

住宅・都市整備公団 正 前田 正 人
熊谷組 正 桜井 英 裕
東京工業大学 正 森 地 茂

1. はじめに

土木計画において、考慮する対象領域の設定、システムを構成する要素の設定、時間制約・情報制約、データの変換方法の選択、満足基準の設定といった問題は「総合的判断」という形で直観的に解決される場合が多い。しかし、計画者の価値観に依存する意思決定に対しては、いわゆるシステム分析技法(確率・統計モデル、数理計画モデルなど)では限界がある。そこで本研究は、人間の直観的思考を支援するヒューリスティック・アプローチに注目し、①諸分野におけるヒューリスティック・アプローチの研究の流れを整理し、その研究のフレームを吟味する、②土木計画におけるヒューリスティック・アプローチの具体的な手法を提案し、その適用性を検討する、の2点を目的とする。

2. ヒューリスティック・アプローチの研究の流れ

ヒューリスティック (heuristic) という言葉は1950年頃から教育学および人工知能の研究の分野で盛んに使われ始めるようになった。しかし、人間の「直観」に対する関心は古くからあり、例えばアリストテレスの「観想」、パップスの「分析」と「総合」などにその萌芽が見られる。ルネッサンス後、人間の直観的思考の方法論化がいくつか試みられている。例えば、デカルトの「明証」「選択」「順序」「枚举」の4つの規則、パースの「アダクション(発想法)」などである。18世紀ごろ、ライプニッツ、ボルツァーノらは天才の直観に興味を抱く。それは、実験心理学の発展と相まって、ウェルトハイマー、アダマールらによる「創造心理学」を形成していった。

20世紀にはいり、これらの研究はオズボーンのアレン・ストーミングなどの手法に代表される「創造工学」へと展開する。一方、教育学において、ボリアやブルーナーによって、答そのものよりも、それを得るプロセスの教育を重視する「発見学習」が提唱され、ヒューリスティックという言葉が一般的に用いられるようになる。人工知能の分野でも、サイモンらによって、人間的な思考法という意味で用いられるようになり、それとともに「認知心理学」の分野で、対コンピュータとしての人間の心理の研究が進展する。1977年には、ファイゲンバウムによって、応用人工知能の研究である「知識工学」が提唱されるに至る。以上の一連の流れをまとめたのが図1である。

3. ヒューリスティック・アプローチの特徴と位置付け

以上の検討をもとに、ヒューリスティック・アプローチの特徴を問題解決プロセスの構成要素である問題、解決の過程、データ、人間、解の5つの視点から数理的なアプローチと対比してまとめ

図1 ヒューリスティック・アプローチの研究の流れ

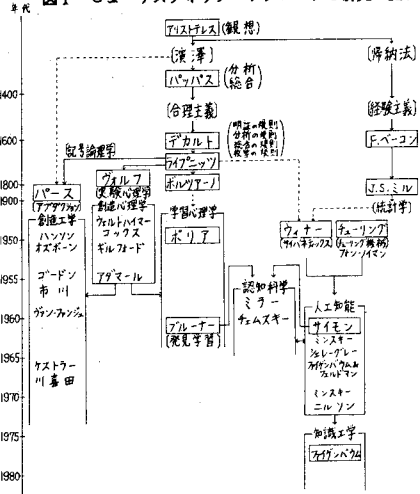


表1 ヒューリスティック・アプローチの特徴

	対比項目	ヒューリスティック・アプローチ	数理的アプローチ
問題	対象領域	不明確	明確
	構成要素の相互関係	複雑	単純
解決の過程	対象とする計画	戦略的	数論的
	対象とする問題の特色	特定の非反復的	普遍的・一般的反復的
データ	解の探索	選択的	網羅的
	解の探索量のモデル化の方法	人間の思考プロセス模範的	現象システム記述的
人間	解の求め方	試行錯誤的	系統的
	データと問題の関連	不明確	明確
解	データ相互の関連	不明確	明確
	必要なデータ領域	判明していない	判明している
人間	人間の主観的判断	含む	含まない
	専門家の必要性	あり	なし
解	支援される思考	直観的思考	客観的思考
	解法の獲得	学習的	標準的
解	解の最適性の保証	なし	あり
	得られる解	満足解・近似最適解	最適解

たのが表1である。また土木計画で多く使われているヒューリスティックな手法を、知識に関する機能¹⁾、探索の方法²⁾、満足状態判定の基準の3つの軸で位置付けたのが表2である。研究の1つの方向として有用であるにもかかわらず、従来手法の多くは本研究で提案するFuzzy-CDAのような探索の機能が十分に使われていない。

4. Fuzzy-CDAの提案

CDAは、不確実な情報下での意思決定を支援する一手法である³⁾。図2にCDAの基本的な考え方を示す。評価の幅 $V_{Bmax} - \hat{V}_B$ と、代替案の評価の中央値の差 $\Delta = V_A - V_B$ の比、すなわちFD値は、決定が逆転する可能性の高さを表わしている。FD値の大きいところで枝を拡張し、さらに詳しい検討を行ない、すべてのFD値が1以下になれば分析を終了する。CDAの問題点としては①評価の分布を離散値で扱っていること②主観確率のあいまいさを考慮できないこと③期待値の不確実性を考慮していないこと④代替案の比較に評価の不確実性を反映していないこと、が挙げられる。そこで、Fuzzy理論を導入した、より人間の思考に近いFuzzy-CDAを提案する。

CDAの問題点①②に対して、評価値および主観確率のメンバーシップ関数を与えている。③については、次式を用いて期待値の分布を求めている。⁴⁾

$$\mu_{VA}(V_A) = \max_{V=P \cdot V_1 + (1-P) \cdot V_2} [\min\{\mu_{V_1}(V_1), \mu_{V_2}(V_2), \mu_P(P)\}] \quad (1)$$

また、CDAではFD値が1)拡張条件 2)分析停止条件の2つの機能を兼ねていたが、Fuzzy-CDAではこの2つを分離して扱い④の問題に対処している。それぞれの条件は次式で表わされる。

1) 拡張条件 (CDAのFD値に対応するもの)

$$\max_A [\min\{\mu_A(A), \mu_{V_A}(\hat{V}_A + \frac{\Delta}{A})\}] \quad (2) \quad (A: \text{枝のNo. } A: \text{枝に致る経路の確率})$$

2) 停止条件 (期待値の分布を比較し、決定の精度を表わす)

$$\begin{cases} \mu_{V_B}(\hat{V}_B) & \text{if } \mu_{V_A}(\hat{V}_A) \geq \mu_{V_B}(\hat{V}_B) \\ \mu_{V_A}(\hat{V}_A) & \text{if } \mu_{V_B}(\hat{V}_A) \geq \mu_{V_A}(\hat{V}_A) \\ \mu_{V_B}(\hat{V}_B) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3) \quad (V_A, V_B \text{ は代替案 } A, B \text{ の期待値})$$

Fuzzy-CDAをコンピュータ導入可能性の検討に適用した結果の一部を図3に示す。このようなTreeによって計画者の直観的思考を明示し、論点を絞った議論をすることができる。

5. おわりに

本研究ではヒューリスティック・アプローチの中でもFuzzy-CDAという系統的な探索手法を提案した。これにより従来のチェックリスト的な知識の蓄積でなく、計画者の総合的判断により近い形で規範的に知識を蓄積でき、その有用性についても検討できた。

(参考文献) 1) Borry, Feigenbaum 編「人工知能ハンドブック」, 丸井出版, 1983
2) Nilsson 「人工知能一問題解決のシステム論」, コナ社, 1973

3) Freeling "Fuzzy Sets and Decision Analysis", Transaction on Systems, vol. 9, No. 7, 1980
4) 前田正人 「不確実情報下における意思決定プロセスに関する研究」, 土木学会第37回年次大会論文発表集, 1982

表2 ヒューリスティックな手法の位置付け

ヒューリスティック・アプローチの方法	B S	K J法	ISM	DEHATEL	FTA	CDA	Fuzzy-CDA
知識の獲得	○	○	○	○	○	○	○
知識の検索	○	○	○	○	○	○	○
形式推論			○		○		
手続き的推論			○	○		○	
類推による推論	○	○					
汎化と抽象化	○	○					
メタレベル推論	○	○					
状態空間記述探索						○	○
問題分割記述探索					○		
満足状態判定の基準						○	○

BS=ブレン・ス・シグ

FTA=Fault Tree Analysis

CDA=Crisis Decision Analysis

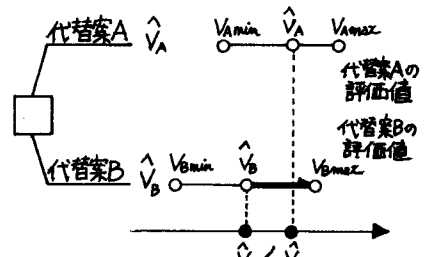


図2 CDAの基本的な考え方

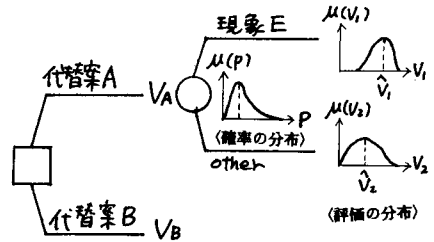


図3 Fuzzy-CDAの概要

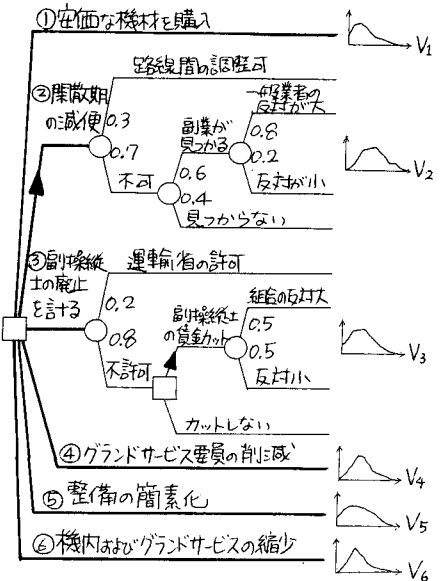


図4 Fuzzy-CDAの適用事例(コスト削減の例)