

2017 年度
東洋大学審査学位論文

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

東洋大学大学院工学研究科情報システム専攻博士後期課程
46D0131002 吉住 寿洋

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	社会ネットワーク分析	6
2.1	社会ネットワーク	6
2.1.1	グラフの定義	6
2.1.2	社会ネットワークの定義	8
2.2	ソシオメトリー分析	9
2.3	観察法と面接法	10
2.4	既存の分析手法の問題点	11
第 3 章	タッチインタフェース	13
3.1	タッチインタフェースの分類	13
3.2	タッチインタフェースの特徴	15
3.3	インタフェースの選定	16
第 4 章	人間関係分析のファジィモデル	19
4.1	ファジィ理論	19
4.1.1	ファジィ集合	19
4.1.2	ファジィ集合の演算	20
4.1.3	ファジィ行列	21
4.1.4	ファジィグラフ	22
4.1.5	ファジィ関係の性質	23
4.1.6	ファジィ関係の演算	24

4.1.7	ファジィ関係の合成	24
4.2	ファジィグラフモデル	25
4.2.1	応答原表と応答行列	25
4.2.2	評価行列	26
4.2.3	ファジィ行列とファジィグラフ	26
4.2.4	対称友好行列と分割樹形図	27
4.2.5	クラスター分析	29
第 5 章	人間関係の分析手法	31
5.1	ファジィ理論を応用した分析指標	31
5.1.1	ファジィグラフ密度	32
5.1.2	ノード間距離	32
5.1.3	ノード可達性	33
5.1.4	次数中心性	33
5.1.5	関係中心性	34
5.1.6	関係媒介中心性	34
5.2	クラスター間関係分析	36
5.3	異なる類似度レベルに属するクラスター間分析	37
第 6 章	ファジィグラフ描画アルゴリズム	39
6.1	描画条件	39
6.2	ノード配置	41
6.3	ファジィグラフ描画アルゴリズムの計算量	42
第 7 章	ファジィ理論に基づくソフトウェア	48
7.1	分割樹形図作成ソフトウェア	48
7.2	分析ソフトウェアの特徴	51
7.3	ファジィグラフ描画	52
7.3.1	タッチインタフェースを用いた表示切替	53
7.3.1.1	クラスターノード表示とノード表示の変更	54
7.3.1.2	クラスターの表示類似度レベルの変更	56

7.4	ファジィグラフ分析	58
第 8 章	分析事例	61
8.1	質問調査	61
8.2	分割樹形図の作成	71
8.3	分析ソフトウェアでの分析	75
8.3.1	ファジィグラフ密度の分析	75
8.3.2	孤立者の分析	76
8.3.3	オピニオンリーダーの分析	76
8.3.4	関係媒介中心性の分析	77
8.3.5	クラスター間関係分析	78
8.3.6	異なる類似度に属するクラスター間分析	78
8.4	考察	82
8.4.1	分析結果の評価	82
8.4.2	操作性 (計算量の観点より)	84
第 9 章	まとめ	86
参考文献		94
著者業績		98

目次

2.1	グラフ (左側) と単純グラフ (右側) の例	7
2.2	林の例	8
2.3	木の例	8
2.4	ソシオグラムの例	10
2.5	ソシオグラムの構造	11
3.1	タッチパッド方式の入力機器の例	14
3.2	タッチスクリーン方式の入力機器の例	15
3.3	ピンチアウトの操作	16
4.1	グラフ (左側) とファジィグラフ (右側) の例	22
4.2	ファジィ行列の例	27
4.3	ファジィグラフの例	27
4.4	対称友好行列	28
4.5	分割樹形図	29
5.1	可達行列	33
5.2	関係媒介中心性 RBC の例	35
6.1	2つのクラスターを結合するクラスター配置パターン	42
6.2	クラスター配置計算の例	43
6.3	クラスター移動の例	44
7.1	入力データ (評定行列) の例	49

7.2	出力データの例 (可達行列と分割樹形図の一部)	50
7.3	分析ソフトウェアの実行画面	52
7.4	ファジィグラフ描画	53
7.5	クラスター表示からノード表示への変更	55
7.6	CL_{10} の表示類似度レベルを $R_{0.60}$ から $R_{0.86}$ へ変更	57
7.7	クラスターごとの関係中心性	59
7.8	関係媒介中心性	60
8.1	質問調査の結果から作成した評定行列	71
8.2	分割樹形図作成ソフトウェアで作成したファジィ行列	72
8.3	分割樹形図作成ソフトウェアで作成した対称友好行列	72
8.4	分割樹形図作成ソフトウェアで作成した可達行列	73
8.5	分割樹形図作成ソフトウェアで作成した分割樹形図	74
8.6	類似度 0.68 のファジィグラフ	75
8.7	類似度 0.68 のファジィグラフ (辺有り)	76
8.8	孤立者 (類似度 0.68)	77
8.9	オピニオンリーダー (類似度 0.68)	78
8.10	CL_{89} から CL_{90} への関係媒介中心性	79
8.11	CL_{90} から CL_{89} への関係媒介中心性	80
8.12	CL_{89} と CL_{90} のクラスター間関係分析	80
8.13	CL_2 と CL_{90} の異なる類似度に属するクラスター間分析	81
8.14	ノード ₁ と CL_{90} の異なる類似度に属するクラスター間分析	81

表目次

2.1	既存分析手法の特徴	12
6.1	自動描画アルゴリズムの時間計算量の比較	47
7.1	分析手法の分類	58
8.1	好きな友だち	63
8.2	いつも一緒に遊ぶ友だち	64
8.3	昨日一緒に遊んだ友だち	65
8.4	クラスの遊びグループ	66
8.5	クラスの仲良しグループ	67
8.6	帰宅後いつも一緒に遊ぶ友だち	68
8.7	帰宅後の遊びグループ	69
8.8	帰宅後の仲良しグループ	70
8.9	分析結果の評価	83

第 1 章

はじめに

人は他者と関係を持ち，人間関係は社会におけるグループやコミュニティ，組織などの様々な構造を表している．人はその関係性を介して情報や物品などの様々なものを他者へ伝えていくことから，人間関係やその構造を分析し，どのような関係性であるのか，関係性や構造がどのような影響力，特性を持つのかを明らかにすることは，社会学だけでなく心理学や経済学，政治学，人類学など様々な分野において非常に重要である [1]．これら进行分析することにより，例えば社会心理学の分野であれば，分析対象者が社会的にどのように認知されているのか，どのような社会的役割（リーダーや仲介役など）を担っているのか，他者とどのような人間関係を築いているのかなどを明らかにすることが可能であり，目で見ることのできない人間の心理状態や社会的地位などの様々な情報を視覚化することが出来る [2]．

これまでに，人間関係を分析するための分析手法について様々な研究が行われてきた．Web 上にある多様で多量なデータから抽出した情報を基に個人を抽出し，個人間の関係を 2 人の名前で AND 検索した値や OR 検索した値などから Simpson 係数を用いて定義し，人間関係の抽出を行う石塚等の手法 [3] や単位時間あたりの活動量（歩数）から積率相関係数を用いたクラスタリングから交友関係を抽出する芳賀等の手法 [4] などがあげられる．これらの中でも代表的な分析手法として，精神医学者である J.L. モレノが提唱したソシオメトリー分析がある [5]．ソシオメトリー分析では，ソシオメトリックテストと呼ばれる質問調査を行い，その結果をソシオグラムと呼ばれる図で表現する．1 つの調査結果から，それに対応した 1 つのソシオグラムが得られる．ソシオグラムには，被験者が誰

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たものになっている。質問調査から結果を簡単に得ることが出来るため、主に社会学や教育学などの分野において多くの研究でソシオメトリー分析が用いられている。その中で日本の代表的な研究としては、住田正樹の研究や日向野等、山下等の研究をあげることが出来る。住田正樹の研究では、子供たちの仲間集団の境界の明確化と構造分析に、観察法と面接法を用いて分析を行っているが、その基礎となる部分についてはソシオメトリー分析を用いている [6]。住田正樹は、小学校のクラスの生徒 21 人に対して、集合調査形式の自記式のソシオメトリックテストを実施し、その結果であるソシオグラムなどを用いて仲間集団の境界の明確化と構造の分析を行っている。日向野等は、ソシオメトリー分析とパーソナリティ尺度を用いて集団内における地位と対面苦手意識について調査し、それらの結果を主因子法による因子分析や Tukey 法による多重範囲検定などの様々な分析手法で行い、集団内の地位の高さと対面苦手意識の低さの関係性の仮説について検証を行っている [7]。山下等は様々な分野で応用されているファジィ理論を用いて、ソシオメトリー分析にファジィ理論を応用した分析手法を開発した [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]。

本研究で用いるファジィ理論は、L.A. ザデーにより確立された理論で、これまで数学であまり扱われてこなかった曖昧さを厳密に扱えるようにした理論である [15]。ファジィ理論は特に日本を中心として、工学や医学、社会科学など幅広く様々な研究分野に応用されている。工学分野への応用としては、大北等の電動車いす型ロボットの制御がある [16, 17]。大北等は、電動車いすに取り付けられた各センサーからの値を基に障害物までの相対距離と指令角速度を算出し、これらを入力としてファジィ推論を用いて左右の車輪へのブレーキ強度を出力することでロボット制御を行っている。

産業界においても様々なものにファジィ理論が応用されている。例えば、大規模システムへの応用としては、1987 年 7 月に開通した仙台の地下鉄南北線の自動運転システムにファジィ制御が用いられている。大規模システムだけでなく、この他にも、家電などにもファジィ理論は応用されており、洗濯物の量と布質から水流の強さと洗濯の時間をファジィ推論から決定する全自動洗濯機などがある。

このように、ファジィ理論の応用は工学分野における制御が多くを占めていたが、知識情報処理や意思決定支援などへの応用も多く行われてきた。医療分野では、有田等のファジィ理論を医療画像診断へ応用した研究などがある [18, 19, 20]。有田等は、画像診断の所見評価であるがんの形状などを「整 ($X = 0$)」、「不整 ($X = 1$)」の 2 値ではなく 0.0

から 1.0 へ変換することで、ファジィ推論による出力「やや不整 ($X = 0.6$)」を診断するロジックを開発している [19]. さらに教育学への応用として、稲井田等の成績評価法がある [21]. 稲井田等は、試験の点数 (0~100 点) をメンバーシップ関数を用いて 0.0 から 1.0 への値に変換し、代数積加算重心法を用いたファジィ推論により成績評価 (A~D) を行う手法を開発している. さらに産業への応用としては、専門家の知識を基にファジィ理論による株式売買を判断する証券投資エキスパートシステムや産業機械の故障診断・予知システム、スーパーの客足予測システムなどへ応用・活用されてきた.

このように、様々な分野で応用されているファジィ理論であるが、先に挙げた山下等の手法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ものである. これまで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た. それに対して、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. 山下等の手法はファジィグラフを作成する過程で、一方向の関係性を合成して、被験者同士の相互関係を分析し、複数の質問結果をまとめることで間接的に被験者の潜在意識を探り、友好関係を導き出す手法である.

ソシオメトリー分析と山下等の手法は、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、この 2 つの手法にはいくつかの違いがある. ソシオメトリー分析で得られるソシオグラムでは、有向クリスプグラフで表されるが、山下等の手法では無向ファジィグラフで表現される. そのため、ソシオグラムではノード (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. 一方、ファジィグラフでは、エッジに 0.0~1.0 の値を持たせており、それにより被験者の関係性の度合いを表現している.

山下等の手法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基本的な手法を提供するものである. 分割樹形図は同一類似度レベルに属するノードを分析対象としている. どの類似度を分析対象とするかも、適切な類似度をクラスター数やクラスターサイズから算出した値を用いて分析対象を決定している [13]. さらにソシオメトリー分析と山下等の手法では、分析者の目的によっては、ソシオグラムのような有向グラフの方が有効な場合や、あるいは山下等の無向グラフの方が有効である場合などがあり、使用が限定されることがある. そこで、佐藤、土田等が山下等の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を進めた [22].

しかし、これらの分析手法にもいくつかの問題点がある. モレノや住田正樹等が行って

いるソシオメトリー分析は、分析が定量的に行われておらず、分析者の主観による評価であり、当該分野に対する高度な知識を有していなければ正しく分析することが出来ない。さらに、1つの質問結果から1つのソシオグラムを生成するため、質問数が増えるにつれて分析対象であるソシオグラムが増えていくので、分析者の負担が非常に大きな分析手法である。さらに、ソシオメトリー分析においては、ソシオグラムをどのように分析するかは一意ではない。理由は、例えば分析者がその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からである。そのため、分析を試行錯誤で行うしかない場合が生じるという問題がある。しかし、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行われていない。

山下等の分析手法では、分割樹形図を基に友好関係を分析しているが、分析対象は同一類似度レベルに属するノード(個人)を対象としており、クラスター間や異なる類似度に属するクラスターやノード間での友好関係は不明瞭である。さらに、山下等は定量的にオピニオンリーダーや孤立者など様々な分析指標についてバッチ的解析を行っている。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十分に満足な分析ができない。さらに分析システムでのヒューマンインタフェースでは、佐藤、土田等の研究[22]では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あった。

これらの問題に対して、近年スマートフォンなどの普及に伴い急速に広まっているタッチインタフェースを用いた分析システムが有望な解決策の1つとして考えることができる。タッチインタフェースでは、表示画面の拡大は指を左右に広げるようなジェスチャーで操作できるなど、人間の直感に近い操作が可能である。このような特徴から、コンピュータにあまり詳しくない高齢者から子供まで容易に操作できるといわれている[23]。

本研究では、以上に述べた背景を基にして、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の提案を行い、既存のファジィモデルを拡張することを目的とする。さらに、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として分析ソフトウェアとして実装し、実装した分析ソフトウェアを用いた事例分析を行い、提案した分析手法の妥当性および有効性を検証する。

本論文は9章から構成され、次章以降の各章の内容は、次のようになっている。第2章では、準備として分析対象となる社会ネットワークの定義、社会ネットワークの分析手法としてソシオメトリー分析と観察法、面接法による分析手法および既存の分析手法におけ

る問題点について述べる。第3章では、探索的分析手法および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述べる。さらにタッチインタフェースの特徴やハードウェアによる分類を基に、探索的分析手法に適したインタフェースに関する考察についても述べる。第4章では、基礎となるファジィ理論およびファジィ理論を応用した定量分析が可能な人間関係のファジィモデルについて述べる。第5章では、様々な社会ネットワークに関する分析指標について述べる。さらに、本研究で新たに提案したクラスター間における影響力の強さを分析する手法および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述べる。第6章では、ファジィグラフの自動描画に関するアルゴリズムについて述べる。さらに、アルゴリズムの描画条件とその時間計算量についても述べる。第7章では、人間関係分析に必要な分割樹形図を作成するソフトウェアと作成した分割樹形図を基に人間関係の分析手法やファジィグラフの描画アルゴリズムを実装した分析ソフトウェアの2つについて述べる。第8章では、住田正樹の行った質問調査の結果を用いて、本研究で提案した分析手法を用いて分析した結果について述べる。さらに、分析手法の有効性と妥当性について住田正樹の分析結果と比較検証を行う。また、実装したタッチインタフェースについて、時間計算量に基づいた操作性の評価を行う。第9章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第 2 章

社会ネットワーク分析

人間関係の分析手法については，これまでに様々な研究が行われてきた．本章では，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る．

2.1 社会ネットワーク

2.1.1 グラフの定義

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説明する．

グラフはノードとそのノード間を結ぶ辺で構成される図であり，数学的には以下のように定義される [24]．

定義 2.1.1. グラフ $G = (V, E)$, $V = \{v_i\}$ はノードの非空な有限集合であり， $E = \{v_i, v_j\}$ はノード v_i と v_j を結ぶ辺の非順序対からなる有限な族．

グラフは同じノードを結ぶ辺 (ループ辺)，任意の 2 点を結ぶ辺が複数存在する (多重辺) グラフである．グラフのうちループ辺，多重辺を含まないグラフを単純グラフと呼ぶ．

定義 2.1.2. 単純グラフ $G = (V, E)$, $V = \{v_i\}$ はノードの非空な有限集合であり, $E = \{v_i, v_j\}$ はノード v_i と v_j を結ぶ辺の有限集合.

図 2.1 にグラフと単純グラフの例を示す.

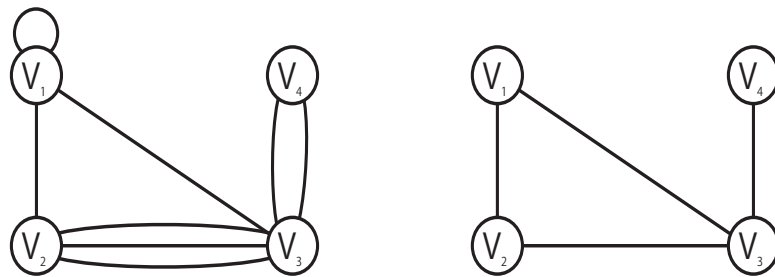


図 2.1 グラフ (左側) と単純グラフ (右側) の例

グラフにおいて, 閉路を含まないグラフを林, 連結な林を木と定義する. 定義により, 木および林は単純グラフであり, 以下の性質を持つ.

定理 2.1.1. グラフ T にノードが n 個あるとき, 次の命題は同値である.

1. T は木である.
2. T に閉路はなく, 辺が $n - 1$ 本ある.
3. T は連結であり, 辺が $n - 1$ 本ある.
4. T は連結であって, 全ての辺は橋である.
5. T は任意の 2 点を結ぶ道はちょうど 1 本である.
6. T に閉路はないが, 新しい辺をどのように付け加えても閉路ができ, しかも 1 個の閉路ができる.

図 2.2 に 3 つの非連結グラフからなる林の例を, 図 2.3 に木の例を示す.

また, グラフにおいて辺が「方向」を持つものを有向グラフと呼び, 以下のように定義される.

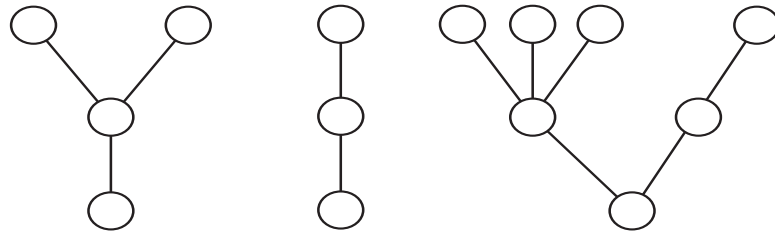


図 2.2 林の例

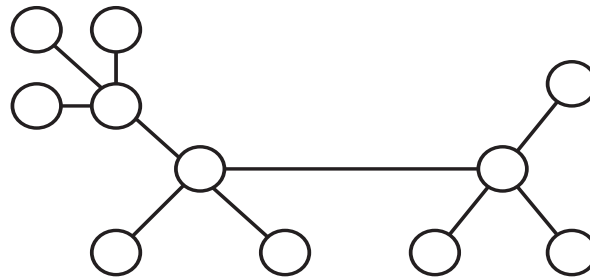


図 2.3 木の例

定義 2.1.3. 有向グラフ $D = (V, A)$, $V = \{v_i\}$ はノードの非空有限集合,
 $A = \{v_i, v_j\}$ は弧 (アーク) の順序対からなる有限族.

2.1.2 社会ネットワークの定義

社会ネットワークは、個人や組織、国家などをノードとして表現したグラフである。ノード間の関係 (紐帯) は分析者が何を分析するかによって変わってくる。例えば、人類学者は、血族関係、友人関係、人々の贈物の贈与関係などの研究をしており、このような関係を持たせることが多い。政治学者であれば、人々、組織、国家間の権力関係などを用いることが多い。

社会ネットワークと一般グラフの違いは以下のように定義される [1].

定義 2.1.4. 社会ネットワークは，グラフとそのグラフのノードや辺 (有向グラフの場合はアーク) に付与された追加的な情報とで構成される。

社会ネットワーク分析とは，社会ネットワークにおけるノード間の関係の決定要因，構造，および結果を理解するために，人々，グループ，組織などの関係およびフローのマッピングと測定をすることである．構造は，人，団体，あるいは組織であり，社会的エンティティ間の関係のパターニングにおける規則性から導かれる．

ネットワークの構造は紐帯のパターンで決定されるが，付与的な情報はその構造に無関係である．

2.2 ソシオメトリー分析

ソシオメトリー分析とは，モレノによって表や図を用いて人間関係のグループ構造の計測や評価の手法として提案された測定法である [5]．ソシオメトリー分析は，様々な研究で幅広く使用されている分析手法である [1, 25, 26]．ソシオメトリーは，ギリシア語で集団あるいは社会を意味する「socius」と測定を意味する「metrum」を語源とする言葉である．人間社会は，相互に関係のあるグループから構成されており，グループは，個人と個人の間の社会的，経済的，文化的紐帯で構成されている．ソシオメトリー分析では，社会の全体構成等ではなく小さなグループの構造研究に主眼を置いている．例えば，教室や職場などでの構造分析を主とするもので，国や地域などは分析の主目標とはしていない．

ソシオメトリー分析では，まず初めにソシオメトリックテストと呼ばれる質問調査を行う．被験者に，“あなたは誰を友達 (もしくは，同僚，アドバイザーなど) として選びますか” といった質問をして得られた結果を用いる．

質問結果のデータをグラフで表現した図をソシオグラムと呼ぶ．ソシオグラムでは個人をノード，選択関係を有向辺で表現する．図 2.4 にソシオグラムの一例を示す [1]．これは，夕食の同席者として好ましい相手を選択してもらい，1 番目と 2 番目に選択された人の関係を表したものである．実線が 1 番目に，点線が 2 番目に選択された人を表している．ソシオグラムの結合構造は，コミュニケーション構造と酷似している．しかし，ソシ

The graph consists of 26 nodes labeled 1 through 26. The edges are as follows:

- Cycle of length 10 (solid edges):** 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 1.
- Other solid edges:**
 - 2 → 3
 - 3 → 4
 - 4 → 8
 - 5 → 9
 - 6 → 7
 - 7 → 12
 - 8 → 13
 - 9 → 16
 - 10 → 17
 - 11 → 14
 - 12 → 17
 - 13 → 17
 - 14 → 20
 - 15 → 21
 - 16 → 17
 - 17 → 21
 - 18 → 19
 - 19 → 20
 - 20 → 26
 - 21 → 22
 - 22 → 25
 - 23 → 25
 - 24 → 25
 - 25 → 24
 - 26 → 24
- Dashed edges:**
 - 1 → 5
 - 2 → 3
 - 3 → 4
 - 4 → 8
 - 5 → 9
 - 6 → 7
 - 7 → 12
 - 8 → 13
 - 9 → 16
 - 10 → 17
 - 11 → 14
 - 12 → 17
 - 13 → 17
 - 14 → 20
 - 15 → 21
 - 16 → 17
 - 17 → 21
 - 18 → 19
 - 19 → 20
 - 20 → 26
 - 21 → 22
 - 22 → 25
 - 23 → 25
 - 24 → 25
 - 25 → 24
 - 26 → 24

図 2.4 のソシオグラムから、様々なグループの状態が見て取れる。一般的なソシオグラムには、図 2.5 に示すような構造がある。相互選択は、お互いが仲の良い人として選択をしているということである。図 2.4 では、①と②、⑤と⑨などが相互選択構造である。孤立者は、誰からも選択されない人である。その人に興味がないという場合においても選択されない。そのため、選択されないということは、“嫌われている”と等価ではないことに注意が必要である。スターは、他の被験者からの選択が集中する構造である。図 2.4 では、⑦などがスター構造である。環状型は、お互い嫌いまたは興味がないという 2 人を別の誰かを經由してつながりを持つ構造である。このような構造があることで、集団が分裂してしまう事態を避けることができると考えられている。

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 [6]。観察法ではグループの活動のある程度の期間観察を行い、外部からの直接的な観察によってグ

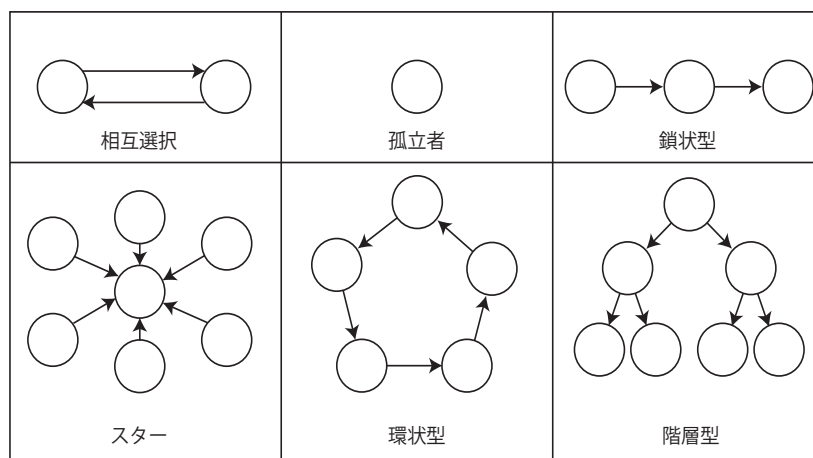


図 2.5 ソシオグラムの構造

ループの存在を確認する。次に、各メンバーに対して面接を行いグループの構成メンバーとしての自己認知と所属意識を尋ね、また他のグループ構成員をあげさせ、他の構成員に対する知覚と認知を確認することで仲間グループのメンバーシップの境界を明確化する。

以上により、グループの境界を明確化した上で、さらに以下に示すような仲間グループの内部構造を分析する。

- グループの成立の契機や時期
- グループの目的
- グループ加入の契機
- 他のメンバーへの情緒的關係

2.4 既存の分析手法の問題点

ソシオメトリー分析では、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。しかし、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をしたり、あるいは、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。その一方で、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。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か月の時間がかかっている [6]。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。また、このような観察法および面接法による分析では、社会学の専門家など、高度な知識を有した者でなければ分析は困難である。その他では、動画像処理による対人関係の抽出手法の研究がある [27]。この方法では、撮影する場所や機材をあらかじめ準備する必要がある、撮影されているという心理状態が行動に影響を与えることを考慮に入れなければならない。

一方で、山下等の人間関係のファジィモデルでは、ソシオメトリー分析と同様に簡易な質問から分析が可能である。また、定量的に分析を行っているため、社会学などの高度な専門知識がない人でも分析可能であるという利点がある。

以上の各分析手法の特徴をまとめたものを表 2.1 に示す。

表 2.1 既存分析手法の特徴

分析手法	ソシオメトリー分析	観察法と面接法	人間関係のファジィモデル
容易さ	質問調査だけで分析可能	観察及び面接に期間が必要	質問調査だけで分析可能
グループの把握	クラスタリングのモデルが未定	クラスタリングのモデルが未定	クラスタリングのモデル化がされている
双方向の関係性	明確に定義されていない	明確に定義されていない	定義されており定量的に分析可能
分析手順	質問数に応じた数のソシオグラムを総合的に分析	質問数に応じた数のソシオグラムおよび観察、面接の結果を総合的に判断	複数のソシオグラムを1つのファジィグラフに集約し定量的に分析

本研究では、容易に分析可能で双方向の関係性が明瞭化でき、かつ、高度な専門知識がなくても定量的な分析が可能な人間関係のファジィモデルを分析手法の基盤として採用する。

本研究では人間関係のファジィモデルに対して、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の提案を行うことで、既存のファジィモデルを拡張して、簡易でかつ短時間で人間関係の分析が可能な方法の確立を目指す。さらに、タッチインタフェースを用いた分析ソフトウェアへ実装することにより探索的分析 (対話的操作) が可能なソフトウェアを構築する。

第 3 章

タッチインタフェース

入力用インタフェースにはキーボードやマウスなど様々な機器が使用されている。本研究で探索的分析手法，および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する。

3.1 タッチインタフェースの分類

入力用インタフェースとしては様々な機器が用いられている。よく使われている入力機器としてキーボードやマウスなどが挙げられる。さらに，近年のスマートフォンの普及などにより，タッチインタフェースを利用する機器も増加している。タッチインタフェースは，ハードウェアや操作方法によっていくつかの種類に分類される [23]。

ハードウェアによる分類では，以下の 2 種類に大別される。

- 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

例えば，ノートパソコンのタッチパッドや外付けペンタブレットは，タッチする場所と表示される場所が異なる機器である (図 3.1 参照)。それに対して，スマートフォンやタブレット PC などはタッチと表示の場所が同じ機器の代表例である (図 3.2 参照)。

さらに，ハードウェア以外の分類として，操作方法によって分類することができる。操作方法における分類では，タッチ部分を 1 点のみ認識する方式 (シングルタッチ)，2 点以上を同時に認識する方式 (マルチタッチ) の 2 種類に分類される。どちらの操作方法を採

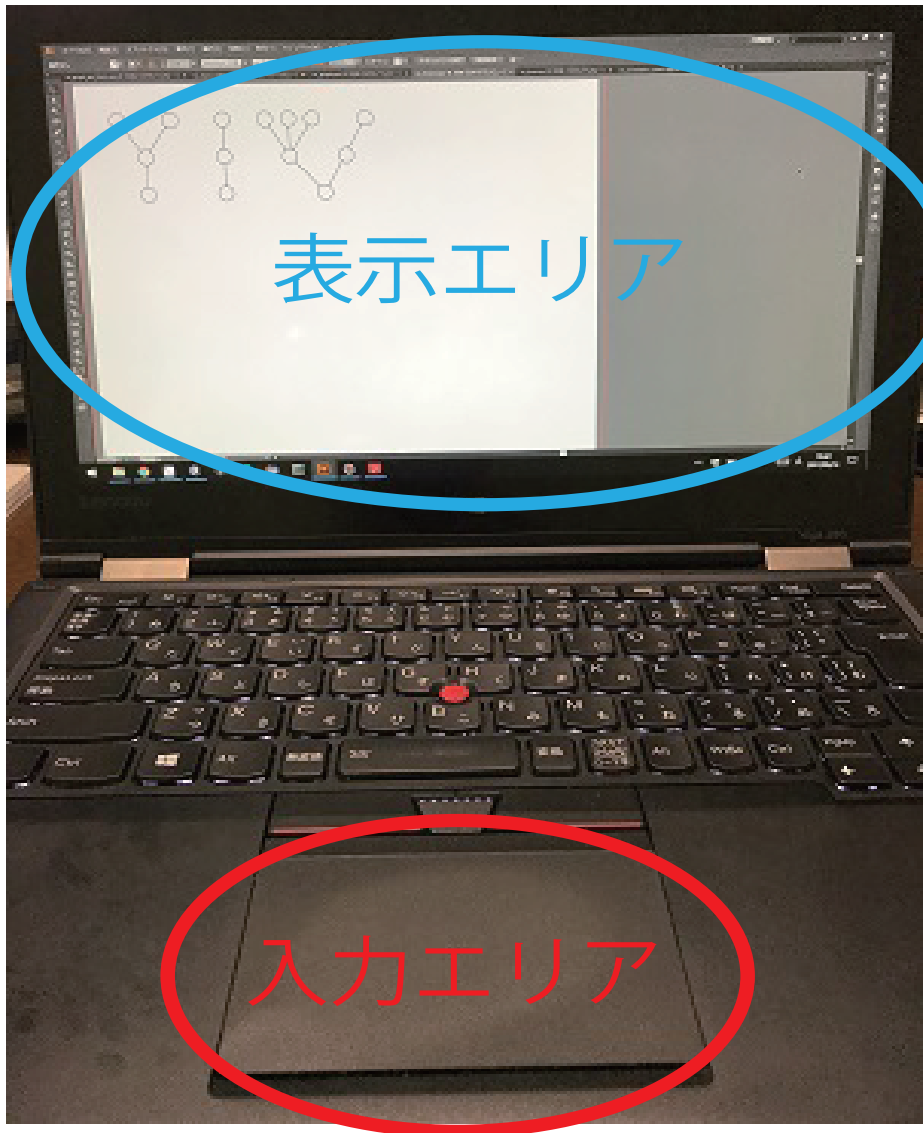


図 3.1 タッチパッド方式の入力機器の例

用するかは、タッチインタフェースを用いてどのような操作を実現したいかによって異なる。例えば、駅の券売機における操作を考えると以下ようになる。通常券売機で切符を購入する場合、1種類の切符を購入するのが一般的である。そのためマルチタッチ方式を採用した場合、複数の切符の購入ボタンを同時に認識してしまい、余分な切符を購入してしまうなどの問題が発生する。よって、このような場合はシングルタッチ方式の方が望ましいと考えられる。一方、パソコンのアプリケーションの場合は以下ようになる。図形の編集操作などでは、マルチタッチ方式の方が良いと考えられる。その理由として、図形

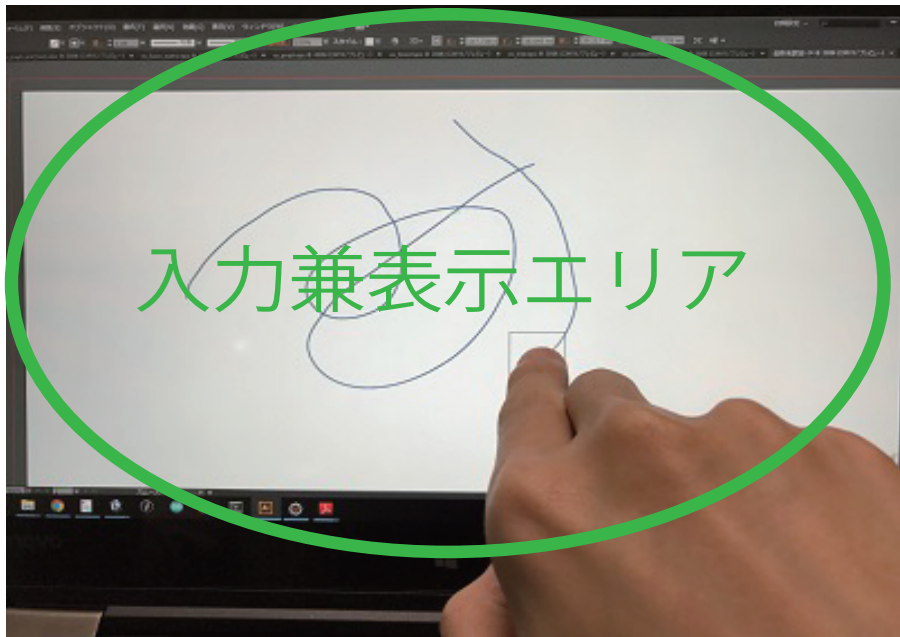


図 3.2 タッチスクリーン方式の入力機器の例

の回転操作の場合，シングルタッチでは

1. メニューの選択
2. 図形の選択（タッチ）
3. 図形の回転（ドラッグ）

という操作を繰り返し行っていく必要がある．それに対して，マルチタッチでは同様の操作を，対象とする図形を2本の指でタッチし回転操作を行うことで実現可能であり，目的に対する自然な動作に近いなどの利点がある．

以上のように，“ハードウェアによる分類(2種類)”×“操作方法による分類(2種類)”の計4種類に分類され，各々に適したものを選択することが望ましい．

3.2 タッチインタフェースの特徴

タッチインタフェースの特徴は，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である．スマートフォンなどで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）ことで画面を拡大することができる（図 3.3）．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) ことで画面を縮小可能である。画面を拡大するという操作が、指を広げる操作と結びつけることで直感に近い操作を実現している。これらの特徴は、操作する機器やインタフェースについてあまり詳しくない人、例えば高齢者や子供などでも扱いやすいと考えられる。

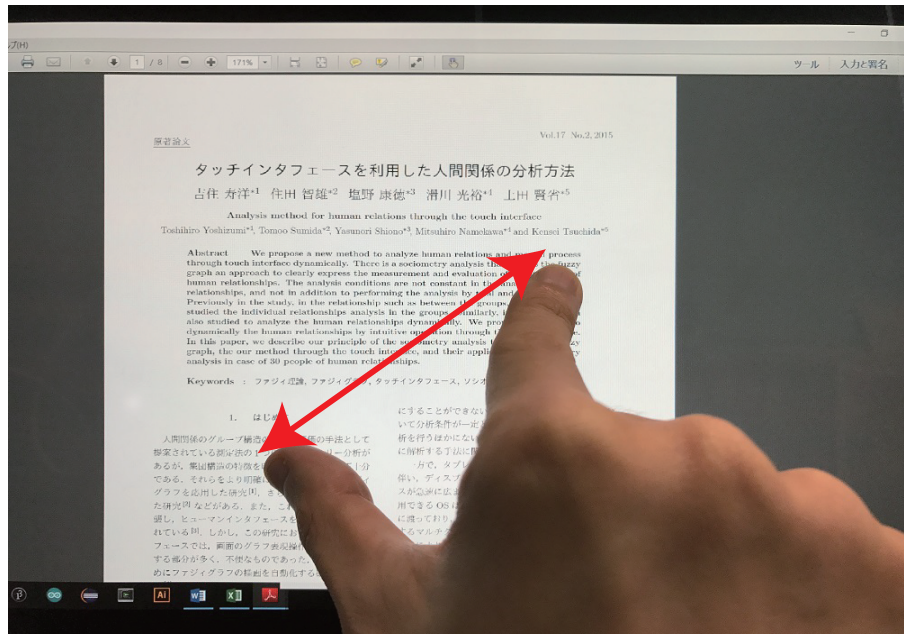


図 3.3 ピンチアウトの操作

一方で、タッチインタフェースでは文字入力を行う場合、タッチした時のフィードバックが無い場合ミスタッチに気づきにくいというデメリットもある。そのため、文字入力では既存のキーボード入力の方が効率が良いと考えられるなど、目的に応じたインタフェースを選択することが必要である。

3.3 インタフェースの選定

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する。

既存のソシオメトリ分析ではパソコンのマウス操作で各種操作を行っているが、分析メニューやグループまたは個人の選択が主な操作である。分析対象の選択には少なくとも2つ以上の対象を選択する必要がある。試行錯誤的 (探索的) な分析を行う場合、似たよう

な操作を繰り返し行う必要があり、操作回数が少なくなるようなインタフェースが望まれる。タッチインタフェースにおけるマルチタッチ方式では、複数点を同時認識することが可能であるため、分析の際に個人やグループを同時選択することで操作回数を減らすことが出来ると考えられる。しかし、タッチインタフェースにおけるタッチパッド方式では視認した場所とは異なる場所をタッチすることが必要である。これは、PC 初心者には難しい操作であり、操作方法や手の動きを意識する必要が無いタッチスクリーン方式の方がより適していると考えられる。

また、グラフ構造を分析する際、可視性の向上のために複数のノードを1つのクラスターに集約することがあるが、タッチ操作であれば集約の操作を容易にすることが可能である。例えばタッチインタフェースでは、ピンチインの1操作だけで集約範囲の指定や集約操作の実行までを行うことが可能である。これを既存のマウス操作で考えた場合、メニューから集約の機能を選択、範囲の指定を同時に行うことが出来ないため少なくとも2回以上の操作が必要となる。その他にも、複数のクラスターまたはノード間の関係性を分析する際、既存のマウス操作の場合は、

1. 分析メニューを選択,
2. 1個目の分析対象を選択,
3. 2個目の分析対象を選択,

となり、合計3回の操作で分析可能である。それに対して、マルチタッチ方式のタッチインタフェースによる操作の場合は、

1. 分析メニューを選択,
2. 2個の分析対象を同時選択,

となり、合計2回の操作で分析可能である。多くのマルチタッチ方式を備えた機器の多くは10点まで同時認識が可能である。そのため、10個のクラスターまたはノード間の関係分析の場合、既存のマウス操作では合計11回の操作が必要なのに対して、マルチタッチ方式のタッチインタフェースの場合、合計2回の操作で分析が可能である。この理由から、グラフ構造の分析とタッチインタフェースの親和性は高いと考えられる。

以上のことから、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.

第 4 章

人間関係分析のファジィモデル

本章では，定量分析が可能な人間関係のファジィモデルについて説明する．また，本モデルの基礎となるファジィ理論について概説する．

4.1 ファジィ理論

ファジィ理論は「あいまい理論」とも呼ばれ，1965 年に L.A.Zadeh により確立された理論である．ファジィ理論とはこれまで数学であまり扱われてこなかった曖昧さを厳密に扱えるようにした理論である．ファジィ理論は人間の判断や行動に関する曖昧さを有する情報を定量的に分析することができる．

4.1.1 ファジィ集合

集合とは明確に定義されたものの集まりであり，同じ集合は共通の性質を持っている．そのため，その集合とそれ以外との区別を明確にできる．

しかし，現実の社会では，全てが明確に表されるとは限らない．日常生活での会話で用いる用語には不確定なものが多い．例えば，” 早朝”，” 少し寒い” などの表現はあいまいな表現である．

あいまいな表現が用いられているにもかかわらず，それに基づいて人々はうまく行動することができる．それは，不明確であっても人間行動の基準として役立っているということである．

不明確な表現で述べられた物の集合は、一般的な集合と同等に扱うことはできない。そのため、人間社会の様々な現象を対象とするためには、不明確な集合を考える必要がある。そこでファジィ集合の概念が導入された。

ファジィ集合は、個々の要素が集合に属するか属さないかを明確に規定していない。ファジィ集合では、個々の要素がその集合に属する度合いを設定する。集合に属する度合いは各要素ごとに異なったものであり、その度合いを個々の要素の関数として表現する。この関数をメンバーシップ関数と呼び、その集合に属する度合いを帰属度と呼ぶ [28, 29]。

定義 4.1.1. 全体集合 X は通常の場合で、ファジィ集合ではないとする。 X におけるファジィ集合を A とするとき、ファジィ集合 A のメンバーシップ関数 μ_A は $[0, 1]$ に値をとる X 上の関数として次のように定義される。

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1] \quad (4.1)$$

定義 4.1.2. ファジィ集合 A のメンバーシップ関数 $\mu_A(x)$ の値が正である x の集合の閉包をファジィ集合 A の台集合 (*support*) といい、 $\text{supp}\mu_A$ と表す。ただし、集合 K の閉包 $C(K)$ とは元の集合にその境界点を加えたものである。

$$\text{supp}\mu_A = C(x \in X \mid \mu_A(x) > 0) \quad (4.2)$$

ファジィ集合のメンバーシップ関数が 0 と 1 の値しかとらないものをクリスプ集合と呼ぶ。クリスプ集合のメンバーシップ関数を特性関数という。

4.1.2 ファジィ集合の演算

ファジィ集合の基本的な演算は、通常の場合に準ずる。メンバーシップ関数の関係式として次のように定義される [10, 28]。

定義 4.1.3.

1. 相当 : $A = B, \mu_A(x) = \mu_B(x)$
2. 部分集合 : $A \subseteq B, \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$
3. 和集合 : $A \cup B, \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$
4. 共通集合 : $A \cap B, \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$
5. 補集合 : $\bar{A}, \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
6. 代数積 : $AB, \mu_{AB}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x)$
7. 代数和 : $A \dot{+} B, \mu_{A \dot{+} B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
8. 限界積 : $A \odot B, \mu_{A \odot B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$
9. 限界和 : $A \oplus B, \mu_{A \oplus B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$
10. 限界差 : $A \ominus B, \mu_{A \ominus B}(x) = \min\{0, \mu_A(x) - \mu_B(x)\}$

4.1.3 ファジィ行列

有限集合 X と Y であれば, $X \times Y$ におけるファジィ関係 R は普通の意味の行列で表現することが可能である. ファジィ関係 R を行列で表現したものをファジィ行列と呼ぶ. ファジィ関係 R において, 要素 $\mu_R(x, y)$ を持つファジィ行列 F は以下のように定義できる [28].

定義 4.1.4.

$$F = (f_{ij}), f_{ij} = \mu_R(x_i, y_j), (x_i, y_j) \in X \times Y \quad (4.3)$$

ここで, $0 \leq \mu_R(x_i, y_j) \leq 1, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ であることから, ファジィ行列の要素は全て区間 $[0, 1]$ の値をとる.

4.1.4 ファジィグラフ

一般的なグラフでは，グラフの辺に 1(関係がある)，0(関係がない) を対応させている．これに対して，グラフの辺が持つ値 (すなわち値域) が区間 $[0, 1]$ にある場合，ファジィグラフと呼ぶ．

ファジィ行列はファジィグラフによって表現される．ファジィ行列 F の要素 f_{ij} をノード v_i とノード v_j を結ぶ辺に関連度 $\mu_R(v_i, v_j)$ を対応させることで，ファジィグラフが図示される．ファジィグラフ G はノード集合 V とその関係の度合いの写像 F を用いて以下のように定義される [10]．

定義 4.1.5.

$$G = G(V, F), V = \{v_i\}, F = (\mu_R(v_i, v_j)) \quad (4.4)$$

ファジィグラフの例を図 4.1 に示す．

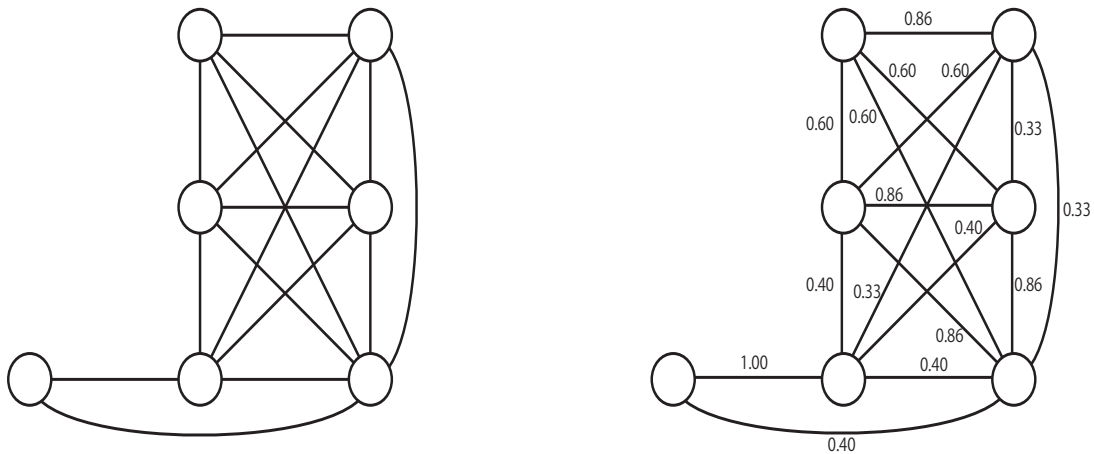


図 4.1 グラフ (左側) とファジィグラフ (右側) の例

4.1.5 ファジィ関係の性質

直積 $X \times X$ のファジィ関係について、基本的な4つの性質は以下のように定義される [10].

定義 4.1.6.

1. 反射的 : $\mu_R(x, x) = 1, \forall x \in X$
2. 対称的 : $\mu_R(x, y) = \mu_R(y, x)$
3. 反対称的 : $\mu_R(x, y) > 0, \mu_R(y, x) > 0 \Rightarrow x = y$
4. 推移的 : $\mu_R(x, z) \geq \max_y \min\{\mu_R(x, y), \mu_R(y, z)\}$

ファジィ関係が反射的かつ対称的であるとき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.

一般に $F^n = F \times F \times \dots \times F$ を $n \times n$ のファジィ行列 F の可達行列という.

定義 4.1.7. R をファジィ行列 F によって表されるファジィ関係, R^k をファジィ行列 F^k によって表されるファジィ関係としたとき, $n \times n$ のファジィ行列 F とそのファジィ関係 R に対して

$$\hat{R} = \bigcup_{k=1}^n R^k \quad (4.5)$$

を R の推移包という

推移包 \hat{R} のファジィ行列の各要素 f_{ij} は, ノード x_i から x_j への全ての経路の関連度の最大値を示す.

4.1.6 ファジィ関係の演算

ファジィ集合と同様にファジィ関係とそのメンバーシップ関数において以下の演算が成り立つ [10, 28].

定義 4.1.8.

1. 部分集合 : $R \subseteq S, \mu_R(x, y) \leq \mu_S(x, y), \forall (x, y) \in X \times Y$
2. 共通集合 : $R \cap S, \mu_{R \cap S}(x, z) = \min\{\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)\}$
3. 和集合 : $R \cup S, \mu_{R \cup S}(x, z) = \max\{\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)\}$
4. 補関係 : $\bar{R}, \mu_{\bar{R}}(x, z) = 1 - \mu_R(x, z)$
5. 逆ファジィ集合 : $R^{-1}, \mu_{R^{-1}}(x, y) = \mu_R(y, x)$
6. 代数積 : $RS, \mu_{RS}(x, y) = \mu_R(x, y)\mu_S(x, y)$
7. 代数和 : $R \dot{+} S, \mu_{R \dot{+} S}(x, y) = \mu_R(x, y) + \mu_S(x, y) - \mu_R(x, y)\mu_S(x, y)$
8. 限界積 : $R \odot S, \mu_{R \odot S}(x, y) = \max\{0, \mu_R(x, y) + \mu_S(x, y) - 1\}$
9. 限界和 : $R \oplus S, \mu_{R \oplus S}(x, y) = \min\{1, \mu_R(x, y) + \mu_S(x, y)\}$

4.1.7 ファジィ関係の合成

3つの集合 X, Y, Z , X と Y のファジィ関係 R , Y と Z のファジィ関係 S があるとき, X と Z の関係に対してマックスミニ合成が成立する. R と S のマックスミニ合成は, $X \times Z$ におけるファジィ関係 $R \circ S$ となり以下の式で定義される [10].

定義 4.1.9.

$$R \circ S, \mu_{R \circ S}(x, z) = \max_y \min\{\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)\} \quad (4.6)$$

4.2 ファジィグラフモデル

ソシオメトリー分析では、1つの質問に対して誰が誰を選んだのかを1つのソシオグラムで表現する。質問が複数ある場合には、質問数に応じた数のソシオグラムが得られる。分析者は、得られた複数のソシオグラムを見て様々な分析を行う。

山下等の研究である、ファジィグラフモデルを用いた人間関係分析では、簡単な質問表から得られた回答からファジィモデルを構築し、ファジィクラスタリング、ファジィ類似度を適用する [8, 9, 10]。これにより、得られた複数のソシオグラムから分析者が個別に構造を抽出した上で、総合的に分析していたが、質問から得られた回答を1つのファジィ行列に変換し1つのファジィグラフで表現することで、分析者の負担を減らし、より簡易に分析結果が得ることができる。さらに、ソシオグラムでは誰が誰を選んだという一方向の関係性を表現しているが、ファジィグラフモデルによる分析では、一方向の関係性を合成し、両方向の関係性も明確化した。

本節で用いる用語は山下等の著書 [10] に準ずる。

4.2.1 応答原表と応答行列

M 個の質問を L 人の学生に「一緒に活動 $A_p(1 \leq p \leq M)$ をしたい友達 N 人 ($1 \leq N \leq L$) を順番に書きなさい」と質問することで応答原表を得られる。得られた応答原表を分析することで応答行列 $K^{(p)} = \left(k_{ij}^{(p)}\right)$ が得られる。 $k_{ij}^{(p)}$ の値 k はメンバー S_i が別のメンバー S_j から選ばれた順位を表す値である。ただし、 $k = n - m$ 、各活動ごとに $m = (\text{number of order}) - 1$ とし、 n は以下のように定義する。

定義 4.2.1.

$$n = \left\lceil \frac{\sum n_i}{ML} + 0.5 \right\rceil \quad (4.7)$$

n_i は M 個の活動における S_i が選択した仲の良いメンバーの人数の合計値であり、 $\lceil \cdot \rceil$ はガウス記号である。

以下に質問表の例を示す.

- 一緒に活動したいと思う友達 N 人を順番に書きなさい.
- (Q1) 勉強したいと思う人
- (Q2) ご飯を食べたいと思う人
- (Q3) クラブ活動をしたいと思う人
- (Q4) ボランティア活動をしたいと思う人

4.2.2 評定行列

応答行列 $K^{(p)} = (k_{ij}^{(p)})$ を分析し, メンバー S_i の S_j に対する評定値 r_{ij} を求める. 評定行列 $R = (r_{ij})$ は以下のように定義できる.

定義 4.2.2.

$$r_{ij} = \sum_p (n - k_{ij}^{(p)} + 1) \quad (4.8)$$

4.2.3 ファジィ行列とファジィグラフ

評価行列 $R = (r_{ij})$ を分析することで, グループ間のメンバーの友好と選好のファジィネスを定義することができる. $f_{ij} = r_{ij}/nM$ とすると, f_{ij} はメンバー S_i がメンバー S_j を好んでいるというファジィ行列ができる. ファジィ行列 $F = (f_{ij})$, $0 \leq f_{ij} \leq 1$ であり, $i = j$ ならば $f_{ij} = 1$ となる.

一方でグラフは数学的に $G = (V, F)$ と定義されている. $V = \{v_i\}$ はノード集合, $F = (f_{ij})$ は関係行列であり, f_{ij} は v_i と v_j を結ぶ辺の値である. 一般的なグラフでは f_{ij} は 0 と 1 しか値をとらない. その値が 0 から 1 の間であるようなグラフがファジィグラフである. ファジィ行列とファジィグラフは同等のものである. 図 4.2 にファジィ行列の例を示す. 図 4.2 のファジィ行列をファジィグラフで表したのが図 4.3 である. このように, グループ内のメンバー間の関係を表現するためのファジィモデルを構築することが

できる.

1.00	0.75	0.00	0.75	0.00	0.00	0.50
0.50	1.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.50
0.00	0.00	1.00	0.75	0.00	1.00	0.25
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.25	0.50
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
0.75	0.00	0.00	0.75	0.25	0.25	1.00

図 4.2 ファジィ行列の例

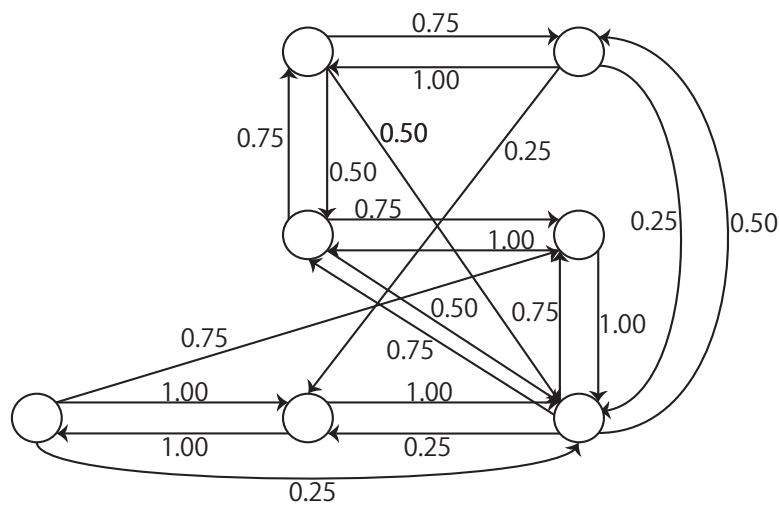


図 4.3 ファジィグラフの例

4.2.4 対称友好行列と分割樹形図

ファジィ行列 $F = (f_{ij})$ を分析することで, 任意の 2 人のメンバーの相互の仲の良さを表すファジィ友好係数を得ることが出来る.

定義 4.2.3. ファジィ友好係数 s_{ij}

$$2/s_{ij} = 1/f_{ij} + 1/f_{ji} \quad (4.9)$$

対称友好行列 $S = (s_{ij})$, $0 \leq s_{ij} \leq 1$ であり, $f_{ij}f_{ji} = 0$ ならば $s_{ij} = 0$ となる. $s_{ij} = 1$ は, メンバー S_i と S_j は非常に仲が良いことを表し, $s_{ij} = 0$ はメンバー S_i と S_j は仲があまり良くないということを表している.

図 4.2 のファジィ行列を分析して得られた対称友好行列を図 4.4 に示す.

$$\begin{bmatrix} 1.00 & 0.60 & 0.00 & 0.86 & 0.00 & 0.00 & 0.60 \\ 0.60 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.86 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.86 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.86 \\ 0.00 & 0.86 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.33 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.40 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.86 & 0.33 & 0.40 & 1.00 \end{bmatrix}$$

図 4.4 対称友好行列

ファジィグラフのノードの類似構造を分析するために, 対称友好行列 $S = (s_{ij})$ とその推移閉包 $\widehat{S} = (\widehat{s_{ij}})$ を利用する. 以降, 計算した対称友好行列の推移閉包について c-カット行列を以下のように定義する.

定義 4.2.4.

$$S^c = (s_{ij}^c), s_{ij}^c = \begin{cases} 1, & \text{for } \widehat{s_{ij}} \geq c \\ 0, & \text{for } \widehat{s_{ij}} < c \end{cases} \quad (4.10)$$

c -カット行列 S^c の関係 R_c はノード間の関係の類似度を提供する。 S^c はファジィグラフのノードがクラスタリング表現された、レベル c により変遷する c -カット行列の分割樹形図を持っている。レベル c の値は、推移閉包の要素で定義されている。各レベル c は推移閉包の1つの要素で定義されている。以降、これを類似度レベル R_c 、または単にレベル c と呼ぶ。

ファジィ行列を利用し、推移閉包を解析することで図4.5のような分割樹形図(系統樹)を得ることができる。このように分割樹形図は、 \hat{S} , c -カット行列、クラスタリング状況とメンバー間の分枝過程を用いたクラスター分析により生成される。

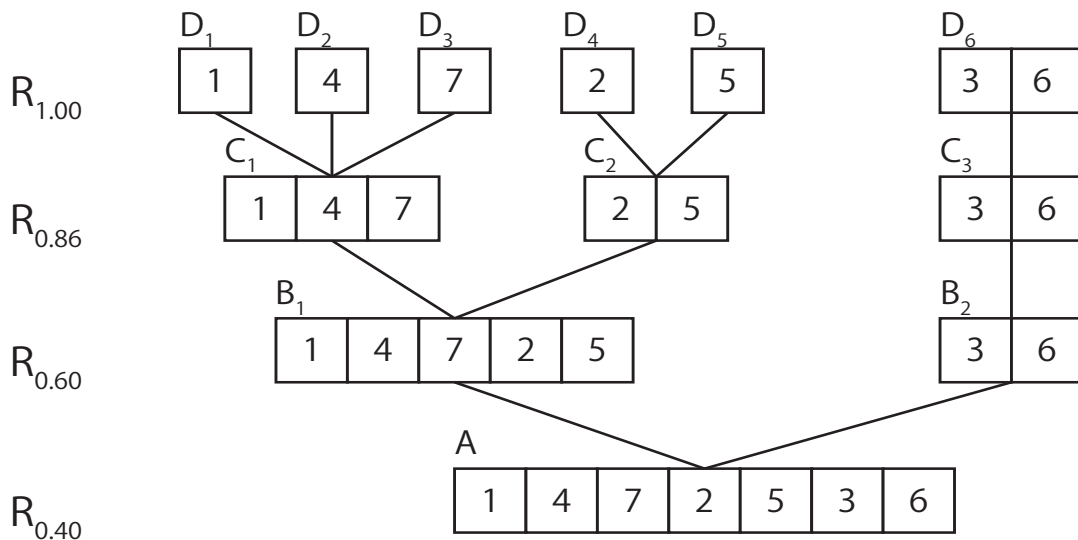


図 4.5 分割樹形図

4.2.5 クラスター分析

データをグループ化する過程は、データの要素に対して定義された類似性尺度に基づいている [30]。ファジィグラフ理論もクラスター分析に使用されている [31]。本節では、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説明する。

図4.5の分割樹形図の場合、類似度レベルに応じて次のようなクラスター間の関係を得ることができる。

(a) $A = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$

(b) $B_1 = (1, 4, 7, 2, 5), B_2 = (3, 6)$

上記の関係を分析することでクラスター A, B_1, B_2 間の階層関係を把握することができる.

1. $A \supseteq B_1, B_2$

クラスター A はサブクラスター B_1, B_2 を含んでおり, サブクラスターはクラスターよりも高い類似度レベルを持つ.

2. $A = B_1 \cup B_2$

サブクラスター B_1 と B_2 を合わせたものがクラスター A と等しい.

3. $B_1 \cap B_2 = \phi$

サブクラスター B_1 と B_2 は排他的である.

第 5 章

人間関係の分析手法

既存の研究では，個人と個人の関係进行分析する手法が主に行われている．しかし，現実世界において人間はグループ行動を取っていることが一般的であり，調査対象の人々がどのようなグループを構成しているかを調査することは重要である．山下等の研究では，分割樹形図を用いて人々がどのようなグループであるかを明確にしている [8, 9, 10, 12, 13, 14]．しかし，グループの境界についてはこれまでの研究においても明確にされているが，これらのグループ同士またはグループと個人がどのような関係性を有しているかは明確にされていない [10, 6]．

このようなことから，本章では，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する．

5.1 ファジィ理論を応用した分析指標

グラフやネットワークを分析する指標には様々なものがある．本節では，人間関係の分析において最低限必要であると考えられる指標について示す [25, 32, 33, 34]．一部の分析指標については，ファジィグラフへ応用，拡張定義を行い新たな人間関係分析の指標として本研究で提案する．分析対象とするファジィグラフを $G = (V, S)$ と定義する． $V = \{v_i\}$ はノード集合， $S = (s_{ij})$ は対称友好行列であり， v_i と v_j を結ぶ辺である．

5.1.1 ファジィグラフ密度

関係性の親密さ、複雑さを表す指標である。既存指標では、リンク数を全てのノードが接続された場合のリンク数で割った値であり、以下の式で定義される [32]。

定義 5.1.1.

$$D = \frac{l}{|V|(|V| - 1)/2} \quad (5.1)$$

ここで、 l はグラフに存在する辺の数である。

一般的にグラフやネットワークの辺は 0(非接続) または 1(接続) で表される。しかし、ファジィグラフでは辺に帰属度がある。そのため、辺の帰属度を考慮したファジィ密度 FD を以下のように定義する。

定義 5.1.2.

$$FD = \frac{\sum_{v_i, v_j \in V} s_{ij}}{|V \times V|} \quad (5.2)$$

5.1.2 ノード間距離

特定の 2 つのノード間の距離を求める指標である。距離は最短、最長、全経路平均などの指標が挙げられる。また、辺の数を距離とする方法や辺の持つコストを計算するものがある。辺に値を持つ場合、最短経路はダイクストラ法や Thorup のアルゴリズム等で計算可能である。

ファジィグラフの場合、 $n \times n$ のファジィ行列 F の可達行列 $F^n = F \times F \times \dots \times F$ を求めることで到達可能なルートに関連度の最大値が計算可能である。

図 4.4 の対称友好行列から可達行列を計算した結果を図 5.1 に示す。

1.00	0.60	0.40	0.86	0.60	0.40	0.86
0.60	1.00	0.40	0.60	0.86	0.40	0.60
0.40	0.40	1.00	0.40	0.40	1.00	0.40
0.86	0.60	0.40	1.00	0.60	0.40	0.86
0.60	0.86	0.40	0.60	1.00	0.40	0.60
0.40	0.40	1.00	0.40	0.40	1.00	0.40
0.86	0.60	0.40	0.86	0.60	0.40	1.00

図 5.1 可達行列

5.1.3 ノード可達性

あるノードから別のノードへの到達可能な経路が存在するかを特定する．これにより人間関係においてグループに属さない孤立者 IS を以下の式で特定することが可能である．

定義 5.1.3.

$$IS = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_j^n s_{ij} \right\} \quad (5.3)$$

5.1.4 次数中心性

ノードに接続された辺の本数から中心性を測定し，最も多く他ノードとの関係性のあるノードを特定する．ファジィグラフ $G = (V, F)$, $v \in V$ としたとき，次数中心性 DC は以下の式で定義される．

定義 5.1.4.

$$DC = \max(d(v)) \quad (5.4)$$

5.1.5 関係中心性

ノードに接続された辺の友好係数からファジィグラフの中心性を測定し、影響力の強いノードを特定する指標である。対称友好行列 s_{ij} からは周囲から影響を最も多く受けるノード、ファジィ行列 f_{ij} からは周囲に対して影響を受ける度合いと与える度合いの総和が最大であるノードを特定する。関係中心性 OP は以下の式で定義される。

定義 5.1.5.

$$OP = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_j^n s_{ij} \right\} \quad (5.5)$$

さらに、 $G = (V, F)$ のファジィグラフを分析することで周囲へ最も影響を与えるノードを特定することも可能である。

定義 5.1.6.

$$OP = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_j^n f_{ij} \right\} \quad (5.6)$$

5.1.6 関係媒介中心性

関係媒介中心性 (RBC) では、2つのクラスター間で情報や影響の伝播があるときに、どのノードを媒介するのが良いかを特定する。関係媒介中心性では任意の2つのクラスター間において、あるクラスターの要素から別のクラスターに属する要素への辺の値の合

計値の最大値から求める．

定義 5.1.7.

$$\begin{aligned}
 &v_i \in CL_A, |CL_A| = m \\
 &v_j \in CL_B, |CL_B| = n \\
 &RBC = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ \sum_j^n s_{ij} \right\}
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

これにより，クラスターから別のクラスターへの経路において，関連度の最も高い経路およびそのときに媒介するノードを特定する．

関係媒介中心性を求める例を，図 5.2 を用いて説明する．

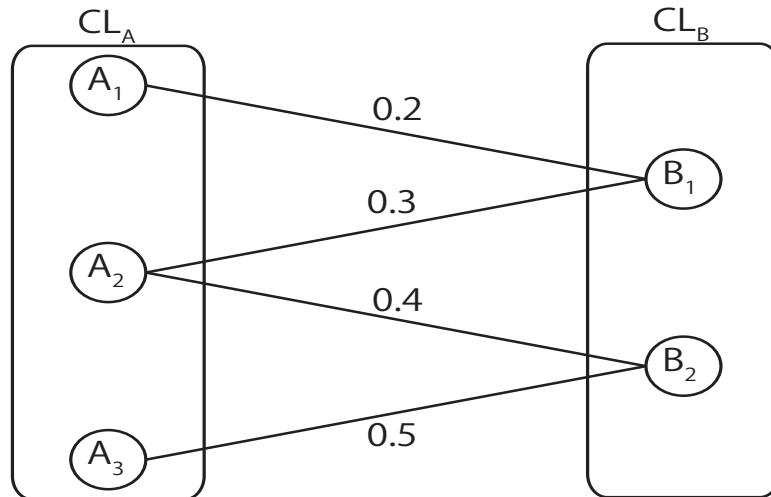


図 5.2 関係媒介中心性 RBC の例

クラスター CL_A からクラスター CL_B への関係媒介中心性を求めた場合，以下のようになる．

- $A_1 = 0.2$
- $A_2 = 0.3 + 0.4 = 0.7$
- $A_3 = 0.5$

よって，関係媒介中心性は 0.7 で，ノード A_2 を媒介することがクラスター CL_B へ最

も情報や影響の伝播を与えることができることが判る。

同様に、クラスター CL_B から CL_A への関係媒介中心性を求めた場合、以下のようになる。

- $B_1 = 0.2 + 0.3 = 0.5$
- $B_2 = 0.4 + 0.5 = 0.9$

よって、関係媒介中心性は 0.9 で、ノード B_2 を媒介することがクラスター CL_A へ最も情報や影響の伝播を与えることができることが判る。

任意のクラスターとノード間についても、ノードをクラスターサイズが 1 であるクラスターとみなすことにより、同様の式で求めることが可能である。

5.2 クラスター間関係分析

従来の研究では、どのようなグループが存在するかという点について主に研究が行われてきた。その結果、以下のことについては分析することが可能となっている。

- グループの境界
- グループに属する人数
- グループ内の個人間の関係性

しかし、これまでの分析手法は主に個人を分析対象としているものである。そのため、個人と個人の関係性は明確に分析されているが、グループと個人、またはグループ同士の関係性は明らかにされていない。

そこで、本研究ではファジィグラフにおいてグループを 1 つのノードとして置換する (以降クラスターノードと呼称) 方法を新たに導入する。このとき、クラスター CL_A の要素数 (サイズ) は、 $|CL_A| \geq 2$ である。そのため、ノードとクラスターノードの関係性を定義するためには、2 個以上存在するノードにおける関係性を 1 つに集約することが必要となる。2 つ以上の関係性を集約する方法には様々な方法がある。例えば、クラスターノードに属する全てのノードと分析対象のノード間の関係性の平均を求めるといった方法が考えられる。平均を基に集約する場合、任意のクラスターノード CL_A と CL_B 、各クラスターノードに属するノードペアの集合を C とするとき、この 2 つのクラスターノード

ドの関係性 CLR を以下のように定義する.

定義 5.2.1.

$$\begin{aligned}
 C &= CL_A \times CL_B : \\
 &\{(i, j) | i \in CL_A, j \in CL_B, CL_A \neq CL_B, s_{ij} > 0.0\} \\
 CLR &= \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{|CL_A|} \sum_{j=1}^{|CL_B|} s_{ij}}{|C|}, & \text{for } |C| > 0 \\ 0, & \text{for } |C| = 0 \end{cases} \quad (5.8)
 \end{aligned}$$

同様に, 任意のクラスターノード CL_A とノード j の関係性 CIR も以下のように定義する.

定義 5.2.2.

$$\begin{aligned}
 C &= CL_A \times j : \{(i, j) | i \in CL_A, s_{ij} > 0.0\} \\
 CIR &= \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{|CL_A|} s_{ij}}{|C|}, & \text{for } |C| > 0 \\ 0, & \text{for } |C| = 0 \end{cases} \quad (5.9)
 \end{aligned}$$

5.3 異なる類似度レベルに属するクラスター間分析

ファジィグラフを応用した人間関係分析では分割樹形図がよく用いられている. 分割樹形図において, ノードは類似度ごとにクラスタリングされている. これまでの分析手法では, 主に同一類似度レベルに属するノードの関係性分析であった. 分割樹形図の類似度レベルが変わると, クラスター構成も類似度レベルに合わせて変更される. クラスター同士の関係性を分析する際に, 一方のクラスターサイズが大きすぎる, または小さすぎることもある. そのため, 異なる類似度レベルに属する 2 つのクラスター同士を分析すること

で同等のクラスターサイズでの分析が可能となる．このような試みは本研究が初めてである．分析対象のクラスターを CL_{AR} , $CL_{BR'}$ ($CL_{AR} \cap CL_{BR'} = \phi$), クラスターの類似度レベルを R , R' としたとき, 2つのクラスターの関係は式 (2) で定義した数式と同等の数式で関係性を算出することが可能となる．よって, 異なる類似度レベルに属する2つのクラスター CL_{AR} と $CL_{BR'}$ の関係性 DCR を以下のように定義する．

定義 5.3.1.

$$C = CL_{AR} \times CL_{BR'} : \{(i, j) | i \in CL_{AR}, j \in CL_{BR'}, s_{ij} > 0.0\}$$

$$DCR = \begin{cases} \frac{\sum_{i \in CL_{AR}, j \in CL_{BR'}, CL_{AR} \cap CL_{BR'} = \phi} s_{ij}}{|C|} & \text{for } |C| > 0.0 \\ 0, & \text{for } |C| = 0.0 \end{cases} \quad (5.10)$$

第 6 章

ファジィグラフ描画アルゴリズム

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研究されてきた [35, 36, 37]. ファジィグラフの描画に関する研究も行われてきた [22, 38, 39, 40, 41].

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 [22, 38, 39] 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おり自動描画に関する機能は提供されていない. [40, 41] は, 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る.

本章では, これらの欠点を克服した, 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 [42] について説明する.

6.1 描画条件

はじめに, 2 つのクラスター間の距離について定義する. ファジィグラフ $G = (V, F)$, c -カット行列 $S^c = S_{ij}^c$ であるとき, 類似度 R_c のクラスターの集合およびノード v_i と v_j の位置を以下のように定義する.

定義 6.1.1.

$$CLSR_c = \{CL_1, \dots, CL_r, CL_s, \dots, CL_t\}$$

$$v'_a = v'_a(x_a, y_a) = v_i (1 \leq a \leq m)$$

$$v'_b = v'_b(x_b, y_b) = v_i (1 \leq b \leq n)$$

x_a, x_b はクラスターの 2 次元空間の x 座標である. 同様に y_a, y_b は 2 次元空間の y 座標である.

次に, 類似度レベルが 1 段階低い類似度 R_b の c-カット行列を $S^b = (s_{ij}^b)$ とすると, グラフ $G' = (V', S^b)$ が得られる. V' は V の部分集合であり, クラスタ CL_r, CL_s の和集合である.

このとき, 2 つのクラスター CL_r, CL_s 間の距離を以下のように定義する.

定義 6.1.2.

$$DR_c(CL_r, CL_s) = \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^n \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad (6.1)$$

$s_{ij}^b = 0$ の場合, $x_a - x_b = 0, y_a - y_b = 0$ となる. すなわち, 類似度 R_i 以上の隣接ノードとのユークリッド距離の総和である. これらの定義に照らし合わせて, 以下に 3 つの描画条件をあげる.

条件 1. ノードは格子交点上に配置する.

条件 2. 類似度レベル R_i の 2 次元空間上のクラスター CL_1 と隣接クラスター CL_2 について, $DR_i(CL_1, CL_2)$ は他のクラスター配置のユークリッド距離以下である (図 6.1 参照).

条件 3. 辺は単にノード間を直線で接続する.

これらの条件を満たすことで, ノード, クラスタ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。そのため、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。

6.2 ノード配置

描画アルゴリズムにおいて、ファジィグラフのノードは格子交点上に配置される。ノードの位置は、2つのクラスター配置に基づいて分割樹形図のノードに位置情報を与えることを繰り返すことで決められる。ノード位置はより高い類似度のクラスターから計算される。

クラスターは、描画条件 2 を満たすように、図 6.1 の 8 種類のクラスター配置パターンから選択された最適なクラスター配置に基づいて配置される。この選択は、クラスター CL_1 と隣接クラスター CL_2 との間の類似度レベル R_i における距離に基づいて決定され、所定の配置の下で他のクラスター配置のユークリッド距離以下である。

クラスター内のノード位置は以下の手順で決定される。

- step 1. 描画条件 2 を満たすように、図 6.1 の 8 種類のクラスター配置から配置タイプを選択し、類似度レベル $R_{1.00}$ の各クラスターの領域の格子交点上の位置にクラスター内のノードを配置する。このとき、孤立ノードは 1 つのクラスターとみなす。

step 2. 各クラスターの領域における格子交点上のノードの位置を、step 1 とほぼ同様に、より高い類似度からより低いレベルへ、描画条件 2 を満たすように再配置する。

2つのクラスター間距離を計算し、図 6.1 に基づいてノードが配置される。

図 4.5 のクラスター $B1$, $B2$ を用いて、どのようにクラスター配置が行われるかを図 6.2 で説明する。クラスター配置計算では、配置 1 から配置 8 までの全てのパターンでノード間の距離の総和を計算し距離が最も短い配置パターンで配置する。最短距離となる配置パターンが複数存在する場合、配置パターンの数字が小さいほうを優先する。

しかし、一方のクラスター内の格子交点がノードによって占有されておらず、なおかつ、2つのクラスター間距離をより短くすることができる場合、もう一方のクラスターの

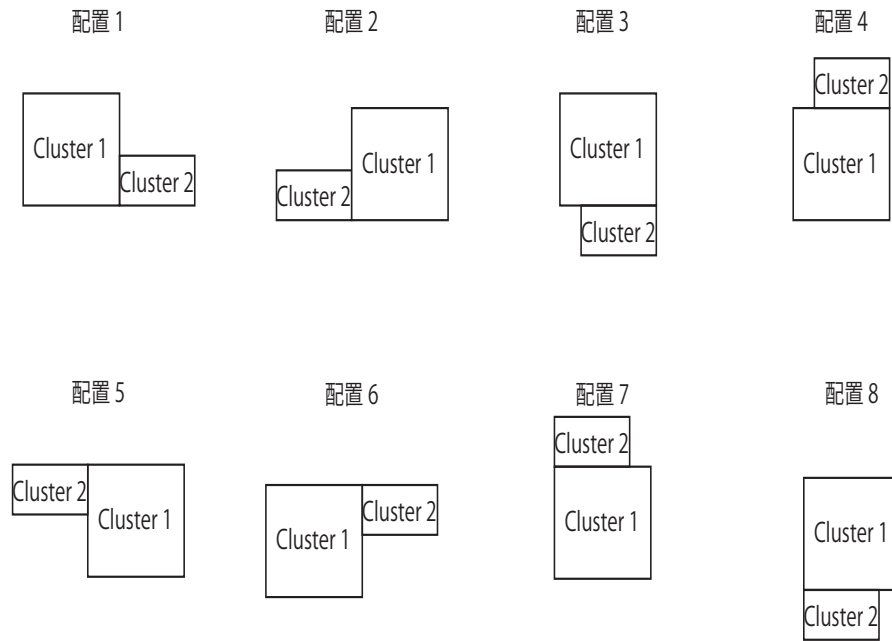


図 6.1 2 つのクラスターを結合するクラスター配置パターン

ノードの一部または全部を領域内に移動させることがある．上記の条件を満たした場合に
は，クラスターを移動させ 2 つのクラスター領域を重複して配置する．

図 4.5 の同一類似度レベルのクラスター B_1 , B_2 における，クラスターの配置とクラス
ターの水平移動の例を図 6.3 に示す．クラスター B_1 と B_2 は 3 つの辺で接続しており，
クラスター配置 2 で配置される．その後，クラスター B_2 を右に水平移動する．このと
き，水平移動前のクラスター間距離 DR は， $2 + \sqrt{2} + \sqrt{5}$ である．水平移動した後のク
ラスター間距離 DR は $2 + \sqrt{2}$ となる．このように新たに導入した描画条件とその条件を
満たす描画アルゴリズムによりクラスター間の関係がよりコンパクトにかつ直感的にも分
かり易く可視化することが可能となっている．

6.3 ファジィグラフ描画アルゴリズムの計算量

ファジィグラフの描画アルゴリズム [42] は以下の 3 段階に分けられる．

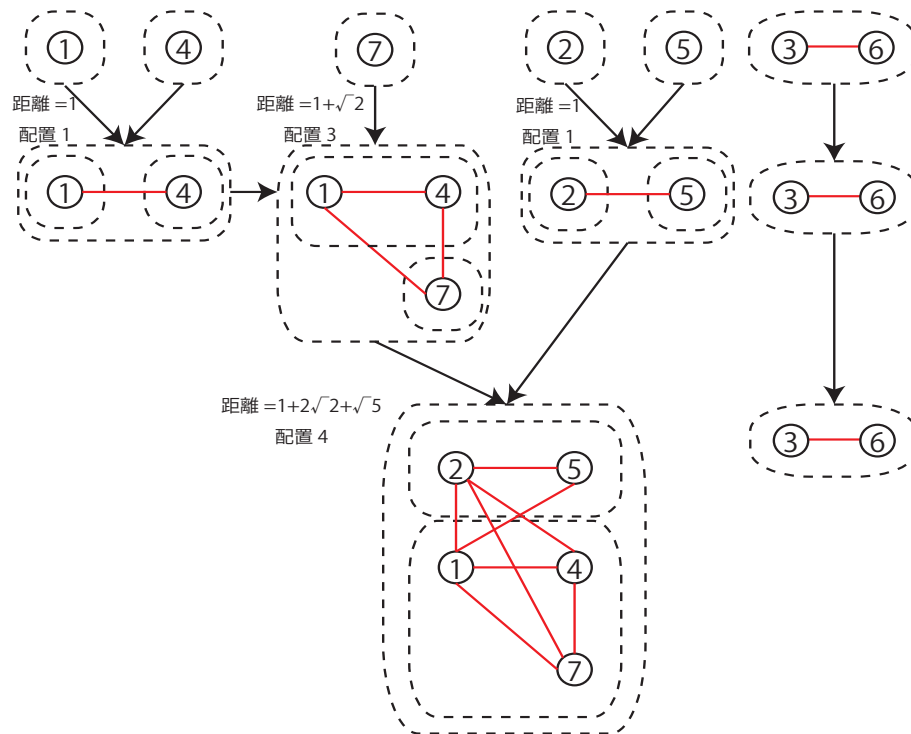


図 6.2 クラスター配置計算の例

- Phase 1. 分割樹形図の各ノードが各クラスター内に接続情報を持つようにする。
- Phase 2. アルゴリズム $Create - PT_p(PT_c)$ で位置情報を持った分割樹形図を作成する。
- Phase 3. 位置情報を持った分割樹形図を基にファジィグラフを描画する。

分割樹形図は接続情報を持っていないため、Phase 1 で各クラスターに対応するファジィ行列から接続情報を作成し、分割樹形図に情報を付与する。各クラスター内の各ノードは、類似度レベル R_c 以上で接続された隣接ノードへのポインタを持つ。

Phase 2 では、分割樹形図は位置情報を持っていないため、各クラスター内の接続情報を持つ分割樹形図を基にアルゴリズム $Create - PT_p(PT_c)$ で位置情報を持つ分割樹形図を生成する。アルゴリズム $Create - PT_p(PT_c)$ では各クラスターにおける各ノードの位置が、類似度レベルが高い順に決定される。

Phase 3 では、位置情報を持つ分割樹形図を基にファジィグラフを描画する。辺は最短ユークリッド距離で接続される。各クラスター内の各ノードは、位置情報とその類似度レ

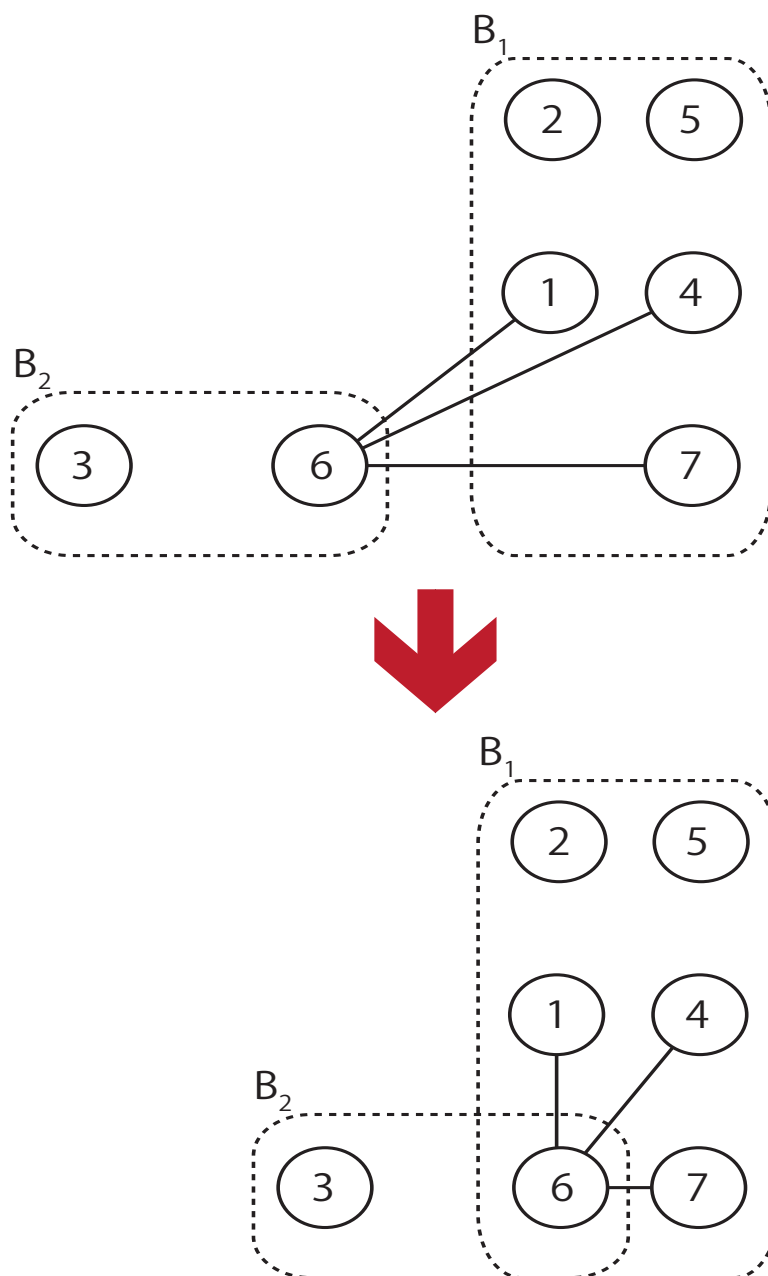


図 6.3 クラスタ移動の例

ベル以上で接続する隣接ノードを有しているため、類似度レベルに対応したファジィグラフを描画することが可能である。この描画アルゴリズムを使用することで、ノードは分割樹形図の類似度レベルに応じたクラスター遷移に従い、近く的位置にまとめることができる。よってファジィグラフを包括的に描画することができる。

Algorithm 1 Create- $PT_p(PT_c)$

Input: PT_c : a partition tree with connection information in each clusters.**Output:** PT_p : a partition tree with position information in each clusters.

```

1:  $PT_p \leftarrow PT_c$ 
2: for each cluster  $CL_1$  of clustering level  $R_{1.00}$  do
3:   Set  $CL_1$  to position in the same way as the procedure Merge-Cluster by seeing
     one node as one cluster.
4: end for
5: for each cluster  $CL_1$  of clustering level  $R_i$  in  $PT_p$  ( $1.00 > i \geq 0.00$ , in descending
   order) do
6:    $CLS \leftarrow \{lCL_1, lCL_2, \dots, lCL_j\}$  : the linked upper clusters of  $CL_1$  ( $0 \leq j \leq l$ ,  $l$ 
     is the number of linked upper cluster of  $CL_1$ )
7:   if  $j = 1$  then
8:     Set  $CL_1$  to the same position as  $lCL_1$ 
9:   else if  $j \geq 2$  then
10:     $CL_2 \leftarrow \text{Merge-Cluster}(lCL_1, lCL_2)$ 
11:     $k \leftarrow 3$ 
12:    while  $k \leq j$  do
13:       $CL_2 \leftarrow \text{Merge-Cluster}(CL_2, lCL_k)$ 
14:       $k \leftarrow k + 1$ 
15:    end while
16:    Set  $CL_1$  to the same position as  $CL_2$ 
17:   end if
18: end for
19: return  $PT_p$ 

```

Algorithm 2 Merge-Cluster(PCL_1, PCL_2)**Input:** PCL_1 : a cluster of a partition tree. PCL_2 : a cluster of a partition tree**Output:** MCL : a merged cluster.

- 1: Select a optimal cluster arrangement from cluster arrangements 1-8 by calculating distance between PCL_1 and PCL_2 in cluster arrangements 1-8, that is, the arrangement that has the minimum distance in cluster arrangements 1-8 is selected.
- 2: Generate MCL by arranging PCL_1 and PCL_2 according to the selected cluster arrangement.
- 3: Output MCL .

アルゴリズム $Create - PT_p(PT_c)$ の計算量は以下の通りである.

定理 6.3.1. アルゴリズム $Create - PT_p(PT_c)$ の時間計算量は $O(n^3)$ である.
ただし, n はファジィグラフのノード数である.

Proof. 最初に行われる $Merge - Cluster(PCL_1, PCL_2)$ の最初の手順 1 では, クラスター内のノード数が最大 n であるため, クラスター配置 1~8 の PCL_1 と PCL_2 の距離計算は n^2 回実行される. $Merge - Cluster(PCL_1, PCL_2)$ の手順 2 は $2n$ 回実行される. したがって, $Merge - Cluster(PCL_1, PCL_2)$ の時間計算量は $O(n^2)$ である.

1 つのノードを 1 つのクラスターとみなし, 類似度 $R_{1.00}$ のクラスター数を最大 n 個として, クラスター位置を決定する. よって, $Create - PT_p(PT_c)$ の最初の for ループは n^3 回実行される. 結合されるクラスターの数はいずれ n であるため, アルゴリズムの 5 行目の for ループは n^3 回実行される. したがって, アルゴリズムの時間計算量は $O(n^3)$ である. \square

本アルゴリズム $Create - PT_p(PT_c)$ と既存の描画アルゴリズム [22, 41] の時間計算量を比較した表を表 6.1 に示す. ノード数 n が 3 以上の場合, 本アルゴリズム $Create -$

$PT_p(PT_c)$ の方が高速に描画することが可能である。また、本アルゴリズムの開発によりファジィグラフのノードやクラスター間の距離の総和を小さくした配置が可能となり、よりコンパクトなファジィグラフの自動描画を実現している。このことにより、タッチインタフェースを用いた探索的分析においてコンパクトにファジィグラフが描画されることで、操作性が向上し、分析しやすくなっている。

表 6.1 自動描画アルゴリズムの時間計算量の比較

自動描画アルゴリズム	時間計算量
ファジィグラフの格子点上配置アルゴリズム [42]	$O(n^3)$
遺伝的アルゴリズムを用いたアルゴリズム [41]	$O(n^n)$
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 [22]	自動描画不可

第 7 章

ファジィ理論に基づくソフトウェア

本章では、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する。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。

7.1 分割樹形図作成ソフトウェア

本研究で行う人間関係分析では、質問調査の結果から分割樹形図を作成することが必須となる。分割樹形図作成ソフトウェアでは評価行列，またはファジィ行列を入力データとして分割樹形図を作成するソフトウェアである。

- 開発環境：

DELL PRECISION T7500(CPU : Xeon W5590, メモリ : 12GB)

Windows 10 Pro 64bit

- 開発言語：

Java 1.8.0-77

- ソフトウェアサイズ：

クラス数 11, 総 STEP 数 961

入力データは、先頭行に質問項目数を記述し，2 行目以降に行列データを記述していく。

行列の各要素はタブ文字で区切られたデータである (図 7.1 参照).

データをソフトウェアに入力することで以下の結果が得られる.

1. ファジィ行列 (入力データ評価行列の場合のみ)
2. 対称友好行列
3. 可達行列
4. 分割樹形図

図 7.2 に図 7.1 を入力して得られた結果の一部を示す. 本ソフトウェアは, 分割樹形図のデータのみを作成しており, 図 4.5 のような描画を行うことは出来ない.

E:\研究\workspace\FuzzyPartitionTree\sumida.mtx - sakura 2.2.0.1

ファイル(F) 編集(E) 変換(C) 検索(S) ツール(T) 設定(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

sumida.mtx

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	8																							
2	8	5	7	7	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	8	0	0	2	5	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0
4	8	0	8	8	8	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	8	1	8	8	8	0	3	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	8	2	8	8	8	2	1	1	8	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	8	0	5	2	8	1	0	0	0	8	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	2	3	0	1	0	1	8	2	0	4	1	0	6	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0
10	5	0	6	5	5	0	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	2	0	0	0	0	0	3	8	0	3	3	6	7	0	0	7	3	6	0	0	0	0
12	1	4	0	0	1	4	1	1	0	0	8	0	0	2	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0
13	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	8	5	0	0	0	1	1	5	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	5	8	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	1	0	3	0	3	1	0	1	8	0	0	1	0	0	5	1	0	0	0
16	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4	1	3	1	1	8	0	0	8	3	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	0	8	0	0	0	0	0	3	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	8	0	0	5	1	0	0	0
19	1	1	0	0	1	0	0	0	0	7	0	1	1	1	8	0	0	8	1	0	1	0	0	0
20	1	0	0	0	1	0	1	2	2	0	1	5	5	0	2	1	0	0	8	0	0	0	0	0
21	6	1	7	7	1	0	0	1	3	5	2	0	1	7	0	0	4	0	0	8	0	0	0	0
22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0

EOF

1行 2桁 CRLF CRLF SJIS REC 挿入

図 7.1 入力データ (評価行列) の例

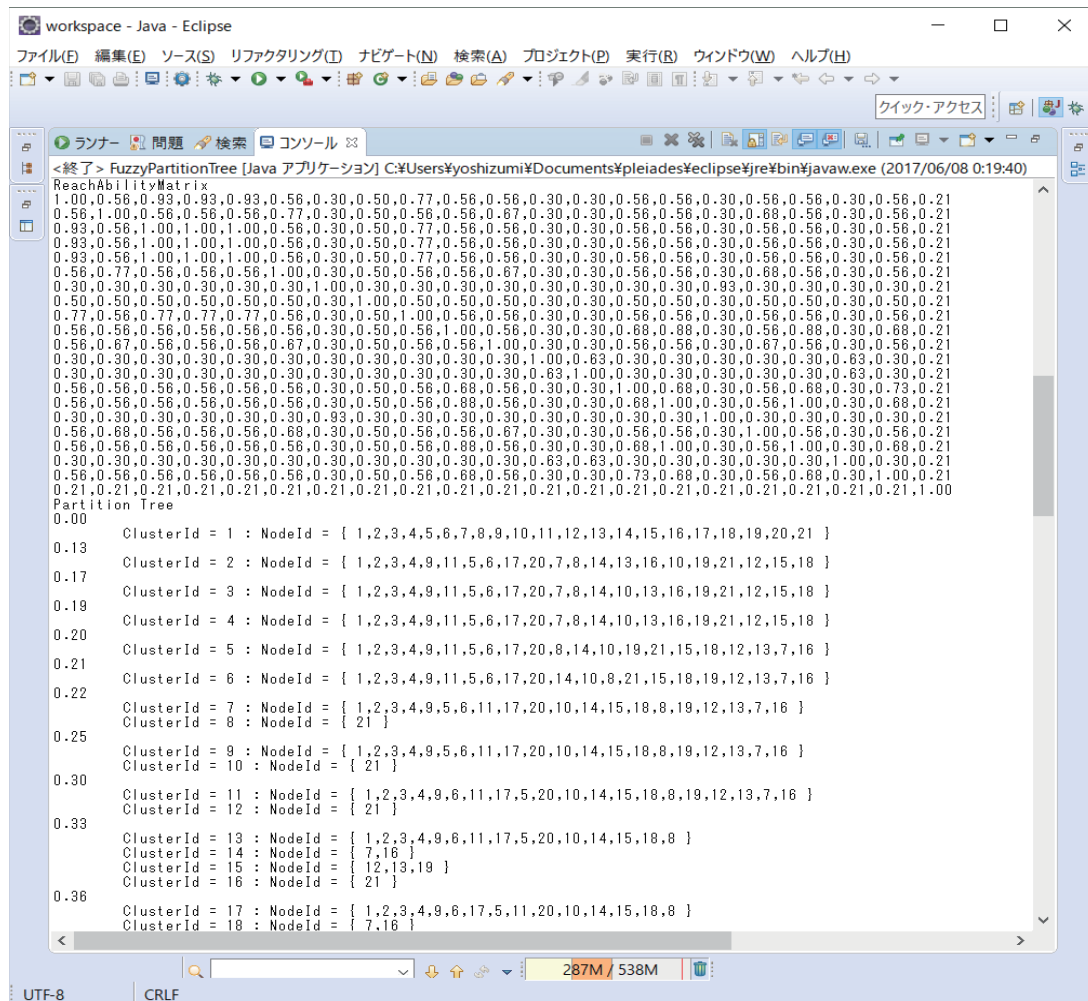


図 7.2 出力データの例 (可達行列と分割樹形図の一部)

7.2 分析ソフトウェアの特徴

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た．

- 開発環境：

DELL PRECISION T7500(CPU：Xeon W5590，メモリ：12GB)

Windows 10 Pro 64bit

- 開発言語：

Java 1.8.0-77

- ソフトウェアサイズ：

クラス数 140，総 STEP 数 456883

図 7.3 はファジィグラフを描画した実行画面である．

図 7.3 は，図 4.5 の分割樹形図のデータを読み込んで自動分析し，その結果を自動描画したものである．画面の左側では，各クラスター内の接続情報を持つ分割樹形図を表示しており，画面の右側にはファジィグラフが描画されている．分割樹形図は表形式で表示している．

分析ソフトウェアにおける描画・分析を行う手順は以下の通りである．

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

本ソフトウェアの主要な機能としては，

1. ファジィグラフを格子点上に自動配置・描画
2. 次数中心性やノード可達性などのバッチ的分析
3. 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

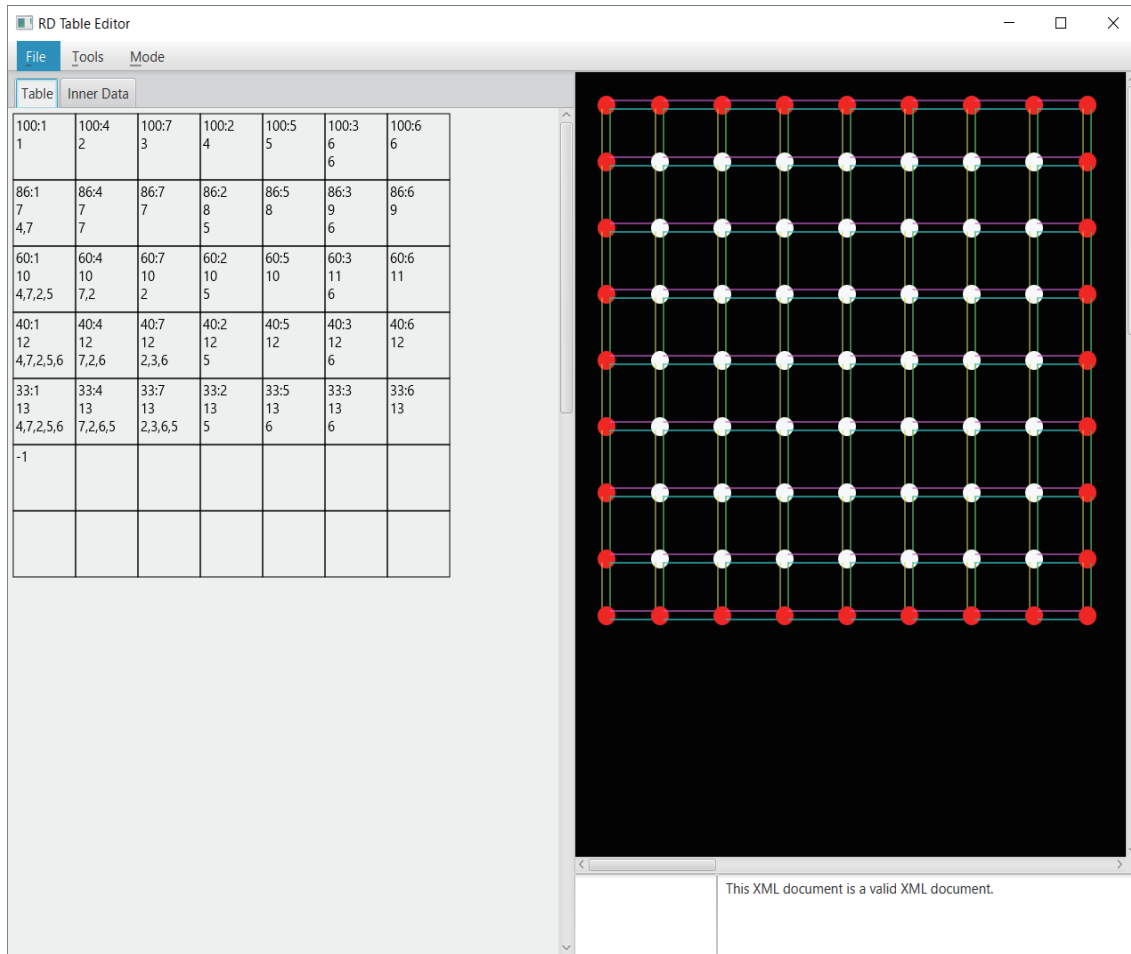


図 7.3 分析ソフトウェアの実行画面

が挙げられる。

7.3 ファジィグラフ描画

ファジィグラフは、位置情報付き分割樹形図の作成からクラスターおよびノードの自動配置が行われた後に描画される。

図 7.3 の状態から描画アルゴリズムを用いて、ファジィグラフを描画した画面を図 7.4 に示す。

ファジィグラフではクラスターノードを四角で、ノードを丸で表示している。クラスターノードおよびノード内の数字はクラスター ID、ノード ID をそれぞれ表示している。

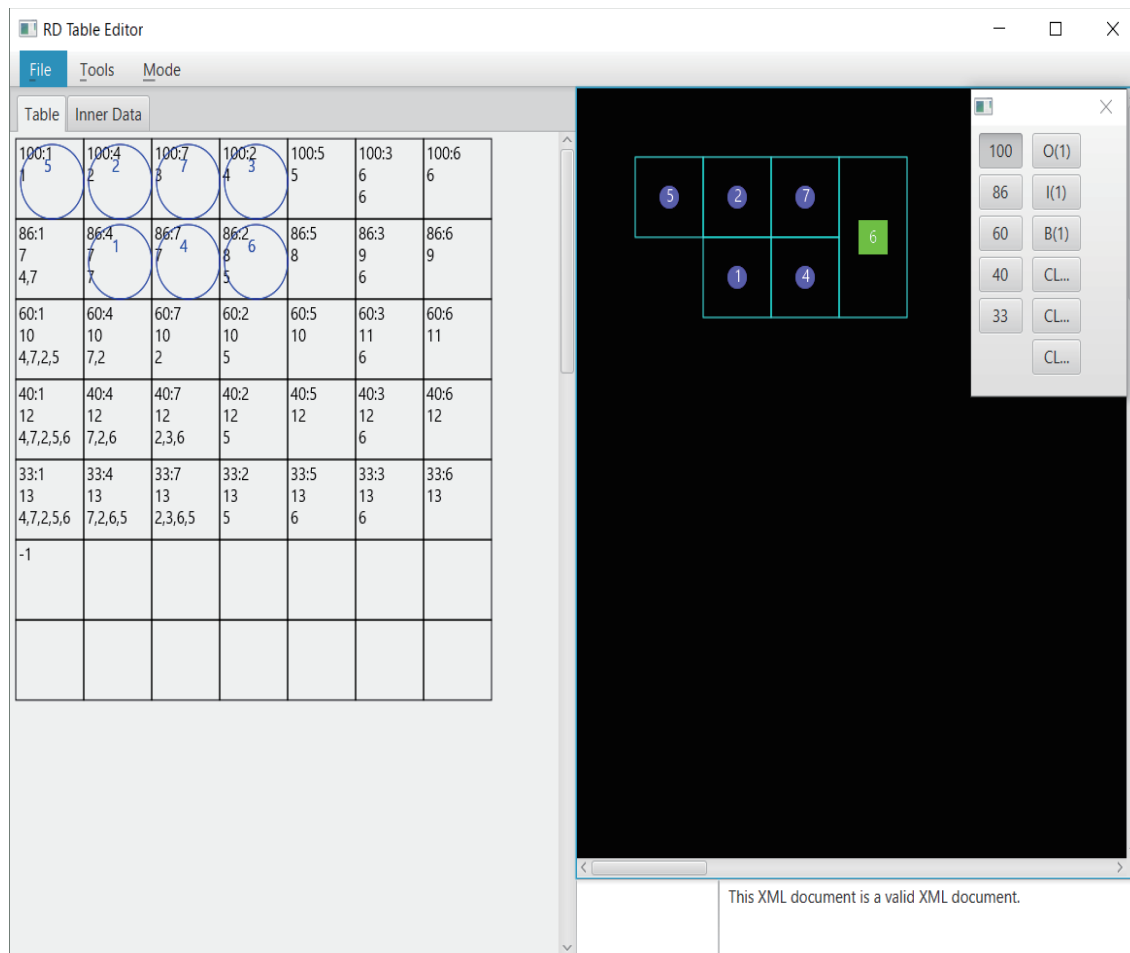


図 7.4 ファジィグラフ描画

表示類似度レベルをツールバーから選択することで、選択した類似度レベルに応じたファジィグラフが表示される。

7.3.1 タッチインターフェースを用いた表示切替

分析ソフトウェアでは、タッチインターフェースを通して以下に示す表示切替操作が可能である。

1. クラスターノード表示とノード表示
2. クラスターの表示類似度レベルの変更

7.3.1.1 クラスターノード表示とノード表示の変更

分析ソフトウェアでは、デフォルトではクラスターノード表示が基本となっている。クラスターに属さない(クラスター内のノードが1つのみ)場合、最初からノード状態で表示されるようになっている。クラスターノードの表示とクラスターに属するノードの詳細表示は、ユーザが必要に応じて表示を切り替えることができる。表示の切り替え操作は、タッチインタフェースを通じて、表示を切り替えたいクラスターを右にスワイプをすることで表示を切り替えることが可能である(図 7.5 参照)。ノードからクラスターへの表示の切り替えは左にスワイプすることで切り替え可能である。

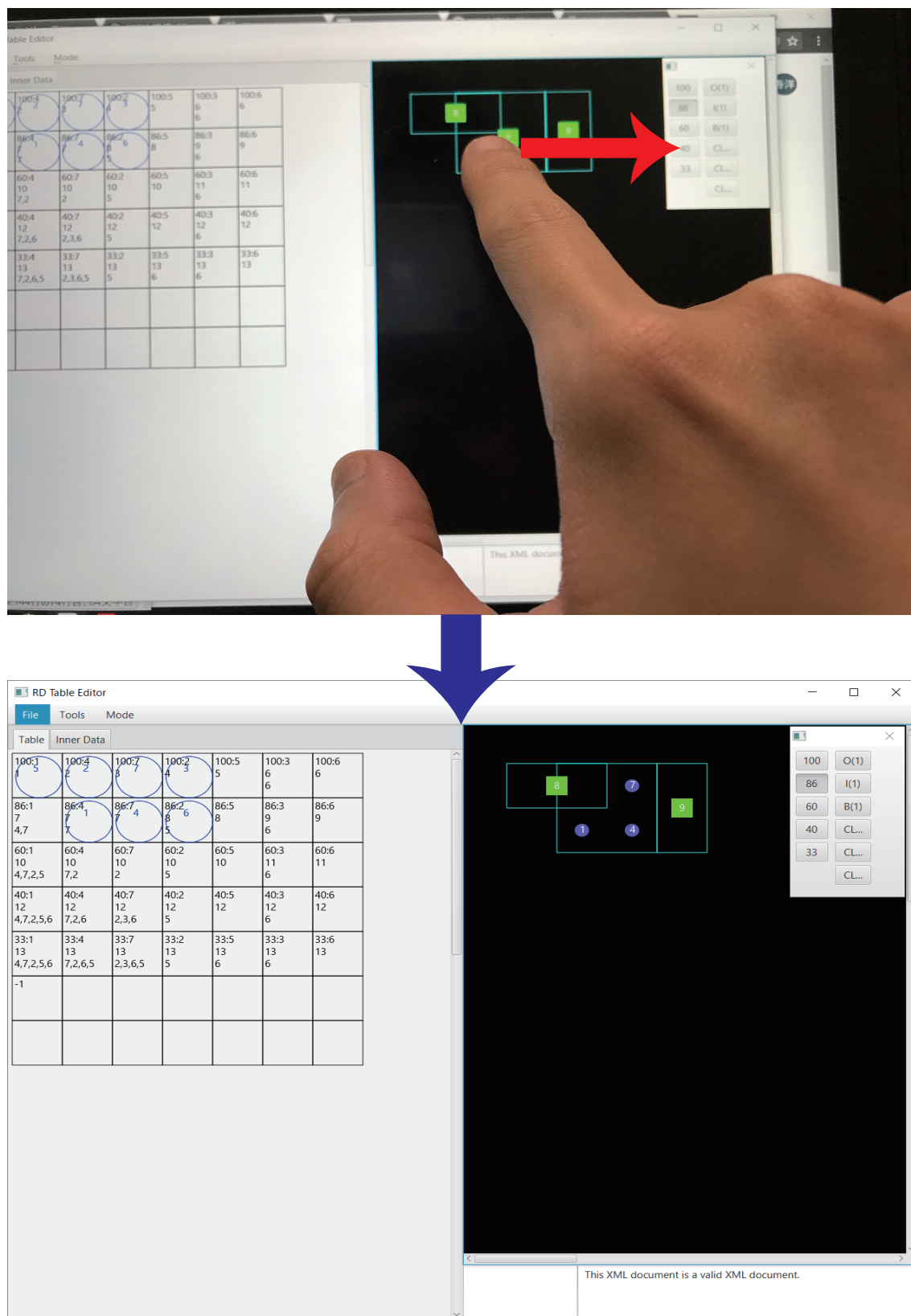
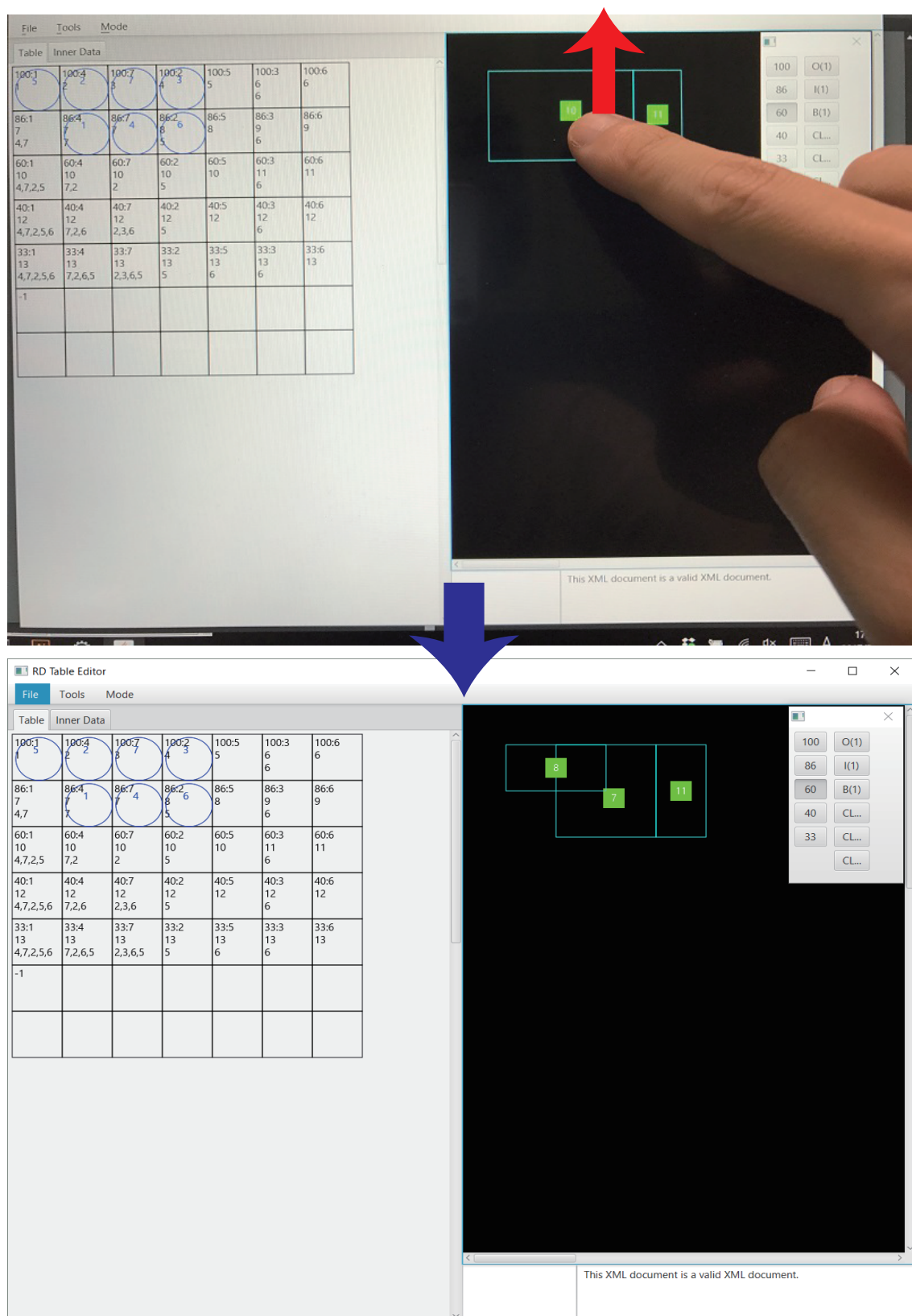


図 7.5 クラスター表示からノード表示への変更

7.3.1.2 クラスターの表示類似度レベルの変更

分析ソフトウェアでは表示する類似度レベルを選択することで、ファジィグラフが表示される。

人間関係においてクラスターの関係性を分析する際、クラスターサイズを考慮する必要がある。そこで、対象クラスターの表示する類似度レベルを変更することで、クラスターをサブクラスター群に分割する。これにより、対象クラスターサイズを小さくすることが出来る。分析ソフトウェアでは、対象クラスターを表示する類似度レベルの変更を上下のスワイプ操作で行うことが可能である (図 7.6)。対象クラスター以外のクラスター、ノードの表示類似度レベルは変更されない。図 7.6 では、表示類似度レベルは $R_{0.60}$ であり、クラスター CL_{10} の表示類似度レベルのみを $R_{0.86}$ に変更することで、2 つのクラスター CL_7, CL_8 に分割することができる。

図 7.6 CL_{10} の表示類似度レベルを $R_{0.60}$ から $R_{0.86}$ へ変更

7.4 ファジィグラフ分析

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进行分析する指標は、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。5章で示した分析指標について、バッチ的分析と探索的分析を分類したものを表7.1に示す。

表 7.1 分析手法の分類

ネットワーク密度 D	バッチ的分析
ファジィグラフ密度 FD	バッチ的分析
ノード間距離 F^n	バッチ的分析
ノード可達性 IS	バッチ的分析
次数中心性 DC	バッチ的分析
関係中心性 OP	バッチ的分析
関係媒介中心性 RBC	探索的分析
クラスター間関係分析 CLR	探索的分析
クラスターノード間関係分析 CIR	探索的分析
異なる類似度間クラスター分析 DCR	探索的分析

次数中心性やノード可達性は、ファジィグラフが描画される際、定量的なバッチ的分析が可能な分析指標である。これらの指標は、単に指標の解を求めるだけで良い。空間計算量に関しては、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。これらの結果は必要に応じて分析結果の表示と非表示を切り替えることができる。表示切り替えの際、再度分析を行うことはしない。図 7.7 に、類似度レベル $R_{0.60}$ における各クラスターごとの関係中心性 (バッチ的分析) の例を示す。

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

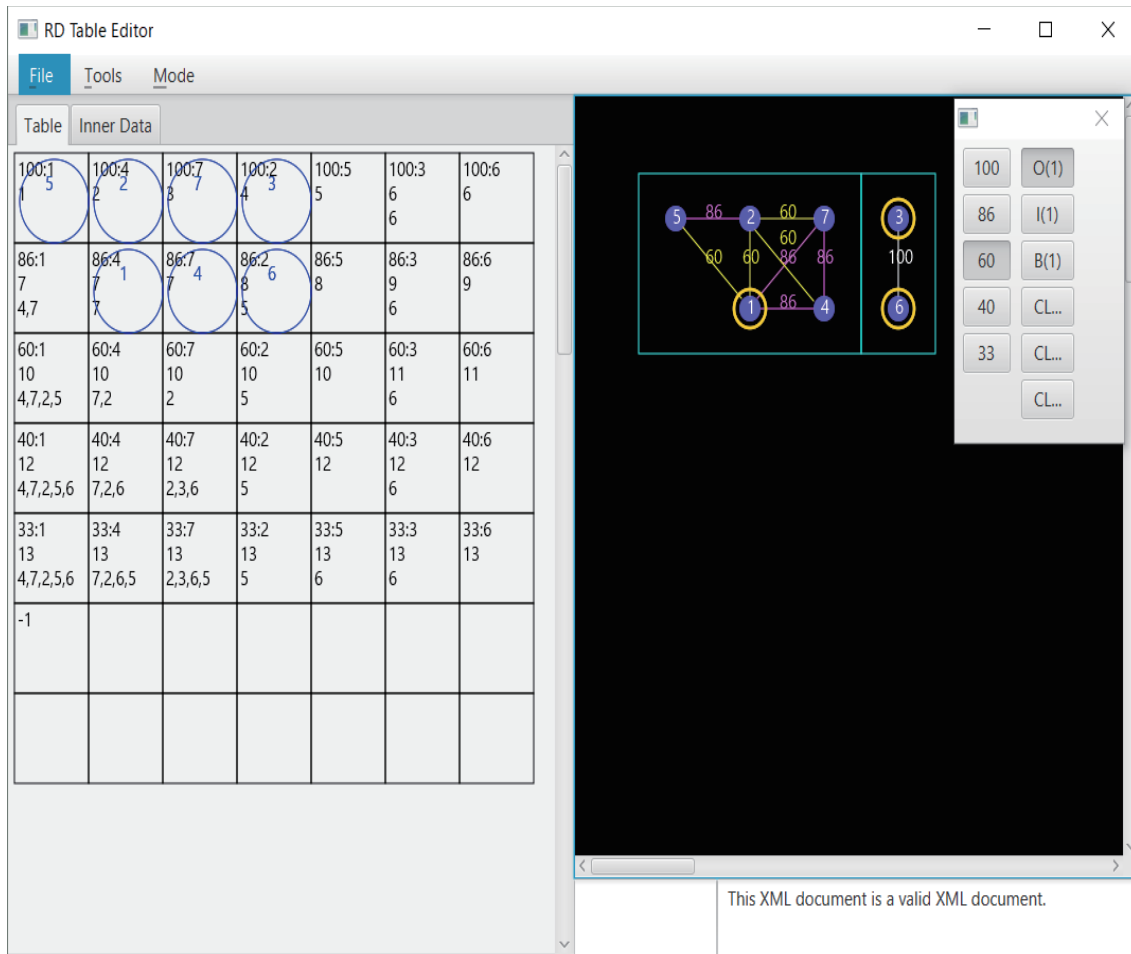


図 7.7 クラスターごとの関係中心性

場合、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 $4n(n-1)/2$ バイトである。ノード数が増大すれば、メモリ使用量は 2 次関数であり爆発的に増大することになる。さらに、分析者によってどの組み合わせが必要かは異なってくる。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を行い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。図 7.8 に、類似度レベル $R_{0.60}$ における 2 つのクラスターに属するノード間の関係媒介中心性 (探索的分析) の例を示す。

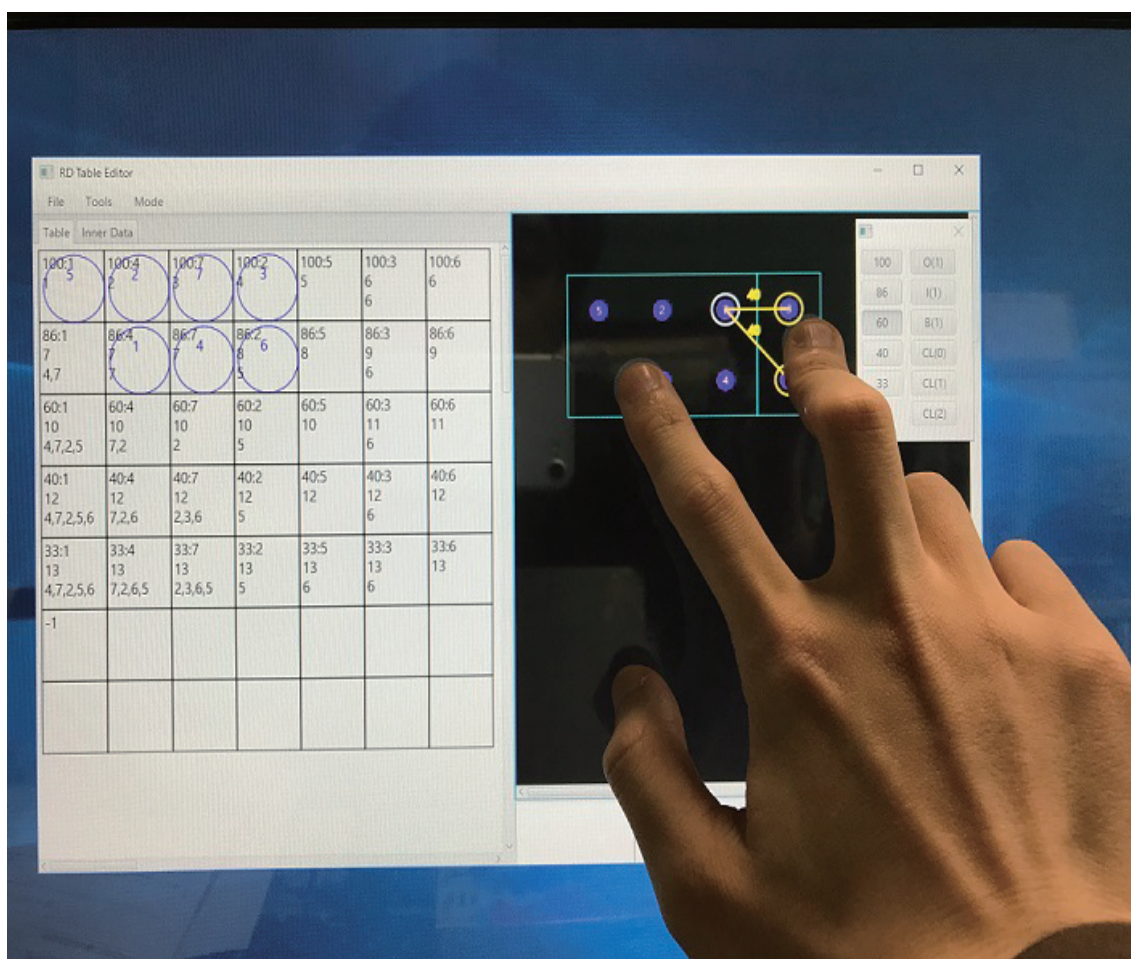


図 7.8 関係媒介中心性

第 8 章

分析事例

住田正樹より許諾を得て，[6] にある質問調査の結果を用いて提案した分析を行った．

8.1 質問調査

子どもたちの交友集団を把握するために，小学校のクラスの 21 人に対して，集合調査形式による自記式のソシオメトリックテストを住田正樹が実施している [6]．質問項目は全部で 8 項目あり，学校での集合調査であることを考慮してネガティブな選択・ノミネート基準は除外している．クラス内での関係を調査するものであるため，質問文に「このクラスで」という文言を付けている．また，各質問項目における，選択・ノミネートは無制限である．

1. このクラスのなかで，好きな友だちの名前を書きなさい．何人でもかまいません．
(好きな友だち)
2. このクラスのなかで，いつもいっしょに遊ぶ友だちの名前を書きなさい．何人でもかまいません．(いつも一緒に遊ぶ友だち)
3. きの家へ帰ってから，いっしょに遊んだ友だちの名前を書きなさい．何人でもかまいません．(昨日一緒に遊んだ友だち)
4. このクラスのなかで，あなたの遊びのグループは，だれですか．グループ全員の名前を書きなさい．(クラスの遊びグループ)
5. このクラスのなかで，あなたの仲良しグループは，だれですか．グループ全員の名

前を書きなさい。(クラスの仲良しグループ)

6. 家に帰ってから、いつも一緒に遊ぶ友だちの名前を書きなさい。何人でもかまいません。(帰宅後いつも一緒に遊ぶ友だち)
7. 家に帰ってからの、あなたの遊びのグループは、だれですか。グループ全員の名前を書きなさい。(帰宅後の遊びグループ)
8. 家に帰ってからの、あなたの仲良しグループは、だれですか。グループ全員の名前を書きなさい。(帰宅後の仲良しグループ)

質問調査の結果を表 8.1～8.8 に示す。質問調査では、選択における順位付けをしていないため、選択したかどうかだけを示しており、表内の○はメンバー S_i がメンバー S_j を選択したことを示している。

表 8.1 好きな友だち

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		○	○	○					○		○										
2	○				○	○										○	○				
3	○			○	○				○											○	
4	○		○		○		○		○												
5	○	○	○	○		○	○		○				○			○					
6		○		○	○		○				○		○			○					
7				○									○			○					
8			○		○		○		○		○			○						○	
9	○		○	○	○			○													
10									○			○	○	○	○			○	○	○	
11		○			○	○		○									○			○	
12	○		○							○	○		○				○	○	○		
13							○					○							○		
14								○					○				○			○	○
15					○	○				○	○	○	○	○				○	○		
16					○		○						○								
17		○												○						○	○
18	○	○			○					○		○	○	○	○				○		○
19	○				○			○	○		○	○	○		○						
20			○	○					○	○	○		○	○			○				
21			○										○	○							

表 8.2 いつも一緒に遊ぶ友だち

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		○	○	○							○										
2	○					○	○				○						○				
3	○			○	○				○					○							
4	○		○		○		○	○	○												
5	○		○	○				○	○												
6		○		○							○										
7													○			○					
8		○	○						○		○	○		○					○	○	
9	○		○	○	○																
10														○	○			○		○	
11		○				○								○							
12													○						○		
13					○		○					○							○		
14										○										○	
15										○		○						○	○		
16							○						○								
17		○												○						○	
18										○					○						
19								○	○			○	○								
20	○		○	○					○	○	○			○			○				
21													○	○							

表 8.3 昨日一緒に遊んだ友だち

[illegible]

表 8.4 クラスの遊びグループ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		○	○	○							○										
2	○					○	○									○	○				
3	○			○	○				○												
4	○		○		○		○		○												
5	○		○	○					○												
6		○		○							○										
7																○					
8		○									○								○		
9	○		○	○	○																
10			○						○			○	○	○	○			○	○	○	
11		○				○	○							○			○				
12													○						○		
13												○							○		
14										○										○	
15										○		○						○	○		
16							○														
17		○												○						○	
18										○					○						
19												○	○		○						
20	○	○	○	○	○			○		○				○			○				
21													○	○							

表 8.5 クラスの仲良しグループ

[illegible]

表 8.6 帰宅後いつも一緒に遊ぶ友だち

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1			○	○																	
2																					
3	○			○	○																
4	○		○		○																
5	○		○	○					○												
6		○									○										
7																○					
8														○						○	
9			○																		
10															○			○			
11																					
12																					
13																					
14																					
15																		○			
16							○						○								
17																					
18															○						
19																					
20	○		○	○										○			○				
21													○	○							

表 8.7 帰宅後の遊びグループ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1			○	○																	
2						○															
3	○			○	○																
4	○		○		○																
5	○		○	○					○												
6		○									○										
7																○					
8														○							
9																					
10														○	○			○		○	
11																					
12																					
13																					
14								○													
15																		○			
16							○														
17		○												○						○	
18										○					○						
19																					
20	○		○	○										○							
21													○	○							

表 8.8 帰宅後の仲良しグループ

[illegible]

8.2 分割樹形図の作成

表 8.1～8.8 をもとに作成した評定行列を図 8.1 に示す．今回の質問調査では，メンバーの選択・ノミネートのみを行い，順位付けはしていない．そのため，行列の各要素は，メンバー S_i がメンバー S_j を何回選択したかを示している．また， $i = j$ における要素が全て最大値である 8 となっているが，分割樹形図作成ソフトウェアの実装に関しての都合上のためであり，結果に影響はない．

8	5	7	7	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8	0	0	2	5	2	0	0	0	2	0	0	0	0	2	5	0	0	0
8	0	8	8	8	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
8	1	8	8	8	0	3	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	8	8	8	2	1	1	8	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
0	8	0	5	2	8	1	0	0	0	8	0	1	1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	0	7	0	0	0	0
0	2	3	0	1	0	1	8	2	0	4	1	0	6	0	0	0	0	2	3
5	0	6	5	5	0	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	0	0	0	0	0	3	8	0	3	3	6	7	0	0	7	3	6
1	4	0	0	1	4	1	1	0	0	8	0	0	2	0	0	3	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	8	5	0	0	0	1	1	5	0
0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	5	8	0	0	1	0	0	5	0
0	0	0	0	1	1	0	3	0	3	1	0	1	8	0	0	1	0	0	5
0	0	0	0	1	1	0	0	0	4	1	3	1	1	8	0	0	8	3	0
0	0	0	0	1	0	8	0	0	0	0	0	3	0	0	8	0	0	0	0
0	6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	8	0	0	5
1	1	0	0	1	0	0	0	0	7	0	1	1	1	8	0	0	8	1	0
1	0	0	0	1	0	1	2	2	0	1	5	5	0	2	1	0	0	8	0
6	1	7	7	1	0	0	1	3	5	2	0	1	7	0	0	4	0	0	8
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	8

図 8.1 質問調査の結果から作成した評定行列

図 8.1 の評定行列を入力データとし，分割樹形図作成ソフトウェアで出力されたファジィ行列，対称友好行列，可達行列，分割樹形図を図 8.2～8.5 に示す．図 8.5 の分割樹形図は，クラスターが分割される類似度のみを抜粋しており，その他の類似度は省略している．

図 8.2 分割樹形図作成ソフトウェアで作成したファジィ行列

図 8.3 分割樹形図作成ソフトウェアで作成した対称友好行列

1.00	0.56	0.93	0.93	0.93	0.56	0.30	0.50	0.77	0.56	0.56	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.56	1.00	0.56	0.56	0.56	0.77	0.30	0.50	0.56	0.56	0.67	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.68	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.93	0.56	1.00	1.00	1.00	0.56	0.30	0.50	0.77	0.56	0.56	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.93	0.56	1.00	1.00	1.00	0.56	0.30	0.50	0.77	0.56	0.56	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.93	0.56	1.00	1.00	1.00	0.56	0.30	0.50	0.77	0.56	0.56	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.56	0.77	0.56	0.56	0.56	1.00	0.30	0.50	0.56	0.56	0.67	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.68	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.93	0.30	0.30	0.30	0.21		
0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	1.00	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.50	0.50	0.30	0.50	0.50	0.30	0.50	0.21		
0.77	0.56	0.77	0.77	0.77	0.56	0.30	0.50	1.00	0.56	0.56	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.30	0.50	0.56	1.00	0.56	0.30	0.30	0.68	0.88	0.30	0.56	0.88	0.30	0.68	0.21		
0.56	0.67	0.56	0.56	0.56	0.67	0.30	0.50	0.56	0.56	1.00	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	0.67	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	0.63	0.30	0.30	0.30	0.30	0.63	0.30	0.21	
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.63	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.63	0.30	0.21	
0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.30	0.50	0.56	0.68	0.56	0.30	0.30	1.00	0.68	0.30	0.56	0.68	0.30	0.73	0.21		
0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.30	0.50	0.56	0.88	0.56	0.30	0.30	0.68	1.00	0.30	0.56	1.00	0.30	0.68	0.21		
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.93	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	0.30	0.30	0.30	0.21		
0.56	0.68	0.56	0.56	0.56	0.68	0.30	0.50	0.56	0.56	0.67	0.30	0.30	0.56	0.56	0.30	1.00	0.56	0.30	0.56	0.21		
0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.30	0.50	0.56	0.88	0.56	0.30	0.30	0.68	1.00	0.30	0.56	1.00	0.30	0.68	0.21		
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.63	0.63	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	0.30	0.21
0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.30	0.50	0.56	0.68	0.56	0.30	0.30	0.73	0.68	0.30	0.56	0.68	0.30	1.00	0.21		
0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	1.00	

図 8.4 分割樹形図作成ソフトウェアで作成した可達行列

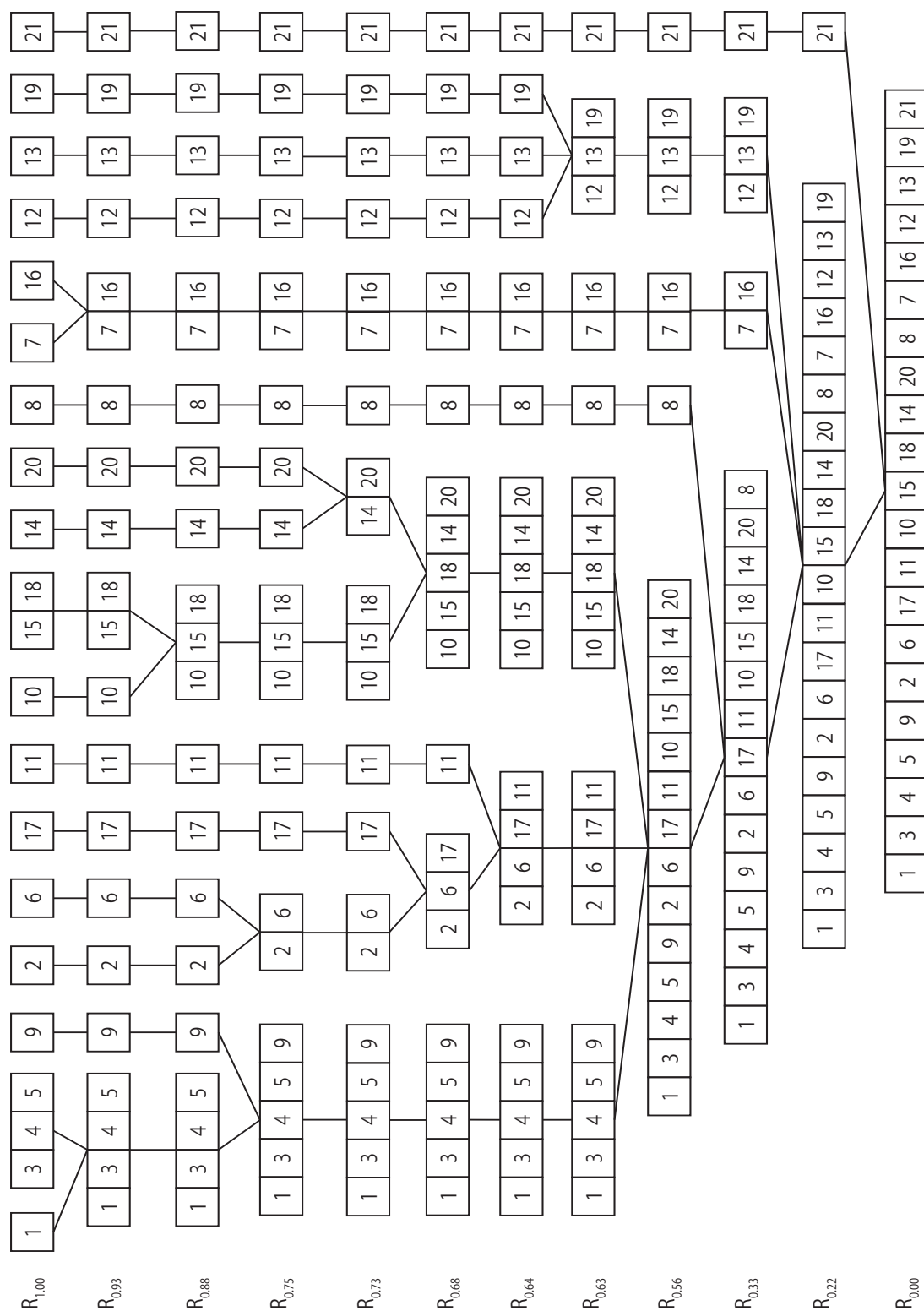


図 8.5 分割樹形図作成ソフトウェアで作成した分割樹形図

8.3 分析ソフトウェアでの分析

図 8.5 で得られた分割樹形図のデータを基に分析ソフトウェアで類似度 0.68 のファジィグラフを描画した画面を図 8.6 に示す。



図 8.6 類似度 0.68 のファジィグラフ

図 8.6 を用いて以下の分析を行う。

- 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

8.3.1 ファジィグラフ密度の分析

ファジィ密度の計算に必要な辺を全て表示したファジィグラフを図 8.7 に示す。図 8.7 より、類似度 0.68 のファジィグラフには合計で 10 個のノード (ノード 6 個 + クラスターノード 4 個) が存在することが分かる。このとき、定義 5.1.2 よりファジィ密度 FD は以

下の通りである．分子の +10 は画面には表示されていないループ辺の値 (1.0) の合計値である．

$$FD = \frac{5.68 + 10}{10 \times 10} = 0.1568$$

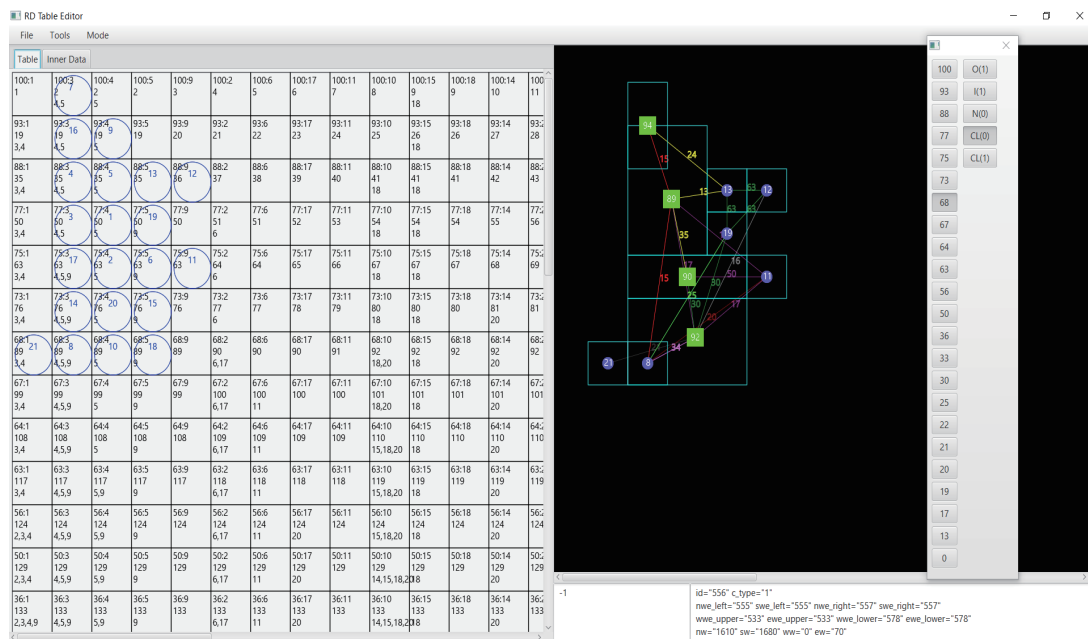


図 8.7 類似度 0.68 のファジィグラフ (辺有り)

8.3.2 孤立者の分析

ファジィグラフにおいてノード可達性から孤立者 *IS* であるノードをファジィグラフで視覚化したものを図 8.8 に示す．

8.3.3 オピニオンリーダーの分析

オピニオンリーダーはマスメディアとパーソナルコミュニケーションの仲介役であり，また，特定の領域について強い関心・豊富な知識を持ちオリジナルの情報を積極的に取得し，周囲の他者に広く伝播し，影響を与える人物である [43]．他者へ広く影響を与える人

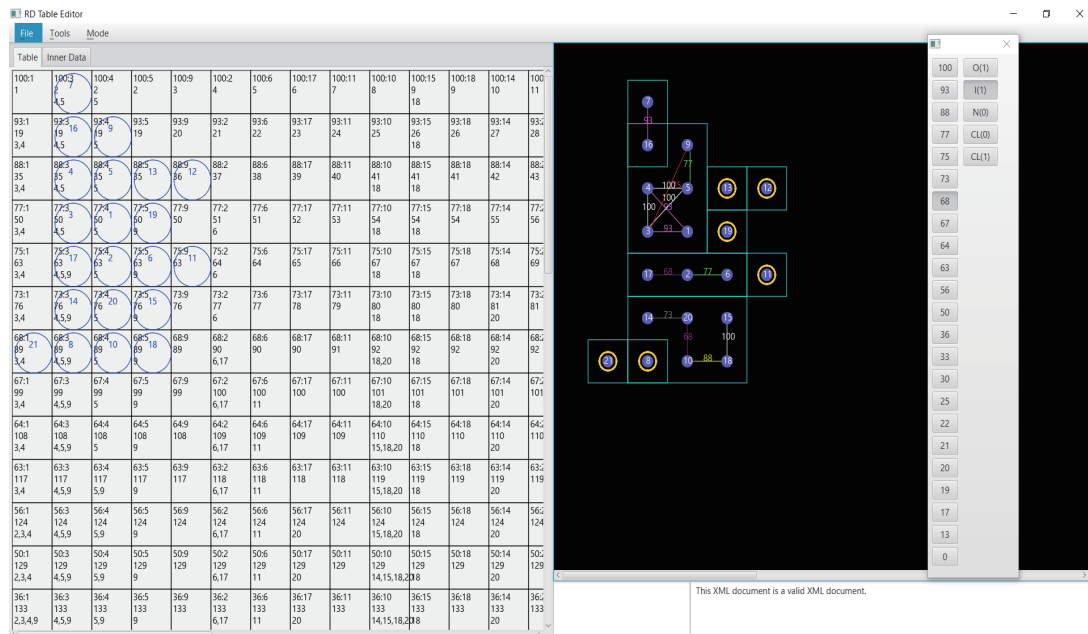


図 8.8 孤立者 (類似度 0.68)

物として，定義 5.1.5 の算定式より求めることが可能である．ファジィグラフの各クラスターにおけるオピニオンリーダーを視覚化したものを図 8.9 に示す．

8.3.4 関係媒介中心性の分析

図 8.6 の 2 つのクラスター $CL_{89} = 1, 3, 4, 5, 9$ と $CL_{90} = 2, 6, 17$ について，クラスターの関係媒介中心性 RBC を分析する．クラスター CL_{89} から CL_{90} への分析を行った結果を図 8.10 に示す．関係媒介中心性 $RBC_{CL_{89}CL_{90}} = 0.56$ であり，ノード 1 を媒介することで最大情報伝達が可能であることが図 8.10 から分かる．

2 つのクラスターの逆の関係についてもどのようになっているか分析を試みる．クラスター CL_{90} から CL_{89} への分析を行った結果を図 8.11 に示す．関係媒介中心性は $RBC_{CL_{90}CL_{89}} = 0.81$ であり，ノード 2 を媒介することが良いことが即座に表示から読み取ることが出来る．



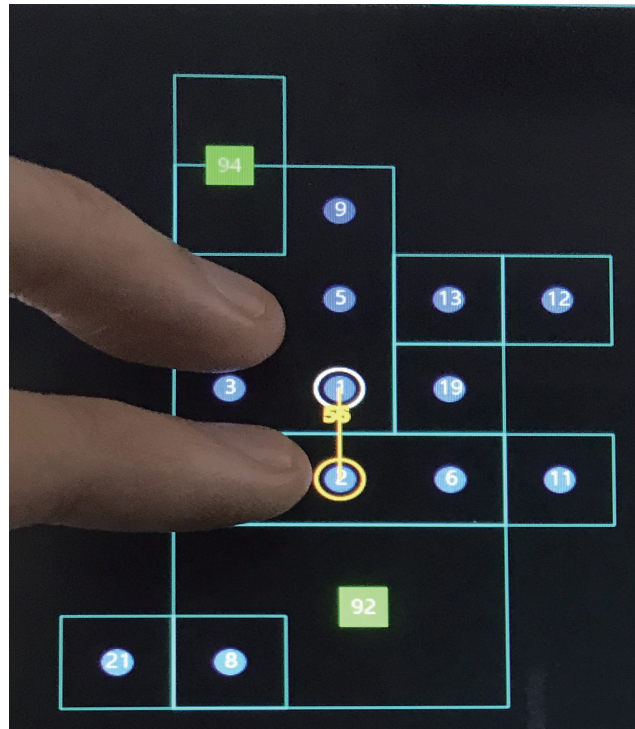
図 8.9 オピニオンリーダー (類似度 0.68)

8.3.5 クラスター間関係分析

図 8.6 の 2 つのクラスター $CL_{89} = 1, 3, 4, 5, 9$ と $CL_{90} = 2, 6, 17$ について、クラスター間関係分析 CLR を行った結果を図 8.12 に示す。図 8.12 の分析結果より、2 つのクラスター間の関係性 CLR は 0.35 であった。これにより、この 2 つのクラスターはあまり友好的な関係ではないことを直感的に読み取ることが出来る。

8.3.6 異なる類似度に属するクラスター間分析

2 つのクラスター $CL_{89} = 1, 3, 4, 5, 9$ と $CL_{90} = 2, 6, 17$ の友好関係はあまり良好ではない。この 2 つの関係をさらに詳細に分析をしていく。クラスター CL_{89} の類似度レベルを 0.68 から 1.00 に変更する。このとき、クラスター CL_{89} は、クラスター CL_2 とノード₁、ノード₉の 3 つに分割される。分割されたクラスターまたはノードとクラスター CL_{90} について異なる類似度に属するクラスター間分析 DCR を行った結果を図 8.13 と図 8.14 に示す。ノード₉ とクラスター CL_{90} の関係性は 0.00 であり、画面表示が無いため分析結果画面は省略する。

図 8.10 CL_{89} から CL_{90} への関係媒介中心性

クラスター CL_2 とクラスター CL_{90} の関係性は 0.25 であり，同じ類似度レベルのクラスターのときよりも友好度が下がっておりこの 2 つのクラスターは真に仲が良くないことが分かる．また，ノード 9 とクラスター CL_{90} は関係性が 0 であり，クラスター CL_2 と同様に仲が良くないことが分かる．一方で，ノード 1 とクラスター CL_{90} の関係性は 0.56 であり，ある程度の友好的関係を築けていることが分かる．

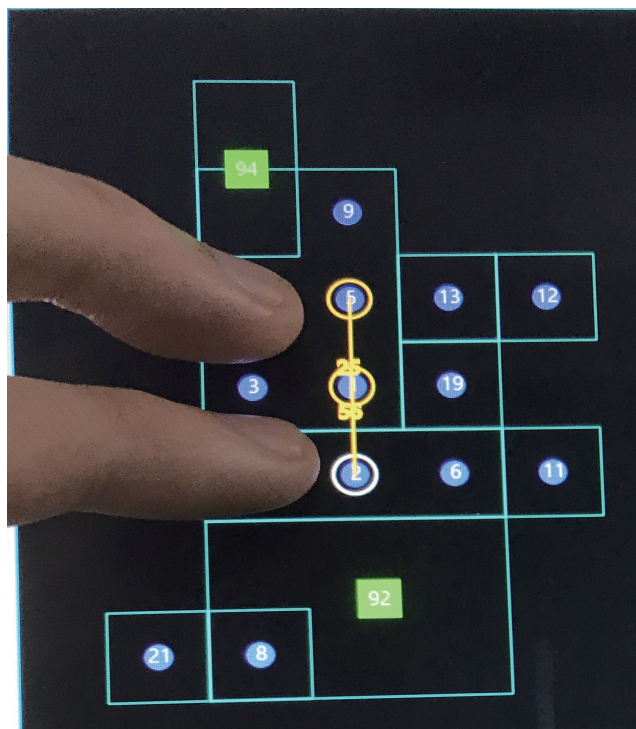


図 8.11 CL_{90} から CL_{89} への関係媒介中心性

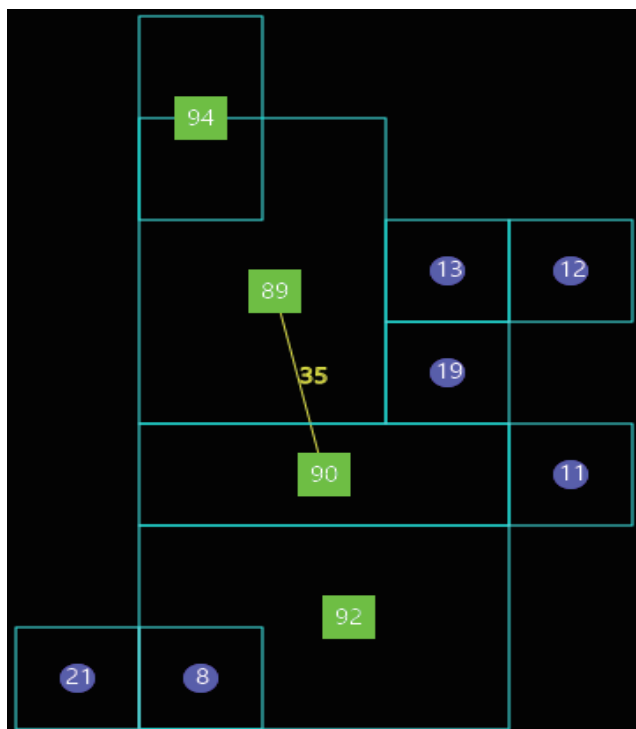
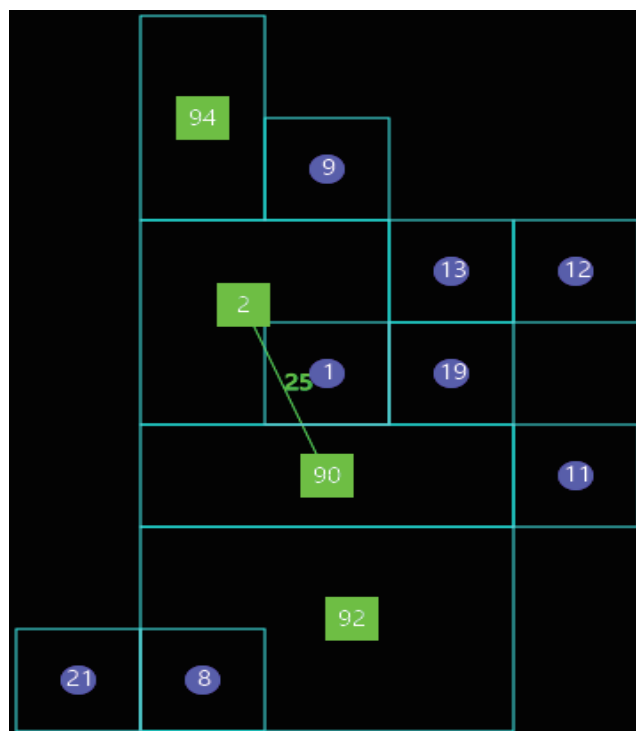
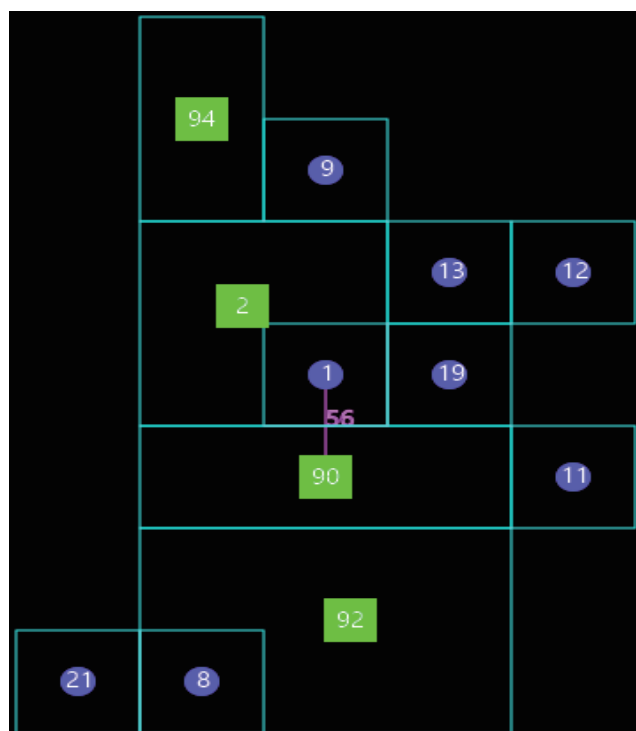


図 8.12 CL_{89} と CL_{90} のクラスター間関係分析

図 8.13 CL_2 と CL_{90} の異なる類似度に属するクラスター間分析図 8.14 ノード₁ と CL_{90} の異なる類似度に属するクラスター間分析

8.4 考察

8.4.1 分析結果の評価

住田正樹は質問調査、観察法および面接法を用いて仲間グループを推定している [6]. 表 8.3 の内容および観察の結果, クラス内にいくつかのグループが存在し, その中の 1 つのグループとしてメンバー 1, 2, 3, 4, 5 が 1 つのグループである分析している. 質問調査では, これらのメンバーの以外にメンバー 9 が選択されているが, 実際に遊んでいる様子を観察した結果から, メンバー 9 は質問調査の前日は遊びに参加しておらずグループメンバーではないと分析している. さらに, 表 8.6~8.8 の結果を重ね合わせて分析することで, グループメンバーは 4 名 (1, 3, 4, 5) であり 2 はグループメンバーではないとの分析を行っている. さらにグループ外のメンバーではあるが, メンバー 9 とグループメンバーの 4 名 (1, 3, 4, 5) と相互選択関係であり親密な関係にあると分析している.

一方, 本研究の分析システムで分析した結果の分割樹形図 (図 8.5 参照) からは, グループのメンバーは 5 名であり, 住田正樹と同様人数のグループであった. しかし, グループメンバーは 1, 3, 4, 5, 9 になっており, 構成するメンバーが異なる. 住田正樹は質問の回答結果だけでなく, 遊びに実際に参加したかどうかを観察して, グループの境界の分析に用いている. 本研究では, 質問の回答結果を合成し, 友好関係の度合いでクラスタリングしている. 住田正樹は, 遊びの際の参加具合からメンバー 9 をグループ外としているが, 良好な関係であると分析していることから, 友好関係のクラスタリング結果として間違った結果ではないと言える. 質問調査の回答では, メンバー 9 以外にも誤認識あるいは何らかの理由で見落とししたのかグループ外のメンバーなのに選択されている, あるいは逆にグループメンバーなのに選択されていないことがある. これらの誤った結果について, 分析システムでは 8 個の質問を合成し, 算出された値から同一グループではないとされており, 住田正樹と同様に除外できており, クラスタリングの信頼性は低くないと考えられる. さらに, グループの中核メンバーの分析として, 該当グループの類似度レベルを 0.88 まで上げるとメンバー 9 がグループを離脱し 4 名のグループとなる. この結果は, 住田正樹の分析結果と一致している.

さらに本研究では, 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，影響力の強い人物について，図 8.10 および図 8.11 に示したように特定することができた [44]．これにより，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 RBC 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と考えられる．

また，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た [45]．これにより，同一類似度だけの関係性であればクラスター CL_{89} と CL_{90} の友好度は低く，それらのクラスターに属するノードは全て友好関係が低いように見る事が出来る．しかし実際には， CL_{89} の類似度レベルを 0.68 から 1.00 へ変更し，分割されたクラスター CL_2 と ノード₁，ノード₉ とクラスター CL_{90} との関係性を分析した場合，ノード₁ とクラスター CL_{90} の関係性は悪くないことが分かる．このように，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を検証した．

以上の考察を踏まえて分析結果の評価をまとめたものを表 8.9 に示す．

表 8.9 分析結果の評価

分析手法	住田正樹の分析	分析システムによる分析
分析内容	ソシオメトリックテスト 観察法 面接法	ソシオメトリックテスト 分析システムによる分析
グループの境界の把握	クラスタリングの モデルが未定	ファジィクラスタリング によってモデル化
グループの境界の正確性	非常に正確性が高い	住田正樹と同等
グループ間の影響力の強さ	未実施	関係媒介中心性 (RBC) で特定可能
グループ間の関係性	未実施	クラスター間関係分析 (CLR) で特定可能
サブグループとグループ間の関係性	未実施	異なる類似度に属する クラスター間分析 (DCR) で特定可能

8.4.2 操作性 (計算量の観点より)

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いる。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には、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。例えば、2 つのサブグループ (またはノード) 間の関係性を分析する場合を考える。既存のインタフェースでは、

1. メニューバーより分析方法を選択
2. 1 つ目のサブグループ (またはノード) を選択
3. 2 つ目のサブグループ (またはノード) を選択

同様の操作をタッチインタフェースで実装した場合は、

1. メニューバーより分析方法を選択
2. 2 つのサブグループ (またはノード) を選択

タッチインタフェースではマルチタッチが可能であり、複数の項目を同時選択することで操作回数を減らすことが可能である。多くのマルチタッチ方式では 10 点まで同時認識が可能である。そのため、10 以下のサブグループ (またはノード) 間の分析であれば 2 回の操作で全て分析が可能である。既存のインタフェースで 10 個のサブグループ (またはノード) 間の分析には 11 回の操作が必要となる。2 種類のインタフェースにおいて、1 回の操作時間が同等であると仮定した場合、タッチインタフェースの方が操作時間を大幅に短縮することが可能であると推察できる。

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。タッチインタフェースを用いた友好度の時間計算量は以下の定理通りである。

定理 8.4.1. 2 つのノード間の友好度の時間計算量は $O(n)$ である。
ただし、 n はファジィグラフのノード数である。

Proof. ノード数 n に対して分析対象ノードは n 回で探索可能である．友好度の計算はファジィ行列の計算することであるが，ファジィ行列の全てを計算する必要はなくファジィ行列の分析対象となる 1 要素のみ計算をするだけでよい．友好度は 4.2 で示した式で算出可能である．分析対象となるノードを特定しての計算であるため定数回 c で全て計算可能である．よって 2 ノード間の分析を行う場合，ノードの探索回数 + 友好度分析の計算回数は $2n + c$ である．したがって，友好度の時間計算量は $O(n)$ である． \square

ノード数の増大に対して線形時間での分析が可能である．そのためタッチインタフェースによる実装による分析は選択のたびにその都度分析・計算する必要があるが，分析システムの性能に与える影響は小さいと考えられる．

第 9 章

まとめ

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ファジィモデルを拡張し、拡張したファジィモデルに基づく分析手法を考案し、さらにファジィモデルに沿った分析ソフトウェアを実装した。そして、提案したファジィモデルとその分析方法の妥当性を分析能力が真に拡張しているかについて、開発した分析ソフトウェアを用いて評価実験を行った。その結果、提案したファジィ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り、その有効性と妥当性を確認することが出来た。

・ファジィモデルの拡張

これまで、ファジィグラフを応用したソシオグラムの構成法、分析法に関しては、主に山下等のグループが中心となって研究を推進してきた [8, 9, 10, 12, 13, 14]。山下等は、ソシオメトリー分析と同様にソシオメトリックテストの結果を入力として人間関係分析を行う手法を開発した。この手法では、被験者が誰を選んだのかという結果をファジィ行列に変換することで、人間関係を 0.0~1.0 の値で表現した。ファジィ行列へ変換を行う際にソシオメトリックテストで表現される一方向の関係性を合成し、双方向の関係性を分析する手法を定義した。さらに、グループのクラスタリングの状況とメンバーの分枝状況をファジィ行列などから分析することで分割樹形図を生成することで人間関係を分析している。これらの手法は全て数学的に定義されている。しかし、これらの調査手法では主に個人に注目しており、定義の対称は個あるいは個と個の間に限定されたものである。より広

い視野で分析するには、集団と集団の関係や集団と個の関係の分析が必要となるが、従来のこの分野の研究においては、集団同士や集団と個との間での関係や構造を分析するための指標が定義されていなかった。そこで本研究では、ファジィ理論に基づくソシオメトリ分析におけるファジィクラスター間のファジィ関係を新たに導入し、分析法も含めてこれまでのモデルを真に拡張した。具体的には、クラスターに関する関係性を明確化するために、ファジィ理論に基づいた人間関係の分析手法として以下の4つの概念を新たに定義した。

1. クラスター間関係媒介中心性分析 (RBC)

$$\begin{aligned} v_i &\in CL_A, |CL_A| = m \\ v_j &\in CL_B, |CL_B| = n \\ RBC &= \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ \sum_j^n s_{ij} \right\} \end{aligned}$$

2. クラスター間関係分析 (CLR)

$$\begin{aligned} C &= CL_A \times CL_B : \\ &\{(i, j) | i \in CL_A, j \in CL_B, CL_A \neq CL_B, s_{ij} > 0.0\} \\ CLR &= \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{|CL_A|} \sum_{j=1}^{|CL_B|} s_{ij}}{|C|}, & \text{for } |C| > 0 \\ 0, & \text{for } |C| = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

3. クラスターノード間関係分析 (CIR)

$$C = CL_A \times j : \{(i, j) | i \in CL_A, s_{ij} > 0.0\}$$

$$CIR = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{|CL_A|} s_{ij}}{|C|}, & \text{for } |C| > 0 \\ 0, & \text{for } |C| = 0 \end{cases}$$

4. 異なる類似度レベルに属するクラスター間関係分析 (DCR)

$$C = CL_{AR} \times CL_{BR'} : \{(i, j) | i \in CL_{AR}, j \in CL_{BR'}, s_{ij} > 0.0\}$$

$$DCR = \begin{cases} \frac{\sum_{i \in CL_{AR}, j \in CL_{BR'}, CL_{AR} \cap CL_{BR'} = \phi} s_{ij}}{|C|} & \text{for } |C| > 0.0 \\ 0, & \text{for } |C| = 0.0 \end{cases}$$

これらの新たな概念を導入し、従来のファジィグラフを応用したソシオグラムの構成法、分析法を拡張し、コンピュータでバッチ的な処理ができるような分析機構も設計した。設計した分析法は次の5つである。

1. クラスター間関係媒介中心性分析

操作：分析対象となるクラスターの領域 (クラスターノード自身に触れる必要はない) をタッチする

入力：分析対象クラスターの2次元直交座標

出力：クラスター間の関係媒介中心値とその値を持つノード

2. クラスターノード間関係媒介中心性

操作：分析対象となるクラスターの領域 (クラスターノード自身に触れる必要はない)

い) をタッチする

入力：分析対象クラスターおよびノードの2次元直交座標

出力：クラスターとノード間の関係媒介中心値とその値を持つノード

3. クラスター間関係分析

操作：分析対象となるクラスターノードをタッチする

入力：分析対象クラスターの2次元直交座標

出力：クラスター間の友好関係の度合い

4. クラスターノード間関係分析

操作：分析対象となるクラスターノードおよび個ノードをタッチする

入力：分析対象クラスターおよびノードの2次元直交座標

出力：クラスターとノード間の友好関係の度合い

5. 異なる類似度レベルに属するクラスター間関係分析

操作：分析対象となるクラスターノードをタッチする

入力：分析対象クラスターの2次元直交座標

出力：クラスター間の友好関係の度合い

ファジィ理論を基にしたクラスターに関する上記の新たな分析手法により、クラスター間、またはクラスターノード間に関する関係性を定量的に扱えるようになった。例えば、ネットワークの分析指標として用いられる媒介中心性を基に、クラスター間の関係性において相手クラスターへの影響度の強いノードを特定するための指標として関係媒介中心性を用いる。関係媒介中心性については、2つのクラスター間における関係性ではあるが、相手クラスターへの影響度の強さを求めており、無向ファジィグラフから有向関係を求める指標であり、非対称の関係を定義できるようにしている。また、既存の分析手法では分割樹形図を基に分析を行っており、分割樹形図の特定の類似度レベルにおけるノード、クラスターのみを分析対象としていた。本研究で新たに定義した手法においては、異なる類似度に属するクラスター間の関係性についても定義したことにより、類似度レベルに依存

しないクラスター間分析が可能な手法を定義することができた。

・システムの実装

本研究で新たに定義した分析手法 (拡張した分析モデル) に基づいて, タッチインタフェースを用いた分析ソフトウェアへ実装を行った。本研究で, 分析手法を実装するインタフェースとしてタッチインタフェースを選択した主な理由は, 本研究で拡張した分析手法ではクラスター間の関係やクラスターと個ノードの関係を対話的 (探索的, 試行錯誤的) に見ていくことが特徴としてあげられるが, その分析の途中段階を分かり易く表示し, 容易に整理などの操作が出来ることが重要であり, その表示と操作を実現するのにタッチインタフェースが適している点にある。この他にも採用の理由としては3つある。第1は, タッチインタフェースが直感的で分かりやすい動作で分析することが可能であるためである。第2は, 社会ネットワークにおける解は, 分析者の目的に依存しており, 一意に予め決定しておくことが出来ないため, 探索的な分析 (対話的・発見的な分析) が有効であると思われるためである。第3は, タッチインタフェースの情報端末が普及している点である。ファジィ理論に基づく分析では, 対話的な支援機能, 例えばファジィグラフの自動描画機能を持つシステムは, 従来のPCのシステムでも殆ど見当たらず, タッチインタフェースに対応しているものは皆無である。また, 探索的分析における操作性に関して, タッチインタフェースとマウスを用いた場合の時間 (計算量理論に基づく時間の尺度, すなわち計算に要する操作ステップ数) を比較評価し, その有効性を評価した。例えば, 2つのサブグループ (またはノード) 間の関係性を分析する場合を考える。既存のインタフェースでは,

1. メニューバーより分析方法を選択
2. 1つ目のサブグループ (またはノード) を選択
3. 2つ目のサブグループ (またはノード) を選択

同様の操作をタッチインタフェースで実装した場合は,

1. メニューバーより分析方法を選択
2. 2つのサブグループ (またはノード) を選択

多くのマルチタッチ方式では10点まで同時認識が可能である。そのため, 10以下のサブグループ (またはノード) 間の分析であれば, 本研究の方法では2回の操作で全て分析

が可能である。既存のインタフェースでは10個のサブグループ(またはノード)間の分析に11回の操作が必要となる。

しかし、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ためその手間を考慮しなければならない。タッチインタフェースを用いた友好度の時間計算量を以下に示す。

定理. 2つのノード間の友好度の時間計算量は $O(n)$ である。
ただし、 n はファジィグラフのノード数である。

上記定理によりノード数の増大に対して線形時間での分析が可能である。そのためタッチインタフェースによる実装による分析は選択のたびにその都度分析・計算する必要があるが、分析システムの性能に与える影響は小さいと考えられる。

本研究で提案した手法および実装したシステムでは、既存手法における分割樹形図の特定レベルのみという分析範囲・条件を超えて分析可能な手法であるという点に特徴がある。これにより、分析対象のクラスターサイズが大きく異なる場合においても、類似度レベルを変更し、クラスターをサブクラスターに分割することで、同等なクラスターサイズでの分析が可能であるという利点がある。さらに、定義した分析手法をタッチインタフェースを備えた対話型の分析システムとして実装しているという点が特徴である。これにより、分析者の目的により予め一意に分析手法を定めることが出来ない場合でも、対話的に分析することが可能である。また、この手法では、バッチ的分析と異なり、必要なときに必要な解のみを計算するのでメモリ使用量を減らすことができ、分析者が必要とする結果だけを探索的に分析出来るという利点がある。

ファジィ理論を応用した人間関係分析に関する従来の研究 ([8, 9, 10, 12, 13, 14]) は、ファジィ理論を応用した様々な分析手法が提案されているが、クラスター間の影響力の強さに関する分析やグラフの描画や分析手法の実装、評価はされていない。さらに、定量的な一括的なバッチ的解析を行うための手法が主であり、分析者の目的に応じて、対話的に試行錯誤しながら適した分析手法を随時選択して結果を求めていくことはできない。本研究はこのことを解決した。本研究の意義としては、人間関係におけるグループに関する分析手法を新たに定義し、探索的に分析可能なソフトウェアとして初めて実装まで行ったと

いう点が挙げられる。

分析手法について，描画に関してはクラスターやノード，ラベルの存在を考慮せずに描画している．そのため，描画するクラスターやノードの数が増大した時に，描画した辺や辺の数値がノードと重なることによる可視性が悪くなると予想され，それが問題点として考えられる．また，タッチインタフェースにおける操作時の問題として，操作時の指と表示位置が重なることにより，可視性が悪くなることが問題点として浮上することが懸念される．これらのことから，今後の課題として，可視性を考慮したクラスター，ノード，辺，ラベルの配置を探索的に描画するアルゴリズムやタッチインタフェースの特性を考慮した配置・描画アルゴリズムの開発が挙げられる．また，人間関係以外の社会ネットワークでの有効性の検証を行うこと，さらに地図や表処理システムなど他の分野へ応用することなどが今後の課題として挙げられる．

謝辞

本研究を進めるにあたり，研究を行う機会を与えて頂き，研究全般にわたって御指導と助言を頂いた主査の土田賢省教授に深く感謝致します．そして，きめ細かな御指導，助言を頂きました副査の上原稔教授，木本伊彦教授に深く感謝致します．また，研究を進めるにあたりご協力頂きました東洋大学の佐藤章名誉教授，嘉悦大学の滑川光裕教授，東洋学園大学の住田智雄非常勤講師，横浜国立大学の塩野康德助教，流通経済大学の後藤隆彰准教授，桜美林大学の切島忠昭非常勤講師，加えて多くの有用な助言を頂いた応用オートマトン研究会，東洋大学ソフトウェア科学研究室の皆様には厚く御礼申し上げます．

参考文献

- [1] W.D.Nooy, A.Mrvar, and V.Batagelj. *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. Cambridge University Press, 2011.
- [2] 西田豊明, 角康之, 松村真宏, 人工知能学会 (編集). 知の科学 社会知デザイン. オーム社, 2009.
- [3] 松尾豊, 友部博教, 橋田浩一, 中島秀之, 石塚満. Web 上の情報からの人間関係ネットワークの抽出. 人工知能学会論文誌, Vol. 20, No. 1, pp. 46–56, 2005.
- [4] 糠野亜紀, 新谷公朗, 勝木琢也, 木原真哉, 上田真梨, 金田重郎, 芳賀博英. 活動量に基づく幼児の交友関係の抽出. 人工知能学会論文誌, Vol. 23, No. 6, pp. 402–411, 2008.
- [5] J. L. Moreno. *The Sociometry Reader*. The Free Press, 1960.
- [6] 住田正樹. 子どもの仲間集団の研究. 九州大学出版会, 1995.
- [7] 日向野智子, 小口孝司. 学級集団内地位とパーソナリティ特性からみた対面苦手意識. 実験社会心理学研究, Vol. 46, No. 2, pp. 133–142, 2007.
- [8] E.Tsuda, Y.Katsumata, H.Yamashita, and S.Shimizu. An Application of Fuzzy Graph to Sociometry Analysis. *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems*, Vol. 6, No. 3, pp. 570–584, 1994.
- [9] S.Shimizu and H.Yamashita. Approximate Graphical Analysis of Fuzzy Sociogram. *Biomedical fuzzy and human sciences : the official journal of the Biomedical Fuzzy Systems Association*, Vol. 1, No. 1, pp. 43–47, 1995.
- [10] 山下元 (監修), 滝澤武信 (編著), 稲井田次郎, 上江洲弘明, 奥田良治, 金川秀也, 清水誠一, 鍾恂恂, 新海公昭, 富田真聡, 津田栄, 永島謙一, 橋口泰武, 茂木快治, 森岡正臣. ファジィ理論 –基礎と応用–. 共立出版, 2010.

- [11] 弘明上江洲. ファジィノードファジィグラフを応用したソシオメトリー分析. 日本ファジィ学会誌, Vol. 14, No. 3, pp. 299–309, 2002.
- [12] H.Uesu. Structure Analysis of Fuzzy Node Fuzzy Graph and its Application. *Biomedical Soft Computing and Human Science*, Vol. 11, No. 1, pp. 41–49, 2006.
- [13] K.Shinkai. Fuzzy Cluster Analysis and its Evaluation Method. *Biomedical Soft Computing and Human Science*, Vol. 13, No. 2, pp. 3–9, 2008.
- [14] Y.Katsumata, E.Tsuda, K.Nagashima, and H.Yamashita. Opinion Survey Applying Fuzzy Graph. In *Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference*, pp. 131–134, 2012.
- [15] Zadeh.L.A. Information and control. *Fuzzy sets*, Vol. 8, No. 3, pp. 338–353, 1965.
- [16] M.Ohkita, H.Miyata, T.Ohishi, M.Kanezaki, and Y.Takeda. Control of a mobile robot by the fuzzy theory. In *Proceedings of the 13th IMACS World Congress on Computation and Applied Mathematics*, Vol. 3, pp. 1217–1219, 1991.
- [17] Masaaki Ohkita, Yoshinobu Sugano, Tomoyuki Miyano, and Makoto OHKI. Obstacle detection by pattern matching of image templates based on the self-organizing map. 知能と情報, Vol. 16, No. 5, pp. 463–471, 2004.
- [18] 有田清三郎. ファジィ理論の診断ロジックへの応用. *BME*, Vol. 3, No. 11, pp. 34–39, 1989.
- [19] 有田清三郎. ファジィ理論を用いた超音波画像による癌診断システムの開発. 日本ファジィ学会誌, Vol. 3, pp. 527–539, 1991.
- [20] 有田清三郎, 本田貢, 三谷茂, 東義晴, 竹田芳弘, 尾崎敏文, 井上龍也, 稲村圭司, 金澤右. 帰属確率と min-max 法による x 線画像所見に基づいた小児股関節診断システム. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 1–8, 2010.
- [21] 稲井田次郎. ファジィ推論における単調性解析. 早稲田大学数学教育学会誌, Vol. 21, No. 1, pp. 28–33, 2003.
- [22] A.Satoh, Y.Makino, H.Yamashita, H.Uesu, H.Suda, and K.Tsuchida. Fuzzy Graph Analysis System for Sociometry on Latticed Display. In *Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference*, pp. 139–144, 2001.
- [23] 永野直, 森秀彦. マルチタッチインタフェースの認知モデルと教育利用. 鳴門教育大学情報教育ジャーナル, pp. 9–13, 2009.

- [24] Robin J. Wilson. *Introduction to Graph Theory*. Peason Education Limited, 1995.
- [25] Antonieta Kuz, Mariana Falco, Enzo de Renzis, Leopoldo Nahuel, and Roxana Giandini. Using Social Network Analysis in the classroom: a case study applying NodeXL. In *XXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (Junín, 2015)*, 2015.
- [26] Shane Dawson. A study of the relationship between student social networks and sense of community. *Educational Technology & Society*, Vol. 11, No. 3, pp. 224–238, 2008.
- [27] T.Sumiya, S.Yamamoto, S.Kaneda, and H.Haga. Interpersonal network extraction based on Non-Verbal Communication by using motion picture processing. *IPSJ SIG Technical Report*, Vol. 2012-CDS-3, No. 4, pp. 1–9, 2012.
- [28] 西田俊夫, 竹田英二. ファジィ集合とその応用. 森北出版, 1985.
- [29] Arnold Kaufmann, Madan M. Gupta, 田中英夫 (監訳), 松岡浩 (訳). ファジィ数学モデル. オーム社, 1992.
- [30] S.Miyamoto. *Intoroduction to Cluster Analysis: Theory and Applications of Fuzzy Clustering*. Morikita-Shuppan, 1999.
- [31] Sunil Mathew and M.S. Sunitha. Node connectivity and arc connectivity of a fuzzy graph. *Information Sciences*, Vol. 180, No. 4, pp. 519–531, 2010.
- [32] JOHN SCOTT. *SOCIAL NETWORK ANALYSIS*. SAGE, 2013.
- [33] 安田雪. 社会ネットワーク分析：その理論的背景と尺度. 行動計量学, Vol. 21, No. 2, pp. 32–39, 1994.
- [34] Linton Freeman. Visualizing social networks. *Journal of Social Structure*, Vol. 1, No. 1, 2000.
- [35] Peter Eades. A heuristic for graph drawing. *Congressus Numerantium*, Vol. 42, pp. 149–160, 1984.
- [36] Tomihisa Kamada. Visualizing abstract objects and relations: A constraint-based approach. *Series in Computer Science*, Vol. 5, , 1989.
- [37] Kozo Sugiyama, Shojiro Tagawa, and Mitsuhiro Toda. Methods for visual understanding of hierarchic system structures. *Journal of IEEE Transaction on*

- System*, Vol. 11, No. 2, pp. 109–125, 1981.
- [38] Akira Satoh, Hajime Yamashita, Hiroshi Suda, Kensei Tsuchida, and Misuhiro Namekawa. Fuzzy Graph Modelling and its Analysis System. In *12th Int. Congress on Modelling and Simulation*, pp. 907–912, 1997.
- [39] Hiroshi Suda Akira Satoh, Hajime Yamashita and Kensei Tsuchida. Fuzzy Graph Arnalysis System for Sociometry through Man-machine Interface. In *Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*, pp. 19–23, 2000.
- [40] Yoshinori Ueda, Isami Nomoto, Masayuki Matsumoto, and Akira Stou. An Automatic Drawing of a Fuzzy Graph. In *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 457–460, 2001.
- [41] 植田佳典, 滑川光裕, 佐藤章. 遺伝子の交換に逆位を用いる ga の収束性能の改善について. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 13, No. 1, pp. 97–107, 2011.
- [42] Y.Shiono, T.Kirishima, Y.Ueda, and Kensei Tsuchida. Drawing Algorithm for Fuzzy Graph Using the Partition Tree. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 16, No. 5, pp. 888–896, 2012.
- [43] 蘇文. 社会ネットワークの視点から見たオンライン・コミュニティ：ネットワーク構造分析によるオピニオン・リーダー研究. 国際広報メディア・観光学ジャーナル, No. 18, pp. 157–176, 2014.
- [44] T.Yoshizumi, T.Sumida, Y.Shiono, M.Namekawa, and Kensei Tsuchida. Analysis Method for Human Relations through the Touch Interface. *The Transactions of Human Interface Society*, Vol. 17, No. 2, pp. 151–158, 2015.
- [45] Toshihiro Yoshizumi, Tomoo Sumida, Yasunori Shiono, Mitsuhiro Namekawa, and Kensei Tsuchida. Advanced Analysis Method for Human Relationship Based on Fuzzy Theory. *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol. 29, No. 4, pp. 637–643, 2017.

著者業績

- [1] Toshihiro Yoshizumi, Tomoo Sumida, Yasunori Shiono, Mitsuhiro Namekawa, and Kensei Tsuchida. Advanced Analysis Method for Human Relationship Based on Fuzzy Theory. *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol. 29, No. 4, pp. 637–643, 2017.
- [2] Toshihiro Yoshizumi, Tadaaki Kirishima, Takaaki Goto, Kensei Tsuchida, and Takeo Yaku. A Graph Grammar for Entity Relationship Diagrams. *Proceedings of the 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics(INDIN2016)*, pp. 810–815, 2016.
- [3] Toshihiro Yoshizumi, Takaaki Goto, Yoshinao Isobe, Kazuhito Ohmaki, Hideki Mori, and Kensei Tsuchida. Parallel Algorithm that Considers Energy Efficiency and Time Efficiency. *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT2016)*, pp. 1723–1727, 2016.
- [4] Chieko Kato, Satoshi Yoshinuma, Koichiro Aoki, Fumiko Goto, Toshihiro Yoshizumi, Takehide Goto, and Kensei Tsuchida. Mental Health for Japanese People Posted Overseas. *Open Journal of Social Science*, Vol. 4, No. 2, pp. 30–32, 2016.
- [5] Koichiro Aoki, Satoshi Yoshinuma, Toshihiro Yoshizumi, Chieko Kato, and Kensei Tsuchida. Gauging Public Support for the Paralympics. *Proceedings of 2016 International Symposium on Social Sciences and Management*, pp. 794–803, 2016.
- [6] 吉住寿洋, 塩野康德, 住田智雄, 滑川光裕, 土田賢省. リアルタイム風景シミュレーションのファジィモデル. バイオメディカル・ファジィ・システム学会第 28 回年次

- 大会講演論文集, pp. 209–212, 2015.
- [7] 山下喜弘, 田中建一, 加藤千恵子, 渋谷英雄, 高橋正己, 永井由美, 佐々木達也, 松井紀和, 橋本光生, 冠地情, 後藤芙未子, 高田昌利, 鎌田洋子, 久保寺一男, 吉住寿洋, 藤木清次, 出縄貴史, 宮武ゆかり. 大人の発達障害と就労支援・雇用の実現. 日本法令, 2015.
- [8] 吉住寿洋, 加藤千恵子, 田中建一, 土田賢省. 心理的負荷の判定から精神障害の労災認定を支援するシステム. 第 43 回可視化情報シンポジウム講演論文集, pp. 307–308, 2015.
- [9] Yasunori Shiono, Toshihiro Yoshizumi, and Kensei Tsuchida. Information Retrieval based on Heuristic Key Words Extraction and Clusterings for Documents. *Proceedings of 3rd International Conference on Applied Computing & Information Technology (ACIT2015)*, pp. 125–126, 2015.
- [10] Toshihiro Yoshizumi, Tomoo Sumida, Yasunori Shiono, Mitsuhiro Namekawa, and Kensei Tsuchida. Effectiveness of Multi-Touch Interface for FuzzyGraph Analysis. *Proceedings of 3rd International Conference on Applied Computing & Information Technology (ACIT2015)*, pp. 123–124, 2015.
- [11] 吉住寿洋, 住田智雄, 塩野康徳, 滑川光裕, 土田賢省. タッチインタフェースを利用した人間関係の分析方法. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 17, No. 2, pp. 151–158, 2015.
- [12] Toshihiro Yoshizumi, Tomoo Sumida, Tadaaki Kirishima, Kensei Tsuchida, and Takeo Yaku. A Move Algorithm of Specified Segment Ruled Lines In Tabular Forms Using An Octgrid Model. *Proceedings of the 30th International Conference on Computers and Their Applications (CATA2015)*, pp. 19–24, 2015.
- [13] 吉住寿洋, 加藤千恵子, 田中建一, 土田賢省. 労災認定を支援する心理的負荷強度判定システム. 情報処理学会研究報告情報システムと社会環境 (IS) , Vol. 2015, No. 2, pp. 1–5, 2015.
- [14] 吉住寿洋, 塩野康徳, 夜久竹夫, 土田賢省. Octgrid に基づく表編集アルゴリズム. 情報処理学会第 71 回全国大会講演論文集, Vol. 71, pp. 265–266, 2009.
- [15] 土田賢省, 本橋友江, 夜久竹夫, 山澤聡, 吉住寿洋. 表の格子グラフモデルと編集アルゴリズム. 情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS) , Vol. 2009,

- No. 19, pp. 225–228, 2009.
- [16] 吉住寿洋, 塩野康德, 山澤聡, 土田賢省. Octgrid におけるグラフアルゴリズム. 日本応用数理学会 2008 年度年会講演予稿集, pp. 175–176, 2008.
- [17] Yuji Kanazawa, Shinobu Miyata, Toshihiro Yoshizumi, Tadaaki Kirishima, Yasunori Shiono, Tomoe Motohashi, Takeo Yaku, , and Kensei Tsuchida. PARSER FOR OCTGRID. *Proceedings of 2007 International Conference on Broadband Network & Multimedia Technology*, pp. 238–243, 2007.