

研究

著者の役割を考慮した共著ネットワークの比較分析：HITS アルゴリズムに基づく手法の改善

Comparative analysis of co-authorship networks considering authors' roles in collaboration: An analysis based on the modified HITS algorithm

芳鐘 冬樹(*1), 野澤 孝之(*1)

Fuyuki YOSHIKANE, Takayuki NOZAWA

(*1) 大学評価・学位授与機構 評価研究部

Faculty of University Evaluation and Research, National Institution for Academic Degrees and University Evaluation

本研究では、著者の役割を考慮した2つの観点 - リーダとしての重要度とフォロワとしての重要度 - から研究者の活動を計り、計算機科学、物理学、それぞれの理論領域、応用領域を対象として、共著ネットワークの比較を行った。2つの重要度の相関を調べた結果、(i) 計算機科学分野は物理学分野よりも相関は低く、計算機科学の方がリーダーとフォロワの役割が分化していると推測されること、(ii) 論文を1編しか発表していない周辺的な研究者を除外した場合の共通の傾向としては、2つの分野ともに、理論領域は応用領域よりも相関が低く、理論領域の方がリーダーとフォロワの役割が分化していると推測されること、を示した。

This study analyzes researchers' activities from the viewpoints considering their roles in the global structure of co-authorship networks, and compares the co-authorship networks between computer science and physics, and between their theoretical and application areas. The modified HITS algorithm is used to calculate the two types of importance of researchers in co-authorship networks, i.e., the importance as the leader and that as the follower. The analysis of the correlation between the two importance measures suggests (i) researchers in computer science are more clearly separated into either a leader or a follower than those in physics, and (ii) those in theoretical areas are more clearly separated in their roles than those in application areas.

1. はじめに

学術研究の世界では、通常、1人の研究者によって何の脈絡もなく唐突に成果が生み出されるということはない。分野のコンテキスト、すなわち、その分野における先行研究の蓄積や、コミュニティの中での協力関係の上に、新たな成果が積み上げられていくのが普通である。したがって、知識生産活動に関する分野の特徴の把握を目的に、研究者の活動を見るに際しては、研究者それぞれ単独の活動だけ見るのでは不十分で、何らかのつながり（知的紐帯の構造）の中での位置付けを考慮に入れる必要がある。本研究では、

- ・ 専門的・実質的な知的紐帯の構造
- ・ コミュニティの社会認知的な知的紐帯の構造

の現れとして、「共著」という現象に注目する。共著ネットワークの観察に基づき、研究協力コミュニティにおいて専門的思考や知識が伝達されていく中での役割を考慮した研究者の活動の状況に関して、分野の特徴を明らかにすることが本研究の目的である。

共著ネットワーク分析と関連した研究に、引用ネットワーク分析や謝辞の分析がある。引用分析も(林 & 藤垣, 1998; Hayashi & Fujigaki, 1999; Borgatti & Everett, 1999; White, 2000)など、謝辞分析も(Cronin ら, 2003)など、それを扱った研究は多数存在している。本研究が、「引用」や「謝辞」ではなく、「共著」という現象を通して、研究者のネットワークを分析する理由について、以下に述べる。

まず、共著と謝辞の差異について述べる。どちらも、論文生産の過程での協力関係を示すものであるが、前者は専門的・実質的な協力関係を示すものと捉えられる。無論、分野による違いや例外はあろうが、クレジティングのガイドラインや研究者の意識調査の結果(Hoen ら, 1998; Bartle ら, 2000)から、およその傾向としてそのように捉えることが可能であると考えられる。一方、後者の方は、副次的な支援関係を示すものとされる。例えば、Cronin ら (2003)は、謝辞の内容分析を行い、心理学分野では、財政的援助(36%)、発想支援(31%)、機材・設備の提供(20%)に対しての

謝辞が多く、哲学分野では、謝辞の大半が発想支援(69%)に対してのものであると報告している。少なくとも、明示的に記される関係としては、謝辞は、むしろ副次的な支援関係に当たると考えられる。それゆえ、謝辞の分析では、実質的な協力関係に関する特徴を明らかにすることができない。

次に、共著と引用の差異について述べる。引用の目的は、当該論文の位置付けを明確にするための先行研究の紹介などであり、基本的に、引用・被引用関係は、論文が扱うテーマ・トピックの関連性・継続性を示していると考えられる。つまり、引用は直接的には知識同士の関係性を示すもので、それは、共著によって示されるところの研究者同士の関係性の上での知識伝達とは本質的に異なる。本研究は、前述のとおり、コミュニティの中での研究者の社会的関係に関心を置いているため、引用ではなく共著を対象にする¹⁾。表1に、共著、謝辞、引用の特徴について整理しておく。

< 表1 各現象が表す知的紐帯の特徴 >

著者らは、既に、計算機科学分野を対象に、試行的に共著ネットワークの分析を行っている(Yoshikane ら, 2006)。本研究では、Yoshikane ら (2006)の手法を洗練・拡張したものを、計算機科学分野と物理学分野、それぞれの理論領域と応用領域に適用し、分野ごとの特徴および研究の種別(理論・応用)ごとの特徴を明らかにする。

本稿では、以下、2節で手法の概要・改善点について説明し、3節で分析対象とするデータについて述べる。そして、4節で分析結果を示し、最後に、5節において、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

2 分析手法

2.1 HITSアルゴリズムに基づく共著ネットワーク分析

本研究では、Yoshikane ら (2006)の手法に基づき、著者の役割を考慮した共著ネットワークの分野間比較を行う。まず、Yoshikane ら (2006)の手法の概要について説明する。

・前提およびモデル

研究協力ネットワークにおける(A)第1著者としての重要度と、(B)第1著者以外の共著者としての重要度の2つを、研究者の論文生産に関する活動状況の観点として設定する。(A)と(B)を区別することは、第1著者はリーダーとして研究の設計を行う者であり、それ以外の共著者とは異なる特別な役割を担っている、という前提に基づく。ガイドラインにそのように明記されている分野も多く、また意識調査の結果からもそれが確認できることから(Bridgwaterら, 1981)、少なくともある程度はその前提に妥当性があると考えられる。論文生産におけるリーダーとしての役割、そして協力者としてそれを支えるフォロワの役割、どちらも研究協力ネットワークにおいて重要であり、かつ両者は本質的に異なるものと考え、(A)(B)2つの観点を設定する。

< 図1 共著ネットワークの例 >

それぞれの操作的定義・指標を設定するにあたり、次のモデルを想定する。

- (i) 第1著者を到達点、それ以外の共著者を出発点とする有向グラフ(図1参照)
- (ii) 共著関係の強度を考慮に入れた重み付きグラフ

このような重み付き有向グラフを想定した上で、次に述べるHITSアルゴリズムを応用し、ネットワークの大域的な構造を考慮した重要度の計算を行う。

・指標

共著関係を結んだ相手の数と、関係の強さ、さらに相手の重要度にも注目して、研究協力ネットワークにおける重要度を計算する。研究者 n_i のリーダーとしての重要度 $C_i(n_i)$ と、フォロワとしての重要度 $C_f(n_i)$ は、それぞれ次の式を尺度にして求める。

$$C_i(n_i) = \sum_{j=1}^g a_{ij} C_f(n_j) \quad (1)$$

$$C_f(n_i) = \sum_{j=1}^g a_{ji} C_i(n_j) \quad (2)$$

ここで、 g は研究者の数を指す。また、 a_{ij} はネットワークの隣接行列 A の成分を指し、研究者 n_j から研究者 n_i に向けた結合の強度を値としてとる。ただし、対角成分 a_{ii} は0とする。ここで置いている仮定は、「重要なリーダーを支えている研究者は、フォロワとして重要な役割を担っており、重要なフォロワをまとめている研究者は、リーダーとして重要な役割を担っている」という相互の依存関係である。式(1)(2)で、再帰的な代入を繰り返すことにより、ネットワークの大域的な構造が各々の研究者の重要度に反映する。この再帰的な繰り返しは、行列 AA^T および $A^T A$ の固有ベクトル問題に帰着するものである。

「より重要なノードとの関係の方が、そうでないノードとの関係よりも、重要度への寄与が大きい」というアイデアは、Bonacich (1987)の中心性や、HITSアルゴリズム(Kleinberg, 1998)、PageRankアルゴリズム(Brin & Page, 1998)に共通している²⁾。関係の方向性を考慮した2つの役割を設定しているという点でHITSに最も近いが、本手法では、さらに結合の強度(重み)も反映させている。本手法が対象にしている共著ネットワークは、ノード数の多さから、隣接行列の固有ベクトルを求める方法は現実的でないため、HITSと同じステップで、代入とベクトルの正規化を再帰的に繰り返すことにより(10回ループ)、 $C_i(n)$ と $C_f(n)$ を計算する。

・相関分析

各々の研究者について、リーダーとしての重要度 $C_i(n)$ とフォロワとしての重要度 $C_f(n)$ を計算し、それら2つの重要度の相関を調べる。両指標ともに比率尺度であるが、外れ値が存在しているため、ここではスピアマンの順位相関係数 r_s を用いる。

2.2 手法の改善

・共著関係の強度

共著関係の強度の尺度としては、Narinら(1991)の指標やArunachalamら(1994)の指標など、いくつかの指標が存在する。Yoshikaneら

(2006)の手法では、共著関係の強度 (a_{ij}) は、単純に共著回数に比例して強くなると仮定し、共著で論文を著した頻度 (n_i が第1著者になり n_j と共著した頻度)そのものをグラフの重みとしている。

しかしながら、共著頻度そのものを重みとして用いて重要度 $C(n)$, $C(n)$ を求めると、共著者の数が非常に多い論文が存在した場合、その論文の共著者同士が内輪で与え合う影響(反射中心性(金光, 1992))が強く働き、他に論文を発表していなくても、その論文の寄与だけで、それらの著者の重要度が高く計算され過ぎてしまうという難点がある。例えば、Yoshikane ら (2006)による計算機科学分野を対象とした分析では、数編しか論文を発表していない研究者であるにも拘わらず重要度が上位に入るといふ、あまり自然でないケースが多数観察されている。例えば、応用領域で、フォローとしての重要度 $C(n)$ が上位10位までの研究者全員が、4編以下しか論文を発表していない。

そこで、本研究では、1回の共著による関係の強度への寄与は、その論文の共著者数に反比例する(共著者数が多いほど、1人1人の関係は希薄になる)ものと仮定して、次の式で共著関係の強度(研究者 n_j から研究者 n_i に向けた結合の強度 a_{ij})を求めることにする。

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^p \frac{1}{nc_{ijk}} \quad (3)$$

ここで、 p は n_i が第1著者になり n_j と共著した論文の数、 nc_{ijk} は、 k ($1 \leq k \leq p$)番めの共著論文における共著者数を指す。

・相関分析

論文生産性の分布は、1編しか論文を発表していない周辺の研究者が全体の大部分を占めるといふ特性を持つことが知られている(Lotka, 1926)。したがって、データに現れるほとんどの研究者は、第1著者として論文を1編発表し、第1著者以外の共著者としては1編も論文を発表していないか、あるいは逆に、第1著者としては論文を1編も発表しておらず、第1著者以外の共著者として論文を1編発表しているか、のどちらかである。つまり、リーダとしての重要度 $C(n)$ か、フォローと

しての重要度 $C(n)$ か、いずれか一方が0である研究者がほとんどであり、Yoshikane ら (2006)において、2つの重要度の相関が負になっているのは、その影響を強く受けての結果であると考えられる。

全体を対象とした相関係数では、結局のところ、発表論文数1の周辺の研究者が全体に占める比率が支配的な要因になり、多数の論文を発表する活発な研究者の特徴は隠れてしまう恐れがある。そこで、本研究では、全体の相関係数に加えて、いくつかの閾値を設けた - 具体的には、発表論文数2以上、3以上、4以上の研究者のみを対象とした - 相関係数を求めることにする。

3 分析対象およびデータ

本研究は、計算機科学分野および物理学分野を分析対象とした。共同研究が活発な分野であり、ネットワークを考慮する必要性が大きいこと、そして、理論的な研究だけでなく、学際的な応用も盛んな分野であり、研究の種別(理論・応用)による傾向の差から有用な知見が得られると予測されたことが、これら2つの分野を分析の対象に選んだ理由である。

本研究では、Thomson ISI が提供する *SCI (Science Citation Index)* データベースの CD-ROM 版に収録された、1999年から2003年までの5年分の論文データを、共著ネットワークを観察するための情報源とする。*SCI*を情報源としたのは、自然科学系分野における最も包括的な書誌データベースのひとつであるため(英語圏の雑誌が中心という問題はあるものの)、そして、質的な基準³⁾を満たすコアジャーナルのみを収録しているためである。*SCI*に収録されている文献には、論文だけでなくレビューやレターなど様々な種類が含まれているが、はじめに述べたとおり、本研究の関心は、専門的・実質的な知的紐帯の構造にあるため、それが最もよく表れると考えられるオリジナルの論文('Document type'が'Article'の文献)のみを観察の対象とした⁴⁾。

分野の区分、そして分野ごとのコアジャーナルの決定には、*SCI*の主題カテゴリ別収録誌一覧を利用した。計算機科学の理論系(computer science, theory & methods)および応用系(computer science, interdisciplinary applications)、物理学

の理論系 (physics, mathematical) および応用系 (physics, applied), 以上の4つのカテゴリを対象とし, 各々について, *SCI*が収載するコアジャーナルに掲載された論文の書誌情報をデータベースから抽出した。集計対象とした雑誌は, 「計算機科学・理論」については, *Journal of Algorithms* などの21誌, 「計算機科学・応用」については, *Computer Applications in the Biosciences* などの22誌, 「物理学・理論」については, *Theoretical and Mathematical Physics* などの19誌, 「物理学・応用」については, *Journal of Applied Physics* などの53誌である。

本研究では, 掲載雑誌に基づいて, 研究者を分野・領域と対応付ける。つまり, 例えば, *SCI*で「計算機科学・理論」というカテゴリが付与されている雑誌に掲載された雑誌の著者はすべて「計算機科学・理論」分野に属すと考える。

< 表2 データの基本的数量 >

表2に, 4つの分野(計算機科学, 物理学, それぞれの理論領域, 応用領域)のデータの基本的数量を示した⁵⁾。 P_{av} (= TA/DA)と P'_{av} は, どちらも著者あたりの平均発表論文数であるが, 論文数の数え方に違いがある。前者は, 複数の著者の執筆による共著であっても, 各々の著者がそれぞれ1編の論文を発表したものと数えているのに対し (normal counting (e.g., Nicholls, 1986)), 後者は, 共著者の人数に応じた規格化を行って, 例えば, 3人の共著であれば, それぞれ1/3編の論文を発表したものと数えている (adjusted counting (e.g., Lindsey, 1982))⁶⁾。

論文あたりの平均著者数 A_{av} (= TA/NP)を見ると, 物理学・応用が他と比べて非常に多いこと, つまり, 物理学分野の応用領域では, より多人数の協力のもと論文が生産されていることが分かる。著者あたりの平均発表論文数 P_{av} の比較でも, 物理学・応用が, 他の分野の2倍前後と, 著しく大きい。その理由として, 雑誌数 NJ や論文数 NP の多さも挙げられるだろうが, 共著者数で規格化した平均発表論文数 P'_{av} では, それほど差が見られないことから, 上で述べた論文あたりの平均著者数 A_{av} の多さが最も大きく影響していると考えられる。

4 分析結果

計算機科学, 物理学, それぞれの理論領域と応用領域について, 各々の研究者の重要度, $C(n)$ と $C'(n)$ を求めた。2つの重要度, すなわちリーダとしての重要度とフォロワとしての重要度の相関を調べた結果が表3である。 P 1,2,3,4と記したカラムは, それぞれ, データに現れるすべての研究者を対象としたとき (P 1), そして, 発表論文数 P が2,3,4編以上の研究者を対象を限定したとき (P 2,3,4)に対応する。表3には, それぞれの対象 (P x)における, スピアマンの順位相関係数 r_{sx} , 該当する研究者の数 DA_x , 研究者全体に対するその比率 DA_x/DA を示している。

< 表3 リーダとしての重要度とフォロワとしての重要度の相関 >

論文を2編以上発表している研究者の割合 DA_2/DA は, 物理学・応用で5割, それ以外の分野で3割前後であり, いずれの分野においても, 半数以上の研究者が1編しか論文を発表していないことが確認できる。また, 論文を4編以上発表している研究者の割合 DA_4/DA は, 物理学・応用で2割程度, それ以外では1割前後に過ぎず Lotkaの法則が表すような, 生産性に関する偏った分布が観察される。

全体を対象とする, リーダとしての重要度とフォロワとしての重要度の相関係数 r_{s1} は, 4つの分野ともに, 負の値を示している。つまり, 全体として見ると, リーダとしての役割とフォロワとしての役割は, 兼ねられるというよりも, 別の研究者によって担われる傾向があると言える。これは, Yoshikaneら (2006)の結果と同様である。ただし, 2.2節で述べたとおり, これは, 1編しか論文を発表していない研究者, つまり, そもそも片方の役割を担う機会しか持たなかった研究者が, 全体の大部分 (上述のように, 今回のデータでは半数以上)を占めることが, 強く影響していると考えられる。

発表論文が多い研究者に限定していく (P x の x を大きくしていく)と, リーダとしての重要度とフォロワとしての重要度の相関は高くなっていくことが, 表3から読み取られる。表3の数値

に基づいて、図2に、各分野における閾値 x の変化に伴う相関係数 r_{sx} の変化を図示した。閾値を揃えて比較すると、理論領域、応用領域ともに、計算機科学分野は、物理学分野よりも2つの重要度の相関は低い。計算機科学の方が、リーダーとフォロワの役割が分化していると推測できる。

< 図2 相関係数の変化 >

一方、理論領域と応用領域の比較に関しては、物理学分野では、いずれの閾値においても応用領域の方が高い相関を示しているのに対し、計算機科学分野では、 P_1 と P_2 以降で、両領域の相関係数の大小が逆転している。2, 3, 4 編以上論文を発表した研究者に限定すると ($P_{2,3,4}$)、全体を対象としたとき (P_1) とは逆に、応用領域の方が理論領域よりも相関が高くなり、Yoshikaneら (2006) の計算機科学分野の分析とは逆の結果が導き出される。表3に示したように、計算機科学分野では、理論領域よりも応用領域の方が、発表論文数1の周近的な研究者の比率 ($1 - DA_2/DA$) が高く、これが、周近的な研究者も含めて全体を対象としたとき、応用領域の相関がより低くなる要因と考えられる。論文を1編しか発表していない周近的な研究者を除外した場合 (P_2) 共通の傾向としては、2つの分野ともに、理論領域は応用領域よりも相関が低く、理論領域の方がリーダーとフォロワの役割が分化していると推測される。

重要度が上位の研究者の特徴を、リーダーについては表4に、フォロワについては表5に示した。 P は発表論文数を、 P_1 , P_2 , P_{last} は、それぞれ第1著者としての論文 (単著論文を含む) の数、第2著者以降での共著論文数、最終著者としての共著論文数を表す。論文の総数 P に対する P_1 , P_2 , P_{last} の比率も併せて表に示しておいた。計算機科学・理論のリーダー8位とフォロワ7位、物理学・応用のリーダー3位とフォロワ9位およびリーダー4位とフォロワ5位が同じ研究者である以外は、10位以内にリーダーとフォロワの重なりはない。

< 表4 リーダーとしての重要度が上位の研究者の特徴 >

< 表5 フォロワとしての重要度が上位の研究者

の特徴 >

重要度が上位にランクされる分野の中心的な研究者の特徴を比較すると、物理学・応用におけるフォロワに、他の分野とは異なる顕著な傾向が観察される (表5)。最終著者になった共著論文の比率 P_{last}/P に注目すると、他の分野のフォロワは、10位までのうち4~6人が80%を超えているのに対し、物理学・応用では、 P_{last}/P が80%を超えるフォロワは2人しかいない。反対に、物理学・応用では、 P_{last}/P が10%にも満たないフォロワが4人も存在する。他の分野では、そのようなフォロワは1人も観察されない。表2に示したように、物理学・応用は、他の分野に比べて1論文あたりの平均著者数が多いことから、最終著者になるケースは少なくなりがちになるとも考えられるが、平均著者数が多いとは言え1.5倍強から2倍弱に過ぎず、それだけでは、この差異は説明できないだろう。それら、 P_{last}/P が1割にも満たないフォロワ4人は、第1著者として3~17編の論文を発表しており、そのうち2人はリーダーとしても上位に位置している (リーダーとフォロワの重なりの中で述べた2人である)。物理学の応用領域以外では、最終著者という監修者的な立場で支える研究者が、フォロワとして重要な役割を演じているのに対して、物理学の応用領域では、むしろ監修者とは異なる立場でリーダーに協力し、さらに自身がリーダーとしても活発に論文を発表している研究者が、フォロワとして重要な役割を演じている、という傾向を読み取ることができる。

5. おわりに

本研究では、著者の役割を考慮した2つの観点 - リーダーとしての重要度とフォロワとしての重要度 - から研究者の活動を計り、計算機科学、物理学、それぞれの理論領域・応用領域を対象として、共著ネットワークの比較を行った。2つの重要度の相関を調べた結果、(i) 計算機科学分野は、物理学分野よりも相関は低く、計算機科学の方がリーダーとフォロワの役割が分化していると推測されること、(ii) 論文を1編しか発表していない周近的な研究者を除外した場合の共通の傾向としては、2つの分野ともに、理論領域は応用領域よりも相関が低く、理論領域の方がリーダーとフォロワの役

割が分化していると推測されること，を示した。計算機科学分野における(ii)の特徴は，Yoshikaneら(2006)の手法では観察できなかったものであり，本研究で行った手法の洗練・拡張が有効に働いたと考えられる。

ところで，今回の研究は，現象の背後にある潜在的な構造（潜在態）というよりも，観察された現象そのものを対象としている。大域的なネットワークの特性を観察する場合，母集団確率を一定と置いてしまうと，同じ条件（同じ論文数）の下でも，潜在態の現実化のばらつきが非常に大きくなる。例えば，低頻度の研究者が仲介者として重要な位置を占めるとき，それが出現するかどうかでネットワークの特性が極端に変わりうる。母集団確率を一定と置くのではなく，それが出現しているからこそ，その周辺の構造がそのように形成されている，と捉えるべきと考えられる。本研究では，現実の共著の連鎖によって構築されたネットワークの特性を見ることを優先することとしたが，現象の背後にある構造を捉えるためには，仲介者の存在を条件とする，ある種の条件付き確率を組み入れた潜在態のモデルが必要になる。これについては今後の課題としたい。

注

- 1) ある組織において社会的関係の深化が引用の生起と相関するという指摘もあり，引用もある程度は社会認知的紐帯（研究者同士の社会的関係）を示すものと捉えることができる。しかしながら，共著関係の方が，より直接的に本研究の目的に対応すると判断した。
- 2) HITSとPageRankは，ウェブページの検索結果のスコア付けを目的に考案されたものである。
- 3) ピアレビューや引用分析に基づいて判断されている。また，雑誌の編集者や掲載論文の著者が属する国の多様性も考慮されている（<http://www.isinet.com/selection/>）
- 4) 'Article'の他に，'Meeting-Abstract'，'Letter'，'Review'，'Software-Review'，'Biographical-Item'，'Editorial-Material'などが存在している。
- 5) Yoshikaneら(2006)では，SCIへの収録が翌年（2004年版）に持ち越された2003年出版の

論文データが含まれていないが，本研究はそれらも含めているため，数値に若干の差がある。

- 6) つまり， P'_{av} (adjusted counting)の方は，まず論文という生産物の計数が先にあり，その生産者の人数に応じて貢献のスコアを割り振るという考え方に立っている。一方， P_{av} (normal counting)は，貢献の大小に関わらない，研究者の（共同）研究活動の活発さ，あるいは論文発表を通じた研究コミュニティ・社会への可視性を測るものと言える。

References

- Arunachalam, S., Srinivasan, R., Raman, V. (1994), International collaboration in science: Participation by the Asian giants. *Scientometrics*, 30(1): 7-22.
- Bartle, S. A., Fink, A. A., Hayes, B. C. (2000), Psychology of the scientist: LXXX. attitudes regarding authorship issues in psychological publications. *Psychological Reports*, 86(3), part 1: 771-788.
- Bonacich, P. (1987), Power and centrality: A family of measures. *The American Journal of Sociology*, 92(5): 1170-1182.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. (1999), Models of core/periphery structures. *Social Networks*, 21: 375-395.
- Bridgwater, C. A., Bornstein, P. H., Walkenbach, J. (1981), Ethical issues and the assignment of publication credit. *American Psychologist*, 36(5): 524-525.
- Brin, S., Page, L. (1998), The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine. In *Proceedings of 7th International World Wide Web Conference*. Amsterdam: Elsevier Science, pp. 101-117.
- Cronin, B., Shaw, D., Barre, K. L. (2003), A cast of thousands: Coauthorship and subauthorship collaboration in the 20th century as manifested in the scholarly journal literature of psychology and philosophy. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 54(9):

- 855-871.
- 林 隆之・藤垣 裕子 (1998), 科学技術活動の計量と研究評価(その3): 学問分野間の論文産出様式の差異について. 研究技術計画学会第13回年次学術大会講演要旨集 : 45-50.
- Hayashi, T., Fujigaki, Y. (1999), Differences in knowledge production between disciplines based on analysis of paper styles and citation patterns. *Scientometrics*, 46(1) : 73-86.
- Hoen, W. P., Walvoort, H. C., Overbeke, A. J. P. M. (1998), What are the factors determining authorship and the order of the authors' names?: A study among authors of the *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* (Dutch Journal of Medicine). *Journal of the American Medical Association*, 280(3) : 217-218.
- 金光 淳 (1992), 企業集団の社会ネットワーク分析: 役員派遣の中心性分析. *社会学年誌*, 33 : 45-59.
- Kleinberg, J. M. (1998), Authoritative sources in a hyperlinked environment. In *Proceedings of 9th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*. New York: Association for Computing Machinery, pp. 668-677.
- Lindsey, D. (1982), Further evidence for adjusting for multiple authorship. *Scientometrics*, 4(5) : 389-395.
- Lotka, A. J. (1926), The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16(12) : 317-323.
- Narin, F., Stevens, K., Whitlow, E. S. (1991), Scientific cooperation in Europe and the citation of multinationally authored papers. *Scientometrics*, 21(3) : 313-323.
- Nicholls, P. T. (1986), Empirical validation of Lotka's law. *Information Processing and Management*, 22(5) : 417-419.
- White, H. D. (2000), Toward ego-centered citation analysis. In B. Cronin, H. B. Atkins (Eds.), *Web of Knowledge: A Festschrift in Honor of Eugene Garfield*. Medford: Information Today, pp. 475-496.
- Yoshikane, F., Nozawa, T., Tsuji, K. (2006), Comparative analysis of co-authorship networks considering authors' roles in collaboration: Differences between the theoretical and application areas. *Scientometrics*. (to appear)

表 1 各現象が表す知的紐帯の特徴

	実質的・専門的	社会認知的
共著		
謝辞		
引用		

表 2 データの基本的数量

	NJ	NP	TA	DA	A_{av}	P_{av}	P'_{av}
計算機科学・理論	21	9686	22572	14583	2.33	1.55	0.66
計算機科学・応用	22	12176	34455	22848	2.83	1.51	0.53
物理学・理論	19	23496	57081	30322	2.43	1.88	0.77
物理学・応用	53	104227	450832	130397	4.33	3.46	0.80

NJ : 雑誌数, NP : 論文数, TA : 延べ著者数, DA : 異なり著者数,
 A_{av} : 論文あたりの平均著者数,
 P_{av} : 著者あたりの平均発表論文数 (complete counting),
 P'_{av} : 著者あたりの平均発表論文数 (adjusted counting)

表 3 リーダとしての重要度とフォロワとしての重要度の相関

	P_1			P_2			P_3			P_4		
	r_{s1}	DA_1	DA_1/DA	r_{s2}	DA_2	DA_2/DA	r_{s3}	DA_3	DA_3/DA	r_{s4}	DA_4	DA_4/DA
計算機科学・理論	-0.421	14583	1.00	-0.229	3883	0.27	-0.126	1675	0.11	-0.095	905	0.06
計算機科学・応用	-0.451	22848	1.00	-0.201	5586	0.24	-0.080	2376	0.10	-0.016	1217	0.05
物理学・理論	-0.316	30322	1.00	-0.121	11137	0.37	-0.038	5631	0.19	0.007	3284	0.11
物理学・応用	-0.035	130397	1.00	0.173	64907	0.50	0.268	42357	0.32	0.327	30413	0.23

表4 リーダとしての重要度が上位の研究者の特徴

Rank	計算機科学・理論						計算機科学・応用							
	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)
1	16	14	87.5	2	12.5	1	6.3	19	16	84.2	3	15.8	2	10.5
2	13	10	76.9	3	23.1	3	23.1	33	23	69.7	10	30.3	9	27.3
3	8	8	100.0	0	0.0	0	0.0	3	2	66.7	1	33.3	1	33.3
4	1	1	100.0	0	0.0	0	0.0	2	2	100.0	0	0.0	0	0.0
5	20	19	95.0	1	5.0	1	5.0	7	3	42.9	4	57.1	3	42.9
6	3	2	66.7	1	33.3	1	33.3	5	3	60.0	2	40.0	1	20.0
7	3	3	100.0	0	0.0	0	0.0	3	1	33.3	2	66.7	1	33.3
8	12	4	33.3	8	66.7	6	50.0	1	1	100.0	0	0.0	0	0.0
9	10	9	90.0	1	10.0	0	0.0	2	2	100.0	0	0.0	0	0.0
10	13	9	69.2	4	30.8	0	0.0	25	22	88.0	3	12.0	1	4.0

Rank	物理学・理論						物理学・応用							
	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)
1	52	48	92.3	4	7.7	4	7.7	43	23	53.5	20	46.5	0	0.0
2	16	16	100.0	0	0.0	0	0.0	31	14	45.2	17	54.8	1	3.2
3	4	4	100.0	0	0.0	0	0.0	20	10	50.0	10	50.0	0	0.0
4	4	3	75.0	1	25.0	0	0.0	43	17	39.5	26	60.5	1	2.3
5	6	6	100.0	0	0.0	0	0.0	45	44	97.8	1	2.2	0	0.0
6	4	3	75.0	1	25.0	0	0.0	24	11	45.8	13	54.2	2	8.3
7	11	10	90.9	1	9.1	1	9.1	44	18	40.9	26	59.1	5	11.4
8	12	4	33.3	8	66.7	0	0.0	10	4	40.0	6	60.0	0	0.0
9	1	1	100.0	0	0.0	0	0.0	16	6	37.5	10	62.5	1	6.3
10	2	1	50.0	1	50.0	0	0.0	32	11	34.4	21	65.6	7	21.9

表5 フォロワとしての重要度が上位の研究者の特徴

Rank	計算機科学・理論						計算機科学・応用							
	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)
1	10	2	20.0	8	80.0	7	70.0	16	0	0.0	16	100.0	13	81.3
2	4	1	25.0	3	75.0	2	50.0	13	1	7.7	12	92.3	11	84.6
3	2	0	0.0	2	100.0	2	100.0	2	0	0.0	2	100.0	2	100.0
4	1	0	0.0	1	100.0	1	100.0	6	0	0.0	6	100.0	4	66.7
5	9	0	0.0	9	100.0	7	77.8	3	2	66.7	1	33.3	1	33.3
6	3	1	33.3	2	66.7	2	66.7	3	1	33.3	2	66.7	2	66.7
7	12	4	33.3	8	66.7	6	50.0	5	1	20.0	4	80.0	1	20.0
8	4	0	0.0	4	100.0	4	100.0	4	2	50.0	2	50.0	2	50.0
9	18	1	5.6	17	94.4	16	88.9	5	4	80.0	1	20.0	1	20.0
10	13	1	7.7	12	92.3	3	23.1	2	0	0.0	2	100.0	2	100.0

Rank	物理学・理論						物理学・応用							
	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)	P	P_1	(%)	P_{2-}	(%)	P_{last}	(%)
1	8	0	0.0	8	100.0	5	62.5	219	7	3.2	212	96.8	151	68.9
2	11	0	0.0	11	100.0	11	100.0	67	6	9.0	61	91.0	0	0.0
3	7	0	0.0	7	100.0	6	85.7	29	0	0.0	29	100.0	6	20.7
4	4	0	0.0	4	100.0	4	100.0	17	3	17.6	14	82.4	1	5.9
5	10	5	50.0	5	50.0	3	30.0	43	17	39.5	26	60.5	1	2.3
6	3	0	0.0	3	100.0	3	100.0	23	0	0.0	23	100.0	22	95.7
7	6	0	0.0	6	100.0	4	66.7	14	0	0.0	14	100.0	2	14.3
8	3	0	0.0	3	100.0	3	100.0	49	1	2.0	48	98.0	43	87.8
9	7	3	42.9	4	57.1	2	28.6	20	10	50.0	10	50.0	0	0.0
10	2	0	0.0	2	100.0	2	100.0	31	6	19.4	25	80.6	10	32.3

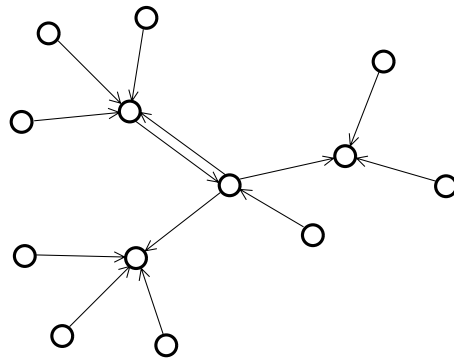


図1 共著ネットワークの例

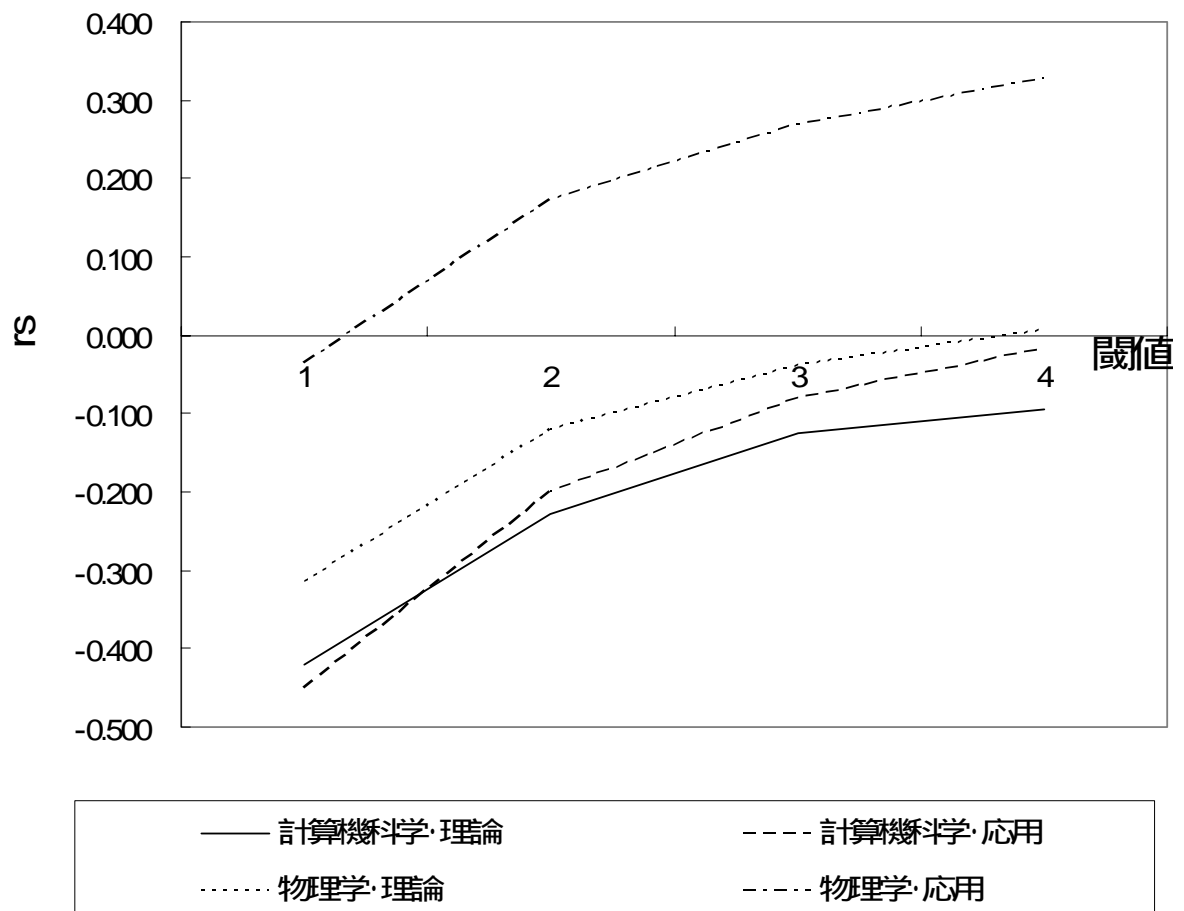


図2 相関係数の変化