

色彩を考慮したアーチ橋の景観設計への ニューラルネットワークの適用

CONSIDERATION OF COLOR EFFECTS ON AESTHETICS OF LANDSCAPE WITH ARCH BRIDGES BY NEURAL NETWORKS

白木 渡* 松保重之**

By Wataru SHIRAKI and Shigeyuki MATSUHO

In this study, an evaluation system of aesthetics of landscape with bridge is developed by using artificial neural networks. In evaluation of aesthetics of landscape with bridge 25 color and black-and-white photographs of arch bridges each are used, and then color effects on aesthetics of landscape with bridge are discussed. For an arch bridge 53 evaluation items are selected, and the sensitivity analysis is carried out for both color and black-and-white photographs. A practical example is demonstrated by the use of evaluation system developed in this study.

1. まえがき

近年、橋梁の設計において、景観という問題が大きくクローズアップされてきている。本来、橋梁という構造物は「向こう岸へ行きたい。そして人々と交流して生活の場を広げたい。」という願望や要求から、生活空間の中につくられた道具である¹⁾。このように、渡ることを目的としてつくられる橋梁は歩行者、自動車、列車などを通すため、これらが安全に通過できる規模と強度と耐久性をもたねばならず、工学技術を駆使して設計されている。しかし、橋梁は生活空間の中につくられ、架橋地点の環境の中に組み込まれ、人々の視覚の対象となるため、近年では環境と調和した美しい橋が望まれるようになってきている。そのため、この景観における研究も、急速に進められている。

著者らも、この橋梁の景観についての研究を数年前から行っている。これまでの研究では、橋梁の美的評価のように曖昧性を多く含む問題に対して、実用性の高いニューラルネットワークの手法を適用し、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、アーチ橋の景観評価システムを作成した²⁾。

本研究では、文献²⁾において考慮に入れていなかった「色彩」を取り上げる。ここでは、白黒とカラーの2種類の橋梁写真を用いてアンケートをとり、その結果をもとにして景観評価システムを作成することにより、「色彩」が橋梁美に与える影響について考察する。

* 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番地)

** 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番地)

2. ニューラルネットの基本的概念

2.1 ニューラルネットワークの特徴

「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、「少し美しい」、「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。風景の認識、音声の識別等についても同じことがいえる。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曖昧性を含む問題は、ランダム問題と呼ばれる。人間はこれら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、人間の脳の解剖学的な構造を見習い、その働きを単純にモデル化することによって、ノイマン型コンピュータ上で人間の脳の働きを模倣したのが、ニューラルネットワークである。

本研究のように、橋梁の美的評価という曖昧性をもった取扱いが困難な問題を考える場合、上述のような特徴をもったニューラルネットワーク手法による解析が有効であると考えられる。

2.2 ニューラルネットワークの原理

ニューラルネットには階層型ネットワークと呼ばれるものと相互結合型ネットワークと呼ばれるものがある。本研究では階層型ニューラルネットを用いる。階層型ニューラルネットは、脳細胞(ニューロン)が階層状に規則正しく並び、下位の細胞層から上位の細胞層に一方向のみ刺激(情報)が伝達されるもので、人間の脳と同様の構造をしている。以下、階層型ニューラルネット(以下、ニューラルネットと称す)について概説する。

ニューラルネットは、入力データが入力される細胞がある入力層と、認識結果が出力される細胞がある出力層を持っており、入力層と出力層の間に中間層と呼ばれるいくつかの細胞の層が設けられている。入力層の細胞と中間層の細胞、中間層の細胞と出力層の細胞は、シナプス結合と呼ばれる結合で結ばれている。シナプス結合は、それぞれ重み(シナプス荷重)を持っており、この重みが大きいほど細胞間の刺激をよく伝えるようになっている。このようにニューラルネットは、入力層、中間層、出力層、およびシナプス結合により構成されている。

入力層の細胞は、入力されたデータの値の大きさに応じた出力を中間層の細胞に刺激として伝達し、この時の刺激はシナプス荷重の大きさが乗じられて伝えられる。そのため中間層の細胞には、結合した入力層から伝えられた多くの刺激が入ってくる。中間層の細胞では、これらの和がある一定の大きさ(しきい値)を超えると、興奮して上層の細胞に、刺激を伝える。これらの刺激が上へ上へと伝えられ、最終的に出力層に伝えられて出力される。

ニューラルネットでは、他の細胞へ伝えられる刺激の大きさは、入ってきた刺激の和がある程度大きくなると出力される刺激はほとんどゼロであるが、刺激の和が大きくなり、その値がしきい値に近づいてくると、出力される刺激は急激に大きくなる。しかし、大きくなるのにも限界があり、ある程度大きくなったところから頭打ちとなる。この特性を図示した曲線は、図-1(a)に示すような S 字型になるため、S 字型曲線、あるいはシグモイド曲線と呼ばれている。この曲線を式で表わすと、次のようになる。

$$S_{OUT} = 1/[1+\exp\{-(X-\theta)/T\}] \quad (1)$$

式中、 X は入力した刺激の和、 S_{OUT} は出力される刺激で、それぞれ、図-1の横軸(input)と縦軸(output)の座標値に対応している。また、式中の θ はしきい値、 T は温度である。

ここで、温度 T は、この式(1)と同じ形式の式が熱力学でよく使われていて、ちょうど T のところにあたるのが温度であるため、便宜上、温度と呼んでいる。図-1(b)のように温度 T が大きくなるほどS字型のカーブは滑らかになり、 T が小さくなるほど図-1(c)のようにカーブの湾曲は大きくなる。この値を変えることにより学習速度やパターン認識結果が変化する。さらに、しきい値の大きさが出力結果に与える影響を考えて

みる。しきい値が大きくなるとシグモイド曲線は図-1(d)のように右寄りの曲線となる。これは、細胞の入力値が大きくなると次の細胞に刺激を出力しないことを表わしている。逆に、しきい値が小さいと、図-1(e)のように左寄りの曲線となり、ほんの僅かな入力値でも大きな値が出力される。ここで出力される値は式(1)により計算されて出力されるので、しきい値が小さい程入力値が出力結果に与える影響が大きいといえる。

ニューラルネットによる処理（パターン認識、物事の評価等）は、入力層の細胞に入った刺激が中間層の細胞に重み W を乗せられて伝えられ、中間層細胞はそれらの刺激を加算し、式(1)によって、さらに上にある中間層細胞に刺激を伝える、ということを繰り返し行い、最終的に出力層にある細胞が興奮することによって行われる。

ニューラルネットの学習は、人間の学習によく似ている。人間はプログラムなしで、さまざまな仕事をこなすことができ、また、間違いを経験することによってだんだん賢くなり、間違いにくくなる。ニューラルネットも学習するためのデータを増やしてやり、学習を繰り返してやるとさらに賢くなり、間違いも少なくなる。このニューラルネットの学習は、出力層細胞が正解を出すようにシナプス荷重の大きさを調節することで行われる。本論文では、この学習アルゴリズムとして、誤差逆伝播法を用いる³⁾。

2.3 ニューラルネットの構造

前節で述べたニューラルネットは図-2で示されるような構造をしており、この図は一般にネットワーク模型と呼ばれている。このネットワーク模型は4層構造となっており、下位の層は入力層、上位の層は出力層、入力層と出力層の間の2層は、中間層にあたる。各層にある丸は一つ一つの細胞を表わしており、細胞同士を結んでいる線がシナプス結合を表わしている。ここで注意しなければならないことは、隣接した層の細胞同士は全てシナプス結合で結ばれているのであるが、全ての結合を描くと図が非常に煩雑となり見にくくなるので、シナプス荷重の大きい結合のみを実線または破線で表示させてある。この図を見ると分かるように、このニューラルネットは入力層の26個の細胞と、下の中間層の30個の細胞、上の中間層の40個の細胞、出力層の一つの細胞および2020個($=26 \times 30 + 30 \times 40 + 40 \times 1$)のシナプス結合で構成されている。前述したように、このネットワーク模型では、シナプス荷重の大きなシナプス結合のみを表示しているの、上層にシナプス結合の伸び

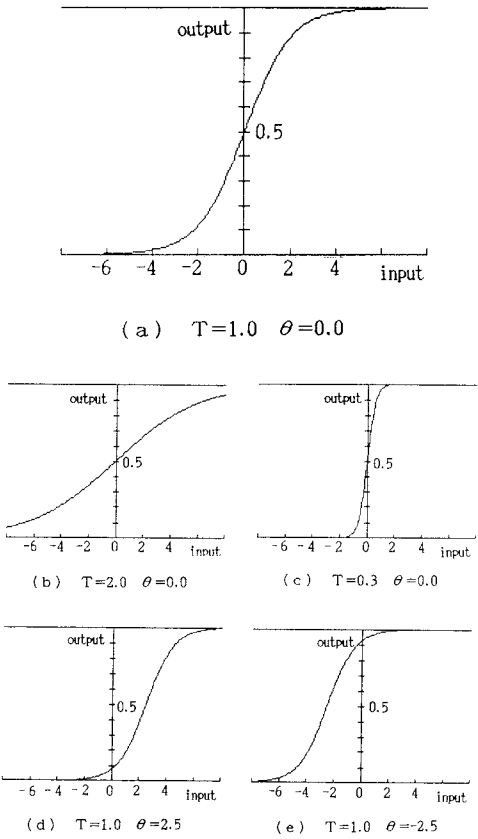


図-1 シグモイド曲線

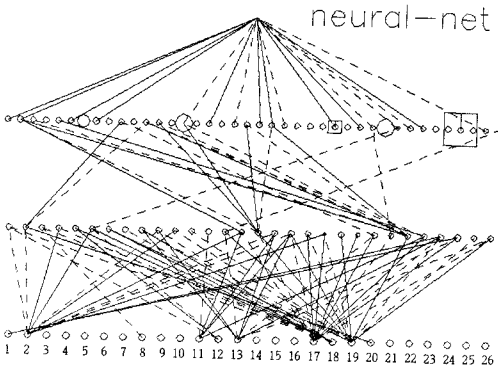


図-2 ネットワーク模型

ている細胞が出力結果に大きく影響を及ぼす細胞であると考えることができる。この図では、(1)、(2)、(8)、(11)、(12)、(13)、(17)、(18)、(19)、(20)の細胞がそれにあたる。

図を見ると、シナプス結合には実線のものと同破線のものがある。実線はシナプス荷重が正であることを表わしており、破線は負を表わしている。つまり、実線であれば、その実線の出ている細胞の刺激が次の細胞の受け取る刺激を大きくしていることを意味し、破線の場合は、次の細胞の受け取る刺激を小さくしていることを意味する。つまり、実線であればその線が出ている細胞の出力値が大きいほど、結果が大きくなり、逆に、破線であれば出力値が大きいほど結果が小さくなることを意味している。

さらに図を見ると、細胞の大きさが他と異なっているものや、四角で表わされているものがある。この細胞の大きさはしきい値の大きさを表わし、大きな細胞ほどしきい値が大きいことを表わしている。四角い細胞は大きな丸の細胞より更にしきい値が大きいことを表わしている。

3. 橋梁の景観に影響を及ぼす要因

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。文献²⁾では、1)形式美、2)サイコベクトル、3)環境との調和の3つの項目でまとめた。ここで、これら3つの項目について、紹介しておく。

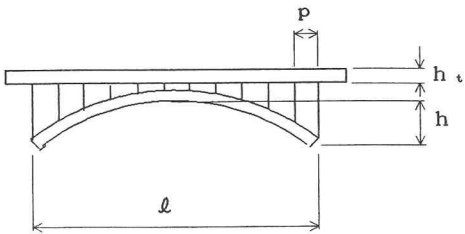


図-3 アーチ橋の寸法比

3.1 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、これらが互い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。アーチ橋においては、図-3に示す3つの寸法比について考慮した。 1)ライズ比: h/l 2)スパン比: h_t/l 3)補剛材間隔: p/l

また、橋を眺める視点位置も橋の美的評価に影響を与えると考えられる。これについては、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わす視線入射角について考慮した。 さらに、橋種も美的評価に影響を及ぼすと考えられるので、システム構築の際には 次の8つの橋の形式についても評価項目に入れた。

- 1)ソリッド・リブ・アーチ 2)ブレースド・アーチ 3)スパンドレル・ブレースドアーチ 4)ローゼ橋
- 5)ランガー橋 6)タイド・アーチ 7)ニールセン系橋梁 8)トラスト・ランガー橋

3.2 サイコベクトル

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こす心理的な力としての「誘引力」を表わすも

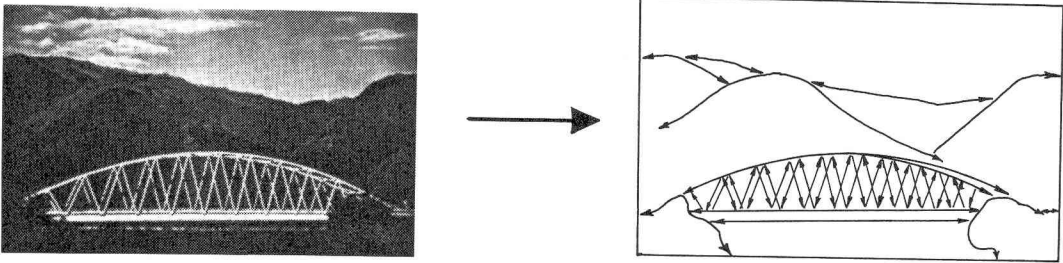


図-4 サイコベクトル化

の」⁴⁾である。図-4のように、風景をサイコベクトルを用いて表現することができる。

橋梁景観を表わ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 等が挙げられている⁵⁾。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わされ、水平成分と鉛直成分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、我々の研究では、だれが行な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った。

- 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、橋桁を表わすベクトル
- 2) アーチリブのサイコベクトル： 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わすベクトル
- 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、吊り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、上記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徴を示すもので、便宜上、山のベクトルと呼ぶ。山は もちろん、ビル、鉄塔等も 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。川を表わす線はもちろん、奥行きを表わすものならば道路等もこの部類に入れる。

3.3 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。

一口に風景といってもその内容は様々である。例えば、山間に橋が架か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等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した。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、跨道橋タイプの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た。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。したがって、システムを構築する際には、材質感を考慮した。

3.4 問題点

文献²⁾に示す研究では、以上示した橋梁の景観評価に影響を及ぼすと考えられる要因を考慮して、システムが構築されたわけであるが、このシステムには数々の問題点が残っている。

その一つはこのシステムでは「色彩」を考慮していないということである。橋に限らず、人間が物を見る時に必ず入ってくる情報が色である。橋梁の形式、環境との調和が非常に良くても橋梁の色が変わるだけで「美しくない橋」ともなりかねない。また、色彩を考える場合、同時に考慮に入れなければならないのが気象条件である。同じ形式で同じ色の橋でも天候でかなり印象が異なる。例えば、快晴で橋の色が赤であれば、

空の青と橋の赤がはっきりとし、非常に鮮やかである。しかし、その反面、曇り空で空の色が白っぽい時は橋の色はくすんで見え、鮮やかさがなくなってしまう。このように、気象条件によってもかなり橋に対する印象が変わると考えられるので、これらの事項も考慮に入れるべきである。

4. 色彩を考慮したアーチ橋の景観の評価

4.1 色彩の評価法

ニューラルネットにデータを取り込むためには、そのデータを数値化する必要がある。本節では、システムを構築するための前段階として、いかに色彩を数値化してシステムに取り込むのかを説明する。

色彩をシステムに取り込む場合、橋梁の色、空の色、山の色、水の色等それぞれについていくつかの色の項目をつくり、該当する色に1を入力し、そうでないものには0を入力するという方法が簡単である。しかし、その方法を用いるとニューラルネットの入力項目が非常に多くなってしまう。入力するデータの数が多ければこの方法でも問題はないが、本研究で使用する写真は25枚と非常に少ないために入力項目を少なくする工夫が必要となる。橋梁に関しては、青、赤、白、と全ての橋梁がそれぞれの色を持っているが、山や空等の風景に関するものは、空は青、山は緑というようにそれぞれ独自の色をもっている。これらの色の違いというのは、その色調が濃いか薄いかによるものである。そこで、色彩の項目は橋梁の色のみとして赤、青、黄、白、灰の5項目のみとし、山や空の色は、別に天候という項目を設け、快晴ならば空の色は鮮やかな青、晴れならば少しくすんだ青、曇りならば白っぽい青というように、空、山、水の色を天候という項目のみで取り扱うことにした。こうすることにより、天候の項目だけで、文献²⁾において考慮していなかった気象条件という要素も取り扱うことができる。

ここで生じる問題は、空が写真に写っていない場合はどうするか、山が少ししか写っていない場合はどうかということである。確かに山の写っている面積が小さい場合は、いかに山が鮮やかな緑色であってもそれが美的評価に与える影響は小さい。そこで、この問題に対しては、すでに評価項目に取り入れられている「構図内に占める面積比」という項目によって取り扱うことにする。つまり、「空の面積比は小さく、山は大きい、しかも天候は快晴で空、山共に鮮やかな色をしており、橋梁の色は青である。」といった場合の評価が下せるわけである。このように、色彩に関しては橋梁の色（赤、青、黄、白、灰）、天候（快晴、晴れ、曇り）、構図内に占める面積比（空、山、水、橋梁、都市部）の13項目で評価させる。データの入力に関しては、橋の色は該当する色に1を入力し、それ以外には0を入力する。天候については、空の色が鮮やかな青であれば快晴の項目に1を入力し、少し暗い青には晴れの項目に、白っぽい青であれば曇りに1を入力する。写真に空が写っていない場合には、その写真の明るさから判断して、明るいときには快晴に、暗いときには曇りの項目に1を入力する。

4.2 橋梁景観評価システムの構築

本研究では、アンケートに用いる写真が白黒の場合とカラーの場合の2つのシステムを構築し、両者を比較して違いを考察する。白黒とカラーでの美的評価の違いを明確にするために、両者間では同じ写真を使用し、アンケートも同じ人に答えてもらう。アンケートには「日本の橋」⁶⁾から選出した25枚(白黒、カラーで計50枚)のアーチ橋の写真を使用した。アンケートに用いる写真の枚数は、アンケート回答者に煩雑感を持たれないように配慮して決めた。紙面の都合上、写真を提示することはできないが、参考文献⁷⁾には全写真を掲載しているので参照されたい。アンケートは鳥取大学の学生及び一般の方(18才～25才)、合計92人を対象としてアンケートを行った。各写真についての評価は曖昧性を有するので、妥当な評価が得られやすい程度に、○、△、×の3段階評価とし、各人の判断で評価してもらった。そして、各写真について○をつけた人の数、△の人の数、×の人の数を求め、○に2点、△に1点、×に0点の重みをつけ、橋梁美 p を、次式のように定義した。

$$p = (\bigcirc\text{の数}) \times 2 + (\triangle\text{の数}) \times 1$$

(2)

ここで、白黒写真とカラー写真を合わせて計50個の橋梁美 p が得られるのであるが、点数を見やすくするために最高点の写真を100点、最低点の写真を0点として、100段階評価とした。その結果を表-1に示す。

この表を見ると、白黒とカラーで評価点が大きく違う写真がある。この中で、カラーの方が白黒より10点以上高い評価点を得ている写真を挙げると、写真番号2、4、18、21、22の5枚の写真となる。これら5枚の写真を見ると、ほとんどが、山または空の色が鮮やかな色彩の写真であり、それら5枚以外の写真の内点差の小さい写真は全体的に、風景、橋梁とも色彩が地味であることが分かる。これは、色彩の鮮やかな写真ほど見る人に与える印象が強いためだと考えられる。このように、色の鮮やかなカラー写真ほど、白黒写真と比較して評価点が大きくなる可能性が高いといえる。逆に、カラーの評価点の方が低くなっている写真を挙げると、写真番号1、7、12、19、20、24の6枚の写真となる。このうち5枚は橋梁の色が赤または黄色の写真であり、白黒に比べてかなり評価点が低くなっている。これは、赤や黄色はあまりにも派手過ぎるために好感を持たれなかったのだと思われる。

次に評価項目の検討を行う。文献²⁾では43項目からなる評価項目を適用したが、本研究では数種の評価項目を、以下のように変える。

橋種については、文献²⁾では8種に分類していたのに対し、図-5(a)～図-5(d)に示す4タイプだけの分類とする。これは、このシステムに使用する25枚の写真のデータを8種に振り分けると橋種1つあたりのデータ数が非常に少なくなるため、橋種に対して曖昧な評価しか下せなくなる可能性が生じるからである。その他、ライズ比、スレンダネス等についても、必要以上に入力項目を増やさないために、文献²⁾において出力結果にあまり影響しなかった項目は、省略した。

逆に、サイコベクトルを表わす項目は水平成分と鉛直成分のみであったが、長さの項目を入れた。これは、山やアーチリブのように大きく曲がったサイコベクトルは水平成分、鉛直成分だけではその大きさを表わしきれないと考えられるからである。また、本研究で新たに加えた評価項目としてアーチリブ断面の形状と桁下空間がある。これらの評価項目を設けたのは、アーチ橋の特徴を代表するアーチリブ部の景観評価への影響をより詳しく知るためである。アーチリブ断面形状が景観評価に及ぼす影響に関しては、パイプ断面か否かによって、パイプ断面のものには1を、それ以外の形状の断面には0を入力する。桁下空間に関しては、桁下空間が大きいと雄大さを感じて橋がより良く見える、ということも考えられるので評価項目に取り入れた。これらのことを考慮し、本研究で採用したシステムの評価項目は、以下の通りである。

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1) 構図内の全ての山のサイコベクトル(水平成分) | 19) 空が構図内に占める面積比 |
| 2) 構図内の全ての山のサイコベクトル(鉛直成分) | 20) 全ての山が構図内に占める面積比 |
| 3) 構図内の全ての山のサイコベクトル(長さ) | 21) 都市部が構図内に占める面積比 |
| 4) 橋梁の背後の山のサイコベクトル(水平成分) | 22) 水(川、海)が構図内に占める面積比 |
| 5) 橋梁の背後の山のサイコベクトル(鉛直成分) | 23) 橋梁が構図内に占める面積比 |
| 6) 橋梁の背後の山のサイコベクトル(長さ) | |
| 7) 水のサイコベクトル(水平成分) | |
| 8) 水のサイコベクトル(鉛直成分) | |
| 9) 水のサイコベクトル(長さ) | |
| 10) 橋桁のサイコベクトル(水平成分) | |
| 11) 橋桁のサイコベクトル(鉛直成分) | |
| 12) 橋桁のサイコベクトル(長さ) | |
| 13) アーチ部のサイコベクトル(水平成分) | |
| 14) アーチ部のサイコベクトル(鉛直成分) | |
| 15) アーチ部のサイコベクトル(長さ) | |
| 16) 補剛材のサイコベクトル(水平成分) | |
| 17) 補剛材のサイコベクトル(鉛直成分) | |
| 18) 橋脚のサイコベクトル | |

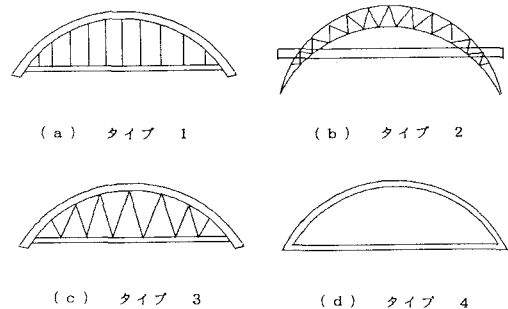


図-5 橋梁のタイプ

- 24)トラス部材が構図内に占める面積比
25)視線入射角
26)仰角, 俯角(仰角なら正, 俯角なら負)
27)橋梁の形式: 上路橋
28) 中路橋
29) 下路橋
30)橋種: タイプ1
31) タイプ2
32) タイプ3
33) タイプ4
34)アーチ部の形状
35)風景タイプ: 山 岳
36) 山の中腹
37) 平地
38) 都市部
39)川: 上 流
40) 中 流
41) 下 流
42)桁 下 空 間
43)近景
44)中景
45)遠景
46)橋梁の色: 赤
47) 青
48) 黄
49) 白
50) 灰
51)天候: 快 晴
52) 晴 れ
53) 曇 り

表-1 アンケート結果(アーチ橋)

写真 番号	白 黒	カ ラ ー	写真 番号	白 黒	カ ラ ー	写真 番号	白 黒	カ ラ ー
1	31	19	11	36	46	21	56	78
2	71	81	12	69	54	22	54	68
3	68	58	13	44	51	23	63	64
4	7	36	14	97	88	24	68	31
5	51	44	15	49	56	25	0	7
6	47	36	16	68	66			
7	95	58	17	49	46			
8	22	19	18	90	100			
9	53	61	19	68	32			
10	34	32	20	76	36			

なお、白黒では 1)~45) を、カラーでは 1)~53) をシステムの構築に用いた。

以上の評価項目に対応するデータを25枚の写真それぞれについて求め、ニューラルネットに学習させるための入力値とし、表-1 に示したアンケート結果を 出力値(理想値)とした。システム構築の際、学習は、白黒とカラーの双方とも約6時間(NEC PC-9801RA, 数値演算プロセッサ付き)にわたって行い、温度Tを1.5~0.7まで変化させ、ニューラルネットによる評価と理想値との誤差がこれ以上小さくならなくなった時点で終了した。その時の最大誤差は6点であった。

4.3 学習結果および認識結果

前節の学習によって得られたネットワーク模型を 白黒のシステムについては図-6、カラーのシステムについては図-7に示す。図中の入力層に付した番号は、4.2節で説明した各評価項目の番号に対応している。これ

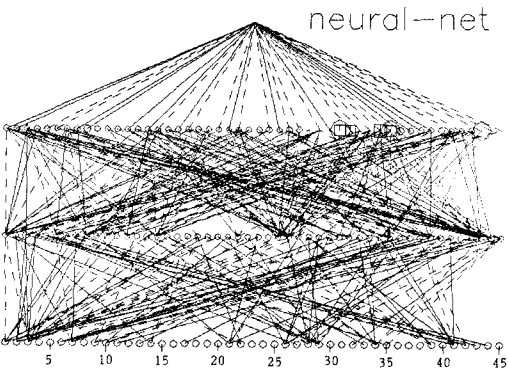


図-6 白黒のネットワーク模型(アーチ橋)

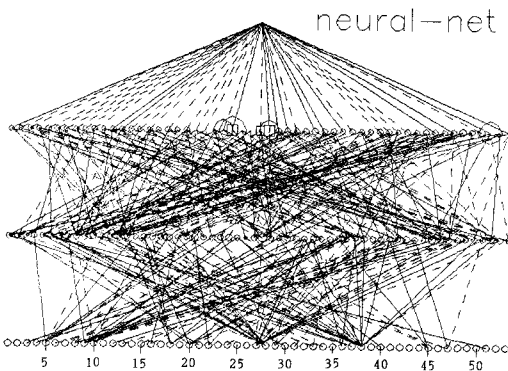


図-7 カラーのネットワーク模型(アーチ橋)

表-2 景観評価システム構築上に影響する評価項目（白黒のシステムとカラーのシステムとの相違点）

評価項目	白黒	カラー	評価項目	白黒	カラー
山のサイコベクトル	○	×	風景タイプ：平野	×	○
水のサイコベクトル	○	×	都市	×	○
山の占める面積比	×	○	川の上流	○	×
視線入射角	○	×	川の下流	○	×
風景タイプ：山岳	○	×	桁下空間	○	×
山の中腹	×	○			

らを比較し、景観評価システム構築上、影響する評価項目を、図-6の場合と図-7の場合の相違点に着目して示すと、表-2となる。すなわち、表-2は、図-6、7において、出力結果に影響を及ぼす可能性のある評価項目（シナプス荷重が大きく、シナプス結合の線が伸びている項目(2.3節参照)）には○、シナプス結合の線が全く伸びていない項目には×として、白黒のシステムとカラーのシステムとの相違点をまとめたものである。

白黒写真を見て美的評価を下す場合、色がついていないために山、橋等の形状から評価を下すしかない。図-6において、サイコベクトルの項目、風景タイプの山岳の項目、川の上流、下流の項目から多くの線が伸びているのは、山や水の形状が、アーチの形状とよく適合し、評価点との相関が非常に強いからだと考えられる。視線入射角の項目からも多くの線が伸びているが、これは視線入射角の違いでアーチ部の形状が縦長に見えたり横長に見えたりし、風景の形状との適合性と、評価点との間に相関があるためであると考えられる。桁下空間に関しては、桁下空間が大きいと見る人に雄大な印象を与え、それが直接評価点と関係するためだと考えられる。

これに対して、カラー写真を見て美的評価を下す場合には形状だけでなく色彩も考慮して評価を下すため、色彩が評価点に与える影響を考えることは困難である。形状、色彩ともに風景とよく適合していれば評価点は高いが、形状が風景と適合していても、橋梁の色が適合していなければ評価点は低くなってしまう。

ここで、もう一度、図-6と図-7を比べてみると、図-6では4.2節で示した評価項目のうち、19)～24)の面積比の項目にはほとんど線が伸びていなかったのに対して、カラーのネットワーク模型では線が伸びてきているのがわかる。これは、風景の色彩を面積比の項目を利用して評価させたために現われたものだと考えられる(3.1節参照)。また、図-7では橋種の項目についても、若干線が伸びている。これは、橋梁に色がついたために橋梁がはっきりと映し出され、橋種が強調され、評価点へ影響が現われたのだと考えられる。

以上述べたように、ネットワーク模型から評価時に重要となってくる評価項目を抜き出すことができる²⁾が、ここでは、抜き出された項目が本当に美的評価に影響する項目であるのか、あるいは、影響するとすれば、どの程度影響するのかについて、検討する。以下に、その具体的方法を述べる。まず、ここに、1枚の写真に対して、各評価項目に関するデータがあるとする。このデータは、白黒写真の景観評価システムの場合、1)～45)の45個の評価項目からなっている。この時、1)の評価項目がどのように美的評価に影響を及ぼすのかを調べるためには、45項目のデータのうち1)の評価項目に該当するデータのみを、最大値と最小値に変える。この最大値と最小値というのは、学習時に入力した25枚の写真のデータのうち、1)の評価項目に該当するデータの最大値と最小値のことである。これで、1)の評価項目の値だけが違い、残りの2)～45)の評価項目の値は同一の2つのデータができる。これら2つを認識評価させると、それぞれについての認識結果が橋梁美という点数で出力される。この2つの点数を差し引いた点数が、1)の評価項目が美的評価に与える影響の大きさであると考えられる。残りの評価項目2)～45)についても同様に行う。これで、1つの評価項目について2つ、合計90個の認識結果が得られることになる。ただし、これらの認識評価に使用する写真のデー

タは全て同じものを使用する。次に、白黒写真とカラー写真での各評価項目が美的評価に与える影響の相違を明らかにするために、これと同じ写真のデータを用い、同様の処理をカラー写真の景観評価システムを用いた場合についても行う。

本研究ではこの認識評価に写真番号13の写真(写真-1参照)を用いた。その理由は、写真番号13のアンケート結果は白黒写真44点、カラー写真51点であり、それぞれの景観評価システムの出力細胞のしきい値における出力値とほぼ一致するからである。というのは、認識結果はそれぞれの点数の近傍で変化すると考えられ、また、図-1で示されるシグモイド曲線はしきい値近傍ではほぼ直線であるから、出力細胞への入力値と認識結果は正比例していると考えて良いので、認識評価で得られた各評価項目の点差が、シグモイド曲線の影響を受けずに、美的評価に及ぼす影響の大きさを表わされるからである。

このようにして得られた認識結果を表-3に示す。この表において、点差の大きな評価項目ほど美的評価に与える影響は大きく、重要な項目として考えられる。その項目を白黒写真の場合とカラー写真の場合のそれぞれについて抜き出したものを以下に示す。

白黒写真

カラー写真

表-3 認識結果(アーチ橋)

- 8)水のサイコペクトル(鉛直) 11)橋桁のサイコペクトル(鉛直)
11)橋桁の " (鉛直) 17)補剛材の " (鉛直)
13)アーチ部の " (水平) 19)空が構図内に占める面積比
14)アーチ部の " (鉛直) 20)全ての山が " 面積比
17)補剛材の " (鉛直) 22)水(川、海)が " 面積比
21)都市部が構図内に占める面積比 30)橋種: タイプ1
22)水(川、海)が " 面積比 31) タイプ2
25)視線入射角 36)風景タイプ: 山の中腹
27)橋梁の形式: 上路橋 37) 平地
29) 下路橋 38) 都市部
30)橋種:タイプ1 42)桁下空間
36)風景タイプ: 山の中腹 49)橋梁の色: 白
38) 都市部 50) 灰
40)川: 中流

評価項目	認識評価点				点差		評価項目	認識評価点				点差	
	白黒		カラー		白黒	カラー		白黒		白黒	カラー		
	最大入力値時	最小入力値時	最大入力値時	最小入力値時				最大入力値時	最小入力値時				
1	54	44	33	50	10	-17	28	56	44	59	50	12	9
2	51	44	56	50	7	6	29	44	71	50	65	-27	-15
3	51	44	53	50	7	3	30	70	44	70	50	26	20
4	49	44	54	50	5	4	31	55	44	13	50	11	-37
5	34	44	67	50	-10	17	32	44	61	50	45	-17	5
6	63	44	50	50	18	0	33	39	44	53	50	-5	3
7	43	47	49	51	-4	-2	34	50	44	56	50	6	6
8	22	52	44	51	-30	-7	35	60	44	65	50	16	15
9	43	46	54	38	-3	16	36	75	44	72	50	31	22
10	47	42	43	54	5	-11	37	44	44	50	24	0	26
11	32	54	27	63	-22	-36	38	10	44	19	50	-34	-31
12	53	38	46	51	15	-5	39	26	44	44	50	-18	-6
13	60	36	57	45	24	12	40	8	44	52	50	-36	2
14	59	30	53	46	29	7	41	44	32	50	47	12	3
15	36	50	47	52	-14	-5	42	52	42	67	43	10	24
16	43	45	61	44	-2	17	43	51	44	59	50	7	9
17	40	67	46	70	-27	-24	44	44	61	50	57	-17	-7
18	46	25	49	58	21	-9	45	50	44	40	50	6	-10
19	44	44	26	50	0	-24	46	-	-	31	50	-	-19
20	27	44	73	50	-17	23	47	-	-	36	50	-	-14
21	14	44	57	50	-30	7	48	-	-	43	50	-	-7
22	67	7	57	24	60	33	49	-	-	50	18	-	32
23	40	50	44	58	-10	-14	50	-	-	76	50	-	26
24	39	46	36	55	-7	-19	51	-	-	61	50	-	11
25	49	17	52	32	32	20	52	-	-	47	50	-	-3
26	44	44	50	49	0	1	53	-	-	66	50	-	16
27	71	44	68	50	27	18							

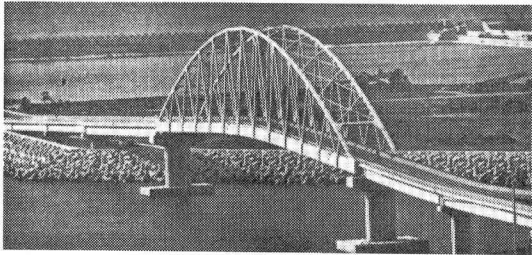


写真-1

これらの重要評価項目と図-6および図-7で示されるネットワーク模型を比較すると、重要評価項目の中でも細胞から線が出ているものとなっていないものがあるので、ネットワーク模型からだけでは全ての重要評価項目を判別することができないことがわかる。この表で、重要評価項目の点差を白黒写真の場合とカラー写真の場合とで比較すると、全体的に白黒写真の方が点差が大きいがわかる。カラー写真の点差が小さいのは、カラーでは色彩も一緒に考慮されているので、形式の評価項目だけでは美的評価を下せないため

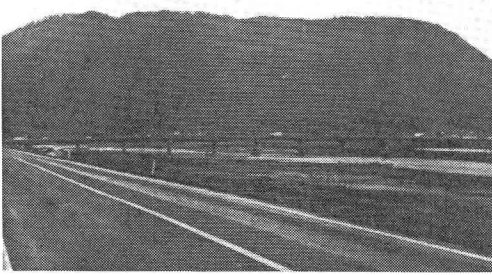


写真-2

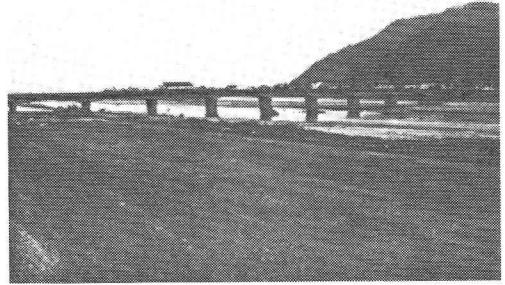


写真-3

だと考えられる。また、色彩に関する評価項目を見ると、赤、青、黄では点差が負に、白、灰では正になっている。これは、赤、青、黄の橋梁は評価点が低く、逆に白、灰では評価点が高いことを表わしている。

では、この景観評価システムが実際の景観設計にどのように応用できるのかを例を挙げて述べる。その例として、写真-2、写真-3の橋梁を架け換える場合にはどの形式で何色の橋が最適であるかを求める。ここで用いる2つの写真は両方とも同じ橋で鳥取市近郊の国道53号線の千代川に架かっている円通寺橋と称される橋である。景観評価を行う際、人がその橋を眺めることのほとんどない視点で撮った写真を用いて評価を行っても、その評価は意味のない評価となる。そのため、人が頻繁にその橋を見る視点で撮った写真を用いることが重要となってくる。このことを考慮に入れ、一方は鳥取側から、もう一方は岡山側から眺めた橋の写真を用い、橋を頻繁に眺めるドライバーの視点となる道路上で撮った写真について認識評価させる。この橋を選んだ理由は、この橋は鳥取県東部地方でも特に老朽化の進んだ橋であり⁸⁾、近年架け換えが行われるであろうと予想されるからである。

表-4 円通寺橋における認識結果(アーチ橋)

橋の形式	橋種	橋梁の色	認識結果		橋の形式	橋種	橋梁の色	認識結果	
			写真2	写真3				写真2	写真3
中 路 橋	タイプ1	赤	48	55	下 路 橋	タイプ1	赤	23	30
		青	65	70			青	40	46
		黄	76	81			黄	48	55
		白	89	88			白	78	76
		灰	88	88			灰	77	75
	タイプ2	赤	10	15		タイプ2	赤	7	8
		青	16	25			青	9	11
		黄	17	26			黄	9	10
		白	67	70			白	39	44
		灰	65	67			灰	39	43
	タイプ3	赤	49	54		タイプ3	赤	25	30
		青	66	68			青	41	45
		黄	76	79			黄	48	53
		白	90	88			白	80	78
		灰	89	88			灰	78	76
	タイプ4	赤	36	39		タイプ4	赤	18	20
		青	49	51			青	27	29
		黄	64	66			黄	35	37
		白	82	80			白	67	63
		灰	82	79			灰	66	62

認識方法は、まず2つの写真を見て、風景に関する評価項目の値をそれぞれの写真について求め、これら2つのデータに橋の形式と橋梁の色のデータを加えて景観評価システムに入力する。これを認識評価させることによって、その形式の橋を現地に架設した場合の評価点が得られる。同様に、橋梁の形式、橋種、橋梁の色を種々変化させ、考えられる全ての形式について認識評価を行うことにより、その風景に最適な橋の形式および色を求めることができる。この認識を写真-2および写真-3について行った結果を表-4に示す。ただし、この地形には上路橋は適さないものでそれについての認識評価は行っていない。この表を見ると、全体的に赤、青、黄の橋梁の評価点は低く、白、灰の評価点は高い。このことは表-3の評価項目(46)～(50)の点差にも現われている。その原因として、ニューラルネットに学習させる際、赤、青、黄の橋梁に評価点の高いデータが含まれていなかったことが考えられる。そのために、赤、青、黄の橋梁でも評価点の高いデータを入力し学

習させる必要がある。

5. あとがき

本研究では、文献²⁾によって得られたシステムをより実用的なものにするために、色彩を考慮して橋梁の景観評価の研究を行った。橋梁美を評価するため実施したアンケートに白黒写真を用いる場合とカラー写真を用いる場合との違いを明確にするために、色彩以外はすべて同じ条件下で、それぞれ 2つの橋梁景観評価システムを構築した。これにより得られた結果と、橋梁美に関して行ったアンケート結果をもとに、白黒写真の場合とカラー写真の場合とを比較し、その違いについて考察を行った。その結果、白黒写真では形式だけで美的評価が下されているのに対し、カラー写真では形式だけでなく色彩によっても評価が下されており、特に鮮やかな色彩の写真に関しては色彩が美的評価に与える影響が非常に強いということがわかった。また、同じ写真のデータを用いて、各評価項目ごとに最大値と最小値を入力して認識させ、その結果を用いて考察を行うことにより、ネットワーク模型だけでは橋梁の美的評価に影響する評価項目の選出はできないことがわかった。さらに、より実用的な橋梁景観評価システムにするには、より多くのデータによる学習が必要であると同時に、アンケートを行う際、少なくとも質の良い回答を得ることが重要であることがわかった。

景観を考慮した橋梁設計を行う場合、技術者は評価項目を意識的に、または過去の良い実例を真似ることでも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。

参考文献

- [1] 山本宏：橋梁美学，森北出版，1980年。
- [2] 白木渡・松保重之・高岡宣善：ニューラルネットワークによるアーチ橋の景観評価システム，構造工学論文集，Vol. 37A，pp. 687～697，1991年3月。
- [3] 麻生英明：ニューラルネットワーク情報処理，産業図書，pp. 33-54，1989年1月。
- [4] 小林重順：デザイン心理入門，誠信書房，1978年。
- [5] 杉山俊幸：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，pp. 523～532，1989年3月。
- [6] 日本橋梁建設協会編：日本の橋，朝倉書房，1984年。
- [7] 本部伸一：色彩を考慮した橋梁の景観設計へのニューラルネットワークの適用，鳥取大学工学部土木工学科卒業論文，1991年2月。
- [8] 日本海新聞：いなば橋物語 3，円通寺橋，日本海新聞社，1990年3月8日。

(1992年9月21日)