

流量以外の要因を考慮した渇水被害額の予測手法についての検討

筑波大学大学院 学生会員 ○金子 貴洋, 筑波大学大学院 学生会員 向田 隼
筑波大学システム情報系 正会員 白川 直樹

1. 序論

近年, 温暖化の影響による少雨や気温上昇により全国で渇水が増加しており, 将来の社会変化を考慮した対策が求められている. 渇水対策を効率的に実施する為には渇水の被害を適切に評価することが重要となる.

厚生労働省で用いられている評価手法では, 渇水被害額は基準渇水流量から算出された給水制限率を用いて算定している. しかし, 渇水は流量だけではなく少雨による貯水量減少, 高温による使用水量の増加など様々な現象に起因して発生している. また, 給水制限率は取水制限やそれに応じて行われる減圧給水や時間断水など様々な渇水対応に影響される. 従って, 現行の評価手法では渇水被害を捉えきれず被害額を正確に評価出来ていないと推測される. そこで本研究では, 流量以外の要因と実際の渇水対応を考慮した給水制限率の算出手法について検討し, 渇水被害額の予測手法改善を図った. 給水制限率の算出には取水制限日の判別, 取水制限率の算出, 給水制限率の算出の 3 つの行程を設けた.

2. 給水制限率算出モデルの構築

2.1. 対象都市

松山市を対象として給水制限率を算出するモデルを構築した. 松山市が取水を行う重信川では, 一級水系の中でも取水制限が頻繁に実施されている. また給水域内に存在するダムは石手川ダムのみであり, 他の水系と比べて渇水が水利用に及ぼす影響を評価し易いと判断した. また, 対象期間は 2002 年から 2012 年とした.

2.2. 取水制限日の判別

渇水の要因として水需要に関係する流量, 降水量, 気温, 人口, 水供給に関係する工業用水を選んだ. また, それぞれの変数について水需給との関係を考慮して時系列を決定し, 最高気温, 1 週間降水量, 2 か月降水量, 流量, 人口, 工業用水 6 項目を用いて取水制限

実施の有無を判別することとした. 取水制限実施の有無はマハラノビス距離を用いて判別した. ある日の観測データ $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n]^T$ から各群の標本平均 $\boldsymbol{\mu}^{(k)}$ への平方距離 $\mathbf{D}^{(k)2}$ (マハラノビス距離) は標本平均ベクトル $\boldsymbol{\mu}^{(k)}$ と分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}^{(k)}$ を用いて以下の様に定義され, 観測データはマハラノビス距離の小さい方の群に判別される.

$$\mathbf{D}^{(k)2} = \left(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}^{(k)} \right)^T \boldsymbol{\Sigma}^{(1)-1} \left(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}^{(k)} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \mu_i^{(k)}) (x_j - \mu_j^{(k)}) \sigma_{ij} \left. \vphantom{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n} \right\} \dots (1)$$

分析の手順は, 以下の通りである. まず, 取水制限が実施された日 (制限日) のデータ群 G_1 , 取水制限の行われなかった日 (通常日) のデータ群 G_2 から, 標本平均ベクトル $\boldsymbol{\mu}^{(1)}$, $\boldsymbol{\mu}^{(2)}$ と分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}^{(1)}$, $\boldsymbol{\Sigma}^{(2)}$ をそれぞれ算出した. 次に算出に用いた観測データから $\mathbf{D}^{(1)2}$, $\mathbf{D}^{(2)2}$ を求め, 制限日と通常日への判別を行った. 松山市で判別を行った結果, 対象期間 4018 日中で誤判別日数が 464 日, 正答率は 88. % となった.

2.3. 取水制限率の算出

対象期間内で 1 週間・2 か月降水量, 貯水率と取水制限率の推移を調べた. 図 1 に 2008 年の取水制限時の推移を示す. 取水制限時には, 2 か月降水量と貯水率の減少に伴い取水制限率が強化されている. 2007, 2008 年の制限期間の終盤は上記の傾向に該当しないが, 直後に制限が解除されており, 制限強化により貯水率が改善し制限を解除したものと判断した. 以上を踏まえ 2 か月降水量, 貯水率を説明変数とした. 算出にはマハラノビス距離を使用し, 対象期間内に実施された取水制限率である 5, 10, 13, 15, 17, 18, 25, 30% に判別した.

図 2 に 2008 年の取水制限率の算出結果を示す. 制限率の挙動はある程度再現出来ているが, 2002 年~2003 年, 2008 年の事例では制限期間の序盤と終盤で値にずれが見られた. 取水制限の継続期間などでも取水制限率が影響を受けることが考えられるので, 今回用いた以外の変数も検討していきたい.

キーワード 渇水被害額, 渇水対応, 給水制限率, 河川流量, 貯水量

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学白川(直)研究室 TEL. 029-853-5138 E-mail : s1520873@u.tsukuba.ac.jp

2.4. 給水制限率の算出

取水制限時には、取水量の減少に応じて給水制限が実施される。実施方法としては減圧や時間給水などが挙げられる。渇水被害額算定の為には減圧や時間給水の程度に応じて給水制限率を予測する必要がある。松山市では対象期間内に減圧 25、50%の 2 段階の給水制限が行われている。過去の事例から、取水制限率 15%以下を減圧率 25%、取水制限率 17%以上を減圧率 50%とした。図 3 に 2008 年の事例での減圧率の算出結果を示す。実際の減圧よりも変動が細かく、減圧を実際より早く解除してしまっている。また、2002～2003 年には取水制限期間前半の 8 か月間に及び給水制限が実施されておらず、これらを適切に評価するには取水制限率以外の変数を加えた判断を行う必要がある。津田(2013)により給水制限時の水使用行動がモデル化され、減圧による給水制限が家庭での使用水量に及ぼす影響が数値化されている。今回はその値を採用し、減圧 25、50%をそれぞれ給水制限率 6、11.5%とした。図 4 に給水制限日の判別結果を、表 1 に各行程の正答数と正答率を示す。既存の方法と比べ、被害額算定に用いる給水制限日の判別精度を向上させることが出来た。ただ、2002 年～2004 年にかけては制限実施を多

く見積もってしまっている。

3. 渇水被害額の予測

3.1. 算定方法

厚生労働省の「水道事業の費用対効果分析マニュアル」では、生活・営業・工場用水の 3 つについて給水制限率ごとに求められた被害額原単位を用いて被害額を算出している。今回はモデルから算出した給水制限率を用いて生活・営業用水の被害額を算定した。

3.2. 算定結果と考察

表 2 に算定結果と平成 6 年渇水時の被害額を示す。既往のモデルと比べると実際の事例と近づいたが、生活用水ではまだ値の差が大きい。これは 10～20%の給水制限率に対する被害額原単位が実際より低く見積もられている為であると考えられる。

4. 結論

本研究では、流量以外の要因と実際の渇水対応を考慮した給水制限率の算出手法について検討し、渇水被害額の予測手法改善を試みた。給水制限率の算出には取水制限日の判別、取水制限率の算出、給水制限率の算出の 3 つの行程を設けた。流量のみを用いた場合と比べ、給水制限の実施を精度良く予測することが出来た。このことにより渇水被害額の予測精度を向上した。

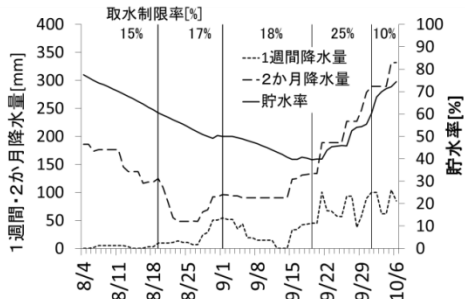


図 1 1 週間・2 か月降水量、貯水率と取水制限率の推移(2008)

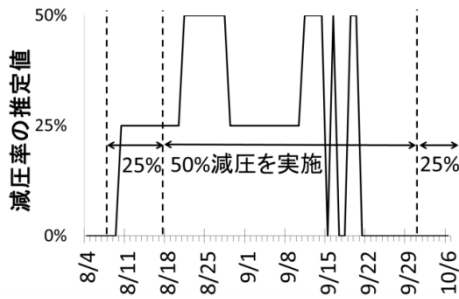


図 3 減圧率の算出結果(2008)

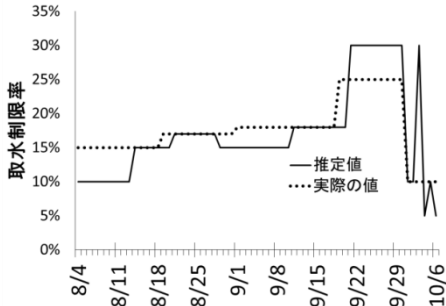


図 2 取水制限率の算出結果(2008)

表 1 算出モデルの各行程における正答数と正答率

項目	取水制限日	取水制限率	減圧率
正答数[日]	3554	3420	3339
全日数[日]	4018	4018	4018
正答率[%]	88.5	85.1	83.1

表 2 渇水被害額の算出結果と平成 6 年の渇水被害額

単位 (円 / 日 / 世帯)	帯域	既存の手法	本モデル	大野城市 (節水率10%)	広島市 (節水率20%)	減 圧 率 (実)
生活用水被害額	44.8	73.0	1075.0	785.0	124.9	
営業用水被害額	42.9	175.1	-	428.9	270.6	
合計被害額	87.6	248.2	-	1213.9	395.5	

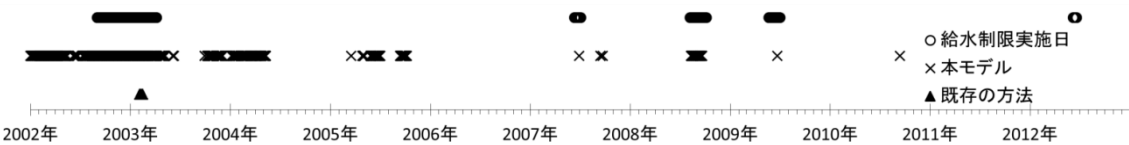


図 4 給水制限日の判別結果(2002～2012)