論文

デジタルアースを用いた階層を有する自動車産業における取引構造のビジュアライゼーション

Visualization of Hierarchical Transaction Structure with Digital Earth

正会員 有本 昂平^{†,††}, 渡邊 英徳[†]Kohei Arimoto^{†,††} and Hidenori Watanabe[†]

あらまし 本研究の目的は、国内企業の取引ネットワークの可視化である。そこで、取引ネットワークにおける階層ごとにアイコンの高度を段階的に変化させ、デジタルアース上にプロットする。さらに、地域内・地域間における取引をそれぞれ別の色で表現する。このビジュアライゼーションから、日本国内における企業間取引のあらましを読み取り、産業集積の度合を観察することができた。したがって、著者らの手法により、取引ネットワークの可視化ができることがわかった。

キーワード：企業間取引ネットワーク、階層構造、ビジュアライゼーション

1. ま え が き

本研究の目的は、国内企業の取引ネットワークの可視化である。そこで、取引ネットワークにおける階層ごとにアイコンの高度を段階的に変化させ、デジタルアース上にプロットする。さらに、地域内・地域間における取引をそれぞれ別の色で表現する。このビジュアライゼーションから、日本国内における企業間取引のあらましを読み取り、産業集積の度合を観察することができた。したがって、著者らの手法により、取引ネットワークの可視化ができることがわかった。

経済活動において企業間取引は重要な役割を担っている。企業間取引とは、製造業と製造業、製造業と卸売業、卸売業と小売業など、企業間で取引が行われる B2B (business to business) 取引のことをいう。そこで、近年では企業間の取引関係を複雑ネットワークとして解釈することで、企業を評価する研究¹⁾²⁾が行われている。

例えば、経済産業省が中心となって運用を始めた地域経済分析システム³⁾では、企業間取引ネットワークを地図上やグラフで表現することで、ユーザがデータの意味を読み取ることが容易にさせている。こうした活用が開始された一方で、社会ネットワークを代表とするネットワークデータの研究と比較すると、企業間取引ネットワークを用いた研究は進捗していない。これは有価証券報告書など主に上場企業を中心とした公開情報だけでは収集できる企業数や情

報量に限界があることが要因として考えられる。より充足されたデータを可視化することにより、人間の認知能力では把握が困難な全体像や特徴の把握を促進し、データの読み取りが容易になると思われる。そこで本研究では、前述の手法を用いて企業間取引ネットワークの可視化を試みる。

本稿の構成は次のとおりである。第2章では企業間取引ネットワークについて述べる。第3章では本稿の関連研究として企業間取引ネットワークの可視化を挙げる。第4章で著者らが提案する可視化手法について述べる。第5章では結果と考察について挙げる。最後に、第6章で本稿のま

図1 企業間取引データ

とめを述べる。

2. 企業間取引ネットワーク

株式会社帝国データバンク（以下、TDB とする）は日本国内で事業を営む企業に対して信用調査を行っている。TDB では、大企業から中小企業、また上場や非上場などの企業の規模に関わらず、日本国内の企業に対して偏りなく調査を実施している。そのため、通常では収集が困難とされている中小企業や非上場企業のミクロな情報まで収録されている。

信用調査により取得した取引先データから図 1 のような企業間取引データを生成する。企業間取引データは、ノードを企業、リンクを取引関係としたグラフとなる。企業間取引における取引関係は発注社、受注社とお金の流れの方向をもつことから有向グラフとして表現することができる。企業間取引データをつなぎ合わせることで、図 2 のような企業間取引ネットワークを構築することができる。

3. 関 連 研 究

3.1 自動車産業の取引構造分析

これまで多様な産業の特徴や地域性について、経済学を中心とした分野で論述されている。その中でも浅沼⁴⁾ は自動車産業の経済分析を行うことで、サプライチェーンにおける企業間取引の構造と機能を示している。また取引構造分析において企業間取引ネットワークの重要性を述べている。しかし、産業調査会社が提供する調査報告書をもとに分析をしているため網羅率が低い。

また、遠山⁵⁾ は特定の地域における自動車産業の取引構造について述べている。この分析では経済産業省が発表している工業統計調査を用いることで、市区町村単位での比較が可能となった。しかし、集計された結果を用いているため、市区町村を越えた地域での分析ができない。また日本全国に及ぶ企業単位の集積の様子や、産業における企業の空白域を把握することが困難である。

3.2 階層を有する企業間取引ネットワークの可視化

伏見ら⁶⁾ は特定の企業から 3 階層の業種間取引ネットワークの可視化手法を Z スコアを用いて提案している。すでに社会ネットワークの可視化などの分野で用いられているグラフ表現を、企業間取引ネットワークに応用している。伏見らの手法では同心円上に中心企業からの取引階層ごとに半径を変化させてノードを配置することで、企業間取引ネットワーク内における各ノードの階層を明示している。ノード間のリンク数を用いて、どのノード間にリンクが多く存在するかを行列化し、それらに対して Z スコアを考える。これによりクラスター間の関係の強さを算出し可視化することができ、階層ごとのクラスター間の関係の強さの把握が可能となる。

しかし伏見らの手法ではノードに業種中分類に基づくクラスターを用いているため、企業間取引ネットワークにおけ

る各クラスター内の企業数などの規模がわからない。また業種クラスターのノードを中心企業からの取引階層ごとに同心円上に配置させているため、産業集積や地域内・地域間の取引のつながりを把握することができない。

3.3 地図を用いた企業間取引ネットワークの可視化

阿部⁷⁾ は、東日本大震災の前後における被災 3 県（岩手県、宮城県、福島県）の企業間取引の増減を地図上へのマッピングと数値で可視化している。ノードを企業、リンクを取引関係とし、地図上へ企業間取引ネットワークをグラフで表現している。阿部の手法では企業単位のデータを用いることで、取引ネットワークにおける企業数などの取引の規模の把握が可能となる。そして地図上にそれら企業単位の取引をマッピングをすることで、取引が集中している地域や、地域内・企業間の取引のつながりを把握することができる。

しかし異なる階層のノードを同一平面上にマッピングしているため、企業間取引ネットワークにおける各ノードの階層の把握が困難である。企業間取引ネットワークにおけるノードである企業は、それぞれが発注と受注の有向リンクとしての流れがあり、この有向ネットワークがいくつもの階層に分かれ取引ネットワークを構成している。そのため同一平面上にノードをマッピングしている阿部の手法では取引関係の有無は把握できても、企業間取引ネットワーク内のノードの取引階層は区別できない。

3.4 本研究のアプローチ

企業間取引データの集合体である企業間取引ネットワークを用いることで、実社会の企業間取引ネットワークにほど近い状態を表現する。また、これらのデータを地図上にマッピングすることで、企業間取引ネットワークと地域のつながりの把握を可能にする。そして取引階層を区別してノードを配置することで、企業間取引ネットワークにおける階層ごとの集積の様子の把握が促進される。

そこで本研究では、企業間取引ネットワークを地図上に取引階層を区別して可視化を行うことにより、日本における企業間取引の構造と機能の把握の促進を目的とする。それにより企業間取引ネットワークにおける地域内、地域間のつながりを可視化する。

4. 提 案 手 法

4.1 自動車産業の取引構造データ

階層を有する取引構造のビジュアライゼーションのために、自動車産業における取引構造データを用いる。実社会に近い企業間取引ネットワークを表現するために、第 2 章で述べた TDB が保有する企業間取引データをつなぎ合わせた取引ネットワークを構築する。

本稿で用いるのは、2015 年 1 月時点の日本国内 735,204 社、4,869,600 取引の企業間取引データである。愛知県に本社を有する自動車メーカーを頂点企業（以下、tier0 とする）とし、1 次仕入先企業（以下、tier1 とする）、2 次仕入

表 1 自動車産業の取引構造データにおける階層ごとの企業数と取引数

Hierarchy	Company	Transaction
tier1	264	264
tier2	10,930	15,662

表 2 ノードデータのサンプル

column	data sample
企業コード	986385032
経度	139.367619
緯度	35.661527
高度	800000

表 3 リンクデータのサンプル

column	data sample
発注社企業コード	986385032
経度	139.367619
緯度	35.661527
高度	800000
受注社企業コード	986700000
経度	139.723199
緯度	35.672090
高度	400000

先企業（以下、tier2 とする）の計 3 階層の取引構造データを生成する。表 1 に各階層の企業数と、階層間の取引数を示す。tier1 は tier0 と直接取引があり、かつ自動車製造に必要な原材料や部品材料の製造を主な事業とする企業とする。tier2 は、tier1 と直接取引のある企業のうち、食料品・飼料・飲料製造業を除いた自動車製造と関係の強い企業とする。また複数の階層に抽出される企業は、頂点企業に近い階層を優先し、同一企業が複数の階層に存在しないような取引構造データを構築する。

構築する取引構造データから、ノードとリンクの 2 種類のデータを生成し、可視化に用いる。表 2、表 3 に生成するデータの項目を示す。これらのデータは、企業コード（9桁の数字からなる文字列）を用いることで企業を判別する。ノードのデータは、企業をプロットすることを目的とするため、企業コード、経度、緯度、高度で構成する。またリンクのデータは、企業間取引の描画を目的とするため、発注社、受注社それぞれの企業コード、経度、緯度、高度、また、地域の判別をするため都道府県を記録する。そして各企業の経度と緯度の情報は、所在地データをもとに東京大学空間情報科学研究センター提供のアドレスマッチングサービス⁸⁾を用いて得る。

4.2 可視化手法

本章では企業間取引ネットワークをデジタルアース上に可視化することで、企業間取引データがもつ全体像や特徴の把握の促進を目的とする。本提案では企業間取引ネットワークのデータとして、第 4.1 章で構築した自動車産業の取引構造データを用いる。また階層を有する企業間取引ネットワークを表現するために、3D での可視化が可能なデジタ

表 4 KML ファイルの抜粋

```

1: <Placemark>
2:   <styleUrl>companyIcon</styleUrl>
3:   <Point>
4:     <gx:drawOrder>1</gx:drawOrder>
5:     <altitudeMode>absolute</altitudeMode>
6:     <coordinates>x,y,z</coordinates>
7:   </Point>
8: </Placemark>
9:
10: <Placemark>
11:   <LineStyle>
12:     <altitudeMode>absolute</altitudeMode>
13:     <coordinates>x,y,z,x,y,z</coordinates>
14:   </LineStyle>
15:   <Style>
16:     <LineStyle>
17:       <color>5000d7ff</color>
18:       <width>0.5</width>
19:     </LineStyle>
20:   </Style>
21: </Placemark>

```

図 3 取引階層ごとに高度を変化させる提案手法

ルアースとして Google Earth を用いる。

Google Earth へ企業間取引ネットワークを可視化するために、企業間取引データにおけるノードとリンクの情報を KML (Keyhole Markup Language) ファイルとして生成する。KML ファイルは、Google Earth, Google Mapなどで、地理データの表示に使用する XML 標準をベースにしているファイル形式である。

表 4 に生成する KML ファイルの概要を示す。KML ファイルには Google Earth 上へのポリゴンの貼り付けや、プロットするすべてのノードと描画するリンクの緯度経度などの位置情報、またノードやリンクの属性を表現する色彩の情報を記述する。

Google Earth では、航空写真がベースとなっているため、山地や平地などの地表の色が忠実に再現されている。しかし詳細な地図の画像と描画するノードやリンクの情報が重なりあうことで視認性が低くなる。そのため地図上に黒色の半透明ポリゴンを重層することで、日本列島の描画を曖昧にする。

ノードを企業、リンクを取引とみなしたグラフとして企

図4 アイコンデザイン

企業間取引ネットワークをデジタルアース上に描画する。企業間取引ネットワークにおいて、取引構造データに含まれる企業は取引の回数に応じて異なる階層を有するネットワークと定義することができる。そこで本提案では図3に示すような、取引階層ごとにノードの高度を段階的に変化させる。高度を変化させることで、企業間取引ネットワークにおける企業の階層の把握の促進が期待される。

取引構造を俯瞰するためには、ノードとリンクがプロットされるエリアの全体が一画面上で表示できる必要がある。そのためデジタルアースをズームアウトしても tier0 から tier2 までのノードがすべて表示され、かつ階層ごとのノードの高度の差異がはっきりと区別できるように高度を設定する。本提案手法では、高度の差を 400,000[m] とし、各階層ごとの高度を tier0 は 800,000[m], tier1 を 400,000[m], tier2 を 0[m] と設定する。

企業間取引ネットワーク内においては多くのノードが存在する。そのためプロットが密集する地域ではアイコン同士が重なりあい、集積の様子を読み取ることができない。そこで本提案では、周囲が半透明で、中心部を不透明にした円形のデザインのアイコンを用いてノードをプロットする。図4のような半透明のアイコンを用いることで、企業の集積度合をヒートマップのように濃淡で表現する。またアイコンの中心部分是不透明とすることで、企業が集積していない地域においても企業の立地を正確に表現することが可能となる。

そして、企業間取引ネットワークにおける取引関係を有するノードを直線のリンクで描画する。地域内の定義を同一都道府県内とし、リンクの色は地域内の取引を黄色、地域間の取引には青色を用いる。本提案ではリンクの色に補色の関係を用いることで、地域内・地域間の取引を明確に区別することができる。またデジタルアース上での描画時に、画面奥に存在する取引が把握ができるよう、リンクは半透明に設定する。

5. 結果と考察

企業間取引データから階層を有する自動車産業の企業間取引ネットワークを構築し、自動車産業の取引構造データを生成した。図5に第4.2章で提案する手法を用いてデジタルアース上に可視化した企業間取引ネットワークを示す。一画面上に自動車産業の取引構造データを可視化することで、企業間取引ネットワークの全体構造の俯瞰が可能となった。そして、取引階層ごとにノードをプロットする高度を段階的に変化させることで、階層ごとのノードの集積の度合を読み取ることができた。また階層間のリンクの量や地域内・地域間におけるつながりを把握することが可能となった。既存の取引構造分析では、特定の地域における産業集積について言及したものは存在する。しかし、全国における産業集積の比較をした事例はない。このことから、前述の提案手法はノードとリンクが有する複数の情報をひとつのビジュアライゼーションで表現する効果的な手法といえる。

ノードのプロットには、周囲が半透明で、中心部を不透明にした円形のデザインのアイコンを用いた。東京近辺における tier2 のノードのプロットを図6に示す。このアイコンにより、ノードが密集する地域ではアイコンが重なりあうことにより、ノードの密集度合を色が濃淡で読み取ることができる。また、アイコンの中心部を不透明にすることで、ノードが少ない場所においてもノードの存在を明示することができた。このアイコンを用いることで、ノードの集積の様子をヒートマップ的に表現をすることができた。よって、ノード数の多い企業間取引ネットワークにおいても集積の比較を可能にした。

またデジタルアース上に特定産業における全国の企業間取引ネットワークを描画をすることにより、自動車産業の取引構造における地域ごとの特徴の比較が容易になる。tier1 のノードは tier0 のノードが立地する愛知県、また東京都や大阪府などの大都市圏を中心に立地する企業で構成されていることがわかる。

図7にノードが日本全体に広がっている様子を示す。長野県上田・佐久地区においてノードが集中していることが読み取れる。一方で、四国や九州南部などの地域においてはほとんど存在しないことが読み取れる。地図上に全データをプロットすることで、集積している地域だけでなく、他地域との比較から空白域となっている地域を発見することが可能となる。tier0 の企業間取引ネットワークにおける参入企業が他の地域と比較し少ない。これは自動車産業において、部材の輸送コストなどの影響で仕入企業はその周辺に立地することが推測される。このように企業間取引ネットワークをデジタルアース上に可視化を行うことで、ノードがもつ地理的情報を効果的に把握させることができる。

図8にノードをリンクで結んだ図を示す。取引階層ごとにプロットするノードの高度を変化させることで、発注社

図 5 階層ごとに高度を段階的に変化させた企業間取引ネットワークのビジュアライゼーション

図 6 アイコンの重なりによるヒートマップ的可視化

である tier1 が上部に、また受注社である tier2 が下部というように、ノードの階層を区別して有向リンクを読み取れる。また取引が集中する地域間の取引は、リンクが重なりあうことで太いリンクとなる。このようにリンクの太さにより、地域間のつながりの強さを把握することができる。愛知県と東京都や大阪府などの大都市圏では、tier1 と tier2 をつなぐ取引において橙色のリンクが重なりあっていることから、地域内の取引が多く存在することが読み取れる。よって地域内の取引が盛んに行われているこれらの地域では、自動車産業における産業集積が進んでいると考えることができる。次に図 9 では北海道周辺の企業間取引を示す。北海道では地域内の取引が札幌市周辺に集中している。これは自動車製造工場を札幌市に有する tier0 に部材を供給

図 7 長野県上田・佐久地区の産業集積と四国・九州南部における産業の空白域

している tier1 や tier2 の仕入企業が、その周辺に多く立地すると推測できる。このように本提案手法を用いることで、既知の事実を明示することが可能となる。

6. む す び

本研究の目的は、国内企業の取引ネットワークの可視化

図 8 愛知県と大都市圏の企業間取引

図 9 北海道における企業間取引

である。そこで、取引ネットワークにおける階層ごとにアイコンの高度を段階的に変化させ、デジタルアース上にプロットした。さらに、地域内・地域間における取引をそれぞれ別の色で表現した。このビジュアライゼーションから、日本国内における企業間取引のあらましを読み取り、産業集積の度合を観察することができた。したがって、著者らの手法により、取引ネットワークの可視化ができることがわかった。

本研究の意義は、企業間取引ネットワークを可視化することで、特定の産業における階層を有する取引構造を明示したことである。取引構造の可視化により、特定の企業間取引ネットワークにおける企業の地域ごとの集積度合や、取引における企業のつながりの把握を容易にした。これにより、企業のつながりをみることで地域内・地域間の連携を読み取ることができ、行政区域を越えた産業の広がりや取引構造を把握することで政策連携の促進が期待される。

今回は tier0 を起点とする 3 階層の企業間取引ネットワー

クを用いて可視化した。さらに本提案手法を応用することで、3 階層以上の複数階層を有する企業間取引ネットワークを可視化することが可能である。また、tier0 を変化させることで異なる企業間取引ネットワークを可視化し、各企業ごとがもつ企業間取引ネットワークの特徴を比較することができると思料している。

〔文 献〕

- 1) 田村光太郎, 高安美佐子:
“企業間取引ネットワーク上でのお金の流れのモデル化とシミュレーション”, 日本シミュレーション学会誌, **33**, 4, pp.262-268 (2014)
- 2) 高安美佐子, 三浦航, 田村光太郎: “企業取引ネットワークの形成と特性”, システム/制御/情報: システム制御情報学会, **56**, 10, pp.517-522 (2012)
- 3) 経済産業省: “地域経済分析システム”, <https://resas.go.jp/> (July 2015)
- 4) 有賀健: “『日本の企業組織 革新的適応のメカニズム—長期取引関係の構造と機能』 浅沼万里著 (菊谷達弥編集)”, 岩波書店 (1998)
- 5) 遠山恭司: “長野県上田・佐久地区の自動車サプライヤーシステム調査報告”, 中央大学経済研究所年報, **44**, pp.307-339 (2013)
- 6) 伏見卓恭, 斉藤和巳, 郷古浩道: “Z スコアを用いた階層性を有するカテゴリ間関係の効果的可視化法”, 情報処理学会論文誌, **7**, 2, pp.93-103 (2014)
- 7) 阿部博史: “『震災ビッグデータ』”, NHK 出版 (2014)
- 8) 東京大学: “CSV アドレスマッチングサービス”, <http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/> (July 2015)

ありもと こうへい
有本 昂平 2010 年, 香川大学工学部卒業。2012 年, 同大学大学院工学研究科修了。2012 年, 株式会社帝国データバンクに入社。2014 年, 首都大学東京大学院システムデザイン研究科博士後期課程在籍中。正会員。

わたなべ ひでのり
渡邊 英徳 1996 年, 東京理科大学建築学科卒業, 1998 年, 同大学院修了。2013 年, 筑波大学大学院修了, 博士 (工学)。情報アーキテクト。2001 年より株式会社フォトン代表取締役 (現スーパーバイザー件取締役), 2008 年より首都大学東京システムデザイン学部准教授。これまでに「ヒロシマ・アーカイブ」「東日本大震災アーカイブ」などを発表。