

ニューラルネットによるアーチ橋の 景観評価システム

EVALUATION SYSTEM OF AESTHETICS OF LANDSCAPE WITH BRIDGE BY NEURAL NETWORKS

白木 渡*・松保重之**・高岡宜善***

By Wataru SHIRAKI, Shigeyuki MATSUHO and Nobuyoshi TAKAOKA

In this study, an evaluation system of aesthetics of landscape with bridge is developed by the use of neuro-computing software package. This package is very useful for evaluation problems which have a lot of items to be considered. For an arch bridge 43 evaluation items of aesthetics of landscape with bridge are considered, and then 20 items which influence aesthetics of landscape with bridge are determined by using the developed system. Carried out the sensitivity analysis, the effects of these 20 items on aesthetics of landscape with arch bridge are discussed.

1. まえがき

橋は、その形態に関して古くから人々が関心を寄せ、意識的にその美を追求してきた代表的な土木構造物である。これは、橋が、その本来の姿である工学的構造物であるというだけでなく、

- 1) 風景の中のランドマーク的な印象を与える構造物であること
- 2) サイン作用だけでなくシンボル作用をも持った構造物であること
- 3) 審美的対象、文化遺産とも成り得る構造物であること

に起因している¹⁾。しかしながら、これまでに架設されてきた橋梁のほとんどは、安全性、耐久性、使用性、施工性、経済性のみが追求され、もう1つの条件である視覚的適合性（審美性）は無視されてきたのが実情である。しかし、環境破壊に対する人々の関心が高まりつつある中で、現在、環境との調和から構造物の景観性が特に求められるようになってきている。橋梁の景観の良否に関する意識も次第に高まりつつあり、その審美性が重要視されてきている。しかし、「美的価値」というものは評価する人の主観的な判断によるものであり、通常、「なかなか美しい」、「あまり美しくない」等の感覚的で曖昧な表現で示されるため、これを定量的に評価することは決して容易ではない。

最近、橋梁景観の定量的評価について盛んに研究が行われるようになってきた^{2)~5)}。そしてそれらの研究成果は実際の橋梁の景観設計にも適用されている^{6), 7)}。しかし、これまでの評価においては、従来のノイ

*	工博	鳥取大学助教授	工学部土木工学科	(〒680 鳥取市湖山町南4丁目101)
**	工修	鳥取大学助手	工学部土木工学科	(〒680 鳥取市湖山町南4丁目101)
***	工博	鳥取大学教授	工学部土木工学科	(〒680 鳥取市湖山町南4丁目101)

マン型コンピュータを用いた評価システムによっているため、計算容量、計算時間の関係で評価項目を多く処理できない欠点がある。

本研究では、曖昧性を含む多くの評価項目を処理する問題に対して実用性の高い並列計算原理に基づくニューラルネットを用いて、これが橋梁の美的評価にどのように対応できるかを考察する。具体的には、アーチ橋を取り上げその美的評価問題に対するニューラルネットの有効性について検討し、橋梁美に関係してくると思われる評価項目の判定を行うことにより、橋梁景観評価システムをニューラルネットで作成する。

2. ニューラルネットの基本概念

2.1 ニューラルネット研究開発の背景

現在広く使われているノイマン型コンピュータは、数値計算にしろ推論や知識ベース探索などの記号処理にしろ、正確、精密で曖昧性がなく、かつ高速に実行できるという特徴を持っている。しかし、人の顔や風景の認識、音声の識別のようにながりのバリエーションを有し、また曖昧性を多く含むような情報の認識を行うことはなかなか困難である。

このような、パターン認識や物事の評価に代表されるような問題はランダム問題と呼ばれる。ランダム問題をデジタルコンピュータで解くには、可能なあらゆる解法を記憶しておき与えられた入力データに対する最適解をその中から選び出さねばならない。入力データはランダムに変形したものが許されるから、これらに対する解答を探索的に選び出すには相当の時間を要し、現実的でなくなる。しかし、人間はこのようなパターン認識の諸問題を楽々と処理しているわけだから、人間の脳にはランダム問題を解くための特殊な機能が備わっているはずである。そこで、人間の解剖学的な構造を見習い、その働きをモデル化することによって人間の脳の働きをコンピュータに持たせることができないだろうかという発想で考え出されたものがニューロ・コンピュータで、また、それを従来のノイマン型コンピュータ上で実現させたものがニューラルネットである。

ニューラルネットの特徴としては、

- 1) 膨大なデータ量を取り込んで瞬時に判断させることができること
- 2) 曖昧性を含んだデータの取り扱いが可能であること
- 3) 自己組織化能力により、コンピュータに解こうとする問題の定義やプログラムを与える必要はなく、訓練すべきデータを十分に与えてやれば良いこと

の3点があり、ランダム問題に強い新しい情報処理システムとして注目を集めている。

特に、本研究のテーマである橋梁の美的評価の問題のように与えられるデータが多種にわたり、問題の定義が難しいものは、ランダム問題の代表的なものとしてニューラルネットによる解析が有効であるとされ、その実用性も次第に確認されつつある。

そして、このような評価の問題にとどまらず、パターン認識や金融、経済の動向の予測、味覚、嗅覚の判別、ひいては人間の思考モデルの構築まで、従来から実現が難しいとされてきた分野での幅広い応用が期待され、盛んにその研究が行われている。

2.2 ニューラルネットの原理

(1) ニューロンのモデル化

ニューラルネットの研究開発が盛んになってきたのは、近年の脳生理学の発達によって脳の仕組みが解明されてきたことによる。それによると、人間の脳はニューロン(神経細胞)とシナプス(神経繊維)という2つの基本素子から構成されており、それらが数十億単位で互いに結合しあって1つの神経回路網をつくりあ

げている。ここではまず、実際のニューロンの働きについて述べておく。

ニューロンの働きはごく単純なものであり、多数の他のニューロンからの入力（重み付き総和）があるしきい値を超えた時にのみ1つの出力を出すというものである。その出力はシナプスによって重み付けが行われ、他のニューロンへと伝えられていく。このニューロンの働きをモデル化したものを疑似ニューロン素子というが、実際のニューロンと区別させるために、以下本論文中では、このことをユニットと称する。図-1にニューロンとユニットの略図を示しておく。

ユニットは、これらのユニットを網目状につないだニューラルネット上での交点に当たっている。また、ユニット間は神経繊維に対応する線で結ばれるが、実際のシナプスの働きと同様に信号は一方方向にだけ伝わり、ある重みを付けられて結合先のユニットに伝えられる。この重みによってユニット間の結合の強さが表されている。重みの値は、興奮性の結合の時には正の値を、抑制性の結合の時は負の値をとるように調整される。

重み付けされたそれぞれの入力値はその総和がとられ、応答関数（ f ）による変形を受けた後、出力されるが、応答特性としては様々なものが考えられる。代表的なものとして、今回の解析でも採用したシグモイド関数モデルを挙げておく。

シグモイド関数モデルは、図-2に示されるような準線型の応答特性を持つもので、次式(1)で表される。

$$f(x) = 1 / (1 + \exp(-(x - \theta) / T)) \tag{1}$$
ここに、 x は入力される信号の大きさの重み付き総和、 $f(x)$ は出力される信号の大きさ、 θ はしきい値、 T は温度である。

図-2からもわかるように、この応答特性を持つユニットの具体的な動きは、1) 他のユニットからの入力総和が負の大きな値となる時はなにも出力しない。2) 入力総和がしきい値付近に近づいてくると（図-2においては、 $-6 < (\text{入力総和}) < 6$ の時）、0～1の連続値を出力する。3) 入力総和がしきい値を大きく超え、とれだけ大きな値が入力されても1を出力する。というものである。

式(1)で、 T はニューラルネットの性質を示すもので、 T を大きくすればニューラルネットの動きが活発となって最適解へ近づく度合いが大きくなるが、最適解には落ち着きにくくなる。逆に T を小さくすれば最適解をじっくりと探していくようになるが、システム構築の際に要する時間が増え、非能率的となるので、学習の際には T をうまく調節する必要がある。

(2) 学習アルゴリズム

ここでは、ニューラルネットの学習が実際にどのような手順で行われているのかについて述べる。

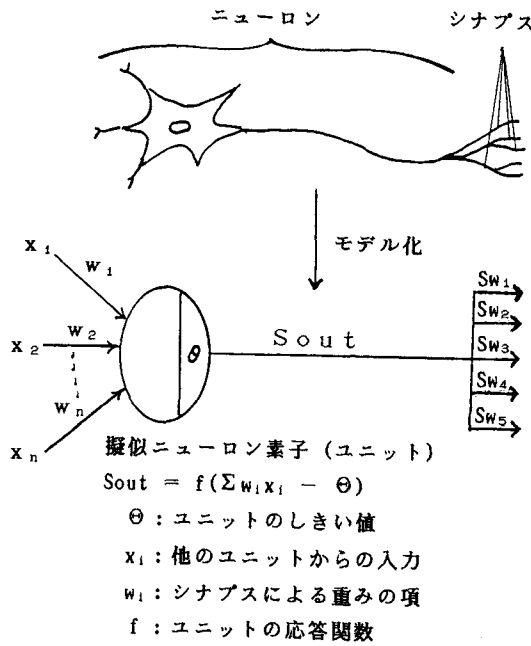


図-1 ニューロンとユニット

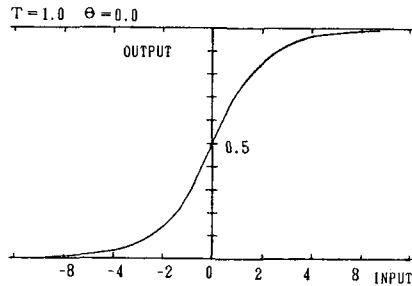


図-2 シグモイド関数

最初に、結合の重みの初期設定が行われる。この時、ユニット間の結合の重みに関する知識が何もないければ、ランダムな値にしておいて構わない。次に、この重みに対して学習データを入力し、ニューラルネットの推定結果と評価基準とを参照して、その評価基準に基づいて重みの値が調整され、その重みに関して再び評価を行う。その評価の際に、入力値に対する理想出力を外部から評価基準として与えておく必要がある。

このように評価を何度も繰り返すことによって次第に最適な値に近づけていくのだが、そのためにはうまく重みの値の調整を行わなければならない。その方法としては、現在ではバックプロパゲーション法（誤差逆伝播法）というものが最も有力である。

この学習法は、甘利⁸⁾や Tsypkin⁹⁾により提案された確率的降下法と呼ばれる評価基準最小化学習の特別な場合に当たる。以下、確率的降下法によって求められた重みの値の修正規則について記述しておく。

m層のネットワークを考え、fをニューロンの入出力関数、K層の第iユニットの入力の総和を i^{K_i} 、出力を o^{K_i} 、理想出力値を Y_i 、K-1層の第iユニットからK層の第jユニットへの結合の重みを $w^{K-1_i K_j}$ 、修正後の値を $w_{new}^{K-1_i K_j}$ とすると、その修正量 $\Delta w^{K-1_i K_j}$ は以下の式によって与えられる¹⁰⁾。

$$\Delta w^{K-1_i K_j} = -\varepsilon d^{K_j} o^{K-1_i} \quad (2)$$

$$d^{m_j} = (o^{m_j} - y_j) f'(i^{m_j}) \quad (3)$$

$$d^{K_j} = \left(\sum_i w^{K-1_i K_j} d^{K+1_i} \right) f'(i^{K_j}) \quad (4)$$

上式中の ε は一回の修正の大きさを決めるパラメータで、小さな正の定数にとる。本研究では ε を0.2として計算を行っている。また、 f' は入出力関数 f を入力総和 i^{K_j} で微分したものである。ただし、学習は次式(5)の規則に沿って進行させるものとする。

$$w_{new}^{K-1_i K_j} = w^{K-1_i K_j} + \Delta w^{K-1_i K_j} \quad (5)$$

3. ニューラルネットによるアーチ橋の景観評価

3.1 橋梁の美的評価の意義

橋梁は、歩行者、自動車、列車その他の通過物を対岸に渡すための実用に供される構造物で、生活空間の中に作られて、人々が常に利用し眺めるものである。このことから橋梁には、二つの要求がなされる。第一に、安全に渡ることができるだけの「強度」と「大きさ」が要求される。第二は、橋梁の外観の問題である。橋梁は、架橋地点の自然や他の人工物とともに現実の生活空間の中に置かれて風景の全体像に組み込まれ、周囲の環境に影響し、生活の場に変化を与える。従って、その形態は好ましい心的環境を作るものであることが望ましく、「造形」に関する配慮が求められることになる。しかし従来の設計においては、橋の外観に関する考慮はほとんど行われていない。このことは、風景のタイプ、橋のタイプが様々であり、定式化することが難しいこと、また、何を基準に橋の美しさを決めて良いかが不明確であること、『美しい』という感情は人それぞれ異なる場合があること、などに起因する。つまり、正しい評価ができなければ橋梁美に関する基準は作れないということである。このことは、およそ全ての構造物において当てはまることである。何人以上が『美しい』と感じれば「良い構造物」なのかという議論は後の研究を待つことにして、現段階では橋梁がどのくらい美しいのかという正しい評価を下すためのシステムを構築することが必要である。

橋梁は大別してトラス橋、吊橋、桁橋、斜張橋、アーチ橋に分けられ、これらの橋梁形式それぞれについて多くの風景タイプが考えられる。それらの作り出すパターン全てに対応できるような評価システムの構築が我々の最終的な研究目標であるが、本研究ではその手始めとして、橋梁形式をアーチ橋に絞り、その上で様々な風景に対する評価システムの構築を行うこととする。なお、特にアーチ橋に絞った理由については、景勝地や観光地に多く建設されることから客観的に見て美しい橋だと言える事、また、古くからある橋梁形式で

馴染みがある事からアンケートの被験者が美的評価を下しやすいであろうと思われるからである。また、評価方法については、橋梁の写真を見て100人が美しいと感じればその橋梁は100点、60人が美しいと感じれば60点という基準で橋梁景観の評価を行なっていくこととする。

3.2 橋梁美の考察

橋梁の美しさを評価する前に、橋梁美がどのような要素から構成されているのかを知らなければならない。このことについては、いろいろな事項を多くの人が挙げているが、本研究では、1)形式美、2)サイコベクトル、3)環境との調和の三つの項目にまとめる。

(1) 形式美

橋梁は、直線、曲線、面を持った部材によって組み立てられ、広がりを持って構成されている。従って、これらが互によく調和して形式美を作りだすようにしなければならない。この調和というものは、橋の各寸法の「比例」によって得られるところが大きい。どのような場合に、調和のとれた美を示すかということについては古くからいろいろな法則が提案されている。橋梁の場合には、図-3に示すような寸法の割合や、部材の長さとの比などが問題となってくる。これらの値によって、橋梁の形態は様々に変化するので、橋の形式を示す指標として考慮する必要がある。アーチ橋においては、以下に示す三つの寸法比について考慮する。

ライズ比 $h : l$

スレンドネス $h_t : l$

補剛材間隔 $p : l$

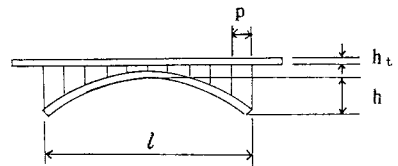


図-3 アーチ橋の寸法比

また、橋梁の形態は見る方向によって様々な形となる。例えば、橋を渡りながら橋梁を正面から見る場合と、橋梁を外から真横に見る場合とでは全く相違している。造形の面からすれば、後者の場合の形態が重要であるが、前者を無視して良いという訳ではない。通行者が見る形状も重要である。場合によっては、橋梁を上から見た形状にも注意したい。これらの要素は橋を眺める視点位置によっても決まってくる。具体的には、仰角(対象をどれだけ見上げているか)、または俯角(対象をどれだけ見下ろしているか)、および橋の中央と視線とのなす角度を表す視線入射角について考慮する必要がある。さらに、橋梁には多種類の形式があり、アーチ橋に絞ってみてもその形式は様々である。橋種によっても人の受ける感情は異なってくることが予想されるので、システム構築の際には橋の形式についても評価項目に入れることが望ましい。そこで本研究では、アーチ橋についてはソリッド・リブ・アーチ橋、ブレースド・アーチ橋、スパンドレル・ブレースド・アーチ橋の三つに分類し、補剛アーチ橋についてはローゼ橋、ランガー橋、タイド・アーチ橋、ニールセン系橋の四つに分類して、計七種のアーチ橋に分類して解析を行った。なお、パイプ・アーチ橋については、橋軸直角方向から見た形態がソリッド・リブ・アーチ橋の形態と相似しているので、ソリッド・リブ・アーチ橋として分類を行っている。

(2) サイコベクトル

風景はサイコベクトルを用いて、図-4のように表現することができる。サイコベクトルとは、「視覚を刺激して人々の関心を引き起す心理的な力としての誘引力を表すもの」¹⁾として定義することができる。

橋梁景観を表すサイコベクトルに関しては、1)単純であること、2)リズム感があること、3)緊張感があること、4)全体としての一貫性を有することなどが要求される^{1)・3)}。しかし、これらの要件は定性的な表現に留まっており、ベクトルという定量的尺度を導入するからには、定量的表現を試みるべきであろう。そこで、サイコベクトルを通常のベクトルと同様に扱い、橋梁景観はそのベクトルで表され、水平成分と鉛直成

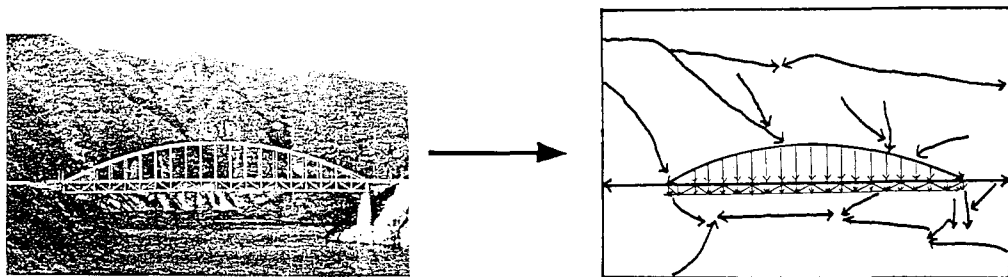


図-4 風景のサイコベクトル化

分とに分解可能なものとする。なお、一枚の橋梁景観図に存在するサイコベクトルをどのように形成するかに関する定説は現時点においては確立されていない。そこで本研究では、誰が行っても同じ橋梁景観図のサイコベクトル化が可能となるように、サイコベクトルを以下の6通りに分類して解析を行う。

- 1) 橋梁本体の基本サイコベクトル：橋梁のサイコベクトルのうち、水平に大きく伸びてその力の一貫性を示すもので、橋桁を表すベクトル。
- 2) アーチ部のサイコベクトル：橋梁のサイコベクトルの中で、その形状から柔らかさを表すベクトル。
- 3) 橋梁本体の補助サイコベクトル：視覚上、基本サイコベクトルの動勢を助けるものであり、吊橋のハンガーやトラスの腹材などを示すベクトル。
- 4) 橋脚のサイコベクトル：補助ベクトルの中では、高さに関するベクトル量が非常に大きいので、3)の補助サイコベクトルとは区別して解析する。
- 5) 山(高さ)のベクトル：環境・背景の高さに関する特長を示すもので、便宜上、山のベクトルと呼ぶ。山はもちろん、ビル、鉄塔などもこのベクトルに含まれる。
- 6) 水(奥行き)のベクトル：環境・背景の奥行きに関する特徴を示すもので、便宜上、水のベクトルと呼ぶ。川を表す線はもちろん、奥行きを表すものならば道路などもこの部類に入れる。

(3) 環境との調和

橋梁は自然や他の人工物と共に現実の生活空間の中につくられ、風景の全体像の中に組み込まれている。いわばそれ自身の技術美を持ちながらそれを包容する景観または環境全体に関係している。したがって、橋梁美の評価を行う場合には橋梁と架橋地点の環境や景観とがうまく結びついて調和が図られているかということも重要となってくる。しかし、どの程度調和が図られているのかということは結局、橋梁美の評価という問題に帰着してしまう恐れがあるので、調和度の代わりにその風景の示す特徴について考慮する。

しかし、一口に風景といってもその内容は様々である。例えば、山間に橋が架っている風景をとってみても背後の山の高さ、湖や川の広がり具合、その環境を眺める視点位置などによって数多くの風景が考えられる。これら数多くの風景の解析を正確に行うためにまず、ある程度風景を大まかなタイプに分類し、その上で風景の特性値として山や川の面積を求めることにする。具体的には、風景を山岳地区、湖、湾口、臨港地区、川の上流、中流、下流、跨道橋の8つのタイプのいずれかに分類し、また風景内に占める山、水、橋の面積比をそれぞれ求め、それらを風景の示す特性値として考慮すべき項目に取り入れる。また、同じ風景タイプで似たような形式の橋梁でも、その材質が異なればその橋梁から受ける印象はそれぞれ違ったものになると予想される。従って、システムを構築する際には、材質感を考慮する項目も必要であろう。

3.3 評価システムの構築

3.2節で考慮した項目を用いて実際のシステムを構築する際に問題となってくるのは、橋梁の美的評価

を定量的に行おうとするのであるから、その解析法にも何らかの規則を設けなければならないという事である。そこで、この節では風景サイズ(主景(橋梁)までの距離)の決定、視線入射角の算定、風景のサイコベクトルによる評価、システムの評価項目について具体的に述べ、データ作成の指標としてまとめておく。

風景サイズを決定するものとして、橋梁の景観設計では通常遠景、中景、近景の3つの位置関係を考慮するが¹²⁾、本研究では橋の造形そのものではなく周辺環境との調和を重視しているので、遠景から中景、すなわち風景内に橋の面積が占める割合が5%から50%のものについて考慮する。

風景のサイコベクトルは、風景などをスケッチする際に通常最初に描かれると考えられる線を示すベクトルであると考えられているが^{11)・3)}、このような抽象的な観念ではデータとして取り扱いにくいので、本研究では定量的にベクトルを解析するために以下の手順に従って風景のサイコベクトル化を行っている。

まず、山の尾根、谷、建物、水際の線をサイコベクトルで表し、アーチ支持部の水平距離を1.0としてそれぞれのベクトルの長さを求め、その大きさが0.1以上のものを人の視知覚に誘因力を与えるものとしてサイコベクトルと見なし、その他のものは解析の対象としないことにする。また、視線入射角は、2点透視図作成法¹³⁾により風景(写真)から直接、橋梁の中央と視線のなす角度を求め、その値を採用する。

本研究で採用したシステムの評価項目は以下のとおりである。

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1) 構図内のすべての山のサイコベクトル(水平成分) | 23) 仰角, 俯角(仰角なら正, 俯角なら負) |
| 2) 構図内のすべての山のサイコベクトル(鉛直成分) | 24) 橋の形式: 上路橋 |
| 3) 橋梁の背後の山のサイコベクトル(水平成分) | 25) 中路橋 |
| 4) 橋梁の背後の山のサイコベクトル(鉛直成分) | 26) 下路橋 |
| 5) 水のサイコベクトル(水平成分) | 27) 橋種: ソリッド・リブ・アーチ |
| 6) 水のサイコベクトル(鉛直成分) | 28) ブレースド・アーチ |
| 7) 橋桁のサイコベクトル(水平成分) | 29) スパンドレル・ブレースド・アーチ |
| 8) 橋桁のサイコベクトル(鉛直成分) | 30) ローゼ橋 |
| 9) アーチ部のサイコベクトル(水平成分) | 31) ランガー橋 |
| 10) アーチ部のサイコベクトル(鉛直成分) | 32) タイド・アーチ |
| 11) 補剛材のサイコベクトル(水平成分) | 33) ニールセン系橋梁 |
| 12) 補剛材のサイコベクトル(鉛直成分) | 34) トラスト・ランガー橋 |
| 13) 全ての山が構図内に占める面積比 | 35) 材質: コンクリートは1, 鋼なら0を入力 |
| 14) 橋梁の背後の山が構図内に占める面積比 | 36) 風景タイプ: 山岳 |
| 15) 水(川、海など)が構図内に占める面積比 | 37) 湖 |
| 16) 橋梁が構図内に占める面積比 | 38) 湾口 |
| 17) トラス部材が構図内に占める面積比 | 39) 臨港地区 |
| 18) スレンダネス | 40) 川の上流 |
| 19) ライズ比 | 41) 川の中流 |
| 20) 補剛材間隔 | 42) 川の下流 |
| 21) 橋脚のサイコベクトル(鉛直成分のみを考慮) | 43) 平地(跨道橋を含む) |
| 22) 視線入射角 | |

3.4 評価結果および考察

システムの評価基準作成のため、「日本の橋¹⁴⁾」、「世界の橋¹⁵⁾」、「美しい橋のデザインマニュアル¹⁶⁾」、「橋(1973-1974)¹⁷⁾」、「グラフィックス・くらしと土木6, 橋¹⁸⁾」、「日本における鋼構造物¹⁹⁾」からアー

チ橋の写真を選出し、鳥取大学の学生84人を対象としてアンケートをとり、どのような橋梁景観が好まれるのかを調べた。紙面の都合上、94枚の写真のここでは示すことができないが、参考文献20) には全写真を掲載しているので参照されたい。アンケートのとり方としては、94枚の写真撮影された橋梁景観を○-好む、△-どちらでもない、×-好まないの3段階で評価してもらい、それぞれの写真について○をつけた人の数、△をつけた人の数、×をつけた人の数を求める。その中で特に、写真を気に入らなかった人の数に注目し、その数をm(人)とした時に橋梁美pは、

$$p=100 \{ (被験者数) - m \} / (被験者数) \quad (6)$$

で表わされるものと定義してその値を算出し、ニューラルネットの出力値 (理想値)とし、また、構図の解析を3.3節で述べた手順に従って行い、入力値とする。

システムの概要は、架橋予定地の風景に実際に橋を架けた絵を作成し、それについて解析して入力してやると、その絵に対する橋梁美が出力されるというものである。参考のために、アンケートで得られたそれぞれの写真に対する橋梁美pを表-1に示す。

システム構築の際、学習は24時間(約1200回)にわたって行い、温度Tは1.3から1.0の3段階に分けて変化させ、ニューラルネットによる評価と理想値との誤差が最大で5点となった時点で終了した。以上の過程によって得られたネットワークを図-5に示す。図において、入力層のユニットがそれぞれ番号順に3.3節で示した評価項目に対応しており、この図から直ちに橋梁美の評価の際に重要となってくる項目を抜き出すことができる。その項目を以下に示す。

- | | |
|--------------------------|----------------|
| 4) 背景の山のサイコベクトルの鉛直成分 | 22) 視線入射角 |
| 5), 6) 水のサイコベクトルの水平、鉛直成分 | 26) 橋梁形式 |
| 7) 橋桁のサイコベクトルの水平成分 | 29)~34) 橋種 |
| 11) 補剛材によるサイコベクトルの水平成分 | 35) 材質 |
| 16) 橋梁が構図内に占める面積 | 36), 42) 風景タイプ |
| 17) トラス部材の占める面積 | |

表-1 アンケート結果

写真番号	橋梁美P	写真番号	橋梁美P	写真番号	橋梁美P	写真番号	橋梁美P	写真番号	橋梁美P
1	55	21	76	41	81	61	77	81	73
2	83	22	84	42	60	62	76	82	61
3	90	23	30	43	86	63	60	83	64
4	72	24	61	44	59	64	48	84	73
5	58	25	73	45	76	65	87	85	75
6	55	26	72	46	60	66	49	86	93
7	83	27	71	47	78	67	70	87	54
8	75	28	72	48	84	68	42	88	75
9	84	29	71	49	80	69	75	89	71
10	66	30	87	50	57	70	73	90	65
11	59	31	52	51	84	71	75	91	40
12	63	32	86	52	53	72	60	92	83
13	82	33	70	53	64	73	78	93	71
14	75	34	61	54	89	74	51	94	49
15	64	35	63	55	75	75	70		
16	51	36	63	56	63	76	82		
17	45	37	69	57	80	77	75		
18	87	38	39	58	59	78	60		
19	71	39	87	59	52	79	59		
20	59	40	73	60	87	80	72		

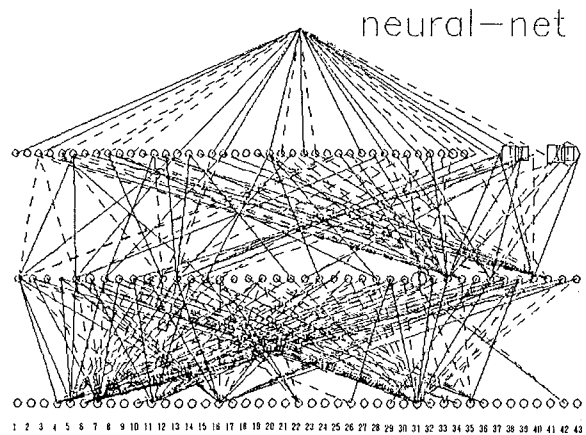


図-5 橋梁美ニューラルネット

さて、ここで構築した評価システムの実実際問題への適用の仕方の一例として、図-6に示す写真の橋梁を取り上げ、この橋梁がより良い評価点を得るためには橋梁をどのような形態にすればよいかについて考察する。この橋は橋脚の線がかなり強調されており、また、橋の上部の面積が大きいこともあり、橋を橋脚のみで支えているような感じであり、視覚的に不安定な印象を受ける。そこで、その不安定さを解消するために橋の形式を上路橋に、橋種をソリッド・リブ・アーチとしたところ、84点の評価が得

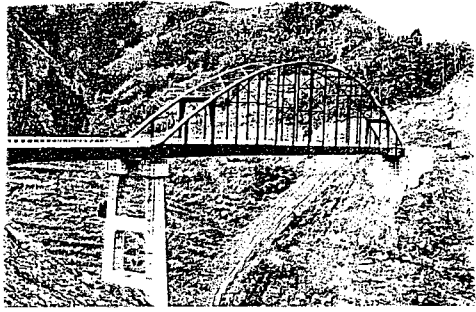


図-6 旭大橋, 愛知県

られた。しかしこの場合、地形的条件より下路橋が好ましいので、橋種をトラスト・ランガー橋、ニールセン系橋梁、ランガー橋に絞り、ライズ比を小さくすることによって橋梁の上部面積を減らし、不安定さを解消することを目指した。また、ライズ比を変えるだけでなく、それぞれのライズ比ごとに補剛材間隔も変えてみて、橋梁美の判定を行わせた。その際、橋梁の占める面積比、アーチ部のサイコベクトル、補剛材のベクトルも微妙に変わることには注意した。それぞれの橋に対する認識結果(橋梁美 p)を表-2に示す。

表-2の認識結果と図-5のネットワークから分かるように、このシステムでは 18) スレンダネス, 19) ライズ比, 20) 補剛材間隔等は重要な項目として取り入れられておらず、4) 背後の山の高さや 5), 6) 水の奥行きと広さなどの地形タイプ, 7), 10), 11) 橋の各部材のサイコベクトル, 16) 構図内に橋が占める面積比, 26) 橋梁形式, 29) ~ 34) 橋種, 35) 材質などの橋梁の特徴, 36), 42) の風景タイプ, その他 22) 視線入射角等の項目のみによって橋梁

美の評価が行われていることが分かる。この欠点を解消するために、材質、橋梁形式、地形タイプ等が同じでもライズ比、補剛材間隔等の橋自体の寸法比によって美しさが異なってくるようなデータを入力し、ニューラルネットに学習させてやる必要がある。また、本研究では5点以内の誤差で学習を打ち切っているが、かなりの時間、学習させれば、1~2点以内の誤差での評価が下せるようになるであろう。さらに、今回考慮に入れなかった項目として、色彩、気象条件、橋梁から受ける形態感情等の項目があるが、やはり最終的にはこれらの諸条件も含んだシステムの構築が望まれる。

景観を考慮した橋梁設計を行う場合、技術者はこれらの項目を意識的に、または過去のよい実例を真似ることで無意識的に設計に取り入れ、より美しい環境の創出を目指している。本研究で示したような手法で新しく創出される環境の解析を行い、橋梁美の判定を具体的に数値で得られるようになれば、設計者の負担は軽減され、また、より美しい橋梁景観を生み出すことも可能となるであろう。

4. あとがき

本研究では、橋梁の景観評価をニューラルネットを用いて行うことを試みた。橋梁形式としては、アーチ橋を取り上げた。まず、ニューラルネットを用いてアーチ橋の美的評価基準作成を行う前

表-2 認識結果

橋梁形式	橋種	ライズ比 L/h	補剛材間隔 P/L	橋梁美 p
上路橋	ソリッド・リブ・アーチ	3.0	0.37	84
下路橋	ランガー橋	2.8	0.30	57
下路橋	ランガー橋	2.8	0.35	57
下路橋	ランガー橋	2.8	0.40	57
下路橋	ランガー橋	2.6	0.30	57
下路橋	ランガー橋	2.6	0.35	57
下路橋	ランガー橋	2.6	0.40	57
下路橋	ランガー橋	2.4	0.30	57
下路橋	ランガー橋	2.4	0.35	57
下路橋	ランガー橋	2.4	0.40	57
下路橋	ニールセン系橋梁	2.8	0.30	79
下路橋	ニールセン系橋梁	2.8	0.35	80
下路橋	ニールセン系橋梁	2.8	0.40	80
下路橋	ニールセン系橋梁	2.6	0.30	79
下路橋	ニールセン系橋梁	2.6	0.35	79
下路橋	ニールセン系橋梁	2.6	0.40	80
下路橋	ニールセン系橋梁	2.4	0.30	79
下路橋	ニールセン系橋梁	2.4	0.35	79
下路橋	ニールセン系橋梁	2.4	0.40	79
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.8	0.30	69
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.8	0.35	69
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.8	0.40	69
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.6	0.30	68
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.6	0.35	69
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.6	0.40	69
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.4	0.30	68
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.4	0.35	68
下路橋	トラスト・ランガー橋	2.4	0.40	69

段階として、アーチ橋の美しさを定量的に評価するための手法について考察した。その際考慮すべき項目として、川や山などの面積比や視線入射角の他にサイコベクトルの概念を導入し、実際に風景の解析に役立てるよう定義づけを行った。その手法を用いて実際のアーチ橋の写真の美的評価を行い、ニューラルネットによる美的評価システムの構築を目指した。また、構築されたシステムを用いて、橋梁の美的評価の際に重要となってくる項目の選定を行うと共に、橋梁美の低い景観をより高いものにするための例題をニューラルネットに評価させることによって、より優れたシステム構築のための考察を行った。その結果、より多くのデータによる学習が必要であるという結論に達した。

今回はアーチ橋に関する橋梁景観のみに絞って解析を行ったが、アーチ橋にとどまらずトラス橋、吊橋、斜張橋、桁橋をも含んだ総合的な橋梁美の評価システムを構築しなければ実際問題への応用は難しい。しかし、アーチ橋はアーチ・リブの持つ柔らかさがその美しさの特徴であるように、斜張橋の場合ならそのすっきりとした主塔がその特徴に当たり、トラス橋ならばその連続性が、桁橋ならばそのシンプルな印象が、吊橋ならば主塔の種類や、サグ比によるスマートさがその特徴となってくる。一つのシステムだけでこれらの様々な形式や特徴を評価項目として取り入れるにはかなり大きなニューラルネットの構築が必要となり、現時点ではかなり困難である。従って、今回アーチ橋だけに絞ってシステムの構築を行ったように、例えばトラス橋ならトラス橋のみに対応する評価システムを構築するのが良策と考えられる。しかしそうすると、各システムごとに評価点の基準が異なってくる恐れがあるので、出力値を得るためのアンケートをすべての種類の橋について同時に行うなど、解析の際に別々にシステムを構築しても、どの種類の橋梁にも共通した評価点が得られるような工夫が必要であろう。

最後に、本研究を遂行するにあたり数値計算、その他に御協力いただいた鳥取大学学部生 木守 岳広 氏（現 セントラルコンサルタント（株））および 本部 伸一 氏に感謝を表す次第である。

参考文献

- 1) 山本宏：橋梁美学，森北出版，1980年。
- 2) 山本宏・早川浩平：計量心理学を応用した橋梁形態の一考察，土木学会論文集，第362号/1-4，pp.267-275，1985年10月。
- 3) 杉山俊幸・深沢泰晴・辻和政・高橋良武：サイコベクトルを用いた橋梁景観の定量的評価，構造工学論文集，VOL.35A，1989年。
- 4) 加藤雅史・田中信治・大場邦弘：アンケートに基づく橋梁の景観評価に関する一考察，構造工学論文集，Vol.36A，pp.535-542，1990年3月。
- 5) 近田康夫・城戸隆良・小堀為雄：パーソナルコンピュータ上での橋梁景観シミュレーションシステムの構築，構造工学論文集，Vol.36A，pp.543-550，1990年3月。
- 6) 松原琢爾・小川憲一・柴田邦夫・篠原修・田島二郎：松戸市“21世紀の森と広場公園橋”の景観設計，構造工学論文集，Vol.35A，pp.533-542，1989年3月。
- 7) 山下尚孝・八坂裕紀・篠原修・松井基芳：新中川橋梁群基本計画と明和橋の景観設計，構造工学論文集，Vol.36A，pp.551-563，1990年3月。
- 8) Amari,S:A theory of adaptive pattern classifiers, IEEE Trans.EC-16, pp.279-307, 1967.
- 9) Tsytkin,Y.Z.:Adaptation, training and self-organization in automatic control systems, Automatical Telemekhanika 27, pp.23-61, 1966.
- 10) 麻生英明：ニューラルネットワーク情報処理，産業図書，1988年。
- 11) 小林重順：デザイン心理入門，誠信書房，1978年。
- 12) 土木学会編：新体系土木工学59，土木景観計画，技報堂，1982年。

- 13) 中村式世：透視図の基本，芸術出版社，1978年．
- 14) 日本橋梁建設協会編：日本の橋，朝倉書店，1984年．
- 15) 来島武・成瀬泰雄：世界の橋，森北出版，1964年．
- 16) 土木学会編：美しい橋のデザインマニュアル，技報堂，1982年．
- 17) 橋梁年報編集小委員会：橋 1973～1974，土木学会，1975年．
- 18) 伊藤学：グラフィクス・くらしと土木6，橋，オーム社，1985年．
- 19) 新鋼構造物調査作業班：日本における鋼構造物（1945～1969），日本鋼構造協会，1985年．
- 20) 木守岳広：ニューラルネットを用いた橋梁の景観評価システムの提案，鳥取大学工学部土木工学科，平成元年度卒業論文，pp.36-55，1990年2月．

(1990年10月12日受付)