博士論文審査要旨

申請者：　上江洲 弘明

論文題目：Characteristic Analysis of Fuzzy Node Fuzzy Graph and its Application
（ファジィノードファジィグラフの特性解析と応用）

審査員	主査	早稲田大学教授	博士（学術）	（早稲田大学）	山下　元
	副査	早稲田大学教授	工学博士	（大阪府立大学）	和多田 淳三
	副査	早稲田大学教授	理学博士	（早稲田大学）	鈴木 晋一
	副査	早稲田大学教授	理学博士	（早稲田大学）	横森　貴
	副査	早稲田大学教授			瀧澤 武信

論文の主題と構成

ファジィ理論は「あいまい理論」ともいわれ, 1965 年 L.Zadeh の論文 ”Fuzzy Sets, Information and Control Ⅷ” により提唱された学問分野である. この理論により, 心情, 感性, 判断, 評価などに関するあいまいな情報を定量的に分析することが可能になった.

ファジィ理論は, ファジィ集合, ファジィグラフ, ファジィ推論などを中心として, E.Mamdani, A.Kaufmann, C.Negoita などにより, 理論と応用をテーマとして発展してきた.

本論文は, ファジィグラフに関するものである. ファジィグラフの基礎理論は A.Kaufmann, A.Rosenfeld などによって研究されており, ファジィグラフ G はノードの集合 V とファジィ関係行列 F とで定義される.

$$G=(V,F)\ :\ V=\{v_i\},\ F=(f_{ij})$$

本論文は, このファジィグラフを拡張し, ノードにファジィネス u_i を持たせたファジィノードファジィグラフを提案し, その特性を解析するものである.

$$G=(V,F)\ :\ V=\{v_i/u_i\},\ F=(f_{ij})$$

ファジィノードファジィグラフは, ノードにファジィネスを持たせているため, これを応用すると, より状況に即した情報分析を行うことができる.

通常, ファジィノードファジィグラフの表現はきわめて複雑になるので, その構造的な特徴は理解し難い. それを解消すべく, ファジィノードファジィグラフをファジィグラフに変換し, 情報を集約することが課題とされる. その方法として, 申請者はファジィ集合演算に用いられる T－ノルムを応用する方法を考案した. T－ノルムには種々のものがあるが, 最大の T－ノルムである論理積と最小の T－ノルムである激烈積をつなぐ新しい T－ノルム族として準論理積を提案している.

本論文は，準論理積をファジィノードファジィグラフからファジィグラフへの変換に用いることより，ファジィノードファジィグラフの特徴が系列的に解析できること，また，種々の適用例からその有効性が高いことを示している．

各章の内容と論評

第 1 章　この章では，ファジィグラフとファジィノードファジィグラフについて述べている．ファジィグラフは A.Kaufmann などによって研究されてきたが，本論文ではファジィグラフを拡張し，ノードにファジィネスを持たせたファジィノードファジィグラフを提案している．

ファジィグラフ G は次の式で定義される．

$$G=(V,F) : V=\{v_i\}, F=(f_{ij}), 0 \leq f_{ij} \leq 1$$

ここで，V はノードの集合，F はファジィ関係行列である．

ファジィグラフを拡張したファジィノードファジィグラフは次の式で定義される．

$$G=(V,F) : V=\{v_i / u_i\}, F=(f_{ij}), 0 \leq f_{ij} \leq 1, 0 \leq u_i \leq 1$$

ここで，u_i はノード v_i の持つファジィネスである．

ファジィノードファジィグラフは，アークのファジィネスとノードのファジィネスの両方により特徴付けられているので，その構造は非常に複雑なものになる．そこで，ファジィノードファジィグラフを T－ノルムを用いてファジィグラフに変換することが課題となる．

この章では，ファジィグラフを拡張したファジィノードファジィグラフを提案し，本論文での骨子となる変換の必要性と T－ノルムによる変換法の概略を述べている．

第 2 章　第 1 節では，ファジィノードファジィグラフをファジィグラフに変換する際に用いる T－ノルムと T－ノルム族について述べている．

T－ノルムは，交換律，結合律，単調性，境界条件を満たす 2 項演算であり，ファジィ集合の演算等によく用いられる演算である．

$$T : p,q \in [0,1] \rightarrow T(p,q) \in [0,1]$$

また，その代表的なものは，論理積，代数積，限界積，激烈積などである．

T－ノルムに対して，さらにパラメータ λ を持つ T－ノルムを T－ノルム族という．T－ノルム族はパラメータ λ を介することによって，いくつかの T－ノルムを結び付けることができる．

その代表的なものには，Dubois 積，Weber 積，Schweizer 積などがあり，それぞれ，論理積と代数積，代数積と限界積，限界積と激烈積をつないでいる．

第 2 節では，論理積と激烈積を結ぶ新しい T－ノルム族として準論理積（Uesu 積）を提案し，あわせて準論理積のもつ特性を述べている．

$$\text{準論理積}: T_\lambda(p,q) = \begin{cases} 0 & , p \vee q < 1-\lambda \\ p \wedge q & , p \vee q \geq 1-\lambda \end{cases}, \lambda \in [0,1]$$

準論理積を，ファジィノードファジィグラフからファジィグラフへの変換に用いると，ファジィノードファジィグラフを系列的に解析することが可能になる．

第 3 章　第 1 節では，T－ノルムを応用したファジィノードファジィグラフからファジィグラフへの変換方法について述べている．

ここで，変換に用いる T－ノルムとしては種々のものがあるが，本論文では，新しい T－ノルム族である準論理積を用い，そのパラメータ λ を変化させることによって，ファジィノードファジィグラフ G を複数のファジィグラフ $G_\lambda = (V, F_\lambda)$ に変換する方法と効用について論じている．

第 2 節では，ファジィノードファジィグラフのクラスター分析の手法について述べている．

クラスター分析は，ファジィ関係行列 F から無向ファジィ類似行列 S を作り，その推移包を用いて階層クラスタリング解析を行う手法であり，これから得られる分割樹形図は，クラスタリングの階層構造を示すものである．

ここで，どのレベルが大域的な特徴を最もよく表しているのかを判断するという問題が生ずるが，これに関しては，クラスターの分岐度関数 $p(c)$とクラスターのサイズ関数 $q(c)$から，ファジィ決定 $p(c) \wedge q(c)$ を応用して最適レベル c_0を決定する方法を述べている．

第 3 節では，ファジィノードファジィグラフ G の特徴を最適に表すファジィグラフ G_{λ_0} の決定法について述べている．

準論理積 $T_\lambda, \lambda \in [0,1]$ を用いてファジィノードファジィグラフ $G = (V, Y)$ を変換すると，多数のファジィグラフ $G_\lambda = (V, F_\lambda)$ が生成される．このため，ファジィグラフ集合 $\{G_\lambda\}$ の中から，分割樹形図の最適レベル c_0におけるクラスターの構造をよく表し，かつ，もとのファジィノードファジィグラフの特徴をよく表すファジィグラフを抽出するという問題が生ずる．

本論文はこの問題に対して，ファジィグラフ G_λ と S_{c_0} －グラフの距離関数 $f_D(\lambda)$ と，ファジィグラフ G_λ の表現関数 $f_E(\lambda)$ を定義し，そのファジィ決定の最大化決定を用いて，λ の最適値 λ_0 を決定する方法を提案している．

$$\lambda_0 = \min\{\lambda : f_M(\lambda) = \max_{0 \le x \le 1} f_M(x)\},\ f_M(\lambda) = f_D(\lambda) \wedge f_E(\lambda)$$

この決定法により，ファジィノードファジィグラフ G を準論理積 T_λ で変換して生成されるファジィグラフ集合 $\{G_\lambda\}$ から，最適なファジィグラフ G_{λ_0} が抽出される．

これは，「ファジィノードファジィグラフ G の特徴を集約した最適ファジィグラフ G_{λ_0} を決定する」という主題の解析結果であり，本論文の体系的な結論であると判断される．

第 4 章　第1節では，ファジィノードファジィグラフのソシオメトリー分析への応用について述べている．ソシオメトリー分析において，ファジィノードを応用すると，成員相互の関係だけでなく，集団における成員の重要度をも表現できる．ここでは，その分析法，適用事例，および，その有効性を説明している．

第 2 節では，ファジィノードファジィグラフの教材構造分析への応用について述べている．教材構造分析において，ファジィノードを応用すると，教授項目間の関係だけでなく，教授分野における項目の重要度をも表現できる．ここでは，その分析法，適用事例，および，その有効性を説明している．

付録　　ここでは，遺伝的アルゴリズムを応用したファジィノードファジィグラフ描画について述べている．グラフ描画については様々な手法があるが，本論文では，ノードのファジィネスをシャプレイ値化して応用し，ノードを適切に配置する描画法を提案している．

このシステムでは発見的に複数の解が求めることができるが，その中で適合度が最も高く，かつ，クラスター分析の大域的な特徴をよく表すものを最適解としており，その結果は効率よいファジィグラフの新しい描画法と判断される．

結論

以上が本論文の概要であるが，本研究は，ファジィノードファジィグラフ理論およびその応用に関して著しい貢献をしたものと認められ，また，今後のこの分野の発展に多大な寄与をするものと考えられる．よって，本論文は博士（学術）の学位論文として価値あるものと認める．

2007 年 7 月