

渇水時における減圧給水方策に関する考察

一 効率性・衡平性を考慮して一

鳥取大学工学部

正会員 ○多々納 裕一

鳥取三洋電機株式会社

正会員

中村 明博

1. はじめに

現在の日常生活は水供給の「安定性」、「信頼性」を前提として営まれている。ひとたび渇水が生じると、社会全体に及ぼす影響は甚大なものとなる。このため、渇水に対する対応策を事前に講じておき、水供給の「安定性」、「信頼性」の水準を確保・向上させることが重要である。渇水時には取水制限が行われるため、給水制限を実施し水需要を抑制するという給水管理を実施することが必要である。このように渇水時の給水管理を行う際には、効率的な水の配分を行うことが重要であるが、これに加えて水需要者間の不公平を是正するような衡平な配分を実現するように管理をしていくことが望ましい。本研究では、取水制限の程度に応じて効率的で衡平な渇水時の水供給を実現する給水管理方策を事前に検討するための方法論を提示する。

2. 研究の枠組み

減圧給水による給水制限が実施されると、家計は給水圧の低下に直面し、水の使用量を減少させる。このとき、家計の効用水準は平常時と比べて低下する。さらに、このようにして生じる家計の厚生の変化は、管路形態や地理的条件等によって地域間で較差を生じやすい。従って効率性・衡平性の観点から望ましい給水管理方策を検討することが重要となる。この際、減圧給水に対して家計の厚生の地域的な分布を考慮し、減圧給水代替案を評価し得る分析モデルを構築することが不可欠である。本研究では、家計の水需要モデルを連動させた管路シミュレーションモデルを構築し、減圧給水代替案に対応した厚生の地域的な分布を算定する。さらに、この結果をアトキンソン指標を用いて効率性・衡平性という観点から総合的に評価する方法を提案する。

3. モデルの定式化

本研究では家計の水需要モデルを連動させた給水管

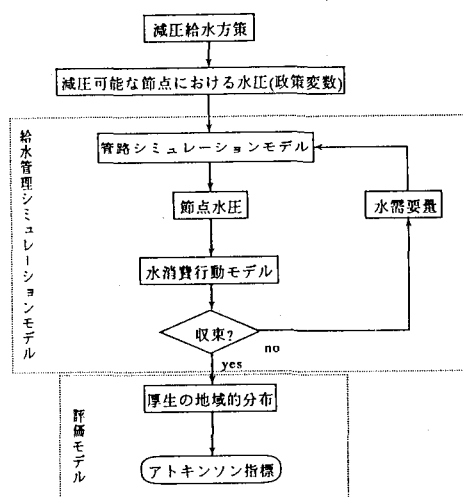


図-1 モデルの全体構成

理シミュレーションモデルと評価モデルにより、減圧給水管理方策を効率性・衡平性の観点から総合的に評価するためのモデルを図-1のように構成する。

(1) 給水管理シミュレーションモデル

給水管理シミュレーションモデルは以下の2つのサブモデルで構成される。

i) 管路シミュレーションサブモデル

節点エネルギー位法を利用した管網計算モデルを基に、家計の水需要関数を内生化したモデルを構築する。

$$\begin{cases} Q_{ij} = R_{ij} |E_i - E_j|^{a-1} (E_i - E_j) \\ \sum_j Q_{ij} + M_i T x_i(\tau) = 0 \\ \tau = \frac{\xi}{\frac{\pi l^2}{4} (E_i - h_i - \frac{v^2}{2g})} \end{cases}$$

Q_{ij} は流量、 E_i は節点 i のエネルギー位、 M_i は節点 i の人口、 T は時間係数、 l は給水栓の口径、 ξ は給水栓での損失係数、 h_i は地盤高、 v は流速、 g は重力加速度、 $x_i(\tau)$ は家計の水需要関数を示している。

ii) 家計の水消費行動サブモデル

並河らが提案した家計の水消費行動モデルを用い

る。すなわち水需要関数

$$x_i(\tau) = \left(\frac{p + \tau w}{c_1} \right)^{\tau-1} \left\{ c_1 \left(\frac{p + \tau w}{c_1} \right)^{\tau} + c_2 \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\tau} + c_3 \left(\frac{q}{c_3} \right)^{\tau} \right\}^{(1-\tau)/\tau} z$$

及び、効用関数

$$V_i(\tau) = u(\psi) = e^{-\left(\sum_i \alpha_i \ln \psi_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln \psi_i \ln \psi_j \right)}$$

を用いる。ただし、 $\psi = (\pi_i(\tau)/Y, w/Y, 1/Y)$ である。また、 $\pi_i(\tau)$ はコモディティプライスであり家庭内サービス1単位当たりの生産費用を与える。なお z は家計の生産関数、 p は水の価格、 q は一般財の価格、 w は賃金率、 Y はfull-incomeである。

(2) 評価モデル

供給量に対する家計の厚生を評価する際には、効率性・衡平性という2つの視点から行うことが重要である。効率性・衡平性にはトレードオフの関係があるため、これらを同時に分析可能なアトキンソン指標 W を用いる。

$$\begin{cases} W = \bar{V} \left\{ \frac{1}{n} \sum_i \left(\frac{V_i(\tau)}{\bar{V}} \right)^{1-\epsilon} \right\}^{\frac{1}{1-\epsilon}} & (\epsilon \neq 1) \\ W = \bar{V} \left\{ \prod_i \frac{V_i(\tau)}{\bar{V}} \right\}^{\frac{1}{n}} & (\epsilon = 1) \end{cases}$$

$V_i(\tau)$ は家計の効用関数、 $\bar{V}$ は効用の平均値、 n は流域内の世帯数を示している。なお ϵ は、効率性と衡平性のトレードオフを示すパラメータである。

4. 数値計算事例

沖縄県玉城村を対象地区とした給水管理シミュレーションを行う。玉城村の流域内には配水池が1、配水タンク（減圧槽）が8、節点が69（配水池及び配水タンクを含める）存在する。玉城村の管路は直列配置の送水系統であるため上流の配水池での減圧による影響が下流部まで行き届かない。そこで、流域内に点在する配水タンクの水压を調整することにより、効率的な減圧給水を実施する必要がある。小流域内に配水タンク1つが含まれるように計9つの小流域に分割した。各小流域のつながりを図-2に示す。給水制限率5%の減圧給水方策の代替案を設定した。具体的には、以下の代替案を想定し分析を行った。

「代替案1:各小流域の給水量が一律に5%削減されるように水压を設定する。」「代替案2:代替案1を基準として人口が多い小流域の水压を増加させ、人口の少

ない小流域の水压を減少させる。」「代替案3:平常時において比較的水圧が高めになっている小流域の水压を減少させ、平常時に水圧が低い節点が存在する小流域の水压の減少量を低く抑える。」である。

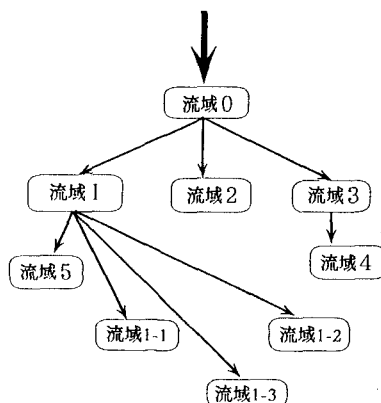


図-2 流域の構成

管路シミュレーションを行い各家計の水消費量及び厚生を計算した。さらに算出された厚生を評価モデルで集計し、 ϵ の変化に伴うアトキンソン指標値を算出した。その結果を図-3に示す。

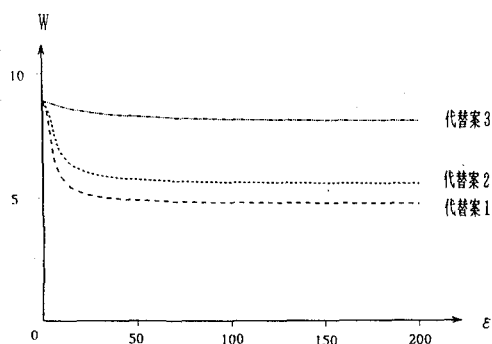


図-3 代替案の評価指標値

5. おわりに

本研究では、家計の水需要モデルを連動させた管路シミュレーションモデルを構築し減圧給水代替案に対応した厚生の地域的分布を算定した。さらにこれをアトキンソン指標を用いて効率性・衡平性という観点から総合的に評価する方法を提案した。今後は代替案の設計に関してコンプレックス法などを用いた最適化を行い、効率性・衡平性を最大化し得るような給水管理方策を求める予定である。