



RIETI Discussion Paper Series 17-J-034

企業間の共同研究ネットワークは イノベーションの質的パフォーマンスを向上させるか？ －世界の大規模データによる国際比較－

飯野 隆史
新潟大学

井上 寛康
兵庫県立大学

齊藤 有希子
経済産業研究所

戸堂 康之
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所
<http://www.rieti.go.jp/jp/>

企業間の共同研究ネットワークはイノベーションの質的パフォーマンスを向上させるか？－世界の大規模データによる国際比較－*

飯野隆史（新潟大学）

井上寛康（兵庫県立大学）

齊藤有希子（経済産業研究所）

戸堂康之（経済産業研究所/早稲田大学）

要 旨

世界的な特許データを用いて、企業間の共同出願を共同研究とみなし、国際的な共同研究の特徴について国際比較を行った。さらに、企業間の共同研究ネットワークを介した知識の伝播が、企業のイノベーションの質的パフォーマンスに及ぼす影響について分析した。このとき、ネットワークにおける各企業の位置関係を、ネットワーク科学で用いられる様々な指標を導入したところが本研究の特徴である。その結果、日本は他の国に比べて共同研究を行う傾向が高いものの、他国企業との共同研究は少なく、国内で密な共同研究関係を形成していることが明らかとなった。しかし、グループ内で密につながっていることは、日本企業がイノベーションの質を向上させているという証左は見当たらず、日本企業のイノベーションの質の向上に効果的なのは、グループ間を橋渡しする多様なつながりを構築していることである。

これは、アメリカ企業が様々なタイプのつながりから恩恵を受けているのと対照的であり、日本を含めた多くの国で共同研究を通じた知識伝播によってイノベーションの質的パフォーマンスを向上させるのが容易でないことを示唆している。

キーワード：特許共同出願、ネットワーク、イノベーション

JEL classification: F14, F23, L14

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

* この研究は経済産業研究所の研究プロジェクト「企業の国際・国内ネットワークに関する研究」の成果である。本稿の原案に対して、経済産業研究所ディスカッション・ペーパー検討会の方々から多くの有益なコメントを頂いた。また、本稿は日本学術振興会科研費（No. 25101003, 26245037, 16K13367）より研究助成を受けている。ここに記して、感謝の意を表したい。

1. はじめに

イノベーションにおいて知識の伝播は重要である。なぜなら、異なる知識の結合は大きなイノベーションを引き起こす重要な要素であるためである (Berliant and Fujita, 2008, 2011; Schumpeter, 1934)。特に、地理的に離れた人々は異なる知識を有することが多く (Todo, et al. 2016)、その意味で国際的な知識や技術の伝播は、国内のイノベーションについては経済の成長に大きく影響する。例えば、Eaton and Kortum (1999) の推計によると、バブル経済崩壊以前の高成長期の日本において、その生産性成長の 65%は外国で創造された知識の貢献によるという。

したがって、イノベーションを活性化して経済を成長させるには、いかに人材や企業を国境を越えて海外の知識の流入を促すかが、1つのカギとなる。このような国際的知識伝播の経路の1つは国際貿易や海外直接投資であり、こういった企業の国際化に伴って海外から知識が伝播し、企業の生産性や国の所得レベルが上昇することは、これまでの多くの実証研究が明らかにしている。例えば、日本については輸出や対外直接投資を行うことで、企業の生産性成長率が約 2%上昇することが示されている (Kimura and Kiyota, 2006) ¹。

国際知識伝播のもう1つの重要な経路は国際共同研究である。近年、交通インフラや情報技術(IT)の発展に伴い、国際共同研究がより容易になるにつれ、その重要性は増している。本研究は、特に企業間の国際共同研究に焦点を当て、それが知識伝播を促して企業のイノベーションの質に与える効果を実証的に検証するものである。

国際共同研究に焦点を当てるのは、国際貿易や投資に比べると、より明確な知識伝播の経路と考えられるためである。国際貿易や投資によって企業の生産性が伸びたとしても、それは外国企業の知識流入によるものなのか、需要の増大による規模の経済性によるものなのか、判別することは難しい。しかし、国際共同研究によって企業の知的生産性が伸びたなら、それは知識の伝播が主要因と考えることができよう。

国際共同研究を把握する1つの方法は、特許に含まれる出願者情報を利用することである。複数の企業や機関によって出願された特許は、それらの出願者による共同研究であるとみなすことができる。Belderbos et. al. (2014)は、共同で出願された特許ほど引用される、すなわち特許の質が高いことを実証的に示し、Briggs (2015)は国際共同出願についても同様の傾向を見出した。これらの結果は、企業が共同研究によって互いの知識を活用し、より高いレベルのイノベーションを行っていることを示唆している。

ただしこれらの研究は、各特許における共同出願と被引用数の関係のみに注目しており、特許の共同出願による企業ネットワーク全体の構造や、その中での各企業の立ち位置がイノベーションの質に及ぼす影響を分析したわけではない。しかしネットワーク科学は、知識伝播においてネットワーク全体の構造が重要であることを明らかにしている。例えば、Burt (1994, 2004)は、異なるグループ間を橋渡しするような仲介者がグループ間の知識伝播において重要な役割を担うことを主張し、ある企業内のマネージャー同士のネットワーク構造を分析して、そのような仲介者の業績が高いことを示した。Centola (2010)は、インターネット上の社会実験によって、グループの構成員が密につながっているようなネットワークにおいて、むしろ行動が伝播しやすいことを示した。したがって、

¹ 貿易や海外直接投資が企業レベルの生産性や国レベルの経済成長に与える効果に関する研究を一般向けにサーベイしたものとして、戸堂 (2011) および清田 (2015) がある。

ある企業が共同研究によってどのようにイノベーションの質を伸ばしているかを分析するにあたっては、単に共同研究をしているかどうかだけではなく、その企業が共同研究ネットワーク全体においてどのような位置にいるかを考慮することが重要である。

共同研究ネットワークの構造を考慮して知識伝播を分析した研究は、すでいくつか存在する。例えば Fleming et. al. (2007) は、特許における発明者間の共同研究ネットワークを分析し、ネットワーク構造とパフォーマンスの関係を実証した。また Ejeremo et. al. (2005) は、発明者居住地の地理的情報も考慮した分析を行った。中馬 (2010) は、発明者レベルの特許ネットワークについて分析し、半導体産業において主要な特許を出す集団の研究開発ネットワークから日本勢が孤立していることを指摘した。しかし、これらの先行研究は特定の国や地域・産業の発明者のネットワークを対象としており、世界規模で共同研究ネットワークの全体構造を分析した研究はこれまでにほとんどない。

これらの点を踏まえて本研究では、世界全体の企業間の共同出願ネットワークを把握した上で、各企業のネットワーク構造とイノベーションの成果の関係を分析する。本研究の最大の貢献は、各企業が世界全体のネットワークにおいてどのような特性を持っているかをネットワーク全体の構造から指標化し、それらの指標と企業レベルのイノベーションの成果指標である特許の被引用数との関係を明らかにしたことである。特に、本研究が利用するネットワーク指標は、①どれだけ多くの企業と共同研究を行っているのか（次数中心性）、②どれだけ中心的な存在の相手と共同研究を行っているか（固有値中心性）、③自分と共同研究を行う相手同士がどれだけ密につながっているか（クラスター係数）、④どれだけグループ間の橋渡しの役割を担っているか（パートの制約指標）を表すものである。このような指標を利用することで、特にどのような共同研究ネットワークを持つことがイノベーションの質を向上させるのかを明らかにすることができる。本研究のもう 1 つの貢献は、特許データを企業の財務情報などのデータと接続することで、企業の属性とイノベーション活動（特許生産活動）との関連を世界規模で明らかにしていることである。さらに、このような企業の属性とイノベーションの関係、およびネットワーク指標とイノベーションとの関係が、日本をはじめとする主要国でどのように異なるのかを国際比較する。それによって、日本の特徴を浮き彫りにし、日本におけるイノベーションの促進のための政策について提言を行う。

本研究の主要な結果は以下の通りである。第 1 に、国によってイノベーション活動の傾向、共同出願の傾向が大きく異なる。特に、アメリカでは多くの企業がイノベーション活動に参加し、特許を生み出す企業の多くが規模の小さな企業であるが、日本ではイノベーション活動に関わる企業の数は少なく、大企業が多くの特許を生み出している。また、日本企業が共同出願を行う傾向は 1990 年代から安定して非常に高いが、国際共同出願の比率は小さい。中国では 2000 年代に出願特許数が急速に増え、共同出願を行う傾向も近年急速に伸びており、国際共同出願の比率も高い。

第 2 に、特許の共同出願ネットワークに加わっている企業のほうが共同出願をしていない企業よりもイノベーションの質が高い（特許の被引用数が多い）傾向はどの国にも見られるが、企業レベルのネットワーク指標とイノベーションの質との関係は国によって異なる。アメリカ企業では、1990 年代も 2000 年代も全てのネットワーク指標がイノベーションの質と有意な正の関係にある。日本、ドイツ、韓国、フランス、中国においては、自分と共同研究を行う相手同士がどれだけ密につながっているかについては、イノベーションの質との有意な関係は見られず、それ以外のネットワーク中心性指標では有意な正の関係が観測された。日本の企業は、他国に比べて自国内で密接な共同出願関係を持っているが、そのような密なつながりはイノベーションの質にはつながらず、むしろ橋渡

し的な役割を担っている企業ほどイノベーションの質が高い傾向が示された。

本稿の構成は以下の通りである。まず、次節では、本研究で用いる特許データと分析手法について説明する。第3節では、国ごとの特許数や平均被引用数、共同出願傾向など、その経年変化の違いを見ることで、イノベーション活動の国際比較を行う。次に、第4節では、企業間の共同出願ネットワークの指標と特許の被引用数との関係に関する回帰分析の結果を示す。最後に第5節でまとめと考察を行う。

2. データと分析手法

2.1. 世界規模の特許データと企業情報データ

本研究は、特許データとして PATSTAT を用いる。PATSTAT とは、欧州特許庁 (EPO) が頒布している世界規模の特許統計データである。経済協力開発機構 (OECD) が設置している特許統計タスクフォースには、欧州特許庁、世界知的所有権機関、日本国特許庁、アメリカ合衆国特許商標庁などが参加し、国際的な特許データを集めており、このタスクフォースからの要請で、欧州特許庁が PATSTAT を作っている。PATSTAT には、出願番号、出願日、出願人や発明者の名前と住所、国コード、発明の名称、国際特許分類、要約、引用文献情報などの情報が含まれており、国をまたぐような研究開発やイノベーション活動の指標として利用することができる。

また、OECD では、ビューロヴァンダイク (BvD) 社の収集した世界規模の企業情報を PATSTAT のデータにマージする大規模なプロジェクトが行われた。特許出願した企業に BvD の企業 ID を結びつけることにより、BvD が提供する ORBIS 企業データ (企業の地域、産業分類、設立年、従業員数に加え、売上高などの財務項目を収録) を合わせて、特許データの分析をすることができる。

本研究では、出願年が 1991 年～2010 年のデータのうち、特許出願人が企業であり、BvD の企業 ID が登録されている特許データを用いた。特許数は 26,181,824 件、特許出願をしたことのある企業数は 534,569 社である。1991 年～2010 年の期間で特許数の多い国は、上位から順に、日本 (以下の図表では JP と略記する) 8,506,558 件、アメリカ (US) 6,528,207 件、ドイツ (DE) 2,833,394 件、韓国 (KR) 1,547,916 件、フランス (FR) 1,043,371 件、中国 (CN) 972,034 件である。これら 6 カ国で全特許の約 8 割を占める。本研究では、これら主要な 6 カ国について国際比較を行う。

また、特許の質を表す指標として、被引用数のデータを用いる。ただし、被引用数は特許公開期間が長くなれば増える傾向があるので、出願年の平均値で規格化し、自己引用は被引用数から除いた指標を用いる。従って、規格化された被引用数の全特許の平均は 1 となる。

2.2. 共同出願の企業間ネットワークとネットワーク指標

特許データの出願人情報を用いて、企業間の共同出願ネットワークを構築する。前述の特許データにおいて、特許の出願人として複数の企業 ID が登録されているものを企業の共同出願特許とする。1991 年～2010 年の期間内に、一度でも共同出願特許を出したことのある企業 (以下、「共同出願企業」と呼ぶ) をノードとして、共同出願企業同士をリンクで結ぶことによって、企業間の共同出願ネットワークを作ることができる。共同出願特許数は 959,363 件で全体の 3.7% に過ぎないが、共

同出願企業数は 89,175 社で特許出願企業の約 17%を占める。共同出願企業 89,175 社で構成された企業間ネットワークの総リンク数は 166,183 で、平均 3.727 (中央値は 1) 社の共同出願相手を持つ。また、出願者が複数の国に存在している国際共同出願特許数は 248,909 件で全体の約 0.95%であり、国際共願を行ったことのある企業数は 20,445 社で特許出願企業の約 3.8%である。

次に、共同出願ネットワークに参加している企業 (つまり、当該期間に 1 つでも特許の共同出願を行った企業) に対して、以下のように定義されるネットワークの中心性指標を考える。中心性指標を算出する際、共同出願を行ったことのない企業は除外するので、ネットワークから孤立したノードは存在しない。さらに、共同出願ネットワークは引用関係ネットワークとは異なり、無向グラフ (リンクに方向のないネットワーク) である。本研究では 1991 年~2010 年の 20 年間の全期間の性質に加えて、10 年間ずつ 2 つの期間に分け、ネットワーク構造の変化についても見る。

次数中心性 (degree centrality)

ネットワークにおける次数中心性 (Newman, 2010) とは、ノード i と隣接するノードの数である。共同出願ネットワークにおいては、1991 年~2010 年の 20 年間で特許の共同出願を行った相手企業の数を表す。次数中心性では、相手企業がどの程度重要な存在かを考慮せず、数のみを測る指標である。

固有値中心性 (eigenvector centrality)

固有値中心性 (Bonacich, 1987; Newman, 2010) は、隣接行列の第一固有ベクトルで定義される。ノード i の固有値中心性 $C_E(i)$ は、次のように定義される。

$$C_E(i) = \frac{1}{\lambda} \sum_j a_{ij} C_E(j),$$

ここで、 λ は隣接行列の第一固有値、 a_{ij} は隣接行列の要素である。この指標は、中心性の高いノードにつながるノードも中心性が高くなる。次数中心性との違いは、ただつながる相手が多ければ上がるとは限らず、つながる相手が中心的であるかどうかとも考慮されている点である。

クラスター係数 (clustering coefficient)

ノード (企業) がどれだけ密につながっているかを測る指標として、クラスター係数 (Newman, 2010) がある。ノード i のクラスター係数は、ノード i と隣接するノードの全てのペアの数に対する、そのペア同士がリンクでつながっている (三角形を作っている) 数の割合である。次数が 1 の場合には、隣接するノードのペアが存在しないので、クラスター係数を定義できないとする方法と、次数 1 の場合は 0 と定義する方法が考えられる。本研究では、次数 1 の場合は周辺と凝集的構造を作れていないと考えて、クラスター係数を 0 とする定義を採用する。

バートの制約指標 (Burt's constraint)

ノード i のエゴネットワーク (ego network, 直接リンクしているノードとの関係) を V_i とすると、ノード i のバートの制約指標 (Burt, 2004) $C_B(i)$ は、次のように定義される。

$$C_B(i) = \sum_{j \in V, j \neq i} \left(\sum_{q \in V, q \neq i, j} p_{ij} + p_{iq} p_{qj} \right)^2,$$

$$p_{ij} = \frac{a_{ij} + a_{ji}}{\sum_{k \in V, k \neq i} a_{ik} + a_{ki}}$$

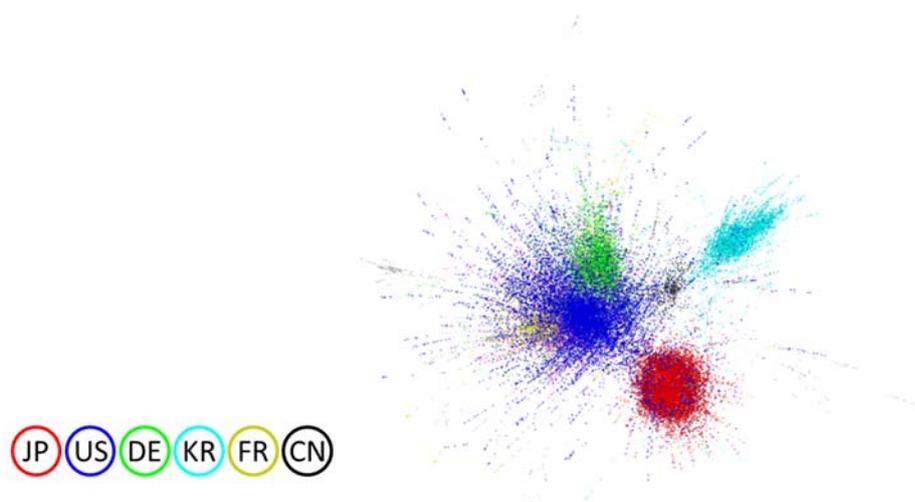
p_{ij} はノード i, j 間の相対的なリンクの強さである。バートの制約指標は、ネットワーク上でノード i の周囲に回り道が多いほど大きくなる、冗長性の指標となっている。また、この指標は次数中心性が小さい場合も、大きな値となる。そのため、単に周りの冗長性が小さいだけでなく、冗長性の小さいネットワーク同士を結ぶ位置に存在するノードにおいて、バートの制約指標は小さな値となる。バートの制約指標については、低い値の方がネットワークの冗長性が低い、つまりグループ間の橋渡しをしている中心的な企業であると評価される。媒介中心性 (betweenness, Freeman, 1979) に似た指標であるが、媒介中心性ではネットワーク全体について最短経路が通る割合を問題にしている一方、バートの制約指標では着目するノードと直接つながっている部分のネットワークについて測っているという違いがある。また、バートの制約指標は値が小さいほど橋渡しの構造を持つ傾向が強いと考えるが、媒介中心性は逆に値が大きいほど橋渡しの構造が強い。

2.3. ネットワークの可視化

続いて、ネットワーク構造の概略をつかむため、ネットワークの可視化を行う。可視化には、オープンソースのネットワーク可視化ツール Gephi を使い、可視化手法は ForceAtlas2 (Jacomy, 2014) を用いた。ForceAtlas2 は可視化空間上で各ノードにかかる「力」をネットワーク構造から計算し、「力」の方向へノードを微小距離移動するステップを繰り返すことで、見やすいノード配置を得る手法である。ForceAtlas2 における重要な「力」として、引力と斥力の2種類がある。引力は、各リンクをバネと考え、直接つながっているノード同士を近づける力である。また斥力は、全てのノードペアごとにノードペアの次数の積に比例した斥力を働かせる。よってリンクが密接に結びついているノード集団は近くに配置され、リンクが疎なノードグループは可視化空間上で離れた位置に表示される。また、可視化構造の収束が遅いときには、ノードの微小距離移動を自動調整することができるため、他の手法に比較して高速なアルゴリズムである。

図 1 は共同出願ネットワークを可視化し、国ごとに色分けをした図である。企業は概ね国ごとに固まっており、同じ国の企業同士が密接につながっていることを示している。特に、日本と韓国は他の国から離れた位置に固まっており、国内のネットワークが密で、かつ他の国とのつながりが疎である傾向が他の国よりも強いと考えられる。ドイツ、フランス、アメリカもそれぞれ国ごとに固まる傾向にあるが、日本、韓国に比較して互いに交じり合った部分も見られる。つまり、欧米の国は、共同研究によってより強く結びついていることが見て取れる。

図1：共同出願ネットワーク可視化：国による色分け



注：JP、US、DE、KR、FR、CNはそれぞれ日本、アメリカ、ドイツ、韓国、フランス、中国を表し、その略語の周りの円の色（例えば、日本の場合は赤）によって、その国の企業が表されている。

2.4. 回帰分析の手法

本研究では、企業のイノベーションの質的なパフォーマンスを測る指標として、各企業の特許の被引用数を考える。出願された特許の質は玉石混合であり、特許の引用数は特許の重要性を測る指標として有効であることがよく知られている（後藤他，2006）。その上で、世界の共同研究ネットワークでの各企業の立ち位置を表す指標と特許の被引用数との関係を回帰分析によって明らかにする。なお、被引用数は0より小さい値を取らないため、ネットワーク指標と特許の被引用数との関係を推計するため、以下のようなTobitモデル（Tobin, 1958）を利用する。

$$y_i^* = \alpha \text{network}_i + \beta \text{control}_i + \varepsilon_i$$

$$y_i = \begin{cases} L & \text{if } y_i^* \leq 0 \\ y_i^* & \text{if } y_i^* > 0, \end{cases}$$

ここで、 y_i^* は潜在的な被説明変数、 y_i は企業*i*の出願した特許の被引用数、 network_i はネットワーク指標、 control_i はコントロール変数、 ε_i は攪乱項である。

ネットワーク指標としては、前述の4つのネットワーク指標に加え、Belderbos et. al. (2014)や Briggs (2015)にならって、共同出願の有無のダミー変数および国際共同出願の有無のダミー変数を利用する。これらのダミー変数を説明変数として利用する場合には全企業を対象に回帰分析を行い、それ以外の4つのネットワーク指標を利用する場合には特許の共同出願をしている企業のみを対象とする。

コントロール変数としては、イノベーションの規模を表す総出願特許数、企業年齢、産業分類ダミーを用いる。それ以外にも例えば売上高や労働者数などをコントロール変数と含めることが考えられるが、これらの変数は多くの企業について欠落しているために、推計には利用しなかった。

1991～2010年の20年間の全期間のイノベーションに対する全世界および国別の回帰分析に加え、

1991～2000年、2001～2010年の10年間ごとの回帰分析も行い、イノベーション活動のネットワーク効果がどのように変化したのかを分析する。

なお、被説明変数の被引用数および、説明変数の次数中心性と国際次数中心性、コントロール変数の特許数については、すそ野の広いベキ分布を持つため、対数をとった上で回帰分析を行った。

2.5. 記述統計

ここで、回帰分析で用いる企業ごとの各指標の記述統計を表1に示す。被引用数・平均被引用数・特許数・年齢については、データ全体の値と、共同出願ネットワークに参加している企業の値を示す。ORBIS 企業情報データに年齢の情報が記載されていない企業が存在するため、企業年齢の観測数は他の指標よりも少なくなっている。全企業と共同出願企業を比較すると、共同出願企業の方が、特許数が多く、年齢が高い。平均被引用数も共同出願企業の方が大きくなり、共同出願企業の特許の質が高い傾向であることが分かる。共同出願経験有無のダミーの平均値は、共同出願ネットワークに参加する企業の割合（共同出願企業率）を表す。全体のうち約16.7%の企業が共同出願ネットワークに参加している。国際共同出願経験の有無のダミーの平均値は、国際共同出願特許を出したことのある企業の割合（国際共同出願企業率）であり、約3.82%である。

表1：企業ごとの各指標の記述統計

	変数	企業数	平均値	標準偏差	最小値	中央値	最大値
全 企 業	被引用数	534,569	51.156	1.818e+03	0	1.400	498,573
	平均被引用数	534,569	1.415	3.922	0	0.284	285.238
	特許数	534,569	50.983	1.563e+03	1	3	415,751
	年齢	395,604	23.112	21.056	0	17	918
	共同出願ダミー	534,569	0.167	0.373	0	0	1
	国際共同出願ダミー	534,569	0.038	0.192	0	0	1
共 同 出 願 企 業	被引用数	89,175	257.953	4.444e+03	0	8.033	498,573
	平均被引用数	89,175	1.682	3.875	0	0.659	198.375
	特許数	89,175	256.987	3.819e+03	1	10	415,751
	年齢	63,794	28.262	26.968	0	20	918
	次数中心性	89,175	3.727	16.795	1	1	921
	固有値中心性	89,175	3.070e-03	0.023	0	3.465e-07	1
	クラスター係数	89,175	0.184	0.349	0	0	1
	パート制約指標	89,175	0.776	0.324	2.57e-03	1	1.125

3. イノベーション活動の国際比較

3.1. 経年変化の比較

ここで各国の企業が出願した特許について、企業の国籍ごとにまとめた指標の比較を行う。表1では企業ごとに測られる各指標を見たが、表2では特許ベースの指標を見ており、平均被引用数は各国の全特許の被引用数の平均値、共同出願特許率は各国の全特許に占める共同出願特許の割合、国際共同出願特許率は各国の全特許に占める国際共同出願特許の割合を表している。

日本企業の共同出願特許率は大きい、国際共同出願特許率は小さい。また、韓国企業も国際共同出願特許率が小さくなっている。これらの国は、自国内の企業で共同出願特許を出す傾向が強いといえ、図1の共同出願ネットワーク可視化で示された傾向と一致する。アメリカ企業は平均被引用数が他の国に比べて特に高い。特許数の多い主要な6か国のうち、全世界の平均被引用数を超えているのはアメリカだけであり、特許の質についてはアメリカとそれ以外の国で大きな差があると考えられる。

表2：特許ベースで見た各指標の記述統計

	全特許数	平均被引用数	共同出願特許率	国際共同出願特許率
全世界	26,181,824	1.000	0.037	0.010
日本	8,506,558	0.946	0.053	0.005
アメリカ	6,528,207	1.753	0.035	0.017
ドイツ	2,833,394	0.645	0.035	0.018
韓国	1,547,916	0.708	0.031	0.005
フランス	1,043,371	0.481	0.067	0.034
中国	972,034	0.232	0.040	0.025

各国の出願する特許数の1991年～2010年の経年変化を図2で確認する。1991年の時点では、日本の特許数はアメリカの2倍近くあったが、2000年にかけて両者の差が縮まってきた。また、2000年を過ぎた後、中国の特許が増え始め、2008年以降は日本、アメリカに次いで特許数が多くなっている。1991年時点で特許数3位であったドイツは、緩やかに特許数を上昇させてきたが、2008年に中国に抜かされた。韓国は2000年から2005年にかけて上昇、フランスは安定的に推移している。

なお、近年の経年変化の傾向については、日本特許庁のウェブサイトにある五庁統計報告書（2012年度：欧州特許庁作成）のChapter3のFig.3.2と大まかに一致している。ただし、本研究ではBvDの独自IDが設定されている企業の特許のみをカウントしているため、完全には一致していない。特に、中国の特許数については五庁統計報告書の方が多くなっており、ここで示された数字との差が大きくなっている。

次に、国レベルの特許の平均被引用数の経年変化を確認する。前述のように、被引用数は特許公開期間が長くなれば増える傾向があるので、出願年の平均値で規格化し、自己引用は被引用数から除いている。図3で1991年～2010年の各国の規格化された平均被引用数の経年変化を示す。規格化

しているため、全体の平均被引用数はどの年でも 1 である。アメリカの特許は 1991 年～2010 年のすべての年で平均被引用数が高く、継続して質の高い特許を出していることが見て取れる。しかし 2005 年前後ではアメリカの特許の平均被引用数が相対的に下がり、日本の特許の平均被引用数が高くなっている。その後は再び日本とアメリカの差が開き、韓国・中国の特許の平均被引用数が高まってきている。

図 2：特許出願数の経年変化

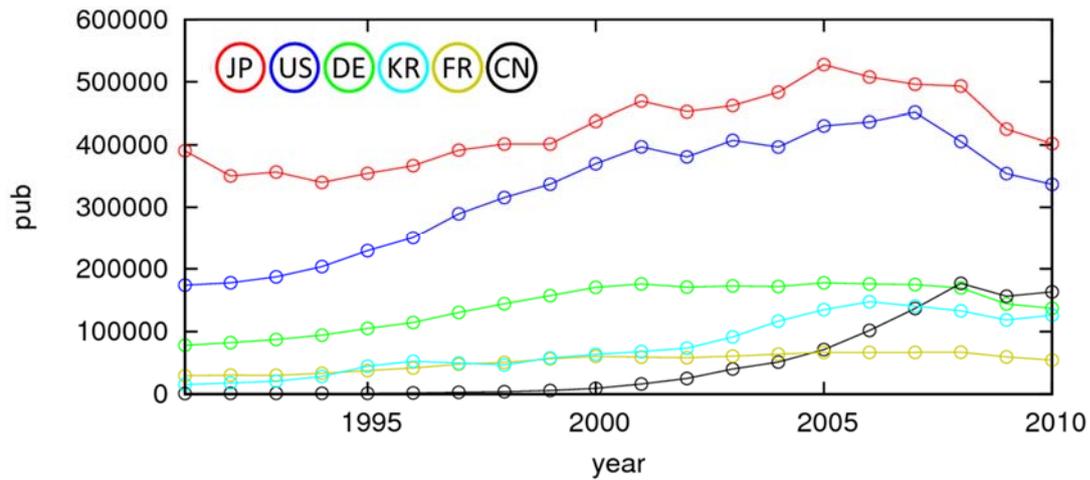
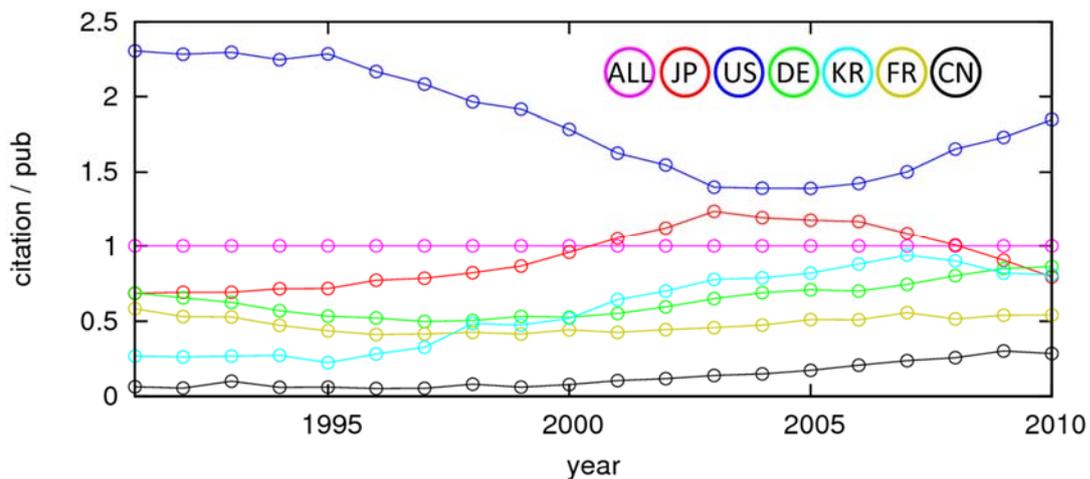


図 3：平均被引用数の経年変化



本研究では特許の共同出願関係に着目するので、共同出願特許の経年変化についても確認する。図 4 で示している共同出願特許率は、全特許に占める共同出願特許の割合である。図 5 は、共同出願特許に占める国際共同出願特許 (2 か国以上の企業による共同出願特許) の割合である。全体的な傾向としては、共同出願特許率は年々上昇しており、その中でも国際的な共同出願関係が増加している。

日本は、共同出願特許率は高いが、国際的な共同出願関係の割合は低いという特徴がここでも見

られ、自国で密にまとまっている傾向を示している。日本ほどではないが、韓国も国際的な共同出願関係が少ない。日本は共同出願特許に占める国際共同出願特許の割合が低いながらも年々増えているが、韓国は1991年に比べて2010年の国際共同出願特許の割合が下がっており、2010年で日本と韓国はほぼ同水準である。アメリカ、ドイツ、フランスは国際共同出願特許が多い傾向が続いている。フランスは特に共同出願特許の割合が高く、近年になってその傾向はさらに強くなっている。中国は2000年以前の特許数が少なく、グラフが不安定であるが、2008年以降共同出願特許率が急上昇しており、また国際共同出願の比率も高い。

図4：共同出願特許率の経年変化

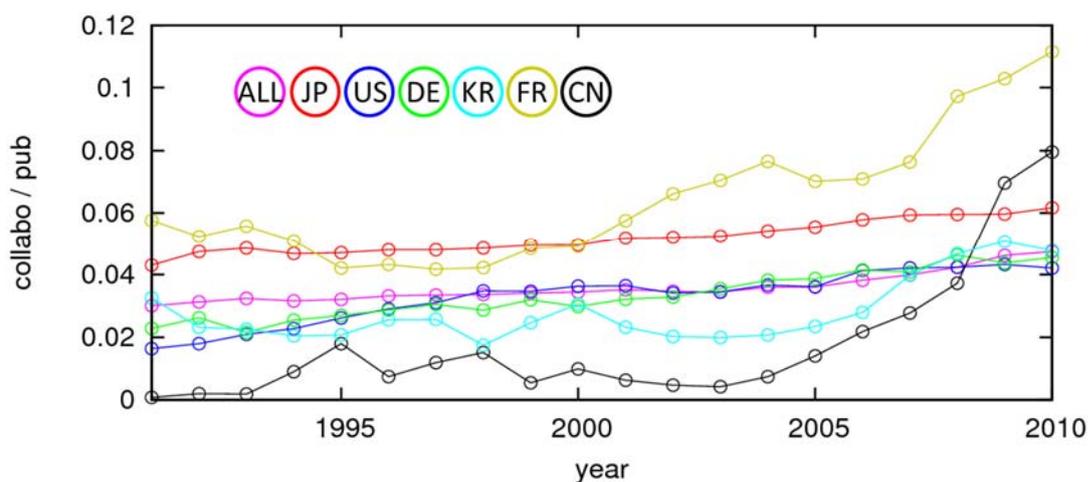
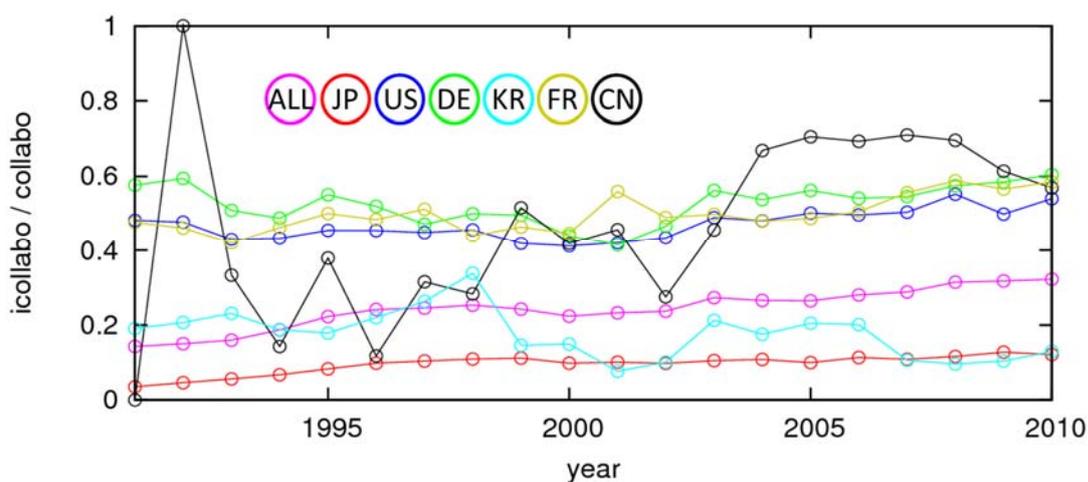


図5：共同出願特許に占める国際共同出願特許の割合の経年変化



3.2. 企業特性の比較

特許数や共同出願の傾向、ネットワークの指数など企業ベースの指標についての国際比較を表3で行う。まず企業数を見ると、アメリカは他の国に比べて特許を出している企業が多く存在するこ

とが分かる。一方、日本はアメリカよりも多くの特許を出しているにもかかわらず、特許を出している企業数は少ない。平均特許数を見ると、日本が他の国に比べて特に大きくなっていることが分かる。日本では、少数の大規模な企業が多くの特許を出す傾向が強く、アメリカでは、多数の小規模な企業の特許を出している傾向が見て取れる。中国は2000年以降、特許数が増えているが、1991年～2010年全体で見ると、まだ他国に比べて特許数が少ない状況である。しかし、特許を出している企業数で見ると、中国はアメリカに次いで多いという特徴があり、中国の平均特許数は他の国に比べて少ない。中国は、多くの企業が少しずつ特許を出している傾向を持つことが読み取れる。

共同出願企業率は、一度でも共同出願特許を出している企業の割合であり、共同出願ネットワークに参加するネットワークの割合でもある。日本企業は図4で示す通り共同出願特許の割合が多く、したがって共同出願ネットワークに参加する企業の割合が高い。韓国とフランスも、日本ほどではないが共同出願企業率が高い。中国は共同出願企業率も他の国に比較して低く、共同出願ネットワークに参加している企業は少ない。

国際共同出願企業率は、一度でも国際共同出願特許を出している企業の割合である。表2や図5では、日本企業の国際共同出願特許は少ない傾向であったが、表3の国際共同出願企業率で見ると、他の国より高いことが分かる。日本は大規模企業が多く、少なくとも一回は国際共同出願を行う企業は多いが、それ以上に自国内の共同出願関係が多くなっていると考えられる。中国と韓国は、国際共同出願企業率が低く、国際的に繋がる企業が一部に集中している傾向が見て取れる。

表3：企業ごとの各指標の記述統計の国際比較

	企業数	平均特許数	共同出願企業率	国際共同出願企業率
全世界	534,569	50.983	0.167	0.038
日本	27,718	323.127	0.515	0.072
アメリカ	166,196	40.100	0.188	0.032
ドイツ	46,544	61.957	0.178	0.048
韓国	37,685	42.336	0.205	0.015
フランス	19,288	56.158	0.204	0.057
中国	50,867	19.411	0.028	0.008

表4では、ネットワークに参加する企業の数とネットワーク中心性の平均値について国際比較を行っている。パートの制約指標については、低い値の方がネットワークの冗長性が低い、つまりグループ間の橋渡しをしているような企業であると評価されることに注意が必要である。共同出願ネットワークに参加している企業数はアメリカが最も多いが、中心性指標についてはいずれも日本が高くなっている。ネットワーク構造の観点からは、日本企業が共同出願関係において重要な位置を占めていることが示唆される。特に次数中心性と固有値中心性については、日本だけが全世界の平均を超えており、日本が全体の平均を引き上げていると考えられる。クラスター係数については日本の他、アメリカ・フランスも比較的高い値となっている。パートの制約指数についてはアメリカ・中国・韓国の値が高く、これらの国では橋渡しをする企業が少ない傾向が見られる。

表 4：共同出願企業ごとの各ネットワーク指標の平均値の国際比較

	共同出願 企業数	次数中心性	固有値 中心性	クラスター 係数	バートの 制約指標
全世界	89,175	3.727	3.070e-03	0.184	0.776
日本	14,263	9.336	1.771e-02	0.228	0.568
アメリカ	31,280	2.643	3.562e-04	0.217	0.833
ドイツ	8,304	3.272	2.815e-04	0.130	0.754
韓国	7,721	2.946	2.078e-04	0.145	0.784
フランス	3,928	3.446	3.021e-04	0.236	0.752
中国	1,418	2.576	4.129e-04	0.139	0.802

4. 企業間ネットワークとイノベーションの質の関係

世界の各企業の共同出願ネットワークの各指標がその企業のイノベーションの質的パフォーマンスに与える影響を分析するため、第 2.4 節で詳述した Tobit モデルによる回帰分析を行う。ここでは、企業レベルのイノベーションの質を表す変数として、各企業の特許の総被引用数を利用する。なお、推計ではコントロール変数（総出願特許数、企業年齢、産業分類ダミー）も説明変数に入っているが、分析結果を比較しやすくするため、ネットワークに関連する説明変数の係数と有意性のみを表 5・6 に示す。

まず、共同出願ネットワークに入ることが特許の被引用数にどのような影響を与えるかを検証するため、共同出願経験の有無のダミー変数を説明変数として回帰分析を行う。表 5 で示す通り、分析対象の全ての国と期間で、共同出願ネットワークに入っている企業の方が、特許の被引用数は高くなる傾向が示された。このことから全体としてかなり頑健に、共同出願を行う企業が出す特許の質が高いことが確かめられた。この結果は、Belderbos et al. (2004) と整合的である。

次に、国際共同出願の経験の有無のダミー変数の影響について分析した。アメリカ以外の国については、すべての期間において、国際共願ダミーと特許の質に正の相関があることが分かった。国際共同研究をすることで、海外の新しい知識が流入し、高いレベルのイノベーションが生まれていることを示している。一方、アメリカの全期間 1991～2010 年の分析と 1991～2000 年の分析については、国際共同出願の有無の特許の質への影響は見られなかった。アメリカは表 2 でみたようにもともとの特許の質が高く、外国と共同出願を行うメリットが少ない可能性が考えられる。また、アメリカでも 2001～2010 年については、国際共願ダミーと特許の質に正の相関があり、近年では外国との共同研究が重要になっている可能性がある。

表 5：共同研究が特許の被引用数に与える効果（Tobit 分析による係数）

	期間	企業数	共同研究の有無	国際共同研究の有無
全世界	1991-2010	378,737	3.541e-01***	2.848e-01***
	1991-2000	166,707	3.609e-01***	2.481e-01***
	2001-2010	294,474	3.276e-01***	2.982e-01***
日本	1991-2010	21,992	1.708e-01***	4.110e-01***
	1991-2000	12,684	1.488e-01***	5.168e-01***
	2001-2010	17,852	1.993e-01***	3.605e-01***
アメリカ	1991-2010	120,017	1.873e-01***	1.381e-02
	1991-2000	62,314	1.901e-01***	1.533e-03
	2001-2010	84,925	1.411e-01***	9.363e-02***
ドイツ	1991-2010	39,084	1.807e-01***	3.180e-01***
	1991-2000	19,685	1.931e-01***	3.165e-01***
	2001-2010	30,759	1.692e-01***	2.930e-01***
韓国	1991-2010	23,843	1.531e-01***	2.841e-01***
	1991-2000	6,975	1.044e-01***	7.856e-01***
	2001-2010	21,463	1.274e-01***	2.746e-01***
フランス	1991-2010	11,472	1.566e-01***	4.757e-01***
	1991-2000	5,531	1.840e-01***	3.040e-01***
	2001-2010	8,705	1.737e-01***	4.653e-01***
中国	1991-2010	39,425	6.239e-01***	6.720e-01***
	1991-2000	4,806	7.705e-01***	3.451e-01***
	2001-2010	36,865	6.057e-01***	6.735e-01***

***: $p < 0.01$, **: $p < 0.05$, *: $p < 0.1$

続いて、ネットワークの各種中心性指標を説明変数として利用した Tobit モデルによる分析結果を表 6 に示す。次数中心性の結果を見ると、サンプルの少ない中国の 1991～2000 年を除き、分析対象の全ての国と期間で、次数中心性が大きい方が、特許の質が高い傾向を持つことが示された。

固有値中心性の結果についても、次数中心性と同様の傾向があり、サンプルの少ないフランス・中国の 1991～2000 年を除いて、固有値中心性が高い企業のイノベーション活動が活発である傾向が見られた。

クラスター係数については、全世界とアメリカの全期間、およびドイツの 1991～2000 年の企業では、クラスター係数が大きい方が被引用数は多いことが示された。フランスの 2001～2010 年ではクラスター係数と被引用数に負の相関があり、それ以外では有意性がなかった。

バートの制約指標については、次数中心性と同様に、サンプルの少ない中国の 1991～2000 年を除き、分析対象の全ての国と期間で制約指標が小さい方が、被引用数が高いことが示された。

表 6：ネットワーク指標が特許の平均被引用数に与える効果（Tobit 分析による係数）

	期間	企業数	log(次数中心性)	固有値中心性	クラスター 係数	パートの 制約指標
全世界	1991-2010	62,297	2.742e-01***	3.663e+00***	1.267e-01***	-4.725e-01***
	1991-2000	26,190	2.992e-01***	2.930e+00***	1.708e-01***	-4.407e-01***
	2001-2010	47,416	2.640e-01***	4.533e+00***	7.011e-02***	-4.912e-01***
日本	1991-2010	11,305	2.315e-01***	2.469e+00***	-1.585e-02	-3.067e-01***
	1991-2000	6,192	2.117e-01***	2.142e+00***	-1.984e-03	-1.918e-01***
	2001-2010	9,207	2.205e-01***	2.880e+00***	-2.908e-02	-3.639e-01***
アメリカ	1991-2010	20,989	2.221e-01***	2.478e+01***	8.556e-02***	-3.258e-01***
	1991-2000	9,992	2.105e-01***	1.897e+01***	6.902e-02**	-3.033e-01***
	2001-2010	14,166	2.266e-01***	2.987e+01***	8.291e-02***	-3.270e-01***
ドイツ	1991-2010	6,794	2.403e-01***	4.279e+01***	2.321e-02	-5.118e-01***
	1991-2000	2,795	2.695e-01***	3.133e+01***	1.523e-01***	-4.615e-01***
	2001-2010	5,227	2.374e-01***	4.797e+01***	-4.435e-02	-5.338e-01***
韓国	1991-2010	5,627	1.846e-01***	1.470e+01***	1.865e-03	-2.960e-01***
	1991-2000	880	2.568e-01***	8.972e+00**	-1.409e-03	-4.024e-01***
	2001-2010	5,256	1.617e-01***	2.141e+01***	2.192e-03	-2.522e-01***
フランス	1991-2010	2,001	2.034e-01***	4.272e+01***	-5.480e-02	-3.147e-01***
	1991-2000	773	2.206e-01***	2.955e+01	-6.831e-02	-4.303e-01***
	2001-2010	1,549	2.127e-01***	3.988e+01**	-1.548e-01**	-3.277e-01***
中国	1991-2010	917	3.858e-01***	1.345e+02***	1.282e-01	-6.146e-01***
	1991-2000	41	2.499e-01	5.536e+01	-3.988e-01	-1.505e-01
	2001-2010	899	3.826e-01***	1.275e+02***	1.275e-01	-5.963e-01***

***: $p < 0.01$, **: $p < 0.05$, *: $p < 0.1$

これらの結果から示唆されることをまとめてみよう。まず、4つの指標のうち、ほぼ全ての国、期間でイノベーションの質と比較的優位な関係にあったのは、次数中心性、固有値中心性、およびパートの制約指標である。一方で、クラスター係数については、アメリカ以外では特許の被引用数との有意な関係は見られなかった。つまり、多くの企業と共同研究をしていること、世界の共同研究ネットワークの中心に位置していること、異なるグループの間を橋渡しするような位置にいたることが、企業のイノベーションのパフォーマンスを向上させている反面、企業同士が密接につながっていることは必ずしもそのような効果がない。これは、密なネットワークでは知識がすでに共有されていて、新しい知識を吸収できないというパートの議論（Burt, 1992, 2004）と整合的である。

しかし、アメリカでは、4つのネットワーク指標のいずれもが企業レベルの特許の被引用数に有意な関係があり、しかも、それは1990年代と2000年代を通じて変わらない。このことは、アメリカ企業が密接な企業ネットワークにおいても効果的に知識を吸収していることがうかがえ、これがア

アメリカ企業の高いイノベーション力の要因の 1 つになっていると考えられる。これは例えば、Rost (2011)がドイツの自動車産業のイノベーターのネットワークにおいて、強いつながりがイノベーションに結び付いていることと整合的である。

5. おわりに

本研究は、PATSTAT の世界的な特許データを用いて、企業間の特許の共同出願共同研究とみなし、企業間の共同研究、特に国際的な共同研究に関する特徴について国際比較を行った。さらに、世界の企業間の共同研究ネットワークの構造と企業のイノベーションの質（特許の被引用数）との関係を分析した。この分析は、共同研究ネットワークを通じて知識が伝播することを前提としており、企業がネットワークの中でどのように他社と直接間接につながっているかが知識の流入を通じてイノベーションの質を向上させるかを検証するものである。特に、ネットワークにおける各企業の位置関係の評価のために、ネットワーク科学で用いられている様々な指標を導入したところが特徴的である。

ここで、日本に関する主要な結果をもう一度まとめておこう。まず、日本は少数の大規模企業が特許を生み出しているが、アメリカでは多数の小規模な企業が特許を生み出している。また、日本は他の国に比べて共同出願を行う傾向が高いが、他国企業との共同出願関係は少なく、国内で密な共同出願関係を形成している。とは言え、グループ内で密につながっていることによって、日本企業がイノベーションの質を向上させているという証左は見当たらない。日本企業のイノベーションの質の向上に効果的なのは、多くの企業とつながっていること、中心的な企業とつながっていること、そしてグループ間を橋渡しするような多様なつながりを構築していることである。アメリカ企業が密なつながりからも恩恵を受けているのと対照的であり、日本企業が共同研究を通じた知識伝播によってイノベーションの質的パフォーマンスを向上させるためには、国内の似通った企業同士の密なつながりよりも、国内外のつながりの薄い企業間を橋渡しするような多様性の高いネットワーク構造が重要であることを示唆している。

これらの結果から、本稿では日本企業のイノベーション力の向上のために、企業および政府に対して以下の提言をしたい。まず第 1 に、少数の大企業がイノベーションの担い手となっている状況を打破し、中小企業や若いベンチャー企業もイノベーションを積極的に行うことが望まれる。そのためには、政府が中小企業・ベンチャー企業が共同研究をするような環境を整えることである。例えば、経済産業省は 2000 年代に実施した「産業クラスター計画」において中小企業の異業種連携や研究会、技術発表会などに対する支援を行ったが、これらは企業の特許出願数などにプラスの効果があったことが Nishimura and Okamura (2011a and 2011b) の定量分析によって明らかになっている。このようなネットワーク支援を拡大することは、中小企業のイノベーション強化に有効であろう。

第 2 に、企業間の知識伝播を円滑化するため、企業は多様な共同研究関係を構築していかなければならない。近年では製品やシステムが複雑化して分野横断的な知識が求められるために、他社と研究開発で連携するオープン・イノベーションが重要となってきており（元橋他, 2012）、多様なつながりはますます重要となっている。多様なつながりとは、海外企業とのつながりだけではなく、国内の異なる産業や地域に属する企業とのつながりも含んでいる。とは言え、企業間の共同研究は知識の盗用などのリスクがあり、企業は躊躇することも多い（Hagedoorn, 2003）。したがって、政府

が企業間の研究会や技術交流会や企業研究者の学会参加に対して支援することで企業間の信頼関係を醸成することが、多様な共同研究を推進する手段となりうる。

最後に、日本企業と海外企業の共同研究が他国と比較しても特に少ない現状を鑑みれば、海外企業とのつながりを太くしていく必要がある。共同研究の有無は企業のイノベーション力を向上させるが、その相手がさらに海外の企業であれば、さらにその効果は高くなることが示された。国際共同研究に伴って知識伝搬がより円滑に起きるような仕掛けを施しつつ、海外企業との共同研究を促進していく必要がある。

参考文献

- Belderbos, R., B. Cassimana, D. Faems, B. Leten and B.V. Looy (2014), Co-ownership of intellectual property: Exploring the value-appropriation and value-creation implications of co-patenting with different partners, *Research Policy*, 43 (5), 841-852.
- Berliant, M., and Fujita, M., 2008. Knowledge creation as a square dance on the hilbert cube. *International Economic Review* 49, 1251-1295.
- Berliant, M., and Fujita, M., 2011. The dynamics of knowledge diversity and economic growth. *Southern Economic Journal* 77, 856-884.
- Bonacich, P. (1987), Power and Centrality: A Family of Measures, *American Journal of Sociology*, 92, 5, 1170-1182.
- Briggs, K. (2015), Co-owner relationships conducive to high quality joint patents, *Research Policy*, 44 (8), 1566-1573.
- Burt, R.S., 1992. Structural holes: The social structure of competition. Harvard University Press, Cambridge.
- Burt, R.S. (2004), Structural Holes and Good Ideas, *American Journal of Sociology*, 110, 2, 349-399.
- Centola, D., 2010. The spread of behavior in an online social network experiment. *Science* 329, 1194-1197.
- Eaton, J., and Kortum, S., 1999. International technology diffusion: Theory and measurement. *International Economic Review* 40, 537-570.
- Ejermo, O. and C. Karlsson (2005), Interregional Inventor Networks as Studied by Patent Coinventorships, Centre for Innovation, Research and Competence in the Learning Economy (CIRCLE), Lund University, P.O. Box 117, Solvegatan 16, S-221 00 Lund, SWEDEN
- Fleming, L. and K. Frenken (2007), The Evolution of Inventor Networks in the Silicon Valley and Boston Regions, *Advs. Complex Syst.* 10, 53.
- Fleming, L., S. Mingo and D. Chen (2007), Collaborative Brokerage, Generative Creativity, and Creative Success, *Administrative Science Quarterly*, 52: 443-475.
- Freeman, L.C. (1979), Centrality in Social Networks Conceptual Clarification, *Social Networks*, 1, 215-239.
- Granstrand, O. (1999), Internationalization of corporate R&D: a study of Japanese and Swedish corporations, *Research Policy*, 28 (2-3), 275-302.
- Hagedoorn, J. (2003), Sharing intellectual property rights - an exploratory study of joint patenting amongst companies, *Industrial and Corporate Change*, 12, 5, 1035-1050.
- Inoue, H., K. Nakajima and Y.U. Saito (2013), Localization of Collaborations in Knowledge Creation, *RIETI Discussion Paper Series* 13-E-070.
- Jacomy, M., T. Venturini, S. Heymann and M. Bastian (2014), ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software, *PLoS ONE*, 9(6): e98679.
- Jaffe, A., M. Trajtenberg, and R. Henderson (1993), Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations, *Quarterly Journal of Economics*, 108 (3), 577-598.
- Kimura, F. and K. Kiyota (2006), Exports, FDI, and Productivity: Dynamic Evidence from Japanese Firms, *Rev. World Econ.*, 142 (4), 695-719.
- Le Bas, C., C. Sierra (2002), Location versus home country advantages' in R&D activities: some further results

- on multinationals' locational strategies, *Research Policy*, 31 (4), 589-609.
- Newman, M.E.J. (2010), *Networks an Introduction*, Oxford University Press.
- Nishimura, J., and Okamuro, H., 2011a. R&D productivity and the organization of cluster policy: An empirical evaluation of the industrial cluster project in Japan. *Journal of Technology Transfer* 36, 117-144.
- Nishimura, J., and Okamuro, H., 2011b. Subsidy and networking: The effects of direct and indirect support programs of the cluster policy. *Research Policy* 40, 714-727.
- Oxley, J.E. and R.C. Sampson (2004), The scope and governance of international R&D alliances, *Strategic Management Journal*, 25 (8-9), 723-749.
- Patel, P. and M. Vega (1999), Patterns of internationalisation of corporate technology: location vs. home country advantages, *Research Policy*, 28 (2-3), 145-155.
- Pearce, R. and M. Papanastassiou (1999), Overseas R&D and the strategic evolution of MNEs: evidence from laboratories in the UK, *Research Policy*, 28 (1), 23-41.
- Pearce, R. (1999), Decentralised R&D and strategic competitiveness: globalised approaches to generation and use of technology in multinational enterprises (MNEs), *Research Policy*, 28 (2-3), 157-178.
- Schumpeter, J.A. (1934), *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, Harvard University Press.
- Tobin, J. (1958), Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables, *Econometrica*, 26, 1, 24-36.
- Todo, Y., Matous, P., and Inoue, H., 2016. The strength of long ties and the weakness of strong ties: Knowledge diffusion through supply chain networks. *Research Policy* 45, 1890-1906.
- Todo, Y., and Shimizutani, S., 2008. Overseas R&D activities and home productivity growth: Evidence from Japanese firm - level data*. *The Journal of Industrial Economics* 56, 752-777.
- 清田耕造 (2015), 『拡大する直接投資と日本企業』, エヌティティ出版.
- 後藤晃, 玄場公規, 鈴木潤, 玉田俊平太, 2006. 重要特許の判別指標. REITI ディスカッションペーパー, No. 06-J-018.
- 戸堂康之 (2011), 『日本経済の底力ー臥龍が目覚めるときー』, 中央公論新社.
- 元橋一之, 上田洋二, 三野元靖 (2012). 日本企業のオープンイノベーションに関する新潮流: 大手メーカーに対するインタビュー調査の結果と考察. 経済産業省経済産業研究所, RIETI Policy Discussion Paper Series, No. 12-P-015.
- 中馬 宏之 (2010). サイエンス型産業における国際競争力低下要因を探る: 半導体産業の事例から. 経済産業省経済産業研究所, RIETI Policy Discussion Paper Series, No. 10-P-015.