

論文の内容の要旨

論文題目 急進的イノベーションの早期発見の方法論に関する研究

氏 名 柴田 尚樹

学術研究(Science)での研究成果が、技術開発(Technology)に応用され、製品・サービス(Industry)が生み出されるというサイクルの時間が従来に比べて圧倒的に短くなってきている。従って、技術経営戦略を立案するには、将来のイノベーションの中核を早期発見することが重要である。イノベーションの種類を、技術的連続性の有無を基準として分類すると、従来の技術の延長線上にある改良型の技術革新である「漸進的イノベーション(incremental innovation)」と従来の技術と抜本的に異なる非連続な技術革新「急進的イノベーション(radical innovation)」に分類できる。技術経営戦略の立案のためには、特に、急進的イノベーションの中核となる研究を早期発見することが重要である。何故なら、漸進的イノベーションに比べ、急進的イノベーションの方が、その非連続性が故に、企業や社会に対する影響が大きくなるからである。本研究では、学術研究に基づいたテクノロジー・イノベーション(science-oriented technology innovation)を扱い、学術論文から急進的イノベーションの中核となる論文を早期に発見する方法論を提案する。これを実現するために3つの目的を設定した。第一の目的は、漸進的イノベーションと急進的イノベーションを判定する方法論を構築することであり、第二の目的は、急進的イノベーションにおいて、新興学術分野を早期発見する方法論を構築することである。そして、第三の目的は、漸進的イノベーションにおいて、将来中核となる論文を早期発見する方法論を構築することである。

現在、科学、社会科学の論文データベースの中で、最良なデータベースの一つがInstitute for Scientific Information (ISI)が提供しているデータベースであるが、このデータベースからあらかじめ選定したクエリを用いて論文を検索、抽出した。論文をノード、引用をエッジとみなし、引用ネットワークを生成し、その最大連結成分をトポロジカルなクラスタリング手法によってクラスターに分割し、分析した。また、各論文の引用ネットワーク中での中心性の分析も行った。また、本研究では、既にイノベーションが起

こったということが明らかな 2 つの学術分野を選定し、ケーススタディを行った。一つ目の学術分野はガリウム・ナイトライド分野である。ガリウム・ナイトライド分野は、応用物理学分野、応用工学分野における突出したイノベーションの例として広く認識されており、漸進的イノベーションが起こった分野であると考えられるため選定した。二つ目は、複雑ネットワーク分野であり、当分野は近年新しい学術分野を切り開いた例として認識されている。複雑ネットワーク分野は上述のように元来、社会学が中心であったが 1998 年以降、急激に物理学研究が増加しており、急進的イノベーションが起こった分野であると考えられるため選定した。

はじめに、直接引用(direct citation)、共引用(co-citation)、書誌結合(bibliographic coupling)という主に 3 種類の引用のうちどの引用手法が最も新興学術分野の発見に適しているかを分析した。3 種類の引用ネットワークを構築し、トポロジカルなクラスタリング手法でクラスターに分類し、あらかじめ定めた各分野の重要論文が含まれるクラスターのパフォーマンスを” visibility (クラスターの相対的な大きさ)”, “speed (クラスター内論文の平均出版年齢)”, “topological relevance (クラスター内のエッジ密度)” の 3 つで評価した。最良の引用分析手法は、より大きな新興論文群をより早く発見できる直接引用であり、ワーストは共引用であった。共引用が最も劣った理由は、共引用が生じるまでのタイムラグのせいであった。直接引用と書誌結合を比べると、クラスター係数が直接引用の方が大きく、引用で結ばれる論文間の意味的な類似度が最も高く、また重要論文が最大連結成分に含まれないというリスクが最も小さかいため、直接引用が最良であると結論づけられた。

第一の目的を達成するために、クラスター内次数係数 (within-module degree) z-score、モジュール間分散度 (participation coefficient) P を分析することで各重要論文のトポロジカルな役割の特定を行い、漸進的イノベーションと急進的イノベーションを明確に区別する方法を提案した。漸進的イノベーションのプロセスでは、ブレークスルーは既存の学術領域内で起こり、ハブとなる重要論文の z も P も大きくこれらの論文は「グローバルなハブ」である。反対に、急進的イノベーションのプロセスでは、ブレークスルーは既存の学術領域の中では起こらず、独立した新しいクラスターが生まれる。研究の中心が急速に移動し、ハブとなる重要論文は z が大きく P が小さい「ローカルなハブ」に

なる。さらに、第二の目的を達成するために、トポロジカルなクラスタリングによって論文を各クラスターに分類した後、各クラスターの主要論文の z , P 、各クラスターの平均出版年、自然言語処理によって抽出された各クラスターのトピックを分析することで、急進的イノベーションにおいて新興論文群を発見することができた。新興論文群として抽出すべきクラスターは、1) クラスター内ハブ論文の z が大きく P が小さい、2) クラスター内ハブ論文が若い、3) クラスターの特徴語から見て、他のクラスターと異なるトピックを扱っているという特徴を持つクラスターであった。

第三の目的を達成するために、多くの引用を獲得する論文は、過去において、トポロジカルな意味でどのような位置にあったのかということ进行分析した。具体的には、クラスタリング中心性、距離中心性、媒介中心性という3つの中心性、現在の年齢、現時点の被引用数のそれぞれと将来の被引用数との相関関係を調べることにより、将来引用を獲得する論文の特徴を明らかにした。漸進的イノベーションが起きている分野では、学術分野の知識量が増加し始まった段階において、現在の被引用数が近い将来の被引用数に影響を与え、媒介中心性が遠い将来の被引用数に影響を与えるということが本研究で明らかになった。急進的イノベーションが起きている分野では、必ずしも分野間の架け橋となる論文が将来引用を獲得するわけではないため、上記の法則が成り立たず、相関係数がゼロに近づく。しかし、急進的イノベーションが起きている場合でも、上述の方法で、新興学術分野のみを抽出すれば、現在の被引用数、媒介中心性から将来引用を獲得する可能性の高い論文を予測できる。

以上の結果から、急進的イノベーションの中核となる学術論文を早期に発見する方法論を以下のように提案した。

1. 引用ネットワークをクラスタリングし、クラスター内次数 z とクラスター間分散度 P を分析し、イノベーションの種別の判定を行う。
 - クラスター内次数係数 z 、モジュール間分散度 P ともに大：漸進的イノベーション
 - クラスター内次数係数 z 大、モジュール間分散度 P 小：急進的イノベーション
2. 急進的イノベーションにおける新興学術分野の発見には、引用ネットワークのクラスタリングを主に、補助的に共起ネットワークのクラスタリングを用いる。

- 引用ネットワークをクラスタリングし、トピック抽出、可視化する。
 - 以下の3つの特徴を持つクラスターを新興学術分野と見なす。
 - A) クラスター内ハブ論文の z が大きく P が小さい (目安: $z > 2.5, P < 0.3$)。
 - B) クラスター内ハブ論文が若い。
 - C) クラスターの特徴語から見て、他のクラスターと異なるトピックを扱っている。
 - さらに、補助的に、語句の共起ネットワークのクラスタリング結果から、抽出した新興学術分野の他には新興トピックがないかどうかを確認する。
3. 抽出された新興学術分野 (漸進的イノベーション) において、将来の被引用数の予測には、媒介中心性と被引用数を評価する。