

(20) 河川空間のプランニングへの
エキスパートシステムの適用
Application of Expert System for River Space Planning

斎藤 省三* 磯村 辰彦* 西原二五江*
Syozo Saito Tatuhiko isomura Fusae Nishihara
伊藤 一正**
Kazumasa Itoh

ABSTRACT; The zoning method is the most popular method used for river space planning. However, this method requires much time in order to process a large amount of data, and judgment is entrusted only to experts at present. This research is aimed at constructing a system which enables anyone to follow through a consideration process, in the same manner as an expert would, in a short time by using an expert system to solve problems, in a way which presently takes specific experts much time.

This paper indicates the possibility of constructing an expert system by obtaining zoning know-how (knowledge and judgment process), which is possessed by experts only through much experience. This was done by interviewing experts and by referring to case studies, and then making rules and systemizing the information gained.

The future objective of this prototype system is to further extend the acquisition of know-how, increase the reliability of the system, increase the ability of the system to assist users, and then to practically apply it.

KEY WORDS; River space management, zoning, expert system, acquisition of knowledge,

1. はじめに

現代は機能性に加えてより高い快適性が求められており、人々の関心は、豊かな環境の創造・都市の再生・アメニティの向上などに向きつつある。潤いのある水辺空間を求める声が高まりつつあるのもこの現れの一つである。

潤いのある水辺空間を創出し、望ましい地域環境の形成を図るために、限りある河川の空間をどのように保全しあるいは整備してゆくかが、今日では重要な社会的課題となっており、このための河川環境管理計画の策定が全国の河川で進められている。このような、河川空間の整備・保全の方針を具体化するための手立てとしてよく用いられるのがゾーニングである。しかしながら、説得力のあるゾーニングを行うためには膨大なデータの積み重ねと判断が必要であり、また手作業による部分が大半を占めることなどから結果を導くのに長時間を要するという難点がある。

* 鋼建設技術研究所環境計画部 CTI ENGINEERING CO.,LTD. ENVIRONMENTAL PLANNING DEPARTMNT

** 鋼建設技術研究所AI研究室 CTI ENGINEERING CO.,LTD. A.I. DIVISION

専門家は、地域住民の志向、地域の特性等数多くの情報を巧みに操作し、与えられた場の条件に応じてそれにふさわしい河川空間のイメージを描き、ゾーニングとして具体化することができる。

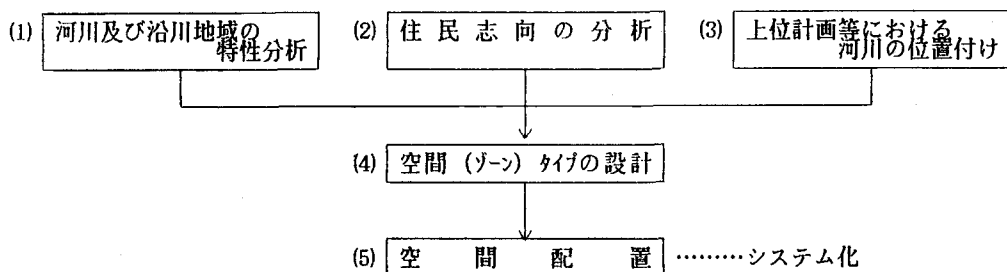
ここでは、エキスパートシステム（E S）の技法に基づき、専門家の思考方法や判断過程を分析し、その一部をエキスパートシステムとして具体化しようとしたものであり、エキスパートシステムの適用可能性を研究するとともに、ゾーニングプロセスのスピードアップを目指したものである。

2. 河川空間のゾーニングの手法

河川空間計画では、河川環境と沿川地域社会の環境との融合を図るために、いかに河川空間を活用するかが重要な検討項目であり、そのための具体的な手段の一つがゾーニングである。

ゾーニングとは、ある区間の河川あるいは沿川地域の特性などを総合的に判断して類型化し、それぞれの類型に最もふさわしい河川空間計画（施設のレイアウト等）の方針を提示するプロセスを指しており、現在全国の河川で策定が進められている河川環境管理計画の中にも位置付けられている方法である。

実際のゾーニングは、例えば図－1に示すような一連のプロセスに従って進められるのが一般的である。なお、本研究は特に(5)の空間配置の決定を対象としたものである。



図－1 空間配置（ゾーニング）の手順の例

3. エキスパートシステムとは

エキスパートシステムとは、人工知能（Artificial Intelligence: A I）の応用分野の一つに位置付けられ、ある特定分野の専門家から獲得した知識を用いて推論を行い、その分野の専門的で高度な問題を専門家と同等の水準で解決することを目指すシステムと定義される。

今、自分の知識・経験を他の人に伝える方法を考えると、最も合理的で正確な方法が文字・言葉を用いた方法であり、次いで画像等を用いた伝達方法等と考えることができる。つまり、これまでのコンピュータシステムで行ってきたように、数値でモデル化し伝達する方法はモデル化自体が難しいとともに伝達の正確さにおいても言葉・画像を用いる方法ほど優れていないことは容易に推定することができる。エキスパートシステムではこのような点に着目し、専門家が頭の中の知識を言葉あるいは文字でモデル化する過程をそのままシステム化しようとするものである。

このように、エキスパートシステムは、人間の試行に類似させて、文字や言葉を中心に処理を行うものであり、これまでのコンピュータシステムで行ってきたような数値でモデル化する方法とは異なり、思考過程に合わせたルールと知識をプログラミングしてゆくところに特徴がある。

4. 知識獲得の内容

専門家からの知識の獲得は、種々の方法の中から既往の事例に基づくインタビュー形式によって実施した。

その結果、専門家はまず第一に既往の事例、文型等から得た知識（経験的知識）と図－1の(1)～(3)の基

基礎調査により得られた情報を対比させ、空間のタイプをイメージしている。

次に、専門家はこれらの空間タイプにふさわしい特性を表現しうる適切な指標体系を組み立てる。さらに、ゾーニングの対象とする空間全体に対し、各々の空間タイプをどのような割合で配置すべきか、再度基礎調査の結果をもとに判断することになる。例えば、図-1に示した基礎調査の中から、(1)の特性分析、(2)の住民志向の分析、(3)の計画上の位置付け等を考慮し、タイプAの空間：タイプBの空間：タイプCの空間の望ましい割合（適正配分比率）を50：30：20のように判断する。

最後に、ゾーニングの対象空間をある単位空間に分割し、各単位空間毎に先の空間タイプの特性に対応する指標で評価し、過去の経験に基づくあてはめの基準に従って適正なタイプを決める。

このように、専門家が行うゾーニング作業は、各空間タイプの性格をもとにその地域にふさわしい空間タイプを数種類設定し、各空間タイプの特性を表現する指標を組み立て、最後に地域の状況に応じた適正な割合を設定して空間タイプをあてはめるというプロセスで構成されており、その各段階にノウハウが集められている。

4.1 空間タイプの適性評価

専門家は、空間タイプの適性評価を種々の指標により実施しているがインタビューに用いた既往のゾーニング事例では、タイプA～Cの3タイプの空間がイメージされ、それぞれの空間タイプは、次に示すような特性をもつものと判断している。

I. タイプAの空間

： レクリエーション要請が高く、それを受け入れるべき資源もあり、保全を必要とする対象がなく、自由な活動ができる空間。

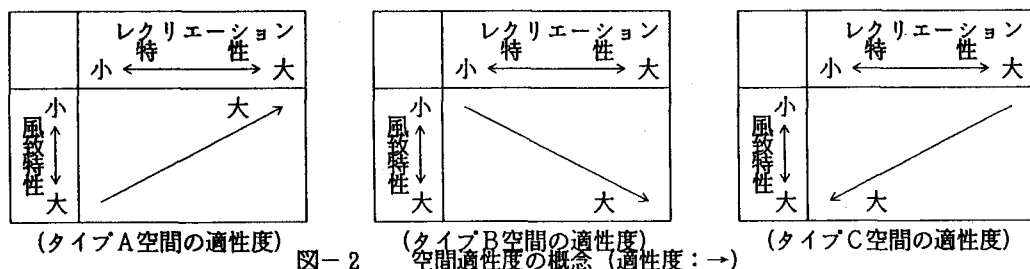
II. タイプBの空間

： レクリエーション要請が高く、それを受け入れるべき資源もあり、なおかつ豊かな自然があり、自然の中でのレクリエーションができる空間。

III. タイプCの空間

： レクリエーション要請が低く、それを受け入れるべき資源もないが、一方で鑑賞に値するような保全すべき対象に恵まれている空間。

このように、各空間タイプの適性度の概念はレクリエーション要請及び保全の必要性の2つの評価軸で表現することが可能となる。それぞれをレクリエーション特性及び風致特性として指標化すると、A、B、Cの各空間の性格を図-2のようにして表すことができる。



さらに専門家はこれらの、レクリエーション特性及び風致特性の内容を図-3及び表-1に示すような要素により構成していることがインタビューを通し明らかとなった。

図-3及び表-1のそれぞれの要素の内容は、例えば表-2のような指標でモデル化することができる。各々の評価指標、評価関数は、専門家が過去の経験等の知識により定義付けたものである。

4.2 対象地域の空間適性の判断

次に専門家はゾーニングを行おうとする河川の対象空間を単位空間に分割し、その分割された空間の中の様々な情報を評価し、空間の適性を判断している。

空間適性度の評価は図-3に示した思考方法と同じであり、図の右から左へ評価体系の上位に向かって進められてゆく。例えば、はじめに「①-1-1-a 釣り場」が、表-2のルールに従って評価され、同様に「①-1-1-b 接水容易性」、「①-1-1-c 天端車道」が評価される。次に3指標をまとめた評価指標である「①-1-1 堤外地資源」の評価が行われる。その後①-1-2 堤内地資源⇒①-1 レクリエーション資源の順で評価され、さらに、①-2-1と①-2-2を合成した①-2を合わせ、「①レクリエーション特性」が評価されることになる。

そして②風致特性の各指標の評価も同様に行い、2つの評価軸(①レクリエーション特性、②風致特性)の評価まで終わると、先に設定した空間タイプ別の適性度を求める準備が整ったことになる。

空間適性度は、例えば次のような関数により評価される。

タイプAの空間適性度 (D1) = レク特性の評価と風致特性の評価の差

タイプBの空間適性度 (D2) = レク特性の評価と風致特性の評価の和

タイプCの空間適性度 (D3) = 風致特性の評価とレク特性の評価の差

このようにして、分割された単位空間にはD1～D3の3種類の空間適性度が与えられる。

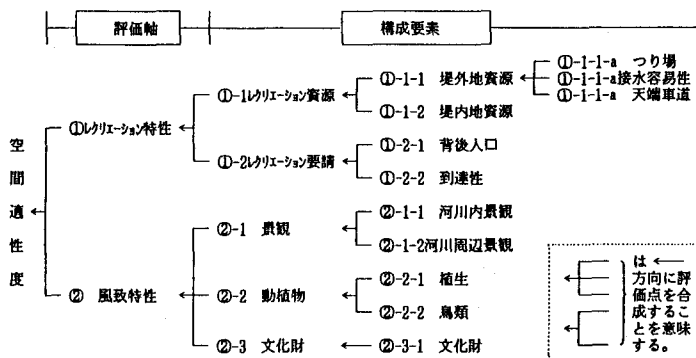


図-3 空間適性度の評価体系の例

表-1 空間適正度の評価体系の例 (概ね図-3 に対応する)

用 途	条 件
① レクリエーション特性	レクリエーション活動の場としての条件。両者の条件によって、開発されたと考える。 ① レクリエーション特性 — ①-1 レクリエーション資源 ②-2 レクリエーション要因
①-1 レクリエーション資源	レクリエーション活動の場（施設を受け入れる側）としての条件を考える。 ①-1 レクリエーション資源 — ①-1-1 国外地資源 ②-1-2 国内地資源 ①-1-1 国外地資源 河川におけるレクリエーション活動のしやすさおよび遊憩の高さを考えてよい。したがって、一般には、水面積、沿岸長さ、水質悪化、汚濁状況、高木林帯、柳林帯、沿川環境状態等、周辺の環境によって開発されるかと考えられるが、〇川においては、ほぼ全長にわたって遊憩可能な状態にあるため、評価は、違いのみから実施して行うこととする。 ①-1-2 国内地資源 河川におけるレクリエーション活動を簡便にし、活性化させる国内地の可能性を用いている。ここでは、利用の範囲をとりあうこととする。
①-2 レクリエーション要因	河川のレクリエーション活動に対する潜在的な需要の増進に資している。人口および河川までの到達性（居住地区と河川を結ぶ交通手段の利便性）の2要素を考えることとする。 ①-2 レクリエーション要因 — ①-2-1 背後人口 ②-2-2 到達性
①-2-2 背後人口	河川背後の人口の大小が河川へのレクリエーション資源の大小を左右する最も重要な要素であると考えられるため、背後2km圏の人口を考えることとする。
①-2-2 到達性	居住地から河川までの到達の容易度をもつものとして、河川に取りつく道路までの距離を考慮することとする。
② 風 致 特 性	河川およびその周辺の環境が一帯となって創り出す河川周辺の景観、雰囲気など、植物、地形、土地利用等の関係で形成されるものである。この違いは、〇川において自然景観の造成要素として、区間ごとの特性の違いが顕著としていて、なおかつ、ある程度階層化が可能なる要素を考えた。 ② 風 致 特 性 — ②-1 景 観 ②-2 動 植 物 ②-3 文 化 財
②-1 景 観	景観を河川内景観（②-1-1）と河川周辺景観（②-1-2）に分けて考える。 ②-1-1 河川内景観 正しくした際の斜面が建造物等によって覆われることなく見えることが〇川の景観の本質であると考え、建造物との距離の大小により評価することとする。 ②-1-2 河川周辺景観 〇川の河川周辺景観の主要な要素である沿川の樹林帯をとりあげ、これに対する管理適否（樹林帯による景観上の効果と阻害が深い）によって評価することとする。
②-2 動 植 物	動・植物として河川域内生物（②-2-1）と鳥類、特に水鳥（②-2-2）を考えることとする。 ②-2-1 植 生 マコソ科属、ヨシ原属等の水辺植生の連続性の程度により、評価することとする。 ②-2-2 鳥 類 単位区間当たり得水鳥の数値により、評価することとする。
②-3 文 化 財	文化財の存在する項目である古い倉庫などによって評価することとする。

4.3 対象河川敷の空間配置の判断

専門家は次の段階でタイプ毎の空間適性度をもとに、水系全体にわたって前述のA～Cの配分を決定する。いわゆる空間配置を行う。

4.2で得られた空間適性度(D1~D3)は、それぞれに分布域が異なり、また、分散にも差がある。このため、専門家はD1~D3の各値について規準化を行い、規準スコアを用いて合成する方法を採用している。

このように、各単位空間は、標準化されたタイプA～タイプCの3種類の空間適性度をもつ。この値を判断の材料として専門家は最終的な空間タイプを決定する。

ステップ1 空間適性度（標準化後）第1位の値が1.0以上で、第2位の値との差が0.5以上の単位空間には、第1位を示している空間タイプをあてはめ

ステップ3 あてはめごとに、配分比率を計算する。適正配分比率に達した空間タイプが出現した場合、その空間タイプの適性度の如何にかかわらず、第2位以下の空間適性度によって空間タイプのあてはめを進める。

ステップ5 適正配分比率が満たされると（現実的には、適正配分比率に近似したとみなされる比率になった時）空間配置が完了する。

専門家の思考では、最後に“孤立空間の是正”を行っている。これは、孤立した微妙な空間の発生を避けるためである。

専門家からの知識獲得の結果から、
ブリーニングの思考方法をシステム化を
目指して整理すると図-5のようになる。

まずシステムは基礎調査の中から住民の志向等についてのデータベースを構築する。(DB1)

次にシステムは地域特性に関する情報をマッピングCAD等と連携して自動的に収集し、地域特性のデータベースを構築する。(DB2)

エキスパートシステムは、これらの

河川管理施設等 からの距離	遠い	中位	近い
1. 遠い	評価1	評価1	評価2
2. 中位	評価1	評価2	評価3
3. 近い	評価2	評価3	評価3

*利用点1、評価低い評価点2、評価中位の評価点3より、河川管理施設から距離を指標にする方が良くて、利用点1の流入水があり、生態環境が多様になっているところからの距離を指標にすることが望ましいと判断される例（ルール1 IF 河川管理施設までの距離が遠くかつ河川管理施設までの距離が近ければ、評価点=1）

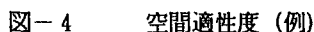


図-4 空間適性度 (例)



データベースの情報をもとに推論を行い、空間配置を決定する。本研究では、そのプロトタイプを構築した。

プロトタイプにおける思考の流れは図-6に示すとおりである。河川空間を評価する指標毎にモデルを組み立て、指標毎の判断を順次進め、この結果が妥当なものであるかどうかをチェックする仕組みである。

本システムではこれらの各過程にブロッカションルールを適用している。

6. システムの適用効果及び問題点

現在のシステムは基礎調査の結果による情報を入力しデータベースとして蓄積する部分と、必要に応じ基礎調査の結果をデータベースから取り出し推論を行い、ゾーニングを実施する部分とに分けられている。

データベースには、専門家の判断に必要な情報が蓄積しており、ゾーニングエキスパートシステムから要求があったとき、必要な情報を的確に引き渡せるように設計がなされている。

(1) 推論結果

図-7はゾーニングエキスパートシステムの推論及び判断内容の一部の画面である。既往の事例を用い、本システムの推論結果と専門家の判断とを比較した結果は概ね一致したものとなった。

(2) 適用効果

本研究で目的の一つに上げた処理時間の短縮化については、次のような結果が得られた。

専門家の手作業により進めていた評価指標データの属性を判断する過程は、従来、膨大な時間を必要としていたが、本プロトタイプでは空間単位数が70~100の場合で概ね15~20分の時間で処理することが可能となっており、手作業の場合に比べ処理時間は数百分の1に短縮されることがわかった。しかしながら、最終的な空間配置決定には約1時間を要し、実用面ではまだ改善の余地を残している。

(3) 問題点

システムによる判断結果を評価するために用いたケーススタディは、空間単位数が70~100個（左岸・右岸それぞれ）であり、通常のゾーニングとしては比較的小規模である。

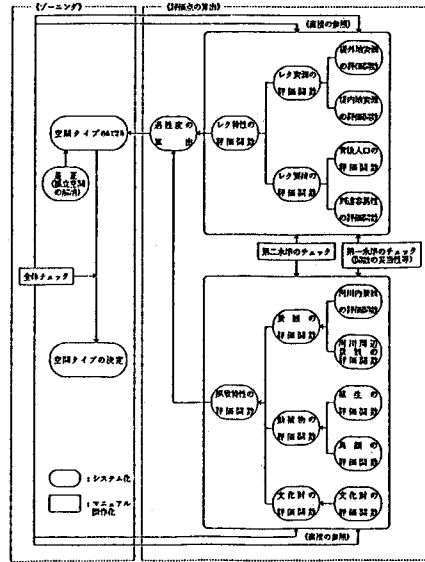


図-6 ゾーニングの思考モデルとシステム化

左岸の河川空間の評価を実施しました	右岸の河川空間の評価を実施しました
評価値大 >>> 500	評価値大 >>> 500
評価値小 >>> 250	評価値小 >>> 250
その結果	その結果
評価値数1 >>> 6 (8.571428)	評価値数1 >>> 3 (4.285714)
評価値数2 >>> 8 (11.428571)	評価値数2 >>> 12 (16.571428)
評価値数3 >>> 56 (80.0)	評価値数3 >>> 54 (77.142857)
・ どうしますか？ 1. 次の評価へ進む 2. 評価値を変更する 3. 終了する 数字を入力し実行キーを押下 ->	

左岸の河川空間の評価を実施しました	右岸の河川空間の評価を実施しました
評価値大 >>> 500	評価値大 >>> 500
評価値小 >>> 250	評価値小 >>> 250
その結果	その結果
評価値数1 >>> 27 (38.571428)	評価値数1 >>> 18 (25.714285)
評価値数2 >>> 3 (4.285714)	評価値数2 >>> 5 (7.142857)
評価値数3 >>> 12 (17.142857)	評価値数3 >>> 10 (14.285714)

図-7 推論実行例

表-3 エキスパートシステムの判断結果 (例)

空間区分	専門家の判断	ESの判断
0	D3-D3	D3-D1
1	D3-D3	D3-D3
2	D3-D2	D3-D2
3	D2-D2	D2-D2
4	D2-D2	D2-D2
5	D2-D2	D1-D1
6	D1-D1	D2-D1
7	D1-D1	D1-D1
8	D1-D1	D1-D3
9	D1-D1	D1-D1

B1-B2: 左岸タイプB, 右岸タイプB

しかし、前述のように空間配置に1時間を要することは、実用の面で多くの問題を残している。

また1回の評価に膨大なメモリを必要としているため、連続的に処理することができず煩雑な操作が必要となることなどの問題も生じた。専門家の思考フローのロス、あるいは適正な空間タイプのあてはめにおけるシステムフローのロスを低減する必要がある。

さらに、知識の面では、空間タイプのあてはめの過程で、適正配分比率に“近似している”と判断するプロセスに関する知識の獲得とシステムへの置き換えが現在のところ充分とはいえず、問題点の一つとして取り上げられる。

一方、専門家が常に新しい知識や情報を取り入れシステムそのものを再構築し続けているのに対し、構築されたエキスパートシステムはその時点までの知識によるプロトタイプにとどまるため、常に知識の更新や新しいシステムの移植を必要としている。これも問題点の一つである。

7. 今後の課題と展望

① 知識の確実な獲得

今後の課題としては、まず専門家の思考フローの確実な獲得があげられる。これにより、システムフローのロスの多くが避けられる。

② システムメンテナンスの向上

システムを拡張し基準値等の設定の理論をシステムに組み込むことなどによる省力化およびシステム・メンテナンスの向上も課題である。このための具体的な取り組みとしては、専門家自身の手によってエキスパートシステムを構築しメンテナンスを行う方法と、新しい知識を獲得するプロセスを内蔵したシステムを構築する方法とが考えられるが、後者は技術的により多くの問題を含んでいるため、現実的には、専門家自身がシステム構築の技術を獲得するのが得策と考えられる。

③ 入出力のインターフェースの改善

新たな課題としては、データ作成のプロセスを省力化するため、地形・資源等の一次情報を直接システムに取り込み、さらに地形図上にゾーニング結果を出力する方法の開発があげられる。

これに関連し、エキスパートシステムと既存のシステムとをいかに結合するかが重要な課題となってくる。特にエキスパートシステムが特殊なコンピュータ・言語やツールを用いて構築されている現実から見れば、既存のコンピュータ言語等との結合はきわめて重要な課題である。

④ 展望

エキスパートシステムは、まだ解決しなければならない数多くの問題をかかえているものの、本研究例にみられるように、これまでモデル化およびシステム化が困難とされていた領域の問題についても、思考フローが客観化可能であれば有効な手段となりうることが実証された。今後、さらに多様な分野へのエキスパートシステムの適用が期待される。

参考文献

- (1) 鶴河川環境管理財団編 河川環境研究会監修：解説 河川環境，1983，山海堂
- (2) フレデリック ヘイズーロス，ドナルド・A. ウォータマン，ダグラス・B. レーナト：
エキスパート・システム，1985，産業図書
- (3) P. ハーモン／D. キング：エキスパート・システムズ，1986，サイエンス社