

フラクタル次元・ $1/f$ ゆらぎを応用した橋梁の景観性評価支援システムDEVELOPMENT OF AESTHETIC EVALUATION SYSTEM
USING CONCEPTS OF FRACTAL DIMENSION AND $1/f$ FLUCTUATION○ 吉岡 正泰*, 岩松 幸雄**, 原田 隆郎***, 阿久澤 孝之****
Masayasu YOSHIOKA, Sachio IWAMATSU, Takao HARADA, Takayuki AKUZAWA

近年、橋梁の設計においては、周辺環境と調和し人間に“うるおい”や“やすらぎ”を与えるような景観設計が重要視されている。しかしながら、景観性については人によって感じ方が異なることから、それを定量的に評価できる指標が整備されていないのが現状である。

そこで本研究では、橋梁形式選定のためにファジィ推論による景観性評価支援システムを構築し、そのシステムにおける景観性評価指標としてフラクタル次元と $1/f$ ゆらぎの概念を導入した。そして、実際に架けられている橋梁を用いてシステムの検証をした結果、フラクタル次元と $1/f$ ゆらぎの概念が景観性を定量化する指標の一つとして適用できることがわかった。

Recently, consideration of the aesthetic evaluation into the process of bridge design has been increasingly important to make bridges harmonize with the surrounding environment and give “the grace and relief” to the human minds. However, there are not any aesthetic indices used commonly in bridge design, because it is difficult to evaluate aesthetic sense of human being quantitatively.

In this study, we constructed an aesthetic evaluation system for selection of type of bridge by the fuzzy sets theory, in which concepts of fractal dimension and $1/f$ fluctuation are used to quantify the aesthetic level of designed bridges. The application of this system to actually designed bridges indicate that the concepts were useful for the aesthetic evaluation.

キーワード：景観設計、フラクタル次元、 $1/f$ ゆらぎ、景観性評価支援システム、ファジィ理論

Keywords: aesthetic design, fractal dimension, $1/f$ fluctuation, aesthetic evaluation system, fuzzy sets theory

1. はじめに

我われ人類の生活および活動と地球環境との共存が叫ばれる中で、開発を旨とする建設界においても「Sustainable Development」、「地球にやさしい建設事業」、「人間にやさしい建設事業」という論議がその内外で展開されている。また、第11次道路整備五箇年計画でも活力ある地域づくりとともに、くらしの利便性、安全性、そして快適性の向上のための道路整備の推進を提起している。さらに、量から質へという時代の潮流もあり、橋梁においても周辺の環境と調和して人間に“うるおい”や“やすらぎ”を与えることができるような計画・設計が求められている。つまり、周辺環境と調和するような橋梁の景観設計が注目をあびているのである。しかしながら、その景観設計に関しても問題なしとしない。それは、力学的設計に関しては示方書や設計基準類で体系化されてきているものの、景観設計に関しては客観的かつ定量的に評価できる指標が整備されていないということである。

* 茨城大学大学院 工学研究科 都市システム工学専攻 (〒316 日立市中成沢町4-12-1)

** 茨城大学工学部 教授 都市システム工学科 工博 (同 上)

*** 茨城大学工学部 助手 都市システム工学科 工修 (同 上)

**** パシフィックコンサルタンツ(株) 開発推進事業本部 工修 (〒136 東京都江東区亀戸2-25-14)

本研究室では、橋梁の比較設計業務を支援するという目的で「橋梁の比較設計支援エキスパートシステム」を提案・構築¹⁾しており、力学的な部分については完全とは言えないまでも定量的に把握できる評価指標を設定してシステム化を行っているが、景観性についての定量的な評価指標はまだ整備されていない。

そこで本研究では、「橋梁の比較設計支援エキスパートシステム」における橋梁形式選定時において、周辺環境を考慮した橋梁の景観設計を行うために、自然現象を定量的に表現できるとされるフラクタル次元・1/fゆらぎを評価指標として設定し、それをもとにファジィ推論による評価を行う景観性評価支援システムを提案し、その構築を行うものである。

2. システム構成

システムのハードウェア構成を図-1に示す。ハードウェアとして、NECのパーソナルコンピュータPC-9801FA(120MBハードディスク内蔵、1.6MB RAM内蔵+4MB RAM増設)とSANSUIのカラーディスプレイPD-14M、イメージスキャナはEPSONのGT-6000、ハードコピープリンタはSHINKOのCHC-443、レーザービームプリンタはCanonのLBP-B406Sを使用し、ソフトウェアはBorlandのC言語であるTurbo C Ver. 2.0を使用している。

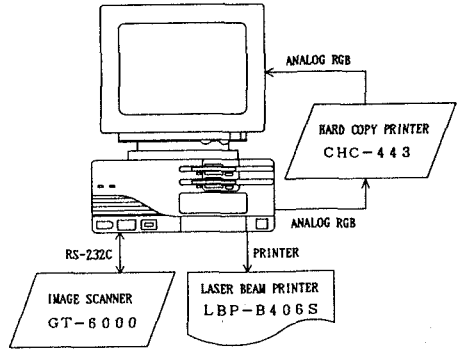


図-1 ハードウェア構成

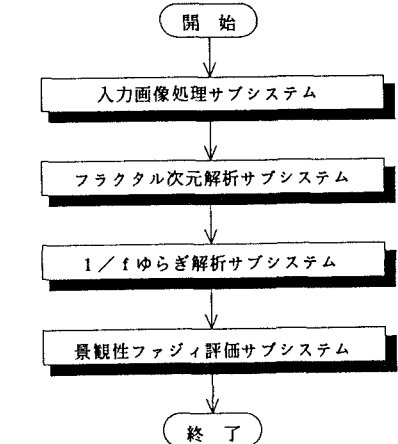


図-2 景観性評価支援システムのフロー

3. 景観性評価支援システムの構築

本研究で構築した景観性評価支援システムは4つのサブシステムから構成される(図-2参照)。入力画像処理サブシステムでは、架橋地点の写真をイメージスキャナで読み込んで画像データを作成し、フラクタル次元解析サブシステムおよび1/fゆらぎ解析サブシステムでは、その画像からフラクタル次元およびパワースペクトルの勾配を求める。そして、その結果から景観性ファジィ評価サブシステムによって、ファジィ推論により周辺環境を含む橋梁の景観性を評価する。

(1) 入力画像処理サブシステム

本サブシステムのフローを図-3に示す。本サブシステムでは、まずフラクタル次元および1/fゆらぎの解析に必要な架橋地点の写真をイメージスキャナで読み込みグラフィック表示する。画像データは、色彩は考慮せず形態のみに注目し、ハードウェア(PC-9800 シリーズ)の標準仕様を最大限生かしたモノクロの16階調表示(640×400ドット)で作成した。次に、作成された画像データからフラクタル次元の測定(BOX COUNTING法)が可能な400×400ドット、およびパワースペクトル算出のために行う高速フーリエ変換(FFT)が可能な256×256ドットのサイズを抽出する。そ

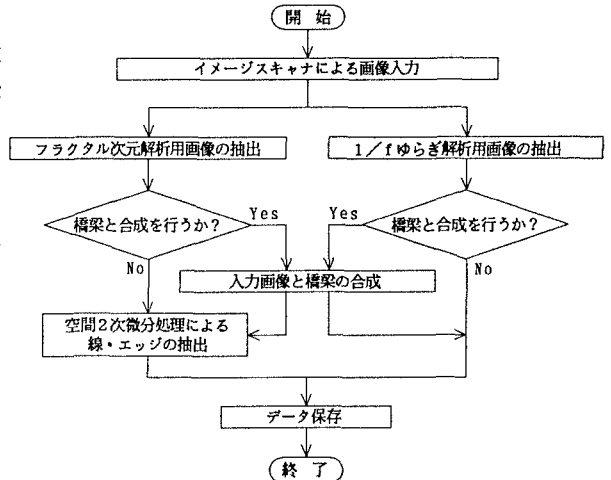


図-3 入力画像処理サブシステムのフロー

して、CGにより描かせた様々な橋種を合成し(図-4参照)、フラクタル次元解析用としては、画像変換に用いられる空間処理である2次微分処理により画像の特徴を抽出して、フラクタル次元の測定が可能な(線で構成された)画像を作成する(図-5参照)。

(2) フラクタル次元解析サブシステム

本サブシステムのフローを図-6に示す。本サブシステムは、BOX COUNTING法により橋梁の側面図や架設地点の地形等のフラクタル次元を求めるものである²⁾³⁾。まずフラクタル次元解析用画像データをグラフィック表示し、そのグラフィックス表示された画像データを格子(一辺長は1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 30, 50, 70単位ドットの17種類)に分け対象が含まれている格子の数を数える。そして、この作業を格子17種類すべてにおいて行い、格子の一辺長と格子の数の両対数に直線的関係があるかどうかの回帰分析を行う。さらに、分散比を計算してF検定を行い、格子の一辺長の対数値と格子の数の対数値の関係と分散分析表を出力し、格子の一辺長の対数値と格子の数の対数値から、最小二乗法によって

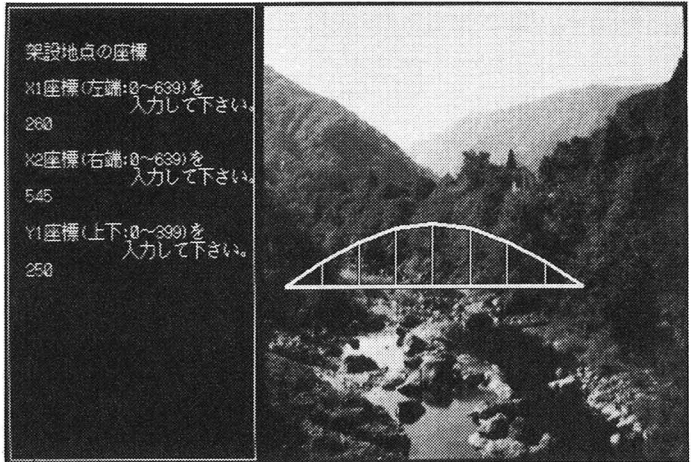


図-4 入力画像と橋梁の合成画面



図-5 空間2次微分処理後の画面

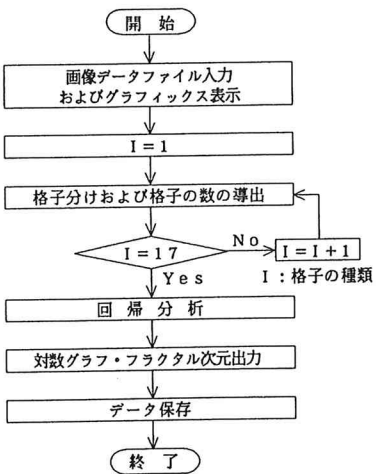


図-6 フラクタル次元解析サブシステムのフロー

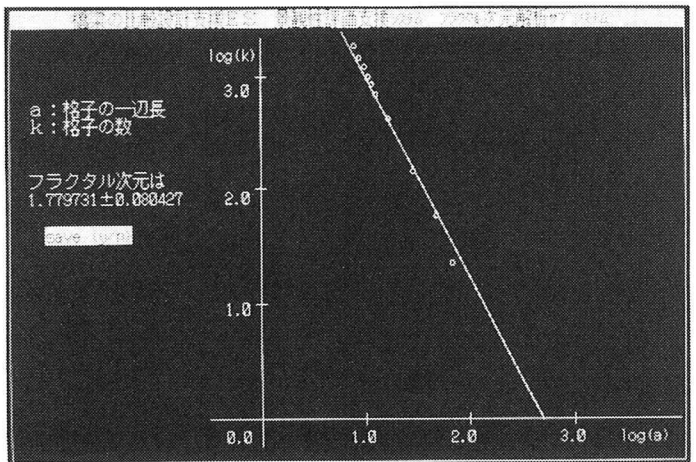


図-7 対数グラフおよびフラクタル次元の出力画面

傾き(フラクタル次元)を導出する(図-7参照)。

(3) 1/fゆらぎ解析サブシステム

本サブシステムのフローを図-8に示す。本サブシステムは、高速フーリエ変換により、橋梁の架設以前および以後のパワースペクトル勾配を算出するものである⁴⁾⁵⁾。まず、画像の水平方向および垂直方向の幅1ドットのラインをラインごとに濃淡変化を表現した1次元の波形とみなし、それぞれを平均して高速フーリエ変換を行うことで画像のパワースペクトルを算出する。次に、両対数軸上で周波数とパワースペクトル密度の間に直線関係があるかどうか、フラクタル次元解析サブシステムと同様に回帰分析を行う。そして、最小二乗法によりパワースペクトル勾配を導出する(図-9参照)。

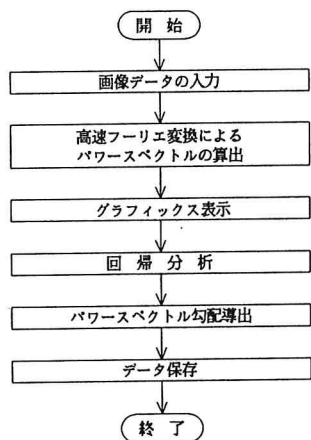


図-8 1/fゆらぎ解析サブシステムのフロー

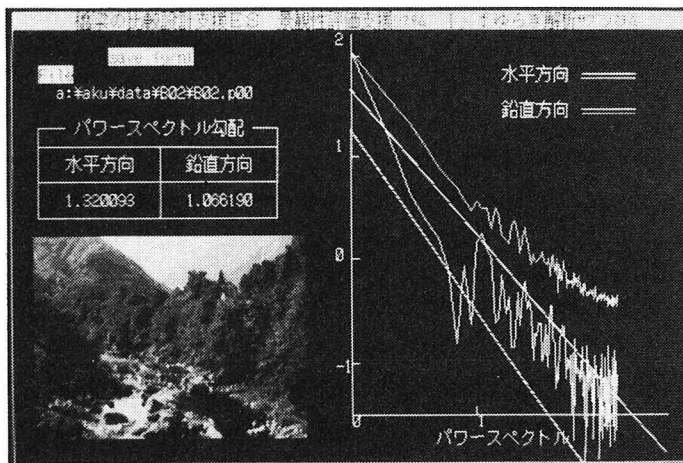


図-9 パワースペクトル勾配の出力画面

(4) 景観性ファジィ評価サブシステム

a) アンケート調査の実施

景観性ファジィ評価サブシステムを構築する前に、フラクタル次元・1/fゆらぎと景観性との関連性を調査し、ルール設定の参考とするために、アンケート調査を行った。アンケートの調査対象は茨城大学工学部建設工学科の学部生32名、大学院生16名、教職員11名および一般人33名の計92名である。

アンケートの方法としては、代表的な5つの地形A~Eに対し、それぞれ9種10パターンの橋梁を合成したものを準備して、その中から「調和」「違和」「シンボル(強調)」「安心」「不安」を感じるものをそれぞれ3つ以内で選択してもらった。ここで代表的な5つの地形A~Eはフラクタル次元の値によって選ばれており、それぞれA:1.78、B:1.70、C:1.70、D:1.62、E:1.55となっている。また、アンケート用紙における橋種番号と橋種の対応関係は表-1のとおりであり、このアンケート調査での10パターンの橋種は、景観性ファジィ評価サブシステムでの橋種の区分と同等である。なお、この10区分のことを評価橋種グループと呼ぶことにする。

アンケート調査の結果の一部を図-10、図-11に示す。実際に景観性ファジィ評価サブシステムで評価する2つの観点である「調和」と「シンボル(強調)」をとりあげてみると、「調和」に関しては地形(フラクタル次元)により適した橋種が見いだせたが、「シンボル(強調)」については、地形に限らず斜張橋の解答件数が顕著に多かった。

表-1 評価橋種グループ

No	評価橋種
1	下路アーチ/ローゼ桁橋
2	上路アーチ/逆ローゼ桁橋
3	ランガー桁橋/ランガートラス橋
4	逆ランガー桁橋
5	トラスランガー桁橋
6	ニールセン橋
7	トラス橋
8	斜張橋(2スパン)
9	桁橋(2スパン)
10	桁橋(3スパン)

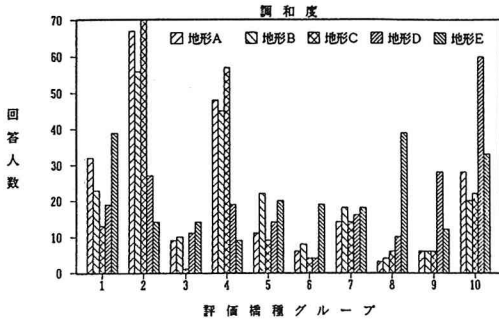


図-10 アンケート結果(調和度)

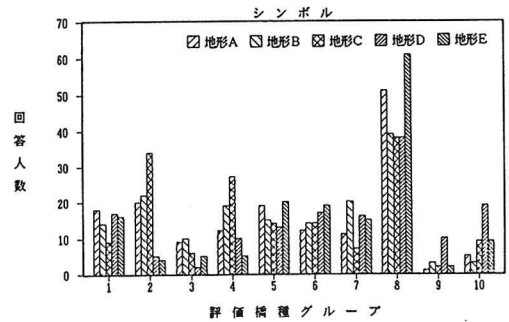


図-11 アンケート結果(シンボル)

b) サブシステムの概要

景観性ファジィ評価サブシステムのフローを図-12に示す。本サブシステムでは、フラクタル次元および $1/f$ ゆらぎと周辺環境を含んだ橋梁の景観性に関するルールを設定し、架橋地点の架設以前のフラクタル次元と架設後のパワースペクトル勾配を入力して、景観性を「調和」と「強調」の2つの観点からファジィ推論⁹⁾により評価する。

①フラクタル次元・パワースペクトル勾配データ入力

フラクタル次元解析サブシステム・ $1/f$ ゆらぎ解析サブシステムで算出された、架橋以前のフラクタル次元と架橋後のパワースペクトル勾配を入力する。

②調和度ランクの算出

周辺環境を考慮した橋梁の景観性を「調和」という観点から評価するための基準として調和度ランクを設定し、その算出をファジィ推論を用いて行う。ファジィ推論に用いるルールは、アンケート調査によってフラクタル次元と対象範囲橋種との間に「調和」に関する関連性が見いだされたため、このアンケート調査(調和度)の集計結果を反映させた形で橋種ごとにルールを設定した(図-13参照)。

③意外性ランクの算出

周辺環境を考慮した橋梁の景観性を「強調」という観点から評価するための基準として強調性ランクを設定するが、その前に中間結論として「意外性」を表す意外性ランクを設定し、これをファジィ推論により算出する。これには絵画において「パワースペクトルが $1/f$ 型であれば、適度な意外性がある」「パワースペクトルが $1/f^2$ 型であれば、意外性がなく退屈である」という武者ら⁵⁾の研究考察を画像に應用して意外性ランク算出ルールを設定した(図-14参照)。

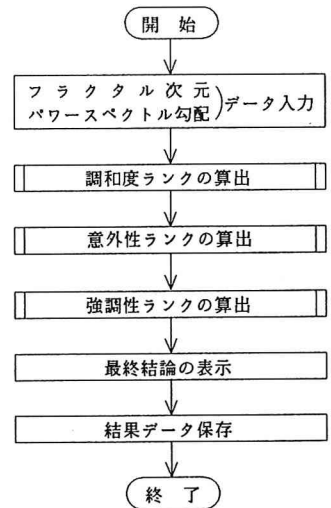


図-12 景観性ファジィ評価サブシステムのフロー

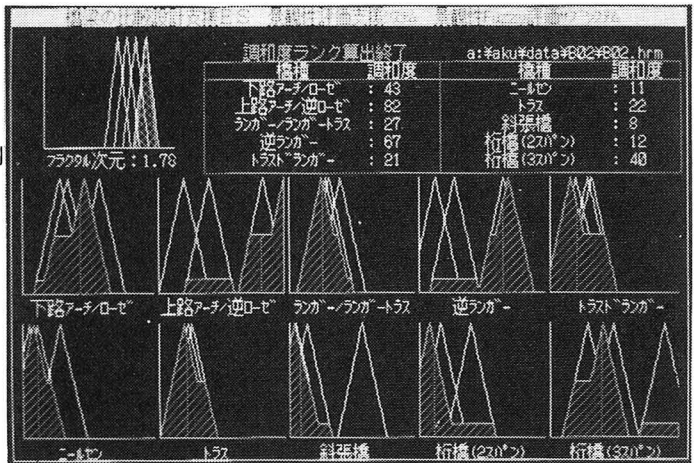


図-13 調和度ランクの算出画面

④強調性ランクの算出

周辺環境を考慮した橋梁の景観性を「強調」という観点から評価するための基準として強調性ランクを設定し、それをファジィ推論により算出した。ファジィルールには、③で算出した意外性ランクを前件部とするルールを用いる。このルールの設定には「適度な意外性があれば、その橋梁は周辺環境から強調されている」という考え方を取り入れた(図-15参照)。

⑤最終結論の表示

これまでに算出してきた架橋以前・以後のフラクタル次元、パワースペクトル勾配および架橋後の調和度ランク、意外性ランク、強調性ランクを表示し、調和度ランクと強調性ランクに順位づけを行うことで「調和」「強調」の観点で適した橋種を提示する。また、架橋地点を把握するために架橋地点の画像も同時に出力する(図-16参照)。

4. 検証

景観性評価支援システムの検証は、実際に架橋されているいくつかの地点について、その地点の写真を画像データとしてシステムに入力し、導出される結果と実際に架けられている橋梁とを比較することで行った。

本検証で使用した画像データは、山間部についての2地点(架橋地点A、B)と平野部についての1地点(架橋地点C)で、共に実際に橋梁が架橋されている地点であり、橋梁の上から撮影した写真から作成した。

以下で、各地点についての説明と共にシステム導出結果について示し、考察を加える。なお、表-2は各架橋地点に実際に架けられている橋梁と同じ形式の橋梁のシステム結果(調和度ランク、強調性

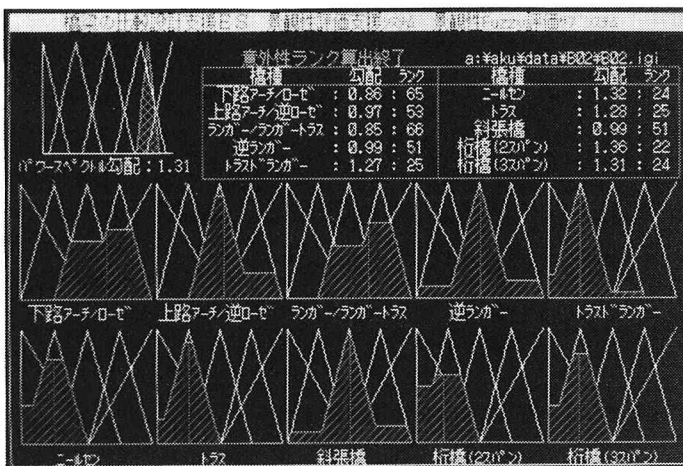


図-14 意外性ランクの算出画面

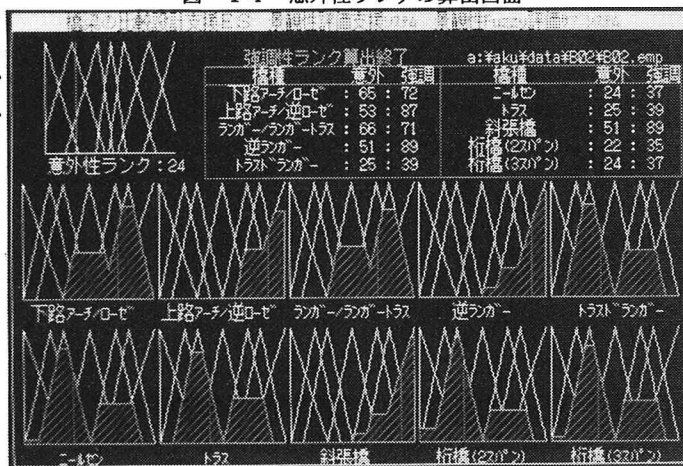


図-15 強調性ランクの算出画面



図-16 最終結論の表示画面

性ランク、順位)を示したものであり、架橋地点AおよびBはランガ-桁橋、架橋地点Cは3スパン桁橋のシステム結果である。ただし、架橋地点Cについての各ランクそれぞれの順位は、上段がシステム結果そのまま、

下段がシステム結果から上路アーチ系を省いたときの順位である。

(1) 架橋地点AおよびB

架橋地点AおよびBは同じ架橋地点の橋梁の川上方向(A)と川下方向(B)を撮した写真の画像である。この地の地点にはランガー桁橋が架橋されている。また、この地点の画像データより導出されたシステム結果は、それぞれ図-17、図-18に示すとおりである。

表-2 各架橋地点における調和度および強調性の各ランクとその順位

架橋地点	調和度ランク/順位	強調性ランク/順位
A	28/5位	85/2位
B	30/5位	75/2位
C	50/2位	63/3位
	50/1位	63/3位

この架橋地点に架橋されたランガー桁橋は調和度ランクが高くないので、それほど周辺環境に調和しているとは言えないが、強調性ランクが高く順位でも両方2位であるので、本橋が「強調」のみの要求で架橋されたとすれば、本システムの評価結果は妥当なものであることになる。

また、この橋は少し上を通る道路からも見ることができるので、上部構造をもつ形態としての意味は大きいといえる。

(2) 架橋地点C

架橋地点Cは平野部で、この地点には3スパン桁橋が架橋されている。また、この地点の画像データより導出されたシステム結果は図-19に示すとおりである。

この架橋地点に架橋された3スパン桁橋は調和度ランクが高く、順位としては2位であり、1位は上路アーチ系であった。しかしながら、この地形は平野部であるのでこの評価橋種グループの解析は行っておらず、これを省くと本橋種は調和度が最も高く、強調性ランクも適度にあるため周辺環境に調和し、かつシンボル性も適度にもっているといえる。



図-17 架橋地点Aのシステム結果



図-18 架橋地点Bのシステム結果

5. 結論

景観性評価支援システムを提案・構築し、その有効性について実際の架橋地点を例に検証した結果、各サブシステムについて以下の結論が得られた。

- ① 入力画像処理サブシステムについては、フラクタル次元・1/f ゆらぎ解析サブシステムで要求するレベルの画像を提供することができた。
- ② フラクタル次元解析サブシステムについては、架橋以前と以降とはフラクタル次元の値にほとんど変化がなかったが、「山間部はフラクタル次元の値が大きい地形、平野部は値の小さい地形」のように地形の複雑さをフラクタル次元で表すことができた。

- ③ 1/f ゆらぎ解析サブシステムでは、水平方向における合成橋種別の原画像との値の差から、「合成写真においてパワースペクトルの値が1に近づいていくと、その地形は意外性と期待性を適度にもち、合成に用いた橋梁はシンボル性をもつ」という1/f ゆらぎと景観性との関連性が確認できた。
- ④ 景観性ファジィ評価サブシステムについては、調和度ランクに関してはアンケート調査によるフラクタル次元(地形)と調和度の関連性を、強調性ランクに関しては画像における1/f ゆらぎの性質を反映させることができた。そして、これらがファジィルールにより表現され、入力データがルールにマッチしなくても推論が可能で、少ないルールからでも解が導出できたことから、本サブシステムの評価方法にファジィ推論を用いた意義を確認できた。また、導出結果と実際に架橋されている橋梁を比較して検証を行った結果、架橋の際の景観性の方針を仮定すれば、本サブシステムの導出結果と一致する場合が多かった。

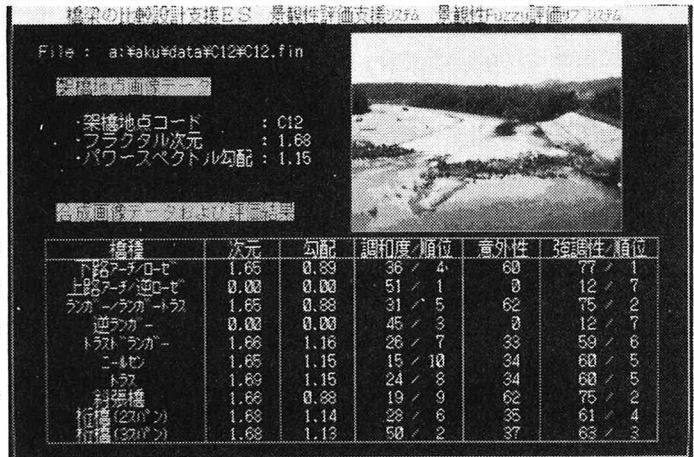


図-19 架橋地点Cのシステム結果

6. おわりに

本研究では、「橋梁の比較設計支援エキスパートシステム」における橋梁形式選定時において、周辺環境を考慮した橋梁の景観設計を支援するために、フラクタル次元・1/f ゆらぎを評価指標として取り上げ、景観性評価支援システムを提案・構築した。そしてシステムの検証を行った結果、フラクタル次元や1/f ゆらぎを用いた評価指標を設定することが、「橋梁の比較設計支援エキスパートシステム」における景観性評価の一手段として有効であることを確認できた。

しかしながら、本システムもさらに検討を有する部分が多々あることは言うまでもない。例えば、今回取りあげた「調和」と「強調」という景観性評価要素の関係が十分体系化されていなかったり、橋梁を見る視点場が一点のみに限られていること、また本システムで扱った画像データが256階調のモノクロ表示であることなどである。さらに、本システムは「橋梁の比較設計支援エキスパートシステム」の支援システムという位置づけであり、エキスパートシステム全体で稼働した場合の経済性との絡み、つまり受認の限界の設定をどうするかということも課題となろう。

【参考文献】

- 1) 岩松幸雄, 早川裕史, 原田隆郎: 橋梁の比較設計支援エキスパートシステムに関する研究, 土木学会論文集 No. 453/VI-17, pp. 51-57, 1992. 9
- 2) 仁平義祐, 岩松幸雄, 原田隆郎, 阿久澤孝之: 周辺環境を含む橋梁の景観設計のための評価指標の提案 - その1 フラクタル次元の橋梁形式選定への適用, 第48回年次学術講演会, 講演概要集 I, 1993. 9
- 3) H. O. パイトゲン, D. ザウペ: フラクタル・イメージ理論とプログラミング, シュプリンガー・フェアーク東京, 1990. 8
- 4) 吉岡正泰, 岩松幸雄, 原田隆郎, 阿久澤孝之: 周辺環境を含む橋梁の景観設計のための評価指標の提案 - その2 1/f ゆらぎの橋梁形式選定への適用, 第48回年次学術講演会, 講演概要集 I, 1993. 9
- 5) 武者利光: ゆらぎの世界, 講談社, 1980
- 6) 矢川元基編: ファジィ推論-計算力学・応用力学への応用, 培風館, 1991. 1