

2次元的なゆらぎによる橋梁景観の定量的評価

A STUDY ON ASSESSMENT OF LANDSCAPE WITH BRIDGE
USING 2-DIMENSIONAL FLUCTUATION

岡島延康*, 保田敬一**, 安達 誠***, 白木 渡****, 堂垣正博*****

Nobuyasu OKAJIMA, Keiichi YASUDA, Makoto ADACHI, Wataru SHIRAKI, and Masahiro DOGAKI

- | | | |
|-----------|------------------------|------------------------------|
| * 学士(工学) | 関西大学大学院 工学研究科土木工学専攻 | (〒564-8680 吹田市山手町3-3-35) |
| ** 博士(工学) | (株)ニュージェック 総合計画・環境部 | (〒542-0082 大阪市中央区島之内1-20-19) |
| *** 工修 | 復建調査設計(株) 総合計画部 | (〒732-0052 広島市東区光町2-10-11) |
| **** 工博 | 香川大学教授 工学部信頼性情報システム工学科 | (〒760-8526 高松市林町2217-20) |
| ***** 工博 | 関西大学教授 工学部土木工学科 | (〒564-8680 吹田市山手町3-3-35) |

In assessment of aesthetics of landscape, questionnaire survey is used to analyze qualitative impression from landscape. But questionnaire survey has enormous time and labor. So establishment of quantitative evaluation method for landscape will be of great use. In this study, a method evaluating aesthetics of landscape with bridge by calculating fluctuation which obtain from 2-dimensional spectral analysis was proposed. Spectral analysis was calculated for hue and saturation, intensity in photography of bridges. To understand connection between fluctuation and sensitivity, fluctuation were compared with result by questionnaire survey which in early study. In addition ideal fluctuation was determined.

Key Words : fluctuation, assessment of aesthetic of landscape, spectrum, Kansei Engineering

1. はじめに

戦後、土木分野における構造設計では、主に安全性、耐久性、経済性などが追求されてきた。高度経済成長の終焉に至って、人々は量より質を求めるようになった。人々の関心が“人間生活の快適さ”に集まり、都市に景観や環境との共生が求められるようになった。橋梁に代表される土木構造物は、人々にランドマーク的な印象を与え、審美的な対象や文化遺産にもなる。また、そのデザインは、都市の景観を考える上で重要な位置を占めている。このような状況下にあつて、設計技術者は、橋梁とその利用者との関係をみつめなおし、より付加価値の高い構造を模索しなければならない。

橋梁の景観設計では、その美装化が景観全体をアンバランスにしたり、街の景観を壊したりすることがあるため、周辺環境との調和が優先される場合が多々ある。今日、橋梁は大規模になりつつある。都市ではもともと的人工的環境と対置されるため、橋梁の発現が周辺環境をどのように変貌させたかという視点も重要である。また、橋梁に対する意識は人によってそれぞれ異なり、デザインの好みもさまざまである。以上のことから、人々

が橋梁に抱く感性を明確に分析し、それを景観設計に取り入れる必要がある。しかし、感性と景観とを結びつけた評価指標や基準は依然あいまいで、橋梁の設計過程において、感性を十分考慮せず、デザインするケースが多い。そのため、感性的な景観評価に客観的な指標を与える工学的な研究が望まれる。

橋梁景観を評価するには、人々が橋梁に抱く「美しい」や「近代的な」などの定性的な景観イメージを分析する必要がある。しかし、多数によるアンケート調査に基づいた分析では、膨大な時間と労力を要する。それゆえ、より簡便な定量的景観評価が可能な手法が確立されれば、極めて有益であろう。

ゆらぎは、景観の自己相関性を定量化したものである。既往の研究^{1)~4)}において、それが数値を示したとき、比較的良い景観が得られているとされている。本研究では、2次元的なスペクトルから得られるゆらぎによる景観評価法を提案する。また、ゆらぎと感性の関係を調べるため、ゆらぎによる橋梁の景観評価と筆者らのアンケート調査の分析結果⁵⁾とを比較し、ゆらぎが景観評価の指標になりえるかどうかを検討した。

2. アンケート調査

本研究では、先の筆者らの研究⁵⁾で得られた景観評価値とゆらぎによる景観評価値を比較する。評価対象の橋梁景観は、橋梁年鑑⁶⁾から選定した。これは、

- ・写真が見やすく撮れている
- ・全体的な構図に統制がとれている
- ・被験者が判断しやすい

などの理由からである。

筆者らは、90橋の桁橋を対象に、43個のイメージ形容詞に関するアンケート調査をSD法によって行った。ちなみに、SD法は、測定方法として、十分な客観性、信頼性、妥当性を備え、かつ、多様な被験者や種々の概念をもつ領域にも適用が可能であるといわれている⁷⁾。形容詞対の評価段階には、アンケートの被験者に判断しやすく、かつ被験者の疲労が少ないと考えられる5段階評価が採用されている。なお、被験者は、関西大学工学部土木工学科の学生40名（女性20名、男性20名）であった。

3. ゆらぎによる景観評価手法

3.1 ゆらぎとは

ゆらぎ⁸⁾とは、不規則なものの変化をいう。これは、自然界に存在し、静止しているものではなく、時間とともに必ず変化している。たとえば、風は突然吹いたり、止まったりする。天体は、少しずつズレながら軌道運動を続け、決して一様な規則正しい動きをしていない。生物は規則的な運動ができない。このように、宇宙や自然のすべてにゆらぎが存在する。

ゆらぎの解析には、スペクトルが用いられる。これには、ゆらぎをフーリエ変換し、各周波数成分のパワースペクトルを算出する方法がある。その結果、ゆらぎを構成するさまざまな周波数成分がどの程度含まれているかが明らかにされる。

ゆらぎは、パワースペクトルの周波数依存性で分類される。いくつかのゆらぎについて以下に説明する。

(1) 白色ゆらぎ（ホワイトノイズ）

白色ゆらぎとは、パワースペクトルが周波数に依存しない完全にランダムなゆらぎのことで、多くの周波数成分を均等に含んでいる。スペクトル解析を行えば、傾きはゼロになる。白色ゆらぎは、非常に高い周波数成分を含むため、その変化が急激である。

(2) $1/f^2$ ゆらぎ（ブラウンノイズ）

$1/f^2$ ゆらぎをスペクトル解析すれば、傾きは-2となる。高い周波数成分をあまり含まないため、ゆらぎは緩やかに変化する。

(3) $1/f$ ゆらぎ（ピンクノイズ）

$1/f$ ゆらぎとは、白色ゆらぎと $1/f^2$ ゆらぎのちょうど中間に位置するゆらぎである。周波数の大きさとパワーとの間には、逆比例の関係が見られる。このゆ

らぎは、急激に変化することも緩やかに変化することもない。

$1/f$ ゆらぎは、小川のせせらぎや波の音など、自然界に心地よい音として存在する。また、心拍数や脳波の α 波など、我々の生体内にも見られる。 $1/f$ ゆらぎは、体のリズムと非常に類似しているため、人に快適感を与えると考えられている。

ここでは、単調でもランダムでもない適度なゆらぎが人々に快適感を与えるという概念に立脚して、橋梁の景観が評価できる手法の確立を試みる。

3.2 ゆらぎの評価法

ゆらぎに関する既往の研究では、1次元的にゆらぎを評価することが多い。本研究では、平面的な広がりをもつ被写体を扱うため、亀井の研究⁹⁾を参考に、2次元のスペクトルから得られるゆらぎに基づく景観評価法を提示する。特に、橋梁とその周辺の色彩に注目し、そのゆらぎを解析する。景観を平面に広がる色彩の集合とみなせば、隣接する色模様の変化が互いに影響し合い、観察者に刺激を与えていると考えることができる。ここでは、色彩を数値化し、その変化をゆらぎと見なす解析を行う。

ゆらぎ解析の手順は、以下のようである。

- ①画像データを離散的な $M \times N$ 行列で表現する。ここでは、 m 行 n 列目のピクセルの色相、彩度、明度を抽出し、画像データ $f(m,n)$ とする。それぞれの値を3次元で表せば、図-1 のようになる。
- ②画像パターン（平面波）に2次元離散的フーリエ変換を施せば、画像 $f(m,n)$ がどのような空間周波数成分から構成されているかが分かる。2次元離散的フーリエ変換像 $F(u,v)$ は

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n) \exp \left\{ -2\pi j \left(\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N} \right) \right\} \quad (1)$$

で定義される。ここに u, v はそれぞれ水平方向と垂直方向の空間周波数で、 $u=0, 1, 2, \dots, M-1, v=0, 1, 2, \dots, N-1$ とする。

- ③各空間周波数に対するパワースペクトル P_{uv} を求める。

$$P_{uv} = |F(u,v)|^2 \quad (2)$$

これは、各空間周波数成分のエネルギーで、画像の全体的な性質を表現する。

- ④ u, v, P_{uv} をそれぞれ x, y, z 軸とした3次元空間に表現する。なお、3軸とも対数軸とする。つぎに、パワースペクトルの分布を等しい傾きである曲面

$$z = a + b\sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

に回帰する（図-2を参照）。ここに、傾き b がゆらぎの程度を表す指標となる。ちなみに、傾き b が緩やかなほどランダムなゆらぎを、急なほど単調なゆらぎを表す。

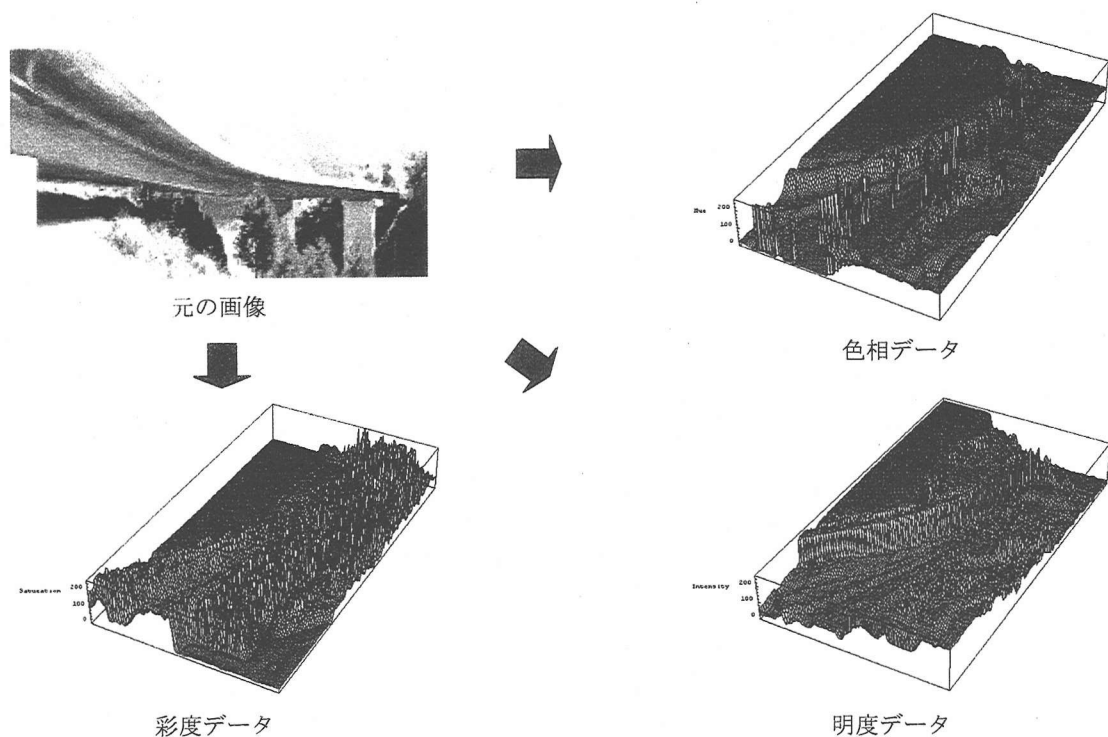


図-1 画像データ

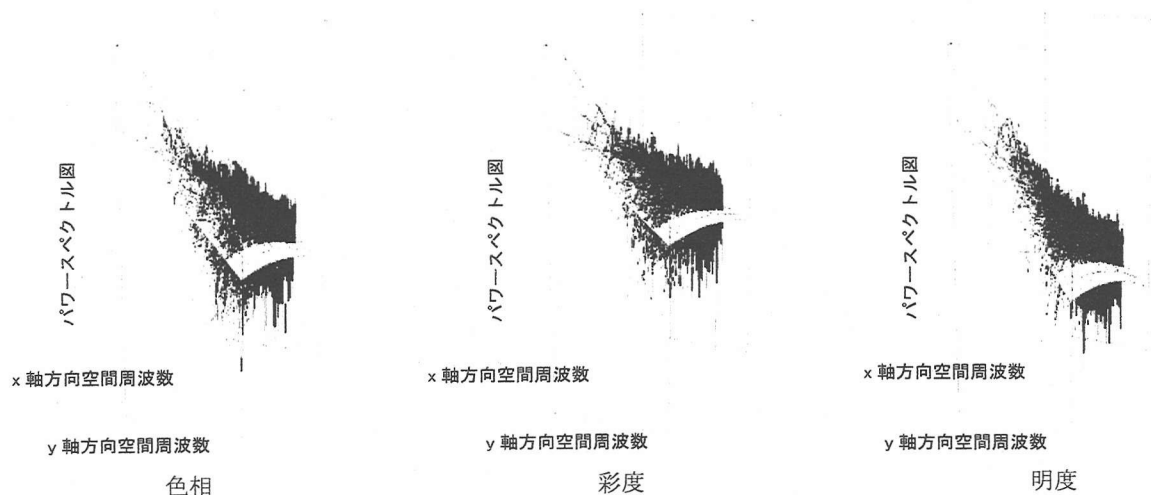


図-2 色相，彩度，明度のパワースペクトル図

3.3 橋梁景観を対象としたゆらぎの計算

アンケート調査に使用した 90 橋の橋梁写真に対し、ゆらぎ解析を行った。画像の大きさは縦 116pixel，横 208pixel である。

ゆらぎの値を調べれば、単調やランダムなど、ゆらぎの特性が判断できる。たとえば、ゆらぎは負の値で、絶対値が大きいほど単調なゆらぎを、小さいほどランダムなゆらぎを示す。そこで、画像を構成する要素である色彩（色相，彩度，明度）に注目し、それらのゆらぎを求めた。色相，彩度，明度に関するゆらぎの平均値が、それぞれ-1.621，-1.363，-1.942 のように求められた。この結果から、色相と明度のゆらぎは彩度のゆらぎよりも単調であることが分かる。

単調とランダムなゆらぎの景観例を図-3 に示す。ここに、同図は、景観の画像要素である色相に注目し、その変化を表したものである。ゆらぎ解析の結果、画像①の色相は-2.167 で単調なゆらぎと、また画像②の色相は-1.379 でランダムなゆらぎと判断される。図中に現れる色相の変化を検討したところ、画像②の変化が著しく、ランダムな様子を呈していることが分かる。

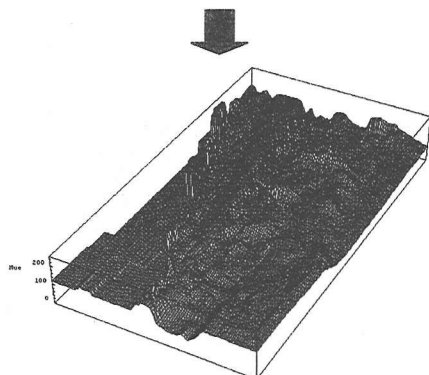
4. ゆらぎと感性の関係

4.1 90 橋全体の比較

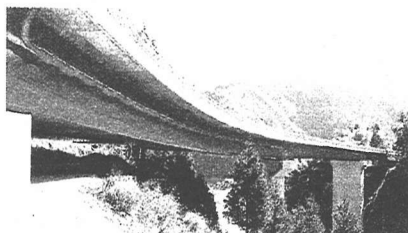
ゆらぎと感性の関係を調べるため、ゆらぎによる評価値とアンケート調査の結果を分析した。感性を表現す



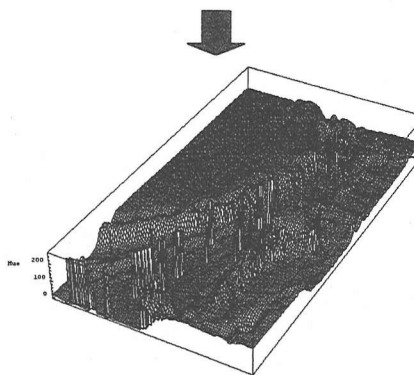
画像①



ゆらぎ-2.167 (単調)



画像②



ゆらぎ-1.379 (ランダム)

図-3 単調なゆらぎとランダムなゆらぎ

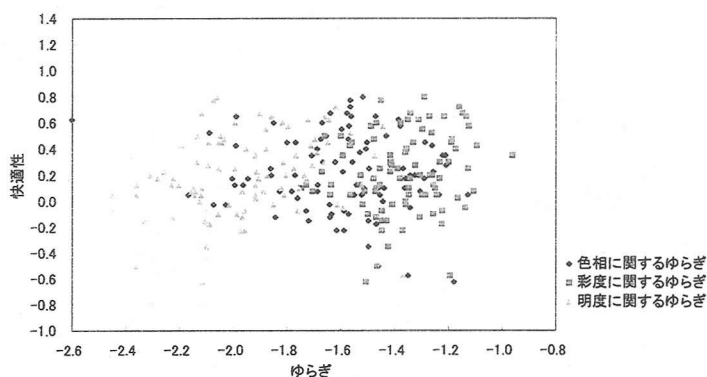


図-4 ゆらぎと感性の関係を表す散布図 (快適性の場合)

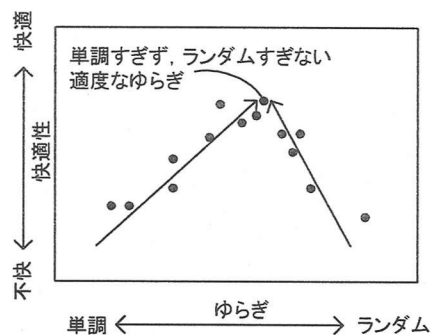


図-5 ゆらぎと快適性に相関がある分布

る形容詞対には、筆者らがアンケート調査で用いた 43 対のうち、ゆらぎに関係するつぎの 4 対を選んだ。

- ・複雑性 (すっきりとした—ごみごみした)
- ・快適性 (快適な—不快な)
- ・調和性 (調和のとれた—調和のとれていない)
- ・シンボル性 (象徴的な—象徴的でない)

ゆらぎ解析とアンケートによる評価値をそれぞれ横軸と縦軸にとれば、図-4 に示すゆらぎと感性との関係を表す散布図を得る。ここに、横軸のゆらぎ値において、単調なゆらぎほど左側の、ランダムなゆらぎほど右側の数値をとる。また、図-5 は散布図を模式的に表した一例である。仮に、ゆらぎと「快適性」、「調和性」、「シンボル性」などの感性との間に何らかの相関があれば、図中に示す直線の周りに点が散布するものと思われる。図-5 の散布図を参考にしながら、図-4 の散布図を分析した。その結果、ゆらぎと感性との間に明白な相関関係

は認められなかった。これは、橋梁景観が視点場に大いに影響されるにもかかわらず、視点場の異なる 90 橋を同じ尺度で同一に評価したためと考えられる。

4.2 視点場の相違を勘案した比較

アンケート調査で橋梁景観を評価した場合、視点場によって評価の異なることが予想される。そのため、橋梁写真を視点場で分類し評価することとした。視点場は、視距離 (遠景、中景、近景)、視線入射角 (斜側面、側面)、および視点高さ (上、水平、下) に区別される。視点場の違いで橋梁景観を分類し、①近景-斜側面-下、②近景-斜側面-水平、③近景-斜側面-上、④遠景-側面-水平、⑤中景-斜側面-水平における景観のゆらぎと感性の関係を調べた。それぞれの視点場における散布図が前述の分布形を呈すれば、ゆらぎと感性に何らかの相関があるといえる。その結果、①近景-斜側面-下、②近景-斜側

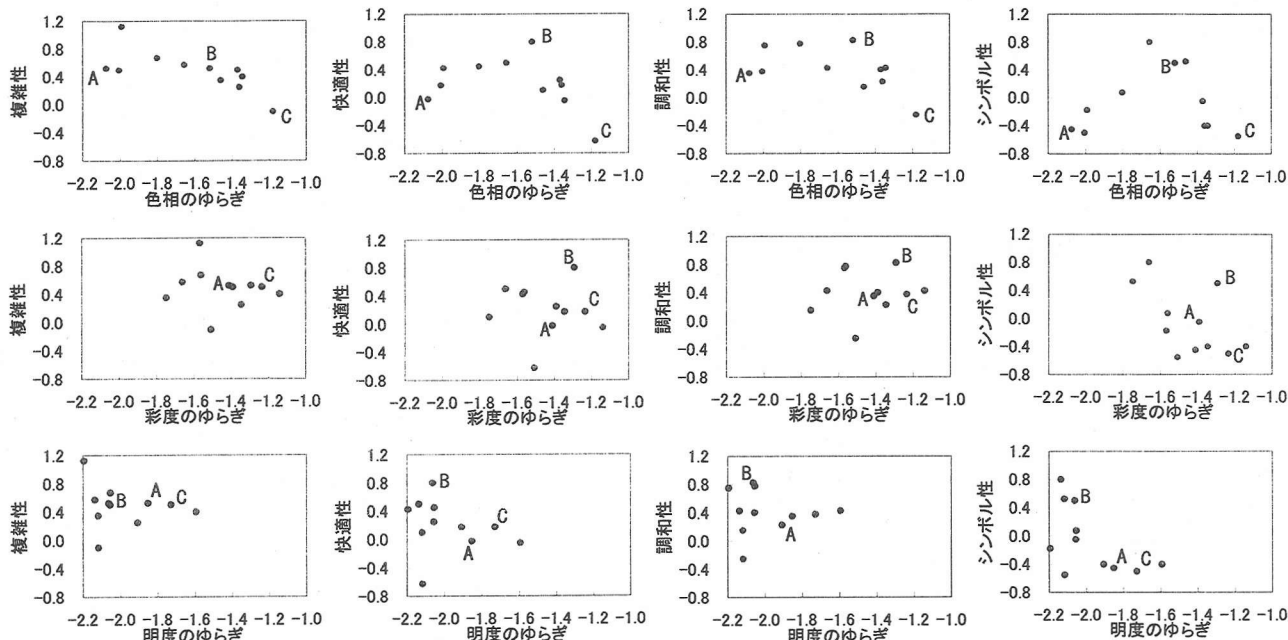
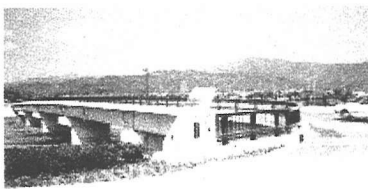


図-6 “中景-斜側面-水平”の視点場におけるゆらぎと感性の関係



画像 A 色相のゆらぎ-2.07243
単調なゆらぎをもつ不快な景観



画像 B 色相のゆらぎ-1.51744
適度なゆらぎをもつ快適な景観



画像 C 色相のゆらぎ-1.17801
ランダムなゆらぎをもつ不快な景観

図-7 解析画像

表-1 色相のゆらぎと感性の相関係数

	複雑性	快適性	調和性	シンボル性
左側	—	0.898	0.488	0.956
右側	—	-0.915	-0.807	-0.921
全体	-0.712	—	—	—

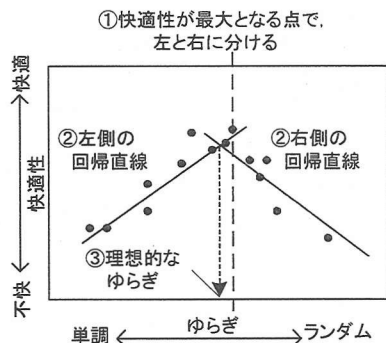


図-8 理想的なゆらぎの特定

面-水平, ③近景-斜側面-上, ④遠景-側面-水平では, ゆらぎと感性の間に相関は見られなかった。これは, 桁の色彩面積が大いに関係していると思われる。視点場が近景の場合, 桁の色彩面積が写真の大部分を占めるため, 色の変化よりもむしろ, 桁の色そのものが感性に多大な影響を与えると考えられる。それゆえ, 色の変化を扱うゆらぎでは, 近景である橋梁景観の感性を正しく評価できないと思われる。また, 遠景である橋梁景観では, 周辺環境に比べて橋梁が小さく, その存在がゆらぎにあまり反映されない。それゆえ, ゆらぎでは, 遠景である橋梁景観の感性を正しく評価できないと思われる。一方,

⑤中景-斜側面-水平では, 色相に関するゆらぎと感性の間に相関が見られた。

視点場が⑤中景-斜側面-水平となる橋梁写真のゆらぎと感性の散布図を図-6に示す。

「快適性」, 「調和性」, 「シンボル性」と感性との散布図によれば, 散布点がある値へ近づく傾向にあるため, これらの感性と色相のゆらぎの間には何らかの相関があるものと思われる。また, 「複雑性」に関しては, すっきりとした景観ほど単調なゆらぎを, ごみごみした景観ほどランダムなゆらぎを示すため, 「複雑性」の感性と色相のゆらぎの間にも相関があると考えられる。

色相に関するゆらぎと「快適性」や「複雑性」の関係を調べるため、図-7 に示す橋梁景観に注目した。色相に関して単調なゆらぎである画像 A は、すっきりとした印象を受けるが、変化に乏しく、退屈で不快な景観であると判断される。逆に、ランダムなゆらぎである画像 C は、ごみごみした印象を与えるため、鬱陶しく不快な景観であると判断される。これら両者の間に位置し、適度なゆらぎをもつと思われる画像 B は、ランダムさと単調さを程良く含む快適な景観であると判断される。このような考え方は、ゆらぎの概念によく当てはまっている。それぞれの相関係数は、表-1 のようである。なお、「快適性」、「調和性」、「シンボル性」については、感性の評価値が最大となる点の左側（比較的単調なゆらぎ）と右側（比較的ランダムなゆらぎ）に分けて、相関係数を計算した。「調和性」と比較的単調なゆらぎ（左側の画像 A）との相関は弱いですが、それ以外にはかなりの相関がある。

つぎに、橋梁景観が感性的に高い評価を得るためには、ゆらぎによる評価値がどの程度の値であればよいかを検討した。理想的なゆらぎの特定を以下のような手順で行った（図-8 を参照）。

- ①取り扱う散布点を感性の評価値が最大となる点の左側（比較的単調なゆらぎ）と右側（比較的ランダムなゆらぎ）に分ける。
- ②最小二乗法によって左側と右側の散布点をそれぞれ直線に回帰させる。
- ③これら 2 直線の交点における横座標が、理想的なゆらぎの値となる。

この結果、「快適性」、「調和性」、「シンボル性」に対する理想的なゆらぎの値はそれぞれ-1.53、-1.55、-1.62 となった。したがって、ある橋梁景観の色相に関するゆらぎが、「快適性」では-1.53、「調和性」では-1.55、「シンボル性」では-1.62 に近づくほど、それぞれの感性に対して高い評価の景観であると判断される。

5. おわりに

橋梁景観の定量的な評価方法として、2 次元的なスペクトルにより得られるゆらぎを用いた評価法を提案し、ゆらぎの景観評価指標への適用性について検討した。

橋梁年鑑から選定した 90 橋の桁橋写真に対し、色相、彩度、明度に対するゆらぎ解析を行った。得られた評価値とアンケート調査による評価値を比較し、ゆらぎと感性との関係を調べた。その結果、90 橋を全体として捉えても、ゆらぎと感性の間に明確な相関のないことが分かった。

つぎに、橋梁写真を視点場によって分類し、ゆらぎと感性との関係を調べた。その結果、視点場が近景や遠景の場合、ゆらぎと感性との間に相関は認められなかった。視点場が「中景-斜側面-水平」の橋梁景観の場合、色相

に関するゆらぎと感性との間に相関がみられた。また、色相に関するゆらぎと「快適性」、「複雑性」、「調和性」、「シンボル性」などの感性との間にも相関があり、ゆらぎの評価値は良い景観で-1.5 程度の値となる。

このように、ゆらぎと感性との間には何らかの相関があるものと推測される。しかし、ゆらぎは色彩の変化のみを捉えているため、これだけで景観のすべてを表現しているとは言えず、形態などの情報も大いに関係するものと思われる。

今後、背景や色彩ごとに橋梁景観を分類し、ゆらぎと感性との関係をより深く調べ、橋梁景観の評価基準づくりに精力的に取り組みたい。また、色彩情報だけでなく、形態情報も含んだ解析手法の確立も目指す。

なお、研究の一部は、平成 13 年度関西大学重点領域研究助成金によって行った。

参考文献

- 1) 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，土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集，I-A556，pp.1260-1261，1993-9.
- 2) 西藤康浩・岩松幸雄・原田隆郎・山口允郎・阿久澤孝之：1/f ゆらぎによる橋梁の景観性評価に関する研究，土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集，I-A207，pp.412-413，1994-9.
- 3) 福島宏幸・五郎丸英博・浪越 勇・三浦金作・土方吉男：フラクタル次元と 1/f^β ノイズによる橋空間の解析，土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集，I-A353，pp.704-705，1997-9.
- 4) 瀬尾高宏・五郎丸英博・福島宏幸：フラクタル次元と 1/f^β ノイズによる橋空間の定量的評価，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集，I-A278，pp.556-557，1998-10.
- 5) 保田敬一・白木 渡・堂垣正博・河津圭次郎・安達誠：桁橋の景観評価・設計への感性工学手法の適用に関する研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.45A，pp.553-560，1999-3.
- 6) 日本橋梁建設協会編：橋梁年鑑 昭和 63 年版，日本橋梁建設協会，1988.
- 7) 長町三生：感性工学，海文堂，1989.
- 8) 武者利光：ゆらぎの発想，NHK 出版，1994-3.
- 9) 武者利光：ゆらぎの世界，講談社，1980-10.
- 10) 亀井栄治：景観のゆらぎ特性に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.449，pp.101-108，1993-7.