

論文の内容の要旨

論文題目 ネットワーク分析手法によるロボット研究の知の構造の把握

氏 名 内 藤 理

実社会との関係の深化により、ロボットに関する研究が急増するとともに、その内容も多様化しており、人材の有効活用や重点分野の選択などでロボットに関するイノベーションを促進するためには、ロボット研究に関する「知」の構造を把握することが重要であると考えられる。一方、「知」はクラスター構造を有するネットワークとして記述されるとされていることから、共著と引用という学術研究において生じる代表的なネットワーク活動に着目し、学術論文の共著関係から導き出される研究者ネットワークと、学術論文の引用関係から導き出される引用論文ネットワークを分析対象として、ロボットに関する研究の「知」の構造を明らかにすることを試みた。

まず、日本ロボット学会誌の創刊（1983年）から2010年末までの間に掲載された全ての査読付き論文1,912件を対象として、2,736名の著者と6,531本の共著関係を抽出した。そして、代表的な社会的ネットワーク分析ソフトウェアであるUCINET（Ver. 6.207）を用いて、共著関係のネットワークを作成し、2,032名からなる最大連結成分を日本におけるロボット工学の研究者ネットワークとし、分析対象とした。この研究者ネットワークは、スケールフリー性、スモールワールド性、クラスター性という複雑ネットワークとしての一般的な特徴を有していることが分かった。また、抽出されたコアメンバー710名に関する中心性の評価から、研究者ネットワークでハブとなっている研究者を把握するとともに、次数（共著関係の数）以上に、研究者ネットワークの中で重要な位置を占める研究者が存在するという事実を浮かび上がらせることもできた。さらに、クラスター分析を行うことで、研究者グループの間の近縁関係を明らかにするとともに、独立集団を研究者ネットワークに取り込んだり、遠い関係のクラスターを繋いだりしているNEDOプロジェクトの存在を明らかにした。そして、ノードに代わってクラスター単位で研究者ネットワークを粗視化し、全体構造を簡潔に示した。特に、クラスター間を繋ぐブリッジの役を担っている研究者の重要性を日本ロボット学会の論文賞の受賞比率から明らかにし、構造的空隙を埋めるネットワーク活動とイノベーションの関係の深さを示すことができた。また、クラスター同士の中心性を分析することで、研究者ネットワークの中で、構成員数以上に重要な役割を担う可能性を有するクラスターの存在を浮かび上がらせることができた。

次に、研究者ネットワークを対象とした分析の応用例として、ロボット工学分野の日本出身研究者が国際的な研究者ネットワークにおいて、どのような連携戦略を採ることが効果的なのかを検討した。まず、IEEE/T-R0の創刊（1983年下期）から2010年末までの間に掲載された査読付き論文778件の共著関係から生成される研究者ネットワークと、同じ時期の日本ロボット学会誌に掲載された査読付き論文543件の共著関係から生成される研究者ネットワークを比較した。その結果、当初の予想に反して、IEEE/T-R0の研究者ネットワークの方が日本ロボット学会誌よりもネットワークの連携速度が遅いことが分かった。そのため、IEEE/T-R0の研究者ネットワークには、より多くの構造的空隙が存在している

ことになる。イノベーションを促進する観点からは、その構造的空隙を埋めるようなネットワーク活動が重要とされており、日本出身研究者も積極的にこれを担うことが期待されている。また、構造的空隙を埋めるようなネットワーク活動は、日本出身研究者にとっても、多様な研究ノウハウを取得するとともに、自らの研究成果や研究思想を広く伝播することが期待できるなどの利点がある。特に、国際的な研究者ネットワークの中で、日本出身研究者が活躍するためには、日本出身研究者が含まれていない集団との連携が重要である。その際、相手となる集団の中で、次数中心性だけでなく媒介中心性などから適切な相手研究者を選んで連携することが望ましい。もうひとつの連携戦略としては、国際的な研究者ネットワークにおける自らの役割を強化するために、ネットワーク内の中心性を高めることである。その際、適切な連携相手を選べば、一気にネットワーク内の中心性を高めることが可能であることを示すことができた。しかし、分析対象とした研究者の事例では、連携候補の研究者とは既知の関係であっても、積極的に共同研究に取り組める状況とはなっておらず、何かしらのインセンティブが求められていた。

最後に、実社会との関係が深化するにともない多様化が進むロボットに関する学術研究の全体を俯瞰するため、米Thomson Reuters社のInstitute for Scientific Information (ISI) 部門によって提供されている3つのデータベース (SCI-EXPANDED, SSCI, A-HCI) において、トピックに” Robot*” を含む論文を米Thomson Reuters社が提供するWeb of Science を使用して検索した。2011年末の時点で抽出された論文53,500件の引用関係から東京大学総合研究機構イノベーション政策研究センターが開発した学術俯瞰マップ作成システムを利用してネットワークを作成すると、34,948件(65.3%)が最大連結成分となっており、これを引用論文ネットワークとした。掲載された学術雑誌の主題分野分類を見ると、Technology (技術) が全体の約75%を占めているが、Life Sciences & Biomedicine (生命科学・生体臨床学) も約18%と無視できない件数があることがわかった。その他、Social Science (社会科学) が1,197件(2.1%)、Arts & Humanities (芸術・人文) が88件(0.2%)存在し、ロボットに関する研究が理系の学術分野を超えて多様化していることを明らかにした。引用論文ネットワーク内のリンクは十分に発達しており、1986年発表の2件の論文が圧倒的な次数中心性を示し、引用論文ネットワークのハブとなっていることが分かった。また、研究分野ごとの特徴を見るため、引用論文ネットワークをクラスタリングすると、218個のクラスターに分割することができたが、上位4クラスターと、それ以下のクラスターの間には、所属する論文数の面で大きな差があった。上位4クラスターとは、第1位クラスター(移動ロボット)、第2位クラスター(マニピュレーター)、第3位クラスター(手術ロボット)及び第4位クラスター(リハビリ)である。上位4クラスターの発達の経緯は、ロボットと実社会の関係を映したものとなっていることが分かった。特に、第3位クラスター(手術ロボット)は、2000年に米インテュイティヴ・サージカル社のダ・ヴィンチが米国食品医薬品局(FDA)から承認を受けて以降、医工連携による応用研究が急増しており、サービスロボットのキラーアプリケーションとなっていることを示しているものと考えられる。第5位以下の中小クラスターについても、今後の成長が期待できるという観点から、平均発行年が若い9個のクラスターについて分析した。その中で、ロボット倫理学(Roboethics: Robot Ethics)を扱う第30位クラスターを発見できた。今後、ヒト共生型のサービスロボットが社会に受け入れられて行く上で、

この研究分野が重要な役割を果たすものと予想される。さらに、上位4クラスターをより詳細に分析するために、各クラスターをひとつのネットワークと見なして、そのハブとなっている論文を特定した。また、各クラスターをサブクラスターに分割して分析した。その結果、移動ロボットのクラスターの中の第5位サブクラスター（ヒューマンインタラクション）や手術ロボットのクラスターの中の第3位クラスター（前立腺手術）のように急成長している研究分野を発見できた。一方、著者が所属している研究機関の国籍を基に各国のロボット研究の現状を比較すると、日本のロボット研究は、英語論文というハンデを負いながらも現時点では、多くの研究分野で世界的に存在感を示している。しかし、手術ロボットのクラスター、第9位クラスター（地球観測）、第23位クラスター（人工筋肉）、第25位クラスター（骨再生医療）、第30位クラスター（倫理・道徳）、第31位クラスター（障害検出・分離）のように日本の存在感が薄い分野があった。さらに、サブクラスターまで見ると、移動ロボットのクラスターの第7位サブクラスター（探索型ロボット）、マニピュレータのクラスターの中の第6位クラスター（キャリブレーション）、リハビリのクラスターの中の第2位サブクラスター（脊髄損傷リハビリ）のように日本の存在感が薄い分野があった。

以上の成果を活用することで、研究者個人においては、構造的空隙を埋めるような共同研究相手を研究者ネットワーク内で選択し、成長性の高い研究分野で共同研究を実施することができるようになると考えられる。また、この点を研究支援機関に訴求することで、政策資源の獲得も容易になることが期待される。さらに、研究成果である学術論文も論文賞の受賞確率も高いので、引用論文ネットワーク内での中心性も高くなることが期待される。日本ロボット学会のような学術団体においては、研究者ネットワークの中から適切な人材やクラスターを選択し、組織運営、資金配分、イベント実施、標準化等の公益活動を担当してもらうことで、コミュニティの活性化を図ることができるようになると考えられる。研究支援機関においては、成長性の高い研究分野や有力な研究者の発見に役立つだけでなく、構造的空隙を埋めるような研究プロジェクトの支援策や国際的な研究者ネットワークの中で活躍できるような若手研究者の育成策や我が国のロボット技術の流出防止策を検討できるようになる。これによって、財政当局から政策資源の拡大を獲得し、ロボットに関するイノベーションを促進することが期待される。