

企業間取引ネットワークが都市空間構造に与える影響に関する実証分析

大平 悠季¹・織田澤 利守²・Jos van Ommeren³

¹正会員 鳥取大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒 680-8550 鳥取市湖南町 4-101)

E-mail: ohira@sse.tottori-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: ota@opal.kobe-u.ac.jp

³非会員 VU University FEWEB (De Boelelaan, 1081 HV Amsterdam, the Netherlands)

E-mail: jos.van.ommeren@vu.nl

空間的な近接性は、交通費用の低減を通じて経済主体間の相互作用を促進する。都市経済学分野では、この作用が都市集積を形成する主要因の一つであるとして、主体間相互作用と集積現象との関連性を解明する理論研究が多数蓄積されてきた。一方、経済主体の社会的距離と地理的距離との関連性を解明することを目的とした実証研究が、近年盛んに行われている。社会的距離は、主体同士の関連性や社会的重要性の程度を表す概念であり、相互作用の水準に影響を及ぼす。本研究は、都市内の企業の取引ネットワーク上の位置が地理空間上の立地点に与える影響を明らかにする。具体的には、広島市を中心とした都市圏において、株式会社東京商工リサーチの企業情報データおよび企業相関データに基づいて算出された社会的距離指標（企業間取引ネットワークにおける中心性）と地理的距離指標（地理空間における他企業との相対的な位置関係）を用いて、両者の因果関係を操作変数法により推定する。

Key Words : *inter-firm networks, network centrality, firm's location, instrumental variable method*

1. はじめに

多様な主体間のコミュニケーションは、現代社会において最も重要な活動の一つである¹⁾。特に、複雑で専門的な知識や情報を交換し、その過程で新たな知識やアイデアが創造されるような高度なコミュニケーションは、情報通信技術が高度に発達した現代においてもなお、フェイス・トゥ・フェイスで行われることがほとんどである。革新的な技術や概念の多くは、フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションを通じて行われる創造的活動の産物であり、社会の発展の原動力となっている。こうした高度なコミュニケーションの容易さが、都市における外部経済を形成している。

空間的な近接性は、交通費用の低減を通じて主体間のフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーション（Social Interaction, Non-market Interaction）を促進する。Marshall (1920)²⁾ は、同一産業の集積が形成される要因の1つとして知識のスピルオーバーを挙げている。Beckmann (1976)³⁾ は、都市空間における主体間の市場外での相互作用（相互訪問による対面交流）により、内生的な都心形成を表現した。これらの先駆的研究に続き、都市経済学分野においては、主体間の相互交流が都市の形成^{2),4)}、構造^{3),5)}、成長⁷⁾を規定する主要因の一つであるとして、主体間の相互作用と集積現象との関連

性を解明する理論研究が多数蓄積されてきた。ただし、これらの研究の着眼点は、主体間の地理的距離が経済活動の集積現象に及ぼす影響に置かれている。

コミュニケーションは相手を必要とする活動であり、その質や頻度はコミュニケーションを行う主体同士の信頼性や関連性の程度に大きく依存する。多様な主体の複雑に入り組んだ社会的関連性は社会的距離と呼ばれ、主体間の相互作用に対しては地理的距離のみならず社会的距離が重要な役割を果たすことが、社会科学等の見地から指摘されてきた。特に、主体間の関連性をグラフを用いて表現した社会ネットワークは、社会学や人類学、組織論等といった幅広い学問分野において、様々なレベルでの行為主体間の相互依存関係を理解する上で有益な枠組みを提供している⁸⁾。Ballester et al. (2006)⁹⁾ は、主体の社会ネットワーク上の位置と合理的選択行動とを関連づける理論的枠組みを提案している。これは、従来の煩雑なモデルに対して、任意の構造をもつ社会ネットワーク上の主体間の相互依存関係と選択行動との関連性を解析可能な均衡モデルであり、応用可能性の高い枠組みとなっている。Helsley & Zenou (2014)¹⁰⁾ は、Ballester et al. に都市と郊外からなる地理空間を導入し、社会的距離と地理的距離が主体のコミュニケーション水準選択を通じて互いに作用し

合いながら都市の構造を決定づける様子をモデル化した。ここでは、比較静学分析により、社会ネットワーク上で中心的な主体ほど都市中心部に立地する傾向があるという結論が示されている。

一方、経済主体の社会的距離と地理的距離との関連性を解明することを目的とした実証研究が、近年盛んに行われている。Duranton & Overman (2005)¹¹⁾ は、同一産業に属する企業同士の実際の立地点間の距離が、仮想的にランダムに割り当てられた立地点間の距離より有意に短いことを示し、産業集積を検証した。この Duranton & Overman の分析手法を援用し、Nakajima et al. (2013)¹²⁾ は、同一産業に属する企業同士の取引関係の強さが産業集積を促していることを示した。また、Itoh & Nakajima (2014)¹³⁾ は、企業の取引関係ネットワークにおける Katz-Bonacich 中心性が、FDI の意思決定における重要な要因であることを示している。本研究は、都市内の企業の取引ネットワーク上の位置が地理空間上の立地点に与える影響を実際の企業間取引データに基づいて明らかにする。取引関係ネットワークにおいて中心的な企業ほど、産業活動の中で多数の取引先企業との会議、交渉といった高度なコミュニケーションを行うため、地理空間上でも利便性の高い中心的な地点に立地すると考えられる。一方で、多数の企業と空間上で近接する企業は、周囲の企業との交流を活性化することによって取引ネットワークを拡大することも容易であるため、企業間の地理的距離が社会的距離に影響を与えることも考えられる。特定したい因果関係と逆向きの関係性は、逆の因果性 (reverse causality) と呼ばれる。一般に、逆の因果性が存在する場合には、2 段階最小二乗法や操作変数法によって因果関係を特定し得ることが、計量経済学における多くの研究蓄積から知られている。本研究では、広島市を中心とした都市圏において、株式会社東京商工リサーチ (以下、TSR) の企業信用調査データに基づいて算出した社会的距離指標 (企業間取引ネットワークにおける中心性) と地理的距離指標 (地理空間における他企業との相対的な位置関係) に操作変数を用いた 2 段階最小二乗法を適用することによって、両者の因果関係を推定する。

以下、2. で本研究の分析手法および本研究で用いるデータについて述べる。3. で操作変数を用いた 2 段階最小二乗法による分析を行う。4. で本研究で得られた結論を整理し、今後の課題を述べる。

2. 分析手法とデータ

企業の取引関係ネットワーク上の位置が地理空間上の位置に与える影響を検証する上で、式 (1) の関係を仮

定する。

$$\ln(\text{Distance}_i) = \alpha + \beta \ln(\text{Centrality}_i) + \delta \mathbf{X}_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

ここで Distance_i , Centrality_i , $\mathbf{X}_i$, ε_i は、それぞれ企業 i の地理的距離指標、社会的距離指標、その他属性ベクトル、誤差項を表す。

(1) 地理的距離指標

地理的距離指標 Distance_i には、各企業の規模 (従業員数) で重み付けした企業間平均距離 (the Weighted Average Distance; WAD) を用いる。WAD の定義は式 (2) の通りである。

$$\text{WAD}_i = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} n_j d_{ij} \quad (2)$$

n_j は企業 j の従業員数、 d_{ij} は企業 i, j 間の直線距離である。また、 $N = \sum_j n_j$ であり、分析対象となる全企業の従業員数の合計である。地理的により中心的な地点に立地する企業ほど、WAD は小さな値をとる。

また、より一般的な地理的距離指標に Hansen's Accessibility ACC_i がある。このアクセシビリティ指標は、企業間距離 d_{ij} の減衰関数 $f(d_{ij})$ を用いて

$$\text{ACC}_i = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} n_j \cdot f(d_{ij}) \quad (3)$$

と定義される。代表的なものに重力型アクセシビリティ $g\text{-ACC}$ があり、パラメータ $\gamma (> 0)$ を用いて式 (4) のように定義される。

$$g\text{-ACC}_i = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} n_j \cdot d_{ij}^{-\gamma} \quad (4)$$

(2) 社会的距離指標

社会ネットワーク分析において、ネットワーク全体におけるノードの相対的な重要性を表す様々な中心性指標が提案されている。本研究は、社会的距離指標 Centrality_i として PageRank 中心性 PR_i を採用する。

$$\begin{aligned} \text{PR}_i &= \sum_j \left\{ \frac{1-\mu}{M} + \mu \frac{g_{ij}}{D_j} \right\} \text{PR}_j \\ &= \frac{1-\mu}{M} + \mu \sum_j \frac{g_{ij}}{D_j} \text{PR}_j, \quad \sum_j \text{PR}_j = 1 \end{aligned} \quad (5)$$

企業 i, j はともに分析対象地域に立地する企業であり、 M は分析対象地域内の企業の総数を表す。 g_{ij} は隣接行列 $\mathbf{G} = [g_{ij}]$ の要素として定義され、企業 i, j 間に直接の取引関係がある ($g_{ij} = 1$) か否 ($g_{ij} = 0$) かを表す。ここでは無向グラフを想定して $g_{ij} = g_{ji}$ とし、また慣例上 $g_{ii} = 0$ とする。 D_j は、ノード j がリンクを持つ相手の数 (ただし、ノード i がリンクを持たない場合、 $D_i = 1$ とする) である。すなわち、 $1/D_j$ はノード j が接続しているすべてのノードの PageRank 中心性がノード j 自身の PageRank 中心性に与える影響を平均化している。また、 μ は推移確率を表すパラメータである。

式 (5) より, $\mu = 1$ のとき, PageRank 中心性は次数中心性と一致することがわかる. PageRank 中心性は, 元来ウェブページの重要性を評価するために開発されたもので, 「他のページからのリンク数が多いページほどランキングが高く, ランキングの高いページからのリンクは高く評価する」という発想に基づいている. 企業間のネットワークに即して考えると, 取引相手企業が多く, 取引関係にある中心的な企業であればあるほど, 自社の中心性も高くなる指標となっている. あるノードの中心性を評価する際に隣接ノードの中心性を反映する中心的指標の代表例に固有ベクトル中心性があるが, PageRank 中心性は, 固有ベクトル中心性を非連結グラフにも適用可能な形に拡張した指標と解釈することもできる.

(3) 操作変数法

式 (1) の推定に単純な最小二乗法 (OLS) を用いた場合, 推定結果を歪める要因がいくつか考えられる. 第一に, 最小二乗法を用いた場合, 1. に述べたような, 地理空間上の立地点が取引関係に影響を及ぼすような逆の因果性を考慮できない. 第二に, 企業の立地選択のほとんどは長期間を見据えた意思決定であり, 対応する中心性指標にもある程度の長期間に渡って計測したものをを用いることが適切であると考えられる. しかし, 本分析に用いたデータは特定の 1 年間のみの取引関係を切り取ったものであるため, $Centrality_i$ が $Distance_i$ に及ぼす影響は過小に推計される可能性がある. また第三に, データの制約上, 社会的距離指標と地理的距離指標の双方に影響を及ぼすと考えられる変数 (例えば, 従業員の学歴など) が捨棄されている. このため, 説明変数 $Centrality_i$ と誤差項 ε_i の間に相関が生じ, 推定パラメータが一致性をもたない. これらの問題に対して, 本研究では操作変数 (instrumental variable, IV) を用いた 2 段階最小二乗推定によって対処する. 本研究では操作変数として, 分析対象地域外の企業との取引 (内外取引) に着目する. 分析対象地域の領域を超えた, 相対的に遠方に立地する企業との取引を行うか否かは, 各企業の扱う財・サービスの種類や産業によって大きく異なる. 分析対象地域外企業との取引関係は, 分析対象地域内の取引関係 $Centrality_i$ には影響を及ぼすものの, 分析対象地域内の他企業との相対的な位置関係 $Distance_i$ に影響を及ぼすとは考え難い. そこで, 内外取引数 $x_{i,out}$ の自然対数 $\ln x_{i,out}$ を操作変数 Z_i として 1 段階目の最小二乗推定を行う (ただし, $x_{i,out} = 0$ のときは $Z_i = 0$ とする).

ここで, 式 (1) の説明変数に業種別のダミー変数を加えて各業種の傾向を推定しようとする, 一部の業種のサンプルサイズが小さくなるために推定の精度が低

減することがある. 今回の推定ではこの問題への対処方法として, 次のような方法を用いた.¹⁴⁾ まず, 2 段階推定の第 1 段階において式 (6) のようにすべての業種をプールして説明変数 $\ln(Centrality_i)$ を操作変数 Z_i に回帰する.

$$\ln(PR_i) = \beta_0 + \beta_z Z_i + \sum_k \beta_{D,k} D_{i,k}^{icm} + \delta X_i + u_i \quad (6)$$

第 2 段階では, 業種をまとめて導出された説明変数 $\ln(PR_i)$ の予測値

$$\ln(\widehat{PR}_i) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_z Z_i + \sum_k \hat{\beta}_{D,k} D_{i,k}^{icm} + \hat{\delta} X_i$$

に各業種 (大分類) ダミー $D_{i,k}^{icl}$ との積をいて推定する (以下, この手法を single-IV と呼ぶ). 式 (7) 中の $D_{i,k}^{icm}$ は, 業種 (中分類) k のダミーを表す.

$$\ln(WAD_i) = \alpha + \sum_k \beta_k \cdot \ln(\widehat{PR}_i) \cdot D_{i,k}^{icl} + \delta X_i + \sum_k \eta_{D,k} D_{i,k}^{icm} + \varepsilon_i \quad (7)$$

すなわち, 第 2 段階の推定式 (7) では, 社会的距離指標 (PageRank 中心性) が地理的距離指標 (WAD, g-ACC) に与える影響の傾向を業種ごとに捉えるために, 中心性と業種ダミーの交互作用項を設定している. 通常の操作変数法の場合, 第 1 段階で交互作用項 $\beta_k \cdot \ln(\widehat{PR}_i)$ を業種別に個々に推定し, 交互作用項の予測値 $\beta_k \cdot \ln(\widehat{PR}_i)$ を直接式 (7) に適用して第 2 段階の推定を行う. 本研究では, 第 1 段階ではすべての業種をまとめた推定式 (6) により $\ln(PR_i)$ を推定した上で, その予測値 $\ln(\widehat{PR}_i)$ を式 (7) の交互作用項に代入し, 第 2 段階の推定を行う.

(4) 本研究で用いるデータの概要

本研究は, TSR の 2014 年企業信用調査データを用いて, 広島県西部に位置する広島市, 呉市, 大竹市, 東広島市, 廿日市市, 安芸高田市, 安芸郡, 山県郡からなる地域を分析対象地域として分析を行う. TSR の調査データには, 全国から収集された企業の名称, 所在地, 法人格, 業種, 設立年月, 資本金, 従業員数, 事業所数等の属性データが含まれる. また, 各企業に対して最大 5 社の取引相手企業の情報が, 取引関係の種類 (「仕入先」, 「販売先」, 「主要株主先」の 3 種類) とともに含まれている. 本研究では, 「仕入先」および「販売先」の取引関係のみを分析対象として構築した取引関係ネットワークに基づいて社会的距離指標を算出した. その際, 分析対象地域内の他企業との取引を持たない企業は除外している. 地理的距離指標の算出にあたっては, 属性データに含まれる企業の所在地から位置 (経度・緯度) 情報を取得 (東京大学空間情報科学研究センターが提供する「CSV アドレスマッチングサービス」による) し, 企業間の直線距離 d_{ij} ($\forall i, j$) をした. これを式 (2) および (4) に代入して各企業の地理的距離指標を導出した. また, 取引関係が立地点に及ぼす影響に着目

表-1: 主な変数の記述統計

Variable	Obs	Mean	Std.Dev.	Min	Max
WAD[× 100m]	12618	154.9117	77.54565	83.58121	528.1302
ln(WAD)	12618	4.940221	0.4343825	4.425819	6.269343
$g - ACC$ ($\gamma = 1$)	12618	0.0169272	0.0127639	0.0019918	0.0902699
ln($g - ACC$)	12618	-4.345702	0.7440547	-6.218717	-2.404951
PageRank ($\mu = 0.85$)	12618	0.0576045	0.1062617	0.0143	3.4467
ln(PR)	12618	-3.22	0.7305569	-4.247496	1.237417
従業員数	12437	20.03916	2.03E+02	1	20473
資本金 [×10 ⁶ 円]	11380	0.0733381	2.742094	0	258.9571
労働生産性 [×10 ⁶ 円/人]	12188	0.0550824	2.776096	0	306.213
創業年数	11908	40.65511	22.38665	2	144
株式会社 (ダミー)	12618	0.5426375	0.4981985	0	1
内外取引数	12618	4.781106	25.29992	0	1130

するという観点から、分析する業種（産業）を建設業（業種ダミー D_4^{icl} に対応）、製造業（ D_5^{icl} ）、情報通信業（ D_7^{icl} ）、卸売業（ D_9^{icl} ）、金融業・保険業（ D_{10}^{icl} ）、学研究・専門・技術サービス業（ D_{12}^{icl} ）、小売業（ D_{21}^{icl} ）とした。表-1 に、データに含まれる主な変数の記述統計量を示す。労働生産性は、売上金を従業員数で叙することによって算出した。また、創業年数は 2016 年を基準としている。

3. 推定結果

single-IV による推定結果を、最小二乗法（OLS）の結果と合わせて示す（表-2）。表-2 の (1), (3) 列目は被説明変数となる地理的距離指標に $\ln(WAD)$ を、(2), (4) 列目は $\ln(g - ACC)$ を用いた場合の結果をそれぞれ示している。(3), (4) において、ほとんどの産業において $\ln(PR)$ との交互作用項が有意な値を示していることから、「社会的距離が地理的距離に影響を与える」という本研究の仮説が支持される結果となっている。推定値の符号は、(3) では負、(4) では正となっていることから、社会的距離が大きくなると、地理空間における分析対象地域内の他企業との相対的な距離が小さくなることが明らかとなった。特に、被説明変数に $\ln(g - ACC)$ を用いた場合、OLS の結果では中心性の影響が過小推定され、有意な結果が得られていないが、single-IV を用いることによって社会的距離が地理的距離に与える正の効果が確認できた。また、(3), (4) において労働生産性を表す $\ln(labour\ productivity)$ は有意な結果を示していない。このことから、取引関係の方が、労働生産性よりも地理的距離に影響を与えることが明らかとなった。

4. 結論

本研究の目的は、「社会的距離が地理的距離に影響を与える」という仮説を実際の企業間取引データに基づいて実証することである。仮説の検証にあたり、地理的距離が社会的距離に与える逆の因果性を考慮して、分析対象地域外の企業との取引数（内外取引数）を操作変数として 2 段階の最小二乗推定を行った。業種ごとの傾向を捉えるにあたって、業種による分割に起因するサンプル数の減少と推定精度の低下を防ぐために、第 1 段階の推定において業種ダミーと社会的距離指標との交互作用項を個別に推定するのではなく、業種をプールして推定した社会的距離指標の予測値を交互作用項に代入することによって、より精度の高い推定結果を得ることができた。推定結果より、社会的距離が大きくなると、地理空間における分析対象地域内の他企業との相対的な距離が小さくなることが確認でき、研究の目的が達成された。今後、多様な地域に対して本分析と同様の分析手法を適用し、分析対象地域の設定が推定結果に与える影響を確認することを通じて、都市圏の設定方法を検討する必要がある。

謝辞：本研究は科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 C（課題番号：16K14320）の助成を受けて行った。また、独立行政法人経済産業研究所・研究プロジェクト「経済集積の空間パターンと要因分析のための実証枠組の構築」の一部として行ったものである。ここに記して感謝する。

表-2: 推定結果

VARIABLES	(1) OLS ln(WAD)	(2) OLS ln($g - acc$)	(3) single-IV ln(WAD)	(4) single-IV ln($g - acc$)
$D_4^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.158*** (0.0376)	0.318*** (0.0653)
$D_5^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.0610 (0.0383)	0.0914 (0.0652)
$D_7^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.147*** (0.0547)	0.340*** (0.107)
$D_9^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.161*** (0.0364)	0.312*** (0.0638)
$D_{10}^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.277* (0.165)	0.879*** (0.329)
$D_{12}^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.164*** (0.0487)	0.316*** (0.0885)
$D_{21}^{icl} \cdot \ln(\widehat{PR})$			-0.203*** (0.0467)	0.390*** (0.0826)
ln(PR)	-0.0149** (0.00687)	0.0143 (0.0119)		
ln(employee)	-0.00548 (0.00508)	0.0234*** (0.00881)	0.0285*** (0.0111)	-0.0458** (0.0190)
ln(capital)	0.00340 (0.00540)	0.00685 (0.00953)	0.0133** (0.00617)	-0.0136 (0.0109)
ln(labour productivity)	-0.0360*** (0.00502)	0.0649*** (0.00862)	-0.0103 (0.00849)	0.0123 (0.0146)
age	0.000560*** (0.000210)	0.000574 (0.000366)	0.00114*** (0.000262)	-0.000623 (0.000456)
limited company dummy	-0.0670*** (0.00976)	0.133*** (0.0164)	-0.0702*** (0.00984)	0.139*** (0.0166)
Constant	4.904*** (0.0412)	-4.366*** (0.0721)	4.547*** (0.101)	-3.603*** (0.175)
R-squared	0.099	0.145	0.102	0.151

No. of Observations: 10,455

Note: Robust standard errors in parentheses.

***, **, *: significant at 1%, 5%, 10%, respectively

参考文献

- 小林潔司編著：知識社会と都市の発展，森北出版，1999.
- Marshall, A. : *Principles of Economics*, London: Macmillan, 1920.
- Beckmann, M. J. : Spatial equilibrium in the dispersed city, In: Papageorgiou, G. J. (Ed.), *Mathematical Land Use Theory*, Lexington, MA: Lexington Books, pp. 117-125, 1976.
- Duranton, G. and Puga, D. : Micro-foundations of Urban Agglomeration Economies, In: Henderson, J. V. and Thisse, J. F. (Ed.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. 4, North Holland, pp. 2063-2117, 2004.
- Helsley, R. W. and Strange, W. C. : Urban interactions and spatial structure, *Journal of Economic Geography*, pp. 1-20, 2007.
- Fujita, M. and Thisse, J. F. : *Economics of Agglomeration—Cities, Industrial Location, and Regional Growth*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- Lucas, R. E. : On the mechanics of economic development, *Journal of Monetary Economics*, Vol.22, pp. 3-42, 1988.
- Jackson, M. O. : *Social and Economic Networks*, Princeton: Princeton University Press, 2008.
- Ballester, C., Calvò-Armengol, A., and Zenou, Y. : Who 's who in networks. Wanted: The key player, *Econometrica*, Vol.74, pp.1403-1417, 2006.
- Helsley, R. W. and Zenou, Y. : Social Networks and Interactions in Cities, *Journal of Economic Theory*, Vol.150, pp.426-466, 2014.
- Duranton, G. and Overman, H.: Testing for Localization Using Micro-geographic Data, *Review of Economic Studies*, Vol.72, pp.1077-1106, 2005.
- Nakajima, K., Saito, Y.U. and Uesugi, I.: Role of Inter-firm Transactions on Industrial Agglomeration: Evidence from Japanese Firm-level Data, RIETI Discussion Paper Series, 13-E-21, 2013.
- Itoh, R. and Nakajima, K.: Impact of Supply Chain Network Structure on FDI: Theory and Evidence, RIETI Discussion Paper Series, 14-E-27, 2014.
- Balli, H.O. and Sorensen, B.E.: Interaction Effects in Econometrics, *Empirical Economics*, Vol.45, pp.583-603, 2013.