

令和5年度 宮城大学大学院  
博士論文

ソーシャルネットワーク的観点に基づく  
ソーシャルキャピタルの紐帯構造がもたらす  
アウトカムに関する研究

事業構想学研究科博士後期課程  
地域・社会システム領域  
22055001

大場 春佳

様式2（第2条第3項関係）

(2) 博士

博士論文要旨

研究科	事業構想学研究科		
専門領域	地域・社会システム	指導教員	藤澤 由和
学籍番号	22055001	氏名	大場 春佳
研究題目	ソーシャルネットワーク的観点に基づくソーシャルキャピタルの紐帯構造がもたらすアウトカムに関する研究		
<p>ソーシャルキャピタルは、「社会関係資本」としても知られる、創発的な関係資本である。Burt は、Coleman が論じているソーシャルキャピタルをネットワーク的なアプローチに依拠し、その精緻化を行っている。</p> <p>2001年に発表した論文において、Burt は、「ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の両者がともに最大化される時、組織・集団にもっとも成果をもたらすソーシャルキャピタルの最大化がもたらされる」とする考えを示している。</p> <p>しかしながらネットワーク閉鎖性と構造的隙間がどのように組み合わせられることにより、ソーシャルキャピタルがもたらすポジティブな影響が最大化され、さらにその結果として組織や集団におけるアウトカムが増加するの点に関しては、実証的な検証はこれまで実質的に行われてこなかった。またこれまでの Burt の議論では、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の2つの要素は、伝統的には互いに独立したネットワーク構造として捉えている。しかし、これらが相互作用し合うのか、相互作用するとするならばどのように相互作用するのか、その複雑な関係性について深く掘り下げられていない。</p> <p>そこで、本研究では、ソーシャルネットワーク理論に基づく紐帯の構造がもたらすアウトカムについて、「ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の組み合わせ」が、どのような影響を与えるのかを、定量的なデータである日本の研究者組織ネットワークデータを用いた分析手法により、明らかにすることを目的に行う。また、互いに独立したネットワーク構造として捉えられていた、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の関係性について明らかにする。</p> <p>結果として、2001年に Burt が指摘した、ネットワーク構造である構造的隙間とネットワーク閉鎖性からもたらされる組織においては、一定程度検証し得た。またソーシャルキャピタルにより研究者組織にもたらされるアウトカムについても明らかとなった。併せて、ベイジアンネットワークによる構造学習を行い、構造的隙間とネットワーク閉鎖性は独立しておらず、相互作用し合うことを示した。</p> <p>本研究では日本の研究者組織を対象として分析を行ったが、他のネットワークデータでも応用可能な分析手法である。</p>			

800字程度，A4版



# 目次

1	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	ソーシャルネットワーク研究への関心の高まり	2
1.3	本研究の目的と構成	6
2	ソーシャルネットワーク研究系譜	9
2.1	人々の関係性に関する諸理論	9
2.2	ソーシャルネットワーク研究の歴史の変遷	12
2.3	ソーシャルネットワーク研究の定義	20
2.4	本研究の基盤となる論文とその関連理論	22
2.4.1	ソーシャルキャピタル	23
2.4.2	ソーシャルネットワーク理論	25
2.5	ソーシャルネットワークの数学的表現	29
3	研究者組織のネットワーク構造と研究成果（アウトカム）の関係	32
3.1	日本における研究力の低下傾向	32
3.2	検証データ：科学研究費助成事業	35
3.3	ネットワーク閉鎖性と構造的隙間に関する指標の算出	38
3.4	統計分析によるネットワーク構造と研究成果（アウトカム）の関係の把握	40
3.5	まとめ	60
4	包絡分析法 (DEA) を用いたソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の把握	62
4.1	包絡分析法 (DEA) の定義	62
4.2	ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の定義	68
4.3	ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の算出	69
4.4	シミュレーション	74
4.5	まとめ	75
5	ベイジアンネットワークを用いたネットワーク構造の関係性	77
5.1	ベイジアンネットワークとは	77
5.2	構造学習によるネットワーク構造の関係性	79
5.2.1	検証データ	79

5.2.2	構造学習 . . . . .	81
5.3	ネットワーク構造の関係性とアウトカムに関する考察 . . . . .	86
5.4	まとめ . . . . .	90
6	結言 . . . . .	91
6.1	本研究のまとめ . . . . .	91
6.2	本研究の限界 . . . . .	92

## 目次

1.1	ソーシャルネットワーク研究が適用された分野数と発表年との関係 . . . . .	3
1.2	成果と紐帯の構造の関係性 . . . . .	5
1.3	本論文の構成 . . . . .	8
2.1	つながりの側面とアウトカムの関係性 . . . . .	11
2.2	科学発展の4段階 . . . . .	12
2.3	科学の発展サイクル . . . . .	13
2.4	ソシオメトリーの基本的な流れ . . . . .	14
2.5	ネットワーク分析における対象範囲 . . . . .	17
2.6	ソーシャルネットワーク研究の科学の発展サイクル . . . . .	20
2.7	ネットワーク表現例 . . . . .	21
2.8	本研究の基盤としている論文とその関連理論の関係性 . . . . .	22
2.9	成果と紐帯の構造の関係性 . . . . .	23
2.10	ネットワーク閉鎖性 . . . . .	25
2.11	ネットワーク閉鎖性と構造的隙間 . . . . .	26
2.12	3者における紐帯の関係性 . . . . .	28
2.13	無向グラフ例 . . . . .	30
2.14	有向グラフ例 . . . . .	30
3.1	大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算) . . . . .	33
3.2	平均論文数と平均大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算) 比較 . . . . .	34
3.3	科学研究費助成事業スケジュール . . . . .	36
3.4	ネットワーク閉鎖性算出例 . . . . .	39
3.5	2部グラフからの変換例 . . . . .	39
3.6	構造的隙間算出例 . . . . .	40
3.7	年度研究種別別研究課題件数 . . . . .	41
3.8	研究種別別研究課題期間 . . . . .	42
3.9	年度研究種別別合計総配分額 . . . . .	42
3.10	年度研究種別別平均配分額 . . . . .	42
3.11	研究分野別総配分額合計 . . . . .	43
4.1	実行可能領域 . . . . .	63
4.2	最適解 . . . . .	63
4.3	1入力1出力の例における効率フロンティア . . . . .	65

4.4	1 入力 1 出力の例における入力・出力指向 . . . . .	65
4.5	1 入力 2 出力の例における例 . . . . .	66
4.6	研究組織内外で見た時の要素の関係性の概要 . . . . .	69
4.7	DMU 効率値ヒストグラム . . . . .	70
4.8	効率値 1 の DMU 別被参照集合数 . . . . .	70
4.9	成果と紐帯の構造の関係性への適応 . . . . .	73
4.10	1 入力 2 出力の例における例 (再掲) . . . . .	74
4.11	クラスタ 0 に近づけた場合の効率値変化シミュレーション . . . . .	75
4.12	クラスタ 0 に近づけた場合の効率値変化シミュレーション (対象: 効率値 5 以上) . . . . .	76
5.1	データに対する複数原因ネットワーク図 . . . . .	78
5.2	ベイジアンネットワークの例 . . . . .	79
5.3	基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク . . . . .	82
5.4	基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク . . . . .	86
5.5	アウトカムが生み出されるまでのフロー . . . . .	87
5.6	成果と紐帯の構造の関係性への適応 (再掲) . . . . .	89

## 表目次

2.1	人間関係性に関する理論 . . . . .	10
2.2	人間関係性に関する理論とつながりの側面 . . . . .	11
2.3	ネットワーク科学とグラフ理論の違い . . . . .	29
2.4	ネットワークの例 . . . . .	31
3.1	国・地域別論文数（上位 25 カ国） . . . . .	33
3.2	国・地域別 Top10% 補正論文数（上位 25 カ国） . . . . .	34
3.3	平均論文数と平均大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算) 比較表 . . . . .	35
3.4	研究課題ステータス . . . . .	37
3.5	科研費データ項目一覧 . . . . .	37
3.6	研究者組織データの相関係数行列 . . . . .	46
3.7	研究者組織データの相関係数行列（基盤研究 (A)） . . . . .	47
3.8	研究者組織データの相関係数行列（基盤研究 (B)） . . . . .	48
3.9	研究者組織データの相関係数行列（基盤研究 (C)） . . . . .	49
3.10	重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性） . . . . .	51
3.11	重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性，基盤研究 (A)） . . . . .	52
3.12	重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性，基盤研究 (B)） . . . . .	53
3.13	重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性，基盤研究 (C)） . . . . .	54
3.14	重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間） . . . . .	56
3.15	重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間，基盤研究 (A)） . . . . .	57
3.16	重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間，基盤研究 (B)） . . . . .	58
3.17	重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間，基盤研究 (C)） . . . . .	59
4.1	DEA 利用データ項目一覧 . . . . .	69
4.2	効率値 1 の DMU 一覧（分野：その他） . . . . .	71
4.3	クラスタごとの各項目平均値一覧 . . . . .	72
5.1	ベイジアンネットワーク利用データ項目一覧 . . . . .	80
5.2	構造学習で用いたアルゴリズム，評価手法 . . . . .	80
5.3	基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク 相互情報量 . . . . .	83
5.4	基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク 感度分析（目的変数：構造的隙間） . . . . .	84
5.5	基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク 感度分析（目的変数：ネットワーク 閉鎖性） . . . . .	85
5.6	基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク 相互情報量 . . . . .	86

5.7	基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク 感度分析 (目的変数: 構造的隙間)	87
5.8	基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク 感度分析 (目的変数: ネットワーク閉鎖性) . . . . .	88

# 1 序論

## 1.1 研究の背景

他者とのつながりの変化は、産業革命と連動しながら大きく変化している。18世紀末の第一次産業革命では、水力や蒸気機関、石炭などのエネルギー革命により工場の機械化が進み、移動手段においては徒歩や人力車、馬車などの移動手段から電車や車などに変化することにより、移動速度が格段に速くなり、遠くの人とも短時間で会うことができるようになることにより、他者とのつながりに大きな変化がもたらされた。

また20世紀初頭の第2次産業革命においては、電気をエネルギー源としたことで、他者との関係性に新たな変化をもたらしたといえる。電話が開発され、遠くの人と会わずに会話ができるようになるとともに、映画やラジオなどが発明され、人々に新たな情報源がもたらされることとなった。

さらに1970年代初頭からの第3次産業革命においては、情報技術や電子技術が発達し、コンピュータが開発され、工場を中心に自動化が進められ、1995年には軍用に開発利用されてきていたインターネットが商用化・民営化し、一般家庭にも普及した。その結果として、ものをインターネットに繋ぐIoTや、多様なデータを大量に収集・分析するデータサイエンス、機械学習・AIなどが現実的なものとなり、人々の関係性において、これまでとは大きく異なる変化がもたらされている。

また、近年においては人とのつながり方として、インターネットを用いたメール、ソーシャルネットワークワーキングサービス（SNS）が存在する。令和3年度版総務省の情報通信白書によると現在では携帯端末（スマートフォン）が普及し、携帯電話やスマートフォンなどのモバイル端末の世帯保有率は9割を超えているとされる [1]。またスマートフォンだけに絞っても、8割以上の世帯で保有されており、いつでも、誰とでもつながりを得やすい世の中になったことがわかる。

こうしたSNSにより知らない人とでも容易につながることができる環境は、距離の制約がないことから、同じ趣味を持つ、顔や本名などのパーソナル情報を知らない人と情報交換や討論することを可能にしており、さらに距離が近い人とでも、同じ場所にいなくても密な情報交換を可能とするものである。

一般的にSNSは匿名の者同士の意見交換や討論が活発化される一方で、その内容の信憑性・信頼性は高いものとは言えず、さらに匿名での意見表出の容易さが、実名での意見交換や討論を低調なものとする可能性も指摘されている。たとえば総務省のICTを活用した地域社会への住民参画のあり方に関する研究会によると、地域SNSへの参加を実名とするか匿名とするか議論が交わされている。この研究会は、東京都千代田区と長岡市で行われた地

域 SNS の実施と運用に関する結果を「住民参画システム利用の手引き」としてまとめた [2]. これらの地域 SNS では、実名と匿名の選択肢ではなく、参加者自身がプロフィール情報の公開範囲を設定できるようにしたが、実際には相手の名前が分からず、「友達」となることが難しいという問題が発生した. 地域 SNS は地域社会と連携し、コミュニティの活性化を目指しており、匿名での誹謗中傷を防ぐために「顔の見えるコミュニティサイト」を構築する必要があるため、「友達」として登録した相手には最低限実名を公開するようルール変更をして運用を継続した. 長岡市の地域 SNS では、実名の公開が信頼性と安全性向上にどの程度寄与するか、実名を確認しない「友達」との公開情報の有益性、ネット上の友達と現実の友達の概念の違いについても疑問が提起された. しかし、千代田区の都市部の地域 SNS では、このような議論はほとんど発生しなかったことから、都市部の生活には匿名性があることから地域 SNS への匿名性のニーズが少なく、対して地方都市では対面しやすい環境から、ネット上での匿名活動が求められた可能性が考えられる. 地域 SNS は現実の地域社会と連携し、仮想空間内の「友達」という概念が異なることが示唆されている.

このように、SNS に参加し意見を交わすことのある方に関しては、依然として課題はあると言えるが、中田によると SNS は異なるバックグラウンドや専門知識を持つ人々がオンライン上で連携し、新たなアイデアやプロジェクトを生み出すための非常に有望なプラットフォームであることが示された [3]. 情報のアクセス性、ネットワーキングの機会、市場調査、クラウドソーシング、教育支援など、様々な分野で SNS はイノベーションを促進できる高い可能性を持っているとも言える [2].

しかしながら知らない人とでも容易につながることができる SNS 環境は、孤独感を与える影響の一つにもなっていることも忘れてはいけない. 令和 4 年に内閣官房孤独・孤立対策担当室が発表した「人々のつながりに関する基礎調査（令和 3 年）」において、全国の満 16 歳以上の個人 20,000 人を対象とした調査によって、孤独感が「しばしばある・常にある」と回答した人の割合が最も高いのは 30 歳代で、7.9% であることが明らかになった [4]. また 20 歳代においても 7.7% と高く、UCLA 孤独感尺度（間接尺度）を用いた方法においても同様の結果となっている. これらを鑑みると、孤独感と SNS の利用割合の間には相関があるといえる [5].

このような他者とのつながりに関する研究は、戦後から様々な分野で広がりを見せている. 1950 年代には社会的交換理論、愛着理論、役割理論、1960 年代には人間関係を構造（ネットワーク）として捉えるソーシャルネットワーク理論が生まれた.

## 1.2 ソーシャルネットワーク研究への関心の高まり

ソーシャルネットワーク研究とは、人やもの、組織などのつながりがもたらす影響について、ネットワークを用いて探究する研究である. 社会科学においては、社会学をはじめ、経



営学、政治学、経済学といった分野で応用されている [6-8]. 実務レベルにおいても、企業がマーケティング研究に用いるなど、現実社会の現象を理解する際に用いられる方法の1つであり、また前項で述べたように Facebook や X (旧: Twitter) など、電子空間上で構築させてきたソーシャルネットワーキングサービス (SNS) が与える影響は大きく、以前に比べて人と人の社会的なつながりは複雑になるとともに、重要なものとなりつつある。

Otte らが 1984 年から 1999 年の間に出版されたソーシャルネットワーク論文を調査した結果、年々ソーシャルネットワークに関する論文数は増加しており、ソーシャルネットワークが適用された分野の数も増加していることが示されており [9], 学術分野においては、今後、益々活発な検討が行われている研究領域であると考えられる (図 1.1).

またソーシャルネットワーク研究における国際的な論文誌の一つとして、Social Networks が挙げられるが [10], この雑誌は 1978 年に刊行され、ソーシャルネットワーク研究の発展に大きく寄与した論文も投稿されてきている。さらに、当該雑誌は、人類学、社会学、歴史学、社会心理学、政治学、人文地理学、生物学、経済学、情報学、その他の分野の研究者が投稿する稀に見る学際的な研究誌でありながら、そのインパクトファクターは 2022 年現在 3.1 と、こうした領域における雑誌としてはかなり高いものである。過去を遡ってみるとインパクトファクターは年々上昇しており、こうしたことから、つながりを科学的に探究するソーシャルネットワーク研究が、多くの分野から注目される研究領域の1つであることがわかる。

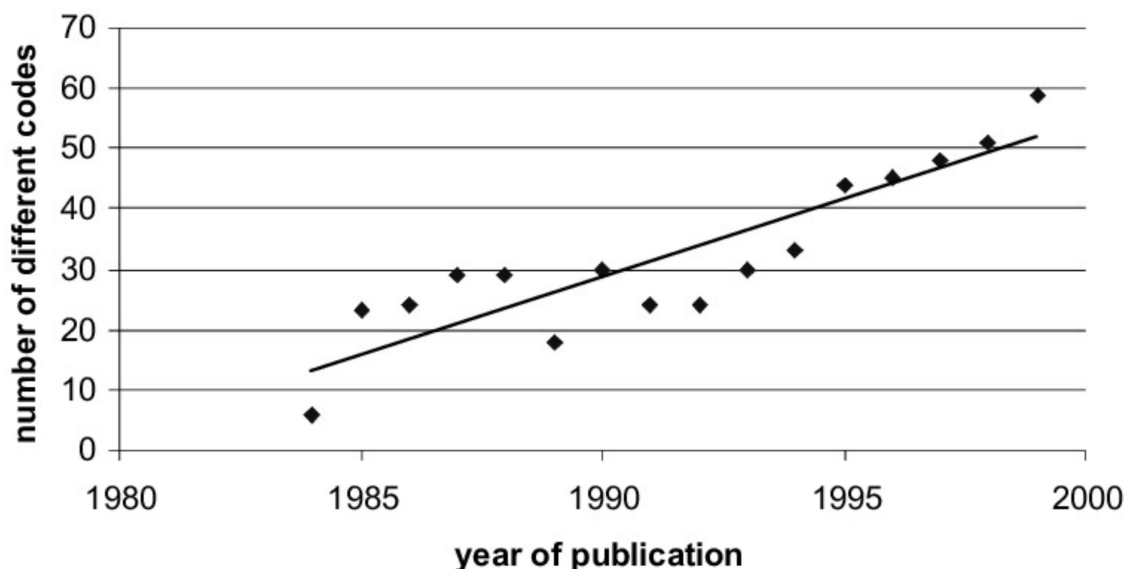


図 1.1 ソーシャルネットワーク研究が適用された分野数と発表年との関係

(Otte ら [9] より)

こうしたソーシャルネットワーク研究への関心の高まりの背景には、データ分析基盤の構築のためのデータ収集・活用がこれまでとは桁違いに容易なものとなったため、これまで先人の経験や直観により理論化されてきた研究課題やその具体的な研究対象が、実際のデータを用いて分析し、検証できる環境が整ってきたことが大きいといえる。

またつながりのあり様が刻々と変化していく現代社会において、どのようなつながりが重要なのかを定量的に把握することは重要である。なぜならば社会現象は、個人の特性とその個人が置かれている文脈の相互作用から様々に変化する可能性が高く、こうした文脈をソーシャルネットワークであると捉えると、社会現象の事象的な解明には、こうした文脈としてのソーシャルネットワークを捉えることが、より深い社会現象解明に向けての重要な基盤であるからである。

ソーシャルネットワーク研究においてソーシャルキャピタルの概念を探究することは、現代社会における複雑な人間関係や社会現象のより深い理解へとつながる。ソーシャルキャピタルは、「社会関係資本」としても知られ、個人や集団が持つソーシャルネットワークを通じて獲得される、創発的な関係資本である。ソーシャルネットワークを通じて形成されるこの資本は、個人やコミュニティの福祉、経済的な成功、社会的な連帯感の向上など、多くのポジティブなアウトカムを生み出す原動力となる。

このソーシャルキャピタルの形成過程やそのメカニズムを理解することは、社会学を中心に、政治学、経済学、経営学など広範な分野での研究において中心的なテーマである。この資本の獲得と活用は、個人や集団が直面する様々な社会的、経済的課題に対処するうえで需要である。したがって、ソーシャルネットワーク研究においてソーシャルキャピタルの概念を探究することは、現代社会における複雑な人間関係や社会現象のより深い理解へとつながる。

ソーシャルキャピタルの概念は研究者によって様々であり、研究者の専門領域や研究方法、アプローチによって違いが存在している。こうしたなかで Coleman は、社会における人々の結びつきを強める「機能」をもつものとしてソーシャルキャピタルを論じている [11]。信頼関係、規範、ネットワークなど人と人が繋がることでもたらされる資源であり、ソーシャルキャピタルを高めることは重要であるとしている。

また Burt は、Coleman が論じているソーシャルキャピタルをネットワーク的なアプローチに依拠し、その精緻化を行っていると言えよう。具体的には、2001年に発表された論文”Structural Holes versus Network Closure as Social Capital”の中で、”ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の両者がともに最大化されるとき、組織・集団にもっとも成果をもたらすソーシャルキャピタルの最大化がもたらされる”とする考えを示している [12] (図 1.2)。

Burt はソーシャルネットワークの中でも「ネットワーク閉鎖性」と「構造的隙間」という二つの異なる特性に着目した。それぞれにメリットとデメリットが存在する。ネットワーク閉鎖性とは、グループ内の人々が密接に繋がっており、情報や資源がグループ内で循環し

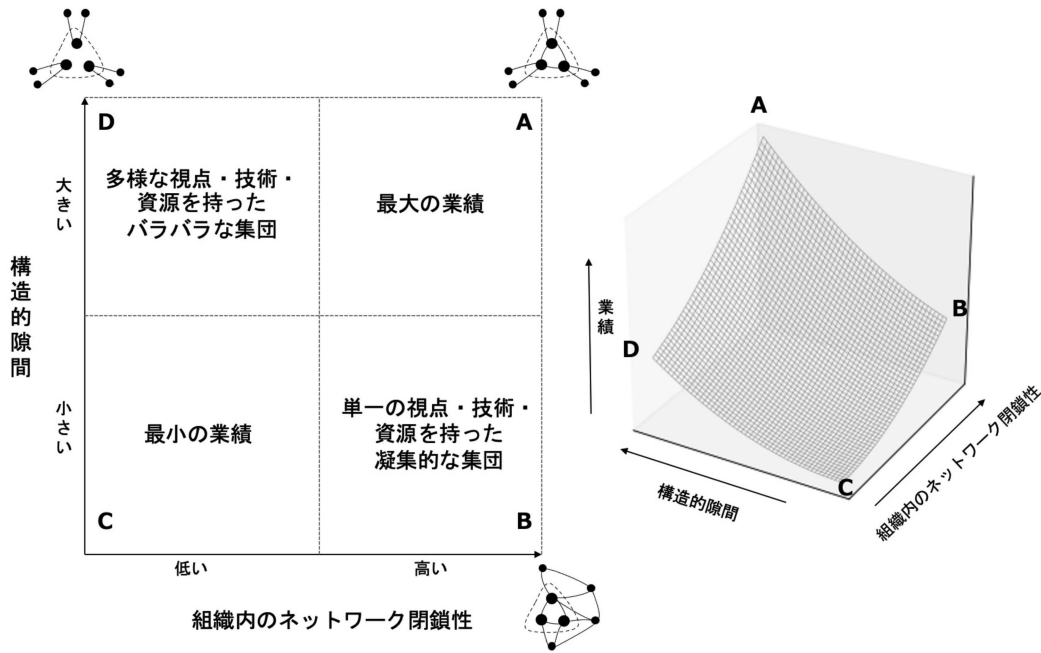


図 1.2 成果と紐帯の構造の関係性

(Burt [13] より著者作成)

やすい状態を指す。このような状態のグループは、団結力が強く、目標に向かって行動しやすいと言える。しかし、外部の新しい情報やアイデアが入りにくく、結果として革新性が低下する可能性がある（図 1.2B）。一方で、構造的隙間とは、異なるグループやネットワーク間に「隙間（つながりがない空間）」があることを指し、これらの隙間を通じて新しい情報やアイデアが流入することで、イノベーションが生まれやすくなる（図 1.2D）。しかし、グループ間に隙間が多いと、グループ内での一体感が欠け、共通の目標達成が難しくなる。Burt は、理想としてネットワーク閉鎖性と構造的隙間がバランス良く存在することで、グループは外部からの新しい情報やアイデアを取り入れつつ、団結力を保ち、効率的に目標を達成できると指摘している（図 1.2A）。つまり、内部の結びつきが強い一方で、外部の様々なネットワークとも繋がっている状態が、最も成果を上げやすい、つまりソーシャルキャピタルが最大化することから、アウトカムが生まれやすい。

この論文は発表から 20 年以上経過しているが、Coleman のソーシャルキャピタルをソーシャルネットワークアプローチにて精緻化を行ったはじめての研究である。定量化して分析を行うことが困難なソーシャルキャピタルを、ソーシャルネットワーク理論のネットワーク閉鎖性、構造的隙間を用いて概念整理を行なっているという大きな特徴がある。

### 1.3 本研究の目的と構成

ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の最適な組み合わせが、組織や集団におけるソーシャルキャピタルの最大化、ひいてはその結果としてのアウトカムとしての成果や業績といったものの増加につながるという点は、先にも述べた通り、Burt [12] によりその理論的に示されている。しかしながらネットワーク閉鎖性と構造的隙間がどのように組み合わせられることにより、ソーシャルキャピタルがもたらすポジティブな影響が最大化され、さらにその結果として組織や集団におけるアウトカムが増加するののかという点に関しては、実証的な検証はこれまで実質的に行われてこなかった。ましてやいわゆる大規模データ (big data) を用いた定量的な検証は行われてきていない。

なぜならば、これまでの研究では、適切な大規模データセットの取得や、複雑なネットワーク構造を解析するための高度な計算技術およびツールが不足していた。先行研究は、多くの場合、限定されたサンプルサイズや簡略化されたモデルに依存しており、実際の複雑な社会的相互作用の全貌を捉えることができなかった。加えて、ソーシャルキャピタルの影響を測定する統計的な方法論も、この種の複雑なダイナミクスを適切に表現するためには、しばしば限界があった。

しかし最近になって、ビッグデータ技術の進化と計算能力の向上により、大量のデータを収集し、解析することが可能になった。これにより、研究者たちは、以前は不可能だったスケールと精度で社会ネットワークの構造とその影響を解析できるようになった。これには、ソーシャルメディアのデータ、組織内外の通信パターン、さらには人々の移動パターンに関する情報などが含まれる。これらのデータを用いることで、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の具体的な組み合わせが、ソーシャルキャピタルの形成と活用にどのように寄与するか、そしてそれが組織や集団のパフォーマンスにどのように影響するかについて、より深い理解を得ることが期待される。

この新たな環境は、ソーシャルキャピタルと組織の成果との関係に関する理論を、実証的に検証するための新しい道を開くものである。特に、異なるタイプのネットワーク構造が特定の状況下でどのように機能するかを理解することは、組織や集団がより効果的に機能するための戦略を開発する上での重要な鍵となる。

またこれまでの Burt の議論では、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間のそれぞれがソーシャルキャピタルに与える影響について検討している。これら 2 つの要素は、伝統的には互いに独立したネットワーク構造として捉えている。しかし、これらが相互作用し合うのか、相互作用するとするならばどのように相互作用するのか、その複雑な関係性について深く掘り下げられていない。これらのネットワーク構造の相互関係を理解することにより、組織や集団がソーシャルキャピタルをより効果的に構築し活用するための戦略が明らかになる。

以上より、本研究では、ソーシャルネットワーク理論に基づく紐帯の構造がもたらすアウトカムについて、“ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の組み合わせ”が、どのような影響を与えるのかを、定量的なデータを用いた分析手法により明らかにすることを目的に行う。また、互いに独立したネットワーク構造として捉えられていた、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の関係性について明らかにする。

本研究を行うにあたり、対象を日本の研究集団ネットワークに着目して実施する。具体的には、所属機関や所属学部に関わらず、同じ研究プロジェクトで共同研究をしている研究者たちのネットワークに焦点を当てる。なぜならば異なる機関や学部に所属しながら共同で研究を行う研究集団のネットワークを分析することで、構造的隙間つまり、ネットワーク内で直接つながっていない研究集団間の隙間を特定できるとともに、緊密に相互作用する研究集団内でのネットワーク閉鎖性も算出可能であるためである。

日本の研究力は、1998年から2020年にかけて論文発表数は増加したものの、世界ランキングは5位へと後退し、研究開発費も相対的に低下している [14]。この状況を踏まえ、本研究ではソーシャルネットワーク理論を適用し、研究集団間のつながりが日本の研究力にどのような影響を及ぼしているのかを探求する。特に、研究資金の規模と研究者ネットワークの質・量が、研究成果にどのように寄与しているかを分析することで、日本の研究活動の活性化に向けた戦略的示唆を得る。

本論文は全7章から構成される (図 1.3)。

1章では、序章としてソーシャルネットワーク研究への関心の高まりから、ソーシャルキャピタルをネットワーク的なアプローチにて精緻化を行っている Burt の論文について整理を行う。あわせて、本研究の目的、構成について記す。

2章ではソーシャルネットワーク研究系譜について、人々の関係性に関する諸理論を踏まえた上で整理する。また、本研究の基盤となる論文とその関連理論について、ネットワーク構造の中でもネットワーク閉鎖性と構造的隙間を軸として整理する。

3章では本研究で対象とする日本の研究者組織について、データの取得方法、およびネットワーク構造の算出について示す。合わせて、統計分析を行い、研究に関する指標とネットワーク構造に関する指標の関係性を把握する。

4章では、ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織を定義し、包絡分析法 (DEA) を用いてその特徴を明らかにする。DEA の概念の整理と定義を行い、効率値を算出し、ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の持つ特徴をクラスタ分析により明らかにしていく。

5章では、先行研究で指摘されていない、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間が相互作用しているのかについて、研究規模の違いを含めてベイジアンネットワークを用いて明らかにする。

8章では、各章のまとめを行うとともに、本研究の限界について示す。

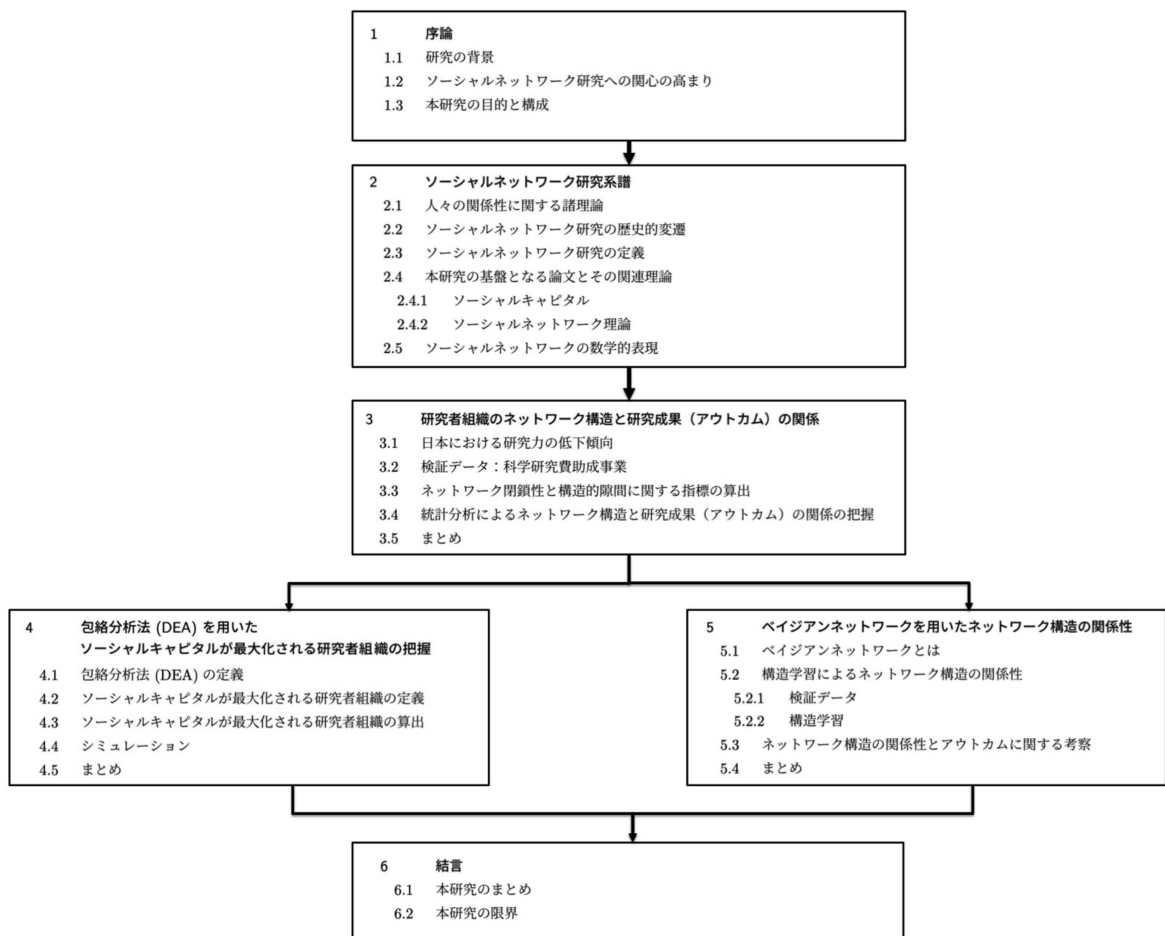


図 1.3 本論文の構成

## 2 ソーシャルネットワーク研究系譜

### 2.1 人々の関係性に関する諸理論

人間の関係性について論じる前に、まず前提として人間関係には複雑な要因が影響しているのであるが、それは多様性、発達、相互作用などであるといえる。多様性と個別性、発達と変化、そしてそれらの相互作用といったものが、この複雑性を構成しているといえる。また人間関係は関与する個人の文化背景、性格特性、生活環境、価値観、信念、趣味など、多くの要因によっても大きな影響を受けると考えられる。さらに、人間関係は時間とともに変化するものである。具体的には、初期の親子関係から始まり、友情、恋愛、同僚関係など、多様な関係が形成され、個人の発達段階や生活環境の変化に応じて人間関係も変化する。

人間関係は、コミュニケーション、協力、競争、感情の表現などの相互作用からも影響を受けるとも言える。こうした点は古くは社会学においてジンメルの形式社会学において提唱されている点でもある。ジンメルは社会を個人間の相互作用の集合体と捉え、その中での信頼や闘争などの関係性の形式を分析の中心に置いた [15]。ジンメルの理論は、社会の本質を人間関係のパターンとして理解することを可能にし、社会構造の研究に新たな視角をもたらしたと言え、このアプローチは、社会学における方法論的關係主義の基盤を築いたとされている。

また第二次世界大戦以降には、人間関係性に関する理論が様々な分野で生まれた。特に注目すべき理論として、社会的交換理論、愛着理論、役割理論、そしてソーシャルネットワーク理論が挙げられる。

1950年代に登場した社会的交換理論は、人間関係を経済学と心理学の概念を組み合わせで解釈する理論である。この理論によれば、人間関係は得られる利益とコストのバランスによって成り立っており、交換関係として表される。つまり、人々は関係を通じて得られる報酬と支払うコストを天秤にかけ、そのバランスに基づいて関係を維持、発展させるかを決定する。同じく1950年代には、人間関係の選択が幼児期の親子関係に大きく影響されるとする愛着理論が発表された。この理論は心理学、進化学、生態学に根ざしており、人間のつながり方に影響を与える基本的な枠組みを提供する。愛着理論は、早い段階での親子関係が個人の将来の人間関係における接し方や感じ方に深く影響すると考える。また、人間が社会的な役割に基づいて行動するとする役割理論も1950年代に生まれた。役割理論によれば、個人は社会的な役割を通じて互いに関わり合い、これらの役割は人間関係を形成し、維持する上で重要な要素となる。1960年代には、人間関係を構造（ネットワーク）として捉えるソーシャルネットワーク理論が登場した。この理論は、個人や集団間の関係性をネットワークとして分析し、その構造がどのように個人の行動や情報の流れに影響を与えるかを研究する。

以下に、これらの理論をまとめた表を示す（表 2.1）。

表 2.1 人間関係性に関する理論

	年代	キーワード	分野	つながり
社会的交換理論	1950	人間関係は交換	経済学と心理学の 概念を組み合わせ	交換関係
愛着理論	1950	人間関係の選択方法	心理学, 進化学, 生態学	影響されるもの
役割理論	1950	役割に基づいて行動	社会学	影響されるもの
ソーシャルネットワーク理論	1960	人間関係を構造 (ネットワーク)として捉える	社会学	リンク

Cohen らは社会関係と健康に関する研究の中で、人と人との「つながり」について大きく分けて機能的側面と構造的側面の2つの分類を示している [16] (図 2.1)。機能的側面は、個人がつながることで得られる支援や、ソーシャルサポートとしてのネットワーク、さらには社会とのつながりから生じる満足感や孤独感を指す。産業革命とそれに伴う社会構造の変化により、人々のつながりの「質」は変化した。従来の対面での会話や手紙といったつながりから、メールや SNS を介した頻度や内容が限られたつながりへと移行している。この変化に焦点を当てた研究は、主に機能的側面に注目している。

一方、構造的側面は、知り合いの数、連絡の頻度、居住距離、職業など、数値的に捉えられるものとしてネットワークを捉える観点である。具体的には、知り合いの数、どのくらいの頻度で連絡を取り合うか、どの程度の距離で生活しているかなど、数値的に測定可能なネットワークの特性を指す。これらの指標は、個人がどのようなソーシャルネットワークを持っているか、またそのネットワークがどのように構成されているかを示すものである。

機能的側面と構造的側面の間には密接な関係があるといえる。例えば、頻繁に会い、長時間一緒にいる人とそうでない人を比較した場合、前者の方が心理的に近く、信頼関係を構築しやすいと考えられる。これは、構造的側面でネットワーク構造が強い人は、機能的側面でも強い関係性を持つ可能性が高いことを示している。心理的に近く信頼できる人とそうでない人がいた場合、多くの人は前者とより多くの時間を過ごしたいと考える。これは、機能的側面で強い関係性を持つ人が、構造的側面でも強い関係性を持つ可能性が高いことを示す。

つながり（機能的側面と構造的側面）と死亡率への影響についてのメタ研究において、機能的側面と構造的側面の両者に影響があることが明らかにされている [17]。また孤独やがんによる死亡に関しても、両者が影響していることから、つながりの機能的、構造的側面のどちらも重要であることがわかる [18, 19]。

このように「つながり」に関する研究では、その機能的側面と構造的側面が重要な役割を果たしている。これら二つの側面は、人間の行動や健康、幸福感などのアウトカムに影響を及ぼすが、そのメカニズムは異なる場合がある [20]。機能的側面からの影響は、主に個人が受け取る社会的サポートの質や量、感情的なつながりの深さによってアウトカムが形成され



ると考えられる。これに対して、構造的側面の影響は、個人が属する社会的ネットワークの広がりや密度、その中での位置づけなど、よりマクロなレベルの社会的構造に基づく。したがって、「つながり」の機能的側面と構造的側面は、いずれも個人のアウトカムに影響を与える重要な要素であるものの、その影響を及ぼすメカニズムは異なる。

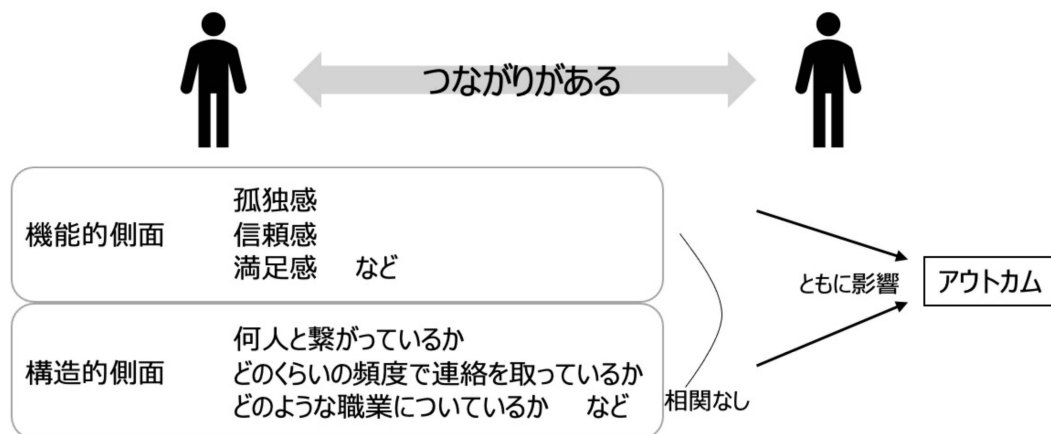


図 2.1 つながりの側面とアウトカムの関係性

この「つながり」の機能的側面と構造的側面に関して、分類手法を用いて、社会学や心理学といった学術的な専門分野ごとに整理する。社会学では、人々の社会的ネットワークや集団内での役割、社会的交換などが、個人や集団の行動にどのように影響を与えるかを探求している。心理学では、個人の内面的プロセス、例えば感情的なつながりや愛着スタイルが、人との関係性や社会的サポートの受け方にどのような影響を与えるかに焦点を当てている。

したがって、社会学の理論は主に構造的側面に焦点を当て、心理学の理論は機能的側面に焦点を当てる傾向があると考えられる（表 2.2）。

表 2.2 人間関係性に関する理論とつながりの側面

	社会学を主な基盤	心理学を主な基盤
機能的側面	役割理論	愛着理論
構造的側面	ソーシャルネットワーク理論	社会的交換理論

この節では、人々の関係性に関する諸理論を概観し、特に機能的側面と構造的側面という二つの重要な視点からまとめた。ジンメル形式社会学から始まり、社会的交換理論、愛着理論、役割理論、そして特に注目するソーシャルネットワーク理論に至るまで、これらの理論は現代においても人間関係の理解を深めるための基盤となっている。

## 2.2 ソーシャルネットワーク研究の歴史的変遷

本項では、ソーシャルネットワーク研究の歴史的変遷を、科学発展サイクルを基に示す。科学者のソーシャルネットワークの形成を分析した Mullins は、科学発展として次の4つの段階が観察されることを示した（図 2.2） [21].

### 1. パラダイムグループ:

科学者集団の最小限の形態。情報共有など協力関係はあるが、基本的に科学者個々はバラバラに研究を続けている。

### 2. ネットワーク:

科学者ネットワークを形成し、そのメンバーである各科学者も新しい関係性を作る。ネットワークパターンは流動的である。

### 3. クラスター:

科学者が自分たちのコミュニケーションのパターンを自覚し、共通の問題に取り組んでいる人々の周りに境界を作り始めると形成されるもの。クラスターは、リーダーシップ、支援する機関などの条件によって発展する。明確な文化を持つ。

### 4. 専門的:

専門分野として外部から認識され、学会、雑誌、会議など正式な組織を持つ。

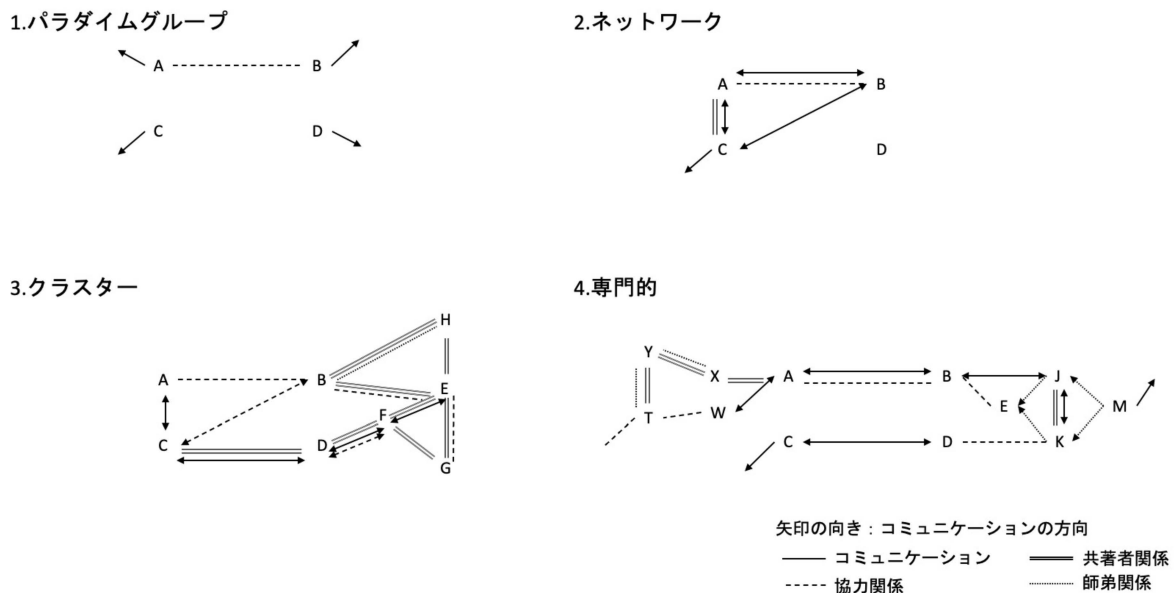


図 2.2 科学発展の4段階

(Mullins [21] より著者作成)

パラダイムグループの段階において科学発展をおこなっていくためには、様々な分野の研

究者がグループ内に入る「科学者の移住」が必要であると言われている [22]. ここで「科学者の移住」とは、異なる分野の研究者が特定の研究コミュニティに参加することを指す. 外部からの視点を持つ研究者がコミュニティに加わることで、新たな問題解決のアプローチや可能性をもたらすと考えられている. 過程として、最小の科学者の協力関係のグループから、様々な分野の科学者を含めたネットワークを形成し、師弟関係・リーダーのいる研究グループ（クラスター）が学会や会議などの正式な機関を持つ専門分野に発展していくとされる.

村上は、” 予測や危険予知、問題解決において、多くの一見関係なさそうな領域におけるしごく普通の知識に十分な目配りが利き、しかもそれらを必要でない情報や知識から選り別けた上で組み合わせ、そこから、絶対的な因果関係に基づく演繹ではないながら、しかしあり得るべき様々な可能性を導出してみる事ができ、しかもその導出された結果を検討・評価して、未来についてのしかるべき判断を下すことができる、という能力” と記している [23]. 研究者コミュニティにおいては、これは「科学者の移住」と同じであると言えるだろう. 関係なさそうな領域、領域内の研究者が気づかないような視点や観点を持つ分野の研究者がコミュニティに移住するということは、問題解決の糸口である可能性を多く導出できるためである.

また Mullins が描く科学発展の 4 段階を、” 科学発展サイクル” としてその分野の科学者数や論文数の時間的な変化として表現すると、図 2.3 のようなロジスティック曲線で表現されるとされる [24, 25].

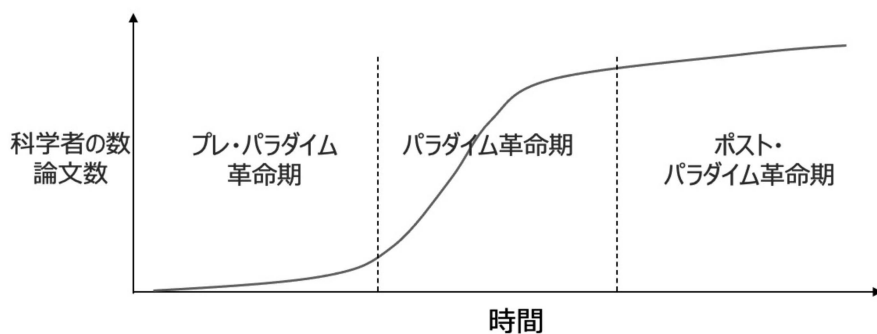


図 2.3 科学の発展サイクル

(金光 [25] より著者作成)

ここで言うプレ・パラダイム革命期とは、学問的な研究対象や領域が未確立な時期を指すものであるとされる. Mullins の科学発展に合わせると、パラダイムグループやネットワークの段階であろう (図 2.2). この時期においては対象分野としての論文も少なく、情報交換を行いながら確立を行う時期であると考えられる. パラダイム革命期は、図 2.3 に示されるように、科学者の数や論文数が大幅に増え始める頃である. 論文数が増えるということは、明確な文化を持ったコミュニティが作られ、学会や会議などが実施されることが考えられ

る。ポスト・パラダイム革命期では、爆発的とはいかないが、安定的に研究の発展、進展していく時期となる。

科学発展のサイクル（図 2.3）は、ほとんどの科学分野において一般化できる発展パターンであると考えられている。そこで、科学発展のサイクルにあわせ、ソーシャルネットワーク研究の変遷を考える。

Freeman は、社会生活について構造的側面を明確に述べている最初の研究者として Conte を挙げた [26]。Conte は「社会学」という言葉を作り、その目的を社会の法則を解明することとし、理論とシステマティックな観察が共に重要であると説いた。しかし、ソーシャルネットワーク研究の変遷をまとめるにおいては、本研究におけるソーシャルネットワーク研究の定義「人やもの、組織などのつながりがもたらす影響について、個人の属性やつながりの質や量などの構造的側面から明らかにしようとしており、かつ Freeman [26] が提唱した 4 つの特質を満たした研究」に当てはまる、集団を分析するための一つの手法であるソシオメトリーを提案した Moreno [27] が最初の研究として考えられる。

### プレ・パラダイム革命期：～1970 年代

1943 年に Moreno は、集団を分析するための一つの手法であるソシオメトリーを開発した [27]。Moreno は集団における個人間の関係は感情から成り立つものと考え、集団の関係性の理解を助ける方法、つまり集団構造や人間関係を測定する技法を開発した。この技法の基本的な流れは、被験者に対して、集団内の人間から選択「この人と一緒にいても良い」と排斥「この人と一緒にいたくない」を選択してもらい関係性のマトリックスであるソシオグラムを生成する（図 2.4）。これにより集団内の人間を、多く選択されたリーダー的立ち位置の人（ソシオメトリーの分類においてはスター）、多くの人から排斥された人（排斥）、選択や排斥の数が少ない人（周辺）、選択も排斥もされない孤立的な立ち位置の人（孤立）に分け、集団内の関係性を明らかにすることを試みた。

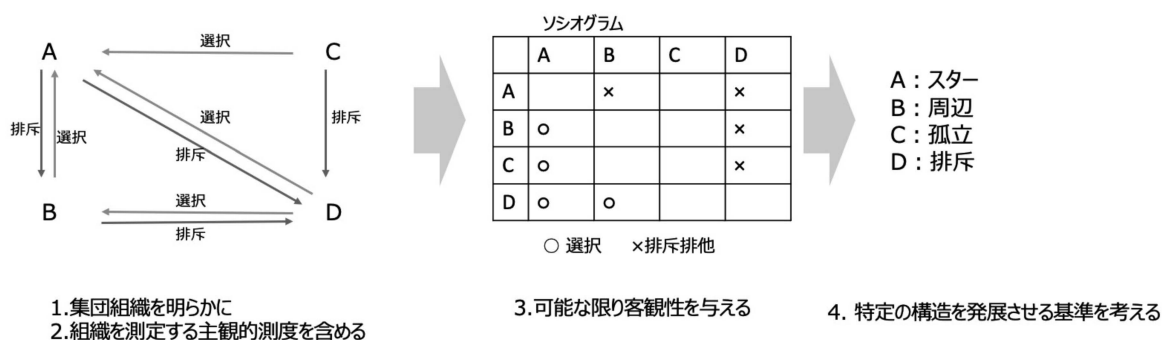


図 2.4 ソシオメトリーの基本的な流れ

Moreno が述べたソシオメトリーの重要なステップについて図 2.4 に示す [28]。Moreno

のステップは、ソシオメトリーの基礎を形成し、後の研究者や実践者が人間の社会的関係を理解し、改善するための方法論を発展させた。

1. 集団組織を明らかにする

最初に、グループ内の社会的関係の実際の構造を明らかにする。Moreno は、個人がどのように互いに関連しているか、そしてこれらの関係がグループの機能にどのように影響するかを理解することが重要だと考えた。

2. 組織を測定する主観的測度を含める

Moreno は、個人の感情や好み、選好など、主観的な要素が集団組織の構造を理解する上で重要であると考えた。

3. 可能な限り客観性を与える主観的用語に高い程度の客観性を与える

主観的なデータに客観性を持たせるため、Moreno は補助的な自我 (auxiliary ego) の概念を用いた方法を開発した。

4. 特定の構造を発展させる基準を与える

グループ内の構造がどのように形成されるかを理解するためには、その構造が発展する基準 (例えば、必要性、価値、目的など) を考慮することが重要であると、Moreno は指摘した。

Moreno は精神分析家であることから、ソシオグラム生成に主観的な基準を利用しているが、可能な限り客観性を与えるようにするなど、データの構造的なパターンの在り方に着目している。よってソシオメトリーは、次項にて詳細を記している Freeman [26] が提唱したソーシャルネットワーク研究の性質、「ソーシャルネットワーク分析は、社会の中にいる人々を結ぶつながりに基づくネットワーク構造 (構造的側面) を考慮し、体系的な実証データに基づいて、描画技術 (グラフ理論的) を使い、数理モデルや計算モデルを使用している」を満たしていると言えるだろう。

ソシオメトリーは、1950 年代にてミシガン大学を中心として社会ネットワーク解明のグラフ理論の専門家養成が行われた際に体系化され、数多くの研究者を排出した [29]。現在は教育分野において学級集団構造研究やいじめ、社会科学分野においては地域連携などで、幅広い分野で応用されている [30-34]。

Moreno がソシオメトリーを考案した 1940 年代頃、他の研究機関においてもソーシャルネットワーク研究が行われ始めた。そこで大学を主な拠点とする学派が形成された。学派をどのような形で取り纏めるかと言う点に関しては、当該分野の概念史を研究する者らによって異なるが、本研究においては主要な学派とされる 3 つに関して、以下で述べる [25, 26, 29, 35]。

1 つ目は、イギリスのマンチェスター大学を中心としたマンチェスター人類学派である。研究者らはアフリカの小さな村を対象とし、地域社会のネットワーク構造について研究を行

い、日常生活に影響する相互作用の構造にパターンがあることを示し、その際、初めてネットワーク分析という言葉を用いたとされる。

2つ目は、ハーバード大学を中心としたハーバード構造学派である。ネットワーク構造への着目から、構造学派と称されるが、その分析の焦点は、なかでも組織や集団などにあり、組織論、組織行動論の領域などに留まらず、政治、経済、経営などの分野においても強い影響をもたらしたと言える。

3つ目は、1945年にマサチューセッツ工科大学(MIT)でグループダイナミクス研究センターが創設されたことが契機となり、MITを中心とする研究者グループからなる学派が形成された。1930年代の大恐慌以降、集団に対する社会科学的研究への関心が高まる中、ドイツから亡命してきた心理学者、Levineがこの研究者グループに非常に大きな影響を与えた。Levineは心理学的観点から、つながりの機能的側面をソシオメトリーを用いて研究していたとされている。Levineの貴重な業績と基盤の上に、彼の死後の1950年代から1960年代にかけて、グラフ理論やダイグラフの数学理論など、数学的な側面からソーシャルネットワーク研究がさらに発展した。この時期における研究は、Levineの初期の研究を基礎として、ソーシャルネットワーク分析の数学的枠組みを拡張し、深化させることに貢献したと言える。

それぞれの学派における違いは、その対象範囲と分析手法にあることが挙げられる。まずマンチェスター人類学派はパーソナルネットワークに着目して研究を行っている。図2.5において、Aを中心としたパーソナルネットワークを考えた時、オレンジ色の範囲となる。このパーソナルネットワークは、個人Aの直接的な関係性や相互作用を視覚化し、Aの社会的環境や影響力の範囲を、個人を中心として他者との関係をネットワークとして捉え、分析を行う方法である。代表的な研究としては、Mitchellのアフリカの都市部や農村部における具体的なケーススタディがあげられる[36]。Mitchellは労働移動、家族関係、友情など、さまざまな社会的結びつきを分析することを通じて、パーソナルネットワークが個人の経済的機会、社会的サポート、および文化的アイデンティティにどのように貢献するかを明らかにした。

また、ハーバード構造学派は組織や集団などを中心に分析を行っており、分析対象範囲は青色の範囲となる。構造学派の代表的な研究として、パラダイム革命期に発表されたGranovetterの「弱い紐帯の強さ理論」があげられる。Granovetterは、個人のパーソナルネットワーク内での「弱い結びつき」が、情報の流れや新しい機会の発見において「強い結びつき」よりも重要であることを示した。また弱い結びつきは、異なる社会的グループやコミュニティ間の橋渡し役として機能することで、社会的ネットワークを通じて情報やリソースがより広範に流れることを示している。したがってこの理論は、個人がどのように位置づけられているか、すなわち、社会的な組織や集団の構造の中で相互にどのように関連しているかを理解するための、ミクロとマクロの視点を統合する重要な理論であると言われて

いる。

対して、MIT を中心とするグループは他の 2 つの学派とは異なり、数学的な部分について研究を推進していた。特にパラダイム革命期に発表された Watts と Strogatz による「スモールワールド」の研究が有名である [37]。彼らは、多くの社会的および生物学的ネットワークが、高い局所的クラスタリングと短い全体的な経路長を特徴とする「スモールワールド」構造を持っていることを示した。この研究は、数学的モデルと計算シミュレーションを用いており、ネットワーク内での情報の伝播や伝達効率を理解する上で基礎となる研究である。

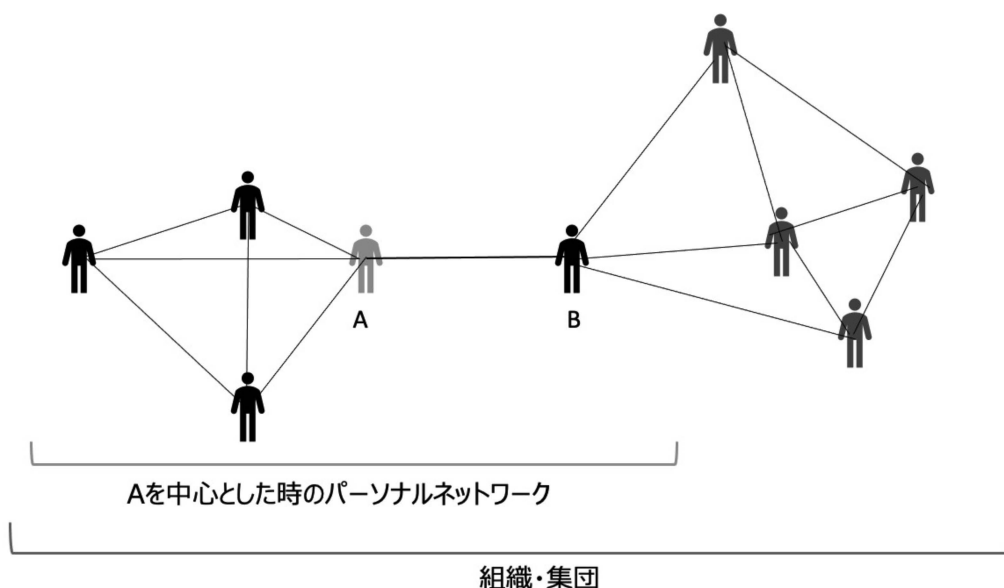


図 2.5 ネットワーク分析における対象範囲

しかしながらこの時期においては、未だソーシャルネットワーク分析が科学方法論として広く広まっていたわけではなかった。その理由は、情報技術や電子技術が急激に発達し、コンピュータの開発が著しく進展する第 3 次産業革命は 1970 年代初頭であることから、分析ライブラリや電子計算技術が発達していなかったことが要因として考えられる。

### パラダイム革命期：1970 年～2000 年代

1970 年代に、社会ネットワーク分析が学際的な研究分野として急速に成長し、この新しい学問領域における研究者間のコラボレーションと情報交換の必要性が高まった結果、国際学会 International Network for Social Network Analysis (INSNA) が創設された [38]。INSNA はソーシャルネットワーク分析の研究者と実践者の専門的な学術団体として、論文誌発行や 1981 年からは年次総会を開催するなど、ソーシャルネットワークの方法論や理論の開発や応用、研究者支援のための場である。またネットワーク研究に密接に関係する

応用数学的な観専門学術雑誌である The Journal of Mathematical Sociology (JMS) が刊行され、社会科学と数学の橋渡しが行われる新たな研究の場が作られるようになっていった [39].

1990 年代に入ると、AIDS の世界的な流行が公衆衛生の大きな課題となった。この病気の拡散メカニズムを理解するために、人々の社会的なつながりや行動パターンを構造的側面から分析するソーシャルネットワーク研究が注目されはじめた。公衆衛生や医療分野の研究者たちは、感染症の伝播経路を追跡し、予防策や治療法の開発に役立つ洞察を得るために、ソーシャルネットワーク分析の技術を利用した。このような研究は、特定のコミュニティ内での AIDS の伝播パターンを明らかにし、感染症対策における介入戦略の策定に貢献した。

この期間における技術的進歩と公衆衛生におけるニーズは、ソーシャルネットワーク研究の応用領域を大きく広げ、研究方法論の革新を促したと言える。結果として、ソーシャルネットワーク分析は、単に社会学的な枠組みを超えて、公衆衛生、医療、心理学、経済学など多様な分野での基礎的な研究ツールとしての地位を確立した。

その他、このソーシャルネットワーク研究のパラダイム革命期においては、現代においても応用されている理論が数多く生み出された。たとえば Granovetter の弱いつながりの強さ理論 (Strength of weak ties)、エンベデッドネス理論 (Embeddedness)、Burt の構造的隙間論 (Structural holes)、Coleman のソーシャルキャピタル (Social capital) などである [6, 11, 12, 40]。本研究の基盤としている、Burt が” ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の両者がともに最大化されるときに、組織・集団にもっとも成果をもたらすソーシャルキャピタルの最大化がもたらされる” と論じた Burt の論文 [13] も同時期に誕生した。これらの理論は、ソーシャルネットワーク分析の基礎を形成し、多様な分野での研究に影響を与え続けている。

### ポスト・パラダイム革命期：2000 年代～

ソーシャルネットワーク研究は、2000 年代に入ってから引き続きニーズの高い研究分野であり続けている。しかし、1970 年代から 1990 年代にかけてのパラダイム革命期に見られたような、理論的な飛躍や基礎研究の爆発的な発展という形ではなく、応用研究が増加している。この変化は、ソーシャルネットワーク分析ツールの進化、デジタルデータの容易なアクセス、および計算能力の向上により、実世界の複雑な問題への応用が可能になったことが要因であると考えられる。

理由の一つとして、ソーシャルメディアプラットフォームの台頭が挙げられる。Facebook, Twitter, LinkedIn などのプラットフォームを通じて、個人間の相互作用やコミュニティ形成を促している。これらプラットフォームから取得されるデータを通じて、ネットワーク内での行動パターン、情報の拡散メカニズム、影響力の動態などに関する研究が行われている。例えば、Kramer らの研究では、Facebook のニュースフィードの感情的な内容



がユーザーの感情に影響を与えることが示された [41].

公衆衛生の分野では、ソーシャルネットワーク分析が疾病の伝播モデルの理解や介入戦略の立案に利用されている。例えば、COVID-19 パンデミックの際には、人々の移動パターンや社会的接触のネットワーク分析が、ウイルスの拡散予測や効果的な公衆衛生対策の策定に重要な役割を果たした。例として、Buckee らの研究では、携帯電話データを利用して人々の移動パターンを追跡し、COVID-19 の伝播モデルを構築した [42].

企業においても、ソーシャルネットワーク分析は、組織内のコミュニケーションパターンの最適化、イノベーションの促進、および顧客間の相互作用を通じたマーケティング戦略の強化など、多岐にわたる応用が行われている。Valente らの研究では、社内のイノベーション伝播におけるソーシャルネットワークの役割について分析した [43].

よってソーシャルネットワーク研究がポスト・パラダイム革命期においても、理論的な枠組みから実践的な応用に至るまで、幅広い分野で重要な役割を果たしていると言える。

### ソーシャルネットワーク研究の科学の発展サイクルのまとめ

まとめると、図 2.6 のようになる。ソーシャルネットワーク研究は、1940 年代からのプレ・パラダイム革命期において Moreno によるソシオメトリの開発がされ、1970 年代から 2000 年代にかけてのパラダイム革命期には学際的な研究分野として急成長し、重要な理論が誕生した。2000 年代以降のポスト・パラダイム革命期には、ソーシャルメディアの台頭や計算技術の進化に伴い、応用研究が増加し、公衆衛生から企業経営に至るまで幅広い分野での実践的応用がされるようになった。

図 2.6 より、ソーシャルネットワーク研究においては 30 年毎に研究変化が起きていることがわかる。またパラダイム形成 [21] のパラダイムグループ段階において科学発展を行っていくために必要な「科学者移住」は、プレ・パラダイム革命期に MIT におけるドイツから移住した Levine や、パラダイム革命期の国際会議や学会の登場に伴う研究者間の交流などに多く起こっていたと考えられる。

これに加えてソーシャルネットワークがこれほどまでに発展した理由として、社会変化が挙げられる。特に 1970 年代初頭からの情報技術や電子技術の発達の影響が大きい。コンピュータの発明とその後の性能向上、および計算技術の利用が広がったことで、分析用のソフトウェアライブラリが豊富に開発され、社会的ネットワークの構造的側面を体系的な実証データに基づいて描画し、計算することが可能になった [26]. 電子計算技術が発達していなかったら、ソーシャルネットワーク研究はこれほどまでの速さでの発展はなかったと考えられる。

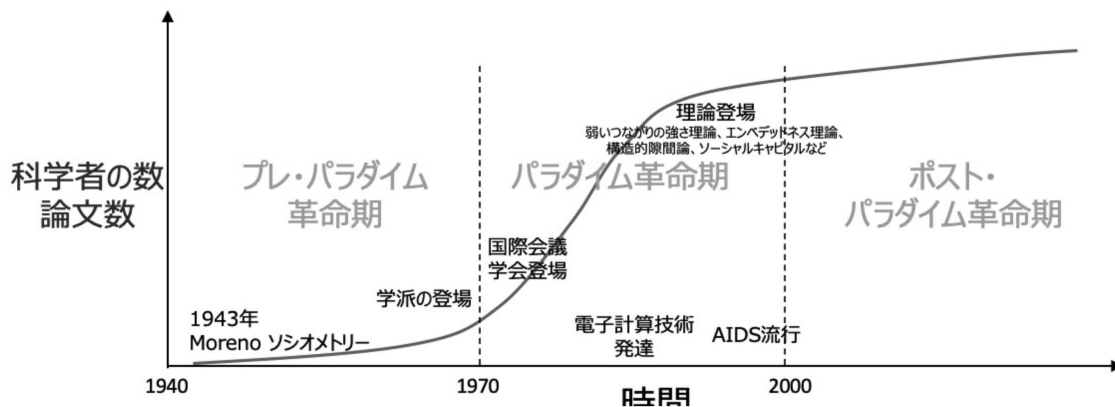


図 2.6 ソーシャルネットワーク研究の科学の発展サイクル

### 2.3 ソーシャルネットワーク研究の定義

2.1 にて「つながり」には機能的側面と構造的側面があり、人間の行動や健康、幸福感などのアウトカムに影響を及ぼすが、そのメカニズムは異なる場合があることを示した [20]. 機能的側面からの影響は、主に個人が受け取る社会的サポートの質や量、感情的なつながりの深さによってアウトカムが形成されると考えられる。これに対して、構造的側面の影響は、個人が属する社会的ネットワークの広がりや密度、その中での位置づけなど、よりマクロなレベルの社会的構造に基づく。つまり機能的側面と構造的側面の両方の尺度を用いることで、本質的な比較が可能になるだろうと Holt-Lunstad は述べている [18].

そのため、ソーシャルネットワーク研究では機能的側面と構造的側面の両面から検討が行われている。明確にどちらの側面における研究なのか分けることが難しい場合もある。しかし一般的に、ソーシャルネットワーク研究とした場合には、構造的側面に関する研究であることが多いといえる。

ソーシャルネットワークの概念史をまとめた Freeman によると、ソーシャルネットワーク研究は次のように定義しようとされる [26].

‘社会科学において、社会的アクター間の相互作用を研究する構造的アプローチを、ソーシャルネットワーク分析と呼ぶ。ソーシャルネットワーク分析者が研究する関係は、通常、個々の人間を結ぶものである。… ソーシャルネットワークアプローチは、アクターが組み込まれた社会的関係のパターンが、そのアクターにとって重要な結果をもたらすという直感的な考えに基づいている。そのため、ネットワーク分析者はさまざまな種類のパターンを明らかにしようとする。そして、それらのパターンが発生する条件を決定し、その結果を発見しようとする。’

またソーシャルネットワーク分析手法に関する書籍を執筆した Wasserman らは、

‘ソーシャルネットワーク、アクター、グループ、関係を定義したところで、ソーシャルネットワークをより明確に定義することができる。ソーシャルネットワークは有限のアクターの集合と、それらに定義された関係からなる。’

と定義している [44]。このことからソーシャルネットワーク研究=構造的側面に関する研究として捉える研究者らが存在する。本研究におけるその焦点はソーシャルネットワークの構造的側面であり、その理論である [13]。

さらに Freeman はソーシャルネットワークの構造に関する研究の特質として以下の4つを挙げている [26]。

1. ソーシャルネットワーク分析は、社会の中にいる人々を結ぶつながりに基づくネットワーク構造（構造的側面）を考慮し、
2. 体系的な実証データに基づいて、
3. 描画技術（グラフ理論的）を使い、
4. 数理モデルや計算モデルを使用している。

上記1に関しては構造的側面の観点であり、2は、実データを利用し検証を行うことが必要であること。また3についてはネットワーク表現がなされること（例：図2.7）、さらに4については数学・統計的なモデルを用いて分析がなされている必要があることが示されている。

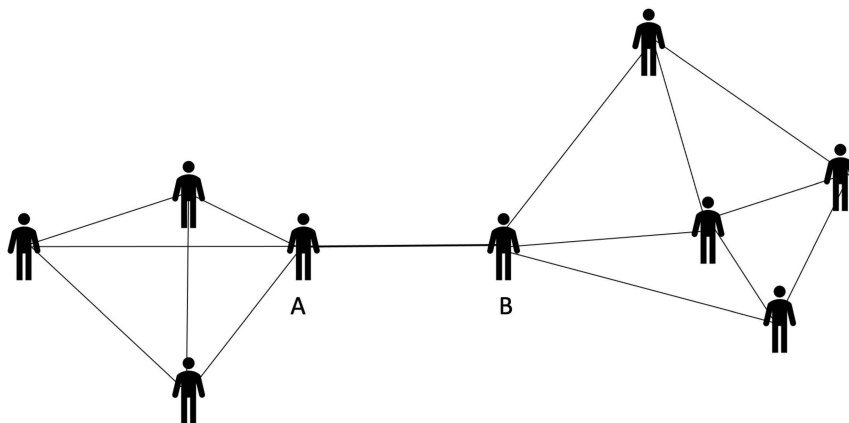


図 2.7 ネットワーク表現例

こうした点から、本研究におけるソーシャルネットワーク研究の定義を、「人やもの、組織などのつながりがもたらす影響について、個人の属性やつながりの質や量などの構造的側面から明らかにしようとしており、かつ Freeman [26] が提唱した4つの特質を満たした研究」とする。

## 2.4 本研究の基盤となる論文とその関連理論

本項では、本研究の基盤としている Burt の論文 [13] での指摘を明確化するため、関連理論であるソーシャルキャピタルとソーシャルネットワーク理論の変遷を踏まえ検討を行う。関連理論との関係を図 2.8 に示す。

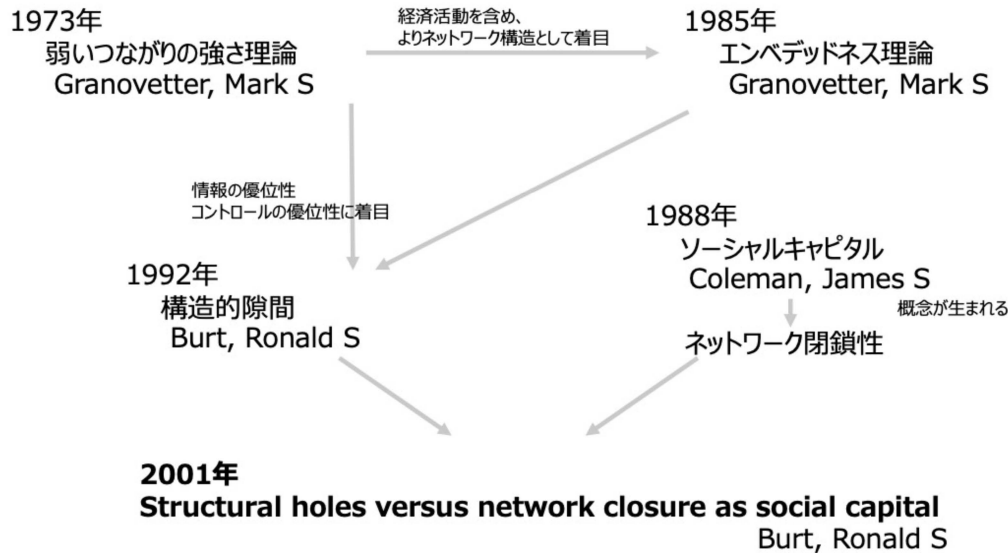


図 2.8 本研究の基盤としている論文とその関連理論の関係性

2001年に Burt が発表した論文において、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間がともに大きいことが、組織・集団における成果（アウトカム）が最大化される可能性が指摘された [13] (図 2.9)。より厳密に述べるとするならば、なんらかの組織もしくは集団において、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間がともに最適な形で両立する際に、ネットワークの内外にポジティブな効果をもたらすとされる、ある種の特殊なソーシャルネットワークであるソーシャルキャピタルが形成され、結果として、当該組織や集団がもたらすアウトカムが高まるとされる。

ここでネットワーク閉鎖性とは、組織内部の紐帯の密度が高く、誰もが互いに繋がっているようなネットワークであり、コミュニケーションがしやすく意思を統一することが容易であり、信頼が生まれやすい特徴がある。構造的隙間とは、ネットワークを構成する人々の間に、相互関係がないネットワークであり、複数の情報源は互いに重複していないため、それぞれ別の情報をもたらす可能性が高い。

Burt はネットワーク閉鎖性、構造的隙間にはそれぞれメリットがあるが、どちらかの紐帯構造に偏っている状態は、成果（アウトカム）を生み出す観点から望ましいものではないと指摘している。例えばネットワーク閉鎖性の高い集団においては、何か物事を成し遂げる

時に大きな力を発揮する。しかしネットワーク閉鎖性が高いだけでは、同じ情報しか入ってこない単一的な集団になってしまう (図 2.9B)。また、構造的隙間が大きい集団においては、さまざまな情報が集まる可能性が高く、イノベーションが起こしやすい。しかしネットワーク閉鎖性が低いと、集団で物事を成し遂げる際に意思統一を図ることは難しく、集団内の人々がバラバラな動きとなる集団となってしまう、組織活動に伴う成果 (アウトカム) が十分には生み出されない (図 2.9D)。したがって、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間がともに最適化された状態で存在している集団がより高い業績を生み出すのではないかと指摘されている (図 2.9A)。

この論文は、2001年に発表されたものであり20年以上経過しているが、Colemanのソーシャルキャピタルをソーシャルネットワークアプローチにて精緻化を行ったのはじめての研究である [11]。定量化しての分析を行うことが困難なソーシャルキャピタルを、ソーシャルネットワーク理論のネットワーク閉鎖性、構造的隙間を用いての概念整理を行なっている。

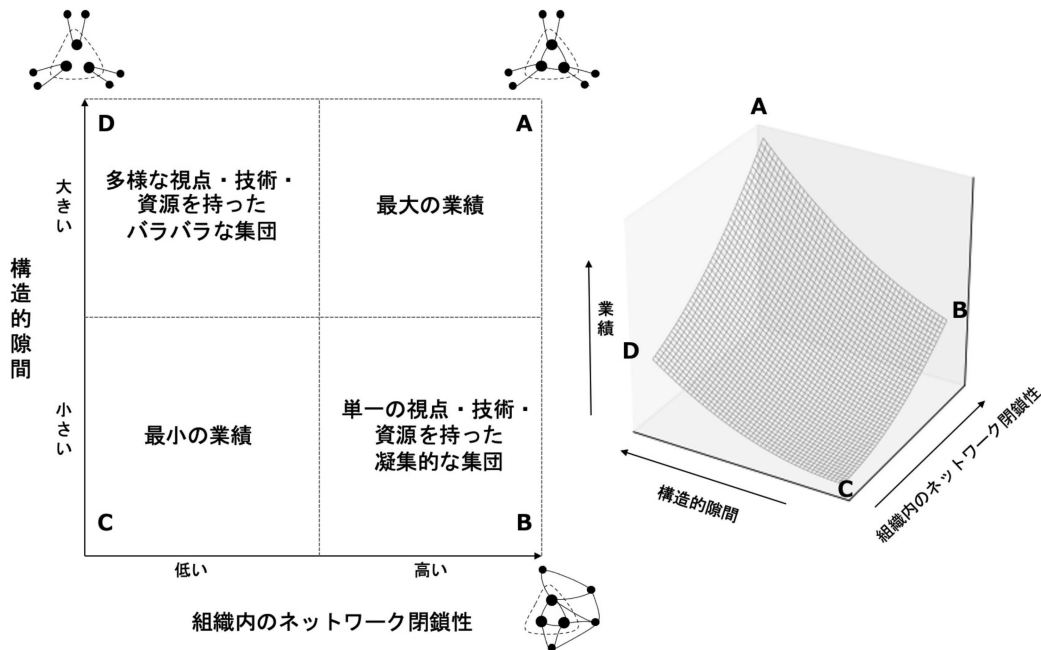


図 2.9 成果と紐帯の構造の関係性

(Burt [13] より著者作成)

### 2.4.1 ソーシャルキャピタル

ソーシャルキャピタルの概念は、多様な学派によって様々な定義がなされており、その歴史的な変遷を追うことで、社会的な結びつきや共同体意識の重要性が明らかになる。Tocquevilleの1835年の論文”Democracy in America”では、市民が自己利益を追求するだけでなく、共同体への参加や相互支援の重要性を強調しており、信頼、相互依存、協力を通

じて社会的な結びつきや連帯感が形成されることを指摘している [45]. Tocqueville は、民主主義社会における相互依存の強化と、その他の支配形態下での社会的結合力の低下を比較している。これは、社会的な関係や共同行動のネットワークが、個人及び社会全体の福祉向上に寄与するという考え方につながる。

1916年、Hanifan は”The Rural School Community Center”において、ソーシャルキャピタルに関する議論を初めて提起し、地域コミュニティの構築における社会的な結びつきの重要性を論じた [46]. Hanifan の考え方は、教育と地域社会の発展を結びつけることで、ソーシャルキャピタルの概念を具体化した。

さらに、1992年に Jacobs が”The Death and Life of Great American Cities”を発表し、都市の社会的な結びつきやコミュニティの重要性に焦点を当てた [47]. Jacobs は、多様性や密度の高い都市環境がソーシャルキャピタルの形成と持続にどのように貢献するかを研究し、これらの要素が都市生活の質を高める上で不可欠であることを示唆した。

また Adler ら [8] は、ソーシャルキャピタルについて「ソーシャルキャピタルは複数の個人・集団の間に存在する善意である。プレイヤー間の情報伝達、感染・影響、団結力などに影響をもたらす。」と定義している。

本研究においては、ソーシャルキャピタル概念を理論的なレベルで精緻化し、より実質的なソーシャルキャピタル概念に関する議論の道を開いた Coleman [11] が提唱する以下の2つの考え方に依拠するものとする。

1. 社会・地域における人々の信頼関係や結びつきを表す概念
2. 人々の協調行動(付き合いや助け合いなど)を活発にすることによって、社会の効率性を高めることのできる、「信頼」「規範」「ネットワーク」といった社会組織の特徴

まず、1に関しては、社会的な連帯感や共同体内での相互信頼を重視し、個人間の強固な結びつきが社会に社会的な資源を形成し、共有されるかを強調している。Colemanによれば、このような信頼関係や結びつきは、社会の基盤を形成し、個人が社会内で協力し合い、共通の目標に向かって努力する基盤となる。この観点から、社会や地域コミュニティ内での信頼関係や結びつきの強化は、ソーシャルキャピタルを増加させ、結果として個人および社会全体の福祉向上に寄与する。

次いで、2に関しては、単に人々が互いに助け合うことの重要性を超え、そのような行動が社会全体の効率性や機能性をどのように高めるかに焦点を当てる。Coleman は、信頼、規範、ネットワークなどの社会組織の特徴が、人々が共同で行動する際の枠組みを提供し、相互作用を促進することによって、社会資本の蓄積を促進し、社会の効率性を向上させると論じている。この観点から、強固な社会組織の特徴は、ソーシャルキャピタルの形成において中心的な役割を果たし、経済的、社会的な活動の効率化に寄与する。

このようなソーシャルキャピタルでの人々の結びつきや付き合いは、地域や組織内部の紐

帯の密度が高く、誰もが互いに繋がっているようなネットワーク閉鎖性の高い方が良いと考えられている。コミュニケーションがしやすく意思を統一することが容易であり、信頼が生まれやすいと考えられている [11]。また物事を実行する際も、一致団結した行動をとりやすいとも考えられている [6, 48]。Reagans らはネットワーク密度が高いチームほど生産性が高まることを示した [49]。また、Xiao らは密度の高いネットワークに囲まれている社員ほど給与が高まる傾向にあることを示した [50]。このように密なネットワークをネットワーク閉鎖性の高いネットワークという。単位としては、集団、チーム、組織などの人々の集団である (図 2.10)。

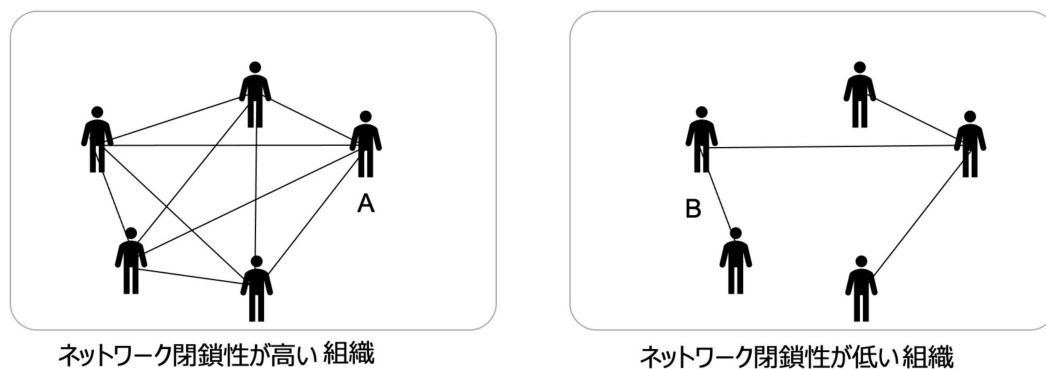


図 2.10 ネットワーク閉鎖性

#### 2.4.2 ソーシャルネットワーク理論

Burt は 1992 年に、Granovetter の弱いつながりの強さ理論 [6, 40]、また Coleman らが唱えたソーシャルキャピタルとしてのネットワーク閉鎖性への疑問より構造的隙間を提唱した。構造的隙間とは、ネットワークを構成する人々の間に、相互関係がないゆえに生じる関係の隙間のことである。

ネットワーク閉鎖性が高いネットワークと、構造的隙間が大きい組織を図 2.11 に示す。ここで注意しなければならないのが、対象単位である。ネットワーク閉鎖性は集団、ネットワークが単位であったが、構造的隙間は集団内、ネットワーク内に存在する個人が単位となる。またネットワーク閉鎖性は集団内に着目している議論に対し、構造的隙間は集団外に着目している議論である。

この点をより具体的に述べるのであるならば、例えば、組織 A を中心として考えた場合、ネットワーク閉鎖性が高い組織間ネットワークにおいては、組織 BCD 全てとつながりがあり、組織 BCD 間の繋がりもある (図 2.11)。この場合、ネットワーク内を流れる情報は、ネットワーク内 4 組織全てに伝わる可能性が高い。対して構造的隙間が大きい場合は、組織 BCD と組織 A はそれぞれつながりがあるが、3 組織 BCD にはつながり (相互関係) がな

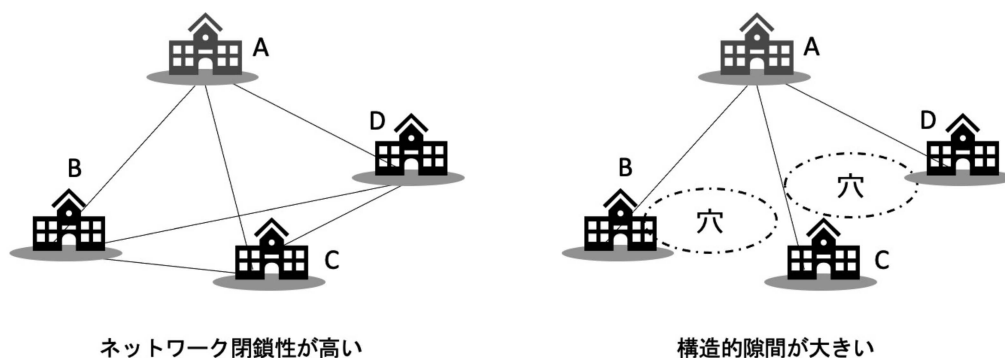


図 2.11 ネットワーク閉鎖性と構造的隙間

い。つまりネットワーク内を流れる情報は、必ず組織 A を通過することになる。このような状態を、構造的隙間は英文で”structural holes”であることから”穴がある”と表現される。組織 A は 3 組織 BCD からそれぞれ異なった情報を得ることができ、情報を得ることができる「情報の優位性」、そして伝わった情報を他の組織に流すかどうか決めることができる「コントロールの優位性」を持っているといえる。これが、構造的隙間があることによるメリットである。

構造的隙間に関する応用研究として、Fleming らは構造的隙間が乏しい研究者ほど、生み出すアイデアの新規性（出願特許の新規的な組み合わせ）が低下することを明らかにした [48]。「構造的隙間が乏しい研究者」とは、その研究者が属する社会的ネットワークが比較的均質な情報源やアイデアに限られ、異なる情報源や社会集団間のつながりが少ない状態を指す。このような状況は、新しい情報や異なる視点の流入が制限されるため、新規性のあるアイデアや特許を生み出しにくい環境を形成する。構造的隙間を通じて異なる知識領域や専門分野の情報が流入することで、新規性のあるアイデアや解決策の創出が促進される。

さらに過去に引用特許数が多く、引用数があり構造的隙間が大きい研究者ほど、その後イノベーション創出が高くなることも明らかにした [51]。また Tortoriello らは、社外への構造的隙間を豊かに持つ従業員ほど、イノベーション（特許数）が高くなることを示した [52]。構造的隙間が豊富な人は、多様な情報源から得た知識を組み合わせることで、斬新なアイデアを生み出す可能性が高まる。一方、構造的隙間の乏しい人は、似通った情報やアイデアの中で作業を行うことが多く、それにより新規性のある発見やイノベーションの機会が失われる。

このように構造的隙間がもたらすものとして、創造性、イノベーションが多く、直ちに結果に反映されるというよりは、長期的な過程を経て次のステップへと繋がる傾向にあることを示唆している。研究や開発の過程において徐々に統合され、将来的に重要な結果につながる可能性がある。そのため、短期間で成果だけを求めるのではなく、長期的な視野を持つ



必要がある。

構造的隙間の関連理論としては 1973 年に Granovetter によって提唱された、「弱いつながりの強さ理論 (strength of weak ties)」[40] が挙げられる。この理論はネットワークの密度の低さがもたらす影響の大きさに関するものであり、12 年後の 1985 年には、よりネットワークの構造に着目した上でより密度の高さに着目した「エンベデッドネス理論 (embeddedness)」が発表された [6]。Granovetter はソーシャルネットワーク研究の発展において大きく貢献した人物であり、中でも「弱いつながりの強さ理論」は社会学の本質とされるミクロマクロ問題の解明につながるのではないかとされている。

次項では、それぞれの弱いつながりの強さ理論とエンベデッドネス理論について示す。

### 弱い紐帯の強さ理論

弱い紐帯の強さ理論は、1973 年に Granovetter によって提唱された [40]。Granovetter は紐帯の強さについて以下のように述べている。

項目 1 紐帯の強さとは、共に過ごす時間量、情緒的な強度、親密さ、助け合いの強度と言う 4 次元をおそらく線形的に組み合わせたもの。これらの構成要素は明らかに相互に高い相関があるが、それぞれ他の要素からある程度は独立している。当面の目的にとっては、大まかに客観的なレベルで合意できれば充分である。

項目 2 A と B との間、および A と C との間が強い紐帯で結ばれている場合、B と C はいずれも A に似ているのだから、両者が似ている確率も高い。3 者関係において、A-C、A-B が強い紐帯の場合、C-B は弱い紐帯である関係は絶対に起こらないと言う極端な仮定をおくことにする (図 2.12)。

項目 3 すべての強い紐帯はブリッジ (2 つの点をつなぐ唯一のルート) ではない。

弱い紐帯の強さ理論はソーシャルネットワーク研究であり、紐帯の構造に関する理論である。しかし項目 1 は紐帯の強さについて紐帯の強さを定義する際に、共に過ごす時間の量、情緒的な強度、親密さ、および助け合いの強度という四つの質的な次元を考慮していることから、質的観点から述べていると言える。人間関係 (ネットワーク) は、個人に与える影響として大きなものであるが、実際の研究においてデータを取得することは難しい。よって、先行研究の多くが関係性の属性 (家族、知人など) や項目 1 に示す 4 次元をアンケートによって把握し、その回答から紐帯の強弱を判別している [53, 54]。しかしながら Granovetter の提唱した議論は、紐帯の構造に着目しており、実際の研究手法とは離れてしまっているのが現状である [55-57]。

項目 2 は弱い紐帯、強い紐帯の出現に関する説明である。これはホモフィリーの議論と関係性がある。はじめ、B と C はつながりがないが、A という共通のつながりを持っている (図 2.12)。人は同じような属性をもった人とつながりやすいというホモフィリーの考え方

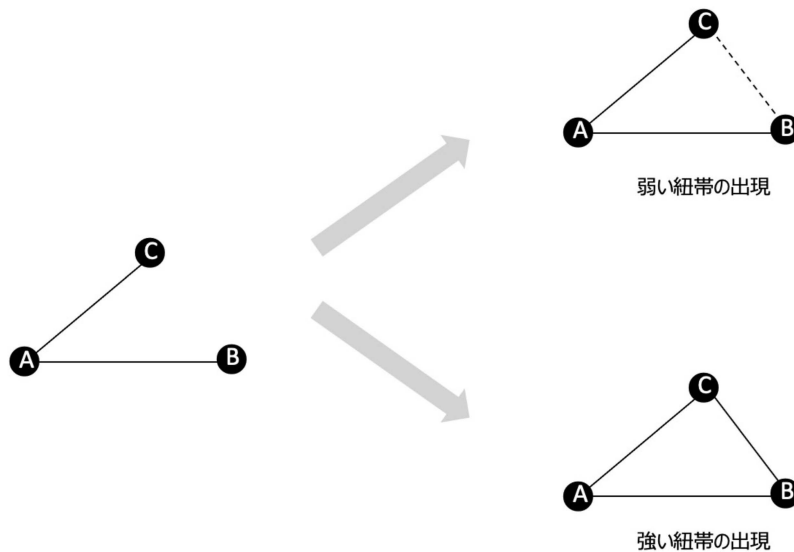


図 2.12 3者における紐帯の関係性

からも、弱いつながり方ではなく強いつながり方になると仮定している。よって強い紐帯を持っている場合、弱い紐帯を生み出すことは難しい。A-B と A-C の両方が弱い紐帯であった場合、B-C が繋がる可能性は少ない。A-B, A-C がつながるルートが一つしかない場合をブリッジといい、このことから弱い紐帯の場合は必ずブリッジであることになる (項目 3)。

弱い紐帯における重要な要素として、情報伝搬とミクロマクロ問題の解決が挙げられる。弱い紐帯がもたらす大きな要素の 1 つに、情報が挙げられる。弱い紐帯は強い紐帯に比べて、情報をより多数の人々に到達させる可能性がある [40]。また個人に対して有用だと思える情報は、弱い紐帯からもたらされる場合が多い [58]。弱い紐帯の強さについて Granovetter が明らかにした研究においても、転職に際し有用な情報をもたらした人との関係性について調べた。ミクロマクロの問題に関しては、ミクロレベルの相互作用がマクロレベルのパターンにしっかりと関連付けられていないことに、現代社会学の理論の根本的な弱点があるとグラノヴェッターは考えていた。情報伝搬の観点から、弱い紐帯はより多くの人々に情報をもたらす可能性があり、これはまさしくミクロからマクロへの関連付けと言える。このような観点からミクロマクロの現象説明において、弱い紐帯の強さ理論は有用であると言われている。

### エンベデッドネス理論

1985 年には Granovetter がエンベデッドネス理論「経済学の文脈において、ビジネスはつながりの構造に影響される」を提唱した [6]。この考えは、密なつながりを持つネットワークについての理論であり、彼が初期に提唱した弱い紐帯の強さ理論 [40] よりも、よりネットワーク構造に着目した理論である。この理論は、経済学への疑問から生まれたものである。具体的には、これまでの経済学においては、ビジネス活動における人脈やネットワークと

言ったものを考慮せず、市場という大規模な制度にのみもっぱら着目しており、結果として取引や情報交換が一瞬で行われるものと仮定されている。

伝統的な経済学、特に近代経済学においては、個人が自己利益を最大化するよう意思決定を行うという前提が置かれている。この枠組みでは、個人間の関係性や社会的なつながりは考慮されていない。この点に対処するため、ソーシャルネットワーク研究は、社会的なつながりや紐帯の構造が意思決定における重要な役割を果たすことを明らかにした。特に、経済活動が埋め込まれている社会的な関係性、いわゆる「エンベデッドネス」の概念は、個人の意思決定が単に自己利益に基づくのではなく、その人が属する社会的なネットワークによっても影響を受けることを示唆している。この理論的枠組みは、近代経済学における個人の意思決定の理解を深めるためにも重要である。しかしながら、この理論に関する研究者間での定義は多岐にわたり、複数の研究者がこの理論の精緻化に取り組んでいる [59, 60]。

## 2.5 ソーシャルネットワークの数学的表現

本論文では、ソーシャルネットワークの数学的表現の重要性とその基礎について考察する。ソーシャルネットワークの数学的表現とは、その構造を数学の言語、特にグラフ理論を用いて記述することである (図 2.13)。ここでいうグラフとは、ノード (頂点) とエッジ (辺) の集合で構成される数学的な構造のことを指す。ノードはソーシャルネットワークにおける個人や組織を、エッジはそれらの間の関係やつながりを表す (表 2.3)。ソーシャルネットワークとグラフ理論では用語が異なる場合があるが、科学的な文献ではしばしば同義語として区別なく用いられている。

グラフ理論を用いることで、ネットワーク内のパターンの特定、中心性の測定、サブグループの同定、ネットワークのダイナミクスのモデリングなど、多様な分析が可能になる。これにより、人々の相互作用や情報の流れ、影響力の拡散など、ソーシャルネットワーク内で発生する現象をより深く理解することができる。本研究では、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間を数式表現する際に用いている。

表 2.3 ネットワーク科学とグラフ理論の違い

ネットワーク科学	グラフ理論
ネットワーク	グラフ
ノード	頂点
リンク	辺, エッジ

ノード数は  $N$  に示され、その系内で結合している要素数を表し、ネットワークの大きさと呼ぶ場合がある。ノードを区別するために、 $i = 1, 2, \dots, N$  とラベル付する。リンク数  $L$  は、ノード間の相互作用の総数を表す。図 2.13 の場合は、 $N = 6, L = 9$  である。ネット

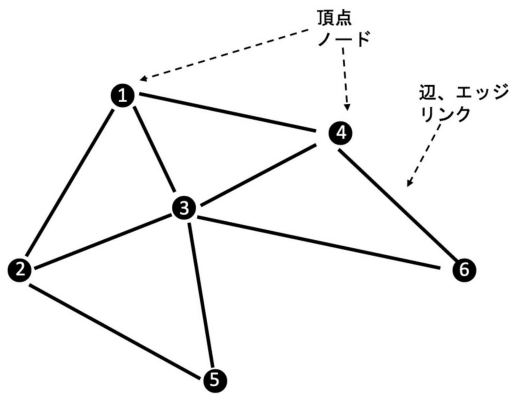


図 2.13 無向グラフ例

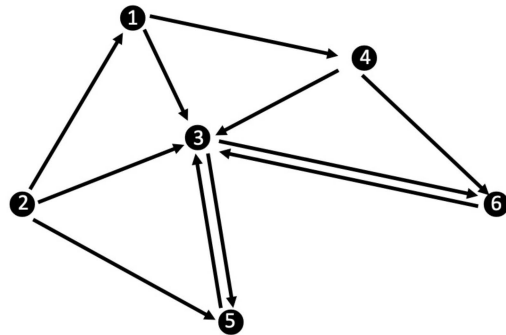


図 2.14 有向グラフ例

### ネットワーク，グラフ表現例

ワークには、有向と無向が存在する。すべてのリンクに向きがなければ無向グラフ、向きがある場合は有向グラフと呼ばれる。図 2.13 は無向グラフ、図 2.14 は有向グラフである。

ノードの持つ重要な性質の 1 つとして、次数が挙げられる。次数とは、ノードから他のノードへ向かうリンク数である。あるネットワークにおける  $i$  番目のノードの次数を  $k_i$  とすると、リンク数はノードの次数の合計  $L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N k_i$  となる。ネットワーク内のノードごとの次数を、ネットワーク全体での平均値を算出したものを平均次数という。無向グラフにおける平均次数は  $\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2L}{N}$  となる。図 2.13 の平均次数は  $\langle k \rangle = 3$  となる。

有向グラフの次数は、リンクの向きを考慮した入次数  $k_i^{in}$  と出次数  $k_i^{out}$  に区別される。 $i$  番目のすべての次数、総次数は  $k_i = k_i^{in} + k_i^{out}$  となる。よって有向グラフにおけるリンク数は  $L = \sum_{i=1}^N k_i^{in} = \sum_{i=1}^N k_i^{out}$  となる。よって平均次数は  $\langle k^{in} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i^{in} = \langle k^{out} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i^{out} = \frac{L}{N}$  で与えられる。

このノードとリンクは、ソーシャルネットワーク研究において表 2.4 のような例が挙げられる [61]。つまり研究対象によって、頂点と辺になり得るものは異なる。

表 2.4 ネットワークの例

ネットワーク	ノード	リンク	有向・無向	$N$	$L$	$\langle K \rangle$
インターネット	ルータ	インターネット接続	無向	192,244	609,066	6.34
WWW	Web ページ	リンク	有向	325,729	1,497,134	4.6
電力網	発電所, 変電所	ケーブル	無向	4,941	6,594	2.67
携帯電話の発信	ユーザ	発信	有向	36,595	91,826	2.51
電子メール	メールアドレス	メール	有向	57,194	103,731	1.81
共同研究	科学者	共著	無向	23,133	93,437	8.08
俳優の共演	俳優	共演	無向	702,388	29,397,908	83.71
論文引用	論文	引用	有向	449,673	4,689,479	10.43
E. Coli の代謝	代謝	化学反応	有向	1,039	5,802	5.58
タンパク質相互作用	タンパク質	相互作用	無向	2,018	2,930	2.9

### 3 研究者組織のネットワーク構造と研究成果（アウトカム）の関係

2001 年の Burt の論文において、成果と紐帯の構造を考えたときに、構造的隙間とネットワーク閉鎖性のどちらも重要であることが指摘されている [13]. しかしながら、構造的隙間とネットワーク閉鎖性がどのように組み合わせられたネットワーク構造が、どのような成果をもたらすものであるかは、明確にはされていない. そこで、本研究においては科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金／科学研究費補助金）を遂行する、研究課題ごとの研究者組織におけるネットワークの紐帯構造と研究成果の関係性について検討を行うこととする [62].

#### 3.1 日本における研究力の低下傾向

日本の研究力は、年々低下しているとされる. OECD の購買力平価で換算した大学部門の研究開発費名目額からは、EU やアメリカ、中国などが研究費を増加させている一方で、日本における研究開発費は 2000 年代以降、ほぼ横ばいから減少しており、2020 年には 2.06 兆円となっている（図 3.1） [14]. 1990 年代に日本よりも開発費が少なかった中国においては、研究開発費が現在 4 兆円を超えており、日本の約 2 倍の資金を投入している.

1998 年から 2000 年において、日本は 1 年あたり約 70,000 本の論文が掲載され世界 2 位であった（表 3.1）. 2008 年から 2010 年では、論文数は 1 年あたり約 75,000 本と論文数は増加しているが、中国、ドイツ、イギリスの伸びが大きく、世界 5 位であった. 2018 年から 2020 年においても、論文数は増加しているものの世界 5 位と世界の論文投稿数の伸びに追いつくことができていない.

また Top10% 補正論文数とは、被引用回数が各年各分野で上位 10% に入る論文の抽出後、実数で論文数の 1/10 となるように補正を加えた論文数を指す（表 3.2）. 国・地域別 Top10% においては、論文数で日本より順位が高い中国、米国、英国、ドイツだけでなく、イタリア、オーストラリア、カナダ、フランス、スペイン、インド、オランダなど欧米やアジアの国々にも抜かれている.

表 3.1 と図 3.1 から、3 つの期間（1998 年～2000 年、2008 年～2010 年、2018 年～2020 年）での平均論文数と平均大学部門の研究開発費名目額（OECD 購買力平価換算）を比較した結果を図 3.2 と表 3.3 に示す. 日本を除いて、すべての国が論文数、研究開発費が増加している. 相関係数は 0.87 であり、論文数と研究開発費の間には明確な関係性が存在することが示唆されている.

研究力の低下については、さまざまな議論がなされている. 河村は、運営交付金と被引

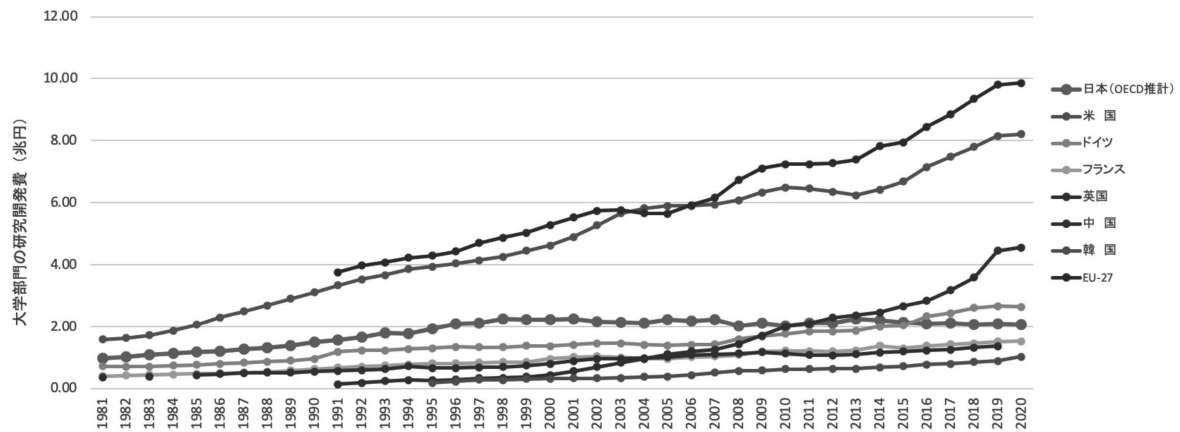


図 3.1 大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算)

(文部科学省 科学技術・学術政策研究所, 「科学技術指標 2022」 [14] を基に, 著者が加工・作成)

表 3.1 国・地域別論文数 (上位 25 カ国)

(文部科学省 科学技術・学術政策研究所, 「科学技術指標 2022」 [14] を基に, 著者が加工・作成)

全分野 国・地域名	1998 - 2000年 (PY) (平均)			全分野 国・地域名	2008 - 2010年 (PY) (平均)			全分野 国・地域名	2018 - 2020年 (PY) (平均)		
	論文数 整数カウント				論文数 整数カウント				論文数 整数カウント		
	論文数	シェア	順位		論文数	シェア	順位		論文数	シェア	順位
米国	231,096	31.6	1	米国	297,349	27.4	1	中国	466,410	26.8	1
日本	71,401	9.8	2	中国	122,768	11.3	2	米国	398,859	22.9	2
ドイツ	65,299	8.9	3	ドイツ	82,417	7.6	3	英国	121,494	7.0	3
英国	63,958	8.8	4	英国	79,352	7.3	4	ドイツ	114,320	6.6	4
フランス	47,773	6.5	5	日本	75,415	7.0	5	日本	86,317	5.0	5
カナダ	30,805	4.2	6	フランス	60,908	5.6	6	インド	82,731	4.7	6
イタリア	30,634	4.2	7	イタリア	48,970	4.5	7	イタリア	78,532	4.5	7
ロシア	26,995	3.7	8	カナダ	48,717	4.5	8	フランス	77,529	4.5	8
中国	25,864	3.5	9	スペイン	39,870	3.7	9	カナダ	72,223	4.1	9
スペイン	21,163	2.9	10	インド	39,524	3.6	10	オーストラリア	68,163	3.9	10
オーストラリア	19,451	2.7	11	韓国	36,854	3.4	11	韓国	65,416	3.8	11
オランダ	17,898	2.5	12	オーストラリア	33,176	3.1	12	スペイン	63,935	3.7	12
インド	16,721	2.3	13	ブラジル	29,845	2.8	13	ブラジル	54,693	3.1	13
スウェーデン	14,609	2.0	14	ロシア	27,377	2.5	14	イラン	43,549	2.5	14
スイス	13,722	1.9	15	オランダ	26,570	2.5	15	ロシア	41,993	2.4	15
韓国	12,106	1.7	16	台湾	22,391	2.1	16	オランダ	41,372	2.4	16
ブラジル	9,773	1.3	17	スイス	20,349	1.9	17	スイス	33,849	1.9	17
ベルギー	9,633	1.3	18	トルコ	20,253	1.9	18	ポーランド	32,820	1.9	18
ポーランド	9,326	1.3	19	ポーランド	18,708	1.7	19	トルコ	32,657	1.9	19
台湾	9,245	1.3	20	スウェーデン	18,016	1.7	20	スウェーデン	29,612	1.7	20
イスラエル	8,778	1.2	21	ベルギー	15,251	1.4	21	台湾	26,226	1.5	21
デンマーク	7,564	1.0	22	イラン	14,277	1.3	22	ベルギー	23,361	1.3	22
フィンランド	6,943	1.0	23	イスラエル	10,611	1.0	23	デンマーク	20,796	1.2	23
オーストリア	6,821	0.9	24	オーストリア	10,565	1.0	24	サウジアラビア	20,427	1.2	24
トルコ	4,889	0.7	25	デンマーク	10,522	1.0	25	メキシコ	17,899	1.0	25

用論文数の比較を行い, 国による研究機関への財源支援 (運営費交付金) が研究パフォーマンスに影響していないことを明らかにした [63]. また伊神は, 日本の大学 (理工農分野) を対象に 1980 年代からの論文数, 研究者数, 研究開発費の長期マクロデータを用いて分析を行っているが, その結果, 論文数の減少には, 1) 研究時間割合を考慮した教員数の減少 (2000 年代半ば~2010 年頃), 2) 博士課程在籍者数の減少 (2010 年頃以降), 3) 原材料費のような直接的に研究の実施に関わる費用の減少 (2010 年頃以降) といった複合的な要因があることを明らかにしている [64]. さらに内閣府が実施した, 研究資金配分と論文アウト

表 3.2 国・地域別 Top10% 補正論文数（上位 25 カ国）  
 （文部科学省 科学技術・学術政策研究所，「科学技術指標 2022」 [14] を基に，著者が加工・作成）

全分野	1998 - 2000年 (PY) (平均)			
	Top10%補正論文数			
	整数カウント			
国・地域名	論文数	シェア	順位	
米国	35,383	48.5	1	
英国	8,253	11.3	2	
ドイツ	7,089	9.7	3	
日本	5,292	7.3	4	
フランス	5,149	7.1	5	
カナダ	3,992	5.5	6	
イタリア	3,073	4.2	7	
オランダ	2,603	3.6	8	
オーストラリア	2,324	3.2	9	
スイス	2,129	2.9	10	
スペイン	1,987	2.7	11	
スウェーデン	1,833	2.5	12	
中国	1,609	2.2	13	
ベルギー	1,153	1.6	14	
デンマーク	1,125	1.5	15	
イスラエル	1,026	1.4	16	
韓国	850	1.2	17	
フィンランド	848	1.2	18	
ロシア	848	1.2	19	
インド	811	1.1	20	
オーストリア	706	1.0	21	
台湾	661	0.9	22	
ブラジル	605	0.8	23	
ノルウェー	563	0.8	24	
ポーランド	472	0.6	25	

全分野	2008 - 2010年 (PY) (平均)			
	Top10%補正論文数			
	整数カウント			
国・地域名	論文数	シェア	順位	
米国	45,879	42.4	1	
英国	12,395	11.4	2	
中国	11,414	10.5	3	
ドイツ	10,943	10.1	4	
フランス	7,777	7.2	5	
カナダ	6,721	6.2	6	
日本	5,961	5.5	7	
イタリア	5,807	5.4	8	
オーストラリア	4,766	4.4	9	
スペイン	4,730	4.4	10	
オランダ	4,671	4.3	11	
スイス	3,697	3.4	12	
韓国	2,699	2.5	13	
スウェーデン	2,566	2.4	14	
インド	2,537	2.3	15	
ベルギー	2,305	2.1	16	
デンマーク	1,772	1.6	17	
台湾	1,634	1.5	18	
ブラジル	1,607	1.5	19	
オーストリア	1,465	1.4	20	
イスラエル	1,335	1.2	21	
シンガポール	1,200	1.1	22	
ノルウェー	1,149	1.1	23	
フィンランド	1,139	1.1	24	
トルコ	1,056	1.0	25	

全分野	2018 - 2020年 (PY) (平均)			
	Top10%補正論文数			
	整数カウント			
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	58,095	33.4	1	
米国	55,427	31.8	2	
英国	19,812	11.4	3	
ドイツ	15,694	9.0	4	
イタリア	11,590	6.7	5	
オーストラリア	11,288	6.5	6	
カナダ	10,263	5.9	7	
フランス	10,084	5.8	8	
スペイン	8,364	4.8	9	
インド	7,401	4.2	10	
オランダ	7,318	4.2	11	
日本	7,042	4.0	12	
韓国	6,203	3.6	13	
スイス	6,117	3.5	14	
イラン	5,037	2.9	15	
スウェーデン	4,552	2.6	16	
ブラジル	4,014	2.3	17	
ベルギー	3,932	2.3	18	
デンマーク	3,660	2.1	19	
サウジアラビア	3,354	1.9	20	
シンガポール	3,185	1.8	21	
ポーランド	2,743	1.6	22	
オーストリア	2,684	1.5	23	
トルコ	2,558	1.5	24	
台湾	2,510	1.4	25	

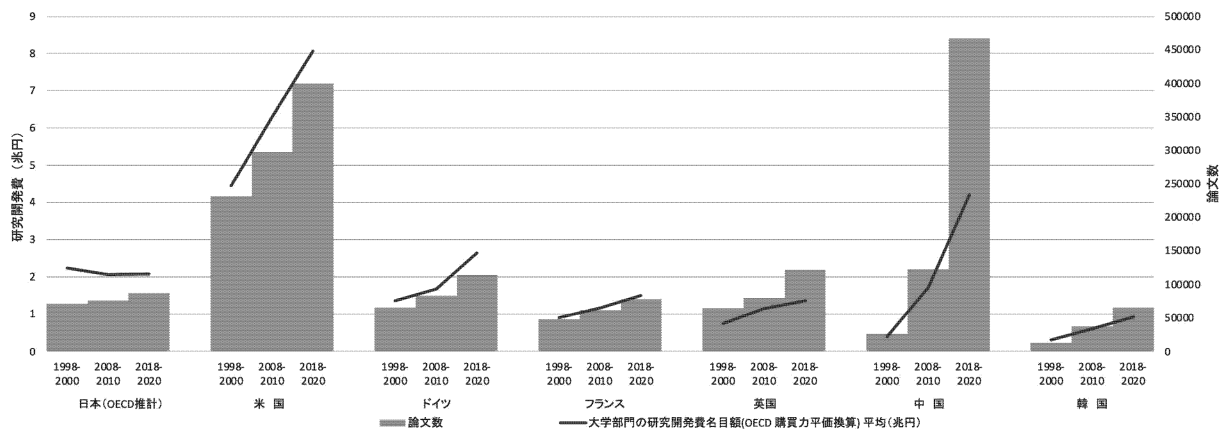


図 3.2 平均論文数と平均大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算) 比較  
 （文部科学省 科学技術・学術政策研究所，「科学技術指標 2022」 [14] を基に，著者が加工・作成）

プットの分析では，論文成果には科学研究費助成事業（以下，科研費）や運営費交付金の方が，その他競争的資金よりも効果的であることが示されている [65]。文科省や内閣府においても日本の研究力低下は課題とされており，令和 4 年版科学技術・イノベーション白書では「我が国の研究力～科学技術立国の実現～」として，科学技術・イノベーション政策や研究力を支える人材育成・研究環境整備について記載されるなど注目されている問題である [66]。しかしながら，先行研究でさまざまな要因分析がされているが，研究費が研究成果に繋がっているという明確な結果はない。



表 3.3 平均論文数と平均大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算) 比較表

年	日本	米国	ドイツ	フランス	英国	中国	韓国
大学部門の研究開発費名目額 (OECD 購買力平価換算) 平均 (兆円)							
1998 - 2000 年	2.24	4.45	1.36	0.90	0.75	0.38	0.30
2008 - 2010 年	2.05	6.30	1.68	1.17	1.15	1.72	0.60
2018 - 2020 年	2.08	8.06	2.64	1.50	1.35	4.20	0.92
論文数							
1998 - 2000 年	71401	231096	65299	47773	63958	25864	12106
2008 - 2010 年	75415	297349	82417	60908	79352	122768	36854
2018 - 2020 年	86317	398859	114320	77529	121494	466410	65416

### 3.2 検証データ：科学研究費助成事業

本研究では、我が国におけるもっとも包括的な研究資金である科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金／科学研究費補助金）を取り上げる [62]。科学研究費助成事業に関するデータは、科学研究費助成事業データベース「KAKEN」より取得した [67]。「KAKEN」は大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所によって支援、運営されているデータベースであり、文部科学省および日本学術振興会が交付する科学研究費助成事業により行われた研究の当初採択時のデータ（採択課題）、研究成果の概要（研究実施状況報告書、研究実績報告書、研究成果報告書概要）、研究成果報告書及び自己評価報告書を収録している [68]。科学研究費助成事業は全ての学問領域にわたって幅広く交付されているため、我が国における全分野の最新の研究情報について検索できるデータベースと言える。

本研究で対象としたデータは下記の範囲であり、データ件数は 144,900 件である。

- 研究開始年度 : 2006 年度～2017 年度（平成 18 年度～平成 29 年度）
- 研究課題ステータス：完了
- 研究種目 : 基盤研究 (A), 基盤研究 (B), 基盤研究 (C)
- データ取得日 : 2022/04/20

研究開始年度とは、科学研究費助成事業において研究費が採択され、研究が開始される年度を指す。科学研究費助成事業における研究費の申請、審査、および研究費の交付スケジュールは、2022 年度の募集から変更されている（図 3.3 参照）。例えば、2006 年度の研究費を受けるためには、研究開始の前年度である 2005 年の 11 月上旬に申請を行う。その後、12 月から始まる第 1 段階の審査と、翌年 2 月から始まる第 2 段階の審査を経て、2006 年 6 月に研究費の交付が決定され、研究が開始される。2022 年度の募集では、基盤研究 (A)

と基盤研究 (B)(C) のスケジュールがそれぞれ異なる。2023 年度募集では、審査結果の通知（交付内定）が 2022 年 2 月下旬に行われるため、時期を考慮した研究計画が必要である [69, 70]。本研究では、2006 年度から 2017 年度にかけて開始された研究データを対象としており、審査プロセスはすべて同じ時期に行われている。したがって、審査期間の違いによる影響は考慮されない。

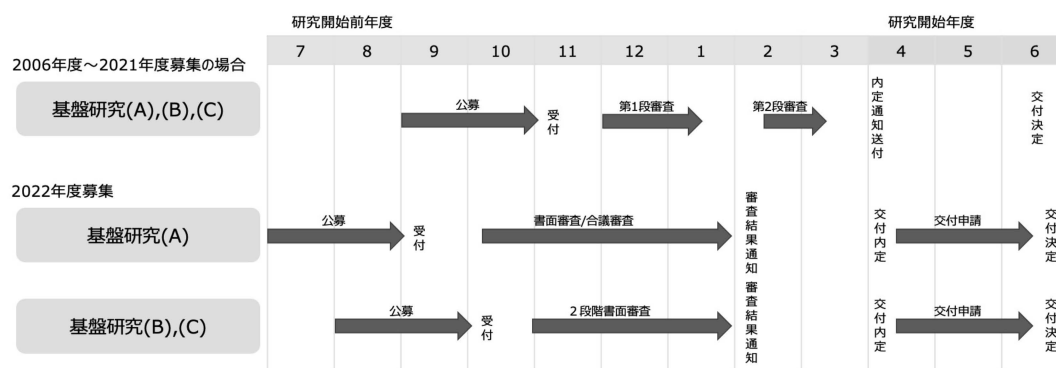


図 3.3 科学研究費助成事業スケジュール

(平成 23 年度, 平成 27 年度科学研究費補助金公募要領 [71, 72], 公募から交付決定までのスケジュール (令和 4 (2022) 年度) [69] より著作作成)

研究課題ステータスは 7 つのパターンがある (表 3.4)。研究期間中に中断や終了がなかった場合には、研究課題は「採択」から「交付」、そして「完了」へと進行し、最終的に完了する。本研究では、研究成果報告を基に成果を検討することを目的としているため、ステータスが「完了」とされる研究課題のみを対象にしている。

科学研究費助成事業では、研究種目での募集が行われている。研究期間や研究費上限、研究者の年齢や研究を行う人数などの制限がある。基盤研究 (A)、基盤研究 (B)、基盤研究 (C) は、「1 人又は複数の研究者が共同で行う独創的・先駆的な研究であり、基本的に 2 年～4 年の研究期間 (企画調査は 1 年)」である [73]。科学研究費助成事業内での基盤研究課題数が多いことから、本研究では基盤研究 (A)、基盤研究 (B)、基盤研究 (C) を対象とした。また、基盤研究 (A),(B),(C) の違いは、研究配分額 (研究費) である (A : 2,000 万円以上 5,000 万円以下, B : 500 万円以上 2,000 万円以下, C : 500 万円以下)。したがって、それぞれの研究種別において研究規模の違いと捉えることができる。基盤研究 (A) は大規模であり、基盤研究 (C) は小規模とみなすことができ、これに基づいて分析を進める。

抽出されたデータより、本研究にて利用したデータは 7 項目である (表 3.5)。

研究課題/領域番号は、研究課題ごとに一意に割り当てられる英数字である。研究期間は研究開始年と終了年度より算出した。研究者 ID は研究者に割り当てられる一意の ID であるが、一部付与されない場合がある。研究課題の代表研究者、分担研究者について、研究者 ID が明記されている場合、所属研究機関や他の研究課題への参加に関する情報を取得すること

表 3.4 研究課題ステータス

(研究課題基本情報 [74] より著者作成)

研究課題ステータス	状況
採択	交付内定がなされた課題
交付	交付決定がなされた課題
留保	産前産後の休暇又は育児休業により、 交付申請の留保の手続きがなされた課題
中断	産前産後の休暇又は育児休業により、 研究課題の中断の手続きがなされた課題
採択後辞退	交付申請の辞退の手続きがなされた課題
中途終了	研究課題の廃止の手続きがなされた課題
完了	完了した課題 最終年度の実績報告書または研究成果報告書が登録

表 3.5 科研費データ項目一覧

項目名	内容
研究課題/領域番号	研究課題ごとに一意に割り当てられる英数字
研究期間	研究開始年と終了年度より算出
研究者 ID	研究者に割り当てられる ID 一部、付与されない場合あり
研究分野	審査における研究領域
総配分額	全ての研究期間で配分された研究費
雑誌論文数	研究課題での研究成果
学会発表数	研究課題での研究成果

が可能である。

研究分野の判定には、審査区分を利用した。審査区分とは、審査のために利用される区分であり、応募者が自ら応募研究課題に最も相応しい区分を選択する。学術分野を区分するものではないが、研究における分野の判断を行う際には利用可能であると考えた。審査区分は概ね5年ごとに見直しを行うことを通例としており、2006年度と2018年度に大幅な改訂が行われた。2017年度までは「系・分野・分科・細目情報」が利用されていたが、2018年度以降は「小区分、中区分、大区分」が使用されている。そのため本研究の使用データ期間を2006年度から2017年度とし、審査区分にて分野を判定している。

本研究で利用したデータの審査区分には「系・分野・分科・細目情報」が記載されており、系、分野、分科、細目情報の順に研究分野区分が細分化されている [75]。特設分野研究や時

限付き分科細目など、期間限定での審査区分については分野「その他」とした。

総配分額は全ての研究期間で配分された研究費を示しており、直接経費と間接経費の合計である。雑誌論文数や学会発表数は、KAKEN から抽出されたデータを用いている。雑誌論文内の分類として、国際共著、査読あり、オープンアクセス、学会発表内の分類として国際学会、招待講演がある。しかし本研究では分類データは用いずに分析した。そのほかの研究成果として、学会・シンポジウム開催、図書、プレス/新聞発表、産業財産権、文献書誌などがあるが、成果の質を判断することは、雑誌論文や学会発表に比べて難しいため、本研究では成果の指標として用いていない。

### 3.3 ネットワーク閉鎖性と構造的隙間に関する指標の算出

本研究ではネットワークの紐帯構造と研究成果の関係性について、紐帯構造の中でもソーシャルネットワーク理論におけるネットワーク閉鎖性と構造的隙間に着目する。各研究課題を研究組織と見做し、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の指標を研究課題ごとに以下の手順で算出し、本研究で分析する研究者組織データを作成した。

#### ネットワーク閉鎖性

ネットワーク閉鎖性は、組織内部の紐帯の密度の高さ、つながりの強さを示す指標である。本研究では研究者組織としてのネットワーク閉鎖性を、研究課題に関わる人のうち、研究代表者と同じ研究機関に所属している人の割合として定義した（式 3.1）。研究者 ID が設定されていない研究者も、当該研究課題に関わる人数に含め算出している。

$$\text{ネットワーク閉鎖性} = \frac{\text{研究代表者と同じ研究機関に所属する人数}}{\text{研究課題に関わる人数}} \quad (3.1)$$

例を図 3.4 に示す。研究課題 A は、3 名の研究者が関わっており、代表研究者と同じ研究機関に所属する人は、代表研究者 1 名のみである。その場合、ネットワーク閉鎖性は  $\frac{1}{3}$  となる。研究課題 B は、連携研究者を含め 4 名が関わっており、研究代表者と同じ研究機関に所属する研究者は代表研究者と連携研究者 1 名の計 2 名である。その場合ネットワーク閉鎖性は  $\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$  となり、研究課題 B の方が研究課題 A よりも研究者組織としてネットワーク閉鎖性が高い。

#### 構造的隙間

構造的隙間に関する指標を算出するにあたり、研究課題と研究者からなる 2 部グラフを、それぞれのネットワークに変換する。なぜならば、実社会においては研究者のネットワークによって研究課題が成り立っているが、本研究では研究課題を 1 つの研究者組織と見做し分析を行う。そのため、研究課題と研究者からなる 2 部グラフから研究課題間のネットワーク

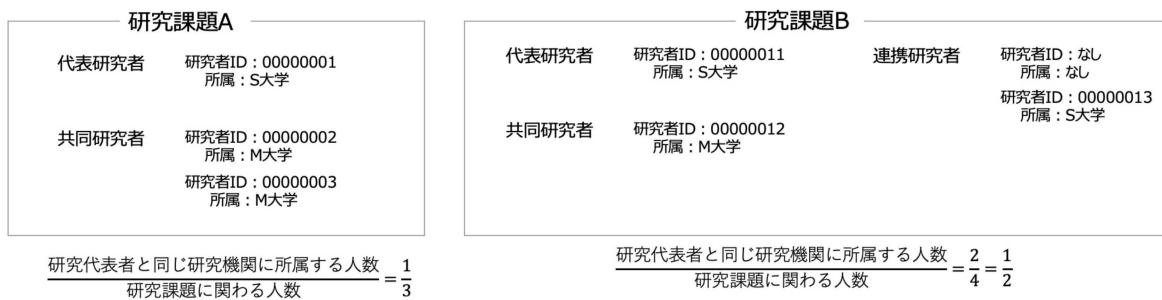


図 3.4 ネットワーク閉鎖性算出例

を算出した。

図 3.5 の場合、研究課題 A は研究者 a のみとつながっており、研究課題 {B,C,D} は研究者 d を介して繋がっている。また研究者から見ると、研究者 {d,e} は研究課題 C を介してつながっている。このように 2 部グラフからそれぞれのネットワークに変換することを、プロジェクトションという。

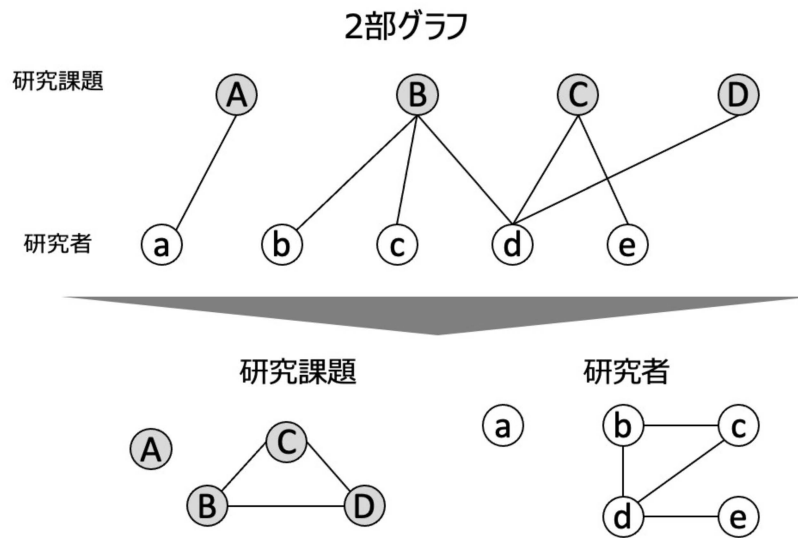


図 3.5 2 部グラフからの変換例

構造的隙間に関する指標は、Burt によって定義されたネットワーク拘束度 (network constraints) を用いる [76]. ネットワーク拘束度とは”構造的隙間の欠如”を表す指標であり、構造的隙間が大きい時ネットワーク拘束度の値は小さくなる。よって本研究では構造的隙間を、ネットワーク拘束度  $C_i$  を用いて構造的隙間  $= 1/C_i$  とした。ここで  $C_i$  はノード  $i$  のネットワーク拘束度であり、定義式を図 3.6 のネットワークを例に示す。

ネットワークノード  $i$  に隣接するノードの集合を  $Q_i$  とすると、ノード  $i$  に対する  $j$  の拘

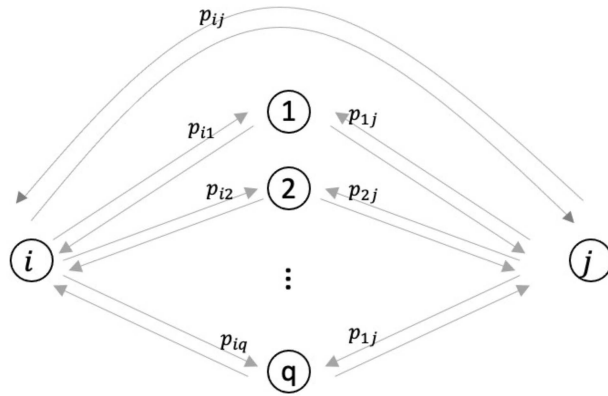


図 3.6 構造的隙間算出例

束度  $c_{ij}$  は,

$$c_{ij} = \left( p_{ij} + \sum_{k \in Q_i \setminus \{i\}} p_{ik} p_{kj} \right)^2, i \neq k \neq j \quad (3.2)$$

であり, ノード  $i$  の拘束度  $C_i$  は,

$$C_i = \sum_{k \in Q_i} c_{ik} \quad (3.3)$$

で計算される.  $p_{ij}$  は  $i$  から  $j$  の投資量であり,

$$p_{ij} = \frac{z_{ij} + z_{ji}}{\sum_{k \in Q_i} (z_{ik} + z_{kj})}, i \neq k \quad (3.4)$$

で定義される. ここで式に含まれる  $z_{ij}$  は  $i$  から  $j$  における関係の強さを表し,

$$\sum_{k \in Q_i} z_{ik} = 1 \quad (3.5)$$

とする. また, 各ノードからの関係の強さは等分配であると仮定する. ただし隣接するノード数が 0 の場合は, ネットワーク拘束度を算出できないため 1.5 とする.

### 3.4 統計分析によるネットワーク構造と研究成果 (アウトカム) の関係の把握

基本分析により, 本研究で使用する科学研究費助成事業データの把握を行うとともに, 統計分析により, ネットワーク構造と研究成果 (アウトカム) の関係の把握を試みた.

図 3.7 に研究課題の実施開始年と、開始年に開始した研究課題件数を示す。2011 年から 2016 年にかけて研究課題数が増加し、1 年当たり約 12,000 件の研究課題が採択されている。その要因として、2011 年からの基金化や調整金の導入や採択率の改善が挙げられる [77]。2010 年度までの国の補助金制度では、研究費は各年度で予算措置されるため、原則その年度に交付された金額の範囲内でしか使用できなかった。そのため研究の進捗に応じて、研究費の前倒しや繰越ができず、使い勝手の悪い研究費となってしまう。そこで 2011 年度より日本学術振興会が基金化や調整金の導入を行い、研究機関における柔軟な執行を可能とした。また、採択率に関しては 2011 年度より小規模な研究種目について大幅な改善を図った。

2017 年度は研究課題件数が少ないが、これは本研究では研究課題が完了しているものを対象としているためである。留保や中断などにより研究課題期間が延長され、データを取得した時点において完了処理がされていない研究課題は含まれていない。

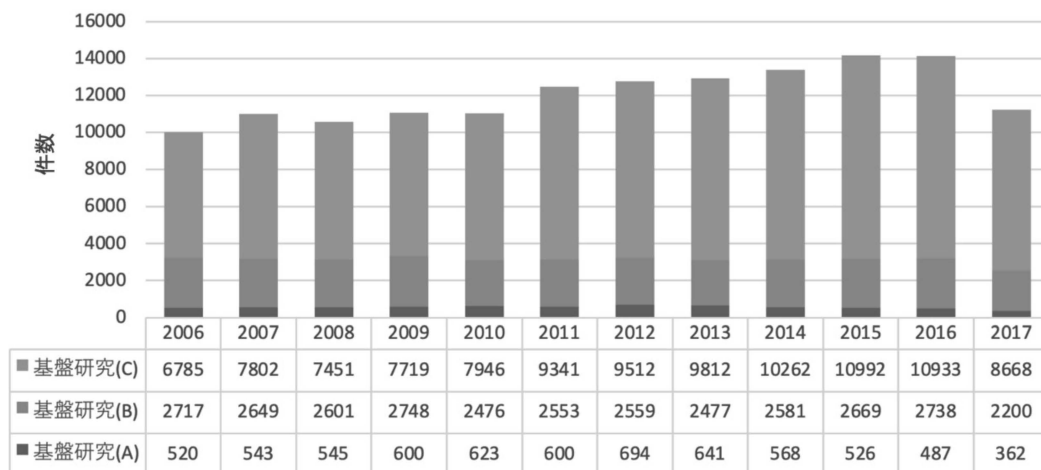


図 3.7 年度研究種別別研究課題件数

図 3.8 に研究種別別研究課題期間を示す。横軸は研究課題期間（年）である。多くの研究課題の期間が 3 年であるが、最小 1 年、最大 7 年と研究期間に幅がある。

図 3.9, 図 3.10 示す研究種別別の合計総配分額、平均配分額からも、2011 年度からの基金化や調整金の導入や採択率の改善による変化が確認できる。しかしながら総配分額が増加したのは基盤研究 (C) のみであり、基盤研究 (A)(B) は減少傾向にある。また、1 件あたりの配分額に大きな変化は見られない。

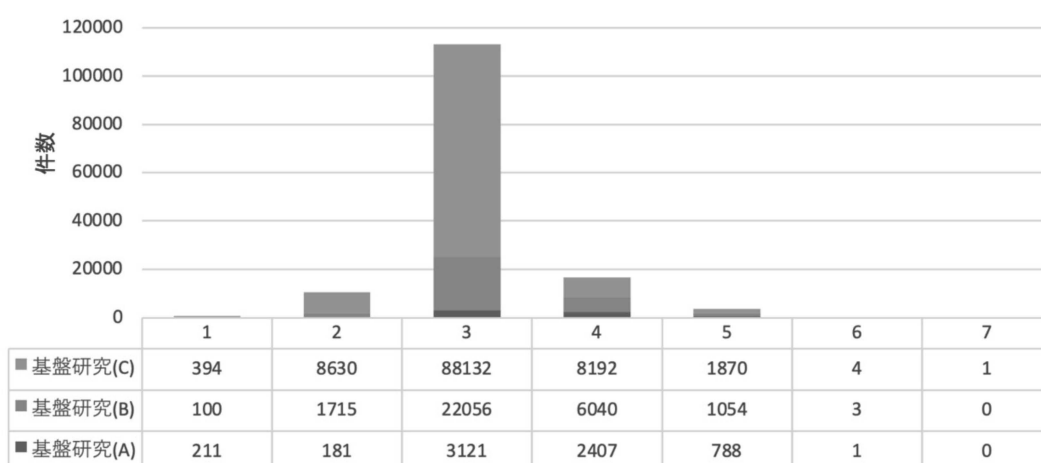


図 3.8 研究種別別研究課題期間

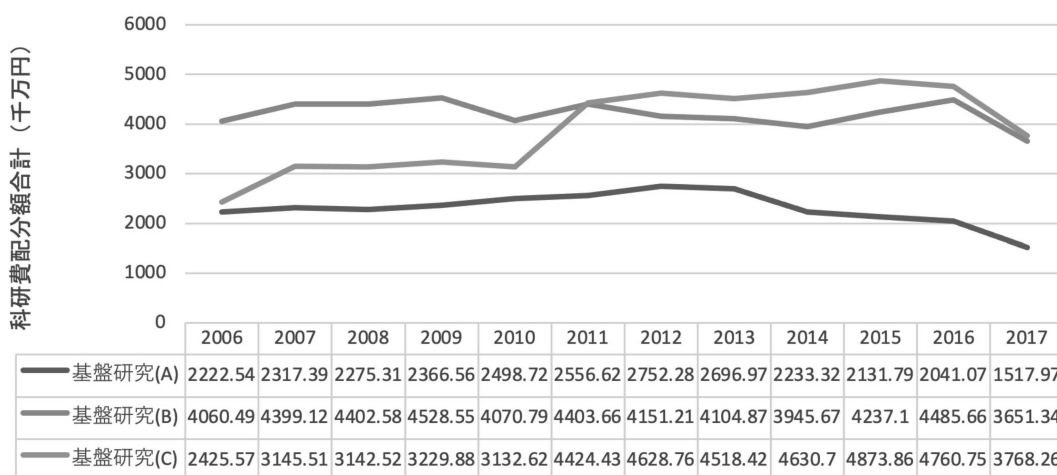


図 3.9 年度研究種別別合計総配分額

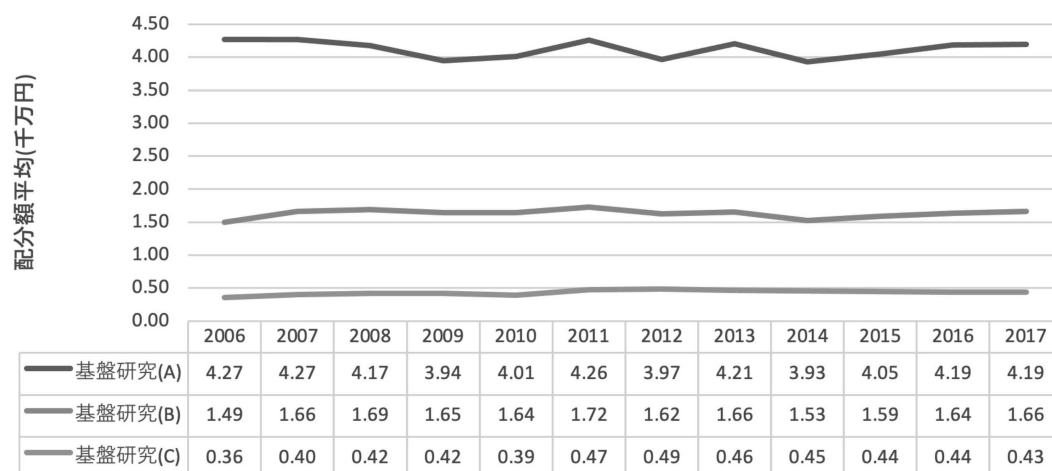


図 3.10 年度研究種別別平均配分額



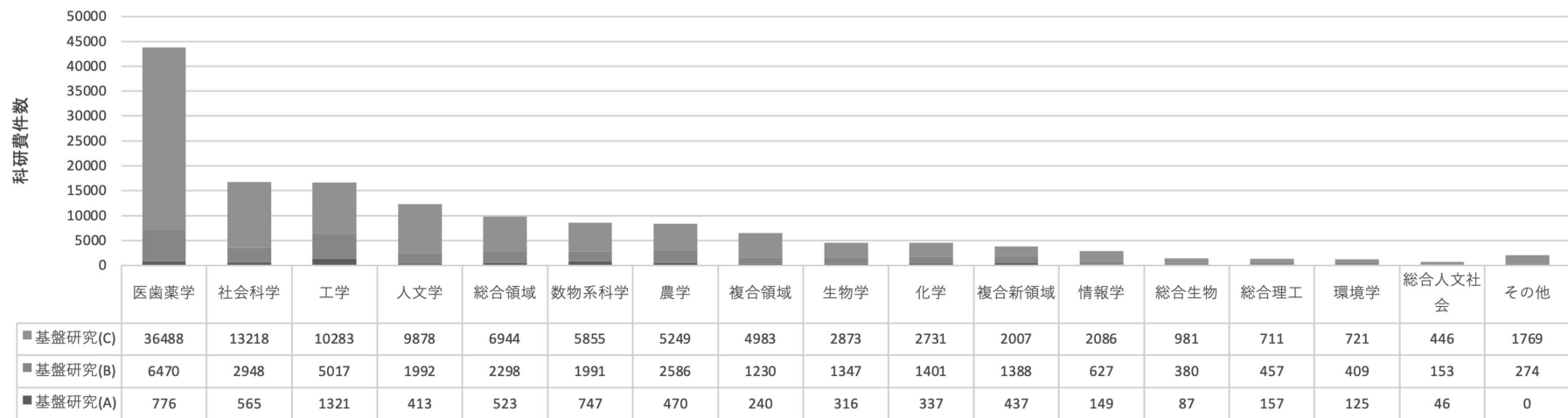


図 3.11 研究分野別総配分額合計

研究分野ごとの研究課題数を図 3.11 に示す。医歯薬学分野の研究数が最も多く、次いで社会科学、工学が多い。工学は他の分野に比べて、基盤研究 (A)(B) の件数割合が多い特徴がある。

## 相関関係

ここで、ネットワーク構造と研究成果（アウトカム）の関係性を相関係数を用いて把握する。表 3.6 にネットワーク構造（ネットワーク閉鎖性、構造的隙間）を含む研究者組織データの相関係数行列を示す。

表 3.6 より、分担研究者数と構造的隙間の相関係数は 0.7 と正の相関がある。分担研究者数は、研究課題に参加する研究者の数を示しており、一般的には多くの研究者が参加するほど、研究の分野やテーマに対する多様な知識や専門性が集まる傾向が考えられる。よって研究課題ごとの研究者組織におけるネットワークにおいて、分担研究者数が増えると、その結果として多様な知識や専門性が集まり、構造的隙間が大きくなると考えられる。

また研究分担者以外の連携研究者や研究協力者と構造的隙間の相関が 0.29 と低く、相関関係が見られなかった。一般に、連携研究者や研究協力者は、対象の研究課題以外の研究課題に関与しない場合が多いと考えられる。そのため、彼らが直接的に構造的隙間を大きくする役割を果たす可能性は、研究分担者と比べて低い。また、研究分担者とは異なる組織や専門領域からの連携研究者や協力者が関与する場合、彼らの貢献が構造的隙間を増やすことに直結しない場合もある。したがって、研究分担者以外の連携研究者や研究協力者と構造的隙間の相関が低い理由として、彼らの関与の性質や程度が、構造的隙間を広げることにつながらない場合があることに起因すると考えられる。

ネットワーク閉鎖性と分担研究者数の相関係数は-0.39 と弱い負の相関であった。これは分担研究者数が多い研究者組織ほど、代表研究者とは異なる組織の研究者も含まれている可能性がある。科研費に申請を行う際、同じ組織内研究者のみで構成された研究者組織よりも、異なる組織の研究者も含まれた研究者組織の方が審査において有利である可能性がある。同じ組織のみで構成された研究者組織は、研究者間の情報共有や打ち合わせなどがしやすく、成果を出すまでのスピードが速い可能性がある。これはネットワーク閉鎖性の観点からも説明することができる。しかし研究は、今まで明らかとなっていない事象を明らかにしていくことが目的であるため、イノベーションが重要となる。イノベーションの観点からは、異なる組織や分野の人との関わりが多い、つまり構造的隙間が大きい方が良い。よって、ネットワーク閉鎖性と分担研究者数の相関係数は負の相関があることが考えられる。

また、ネットワーク構造（構造的隙間とネットワーク閉鎖性）と一般的に研究成果とみなされる項目（雑誌論文数と学会発表数）の相関係数は-0.14 から 0.32 と低く、明確な関係性は見られなかった。ソーシャルキャピタルの概念は、人々や組織間の信頼、ネットワーク、情報共有などの関係性に焦点を当てている。このような関係性が最大化されると、情報やり

ソースの共有が円滑に行われ、意思決定や問題解決が効率的に行われることが期待される。しかし、これらのプロセスが直接的に雑誌論文数や学会発表数と結びつくわけではない。むしろ、ソーシャルキャピタルが最大化される状況では、新たなアイデアやイノベーションが生まれやすくなり、組織やコミュニティ全体の成果や影響力が向上することが期待される。したがって、ソーシャルキャピタルが最大化される状況では、雑誌論文数や学会発表数よりも、より深い関係性や協力体制が重視され、それが組織やコミュニティの持続可能な成長やイノベーションがアウトカムとして生まれている可能性があることが、相関係数から示唆される。しかしながら、ネットワーク構造と研究成果（アウトカム）の関係性は研究規模、つまり研究種別ごとに違いがある可能性がある。そこで、研究種別別の相関係数行列算出した（表 3.7, 表 3.8, 表 3.9）。

結果として、分担研究者数と構造的隙間の相関係数が、基盤研究 (C)0.61 に比べて、基盤研究 (B)0.67 と基盤研究 (A)0.73 と高い。研究種別を研究規模の違いとみなすと、研究規模が大きくなるにつれて、異なる組織や専門領域からの研究者が関与する割合が増え、その結果、構造的隙間がより大きくなる可能性がある。つまり、大規模な研究課題では、多様な専門知識や視点が集まることで、構造的隙間が拡大しやすくなるということが考えられる。また、分担研究者数とネットワーク閉鎖性の相関が基盤研究 (C)-0.30, 基盤研究 (B)-0.41, 基盤研究 (A)-0.42 と、規模が大きくなるにつれて減少していることから、同様の傾向が示唆される。つまり、大規模な研究者組織では、研究者同士の結びつきが弱まり、ネットワークがより開かれた構造を持つ可能性が高まると考えられる。これは、異なる組織や専門領域からの研究者が関与することで、より多様な視点やアプローチが導入され、研究の多様性や創造性が促進される可能性があることを示唆している。

またネットワーク構造（構造的隙間とネットワーク閉鎖性）と一般的に研究成果とみなされる項目（雑誌論文数と学会発表数）の相関係数は、基盤研究 (A), 基盤研究 (B), 基盤研究 (C) のすべてにおいて低く明確な関係性は見られなかった。これは、異なる研究種別やプロジェクトにおいて、ネットワーク構造と雑誌論文数、学会発表数の間に一貫したパターンが見られないことを示している。

しかし構造的隙間と雑誌論文数の相関係数は、規模が大きくなるにつれてわずかではあるが増加している。これは規模が大きくなるにつれて、(1) 研究成果数が増える、(2) 代表研究者とは異なる所属の研究者数が増えたり構造的隙間が大きくなる、の 2 つの要因によってもたらされた擬似相関である可能性が考えられる。具体的には、規模が大きくなるにつれて、研究者組織に関与する研究者の数が増えるため、研究成果の数も増加する傾向がある。さらに、大規模な研究者組織では、異なる組織や専門領域からの研究者が関与する割合が高くなることもあり、これにより構造的隙間が広がる可能性がある。したがって、規模が大きくなると、研究成果数の増加と構造的隙間の拡大という 2 つの要因が相まって、雑誌論文数と構造的隙間間に増加する相関が見られたと推測される。

表 3.6 研究者組織データの相関係数行列

	分担研究者数	その他人数	総配分額	分野分科種類数 (以前)	ネットワーク 閉鎖性	構造的隙間	雑誌論文	学会発表	科研費数 (以前)	科研費数 (以降)
分担研究者数 <sup>a</sup>	1.00									
その他人数 <sup>b</sup>	0.11	1.00								
総配分額	0.36	0.15	1.00							
分野分科種類数 (以前) <sup>c</sup>	0.39	0.08	0.25	1.00						
ネットワーク 閉鎖性	-0.39	-0.43	-0.21	-0.29	1.00					
構造的隙間	0.70	0.29	0.34	0.45	-0.41	1.00				
雑誌論文 <sup>d</sup>	0.32	0.10	0.39	0.13	-0.14	0.32	1.00			
学会発表 <sup>e</sup>	0.20	0.09	0.41	0.15	-0.12	0.19	0.59	1.00		
科研費数 (以前) <sup>f</sup>	0.81	0.10	0.29	0.45	-0.31	0.77	0.25	0.16	1.00	
科研費数 (以降) <sup>g</sup>	0.80	0.11	0.28	0.34	-0.29	0.77	0.29	0.16	0.85	1.00

<sup>a</sup> 研究者 ID が付与されている分担研究者数にて算出

<sup>b</sup> 代表研究者、分担研究者を除く研究課題に関わる研究者、協力者数

<sup>c</sup> 研究課題に関わる研究者が、研究課題 3 年前から開始年までに関わった研究課題の分野分科種類数

<sup>d</sup> 対象研究課題期間中に成果として公表した雑誌論文数

<sup>e</sup> 対象研究課題期間中に成果として公表した学会発表数

<sup>f</sup> 対象研究課題が開始される 3 年前から開始年までに研究者が関わった研究課題数

<sup>g</sup> 対象研究課題開始年から 3 年後までに研究者が関わった研究課題数

表 3.7 研究者組織データの相関係数行列（基盤研究 (A)）

	分担研究者数	その他人数	総配分額	分野分科種類数 (以前)	ネットワーク 閉鎖性	構造的隙間	雑誌論文	学会発表	科研費数 (以前)	科研費数 (以降)
分担研究者数	1.00									
その他人数	0.08	1.00								
総配分額	-0.04	-0.04	1.00							
分野分科種類数 (以前)	0.41	0.05	-0.02	1.00						
ネットワーク 閉鎖性	-0.42	-0.34	0.06	-0.31	1.00					
構造的隙間	0.73	0.37	-0.08	0.47	-0.46	1.00				
雑誌論文	0.36	0.10	0.10	0.13	-0.20	0.37	1.00			
学会発表	0.13	0.04	0.17	0.11	-0.10	0.11	0.52	1.00		
科研費数 (以前)	0.86	0.10	-0.05	0.51	-0.40	0.80	0.33	0.12	1.00	
科研費数 (以降)	0.86	0.14	-0.03	0.39	-0.37	0.81	0.36	0.10	0.87	1.00

表 3.8 研究者組織データの相関係数行列（基盤研究 (B)）

	分担研究者数	その他人数	総配分額	分野分科種類数 (以前)	ネットワーク 閉鎖性	構造的隙間	雑誌論文	学会発表	科研費数 (以前)	科研費数 (以降)
分担研究者数	1.00									
その他人数	0.08	1.00								
総配分額	-0.05	-0.05	1.00							
分野分科種類数 (以前)	0.35	0.04	0.00	1.00						
ネットワーク 閉鎖性	-0.41	-0.37	0.11	-0.27	1.00					
構造的隙間	0.67	0.29	-0.03	0.44	-0.43	1.00				
雑誌論文	0.23	0.04	0.08	0.03	-0.08	0.21	1.00			
学会発表	0.04	0.02	0.15	0.05	-0.01	0.03	0.50	1.00		
科研費数 (以前)	0.80	0.08	0.00	0.45	-0.35	0.76	0.17	0.04	1.00	
科研費数 (以降)	0.78	0.10	-0.01	0.31	-0.30	0.75	0.23	0.03	0.82	1.00

表 3.9 研究者組織データの相関係数行列（基盤研究 (C)）

	分担研究者数	その他人数	総配分額	分野分科種類数 (以前)	ネットワーク 閉鎖性	構造的隙間	雑誌論文	学会発表	科研費数 (以前)	科研費数 (以降)
分担研究者数	1.00									
その他人数	0.01	1.00								
総配分額	0.11	0.07	1.00							
分野分科種類数 (以前)	0.27	0.03	0.12	1.00						
ネットワーク 閉鎖性	-0.30	-0.46	-0.09	-0.21	1.00					
構造的隙間	0.61	0.18	0.13	0.34	-0.31	1.00				
雑誌論文	0.08	0.01	0.04	0.01	-0.02	0.11	1.00			
学会発表	0.03	0.04	0.16	0.05	-0.04	0.05	0.53	1.00		
科研費数 (以前)	0.77	0.01	0.15	0.34	-0.20	0.72	0.05	0.03	1.00	
科研費数 (以降)	0.76	0.02	0.11	0.24	-0.18	0.72	0.12	0.05	0.82	1.00

## 重回帰分析 (stepwise 法)

ネットワーク構造 (ネットワーク閉鎖性, 構造的隙間) を目的変数として回帰分析を行い, ネットワーク構造への影響度の高い要素を把握する. 重回帰分析でモデルを作成する際において, 適切な変数を選択できることは重要である. 重回帰分析や多重ロジスティック回帰分析における説明変数 (独立変数) を選択する方法として, 強制投入法, stepwise 法などがある. 強制投入法とは, 全ての説明変数を一度に投入して目的変数の予測を行う方法である. 全ての説明変数を合わせて, どの程度目的変数を説明することができるのか, 調べる際に使用する. stepwise 法は統計的に最も予測率が高いと考えられる変数から順に自動的に投入される方法である. 本研究では適合度が最良の重回帰式を調べ, かつ選択された変数に関して適切な説明を行うため, stepwise 法を用いることとした.

stepwise 法では, 最も目的変数と相関の高い説明変数が投入され, その後, 偏回帰係数の有意性が次に最も高くなる説明変数が選ばれ, 順に投入されていく. 初期モデルを考え, 徐々に説明能力がより大きいまたはより小さいモデルを比較することで, 重回帰式を得る. 変数の追加は  $F$  統計量の  $p$  値によって判断を行う. 手順は以下の通りである [78].

1. 初期モデルで近似
2. モデルにない任意の項が開始許容誤差よりも小さい  $p$  値をもつ場合 (すなわち, モデルに加えられた場合にゼロ係数をもつ可能性がない場合), 最小の  $p$  値をもつ項を追加し, この手順を繰り返す.
3. モデルの任意の項が, 終了許容誤差よりも大きい  $p$  値をもつ場合は (すなわち, 係数ゼロをもつという仮説は棄却されない場合は), 最大の  $p$  値をもつ項を除外して手順 2 に進む. それ以外の場合は終了.

本研究においては, ネットワーク閉鎖性, 構造的隙間のそれぞれを目的変数とした 2 つのパターンにて分析をおこなった. 投入する説明変数は相関係数行列で示した変数から, ネットワーク構造 (ネットワーク閉鎖性, 構造的隙間) と科研費数 (以降) との相関が高い科研費数 (以前) を除いた 7 変数である.

### 目的変数：ネットワーク閉鎖性

重回帰分析の結果を表 3.10 に示す. また研究種別別の重回帰分析の結果を表 3.11, 表 3.12, 表 3.13 に示す.

空白の列は, stepwise 法において採用されなかった説明変数である. 回帰式全体のモデルに対する  $F$  検定の  $p$  値は  $p\text{-value}=0$  であり, 有意である. しかし, このモデルで説明できる説明変数のばらつき  $R\text{-Squared}$  は 38.8% と低い. そのため, stepwise によって得られたモデルの精度は低いと言わざるを得ない.



表 3.10 重回帰分析結果 (目的変数: ネットワーク閉鎖性)

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>pValue</i>
(Intercept)	0.91812	0.0031804	288.68	0
分担研究者数	-0.060777	0.0011008	-55.21	0
その他人数	-0.056994	0.00082937	-68.72	0
総配分額				
分野分科種類数	-0.086179	0.0021275	-40.508	0
雑誌論文	-0.0072998	0.0056157	-1.2999	0.19364
学会発表	-0.0006076	0.00013076	-4.6464	3.3804E-06
科研費数 (以降)	0.0031246	0.00028876	10.821	2.818E-27
分担研究者数 × その他人数	0.0050197	0.00019429	25.836	7.511E-147
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数	0.0040827	0.00034834	11.72	1.036E-31
分担研究者数 × 雑誌論文	-0.053591	0.0025707	-20.847	2.2514E-96
分担研究者数 × 学会発表	0.00018618	2.2591E-05	8.2415	1.7144E-16
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	0.00032141	2.1646E-05	14.849	7.7091E-50
その他人数 × 総配分額				
その他人数 × 分野分科種類数	0.0031402	0.00037538	8.3653	6.0484E-17
その他人数 × 雑誌論文	-0.051186	0.0010347	-49.467	0
その他人数 × 学会発表	0.00020396	1.5945E-05	12.791	1.93E-37
その他人数 × 科研費数 (以降)	-0.0004962	6.8829E-05	-7.2089	5.6665E-13
総配分額 × 分野分科種類数				
総配分額 × 雑誌論文				
総配分額 × 学会発表				
総配分額 × 科研費数 (以降)				
分野分科種類数 × 雑誌論文	0.086	0.0052732	16.309	9.6415E-60
分野分科種類数 × 学会発表	0.00018586	5.4838E-05	3.3892	0.00070105
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)				
雑誌論文 × 学会発表	0.0022134	0.00017756	12.466	1.1942E-35
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	0.026292	0.0013097	20.075	1.6243E-89
学会発表 × 科研費数 (以降)				

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.388, *Root Mean Squared Error*: 0.236

表 3.11 重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性, 基盤研究 (A)）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>pValue</i>
(Intercept)	0.71381	0.02158	33.077	2.296E-222
分担研究者数	-0.034605	0.0025978	-13.321	5.6327E-40
その他人数	-0.023378	0.0015556	-15.028	3.1543E-50
総配分額	2.0254E-09	3.8787E-10	5.2219	1.8243E-07
分野分科種類数	-0.064047	0.0068098	-9.4052	6.9827E-21
雑誌論文	0.087874	0.030815	2.8517	0.0043624
学会発表				
科研費数 (以降)	-0.0023751	0.00084779	-2.8015	0.0051014
分担研究者数 × その他人数	0.0014169	0.00018902	7.496	7.4293E-14
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数	0.0037434	0.00066643	5.617	2.021E-08
分担研究者数 × 雑誌論文	-0.06212	0.0139	-4.4689	7.992E-06
分担研究者数 × 学会発表				
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	0.00016808	3.5646E-05	4.7153	2.4627E-06
その他人数 × 総配分額				
その他人数 × 分野分科種類数				
その他人数 × 雑誌論文	-0.054624	0.0052799	-10.346	6.7357E-25
その他人数 × 学会発表				
その他人数 × 科研費数 (以降)				
総配分額 × 分野分科種類数				
総配分額 × 雑誌論文				
総配分額 × 学会発表				
総配分額 × 科研費数 (以降)				
分野分科種類数 × 雑誌論文	0.12527	0.027665	4.5282	6.052E-06
分野分科種類数 × 学会発表				
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)				
雑誌論文 × 学会発表				
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	0.033766	0.0073058	4.6218	3.8752E-06
学会発表 × 科研費数 (以降)				

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.389, *Root Mean Squared Error*: 0.255

表 3.12 重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性, 基盤研究 (B)）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>p Value</i>
(Intercept)	0.69644	0.025353	27.47	3.799E-164
分担研究者数	-0.027815	0.0059218	-4.697	2.6514E-06
その他人数	-0.045416	0.0015929	-28.511	1.631E-176
総配分額	9.8752E-09	1.4865E-09	6.6433	3.1189E-11
分野分科種類数	-0.045606	0.010788	-4.2274	2.3714E-05
雑誌論文	0.11048	0.030257	3.6513	0.00026137
学会発表	-0.0013807	0.0005881	-2.3478	0.018891
科研費数 (以降)	-0.01431	0.0021234	-6.7392	1.6205E-11
分担研究者数 × その他人数	0.0041863	0.00031896	13.125	3.0271E-39
分担研究者数 × 総配分額	-1.795E-09	3.2262E-10	-5.5626	2.6805E-08
分担研究者数 × 分野分科種類数	0.0043877	0.00081784	5.365	8.1544E-08
分担研究者数 × 雑誌論文	-0.059741	0.0069414	-8.6064	7.892E-18
分担研究者数 × 学会発表	0.00013611	4.8524E-05	2.805	0.0050344
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	0.00044242	5.0212E-05	8.8109	1.3047E-18
その他人数 × 総配分額				
その他人数 × 分野分科種類数	0.001904	0.0006143	3.0995	0.0019405
その他人数 × 雑誌論文	-0.050979	0.0026624	-19.148	2.9702E-81
その他人数 × 学会発表	0.00011907	3.2215E-05	3.6961	0.0002193
その他人数 × 科研費数 (以降)	-0.0002946	0.00011768	-2.5034	0.012305
総配分額 × 分野分科種類数	-1.926E-09	5.9633E-10	-3.2304	0.0012373
総配分額 × 雑誌論文	-5.253E-09	1.6241E-09	-3.2343	0.0012208
総配分額 × 学会発表	8.5586E-11	3.2247E-11	2.6541	0.0079561
総配分額 × 科研費数 (以降)	7.1575E-10	1.1813E-10	6.0592	1.3837E-09
分野分科種類数 × 雑誌論文	0.081446	0.01371	5.9405	2.8722E-09
分野分科種類数 × 学会発表				
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)	0.00061934	0.00025481	2.4306	0.015079
雑誌論文 × 学会発表	0.0017461	0.00041893	4.168	3.0809E-05
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	0.045472	0.0034578	13.151	2.1537E-39
学会発表 × 科研費数 (以降)	-6.845E-05	1.6644E-05	-4.1128	3.9182E-05

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.372, *Root Mean Squared Error*: 0.258

表 3.13 重回帰分析結果（目的変数：ネットワーク閉鎖性, 基盤研究 (C)）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>pValue</i>
(Intercept)	1.0389	0.010712	96.982	0
分担研究者数	-0.047978	0.0021128	-22.708	6.875E-114
その他人数	-0.097563	0.0030642	-31.839	2.016E-221
総配分額	-2.354E-08	2.3137E-09	-10.173	2.6943E-24
分野分科種類数	-0.063263	0.0034465	-18.356	3.8638E-75
雑誌論文	-0.070829	0.011184	-6.3334	2.4078E-10
学会発表	0.00043006	0.00018465	2.3291	0.019854
科研費数 (以降)	-0.016488	0.0013261	-12.434	1.8171E-35
分担研究者数 × その他人数	0.010636	0.00043996	24.175	8.966E-129
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数	-0.0079891	0.0010025	-7.9694	1.6105E-15
分担研究者数 × 雑誌論文	-0.055341	0.0029556	-18.724	4.1843E-78
分担研究者数 × 学会発表	-0.0002792	0.00005462	-5.1118	3.196E-07
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	0.0018048	6.3992E-05	28.203	2.334E-174
その他人数 × 総配分額	4.6224E-09	6.2171E-10	7.4349	1.054E-13
その他人数 × 分野分科種類数	0.0025697	0.00073451	3.4985	0.00046805
その他人数 × 雑誌論文	-0.035386	0.0012609	-28.063	1.176E-172
その他人数 × 学会発表	0.0004636	4.5763E-05	10.13	4.1558E-24
その他人数 × 科研費数 (以降)	-0.0008569	0.0001447	-5.9221	3.1874E-09
総配分額 × 分野分科種類数				
総配分額 × 雑誌論文	1.5568E-08	2.183E-09	7.1316	9.9848E-13
総配分額 × 学会発表				
総配分額 × 科研費数 (以降)	2.6231E-09	2.5778E-10	10.176	2.6104E-24
分野分科種類数 × 雑誌論文	0.056089	0.0064436	8.7046	3.2309E-18
分野分科種類数 × 学会発表				
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)	0.0010208	0.00024551	4.1579	3.2137E-05
雑誌論文 × 学会発表	0.00098696	0.00023998	4.1127	3.9138E-05
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	0.025242	0.0014618	17.267	1.0232E-66
学会発表 × 科研費数 (以降)				

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.357, *Root Mean Squared Error*: 0.224

結果として、ネットワーク閉鎖性を目的変数とした重回帰分析において総配分額に関する項は1つも採用されず、また表 3.6 の相関係数においても-0.21 と低い。このことからネットワーク閉鎖性が総配分額にもたらす影響はないと言える。

また、ネットワーク閉鎖性を高める変数としては、分野分科種類数 × 雑誌論文が 0.086 ( $p$  値 9.6415E-60)、雑誌論文 × 科研費数 (以降) が 0.026292 ( $p$  値 1.6243E-89) が挙げられる。ネットワーク閉鎖性を下げる変数としては、分野分科種類数-0.086179 ( $p$  値 0)、分担研究者数-0.060777 ( $p$  値 0)、その他人数-0.056994 ( $p$  値 0) などが挙げられる。特に相互作用変数においても分担研究者数、その他人数が影響しており、研究者組織内に多くの研究者が関係していると、ネットワーク閉鎖性は低くなる。相関係数の結果からも考察をしたが、研究者組織の規模が大きくなるにつれ、代表研究者とは異なる研究者が多くなることから、ネットワーク閉鎖性は低くなっていくことが影響している可能性がある。

そこで研究規模の大きさの違いを把握するため、研究種別別の重回帰分析 (表 3.11, 表 3.12, 表 3.13) についても実施した。結果として全体データで実施した時と同様に重回帰式の精度が悪く、明確な説明をすることはできなかった。しかしながら基盤研究 (C) に比べて基盤研究 (A)(B) は分担研究者数の係数が小さく、規模が大きくなるにつれて分担研究者数がネットワーク閉鎖性を下げる要因になっている可能性が考えられる。

またどの研究規模においても、分野分科種類数 × 雑誌論文がネットワーク閉鎖性を高める要因となっていた。これは異なる分野や専門領域からの研究者が共同で論文を執筆することが多いことを示唆している。複数の分野からの知識や視点が融合された論文は、より包括的で創造的なアプローチを提供する可能性がある。そのため、このような研究論文はネットワーク内の結びつきを強め、ネットワーク閉鎖性に影響する可能性がある。

## 目的変数：構造的隙間

次に目的変数を構造的隙間にして重回帰分析を行った (表 3.14)。合わせて、研究種別別の重回帰分析の結果を表 3.15, 表 3.16, 表 3.17 に示す。

回帰式全体のモデルに対する  $F$  検定の  $p$  値は  $p$ -value = 0 であり、有意である。しかし、回帰式から求められる予測値が実データからどの程度離れているかを示す *Root Mean Squared Error* が 1.83 であり大きい。そのためモデルの精度は低いと言わざるを得ない。

構造的隙間を大きくする影響している要素として、分野分科種類数 0.72036 ( $p$  値 6.6876E-303)、雑誌論文 1.0085 ( $p$  値 1.8274E-104) が挙げられる。相関係数での考察として、構造的隙間と雑誌論文数の関係性を擬似相関である可能性を挙げた。回帰式の精度が悪いことから明確な結果にはならないが、構造的隙間を高める要因として雑誌論文が見られた。

またネットワーク閉鎖性に比べて、相互作用変数の影響が多く、単項目での影響が少ない。構造的隙間は研究プロジェクト規模が大きい方がより影響をしやすいと考えられている。相互作用変数が多いことから、ネットワーク閉鎖性よりも複雑な要因が影響している

表 3.14 重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>p Value</i>
(Intercept)	3.0148	0.028622	105.33	0
分担研究者数	0.27939	0.010375	26.929	2.494E-159
その他人数	0.46258	0.0068502	67.528	0
総配分額	-8.385E-09	1.9253E-09	-4.3552	1.3305E-05
分野分科種類数	0.72036	0.019318	37.29	6.688E-303
雑誌論文	1.0085	0.046425	21.723	1.827E-104
学会発表	0.023011	0.001121	20.527	1.6931E-93
科研費数 (以降)	0.42677	0.0030373	140.51	0
分担研究者数 × その他人数	-0.048395	0.0015191	-31.858	5.953E-222
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数	0.06416	0.0038027	16.872	8.2857E-64
分担研究者数 × 雑誌論文	0.41035	0.020574	19.945	2.1703E-88
分担研究者数 × 学会発表	0.00094692	0.00018167	5.2123	1.8678E-07
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	-0.0068277	0.00018192	-37.531	8.724E-307
その他人数 × 総配分額	5.129E-09	2.2381E-10	22.917	5.097E-116
その他人数 × 分野分科種類数	-0.057473	0.002945	-19.516	1.0359E-84
その他人数 × 雑誌論文	-0.57933	0.0081869	-70.763	0
その他人数 × 学会発表	0.00059176	0.00013121	4.51	6.487E-06
その他人数 × 科研費数 (以降)	0.016936	0.00054059	31.329	9.912E-215
総配分額 × 分野分科種類数	-6.521E-09	7.0418E-10	-9.2606	2.0585E-20
総配分額 × 雑誌論文	-5.1E-09	2.2849E-09	-2.2322	0.025601
総配分額 × 学会発表	-1.418E-10	3.1029E-11	-4.5684	4.9198E-06
総配分額 × 科研費数 (以降)	2.8586E-09	9.2815E-11	30.799	1.267E-207
分野分科種類数 × 雑誌論文	-1.4469	0.042499	-34.046	4.69E-253
分野分科種類数 × 学会発表	0.0025441	0.00044922	5.6633	1.4876E-08
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)	-0.015356	0.0011369	-13.507	1.5059E-41
雑誌論文 × 学会発表	-0.043176	0.0014475	-29.829	6.432E-195
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	-1.7531	0.010354	-169.32	0
学会発表 × 科研費数 (以降)	-0.00032	0.00006662	-4.8026	1.5678E-06

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.836, *Root Mean Squared Error*: 1.83

表 3.15 重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間，基盤研究 (A)）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>pValue</i>
(Intercept)	2.9883	0.20788	14.375	3.6051E-46
分担研究者数	0.4222	0.027213	15.514	2.3368E-53
その他人数	0.77906	0.027759	28.065	6.088E-164
総配分額				
分野分科種類数	1.267	0.10599	11.954	1.3324E-32
雑誌論文	6.1743	0.45014	13.716	3.0062E-42
学会発表	0.017649	0.0040575	4.3496	0.00001384
科研費数 (以降)	0.51854	0.011758	44.102	0
分担研究者数 × その他人数	-0.044938	0.0049904	-9.0049	2.7701E-19
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数				
分担研究者数 × 雑誌論文				
分担研究者数 × 学会発表				
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	-0.0016859	0.00046563	-3.6206	0.0002961
その他人数 × 総配分額				
その他人数 × 分野分科種類数	-0.084477	0.010592	-7.9753	1.7752E-15
その他人数 × 雑誌論文	-1.6417	0.073357	-22.38	4.863E-107
その他人数 × 学会発表				
その他人数 × 科研費数 (以降)	0.018659	0.0017614	10.594	5.1229E-26
総配分額 × 分野分科種類数				
総配分額 × 雑誌論文				
総配分額 × 学会発表				
総配分額 × 科研費数 (以降)				
分野分科種類数 × 雑誌論文	-4.198	0.38484	-10.908	1.787E-27
分野分科種類数 × 学会発表	0.0054814	0.0012945	4.2343	2.3233E-05
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)	-0.021236	0.0030934	-6.8652	7.2381E-12
雑誌論文 × 学会発表	-0.0448	0.0081607	-5.4897	4.1743E-08
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	-2.9748	0.063135	-47.118	0
学会発表 × 科研費数 (以降)	-0.0004536	0.00011602	-3.9095	9.3396E-05

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.854, *Root Mean Squared Error*: 3.46

表 3.16 重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間，基盤研究 (B)）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>pValue</i>
(Intercept)	3.1069	0.076269	40.736	0
分担研究者数	0.35562	0.022031	16.141	2.2614E-58
その他人数	0.59939	0.014406	41.608	0
総配分額				
分野分科種類数	0.68681	0.04323	15.887	1.3017E-56
雑誌論文	2.8713	0.14823	19.371	4.2098E-83
学会発表	0.022853	0.002068	11.051	2.4572E-28
科研費数 (以降)	0.5708	0.0074506	76.611	0
分担研究者数 × その他人数	-0.05431	0.0028824	-18.842	9.4181E-79
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数	0.078304	0.0073368	10.673	1.5163E-26
分担研究者数 × 雑誌論文	0.32439	0.062191	5.216	1.8396E-07
分担研究者数 × 学会発表				
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	-0.012237	0.00045321	-27.001	1.01E-158
その他人数 × 総配分額				
その他人数 × 分野分科種類数	-0.036119	0.0055545	-6.5027	8.0096E-11
その他人数 × 雑誌論文	-0.93204	0.024086	-38.695	6.3438e-320
その他人数 × 学会発表	0.00081674	0.00029091	2.8076	0.004995
その他人数 × 科研費数 (以降)	0.010737	0.0010624	10.106	5.6643E-24
総配分額 × 分野分科種類数				
総配分額 × 雑誌論文				
総配分額 × 学会発表				
総配分額 × 科研費数 (以降)				
分野分科種類数 × 雑誌論文	-2.0298	0.12392	-16.38	4.7625E-60
分野分科種類数 × 学会発表				
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)	-0.022246	0.0022984	-9.6792	3.9727E-22
雑誌論文 × 学会発表	-0.046161	0.0037345	-12.361	5.1566E-35
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	-2.5635	0.031143	-82.316	0
学会発表 × 科研費数 (以降)	-0.0003111	9.9933E-05	-3.1126	0.001856

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.827, *Root Mean Squared Error*: 2.33



表 3.17 重回帰分析結果（目的変数：構造的隙間，基盤研究 (C)）

	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>tStat</i>	<i>p Value</i>
(Intercept)	2.5805	0.029894	86.321	0
分担研究者数	0.48375	0.012723	38.022	3.188e-314
その他人数	0.54741	0.0083939	65.215	0
総配分額				
分野分科種類数	0.47073	0.021559	21.835	1.849E-105
雑誌論文	0.4527	0.042099	10.753	5.9043E-27
学会発表	0.018477	0.0015668	11.793	4.4502E-32
科研費数 (以降)	0.51241	0.0034787	147.3	0
分担研究者数 × その他人数	-0.063697	0.0026094	-24.41	3.046E-131
分担研究者数 × 総配分額				
分担研究者数 × 分野分科種類数	0.038121	0.0059517	6.405	1.5099E-10
分担研究者数 × 雑誌論文	0.34402	0.017511	19.646	8.9248E-86
分担研究者数 × 学会発表	0.00093318	0.00043326	2.1538	0.031255
分担研究者数 × 科研費数 (以降)	-0.031886	0.00037944	-84.035	0
その他人数 × 総配分額				
その他人数 × 分野分科種類数	-0.05729	0.0043498	-13.171	1.387E-39
その他人数 × 雑誌論文	-0.52535	0.0074569	-70.452	0
その他人数 × 学会発表	0.00053246	0.00027158	1.9606	0.049929
その他人数 × 科研費数 (以降)	0.006438	0.00085923	7.4928	6.795E-14
総配分額 × 分野分科種類数				
総配分額 × 雑誌論文				
総配分額 × 学会発表				
総配分額 × 科研費数 (以降)				
分野分科種類数 × 雑誌論文	-0.82435	0.038325	-21.509	2.101E-102
分野分科種類数 × 学会発表	-0.0032754	0.00078368	-4.1796	2.9227E-05
分野分科種類数 × 科研費数 (以降)	-0.0073981	0.0014562	-5.0805	3.7707E-07
雑誌論文 × 学会発表	-0.02874	0.0014984	-19.18	7.4379E-82
雑誌論文 × 科研費数 (以降)	-1.5786	0.0086448	-182.61	0
学会発表 × 科研費数 (以降)	0.00052211	0.00012703	4.1101	3.9585E-05

*p-value* = 0, *R-Squared*: 0.819, *Root Mean Squared Error*: 1.33

可能性が高い。

ただし研究種別別の重回帰分析結果では（表 3.15, 表 3.16, 表 3.17), 相互作用変数の数は多くない。分析に使用されるデータセットが, 相互作用を評価するには不十分である可能性が考えられる。

構造的隙間を小さくする要素としては, 雑誌論文 × 科研費数 (以降) ( $p$  値 0) がある。その理由として, 下記の可能性が考えられる。

1. 大規模な研究者組織ほど構造的隙間は大きくなりイノベーションが高まることから雑誌論文数が増える
2. 大規模な研究者組織は研究課題開始から 3 年以降に他の研究課題に関わる可能性が少ない

まず, 1 については, 大規模な研究者組織では, 構造的隙間が大きくなり, イノベーションの可能性が高まり, その結果雑誌論文の数が増加することが考えられる。大規模な研究者組織では, 異なる分野や専門性を持つ研究者が協力し, より多様な視点やアプローチが取り入れられる。このような環境においては, より多くの成果が生まれる可能性がある。雑誌論文単体の係数も規模が大きくなるにつれて 0.45, 2.87, 6.17 と大きくなっていることから示唆される。

2 については, 大規模な研究者組織は, 課題の大きさゆえ他の研究課題に参加している研究者が少ない可能性がある。これは, 大規模な研究者組織ほど科研費数 (以降) は小さい (負の相関) ことから示唆される。これらの影響により, 相互作用として雑誌論文 × 科研費数 (以降) が, 構造的隙間を小さくする要素として算出されたのではないかと考えられる。研究種別別の結果においても, 雑誌論文 × 科研費数 (以降) の係数が規模が大きくなるにつれて, -1.58, -2.56, -2.97 と減少していることから, 影響が示唆される。

### 3.5 まとめ

2001 年に Burt が発表した論文において, ソーシャルキャピタルの最大化がもたらされるネットワーク構造として, 構造的隙間とネットワーク閉鎖性の重要性を論じた。しかしながらネットワーク閉鎖性と構造的隙間がどのように組み合わせられることにより, ソーシャルキャピタルがもたらすポジティブな影響が最大化され, さらにその結果として組織や集団におけるアウトカムが増加するの点に関しては, 実証的な検証はこれまで実質的に行われてこなかった。

そこで本研究では, 日本の研究者組織におけるネットワーク構造と研究成果との関連性を検証するため, 科学研究費助成事業を通じて得られたデータを基に, 統計分析からの把握を行った。日本の研究者組織に着目する理由として, 3.1 章にて日本の研究力の低下傾向につ

いて詳述し、資金の減少、論文の伸び悩み、Top10% 補正論文数での国際的位置づけの低下を指摘した。OECD 諸国との比較を通じて、日本の研究開発費の停滞が国際競争力の低下につながっていることが先行研究により示唆されている。

3.2 章および 3.3 章にて、科学研究費助成事業に関するデータの取得から、研究課題ごとの研究者組織ネットワーク構造の算出方法について記述した。合わせて、研究開始年度、研究課題ステータス、研究種目などの要素を詳細に分析した。

また、3.4 章でのネットワーク構造に関する統計分析では、特にネットワーク閉鎖性と構造的隙間の指標を用いて、これらが研究成果にどのように影響しているかを検討した。結果として、ネットワーク構造と研究成果との間に直接的な相関は見られないものの、研究規模や研究種別によって異なる影響があることが示唆された。特に、研究規模が大きくなるにつれて、構造的隙間が広がりやすい傾向にあることが示された。さらに、重回帰分析を通じて、ネットワーク構造に影響を与える要素の検討を行った。stepwise によって得られたモデルの精度は低く、統計分析からネットワーク構造と研究成果との関連性について明確に指摘することが難しい。しかしながら、研究種別ごとの分析から、研究規模がネットワーク構造が研究成果に及ぼす影響について、異なることが示唆された。

## 4 包絡分析法 (DEA) を用いたソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の把握

従来のソーシャルネットワーク分析の手法では、回帰分析や相関係数など基本統計量が用いられてきた。しかしながら、3章の結果より相関係数や重回帰分析といった一般的な統計手法では、ネットワーク構造に関して明確な結果が導き出すことができなかった。その理由の1つとして、基本統計量の弱点である「アウトカム（出力）は1つのみ」と言う点が考えられる。

研究者組織のネットワーク構造は、複雑な特性を持っている。単一のアウトカムでは、ネットワーク構造の多面性を捉えることができない。その結果、重要な情報が見落とされ、ネットワークの本質的な特性や影響力を完全に理解することが困難になり得る。また、ネットワーク構造と研究成果の関係は、単一の要因だけでなく、複数の要因が絡み合って形成される。基本統計量を用いた分析では、特に異なる要因が研究成果に与える影響の相対的な重み付けや、分析結果の解釈に限界がある。

包絡分析法 (Data Envelopment Analysis; DEA) は、1978年に Charnes らによって提唱された経営分析手法であり、提唱者の名前から CCR モデルと一般的に呼ばれている [79]。Charnes らは、アメリカの学校における教育プログラムを評価するにあたり、調査データベースが大きく、入力、出力変数が多数であったことから DEA を考案した。DEA の特徴として、データの持っている情報から、複数の説明変数と複数の目的関数との関係を相対的な効率値として測定することが可能であることが挙げられ、基本統計量の弱点を補うことが可能である。

1978年のDEAの提案後、BCCモデルや加法モデル、FDHモデルなど新たなモデルが1980年代に生まれた [80–82]。また、DEAから算出される解によってグループを分割し、グループの特徴を活かしたアルゴリズムの開発 [83] や時系列分析手法の開発 [84, 85] など、現在においても応用研究も行われている。効率性の評価だけでなく、医療機関の類型化やメガソーラーの最適配置などにおいても適応されている [86, 87]。

そこで本章においては、経営分析手法の1つであるDEAを用いて、ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の把握を行う。

### 4.1 包絡分析法 (DEA) の定義

#### 線形計画法

DEAの中心的な解析手法は線形計画法である。線形計画法は第2次世界大戦中の作戦戦術決定に用いられ、戦後はOR分野において意思決定のために用いられてきた。線形計画法

の基本的な算出の流れは以下である。2と3は順序が逆になったり、どちらか一方のみ行う場合もある。

1. 問題の定式化

変数, 目的関数, 制約条件の定義. また必要に応じて非負制約の設定.

2. 定義した問題の計算

3. 図式化

たとえば単純な例として, 以下を考える.

目的関数

$$\max z = x + 2y \tag{4.1}$$

制約条件

$$\begin{aligned} x + y &\leq 4 \\ 5x + y &\leq 17 \\ x + 6y &\leq 20 \\ x &\geq 0 \\ y &\geq 0 \end{aligned} \tag{4.2}$$

制約条件を基に図式化したものを図 4.1 に示す. 塗りつぶされた範囲が, 実行可能領域であり, 実行可能解である. ここから目的関数  $\max x + 2y$  にあう傾きを図示し (図 4.2) 移動させると, 実行可能領域の交点と合わさる点が存在する. この交点が例題における最適値である.

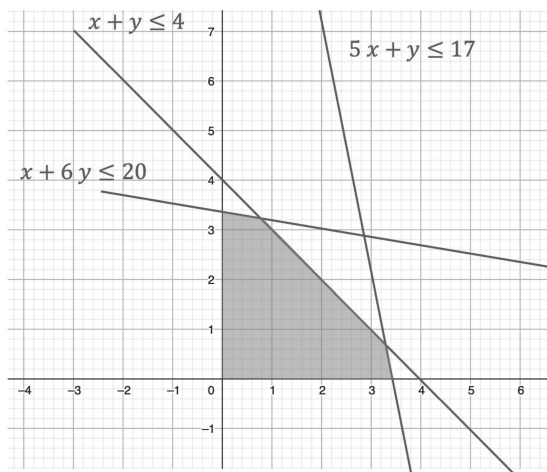


図 4.1 実行可能領域

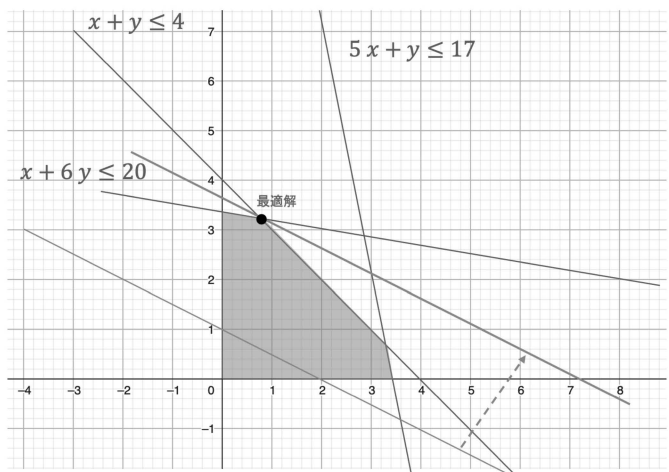


図 4.2 最適解

このように線形計画法において最適値を算出することができるが, 複数の入力変数  $(x, y)$  に対して出力は 1 つ  $(z)$  のみである. そこで線形計画法を複数入力, 複数出力に拡張させ,

相対的な効率値の定義を行ったのが DEA である。

## DEA の基本概念

DEA において評価する対象を DMU (Decision Making Unit; 意思決定単位) と呼ぶ。DMU は評価対象の総称であり、具体的には学校ごとの評価を行うのであれば学校、企業内の従業員評価を行うのであれば従業員個人などが挙げられる。本研究では、科学技術研究費のデータより研究者組織に着目しているため、DMU は研究者組織である。

DEA では、一般に入力を最小化して、出力を最大化する。つまり少ない入力で多くの出力を得られることができれば、効率性が良いことを表している。たとえば生産活動に置き換えると、少ない原材料で多くの製品を作り出すことができれば、企業としてロスが少ないと言えるだろう。物流においても、少ない燃料で遠くの距離の場所に多くのものを運ぶことができれば、効率的である。しかしながら例外も存在する。環境汚染の観点から考えると、工場での作業において排出される環境廃棄物は少ない方がよい。そこで好ましくない出力を扱う DEA モデルが提案されていたり、入出力の要素を逆にすることで計算を行うなどの方法が取られている [88]。

ここで、図 4.3 の 1 入力 1 出力を例に考える。図内にプロットされている点が、各 DMU の観測データを表したものである。このとき DMU 各点を包絡する線を効率的フロンティア、別名 DEA ベストプラクティスと呼ぶ。効率フロンティアの定義はモデルによって異なり、図 4.3 は BCC (規模収穫一定) モデルで示している。効率的フロンティアは入力の観点から最も大きい出力である DMU を包絡しており、効率的フロンティア上にある DMU は、各 DMU の観測データより相対的に効率的、効率的フロンティア上にない DMU は非効率とみなすことができる。

ただし、効率的フロンティア上にありながら非効率的である DMU が存在する場合がある。図 4.3 の効率フロンティア上に、DMU $a$  と DMU $a'$  がある。しかし  $a, a'$  もどちらも同じ出力でありながら、入力は  $a$  の方が大きい。 $a$  は  $a'$  と同じ入力まで減らすことができる。DEA の観点から、入力が最小であり出力を最大であるものを効率的とみなすため、 $a$  は効率的ではない。このように効率的フロンティア上にありながら非効率的である DMU を、効率フロンティア上の DMU の入出力を用いて削除できる値”スラック”を算出し求める。スラック計算については、次項にて示す。

DMU が効率的フロンティア上にない、つまり非効率であるとき、効率的フロンティア上に移動させ効率的にする方向はたくさん存在する。基本的な方向としては 2 つあり、入力指向と出力指向である。入力指向では、今の出力はそのままに入力を減らしていく入力削減を考えるモデルである。対して出力指向では、今の入力はそのままに出力を増やしていく出力増加を考えるモデルである。DEA を用いて解決したい課題によって、入力指向・出力指向を選択する。図 4.3 において DMU $b$  をそれぞれ入力指向、出力指向で移動させた時の効率

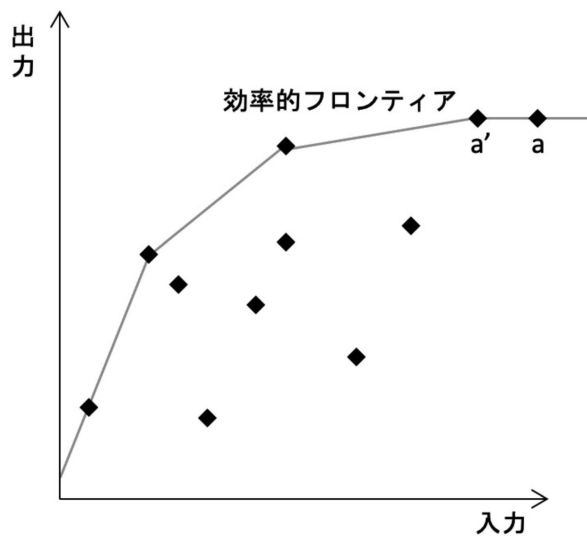


図 4.3 1 入力 1 出力の例における効率フロンティア

解は  $b'$  と  $b''$  となる (図 4.4). この効率解を仮想的 DMU といい、仮想的 DMU を目指して改善していくこととなる.

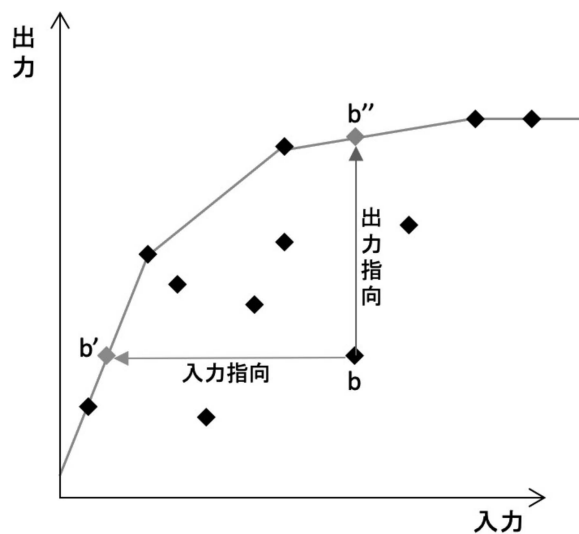


図 4.4 1 入力 1 出力の例における入力・出力指向

ここで DEA で算出する効率値について、1 入力 2 出力の出力指向モデル (図 4.5) を例に説明する。ただし、簡単化のためスラックを加味しない場合であることに注意する必要がある。効率的フロンティアより、DMU1, DMU4, DMU5 が効率的であることがわかる。非効率的な DMU2 を出力指向より仮想的 DMU2 を算出することを考える。まず、仮想的 DMU2 の座標 (出力 1, 出力 2) =  $(y_1, y_2)$  を算出する。仮想的 DMU2 の座標は、原

点と DMU2 を結んでできる直線  $3y_1 - 2y_2 = 0$  と、DMU1 と DMU4 を結んでできる直線  $0.5y_1 + y_2 = 6.5$  の交点である。連立方程式

$$\begin{cases} 3y_1 - 2y_2 = 0 \\ 0.5y_1 + y_2 = 6.5 \end{cases} \quad (4.3)$$

を解くと、 $y_1 = \frac{13}{4} = 3.25$ 、 $y_2 = \frac{39}{8} = 4.875$  となり、仮想的 DMU2 の座標は (3.25, 4.875) と求められる。ここで効率値は、DMU2 から見る仮想的 DMU2 の比率として求められる。よって効率値は、 $(3.25, 4.875) = 1.625 \times (2, 3)$  より 1.625 となる。

効率値が 1 の場合は仮想的 DMU と DMU が効率的フロンティア上にあることから、効率値=1 の場合は効率的な DMU、効率値 >1 の場合は非効率的な DMU と見ることができる。

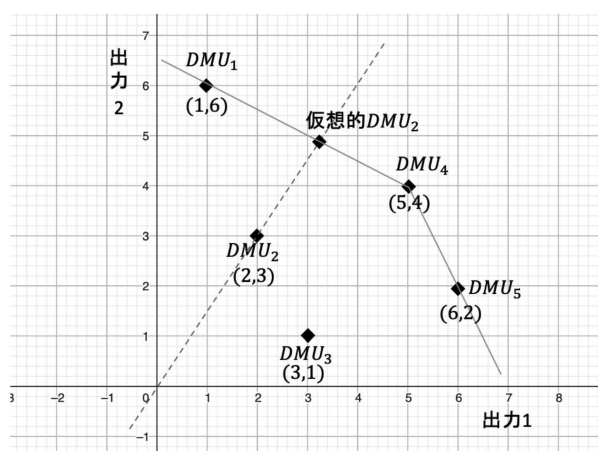


図 4.5 1 入力 2 出力の例における例

### BCC 出力指向モデルの定義

DEA には複数の出力指向モデルが存在する。CRS (Constant Returns to Scale) モデルは規模収益一定を仮定し、全ての DMU (意思決定単位) が同じスケールで活動しているみならず。このモデルは、入力と出力の比率が一定であると考え、最も効率的な DMU を基準として相対的な効率を評価する。アダー・モレルモデル (Additive Model) は、入力と出力の両方を同時に改善しようとする DEA モデルであり、スラック (入力の過剰使用や出力の不足) を直接的に考慮する。よってアダー・モレルモデルは、入出力のスラックを重視する分析に適している。

本研究は中でも、BCC 出力指向モデルを使用する [89]。このモデルは規模収益可変 (VRS: Variable Returns to Scale) を仮定していることから、研究活動の効率性が、組織の規模や研究のスケールに依存するという現実を反映している。規模が大きくなると、すべての入力に対して出力が比例して増加しない場合 (規模の経済または不経済) があるため、この仮定は研究組織の効率分析において現実的なアプローチを提供すると考えられる。



また出力指向モデルは、与えられた入力に対して出力を最大化することに焦点を置く。研究組織やプロジェクトでは、通常、限られたリソース（入力）から最大限の成果（出力）を得ることが目標である。BCC 出力指向モデルはこの目標達成度を評価するのに適しており、どの組織がリソースを効率的に活用しているかを明らかにする。また出力指向の観点から、組織が現在の規模でどれだけ効率的に出力を増やすことができるか、また、規模の変化が効率性にどのように影響するかを評価することが可能である。

BCC 出力指向モデルの定義を下記に示す。

DMU 数  $n$  に関する  $m$  個の入力データ  $\mathbf{X} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n) \in R^{m \times n}$  と、 $s$  個の出力データ  $\mathbf{Y} = (\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n) \in R^{s \times n}$  を元に  $DMU_j (j = 1, \dots, n)$  の効率値を算出する。入力につける重みを  $\mathbf{v} \in R^m$ 、出力につける重みを  $\mathbf{u} \in R^s$  としたときの主問題は、

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta = \mathbf{v} \mathbf{x}_j \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{u} \mathbf{y}_k = 1 \\ & \mathbf{v} \mathbf{x}_k \leq \mathbf{u} \mathbf{y}_k \quad (k = 1, \dots, n) \\ & \mathbf{v} \geq 0, \mathbf{u} \geq 0 \end{aligned} \tag{4.4}$$

となる。これを双対問題として書き直すと、

**Phase I (双対問題)**

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta \mathbf{y}_j - \mathbf{Y} \boldsymbol{\lambda} \leq 0 \\ & \mathbf{X} \boldsymbol{\lambda} \leq \mathbf{x}_j \\ & \boldsymbol{\lambda} \geq 0, \mathbf{e} \boldsymbol{\lambda} = 1 \end{aligned} \tag{4.5}$$

ベクトル表示ではない数式に変形すると、

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{rk} \geq \theta y_{rj} \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \leq x_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, \lambda_k \geq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{4.6}$$

となる。しかしこのままではスラックの影響を受けてしまう。そこでスラックを加味する必要がある。

## PhaseII (スラックを加味)

$$\begin{aligned} \max \quad & es_x + es_y \\ \text{s.t.} \quad & \theta^* y_i - Y\theta' + s = 0 \\ & X\lambda' + s_x = 0 \\ & \lambda', s_x, s_y \geq 0 \end{aligned} \tag{4.7}$$

上記 2 つの Phase の最適解,  $(\theta^*, s_x^*, s_y^*)$  が  $\theta^* = 1$  かつ  $s_x^* = 0, s_y^* = 0$  を満たすならば,  $DMU_j$  は効率的であるといえる.

ここで, 次の生産可能集合を仮定する.

$$P = \{(x, y | x \geq X\lambda, y \geq Y\lambda, \lambda \geq 0, e\lambda = 1)\} \tag{4.8}$$

$\lambda \in R^n, s_x \in R^m, s_y \in R^s$  は変数であり,  $\theta$  は目的関数であり DEA 効率値である.

## 4.2 ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の定義

本研究では, ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の定義を以下と定義した. ここで注意すべき点として, DEA から算出される”効率的”な研究者組織は, 少ない金額で多くの業績を上げているといった一般的な効率性ではなく, ソーシャルキャピタルおよび紐帯構造の観点から効率的であることが挙げられる.

### ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織

- a) 総配分額が少ない
- b) 複数の分野の研究者が関わっている
- c) ネットワーク閉鎖性が高い
- d) 構造的隙間が大きい (ネットワーク拘束度が小さい)
- e) 雑誌論文, 学会発表数が多い
- f) 他の研究課題にも関わっている

今後日本の研究費が増加することは考えにくいことから, 少ない総配分額内で研究を行っていることから a) を, 一般的に研究の成果として考えられている項目として e) を, ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の議論 (図 2.9) から c)d) を採用した. 複数の分野の研究者が関わっていると, 多様な研究分野の情報を得やすくイノベーションが起りやすいと考えられることから b) も加えた. また, 対象の研究課題以後に他の研究課題に関わることは, 関連研究や応用研究など”次につながる可能性のある研究”であると考えられるため, f) も含めることとした.

本研究では、出力指向 BCC モデル DEA を用いて効率値（目的関数）を算出した。効率値算出にあたり、利用したデータ項目を表 4.1 に示す。また、研究組織内外で見た時の要素の関係性の概要を図 4.6 に示す。DEA では数値 0 のデータを扱うことができない。そこで DEA 計算を行うため、数値が 0 の場合は、0.0001 に置換している。

表 4.1 DEA 利用データ項目一覧

項目名	詳細
入力	
a) 総配分額	10 万円単位とする 例：4550000 円は 45.5
b) 分野分科種類数 (以前)	研究者が 3 年前から研究開始年までに関わった研究課題の分野種類数の逆数
c) ネットワーク閉鎖性	逆数とする
d) 構造的隙間	逆数とする
出力	
e) 雑誌論文	研究期間における成果数
e) 学会発表	研究期間における成果数
f) 科研費数 (以降) (関連研究課題数)	研究課題に関わる研究者 1 人あたりの研究者が、研究開始から 3 年後までに携わった研究課題数

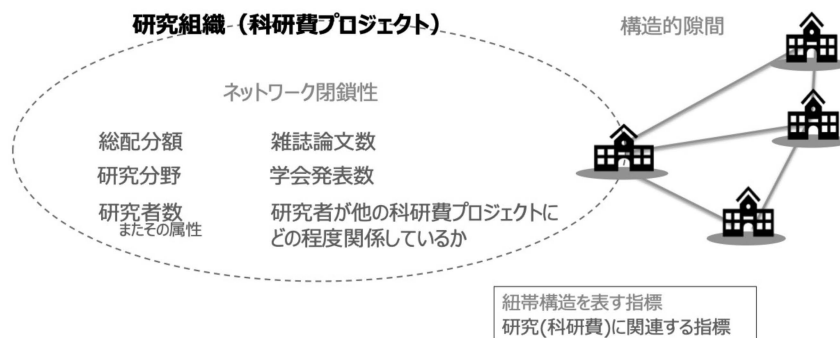


図 4.6 研究組織内外で見た時の要素の関係性の概要

### 4.3 ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の算出

本研究では、研究分野”その他”で、2人以上の研究者 ID を持つ研究者が関わっている研究者組織 1005 件を対象として実施した。

算出された効率値のヒストグラムを図 4.7 に示す。効率的な研究者組織（効率値=1）は

37あり、全体の27.1%を占める。研究者組織のうち68.6%は、1よりも大きく4以下の効率値を示している。最大の効率値は12.4であり、効率的な研究者組織に比べて12.4倍非効率であった。

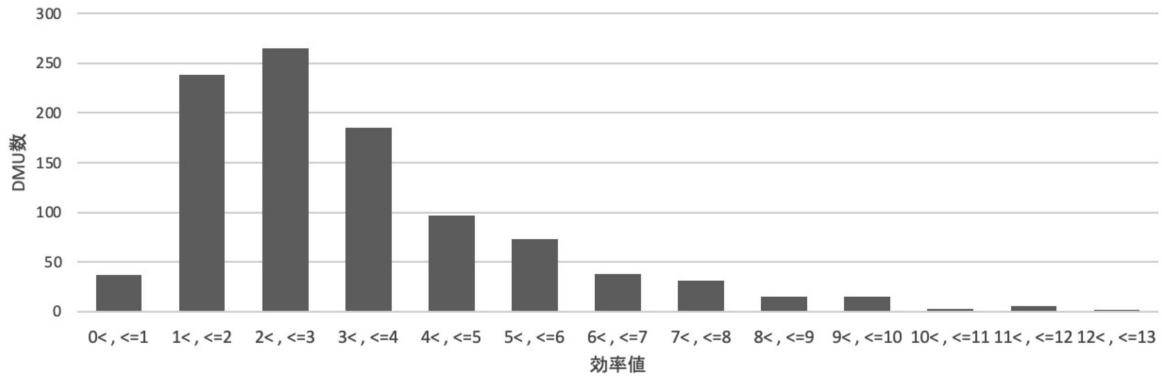


図 4.7 DMU 効率値ヒストグラム

表 4.2 は、DEA 効率値が1である、”効率的な研究者組織”とみなされたDUM 一覧を示す。参照集合とは、非効率な研究者組織において効率的な研究者組織になるために、お手本にすべき効率的な研究者組織の集合のことである。お手本とすべき効率的な研究者組織は複数のDMUの組み合わせによって示されることが多い。よって被参照集合数とは、非効率な研究者組織からお手本とされた数を示している。

図 4.8 に、効率値1のDMU別被参照集合DMU数のグラフを示す。被参照集合数が最も多い研究課題/領域番号は20612014で、非効率なDMUのうち67.1%で参照集合の1つとなっている。研究課題/領域番号20612014は、ネットワーク閉鎖性0.83、構造的隙間10.36と相対的に見て他の課題研究に比べてネットワーク構造に関する指標が大きく、また科研費数（以降）が影響していると考えられる。

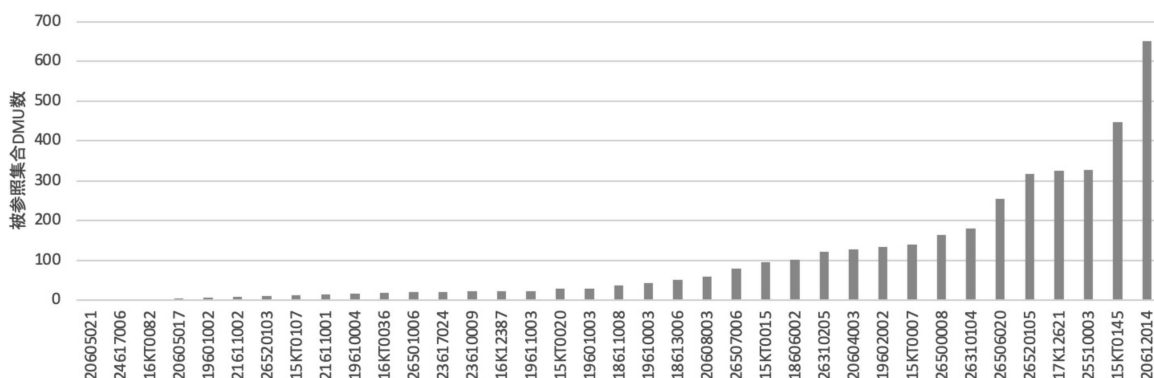


図 4.8 効率値1のDMU別被参照集合数

表 4.2 効率値 1 の DMU 一覧 (分野：その他)

研究課題/ 領域番号	総配分額	分野分科 種類数	ネットワーク 閉鎖性	構造的隙間	雑誌論文	学会発表	科研費数 (以降)	被参照集合 DMU 数	クラスタ番号
20612014	20.8	3	0.83	10.36	4	13	4.5	650	0
26506020	3.9	3	0.5	6.11	4	11	3	255	0
20604003	44.2	5	0.93	18.06	20	0	2.64	127	0
18613006	40.9	2	0.5	5.92	27	69	3.5	51	0
19610003	45.5	3	0.93	13.59	11	10	2.83	42	0
19601003	44.2	4	0.88	21.08	0	0	3.67	28	0
19611003	48.1	3	0.75	10	36	41	2	23	0
23617024	53.3	2	0.71	13.05	28	29	4	20	0
21611001	46.8	5	0.67	9.68	16	2	4	14	0
26520103	44.2	3	0.67	6.4	22	10	5	11	0
21611002	50.7	3	0.8	13.19	4	26	3.6	8	0
19601002	45.5	3	0.5	13.68	25	47	2.67	7	0
24617006	55.9	2	0.91	7.46	28	7	2.33	0	0
17K12621	45.5	5	0.5	12.66	71	29	1.17	326	1
19602002	46.8	2	0.71	7.01	63	12	3	134	1
16K12387	45.5	2	0.8	6.65	57	23	1	22	1
19610004	44.2	2	0.36	16.34	63	10	2.75	17	1
20605017	29.9	1	0.13	2.86	50	15	2	4	1
20605021	45.5	1	0.89	7.54	28	25	1.25	0	1
15KT0007	153.4	4	0.4	24.25	61	69	4.6	139	2
26310205	144.3	4	0.86	11.71	25	58	1.86	121	2
15KT0015	182	4	0.2	8.76	34	130	3	96	2
15KT0020	109.2	6	0.5	12.14	29	72	2.5	28	2
16KT0036	184.6	5	0.33	10.77	50	111	1.56	18	2
16KT0082	184.6	4	0.71	18.76	45	11	1.43	2	2
25510003	49.4	3	0.6	19.63	0	4	7	328	3
26520105	41.6	4	0.25	13.09	8	3	6	317	3
26310104	165.1	4	0.5	21.78	19	11	7.17	181	3
26500008	48.1	4	0.33	4.68	22	40	5	165	3
18606002	36.7	2	0.33	9.27	42	9	5	102	3
26507006	50.7	2	0.08	12.58	20	66	4	80	3
18611008	41	3	0.11	24.11	0	4	6	37	3
23610009	39	3	0.14	10.17	25	45	3.33	22	3
26501006	49.4	5	0.4	4.41	0	4	5	20	3
15KT0107	49.4	4	0.33	4.61	27	14	5	12	3
15KT0145	49.4	2	0.4	1.97	35	155	4	447	4
20608003	42.9	2	0.67	2.75	37	99	2	59	4

注：DEA 入力項目のうち逆数としている項目については、逆数にする前の元データで記載

### クラスタリングによるソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の特徴把握

効率的とみなされた 37 の課題研究の中でも、異なる特性を持つ研究課題が存在する。そこでクラスタリングを行い、それぞれのクラスタの特徴やパターンを把握する。クラスタリ

ングには K-means 法を用い、クラスタ数は 5 とした。

K-means 法は、データを分類する時に使用する非階層型クラスタリング手法である。クラスタの平均値を用い、あらかじめ分類するクラスタ数を  $k$  個に決めて行うことから、k-平均法 (k-means)、c-平均法 (c-means) とも呼ばれる。アルゴリズムは以下である。

1. 各データ  $x_i (i = 1, \dots, n)$  に対してランダムにクラスタを与える
2. 全てのデータと各クラスタの中心  $V_j (j = 1, \dots, K)$  を計算
3. 各  $x_i$  と各  $V_j$  との距離を計算し、 $x_i$  を最も近い中心のクラスタに割り当て直す
4. 各クラスタの中心  $V_j (j = 1, \dots, K)$  を計算し、ステップ 2 へ戻る。クラスタ中心が変化しなくなるまで繰り返す

表 4.2 のクラスタ列にクラスタ番号を、クラスタごとの各項目平均値を表 4.3 に示す。特筆すべきクラスタの特徴を太字で示している。

表 4.3 クラスタごとの各項目平均値一覧

クラスタ 番号	総配分額	分野分科 種類数 (以前)	ネットワーク 閉鎖性	構造的隙間	雑誌論文	学会発表	科研費数 (以降)	被参照集合 DMU 数	被参照集合 DMU 数 (効率値 $\geq 5$ )
0	41.85	3.15	<b>0.74</b>	<b>11.43</b>	17.31	20.38	<b>3.36</b>	763	169
1	42.90	2.17	0.57	8.84	<b>55.33</b>	19.00	1.86	435	83
2	<b>159.68</b>	4.50	0.50	<b>14.40</b>	<b>40.67</b>	<b>75.17</b>	2.49	281	31
3	57.04	3.40	<b>0.31</b>	12.43	16.30	20.00	<b>5.35</b>	653	79
4	46.15	<b>2.00</b>	0.53	2.36	36.00	<b>127.00</b>	3.00	481	105

注：DEA 入力項目のうち逆数としている項目については、逆数にする前の元データで記載

クラスタリング分析の結果から、効率的とみなされた 37 の研究者組織について、ネットワーク理論における成果と紐帯の構造の関係性に当てはめる (図 4.9)。

クラスタ 2 は、構造的隙間が大きく、ネットワーク閉鎖性が平均的な研究者組織は、構造的隙間を利用し多様な分野や研究との繋がりも持ちながらも、組織内が一定の閉鎖性であることから研究を進めやすい環境である。他のクラスタと比較して総配分額が最も多く、これが構造的隙間の広さと組み合わせることで創造的で多様な研究活動を促進している。このクラスタにおける研究課題は、雑誌論文や学会発表といった学術界における評価の高い成果指標においても顕著なパフォーマンスを示しており、資金の量が研究の質と量に直接的に貢献していることが示唆される。

一方、総配分額が比較的少ないクラスタ 0 や、異なる所属の研究者間での協力が活発であることが示唆されたクラスタ 3 は、外部に冗長的なつながりを持つことで、さまざまな情報や研究機会に恵まれる。特に、将来にわたる研究活動への布石となると考えられる他の研究課題への参加数が多い。このことから、構造的隙間はネットワーク閉鎖性よりも次につながる可能性のある科研費数 (以降) に影響すると考えられる。また、クラスタ 3 は、異なる所

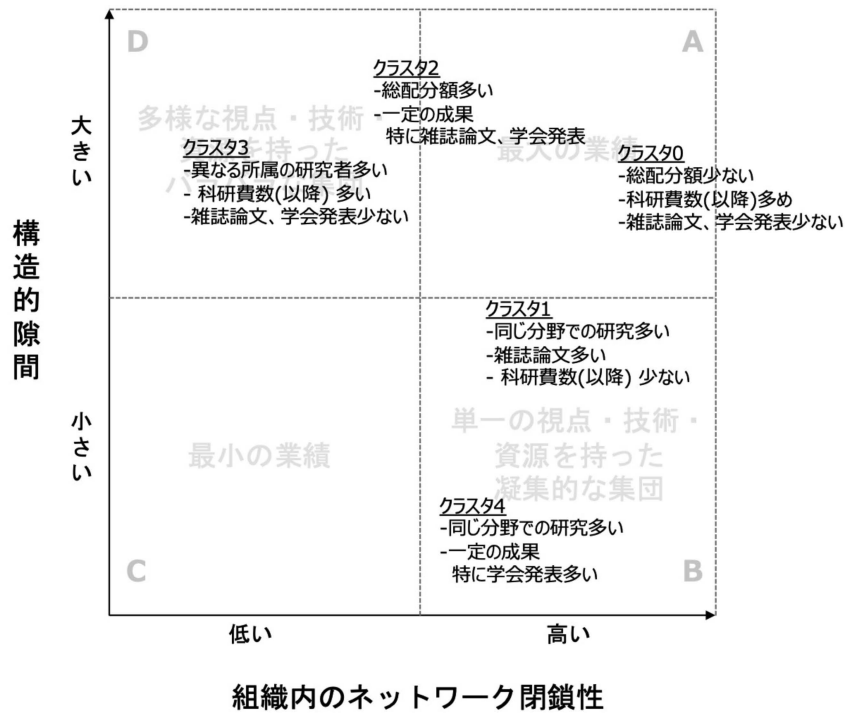


図 4.9 成果と紐帯の構造の関係性への適応

属の研究者が多く集まる場合は、研究に関する情報共有に時間がかかるため、研究成果が得にくい。しかしながら、構造的隙間から多様な視点を研究に取り入れることで新たな価値を創造していると考えられる。

対して、ネットワーク閉鎖性が比較的高いクラスタ 1 や 4 は、同じ分野内での研究が多く、雑誌論文や学会発表が多い傾向にあり、これらのクラスタが共同研究や情報共有を通じて研究成果を高めていることが考えられる。

まとめると、ネットワーク閉鎖性のみが高い研究者組織においては、同じ分野での研究が多い傾向が見られた。また構造的隙間のみが大きい研究者組織においては異なる所属の研究者が多く、一般的に研究成果とされる雑誌論文数や学会発表数が少ない。よって 2001 年に Burt が指摘した、ネットワーク構造である構造的隙間とネットワーク閉鎖性からもたらされる組織において、一定程度検証し得たと考えられる。

またソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織にもたらされるアウトカムについても明らかとなった。特にソーシャルキャピタルが最大化されるクラスタ 0 においては、将来にわたる研究活動の礎となり得る、多数の他の研究課題への参加が多いことが明らかとなった。これは、ソーシャルキャピタルが、直接的な研究成果（雑誌論文数や学会発表数など）を超えた、より広範な影響を研究者組織にもたらしていることを示唆している。具体的には、研究者間の強固なネットワークと信頼関係が、新たな研究機会や共同研究の扉を開き、次世代の研究者組織への貢献や、研究フィールドの持続的な発展に寄与していると考えら

れる。

この結果から、研究活動とはその瞬間瞬間における成果の積み重ねだけでなく、長期的な視点からの貢献や影響力の構築が重要であることが示唆される。ソーシャルキャピタルの最大化は、研究者組織における知識の共有、協力関係の構築、そして新たな研究課題への参加を促進することで、研究の持続可能性と発展性を高める効果を持つと考えられる。

#### 4.4 シミュレーション

前項にてソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織を算出し、その特徴を明らかにした。特に表 4.3 に示すクラスタ 0 の研究者組織は、総配分額が少ないながらも一定の成果があり、また研究の広がりも大きい。また、クラスタ 0 は非効率的な研究者組織のうち、76.0% である 763 研究の参照集合に含まれている。そこで今後研究配分額の増額が期待されないことから、クラスタ 0 に着目したシミュレーションを実施し、科研費全体における成果の変化の検証を行った。

DEA では非効率とみなされた研究者組織に対し、目標とすべき研究者組織の集合が与えられる。図 4.10 とした場合、DMU2 の仮想的 DMU2 は DMU1 と DMU4 の間に存在する。よって DMU2 の参照集合 {DMU1, DMU4} となり、割合としては DMU1 の 46.0% と DMU4 の 54.0% を足し合わせたものである。最大参照集合 DMU は出力次元数と同じであり、図 4.10 は出力次元が 2 次元のため最大参照集合 DMU 数は 2 となる。本研究においては効率的な DMU のうち、クラスタ 0 の DMU のみ仮想的 DMU に近づけて行った時の変化を、シミュレーションし確認した。

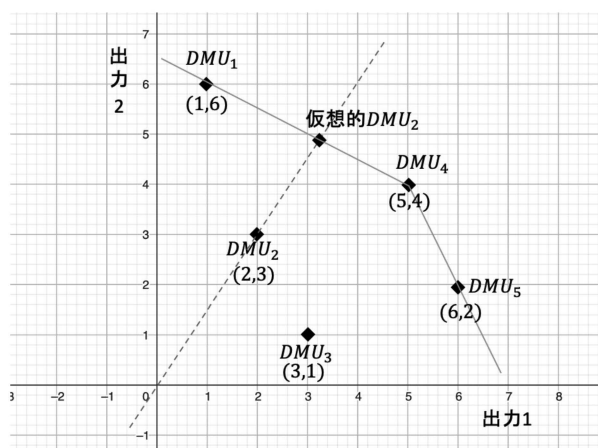


図 4.10 1 入力 2 出力の例における例 (再掲)

非効率とみなされた研究者組織 (DMU) のうち、参照集合内にクラスタ 0 の研究者組織を 1 件以上含む 763 研究者組織をクラスタ 0 に近づけた時の効率値の変化を図 4.11 に示す。



横軸はクラスタ0へ近づける割合であり、0.1は10%、1は100%に近づけた場合である。現在よりも効率的になる研究者組織の割合を折線グラフで表している。クラスタ0以外の研究者組織を参照集合に含んでおり、対象への影響が大きい場合があるためクラスタ0に完全に近づけても100%にはならない。しかし70.0%の研究者組織にて、現在よりも効率的になることが明らかになった。全体での成果の増加（棒グラフ）においては、クラスタ0に50%近づけると現状以上の成果となり、70%近づけると1.5倍、100%近づけると2倍以上となることが明らかになった。よって全体での研究水準維持向上を考えると、クラスタ0の50%以上の成果を目指して研究を進めることが良いことが分かる。

また、非効率とみなされた研究者組織(DMU)のうち、効率値が5以上の研究者組織を対象にシミュレーションした結果を図4.12に示す。クラスタ0に20%近づけると現状以上の成果となり、100%近づけると約5倍になる。現状よりも効率的な科研費プロジェクト割合は40%より横ばいとなっている。よって非効率とみなされた研究者組織については、まずはクラスタ0の20%から40%の成果を目指すことが良いと考えられる。

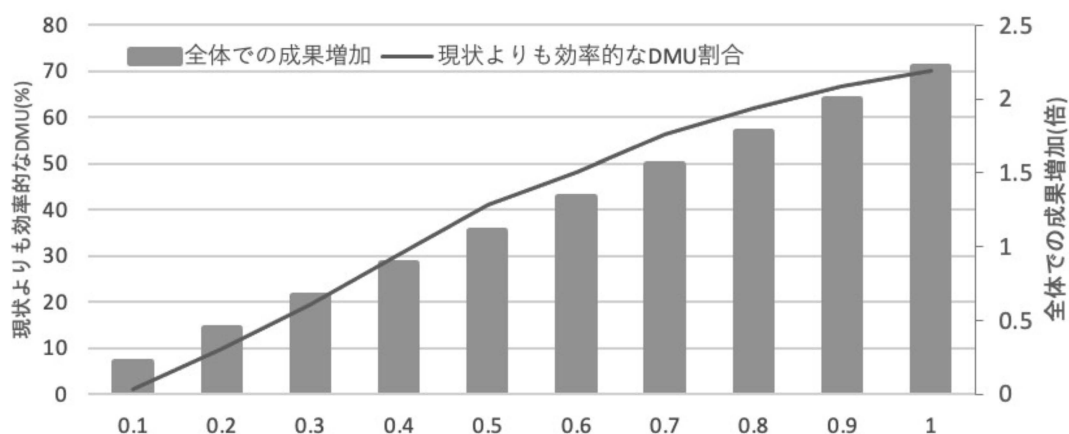


図 4.11 クラスタ0に近づけた場合の効率値変化シミュレーション

## 4.5 まとめ

本章では、ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の把握を目的として、包絡分析法( DEA)を用いた分析を行った。特に、ネットワーク構造の分析を通じて、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間が研究成果に与える影響を検証した。この結果、ネットワーク閉鎖性のみが高い研究者組織は同じ分野の研究に偏りがちであること、また構造的隙間が大きい組織では異なる所属の研究者との協力が活発であるものの、一般的に研究成果とみなされる指標である雑誌論文数や学会発表数は少ない傾向にあることが判明した。これは、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の最適な組み合わせが、組織や集団におけるソーシャルキャピタルの最大化、ひいてはその結果としてのアウトカムとしての成果や業績といったものの増加につ

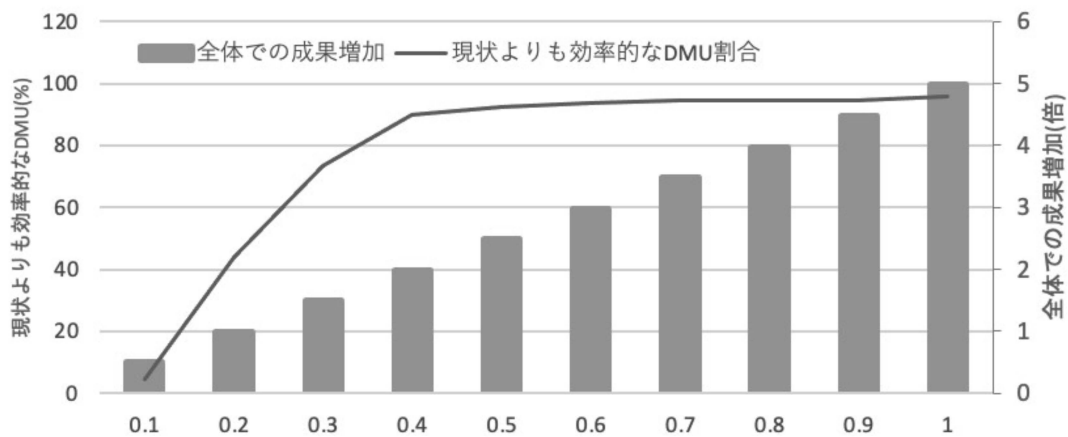


図 4.12 クラスタ 0 に近づけた場合の効率値変化シミュレーション (対象：効率値 5 以上)

ながるとする、Burt の指摘を一定程度実証し得たと言える。

さらに、ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織がもたらすアウトカムについても新たな洞察を提供した。ソーシャルキャピタルが最大化された研究者組織は、一般的に研究成果とみなされる成果指標を超え、研究活動の持続可能性や発展性に寄与する多様な機会を提供している。これは、研究者間の強固なネットワークと信頼関係が、新たな研究機会の創出や共同研究の推進、さらには次世代の研究者組織への貢献に欠かせない要素であることを示している。

研究活動は、その瞬間の成果の積み重ねだけではなく、長期的な視点からの貢献や影響力の構築が重要であることが示唆された。ソーシャルキャピタルの最大化は、知識の共有、協力関係の構築、そして新たな研究課題への参加を促進することで、研究の持続可能性と発展性を高める効果を持つと結論づけられる。

## 5 ベイジアンネットワークを用いたネットワーク構造の関 係性

Burt は、2001 年に発表された論文” Structural Holes versus Network Closure as Social Capital” の中で、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の両者がともに最大化されるときに、組織・集団にもっとも成果をもたらすことを指摘した。前章における日本の研究者組織におけるデータから、Burt の指摘を一定程度実証し得た。

Burt の議論では、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間のそれぞれがソーシャルキャピタルに与える影響について検討している。これら二つの要素は、伝統的には互いに独立したネットワーク構造として捉えている。しかし、これらがどのように相互作用し合うのか、その複雑な関係性について深く掘り下げられていない。

そこでベイジアンネットワークを用いて、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間が互いに相互作用するのか、相互作用するとしたらどのような順番で影響を与え合うのか明らかにする。これらのネットワーク構造の相互関係を理解することにより、組織や集団がソーシャルキャピタルをより効果的に構築し活用するための戦略が明らかになる。

### 5.1 ベイジアンネットワークとは

ベイジアンネットワークとは、ベイズの定理の考え方を応用した、確率現象の原因と結果の関係や、確率推論をグラフィカルに表現したものである [90,91]。ベイジアンネットワークを用いることで、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の相互作用を視覚化し、理解することができる。

#### ベイズの定理

次の公式 5.1 がトーマス・ベイズによって示されたベイズの定理である。

$$P(X|Y) = \frac{P(Y|X)P(X)}{P(Y)} \quad (5.1)$$

式 5.1 は乗法定理  $P(X \cap Y) = P(Y|X)P(X)$  から証明される。

$$\begin{aligned} P(X \cap Y) &= P(Y|X)P(X) \\ P(Y \cap X) &= P(X|Y)P(Y) \end{aligned}$$

定義より  $P(X \cap Y) = P(Y \cap X)$  が成立するため、 $P(Y) \neq 0$  を仮定し、

$$P(Y|X)P(X) = P(X|Y)P(Y)$$

$$P(X|Y) = \frac{P(Y|X)P(X)}{P(Y)}$$

ベイズの定理では、定理の  $X$  を「ある仮定 (Hypothesis) が成立する, 原因」時の事象,  $Y$  を「結果 (つまりデータ (Data))」が得られる時の事象と解釈する. よって, 次のように書き換えることが可能である.

データ  $D$  とその仮定  $H$  について次の式が成立する.

$$P(H|D) = \frac{P(D|H)P(H)}{P(D)} \quad (5.2)$$

ベイズの理論ではその仮定をデータの「原因」と解釈するのが一般的である. そこで本論文においては  $H$  を「原因」とよび, 式 5.2 の左辺の  $P(H|D)P(H)$  は「データ  $D$  が得られた時の原因が  $H$  である」と解釈できる. すなわちデータ  $D$  の原因の確率となる.

ここで  $P(H|D)$  を原因  $H$  の尤度とよぶ.

### ベイズの基本公式

確率現象で考えられる原因は複数ある (図 5.1). ここでデータ  $D$  が原因  $H_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) のどれか 1 つから発生すると仮定すると,

$$P(H_i|D) = \frac{P(D|H_i)P(H_i)}{P(D)}, (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$P(D) = P(D|H_1)P(H_1) + P(D|H_2)P(H_2) + \dots + P(D|H_n)P(H_n)$$

となり, これをベイズの基本公式と呼ぶ.

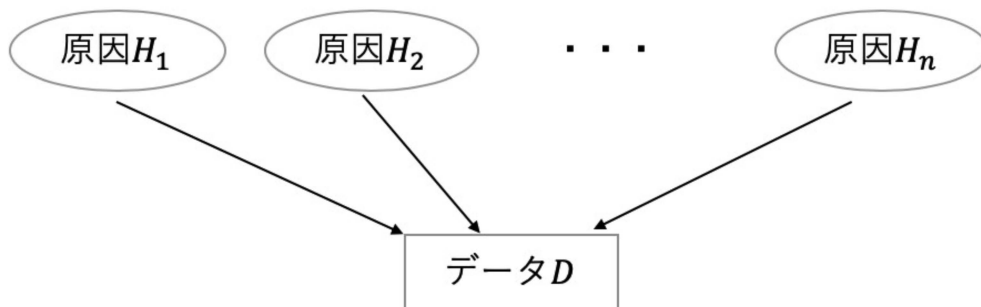


図 5.1 データに対する複数原因ネットワーク図

## ベイズの定理とベイジアンネットワーク

得られたデータが新たな原因となり、さらに次のデータを生む場合が考えられる。複数の原因とデータが確率の連鎖となった場合である。このような原因と結果のネットワークを、ベイジアンネットワークといい、例を図 5.2 に示す。

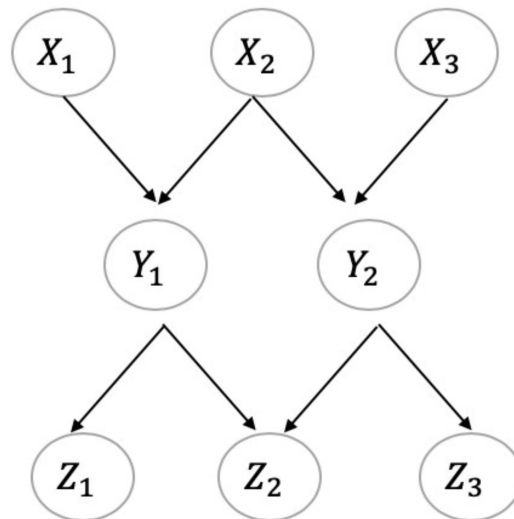


図 5.2 ベイジアンネットワークの例

図 5.2 にある矢印は因果関係を表し、原因から結果に矢印が向けられる。○はノードと呼ばれる。矢の出発点のノードを親ノード、先にあるノードを子ノードという。ノードを示す○の文字は、確率変数を表す。確率変数は 2 値を取り、対象とする現象が起こった時は 1, そうでない時は 0 を表す。この確率分布を本研究では実データから求める。

## 5.2 構造学習によるネットワーク構造の関係性

### 5.2.1 検証データ

本研究において使用したデータは、3 章にて利用した研究者組織データである (表 5.1)。

ベイジアンネットワーク生成には、入力データからよりデータ間の説明力が高いネットワークを、アルゴリズムを用いて生成する手法である、構造学習を用いた。アルゴリズムや評価手法を表 5.2 に示す。

構造学習アルゴリズムとは、構造学習における探索アルゴリズムである。本研究で用いた欲張り法 (Greedy Strategy) は親がない状態から始め、評価基準を最も大きく改善する親を一つずつ追加する方法であり、この操作を評価基準の値が改善する限り行う。欲張り法の反対である、全てを親に持つ状態から始め、親を一つずつ削除しながら精度の良い構造を探

表 5.1 ベイジアンネットワーク利用データ項目一覧

項目名	内容
分担研究者数	分担研究者数の数
その他人数	代表研究者，分担研究者を除く 研究課題に関わる研究者，協力者数
総配分額	全ての研究期間で配分された研究費
分野分科種類数 (以前)	研究課題に関わる研究者が，研究課題 3 年前から開始年までに関わった研究課題の分野分科種類数
ネットワーク閉鎖性	ネットワーク閉鎖性の値
構造的隙間	構造的隙間の値
雑誌論文数	研究課題での研究成果
学会発表数	研究課題での研究成果
科研費数 (以降)	対象研究課題開始年から 3 年後までに 研究者が関わった研究課題数

表 5.2 構造学習で用いたアルゴリズム，評価手法

項目	手法
構造学習アルゴリズム	欲張り法 (Greedy Strategy)
評価基準	AIC (赤池情報量) [92]
欠損処理	ペアワイズ法 [93]
正規化	MAP (Maximum a posteriori)

索する方法はけちけち法 (Stingy Search) と呼ぶ。

構造学習アルゴリズムでの評価基準としては，AIC (赤池情報量) を用いた。AIC (赤池情報量) は，確率モデルの優劣を判断する基準として導入された式である。あるモデルを仮定したときの，観測データの起こりやすさである最大対数尤度に，複雑さ (パラメータ数) に対するペナルティ項を加え，過適合を回避する手法である。AIC =  $-2 \times (\text{最大対数尤度}) + 2 \times (\text{パラメータの数})$  によって求められ，AIC が小さいほどよいモデルと言われている。ここで最大対数尤度は  $-n/2 \times (\log 2\pi + \log v + 1)$  で求められ， $n$  はデータ数， $v$  は分散の最尤推定量である。

学習データに欠損値があった場合の処理方法としては，欠損が 2 つの因子の組み合わせによって発生しているとして，欠損データを補う手法であるペアワイズ法を用いた。

クロス集計表を正規化する手法としては，MAP (Maximum a posteriori) を用いた。クロス集計表の全セルの値が 1 の状態を初期状態とし，これに学習データを足し合わせてから

各セルの値を各列のサンプル数で割る手法である。計算式は  $\frac{n_{ij}+1}{N_j+M}$  である。ここで  $n_{ij}$  はクロス集計表の  $(i, j)$  成分であり、 $N_j = \sum_i n_{ij}$ 、 $M = \sum_i 1$  である。MAP はクロス集計表に十分な頻度が得られない場合の対策として行う。

構造学習によりベイジアンネットワーク生成後、各項目の影響度を見るために確率推論の実行と相互情報量の算出を行う。確率推論とは観測結果を証拠状態として設定し、それ以外の変数の事後確率分布を計算することであり、今回は LoopyBP を利用して算出している。

LoopyBP (Loopy Belief Propagation) アルゴリズムは解が要求精度に収束するまで局所的に確率伝播を繰り返す近似解法である。単結合のネットワークでは真の解への収束が保証されている。また複結合のネットワークの場合については「近似的な解に収束しない場合の多くは値が振動するため判別が容易である」という性質が経験的に示されている。

2つの確率変数  $X$  と  $Y$  を用いると相互情報量  $I(X; Y)$  は観測を入力する前後のエントロピーの変化量で定義される [94, 95].

$$I(X; Y) = H(X) - H(X|Y)$$

ここで確率変数  $X$  のエントロピーは次の式になる。

$$H(X) = - \sum_{x \in X} P(x) \log P(x)$$

従って相互情報量は次の式になる。

$$I(X; Y) = - \sum_{x \in X} P(x) \log P(x) + \sum_{e \in Y} P(e) \sum_{x \in X} P(x|e) \log P(x|e)$$

## 5.2.2 構造学習

### 基盤研究 (C) の場合

図 5.3 に、研究種別が基盤研究 (C) であるデータで構造学習して生成されたベイジアンネットワークを示す。また構造的隙間とネットワーク閉鎖性に関する相互情報量を表 5.3、感度分析結果を表 5.4 と表 5.5 に示す。

感度分析における各説明変数セル内の数値は、k-means 法で分類したときのグループであり、分割値詳細についてはセル内に記載している。また空白の場合は、現状から変更がない場合を示している。確率値とは目的関数が大きくなる場合の確率を示しており、現状からの確率の変化量を確率の差分として示している。リフト値は現状を 1 とした場合の変化量である。

結果として、構造的隙間においては、科研費数 (以降) とネットワーク閉鎖性が影響しており、特に科研費数 (以降) が影響している。統計分析では把握することができなかった、紐帯

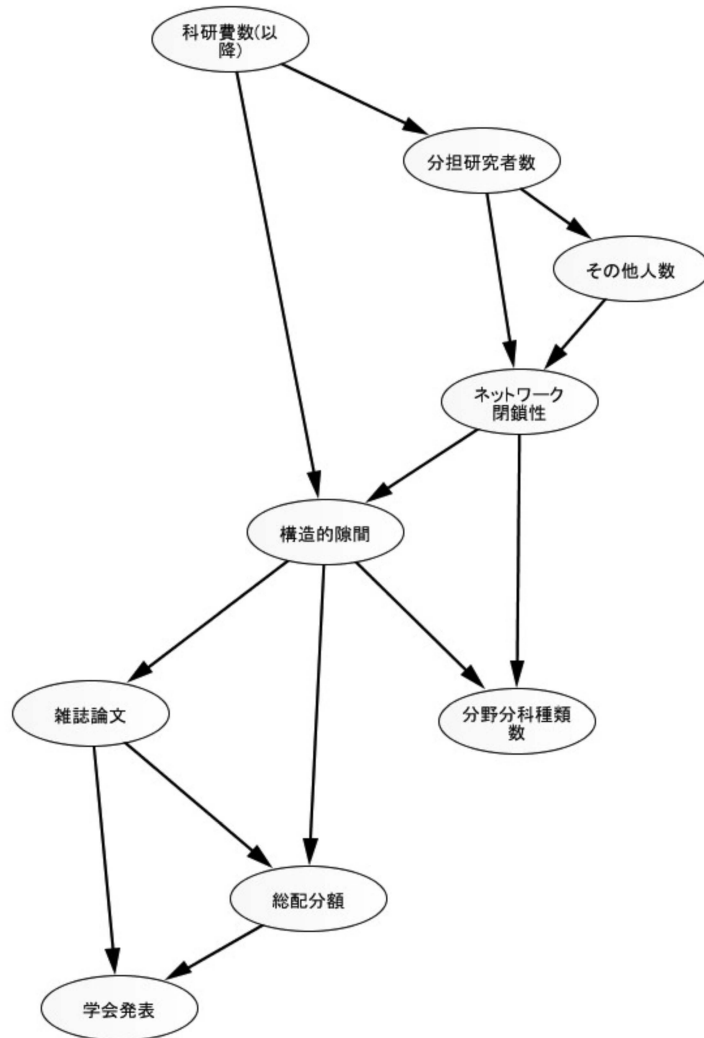


図 5.3 基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク

の構造間における関係性もあることが確認できる。感度分析より、科研費数 (以降) が少ない方が構造的隙間が大きい。特に科研費数 (以降) が 6.1 以下でネットワーク閉鎖性が 0.86 よりも大きい場合、構造的隙間が初期値よりも 1.5 倍高くなる。科研費数 (以降) が少ない方が構造的隙間が大きい理由として、一度限りの弱いつながりが考えられる。毎回同じような人たちと研究を行うのではなく、複数の人と弱くつながることで構造的隙間が大きくなる可能性がある。



表 5.3 基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク 相互情報量

目的変数	説明変数	相互情報量
ネットワーク閉鎖性	その他人数	0.108868636
	分担研究者数	0.052002333
構造的隙間	科研費数 (以降)	0.317204225
	ネットワーク閉鎖性	0.093525749

ネットワーク閉鎖性は、分担研究者数とその他人数が影響していることが明らかになった。相互情報より、分担研究者数に比べてその他人数が特に影響している。統計分析においては、ネットワーク閉鎖性は分担研究者が影響していると考えられていた。しかしながら、因果関係をベイジアンネットワークで把握すると、その他人数の方が関係性があることが明らかになった。感度分析の結果からも、その他人数が多い方がネットワーク閉鎖性が高いことが明らかになった。特に研究分担者が 2.1 人以下で、その他人数が 13 人よりも大きく 25 人以下の場合、ネットワーク閉鎖性が初期値よりも 17.7 倍高くなる。

#### 基盤研究 (A) の場合

研究規模によって、項目巻の関係性は異なる可能性があるため、基盤研究 (A) についても同様に算出した。図 5.4 に、研究種別が基盤研究 (A) であるデータで構造学習して生成されたベイジアンネットワークを示す。また相互情報量を表 5.6、感度分析結果を表 5.7 と表 5.8 に示す。

結果として構造的隙間には、科研費数 (以降) が影響している。感度分析結果より、科研費数 (以降) が 12 以下の場合、構造的隙間は初期値よりも 1.43 倍大きくなる。これは基盤研究 (C) と同様の結果である。弱いつながりが科研費数 (以降) に影響を与え、構造的隙間に影響を与えている可能性が示唆される。

ネットワーク閉鎖性には、構造的隙間とその他人数が影響していることが明らかになった。特に構造的隙間が影響しており、感度分析の結果から構造的隙間が小さい方がネットワーク閉鎖性が高い。基盤研究 (C) においては、構造的隙間がネットワーク閉鎖性に影響を与えていたが、その反対に作用している。これは研究者組織の規模が影響していることが考えられる。大規模な研究を行うにあたっては、多くの人脈を持った人々と研究者組織を組む場合が多い。そのため、集まる研究者それぞれが構造的隙間を持っており、その上で分担研究者ではない研究に関わる連携研究者や研究協力者などがいることで、ネットワーク閉鎖性が高まる可能性がある。

表 5.4 基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク 感度分析 (目的変数：構造的隙間)

ネットワーク閉鎖性	科研費数 (以降)	確率値	確率の差分	リフト値
5 0.86<	1 ≤6.1	0.757343977	0.240781654	1.46612
	1 ≤6.1	0.657710841	0.141148518	1.27325
5 0.86<		0.634732222	0.118169899	1.22876
		0.516562323	0	1
1 ≤0.24	1 ≤6.1	0.497724452	-0.018837871	0.96353
3 0.41<, ≤0.62	1 ≤6.1	0.485447502	-0.031114821	0.93977
2 0.24<, ≤0.41	1 ≤6.1	0.415328467	-0.101233856	0.80402
3 0.41<, ≤0.62		0.382882271	-0.133680052	0.74121
4 0.62<, ≤0.86	1 ≤6.1	0.324934005	-0.191628318	0.62903
2 0.24<, ≤0.41		0.312245232	-0.204317091	0.60447
1 ≤0.24		0.301904323	-0.214658	0.58445
4 0.62<, ≤0.86		0.215949009	-0.300613314	0.41805
2 0.24<, ≤0.41	5 44.0<	0.111111111	-0.405451212	0.2151
5 0.86<	2 6.1<, ≤15.0	0.099228225	-0.417334098	0.19209
	2 6.1<, ≤15.0	0.079307947	-0.437254376	0.15353
3 0.41<, ≤0.62	5 44.0<	0.071428571	-0.445133752	0.13828
2 0.24<, ≤0.41	2 6.1<, ≤15.0	0.055502996	-0.461059327	0.10745
4 0.62<, ≤0.86	2 6.1<, ≤15.0	0.05361596	-0.462946363	0.10379
1 ≤0.24	5 44.0<	0.052631579	-0.463930744	0.10189
3 0.41<, ≤0.62	2 6.1<, ≤15.0	0.051550388	-0.465011935	0.0998
1 ≤0.24	2 6.1<, ≤15.0	0.051020408	-0.465541915	0.09877
	5 44.0<	0.037888025	-0.478674298	0.07335
4 0.62<, ≤0.86	5 44.0<	0.019607843	-0.49695448	0.03796
5 0.86<	3 15.0<, ≤26.0	0.01462141	-0.501940913	0.02831
2 0.24<, ≤0.41	4 26.0<, ≤44.0	0.013333333	-0.50322899	0.02581
	3 15.0<, ≤26.0	0.010270503	-0.50629182	0.01988
3 0.41<, ≤0.62	4 26.0<, ≤44.0	0.01	-0.506562323	0.01936
1 ≤0.24	4 26.0<, ≤44.0	0.008928571	-0.507633752	0.01728
3 0.41<, ≤0.62	3 15.0<, ≤26.0	0.008583691	-0.507978632	0.01662
1 ≤0.24	3 15.0<, ≤26.0	0.008474576	-0.508087747	0.01641
5 0.86<	5 44.0<	0.007575758	-0.508986565	0.01467
2 0.24<, ≤0.41	3 15.0<, ≤26.0	0.006048387	-0.510513936	0.01171
	4 26.0<, ≤44.0	0.005909703	-0.51065262	0.01144
4 0.62<, ≤0.86	3 15.0<, ≤26.0	0.004962779	-0.511599544	0.00961
4 0.62<, ≤0.86	4 26.0<, ≤44.0	0.004366812	-0.512195511	0.00845
5 0.86<	4 26.0<, ≤44.0	0.001730104	-0.514832219	0.00335

表 5.5 基盤研究 (C) ベイジアンネットワーク 感度分析 (目的変数: ネットワーク閉鎖性)

分担研究者数	その他人数	確率値	確率の差分	リフト値	
1	≤2.1	4 13.0<, ≤25.0	0.72519084	0.684282952	17.72741
1	≤2.1	5 25.0<	0.7	0.659092112	17.11161
		4 13.0<, ≤25.0	0.678681829	0.637773941	16.59049
1	≤2.1	3 6.3<, ≤13.0	0.62890625	0.587998362	15.37372
		5 25.0<	0.593858467	0.552950579	14.51697
		3 6.3<, ≤13.0	0.590877926	0.549970038	14.44411
2	2.1<, ≤5.1	4 13.0<, ≤25.0	0.533333333	0.492425445	13.03742
3	5.1<, ≤8.2	3 6.3<, ≤13.0	0.41025641	0.369348522	10.02878
2	2.1<, ≤5.1	3 6.3<, ≤13.0	0.39375	0.352842112	9.62528
3	5.1<, ≤8.2	2 2.1<, ≤6.3	0.367924528	0.32701664	8.99398
5	13.0<	1 ≤2.1	0.333333333	0.292425445	8.14839
2	2.1<, ≤5.1	5 25.0<	0.333333333	0.292425445	8.14839
5	13.0<		0.297777778	0.25686989	7.27923
2	2.1<, ≤5.1	2 2.1<, ≤6.3	0.290123457	0.249215569	7.09212
		2 2.1<, ≤6.3	0.286614474	0.245706586	7.00634
3	5.1<, ≤8.2	4 13.0<, ≤25.0	0.285714286	0.244806398	6.98433
1	≤2.1	2 2.1<, ≤6.3	0.284511785	0.243603897	6.95494
4	8.2<, ≤13.0	2 2.1<, ≤6.3	0.263157895	0.222250007	6.43294
4	8.2<, ≤13.0	3 6.3<, ≤13.0	0.25	0.209092112	6.11129
4	8.2<, ≤13.0		0.201042126	0.160134238	4.91451
5	13.0<	3 6.3<, ≤13.0	0.2	0.159092112	4.88903
5	13.0<	4 13.0<, ≤25.0	0.2	0.159092112	4.88903
5	13.0<	2 2.1<, ≤6.3	0.2	0.159092112	4.88903
4	8.2<, ≤13.0	5 25.0<	0.2	0.159092112	4.88903
4	8.2<, ≤13.0	4 13.0<, ≤25.0	0.2	0.159092112	4.88903
5	13.0<	5 25.0<	0.2	0.159092112	4.88903
3	5.1<, ≤8.2	5 25.0<	0.2	0.159092112	4.88903
4	8.2<, ≤13.0	1 ≤2.1	0.193333333	0.152425445	4.72606
3	5.1<, ≤8.2		0.182550127	0.141642239	4.46247
3	5.1<, ≤8.2	1 ≤2.1	0.16101026	0.120102373	3.93592
2	2.1<, ≤5.1		0.110184481	0.069276593	2.69348
2	2.1<, ≤5.1	1 ≤2.1	0.092189701	0.051281813	2.25359
			0.040907888	0	1
1	≤2.1		0.027607842	-0.013300046	0.67488
		1 ≤2.1	0.016894981	-0.024012907	0.413
1	≤2.1	1 ≤2.1	0.003144248	-0.03776364	0.07686

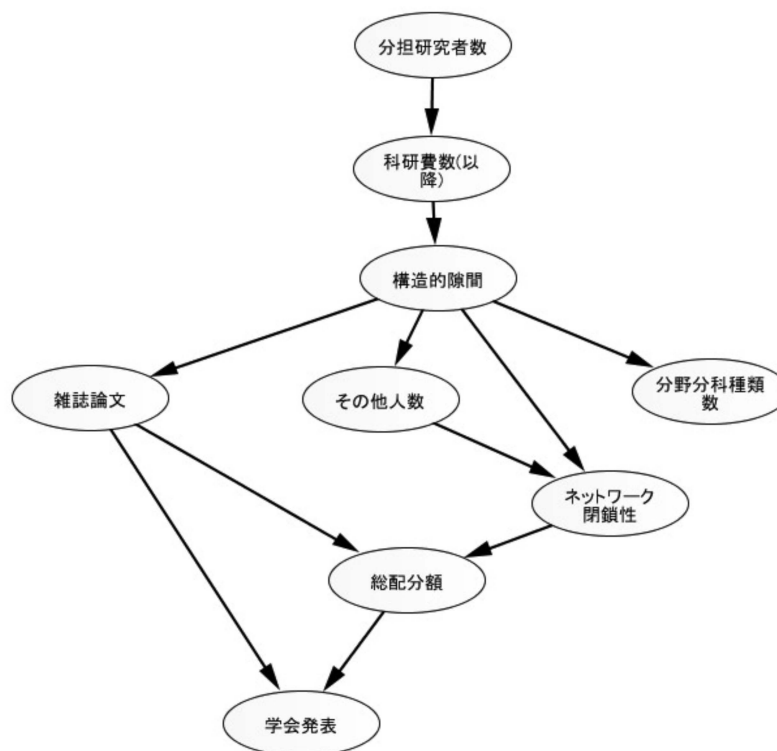


図 5.4 基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク

表 5.6 基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク 相互情報量

目的変数	説明変数	相互情報量
ネットワーク閉鎖性	構造的隙間	0.204778722
	その他人数	0.096070517
構造的隙間	科研費数 (以降)	0.480366597

### 5.3 ネットワーク構造の関係性とアウトカムに関する考察

アウトカムが生み出されるためには、構造的隙間の持つ創造性と、ネットワーク閉鎖性が高い組織が持つ意思統一しながら実行に移すことができる実行力が必要である。アウトカムが生み出されるまでのフローをまとめると、下記になると考えられる (図 5.5)。

表 5.7 基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク 感度分析 (目的変数：構造的隙間)

科研費数 (以降)	確率値	確率の差分	リフト値
1 ≤12.0	0.814033479	0.246243728	1.43369
	0.56778975	0	1
2 12.0>, ≤25.0	0.162658228	-0.405131522	0.28648
5 77.0<	0.041666667	-0.526123083	0.07338
3 25.0>, ≤43.0	0.012987013	-0.554802737	0.02287
4 43.0>, ≤77.0	0.006535948	-0.561253802	0.01151

### 1. 構造的隙間による創造性の促進

構造的隙間が存在することで、新たなアイデアや視点が生まれやすくなる。組織内外の異なる情報やリソースへのアクセスが促進され、創造性が高まる。

### 2. 創造性とネットワーク閉鎖性による意思統一の形成

ネットワーク閉鎖性が高い場合、情報の共有や意思決定が迅速かつ効率的に行われるため、実行力を高められる。異なるメンバーが共通の目標やビジョンに向かって協力し、方向性を共有することを意味する。

実行力があれば組織としての結果を示すことは可能だが、創造性のない成果となってしまう。また創造性だけでは集団性としての実行力がない、つまりまとまりのない成果となってしまうことから示唆される。したがって、創造性（構造的隙間）と実行力（ネットワーク閉鎖性）の両方がバランスよく備わっていることが重要である。

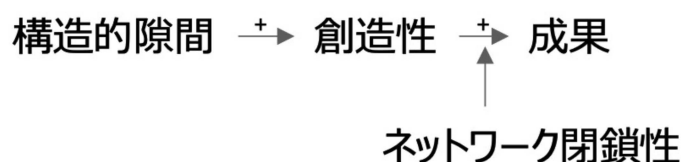


図 5.5 アウトカムが生み出されるまでのフロー

4章で行った DEA を利用したソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の把握では、Burt が指摘したネットワーク閉鎖性と構造的隙間の観点に関して、データから実証的に示すことができた。特にアウトカムに関しては、総配分額や論文数などの数値として現れやすく、成果として教員評価等に利用されやすい項目ではなく、今後の研究につながる可能性がある科研費数 (以降) であることがあきらかになった。つまり研究という領域においては、他の研究にどの程度関わってくるかが成果として重要であるということである。

また本章で行ったベイジアンネットワークからは、構造的隙間とネットワーク閉鎖性に関係性があり、研究規模によって影響を与える流れが異なることが確認された。

研究規模による違いとして、基盤研究 (A) と基盤研究 (C) を比較すると、紐帯の構造指標

表 5.8 基盤研究 (A) ベイジアンネットワーク 感度分析 (目的変数: ネットワーク閉鎖性)

その他人数	構造的隙間	確率値	確率の差分	リフト値	
4	17.0<, ≤27.0	1 ≤7.6	0.631578947	0.457970311	3.63795
3	9.1<, ≤17.0	2 7.6<, ≤18.0	0.550724638	0.377116001	3.17222
4	17.0<, ≤27.0	3 18.0<, ≤32.0	0.541666667	0.36805803	3.12004
5	27.0<	2 7.6<, ≤18.0	0.538461538	0.364852902	3.10158
3	9.1<, ≤17.0	3 18.0<, ≤32.0	0.515789474	0.342180837	2.97099
3	9.1<, ≤17.0		0.507963107	0.33435447	2.92591
4	17.0<, ≤27.0		0.499434749	0.325826113	2.87679
3	9.1<, ≤17.0	1 ≤7.6	0.488372093	0.314763456	2.81306
3	9.1<, ≤17.0	4 32.0<, ≤59.0	0.452380952	0.278772316	2.60575
5	27.0<	1 ≤7.6	0.428571429	0.254962792	2.46861
4	17.0<, ≤27.0	4 32.0<, ≤59.0	0.428571429	0.254962792	2.46861
1	≤3.2	4 32.0<, ≤59.0	0.421686747	0.24807811	2.42895
		4 32.0<, ≤59.0	0.41554909	0.241940454	2.3936
2	3.2<, ≤9.1	3 18.0<, ≤32.0	0.403726708	0.230118071	2.3255
5	27.0<		0.403443692	0.229835056	2.32387
		3 18.0<, ≤32.0	0.395211342	0.221602706	2.27645
4	17.0<, ≤27.0	2 7.6<, ≤18.0	0.384615385	0.211006748	2.21542
2	3.2<, ≤9.1	4 32.0<, ≤59.0	0.372093023	0.198484387	2.14329
2	3.2<, ≤9.1	2 7.6<, ≤18.0	0.365497076	0.191888439	2.10529
1	≤3.2	3 18.0<, ≤32.0	0.365422397	0.19181376	2.10486
2	3.2<, ≤9.1		0.346276591	0.172667954	1.99458
5	27.0<	4 32.0<, ≤59.0	0.333333333	0.159724697	1.92003
4	17.0<, ≤27.0	5 59.0<	0.285714286	0.112105649	1.64574
2	3.2<, ≤9.1	1 ≤7.6	0.28	0.106391363	1.61282
1	≤3.2	5 59.0<	0.25	0.076391363	1.44002
		2 7.6<, ≤18.0	0.243258299	0.069649662	1.40119
		5 59.0<	0.216849817	0.04324118	1.24907
1	≤3.2	2 7.6<, ≤18.0	0.200651466	0.027042829	1.15577
5	27.0<	3 18.0<, ≤32.0	0.2	0.026391363	1.15202
2	3.2<, ≤9.1	5 59.0<	0.2	0.026391363	1.15202
			0.173608637	0	1
3	9.1<, ≤17.0	5 59.0<	0.166666667	-0.00694197	0.96001
5	27.0<	5 59.0<	0.142857143	-0.030751494	0.82287
1	≤3.2		0.118143577	-0.05546506	0.68052
		1 ≤7.6	0.062752316	-0.11085632	0.36146
1	≤3.2	1 ≤7.6	0.040079591	-0.133529046	0.23086

間の関係性の作用の方向性が異なることが明らかになった。研究規模が大きい基盤研究 (A) では、構造的隙間がネットワーク閉鎖性に影響を与えている。この理由として、大規模な研究者組織においては、構造的隙間が大きい研究者たちが多く集まっていることが考えられる。大規模な研究を行うにあたっては、多くの人脈を持った人々と研究者組織を組む場合が多い。そのため集まる研究者それぞれが構造的隙間を持っており、その上で分担研究者ではない研究に関わる連携研究者や研究協力者などがいることで、ネットワーク閉鎖性が高まるという流れであると考えられる。構造的隙間が大きいということは、個々の研究者がバラバラに研究していることで、科研費数（以降）が低いと考えられる。

対して、研究規模が基盤研究 (A) よりも小さい基盤研究 (C) では、ネットワーク閉鎖性が構造的隙間に影響を与えている。小さい研究者組織は個々の研究者の結束が強いため、ネットワーク閉鎖性が高い傾向にあると考えられる。その上で科研費数（以降）が少ない方が、個別の研究を実施しているため、構造的隙間が大きくなると考えられる。

まとめると、ソーシャルキャピタルによりアウトカムが生み出されるフローは、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間のどちらが大きい研究者組織かにより異なると考えられる。4章にて図 5.6 が示されたが、研究基盤の大きい基盤研究 (A) では構造的隙間からネットワーク閉鎖性への流れ、つまりクラスタ 3→クラスタ 2→クラスタ 0 の過程、基盤研究 (C) においてはネットワーク閉鎖性の高さから構造的隙間の流れ、クラスタ 4→クラスタ 1→クラスタ 0 の過程により、アウトカムが大きくなる可能性が考えられる。

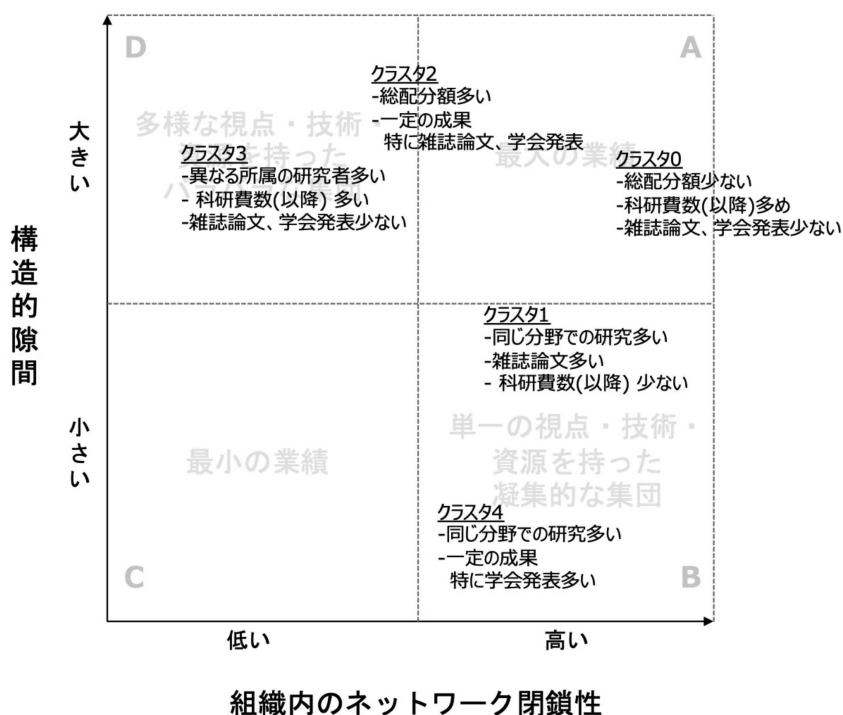


図 5.6 成果と紐帯の構造の関係性への適応（再掲）

## 5.4 まとめ

本章では、ベイジアンネットワークを用いて、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間が互いに相互作用するのか、相互作用するとしたらどのような順番で影響を与え合うのかについて、Burt の理論を基に検証することを目的とした。

構造学習を用いたベイジアンネットワークモデルの生成により、基盤研究 (A) と基盤研究 (C) で異なる影響があることを明らかにした。これは研究者組織の規模による違いがあることを示している。基盤研究 (A) では、構造的隙間がネットワーク閉鎖性に影響を及ぼし、一方で基盤研究 (C) ではネットワーク閉鎖性が構造的隙間に影響を与えることが示された。これは、研究規模が大きい研究者組織では、多様な研究者が集まることによる構造的隙間の増大がネットワーク閉鎖性を高める要因となり、逆に小規模な研究者組織では、既存の密接な関係が新たなつながりを生み出す構造的隙間を形成すると解釈できる。

合わせて 4 章で得られた知見を踏まえ、ソーシャルキャピタルによりアウトカムが生み出されるフローについて、研究者組織の規模の違いから最適なネットワーク構造の構築について検討を行った。これらの知見は、研究者組織だけでなく、一般の組織や集団における効率的なネットワーク構築にも応用可能である。



## 6 結言

### 6.1 本研究のまとめ

Burt が 2001 年に発表した論文” Structural Holes versus Network Closure as Social Capital” の中で,” ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の両者がともに最大化されるときに, 組織・集団にもっとも成果をもたらすソーシャルキャピタルの最大化をもたらされる” とする考えを示している [13]. しかしながらネットワーク閉鎖性と構造的隙間がどのように組み合わせられることにより, ソーシャルキャピタルがもたらすポジティブな影響が最大化され, さらにその結果として組織や集団におけるアウトカムが増加するののかという点に関しては, 実証的な検証はこれまで実質的に行われてこなかった.

またこれまでの Burt の議論では, ネットワーク閉鎖性と構造的隙間のそれぞれがソーシャルキャピタルに与える影響について検討しており, これら二つの要素は, 伝統的には互いに独立したネットワーク構造として捉えている. しかし, これらがどのように相互作用し合うのか, その複雑な関係性について深く掘り下げられていない.

そこで, 本研究では, ソーシャルネットワーク構造に基づくソーシャルキャピタルの紐帯構造がもたらすアウトカムについて, 科学研究費助成事業を対象とし明らかにした.

2 章では, 歴史的変遷の整理を行うとともに, 本研究におけるソーシャルネットワークの定義を行った. つながりには機能的側面と構造的側面があるが, ソーシャルネットワークでの対象は構造的側面である. 歴史的変遷においては, 科学の発展サイクルよりプレ・パラダイム革命期, パラダイム革命期, ポスト・パラダイム革命期に分割して整理をした. ソーシャルネットワーク研究の発展時期であるパラダイム革命期は 1970 年代から 2000 年代であり, この時代にされた理論も多い.

3 章では, 日本の研究者組織におけるネットワーク構造と研究成果との関連性を検証するため, 科学研究費助成事業を通じて得られたデータを基に, 統計分析からの把握を行った. ネットワーク閉鎖性と構造的隙間の指標を用いて, これらが研究成果にどのように影響しているかを検討した. 結果として, ネットワーク構造と研究成果との間に直接的な相関は見られないものの, 研究規模や研究種別によって異なる影響があることが示唆された.

4 章では, ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織を定義し, DEA を用いて効率値の算出を行った. 3 章においてネットワーク構造を目的変数とした重回帰分析を行ったが, 精度が低く明確な関係性を見出すことができなかった. DEA を用いることにより, ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織を明らかにするとともに, ソーシャルキャピタルが最大化される研究者組織の持つ特性を把握した. この結果, ネットワーク閉鎖性のみが高い研究者組織は同じ分野の研究に偏りがちであること, また構造的隙間が大きい組

織では異なる所属の研究者との協力が活発であるものの、一般的に研究成果とみなされる指標である雑誌論文数や学会発表数は少ない傾向にあることが明らかとなった。この結果は Burt の指摘を一定程度実証し得たと言える [13]。また、研究者組織におけるソーシャルキャピタルがもたらすアウトカムとしては、一般的に研究成果とみなされる指標である雑誌論文数や学会発表数ではなく、今後の研究につながる可能性がある科研費 (以降) であることが明らかとなった。これにより、ソーシャルキャピタルは研究活動の持続可能性や発展性に影響を及ぼすことを示している。

5 章では、ベイジアンネットワークを用いて、ネットワーク閉鎖性と構造的隙間が互いに相互作用するのか、相互作用するとしたらどのような順番で影響を与え合うのかについて、Burt の理論を基に検証した。結果として、規模の大きい研究者組織である基盤研究 (A) においては構造的隙間からネットワーク閉鎖性が、比較的規模の小さい基盤研究 (C) においてはネットワーク閉鎖性から構造的隙間に影響していることが明らかとなった。また、4 章で得られた知見を踏まえ、アウトカムが生み出されるまでのフローについて、研究者組織の規模の違いから最適なネットワーク構造の構築について検討を行った。

## 6.2 本研究の限界

ネットワーク構造に関する指標の算出方法として、構造的隙間は先行研究よりネットワーク拘束度を用いて算出した一方、ネットワーク閉鎖性は研究代表者と同じ所属に属している研究者としている。これは同じ研究機関の研究者は、異なる研究機関の研究者に比べて、研究者間の情報共有や打ち合わせなどが容易であると考えられるためである。

しかしながら、現実社会においては、新型コロナウイルスの発生以降、オンライン会議ツールや研究 SNS の普及により、場所や時間を問わず研究への参加が可能となってきている。ネットワーク閉鎖性は、組織内部の紐帯の密度の高さ、つながりの強さを示す指標であり、その算出には現在のデータ取得技術では限界がある。特に、大規模なデータセットを用いた分析においては、ネットワーク構造、特にネットワーク閉鎖性に関する情報の取得に制約が生じる。

このため、ネットワーク構造の研究においては、データの取得に関わる制約を考慮しつつ、新たな手法やアプローチを検討する必要がある。オンライン環境の普及により、物理的な場所に依存せずに研究者同士が連携しやすくなった今、ネットワーク閉鎖性を含む指標の再検討や、新たなデータ収集方法の考案が重要となっている。

## 謝辞

この研究を遂行するにあたり、指導教員である藤澤由和教授には、熱心なご指導と貴重な助言を賜り、深く感謝申し上げます。理系の背景を持つ私に対し、文系分野の研究進め方を根気強く教えてくださり、研究への理解を深めることができました。ありがとうございました。

主査の千葉克己教授、副査の石内鉄平准教授には、審査過程での的確なご指摘により、論文の質を高めることができたことを心から感謝しています。お忙しい中、私の研究に時間をさいてくださったこと、重ねて感謝いたします。

順天堂大学の水野信也教授、静岡理工科大学の富樫敦教授にも感謝を申し上げます。水野教授からは本研究で利用した分析手法について、富樫教授からはソーシャルネットワーク分析について、それぞれ専門的な知識と技術を惜しみなく指導いただきました。

また藤澤ゼミでは、社会人としての職務をこなしながらも、研究に対する情熱を持つ仲間たちとの議論を通じて新たな視点を得ることができる貴重なものでした。研究へのモチベーションを高めるとともに、自身の研究テーマへの理解を深める機会となりました。

最後に、私の研究活動を理解し、温かい協力をいただいた皆様に今一度、心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 総務省: 令和 3 年版 情報通信白書, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd111100.html> (accessed 2023-01-09).
- [2] 総務省: 住民参画システム利用の手引き, <https://www.soumu.go.jp/denshijiti/ict/index.html> (accessed 2024-01-09)
- [3] 中田行彦:”ソーシャル・ネットワーク・サービスはイノベーションを促進できるか?”, 経営情報学会 全国研究発表大会要旨集 2011, pp.300–300 (2011)
- [4] 内閣官房:”人々のつながりに関する基礎調査 / 令和 3 年人々のつながりに関する基礎調査 / 孤独感に関する集計”, e-Stat 政府統計の総合窓口, [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00000004&tstat=000001164672&cycle=7&tclass1=000001164673&stat\\_infid=000032189515&tclass2val=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00000004&tstat=000001164672&cycle=7&tclass1=000001164673&stat_infid=000032189515&tclass2val=0) (accessed 2023-01-09)
- [5] 総務省:”各種データから見る移動通信の普及状況”, 令和 2 年版 情報通信白書, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd111100.html> (accessed 2023-04-01)
- [6] Granovetter, M. :”Economic action and social structure: The problem of embeddedness”, In:Granovetter, M. and Swedberg, R.: The sociology of economic life. Routledge, pp.22-45 (2018) (ISBN:9780367319571)
- [7] Milgram, Stanley.: ”The small world problem”, Psychology today, Vol.2, No.1, pp.60-67 (1967)
- [8] Adler, P. S. and Kwon, S.W.: ”Social Capital: Prospects for a New Concept”, The Academy of Management Review, Vol. 27, No. 1, pp.17-40 (2002) <https://doi.org/10.2307/4134367>
- [9] Otte, E. and Rousseau, R.: ”Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences”, Journal of Information Science, Vol.28, No.6, pp.441–453 (2002) <https://doi.org/10.1177/016555150202800601>
- [10] Elsevier: ”Aims and scope - Social Networks”, <https://www.sciencedirect.com/journal/social-networks/about/aims-and-scope> (accessed 2023-01-09)
- [11] Coleman, J. S.: ”Social Capital in the Creation of Human Capital”, American Journal of Sociology, Vol.94, Supplement: Organizations and Institutions: Sociological and Economic Approaches to the Analysis of Social Structure, pp.S95–S120 (1988)
- [12] Burt, R. S.: Structural Holes: The Social Structure of Competition, Harvard Uni-

- versity Press (1992) (ISBN13:978-0674843721).
- [13] Burt, R. S.: "Structural Holes versus Network Closure as Social Capital", In: Lin, N., Cook, K.S. and Burt, R.S., Eds.: *Social Capital: Theory and Research*, Aldine de Gruyter, pp.31–56 (2001) (eISBN:9781315129457)
- [14] 科学技術・学術政策研究所 (NISTEP): "科学技術指標 2021・html 版", <https://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-indicators-and-scientometrics/indicators> (accessed 2023-01-09).
- [15] Georg Simmel: *Soziologie: Untersuchungen über die Formen der Vergesellschaftung*, BiblioBazaar (2009) (ISBN13:978-1116857399)
- [16] Cohen, S.: "Social Relationships and Health", *American Psychologist*, Vol.59, No.8, pp.676-84 (2004) <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.59.8.676>
- [17] Lakey, B. and Cohen, S.: "Social Support Theory and Measurement", In: Cohen, S., Underwood, L. G. and Gottlieb, B.H.: *Social Support Measurement and Intervention: A Guide for Health and Social Scientists*, Oxford University Press, pp.29–52 (2000) (ISBN13:978-0195126709) <https://doi.org/10.1093/med:psych/9780195126709.003.0002>
- [18] Holt-Lunstad, J., Smith, T. B., Baker, M., Harris, T. and Stephenson, D. : "Loneliness and Social Isolation as Risk Factors for Mortality: A Meta-Analytic Review", Vol.10, No.2, pp.227–237 (2015) <https://doi.org/10.1177/1745691614568352>
- [19] Pinquart, M. and Duberstein, P. R.: "Associations of social networks with cancer mortality: A meta-analysis", *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, Vol.75, No.2, pp.122-137 (2010) <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2009.06.003>
- [20] Brissette, I., Cohen, S. and Seeman, T. E. "Measuring Social Integration and Social Networks", In: Cohen, S., Underwood, L. G. and Gottlieb, B.H.: *Social Support Measurement and Intervention: A Guide for Health and Social Scientists*, Oxford University Press, pp.53–85 (2000) (ISBN13:978-0195126709) <https://doi.org/10.1093/med:psych/9780195126709.003.0003>
- [21] Mullins, N. C.: "The Development of a Scientific Specialty: The Phage Group and the Origins of Molecular Biology", *Minerva*, Vol.10, No.1, pp. 51-82 (1972)
- [22] Griffith, B. C. and Mullins, N. C.: "Coherent Social Groups in Scientific Change", *Science*, Vol.177, No.4053, pp.959-964 (1972)
- [23] 村上陽一郎: *科学者とは何か*, 新潮社 (1994) (ISBN13:978-4106004674)
- [24] Crane, D.: *Invisible Colleges: Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*, University of Chicago Press (1972) (ISBN13:978-0226118574)
- [25] 金光淳: *社会ネットワーク分析の基礎—社会的関係資本論にむけて*, 勁草書房 (2003)

(ISBN13:978-4326601646)

- [26] Freeman, L. C.: The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science, Empirical Press (2004) (ISBN13:978-1594577147)
- [27] Moreno, J. L.: Who Shall Survive?: A New Approach to the Problem of Human Interrelations (Classic Reprint), Forgotten Books (2018) (ISBN13:978-0282985653)
- [28] Moreno, J. L.: "Sociometry in Relation to Other Social Sciences, Sociometry", Vol.1, No.1/2, pp.206-219 (1937) <https://doi.org/10.2307/2785266>
- [29] Valente, T. W.: Social Networks and Health: Models, Methods, and Applications, Oxford University Press, (2010) (ISBN13:978-0195301014)
- [30] 辻功, 山村賢明, 武藤孝: "学級集団構造研究におけるソシオメトリーの適用", 教育社会学研究, Vol.11, pp.48-68 (1957) <https://doi.org/10.11151/eds1951.11.48>
- [31] 田中熊次郎: "学級社会における「社会的共感性」の発達と変容", 教育心理学研究, Vol.3, No.3 pp.1-13 (1969) [https://doi.org/10.5926/jjep1953.3.3\\_1](https://doi.org/10.5926/jjep1953.3.3_1)
- [32] 青池慎一: "コミュニケーション・ネットワークの構造：地域社会における事例研究", 慶応義塾大学大学院社会学研究科紀要：社会学心理学教育学, Vol.36, pp.31-40 (1993)
- [33] Goossens, F. A., Olthof, T. and Dekker, P. h.: "New Participant Role Scales: comparison between various criteria for assigning roles and indications for their validity", Aggressive Behavior, Vol.32, No.4, pp.343-357 (2006) <https://doi.org/10.1002/ab.20133>
- [34] 古川孝, 深井俊英, 小池則満: "ソシオメトリーによる地域連携特性の評価指標に関する研究", 愛知工業大学研究報告, No.37B, pp.139-148 (2002)
- [35] Scott, J.: Social Network Analysis: A Handbook, SAGE Publications Ltd (2000) (ISBN13:978-0761963387)
- [36] Mitchell, J. C.: "The Concept and Use of Social Networks", In: Small, M. L., Brea, L. P., Pescosolido, B. and Smith, E. B.: Personal Networks, Cambridge University Press, pp.1-50 (2001) (ISBN:9781108878296)
- [37] Watts, D. J., and Strogatz, S. H.: "Collective dynamics of 'small-world' networks", Nature, Vol.393, pp.440-442 (1998) <https://doi.org/10.1038/30918>
- [38] INSNA: About Us - International Network for Social Network Analysis, <https://www.insna.org/about-us> (accessed 2023-01-15)
- [39] Taylor & Francis: The Journal of Mathematical Sociology, <https://www.tandfonline.com/journals/gmas20> (accessed 2023-01-15)
- [40] Granovetter, M.: "The Strength of Weak Ties", American Journal of Sociology, Vol.78, No.6, pp.1360-1380 (1973)
- [41] Kramer, A.D.I., Guillory, J.E. and Hancock, J.T.: "Experimental evidence of

- massive-scale emotional contagion through social networks”, *Psychological and Cognitive Sciences*, Vol.111, No.24, pp.8788-8790 (2014) <https://doi.org/10.1073/pnas.1320040111>
- [42] Buckee, C.O., Balsari, S., Chan, J., Crosas, M., Dominici, F., Gasser, U., Grad, Y.H., Grenfell, B., Halloran, M.E., Kraemer, M.U.G., Lipsitch, M., Metcalf, C.J.E., Meyers, L.A., Perkins, T.A., Santillana, M., Scarpino, S.V., Viboud, C., Wesolowski, A., and Schroeder, A.: ”Aggregated mobility data could help fight COVID-19”, *Science*, Vol.368, No.6487, pp.145-146 (2020) <https://doi.org/10.1126/science.abb8021>
- [43] Valente, T.W.: ”Social network thresholds in the diffusion of innovations”, *Social Networks*, Vol.18, No.1, pp.69-89 (1996) [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(95\)00256-1](https://doi.org/10.1016/0378-8733(95)00256-1)
- [44] Wasserman, S. and Faust, K.: *Social Network Analysis: Methods and Applications (Structural Analysis in the Social Sciences, Series Number 8)*, Cambridge University Press (1995) (ISBN13:978-0521387071)
- [45] Tocqueville, Alexis de.: *Democracy in america*, University of Chicago Press (2002) (ISBN13:978-0226805368)
- [46] Hanifan, Lyda J. ”The rural school community center”, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Vol.67, No.1 pp.130-138 (1916)
- [47] Ravitch, D.: *The Death and Life of the Great American School System: How Testing and Choice Are Undermining Education*, Basic Books (2016) (ISBN13:978-0465036585)
- [48] Fleming, L., Mingo, S. and Chen, D.: ”Collaborative Brokerage, Generative Creativity, and Creative Success”, *Administrative Science Quarterly*, Vol.52, No.3, pp.443–475 (2007) <https://doi.org/10.2189/asqu.52.3.443>
- [49] Reagans, R. and Zuckerman, E. W.: ”Networks, Diversity, and Productivity: The Social Capital of Corporate R&D Teams”, *Organization Science*, Vol.12, No.4, pp.502–517 (2001) <https://doi.org/10.1287/orsc.12.4.502.10637>
- [50] Xiao, Z. and Tsui, A. S.: ”When Brokers May Not Work: The Cultural Contingency of Social Capital in Chinese High-Tech Firms”, *Administrative Science Quarterly*, Vol.52, pp.1–31 (2007) <https://doi.org/10.2189/asqu.52.1.1>
- [51] Fleming, L., King, C. and Juda, A. I.: ”Small Worlds and Regional Innovation”, *Organization Science*, Vol.18, No.6, pp.938–954 (2007) <https://doi.org/10.1287/orsc.1070.0289>
- [52] Tortoriello, M.: ”The Social Underpinnings of Absorptive Capacity: The Mod-

- erating Effects of Structural Holes on Innovation Generation Based on External Knowledge”, *Strategic Management Journal*, Vol.36, No.4, pp.586–597 (2015) <https://doi.org/10.1002/smj.2228>
- [53] Yang, L., Holtz, D., Jaffe, S., Suri, S., Sinha, S., Weston, J., Joyce, C., Shah, N., Sherman, K., Hecht, B. and Teevan, J.: ”The effects of remote work on collaboration among information workers”, *Nature Human Behaviour*, Vol.6, pp.43–54 (2022)
- [54] Marsden, P. D., Campbell, K. E.: ”Reflections on Conceptualizing and Measuring Tie Strength”, *Social Forces*, Vol.91, No.1, pp.17–23 (2012) <https://doi.org/10.1093/sf/sos112>
- [55] Perry-Smith, J. E.: ”Social Yet Creative: The Role Of Social Relationships In Facilitating Individual Creativity”, *The Academy of Management Journal*, Vol.49, No.1, pp.85-101 (2006) <https://doi.org/10.5465/amj.2006.20785503>
- [56] Ruef, M.: ”Strong Ties, Weak Ties and Islands: Structural and Cultural Predictors of Organizational Innovation”, *Industrial and Corporate Change*, Vol.11, No.3, pp.427–449 (2002). <https://doi.org/10.1093/icc/11.3.427>
- [57] Levin, D. Z. and Cross, R.: ”The Strength of Weak Ties You Can Trust: The Mediating Role of Trust in Effective Knowledge Transfer”, *Management Science*, Vol.50, No.11, pp.1477–1490 (2004) <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0136>
- [58] Katz, E., Lazarsfeld, P. F. and Roper, E.: *Personal Influence: The Part Played by People in the Flow of Mass Communications*, Routledge (2017) (ISBN13:978-1138529724)
- [59] 渡辺深: ”「埋め込み」概念と組織”, *組織科学*, Vol.49. No.2, pp.29-39 (2015) [https://doi.org/10.11207/soshikikagaku.49.2\\_29](https://doi.org/10.11207/soshikikagaku.49.2_29)
- [60] Polidoro, F., Ahuja, G. and Mitchell, W.: ”WHEN THE SOCIAL STRUCTURE OVERSHADOWS COMPETITIVE INCENTIVES: THE EFFECTS OF NETWORK EMBEDDEDNESS ON JOINT VENTURE DISSOLUTION”, *The Academy of Management Journal*, Vol.54, No.1, pp. 203-223 (2011) <https://doi.org/10.5465/amj.2011.59215088>
- [61] Barabási, A.-L. and Pósfai, M.: *Network Science*; Cambridge University Press (2016) (ISBN13:978-1107076266)
- [62] 日本学術振興会: 科学研究費助成事業, <https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/> (accessed 2023-01-15)
- [63] 河村小百合: ”国立大学の研究力低下は運営費交付金の減額によるものか”, *大学マネジメント*, Vo.14, No.4, pp.8–15 (2018)



- [64] 伊神正貫: "データからみえる日本の科学研究の現況と研究力向上への示唆", 化学と工業, Vol.73, No.7, pp.533-534 (2020)
- [65] Elsevier: "e-CSTI の分析事例紹介 ～研究資金配分と論文アウトプットの関係性分析～", [https://www.elsevier.com/ja-jp/events/japan\\_event/e-csti-webinar-20210624-retro](https://www.elsevier.com/ja-jp/events/japan_event/e-csti-webinar-20210624-retro) (accessed 2023-01-15)
- [66] 文部科学省: 令和 4 年版 科学技術・イノベーション白書, [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpaa202201/1421221\\_00001.html](https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202201/1421221_00001.html) (accessed 2023-01-15)
- [67] KAKEN: KAKEN — 研究課題をさがす, <https://kaken.nii.ac.jp/ja/> (accessed 2023-01-16)
- [68] 国立情報学研究所: 国立情報学研究所 / National Institute of Informatics, <https://www.nii.ac.jp/> (accessed 2023-01-16)
- [69] 日本学術振興会: 令和 4 (2022) 年度の科学研究費助成事業の公募, 内定時期の前倒し等について, [https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/06\\_jsps\\_info/g\\_210408/index.html](https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/06_jsps_info/g_210408/index.html) (accessed 2023-01-16)
- [70] 日本学術振興会: 令和 5 (2023) 年度以降の科学研究費助成事業の公募スケジュールについて, [https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/06\\_jsps\\_info/2022/g\\_1102/index.html](https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/06_jsps_info/2022/g_1102/index.html) (accessed 2023-01-16)
- [71] 日本学術振興会: H23 公募要領・計画調書, [https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/03\\_keikaku/h23\\_download.html](https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/03_keikaku/h23_download.html) (accessed 2023-01-16)
- [72] 文部科学省: 平成 27 年度科学研究費助成事業公募要領等説明会」等資料, [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shinkou/hojyo/1351771.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/1351771.htm) (accessed 2023-01-16)
- [73] 文部科学省: 科学研究費補助金 研究種目一覧, [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/attach/1332634.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/attach/1332634.htm) (accessed 2023-01-17)
- [74] 国立情報学研究所: KAKEN – 研究課題をさがす – 詳細画面 — 学術コンテンツサービスサポート, [https://support.nii.ac.jp/ja/kaken/project\\_details](https://support.nii.ac.jp/ja/kaken/project_details) (accessed 2023-01-16)
- [75] 日本学術振興会: 系・分野・分科・細目表等, [https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/02\\_koubo/saimoku.html](https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/02_koubo/saimoku.html) (accessed 2023-01-17)
- [76] Burt, R. S.: "Structural Holes and Good Ideas. American Journal of Sociology", Vol.110, No.2, pp.349–399 (2004) <https://doi.org/10.1086/421787>
- [77] 日本学術振興会: 科研費パンフレット 2022, [https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/24\\_pamph/index.html](https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/24_pamph/index.html) (accessed 2023-01-18)
- [78] Smith, G: "Step Away from Stepwise", Journal of Big Data, No.5, Vol.31, pp.1-12 (2018) <https://doi.org/10.1186/s40537-018-0143-6>
- [79] Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E.: Measuring the Efficiency of Decision

- Making Units, *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6, pp.429–444 (1978) [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- [80] Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W.: "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, Vol.30, No.9, pp.1078–1092 (1984) <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- [81] Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L. and Stutz, J.: "Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions", *Journal of Econometrics*, Vol.30 ,No.1, pp.91–107 (1985) [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(85\)90133-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90133-2)
- [82] Deprins, D., Simar, L. and Tulkens, H.: "Measuring Labor-Efficiency in Post Offices", In: Chander, P., Drèze, J., Lovell, C. K. and Mintz, J.: *Public Goods, Environmental Externalities and Fiscal Competition*, Springer, pp 285–309 (2006) (ISBN13: 978-0387255330) [https://doi.org/10.1007/978-0-387-25534-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-0-387-25534-7_16)
- [83] Charnes, A., Cooper, W. W. and Thrall, R. M.: "Classifying and Characterizing Efficiencies and Inefficiencies in Data Development Analysis", *Operations Research Letters*, Vol.5 ,No.3, pp.105–110 (1986) [https://doi.org/10.1016/0167-6377\(86\)90082-9](https://doi.org/10.1016/0167-6377(86)90082-9)
- [84] Bowlin, W. F.: "Evaluating the Efficiency of US Air Force Real-Property Maintenance Activities", *The Journal of the Operational Research Society*, Vol.38 ,No.2, pp.127–135 (1987) <https://doi.org/10.2307/2582148>
- [85] Sueyoshi, T. and Aoki, S.: "A Use of a Nonparametric Statistic for DEA Frontier Shift: The Kruskal and Wallis Rank Test", *Omega*, Vol.29 ,No.1, pp.1–18 (2001) [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(00\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00024-4)
- [86] 横田真也 and 熊野照久: "Dea 法を利用したメガソーラー最適配置", *電気学会論文誌b (電力・エネルギー部門誌)*, Vol.131, No.10, pp.819–825 (2011) <https://doi.org/10.1541/ieejpes.131.819>
- [87] 水野信也, 藤澤由和 and 八巻直一: "総合的類型化解析基盤の構築とその応用", *日本経営工学会論文誌*, Vol.68, No.2, pp.99–108 (2017) <https://doi.org/10.11221/jima.68.99>
- [88] Cook, W. D. and Zhu, J.: *Data Envelopment Analysis: Balanced Benchmarking*, CreateSpace Independent Publishing Platform (2013) (ISBN13:978-1492974796)
- [89] 刀根薫: "DEA のモデルをめぐって-再論-", *オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学*, Vol.40 ,No.12, pp.681–685 (1995)
- [90] 涌井良幸 and 涌井貞美: *身につくベイズ統計学: 入門者のための標準テキスト*, 技術評

- 論社 (2016) (ISBN13:978-4774180748)
- [91] 植野真臣: ベイジアンネットワーク, コロナ社 (2013) (ISBN13:978-4339061031)
- [92] 赤池弘次: "AIC と MDL と BIC", オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol.41, No.7, pp.365-378 (1996)
- [93] 城谷まりな: "SPL 開発におけるペアワイズ法を用いたテスト手法について". 第 78 回 全国大会講演論文集, pp.319-320 (2016)
- [94] 本城勇介 and 工藤暢章: "情報エントロピーによる逆解析のための観測計画の評価方法に関する基礎的考察", 土木学会論文集, Vol.1998, No.589, pp.321-333 (1998)  
[https://doi.org/10.2208/jscej.1998.589\\_321](https://doi.org/10.2208/jscej.1998.589_321)
- [95] 内田勝, 大塚昭義, 藤田広志: "エントロピー解析法", 日本放射線技術学会雑誌, Vol.36, No.4, pp.498-526 (1980) <https://doi.org/10.6009/jjrt.KJ00001365117>