

機関番号：82640

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20330060

研究課題名（和文） 多重ネットワーク分析手法を用いた新たな経済指標の検討

研究課題名（英文） Toward new economic indicator using multi-layered network analysis

研究代表者

玉田 俊平太 (TAMADA SCHUMPETER)

独立行政法人経済産業研究所・ファカルティフェロー

研究者番号：60312790

研究成果の概要（和文）：本研究では、企業間の取引（ニーズ）と特許の発生（シーズ）に着目し、現在の日本の企業間イノベーションシステムがどのように構築されているかを分析した。データとして 100 万の企業をノードとし、それらにおける取引と特許の共同出願によるリンクからなる多重ネットワークを分析した。分析に、産業連関表、ERG モデル、ベイジアンネットワークの 3 つを用いた。産業連関表の分析から、取引金額よりも取引件数の方が共同出願により影響を与えているであろうことが推測された。続いて ERG モデルに基づく分析から、企業間の取引は双方向になり、取引と特許の共同出願は同時に発生しやすいことがわかった。またこれより複雑な関係はあまり有意に発生しないこともわかった。最後にベイジアンネットワークに基づく分析から、企業間の取引関係が判明すれば、特許の共同出願と産業の種類は独立になることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Many firms these days, forced by increasing international competition and an unstable economy, are opting to specialize rather than generalize as a way of maintaining their competitiveness. Consequently, firms cannot rely solely on themselves, but must cooperate by combining their advantages.

To obtain the actual conditions for this cooperation, a multi-layered network based on two different types of data was investigated. The first type was transaction data from Japanese firms. The network created from the data included 961,363 firms and 7,808,760 links. The second type of data was from joint-patent applications in Japan. The joint-patent application network included 54,197 nodes and 154,205 links. These two networks were merged into one network. We analyzed the data from the viewpoint of input-output tables, the ERG model, and Bayesian networks.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2009年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2010年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：経済学

科研費の分科・細目：経済学・経済政策

キーワード：空間経済学、イノベーション、ネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

経済は、さまざまな経済主体が多様な関係によってつながり合った複雑なシステムである。多数の企業が他の企業から製品やサービスを購入し、大学・公的研究機関や他の企業から科学技術に関する知識を得、時には共同して研究開発を行い、その結果を特許として出願するとともに、最終的なアウトプットとして新たな製品・サービスを産み出して他の企業や最終消費者に販売する。

こうしたマイクロレベルでの企業活動の付加価値が積み重なって、マクロレベルでの経済成長が実現している。この長期的経済成長の要因は、労働や資本の投入もさることながら、イノベーションによってその多くがもたらされることが明らかとなっている。

少子化により労働人口が減少し、高齢化によって貯蓄率の低下が見込まれるわが国において、国民所得を増大し財政を再建するためにイノベーションが特に求められている。

そのため、政府においてもイノベーション担当大臣の任命や「イノベーション25」といった施策の策定を通じてイノベーションを促進しようとしている。

経済成長の主要因であるイノベーションのメカニズムに関しては、マイクロレベルのケース・スタディやマクロレベルの内生的成長モデル、特定の地域における企業間の活動に着目したクラスター分析など、これまでも多くの研究がなされてきた。しかしながら、インターネットが発達し、交通機関の高速化と相まってグローバル化がこれほど進展しているにもかかわらず、企業のイノベーション活動のホームベースはごく一部に集中している理由、地域毎の経済成長率に大きな差がある理由、さらにはイノベーションを促進するためにはどのような経済政策が適切であるかといった点については未解明の部分が多い。

それは、国内にある企業を網羅し、それらの企業間の共同研究開発や取引関係等の重層的な相互作用の形態（トポロジー）を同時に解析することによってイノベーションの発生メカニズムを解明しようとするような研究が、①多重ネットワークや特許の価値を解析する手法が未確立であること、及び、②データの入手が困難でかつ量が膨大であること、の2点が障害となってこれまで不可能であったからである。

しかし、近年、以下に述べるように、提案

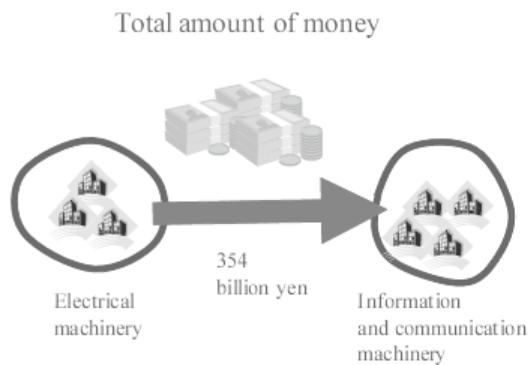
者らの研究の進展及び急速なコンピュータの発達により、これらの障害は取り除かれつつある。当初、多重ネットワークを解析する手法は、個人をつながりを読み解くために社会学の分野で研究されてきた。さらに、社会ネットワーク分析は産業組織論と結びつくことによって企業のネットワークへとその対象を広げてきた。ただし、ほんの10年前頃までの研究は、対象企業の集合を特定の産業や地域あるいは企業集団といった範囲に限定したものであり、企業数は多くても数百のオーダーであった。その後、1998年に提案されたスモールワールド・ネットワークや、1999年に提案されたスケールフリー・ネットワークを契機に、さまざまな分野の大規模ネットワークの解析が行われるようになった。ネットワークを考える場合には標本調査は効果を発揮しないため、全数調査が必要となる。ほんの数年前までは大規模かつ多重な経済ネットワークに関する研究は不可能であった。しかし、現在では、コンピュータの飛躍的な進歩とさまざまなデータが電子化されたため、全数調査に等しい企業ネットワークデータの入手および解析が可能となった。

提案者らはこれまでに大量の企業データを用いてイノベーションや多重ネットワークに関連した研究を行ってきた。イノベーションに関連する研究として、玉田（研究代表者）は、1994年以降の数百万件の特許データのデータベースを独自に構築し、学術研究とイノベーションとの関係や大学・公的研究機関と企業との共同発明等について研究してきた。また、井上（研究分担者）は、特許の共同出願人間の距離を計算し、イノベーションと地理的効果の関係を明らかにしている。谷川（研究協力者）と新森（研究協力者）は、弁理士および情報工学研究者の視点から特許価値評価のためのパラメータの抽出と価値モデルの構築、その実装について研究を進めてきている。相馬（研究分担者）は、株所有ネットワークの変遷や、上場企業が株所有、役員兼任、取引、共同出願特許という関係でつながった多重ネットワークを研究し、藤原（研究分担者）は大規模な取引ネットワークを解析してきた。青山（研究分担者）、家富（研究分担者）、池田（研究協力者）は、統計物理学の立場から企業のダイナミクスやネットワークを研究している。藤田（連携研究者）は、地域科学論を経済学に応用し空

間経済学を構成する一連の研究を行ってきた。

## 2. 研究の目的

本研究では、日本企業約 100 万社が、特許共同出願、株所有、取引、役員兼任、などの関係でつながったネットワークを解析する。はじめに、関係の強さを考慮しない場合について各種ネットワーク指標を計算し、ネットワークが持つトポロジーの性質を明らかにすることを目指した。そしてこれらの指標が、経済政策の立案にどのように資することが



できるのか検討を行った。

また、次のステップとして、企業間につながりの強さを定義し、重み付けられた多重ネットワークとして解析を行う。特に、複数の企業がつながり合っ塊（クラスター）を作った場合に、その塊の価値を計算する理論モデルの構築を目指した。

さらに、付加価値の高いクラスターにはどのような特性があるか解析し、高付加価値クラスターの生成を促進するための経済政策について検討を行った。

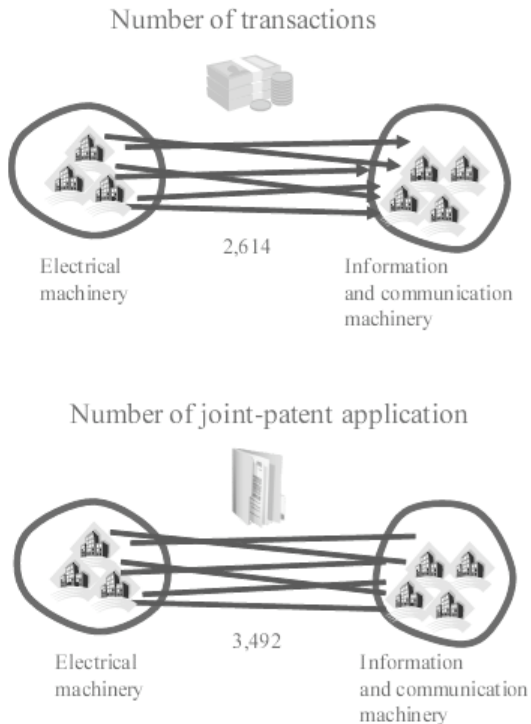
## 3. 研究の方法

本研究では、企業間の取引と特許の発生に着目し、現在の日本の企業間イノベーションシステムがどのように構築されているかを分析した。データとして 100 万の企業をノード（頂点）とし、それら間における取引および特許共同出願という 2 種類のリンク（紐帯）からなる多重ネットワークを分析した。分析には産業連関表、ERG モデル、および、

ベイジアンネットワークの 3 つを用いた。

## 4. 研究成果

産業連関表の分析から、取引金額よりも取引件数の方が共同出願により影響を与えているであろうことが推測された。つづいて ERG モデルに基づく分析から、企業間の取引は双方向になり、取引と特許の共同出願は同時に発生しやすいことが明らかとなった。最後に、ベイジアンネットワークに基づく分析から、企業間の取引関係が判明すれば、特許の共同出願と産業の種類は独立になること



が明らかとなった。

本研究から、取引金額の多寡よりも、取引件数の多寡の方が共同研究開発の件数と相関が高いという事実が明らかとなった。

この結果は、ERG モデルを用いた分析でも支持されている。取引関係と特許共同出願関係の両方が起きる確率は、ランダムな場合の確率より有意に高かったのである。

この分析結果からは、何度も取引を重ねて信頼関係が醸成された企業同士が共同で研究開発を開始したり、共同研究開発の遂行を通じて信頼関係が構築された企業同士で取引が生じたりするという、企業間の信頼関係の醸成に伴うトランザクションコストの低下、それを通じた企業間関係の進展という関係が推測される。

ベイジアンネットワーク分析の結果では、企業間の業種の組み合わせという変数が加わってもなお、取引と特許共願の有無という変数の間の結び付きは崩れなかった。

イノベーション促進策として異業種のマ

ッシングが一般的に推進されるが、そのように業種の組み合わせに注目することよりも、すでに醸成された取引関係の方が、共願関係の新たな生成に強い裏付けを与えるといえる。

企業の間関係には無数の事情があり、他のどのような変数が取引や特許共願の関係に影響を与えるかは今後も議論の余地があるが、少なくとも上記の結果から、取引と特許共願の関係の正の相関性について強い裏付けが得られたといえる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 28 件)

1. Iyetomi, H., Aoyama, H., Fujiwara, Y., Ikeda, Y., and Souma, W. (2011) "A Paradigm Shift from Production Function to Production Copula: Statistical Description of Production Activity of Firms," *Quantitative Finance*, forthcoming.
2. 飯野隆史・家富洋 (2011) 「ネットワークの可視化とコミュニティの安定性」『統計数理研究所共同研究レポート「経済物理とその周辺」』巻号頁未定
3. 吉川丈夫・飯野隆史・家富洋 (2011) 「正負の重みを持つネットワークに対するコミュニティ解析」『統計数理研究所共同研究レポート「経済物理とその周辺」』巻号頁未定
4. Iyetomi, H., Nakayama, Y., Aoyama, H., Fujiwara, Y., Ikeda, Y., and Souma, W. (2011) "Fluctuation-dissipation theory of input-output interindustrial relations," *Physical Review E*, Volume 83, Number 1, id. 016103.
5. Inoue, H. (2011) "Analyses of Compound Structures of Groups that Produce Intellectual Property," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 15, No. 2, pp.180-187.
6. 井上寛康・玉田俊平太 (2011) 「取引と特許共同出願の関係について」『RIETI Discussion Paper』11-J-024, pp.1-16.
7. Ikeda, Y., Souma, W., Aoyama, H., Fujiwara, Y., and Iyetomi, H. (2010) "Analysis of labor productivity using large-scale data of firm's financial statements," *European Physical Journal B*, Volume 76, Issue 4, pp. 491-499.
8. Fujiwara, Y. and Aoyama, H. (2010) "Large-scale structure of a nation-wide production network," *European Physical Journal B*, Volume 77, Issue 4, pp. 565-580.
9. Aoyama, H., Fujiwara, Y., Ikeda, Y., Iyetomi, H., and Souma, W. (2010) "Econophysics on Real Economy -The First Decade of the Kyoto Econophysics Group-," *Science and Culture*, Number September-October, pp. 1-6.
10. 井上寛康 (2010) 「取引の流れによるイノベーション波及の理解」『大阪産業大学経営論集』第 11 巻第 3 号, pp. 55-72.
11. 青山秀明 (2010) 「超統計物理学からの知見 労働生産性のばらつきと景気変動」『金融財政business』第 10099 号, pp. 4-8.
12. 相馬亘 (2010) 「企業所有の構造を解剖する -株式保有ネットワークの視点から」『金融財政business』第 10088 号, pp. 4-8.
13. 家富洋 (2010) 「秘められた日本の産業構造を解明する -生産ネットワークの視点から」『金融財政business』第 10084 号, pp. 12-16.
14. 玉田俊平太 (2010) 「特許と引用論文からみたサイエンス・リンケージ 産学連携ほどの技術分野で有効か」『金融財政business』第 10081 号, pp. 12-16
15. 井上寛康 (2010) 「特許から見た研究ネットワーク 効率的な経営資源活用策を探る」『金融財政business』第 10077 号, pp. 4-9.
16. Gallegati Mauro・青山秀明・藤原義久 (2010) 「マウロ・ガレガティ教授に聞く 世界不況と経済学の危機」『金融財政business』第 10075 号, pp. 10-12.
17. 藤原義久 (2010) 「"too connected to fail" の理解に向けて 関係性ネットワークと連鎖倒産」『金融財政business』第 10068 号, pp. 12-15.
18. 家富洋 (2010) 「揺動散逸定理と景気循環 経済変動の調べを聴く」『金融財政business』第 10065 号, pp. 4-6.
19. 青山秀明 (2010) 「ランダム行列理論がもたらした新しい発見 景気循環を見直す」『金融財政business』第 10062 号, pp. 4-6.
20. Inoue, H., Souma, W., and Tamada, S. (2010) "Analysis of cooperative research and development networks on Japanese patents," *Informetrics*, Vol. 4, pp.89-96.
21. 玉田俊平太 (2010) 「科学の技術革新に与える影響について」『ビジネス&アカウンティングレビュー』第 5 巻, pp.77-91.
22. Ikeda, Y., Souma, W., Aoyama, H.,

- Fujiwara, Y., and Iyetomi, H. (2009) "Analysis of labor productivity using large-scale data of firm's financial statements," *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, pp.1-9.
23. 井上寛康 (2009) 「知的生産集団のコンフィギュレーションの分析—半導体分野と遺伝子治療薬分野のネットワークの例—」『大阪産業大学経営論集』第10巻第3号, pp.193-204,
  24. 井上寛康 (2009) 「共同出願特許ネットワークにおける高クラスター係数再現モデルの検証」『大阪産業大学経営論集』第10巻第2号, pp.105-122,
  25. Souma, W., Ikeda, Y., Iyetomi, H., and Fujiwara, Y. (2009) "Distribution of Labour Productivity in Japan Over the Period 1996 - 2006,,". *Economics Discussion Paper No. 2009-2*.
  26. Frieden, J., Ratti, R. A., Aoyama, H., Fujiwara, Y. and Souma, W. (2009) "Structure and Temporal Change of the Credit Network between Banks and Large Firms in Japan," *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, Vol. 3, Issue 7, pp. 1-18.
  27. Aoyama, H., Fujiwara, Y., Ikeda, Y., Iyetomi, H., and Souma, W. (2009) "Superstatistics of Labor Productivity in Manufacturing and Nonmanufacturing Sectors," *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 2009-22, pp. 1-17.
  28. 井上寛康・相馬亘・玉田俊平太 (2008) 「共同研究開発の過程理解に向けた特許のネットワーク分析とモデル構築」『情報処理学会論文誌』第49巻第4号, pp.1563-1570.
- [学会発表] (計 18 件)
1. Inoue, H. "Analyses of a Multi-layered Network Based on Transaction and Joint-patent Application," *Sunbelt XXXI*, February 8 - 13, 2011, TradeWinds Island Resorts, St. Pete Beach, FL.
  2. 井上寛康 「多重ネットワークによる企業間イノベーション分析：経済を動かすのはニーズかシーズか」計測自動制御学会, 2010年11月25日, キャンパスプラザ京都.
  3. Inoue, H. "An Analysis of Transaction and Joint-patent Application Networks," *Econophysics Colloquium 2010*, November 4-6, 2010, Taipei, Taiwan.
  4. 吉川丈夫・飯野隆史・家富洋 「正負の重みを持つネットワークに対するコミュニティ解析」日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010年9月23日~9月26日, 大阪府立大学.
  5. 飯野隆史・家富洋 「Fast Unfolding法による複雑ネットワークのコミュニティ抽出」日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010年9月23日~9月26日, 大阪府立大学.
  6. Inoue, H. "Analyses of Industrial Affinity in Networks of Patents and Transaction," *Sunbelt XXX*, July 2., 2010, Riva del Garda Fiere Congressi, Riva del Garda (TN), Italy.
  7. 飯野隆史・家富洋 「企業間取引ネットワークに対する物理的可視化モデルとコミュニティ安定性の対応」日本物理学会第65回年次大会, 2010年3月21日, 岡山大学.
  8. 小林裕貴・飯野隆史・家富洋 「銀行—企業間の貸借データにおけるコミュニティ構造の年次変化」日本物理学会第65回年次大会, 2010年3月21日, 岡山大学.
  9. 亀浜紘祐・飯野隆史・家富洋・池田裕一・大西立顕・高安秀樹・高安美佐子 「大規模取引ネットワークの構造解析と可視化」日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008年9月23日, 盛岡 (岩手大学).
  10. 飯野隆史・小林裕貴・亀浜紘祐・家富洋・池田裕一・大西立顕・高安秀樹・高安美佐子 「大規模取引ネットワークの構造解析と可視化II」日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008年9月23日, 盛岡 (岩手大学).
  11. 池田裕一・青山秀明・相馬亘・藤原義久・家富洋 「大規模企業データを用いた労働生産性の解析」日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008年9月23日, 盛岡 (岩手大学).
  12. 亀浜紘祐・飯野隆史・家富洋・池田裕一・大西立顕・高安秀樹・高安美佐子 「分子動力学法を用いた大規模取引ネットワークの可視化」盛岡 (岩手大学). 東京 (統計数理研究所).
  13. 飯野隆史・小林裕貴・亀浜紘祐・家富洋・池田裕一・大西立顕・高安秀樹・高安美佐子 「大規模取引ネットワークのコミュニティ解析」統数研研究会「経済物理学とその周辺」, 2008年9月25日,
  14. 亀浜紘祐・飯野隆史・家富洋・池田裕一・大西立顕・高安秀樹・高安美佐子 「分子動力学による産業構造マップの構築」日本物理学会新潟支部第37回例会, 2008年12月21日, 新潟 (新潟大学).
  15. Ikeda, Y., Souma, W., Aoyama, H.,

- Fujiwara, Y. and Iyetomi, H. “Superstatistics of Labor Productivity in Manufacturing and Nonmanufacturing Sectors,” Applications of Physics in Financial Analysis 7th International Conference, March 2, 2009, Tokyo Institute of Technology, Tokyo.
16. Iyetomi, H. “Copula Modeling for Production Activity of Listed Firms in Japan,” 2009 Pacific Rim Conference, March 3, 2009, Ryukoku University, Kyoto.
17. Fujiwara, Y. “Structure and Temporal Change of Credit Network between Banks and Large Firms,” 2009 Pacific Rim Conference, March 3, 2009, Ryukoku University, Kyoto.
18. Iyetomi, H., Kamehama, K., Iino, T., Ikeda, Y., Ohnishi, T., Takayasu, H., and Takayasu, M. “Elucidation of Industrial Structure of the Japanese Economy through Visualization and Community Analysis,” Intelligent Decision Technologies IDT-09, April 24, 2009, Himeji, Japan.

[図書] (計 5 件)

1. Aoyama, H., Fujiwara, Y., Ikeda, Y., Iyetomi, H., and Souma, W. (2010) Econophysics and Companies: Statistical Life and Death in Complex Business Networks, Cambridge University Press, 300p.
2. 玉田俊平太 (2010) 「産学連携イノベーション-日本特許データによる実証分析」関西学院大学出版会, 140 頁.
3. 青山秀明・相馬亘・藤原義久・井上寛康 (2008) 「臨時別冊・数理科学 2008 年 7 月『ネットワーク科学への招待～世界の“つながり”を知る科学と思考～』」サイエンス社, 200 頁.
4. 青山秀明・家富洋・池田裕一・相馬亘・藤原義久「経済物理学」共立出版, 456 頁.
5. 玉田俊平太・井上寛康 (2009) 「産学連携によるイノベーション」土井教之(編著)『ビジネス・イノベーション・システム-能力・組織・競争』日本評論社, pp.309.

[その他]

ホームページ等

<http://www.rieti.go.jp/jp/projects/prd/prd-2/23.html>

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

玉田 俊平太 (TAMADA SCHUMPETER)  
独立行政法人経済産業研究所・ファカルティフェロー  
研究者番号：60312790

(2) 研究分担者

相馬 亘 (SOUWA WATARU)  
日本大学・理工学部・准教授  
研究者番号：50395117

藤原 義久 (FUJIWARA YOSHIHISA)  
(株)国際電気通信基礎研究所・メディア情報科学研究所・客員研究員  
研究者番号：50358892

青山 英明 (AOYAMA HIDEAKI)  
京都大学大学院・理学研究科・教授  
研究者番号：40202501

家富 洋 (IYETOMI HIROSHI)  
新潟大学・自然科学系・教授  
研究者番号：20168090

井上 寛康 (INOUE HIROYASU)  
大阪産業大学・経営学部・准教授  
研究者番号：60418499

(3) 連携研究者

藤田 昌久 (FUJITA MASAHISA)  
独立行政法人経済産業研究所・所長  
研究者番号：90281112