

学位論文題名

ファジィ構造モデリングにおける推移的結合問題の
特殊解及びその推移的具象化への応用に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、ファジィ構造モデリングにおける推移的結合問題の研究に関するものである。論文では、本問題の解に関する知見を述べ、推移的結合問題を含むファジィ構造モデリングにおける具象化理論を提案し、実例への適用によりその有効性を示している。推移的結合問題を含むファジィ構造モデリングは、具象化過程における一対比較数削減の効果が大きいことから、人的要因を含む大規模なシステムの構造解析において有用であると考えられる。

論文は全8章より構成されている。以下、各章ごとに概要を述べる。

第1章は序論として、研究の背景、目的について述べている。

曖昧模糊とした対象を構成要素集合とその上に定義される二項関係に注目し、構造を有向グラフ等を用いてモデリング、分類、整理する方法を構造モデリングという。社会システムなどの大規模かつ複雑な問題を分析するための有効な手段として様々な構造モデリング技法が開発されている。構造モデリング技法の代表的なものに、二値関係を用いたISM(Interpretive Structural Modeling)があり、その改良版として、FISM(Flexible ISM)が開発されている。

これらの二値関係構造モデリングの応用事例を通して、人間の判断の曖昧さを考慮したシステムの開発に対する要求が強いことが認識された。即ち、ある要素二項対が“関係にある、ない”から“どの程度の度合いの関係があるか”を考慮するというものである。要素間の二項関係の有無を従属関係の曖昧さを許容し、ファジィ化したファジィ構造モデリングの主なものとしては従来、RagadeのFuzzy ISM、TazakiのFSMが考案されている。Fuzzy ISMは二項関係を半順序関係としており、具象化理論も不十分である。FSMでは利用するファジィ二項関係に特別な条件は要求されない代わりに、同関係の推移性を利用した無矛盾な具象化や一対比較の効率化は考慮されていない。

そこで、従来のファジィ構造モデリングにはない機能を付加した、FISMのファジィ関係版への自然な拡張としてのファジィ構造モデリングFISM/fuzzyが提案された。FISM/fuzzyにおいては要素間の二項関係のファジィ化することに加えてFISMのもつ構造化における柔軟性をも実現しようとする。FISM/fuzzyにおいて、構成要素集合が多い場合や問題領域を幾つかのカテゴリに分割した方が適切な場合に一対比較の効率化を図るための手段として、本論文の主題であるファジィ推移的結合問題が考えられたことを述べている。

第2章は本論の数学的準備として、本研究がその基礎をおくファジィ関係について概説し、論文の中で使用する諸定義、諸記号を説明し、第4章においてファジィ推移的結合問題の解を求めるにあたり理論的背景となるファジィ関係不等式の解について述べている。

第3章では、ファジィ構造モデリングFISM/fuzzyの概要を述べている。

FISM/fuzzyによるシステム構造化プロセスの実行を“FISM/fuzzyセッション”と呼ぶ。

FISM/fuzzy セッションにおいては対象を有限集合 S と $S \times S$ 上のファジィ二項関係 R の組 $\langle S, R \rangle$ としてモデリングする。FISM/fuzzy セッションは問題設定、関係定義、具象化、構造化、描画の各プロセスより構成される。

第4章では、本論文の主題であるファジィ推移的結合問題について述べている。

共通のファジィ関係を有し、ファジィ行列 A, B で定義される二つのサブシステムを結合し、ファジィ行列 M で定義される一つのシステムを形成する問題をファジィ推移的結合問題という。本問題は、FISM/fuzzy セッションの具象化において重要な部分を占める。

システムの具象化を行うにあたり、システム構成要素が多い場合は、構成要素集合を幾つかの部分集合に分割して構造化を行い、後でその結果を結合してシステム全体のファジィ構造行列を形成することによって効率的な具象化が可能となる。

論文では、推移的結合によって生成されるファジィ行列 M の推移性により M の未知要素に課せられる条件式を数学的に解析することによって特殊解の存在を示し、特殊解に関する知見を補題、定理の形で述べている。また、特殊解に関する考察の中で、max-min 解、min-max 解、min-min 解というシステムの階層構造を反映した特殊解が存在するという結果を述べている。更に、推移的結合の特殊な場合である推移的拡大について言及し、サイズの小さい行列の推移的拡大を柔軟に行うためのアルゴリズムを提案している。

第5章では、ファジィ推移的結合問題の応用としての FISM/fuzzy セッションにおける具象化過程について述べている。提案する方法では、各部分構造行列及びその間の階層構造が決定すれば、自動的にシステム全体のファジィ構造行列を生成することができる。この方法を用いることによって、人的労力を要する要素間の一対比較の回数が低減され、効率的なシステムの具象化を図ることができる。

第6章では、一般的なファジィ推移的結合問題の例題を示し、推移的結合問題の特殊解が求められる過程を数値例により説明している。

第7章では、ファジィ推移的結合を用いた FISM/fuzzy セッションの実例として、“乗用車の車種選択に当たりどのような点を重視するか” という意思決定問題に関する FISM/fuzzy セッションを行い、本論で提案した理論の有効性を検証している。

第8章は本論文の結論である。

本研究の全体的なまとめと FISM/fuzzy における今後の課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 佐 藤 義 治
副 査 教 授 新 保 勝
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

学位論文題名

ファジィ構造モデリングにおける推移的結合問題の 特殊解及びその推移的具象化への応用に関する研究

構造モデリングとは曖昧模糊とした対象を構成要素集合とその上に定義される二項関係に注目し、構造を有向グラフ等を用いてモデリング、分類、整理する方法である。社会システムなどの大規模かつ複雑な問題を分析するための有効な手段として様々な構造モデリング技法が開発されている。

モデリングに人間の主観をより反映させるために、要素間の二項関係の有無を従属関係の曖昧さを許容しファジィ化したファジィ構造モデリングは幾つかの手法が考案されているが、従来手法においてはシステム全体のファジィ関係を決定する具象化過程において、ファジィ関係の推移性を利用して無矛盾にこれを行うことや一対比較の効率化は考慮されていない。

そこで、従来のファジィ構造モデリングにはない機能を付加したファジィ構造モデリング FISM/fuzzy が提案された。FISM/fuzzy においては要素間の二項関係をファジィ化することに加えて構造化における柔軟性をも実現しようとする。FISM/fuzzy の適用に当たり、構成要素集合が多い場合や問題領域を幾つかのカテゴリに分割した方が適切な場合に一対比較の効率化を図るための手段として、本論文の主題であるファジィ推移的結合問題が考えられた。

本論文では、ファジィ構造モデリングにおける推移的結合問題の解に関する知見を述べ、推移的結合問題を含むファジィ構造モデリングにおける具象化理論を提案し、実例への適用によりその有効性を示している。

論文は全 8 章より構成されている。

第 1 章は序論として、研究の背景、目的について述べている。

第 2 章は本論の数学的準備として、本研究の理論的背景となるファジィ関係、ファジィ関係不等式について概説し、論文中で使用する諸定義、諸記号を述べている。第 3 章では、ファジィ構造モデリング FISM/fuzzy の概要を述べている。

FISM/fuzzy によるシステム構造化プロセスの実行は“FISM/fuzzy セッション”と呼ばれ、問題設定、関係定義、具象化、構造化、描画の各プロセスより構成されることを述べている。

第 4 章では、本論文の主題であるファジィ推移的結合問題について述べている。

ファジィ推移的結合問題とは、共通のファジィ関係を有し、ファジィ行列で定義される二つのサブシステムを結合し、ファジィ行列 M で定義される一つのシステムを形成する問題であると定式化している。

続いて、推移的結合によって生成されるファジィ行列 M の推移性により M の未知要素に課せられる条件式を数学的に解析することによって特殊解の存在を示し、特殊解に関する知見を補題、定理の形で述べている。また、特殊解に関する考察の中で、システムの階層構造を反映した特殊解が存在するという知見を述べている。更に、推移的結合の特殊な場合である推移的拡大について言及し、推移的拡大を柔軟に行うためのアルゴリズムを提案している。

第5章では、ファジィ推移的結合問題の応用としての FISM/fuzzy セッションにおける具象化理論について述べている。提案する方法では、各部分構造行列及びその間の階層構造が決定すれば、自動的にシステム全体のファジィ構造行列を生成することができる。この方法を用いることによって、人的労力を要する要素間の一対比較の回数が低減され、効率的なシステムの具象化が可能になったことを述べている。

第6章では、推移的結合問題の特殊解が求められる過程を数値例により説明し、第7章では、ファジィ推移的結合を用いた FISM/fuzzy セッションの実例として、“乗用車の車種選択に当たりどのような点を重視するか” という意思決定問題に関する FISM/fuzzy セッションを行っている。

これを要するに、著者はファジィ推移的結合問題の解及びファジィ構造モデリングにおける具象化過程の効率化において、有益な新知見を得たものであり、情報システム工学に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。