

ネパールにおける水マネジメントの経済的評価

山梨大学 学生員 ○福地良平

山梨大学 正会員 武藤慎一

1. はじめに

ネパールはヒマラヤ山脈の南に位置し、潜在的な水資源は比較的豊富である。しかし、雨期と乾期があり、乾期には必ずしも十分な水資源が確保できるとはいえない状況になる。さらに、水利用あるいは水環境に係わる、いわゆる水マネジメント¹⁾が適切になされていないことにより、水不足が発生したり、水を原因とした健康被害が生じたりしている。

そこで本研究では、応用一般均衡（CGE：Computable General Equilibrium）モデルを用いて、ネパールにおける適切な水マネジメントのあり方について明らかとすることを目的とする。

2. ネパールにおける水マネジメントの必要性

ネパールは発展途上の国であり、首都であるカトマンズを中心に人口もまだ増加する傾向にある。また、観光業を中心に経済発展も今後急速に生じる可能性が高い（図-1参照）。そうすると、水需要も増大することになり、水マネジメントの重要性がますます高まるものと考えられる。

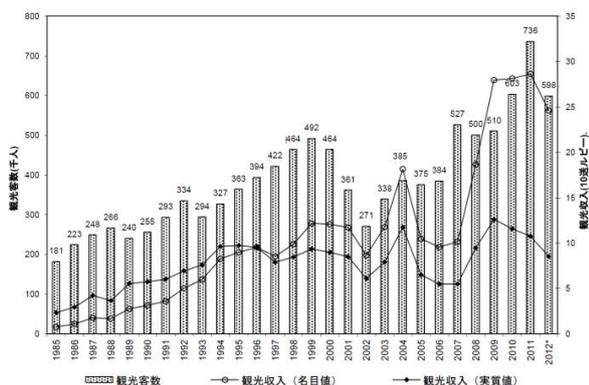


図1：ネパールへの入国者数と観光収入の推移

適切な水マネジメントを実行するには、水利用の観点と水環境の観点から考える必要がある。水利用の観点からは、水需要を満たす水供給を確実に行うことが重要となる。今後の水需要については、家計

の人口増加および産業の経済発展の状況に左右されると考えられる。

一方、水供給については、ネパールでは水道部門による水供給がなされている。元々ネパールでは、1974年以降、各国あるいは赤十字、NGOの援助により、水道整備がなされてきた。その結果、ネパールでの水道管へのアクセス率は88%と高い割合となっている²⁾。水道供給部門は主に上流河川から取水し、一定程度の処理を行った上で水道管を介して水を供給している。しかし、その処理は必ずしも十分なものではなく、結果的には一週間に6時間程度しか給水されないというのが現状である。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、井戸からの取水に頼る傾向が続いている。

井戸水については、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は下痢等の健康被害を受けているようである。

その地下水は、特に乾期になるとその存在量が減少する傾向にある。また、地下水の分布も時期、あるいは年を経るごとに変わってしまい、井戸の枯渇の問題なども発生している。この水利用について、ネパールの状況を整理したものが図2である。

ネパールでは、今後の人口増、産業の経済発展等により、水需要がますます増加する可能性が高い。一方、水供給側は、地下水に頼った状況では枯渇の

| | 水源 |
|----------------------------------|------------------|
| 1. 水道 ① 屋内の蛇口 ② 屋外の共用水栓 | 主:河川水 副:深層地下水 |
| 2. 河川まで歩く(水源1) ① 水道にほぼ成り変わった。 | 主:河川水 |
| 3. 井戸(水源2) ① ポンプ井戸 ② 手汲み井戸 | 主:浅層地下水 |

図 2 : 水利用と水源

問題、水質の維持の問題に支障をきたす。そのため、水マネジメントとしては、浄水施設の整備を含めて水道の整備を進め、さらに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ではないかと考えられる。こうした水マネジメントを検討するためには、家計の水需要だけではなく産業側の経済発展に伴う水需要の変化も把握し、それに対応した水供給が可能となるのかを分析することが必要となる。

そこで、本研究では、産業部門の行動モデルも考慮されている CGE モデルを用いた検討を行う。ただし、CGE モデルは産業関連データをベースにモデル化され分析が行われるため、産業関連表に存在しないデータについては原則評価できないという問題があった。本研究で考慮する必要がある地下水は、基本的には料金が課されない取引であるため、産業関連表のデータには含まれていない。しかし、この地下水（これを、市場を介して取引されない水ということで“非市場水”と呼ぶ）をモデルで扱わなければ、適切な水マネジメントを検討することはできない。そこで、次節では、まず非市場水を考慮した CGE モデルを構築し、そして、それに基づくネパールでの適切な水マネジメントについて検討を行うことにする。

3. 非市場水を考慮した CGE モデルの概要

本研究で用いる CGE モデルの基本的構造は標準的な CGE モデル⁵⁾と同様である。すなわち、市場には家計と企業が存在し、家計は生産要素（労働と資本）を企業に提供し所得を得る。家計は企業から得た所得を基に、効用が最大化（支出最小化）するように企業の生産する財・サービスを消費する。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

小化するよう行動し生産を行う。この企業と家計との関係の間には、市場が存在しそこで需要と供給が常に均衡状態となることを想定する。

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。原則一年間のデータがあれば良く、クーデータ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である。

(1) 非市場水を考慮した CGE モデルの概要

本研究では、代表家計、産業部門ごとの代表企業からなる一地域15部門のモデルを用いる。ただし、地下水等の非市場水をモデルに導入した点が異なる。モデルの全体構成を図3に示す。

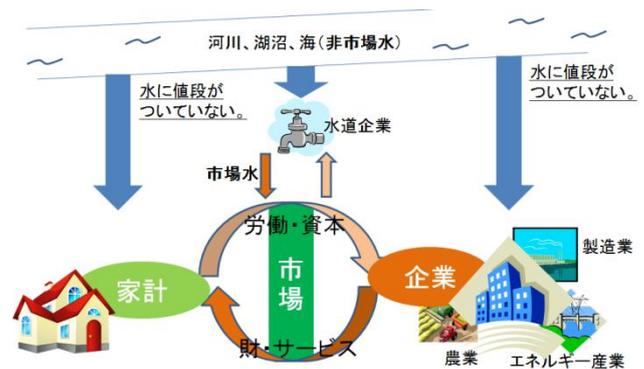


図 3 : CGE モデルと非市場水の位置づけ

(2) 家計の行動モデル

家計の行動モデルは、効用制約化での支出最小化問題により定式化を行う。本来階層化してモデル化されるがその最上位の定式化が以下である。

$$P_U U_H = \min_{z, l_s} [p_z \cdot z + w_H l_s] \quad (1a)$$

$$st. U_H = \gamma \left[\alpha \{ \beta z \}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) \{ (1-\beta) l_s \}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1b)$$

ただし、 U_H : 効用水準、 z, l_s : 合成財, 余暇の消費量、 α, β, γ : パラメータ ($0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$)、 σ : 代替弾力パラメータ、 p_z, w_H : 合成財価格, 合成賃金率。式(1)は効用関数を Barro 型 CES 関数により特定化したものとなっている。

式(1)の最適化問題を解くと以下のように需要関数が得られる。

$$z = \frac{1}{\gamma \cdot \beta^{1-\sigma}} \left(\frac{\alpha}{p_z} \right)^{\sigma} \psi^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} \cdot f \quad (2a)$$

$$l_s = \frac{1}{\gamma \cdot (1-\beta)^{1-\sigma}} \left(\frac{1-\alpha}{w_H} \right)^{\sigma} \psi^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} \cdot f \quad (2b)$$

$$\text{ただし、 } \psi = \alpha^{\sigma} \left(\frac{p_z}{\beta} \right)^{1-\sigma} + (1-\alpha)^{\sigma} \left(\frac{w_H}{1-\beta} \right)^{1-\sigma} \quad (2c)$$

式(4)の需要関数を式(3)の目的関数に代入すれば効用関数 U_H の価格 P_U が導出できる。

$$P_U = \frac{1}{\gamma} \psi^{1-\sigma} \quad (3)$$

U_H は効用水準であり、家計が市場から調達する財・サービスは本モデルをベースに、さらに階層構造によってモデル化している。しかし、非市場水はそこには含まれていない。そこで、家計の水需要は家計の効用水準に乗じて決定されると考える。そこでここでは、簡略化して次式のような U_H に比例的に非市場水を含む水需要が決まるものとする。

$$X_{wH} = \mu_H U_H \quad (4)$$

ただし、 X_{wH} ：家計の総水需要、 μ_H ：パラメータ（単位効用当たりの水需要量）。

(3) 企業の行動モデル

企業の行動モデルも本来は階層的にモデル化される。その最上位の合成中間財と合成生産要素の投入に関する費用最小化モデルが以下である。

$$P_m Y_m = \min_{z_m, c f_m} [q_{z_m} \cdot z_m + (1 + \tau_m) p f_m c f_m] \quad (5a)$$

$$\text{s.t. } Y_m = \gamma_m \left[\alpha_{z_m} \left\{ \beta_{z_m} z_m \right\}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} + (1 - \alpha_{z_m}) \left\{ (1 - \beta_{z_m}) c f_m \right\}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} \right]^{\frac{\sigma_m}{\sigma_m-1}} \quad (5b)$$

ただし、 Y_m 、 P_m ：財生産量と財価格、 z_m 、 q_{z_m} ：合成中間財投入量と合成中間財価格、 $c f_m$ 、 $p f_m$ ：合成生産要素投入量と合成生産要素価格、 τ_m ：純間接税率、 α_{z_m} 、 β_{z_m} 、 γ_m ：分配パラメータ及び効率パラメータ、 σ_m ：代替弾力性パラメータ。

また、非市場水と市場水の質は同じものと仮定し、次式のように

$$X_{wm} = \mu_m Y_m \quad (6)$$

企業の水需要： X_{wm} は生産額： Y_m に比例的に決まるものとする。

(4) 市場の均衡条件

本 CGE モデルにおける市場均衡条件式は以下のよう記述できる。

$$\text{財市場： } \sum_m x_{nm} + x_{nH} + x_{nG} + x_{nGI} + x_{nI} = Y_n \quad (7a)$$

$$\text{労働市場： } \sum_m l_m = L_H \quad (7b)$$

$$\text{資本市場： } \sum_m k_m = K_H \quad (7c)$$

ただし、 x_{nm} 、 x_{nH} 、 x_{nG} 、 x_{nGI} 、 x_{nI} ：企業 m 、家計、政府、投資、域外移輸出、域外移輸入の各部門の財投入量 n の消費量、 Y_n ：財 n の生産量、 l_m ：企業 m が投入する労働投入量、 L_H ：家計の労働投入量、 k_m ：企業 m が投入する資本投入量、 K_H ：家計の資本供給量。

式(7)をとくことにより、各財の均衡価格、均衡賃金率、均衡利子率が求められ、本 CGE モデルの一般均衡体系をとくことが可能となる。

(5) 市場水、非市場水の定義

市場均衡条件のうち式(7a)には市場水も含まれる。

$$\sum_m x_{wm} + x_{wH} + \dots = Y_w \quad (8)$$

ただし、 w ：水道部門。しかし今家計及び企業が必要とする水需要は X_{wH} 、 X_{wm} で表される。その差が非市場水によって賄われているとすると非市場水の取水量は以下の通りとなる。

$$\text{家計の非市場水取水量： } X_{wH} - x_{wH}$$

$$\text{企業の非市場水取水量： } X_{wm} - x_{wm}$$

4. 水マネジメントの検討及び計側結果

以上のモデルを用いて、まず地下水の枯渇問題に関わる水マネジメントを検討する。地下水が枯渇しないようにするには、地下水の持続可能使用量を設定し非市場水取水量をそれ以下に抑える様な水マネジメントが必要になる。これは、式(9)のように表される。

$$\bar{X}_w \geq X_{wH} - x_{wH} + \sum_m (X_{wm} - x_{wm}) \quad (9)$$

家計の非市場水と企業の非市場水の合計が地下水持続可能使用量： \bar{X}_w を超えないよう式(9)のように表現できる。この制約式(9)式を満たすようにネパールにおける水マネジメントを考えていく。

a) 地下水の需要抑制シミュレーション

近年人口増加、経済成長により水需要の増加が考えられるネパールにおいて何の対策もなく企業が際限なく地下水を取水すると家計が十分取水できない以下の①の状況が考えられる。

①家計のみが水需要を抑制して(7)式を満たすケース

そこで、家計のみに被害が及ぶ①の状況を改善し経済学的に水の配分を考え行った状況が②となる。

②課税をし(7)式を満たすように、水需要を本当に必

要としている個所に分配させるケース

①のケースでは、

$$X_{wH} - \bar{X}_{wo} = \mu_H U \tag{10}$$

(9)式の地下水持続可能使用量を超える水需要: \bar{X}_{wo} の分だけ家計の水需要: X_{wH} が減少する構造になっているので、(10)式より家計の水需要の減少の分だけ効用の低下がみられる。

②のケースでは、

$$T^d = (\tau^d + \xi_H \tau^w) \sum_h p_h^f FF_h \tag{11}$$

$$p_i^x = (1 + \tau_i^z + \xi_m \tau^w) p_i^z \tag{12}$$

直接税率: τ^d に地下水抑制税: $\xi_H \tau^w$ を加え第 h 生産要素の価格: p_h^f と第 h 生産要素の家計における初期賦存量: FF_h の積の合計が直接税収額: T^d となるように家計の課税を決め間接税率: τ_i^z に地下水抑制税: $\xi_m \tau^w$ を加え税抜き価格: p_i^z を掛けることによって税込価格: p_i^x を定義し企業の課税とする。

$$\xi_H = \frac{X_{wH} - X_{wH}}{Y_H} \tag{13a}$$

$$\xi_m = \frac{X_{wm} - X_{wm}}{Y_m} \tag{13b}$$

また、 ξ は非市場水を部門別の生産額で除したものでこれを非市場水 1m³あたりの価格: τ^w でかけたものが地下水抑制税となる。(11)式(12)式(13)式によって水需要のうち非市場水の割合が多い部門に、より多く課税がかかるように設定できるようになっている。表 1 に計測結果を示す。

表 1: 地下水抑制の便益

| | ①家計負担 | ②課税 |
|-----|------------|-----------|
| 不便益 | 5776 億ルピー | 19.4 億ルピー |
| 税収 | 0 | 20.3 億ルピー |
| 総便益 | -5776 億ルピー | 8100 万ルピー |

家計負担の①のケースでは、不便益が多く出てしまうが課税をすることによって地下水を抑制でき効用の低下が抑えられているのが確認できる。

b) 水道整備シミュレーション

水道整備としては、水道部門の投入する資本と労働、中間財の投入効率が向上するものと想定した。今回の計測では、現在ネパールで行われているメラムチの上水道整備の投資額を参考に資本を向上させ、労働と中間投入の投入効率は資本と同じだけ上昇さ

せた値を用いている。

水道整備による便益は 5400 万ルピーとなり他部門への波及効果では、繊維製品、電気・ガス熱供給、その他サービス部門の生産量上昇、建設、機械部品部門の低下が主に見られた。なお鉱業においては 1.7% と他の部門と比べて大幅な生産量アップがみられたがこの部門はもともと国内でも生産量が低い産業で有ったためこのような大幅な結果が出たと考えられる。図 4 は整備を行った水道・廃棄物処理部門と鉱業・採石部門を除いたグラフになる。

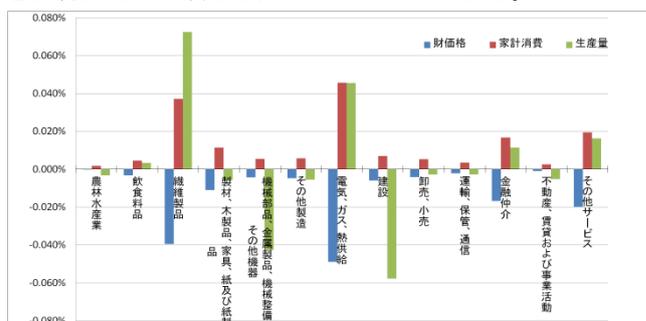


図 4: 水道整備波及効果の変化率

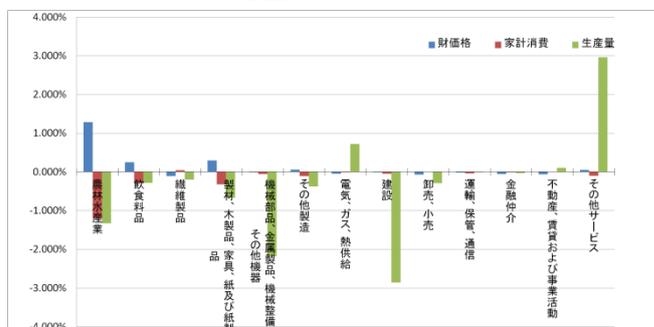


図 5: 水道整備、課税による波及効果の変化率

次に課税を行った後に水道整備を行った結果を図 5 に示す。便益は 1.8 億ルピーとなり、便益は増加する結果となった。

5. 結論

本稿では、ネパールにおける水マネジメントを地下水の需要抑制を中心に応用一般均衡モデルを用いた経済的な評価を試みた。

今後は、整備設定の精緻化等の課題に取り組む。

謝辞: 本研究は SATREPS プロジェクトの一環である。プロジェクト代表の山梨大学風間ふたば教授には有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 卯月勝:世界的な水ビジネス展開に向けて--わが国の水マネジメントの実績を踏まえて,調査レポート(66),16-28,2009
- 2) 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,東京大学出版,2004.