

# 断水時の家計の水使用行動のモデル化と 応急給水方法改善の便益評価

開発情報工学研究室 板谷真悟

## 1. はじめに

地震などの災害が発生して水道システムが破壊すると応急給水が実施される。阪神・淡路大震災などを教訓に、各水道事業者では応急給水対策が検討されているが、給水利用者にとっての効果が十分検討されているとはいえない。利用者にとっての応急給水対策の便益を定量評価することが必要である。

本研究では災害時に応急給水を利用する状況を想定した家計の水使用行動をモデル化した。そして応急給水環境が改善することで得られる便益を消費者余剰を用いて算定し、定量評価した。

## 2. 災害時水使用行動モデル

### 2.1 災害時の家計の水使用行動

応急給水時は給水拠点から家庭まで水を運ばなければならないため、獲得できる水量が厳しく制限される。したがって家計は水使用行動に優先順位をつけ、必要

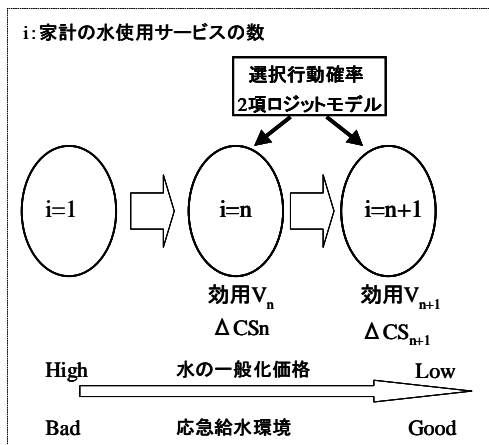


図1 災害時水使用行動モデル

最小限の使用にとどめる。災害時の家計の水使用行動モデルの概略を図1に示す。

炊事、洗濯などの水使用行動を個々のサービスと考えると、家計は水と時間を投入して水使用サービスを自ら生産、消費し、効用を得ていると考えられる。また、応急給水環境に応じて水使用の生産サービス数を決めるものとする。現在  $n$  サービス生産している状態から応急給水環境が改善されると  $n+1, n+2, \dots$  と1サービスずつ増やしていくと考える。

応急給水環境を「水の一般化価格」の指標で表し、これを式(1)に示す。

$$w_1 = \frac{w_2 T}{\sum_i q_i} \quad (1)$$

$w_1$  は水の一般化価格、 $w_2$  は労働賃金率、 $T$  は単位水量獲得時間、 $q_i$  は個々の水使用サービスに消費する水量を表す。

水使用サービスを  $n$  サービス消費しているときの家計が得る効用を  $V_n$  とする。

そして応急給水環境が改善すると式(1)の単位水量獲得時間  $T$  が短縮し、水の一般化価格  $w_1$  が下がる。それによって家計の効用  $V_n$  が上がり、消費者余剰が変化する。これを  $\Delta CS_n$  で表す。

さらに水の一般化価格  $w_1$  が下がると、ある時点で家計は水使用を  $n+1$  サービス消費することに行動を変える。このときの選択行動確率を2項ロジットモデルを用いて表す。

### 2.2 家計の効用最大化行動

家計が水使用サービスを生産、消費することで得られる効用について図2のモデルで表す。

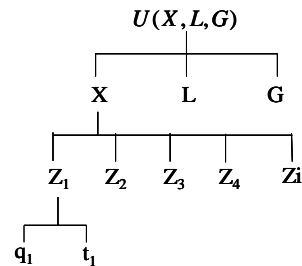


図2 家計の水使用サービスの効用最大化モデル

家計は時間  $q_i$  と水量  $t_i$  を投入して炊事、洗濯など個々の水使用サービス  $z_i$  を生産している。生産関数を Cobb-Douglas型とし、これを制約条件式として費用最小化をはかると考える。これを式(2)(3)で表す。

$$c_i = p_i z_i = \min_{q_i, t_i} \{w_1 q_i + w_2 t_i\} \quad (2)$$

$$s.t. \quad z_i = f_i(g_i, t_i) = A_i q_i^{\alpha_i} t_i^{1-\alpha_i} \quad (3)$$

$p_i, c_i$  は  $z_i$  の価格関数と費用関数で、 $f_i$  は生産関数を表す。 $\alpha_i$  は生産技術係数とする。

そして家計は個々の水使用サービス  $z_i$  を組み合わせで効用  $X$  を得ている。全水使用サービスの生産費用は個々の水使用サービスの生産費用  $C_X$  を最小化することで得られ、これを式(4)(5)で表す。

$$C_X = \min_{z_i} \sum_i p_i z_i \quad (4)$$

$$s.t. \quad X = X(z_i) = \min\{b_i z_i\} \quad (5)$$

$X(z_i)$  は生産関数を表す。個別の水使用サービス

$z_i$  は規模に関して収穫一定で、サービス間に代替不可能な Leontief 型を用いる。

そして家計は全水使用サービスからの効用  $X$  と余暇  $L$ 、合成財  $G$  を投入し、所得制約のもとで効用最大化をはかる。これを式 (6) (7) で表す。

$$V(P_X, P_L, I) = \max_{X, L, G} \{U(X, L, G) = X^\alpha L^\beta G^{1-\alpha-\beta}\} \quad (6)$$

$$s.t. \quad P_X X + P_L L + G = I \quad (P_L = w_2) \quad (7)$$

$P_X, P_L, I, w_2$  はそれぞれ全水使用サービスの生産価格、余暇の生産価格、総所得、労働賃金率を表す。

### 2.3 水使用サービス選択行動確率

家計が水使用を  $n$  サービス消費することから  $n+1$  サービス消費することに行動を変える場合を離散選択行動と考える。選択行動確率は 2 項ロジットモデルを用いて式 (8) のように表せる。

$$P_n = \frac{1}{1 + e^{-(aV_n + bV_{n+1} + c)}}, \quad P_{n+1} = 1 - P_n \quad (8)$$

$P_n, P_{n+1}$  は  $n$  サービス、 $n+1$  サービスの選択行動確率を表す。 $V_n, V_{n+1}$  はそれぞれ  $n$  サービス、 $n+1$  サービスから得られる効用で式 (6) より求めたものである。ここでは効用  $V_n, V_{n+1}$  を固有変数としており、係数  $a, b, c$  を最尤推定法でパラメータ推定する。

### 2.4 応急給水環境改善による消費者余剰の変化

応急給水環境改善で水の一般化価格が低下すると、水使用サービスの生産価格が低下し、消費者余剰の変化が発生する。消費者余剰の変化  $\Delta CS$  は式 (9) で求められる。

$$\Delta CS = \int_{P_{X1}}^{P_{X2}} \frac{dV}{\lambda} = - \int_{P_{X1}}^{P_{X2}} X_0(P_X, P_L, I) dP_X \quad (9)$$

$\lambda$  はラグランジュ乗数、 $X_0$  は水需要関数を表す。 $V$  は式 (6) で求めた間接効用関数である。

### 2.5 選択行動確率を用いた消費者余剰変化の計測

水使用サービスの消費数を決める行動に確率を考えて計算するときの期待余剰の計測法は以下の式で与えられる。

$$\int_{w_1^*}^{w_1^3} Z(w_1^*) P_n(w_1^*) dw_1 \quad (10)$$

ただし  $w_1$  は水の一般化価格を表し、 $Z(w_1^*)$  は選択行動を変えるときの消費者余剰変化を表し、 $P_n(w_1^*)$  は  $n$  サービスを消費するときの確率を表している。

### 3. 事例による検討

構築した災害時の家計の水使用行動モデルを事例分析として 2001 年広島県芸予地震で断水した地域における応急給水に関する住民アンケート調査データに適用し、家計の水使用サービス消費の行動別に間接効用関数のパラメータを推定した。

そして水の一般化価格低下を想定し、消費者余剰の

変化を計測した。また水使用サービス消費の行動を変える場合を選択行動確率の変化をもとに、消費者余剰の変化を計測した。家計の水使用サービスの消費行動

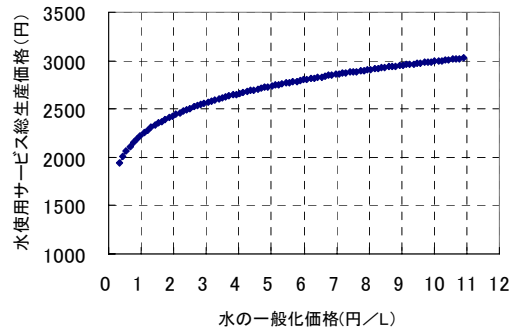


図3 水の一般化価格と水使用サービス総生産価格 (3サービスの家計)

は3サービス消費(トイレ、炊事、洗濯)と4サービス消費(トイレ、炊事、洗濯、風呂)を検討した。

### 3.1 応急給水環境改善で発生する消費者余剰

3 サービスを消費した家計の水の一般化価格は平均 6.2 (円/L) であった。水の一般化価格変化に伴う水使用サービスの生産価格の変化を図 3 に示す。

水の一般化価格が現在の半額に下がると仮定すると、水使用サービスの総生産価格は 2817 円から 2581 円に下がり、消費者余剰の変化は式 (6) より、 $\Delta CS = 250$  (円/人・日) と計算できる。

### 3.2 水使用サービス選択行動確率と消費者余剰

家計が水使用を 3 サービス消費から 4 サービス消費する行動に変える場合を考える。実際には 3 サービスを消費したある家計において、水の一般化価格が変化した場合の選択行動確率の変化を図 4 に示す。

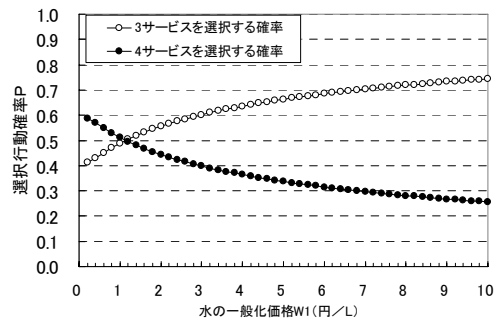


図 4 水の一般化価格と水使用サービス選択行動確率

水の一般化価格は 3.5 (円/L) であった。仮にこれが 0.6 (円/L) まで低下すると仮定したとき、期待余剰は式 (10) を用いて 321 (円/人・日) と求められた。

### 4. まとめ

本研究では災害時の家計の水使用行動をモデル化し、応急給水環境が改善したときの便益を消費者余剰変化で算定した。利用者にとっての応急給水対策の効果を定量評価する手法の 1 つを提案できたと考える。しかし、事例分析に用いたデータではモデルのパラメータ推定値の精度が良くない箇所があった。さらに事例分析を重ねてモデルの検証を行うことが今後の課題となる。