水資源管理へのコンピュータ利用

浜岡　尊・松本邦顕

1. 概　　況

最近の上工水，農水など利水量の増加とそれによる給水系の複雑化，河川改修にともなう自然破壊，さらに水質汚濁の進行など水資源の満足な供給を阻害する要因が増加しつつある．このため，治水面では環境保全，水害防止を目的とする河川管理システム，利水面では適正末端管圧の確保，水原価の低減をはかるための利水管理システムが全国各地で計画されはじめている．

これらのシステムにおいては河川の流況，利水状況の動的把握，状況に応じた施設の適切な運転，および異常時における効果的な処理が要求される．このためシステムとしては集中管理，最適運用，安全性制御の機能が必要であり，合理的なマン・マシン構成においてこれらの実現化が進められている．

水系は一般に時間遅れをもち，上工水，農水など同一資源を多目的に利用するという面で相互関連性が深いので，システムの構成にあたってこれらの要因を十分に考慮する必要があろう．

最近，水系の管理範囲は広域化し，管理対象も多様化しつつあるので，コンピュータ，テレメータなど電子機器を高度に活用したきめの細かい管理システムが計画されている．

一方，国外においても，水の広域運用システムが開発されつつあり，一部実用化している．代表的なものとしては，カリフォルニア州のサクラメントのかんがい用水管理システムがある．このシステムは，貯水量40億m^3のダムを含むダム群と，チェックゲート213門，ポンプ所27カ所（ポンプ170台），発電所およびそれらを結ぶ全長450マイルの用水路群を対象に，全域を4ブロックに分割し，コンピュータによる管理を行なっている．また，上水道管理システムの代表的なものとしては，フィラデルフィア市[1]やデンバー市[2]のシステムがあり，取水から配水管路網までの水量と水圧をコンピュータで制御している．

以上のように，広域水系に対するコンピュータによる管理システムは漸次実用化の段階に入ってきていると考えられる．

2. 水資源管理のためのシステム分析

水資源管理のためのシステム分析の1例として上水道を対象にとりあげる．上水道管理システムの機能として運用面から要求される事項は，下記のものがある．

(1) 必要時に必要な水量の確保
(2) 上水道系全体の合理的運用
(3) 水質の確保
(4) 渇水，水質汚染など異常時における迅速な処理

これらを満足させる手段として

① 需要に応じた必要取水の確保と最適配分

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

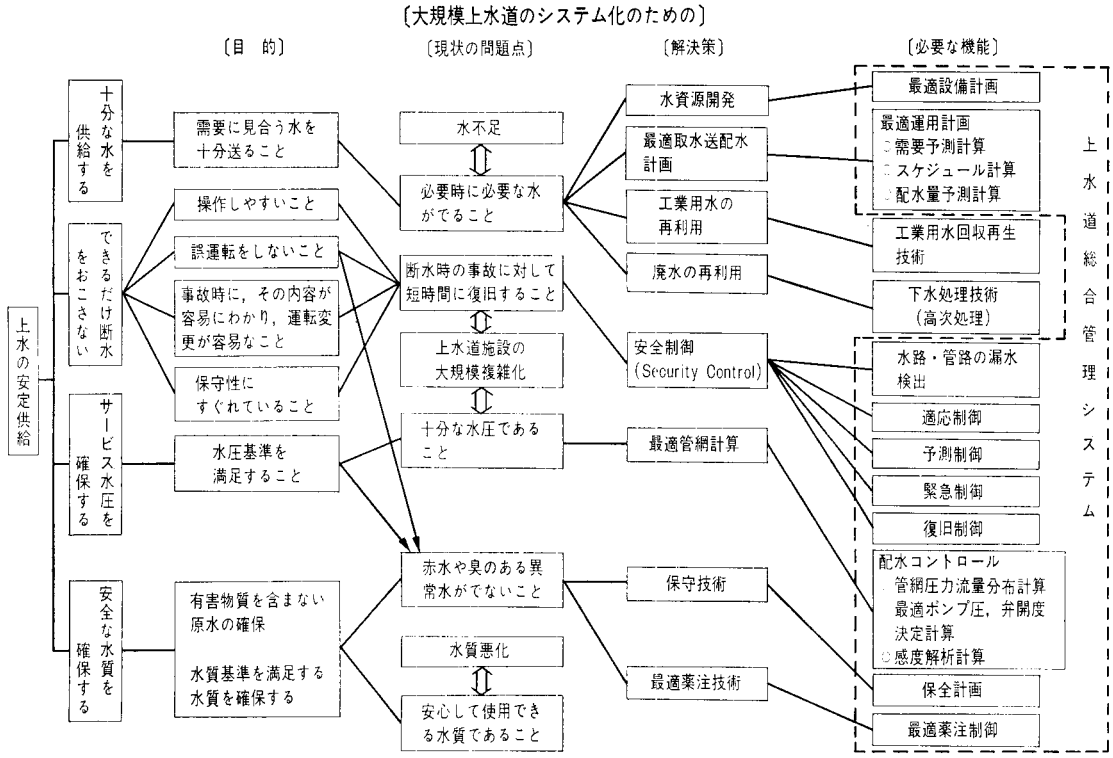

図 1　上水道総合管理システムの目標分析と必要な機能

② 上水道系全体をながめた経済運用

③ 最適薬注制御

④ 異常事態に対処するための安全性制御

が必要である．これらを機能別に分割整理したものが図1に示す目標分析のフローであり[3]，これらの機能は上水道総合管理システムとして必要とされる機能にほかならない．これらの機能から必要なシステム構成を導き出すためには，さらにこの機能を満足するようないくつかのシステム代替案を並べ，それぞれを定められた評価基準にしたがって評価し，最適のシステムを選出し，実用化をはかっていくという順序でシステム分析[4]が進められる．この場合実用的にみて困難がともなうものは評価基準の決定である．評価基準の項目としてはたとえば，信頼性，経済性，操作性，保守性，緊急時の対応性，融通性，拡張性などが目安となっているが，相互の重みづけのとり方など管理目標によってかなりの差異が生ずるように思われる．

水資源管理においては管理対象，管理目標によって図2に示すような各種のシステムと要求される機能を満足するソフトウエア・モデルの開発が必要である．これに対応して管理システムも，たとえば図3に示すように単に監視業務から，コンピュータを利用した高度の自動運転にいたるまでのレベル分類が行なわれ，必要性に応じてシステムの選択がなされている．

3.　水資源管理システム

水資源管理システムの基本機能の構成は，計測——→データ伝送——→情報処理——→運転指令——→指令伝送——→制御という形で与えられ，これらの基本機能を満たすため，流量・水位・圧力・水質などの計測器，テレメータ・テレコンなどの情報伝送装置，コンピュータやグラフィックパネル各種のディスプレイ装置などで構成される集中管理シ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

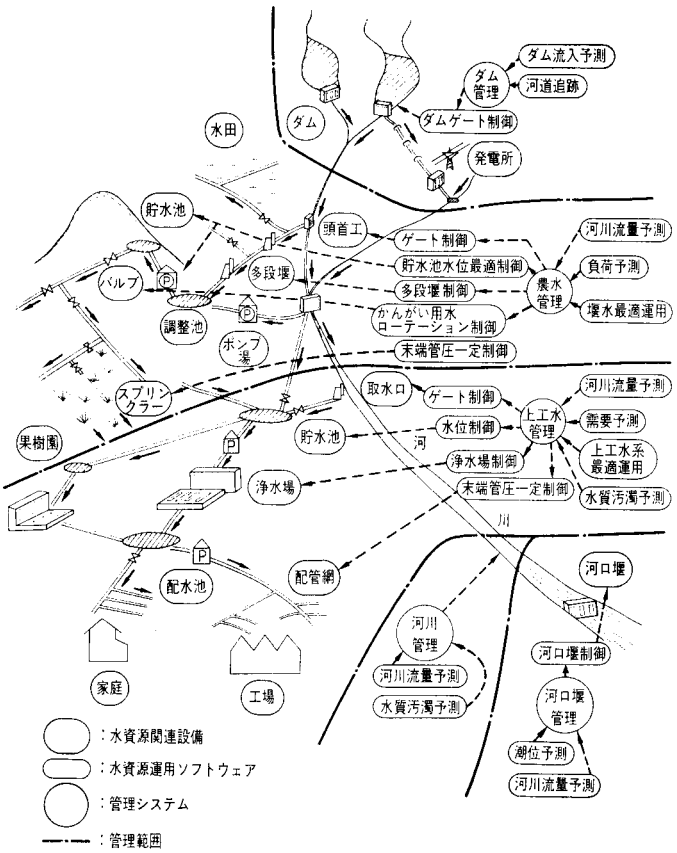

図 2　水資源管理システムの概況

ステムが開発，利用されている．

水資源管理システムは図2に示すように治水を目的とする河川管理，ダム管理，河口堰管理などの各システムと利水を目的とする上工水管理，農水管理の諸システムに大別されるが，これらのシステムのなかで利水関係では負荷予測と負荷配分（最適運用），治水関係では河川流量予測に関するソフト開発が管理範囲の広域化とともに必要度を増してくるものと思われる．したがって，水資源管理システムとして一般に具備すべき機能は

(1)　河川および施設の運用現況（貯水池水位，河川および水路の流況，ダムゲート開度など）の集中監視．

(2)　省力化のための自動運転

(3)　事故に対する安全性制御の考え方の導入

(4)　水系運用ソフトウエア（配分モデル，需給予測など）の開発

などである．以下これらの代表例についてのべる．

(1)　農業用広域かんがい用水の集中管理システム．本システムに関しては図3に数例を示したがシステムの構成にあたってとくに最近注目されているのは，マン・マシン・インターフェイスである．人間と機械が要求される機能を分担し，互いに会話を交しながらプ

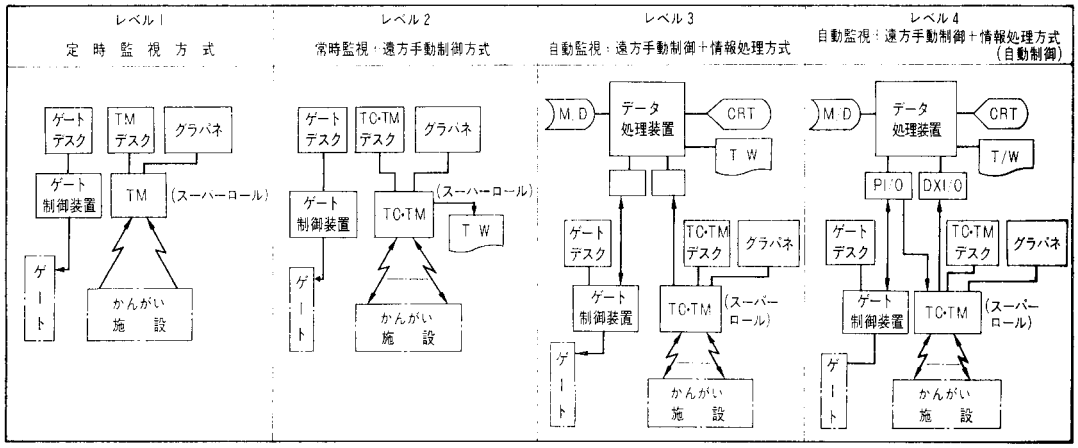

図 3　集中管理システム方式の比較

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

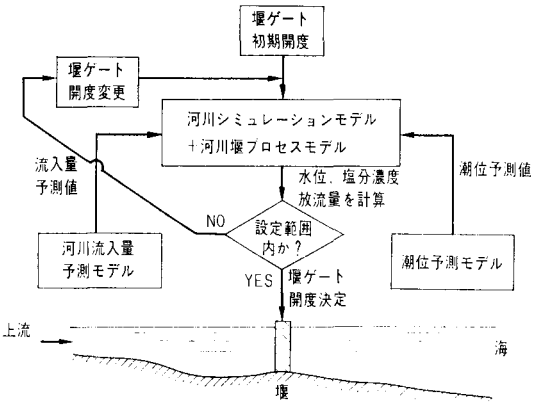

図 4　河口堰予測制御方式

ロセスの合理的運用をはかっていくシステムは鉄道，化学，製鉄，電力など他の分野でも活用されており，全体監視をグラフィックパネルで，きめ細かい管理制御をカラープロセスディスプレイ(CRT)で表示し，運用の効率化を進めている場合が多い．すなわち，水系の集中管理システムでは水系，施設の現況，予測と実績の比較，運用計算結果の表示あるいは事故時における発生場所，事故の種類，対策のガイダンス表示などは運用上きわめて有効な道具となるであろう．

(2)　予測と河川シミュレーション・モデルによる河口堰制御．河口堰では河口側の潮位と上流側の河川流入量の変動に対して堰貯留水の水位，塩分濃度およびゲート放流量を設定範囲内に保つようにゲート開閉を行なう必要がある．このため図4に示すように河川の水位，流量を把握するシミュレータと潮位予測，河川流量予測モデルを組み合わせ，コンピュータによるオンライン河口堰予測制御方式が開発されている．潮位予測は天文のみに起因する天文潮と気圧，風速，風向などによって変動する気象潮の重ね合せであらわされ，データ解析には多重回帰分析が利用される．一方，河川流出予測は流出機構を表流，中間水，地下水の3つの成分の並列機構と考え，流入する雨量を仮想雨量として，過去の雨量と当日の雨量から算出する相関適応修正法などが利用され，コンピュータが人間にかわってきめの細かい河口堰制御を行なっている．

(3)　上水道管理システムにおける安全性制御．事故を未然に防止し(予防制御)，事故による被害を最少限にくいとめるために必要な処置をとり(緊急制御)，事故復旧の合理化をはかる（復旧制御）ことは水道業務が公共的事業であるだけにいっそう重要度を増すものと思われる．表1に水道の安全性制御の機能例を示す．このうち，緊急制御については，たとえば配水池の水位異常低下が予測された場合，計算機により配水池間融通，浄水場ろ過量の制御，上水系全体運用の再スケジューリングの順序で対策していくことも検討されている．

表 1　安全性制御の機能

制御＼異常		水質異常	水量異常	構造異常
予防制御（フィードフォワード）	検出	水質予測誤差微分値	需要予測誤差微分値	保全計画
	検討	異常状態波及計算 異常状態対策計算	異常状態波及計算 異常状態対策計算	
	対策	再スケジュール 取水制限 給水制限 応援給水 薬注制御	再スケジュール 給水制限 応援給水	
緊急制御（フィードバック）	検出	水質予測誤差	需要予測誤差	管路，池などの破損，使用不可
	検討	異常状態対策計算	異常状態対策計算	異常状態対策計算
	対策	再スケジュール 取水制限 給水制限 応援給水 薬注制御	再スケジュール 給水制限 応援給水	再スケジュール 取水制限 給水制限 応援給水 バイパス給水
復旧制御	対策	再起動 洗浄制御 ドレーン制御	再起動	保全 再起動

(4)　上水道管理における運用ソフトの開発．都市上水道は，ダム，取水場，浄水場，配水池，需要端などが，用水路や管路網で相互に結合され，大規模・複雑なネットワーク構造をなしている．このため取水配分から送配水配分までを計画・制御する方式が検討されているが必要なモ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

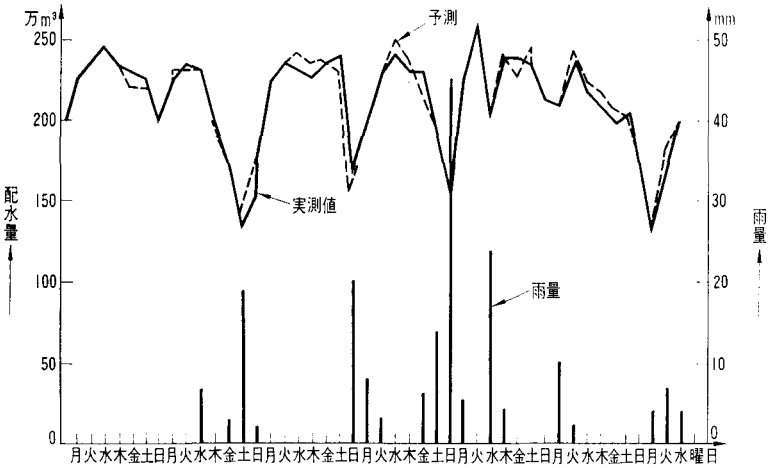

図 5　日単位需要予測結果

デルのなかで基本的モデルとして負荷予測と最適配分モデルがあげられる．

ⓐ　負荷予測モデル

需要量に影響を与える要因としては，曜日，天候，気象，特殊日(正月，祝祭日，連休など)，季節などが考えられる．これらの要因の影響を取り除くと，需要のトレンドは時系列的な外挿で予測可能となる．予測方式として，前週の日平均給水量に，曜日，祝祭日ならびに天候の補正を行なうとともに，毎日の最高気温の影響を非線形関数で調整する方式がある(図5)．

ⓑ　最適配分計画モデル

上水道システムを最適に運用する場合，取水配分や送配水配分の計画が重要になってくる．流量の最適配分計画は，上水道系をノードとブランチからなる輸送系ネットワーク問題としてとらえ

供給，需要，貯蔵，分岐の各ノードバランス式と流下遅れバランス式

の各制限式をマトリックス化し，ＬＰ法などで最適解を求める．目的関数としては

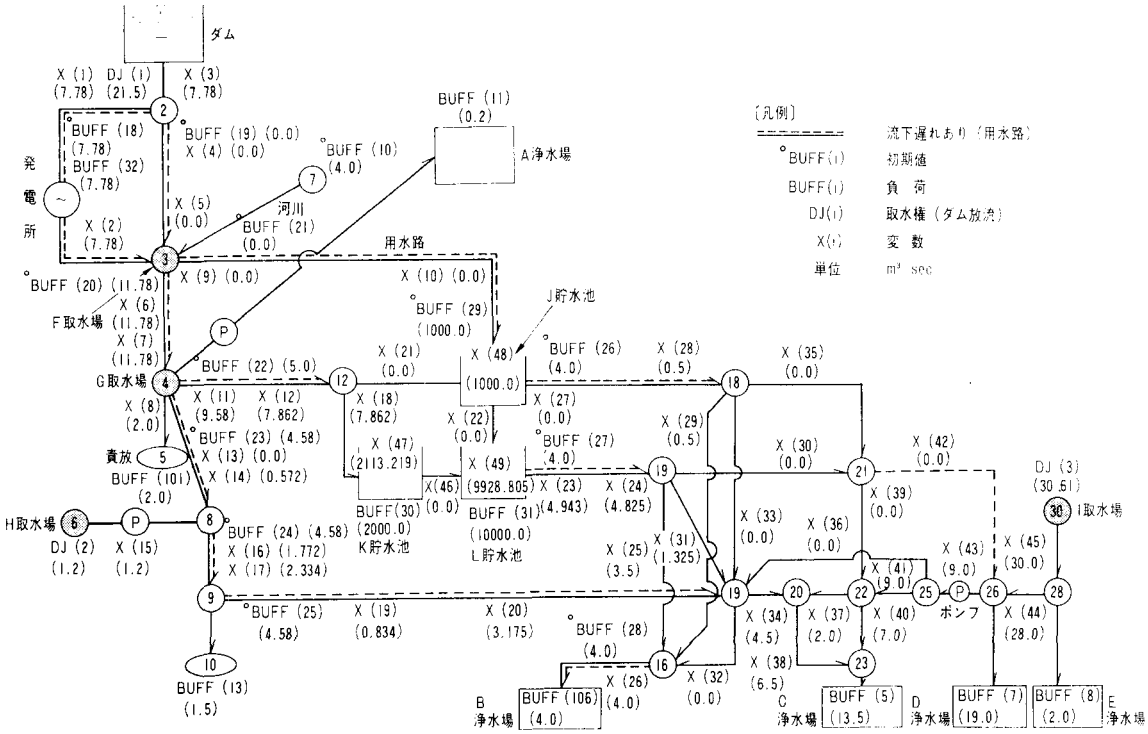

図 6　時間単位配分計画シミュレーション結果

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

運用コスト(ポンプ運転費＋薬注費)最小，無効放流最小(貯水池水位最大)，時間的変動最小(偏小最小)

などを与える．この配分解は，各時間の取水場の取水計画，浄水場の運用計画，ポンプ場の運転計画，配水池の水位計画などであり，オペレータの運転ガイドとして与えられる．

時間単位のシミュレーション結果の1部を図6に示す．

最後にシステム構成における信頼性確保の問題がある．集中監視システムでは水系，施設の現況データの信頼性確保，コンピュータを含むシステム全体のダウン対策などシステム計画時点で考慮すべき事項が多い．たとえば1：N式遠方監視制御システムでは，信頼性向上のため，制御回路と監視部が2重化されている．

以上のべたように，水資源管理システムといっても管理の対象，目的に応じて機能，構成は複雑多岐にわたっており，開発されたソフト・ハードを組み合せ効果的なシステム開発を進めることが必要となろう．最近ではこのような現在の水資源施設の運用合理化をはかる水資源管理システムとは別に運用から眺めた施設のみなおし，つまり水資源設備計画システムの検討も進められている．

む す び

以上にのべた水資源管理へのコンピュータ利用は限定された水資源を増大する水需要に対し，いかにうまく利用し，治水面からいかに管理していくかという問題に対する1つの解答といえよう．省資源，省エネルギーが叫ばれている現在，水資源管理の範囲はますます広域化し，管理対象も多様化してくるので，今後広域管理の必要性は増加してくるであろう．近い将来，施設河川，複数地域を対象とした多目的地域水資源管理のシステム化が進められるものと思われる．このようなシステムの確立には水に対する深い理解と高度のシステム技法が必要であり，ユーザ・メーカー一体となった協力体制が必要である．

参 考 文 献

1) Carmen F. Guarino, 他：Philadelphia Water System Automation and Control：Water Research Centre Conference, Instruments and Control System for the Water Industry, 1975.

2) Carl E. C. Carlson：The Denuer System of Water Works Controls：JAWWA, Aug, 1971.

3) 浜岡，他：上水道の総合管理システム：オートメーション，第21巻，4号，1976.

4) E. S. Quade, 他：Systems Analysis and Policy Planning：American Elsevier Publishing Co. Inc. 1968.〔訳本〕：香山，他：システム分析1：竹内書店，1972.

5) 松本，他：上水道における広域管理システム：電気四学会連合大会：昭和49年10月.

はまおか・たかし　1923年生　日立製作所　システム技術本部　副技師長

専攻：システム工学，OR

略歴：名古屋大学電気科卒業後，同学部助手．秋田大学鉱山学部助教授を経て現在に至る．

まつもと・くにあき　1943年生　日立製作所システム開発研究所　研究員

専攻：システム工学

略歴：九州工業大学制御工学科修士課程卒業．

書評者を募集します

学会宛に送られてきた書評依頼は，その都度，本誌誌上でお知らせし，書評の執筆をしてくださる方を公募いたしております．原稿料は差し上げられませんがその本はそのまま進呈いたします．

本誌2月号97ページでこの旨お知らせしましたところ，そのリスト中，2)と5)とについてはお申し出がございました．5)は原稿もいただいていますが誌面の都合上，今月号には掲載できませんでした．

今月はつぎの本が届いております．書評ご希望の方はお申し出ください．

鈴木光男・中村健二郎著「社会システム」ゲーム論的アプローチ，共立出版社．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．