

## 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

田尻 要\*・神野健二\*\*・河村 明\*\*・末吉信一郎\*\*\*

### Development of an Expert System for Estimating the Extracted Water Quantity in a City with Multi-Reservoirs

Kaname TAJIRI, Kenji JINNO, Akira KAWAMURA and Shinichiro SUEYOSHI

(Received September 5, 1994)

**Abstract:** The city of Fukuoka meets her entire demand of water through a complicated system of water resources, which is formed by storing river and dam water in 5 locations. Water managers, with the focus on how the daily demand of water is pumped from the reservoirs to the purification plants, thereby are attempting to develop an expert system in the context of rules, experiences and knowledge in these matters. This we have termed "a supportive expert system for estimating the water quantity extracted". In our study, with the objective of developing this system, we are still at its preliminary state. However, in this article we describe how the actual data could be incorporated in simulations, and thereby are able to verify the accuracy of our system that the results obtained through the expert system are almost equal to the quantity of water actually extracted from the resources.

**Keywords:** Water resources management, Expert system

#### 1. はじめに

近年、水資源の開発は貯水池適地の不足、生態環境保全上の制約から容易に進まない状況にある。水循環サイクルの中のひとつとして、水資源の有限性を考えると、今後の水資源の運用においては、流域内の個々の水源地の単独運用よりも、流域の特性に応じて流域を越えた複数の水資源の統合管理が不可欠になるものと言われている。

ところで、このような統合管理を行うためには、基本となるデータの電子計算機での管理、運用上必要となる貯水池流入量などの状況や河川流況の将来予測、水需要量の予測、現場での日々の運用決定のための判断基準のコード化などが必要となる。そこで筆者ら

は、福岡市を対象にこのような水資源管理システムの構築のための一段階として、各水源からの取水量の決定に有用な情報を提供するモデルについて検討してきた<sup>1)~6)</sup>。本報では、このような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、取水運用担当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。

福岡市の水資源の特性を述べると、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筑後川からの遠距離の導水により行っている。しかし筑後川を除くと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

平成 6 年 9 月 5 日 受理

\*西松建設(株)技術研究所

\*\*建設都市工学教室

\*\*\*水工土木学専攻修士課程(現在、西松建設(株))

大規模な水源開発は厳しい状況下にある。

ところで、エキスパートシステムとは、専門家の解釈を必要とするような複雑な問題を取り扱うことを目的として、専門家の知識やそれに基づく推論などをモデル化したシステムである<sup>7)</sup>。つまり、計算機を用いたエキスパートシステムは、人間の専門家が持っている知識を計算機上に再現し、問題を専門家のように解決することが目標となっている。

本報では、取水量を決定する際に実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、取水運用担当者の負荷の軽減をはじめ、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や学習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。作成した取水量決定支援エキスパートシステムに対して取水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、取水運用担当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エキスパート上への再現の可能性が示された。

## 2. 取水量決定の現況

取水運用担当者は、当該日の市内全域および各浄水場の排水区域内の予測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、各水源からの取水量を決定している。また予測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、ダム貯水池の貯水状況および降雨による水位変動を参考にした流入状況などを確認する。また、各浄水場からも設備の整備や工事による使用制限などの稼働状況の報告を受け、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。この場合、各浄水場の配水区域内で予測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。これらは原則として基本的な運用要領に基づいて運用するが、運用要領を参照するだけでも大変な作業であり、取水量の最終的な決定は、

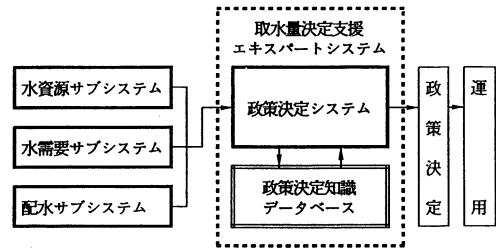


図-1 水資源管理システムの概要

各水源の状況を考慮しながらの担当者の経験によるところが大きい。

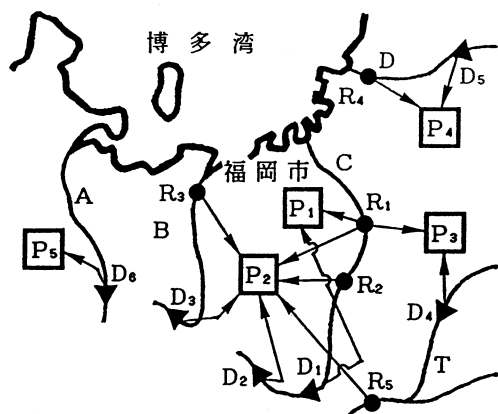
## 3. ルールと知識および経験則の獲得と整理

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<sup>2)</sup>を構成し、破線で囲まれた箇所に対応する。

著者らは、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。

## 4. エキスパートシステムの作成

福岡市は図-2に示すように、水資源の確保を近郊の4箇所の河川水源地(R<sub>1</sub>~R<sub>4</sub>)、6箇所のダム貯水池(D<sub>1</sub>~D<sub>6</sub>)および筑後川からの遠距離の導水(R<sub>5</sub>)により行い、5箇所の浄水場(P<sub>1</sub>~P<sub>5</sub>)により上水を市内全域に配水している。筑後川は一級河川で流況は比較的安定しており、福岡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、筑後川からの導水(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場合や、市内で最大量の浄水処理を行う夫婦石浄水場(P<sub>1</sub>)のように、筑後川からの導水を含め、4箇所の河川水源地と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場合もある。また、かつては配水区域は個々に独立していたが、各浄水場の配水区域間の平等なサービスを実現す



A:瑞梅寺川 B:室見川 C:那珂川 D:多々良川 T:筑後川

- :浄水場
- ▲:ダム貯水池
- :河川水源
- P<sub>1</sub>:高宮
- D<sub>1</sub>:南畑
- R<sub>1</sub>:日佐江
- P<sub>2</sub>:夫婦石
- D<sub>2</sub>:背振
- R<sub>2</sub>:番托
- P<sub>3</sub>:乙金
- D<sub>3</sub>:曲渕
- R<sub>3</sub>:室見
- P<sub>4</sub>:多々良
- D<sub>4</sub>:江川
- R<sub>4</sub>:多々良
- P<sub>5</sub>:瑞梅寺
- D<sub>5</sub>:久原
- R<sub>5</sub>:筑後大堰
- D<sub>6</sub>:瑞梅寺

図-2 福岡市の浄水施設

るため、現在は浄水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として、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>8)9)</sup>。フレーム構造は、構造的な知識を静的に表現することに適しており、スロットという構成要素を任意個集めたものである。スロットは名前と値の組からなり、それぞれスロット名とスロット値と呼ぶ。スロット名はその名が示すとおり名前であり、そのフレームの中では他のスロットに同じ名前をつけることはできず、スロット値も概念的にはひとつの値をとる。これらが実際の知識表現としてはさまざまな情報を含む必要があるために階層化されて用いられることになり、上位フレームの属性情報は下位フレームに継承される。またプロダクションルールとは、IF〈条件部〉 THEN 〈結論部〉で表現され、もし〈条件部〉が満足されていれば〈結論部〉を実行するという単純な表現と制御機構を持ち、ルールのモジュール性が高く編集作業が容易である。

このシステムではまず、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

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=174000m <sup>3</sup> /日
スロット=施設最小浄水量	スロット値= 40000m <sup>3</sup> /日
スロット=浄水場目標需要量	スロット値=1.4'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	
上位フレーム: P <sub>2</sub> 浄水場	
上位フレーム: P <sub>3</sub> 浄水場	
スロット=水利権量	フレーム名=1月1日~1月31日    フレーム値=○○m <sup>3</sup> /日 フレーム名=2月1日~2月28日    フレーム値=△△m <sup>3</sup> /日 フレーム名=12月1日~12月31日    フレーム値=□□' /日
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

最小浄水量、浄水場予測需要量、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の定義、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担当者の経験や慣用的な知識はプロダクションルールで表現した。ルールの例を挙げると、

```

IF 当該日が5月29日
    THEN D1ダムの水利権量は○○m3/日
IF R1水源地の流況が“非常に良好”
    THEN 水利権量の100%が取水可能
IF D2ダムの有効貯水率は85%
    THEN 水利権量の80%が取水可能
    
```

などである。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ーモン処理により行わせることとした。デーモンとはスロットに手続きを記述しておくこと(手続き付加)で、状況を監視して必要に応じて役割を果たす機能であり、スロットの値が必要になった時や値が更新された時などに起動される。

システムの概要を図-4に示す。まず、基本となるユーザ(取水運用担当者)の入力情報は、当該日の日付、各河川の流況、各ダム有効貯水率、各ダム流入見込み量、各浄水場の配水区域内の予測需要量の5項目である。これらの情報をもとに、必要な運用ルールを

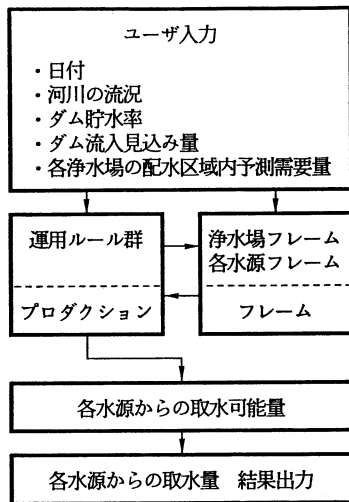


図-4 エキスパートシステムの構成

参照しながら、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に応じてアクセスされ、各水源や浄水場における水利権量、取水可能量、取水量などが順次決定されていく。

ここで、前述した5項目のシステムへの各入力データについて意味と定義を述べる。日付は当該日の水利権量を検索するために必要である。流況は取水地点に設けられた堰の越流高で判断し、水利権全量の取水できる可能性が極めて高い場合（流況が非常に良好な場合）から、全く取水できない可能性が高い場合（流況が非常に悪い場合）までを5段階に分けた。有効貯水率は各ダム貯水池の有効貯水率を入力することで、上水分水利権量の割合に応じて貯水率の変換をシステム内で処理することとした。また、流入見込み量は過去の流入量実績値を、予測需要量は過去の配水量実績値を用いた。

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日付が質問される。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取水運用担当者は、③報告により確認した各河川水源地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、各河川水源地における暫定的な取水可能量が求められる。同様に④報告により確認した各ダム貯水池における有効貯水率を入力すると、ダム

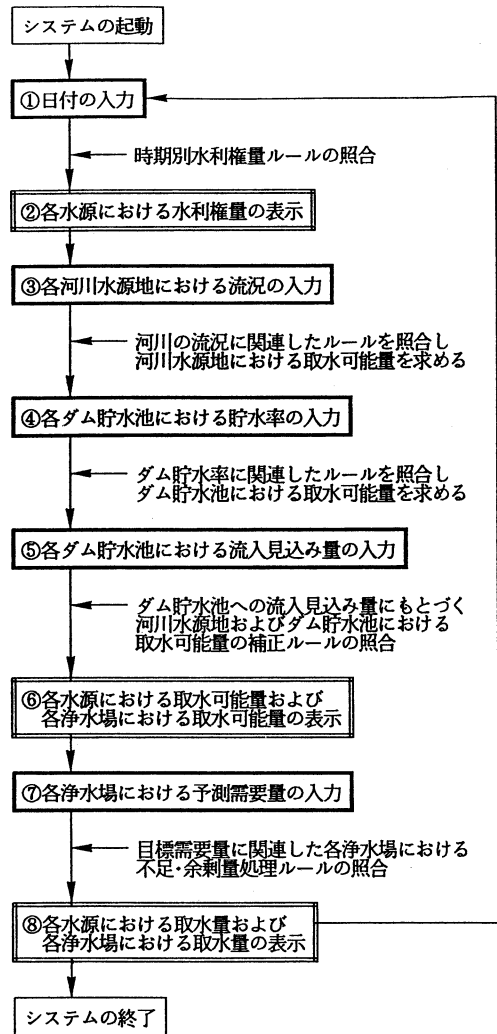


図-5 システムの処理の流れ

の有効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、⑥補正された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予測需要量を入力すると、各浄水場における予測需要量に関連した不足・余剰量処理のルールが参照され、最終的に⑩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⑪より大きければ、その過剰分は

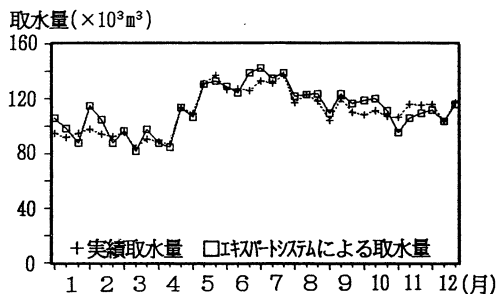


図-6 P<sub>1</sub>浄水場における取水量

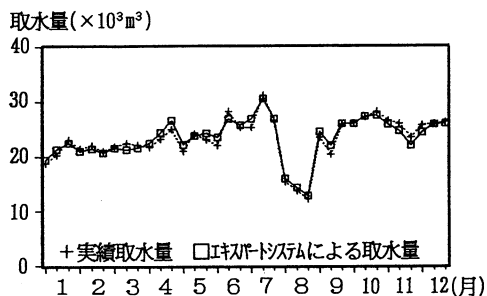


図-9 P<sub>4</sub>浄水場における取水量

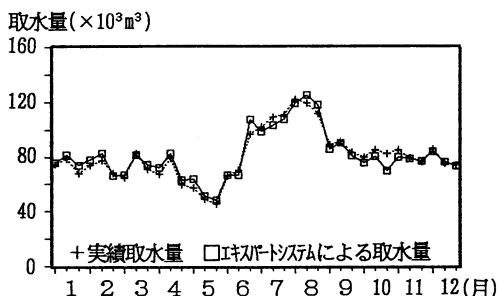


図-7 P<sub>2</sub>浄水場における取水量

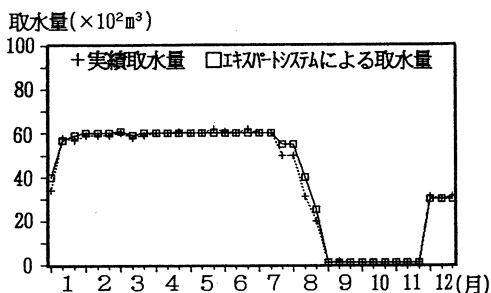


図-10 P<sub>5</sub>浄水場における取水量

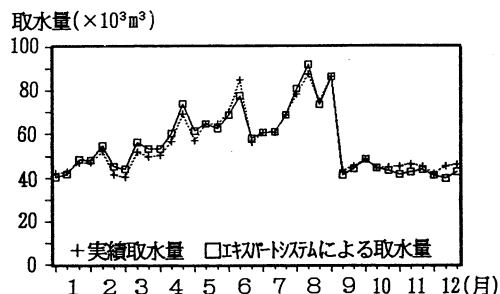


図-8 P<sub>3</sub>浄水場における取水量

配水区域内の予測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池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予測需要量を満足していないメッセージを出力すること

にしている。すなわち、⑧以降の処理は現実の運用とは異なっているため、現段階では⑥で出力される取水可能量の値を以てシステムの検討を行うことにする。

なお、このシステムはハードウェアに NEC 社製 PC-9801 パーソナルコンピュータ、容量 80MB のハードディスク、高解像度ディスプレイ、レーザプリンタを装備し、ソフトウェアに AI ソフト社製エキスパートシェル「大創玄」を用いて構築している。

### 5. 運用と結果

市内 5 箇所の各浄水場における平成 2 年の取水量の実績データを用いて取水シミュレーションを実施し、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。実際の水運用は日単位で行われているが、ここでは年間を通したスケールでエキスパートシステムを運用した様子を考察する目的と、現実における日単位の運用は、大きな状況の変化がない限り前日とほぼ同じ処理であることを考慮して、実績データの旬毎の平均値を用いて年間を通したシミュレーションを行った。

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

源からの合計取水可能量の変化を図-6～図-10に示す。5箇所の浄水場の中では配水量の日変化の大きな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日変化の小さな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ータに対する追従性は良好といえる。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、取水および運用に関するルールや経験則などのエキスパートシステムへの適用の可能性が示されたと考えられる。

## 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、取水運用担当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担当者の負荷の軽減をはじめとして、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、また取水運用担当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、プロダクションルールの形式で整理した。また、河川水源地とダム貯水池および浄水場における基本的なデータはフレーム構造を用いて表現した。

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。その結果、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、取水運用担当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エキスパートシステムへの適用の可能性が示さ

れたと考えられる。

この試作システムでは浄水場を単位としているが、今後は浄水場間の相互融通に対応させた処理を可能にし、取水運用担当者が実際にシステムを操作しながら、経験則などの追加・再整理や各々のルールに重み付けを行うことなどが必要であろう。また、水源状況に応じた取水方針の変化に対応して、将来の取水運用をエキスパートシステムによりシミュレートすることで支援機能を充実させることを目指している。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり有益な資料と助言を頂いた福岡市水道局水道管理課各位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: 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
- 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: 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
- 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
- 6) Kaname TAJIRI, Development of Decision-making Support System for Use of Multiple Water Resources, Integrated Water Resources Management in Urban and Surrounding Areas, 20, 1-11, 1994
- 7) S. M. ワイス, C. A. クリコフスキ: エキスパートシステムの設計, 近代科学社, 1987
- 8) 秋田典一郎: エキスパートシステム導入実戦ガイド, 電気書院, 1988
- 9) 上野晴樹, 小山照夫: エキスパートシステム, オーム社, 1988