

| | |
|--------------|---|
| Title | 日本企業の研究開発投資多角化のネットワーク分析 |
| Author(s) | 宮澤, 俊憲 |
| Citation | 年次学術大会講演要旨集, 39: 482-487 |
| Issue Date | 2024-10-26 |
| Type | Conference Paper |
| Text version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/19458 |
| 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 |

日本企業の研究開発投資多角化のネットワーク分析

○宮澤俊憲（東京成徳大学）

miyazawa@tsu.ac.jp

1. はじめに**(1) 背景**

社会が持続的に発展するにはイノベーションが不可欠である。イノベーションの多くは企業の研究開発活動から創出されており、特に研究開発投資を自社の主力製品分野以外へ多角化することが技術融合をもたらし、新たなイノベーションを実現する。そのためには研究開発をマネジメントすることが必要であり、技術経営論ではこれまで多様なアプローチにより研究されてきた。

その一つに企業の研究開発活動を入出力システムとみなし、技術的多角化を分析する方法がある。技術的多角化を測定する入力側の指標としては研究開発投資額、研究者数、研究開発強度などがあり、出力側の指標としては出願特許数、登録特許数、公表された学術論文数などがある。既存研究では出力側の特許数や論文数に注目した分析が多く、入力側から研究開発投資多角化を定量的に分析した研究は数少ない。またその大半は製造業のみを対象としている。

しかし、近年の IT の急速な進歩による社会全体の IT 化と製造業のサービス産業化により、研究開発投資の多角化も各業種においてその重点分野が変わりつつある可能性がある。そのため、製造業だけでなく情報通信業などの主なサービス業も分析対象に加え、かつ網羅的なデータベースを使用した実証研究が求められていた。

そこで宮澤[1]は、総務省『科学技術研究調査報告』2008～2017年版をもとに、製造業 24 業種に情報通信業など研究開発投資規模が大きいサービス業 2 業種を加えた計 26 業種について、業種別分野別研究開発投資額の独自データベースを構築し、日本企業の研究開発投資の多角化動向、技術距離、研究開発関連指標の相関を産業中分類レベルで分析した。しかし、業種間の技術的な結合度や影響力などは、研究開発マネジメントの視点から重要であるにもかかわらず未解明なままとなっている。

ところで、業種間や企業間の取引や提携などの複雑な関係性の解明には、ネットワーク分析が有効である。ネットワーク分析[2][3]は社会学と自然科学の領域で発展し、ネットワークの関係性を特徴づける多様な指標が見出されおり、その応用分野は多岐にわたる。

杉山ら[4]は、日本企業間の取引関係にネットワーク分析を適用し、その構造的特徴や優位性を明らかにした。上野ら[5]は、産業連関表にネットワーク分析を適用し、産業部門間の本質的な結びつきを可視化した。田中[6]は、知的財産分野において個別業種レベルで企業間の共同出願特許に基づくイノベーション・ネットワークの特徴を分析した。伊佐田[7]は、IoT ビジネスにおいて企業間のネットワーク構造が研究開発成果と収益性に与える影響を実証分析している。

本稿ではこのような既存研究を踏まえ、他業種への研究開発投資を業種間のネットワークとして捉え、業種間の結合性の強さや中心性を定量的に分析した結果を報告する。

(2) 研究目的

前掲[1]で使用した 26 業種間の研究開発投資多角化データベースを直近まで拡張し、ネットワーク分析を適用することにより業種間の関係構造について新たな知見を得る。以下に主な研究目的を示す。

- ① 業種間の技術的連携において中心的な役割を担い、他業種へ影響力の強い業種は何か。
- ② 研究開発投資額の大きい業種が必ずしも技術的結合の中心を形成するとは限らないのではないか。
- ③ 研究開発活動においてどの業種間の結びつきが強く部分ネットワークを形成しているか。
- ④ 業種間の結合関係は経年推移とともにどのように変容してきたか。

以上を実証分析により解明する。

2. 分析手法**(1) データベース**

総務省統計局の『科学技術研究調査報告』では、資本金 1 億円以上の企業を対象にした社内使用研究費が調査されている。その業種別かつ製品・サービス分野別集計表を本稿のデータベースとして利用する。分析に使用する期間は 2008 年と 2018 年とした。2008 年を起点としたのは、その前年に日本標準産業分類が大きく改定されているためである。調査企業数は年によって多少変動はあるが概ね 5000 社前後である。分析にあたり、まず各業種とその業種の主力製品・サービス分野を一意に対応させる必要がある。そのため利用するデータベースに若干の集約を施した。集約方法の詳細は、宮澤[8]を参照されたい。業種と主力分野の対応表を表 1 に示す。

表 1 分析対象業種とその主力製品・サービス分野の対応表

| 業 種 | 主力製品・サービス分野 |
|-------------------|-----------------------|
| 農林水産業 | 農林・水産品 |
| 鉱業、採石業、砂利採取業 | 鉱業 |
| 建設業 | 建築・土木 |
| 食料品製造業 | 食料品 |
| 繊維工業 | 繊維、化学繊維 |
| パルプ・紙・紙加工品製造業 | パルプ・紙 |
| 印刷・同関連業 | 出版・印刷 |
| 医薬品製造業 | 医薬品 |
| 総合化学工業 | 化学肥料、無機・有機化学工業製品 |
| 油脂・塗料製造業 | 油脂・塗料 |
| その他の化学工業 | その他の化学工業製品 |
| 石油製品・石炭製品製造業 | 石油・石炭 |
| ゴム製品製造業 | ゴム製品 |
| 窯業・土石製品製造業 | 窯業・土石 |
| 鉄鋼業 | 鉄鋼 |
| 非鉄金属製造業 | 非鉄金属 |
| 金属製品製造業 | 金属製品 |
| 一般機械器具製造業 | 一般機械器具 |
| 業務用機械器具製造業 | 精密工業製品 |
| 電気機械器具製造業 | 家庭電気製品、その他の電気機械器具 |
| 電子部品・情報通信機械器具製造業 | 電子部品・情報通信機械器具 |
| 自動車・同附属品製造業 | 自動車 |
| その他の輸送用機械器具製造業 | 航空機、鉄道車両など自動車以外の輸送用機械 |
| その他の製造業（プラスチック含む） | その他の工業製品 |
| 電気・ガス・熱供給・水道業 | 電気・ガス |
| 情報通信業 | ソフトウェア・情報処理 |

(2) ネットワーク分析

26 業種の研究開発投資多角化データベースにネットワーク分析を適用し、業種間の結合度と位置関係をネットワーク図により可視化し直観的に把握できるようにする。また業種間の関係構造を表わす様々なネットワーク特徴量を測定することにより、中心性を有する業種や顕著に関係が強い業種を特定するとともに、その経年変化を定量的に分析する。

以下にネットワーク分析の概要を記す。

ネットワークはノード（頂点）とノード間をつなぐリンク（辺）で構成される。ノードはネットワークに属する個体であり、本稿では各業種がノードとなる。リンクはノード間に存在する関係性を表わし、本稿では他業種分野への研究開発投資がリンクとなる。ノード間の関係に方向がない場合を無向ネットワーク、方向がある場合を有向ネットワークという。また、ノード間のリンクが関係の有無のみを示す場合を重みなしネットワーク、ノード間のリンクが関係の強さや程度などの量的情報を有する場合を重み付きネットワークという。

本稿では、業種 A から業種 B への研究開発投資額をリンクの重みとして与えるため、分析対象は 26 業種間の重み付き有向ネットワークとなる。このネットワークにおいて自業種分野への研究開発投資は自己ループとなるため除外し、他業種との技術的結合度などの関係性をより明確に比較評価できるようにした。

ネットワーク特徴量には、ネットワーク全体の構造を表わす指標と各構成要素の特徴を表わす指標とがある[9][10]。本稿では以下に示す 12 の特徴量を測定した。

(i) ネットワーク全体の構造的特徴量

① 密度

ネットワーク上で結合可能なリンク総数に対し、実際に存在するリンク数の比率である。

そのネットワークが全体としてどの程度凝集的か、各ノードが緊密な構造を持つかを表わす。

② 平均経路長

ノード*i*からノード*j*へリンクをたどり到達できる場合、2つのノード間に経路が存在するという。有向ネットワークでは経路はリンクの向きに従う。その経路に含まれるリンク数を経路長と呼ぶ。ある2つのノードを結ぶリンク数が最小の経路を最短経路といい、その長さを最短経路長と呼ぶ。すべてのノードのペアにおける最短経路長の平均値が平均経路長である。

③ ネットワーク直径

ネットワーク上のすべてのノードペアにおける最短経路長の最大値、すなわちネットワークにおける最長の最短経路である。ネットワークの緊密さと広がり度を合わせ持つ指標と言える。

ネットワーク全体の構造を表わすその他の特徴量として平均次数と平均重み次数があるが、説明の都合から後述の各要素の特徴量において述べる。

(i i) ネットワークを構成する各要素の特徴量

④ 次数

ノードの次数とは、そのノードに接続しているリンクの数である。

有向ネットワークではリンクに向きがあるため、そのノードに他のノードから入ってくるリンク数を入次数とし、そのノードから他のノードに出ていくリンク数を出次数とし、両者を区別する。

リンクが重みを伴う場合は、重み付き次数はそのノードに接続しているリンクの重みの総和で定義される。同様に、重み付き入次数は他のノードから入ってくるリンクの重みの総和、重み付き出次数は他のノードに出ていくリンクの重みの総和として定義される。

⑤ 平均次数

ネットワークの平均次数は、ネットワーク内のリンク総数をノード数*N*で割った値として与えられる。同様に、平均重み次数はリンクの重みの総和をノード数*N*で割った値となる。

⑥ 次数中心性

一般的には、異なるノード数のネットワークを相互に比較できるようにするため、各ノードの次数を(*N* - 1)で割り標準化した値で定義する。しかしここでは比較する2時点間でノード数が同じであるため、各ノードの次数そのものを次数中心性として使用する。

⑦ 近接中心性

近接中心性は、あるノードから他の(*N* - 1)個のノードへの最短経路長の合計をとり、それを(*N* - 1)で割って平均距離を求め、さらにその逆数をとった値である。近接中心性の値が1に近いほど、そのネットワークの中心に位置する。リンクの重みは関係なく距離のみで算出される特徴量である。

⑧ 媒介中心性

媒介中心性は、あるノードが他のノードのペア間の最短経路上に含まれる割合である。媒介中心性が高いほど、そのノードが中継地点として重要な位置を占めることになる。異なるネットワークの領域を橋渡しするノードは、次数が低くても高い媒介性を持つ。

⑨ 固有ベクトル中心性

固有ベクトル中心性は、次数中心性を拡張した指標である。あるノードの中心性を評価するとき、そのノードと隣接するノードの次数中心性を反映させ定義される。従って、中心的なノードに結びつくほど、そのノードの中心性が高まる。最大値を1とした比で表される。

⑩ ページランク

Web ページのリンク評価として開発された指標である。他のページからリンク数が多いページほどランキングが高く、ランキングが高いページからのリンクは高く評価する。また、他のページへのリンクが少ないページからのリンクをより高く評価する。ページランクは、そのノードに接続されているノードの重要性を考慮に入れた中心性の指標である。固有ベクトルを利用して算出され、ページランクの値が高いほど中心性が高い。

⑪ クラスタリング係数

ノードの次数だけでは隣接するノード間の関係は掴めない。クラスタリング係数は、あるノードの隣接ノードがどの程度密に接続しているかを示す特徴量である。つまりネットワークの局所構造として、そのノードと周辺がどの程度クラスター化しているかを表わす。

⑫ モジュラリティ

ネットワーク内をいくつかのコミュニティに切り分けるときの基準となる指標である。

モジュラリティが高いほど良い分割となる。

上記①~⑫の特徴量の算出と可視化には、ネットワーク解析ソフトウェア Gephi を使用した。

3. 分析結果

全体構造と各業種の特徴量を分けて示す。

(1) ネットワーク全体の構造変化

表 2 から 2018 年は 2008 年と比較し、僅かではあるが密度が上昇し平均経路長が短くなった。これは各業種間の結合度がやや強まったことを表わす。平均次数はほぼ同じであることから、業種全体としての多角化度は同程度である。その一方、平均重み次数が減少したことから他業種への研究開発投資額は相対的に減少している。

表 2 全体構造を表わす特徴量の比較

| 特徴量 | 2008 | 2018 |
|----------|--------|--------|
| 密度 | 0.606 | 0.614 |
| 平均経路長 | 1.417 | 1.411 |
| ネットワーク直径 | 3 | 3 |
| 平均次数 | 15.154 | 15.346 |
| 平均重み次数 | 135767 | 129200 |
| モジュラリティ | 0.38 | 0.449 |

(2) 各業種の特徴量

表 3 が 2008 年、表 4 が 2018 年の結果である。紙幅の制約により各特徴量について上位 3 業種を含む範囲で掲載した。上位から値を赤、青、緑で色分けをし、下位 3 業種に含まれる値はグレーの網掛けを施した。

表 3 2008 年の業種別特徴量

| 業種 | 入次数 | 出次数 | 重み付き入次数 | 重み付き出次数 | 近接中心性 | 媒介中心性 (%) | 固有ベクトル中心性 | ページランク | クラスタリング係数 |
|-------------|-----|-----|-----------|---------|-------|-----------|-----------|--------|-----------|
| 食料品 | 15 | 10 | 26,108 | 81,398 | 0.625 | 28.30 | 0.727 | 0.0713 | 0.7 |
| 印刷 | 7 | 9 | 1,897 | 30,306 | 0.610 | 1.41 | 0.330 | 0.0218 | 0.795 |
| 総合化学 | 21 | 24 | 155,647 | 155,167 | 0.962 | 30.35 | 0.958 | 0.0529 | 0.603 |
| その他の化学工業 | 21 | 17 | 225,501 | 40,574 | 0.758 | 12.65 | 0.960 | 0.0499 | 0.644 |
| 鉄鋼 | 10 | 14 | 11,023 | 51,234 | 0.694 | 1.07 | 0.509 | 0.0238 | 0.829 |
| 一般機械 | 21 | 25 | 248,831 | 198,453 | 1 | 42.02 | 0.944 | 0.0544 | 0.58 |
| 業務用機械 | 19 | 17 | 84,429 | 579,439 | 0.758 | 9.40 | 0.909 | 0.0445 | 0.681 |
| 電気機械 | 20 | 18 | 577,118 | 549,138 | 0.781 | 10.99 | 0.937 | 0.0462 | 0.641 |
| 電子部品・情報通信機械 | 22 | 21 | 1,023,079 | 762,436 | 0.862 | 23.50 | 1 | 0.0543 | 0.596 |
| 自動車 | 17 | 18 | 449,545 | 172,813 | 0.781 | 6.23 | 0.839 | 0.0382 | 0.734 |
| その他の輸送用機械 | 14 | 13 | 92,952 | 30,736 | 0.676 | 1.82 | 0.712 | 0.0311 | 0.788 |
| その他の製造業 | 19 | 22 | 80,464 | 127,056 | 0.893 | 14.85 | 0.890 | 0.0430 | 0.638 |

表 4 2018 年の業種別特徴量

| 業種 | 入次数 | 出次数 | 重み付き入次数 | 重み付き出次数 | 近接中心性 | 媒介中心性 (%) | 固有ベクトル中心性 | ページランク | クラスタリング係数 |
|-------------|-----|-----|---------|---------|-------|-----------|-----------|--------|-----------|
| 農林水産業 | 15 | 1 | 12,542 | 65 | 0.391 | 0.37 | 0.757 | 0.0388 | 0.824 |
| 鉱業 | 5 | 7 | 589 | 2,497 | 0.581 | 0.10 | 0.250 | 0.0151 | 0.911 |
| 食料品 | 14 | 10 | 26,371 | 69,240 | 0.625 | 28.57 | 0.673 | 0.0669 | 0.7 |
| 総合化学 | 21 | 23 | 200,511 | 175,490 | 0.926 | 24.94 | 0.912 | 0.0499 | 0.592 |
| 石油・石炭 | 9 | 9 | 4,188 | 16,914 | 0.610 | 1.11 | 0.449 | 0.0220 | 0.857 |
| 一般機械 | 22 | 23 | 429,977 | 243,969 | 0.926 | 33.02 | 0.988 | 0.0550 | 0.59 |
| 業務用機械 | 19 | 23 | 125,009 | 600,725 | 0.926 | 16.96 | 0.902 | 0.0432 | 0.595 |
| 電気機械 | 22 | 18 | 402,607 | 532,000 | 0.781 | 17.60 | 1 | 0.0530 | 0.629 |
| 電子部品・情報通信機械 | 20 | 20 | 888,091 | 417,203 | 0.833 | 17.03 | 0.908 | 0.0464 | 0.607 |
| 自動車 | 18 | 15 | 491,896 | 175,289 | 0.714 | 6.39 | 0.837 | 0.0399 | 0.707 |
| その他の輸送用機械 | 16 | 22 | 79,111 | 34,747 | 0.893 | 15.29 | 0.791 | 0.0428 | 0.650 |
| その他の製造業 | 21 | 22 | 94,362 | 150,714 | 0.893 | 16.55 | 0.961 | 0.0479 | 0.648 |

(3) 業種間ネットワークの可視化

2008 年、2018 年のどちらも 26 業種は 3 つのモジュールに分割された。2008 年を図 1 に、2018 年を図 2 に示す。各モジュールは研究開発活動において関係が密なコミュニティである。同一コミュニティに入る業種をそれぞれ青、緑、オレンジで色分けした。リンクの太さは、リンクの重みを表わす。

図 1 より素材系の鉱業と農林水産業は、2008 年にはむしろ加工組立系業種と関係が密接である。また図 2 より印刷業は、2018 年には素材系グループから離れ電子・情報系業種に接近している。

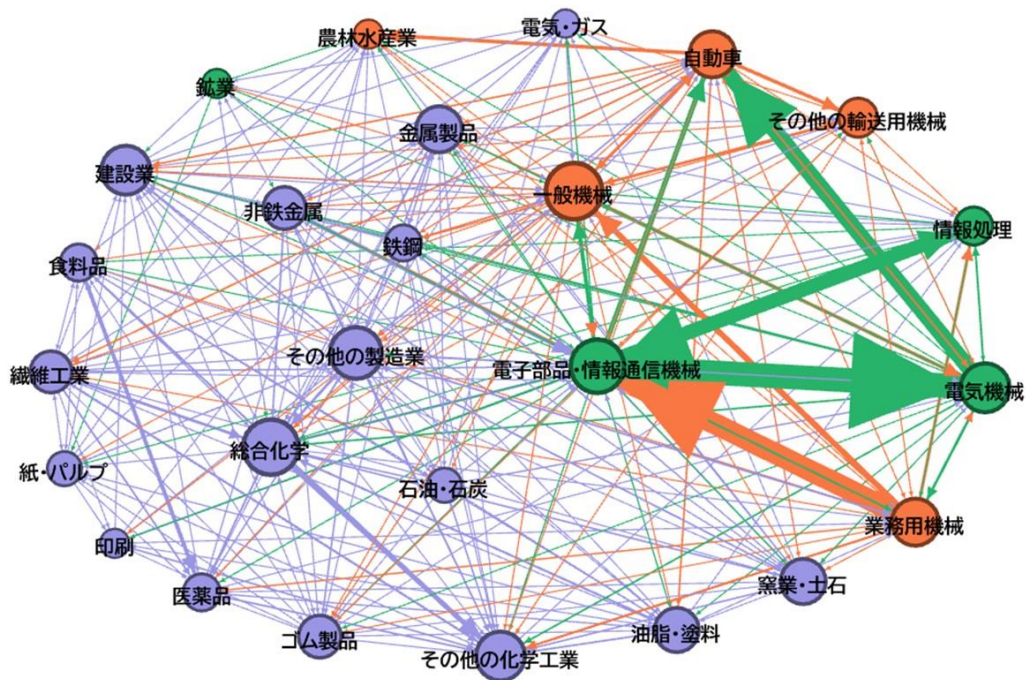


図1 2008年の研究開発投資多角化ネットワーク

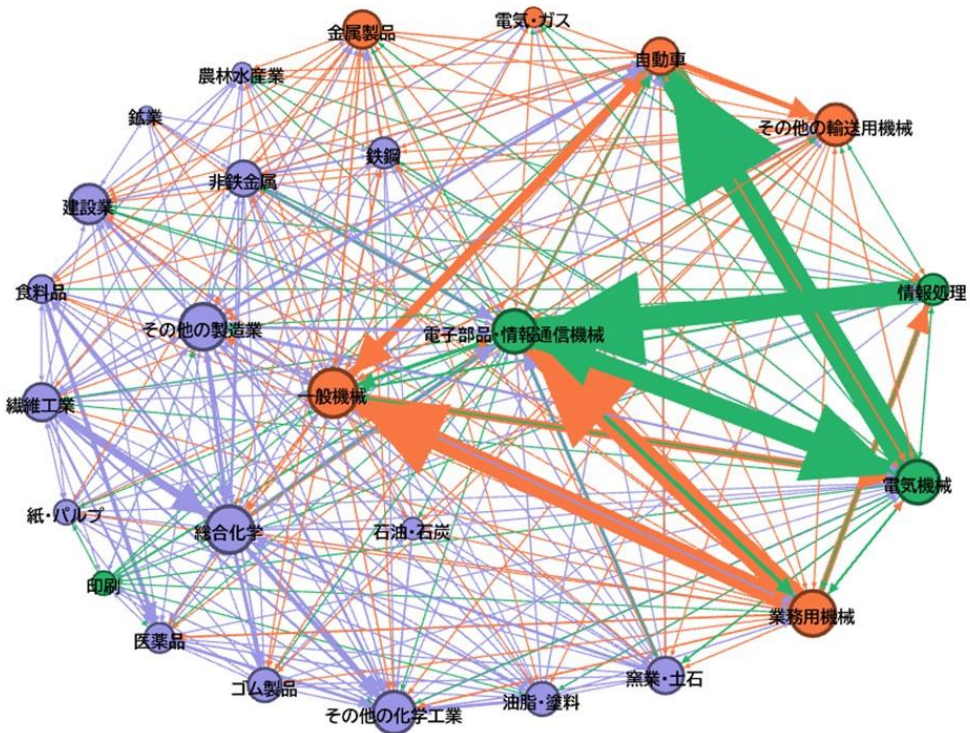


図2 2018年の研究開発投資多角化ネットワーク

4. 考察

前章の分析結果に基づき、研究目的に記した各項目について考察する。

- ・次数中心性は、各業種の重み付き入次数と重み付き出次数で測定される。重み付き入次数は他業種からの研究開発投資総額を表わし、重み付き出次数は他業種への研究開発投資総額を表わす。2008年、2018年とも研究開発投資規模の大きい電気電子系2業種や機械系業種が

大きな値を示し、次数中心性を有している。

- 近接中心性は他業種との距離の近さを表わす指標であり、一般機械と総合化学が大きな値をとっている。この両業種は、研究開発投資規模の大きい電気電子系業種よりも他業種への技術的影響力が相対的に強いことを示唆する。
- 媒介中心性は一般機械、総合化学、食料品製造業が継続して上位を占める。一般に業種 A と業種 C は直接の結合関係がなくとも、業種 B に属する企業と研究開発投資や共同研究で交流があれば、業種 B を媒介として間接的に相互の研究開発上の知見や技術を習得・吸収できる可能性がある。従って媒介中心性の高い 3 業種は、食料品製造業のように研究開発投資の絶対額が少なく次数中心性が低くても、研究開発の相互作用において重要な中継点の役割を果たしている。
- 固有ベクトル中心性は、各業種に隣接する業種の次数中心性の高さも加味した指標である。2008 年は電子部品・情報通信機械と総合化学が高いが、2018 年は総合化学がやや低下し、一般機械が上昇している。固有ベクトル中心性の高さは、その業種だけでなく隣接業種の研究開発投資の多角化が進展していることを示すものと言える。
- ページランクは、電気電子系業種と一般機械だけでなく食料品製造業が継続して高い値をとっていることが顕著な特徴である。研究開発投資多角化の対象業種として相対的な優位性がある。
- クラスタリング係数は、2008 年は鉄鋼業と印刷業が高く、2018 年は鉱業と石油・石炭製品製造業が高い。業種は入れ替わりがあるものの素材系業種が高い数値を示している。素材系業種は加工組立系業種と比較し、研究開発をする上で隣接業種と密接に結びついていることが推察される。
- 分析対象業種のうちサービス業である情報通信業については、2008 年、2018 年のどちらも中心性の特徴量はいずれも中程度であり上位に入らなかったため、表には掲載していない。
- 2008 年と 2018 年のネットワーク可視化から、図左側の素材系ネットワークは図右側の加工組立系や情報通信系と比較し、リンクは細く投資金額は少ないものの結合関係が密であり、広範な多角化が継続している。また 2018 年には複数の業種が 2008 年と異なるコミュニティに移動しており、これはその業種の研究開発の指向性を示すものと言える。

5. 終わりに

本稿では日本の製造業全 24 業種、および情報通信業を含むサービス業 2 業種の分野別研究開発投資多角化データベースにネットワーク分析を適用し、業種間の結合関係を可視化するとともに、各業種のネットワーク特徴量を測定評価した。その結果、中心性の基準が異なれば中心的な役割を担う業種も異なり、研究開発投資規模には依存しないことが明らかになった。今後の研究では、集中度、推移性、相互性、各業種の構造的威信、拘束度等を測定し、業種間の関係性を詳細に分析したい。またデータベースを継続的に更新し、研究開発投資における業種間結合度の長期的な変容の解明に取り組んでいく。

参考文献

- [1] 宮澤俊憲 (2019) 「第 1 章第 3 節 研究開発投資の業種別多角化動向と近接性の分析」『研究開発テーマの事業性評価と資源配分の決め方』, 技術情報協会, pp.21-38.
- [2] Burt, R. S. and M. J. Minor (1983) “Applied Network Analysis,” Sage Publications
- [3] Albert, R. and A. L. Barabasi (2002) “Statistical Mechanics of Complex Networks,” Reviews of Modern Physics, Vol.74, pp.47-97
- [4] 杉山浩平, 本田治, 大崎博之, 今瀬真 (2006) 「ネットワーク分析手法による日本企業間の取引関係ネットワークの構造分析」『社会情報学研究』, 11(2), pp.45-56.
- [5] 上野雄史, 斉藤和巳, 沖本まどか (2016) 「ネットワーク分析を用いた産業連関表の可視化による主要取引関係の抽出」『行動計量学』, 43(2), pp.197-205.
- [6] 田中秀幸 (2019) 「情報通信産業のイノベーション・ネットワークに関する実証研究—共同出願特許データに基づくネットワーク分析—」『社会・経済システム』, 38, pp.53-59.
- [7] 伊佐田文彦 (2018) 「IoT ビジネスにおける研究開発ネットワークの実証研究」『組織学会大会論文集』, 7(2), pp.447-452.
- [8] 宮澤俊憲 (2017) 「研究開発投資の多角化と技術的近接性」『東京成徳大学経営学部 経営論集』第 6 号, pp1-23. <https://www.tsu.ac.jp/Portals/0/site-img/keiei/2016/宮澤.pdf>
- [9] 鈴木努 (2017) 『ネットワーク分析 第 2 版』, 共立出版
- [10] メンツァー, F. 他 (笹原和俊 監訳) (2023) 『ネットワーク科学入門』, 丸善出版