

Title	新規材料研究の変遷には何が影響するのか：グラフェンに関する研究の変遷
Author(s)	坂本, 優莉; 吉岡 (小林), 徹; 江藤, 学
Citation	年次学術大会講演要旨集, 36: 787-791
Issue Date	2021-10-30
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/17828
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

新規材料研究の変遷には何が影響するのか：グラフェンに関する研究の変遷

○坂本 優莉（一橋大学 IMPP）、吉岡（小林） 徹（一橋大学）、江藤 学（一橋大学）

1. はじめに

本研究では、グラフェンを研究対象としてきた研究者に着目し、研究の変遷における因果関係について明らかにすることを目的とする。Merton (1968)は著名な科学者と比較的知られていない研究者では、たとえ両者の研究内容が似ていても著名な科学者の方多くの評価を得ることはマタイ効果の影響であり、著名な科学者による科学への貢献の認知度を高め、知名度の低い著者による貢献の認知度を下げることにつながると示した。さらにその効果により科学的資源や才能の集中をもたらしていると明らかにしている。そこで、マタイ効果により過去の研究費獲得が現在の研究費獲得を促進したり、過去の共同研究の多さが現在の共同研究を促進したりすることで研究費や研究者が一部に集中し分野全体にける研究テーマが限定されていくのではないかと考えた。今回、(1)過去の研究費集中性および過去の研究ネットワーク中心性の研究費獲得への影響の変化、(2)過去の研究費集中性および過去の研究ネットワーク中心性の研究ネットワークへの影響の変化、を把握するための分析を行った。

2. 先行研究と本研究の仮説

2.1. 研究費集中性に関する先行研究

Shibayama (2011)は日本の学術界における競争的研究費のデータベースを用いて、大学および個人レベルでの研究費の分配の不平等さを検証した。過去 30 年間で研究費の総額や研究者数、助成金の制度は変化した。大学および個人レベルでの研究費分布の不平等さはほとんど改善されなかった。また、不平等の程度は分野によって大きく異なることも示された。更に若手かシニアかというキャリア段階においても研究費分布は不平等であり、その程度も分野によって大きく異なることが示された。そして、研究費分布が論文分布よりも不平等であることも明らかにし、研究費の過剰な集中が、論文分布の不平等さに起因する以上に研究費分布を不平等にしている可能性を報告している。¹

Aagaard (2020)は研究費の配分と科学的な成果について、科学の進歩を支えるには限られた少数のエリート科学者に高い比率で研究費を配分すべきか、またはより多くのチームや個人に小分けにして研究費を配分すべきか議論した。これまでの研究費の配分と研究業績の関係に関する多くの論文では研究費の多さに対して研究業績が一定若しくは減少していることを示し研究費の分散化を支持していることを報告している。そして、研究費の集中化・分散化はバランスの問題であり、分野固有の特性や国の研究費調達システムの全体的な構成に関連する要因への依存性を考慮して最適化するべきであると主張している。²

2.2. 研究ネットワーク中心性の効果に関する先行研究

Hou (2008)や Defaizo (2009)は共同研究ネットワークにおける中心性の高さと論文数に正の相関関係があることを示した。続いて、Abbasi (2011)は研究者の共著ネットワークから得られるソーシャルネットワーク指標が Hirsch (2005)が提案した論文の量と質を考慮した研究者の引用パフォーマンスの指標 (h-index)に与える影響を分析した。そこで Cimenler (2014)はコミュニケーション・論文・研究費申請・特許から得られる共同研究ネットワークから得られる中心性などのソーシャルネットワーク指標が論文の引用によって測定される研究者の h-index に与える影響を分析した。その結果、論文・研究費申請・特許から得られる度数中心性が h-index に正の影響を与えていたと明らかにした。³

Li (2013)は共著関係における各種中心性の指標がどのように相互作用し論文の被引用数に影響するのか分析した。研究者は共著により媒介中心性が上がることで引用数が上がる、若しくは論文数の多い研究者と関わることでネットワークのつながり、構成、個人間の接続密度など構造的な位置関係を向上することができることを示された。一方で、過剰な異なる研究者との協力は論文数の多い研究者に不信感を抱かれ共著の機会を失う可能性も示した。⁴

2.3. 先行研究を踏まえた仮説

研究費獲得と共同研究や生産性の関係性を示した先行研究としては Defazio (2009)が挙げられる。研究費を確保する条件として共同研究を行うことが求められる EU の資金援助を受けている研究者について、研究費の存在が共同研究の行動や生産性に与える影響を調査した。その結果、研究費調達の機会を利用して形成された共同研究は、短期的には研究者の生産性を高める効果はないものの、長期的には効果的に共同研究を促進している可能性が示された。⁵

これらの先行研究では過去の研究費の獲得や研究ネットワークの中心性が現在のそれらにどのように影響するかは分析されてなく、また、それらの影響が分野内の研究の変遷にどのように反映されるのかは示されていない。そこで、本研究のリサーチクエスションを明らかにするため、探索的な仮説として、(1)過去の研究費集中性および過去の研究ネットワーク中心性が研究費獲得に影響、(2)過去の研究費集中性および過去の研究ネットワーク中心性が研究ネットワークに影響することで分野が変遷すると考えた。

3. グラフェンの研究について

3.1. これまでのグラフェン研究の概要

グラフェンは炭素原子が sp^2 結合により蜂の巣状に 6 員環構造をなした単原子層物質で、原子 1 層分の厚みをもつ理想的な 2 次元材料である。特異なバンド分散とキャリア輸送特性を有することから注目を集めてきた。電荷の移動度が極めて大きいなど特異な電子物性を持つことから、従来の材料では困難な機能・性能を実現しうる各種機能デバイス用材料として期待されてきた。

応用先としては、電界効果型トランジスタのチャネル材料への導入を中心とした電子デバイスが挙げられる⁶。ビッグデータによる新しい価値の創出に伴いセンシング技術の発展が様々な分野に及び、そこで必要とされる電子デバイス技術の一つとしてエレクトロニクスやフォトンクスへの応用が研究されてきた。その他にも、微細化の限界が予想される半導体デバイスにおける動作の高速化や低消費電力化⁷、シリコンデバイスとグラフェンの融合による高周波・光デバイスの向上、情報通信技術に必要な光波と電波の融合域であるテラヘルツ領域での次世代光通信デバイスへの応用⁸が期待できる「夢の材料」として、一気に研究が活発化されてきた。

しかし、グラフェン研究における科学的な課題は多く、バンドギャップがないことによるスイッチング動作の困難や熱的・化学的・機械的に安定なキャリアドーピング技術の欠如、合成がまだ十分に確立していないことが挙げられる。

このように課題が多いにもかかわらず、多くの研究者が参入しブームが起きた。原子単層としての存在、材料組成、電気特性としての高い移動度や特異な量子ホール効果など特異で秀逸な電子物性を持つ物理的性質が多く、研究者を魅了したこと、粘着テープを利用するサンプル準備の簡便さや光学顕微鏡で確認できる手軽さがグラフェン研究ブームのきっかけとして挙げられる⁹。更に、応用面からもエレクトロニクス・スピントロニクスデバイス、透明電極、触媒、電池材料、力学材料と多くの分野で次世代材料として応用技術への展開されたことで基礎科学から応用まで多くの研究者が参入した。

3.2. グラフェン研究の歴史¹⁰⁻¹³

グラフェン研究で節目となるような主な研究を上げると、1947 年にグラファイトの電子状態の一部としてグラファイト一層分の場合の電子状態についての報告があり、1971 年にはセロハンテープを用いたへき開によりグラファイトを 50%の光を透過するまで薄くしその電気特性が報告された。また、1998 年にグラフェンの電子輸送現象に関する理論が報告された。そして 2004 年に粘着テープ剥離により単層としてのグラフェンの存在を初めて示し、その電気特性として高い移動度が示された。翌年にはほぼ同時に異なる 2 つの研究チームがグラフェン特有の量子ホール効果を報告し、2010 年のノーベル物理学賞につながった。その間、2009 年以降にはグラファイトのテープによる剥離とは異なる方法として金属箔を基材とした熱 CVD 法による合成法とその転写法が報告されていた。

このようにこれまでのグラフェン研究の特徴としては、偶発的な挑戦による成果、精密化や応用を目指した技術の進歩による成果、新しい展開の開拓による成果が含まれている。また、他のノーベル賞と比較して、2004 年の報告から 2010 年のノーベル賞の受賞は早いことや受賞後に多分野の多くの研究者が参入してきたこともグラフェン研究の特徴と考えられる。

3.3. グラフェン研究件数の概要

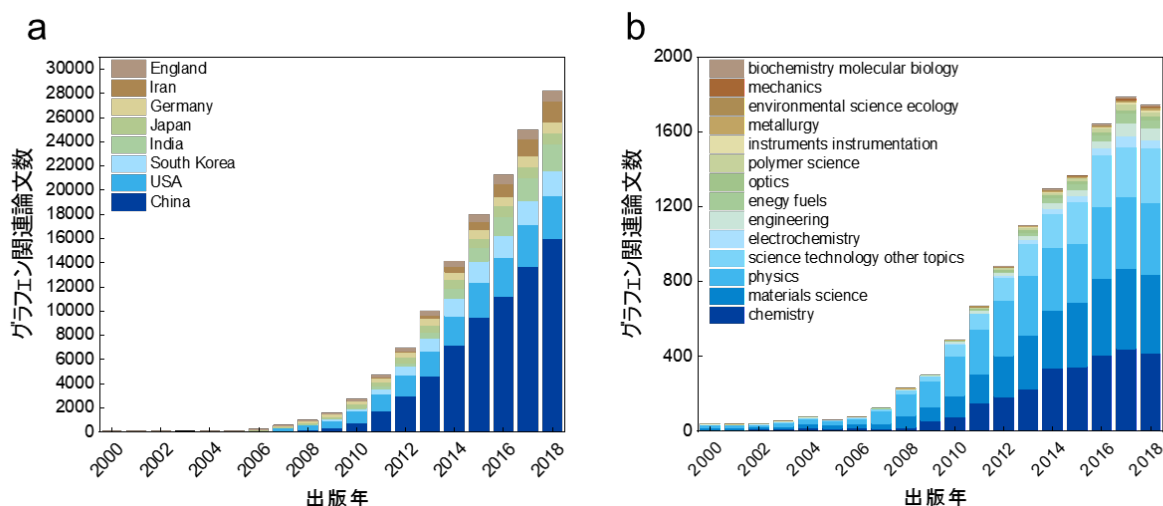


図 1 Web of Science に登録されているグラフェンをトピックとした論文数の推移。
(a)世界の論文の国別論文数, (b)日本の研究者による論文の分野別論文数。

Clarivate Analytics 社の論文データベース, Web of Science に登録されているグラフェンをトピックとした論文数は主に中国が大半を占めており, アメリカ, 韓国, インド, 日本, ドイツ, イラン, イギリス, と続く. (図 1a)年代ごとに論文数の推移をみると, 20??年以降指数関数的に急増していた. また, 日本の研究者による論文について, 分野の推移をみると化学, 材料科学, 物理, がほぼ等しい割合で増えていた. (図 1b)

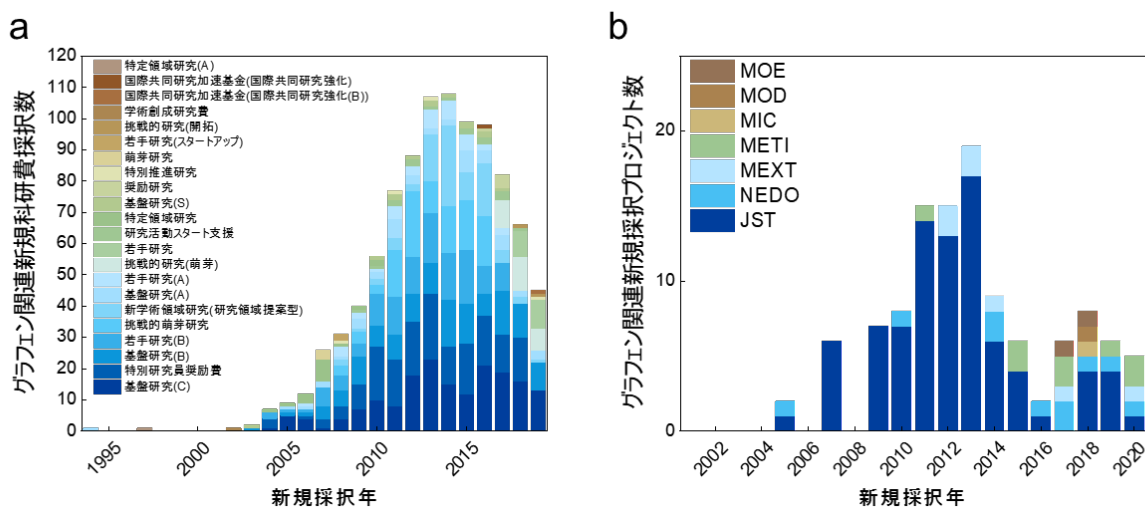


図 2 日本におけるグラフェン関連研究課題の研究費採択状況の推移。
(a)KAKEN に登録されているグラフェン関連新規科研費採択数,
(b)省庁によるグラフェン関連新規プロジェクト採択数。

一方, 研究費の獲得状況については, 科研費データベースにおいてグラフェンをキーワードとした課題数の推移によると, 2003 年ごろにはじまり 2006 年以降急増し, 2014 年以降は減少傾向になっていた. (図 2a)そして, 科研費以外の, 各省庁がプロジェクトとして公募している研究課題については, 2005 年以降に科学技術振興 (JST), 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 文部科学省(MEXT), METI(経済産業省), 総務省(MIC), 防衛省(MOD), 環境省(MOE)においてそれぞれ採択され 2013 以降新規採択数は減少していた. (図 2b)

4. 分析方法

4.1. 分析対象データ

本研究では、2009 年までにグラフェンをキーワードとして科研費を少なくとも一度採択されたことのある 90 人の研究者を対象とした。

- ・研究費獲得に関するデータ

科研費データベース(KAKEN)から対象研究者の 2001 年から 2013 年の科研費採択状況を取得した。対象研究者の科研費以外の各省庁のプロジェクトによる助成への採択状況は日本の研究.com から取得した。

- ・共著ネットワークに関するデータ

Clarivate Analytics 社の論文データベース、Web of Science (WoS)から対象研究者の論文 (Article, Proceedings, Letter) データを取得した。

4.2. 分析方法

- ・過去の研究費集中性および過去の研究ネットワーク中心性の研究費獲得への影響

2004 年～2006 年、2007～2009 年、2010 年～2012 年の 3 期における科研費採択・プロジェクト採択状況を、各期の初年を t 年として $t-2 \sim t$ 年の論文共著ネットワークにおける中心性及び $t-3 \sim t-1$ 年の科研費採択・プロジェクト採択状況と結び付けてデータセットを作成した。当期の科研費採択・プロジェクト採択状況を被説明変数とし、各期の開始年から作られるダミー変数と研究者 ID 別のダミーを制御変数として、前期の論文共著中心性、前期の科研費採択・プロジェクト採択状況を説明変数としてロジスティック回帰分析を行った。

- ・過去の研究費集中性および過去の研究ネットワーク中心性の研究ネットワークへの影響

2004 年～2006 年、2007～2009 年、2010 年～2012 年の 3 期における論文共著ネットワークにおける中心性を、各期の初年を t 年として $t-3 \sim t$ 年の論文共著ネットワークにおける中心性及び科研費採択・プロジェクト採択状況と結び付けてデータセットを作成した。当期の論文共著ネットワークにおける中心性を被説明変数とし、各期の開始年から作られるダミー変数と研究者 ID 別のダミーを制御変数として、前期の論文共著中心性、前期の科研費採択・プロジェクト採択状況を説明変数としてロジスティック回帰分析を行った。

5. 結果

まず、仮説 1 に基づいたロジスティック回帰分析の結果として、前期の科研費採択と前期の論文共著ネットワーク次数中心性は当期の科研費採択にマイナスに影響し、前期の科研費採択の影響の方がより大きいと示された。この結果は、科研費の資金が乏しく、また、論文共著ネットワークにおいて中心的な位置にいない研究者に配分されやすい傾向が僅かにあることを示唆している。つまり、科研費の配分が、多様な研究者の参入を促している可能性がある。また、仮説 2 において前期の論文共著ネットワーク次数中心性は当期の論文共著ネットワーク次数中心性にプラスに影響していると示された。論文共著ネットワークは、元のネットワークの規模が大きい研究者は更に自己強化される傾向があること、すなわちマタイ効果が働いていることがわかった。

このように、論文共著ネットワークではマタイ効果があるものの、科研費という基礎的な研究資金に限ってはマタイ効果が働いていなかった。これは科研費の特徴を表しているように思われる。

ただし、ここでの分析には課題が残されている。仮説 1 に関する結果のうち、前期の科研費採択の有無による影響については、残存している科研費の影響がありうる。したがって、例えば、前期から残存しているプロジェクトについて、総額÷期間年数×残存期間年数を変数に含めて分析し直す必要があると考えている。仮説 2 に関しては、今回、ロジスティック回帰分析を用いるために当期の論文共著ネットワーク次数中心性を 55 未満/55 以上で 0/1 のデータとして扱ったので、OLS での推計によりさらに分析する必要があると考えている。これらを改善し、より精度の高い分析を行って行きたい。

参考文献

- (1) Shibayama, S. Distribution of Academic Research Funds: A Case of Japanese National Research Grant. *Scientometrics* **2011**, *88* (1), 43-60. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0392-z>.
- (2) Aagaard, K.; Kladakis, A.; Nielsen, M. W. Concentration or Dispersal of Research Funding? *Quantitative Science Studies* **2019**, 1-33. https://doi.org/10.1162/qss_a_00002.
- (3) Cimenler, O.; Reeves, K. A.; Skvoretz, J. A Regression Analysis of Researchers' Social

- Network Metrics on Their Citation Performance in a College of Engineering. *Journal of Informetrics* **2014**, *8* (3), 667-682. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2014.06.004>.
- (4) Li, E. Y.; Liao, C. H.; Yen, H. R. Co-Authorship Networks and Research Impact: A Social Capital Perspective. *Research Policy* **2013**, *42* (9), 1515-1530. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.06.012>.
- (5) Defazio, D.; Lockett, A.; Wright, M. Funding Incentives, Collaborative Dynamics and Scientific Productivity: Evidence from the EU Framework Program. *Research Policy* **2009**, *38* (2), 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.11.008>.
- (6) 尾辻 泰一. グラフェンチャンネルトランジスタ. 応用物理 **2010**, *79* (11), 1005-1009. https://doi.org/10.11470/oubutsu.79.11_1005.
- (7) 佐藤 信太郎. グラフェンとナノエレクトロニクス. 応用物理 **2013**, *82* (12), 1012-1023. https://doi.org/10.11470/oubutsu.82.12_1012.
- (8) 尾辻 泰一. グラフェンの基礎とテラヘルツレーザー応用. 応用物理 **2013**, *82* (12), 1024-1029. https://doi.org/10.11470/oubutsu.82.12_1024.
- (9) 榎 敏明. グラフェンデバイスへの期待. 応用物理 **2013**, *82* (12), 1009-1010. https://doi.org/10.11470/oubutsu.82.12_1009.
- (10) Nguyen, A. L.; Liu, W.; Khor, K. A.; Nanetti, A.; Cheong, S. A. The Golden Eras of Graphene Science and Technology: Bibliographic Evidences from Journal and Patent Publications. *Journal of Informetrics* **2020**, *14* (4), 101067. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101067>.
- (11) Geim, A. K. Graphene: Status and Prospects. *Science* **2009**, *324* (5934), 1530-1534. <https://doi.org/10.1126/science.1158877>.
- (12) Zou, L.; Wang, L.; Wu, Y.; Ma, C.; Yu, S.; Liu, X. Trends Analysis of Graphene Research and Development. *Journal of Data and Information Science* **2018**, *3* (1), 82-100. <https://doi.org/10.2478/jdis-2018-0005>.
- (13) 齋藤 理一郎. Cnt とグラフェン研究の展開と焦点. 応用物理 **2010**, *79* (10), 890-895. https://doi.org/10.11470/oubutsu.79.10_890.