

ファジィ理論を用いた景観舗装デザイン 支援システムの開発

水野直樹*・松島 学**・溝淵 優***

近年、我国の舗装設計の在り方は、周辺環境に調和するために快適性などを考慮する設計上の配慮が要求されている。本論文は、こうした社会的な要請に鑑み、設計者に対して全面支援するシステムの開発を目指したものである。本システムは、①舗装材料のデータベースの構築、②景観パース図の作成、③景観評価機能を備えたシステムである。なお、景観評価にはファジィ理論を用いて総合評価を行うものである。

Key Words: landscape pavements, landscape design, landscape evaluation, fuzzy set theory, computer graphics

1. はじめに

我が国の高度成長期における舗装は、周辺環境には余り目を向けられずに、交通機能に重点が置かれ、「早く、安く、大量に」をモットーに設計、施工がなされてきたようである。しかしながら、1970年代前半から環境破壊が社会的問題として浮上し、環境に関する問題が高まるにつれて、それを考慮しなければならない時代に移行している。

このような背景から、1985年8月に建設大臣官房技術調査室より「建設省景観整備マニュアル(案)」が出版されている。また、1987年度には建設省が都市景観形成モデル都市制度を創設し、都市景観の整備に乗りだした。1990年度からは、「うるおい・緑・景観モデルまちづくり制度」に制度を改めて景観事業が積極的に進められている。また、1992年度からは、民間を対象に「都市・建築景観整備事業」も進められている。

これからの舗装は、合理的・効率的なものから周辺環境に調和した快適性や親しみやすさなどを考慮した設計上の配慮が、要求されるものと考えられる。

景観舗装の計画の段階において、設計者等はコンピュータ・グラフィックス(CG)を用いて計画を行う環境に変化しつつある¹⁾。これは、CGを用いることにより、容易に舗装材料や色の変更等のシミュレーションが可能になり、予想図や模型に頼っている現状の計画環境が大きく向上する。

しかしながら、景観の状況を説明する方法としては、通常「明るい」、「落ちついた」などといった、あいまい

表現が多く用いられている²⁾。そのため、各個人によって判断基準が明確でないため認識に差が生じる。また、景観は専門家の主観的な感覚や経験に大きく依存して評価されている。つまり、評価項目とその評価基準や評価レベルのランクの境界が明確ではなく、その評価のプロセスが個人により相違することが、理由として考えられる。そのため、評価自体を定量的に求めることは、今までの確定論的な判断基準では難しい。従って、今まで定期的に行ってきた客観的な評価手法を確立するのではなく、主観的な立場での評価手法を確立するほうが良いと考えられる。

主観的な不確実性問題を数学的に取り扱う手法としてファジィ集合の概念を用いた研究報告が近年多くの分野で報告されている。白石・古田ら^{3),4)}はコンクリート橋の床版の劣化モデルの判断にファジィ理論に基づいたエキスパート・システムの開発を行っている。また、清水ら⁵⁾は岩盤の等級区分にファジィ理論を応用し、その適合性を評価している。筆者らの一人⁶⁾も海岸施設の劣化診断にファジィ理論に基づいた診断手法の提案を行っている。舗装分野においては、姫野^{7),8)}らが路面性状の評価に、ファジィ数量化理論Ⅱ類を用いて評価手法の提案を行っている。

本研究では、景観舗装デザインを全面支援するシステムの開発を目的としている。本システム(HIGINS: Harmonic Ideal Graphics for Integrated Nippo Systems)は、①景観舗装材料のデータベース機能、②CGを用いた景観パース図の作成機能、③作成された景観パース図に対する景観評価機能を備えたシステムである。なお、景観評価は、(a)色彩調和、(b)周囲景観との調和、(c)舗装材料の施工場所への適合性、(d)舗装材料の性能、(e)舗装材料のイメージの5項目に対して全体評価を行うものである。

本システムにより、景観舗装デザインに対して専門知

*正会員 M.S. 日本舗道(株) 関西支店試験所
(〒575 四条畷市美田町5-1)

**正会員 工博 東電設計(株) 技術開発本部 耐震技術部課長

***正会員 工博 日本舗道(株) 技術研究所 第一研究室室長

識のないエンドユーザでも景観舗装材料の選択から景観パース図の作成、及びその景観評価を含めた景観舗装デザインを行うことが可能となる。

2. システム設計

(1) ハードウェア設計

本研究で開発したシステムの概要を図-1に示す。本システムは、ホスト・コンピュータに32ビット(MC 68040, 25MHz.)のApple社のMacintosh Quadra700を選定した。本機種は、マウス入力によるキーボードレスの操作環境を備えたパーソナルコンピュータである。

景観パース図をより現実的で信頼性の高いものにするため、フルカラー対応(約1670万色)とした。他に、入力機器として、施工写真や景観舗装材料の写真を取り込むスキャナーを、作成された景観パースの出力機器としてカラープリンターを選定した。

(2) ソフトウェア設計

a) データベース機能

開発したデータベース機能によれば、施工場所や利用者のニーズを満足する景観舗装材料を検索することが可能である。データベース機能のメイン入力画面を写真-1の(a)に示す。景観舗装材の画像データの登録、及び検索条件の入力をマウスにより操作可能な環境である。

データベースに登録される属性データは下記の5つの項目に分類した。

- ① 景観舗装材料の種別
- ② 景観舗装材料の施工場所への適合性
- ③ 景観舗装材料のイメージ
- ④ 景観舗装材料の性能
- ⑤ その他(標準舗装構成、施工事例など)

①の景観舗装材料の種別は、色彩やデザインの自由度が高い自然系材料の石や土を用いた舗装、二次製品のブロックやタイルを用いた舗装、そして高分子材料を用いたカラー舗装等に分類できる。筆者らは形態及び施工方法から34種類に分類した⁹⁾。

②の景観舗装材料の施工場所への適合性に関しては、写真-1の(b)に示すように景観舗装の施工場所を12箇所に分類し、それらへの適合性を4段階(最適・適・条件付可・不適)に分割した。

③の景観舗装材料のイメージに関しては、写真-1の(c)に示すように、景観を評価する上で必要と思われる26個の景観評価用語を設定し、評価尺度を5段階に分割した¹⁰⁾。

④の景観舗装材料の性能に関しては、写真-1の(d)に示すように、美観、歩行性、予算など景観評価に必要と思われる26個の評価用語を設定し、評価尺度を5段階に分割した⁹⁾。

⑤のその他の項目に関しては、その景観舗装材料に関

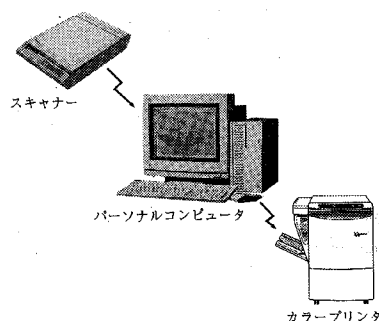


図-1 ハードウェアの概要

する情報として、標準舗装構成、施工事例などを入力できるように設定した。写真-1の(e)は標準舗装構成の設定画面を示している^{9), 11)~13)}。

データベースからの検索では、下記の5つの検索条件の組み合わせが可能である⁹⁾。

- ① 景観舗装材料の種別
- ② 景観舗装材料の性能
- ③ 景観舗装材料の施工場所への適合性
- ④ 景観舗装材料と施工場所の色彩調和
- ⑤ 設計区分

b) 景観パース図作成機能

CGを用いた景観パース図の作成機能では、景観舗装の敷設パターンの作成や、その敷設パターンを施工場所の写真画像にはめ込むことが可能である。

写真-2の(a)は施工場所の現状の景観写真を示している。その路面は掘削による凹凸、継ぎ接ぎ、色ムラなどが目立ち、改修が急がれるべき状態にあるといえる。写真-2の(b)は、データベースから検索された景観舗装材料の一つを示している。その景観舗装材料を用いて敷設パースを写真-2の(c)のように作成する。そして、その敷設パースを景観写真画像にはめ込んだものが写真-2の(d)である。CGを用いることにより、景観舗装材料やその色の変更も容易である。写真-2の(e)に同時に景観舗装材料や色の変更を行った例を示す。

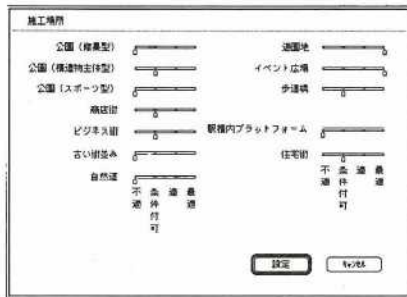
なお、これらのCG機能は、既往の画像処理ソフトウェアのPhotoshop¹⁴⁾とStudio32¹⁵⁾を用いた。

c) 景観評価機能

作成された景観パース図に対して、景観評価をファジ理論を用いて行う機能を開発した。景観舗装の評価は、色彩調和やイメージなどから評価されるものである。そのため、これらの各評価項目は、一般的に定性的な表現によるものが多い²⁾。本機能の特徴は、各評価項目に対する判定が、評価者の主観に依存している各個人のばらつき(あいまいさ)を考慮して景観評価を行う手法を開発するものである。



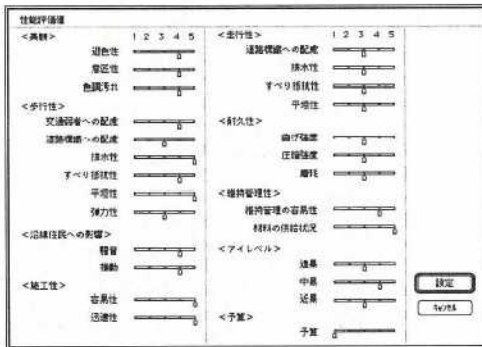
(a) データベース機能のメイン入力画面



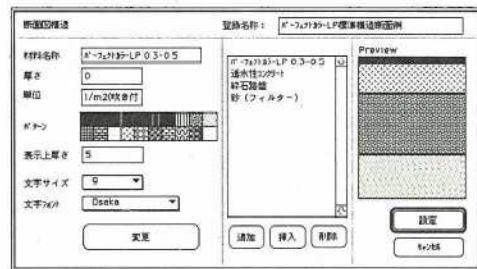
(b) 施工場所の適合性に関する入力画面



(c) 舗装材料のイメージに関する入力画面



(d) 舗装材料の性能に関する入力画面



(d) 舗装材料の標準舗装構成の入力画面

写真-1 データベース機能の入力画面

3. 評価プロセス

(1) 景観評価の分類項目

景観評価項目は下記の5項目とした⁹⁾。

- ① 色彩調和
- ② 周囲景観との調和
- ③ 景観舗装材料の施工場所への適合性
- ④ 景観舗装材料の性能
- ⑤ 景観舗装材料のイメージ

各評価項目の評価レベル L を表-1に示す。本評価では、各評価項目の評価レベルをI~Vの5段階に区別した。写真-3は、本景観評価機能で評価を行うための入力画面を示している。なお、写真-3の(a)は、評価し

たい景観舗装材料(景観バース作成の時に使用した舗装材料など)をデータベースから選択した後に表示されるメイン入力画面である。

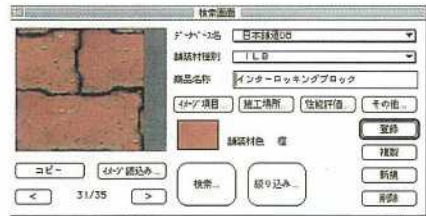
①の色彩調和に関しては、施工場所の主景観の色と景観舗装材料の色の調和を評価するものである。17~18世紀頃から、調和に関する配色の形式が経験的に示されており極く近いか対照的な色どうしで調和が生じるとされている¹⁰⁾。筆者らは色彩調和の評価基準として、下記に示す3つの調和のパターンで行った¹⁰⁾。

- (a) 同系(色相・トーン)の調和
- (b) 類似(色相・トーン)の調和
- (c) 対照(色相・トーン)の調和

写真-3の(a)に、設定された主景観の色と舗装材料



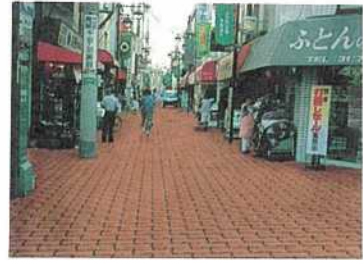
(a) 施工前の写真画像



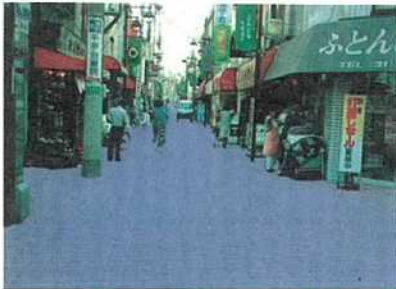
(b) データベースで検索された出力画面



(c) ベースの作成



(d) 施工写真にはめ込んだ画像



(e) 色や舗装材を変更した写真画像

写真-2 景観ベース図作成の流れ

の色を示している。この設定された色を図-2に示すように明度を3段階、彩度を8段階、そして色相を円座標で分類して色彩調和の評価を行った。評価レベルLは、図-2に示した判定基準を基に表-1に示すように決定される。

②の周辺環境との調和に関しては、写真-3の(b)に示すようにユーザに10個の質問を行い5段階で評価するように設定した。そして評価レベルLは、ユーザから得られた点数の総和を基に表-1に示すように決定される。

③景観舗装材料の施工場所への適合性、④景観舗装材料の性能、⑤景観舗装材料のイメージに関しては、データベースに構築された属性データの情報を基に、各項目の評価レベルLを決定する。

③の景観舗装材料の施工場所への適合性に関しては、評価したい舗装材料の属性データを基に、評価レベルLを表-1に示すように決定する。例えば、今回は商店街を対象とした景観舗装デザインである。そして評価したい舗装材料の属性データである「施工場所への適合性」の中で商店街の適合性が「最適」と設定されていれば評

表-1 評価項目と評価レベル

評価レベル L	色彩調和 X _{1L}	周囲景観との調和 X _{2L}	舗装材料の施工場所への適合性 X _{3L}	舗装材料の性能評価 X _{4L}	舗装材料のイメージ評価 X ₅
V	色彩調和に適合している (明度と彩度、および色相が調和している位置にある)	地域個性の表現・周辺環境との調和を充分に考慮している (得点の総和が40以上50以下である)	最適な舗装材が選定されている (属性データで「最適」が設定されている)	性能評価を十分に満足している (評価得点Aが85以上100以下である)	期待される景観イメージ(ニーズ)を十分に満足している (評価得点Aが85以上100以下である)
IV	色彩調和に近い形で適合している (明度と彩度、または色相の一つが調和している位置にある)	地域個性の表現・周辺環境との調和を考慮している (得点の総和が30以上40未満である)	適用可能な舗装材が選定されている (属性データで「適」が設定されている)	性能評価を満足している (評価得点Aが65以上85未満である)	期待される景観イメージ(ニーズ)を満足している (評価得点Aが65以上85未満である)
III	色彩調和に適合していない (明度と彩度、および色相が調和していない位置にある)	地域個性の表現・周辺環境を考慮している点が見られない (得点の総和が10以上30未満である)	条件付きで適用可能な舗装材が選定されている (属性データで「条件付き可」が設定されている)	性能評価をやや満足している (評価得点Aが45以上65未満である)	期待される景観イメージ(ニーズ)をやや満足している (評価得点Aが45以上65未満である)
II			不適当な舗装材が選定されている (属性データで「不適」が設定されている)	性能評価を満足していない点が多い (評価得点Aが30以上45未満である)	景観イメージを満足していない点が多い (評価得点Aが30以上45未満である)
I				性能評価を満足していない (評価得点Aが20以上30未満である)	景観イメージを満足していない (評価得点Aが20以上30未満である)

注意：(太字)内は、ユーザ入力によって決定される評価判定基準

評価レベルはVと決定される。

④の景観舗装材料の性能に関しては、評価したい舗装材料の属性データを基に、評価レベルLを式(1)を用いて表-1のように決定する。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^p (a_i)}{5(p)} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、A：評価得点、

a：選択された属性データの得点
(a=1,2,3,4,5),

p：ユーザがニーズとして選択した項目数

⑤景観舗装材料のイメージに関しては、同様に評価したい舗装材料の属性データを基に、評価レベルLは式(1)を用いて表-1に示すように決定する。なお、この景観舗装材料のイメージに関しては、図-3に示すような属性データの得点とした。すなわち、属性データで図-3の(a)のように設定されていた場合、景観評価の入力で「明るい」を選択すれば得点は4点になり、その反対に「暗い」を選択すれば2点となる。

これらの各評価項目の評価判定基準は、定性的に表現されるものである。そのため、評価区分の境界は明確ではない。例えば、「舗装材料の性能」の評価項目に関して、評価レベルIVの「性能を満足している」と評価レベルIIIの「性能をやや満足している」の境界の判断は、各専門家の主観的な経験と感覚に大きく依存しているため、明確ではない。このあいまいさを考慮するためにファジィ集合として表現することが一つの工学的な手法として考えられる。

本評価機能では、評価判定区分を区間 [0.0~4.0] の8分割とし、式(2)に示す全体集合とした。

$$C_N = \{0.0, 0.5, 1.0, \dots, 3.5, 4.0\} (N=0 \sim 8) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、全体集合C_Nの要素は、景観評価レベルL(I~V)のレベルを意味する。以降、全体評価レベルと呼称する)を示す指標である。このC_Nの値が高い値を与えた場合は、景観評価が優れており、反対に低い値を与えた場合は、景観評価が劣っていることを意味する。表-2に全体評価レベルの評価判定区分を示す。なお、本評

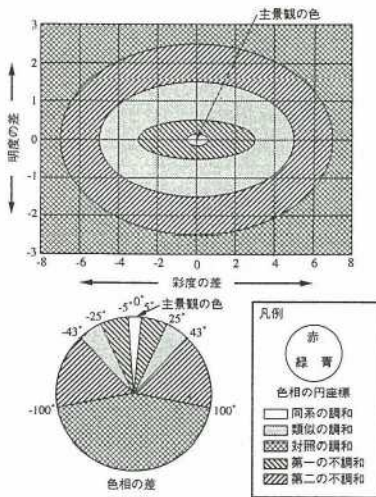
(a) 景観評価のメイン入力画面

(b) 周辺景観との調和に関する景観評価の入力画面

(c) 舗装材の性能に関する景観評価の入力画面

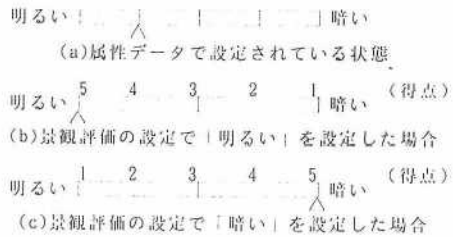
(d) 舗装材のイメージに関する入力画面

写真—3 景観評価の入力画面



図—2 色彩調和の判定基準

値においては、表—1 の評価判定区分をそのままファジ集合として変換できるものと仮定している。ここで、各評価項目における評価レベル X_{iL} ごとの帰属度関数を $\mu_{X_{iL}}(C_N)$ と表す。各評価項目の帰属度関数 $\mu_{X_{iL}}(C_N)$ を図—4 (a) ~ (e) に示し、全体評価レベルの帰属度関数 $\mu_{Z_L}(C_N)$ を図—4 (f) に示す。なお、帰属度関数は、技術者らが主観的に設定できるものであり、この帰属度関数の設定の違いにより、評価判定区分の選択に関する



図—3 イメージ評価の属性データの得点

あいまいさを定量的に反映することが可能である。

(2) 評価項目の重要度の設定

景観評価において各評価項目には相関があり、また各評価項目の重要度は異なっていると考えられる。そこで、各評価項目に対して $[0, 1]$ 間で重みを与える重要度係数 W_i を設定した。この重要度係数の値が高いほど、その評価項目は重要であり、その反対に重要度係数の値が低いほど、その評価項目は重要でないことを意味する。これらの値は、各個人の主観的な判断により設定されるものである。ここでは、筆者らの経験的な判断から表—3 に示すような値を設定した。

(3) 全体評価レベルのファジ期待値の評価

a) 全体評価レベルのファジ集合

各評価項目の判定結果から全体評価レベルの期待値を求める手法を説明する。一般に、この決定は各個人の主観により設定されるもので、その最終の全体評価レベル

表-2 景観評価 (全体評価) レベルLの内容

V	IV	III	II	I
5項目全てを考慮した舗装材が選定されており全く問題はない	若干問題があるが舗装材の選定は、良好とみなされる	問題は多いが舗装材の選定は、変更するまでには至らない	舗装材の選定に問題があり若干の修正や変更を必要とする	舗装材の選定に問題があり多くの修正や変更を必要とする

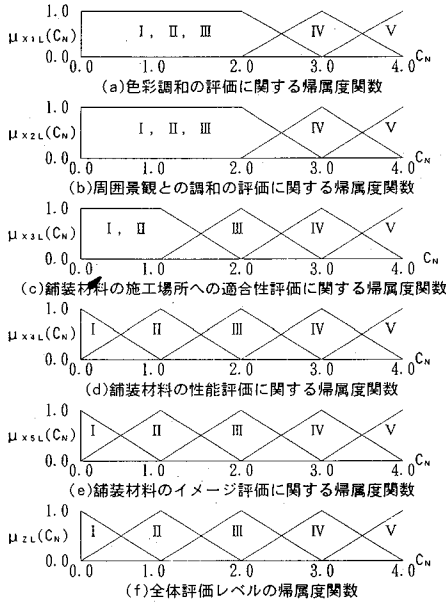


図-4 設定された帰属度関数

表-3 各評価項目における重要度係数

評価項目 X_{iL}	X_{1L}	X_{2L}	X_{3L}	X_{4L}	X_{5L}
重要度係数 W_i	1.0	0.5	0.8	0.8	1.0

の判定に対する思考過程を説明することは難しい。本景観評価機能では、この過程を明確に表現するため、ファジ理論を用いて全体評価レベルのファジ期待値を求める。

各評価項目の判定結果と重要度係数を用いることにより画像処理された景観パースなどに対してのファジ集合を求める。すなわち、対象とする景観パースなどの景観評価 (全体評価) レベルの程度を表す $\mu_R(C_N)$ (以降、対象とする景観の全体評価レベルと称する) は、各評価項目で得られた評価レベルLの帰属度関数 $\mu_{X_{iL}}(C_N)$ とその重要度係数 W_i を用いて求める。対象とする景観の全体評価レベル $\mu_R(C_N)$ は式(3)のように定義した。

$$\mu_R(C_N) = \sum_{i=0}^8 W_i \cdot \mu_{X_i}(C_N) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $\mu_R(C_N)$: 対象とする景観の全体評価レベルの帰属度関数

W_i : 評価項目 i における重要度係数、

$\mu_{X_{iL}}(C_N)$: 評価項目 i における評価レベルLの帰属度関数

例えば、 X_{1L} : 色彩調和 ($L=III$)、 X_{2L} : 周りとの景観との調和 ($L=IV$)、 X_{3L} : 施工場所 ($L=III$)、 X_{4L} : 舗装材の性能 ($L=IV$)、 X_{5L} : 舗装材のイメージ ($L=III$) と判断された場合の X_{iL} の各帰属度関数 $\mu_{X_{iL}}(C_N)$ と、その結果から得られた対象とする景観の全体評価レベル $\mu_R(C_N)$ を図-5、及び表-4に示す。

b) ファジ測度

ファジ集合は、その対象とする意味のあいまいさを表現しているのに対して、ファジ測度は判定結果のあいまいさを表現するものである^{17),18)}。本システムの景観評価機能では、 λ ファジ測度を評価尺度として用いる。 λ ファジ測度は λ を係数として式(4)で表現される^{17),18)}。

$$\begin{cases} g_i(E_i) = g_i \\ g_\lambda(E_i) = g_i + g_\lambda(E_{i-1}) + \lambda \cdot g_i \cdot g_i(E_{i-1}) \quad \dots\dots\dots(4) \end{cases}$$

ここで、 $E_i = \{C_0, C_1, C_2, \dots, C_i\}$ であり、 C_N の部分集合である。

また、 g_i はファジ密度 ($0.0 < g_i < 1.0$) を意味し、式(5)で表される。

$$g_i = \alpha \cdot \mu_R(C_i) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 α は g_i を正規化するための定数であり、係数 λ を与えた後に、式(6)で求められるものである。

$$\lambda = \begin{cases} \sum_{i=1}^8 g_i & \lambda = 0.0 \\ \lambda^{-1} \left[\prod_{i=1}^8 (1 + \lambda \cdot g_i) - 1 \right] & \lambda \neq 0.0 \quad \dots\dots\dots(6) \end{cases}$$

式(6)は λ と g_i の制約式であり、 λ を係数として E_i の重複する度合いを示す尺度である。すなわち、 λ が0より大きい場合は、優加法的となり評価レベルが高いものを重視する結果を与える。その反対に λ が0より小さい場合は、劣加法的となり評価レベルが低いものを重視する結果を与える。また、 λ の値が0の場合は、単に加法的となり λ ファジ測度と確率測度は一致する値を与える^{17),18)}。

前記の例では λ の値が0の場合は、 α は0.149の値となる。そして、 g_i の値は、表-5に示す通りである。

c) ファジ積分による全体評価レベルの評価

景観評価は、各評価区分の帰属度関数を被積分関数とするファジ積分によって計算する。つまり、測度が与えられると積分概念が得られる。そして、ファジ期待値というのは、ファジ測度によるファジ積分であ

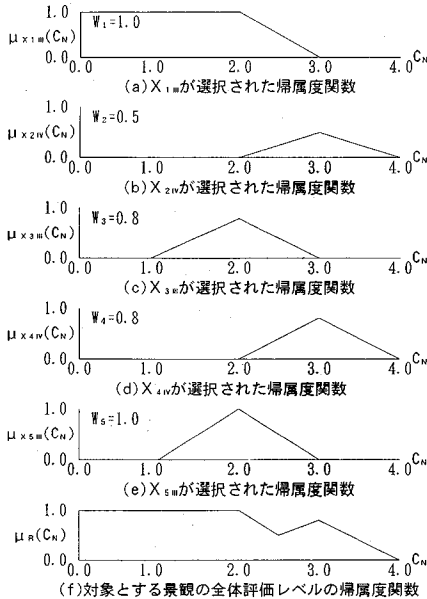


図-5 帰属度関数の例

表-4 各 C_N における $\mu_R(C_N)$ の値

C_N	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$\mu_R(C_N)$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.8	0.4	0.0

る^{17),18)}。 $g_\lambda(E_i)$ は式(4)から $\mu_R(C_N)$ によって求められる。ファジ期待値の $F(L)$ は、全体評価レベルの帰属度関数 $\mu_{zL}(C_N)$ を $g_\lambda(E_i)$ で積分することにより得られる。したがって、各全体評価レベル L ごとのファジ期待値 $F(L)$ は、式(7)で示される^{17),18)}。

$$F(L) = \int_0^1 \mu_{zL}(C_N) \cdot g_\lambda(E_i) \cdot dC_N$$

$$= \bigvee_{i=0}^8 [(\bigwedge_{n=0}^i \mu_{zL}(C_n)) \wedge g_\lambda(E_i)] \dots \dots \dots (7)$$

式(7)で、 $\mu_{zL}(C_N)$ の順番を $\mu_{zL}(C_0) > \mu_{zL}(C_1) > \mu_{zL}(C_2) > \dots > \mu_{zL}(C_8)$ となるように並び換えを行う。前記の例で各レベル毎に並べ換えを行った値は、表-6に示す通りである。そして、 $C_N^{(L)} = \{C_0^{(L)}, C_1^{(L)}, C_2^{(L)}, \dots, C_8^{(L)}\}$ になるようにすると式(7)は式(8)のように変換できる。

$$F(L) = \bigvee_{i=1}^8 [\mu_{zL}(C_i^{(L)}) \wedge g_\lambda(E_i^{(L)})] \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 $E_i^{(L)} = \{C_0^{(L)}, C_1^{(L)}, C_2^{(L)}, \dots, C_i^{(L)}\}$ も $\mu_{zL}(C_N)$ の大きい順序に各評価レベル L ごとに並び換えを行ったものである。

前記の例で、各レベルごとに $C_N^{(L)}$ の並べ換えを行った $E_i^{(L)}$ の値は、表-6に示す通りである。そして、式(4)を用いて計算された、各レベルごとの $g_\lambda(E_i)$ の値は、表-6に示す通りである。

なお、表-6、及び式(8)から求めた $F(L)$ は、表

表-5 各 C_N における g_λ の値

C_N	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
g_λ	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.075	0.119	0.060	0.000

表-6 各レベル毎の $\mu_{zL}(C_N)$, $E_i^{(L)}$, $g_\lambda(E_i^{(L)})$ の値

レベル I	$\mu_{zL}(C_N)$	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$E_i^{(L)}$	0.0	0.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	$g_\lambda(E_i^{(L)})$	0.149	0.299	0.299	0.358	0.478	0.552	0.701	0.851	1.0
レベル II	$\mu_{zL}(C_N)$	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$E_i^{(L)}$	1.0	1.5	0.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	0.0
	$g_\lambda(E_i^{(L)})$	0.149	0.298	0.448	0.448	0.507	0.627	0.701	0.851	1.0
レベル III	$\mu_{zL}(C_N)$	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$E_i^{(L)}$	2.0	2.5	1.5	4.0	3.5	3.0	1.0	0.5	0.0
	$g_\lambda(E_i^{(L)})$	0.149	0.224	0.373	0.373	0.433	0.552	0.701	0.851	1.0
レベル IV	$\mu_{zL}(C_N)$	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$E_i^{(L)}$	3.0	3.5	2.5	4.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0
	$g_\lambda(E_i^{(L)})$	0.119	0.179	0.254	0.254	0.403	0.552	0.701	0.851	1.0
レベル V	$\mu_{zL}(C_N)$	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$E_i^{(L)}$	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0
	$g_\lambda(E_i^{(L)})$	0.000	0.060	0.179	0.254	0.403	0.552	0.701	0.851	1.0

表-7 $F(L)$ の値

レベル	I	II	III	IV	V
$F(L)$	0.299	0.448	0.373	0.254	0.060
$F(L)(\%)$	20.8	31.3	26.0	17.7	4.2

-7に示す通りである。

ファジ理論による評価結果は各評価レベルの期待値の分布として与えられるため、情報量の多い解となる。 λ の値が低い場合、全体的にファジ期待値は高い値を与える傾向にある。その反対に λ の値が高い場合は、ファジ期待値は低い値を与える。これは、 λ の値が高くなると評価レベルを明確に示し、その反対に λ の値が小さい場合は、評価レベルをよりあいまいにする傾向にある^{17),18)}。

d) 対象とする景観の全体評価レベルの決定

得られた各全体評価レベル L ごとのファジ期待値 $F(L)$ から、対象とする景観の全体評価レベル D_L を決定する。本景観評価機能では、非ファジ化の方法として、式(8)に示す各ファジ期待値の重心を求めることにより対象とする景観の全体評価レベル D_L を決定した。つまり、重心を求めることにより、離散量である全体評価レベルを連続量として計算することが可能となる。0.0~1.0の時は評価レベルI、1.0~2.0の時は評価レベルII、2.0~3.0の時は評価レベルIII、3.0~4.0の時は評価レベルIV、4.0~5.0の時はVと設定し、求められた各ファジ期待値をその中央値に割り当てた。

$$D_L = \sum_{L=1}^5 [F(L) \cdot (L-0.5)] / \sum_{L=1}^5 F(L) \dots \dots \dots (8)$$

前記の例では、表-7、及び式(8)から対象とする景観の全体評価レベル D_L は 2.013 の値を与える。

(4) 景観評価機能の考察

写真-4にファジ理論で評価された結果の出力画面を示している。写真-4から、作成された景観パースは、周囲景観との調和と舗装材の性能でレベルIVを与えているが、他の各評価項目は、レベルVを与えている。式(7)から得られたファジ積分による全体評価レベル

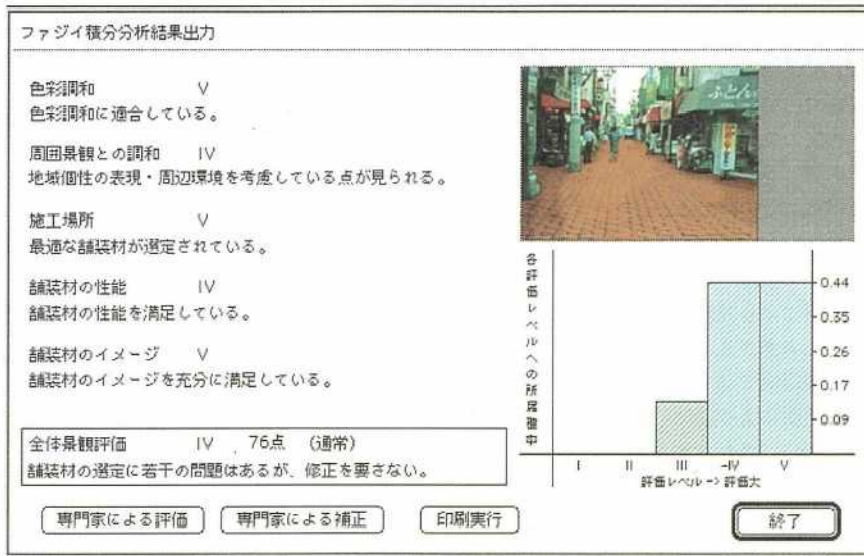


写真-4 ファジィ理論で評価された景観評価の出力画像 (イメージ)

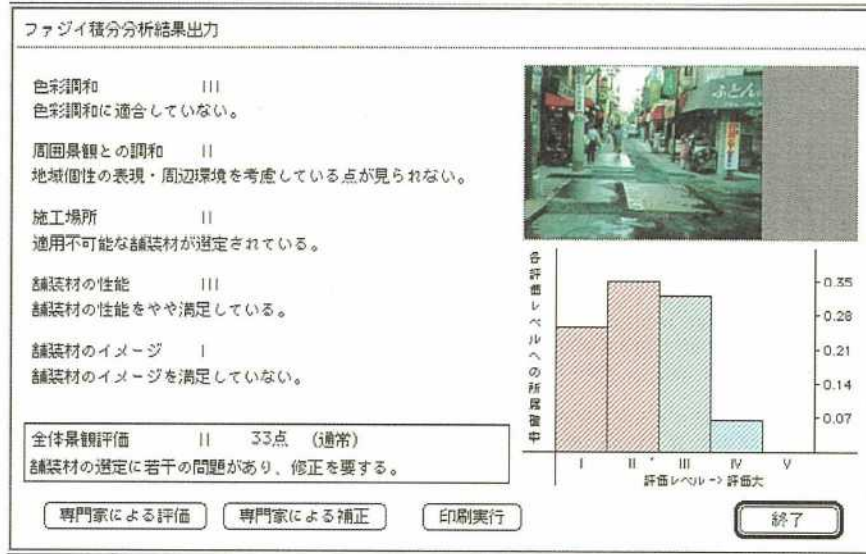


写真-5 ファジィ理論で評価された景観評価の出力画像 (現状)

Lのファジィ期待値は、12%がレベルⅢに、44%がレベルⅣとⅤに位置する値を示している。そして、全体評価レベルでは、式(8)から、3.8の値($\lambda=0$)を与えレベルⅣに位置している。出力画面上では、対象とする景観の全体評価レベルを100満点で換算した値($D_i \times 20$)で示すようになっており、ここでは76点を与える。

一方、現在の舗装状態で景観評価を行った出力画面を写真-5に示す。写真-5では、各評価項目に対して低いレベルを与えており、対象とする景観の全体評価の評価レベルもレベルⅡ(33点)と低いレベルを与えている。したがって、この景観舗装材料を用いた路面改修は、景観度の向上といった点で満足できる(全体評価値は33

点~76点)設計であると判断できる。

このように、全体評価レベルを確定値のみではなく、全体評価レベルの期待値の分布によって示すことから評価に関するばらつきを考慮することが可能である。

結論

設計者に対して以下のことを全面支援する景観舗装デザイン支援システムの開発を行った。

(1) 景観舗装に対して、専門知識のないユーザでも、データベースに構築された属性データから専門家の知識を共有することにより、施工場所や利用者のニーズを満足する景観舗装材料を提示することが可能である。

(2) 景観パース図を作成することにより、設計段階での打ち合わせの時に生じる認識の差を軽減することが可能となる。また、CGで景観パース図を作成することから、景観舗装材料や、その色の変更が容易である。そのため、景観パース図の作成に要する時間を大きく軽減することが可能である。

(3) 景観評価機能では、1)のデータベース機能と同様に専門家の知識の共有が可能である。また、景観評価にファジィ理論を用いているため、定量的な決定論ではなく、主観的な決定論により評価される。そのため、評価に関するばらつきを考慮することが可能となる。

しかしながら、現段階ではファジィ形状や重要度は、筆者らの経験的な判断により設定したものであり必ずしも正解値とはいえない。また、本システムは、自然石、ブロックなどの敷設パターンのデザインに対して、目地パターンのイメージまでを含めた評価を行うことは不可能である。今後は、さらに景観評価に関するプロセスの調査を行い、その結果から逆解析などを行うことにより、ファジィ形状や重要度の設定に関する問題を解決していく方針である¹⁹⁾。

謝辞

システム設計に関しては、(株)構造計画研究所創造工学研究室の服部正太氏、猿渡青児氏には議論に加わって頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土橋正彦・榊原和彦・為国かおる：コンピュータグラフィックスを利用した景観手法に関する研究，土木学会第46回年次学術講演会，IV-230，pp. 470～471，1991年9月。
- 2) 武井幸久：街路景観の評価とイメージ・スケール，土木学会第47回年次学術講演会，IV-53，pp. 150～151，1992年9月。
- 3) 白石成人・古田均・橋本光行：プロダクションシステムを用いた構造物の健全度評価，第7回設計における信頼性工学シンポジウム，日本材料学会，pp. 164～169，1985. 12.
- 4) 白石成人・古田均・池島賢治：信頼性解析へのファジィ理論の適用に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，

- 第325号，pp. 1～10，1982. 9.
- 5) 清水則一・桜井春輔：ファジィ理論を用いた岩盤分類の構成手法に関する研究，土木学会論文報告集，第307号，III-5，pp. 225～232，1986. 6.
- 6) 松島学・関博・松井邦人・梅原健二：ファジィ理論に基づいた海岸施設の劣化診断，土木学会論文集，第433号，V-15，pp. 111～118，1991. 1.
- 7) 姫野賢治・菅原照雄・八谷好高：Fuzzy数量化理論Ⅱ類を用いた舗装の路面評価に関する研究，土木学会第45回年次学術講演会，V-9，pp. 44～45，1990年9月。
- 8) 姫野賢治・川村和幸・相馬幸六：主観を取り入れた道路舗装の路面評価に関する研究，土木学会第46回年次学術講演会，V-11，pp. 38～39，1991年9月。
- 9) 景観舗装ハンドブック(案)，景観舗装材料に関する検討委員会，1992年6月。
- 10) 日本建材産業協会：景観材料の色彩評価の検討(平成3年度景観材料色彩評価検討委員会報告)，1992年3月。
- 11) インターロッキングブロック協会，インターロッキングブロック舗装研究委員会：インターロッキングブロック舗装設計施工要領，1987年10月。
- 12) (財)土木研究センター，インターロッキングブロック協会：インターロッキングブロック舗装設計施工要領(車道編)，1990年10月。
- 13) 建設大臣官庁官庁宮繕部監修：構内舗装設計標準，(社)宮繕協会，1989年。
- 14) "Photoshop User's Guide": Adobe System Inc., 1993.
- 15) "Studio32 User's Guide": Electronic Arts, 1992.
- 16) 日本色彩研究所：新基本色表シリーズNo.12色彩調和，日本色研事業株式会社，1987.
- 17) 菅野道夫：Fuzzy測度と積分，計測自動制御学会論文集，第8巻，第2号，pp. 218～226，1972.
- 18) 菅野道夫：Fuzzy測度の構成とFuzzy積分によるパターンの類似度評価，自動計測制御学会論文集，第9巻，第3号，pp. 361～368，1984.
- 19) 安田登・近田康夫・松島学・木下貞二：ファジィ理論に基づく緑化されたコンクリート構造物の景観評価の逆解析，第3回システム最適化に関するシンポジウム，土木学会AL技術の構造システム最適化への応用に関する研究小委員会，1993年12月。
- 20) 鈴木敏：景観舗装の知識，博報堂出版，1992年6月。
- 21) 田中英雄：ファジィ理論と応用，ファジィ測度に基づくファジィモデルとその応用，数理科学，No. 284，pp. 19～25，1987. 2.
- 22) 田崎栄一郎：ファジィ・エキスパートシステム，数理科学，No.284，pp. 46～54，1987. 2.
- 23) "Computer-Aided Design and Drafting Systems"，NCHRP Synthesis of Highway Practice 161，TRB，1990. Aug.
- 24) 菅野道夫：ファジィ理論の展開—科学における主観性の回復—，サイエンス社，1991年2月。

(1993.10.26 受付)

DEVELOPMENT OF COMPUTER ASSISTED LANDSCAPE PAVEMENT DESIGN SYSTEM BASED ON FUZZY SET THEORY

Naoki MIZUNO, Manabu MATSUSHIMA and Masaru MIZOBUCHI

Today's pavement design requires a consideration of aesthetics which brings about attractiveness and comforts through harmonizing with the environment that surrounds pavement. Viewing such social request, this paper aims the development of design supporting system on which engineers can evolve their design ideas. The system consists of three subsystems; 1) construction of pavement materials data base, 2) computer graphics to demonstrate their designs, and 3) a rating system to evaluate designs. Fuzzy Set theory is utilized for a synthetic evaluation of design candidates.