

1, はじめに

水需給関係が悪化し、水利用特に河川水利用が複雑化している現在において、流域の限られた水資源の効率的利用を図るにあたっては、流域における降雨・流出・貯留・利用・還元といった水循環機構を適確にとらまえるとともに、さらに一歩進めて、ダム・河口堰等の流況調整施設ならびに取水・給水施設等の総合的な操作・運用により、流域水循環を効果的に管理していく必要がある。このためには流域の自然水・用水循環の把握と、流況調整・施設操作を有機的に組み合わせた総合的な低水管理システムの開発が重要であると考えられる。

本研究では、上述のような総合的な低水管理モデル作成の1つのアプローチとして、表流水を中心とする流域水循環機構を、直観的理解が容易な形に簡略化し1つのネットワーク・システムとして表現した後、ネットワーク・フロー理論を用いて適正な流域水管理方法の検討が可能であるようなモデル(流域水管理ネットワーク・モデル)を提案する。さらに、モデル流域における適用を試み、本モデルの有用性を確認するとともに、流域の水循環機構にもとづく総合的な低水管理が、流域の効率的な水利用に及ぼす効果について分析した結果の一例を示す。

2, 流域水循環・水管理のネットワーク表現

流域内の自然水流出部分流域・流量観測地点・支川合流点・河口・取排水および還元地点・水利用地区さらには流況調整施設等を節点の集合とし、また水の流れとしてこれらの節点間を空間的に結びつける河道・水路、ならびに各期の流況調整施設を表わす節点等をつなぐ時間的な水の移動に相当する貯留過程などを矢線の集合としてとらえると、流域水循環機構は1つのネットワーク・システムに類似させることが可能である。さらに流域水管理は、このネットワーク・システムにおいて、ある評価基準のもとで「いつ」、「どの矢線に」、「どの程度の水量を」流すのが適切であるかを決定することに帰することができる。このとき、実際の流域の水循環等に照らし合わせて考えると、ネットワーク・モデルを構成する各節点・各矢線に次のような属性を配慮する必要がある。

①節点発生(消費)水量……自然水流出部分流域や流量観測地点に相当する節点からの各時期の降雨流出量や実測流量あるいは水利用地区を表わす節点における消費水量などがこれに相当する。これらはネットワーク・システムへのインプットとなる諸量である。なお各節点からの降雨流出量としては、タンク・モデル等の低水流出モデルによって推定した値などを用いるものとする。

②流達率……河道・水路流過および貯留過程等においては、地下水湧出・伏没・浸透・損失・消費・還元などにより、流過水量の増減が生じる。これらの水量変化は、現実的には河道・水路の損失率、還元率といった定率的な取り扱いがされることが多い。そこで本モデルにおいては、各矢線に「流達率」というパラメータを導入し、矢線への流入水量に流達率を乗じた水量が当該矢線の終端に到達するものとする。

③容量条件……水路・流況調整施設等の容量、水利用地区の需要量・水利権量、および河道の維持流量など、各矢線においては、その流過水量に対して上・下限の制約を考慮しなければならない。

④適正水管理の評価基準……本ネットワーク・モデルにより流域水利用・水管理の適正度を評価する指標として各矢線に単位水量を流すことによって生じる便益(金銭的に計量されるものばかりでなく、利用水量など便益に相当するとみなされるものも含む)を取り上げる。そして、ネットワーク・システム全体としての便益が最大となるような水利用・水管理方法(パターン)を求めることにする。

以上のような要件を考慮すれば、流域水管理ネットワーク・モデルは表-1のように定式化することができる。

ここに、 t ; 時期を示すパラメータ N ; ネットワーク・システムを構成する節点および矢線の集合

A_i ; 節点 i を始点とする矢線の終点の集合 B_i ; 節点 i を終点とする矢線の始点の集合 $f_{ij}(t)$; 矢

線 (i, j) を流過すべき水量(決定変数) $q_{ij}(t)$; 矢線 (i, j) の流達率 $f_{ij}(t)$; 節点 i における発生水量 $l_{ij}(t)$; $u_{ij}(t)$; 矢線 (i, j) の流過水量の下限値および上限値 $h_{ij}(t)$; 矢線 (i, j) に単位水量が流過することによって生じる便益

なお, t の時間間隔は, 流域の水循環における時間遅れが無視できる長さ(たとえば半月以上)にとることにする。

3. モデルの解法

2. で表わされたモデルは, 流達率という利得を有するネットワークにおいて便益最大のフローを求める問題を構成している。この種の問題の解法としては種々のアルゴリズムが開発・提案されているが, ここではJensenらの開発したアルゴリズムを採用することにする。

4. テスト計算とその結果の要約

以上のアプローチをA川流域に適用し, 本ネットワーク・モデルの実用性等の検討を行った。対象流域のネットワーク・システムの基本的構造を図-1に示す。テスト計算においては当該流域が異常渇水に見舞われた年の7月1日~8月31日の2か月間の降雨・流出パターンを用いることにし, 当該期間を12半月に分割して, 各期を通じて適正な水管理(貯留・補給・取水)方法の時系列を求めた。用水還元・取水系統に関していくつかのケースを想定し, 種々の計算を行い, その結果の概略を図-2, 3に示した。これらは次のように要約できる。

- (1) 当流域においては利用廃水の河川への還元の有無によって流域の水利利用率ならびに水管理パターンは多少変化するが, さらに取水系統を変更することにより流域水利利用のかんりの改善が期待できると思われる。
- (2) 流域の自然水流出特性や用水循環機構によって各流況調整施設の操作パターンは少なからず変化する。これらの結果は, 当流域において流域の水循環状況に即応した上下流の流況調整施設群の統合管理の重要性を示唆しているものと考えられる。

5. あとがき

以上, 簡単なケース・スタディを通じて, 流域水管理ネットワーク・モデルの実用性・有用性がある程度立証することができたと考える。ここでは1水系流域を対象として水循環特性を配慮した水管理方法(ダム群の統合運用を含めて)の考察に本モデルの適用を試みた結果を示した。しかし, 本モデルは流況調整河川等によって連結された複数河川流域における総合的かつ連携的な低水管理手法の分析・検討にも容易に利用可能であると思われる。今後はこのような発展をも考慮して, モデルの改良と拡張を図っていく方針である。

<参考文献> 1) P. Jensen et al., Management Science, Vol.23, No.6

表-1 モデルの数式表現

$$\begin{aligned} & \sum_{(i,j) \in E} h_{ij}(t) \cdot f_{ij}(t) \longrightarrow \text{maximize} \\ & \text{subject to} \\ & \left(\begin{aligned} -\sum_{j \in B_i} q_{ji}(t) + \sum_{k \in A_i} f_{ik}(t) &= g_i(t) \\ l_{ij}(t) &\leq f_{ij}(t) \leq u_{ij}(t) \end{aligned} \right. \quad i \in N, (i,j) \in E \end{aligned}$$

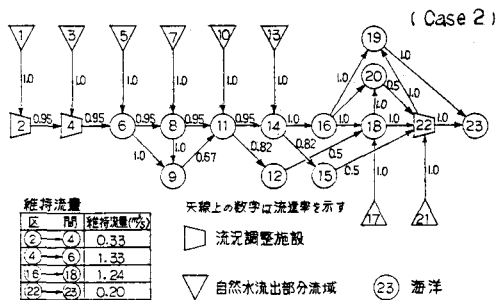


図-1 A川流域を対象としたモデルの基本的構造

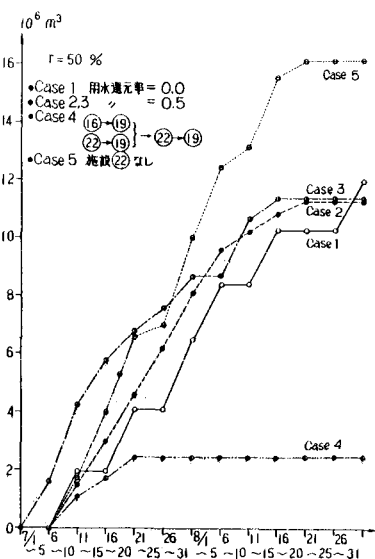


図-2 流域不足水量(累計値)の変化例

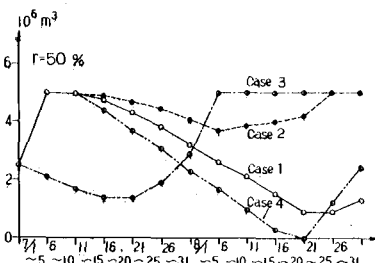


図-3 施設[22]の貯留水量の変化例