

共同研究の關係を用いた研究領域の時系列解析

Time Series Analysis of Research Subjects using Collaborative Research Relationship

佐藤 和宏
Kazuhiro Satoh

大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

市瀬 龍太郎
Ryutaro Ichise

国立情報学研究所
National Institute of Informatics

栗原 聡
Satoshi Kurihara

大阪大学産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

沼尾 正行
Masayuki Numao

日本学術振興会学術システム研究センター / 大阪大学産業科学研究所
Japan Society for the Promotion of Science / The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

キーワード: data minig, knowledge discovery, knowledge domain visualization

概要

本研究の目的は、研究助成金申請データから研究分野間の關係性を抽出する手法を、研究領域の時系列変化の解析に応用することである。従来、学術研究の動向を調べる研究としては、論文のデータを用いる事が一般的であった。しかし論文を用いる方法には、研究分野によってバイアスがかかるという問題がある。これに対し著者らは、研究分野間の關係性の抽出に研究助成金申請データを用いることを提案し、その有効性を2005年度の科研費申請データを用いて示した。本論文では、その手法を複数年度のデータに対して適用し研究領域の時系列変化の解析を行った結果について説明する。解析結果として、時系列変化の抽出に対する有効性を示唆する結果が得られた。

1. はじめに

科学の知識は、私たちの生活を向上させるのに不可欠である。そのため、世界中で多くの研究者が科学的な知識の発見に取り組んでいる。現在の科学研究は、物理学や数学といった古典的な科学から、ナノマイクロ科学や環境科学といった複合領域まで幅広い分野をカバーしている。その結果、非常に多くの科学的な知識が、急速に生み出されている。Testaらが報告[11]しているように、現在、出版される学術雑誌は、20年前に比べると、70%以上増加していることも、これを裏付けている。

このように急速に拡大している科学研究に対して、現在の科学研究の全体像を掴むことは、研究の戦略を決定する研究企画者や研究費マネージャにとって重要なこととなる。たとえば、ある特定の研究分野と別の研究分野の共同研究が急速に拡大していることが分かれば、革新的な技術がその分野において生み出されていると予想することができる。なぜならば、そのような技術は、複数の研究領域の融合により生み出されるからである。そのような研究領域として、医療と工学を融合した医工学などの新領域が上げられるであろう。

このような学術研究の全体像をつかむ研究のほとんど

は、科学の知識が書かれている論文のデータに基づいて行われている。典型的なアプローチの一つは、共引用ネットワーク[10]のような引用情報を用いるものである。ChenとPaulは、論文のデータに含まれる引用の情報を利用して、研究に対する影響力から研究分野の構造をつきとめている[3]。阪らは、共引用關係を用いて研究領域を決定し、さらに研究領域間の距離を各研究領域における発表論文の分野分布から求める事で、学際的・分野融合的研究領域の分析を行っている[14]。論文データの共著ネットワークは、研究者のグループを同定するのに有用である。例えば、Börnerらが共著ネットワークを利用している[2]。また、市瀬らは、コミュニティとして、研究者グループの発見を行っている[6, 5]。論文の概要も研究領域を理解するのに有用である。Skupin[8, 9]や市瀬ら[4]は、研究領域の關係を解明するのに研究の概要やタイトルを利用している。しかし、論文のデータを利用することは、バイアスがかかってしまう問題点がある。それぞれの研究領域では、異なる論文出版の形式を取るため、論文だけで一律に異なる研究領域を取り扱うのは難しい。例えば、生物学の分野では、ジャーナル論文が多く発行されているが、数学の分野では、ジャーナル論文がそれに比べて、あまり発行されないなどの違いがある。

その結果、論文のデータを利用して、異なる研究領域を同じように比較することは難しいと言える。

異なる研究分野に対し規格化されたデータの一つに、研究助成金の申請データがある [13]。研究助成金の申請は、研究分野に関わらず同様の形式で提出され、専門家のピアレビューにかけられる。論文のデータとは異なり研究分野ごとのバイアスの問題が発生しないため、学術研究全体に対する知識を収集するという目的に対して、研究助成金のデータを用いることが有効であると考えられる。市瀬らは、[12]において研究助成金申請データから研究分野間の関係性を抽出する手法を提案している。本論文では、この手法について説明すると共に、それを複数年度にわたり適用することで、研究分野間の関係性の時系列での変化に関する解析を行う。

本論文の構成を以下に示す。2章では研究助成金申請データのモデルについて説明し、3章で研究助成金申請データから研究分野間の関係性を抽出する手法 [12]について説明する。4章では、実験に用いる研究助成金申請データである、科研費申請データについて説明する。5章では、3章で説明した手法の評価実験と結果の考察について説明する。5.2節では、[12]で実施した特定の年度の研究分野間の関係性の抽出結果について説明する。5.3節では、本論文で新しく実施した時系列変化の解析結果について説明する。そして6章で結論と今後の課題について説明する。

2. 研究助成金申請データのモデル

本章では、本研究で用いる研究助成金申請データのモデルについて説明する。現在、日本には基礎研究から応用研究まで、様々なタイプの研究助成金が存在する。そして、研究助成金のタイプによって必要となる記述内容が異なる。たとえば、基礎研究の助成金申請に対しては論文や研究の動向が重要な役割を果たし、応用研究に対しては特許や社会動向が重要な役割を果たす。

本研究では、研究助成金申請データについて、研究分野、研究代表者の氏名、研究グループメンバーの氏名という最小限の要素が含まれていると仮定する。一般的に、研究助成金申請データには研究分野の情報が含まれる。もしこの情報が抜けていれば、同分野の専門家によるピアレビューを行うことが出来ないからである。言い方を変えると、研究分野の情報はピアレビューを行う専門家を選ぶために必要となる。そのため、申請者によって研究分野の情報が付加されていると期待することが出来る。また、助成金を申請する研究プロジェクトは、一人以上の研究者から成る研究グループによって実施される。以降では、研究を申請した人を研究代表者、他の研究者を研究分担者と呼ぶ。研究助成金申請データに対して上記の要素を仮定することにより、図1に示すモデルを構築することが出来る。

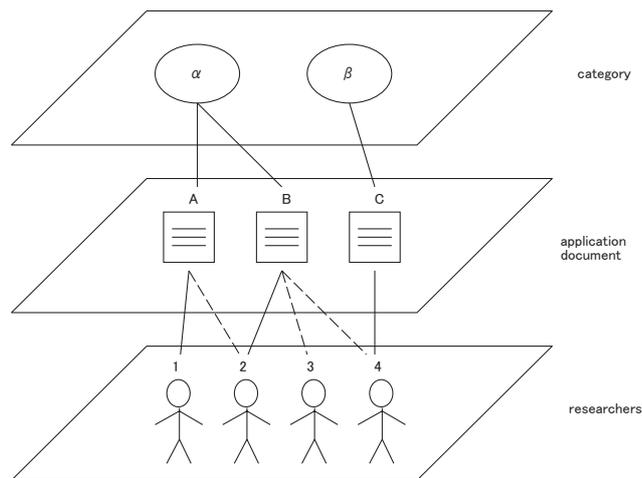


図1 研究助成金申請データの構造モデル

図1において、申請文書と研究分野の関係、そして申請文書と研究者の間関係は線で表現されている。申請文書としてA、B、Cの三つの文書が示されており、うち二つが分野αに、一つが分野βに提出されている。それぞれの申請文書は研究プロジェクトに対する企画であり、3つの研究プロジェクトに対して合わせて4人の研究者が関係している。図1では、各申請に対する研究代表者は実線で、研究分担者は点線で示されている。例えば、研究者1は申請Aの研究代表者であり、研究者2は申請Aの研究分担者であるとともに申請Bの研究代表者でもある。

3. 研究分野間の関係性

図1に示すように研究助成金申請データをモデル化することで、研究テーマ間の関係性を抽出することが出来る。例えば、図1の研究者4について考えてみると、彼は分野βの申請Cの研究代表者であるので分野βの専門家であると考えられる。しかしながら、彼は分野αの申請Bの研究分担者でもある。このことから、彼は分野αに分野βの知識を提供する役割を担っていることが分かる。この様に、このモデルを用いることで学際的な研究分野を特定することが出来る。学際的な研究は時として革新的な技術の開発に対して重要となる。学際的な研究分野の例として、生物学、医学、情報学などの分野が関係するゲノム科学などが挙げられる。もし最近の密接に関係する研究分野を特定することが出来れば、新しく興りつつある革新的な技術を特定することが出来る。

上でも触れたように、本研究では、学際的な分野を特定するために図1の研究者4の様に複数の研究テーマにまたがって研究する研究者の人数を用いる。この方法により、研究テーマ間の関係性の強さを評価することができ、また研究テーマをノードとし、研究テーマ間の関係性をエッジとしたグラフを求めることが出来る。例えば

図1において、分野 α を表現するノードと分野 β を表現するノードは、研究者4のみによってつながっているので、重さ1のエッジによって接続される。ここで、研究者2は複数の研究プロジェクトのメンバであるが、両方のプロジェクト共に分野 α に属しているため、彼は学際的研究に寄与していないことに注意する必要がある。そのため、彼の貢献は提案手法によって得られるグラフ上には現れない。

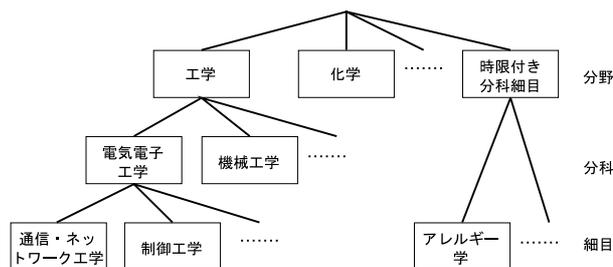


図2 科研費の研究分野階層構造

4. 科学研究費補助金

日本の政府から提供される研究助成金は複数存在する。その中でもっとも一般的なものが、日本学術振興会および文部科学省によって提供される科学研究費補助金 [13] である。以降では、これを科研費と呼ぶ。本研究では、この科研費の申請データを実験用データとして用いる。

それぞれの科研費の応募文書に対して、応募者は研究プロジェクト名、研究代表者名と研究分担者名、研究計画、経費の要求額、ピアレビューのための研究分野などの情報から成る研究提案書を提出する必要がある。応募された研究はピアレビューにかけられ採択が決定される。ピアレビューのプロセスは日本学術振興会および文部科学省によって公平に行われる。

研究者は、応募フォームに従って新たな研究プロジェクトについて説明する必要がある。科研費には、基盤研究、若手研究、萌芽研究など幾つかの種類が存在する。通例として、一人の研究者が研究代表者として応募できるのは、一年間当たり一つの研究プロジェクトに限られている。しかしながら、幾つかの種類は、応募者に対して複数のプロジェクトでの応募を許可している。そのため、応募者は複数の応募の研究代表者になることが出来る。しかしながら、科研費は複数の研究分担者になることは制限していない。

前章において、研究分野の情報を用いた研究助成金申請データのモデルについて説明した。科研費申請の研究分野は、図2に示すように階層的に編成される。最上位の層は分野と呼ばれ、表1に示す11種類の研究分野から構成される。各分野は幾つかの分科からなる。例えば、工学の分野は図2に示すように電気電子工学や機械工学などから成る。そして分野と同様に、各分科は複数の細目に分けられる。ここで、時限付き分科細目のみ特殊な構造をしていることに注意する必要がある。時限付き分科細目は、重要性が高く迅速な促進が必要な、一時的な研究細目から成る。例えば、2005年度の時限付き分科細目の細目の一つにアレルギー学がある。通常、アレルギー学は免疫学の細目として分類される。しかしながら、アレルギー学は免疫学のごく小さな領域に過ぎないため、免疫学のグループでのみアレルギー学の応募を審査した場合、多くの研究を採択することは難しい。現在多くの患者がアレルギーによって苦しんでいるため、この分野の

表1 分野名と略称

略称	分野名
GA	総合領域
CA	複合新領域
HS	人文学
SS	社会科学
MP	数物系科学
CH	化学
EN	工学
BI	生物学
AG	農学
MS	医歯薬学
TA	時限付き分科細目

研究を促進する必要がある。そのため、この特別な細目が一時的に時限付き分科細目に設定されている。このように時限付き分科細目は様々な分野の混合として成立している。そのため時限付き分科細目には分科がなく、細目のみで編成されている。

5. 実験

5.1 科研費申請データと実験設定

3章で説明した手法を評価するために、科研費申請データを用いた実験を行った。用いたデータは2005年度から2007年度の科研費申請データである。分野ごとの分科数、細目数を表2に示す。この数は、2005年度から2007年度のあいだ変化しなかった。3章で説明した手法を用いて、各細目間の関係性を調査した。

実験で用いたデータの一般的な統計情報を表3、表4、表5に示す。ここで、1行目は各分野の応募数、2行目は研究代表者数である。一般的に一つの応募に対して一人の研究代表者が存在するため、研究代表者数と応募数は等しくなるはずである。しかしながら、実際は研究代表者数のほうが応募数よりも少ない。これは一人でも複数応募している研究者が存在するためである。3行目は、分野ごとの研究分担者として登録されている研究者の人数である。4行目は、分野ごとの研究代表者と研究分担者の合計人数である。これは、複数の応募に重複して記述されている人数を含むのべ合計人数である。例えば表3の総合領域を見ると、研究代表者数が9547人であり研究分

表 2 分野ごとの分科数, 細目数

	GA	CA	HS	SS	MP	CH	EN	BI	AG	MS	TA	total
分科数	10	8	7	7	5	3	8	3	9	8	-	68
細目数	30	16	24	29	21	13	49	18	27	70	14	311

表 3 分野ごとの応募数, 研究者数および一応募辺りの研究者数 (2005 年度)

	GA	CA	HS	SS	MP	CH	EN	BI	AG	MS	TA	total
応募数	9949	4369	4192	6275	5366	3515	12001	3385	5048	27002	558	81660
研究代表者数	9547	4152	4140	6179	5004	3174	10952	3172	4644	25577	558	-
研究分担者数	8330	4744	4080	6111	4524	1748	8360	1753	3855	19067	707	-
総研究者数	20212	9897	9218	13718	12459	5589	23523	5543	10312	58731	1342	170544
平均人数	2.032	2.265	2.199	2.186	2.322	1.590	1.960	1.638	2.043	2.175	2.405	2.088

表 4 分野ごとの応募数, 研究者数および一応募辺りの研究者数 (2006 年度)

	GA	CA	HS	SS	MP	CH	EN	BI	AG	MS	TA	total
応募数	10041	4255	4323	6521	5198	3394	11560	3311	5175	26786	487	81051
研究代表者数	9655	4091	4279	6428	4912	3100	10639	3126	4811	25603	487	-
研究分担者数	7806	4220	4092	6194	4105	1305	7406	1530	3705	18844	636	-
総研究者数	19370	9049	9240	13999	11181	4908	21304	5098	10040	57453	1164	162806
平均人数	1.929	2.127	2.137	2.147	2.151	1.446	1.843	1.540	1.940	2.145	2.390	2.009

表 5 分野ごとの応募数, 研究者数および一応募辺りの研究者数 (2007 年度)

	GA	CA	HS	SS	MP	CH	EN	BI	AG	MS	TA	total
応募数	10577	4215	4704	6928	5219	3394	11760	3355	5194	27723	772	83841
研究代表者数	10127	4030	4651	6841	4855	3052	10740	3127	4779	26449	772	-
研究分担者数	8659	4377	4816	6644	4772	1423	7701	1781	3915	20675	852	-
総研究者数	20745	9086	10323	14587	11345	5011	21436	5393	10112	59741	1703	169482
平均人数	1.961	2.156	2.195	2.106	2.174	1.476	1.823	1.607	1.947	2.155	2.206	2.021

担者数が 8330 人である。これらを合計すると 17877 人となるが、総研究者数は 20212 人とそれよりも大きい数字となっている。これは、総研究者数の値は複数の応募に重複して記述されている研究者をカウントしているためである。5 行目は一応募あたりの研究者数の平均人数である。この数値は、分野ごとの協調の傾向を知るために重要となる。例えば、研究代表者を除いた一応募あたりの平均研究者数は、生物学の分野では 0.638 人であり、複合新領域の分野では 1.265 人である。この事は、複合新領域は生物学に比べて研究の目的を達成するためにより多くの研究者を必要とする事を示している。

5.2 実験 1

まず 2005 年度のデータを用いて、特定の年度の分野間のつながりに関する調査を行った。3 章で説明した手法を用いて、2005 年度の科研費申請データに対するグラフを作成した。グラフの描画には Pajek[1] を用い、ノードの配置には Kamada-Kawai モデル [7] を用いた。また、細目を表すノードを分野ごとにまとめるために、分野内のノードをつなぐエッジを追加している。例えば、総合領域の 30 細目は、それぞれ不可視のエッジでつながれている。また単純化のために、応募数が 100 以下のノードおよび重み 20 以下のエッジは除去している。

図 3 に、提案手法によって得られたグラフを示す。こ

こで、ノードの大きさは応募数を表し、色は研究分野を表している。各ノードの番号は、研究細目番号と対応している。この番号は、総合領域、複合新領域、人文学、社会科学、数物系科学、化学、工学、生物学、農学、医歯薬学そして時限付き分科細目の細目の順番につけられている。例えば、図 3 の左上に位置する、3000 番付近の赤色のノード群は人文学の細目を表している。図より、総合領域の黒色のノードと複合新領域の茶色のノードは、複数の分野をつなぐ役割を果たしている事がわかる。実際これらの分野は、近年新しく持ち上がった問題の解決や、新しい技術の開発などを目的として設置された研究分野であり、化学や生物学、社会科学など様々な分野の知識を必要とする。例えば、複合新領域の細目の一つであるマイクロナノデバイス (細目番号 2103) は新しい技術を開発するための重要な細目である。図 3 から、この細目は薄膜・表面界面物性 (4902) と電子デバイス・電子機器 (5103) の知識を必要とすることが分かる。

提案手法を用いることで、上記のような知識を科研費申請データから得ることが出来る。上記のほかに、医歯薬学の領域では分野内の協調が多くなされている事や、生物学の分野では他の分野との協調がつながりが少ない事などが分かる。これは、医歯薬学の研究には様々な分野の知識を必要とするが、生物学の研究は他の分野の知識をあまり必要としない事を示唆している。また複合新

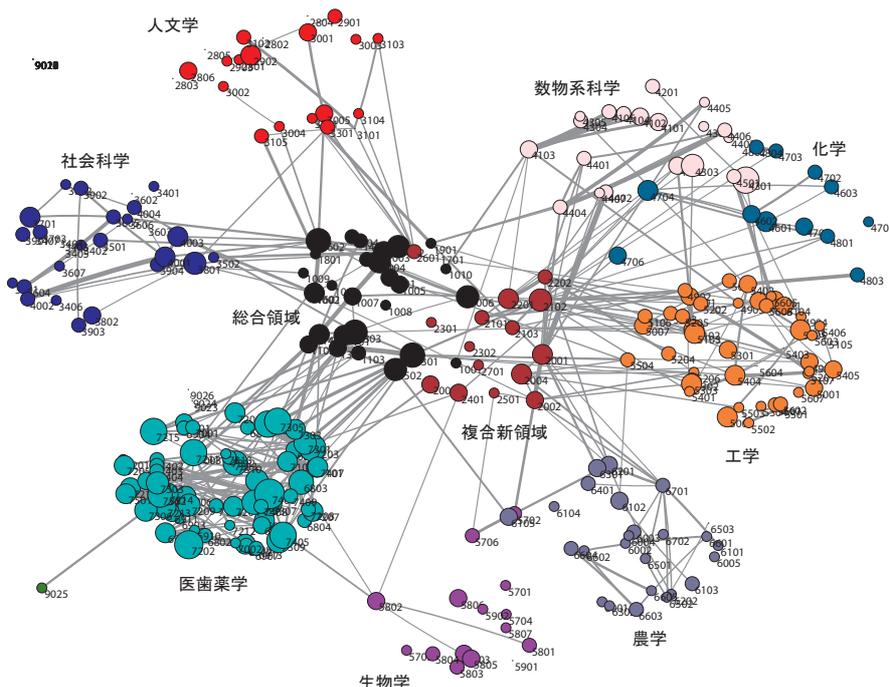


図 3 研究分野間の関係 (2005 年度)

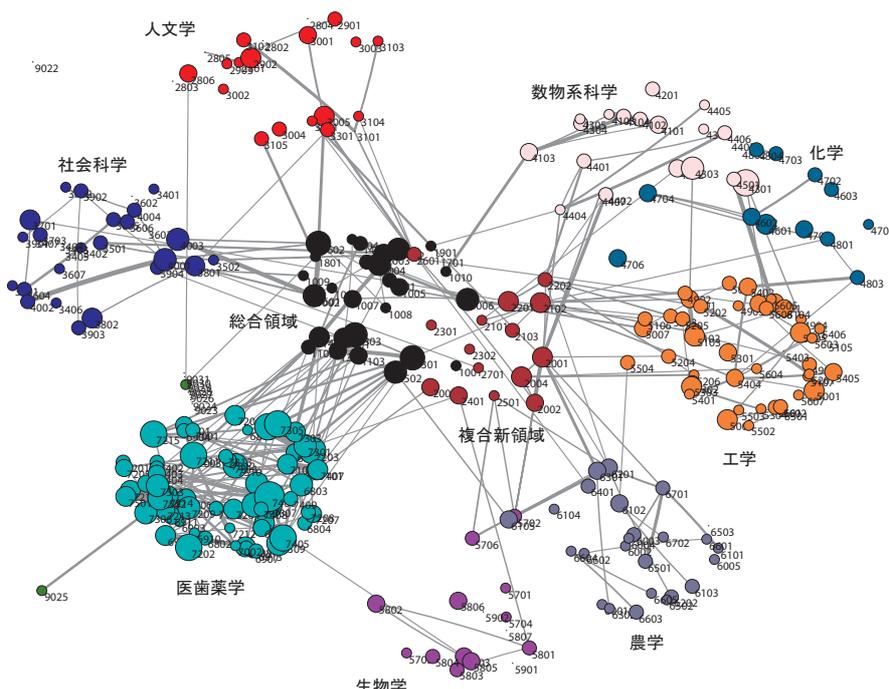


図 4 研究分野間の関係 (2006 年度)

領域の地域研究 (2601) は、人文科学や社会学の多くの細目にとって重要な細目であることが分かる。このことから、複合新領域は両分野にとって重要な分野であることが分かる。

次に、実験結果について定量的な議論を行う。表 6 は、複数の細目にまたがって研究を行っている研究者数、つまり図 3 のエッジ数を分野ごとにまとめた表である。表の上および左の列は研究分野を表し、数値は複数の細目

の研究プロジェクトのメンバーとなっている研究者の人数を表している。例えば、総合領域の中の複数の細目で研究を行っている研究者数は 1974 人であり、総合領域と複合新領域の両方の細目で研究を行っている研究者数は 754 人である。ここで、本研究では細目間のつながりの方向性を考えていないため、表 6 は対称的であることに注意する必要がある。また図 3 のグラフでは、20 人以下の重みのエッジは枝刈りしているため、表の値に比べ

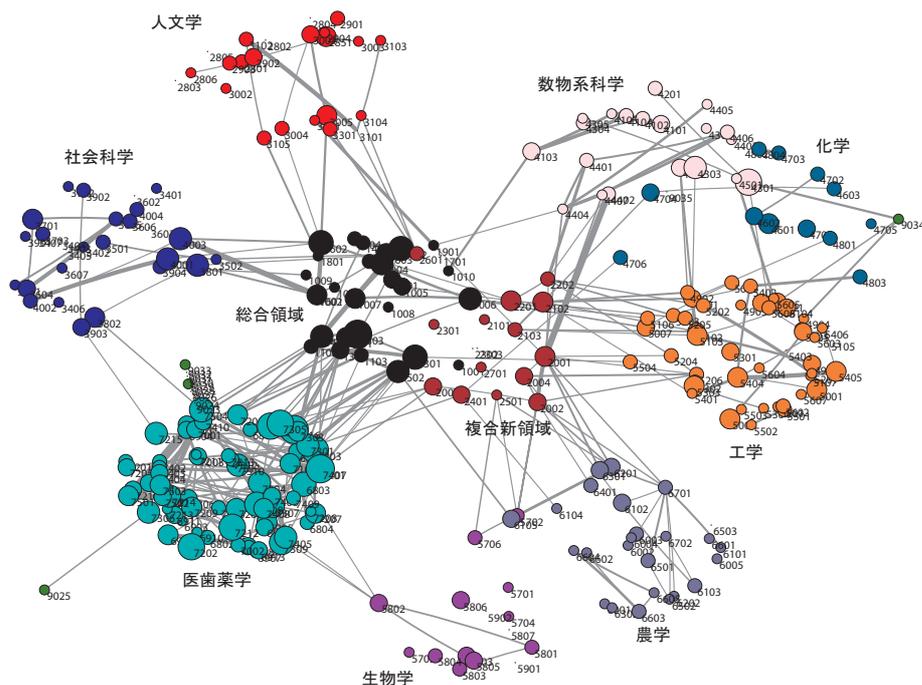


図 5 研究分野間の関係 (2007 年度)

グラフ上のエッジ数は少なくなっている．合計人数を見ると，総合領域と医歯薬学において多くの研究者が複数の細目で研究を行っていることがわかる．しかし学際的な傾向は二つの分野で異なる．総合領域では，全体の 20% 以下が複合領域内の細目同士でのつながりであるが，医歯薬学では，全体のほぼ 60% が医歯薬学内の細目同士のつながりである．この事からも，複合領域は学際的な研究を促進する上で重要な役割を担っている事が分かる．このような傾向は，図 3 から読み取ることができる．この様な傾向は，図 3 から読み取ることができる．一方，細目間のつながりが少ない分野としては，人文学，化学，生物学があるが，これらも研究の傾向はそれぞれ異なる．人文学，化学は特定の分野のみと強く関係しているが，生物学は様々な分野と広く関係している．この傾向もまた，図 3 から読み取ることができる．ここで図 3 では，人文学，化学の分野内のエッジに比べて，生物学の分野内のエッジが表の数値以上に少なく見えるが，これは重みの小さいエッジを枝刈りしているためである．

5.3 実験 2

次に 2005 年度から 2007 年度のデータを用いて，分野間のつながりの時系列変化に関する調査を行った．実験 1 と同様に，提案手法を用いて 2006 年度，2007 年度の科研費申請データに対するグラフを作成し，Pajek を用いてその描画を行った．ここで年度ごとの比較を容易にするために，各ノードは図 3 と同様の位置に配置している．またエッジの枝狩りは，実験 1 と同様の条件で行っている．

図 4，図 5 に，提案手法によって得られた 2006 年度，

2007 年度のグラフを示す．これらの図から分かる事として，まず社会科学と医歯薬学とのつながりの変化が挙げられる．図 5 を見ると，社会科学の臨床心理学 (3903) と医歯薬学の精神神経科学 (7215) との間のエッジと，社会科学の社会福祉学 (3802) と医歯薬学の地域老人看護学 (7504) の間のエッジが新しく発生している．この事から，社会科学と医歯薬学の間への繋がりが近年強くなってきているという事が分かる．また，図 3 と図 4 とを比べると，工学と他の分野との繋がりが減少していることが分かる．2005 年度には存在した数物系科学の数学一般 (4103) と工学の工学基礎 (4905) との間のエッジや，数物系科学の原始・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ (4105) と工学の原子力学 (5606) との間のエッジ等が，2006 年度には消滅している．

提案手法を用いることで，上記のような研究分野の時系列変化に関する知識を科研費申請データから得ることが出来る．上記の知識について専門家へのヒアリングを実施したところ，社会科学と医歯薬学の間の変化については専門家がそのような社会情勢を認識している事を確認することが出来た．この事は提案手法を用いることによって様々な分野に対する新たな研究動向を自動的に発見できることを示唆している．一方，2005 年度から 2006 年度の工学の変化については，研究情勢の変化ではなく，科研費申請の制度の変化が原因だという意見を頂いた．近年，科研費申請において研究分担者に課せられる責任が増加し，その結果研究グループのメンバーを公式に研究分担者として申請することが減ってきている．そのため，2006 年度は 2005 年度に比べて工学の分野を中心にエッ

表 6 複数の細目で研究を行っている研究者数 (2005 年度)

	GA	CA	HS	SS	MP	CH	EN	BI	AG	MS	Total
GA	1974	754	538	922	477	151	1268	325	380	3532	10321
CA	754	621	410	528	673	503	1827	457	876	861	7510
HS	538	410	838	517	33	2	73	31	71	59	2572
SS	922	528	517	1382	58	4	122	21	88	351	3993
MP	477	673	33	58	1466	202	962	116	93	65	4145
CH	151	503	2	4	202	698	693	83	98	227	2661
EN	1268	1827	73	122	962	693	3298	109	337	451	9140
BI	325	457	31	21	116	83	109	461	447	732	2782
AG	380	876	71	88	93	98	337	447	1340	456	4186
MS	3532	861	59	351	65	227	451	732	456	9928	16662

ジ数が減少したのだと思われる。これは、工学の分野に限らず他の分野にも言える事だが、特に工学は他の分野との連携が密なため、この減少が顕著に現れたのだと思われる。この問題を受けて、2007 年度からは従来の研究分担者よりも責任の少ない連携研究者という形で研究グループのメンバーを登録できるという制度が始まった。2007 年度のエッジ数が 2006 年度に比べてやや増加傾向にあるのは、従来申請していなかった研究グループのメンバーをこの連携研究者として申請しているためであると思われる。

6. 終わりに

本論文では、研究助成金申請データから研究分野間の関係性を抽出する手法について説明すると共に、その手法を複数年度に渡り適用することで研究分野間の関係性の時系列変化に関する解析を行った。その結果、社会科学と医歯薬学の関係の変化など、専門家の認識する研究動向の変化を確認することが出来た。この様に、この手法が研究領域の時系列変化の抽出に対しても有効であることを示唆する結果が得られた。

今後の課題としては、モデルの改善、可視化方法の改善の 2 点が挙げられる。モデルの改善としては、まず分野間の繋がりの方角性を考慮することが考えられる。例えば図 1 において、分野 α と β は研究者 4 を通じて関係しているが、研究者 4 は分野 α に対しては研究代表者として関わっており、分野 β に対しては研究分担者として関わっているため、研究者 4 を介した分野 α と β の関係性は非対称である。このような非対称の関係を、エッジの方角性としてモデル化することで、現在のモデルでは見落とされていた情報が抽出できると考えられる。また、科学研究費補助金のデータ項目のうちで、分科や種別（萌芽研究、若手研究、基盤研究）など現在用いていない情報を用いることも考えられる。可視化方法の改善としては、時系列変化の可視化がある。今回は、各年度のデータを可視化し、それらを単純に比較することで時系列変化に対する知見を得ている。これに対し年度ごとのエッジの差分を見せるなどの方法で、時系列変化の情

報を直接可視化する事が考えられる。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [1] Vladimir Batagelj and Andrej Mrvar. *Pajek Reference Manual*, 2008.
- [2] Katy Börner, Luca Dall'Asta, Weimao Ke, and Alessandro Vespignani. Studying the emerging global brain: Analyzing and visualizing the impact of co-authorship teams. *Complexity*, 10(4):58–67, 2005.
- [3] Chaomei Chen and Ray J. Paul. Visualizing a knowledge domain's intellectual structure. *Computer*, 34(3):65–71, 2001.
- [4] Ryutaro Ichise, Setsu Fujita, Taichi Muraki, and Hideaki Takeda. Research mining using the relationships among authors, topics and papers. In *Proceedings of the 11th International Conference on Information Visualization*, pages 425–430, 2007.
- [5] Ryutaro Ichise, Hideaki Takeda, and Taichi Muraki. Research community mining with topic identification. In *Proceedings of the 10th International Conference on Information Visualization*, pages 276–281, 2006.
- [6] Ryutaro Ichise, Hideaki Takeda, and Kosuke Ueyama. Community mining tool using bibliography data. In *Proceedings of the 9th International Conference on Information Visualization*, pages 953–958, 2005.
- [7] Tomihisa Kamada and Satoru Kawai. An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters*, 31:7–15, 1989.
- [8] Andre Skupin. A cartographic approach to visualizing conference abstracts. *IEEE Computer and Graphics and Applications*, 22(1):50–58, 2002.
- [9] Andre Skupin. The world of geography: Visualizing a knowledge domain with cartographic means. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(1):5274–5278, 2004.
- [10] Henry Small. Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society of Information Science*, 24:265–269, 1973.
- [11] James Testa. Journal selection for web of science. Thomson-UniBio Press joint seminar, Tokyo, 2007-4-5, 2007.
- [12] Ryutaro Ichise, Kazuhiro Satoh, Masayuki Numao. Elucidating Relationships among Research Subjects from Grant Application Data. In *Proceedings of the 12th International Conference on Information Visualization*, pages 427–432, 2008.
- [13] 沼尾 正行. 科学研究費に関する各種データの分析 - データマイニングおよび研究者ネットワーク分析に向けて -. 学術月報. 60 (10). pages 38–43. Oct 2007.
- [14] 阪彩香, 伊神正貴, 桑原輝隆: 科学技術政策研究所 NISTEP REPORT No.110 サイエンスマップ 2006