

居住環境整備計画支援システムの開発と利用

A Computer System for Evaluating the Quality of Residential Environment

飯 網林**・中村英夫***・柴崎亮介***

Yan Wanglin, Hideo Nakamura and Ryosuke Shibasaki

In this paper the evaluation module of a computer system for residential environment planning is discussed. The authors develop residential environment indicators with a hierarchical structure and represent them with fuzzy rules. These rules are integrated by the Mixed Integration Method which is based on the extension principle of fuzzy sets. An example of application shows that the computer system is useful to indicate the environmental quality in the consideration of a variety of individual preferences.

1 はじめに

近年、国民の意識は単なる経済的豊かさの追求から生活の質の向上に向けられ、身近な生活の場での街作りに対する関心が高まってきている。行政側もこうした社会的ニーズを切実に捉えて、市街地再開発事業や土地区画整理事業といったこれまで個別に行われてきた整備手法をより総合的かつ計画的に組合せ、居住環境整備プログラムや市街地整備計画を策定するようになっていく。計画の策定にあたっては環境の現状をより客観的に把握することはきわめて重要であることから、多くの自治体が都市情報システムを導入し、市街地環境情報の総合的管理と計画策定の効率化を図ろうとしている。しかし、膨大な費用と労力をかけて

収集された情報は管理手法の不備や適切な利用技術の不足のため必ずしも十分には利用されていない。一方、地理情報システムは土地や空間をキーとして情報を統合化し、総合的・多面的な利用を容易にする有効な道具として期待されている。そこで本研究は地理情報システムをベースとした居住環境整備計画支援システムの開発を目的とする。2章で居住環境整備計画支援システムの全体像とその開発にあたる課題を示し、3章と4章でそれぞれ本論文の中心内容である居住環境指標の体系化と知識ベースに基づいた総合化の手法について述べる。最後に適用例をあげてシステムの有効性を示す。

2 居住環境整備計画と支援システムのあり方

1) 居住環境整備計画の策定における問題点

居住環境整備計画は「人々の様々な暮らしの場を個人の生活及びコミュニティの場として安全、快適でかつ魅力に富むものにする」¹⁾を目的と

* 学生会員 東京大学工学部土木工学科
** 正会員 東京大学工学部土木工学科
*** 正会員 東京大学工学部土木工学科
(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

している。計画の実現方策としては事業、誘導及び規制があげられる。個々の施策はその性格や適用基準が異なり、実施スケールも様々である。こうした多様な施策を組み合わせ、限られた人的または財的資源のもとで多くの環境問題を効果的に改善して行くためには、大局的視点から各々の整備課題の重要性、改善効果の大きさ、整備手法の実施の可能性等を評価・検討する必要がある。

計画の策定における第1の問題点は情報の収集・整理である。環境問題を客観的にとらえ、合理的整備プログラムを作成するためには地域の現況等の空間的情報、用途指定等の政策的情報、住民の街作り意識等の広範な情報が不可欠である。個別の情報システムの整備が比較的に進んでいるにもかかわらず、必要な情報がなかなか手に入らない、集計単位などが不整合で利用ににくいといった問題が計画者にとって依然として頭の痛い問題となっている。

第2の問題は評価基準である。居住環境の善し悪しが生活者の価値判断に強く左右されることは言うまでもないが、特に経済的・文化的豊かさの結果、居住環境の良さに対する見方はきわめて多様となっており、住環境や計画案の評価に共通した基準を見いだすことは容易ではない。

こうした情報の不備、評価基準の不在は必然的に計画策定にあたって評価者・計画者が自分の経験や主観的判断に頼りすぎる結果となり、整備の必要性や整備効果の大きさに必ずしも説得力がなく、住民との合意形成を妨げる重要な要因の一つとなっている。

2) 居住環境整備計画支援システムのありかた

支援システムの概念的な構成は図1のようになると考えられる。計画の策定に有効な支援を行うために各モジュールはつぎのような機能を持つ必要がある。

環境データベースは統計調査から画像や人々の直感的環境意識まで広範にわたる環境情報を土地や空間に結び付けて、統合的に管理する機能やそれらを加工する機能が必要である。評価システムは構造化された人間の環境評価知識を管理し、より合理的、総合的に居住環境の現況や計画設計案を評価できる必要がある。表示はシステムに蓄積

される様々な情報をすばやく、分かりやすく計画者や住民に提示できるだけではなく、計画者の意図を容易にシステムに伝えられなくてはならない。また整備施策は街作り政策のデータ・ベースともいえるもので、各整備手法自体の効用と適用条件を記述するだけでなく他の手法との関連も管理し、整備手法の総合的な比較を容易にすることができる必要がある。

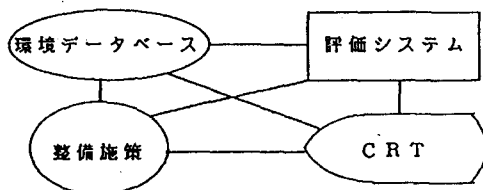


図1 支援システムの基本構成

3) 既存の支援システムの問題点と本研究の課題

地理情報システム(GIS)による都市環境情報の管理は早くからその可能性が認めれ、自治体レベルでデータ管理を目的とする情報システムの整備が急ピッチで進んでいる。その結果、地図や統計調査等の広範なデータがデジタル化されつつある^{2), 3)}。地理情報システムを居住環境の評価、特に環境カルテの作成・編集に利用している事例もいくつか見られる^{2), 4)}。しかし、数値的に表現しにくいデータ項目は依然として空白のままであるのが実情である。しかも、使用目的を十分に限定せずにデータが整備されることが多いため、データの項目や集計単位等が必ずしも居住環境整備計画の要求に合わないことも多い。

原沢、西岡ら⁵⁾は沿道環境の評価を例として取り上げ、環境評価のためのコンピュータ支援システムを開発している。ただ、システムは沿道環境の評価を対象としており、使われた評価指標も物的施設条件や騒音レベル、二酸化炭素濃度等のような断片的なものに限られている。居住環境整備計画支援システムの開発にあたって居住環境を総合的に評価する指標体系を作成し、システムに実装することがとりわけ重要な課題である。

特定の整備方針を前提として整備事業の計画・設計を支援するシステムは多く開発されている。

川口ら⁸⁾はきわめて実用的な土地画整理支援システムを開発しており、兼田・熊田⁷⁾はゲーミング・シミュレーション手法を用いて整備事業の展開における合意形成を支援するシミュレータを作成している。しかしこれらのシステムの適用は個々の事業の展開過程に限定され、市街地全体を横断的に捉え、各種の事業の必要性や事業効果を検討するのには適用できない。

本論文では整備計画の策定に最も基礎となる居住環境の総合的な評価方法を中心に論ずることとし、環境データベースの整備及び整備プログラム策定支援については機会を改めて発表させていただきたい。

3 居住環境指標の体系化

居住環境整備計画の策定にあたって最も基礎的なものは居住環境の現況を客観的かつ総合的に把握することである。客観的とは入力・出力及びその評価メカニズムが明確であることを意味し、総合的とは断片的にではなく体系的に居住環境を捉えようとするものである。

1) 居住環境指標の体系化の視点と方法

1946年アメリカ公衆衛生委員会（APHA）が初の住環境評価基準を公表して以来、数多くの居住環境指標や都市環境指標が提案されてきた。しかし、指標の選定における論理的考察が一般的に貧弱であり、関連のありそうな指標をインプット・アウトプットを問わず簡単に羅列した例も少なくない。

本研究では四つの基本的視点に基づいて居住環境指標の体系化を行う。①人間の欲求を評価軸とする。②インプット指標とアウトプット指標についてはそれぞれの位置づけを明確にし、指標体系に共存させる。③データの利用可能性にとらわれずに規範的指標体系をつくり、定量的に扱えない項目は直感的表現のまま記述するか、ユーザー自身の判断で棄却しても構わないようにする。④現在の環境水準の優劣判定のみではなく様々な環境整備施策との関係も体系化しておく。

作成される指標体系は図2のようなツリー構造となる。一番上の階層は「総合指標」であり、レベルを0とする。その下にいくつかの評価軸を設

けて、評価項目→構成要素→入力指標の順に階層化する。最下位のレベル4には環境データベースより得られる入力指標がおかれる。

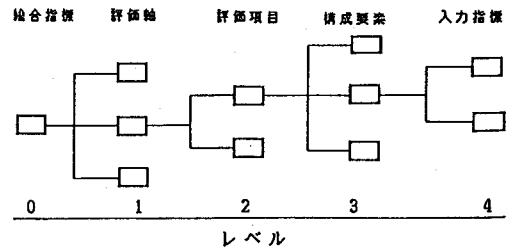


図2 居住環境指標体系のツリー構造

3) 居住環境指標体系の作成

① 評価軸の設定

評価軸は居住環境評価の基本的視点であり、我々の生活目標と密接な関係がある。青井⁹⁾は生活目標を「生命を維持し生存する」、「生計を維持し生活を享受する」、「人生を豊かにし快適に生き続ける」と簡潔に記述している。欲求の各次元が重層構造を持つと共に時間的延長の概念も含んでいると思われる。日笠ら⁹⁾はWHOが提唱した健康な住宅の四つの基準を安全性・健康性、利便性、快適性へと整理し、居住環境評価の四つの軸として提案した。この四つの軸は生活目標の重層構造とよく整合性が取れているものの、時間的持続の概念が明示的に扱えない。実際、安全で快適な居住環境を持続的、安定的に享受しようとする動きが今日街作りへの関心が高まっていることの背景にあると言っても過言ではないと思われる。そこで本研究では従来の四つの軸の上に「持続性」という新しい軸を設けて環境水準の将来への担保可能性を評価する。持続性の値が大きいほど現在の環境状態が将来にかけて維持し続けられる可能性が大きいことを意味し、逆に値が小さいほど、現在がよい環境にあっても将来担保される可能性が少なく、悪い状況にあったら改善される見込みが少ないことを意味する。

2) 評価項目

各評価軸の主な評価要素を評価項目と呼ぶ。安全性・健康性は生存という生活目標に対応するものであり、生命の存続、健康の維持に危険・障害を与えるあらゆる自然的・社会的要素が評価項目

に含まれるべきである。そこで、即座に命を失わせる恐れのある自然的、人為的災害要因を安全性の評価項目とする。そしてさししまった生命の危険は意味しないが、健康を損なう可能性のある要素を健康性の評価項目とする。

利便性は我々の生活が効率的に営めるかどうかを評価する尺度である。日常生活に欠かせない施設が身近にあるか否か、またないときには交通機関を利用して簡単にいけるかという二つの基準を用いて評価できる。ただし、ここでは娯楽・鑑賞関連施設は高次的欲求に属するものと考えて快適性に入れる。

安全性・健康性・利便性がおもに物的環境の水準を計る物差しであるとすれば、「快適性」は人々の住み心地よさを表すもの、すなわち他の軸以上総合的かつ主観的なものであると言える。豊かな自然風景、きれいな町並み及び豊かな人間関係という三つの側面から快適さが決まると考えて、自然環境・人工環境・社会環境を評価項目とする。

持続性は良好な環境の将来への担保可能性を評価するものであり。明らかにこれは人々の街作りの行動と深くかかっている。つまり、持続性を評価するためには街作りの方策の有無とその効力を評価すればよいわけであり、整備施策の分類手法と対応させ、規制・誘導・事業を評価項目とする。

表1 居住環境指標体系の評価軸と評価項目

評価軸	評価項目	適好基準
安全性	火災、交通事故、治安 崖崩れ、浸水、地震	人的災害 自然災害
健康性	大気汚染、騒音、振動 水質汚染、悪臭、日照	公害
利便性	交通施設 生活環境施設	施設の利用可能性
快適性	自然環境、人工環境、 社会環境	住み心地のよさ
持続性	規制力、誘導力、事業力	街作り方策

3) 入力指標

表1に示された評価項目は評価対象の内容に応じて分解できる。安全性・健康性の評価項目の対象は自然的・社会的現象である。また、利便性は生活関連施設（機能）の利用可能性が対象となり、持続性は環境を創出・保全するための努力が対象となる。そして、快適性は自然・人工・社会環境

の三要素で構成されている。これらの評価対象については以下に述べるような考察を行い入力指標を決定した。

①安全性・健康性

自然的・社会的現象には発生→拡散→対策という段階があり、発生には現象の強度に影響する要因、拡散にはその拡散のスピードと拡散範囲に影響を与える要因、そして対策にはその実施可能性に影響する要因がある。例えば、火災の場合に出火、延焼、避難と消火といった要素が含まれており、それぞれ出火の可能性には危険物貯蔵量と危険物への距離、延焼のスピードと範囲には木造率と棟数密度、避難の可能性には避難場所への距離、消火の可能性には消防署への距離・道路幅員・消火栓への距離等が対応しているのでこれらを入力指標とする。

②利便性

生活関連施設（機能）利用可能性については施設までの距離や交通機関の運転頻度で捉えられる。例えば交通施設は鉄道、バス、自動車からなり、鉄道に駅への距離、電車の頻度と混雑率を入力指標とすることができる。

③快適性

自然・人工・社会の各環境構成要素についてはさらに詳細な構成要素を挙げて、それらの構成要素を類別し、他の評価項目と同様な考え方で入力指標を決定した。

④持続性

規制・誘導・事業については具体的環境整備施策の実施の有無を入力指標とした。

こうした分析に基づいて作られた指標体系は図3である。

4) 居住環境指標の特徴

図3の居住環境指標体系には従来のものにない環境水準の将来への担保可能性を評価する持続性の軸が加えられている。また指標体系の実行のために整備すべき入力情報がレベル4で明確に示されている。その結果、都市計画者の操作変数としてのインプット指標が一番下位のレベルに置かれ、評価結果を表すアウトプット指標はすべてそれ以上のレベルにある。また、アウトプット指標に定量的インプット・データがない時に主観的判断を

直接入力すればよいようになっている。さらに公害苦情件数のような統計的アウトプット指標も入手可能な場合に評価結果のチェックに利用できる。

4 居住環境指標の総合化

1) 統合手法の類別

数多くの個別指標から地域環境の全体的イメージを理解するには容易なことではない。一つの総合的指標で簡潔に表したいときに

$$(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow E \qquad \dots(1)$$

により統合を行う。ただし、Eは総合評価値であり、 x_i はi番目の入力指標値である。式(1)を具体化させる手法はおもに三つある。

①専門家や人間の直感的判断：減点法や得点法等は好例である。全て人間の主観的判断に委ねており、評価の論理や過程が完全にブラックボックスであることが問題である。

②線形加重和：式(1)を入力指標の指数化→統合関数による総合化という二つのステップに分け、

$$v_i = v_i(x_i) \qquad \dots(2)$$

$$E = w_1 v_1 + w_2 v_2 + \dots + w_n v_n \qquad \dots(3)$$

で表現する手法である。この場合に価値関数(2)の決定と統合関数(3)の重み w_i の同定が焦点となる。住民意識調査に基づいて同定された重回帰式は他の地区で適用できるとは限らないうえ、少数の社会的弱者の意見が反映されない等の点で問題となっている。

③ファジィ推論：主観的判断を直接定量的に扱う手法としてファジィ推論がある。①や②の手法で明らかにされない評価のプロセスがルールにより明確に表現され、システムのユーザーが結論を与えられるのみではなくそれに至る過程も知ることができることはファジィ推論の最も特徴的な所であろう。

居住環境の指標体系には定性的指標も取り入れる必要があることを配慮して本研究ではファジィ推論的手法を適用する。

2) ルールによる居住環境指標体系の表現

ファジィ推論を行うための第一歩は居住環境指標体系をルールにより表現することである。指標

体系の二つの異なるレベルに属する評価指標 A_i と C_j があるとする、ルールは式(4)のような形となる。

$$\text{IF } A_i \text{ is } a \text{ THEN } C_j \text{ is } c \qquad \dots(4)$$

ただし、 i, j はレベル番号で、 $i > j$ 。 a, c はそれぞれ前件部要素 A_i と後件部要素 C_j の状態を表す状態変数である。状態変数がファジィ集合を値域とする時に式(4)はファジィ・ルールとなり、メンバーシップ関数で定量的に扱うことができる。居住環境指標体系では一本のリンクには少なくとも一つ以上のルールが対応する。図4は指標体系により作られたルールの例である。

IF	THEN
棟数密度が高い	延焼がしやすい
木造率が高い	延焼がしやすい

図4 ファジィ・ルールの例

3) ルール間の相互関係ー統合基準

リンク毎に作成されたルールを推論で合理的に統合するにはルール間の相互関係ー統合基準を定義しなければならない。例えば、図4に示された二つのルールにより延焼のしやすさを判定するには物理的にみて明らかに前提部が同時に成立する必要がある。これはAND関係と言えよう。一方、統合タイプが物理的条件よりも個人の価値規範に左右されることも多い。例えば、全ての自然災害から脅かされる危険がないようになるまでは安全と思わない人もいれば一個の災害要因が除かれると安全感がだいぶ増えたと思う人もいる。前者はANDであるが、後者はCOMB(combination)とでもつけるべきであろう。また豊かな自然環境に囲まれた住宅地は快適であるが、大都市では実現の可能性が小さいから町並みだけでもきれいにすれば十分快適としてよいのではないかと思う時にはOR関係となる。こうしてみると統合基準は指標体系の中できわめて流動的であり、同じ人でも立場が変わると基準も違ってくるのが考えられる。そこで、本研究では混合統合則を提案する。すなわち、指標体系全体を単一の統合基

準によるのではなく、各評価項目ごとに評価者が自分の考え方に合わせて統合の基準を定義し、それに応じたモデルにより総合化を行うことである。

統合基準の定義はルールの生成と同じく図3のツリー構造上で行われる。すなわち、レベル1（1≠最下位レベル4）にある評価指標は1-1レベルの評価指標の後件部となるので、ルールの統合タイプを評価指標1に定義しておけばよい。図3の指標体系にこうした定義の例を示している。

4）混合統合則によるファジィ推論の統合

次に統合基準に応じた演算方法を作成する。ここで、二つのファジィ・ルールの各々についてMamdani¹¹⁾法による推論を行い、図5のメンバシップ関数 $\mu_A(u)$ 、 $\mu_B(v)$ で表されるような結論（ファジィ集合A、B）を得たとする。ファジィ集合

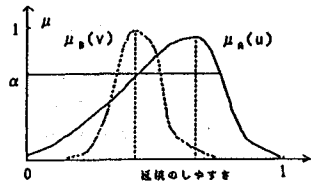


図5 二つのルールの推論結果

の拡張原理¹¹⁾によれば結論A、Bの統合結果Cは

$$C = f(A, B) = \frac{f(\mu_A(u) \wedge \mu_B(v))}{f(u, v)} \quad \dots (5)$$

となる。ただし、 $\wedge$ はmin演算を意味する。

関数 $f(u, v)$ は、すなわち統合基準と対応する統

合関数である。ANDとORには一般的にそれぞれMINとMAX演算と対応する。COMBには線形加重和がよくつかわれている。ほかにもファジィ積分¹¹⁾やアトキンソン指標等¹²⁾様々な価値基準に基づいた演算方法が提案されている。

なお、式(5)を具体的に計算するためには図5に示された凸のメンバシップ関数を最大値の左と右二つにわけ、 α レベルのカット・ライン上にあるメンバシップをそれぞれ $f(u, v)$ 変換をすればよい。その結果は図6に示す通りである。

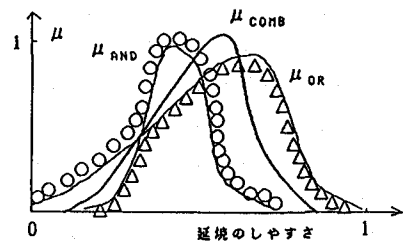


図6 混合統合則による統合

5 支援システムの利用

図3に示された居住環境指標体系をシステムに実装し、鎌倉市全体の4分の1にあたる深沢・腰越地区に適用した。該当地区の北部は大船駅に隣接し、工業立地が集中している地区であり、南部の腰越地区は古い木造戸建てが密集している地区である。評価の結果は図7(a)の通りである。全体的には計画的に開発された住宅地が比較的によい環境水準にあり、上述した工業地域、幹線道

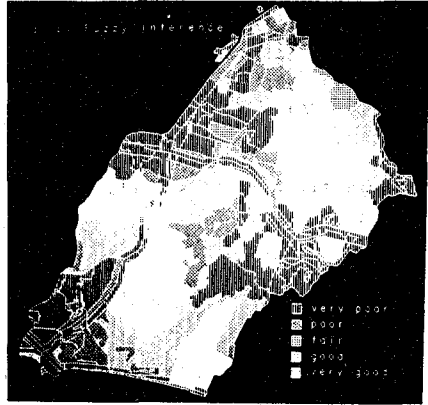


図7 システムによる居住環境の評価

路ぞい、木造密集住宅地及び東部の山間部が低い水準にあると評価された。このシステムではディスプレイに航空写真や現地写真を表示して評価結果と比較検証し、実感に合わない時には評価構造をバックトラックし、ルールの内容やそれらの統合タイプ、またはデータの信頼性をチェックすることができる。

図7(b)は従来の線形加重和による評価結果であり、(a)のファジィ推論結果と比べてみると基本的な空間分布は一致するものの、二つの結果の度数分布が違っていることがわかる(図8参照)。すなわち、線形加重和の方が混合統合則によるファジィ推論より評価が平均化される傾向が強い。言い替えれば、混合統合則によるファジィ推論の方が地域特性を抽出するにはより有効であると言える。

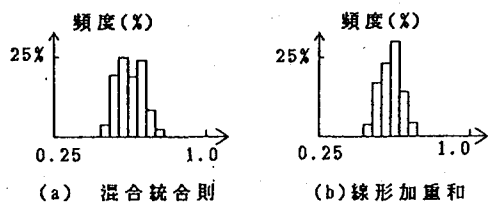


図8 居住環境総合指標の度数分布

6 結論

本論文では居住環境整備計画を念頭に評価指標を体系化し、混合統合則を提案した。

居住環境の評価は個人の選好に強く左右されるものであることは研究の冒頭で述べた。評価過程を一般的に書くと、

$$E = f(v_1, v_2, \dots, v_n) \quad \dots (6)$$

になる。ただし、Eは総合評価値であり、 v_i は線形加重和の時に価値関数の評価値となり、推論の時にはルールの推論結果となる。評価における個人選好は基本的に①個々の入力指標に対する価値関数の形状またはルールの内容、②統合関数fの類型、すなわち統合のタイプ、③COMBの場合に関数fのパラメータの大きさ、例えば線形加重和の時の重み等の三つの形態で現れる。本研究では以上のような三つの形態で試行錯誤的に個人の選好を導入できるシステムを開発し、一応信頼でき

る結果を得た。このように個人の価値観を尊重し、様々な観点からの評価、検討を行うことが居住環境整備計画に最も重要なことではないかと思われる。

論文では居住環境の評価のみ適用例として示したが、システムは整備施策の環境改善効果の評価に直接適用できるうえ、ツリー構造として評価知識を構築しておけば地価評価や固定資産評価等の多くの評価問題に適用できると考えている。

最後に本研究を進める際し神奈川県都市政策課 江原氏にはデータの利用にご協力をいただいた。また鎌倉市都市政策課の方々には折りにふれ貴重なご意見をいただいた。記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 梶 秀樹他, 居住環境管理と財政経営, 技法堂出版, 1985
- 2) 都市計画に不可欠な地図情報, 測量, 1991.2
- 3) 石黒 徹, 横浜市における都市計画情報のシステムについて, JACIC情報, 1988, Vol.3, No.2
- 4) 板橋区、図でみる“いたばし”、平成2年8月
- 5) 原沢英夫、西岡秀三、環境評価のためのコンピュータ支援システム, 環境情報科学, 10-3, 1988
- 6) 川口有一郎ら, 土地区画設計支援システムの開発, 土木学会論文集, 第425号/IV-14, 1991
- 7) 兼田敏之、熊田慎宣, 市街地整備レベル計画ゲーミング・シミュレータの製作, 日本不動産学会誌, Vol.2, No.3, 1987
- 8) 青井和夫他, 生活構造の理論, 有斐閣双書
- 9) 日笠 端ら, 生活環境条件指数化の問題点, 日本建築学会論文報告集, 第107号, 昭和39年
- 10) Mamdani, H.E.: Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. IEEE Trans. on Computer, C-26, pp. 1182~1191, 1977
- 11) 寺野寿郎, 浅居喜代治他, ファジィシステム入門, オーム社, 1990
- 12) 小林潔司, 公共システム整備のための評価指標——研究系譜と今後の課題, 土木学会論文集第425号/IV-14, 1991年1月