

(Ⅳ－５) 降雨予測と地域住民の満足度を同時に考慮した最適取水計画の決定法に関する一考察

防衛大学校 学生員 ○大芦克己 正 員 園田佳巨 正 員 佐藤絃志

1. 緒言 不確実な情報をもとに意志決定を行う必要に迫られる場合、その時点において最も確率論的に望ましい選択をとることが大切である。そこで、本研究では水資源利用計画を例にとり、不確実な情報を用いた意志決定法として、ベイズ定理による評価基準を設け時系列に状況が変化する場合における意志決定について考察を試みた。

2. 解析手法

2.1 ベイズ定理の適用 水資源の需給関係は、供給が専ら天候によって左右され常に不確実性が伴うため、将来に対する取水計画の決定は確率論的に行うことが望ましい。したがって、ここではベイズ定理¹⁾を用いて、確率論的な評価法を用いた計画決定を試みることにする。すなわち、将来における真の状態が θ_1 である時に、現時点で意志決定者が行動 a_1 をとる場合に得られる利得を $u(\theta_1, a_1)$ とし、全ての採りうるべき行動に同様の評価を行えば、表－1に示すような利得行列が得られる(例えば、表－1の場合 $u(\theta_1, a_1) = 5$ である)。一方、表－1の中の各事象($\theta_1 \sim \theta_2$)に対して、表－2に示すような予測との適合度があるとする。ここで、意志決定者が入手可能なデータは、表－2に示す各事象の生起予測(P_i)のみであるので、各予測に対する行動の選択をして(表－3参照)計画の評価を行う必要がある。表－3の各計画 s_i についてベイズの定理による計算を行うことにより、将来の事象に関する生起確率を見込んだ各計画に対する期待利得が表－4のように計算される。

2.2 最適計画の決定基準 表－4を用いて最適計画を決定する場合、各種の決定基準が考えられるが、本研究では目的関数の最適化を基準に決定を試みた。すなわち、将来の状況について2通りの事象(例えば晴天か、雨天か)を考慮する必要がある場合、それぞれの事象が起こった場合に各計画が得る利得を、それぞれ横軸 $E_1(\theta_1, S)$ 、縦軸 $E_2(\theta_2, S)$ にとり、図－1に示すようにプロットする。ここで、2通りの事象の生起確率が予め得られている場合、その生起確率の比を傾きとし、各計画を示す点を通過するように直線を決定したうえで、原点からこの直線への垂線距離を目的関数 Z とすると、この Z の値は各事象の生起確率を見込んだ計画の評価値を与える。したがって、この目的関数 Z を最大にするように計画の選択を試みる。

3. 数値計算例

数値計算例として、異常渇水時における最適取水量の決定を対象とした解析を行った。

3.1 利得行列の決定 本手法を用いるには、予め利得行列の値を決定する必要があるが、利得行列の決定には、供給される地域住民の満足度、そして水源の枯渇に対する安全度の2つの指標を同時に考慮に入れるものとする。すなわち安全度の評価式として、過去における貯水量－取水量－頻度曲線²⁾を用いて図－2のように定義し、満足度の評価式としては過去における節水率と期間に関するアンケート²⁾を用いて、図

表－1 利得行列

真の事象 θ_i \ 行動 a_j	a_1 (取水量大)	a_2 (取水量小)
θ_1 (降水量多い)	5	3
θ_2 (降水量少ない)	10	7

表－2 各事象の生起予測の適合度

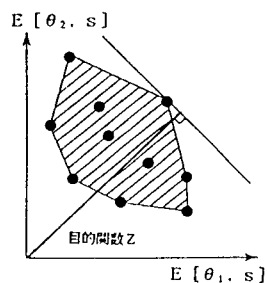
真の事象 \ 予測	P_1 (降水量多い)	P_2 (降水量少ない)
θ_1 (降水量多い)	0.7	0.3
θ_2 (降水量少ない)	0.4	0.6

表－3 予測事象に対する計画案

予測事象 P_i \ 計画 s_j	s_1	s_2	s_3	s_4
P_1 (降水量多い)	a_1	a_1	a_2	a_2
P_2 (降水量少ない)	a_1	a_2	a_1	a_2

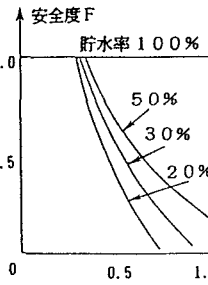
表－4 各計画案の期待利得

真の事象 θ_i \ 計画 s_j	s_1	s_2	s_3	s_4
θ_1 (降水量多い)	7.0	6.4	5.6	5.0
θ_2 (降水量少ない)	1.0	2.2	1.8	3.0

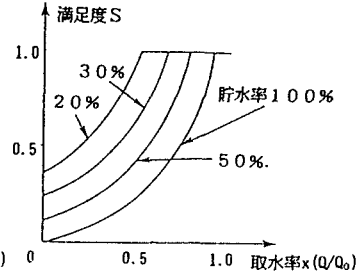


図－1 目的関数 Z

一3のように定義した。それぞれ、横軸に取水率（平常時の取水量に対する実際の取水量の比）をとり、縦軸に安全度及び満足度をとった。なお、利得行列の値は安全度と満足度の評価式の線形結合により得られるものと考えた。その際、安全度と満足度のどちらにウェイトを置くかという度合は、管理者の意志と経験に



図一2 安全度の評価式



図一3 満足度の評価式

によって決定するもの（以後、管理者パラメータと称する）とし、それぞれ係数 α 、 β により重みづけすることによって式(1)で表すこととし、式(2)で示す制約条件を設けることによって、不測の事態で貯水量が許容範囲を越えることがないように考慮した。

表一5 貯水率、管理者パラメータの影響

$$u(\theta, a) = \alpha (\text{安全度 } F(x)) + \beta (\text{満足度 } S(x)) \quad (1)$$

$$F1 \leq F(x) \leq F2, S1 \leq S(x) \leq S2 \quad (2)$$

3.2 計算結果と考察

1) 貯水率、管理者パラメータの最適取水計画への影響

ここでは、貯水率及び管理者パラメータが変化した際の最適取水計画への影響について考察した。貯水率は25%、90%の2ケースについて、管理者パラメータは、表一5に示すように $\alpha, \beta = 1.0 \sim 5.0$ の5ケースについて検討した。なお、取水計画案としては3ケース（10%の給水制限、30%の給水制限、50%の給水制限）の中から選択するものとした。貯水量及び管理者パラメータ変動による最適取水の変化の結果を表一5に示す。当然ではあるが、貯水率が減少した場合、給水制限を厳しくするような取水計画をとる傾向にある。また、安全度を重視すると取水量は減少し、満足度を重視すると取水量を増加させる傾向にある。

貯水率 (%)	α	β	最適計画 $S_i = (\text{事象1, 事象2, 事象3に対する行動})$	
25.0	1.0	1.0	$S1 = (a1, a1, a1)$	$a1 = 10\%$ の給水制限
	1.0	3.0	$S27 = (a3, a3, a3)$	
	1.0	5.0	$S27 = (a3, a3, a3)$	
	3.0	1.0	$S1 = (a1, a1, a1)$	$a2 = 30\%$ の給水制限
	5.0	1.0	$S1 = (a1, a1, a1)$	
	1.0	1.0	$S27 = (a3, a3, a3)$	
90.0	1.0	3.0	$S27 = (a3, a3, a3)$	$a3 = 50\%$ の給水制限
	1.0	5.0	$S27 = (a3, a3, a3)$	
	3.0	1.0	$S25 = (a3, a3, a1)$	
	5.0	1.0	$S19 = (a3, a1, a1)$	

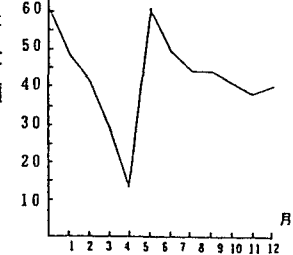
表一5に示すように $\alpha, \beta = 1.0 \sim 5.0$ の5ケースについて検討した。なお、取水計画案としては3ケース（10%の給水制限、30%の給水制限、50%の給水制限）の中から選択するものとした。

貯水量及び管理者パラメータ変動による貯水率(%)

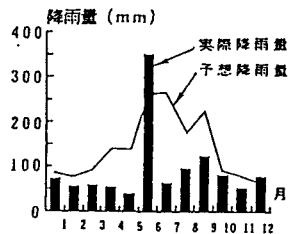
最適取水の変化の結果を表一5に示す。当然ではあるが、貯水率が減少した場合、給水制限を厳しくするような取水計画をとる傾向にある。また、安全度を重視すると取水量は減少し、満足度を重視すると取水量を増加させる傾向にある。

2) 異常渇水時における最適取水計画の時系列変化

降水量が非常に少ない異常渇水時における最適取水計画を時系列的に行なった。実際には、1月から12月まで1カ月ごとの予想降雨量を用いて1カ月毎の最適取水計画を決定し、取水計画の時系列的变化を求めた。なお、初期貯水率は60%とした。図一4及び図一5よりこの解析データを見てわかるように、3～5月もしくは7～9月のような予測と実際の降雨量との差が非常に大きい場合には、貯水率の低下を招くことは明らかであるが、貯水率が一定水準を下回ると、計画案の見直しを行うことにより最悪の枯渇は免れていることがわかる。一方、予測と実際の降雨量がそれほど相違ない場合には、本研究による解析手法を適用することにより貯水率をほぼ一定に保つことが出来ることがわかった。



図一4 月別貯水量変化



図一5 実降水量と予測降水量

4. 結論

- 1) 本手法により、不確実な情報しか入手できない場合においても最適取水計画を決定することができた。
- 2) 時系列的に状況が変化する場合においても、本手法により定期的な計画の見直しを行うことで、貯水率をほぼ一定水準に確保しうることがわかった。

参考文献

- 1) H. チャーノフ: 決定理論入門、現代経営科学全集6, pp. 163～265, 1960
- 2) 石戸 勇: 土木工学大系24ケーススタディ水資源、彰国社, pp. 195～200, 1978