

# 都市圏における取水量決定支援エキスパートシステムの構築

田尻 要<sup>\*</sup>，末吉信一郎<sup>\*\*</sup>，河村 明<sup>\*\*</sup>，神野健二<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> 西松建設(株)技術研究所

<sup>\*\*</sup> 九州大学工学部水工土木科

## 概要

F市では、複数の河川水源地やダム貯水地および流域外からの導水により水資源を確保し、5箇所の浄水場から市内全域に配水する複雑な水資源の管理を行っている。そのなかで浄水場における日単位の取水運用に着目し、水管理者が河川水源地やダム貯水池から取水量を決定する際に考慮している、取水および運用に関するルールや経験則などをエキスパートシステムとして再現し、水管理者の負荷を軽減しながら、知識・手法・経験の共有と継承を目指した「取水量決定支援エキスパートシステム」の構築を試みた。知識などの基本的な表現方法として、各浄水場や水源についてはフレーム構造を利用し、取水・運用などのルールについてはプロダクションルールを用いた。現段階では約80の基礎的なルールを用いた試作システムであるが、実績データを用いたシミュレーションを行った結果、各水源からの実績取水量とエキスパートシステムから求められた取水量は概ね一致した。

キーワード：水資源管理 取水運用 エキスパートシステム フレーム構造 プロダクションルール

## 1. はじめに

F市では水資源の確保を、近郊の4つの河川、複数のダム貯水およびT川からの遠距離の導水により行っている。しかしT川を除くいずれも二級河川であり、ダム容量も充分とはいえず、都市の規模に比べ流域内の水資源は量的に余裕が無いのが現状である。また、今後も都市規模の拡大に伴い水の需要量は増加を続けることが予想されるため、それに見合う水資源の確保が急務とされているものの、地理、環境上の問題から新たにダム建設などの大規模な水源開発を行えるだけの余裕はほとんど残されていない厳しい状況下にある。

このような状況に対処するため筆者らはこれまでに、水源の状況を把握しつつ既存の設備を互いに関連させた、取水から配水に至る総合的見地に立つ水資源管理システムの構築を検討してきた<sup>1)~4)</sup>。本報では、水資源管理システムの一環として、浄水場における日単位の取水運用に着目し、水管理者が各河川水源地およびダム貯水池からの取水量を決定する際に、それを支援する「取水量決定支援エキスパートシステム」の構築を試みた。

## 2. 取水量決定支援エキスパートシステムの概要

本報で構築した取水量決定支援エキスパートシステムは、図-1に示す水資源管理システムの中の、政策決定システムおよび政策決定知識データベースを構成している<sup>5)</sup>。

水管理者は、当該日の市内全域および各浄水場の配水区域内の目標需要量を満たすため、河川流況やダム貯水状況を考慮しながら、水源や浄水場の取水および運用ルールに従って各水源からの取水量を決定している。

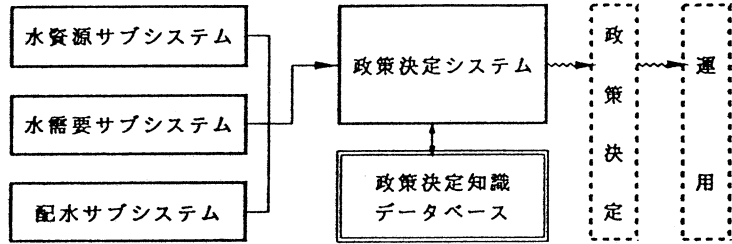


図-1 水資源管理システムの概要

また、目標需要量を満足できない場合は、浄水場間の相互融通や配水区域の変更などを実施する。これらの作業は、水道局の水管理センターで行われており、具体的な作業手順を以下に述べる。

まず、当該日の水運用は朝9時に決定されるため、各河川水源地の管理者および各ダムの管理者に、この時刻における河川の流況や貯水状況および降雨による貯水池への流入状況などを、電話にて問い合わせる。また、各浄水場からも設備の稼働状況などの報告を受け、処理可能量を把握する。次に、当該日の曜日、天候、特殊日などを考慮して各浄水場の配水区域内の需要量を予測すると同時に、各水源から各浄水場への取水量を決定していく。さらに、各浄水場の配水区域内で目標需要量を満足できないなどの場合は、浄水場間の融通や配水区域の変更を行う。

まず、当該日の水運用は朝9時に決定されるため、各河川水源地の管理者および各ダムの管理者に、この時刻における河川の流況や貯水状況および降雨による貯水池への流入状況などを、電話にて問い合わせる。また、各浄水場からも設備の稼働状況などの報告を受け、処理可能量を把握する。次に、当該日の曜日、天候、特殊日などを考慮して各浄水場の配水区域内の需要量を予測すると同時に、各水源から各浄水場への取水量を決定していく。さらに、各浄水場の配水区域内で目標需要量を満足できないなどの場合は、浄水場間の融通や配水区域の変更を行う。

これらは、取水および運用ルールを参照するだけでも大変な作業であり、各水源の情報を考慮しながら、取水量を決定してゆくことは経験や知識も必要である。そこで本報では、取水量を決定する際に考慮されている、取水および運用に関するルールや経験則などをエキスパートシステムとして再現し、導入により期待される効果として、水管理者の負荷の軽減をはじめとして、定型判断に陥ることの防止や、知識・経験の普及・共有・継承による技術の標準化および新人の教育などを目的とした支援型エキスパートシステムの試作を行った。

## 3. ルールと知識および経験則の獲得と整理

筆者らは、知識獲得とノウハウ収集として、まず水源からの取水や浄水場運用に関する明文化されている基本的なルールをマニュアルなどから導出し、河川水源地とダム貯水池および浄水場単位に分けて整理を行った。さらに、実際に水管理を行っている担当者に対し、数回のアンケートとインタビューを行い、取水運用の現場における明文化されていない取水や運用のための知識や経験則などを得た。

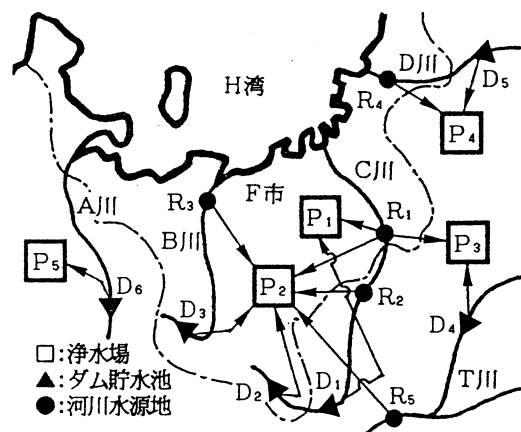


図-2 F市における浄水施設

## 4. エキスパートシステムの作成

F市は図-2に示すように、水資源の確保を近郊の4箇所（R<sub>1</sub>～R<sub>4</sub>）、6箇所（D<sub>1</sub>～D<sub>6</sub>）のダム貯水池およびT川からの遠距離の導水（R<sub>5</sub>）により行い、5箇所（P<sub>1</sub>～P<sub>5</sub>）の浄水場による上水を市内全域に配水している。T川は一級河川で

流況は比較的安定しており、F市は市内の水需要量に関わりなく一定の受水を行うことになっているため、T川からの導水（R<sub>5</sub>）は今回のシステムでは考慮していない。図からもわかるように、複数の浄水場が1箇所の水源から取水を行っている箇所もあり、特に市内で最大の処理能力を持つP<sub>2</sub>浄水場は、T川からの導水を含め、4箇所の河川水源と2箇所のダム貯水池から取水する複雑な運用を行っている。また、かつては浄水場間は物理的に結ばれていなかったが、各浄水場の配水区域間の平等なサービスを実現するため、過去の大渇水の教訓をもとに、現在は浄水場間の相互融通が可能となっている。

エキスパートシステムの基本となる知識表現の方法は、各浄水場と各水源についてはフレーム構造を、取水・運用に関するルールはプロダクションルールを用いた<sup>6)</sup>。まず、図-3に示すように浄水場フレームをクラスとして位置づけ、施設の最大および最小浄水量・浄水場目標需要量・関係する各水源の水利権量の総和、取水可能量の総和、取水量の総和というスロットにより構成した。また各水源のフレームをインスタンスとして、関係する浄水場名の上位フレーム定義・時期により変化する水利権量・取水可能量・取水量というスロットにより構成した。次に、取水や浄水場の運用に関する基礎的なルールと管理者の経験や慣用的な知識は、IF~THEN形式のプロダクションルールで表現し、明文化されている取水・運用に関するルールと明文化されていない知識・経験に関するルールを、それぞれルールセットの形式で定義した。また、推論処理の中で要求される数値計算に関する手続きはデモン処理により行わせるようにした。

システムの概要を図-4に示す。まず、基本となるユーザ入力情報は、当該日の日付、各河川の流況、各ダム貯水率、各ダム流入見込み、各浄水場の配水区域内の目標需要量の5項目である。これらの情報をもとに、必要な取水・運用ルールおよび知識・経験ルールを参照しながら、順次決定されていく各水源や浄水場における水利権量、取水可能量、取水量などが浄水場フレームおよび各水源フレームの指定されたスロットに必要な応じてアクセスされる。

クラス（浄水場）の表現例

フレーム名: P <sub>1</sub> 浄水場	
スロット=施設最大浄水量	スロット値=174000
スロット=施設最小浄水量	スロット値=40000
スロット=浄水場目標需要量	スロット値=ユーザ入力
スロット=各水源の水利権量の総和	スロット値=デモン処理
スロット=各水源からの取水可能量の総和	スロット値=デモン処理
スロット=各水源からの取水量の総和	スロット値=デモン処理

インスタンス（各水源）の表現例

フレーム名: R <sub>1</sub> 河川水源	
上位フレーム: P <sub>1</sub> 浄水場	
スロット=水利権量	ファジット名=1/1~1/31 : ファジット値=58000
	ファジット名=2/1~2/31 : ファジット値=58000
	...
	ファジット名=12/1~12/31 : ファジット値=18000
スロット=取水可能量	スロット値=デモン処理
スロット=取水量	スロット値=デモン処理

図-3 フレームによる表現例

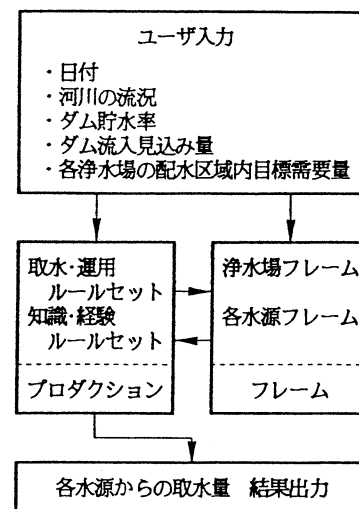


図-4 システムの概要

具体的なシステムの処理の流れを図-5に示す。システムが起動されると、まず①日付を質問される。日付を入力すると、年間を通して複雑に変化する水利権ルールの照合が行われ、②求められた各水源における水利権量が表示される。水利権量を確認したユーザは、③電話で問い合わせた各河川水源における流況を入力する。これにより河川の流況に関連したルールが照合され、各河川水源における暫定的な取水可能量が求められる。同様に④電話で問い合わせた各ダム貯水池における貯水率を入力すると、

ダムの貯水率に関連したルールが照合され各ダム貯水池における暫定的な取水可能量が求められる。さらに、⑤各ダム貯水池における流入見込み量の入力により、各河川水源地および各ダム貯水池の暫定取水可能量補正ルールの照合が行われ、補正された⑥各水源および各浄水場における取水可能量が表示される。ここで、⑦各浄水場の配水区域における目標需要量を入力すると、各浄水場における目標需要量に関連した不足・余剰量処理のルールが参照され、結論として⑧各水源および各浄水場における取水量が表示される。実際には、取水可能量の総和が⑥より大きければ、その過剰分は配水区域内の目標需要量を満足していない他の浄水場区域への融通などが行われる。また、各浄水場における取水可能量の総和が⑦の値に達しなければ、その浄水場の配水区域縮小を行うか、不足分を他の浄水場区域から融通するなどの措置が講じられる。しかし、このシステムでは現段階では各浄水場の配水区域単位の処理を行っているため、他の浄水場の配水区域との融通は行っていない。そこで、過剰分は③④⑤を考慮し各河川水源地やダム貯水からの取水を減じて、各水源からの取水量を求め、不足する場合は配水区域内の目標需要量を満足していないメッセージを出力することになっている。

### 5. 運用と結果

作成した取水量決定支援エキスパートシステムを平成2年の実績データを用いてシミュレーションを実施し、取水量の実績値との比較により年間を通したシステムの挙動と精度の考察を行った。シミュレーションは旬単位で行い、実績データの旬毎の平均値を用いた。

それぞれの浄水場における各水源からの合計実績取水量と、エキスパートシステムにより求められた各水源からの合計取水量の変化を図-6～図-10に示す。5箇所の浄水場の中では配水量の大きなP<sub>1</sub>～P<sub>3</sub>浄水場(図-6～図-8)では誤差が出ている箇所もあるが配水量の小さなP<sub>4</sub>浄水場(図-9)やP<sub>5</sub>浄水場(図-10)においてはシステムの実績デ

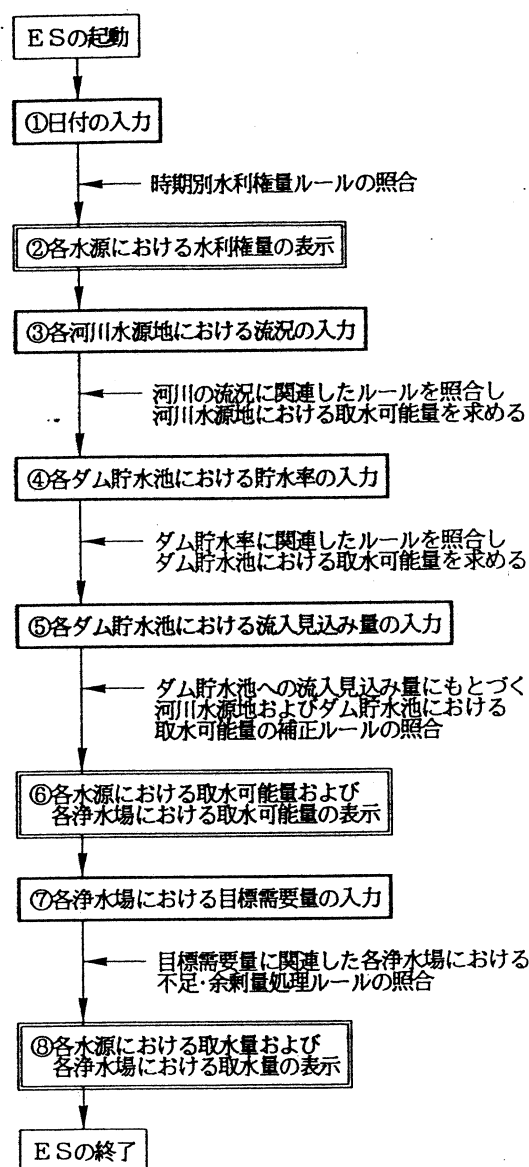


図-5 システムの処理の流れ

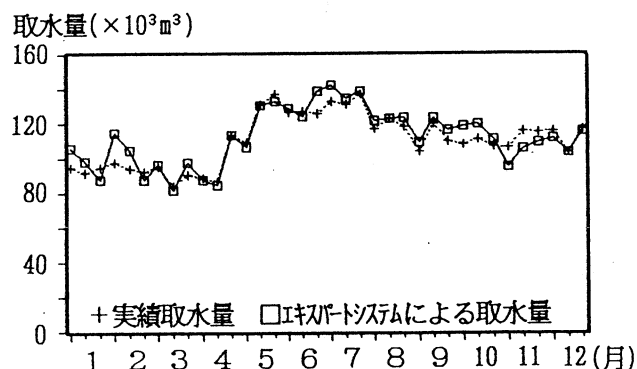


図-6 P<sub>1</sub>浄水場における取水量

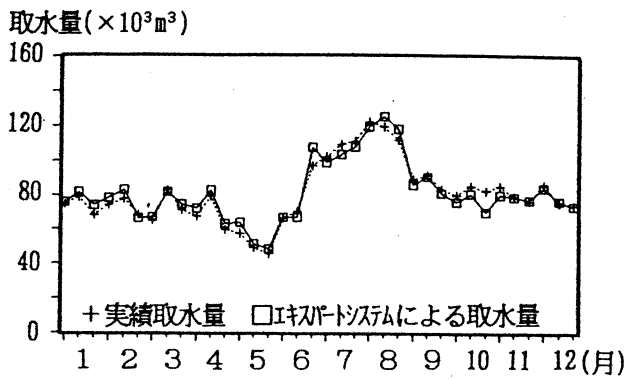


図-7 P<sub>2</sub>浄水場における取水量

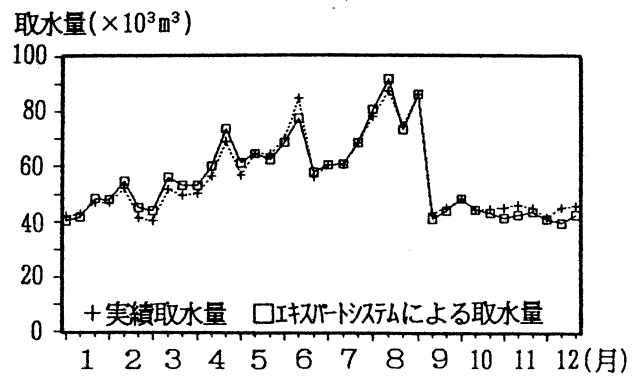


図-8 P<sub>3</sub>浄水場における取水量

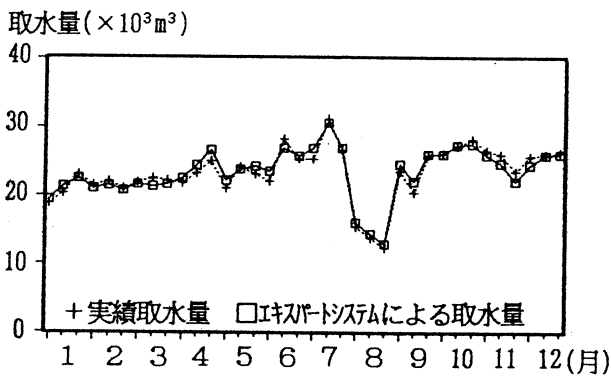


図-9 P<sub>4</sub>浄水場における取水量

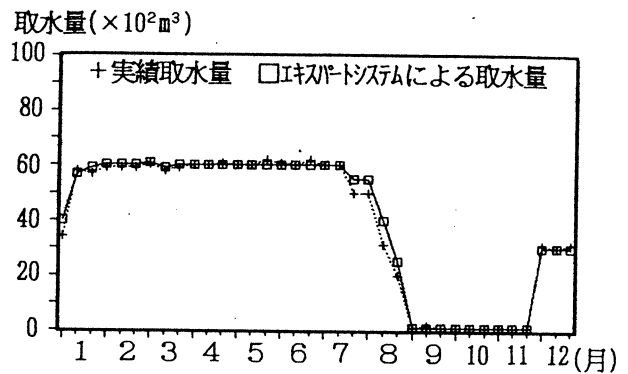


図-10 P<sub>5</sub>浄水場における取水量

ータに対する追随性は良好といえる。このように、旬毎の平均値による年間を通したシミュレーションでは、実績値とエキスパートシステムから求められた値はほぼ一致しており、水管理者が取水量を決定する際に考慮している取水および運用に関するルールや経験則などの再現は概ね行われたと考えられる。しかしながら、本報ではグラフとして示していないが、日データを用いて、このエキスパートシステム本来の利用法である日々の運用をランダムに実行させたところ、必ずしも良好な結果を得られなかった場合もあった。これはシステムが各浄水場間の相互融通に対応していないことや、運用に関するルールが不十分であることが原因と思われる。

## 6. おわりに

筆者らはこれまでに、水源の状況を把握しつつ既存の設備を互いに関連させた、取水から配水に至る総合的見地に立つ水資源管理システムの構築を検討してきた。その中で本報では、水資源管理システムの一環として、浄水場における取水運用に着目し、水管理者が各河川水源地およびダム貯水池からの取水量を決定する際の水管理者の負荷の軽減をはじめとして、定型判断に陥ることの防止や、知識・経験の普及・共有・継承による技術の標準化および新人の教育などを目的とした「取水量決定支援エキスパートシステム」の構築を試みた。

知識獲得とノウハウの収集として、まずマニュアルからは、水源からの取水や浄水場運用に関する明文化されている基本的なルールを、また水管理者へのインタビューからは、現場における明文化されて

いない取水や運用のための知識や経験則などを獲得した。これらはフレーム構造を用いて河川水源地とダム貯水池および浄水場単位に整理を行い、取水・運用ルールをプロダクションルールにより表現した。

このようにして作成された取水量決定支援エキスパートシステムに対し、旬毎の平均値による年間を通したシミュレーションを行った結果、実績値とエキスパートシステムから求められた値はほぼ一致したことから、水管理者が取水量を決定する際に考慮している取水および運用に関するルールや経験則などの再現は概ね行われたと考えられる。

現段階では浄水場を単位としたシステムであるが、今後は水管理者が実際にシステム操作を行い、入力情報やルール、経験則などの追加・再整理をしながら、浄水場間の融通処理に対応した実用的な取水量決定支援エキスパートシステムを目指していく方針である。

謝辞 本研究を行うにあたり有益な資料と助言を頂いた関係各機関の方々に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 田尻 要, 神野健二, 河村 明, 飯田英彦: 利水安全度を考慮した河川およびダム取水量決定システムの構築, 水文・水資源学会1991年度研究発表会概要集, pp. 62-65, 1991
- 2) 田尻 要, 末吉信一郎, 河村 明, 神野健二: 浄水場における取水量決定支援エキスパートシステムの構築 水文・水資源学会1992年度研究発表会概要集, pp. 40-43, 1992
- 3) 田尻 要, 神野健二, 河村 明, 飯田英彦: 利水安全度を考慮した河川およびダム取水量決定システムの構築, 九州大学工学集報, Vol. 65, No. 2, pp. 89-96, 1992
- 4) 田尻 要, 末吉信一郎, 河村 明, 神野健二: 複数水源地を持つ都市の取水量決定支援エキスパートシステムの構築, 第4回環境システム自動計測制御国内ワークショップ論文集, pp. 166-169, 1992
- 5) 田尻 要, 末吉信一郎, 河村 明, 神野健二: 複数水源地を持つ都市の取水量決定システムのための知識ベースの作成, 土木学会西部支部1991年度研究発表会概要集, pp. 394-395, 1992
- 6) 秋田興一郎: エキスパートシステム導入実戦ガイド, 電気書院, 1988