

パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 松井 伸容
芝浦工業大学 正会員 山本 一之
日本セメント（株）中央研究所 正会員 岡本 享久

1. はじめに

景観評価手法として景観構成要素と評価因子の関係を定性・定量的に把握する計量心理学的手法を中心に年々数多くの評価手法が提案されている。

本研究では、計量心理学的手法を基に景観の構成要素を入力、評価因子を出力、そしてファジィ理論及びニューラルネットワーク両者を用いたニューロ／ファジィシステムを構築し、システムの特性についても検討を行った。

2. 研究過程

計量心理学的手法を基に評価対象の主対象として環境保全及び周辺環境の調和から注目されている緑化されたコンクリート構造物を取り上げた。そして主対象の代替的材料として写真31枚を用いて、被験者によって評価対象の客観的イメージを調査するため評価実験（SD法）を実施、実験結果を基に因子分析を行い、評価対象の評価基準となる評価因子の抽出及び因子負荷量並びに因子得点の算出を行った（表1）。

表1 評価因子と因子寄与率

評価因子	1	2	3
因子寄与率(%)	62.14	23.70	9.47
累積因子寄与率(%)	62.14	85.54	95.31

その結果3種類の評価因子が抽出され、このうち第1評価因子の因子寄与率が高いことからほぼ第1評価因子によって評価対象の客観的イメージを表現できると考えられる。更に評価対象の構成要素から量的・質的データの抽出を行い、評価因子得点との関係を重回帰分析及び数量化理論Ⅰ類によって分析、偏相関係数が比較的高いデータの限定を行った（表2）。

表2 限定された構成要素

量的データ	質的データ
緑化面積率	構造形態
コンクリート明度(白黒)	植生
緑彩度(赤緑)	緑化タイプ
コンクリート彩度(黄青)	入射角

3. 景観評価システムの構築とその特性

3.1 システムの概要

景観構成要素と評価因子の関係を非線形の評価構造と捉えた。重回帰分析によって限定された量的データを入力変数、評価因子得点（推定値）を出力変数とし、評価過程における曖昧さを数値的に表現で

きるファジィ理論を用いてファジィシステムの構築を行った。更に質的データも入力情報として取り扱うことが可能かつ自己学習機能を備えた人間の脳の神経細胞をモデル化したニューラルネットワークを用いてニューロシステムを構築した。そしてニューロシステムがファジィシステムを補間する形のニューロ／ファジィシステムを構築し、システムの特性についても検討した（図1）。

ニューロ／ファジィシステム

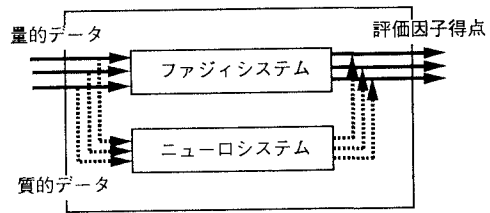


図1 ニューロ／ファジィシステムの概略図

3.2 ファジィシステムの構築

評価構造を非線形関数とし、その構造同定を行うために次のようなファジィIf-Thenルールを用いた。

$$R_j: \text{If } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } \dots x_4 \text{ is } A_{4j} \text{ Then } f_{jk} \text{ is } B_{jk} \quad (1)$$

$$j=1,2,\dots,N \quad k=1,2,\dots,M$$

ここで N : ファジィIf-Thenルールの総数、 M : 評価因子の総数、 x_i : 入力変数 ($i=1,\dots,4$)、 x_1 : 緑化面積率、 x_2 : 緑彩度(赤緑)、 x_3 : コンクリート明度(白黒)、 x_4 : コンクリート彩度(黄青)、 A_{ij} : 量的データのファジィ集合、 f_{jk} : 出力変数(評価因子得点)及び B_{jk} : 評価因子得点のファジィ集合である。

3.2.1 ファジィIf-Thenルールの設定

入出力データからファジィIf-Thenルール（ルール総数 R_j : $j=1,\dots,6$ 、入力変数 x_i : $i=1,\dots,4$ 、出力変数 f_{jk} : $k=1,2,3$ ）に基づく構造系を形成した。任意の評価対象 l の量的データを入力情報 x_{il} とし、分布重心法に基づき、非ファジィ化によって第 k 評価因子得点の推定値 $f_k^l(x_{il})$ の算出を行った。

3.2.2 ファジィシステムの特性

システムの特性を検証するために評価対象の代替的材料として、システム構築の際に用いた評価対象No.1～31 ($l=1,2,\dots,31$) の4入力変数 x_{il} のデータをファジィシステムに

入力し、出力として第1から第3評価因子($k=1,2,3$)の因子得点の推定値 $\hat{f}_k$ を算出した。評価対象 $l=1,2,\dots,31$ のデータと推定値の差 q_k の2乗和を第 k 評価因子の出力誤差 Q_k と考え、評価因子の性質を示す因子寄与率FPとの相反性から出力変数を第1評価因子とした場合の有用性が表現された。そこで第1評価因子を出力変数とし、入力変数の量的データのうち偏相関係数が最も高い緑化面積率を変動させた場合、出力変動は図2に示すようになった。ここから量的データのみ着目した場合、緑化面積率は、第1評価因子の因子負荷量が高いイメージ評価項目がすがすがしい、開放感、きれい等、総合的評価を示す項目との関連性があり、主対象の緑化面積率が約63%のときイメージの分岐点といえる。

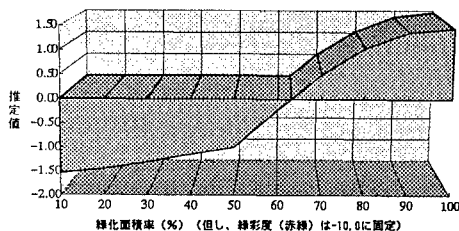


図2 量的データの変動と第1評価因子得点の関係

3.3 ニューロシステムの構築

量的・質的データと評価因子得点との関係を学習機能を備えた多層パーセプトロンに基づくニューラルネットワークを用いて構築した(式(2))。

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-WX}} \quad (2)$$

ここで X :入力層(量的及び質的データ)、 Y :出力層(評価因子)、 W :重み付き係数である。

3.3.1 入出力ユニットの設定

入力層には、表2に示した4量的データから4ユニット、4質的データを分類して構造形態「ステップ型・フリーフォーム・ブロック・壁面」、植生1(単数・複数)、植生2(芝・芝草・低木・中木)、緑化タイプ1(修復・修景)、緑化タイプ2(芝草放置・特殊・芝草被地・低木花木)及び入射角(正面・斜方)の計19ユニット合計23ユニットを設定した。出力層は、各評価因子得点として評価因子得点が1.0以上を「高」ユニット、-1.0以下を「低」ユニット、それ以外を「どちらでもない」のユニットに設定した。この場合、量的データは規準化、質的データは排他理論に基づき設定した。

3.3.2 学習

学習データとして、評価対象31種類の量的、質的データを入力データ並びに評価因子得点を出力データとし

て用い、BP法に基づき学習誤差が0.01以下になるまで学習を行った。

3.3.3 ニューロシステムの特性

ニューラルネットワークによって学習させた評価対象31の入出力データのうち出力データに着目し、出力層(評価因子)のうち、例えば第1評価因子得点「高」ユニットを示す出力データのものについて評価対象の分類を行った。そして入力層の量的データのうち、偏相関係数が最も高い緑化面積率ユニットを変動、質的データはデータ分類の際に頻出度の高い構成要素について固定ユニットとして入力した。そして3種類の出力層(評価因子)各々について、出力ユニットの結合荷重和の変動を検討する感度解析を行った。ここではファジィシステムとの比較を行うために、第1評価因子を出力層とする場合を示す(図3)。

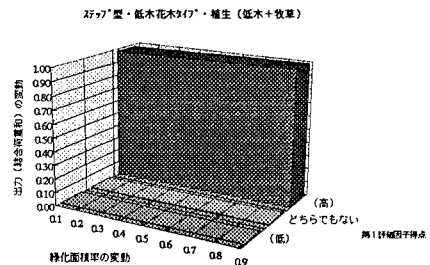


図3 量的・質的データと第1評価因子得点の関係

その結果、出力層が第1評価因子の場合、学習データの分類から入力層の質的データは構造形態「ステップ型」、緑化タイプ1「修景緑化」、緑化タイプ2「低木花木型」、植生1「複数」及び植生2「低木+牧草」の固定ユニットとなり、量的データの緑化面積率ユニットを変動させた場合、緑化面積率の変動に関わらず常に出力層第1評価因子「高」ユニットの結合荷重和が大きかった。このことから第1評価因子が常に「高」を示すのは、量的データの緑化面積率の変動の影響ばかりでなく、質的データも影響していると考えられる。これは第1評価因子の因子負荷量が高いイメージ評価項目(すがすがしい、開放感、きれい、やすらぎがある等)が総合的評価基準を示すことから、量的及び質的構成要素双方の複数の情報が影響していると考えられる。

4. まとめ

本研究にて構築したニューロ/ファジィを用いた景観評価システムにおいて、ファジィシステムでは量的データを入力とし、システムの特性として出力変数の第1評価因子の有用性が表現でき、入力の緑化面積率との数値的対応関係が得られた。そしてニューロシステムでは、入力の量的データに質的データを加え、システムの特性として質的データの評価因子への影響が得られた。