2H}\}^B - \{x_{W2H}\}^A \right)
\end{aligned} \quad (14)$$

第一項は、家計の財消費から得られる効用増加分の貨幣換算値である。第二項は、家計の非市場水消費が及ぼす環境および健康の被害費用変化を表す。以上により、水マネジメント施策の結果、非市場水の利用が抑制されることにより環境および健康被害が改善される効果とともに、施策の実施により経済的な負担が生じる場合には、家計消費の変化分としてそれらが評価されることになる。

4. CGEモデルによる水マネジメント施策評価

前章で構築したCGEモデルを適用して、ネパールにおける水マネジメント施策の評価を行う。そのためには、まずCGEモデルのパラメータ推定を行うためのデータセットを作成する必要がある。

(1) データセットの作成

CGEモデルの主要部分のパラメータ推定に必要な産業連関表については、既に述べたようにアジア開発銀行によって作成された「ネパール産業連関表2005」⁹⁾を用いる。しかし、その中には非市場水生産部門は考慮されていない。それらのデータの作成について以下で説明する。

まず、Frenken¹²⁾により取りまとめられた国際連合食糧農業機関（FAO）のレポートには、ネパールにおける総水需要の内訳が示されている。このうち、灌漑/家畜および産業の水需要は基本的には非市場水であると考えられる。そして、この中の市町村が、家計と業務系企業の水需要であり、これが市場水と非市場水に分けられるものと考えた。

そこで、市町村の総水需要147.6(million m³/年)を、産業連関表データ⁹⁾の「Collection, Purification and Distribution of Water」部門における家計と産業の水需要額により、家計と業務系企業の水需要に按分した。産業連関表の各水需要額は、家計が205(million Nepalese rupees)、企業が501(million Nepalese rupees)である。そして、それらを市場水と非市場水に分けたが、その比率は表-2の水道を水源とする割合45.0%を用いた。以上より、市場水および非市場水の内訳を含めた推計結果が表-3のようになる。

この結果を踏まえ、非市場水部門の水需要額を推計する。そのためには、非市場水の実質価格を設定する必要がある。これについては、データを得ることができなかったため、ここでは市場水の生産費用に対し、非市場水

表-3 ネパールにおける総水需要の内訳

	総水需要量	市場水	非市場水
灌漑/家畜	9,610.0	0	9610.0
市町村[家計]	42.9	19.3	23.6
[企業]	104.7	47.1	57.6
産業	29.5	0	29.5
合計	9,787.1	66.4	9,720.7

(単位: million m³/年)

の生産費用が1/20であると想定し、その結果価格も1/20として非市場水の家計および企業の需要額を算出した。以上により作成した産業連関表を表-4に示す。なお、表-4では、CGEモデルのパラメータ推定のために社会会計表に組み替えた形で示している。

作成した社会会計表に基づき、CGEモデルの生産関数および効用関数のパラメータ推定を行った。なお、その方法はCGEモデルで一般的なキャリブレーション手法¹³⁾を用いている。その結果については、紙面の都合上割愛したい。

(2) 水道整備の評価結果

水マネジメントに関し、まず水道整備事業を実施した際の評価にCGEモデルを適用した結果を示す。

本CGEモデルでは、水道整備事業を市場水生産部門の生産効率の向上により表現することとした。浄水場整備、水道管整備などの施設整備は、市場水生産部門の投入する資本投入効率が向上するものと考えられる。また、浄水の際に投入される薬品の性能向上などは中間投入財の効率化、浄水場にて働く人々の生産性も労働投入効率の向上と考えられる。

具体的な設定としては、まず資本投入効率の向上は7.5%とした。これは、「カトマンズ上水施設改善計画」¹⁴⁾に基づく水道施設の整備費用11.8億ルピーが、現在のネパールにおける水道施設ストック額158.2億ルピーの7.5%に相当することから設定したものである。この資本投入効率の向上のみを設定し、CGEモデル計算を行ったところ、市場水生産部門の生産量が2.7%増加する結果となった。しかし、計画ではカトマンズ盆地の給水量を113.1(m³/人年)から133.7(m³/人年)まで、18%増加させる予定となっている。そこで、市場水生産部門の生産量が18%増となるように、労働および中間財の投入効率の向上分を追加で設定した。その設定値は30%増である。

以上の市場水生産部門の資本投入効率および労働、中間財の投入効率の向上分を設定して、CGEモデル計算を行った結果を示す。まず図-4は、市場水と非市場水に関し、生産量と、中間需要および家計需要の変化率を示した結果である。これを見ると、水道整備により非市場水は14%ほど減少、市場水は1.4%ほど増加する結果となった。中間需要と最終需要については、企業と家計の市場水と非市場水の消費に関するパラメータがほとんど同じ

表4 ネパール社会会計表 (2005年)

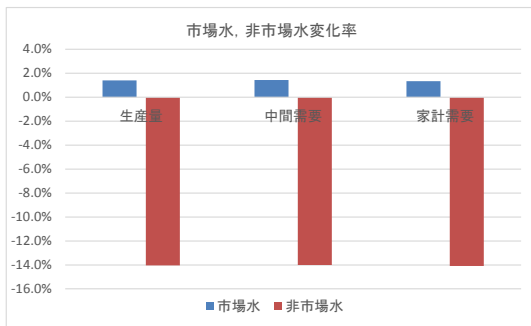
[illegible]

図4 水道整備の市場水、非市場水変化率

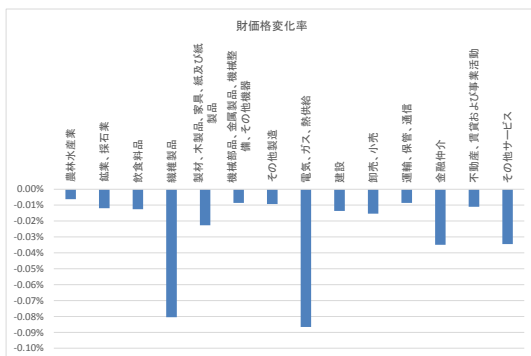


図-5 財価格変化率

表-5 費用便益分析結果
(億ルピー)

総便益	18.9
総費用	11.8
純便益	7.14

費用便益比	1.61
-------	------

になっているため、変化率も同程度となっている。これらについては、さらに細かいデータを収集する等して、現実的な評価が行えるように改善する必要がある。ただし、水道整備によりどの程度の量が非市場水から市場水に転換するのかを計量的に評価できた点が本研究の成果といえる。

本モデルでは、水道整備により市場水生産部門の生産効率が向上するとの想定となっている。これにより、市

場水価格が低下することになる。その効果が波及し、他の財についてもその価格が低下することになる。その結果を示したものが図-5である。これを見ると、繊維製品、電気・ガス・熱供給部門の財価格低下率が大い。これより、水道整備が産業に対しても、一定程度の効果をもたらすことがわかる。

以上の結果に対して、便益を計測した結果を示す。便益は、84.3(million Nepalese rupees)となった。これを社会的割引率4%、プロジェクトライフ50年として現在価値換算を行い、費用便益分析を行った結果を表-5に示す。この結果、純便益は7.14(億ルピー)であり、費用便益比は1.61となった。なお、整備費用は11.8(億ルピー)としている。また、式(14)では環境および健康被害の改善便益も考慮しているが、ここではパラメータ δ_e の設定が困難であったため、それらの計測は行っていない。今後の課題としたい。

5. おわりに

本研究では、ネパールにおける水マネジメント施策の評価を行うための応用一般均衡（CGE）モデルを開発し、ネパールを対象に数値計算による実証の評価を行った。具体的には、ネパールにおいて問題となっている井戸等による地下水を直接取水して飲料等に使用することによる環境、健康被害の問題に対し、それを市場を介さずに供給されるという意味で非市場水と呼び、非市場水を取り扱ったCGEモデルを開発した。実際に、データセットの作成の試みも行い、非市場水を明示的に取り扱った上で、水道整備事業を行うことによる効果の計測を行った。

次に、カトマンズの上水計画を基に、数値計算も実施した。その結果からは、費用便益比1.61との結果を得ることができ、実証分析にも有効であることが示された。

ただし、課題もいくつか残されている。まず、モデル上は水道整備事業の実施に伴う環境、健康被害の改善効果も計測できることになっているが、パラメータ推定が行えず、今回の計測では対象外となっている。この点の

改良が必要である。また、今回は数値計算の対象として水道整備事業のみを扱った。実際には、地下水の枯渇等の問題も懸念されていることから、そうした水資源の有効活用という観点からの水マネジメント施策の評価も行う必要がある。

謝辞：本研究は「SATREPS・ネパール水安全性プロジェクト（代表：風間ふたば（山梨大学国際流域環境研究センター）、Narendra Man Shakya（トリブバン大学））」の研究成果の一部である。研究代表の風間ふたば山梨大学教授をはじめ、プロジェクトに関係する先生方には貴重なご意見をいただいた。関係各位には、ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) Sadhana, S., E. Haramoto, R. Malla, K. Nishida : Risk of diarrhoea from shallow groundwater contaminated with enteropathogens in the Kathmandu Valley, Nepal, *Journal of Water and Health*, Vol.13, No. 1, pp.259-269, 2015.
- 2) 山田淳, 竹添明生 : ネパールにおける水道整備と地域住民の衛生環境改善公衆衛生研究（特集：開発途上国における水と衛生）, Vol.49, No.3, pp.259-265, 2000.
- 3) Khatiwada, Y.R. and V. Chairman : Report on the Nepal labour force survey, Central Bureau of Statistics National Planning Commission Secretariat Government of Nepal, pp.54-55, 2009.
- 4) 日引聡, 有村俊秀 : 入門 環境経済学—環境問題解決へのアプローチ, 中央公論新社, 2002.
- 5) Berrettella, M., A.Y. Hoekstra, R. Roson and R.S.J. Tol : The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis, *Water Research*, Vol.41, pp.1799-1813, 2007.
- 6) 岡徹, 高木朗義 : 節水と地域間の水融通による渇水リスク分散方法に関する基礎的分析, *土木計画学研究・論文集*, Vol.21, pp.375-384, 2004.
- 7) 岡川梓, 増井利彦 : 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, *上智経済論集*, Vol.57, No.1, 2, pp.55-74, 2011.
- 8) 日引聡 : 全球水資源モデルとの統合を目的とした水需要モデル及び貿易モデルの開発と長期シナリオ分析への適用, 国立環境研究所研究プロジェクト報告, 国立環境研究所, SR-104-2012, 2012.
- 9) Asian Development Bank : Nepal input-output tables, 2005, Data: Country Input-Output Tables and Analytical IO Matrices, 2012 (<http://adb.org/sites/default/files/icp/6483/retio-tables/nep-io-modelID.pdf>).
- 10) 森杉壽芳 : 交通ネットワーク均衡を明示的に組み込んだ SCGE モデルによる道路整備経済効果と便益の計測, *日交研シリーズ A-617*, 日本交通政策研究会, 2014.
- 11) 太田和博, 加藤一誠, 小島克巳 : 交通の産業連関分析（日本交通政策研究会研究双書（21））, 日本評論社, 2006.
- 12) Frenken, K. : Irrigation in Southern and Eastaern Asia in figures -Aqustat srvey 2011-, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Water Reports, No.37, pp.363-374, 2012.
- 13) 細江宣裕, 我澤賢之, 橋本日出男 : テキストブック 応用一般均衡モデリング プログラムからシミュレーションまで, 東京大学出版会, 2004.
- 14) 国際協力機構（JICA） : 無償資金協力に係るじぎょ評価表（案件名：カトマンズ上水施設改善計画）, 国際協力機構, 2003.

(2015. 8. 28 受付)

ECONOMIC EVALUATION OF WATER MANAGEMENT IN NEPAL

Shinichi MUTO, Ryohei FUKUCHI and Junko SHINDO

Though potential water resources are abundant in Nepal, it may generate states that supplies of water are not enough in dry seson. The water facilities are also insufficient, so people in Nepal have used groundwater from wells. The appropriate water managements which are include facility construction are necessary. In this paper, we built the computable general eaulibirium(CGE) model that incorporated non-market water such as graoundwater to evaluate some water managements. We become able to measure economic benefits generated through shift from using non-market water to ussing market water. And we carried out cost-benefit analysis of water facilities improvement planned in Kathmandu Valley.