

ネパール・カトマンズにおける水資源管理を考慮した水道整備プロジェクト評価

山梨大学 学生会員 ○川崎 朗

山梨大学 正会員 武藤 慎一

山梨大学 学生会員 平林 和樹

1. はじめに

ネパールの首都であるカトマンズでは、産業発展や観光業の発展により都市部での著しい人口増加が発生している。この人口増加により、水不足の問題が発生している。ネパールは世界の淡水資源の約 2.3%を有しており、水資源は豊富であるといえる。しかし、カトマンズでは適切な水道整備が行われないまま発展してきたため、安定した水供給ができていない状況にある。そのため、住民は不足している水量を井戸水などの非市場水を使用しているが、十分な排水処理がされていないため、河川水や地下水が汚染され、地下水利用による健康被害が懸念されている。このような状況の中、ネパール政府は国家開発戦略の最上位に位置している「第 13 次アプローチペーパー」¹⁾において、安全な飲料水と衛生サービスの提供を優先課題として挙げている。また、「国家水計画」では 2017 年までに全ての人に信頼できる給水および衛生サービスを提供するとの目標を掲げていた¹⁾。カトマンズにおいても、水道整備の計画はあるものの、予算不足や水資源の枯渇や汚染などの問題により、円滑に進められていない。そのため、外国資本を導入したメラムチ給水プロジェクトが事業として進められている。メラムチ給水プロジェクトとは、カトマンズの水不足を解決するために、メラムチ川から約 26 キロメートルの導水トンネルを掘り、浄水場・水道管の整備と水道事業の民間委託を目的とするプロジェクトである²⁾。しかし、今回のメラムチ給水プロジェクトでカバーできる給水エリアは、カトマンズ盆地の全てとはなっておらず、その他の地域の給水をどうするのか、あるいはカトマンズ盆地内に存在する河川や地下

水などの水資源を活用せず、メラムチ川という外部水資源に頼ることは許容されるのかなどの疑問が呈されている。すなわち、カトマンズ内の水不足問題は、水資源の管理を十分に行い、それを有効活用していくことによっても改善される可能性がある。こうした水資源の管理の問題に対し、水循環と経済循環の統合化を図り、どのような水資源の活用が、経済循環に与える影響まで含めて効果的であるのかを検討することが必要である。そこで、本研究では水循環と経済循環を統合的に扱うフレームワークを SEEA に基づき作成し、それを一般均衡型 CUE モデルによりモデル化を行い、政策評価に適用することを目的とする。

2. カトマンズの水需給の現状

ネパールは豊富な水資源を有しているが、給水サービスは不十分であり、上水道普及率（パイプ給水）は全国で 18%（都市部 53%、農村部 10%）となっている¹⁾。こうした状況下、カトマンズ盆地でも水需給ギャップが存在している。国連が定めている、人が一日生活するうえで必要な水の量は 50L/D であり、これにカトマンズ盆地の人口を掛けると、カトマンズ盆地における家計の水需要は約 125MLD となる。それに対して、供給量は雨季で 140MLD、乾季で 100MLD となっており、その中で家計に給水される量は、雨季で 42MLD、乾季で 50MLD となっている（図-1）。企業と家計の給水量は、水道企業が給水している量を、カトマンズの産業連関表の水道部門への投入金額で按分して求めた。

キーワード：整備評価 一般均衡型 CUE モデル 便益評価

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科, TEL. 055-220-8599,

E-mail : t13ce024@yamanashi.ac.jp

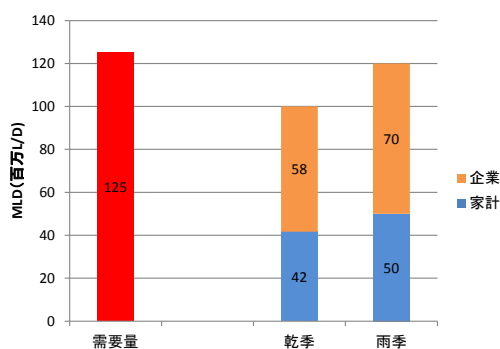


図-1 カトマンズの水需給ギャップ

3. 環境・経済統合勘定体系 (SEEA) の概要

環境中の経済活動を捉えるものとして、環境・経済統合勘定体系 (以下 SEEA とする) がある。SEEA は、経済活動中の環境保護活動や環境の悪化を捉え、「環境と経済の相互関係の把握」、「持続可能な開発のためのマクロ経済指標の開発」を目標として、国民経済計算体系と連携を保った外部勘定として提唱されたものである³⁾。この SEEA では、企業が物を生産する際に環境中から投入する資源の量と、生産するにあたって環境中に排出される残留物の量、再利用される資源の量を捉えることが可能である。SEEA における環境資源の循環の模式図を図-2 に示す。

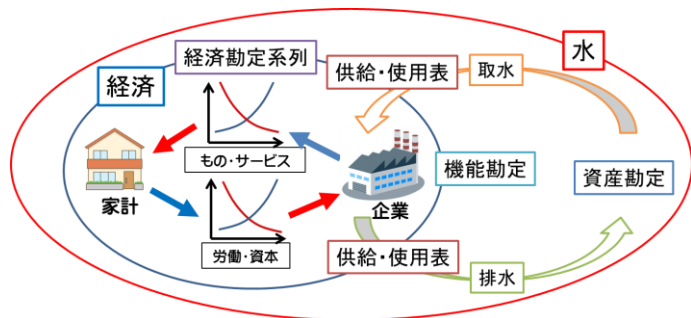


図-2 SEEA の模式図

SEEA では、経済活動中の資源の流れを捉えるために、自然投入、生産物、残留物のフローを記録する「供給・使用表」、環境に関する取引とフローを記録する「経済勘定系列」、各会計期間の機種・期末時点の環境資産のストックを記録する「資産勘定」、環境目的で実行された経済活動に関する取引やその他の情報を記録する「機能勘定」の4つを測定している。しかし、カトマンズで SEEA を作成するに当たり、まずはカトマンズの社会会計表 (SAM) を作成した。これは、ネパールの SAM

を、ネパールの75の郡の従業人口で按分することで作成した。次に、カトマンズでの産業と家計の水供給の推計を行った。カトマンズでデータが取得できなかった一次産業と二次産業の非市場水投入量の推計は、山梨県で一次産業と二次産業の非市場水の投入量を計測し、推計を行った。各産業の市場水投入量は、市場水の給水量をカトマンズの産業連関表の水道部門の投入量で案分して求めた。家計の非市場水の投入量は家計の水需要量から市場水の給水量を引くことで求め、三次産業の市場水と非市場水投入量は、家計と同じ割合で投入していると仮定し、非市場水の投入量を求めた。次に、資産勘定を作成した。水資源量は地下水の推計を行い、カトマンズの地下水資源量は28.4(百万 m³/年)となった (図-3)。

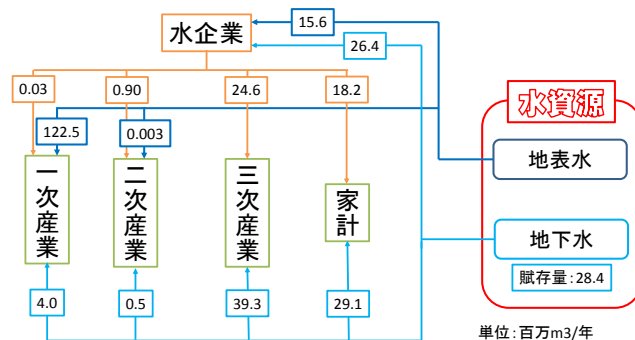


図-3 カトマンズの産業と家計の水供給

4. 評価モデル

4.1. 一般均衡型 CUE モデルの概要

ここでは、VDC・Ward ごとに水処理施設を整備し、市場水の量が増加した場合の評価を行う。本モデルはカトマンズ盆地全体を対象とし、88の VDC・Ward に分割されているものとする。各 VDC・Ward には、家計と15部門からなる企業、市場水企業、仮想的に設定した非市場水企業が存在する。ただし、市場水の供給量は得られているため、その供給量を用いて市場水企業の技術パラメータを設定する。また、市場水が不足している VDC・Ward では、不足分を地下水などの非市場水でまかなっているとする。この非市場水は、仮想的に設定した非市場水企業によって供給されるものとする。

4.2. 企業の行動モデル

まず、各企業の行動モデルを示す。ただし、市場水企業、非市場水企業も同じ枠組みの行動モデルである。各企業の生産行動モデルツリーを図-4に示す。企業は中間財と市場水、非市場水、労働と資本を投入して財を生産している。定式化はCGEモデルを参考に階層的に行う。

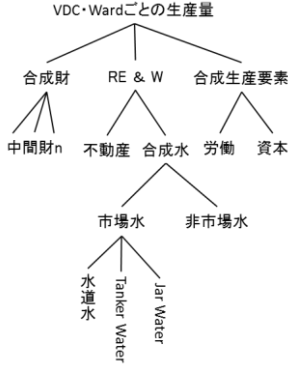


図-4 企業の行動モデルツリー

図-4の最上位の費用最小化問題は以下の通りに定式化される。

$$p_W^i y_W^i = \min_{Z_{MW}^i, Z_{WW}^i, cf_W^i} (p_{Z_{MW}}^i Z_{MW}^i + p_{Z_{REW}}^i Z_{REW}^i + p_{cf_W}^i cf_W^i) \quad (1a)$$

$$s.t. y_W^i = \gamma_W^i \left[\alpha_{Z_{MW}} \left\{ \beta_{Z_{MW}} Z_{MW}^i \right\}^{\frac{\sigma_W-1}{\sigma_W}} + \alpha_{Z_{REW}} \left\{ \beta_{Z_{REW}} Z_{REW}^i \right\}^{\frac{\sigma_W-1}{\sigma_W}} + \alpha_{cf_W} \left\{ \beta_{cf_W} cf_W^i \right\}^{\frac{\sigma_W-1}{\sigma_W}} \right]^{\frac{\sigma_W}{\sigma_W-1}} \quad (1b)$$

ただし、 y_W^i, p_W^i ：地域*i*での水(w)の生産量と価格、 $Z_{MW}^i, Z_{REW}^i, cf_W^i$ ：地域*i*での水企業での合成財、合成水、合成生産要素の投入量、

$p_{Z_{MW}}^i, p_{Z_{REW}}^i, p_{cf_W}^i$ ：地域*i*での合成財価格、合成水価格、合成生産要素価格、

$\alpha_{Z_{MW}}, \alpha_{Z_{REW}}, \alpha_{cf_W}, \beta_{Z_{MW}}, \beta_{Z_{REW}}, \beta_{cf_W}, \gamma_W^i$ ：パラメータ、 σ_W 代替弾力性パラメータ。

式(1)の最適化問題を解くと、次のような需要関数が得られる。

$$Z_{MW}^i = \frac{1}{\gamma_{Z_{MW}}^i (\beta_{Z_{MW}}^i)^{1-\sigma_W}} \left(\frac{\alpha_{Z_{MW}}^i}{p_{Z_{MW}}^i} \right)^{\sigma_W} \psi^{\frac{\sigma_W}{1-\sigma_W}} \cdot y_W^i \quad (2a)$$

$$Z_{REW}^i = \frac{1}{\gamma_{Z_{REW}}^i (\beta_{Z_{REW}}^i)^{1-\sigma_W}} \left(\frac{\alpha_{Z_{REW}}^i}{p_{Z_{REW}}^i} \right)^{\sigma_W} \psi^{\frac{\sigma_W}{1-\sigma_W}} \cdot y_W^i \quad (2b)$$

$$cf_W^i = \frac{1}{\gamma_{cf_W}^i (\beta_{cf_W}^i)^{1-\sigma_W}} \left(\frac{\alpha_{cf_W}^i}{p_{cf_W}^i} \right)^{\sigma_W} \psi^{\frac{\sigma_W}{1-\sigma_W}} \cdot y_W^i \quad (2c)$$

$$\text{ただし、} \psi = \sum_n \alpha_n^{\sigma_W} \left(\frac{p_n^i}{\beta_n} \right)^{1-\sigma_W}$$

式(2)の需要関数を式(1)に代入すれば水価格 p_W^i が導出できる。

$$p_W^i = \frac{1}{\gamma_W^i} \psi^{\frac{1}{1-\sigma_W}} \quad (3)$$

図-5の他の行動モデルも式(1)~(3)と同様に定式化する。

4.3. 家計の行動モデル

次に、家計の行動モデルを示す。図-5に家計の行動モデルツリーを示す。



図-5 家計の行動モデルツリー

家計の行動モデルは、Barro型CES効用関数一定制約下での支出最小化問題により定式化する。ここでは、市場水と非市場水の需要モデルの定式化を示す。

$$q_{WH}^i z_{WH}^i = \min_{x_{MWH}^i, x_{NMWH}^i} (p_{MWH}^i x_{MWH}^i + p_{NMWH}^i x_{NMWH}^i) \quad (4a)$$

$$s.t. z_{WH}^i = \gamma_{WH}$$

$$\left[(1 - \alpha_{NMWH}) \left\{ (1 - \beta_{NMWH}) \cdot x_{NMWH}^i \right\}^{\frac{\sigma_{WH}-1}{\sigma_{WH}}} + \alpha_{NMWH} \left\{ \beta_{NMWH} \cdot x_{NMWH}^i \right\}^{\frac{\sigma_{WH}-1}{\sigma_{WH}}} \right]^{\frac{\sigma_{WH}}{\sigma_{WH}-1}} \quad (4b)$$

ただし、 x_{MWH}^i, x_{NMWH}^i ：市場水需要量、非市場水需要量、 p_{MWH}^i, p_{NMWH}^i ：市場水価格、非市場水価格、 $\alpha_{NMWH}, \beta_{NMWH}, \gamma_{WH}$ ：パラメータ、 σ_{WH} 代替弾力性パラメータ

式(4)の最適化問題を解くと、次のような需要関数が得られる。

$$x_{MWH}^i = \frac{1}{\gamma_W \cdot (1 - \beta_{NMWH})^{1-\sigma_W}} \left(\frac{1 - \alpha_{NMWH}}{p_{MW}^i} \right)^{\sigma_{WH}} \psi_{WH}^{\frac{\sigma_{WH}}{1-\sigma_{WH}}} \cdot z_W^i \quad (5a)$$

$$x_{NMWH}^i = \frac{1}{\gamma_W \cdot (\beta_{NMWH})^{1-\sigma_W}} \left(\frac{\alpha_{NMWH}}{p_{NMW}^i} \right)^{\sigma_{WH}} \psi_{WH}^{\frac{\sigma_{WH}}{1-\sigma_{WH}}} \cdot z_W^i \quad (5b)$$

$$\text{ただし, } \psi_{WH} = \sum_n \alpha_n^{\sigma_W} \left(\frac{p_n^i}{\beta_n} \right)^{1-\sigma_W}$$

式(5)の需要関数を式(4)に代入すれば合成水需要関数 z_{WH}^i の価格 q_{WH}^i が導出できる。

$$q_{WH}^i = \frac{1}{\gamma_{WH}} \psi_{WH}^{\frac{1}{1-\sigma_W}} \quad (6)$$

4.4. 便益評価

水処理施設整備の便益を等価的偏差 EV (EV: Equivalent Variation) により計測する。EV は次のとおり求められる。

$$EV^i = P_U^i (V_H^{iB} - V_H^{iA}) \quad (7)$$

ただし、A: 整備なし、B: 整備あり、 p_U^i : 地域 i の効用価格、 V_H^i : 地域 i の効用水準

V_H^i は図-5 より各財の消費量、余暇および水消費から得る効用である。

5. 便益計測結果

今回は、カトマンズにおいて上水道整備が行われた場合に発生する便益を計測する。カトマンズの 87 の VDC・Word で上水道が仮想的に整備されたとした。なお、これはメラムチ給水プロジェクトの対象地域である。モデルでは、水企業の技術パラメータが向上し、水需要の弾力性を向上したケースを計算した (図-6)。

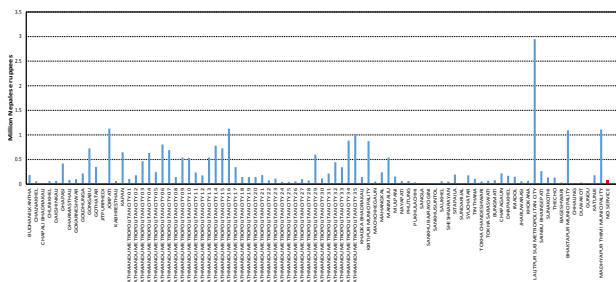


図-6 VDC・Word 別便益

総便益は 0.52 (million Nepalese rupees/year) となり、整備したすべての VDC・Word で便益が発生している。また、整備対象地域外でも便益が発生していることがわかる。

次に、各企業の財生産量変化率と財価格変化についてみる (図-7)。

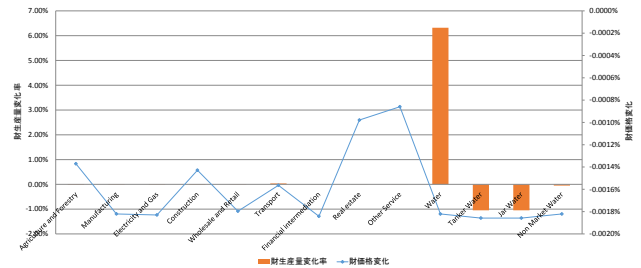


図-7 財生産量変化率と財価格変化

市場水部門の中でも水道水の生産変化率が大きく変化しており、それに伴って Tanker Water と Jar Water の生産変化率が減少している。これは、市場水部門の需要量が増加し、その中でも水道水の需要量が高まったためである。

6. 終わりに

本研究では、カトマンズの各産業と家計が取水している市場水と非市場水の量を、SEEAW の体系で作成を行い、上水道整備の評価を行った。しかし、カトマンズの水資源量の推計と、上水道整備による生産量変化によって、水資源に与える影響を評価できなかった。今後は、カトマンズの水資源量の推計と、生産量変化によって発生する水資源への影響を考慮したい。

・参考文献

- (1) SATREPS「事業事前評価表」, https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2013_1300771_1_s.pdf
- (2) 独立行政法人 国際協力機構「ネパール王国向け円借款について」, <https://www.jica.go.jp/press/archives/jbic/japanese/base/release/oec/2000/A05/B0501/nr65d.html>
- (3) 内閣府「平成 24 年度水に関する環境・経済統合勘定の推計作業報告書」, <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/satellite/kankyoku/contents/e-eco20140218.html>