

東京都立大学工学部 正員 小泉 明
 東京都立大学工学部 正員 稲員 とよの
 (株)日水コン 正員 ○榊原 康之

1. はじめに

水運用計画を策定する際には、降水量や水需要量などの不確実性を考慮するとともに、既存の施設を利用しなければならないといった制約のもとで、経済性と安定性という相反する目的をバランス良く同時に満足させることが望まれる¹⁾。そこで、このトレードオフを考慮することのできる合理的な数値計画モデルの必要性が高まっているが、本研究では、各地域の水需要量が不確実性を有するものと考え、経済性の指標である総運転費用の最小化と安定性の指標である渇水に対するリスクの最小化を同時に追及することのできる「多目的ファジィ線形計画モデル」を提案する。

2. モデルの定式化

ここで、総運転費用 Z は浄水費とポンプの運転費用の合計と考え、『予算として Z_L 以下になるのが望ましいが、最高で Z_U までは認める』という図1のメンバーシップ関数で表す。次に、渇水に対するリスク R は1ヶ月に延べ何パーセントの給水制限があったか(%・日)を示すもので、『0になることを目標とするが、最悪の場合には R_U になることもあり得る』として図2のメンバーシップ関数で表す。また、水需要量 q_j はある程度の幅をもつと考えて、『期待値 t_j を中心として、最大限 c_j 、最小限 b_j の範囲で計画を立てる』という図3のメンバーシップ関数で表す²⁾。さらに、制約条件として流量の連続式、浄水場の処理能力、管路の送水可能流量、ダムの貯水率等を考慮し、これらを定式化すると(2)~(15)の制約条件のもとで(1)の目的関数を最大化するという線形計画問題となる。

$$\text{Maximize } \lambda \dots\dots\dots (1)$$

Subject to

$$q_j - (t_j - b_j)\lambda \geq b_j \dots\dots (2), \quad q_j + (c_j - t_j)\lambda \leq c_j \dots\dots (3)$$

$$Z + (Z_U - Z_L)\lambda \leq Z_U \dots\dots (4), \quad Z = \sum_{i=1}^m d_i s_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n e_{ij} x_{ij} \dots\dots (5)$$

$$R + R_U \lambda \leq R_U \dots\dots (6), \quad R = N \cdot (100 - CR) \dots\dots (7)$$

$$s_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} \dots\dots (8), \quad q_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} \dots\dots (9)$$

$$s_i \leq P_i \dots\dots (10), \quad x_{ij} \leq F_{ij} \dots\dots (11), \quad C_k \geq U_k \dots\dots (12)$$

$$CR = 100 \cdot \sum_k C_k / \sum_k V_k \dots\dots (13), \quad C_k = C_k' + IN_k - E_k - D_k - IT_k \dots\dots (14)$$

$$\lambda, x_{ij} \geq 0 \dots\dots (15)$$

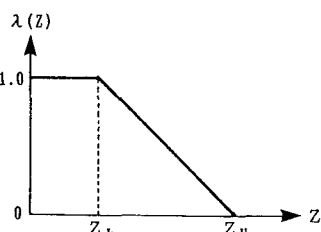


図1 費用のメンバーシップ関数

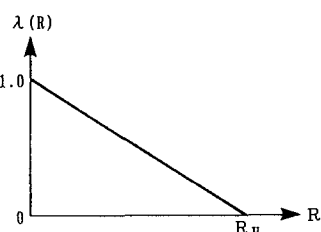


図2 渇水リスクのメンバーシップ関数

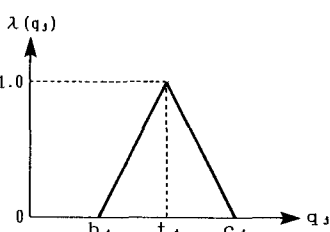


図3 水需要量のメンバーシップ関数

ここに、 λ :メンバーシップ関数、 i :浄水場($i=1,2,\dots,m$)、 j :水需要地点($j=1,2,\dots,n$)、 k :ダム、 q_j : j 地点の水需要量、 t_j : j 地点の水需要量期待値、 b_j : j 地点の最小水需要量、 c_j : j 地点の最大水需要量、 Z :総運転費用、 Z_U :総運転費用の上限値、 Z_L :総運転費用の下限値、 d_i :浄水場 i の浄水コスト、 s_i :浄水場 i の処理量、 e_{ij} :浄水場 i から j 地点への水輸送コスト、 x_{ij} :浄水場 i から j 地点へ輸送される水量、 R :渇水に対するリスク、 R_U :渇水に対するリスクの上限値、 N :一か月の日数、 CR :当月の複数のダムの貯水率平均、 P_i :浄水場 i の最大処理能力、 F_{ij} :管路 ij の最大送水可能流量、 C_k : k ダムの当月末の貯水量、 U_k : k ダムの最低貯水量、 V_k : k ダムの満水時貯水量、 C_k' : k ダムの前月末の貯水量、 IN_k :当月の降雨による流入量、 E_k : k ダムの蒸発散量、 D_k : k ダムの放流量、 IT_k : k ダムの取水水量である。

3. ケーススタディ

ケーススタディとして図4に示す地域に本モデルを適用する。この地域は慢性的な水不足に悩んでいるために、T1、T2という浄水場の他に海水を淡水化することのできるT3という浄水場が設置されており、それぞれの浄水コストは100(円/㎥), 150(円/㎥), 300(円/㎥)である。

標準ケース（前月末の貯水率50%, 当月の降水量150mm）における輸送経路を図5に示す。このときの各浄水場の稼働率はその処理能力の100.0%(T1), 84.7%(T2), 57.0%(T3)となり、多少経済的には不利となるものの、「ダムの水を必要とする浄水場T2の稼働を抑えて、ダムの水を必要としない浄水場T3を稼働させることによって安定性を考慮する」という解が得られた。

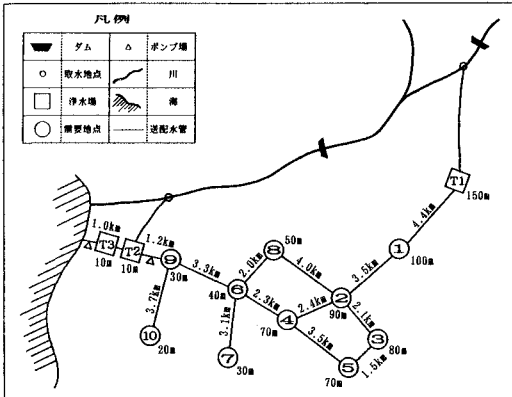


図4 対象地域

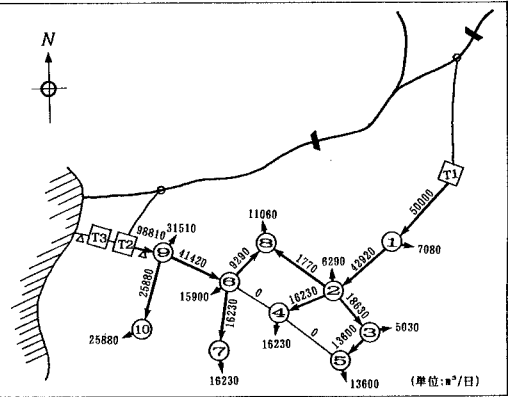


図5 標準ケースにおける輸送経路

4. 感度分析

次に、本モデルの適応性を検討するための感度分析を行うが、ここでは費用のメンバーシップ関数の上限値の感度分析について説明する(図6, 7)。費用の制約の影響を検討した結果、費用の上限値を増加させることによって、メンバーシップ関数値が大きくなることが分かる。これは同時に渇水に対するリスクが小さくなることを表しており、予算を増額にすることによって安定性が高くなることを示している。

これにより、本モデルは経済的条件に応じて水運用計画の目標値を求められることが分かる。

5. おわりに

本研究では、経済性・安定性さらには水需要量の不確実性を同時に考慮することの出来る『多目的ファジィ線形計画モデル』を提案した。なお、今回は一か月ごとの計算を行なったが、これを順次適用すれば年間を通して、また一期間の幅を短くすれば半月後、一週間後等の水運用計画をそれぞれ立案することが可能である。

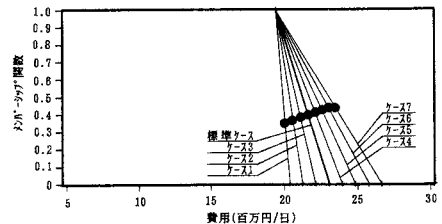


図6 費用とメンバーシップ関数の関係

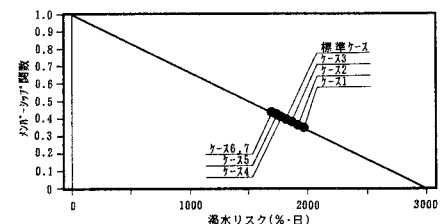


図7 渇水リスクとメンバーシップ関数の関係

【参考文献】

- 1) Koizumi, A. & Inakazu, T. : A Multipurpose Optimization Model for Area-wide Sewerage Systems, Environment and Planning A, Vol.21, PP.1015-1026, 1989
- 2) 小泉明・戸塚昌久・稲員とよの・川口士郎：都市ごみ輸送計画のためのファジィ線形計画モデル，土木学会論文集、No.443，II-18，PP.101-107，1992