

B-41 人口低密地域における応急給水体制の整備効果の検討モデル

鳥取大学社会開発システム工学科

細井由彦・小池淳司・増田貴則・○田中恵実

1. はじめに

応急給水拠点を設けて給水を行う体制を整備する場合、給水拠点の密度をどの程度にして給水を得るための時間をどの程度にするかが一つの重要な因子と考えられる。とくに人口が低密な地域においては、管路の耐震化や耐震水槽等の設置により給水拠点を増やすには大都市域に比べて費用がかかる割には効率性が悪く、慎重な検討が必要である。本研究では給水拠点から水を運んできて家庭内で使用する場合の水使用行動を記述するモデルを作成し、給水拠点数を増やす（水の獲得のための時間を短縮する）便益を計測することを試みる。

2. 家庭における水使用行動モデル

給水拠点から水を得て家庭で利用するうえで、水量を確保するために時間を必要とする。給水拠点が遠いほど水を得るためには時間を必要とし、他のことに利用する時間が減少する。また家庭内でも水使用行動をするにあたり直接蛇口から水が出るのではなくため置いた水を利用するので時間を要する。

そこで限られた時間を水の獲得とそれを使った水使用行動により生産される水使用サービス X 、余暇 L 、合成財 G の消費に配分し効用の最大化を図っていると考えてモデル化を行う。モデルの概要を図1に示す。

図1 モデルの概要

時間 T_0 をかけて獲得した水量 Q を全ての水使用行動に消費するものとする。水の価格 w_1 は次式で表すことができる。

$$w_1 = w_2 T_0 / Q \quad (1) \quad \text{ただし} \quad Q = \sum_i t_i \quad (2)$$

$$\text{家計の行動を表す。} \quad V(P_X, w_2, I) = \max_{X, L, G} \{U(X, L, G)\} \quad (3) \quad \text{制約条件} \quad P_X X + w_2 L + G = I \quad (4)$$

P_X , w_2 , I は水使用サービスの価格、時間価値、家計の可処分所得である。 $U(X, L, G)$ は家計の直接効用関数、 $V(P_X, w_2, I)$ は間接効用関数である。

水使用サービスは個別の水使用サービス z_i を投入要素として、費用を最小化の条件の下で生産されると考え次式で表す。

$$C_X(\cdot, p_i, \dots, X) = P_X X = \min_{z_i} \sum_i p_i z_i \quad (5) \quad \text{制約条件} \quad Z(\dots, z_i, \dots) = X \quad (6)$$

ここで $Z(\dots, z_i, \dots)$ は個別水使用サービスを投入要素として水使用サービスを生産する家計生産関数、 p_i は z_i の価格、 $C_X(\dots, p_i, \dots, X)$ は費用関数である。

さらに炊事、トイレの使用など個別の水使用サービス z_i は、水 q_i と時間 t_i 、市場財 g_i を投入要素として費用最小化を目指して生産される。

$$c_i(w_1, w_2, z_i) = p_i z_i = \min_{q_i, t_i, g_i} (w_1 q_i + w_2 t_i + g_i) \quad (7) \quad \text{制約条件} \quad f_i(q_i, t_i, g_i) = z_i \quad (8)$$

$f_i(\cdot)$ は個別水使用サービス z_i の家計生産関数、 $c_i(\cdot)$ は費用関数である。

式(3)で与えられる間接効用関数の全微分は Roy の恒等式と所得の限界効用 λ を用いて次式のように変形される。

$$\begin{aligned} dV &= \frac{\partial V}{\partial P_x} dP_x + \frac{\partial V}{\partial w_2} dw_2 + \frac{\partial V}{\partial I} dI = -X(P_x, w_2, I) \frac{\partial V}{\partial I} dP_x - L(P_x, w_2, I) \frac{\partial V}{\partial I} dw_2 + \frac{\partial V}{\partial I} dI \quad (9) \\ &= -\lambda X dP_x - \lambda L dw_2 + \lambda dI \end{aligned}$$

応急給水環境の改善は時間の価値 w_2 や総所得 I には影響を及ぼさないものとする、つぎのように価格単位での効用変化が得られる。 $dV / \lambda = -X(P_x, w_2, I) dP_x$ (10)

応急給水環境の改善により水の価格が変化し、それが水使用サービスの価格 P_x を変化させる。その便益は上式より消費者余剰の変化 ΔCS として次式で計測される。

$$\Delta CS = \int dV / \lambda = \int -X(P_x, w_2, I) dP_x \quad (11)$$

式(4)で示される家計の制約条件の具体的な形は、1日の可処分所得を労働に当てることのできる全ての時間 T_0 の価値とするとつぎのように与えられる。

$$w_1 \sum_i q_i + \sum_i (w_2 t_i + g_i) + w_2 L + G = w_2 T_0 \quad (12)$$

3. 生産関数およびパラメータの推定

2003 年十勝沖地震による断水被害地に対するアンケート結果を用いて個別水使用サービスの生産関数型とパラメータ値を定めた。手洗い・洗面、洗濯、入浴においては使用水量に関わらず消費時間の差は少なかったため、投入要素は水量のみで、水量に依存してサービス生産レベルが変化するとした。トイレについてはデータより水と時間を投入要素とする Leontief 型生産関数とした。炊事は水、時間、市場財を投入要素とする Cobb-Douglas 型生産関数を仮定した。結果は以下の通りである。水量の単位は L、時間は分である。

手洗い・洗面 ($i=1$) $z_1 = q_1$ これより価格は $p_1 = w_1$

トイレ ($i=2$) $z_2 = \min\{\frac{q_2}{4}, t_2\}$ (Leontief 型) これより価格は $p_2 = 4w_1 + w_2$

炊事 ($i=3$) $z_3 = q_3^{0.05} t_3^{0.53} g_3^{0.42}$ (Cobb-Douglas 型) これより $p_3 = (w_1 / 0.05)^{0.05} (w_2 / 0.53)^{0.53} (1/0.42)^{0.42}$

洗濯 ($i=4$) $z_4 = q_4$ これより $p_4 = w_1$

入浴 ($i=5$) $z_5 = q_5$ これより $p_5 = w_1$

個別水使用サービスを投入要素とする水使用サービス X の生産関数は Leontief 型とし、家計の効用関数には Cobb-Douglas 型を仮定した。水使用サービス生産関数および家計の間接効用関数は以下になった。

$$X = \min\{0.1z_1, z_2, 0.0041z_3, 0.25z_4, 0.0185z_5\}$$

$$V(P_x, w_2, I) = (0.243 / P_x)^{0.243} (0.403 / w_2)^{0.403} (0.354)^{0.354} I$$

これより P_x が変化した場合の消費者余剰変化はつぎのように計算することができる。

$$\Delta CS = - \int_{P_{x1}}^{P_{x2}} X_0(P_x, w_2, I) dP_x = - \int_{P_{x1}}^{P_{x2}} \frac{0.243}{P_x} dP_x = -0.243 \ln \left(\frac{P_{x2}}{P_{x1}} \right)$$

4. 数値例

前節で求めた結果より、水の価格の変化が及ぼす影響の例を示す。図2は給水量、図3は個別の水使用行

動である手洗い・洗面、トイレ、炊事に使用する水量を示している。いずれも水の価格が上昇すると減少する傾向にある。図4は個別の水使用サービスを組み合わせて生産される水使用サービスの価格で、水価格の増加とともに増加している。図5は水使用サービス価格と水使用サービス需要の関係を示している。応急給水環境の改善が水の獲得時間を減少させ、水の価格を減少させる。それが水使用サービス価格 P_x の減少につながり（図4）、図5で示される ΔP_x と X で囲まれる消費者余剰の変化として現れる。

図6は実際の水道事業体の給水区域を示している。▽で示される16カ所の応急給水拠点（配水管の耐震化済み）に対しさらに☆で示される18カ所を整備した場合、各地区の消費者余剰の変化は図中の塗り分けのようになる。それぞれの地区の人口を考慮すると、この整備により1日あたりの便益は1613万円と評価される。

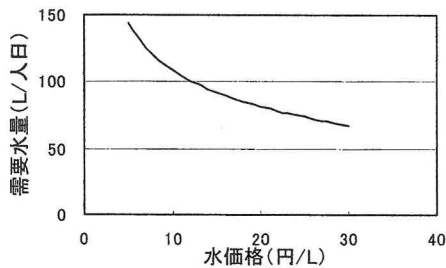


図2 水の価格と需要水量の関係

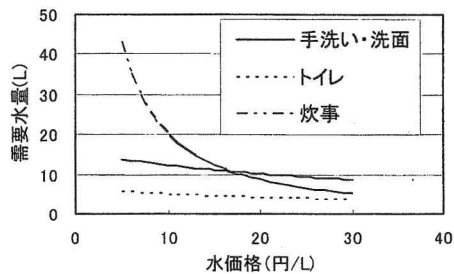


図3 水の価格と各水使用行動の需要水量

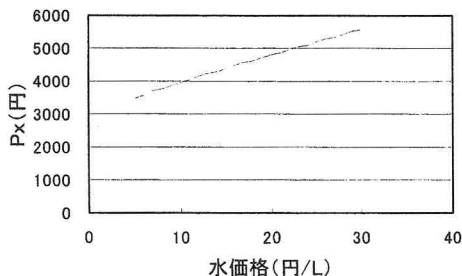


図4 水の価格と水使用サービスの価格

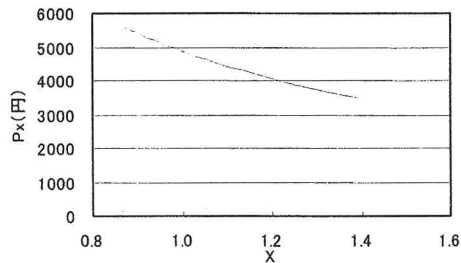


図5 水使用サービスの需要曲線

5. あとがき

本研究では応急給水拠点の設置の効果を計量するために応急給水環境のもとでの水使用のモデル化を行った。人口の低密な地域では応急給水拠点の数と場所は住民生活に大きな影響を与える。同時に財源不足の中で給水拠点整備を含めた事業の優先順位を合理的に決定して効率的な投資を行うことが求められる。このような定量的評価方法はそれに寄与できると思われる。

