

# ソフトコンピューティング技術の土木計画における応用と課題\*

## Application and Prospects of Soft computing Techniques in Infrastructure Planning \*

秋山孝正\*\*

By Takamasa AKIYAMA\*\*

### 1. はじめに

人間らしいコンピュータを作成するという計算機工学での目標に基づいて提案された多数の情報処理技術は、アナロジーとして土木計画の対象問題への適用性が高く、利用されることも多い。しかしながら各技術の土木計画における意味論的検討は比較的少ない。本稿では、ソフトコンピューティングの視点から、これら関連技術を整理するとともに、特に実用的モデルへの適用性が高いと思われる方法を提案する。したがって、個別研究事例の紹介ではなく、ソフトコンピューティング分野から、土木計画問題にも利用可能性を持つ潜在的技術を明確化し、今後の研究具体化に向けての萌芽を示す目的である。このため、ソフトコンピューティング関連手法を体系的に概観するとともに、複雑系モデルとの有機的結合から、土木計画的意義の大きい課題を整理する。

### 2. ソフトコンピューティング技術

#### (1) ソフトコンピューティングの定義

人工知能や人工生命など、多数の情報処理技術が提案され土木計画での応用例も多い。しかしながら、関連技術の一意的な整理方法は存在しない。本稿では、コンピュータを利用した高度な情報処理技術を「知的情報処理」と定義する。これはソフトコンピューティングを包括する概念であるといえる。

図-1に本稿で検討する主要な要素技術を概念的に整理した。すなわち知的情報処理技術を網羅的に取り上げた。また知的情報処理の理想的分類軸として、あいまい性 (fuzziness) 【縦軸】と複雑

\*キーワード：ファジィ理論，複雑系，ソフトコンピューティング，土木計画，交通行動

\*\*正員，工博，岐阜大学工学部土木工学科

(岐阜市柳戸1-1, TEL:058-293-2443, FAX: 058-230-1528, E-mail:takamasa@cc.gifu-u.ac.jp)

系 (complexity) 【横軸】を構成している。縦軸は、「あいまい性を含む現実的な人間認知、意思決定モデル」と考えられる程度である。また横軸は、いわゆる「複雑系システムとしての適用可能性」の程度を示している。これらの技術は、本来極めて多様であり、本図で体系化されている訳ではないが、各モデルに内包される意味論的な整理が可能であると思われる。

さらに、このうち不正確さ (imprecision)、不確実性 (uncertainty) を対象とした方法論について、ソフトコンピューティング (soft computing) の概念が提唱されている<sup>1)</sup>。

もちろんソフトコンピューティング技術も、体系的な構成論が示されている訳ではない。この概念は、L. A. Zadeh がファジィ理論から派生する知的情報処理として提唱したものである。またソフトコンピューティングの基本的前提について「精密性と確実性はコストを伴う。この前提はソフトコンピューティングの指導原理を導く。すなわち扱いやすさ、頑健性および低コストを達成するた

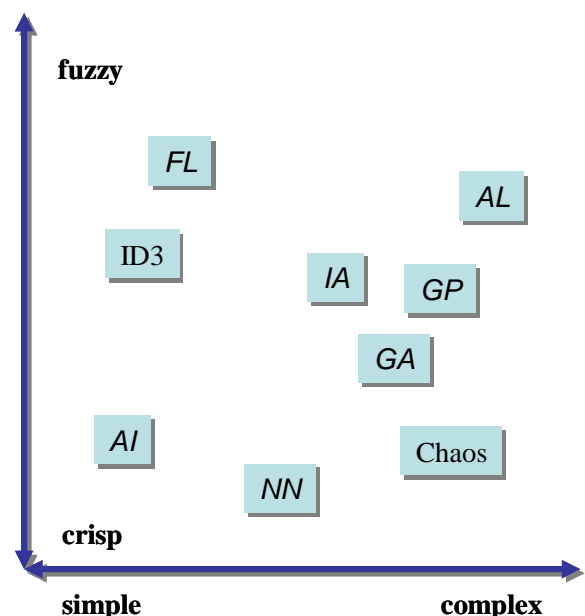


図-1 関連技術の概念的整理

めに、不精密性と不確実性に対する許容範囲を利用するということである」と述べている。このとき、Zadeh は基本的な方法として、ファジィ論理、ニューロコンピュータ、確率推論、遺伝的アルゴリズム、信頼ネットワーク、学習理論の一部、カオスシステムを挙げている。これは同分野の中では、ほぼ共通認識であるものと思われる<sup>2)</sup>。

したがって、ソフトコンピューティングはファジィ理論を基本として成立するといえる。関連する手法を融合的に利用する動向自身が、ファジィ理論の研究者によるところが大きいためである。

ソフトコンピューティングという視点で方法論を整理する意義は、これらの方法のなかに、関連する方法論的部分が多く、これらは競合的ではなく補完的に利用することが可能ということである

## (2) ソフトコンピューティングの基本技術

これまでの整理で明らかのように、ソフトコンピューティングの技術的中核と考えられる方法は、ファジィ推論 (FL)、ニューラルネットワーク (NN)、遺伝的アルゴリズム (GA) である。各技術とも、土木計画問題に適用が進んでおり、ここではソフトコンピューティングとしての中心的技術の融合利用の有効性と具体的提案を行う。

ここで、「ファジィ・ニューラルネットワーク」(fuzzy neural network) は、ファジィ推論とニューラルネットワークの融合を考える典型的なソフトコンピューティング技術である。すなわち FL の柔軟な推論形式と NN の高精度の適応性を有機的に構成したものである。具体的には、表-1 に示されるように融合性の度合いで整理できる。

【提案1】ファジィ・ニューロはモデルの多様性を維持する。特に制御問題等に適用可能である。

つぎに GA と FL の関係を整理する。単独技術としての GA は、高度な非線形性をもつパラメータ最適化と意味で広く利用される<sup>2), 3)</sup>。

しかしながら、GA の導入はファジィ理論応用面でも多くの有用性を与える。具体的には、FL に含まれない知識の構成に利用することができる。すなわち、言語変数のメンバシップ関数を同定する。ファジィ推論のルール構成 (変数、階層など) を決定する。推論ルール群を同定する。な

表 - 1 ファジィ・ニューラルネットワークの分類

- 
- (a) ニューロ & ファジィ (neuro & fuzzy)
  - (b) ニューロ / ファジィ (neuro / fuzzy)
  - (c) ニューロ-ファジィ (neuro-fuzzy)
  - (d) ファジィ-ニューロ (fuzzy-neuro)
  - (e) ニューロ=ファジィ (fuzzy by neuro)
  - (f) ファジィ=ニューロ (neuro by fuzzy)
  - (g) ニューロ的ファジィ (neuro-like fuzzy)
  - (h) ファジィ的ニューロ (fuzzy-like neuro)
  - (i) ファジィ入出力ニューロ (neuro with fuzzy input-output)
  - (j) ニューロ化ファジィ (neural fuzzy)
  - (k) ファジィ化ニューロ (fuzzified neuro)
- 

どが挙げられる<sup>3)</sup>。これらは進化論的アルゴリズム (evolutionary algorithm; EA) とファジィ推論の融合形態として整理されている。

【提案2】ファジィ推論では GA (一般的は EA) の利用により、実データに基づくモデリング、知識発見等が可能となる (ファジィ GA/ファジィ EA)。

## 3. 今後のソフトコンピューティング利用

ファジィ、ニューロ、GA を中心とするソフトコンピューティング手法は融合的な利用が可能である。つぎに関連技術のなかから、今後の応用性が期待できる問題を散見する。これらは、筆者の直感的理解を含むものであり、かならずしも提案どおり将来的成果が保障されるものではないが、関連技術としての適用可能性を提案するものである。

### 免疫アルゴリズム

免疫アルゴリズム (immune algorithm; IA) は、GA と同様に最適化問題に利用できる。免疫操作を最適解探索に有効に利用すれば、探索効率を GA より向上させることが可能である<sup>4)</sup>。ただし、本来「免疫システム」の抗体と抗原の関係性をアナロジーしたものであり、土木計画問題においても意味論的な利用が望まれる。

【提案3】免疫システムのアナロジーを、直接的に土木計画問題で規定することは難しいが、主体間のモデル構造として利用できるものと思われる。

### ファジィ数理計画

いわゆる数理計画手法は、ほぼファジィ化が進んでおり、対応するアルゴリズムも開発されている。すなわち土木計画における数理最適化を用い

た定式化は、基本的にファジィ化が可能である。

【提案4】交通量配分、各種組み合わせ最適化問題などの制約条件、目的関数などに「あいまい性」を導入し分析的意味を付加することができる。

#### ファジィ多変量解析

土木計画における調査分析の基本的技術となっているほとんどの既存の多変量解析手法は、ファジィ化されている。基本的な分野であるため、なお利用可能性のある多くの技術が残されている<sup>5)</sup>。

【提案5】ファジィ性を含んだ調査分析においては、通常の多変量解析手法に相当するファジィ化手法が対応する。これより「言語的表現」など分析結果に多様性が与えられる。

#### カオス理論

カオス理論のなかで、実用的なモデルは「埋め込み定理」を用いたアトラクタの解析である。交通量などの時系列分析に有効な方法である。特にファジィ推論と結合した「ファジィ再構成法」は、適用性が高い。この場合は、複雑系としてのカオスの理論と補完的なファジィ推論利用がうまく融合した例である。しかしながら、応用面での展開に関しては、カオス理論の本来の目的である不規則現象の解明に対応した問題設定が難しい。

#### 【提案6】

カオス理論は、NNやFLとの融合性は高い。しかしながら、土木計画問題において、短期交通量の予測など高度な不規則性を示す対象を除いては、現時点では適用性は少ないと思われる。

計算機の学習から知識獲得するための学習方法を『機械学習』(machine learning)という。具体的には、帰納学習(inductive learning)、演繹学習(deductive learning)、発見的学習(learning by discovery)、類推学習(analogy)、

強化学習(reinforcement learning)、事例に基づく学習(IBM; Instance-Based Learning)、概念形成(concept of formulation)などがある。これらは、学習方法や知識抽象化の程度によって分類される<sup>4), 6)</sup>。これらのうち、適用上の意義が大きいと思われる方法を紹介する。

#### クラシファイアシステム

遺伝的アルゴリズムを基本としたルールベースの機械学習方法を「分類子システム」(クラシファイアシステム)という。クラシファイアシステムは外部環境から得た情報に対して、適応的に行動するエージェントを与える学習システムである。したがって、適応的な推論システムの同定に有効であり、強化学習の一種と考えることができる。

また通常の推論システムをファジィ推論とした、「ファジィクラシファイアシステム」もいくつかの具体的な方法が知られている<sup>2), 3)</sup>。

【提案7】たとえば交通制御等では複雑で多様な現象に対応するため、制御装置自身が適応的に学習するモデルが必要とされる。このような適応性を意図したモデル構築に有効であると思われる。

#### 決定木手法

関連技術において、土木計画分野での適用可能なものを提案する。「機械学習」における帰納的学習方法である「ID 3」、「C4.5」はいずれも観測データより決定木(decision tree)を生成する方法である。この方法は、「大規模なデータから思いがけないパターンを発見する」データマイニング(Data mining)の方法と位置づける場合もある。また構造をファジィ化した、「ファジィ ID 3」、「ファジィ C4.5」も提案されている<sup>8)</sup>。

【提案8】決定木では意思決定構造が帰納的に導出できる。たとえば交通行動の観測結果に基づく明示的な「意思決定構造モデル」が導出できる<sup>9)</sup>。

#### 事例ベース推論

事例ベース推論(case-based reasoning; CBR)は機械学習において、解決すべき問題に類似する過去の事例(成功・失敗の事例)を直接利用して解を導くAIの方法である。抽象的知識の処理に部分的にファジィ推論を導入することも可能である。

#### 【提案9】

既存の交通調査などを「事例」と考えれば、たとえばPT調査などの分析も、類似事例の検索として処理可能である。同種の蓄積データを基本とした類推を前提とする問題には、事例ベース推論は有効に機能するものと思われる<sup>4)</sup>。

## クラスタリング

データマイニングの基本的で重要なデータ分割を行うためにクラスタリング (clustering) が利用される。従来から、多変量解析の方法としてクラスター分析があるが「データサイエンス」の視点から近年重要な技術とされる。また中間点や孤立点を表現するためファジクラスタリング (fuzzy clustering) も多数のアルゴリズムが知られている。

### 【提案 10】

土木計画問題における既存知識の整理でデータマイニングを前提として整理する場合には、クラスタリング技術が有効であると思われる。

## 4. 複雑系モデルへの導入

ここではソフトコンピューティングと複雑系モデルとの融合を検討する。複雑系が提案する「要素還元的」なアプローチは、科学における基本法則を求めようとする還元主義 (reductionism) から、現象の多様性を前提とする複雑系 (complex system) へのパラダイムシフトを示すものである。

しかしながら、従来科学論と対置した複雑系の提案する構成的手法 (constructive method) は、十分理解されないのが実情である。ここでは、ソフトコンピューティングに関連する方法を紹介する。

## 人工生命

本来、生命体のシミュレーションを目指す方法で A-Life (AL) と呼ばれる。行動モデルの面では、自律エージェントを交通主体と考え、都市内の交通流動を表現するような「人工社会」(artificial society) の利用可能性を示すものであり、社会モデル化手法としての研究が進んでいる<sup>10)</sup>。

### 【提案 11】

土木計画問題に関して仮想社会を想定して、構成的手法を用いることで、現象の理解をすすめるというアプローチを導入する。

## 遺伝的プログラミング

遺伝的プログラミング (GP: Genetic Programming) は、GA の概念を拡張して、プログラム (木構造) 全体について遺伝的に操作を繰り返す。高度な学習可能なエージェントモデルが構成される。

### 【提案 12】

たとえば、合意形成分析のため、GP などを導入した複雑系モデルの構築は有効であると思われる。人工社会モデルとして、自己組織化を検討できる。

## 5. おわりに

本稿では、ソフトコンピューティングの土木計画応用面での期待を述べた。各方法は相互に関連しながら、異なった発生経緯があり一意的に体系化はできない。また紙面の都合で詳細議論を省いた技術として、ファジ測度 (可能性・必然性)、ファジ積分と評価、マルチエージェント、進化論的コンピューティング、強化学習などがある。

これらも、極めて土木計画分野への適用性が高いと認められる方法であり、十分な検討と再整理を行いたい。人間的なソフトコンピューティングは、極めて多様な方法論の融合で構成され、今回の整理では全体構成を示すにはいたっていない。

最後にアインシュタインは、確率論的分析に関して、『神はサイコロを振らない』と述べたが、多様な技術にあっては、『人間もまたサイコロは振らない』のではないかと思われる。

## 参考文献

- 1) 坂和正敏, 馬野元秀, 大里有生編: ソフトコンピューティング用語集, 朝倉書店, 1996.
- 2) 北野宏明編: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1993.
- 3) 特集: 進化論的アルゴリズムとファジ理論, 日本ファジ学会誌, Vol.10, No.4, 1998.
- 4) 秋山孝正: 知的情報処理を利用した交通行動分析, 土木学会論文集, No.688/ -53, pp. 37-47, 2001.
- 5) 秋山孝正: ファジ理論を用いた道路交通流解析, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp. 13-28, 1993.
- 6) 廣田薫編著: 知識工学シリーズ 1 知能工学概論, 昭晃堂, 1999.
- 7) 井庭崇, 福原義久: 複雑系入門, NTT 出版, 1998.
- 8) 馬野元秀: ID 3、日本ファジ学会誌、Vol. 6、No. 3, pp. 502-504, ワンポイント講座, 1994.
- 9) Akiyama, T., Okushima, M., Knowledge Acquisition in Modal Choice Modelling with Decision Tree Algorithms, Proc. Annual Conference, JSCE, 2003 (forthcoming).
- 10) 塩沢由典: 複雑系としての経済と経済学、日本ファジ学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 21-29, 1997.