

氏名(本籍地)	吉住寿洋(福岡県)		
学位の種類	博士(工学)		
報告・学位記番号	甲第433号(甲(工)第111号)		
学位記授与の日付	平成30年3月25日		
学位記授与の要件	本学学位規程第3条第1項該当		
学位論文題目	ファジィ理論を応用した人間関係分析手法とタッチインタフェースを用いた分析システムの実装		
論文審査委員	主査	教授	博士(理学) 土田賢省
	副査	教授	博士(工学) 上原稔
	副査	教授	博士(工学) 木本伊彦
	副査	明治大学教授 工学博士	森秀樹

### 【論文審査】

本研究のテーマは、人間関係を分析するための分析に対するファジィ理論の応用とその分析法への計算機科学に基づく支援システムの実装と検証である。

当該分野においては、人間関係を分析するための分析手法として様々な研究が行われてきた。最も代表的な初期の研究としては、精神医学者モレノによるソシオメトリー分析がある。ソシオメトリー分析では、質問調査を行い、その結果をソシオグラムで図式表現する。そのソシオグラムには、誰が誰を選んだかが表されており、被験者の表面的な意識がそのまま反映される。その後、山下等はモレノのソシオメトリー分析にファジィ理論を応用した分析方法を開発した。その方法では質問調査の結果からファジィ行列を算出し、分割樹形図を作成して分析を行う。モレノ等のソシオメトリー分析では被験者が他者のことをどのように思っているかという一方向の関係性を分析しているのに対して、山下等は複数の質問から得られた結果を1つのファジィグラフにまとめて表現するようにした。モレノ等のソシオメトリー分析と山下らの手法は、質問調査を行いその結果をグラフで表現するという点では同じであるが、いくつかの相違点がある。グラフで言えば有効グラフと無向グラフの差があり、モレノ等のソシオメトリー分析で得られるソシオグラムは有向クリスプグラフで、山下らの手法では無向ファジィグラフである。非ファジィとファジィの観点では、モレノ等のソシオグラムはノード(被験者)が接続(選択)または非接続(非選択)の2状態だけであるのに対し、山下等のファジィグラフでは、被験者の関係性の度合いと

してエッジに0.0~1.0の値を持たせている。山下等の手法は、基本的には、分割樹形図を基にサブグループやオピニオンリーダー、孤立者をバッチ的に分析する手法を提供するものであり、分割樹形図については同一類似度レベルに属するノードのみを分析対象としている。しかし、人間関係は複雑かつ多岐にわたるため、定量的な解のみでは不十分という問題がある。さらに、ソシオメトリー分析一般において、分析者は対象グループをどのように成長させたいかなどの分析目的に依存して分析方法を決定する傾向があるために、分析前からソシオグラムをどのように分析するかは一意には定まらない。そのために、分析を試行錯誤で行うしかない場合を想定しておくことが望ましい。しかし、近年において分析システムにヒューマンインタフェースを導入した研究としては佐藤等の研究があるのみで、既存の研究では、試行錯誤的(探索的)な解析手法やシステムに関する研究はあまり行われてない。佐藤等の研究においてもグラフ表現操作がユーザに依存する部分が多く、使い易さなどに問題が残されたままとまっている。

以上を背景として、本研究では、ファジィ理論を応用した人間関係分析手法の研究において次の2つを目的としている。1つは、ファジィ理論に基づく人間関係分析において、新たにファジィクラスター間におけるファジィ関係を導入し、それに基づく新たな分析手法を提案し、既存のファジィモデルを拡張することである。もう1つは、新たに提案した分析手法に基づき、タッチインタフェースを用いて探索的な分析手法を具備することを特徴とする分析ソフトウェアを実装し、新たに提案した分析手法の妥当性および有効性を実証することである。

これらの目的を達成するための理論的準備、アプローチ、検証実験およびその結果と考察等について、本学位論文では、以下のように全9章の構成でまとめている。

#### ・第1章

第1章では、論文の序論として、研究の背景となる当該分野に関する概況をレビューし、本研究の目的について述べている。

#### ・第2章

第2章では、研究の準備として分析対象となる社会ネットワークの定義、社会ネットワーク分析手法およびその問題点について述べている。

最初に、社会ネットワークを定義する上で、その基礎となるグラフの定義について数学的にかつ図例を用いて単純グラフ、ループ辺、木、林、有向グラフなどを説明している。そして、個人や組織、国家などをノードとして表現されたグラフである社会ネットワークについて、紐帯などの用語を用いて定義とその説明が述べられている。次に、モレノが導入したソシオメトリー分析について説明がなされている。ソシオメトリックテストと呼ば

れる質問調査について例を用いて解説している。質問結果のデータをグラフで表現した図であるソシオグラムについても図を用いて説明している。人間関係を分析する上で、仲間グループのメンバーシップの境界を把握し、内部構造を分析する適切な方法として観察法と面接法によるものがよく用いられているが、それらについても説明がなされている。本章の最後では、ソシオメトリー分析と観察法および面接法による分析の問題点について述べている。ソシオメトリー分析は、簡易な質問から得られるデータだけでグループ構造の分析、評価が可能であるが、その簡易性と分析の詳細度とのトレードオフとして、グループ自体の把握やグループのメンバーシップの範囲を明確化するための手法としては適していない。観察法および面接法による分析では、仲間グループの内部構造の分析などソシオメトリー分析よりも詳細な分析が可能であるが、調査に人手による手間と時間がかかるというデメリットがある。その事例として、過去に住田正樹の行った子どもの仲間グループの構造に関する研究調査では、観察法による調査で約2週間、面接法による調査では約5.5か月と調査に関する部分だけでも時間がかかっており、分析を含めるとさらに多くの時間を要していると考えられると指摘している。

### ・第3章

第3章では、本研究において探索的分析手法、および本開発システムにおいて利用するタッチインタフェースについて説明がなされている。

まず、タッチインタフェースの分類として、タッチパッド方式：タッチする場所と表示される場所が異なる機器、タッチスクリーン方式：タッチする場所と表示される場所が同じ機器、これらについて解説がなされている。

さらに、タッチインタフェースの特徴として、人間の直感に近い動作で様々な操作が可能であるという点について、画面を拡大したいときには、2本指で画面を離して広げるように動かす(ピンチアウト)こと、画面を縮小したいときには、画面をつまむように縮める(ピンチイン)ことなどにも触れている。

さらに、人間関係分析をファジィグラフモデルで行う場合、どのようなインタフェースが望ましいかについて考察している。その結果、操作回数、視認性、容易性を考慮に入れて、本研究ではタッチスクリーン方式の入力箇所と表示箇所の同一性、マルチタッチ方式の目的と動作の同一性の両方を兼ね備えた組み合わせのタッチインタフェースを採用することにしたことが述べられている。

### ・第4章

第4章では、定量分析が可能な人間関係のファジィモデルについて、基礎となるファジィ理論も含めて説明している。

先ず、1965年にL.A.Zadehにより確立されたファジィ理論について説明している。内容は、メンバーシップ関数、台集合、集合の閉包、クリスプ集合、特性関数など基本用語の数学的定義について述べた後で、ファジィ集合の演算をメンバーシップ関数の関係式によって、相当、部分集合、和集合、共通集合、補集合、代数積、代数和、限界積、限界和、限界差を定義している。そして、ファジィ行列の定義とその説明がなされている。そしてファジィグラフの定義をして、ファジィ行列はファジィグラフによって表現されることが示され、その事例も提示されている。

次に、ファジィ関係の基本的な4つの性質、反射的、対称的、反対称的、推移的の定義を述べている。ファジィ関係が反射的かつ対称的であるときにファジィ相似関係といい、反射的、対称的、かつ推移的であるときはファジィ同値関係、または類似関係ということにも触れている。さらに、ファジィ行列の可達行列、ファジィ関係の推移包、ファジィ関係の合成、ファジィグラフモデル、ソシオメトリー分析、ソシオグラム、ファジィクラスタリング、応答原表、応答行列、評定行列等の概念の定義が説明されている。これらの定義の後に、例題を用いて、ファジィ行列とファジィグラフの対応をさらには、対称友好行列と分割樹形図について説明がなされている。さらに分割樹形図に基づくファジィグラフのクラスター分析についても説明がなされている。得られた分割樹形図により、類似度レベルに応じてクラスター間の階層関係を視覚的に把握することが可能となる。

## ・第5章

第5章では、社会ネットワークの分析指標、クラスター間における影響力の強さを分析する手法、さらに異なる類似度レベルに属するクラスター間の分析手法について説明している。これらに用いられている概念は著者が新たに導入したものであり、本章の内容は、本研究において従来の分析方法を理論的に拡張した部分となっている。先ず、既存研究におけるファジィ理論を応用した分析指標、ファジィグラフ密度（既存のグラフの指標を著者がファジィ化して定義）、ノード間距離、ノード可達性、次数中心性、関係中心性を紹介している。次に、クラスター間、ノードとクラスター間の関係を定量的に調べるための指標として、関係媒介中心性（RBC）、クラスターノード間の関係性（CLR）、クラスターノードとノード間の関係性（CLR）、類似度の異なるクラスター間の関係性（DCR）を新たに導入し、ファジィ理論に基づいて数学的に定義している。ここで、クラスターノードとは、クラスターを1点に縮約してノードとみなすことを意味している。これによって、従来の研究では出来なかった、グループ間の関係でどの人物が中心になっているか、グループと個人、グループとグループ（類似度のレベルが同じ場合と異なるレベルに存在する場合）などの関係を定量的に把握することが可能になっている。

## ・第6章

第6章では、前章で定義されたファジィグラフの描画条件とその描画アルゴリズムに関して、計算機科学的観点から説明している。グラフを自動的に描画する研究は、様々な研究者らによって取り組まれてきている。ファジィグラフの描画に関する研究も行われているが、ヒューマンインタフェースを用いたコンピュータ支援分析システムでは、コンピュータ化された分析システムの機能とそのユーザの能力に依存している。自動描画に関する機能は提供されていない。従来の研究では、描画条件を満たしかつ、限定された領域に描画する問題に対して、局所的に最適な解決策を見出すには実行時間が長すぎるという欠点があった。そこで、本章では、これらの欠点を克服し、格子交点上にノードを配置するための描画アルゴリズムについて説明している。

準備として先ず、2つのクラスター間の距離について、ファジィグラフ、 $c$ -カット行列、類似度  $R$  のクラスターの集合が与えられたときに、その集合に属するノードの位置を用いて定義している。この定義に基づいて、3つの基本的な描画条件を導入している。ファジィグラフの描画条件を数学的に定義しているが、この条件を満たすことで、ノード、クラスター間のユークリッド距離を短くする配置が可能となり、ファジィグラフをコンパクトに自動描画することが可能となる。次に、ファジィグラフ描画の基本的な方式について、ノード配置の戦略が述べられている。例えば、2つのクラスターを結合する8種類の典型的なクラスター配置パターンに基づく描画方法を提案している。これは、提案した新しい分析モデルによる対話的な操作において分析対象となるクラスター、ノードが狭い範囲に収まることでタッチインタフェースでの操作が容易となることを想定した自動描画を実現するための方策である。続いて、これらの描画アルゴリズムの処理プロセスが分るように事例を用いて解説している。

次に、本研究のファジィグラフ描画アルゴリズムの計算量について、描画アルゴリズムを擬似プログラム言語で厳密に記述し、入力ファジィグラフのノード数が  $n$  のとき時間計算量が  $O(n^3)$  であることを証明している。既存研究の遺伝的アルゴリズムによるファジィグラフ描画の時間計算量は  $O(n^n)$  であるので、この分野のグラフの自動描画において、本アルゴリズムは実行効率が低次の多項式時間の保証付きであり、理論面と実際面の両面から優れた成果と言える。

## ・第7章

第7章では、ファジィ理論を基にした人間関係の分析を行う上で必要な分割樹形図作成ソフトウェアと分割樹形図のデータを基にした人間関係の分析手法やファジィグラフ描画アルゴリズムを実装した分析ソフトウェアについて説明している。本分析ソフトウェアは、オピニオンリーダーのバッチ的分析、タッチインタフェースを用いた探索的分析、位置情

報付き分割樹形図の生成、ファジィグラフの自動描画機能などを備えている。分析・描画システムとして、ユーザインタフェースにタッチインタフェースを採用し、入力データのバッチ的分析とタッチインタフェースを用いた探索的な分析が可能なソフトウェアを実装している。開発言語は、Java 1.8.0-77で、ソフトウェアサイズは、クラス数 140、総STEP数 456883となっている。分析ソフトウェアにおける描画・分析を行う手順は、(1) 接続情報付き分割樹形図から位置情報付き分割樹形図の作成、(2) クラスターおよびノードの配置計算、(3) 分析対象の類似度レベルを選択、(4) 分析対象クラスターまたはノードを選択、となっている。本ソフトウェアの主要な機能は、ファジィグラフを格子点上に自動配置・描画、次数中心性やノード可達性などのバッチ的分析、関係媒介中心性や異なる類似度に属するクラスター関係などの探索的分析である。また、本ソフトウェアで実装したファジィグラフから人間関係を分析する指標は、バッチ的分析あるいは探索的分析で求めるようになっている。ネットワーク密度、ファジィグラフ密度、ノード間距離、ノード可達性、次数中心性、関係中心性はバッチ的分析で行われ、関係媒介中心性、クラスター間関係分析、クラスターノード間関係分析、異なる類似度間クラスター分析は探索的分析で行われるように実装されている。空間計算量に関しては次のような考察がなされている。ファジィグラフのノード数を  $n$  としたときの各ノード間の友好度を32bit自然数(float型)保存する場合のメモリ使用量は、 $4n$  バイトとなる。一方、関係媒介中心性や異なる類似度に属するクラスター関係性では解となる組み合わせが多数存在する。そのため、全てをバッチ的に分析してメモリ上に保持しようとした場合、各ノード間の友好度を32bit自然数(float型)で保存する場合のメモリ使用量は $4n(n-1)/2$ バイトである。ノード数が増大すれば、メモリ使用量はノード数の二乗に比例して増大することになる。多数の分析結果を全て表示させた場合、辺の数も同等の数だけ増加する可能性がある。そこで、これらの空間計算量が多く必要な分析指標については、バッチ的分析を行わず、分析者に必要とするノードまたはクラスターを選択させて、必要に応じてその都度分析して、結果を表示する探索的分析(対話的操作)を行えるように実装している。

## ・第8章

第8章では、「子供の仲間集団の研究」(住田正樹, 九州大学出版会, 1995)にある質問調査の結果を用いて提案した分析手法で分析を行い、本研究の分析手法の妥当性と有効性を検証している。なお、本データの使用に関しては著者の住田正樹本人より許諾を得ている。その事例分析の検証実験について詳細に説明がなされている。前述の質問調査の結果を基に、本研究で実装したソフトウェアを用いて、ファジィ行列、対称友好行列、可達行列、分割樹形図を作成し、さらに、新たに導入した指標で、バッチ的分析、対話的分析でファジィグラフ密度の分析、孤立者の分析、オピニオンリーダーの分析、関係媒介中心性

の分析、クラスター間関係分析、異なる類似度に属するクラスター間分析を行っている。これらの評価実験結果から、住田正樹が質問調査、観察法および面接法を用いて分析した内容とほぼ同じ内容を本研究のソフトウェア分析による手法でも分析できていることが確認できている。そして、本研究では、サブグループ媒介中心性の分析により住田正樹の研究では行われていない、グループ間における影響力の度合い、影響力の強い人物を特定することができている。このように、他クラスターまたはノードへ情報伝達などを行う際の媒介するノードを特定することで効率よく情報伝達を行える経路を決定や、情報を受けたクラスターやノードから関係媒介中心性を特定していくことで2次的、3次的に効率よく情報伝達が可能となる経路の発見などが出来る。さらに、グループ内に存在するサブグループに着目し、グループの類似度レベルを変更することで、グループをサブグループに分割し、より詳細な友好関係の分析を行っている。その結果、分析対象のうちの一方の類似度レベルだけ変更し、クラスターをサブクラスターに分割したり、スーパークラスターへ結合して様々なクラスターやノードの関係分析を行うことで、同一類似度だけでの関係分析では発見できなかった関係を見出すことが可能であることが検証された。また、操作性については、本研究で実装したシステムではインタフェースにマルチタッチスクリーン式インタフェースを用いており、マウス、キーボードを用いた既存のインタフェースの実装と比較した場合は、操作を直感的に理解できるというだけでなく同様の操作をより少ない操作回数で行うことが可能であることを定量的に証明している。タッチインタフェースを用いた場合、分析対象を選択するたびに分析・計算をする必要があるが、友好度の時間計算量が  $O(n)$  であることを証明している。

## ・第9章

第9章では、本研究についてのまとめと今後の課題について述べられている。

### 【審査結果】

本研究では、人間の思考や判断を対象とする人間科学や社会科学さらに教育、心理などの分野で広く応用されているファジィ理論をベースとして、ソシオグラムの構成法と分析法において、理論面からその基礎となるモデルを拡張し、拡張したモデルに基づく分析手法を考案し、さらにモデルに沿った分析支援ソフトウェアを実装した。そして、提案したモデルとその分析方法の妥当性と分析能力が真に拡張しているかについて、開発した分析支援ソフトウェアを用いて評価実験を行っている。その結果、提案したモデルおよびその分析手法が真に従来の分析手法を拡張するものであることが示されている。具体的には、従来の人手で手間をかけて分析した結果と同様の結果を開発したソフトウェアでバッチ的処理と対話的処理で、短時間で得ることができ、その結果も直観的に直ぐに分かるグラフ

の自動描画で表示されるようになっている。さらにモデルの拡張により、これまで分析されなかったグループ間における影響力の度合いの数量化と可視化、影響力の強い人物の特定も容易に出来るようになっており、その有効性と妥当性を確認することができた。ファジィ理論をベースとしたソシオグラムの構成法と分析法の研究において、このようなソフトウェアは皆無であり、研究成果は理論面と実際面から高く評価できるものである。これらの内容は、英文学術雑誌に掲載された論文および和文学術論文誌に掲載された論文に基づくものであり、学術的評価を得ているものである。また、本研究の成果の一部であるファジィクラスター分析ソフトウェアは、メンタルヘルスにおける自由記述のインタビュー結果の分析にも応用され、これまでに見出せなかった新たな知見を得ることができ、その結果は英文論文誌や査読付きの国際会議講究録に掲載されており、本研究成果の有効性が示されている。

以上のように、吉住氏の研究は、工学研究科（情報システム専攻）の博士学位審査基準に照らしても十分な研究内容であると認められる。吉住氏の博士後期課程在学中における業績としては、英文原著論文2編（筆頭著者1編）、和文原著論文1編（筆頭著者1編）、国際会議講究録6編（全て査読有、筆頭著者3編）等がある。これらの業績は情報システム専攻事前審査会において課程博士の学位申請要件を満たしていることが確認された。さらに、続く3回の学位審査会において厳正に審査した結果、博士論文としてふさわしいものであると判断され、情報システム専攻において承認された。

専攻内学位審査会において口述試験および学力試験（外国語・専門）を実施したところ、同氏の学力が博士学位にふさわしいものであると認められた。英文論文をはじめとする研究業績は、同氏が外国語を使いこなし、専門に対する深い造詣を有する傍証でもある。

従って、所定の試験結果と論文評価に基づき、本審査委員会は全員一致を持って吉住氏の博士学位請求論文は、本学博士学位を授与するに相応しいものと判断する。