

企業間取引ネットワークの変化が 企業の生産性に及ぼす影響： 都市間交通基盤整備に着目した実証分析

明定 俊行¹・織田澤 利守²

¹非会員 神戸大学工学部市民工学科 (〒 658-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

²正会員 神戸大学大学院准教授 工学研究科市民工学専攻 (〒 658-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

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

本研究では、企業間取引ネットワークが企業の生産性に及ぼす影響について明らかにする。具体的には、2011年の九州新幹線全線開通に着目し、その前後において企業の仕入れ取引数の増加が企業の生産性に与える影響の因果効果を推定する。具体的には、企業が取引数を増加させる確率として傾向スコアを推定し、層別化を行なった上で、差の差分分析を用いて因果効果を推定する。推定結果より、交通インフラ整備が企業の取引関係に影響を及ぼすことがわかった。さらに、仕入れ取引数の増加は企業の生産性に正の因果効果をもたらすことがわかった。

Key Words: *inter-firm transaction network, productivity, causal effect, difference in difference propensity score matching (DID-PSM)*

1. はじめに

経済活動の中において、企業間取引ネットワークと企業の業績に深い関係があることは広く認識されている。特に、企業間の強いつながりは企業の競争力の源泉と考えられる。例えば、自動車メーカーと仕入先の間には緊密な関係が構築されており、取引先との共同研究開発なども行われている。また、経済産業省の政策においても、企業間取引ネットワークの構築によって生産性を向上させる取り組みは「つながり力」の活用として議論されている¹⁾。

企業が取引ネットワークを構築する上では、取引相手を探すための探索費用や財の輸送費用などの存在が地理的な障壁 (geographical friction) となる。交通インフラ整備はこうした障壁を押し下げ、企業はこれまでよりも広域な範囲から、より望ましい取引相手を見つけ出し、多様な財やサービスにアクセスできることを通じてより効率的に生産を行うことが可能となる。本研究では、このように交通インフラ整備を契機とする企業間取引ネットワーク (具体的には、仕入れ取引数) の変化が企業の生産性に及ぼす因果効果について推定を行う。

本論文の構成は、以下の通りである。2. では、既存研究について整理するとともに、因果推論に関する議論から、本研究の分析方針について述べる。3. では、本

研究で用いるデータおよび指標について述べる。4. では、交通インフラ整備などを含む企業の共変量から傾向スコアを算出する。5. では、差の差分分析を用いて本研究の目的である企業間取引ネットワークが企業の生産性に与える因果効果を推定する。最後に6. で、本研究の結論および今後の課題と展開について述べる。

2. 既存研究と本研究の分析方針

(1) 既存研究の概要

因果推論アプローチに基づいて、交通インフラ整備の様々な影響の推定を行う最近の既往研究について整理する。Holl(2016)⁴⁾ は、スペインの製造業を対象に1997年から2007年にかけて、幹線道路整備により企業のアクセシビリティ (各企業の幹線道路ICまでの距離と定義している) と集積の効果 (local density) が企業の生産性に及ぼす影響について、固定効果操作変数法を用いて分析を行っている。幹線道路によるアクセシビリティ向上効果は企業レベルにおいては集積の効果以上に企業の生産性を向上させるとし、幹線道路整備による影響の受けやすさは地理的要因にも起因することを示している。Xu and Nakajima(2015)⁵⁾ は、幹線道路が急速に延伸する中国を対象に、Countyレベルにおける、幹線道路整備が産業発展に及ぼす影響について分析している。分析方法には、傾向スコアマッチングを用い

た差の差分分析を用いている。1998年から2007年の期間を対象としており、地域レベルにおいて、幹線道路整備は生産量や投資額の多い産業に対し、より産業成長を促すとし、幹線道路整備の波及効果は、産業や地域によって異なることを示している。Bernard, Moxnes and Saito(2015)⁶⁾は、2004年に開業された九州新幹線鹿児島ルートを対象に、新幹線の駅近くに位置する企業のパフォーマンスが開通後に向上したかどうかをTriple difference approachを用いて分析を行った。企業のパフォーマンスを測る指標として、生産額、労働生産性、TFPR(Olley and Pakes 1996)を用いており、新設駅近くの企業の売上・生産性は上昇し、中間投入比率の高い産業ほど効果が顕著であるとしている。また、日本を500×500の地域メッシュに区切った上で、それぞれの地域間の取引量にも注目し、新設駅近くの地域間の取引量が増加していることも示している。ここで、Triple difference approachとは、差の差分法を拡張したもので、新幹線整備前後(2004年を基準)・新駅近く(新駅から30km圏内)か否か・中間投入比率の高い産業(the input intensity of industry)か否かの3つのdifferenceを用いて効果を推定する方法である。

Ushijima(2016)⁷⁾は、交通インフラ整備の因果効果を推定する上で3つの問題として、欠落変数バイアス(omitted variable bias)、立地選択バイアス(location selection bias)、処置のタイミングに関する問題(the timing of the treatment)があると指摘している。欠落変数バイアスとは、本来入っているべき変数がモデルに入っていないことで発生するバイアスのことであり、欠落変数が説明変数と相関している場合や被説明変数に影響を与えている場合に起こる。この問題に関してUshijima(2016)⁷⁾は他の多くの既存研究と同様に固定効果モデルを利用することで、地域の時間不変で共通な因子を制御している。立地選択バイアスとは、処置の割り付けがランダムでなく、処置の選択が被験者自身に委ねられるが存在する場合に起こる。つまり、そもそも交通インフラ整備が行われるのは企業などが集積している地域であるため、インフラ整備による効果を計測する際、整備効果に加え地域発展による効果などが含まれてしまう。これに対処する方法として、Ushijima(2016)⁷⁾は、傾向スコアマッチングを用いている。また、Nakajima(2015)⁵⁾も、countyレベルで高速道路が整備される確率を傾向スコアとして推定している。このように既存研究で参考としたものはどちらも地域レベルでの分析であった。つまり、地域レベルで傾向スコアの推定を行えば、ある程度立地選択バイアスを制御することができると考えられる。しかし、企業レベルにおいて交通インフラ整備を処置の有無とする傾向スコアの推定では、立地選択バイアスを排除することができない。なお、Saito(2015)⁶⁾も本

研究と同じく企業レベルで分析を行っているが、傾向スコアなど立地選択バイアスを排除するような手法を用いていないためこのバイアスが分析結果に含まれている。処置のタイミングに関する問題とは、例えば、九州新幹線は1972年に告示された改正基本線規格に盛り込まれた整備新幹線のうちのひとつであり、2004年に鹿児島ルート開通、2011年に全線開通となった。この場合、九州新幹線の開通効果をどの時点からとればそれは新幹線の効果と言えるのかという問題である。Saito(2015)⁶⁾は、九州新幹線の開通を、「計画は1973年に始まっており、開通の時期は不確かであったため、時期に関する問題は非常に少ないと考えられる」とし、開通の時点処置の時点としている。それに対し、Ushijima(2016)⁷⁾は、対象をリニア新幹線としているためでもあるが、計画が公表された2011年時点処置の開始された時点として定義している。

(2) 分析方針

本研究では、交通インフラ整備を契機とする企業間取引ネットワークの変化が企業の生産性に及ぼす影響の因果効果を推定することを目的とする。具体的には、「企業が仕入れ取引数を増加したかどうか」を処置の有無とし、差の差分法を用いて企業の生産性に及ぼす因果効果を推定する。しかしここで、2??にあった選択バイアスを考える必要がある。差の差分法では取引数を増加させた企業と増加させなかった企業の比較を行うものであるが、取引数を増加させるような企業はもともと大きな規模の企業であったり、生産性を向上させる要因が取引関係以外にも存在することが考えられ、推定した効果が本当に取引によるものなのかを判断するのは難しい。つまり、比較する企業間での共変量のインバランスが問題となっているのである。そこで、傾向スコアを用いて企業間の共変量をバランスさせる。この手法は傾向スコアマッチング差の差分法(DID-PSM: Difference in Differences - Propensity Score Matching)と呼ばれるものである。分析手順は以下の通りである。

まず、1) **交通インフラ整備を含めた企業の属性などを表す共変量から企業間の仕入れ取引数が増加する確率として傾向スコアを式(1)から推定する**(ただしここでは因果関係は見えない)。

$$\text{Propensity Score}_i = \text{Probit}(Z_i = 1 | X_i) \quad (1)$$

式(1)において、 Z_i は処置の有無を表すダミー変数($Z_i=1$: 処置あり, $Z_i=0$: 処置なし)であり、 X_i には、都市間交通基盤施設までの直線距離や取引関係ネットワーク中心性、集積の指標、さらに、企業の共変量(資本金、従業員数、売上金など)を加える。式(1)により推定された傾向スコアを用いて層別化を行った上で(これによ

り擬似的な無作為割り付けとなる), 2) 仕入れ取引数の増加が企業の生産性に及ぼす影響について, 因果効果の推定を差の差分析法を用いて行う. 推定モデルは以下の通り.

$$Y_{it} = a + bTRE_{it} + cAFT_{it} + dTRE_{it} + eX_{it} + F_i + v_{it} \quad (2)$$

式(2)において, Y_{it} は時間 t における企業 i のアウトカム指標, TRE_{it} は処置群に 1, 対照群に 0 をとるダミー変数, AFT_{it} は介入後に 1, 介入前に 0 をとるダミー変数である. TRE_{it} と AFT_{it} の交差項のパラメータ b が本研究で推定したい因果効果である.

3. 指標およびデータ

(1) 集積の指標

本研究では, Graham(2007)⁹⁾ で用いられた, Effective Density を参考に, アクセシビリティ指標 $ACC_i(\gamma)$ を定義する. Effective Density は, 経済主体 (各企業) 同士の距離とその規模 (従業員数) を用いて表現されるマーケットポテンシャル型の集積の指標である. 従来の集積の指標である都市人口などが, 分析対象の地理的単位によって区切られてしまうのに対して, マーケットポテンシャル型の集積の指標は, 地理的単位を超えて影響を与える集積の経済の効果を捉えることができる. (Melo 2008)¹⁰⁾ アクセシビリティ指標 $ACC_i(\gamma)$ 定義式は以下の通り.

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

ここで, n_j は企業 j の従業員数, $N = \sum_j n_j$ は全企業の従業員数の合計を表す. $f(d_{ij})$ を特定化した例として, 以下の 2 種類のアクセシビリティ指標がある.

$$e - ACC_i(\gamma) = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} n_j \cdot \exp(-\gamma d_{ij}) \quad (4)$$

$$g - ACC_i(\gamma) = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} \frac{n_j}{d_{ij}^\gamma} \quad (5)$$

$e - ACC_i(\gamma)$ はエントロピー型アクセシビリティ, $g - ACC_i(\gamma)$ は重力型アクセシビリティと呼ばれる. $\gamma (> 0)$ は距離に関する減衰パラメータである. $e - ACC_i(\gamma)$, $g - ACC_i(\gamma)$ は企業 i のアクセシビリティが高まるほど大きな値をとる.

(2) 取引ネットワーク指標

次に, 取引ネットワーク上の位置関係を表す社会的距離指標について, 本研究で用いる次数中心性および PageRank 中心性について説明する.

次数中心性 (degree centrality) は, 最も簡単かつ適用範囲の広い中心性指標であるといえる. 次数とは, ノード (本研究では企業を指す) の数である. すなわち, ネットワーク内でより多くのリンクをもつ頂点を高く評価

する中心性指標が次数中心性である. 次数中心性 D_i は以下の式で表される.

$$D_i = \sum_j g_{ij} \quad (6)$$

ただし, $g_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{(if firm } i \text{ and } j \text{ are directly connected)} \\ 0 & \text{(others)} \end{cases}$ である.

次数中心性を求めるには, ノードに接続しているリンクの数さえわかればよく, どのノードとどのノードが隣接しているかという情報は必要ではない. この点は, 次数中心性の適用範囲を広げる利点である一方で, ネットワークの全体構造を反映していないため, 欠点ともいえる. 本研究では, 九州内に限らず日本全国での取引数の総和を算出している.

Page Rank 中心性とは, Google 創始者の Brin and Page(1998) によって提案された Web ページの順位付けを行うアルゴリズムであり, Google の検索エンジンにも用いられている. これは「重要な (中心的な) ノードと隣接しているノードの重要性もまた高い」というアイデアの指標であり, 企業間取引ネットワークで考えると, 取引相手の中心性が自分の中心性に影響を与えるということである. また, Page Rank 中心性は, ある確率でリンクが別のノードに推移すると仮定する. これにより, 取引ネットワークに連結されていない企業も考慮した中心性を算出することを可能にしている. Page Rank 中心性 PR_i は, 以下の式で表される.

$$\begin{aligned} PR_i &= \sum_j \left\{ \frac{1-\mu}{M} + \mu \frac{g_{ij}}{D_j} \right\} PR_j \\ &= \frac{1-\mu}{M} + \mu \sum_j \frac{g_{ij}}{D_j} PR_j \end{aligned} \quad (7)$$

ここで, 企業 i, j はいずれも九州内に立地する企業であるとし, M は九州内の総企業数である. μ はパラメータであり, リンクが推移する確率を表している. 本研究では Brin and Page(1998) にしたがって $\mu = 0.85$ とした. g_{ij} はノード i, j 間のリンクの有無, D_i はノード i の次数 (ただし, ノード i がリンクを持たない場合, $D_i = 1$ とする) を表している.

(3) 生産性指標

本研究では, 利用可能なデータの制約から, 価値労働生産性 LP (= 生産額 (sales) ÷ 従業員数 (employee)) と全要素生産性 (以下, TFP と略す) を用いる. TFP とは, 労働や資本を含む全ての要素を投入量として, 産出量との比率を示すものである. 具体的には, 技術進歩や効率化, 投入要素の質の向上, 発明などを表す.

企業レベルでの TFP の計測について, Holl(2016)⁴⁾ で用いられている方法を参考に考える. まずコブ・ダグラス型生産関数を考える. コブ・ダグラス型生産関数

は以下の式で定義される。

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\beta_1} L_{it}^{\beta_2} \quad (8)$$

ここで、 Y_{it} は時間 t における企業 i の生産額 (sales) であり、 K_{it} は資本ストック (capital)、 L_{it} は投入労働量 (employee)、 A_{it} が TFP である。式 (8) の両辺に対数をとって、

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} \quad (9)$$

式 (9) より最小二乗法から年別、業種別に $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ を推定する。TFP はコブ・ダグラス型生産関数の残差として定義されるので、これより、

$$TFP_i = \ln Y_{it} - \hat{\beta}_1 \ln K_{it} - \hat{\beta}_2 \ln L_{it} \quad (10)$$

式 (10) より、各企業ごとに TFP が算出される。

(4) データ

本研究では、東京商工リサーチ (以下、TSR と略す) の企業信用調査データを用いて実証分析を行う。TSR の調査データに含まれる各企業の属性データとして、企業コード、法人格コード、企業郵便番号、企業所在地、業種、設立年月、創業年、資本金、従業員数、工場数、事務所数、決算年月、売上高、利益金などがある。またそれに加えて、各企業について最大 5 社の取引相手企業の情報が含まれている。取引相手に関する情報として、「仕入先」「販売先」「主要株主先」がある。本研究ではこのうち、「仕入先」「販売先」を取引情報として扱う。その他の利用データとして、各企業の緯度・経度情報は、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」を用いて取得した。また、鉄道駅や高速道路 IC などの都市交通施設や DID 人口集中地区などの GIS データに関しては、国土交通省国土政策局が提供する「国土数値情報ダウンロードサービス」を用いて取得した。

本研究の分析対象エリアは沖縄県を除く九州地方とする。「九州のビジネス環境」⁸⁾によれば、九州の人口は 1,323 万人 (総人口の 10.5%)、面積は 4.2 万 km² (日本の面積の 11.2%) である。九州の域内総生産額 (平成 21 年度、名目) は、約 43 兆円で、日本の国内総生産 (GDP) の 8.8% を占めている。また、平成 22 年の九州の製造品出荷額は 21.3 兆円であり、自動車・集積回路 (IC) 関連産業のウエイトが高くなっている (「平成 22 年工業統計」経済産業省)。都市間交通施設については、2011 年 3 月 12 日に九州新幹線全線が開業となり、鉄道網は九州全域に張り巡らされている。また、約 1,000km に及ぶ高速道路等が整備されている。さらに、九州地方には島が多数存在しており、九州本土における交通インフラの影響を受けない企業も存在する。そこで、本研究では九州本土からの橋の有無などを調べ、本土とのつながりがないと思われる島に立地する企業を排除して分析を行った。

TSR データより、2011 年における製造業に関して、九州内の 1 企業は平均的に九州内の 7.10 社と、九州外の 3.62 社との取引関係があることがわかった。また、企業間取引の距離は、九州企業の全取引数のうち約半数が 25km 以内の相手と取引を行っていた。TSR データ内に 2011 年から 2014 年の時系列データが存在する九州内の企業数は全業種合わせて 99530 社であり、そのうち製造業 (10018 社) を本研究の分析対象とする。

4. 傾向スコア推定

(1) 推定モデル

傾向スコアの推定には主に、ロジスティック回帰あるいはプロビットモデルが利用される。本研究では、プロビットモデルを用いて推定を行う。処置の割り付けを企業の仕入れ取引数が増加した ($Z_i=1$) か否か ($Z_i=0$) かとし、都市間交通基盤整備や企業の属性を表す共変量を X_i で表す。つまり、本研究で用いる傾向スコアは「各企業の仕入れ取引数が増加する確率」を意味している。推定モデルは以下の式で表される。

$$\text{Propensity Score}_i = \text{Probit}(Z_i = 1 | X_i) \quad (11)$$

共変量 X_i には、まず、交通インフラ整備に関する変数として、新設された新幹線駅までの距離 (newstationkm)、最寄りの新幹線駅までの距離 (Sinkansenkm)、最寄りの鉄道駅までの距離 (Railkm)、最寄りの高速道路 IC までの距離 (Highwaykm) を用いた。また、取引ネットワーク中心性指標である Centrality (次数中心性および PageRank 中心性)、集積の指標である Effective Density ($e - ACC_i(\gamma), g - ACC_i(\gamma)$)、その他、企業の属性を表す共変量 (資本金、従業員数、売上金など) を用いてモデル推定を行なった。傾向スコア推定において、重要なポイントは共変量をいかに選ぶかという点であるが、ここで様々な意見がある。なるべく多くの共変量を推定モデルに取り入れるべきという意見や、特にサンプルサイズが小さい場合には、無関係な共変量を取り入れるとオーバーフィッティングによるみかけの当てはまりの良さがみられるので適切に変数選択すべきという意見などがある。しかし、相関の高い変数のモデルへの取り込みによる多重共線性 (multicollinearity) は、各係数の解釈上では大きな問題となるが、予測の観点からはそれほど問題は大きくないことや、余分な変数をモデルに取り込むリスクよりも重要な変数をモデルに取り込まないリスクのほうが大きいことから、なるべく多くの変数を取り入れた方が良いと考えられる。一方、処置によって影響を受けた変数はモデルに含めるべきではないというコンセンサスはできている。(岩崎 2015)¹⁹⁾

(2) 推定結果

プロビット推定の結果、新幹線駅までの距離および高速道路 IC までの距離が有意に負の値を示し、Effective Density 指標が有意に正の値を示した。したがって、より新幹線駅や高速道路 IC の近くに立地しており、Effective Density の大きい企業ほど仕入れ取引数を増加させやすい傾向があることが分かる。また、最も有意な値を示したのは、取引数・資本金・従業員数・創業年数であり、それぞれ取引数の多い企業・資本金の大きい企業・従業員の多い企業・創業年数が小さい企業ほど仕入れ取引数を増加させやすいことが分かった。

(3) 層別化

次に、取引数の増加した処置群 (treatment group) と増加しなかった対照群 (control group) における傾向スコアの度数分布を図 1 に示す。製造業の場合、処置群が 1,693 社で、対照群が 6,468 社であった。図 1 からわかるように大半の企業が傾向スコア 0 から 0.5 の範囲に収まっている。そこで、傾向スコアが 0 から 0.5 の範囲において層別化 (stratified) を行う。一般に、5 つの層を用いることで、傾向スコアモデルに含まれている変数によるバイアスのうちの 90% のバイアスを取り除くことができると言われている (Rosenbaum & Rubin 1983)。したがって、本研究では、0.0 から 0.5 の範囲で 0.1 刻みに 5 つの層に分ける。

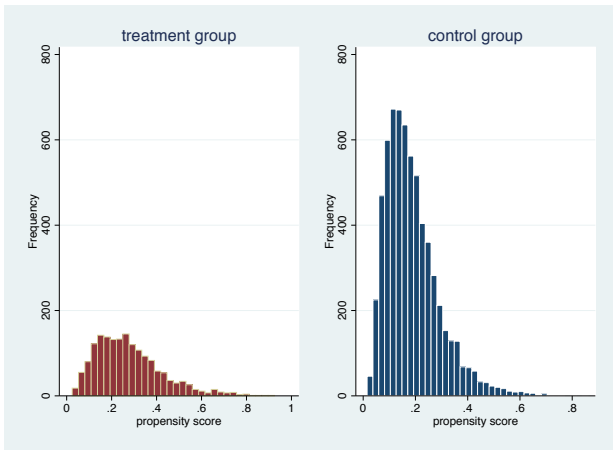


図-1 処置群と対照群の度数分布

(4) バランスチェック

最良の傾向スコアとは、共変量が 2 群間で最もバランスが取れた形にするものであり、2 群間でバランスが得られるということ自体が、その傾向スコアモデルが正しいということの証明になっている。つまり、バランスチェックは傾向スコア解析をする上で、非常に重要な作業である。バランスチェックの方法はいくつかあるが、

その中の一つの方法について結果を示す。表 1 は傾向スコアによる層別前後の平均と分散を比較したものである。表には一部しか表示されていないが、基本的にはできるだけ全ての共変量の比較を行った。表 1 から分かるように、層別前では処置群と対照群における値差は大きかったが、層別後は両群の値が比較的近づいている。さらに層別後の中でも細かく見ると、Stratified No.2~No.4 が他に比べてより近い値となっている。したがってこの 3 つの層に関して次の差の差分析を行った。

表-1 共変量の平均分散のバランスチェック

		Means		Variances	
		control	treated	control	treated
ln(PageRank)					
	Raw	-9.7598801	-9.3534478	0.90895229	1.013759
	Stratified 1	-10.206538	-10.202099	0.68985408	0.65630507
	2	-9.85362	-9.8392244	0.81480907	0.78726892
	3	-9.3629716	-9.3327373	0.84733244	0.82697938
	4	-9.0555226	-9.0529899	0.90906419	0.86613671
	5	-8.7469175	-8.6240436	0.88239793	0.78718127
ln(capital)					
	Raw	9.1352235	9.8036133	1.10165	1.3858549
	Stratified 1	8.340116	8.4119419	0.73685129	0.71277102
	2	8.9268298	8.9376402	0.71727599	0.72970483
	3	9.5667226	9.6481266	0.81200975	0.80355645
	4	10.276966	10.27019	0.92956418	0.92115313
	5	10.987111	11.014225	1.0339211	0.95555974

5. 差の差分析

(1) 推定モデル

差の差分析は、以下の回帰モデルにより定義される。

$$Y_{it} = a + bTRE_{it} \cdot AFT_{it} + cTRE_{it} + dAFT_{it} + eX_{it} + F_i + v_{it} \tag{12}$$

ここで、 Y_{it} は時間 t における企業 i のアウトカム指標を表す。本研究では生産額 (sales)・労働生産性 (LP)・全要素生産性 (TFP) を用いる。 TRE_{it} は処置群に 1、対照群に 0 をとるダミー変数であり、仕入れ取引数が増加したかどうかを表す。 AFT_{it} は介入後 (2012 年) に 1、介入前 (2011 年) に 0 をとるダミー変数で、 X_{it} は各企業の属性を表す共変量、 F_i は固有効果、 v は残差である。本研究では、共変量 X_{it} に高速道路整備によるアクセス向上 $\ln(\text{Highway})$ および集積指標 (Effective Density) の $\ln(g\text{-ACC}(1))$ を加えることで、生産性への要因比較を行う。式 (12) により推定したい因果効果、つまり、仕入れ取引数の増加による企業のパフォーマンスへの影響度合いはパラメータ b の推定値となる。また、パラメータ c は 2 群間で生じる差、パラメータ d は時点間で生じる差を表している。

固有効果の推定法については、固定効果モデル (fixed-effect model) あるいは変量効果モデル (random-effect model) を用いる。固有効果 F_i と説明変数 X_{it} に相関がある場合、固定効果モデルを用い、両者に相関がない場合、変量効果モデルを用いる。このとき、固定効果モデルと変量効果モデルのいずれを選択すべきかを判断する検定方法として、Housman 検定を用いる。Housman 検定とは、「固定効果モデルよりも変量効果モデルが正しい」という仮説を検定するものであり、仮説が棄却されれば、固定効果モデルが正しいと考えられる。なお、本研究では Housman 検定を行った結果、仮説が棄却されたため、固定効果モデルを用いた分析を行うが、推定結果には固定効果モデルを用いない場合の分析結果も示す。推定結果を表 2 に示し、考察を行う。

(2) 推定結果

表 2 は、傾向スコア 0.2-0.3 のグループである。本研究では固定効果モデルを採用しているため、(2),(4),(6)の結果が本研究での主な推定結果となる。いずれも $TRE \cdot AFT$ の係数が有意に正の効果を示している。(4),(6)で有意に正の値となっていることから、「仕入れ取引数の増加が企業の生産性に正の影響を与える」ということを示しており、本研究の目的が実証的に示されたことを意味している。また、(4),(6)において、高速道路 IC までの直線距離で表される $\ln(\text{Highway})$ と Effective Density を表す指標である $\ln(\text{g-ACC}(1))$ の効果が有意な結果を示していない。このことから、取引数増加による効果の方が、直接的なアクセス向上による効果や集積の効果よりも、企業の生産性に正の効果を示すことがわかる。これは Holl(2016)⁴⁾の結果と非常に似ているところがある。Holl(2016)⁴⁾では、高速道路 IC までの直線距離で表現されるアクセシビリティによる効果の方が、Effective Density による効果よりも、企業の生産性を向上させるとしている。これは (3),(5) から同じ結果が見られる。本研究では、さらに仕入れ取引数を増加させることによる効果の方が、直接的なアクセス向上及び Effective Density による効果よりも有意に企業の生産性に正の影響を与えるということが言える。また、Combes(2010)¹⁴⁾は、TFP を地域特性 $X_{a(i)}$ と企業特性 μ_i に依存すると仮定し、以下の式で定義している。

$$\ln TFP_i = \text{Constant} + \varphi X_{a(i)} + \mu_i \quad (13)$$

ここで、 $X_{a(i)}$ として、Employee Density や Market Potential を使用している。本研究では、ここでの Market Potential に代わる指標として Effective Density(g-ACC(1))を用いた。さらに取引数増加による効果を考慮しているため、本研究での TFP は以下のように表される。

$$TFP_i = \alpha + \beta(\text{transaction}) + \delta X_{a(i)} + \mu_i \quad (14)$$

したがって、本研究で得られた結果は、Combes(2010)¹⁴⁾の定義した TFP に取引数増加による効果を考慮したものとなっている。ただし、本研究のモデルは非常に短期の効果を扱っているのに対し、Holl(2016)⁴⁾は中長期、Combes(2007)¹⁴⁾は長期の効果を推定している。つまり、短期では、取引数増加による効果の方が直接的な時間短縮効果よりも企業の生産性へ及ぼす影響が大きいと考えられる。

固定効果モデルにおいては、時間を通じて変化しない変数は個別効果とともに取り除かれるため、(2),(4),(6)の推定結果では、 TRE の係数は推定されていないが、(1),(3),(5)といった固定効果モデルを用いていない推定では、 TRE の係数が推定されており、概ね有意に正の効果を示している。これは処置群と対照群を比較した際、処置群に入るような、つまり、仕入れ取引数を増加するような企業の方がそうでない企業に比べて企業パフォーマンスが高いことを表している。また、(3),(4)の LP (労働生産性) の推定では、従業員数 (employee) による効果が推定されていない。これは、LP 算出時に従業員数を用いて算出しており、二重推定を防ぐためである。同様の理由から、(5),(6)における TFP (全要素生産性) の推定について、資本金 (capital) および従業員数 (employee) による効果は推定されていない。

説明変数に多くの変数を用いることは多重共線性が懸念されるため、各変数に関する相関係数を算出した。その結果、相関係数が 0.5 を超えるものは資本と従業員に関するものだけであった。また、データ数を変えても結果がほぼ同じだったので、多重共線性の問題はないと考えることができる。

残りの傾向スコア 0.1~0.2、0.3~0.4 のグループについても分析を行った。傾向スコア 0.3~0.4 のグループについては、やや有意水準は下がるものの概ね傾向スコア 0.2~0.3 のグループと同じような結果となった。傾向スコア 0.1~0.2 のグループについては、バランス調整はされたものの、あまり有意な結果は示されなかった。これは、傾向スコア自体が低いことに起因していると考えられる。傾向スコアが低いということは、取引数を増加する確率が低いということである。企業が取引数を増加させるのは、その企業にとって取引数の増加が企業の業績の向上に寄与するからであり、生産性の向上が見込まれない場合は、取引数の増加を行わない。したがって、傾向スコアが低い企業の取引数の増加による生産性の向上が有意に出ないということは論理的に整合する結果であると言える。

表-2 差の差分析結果 2011-2012 製造業-1

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Sales	Sales	LP	LP	TFP	TFP
Score : 0.2 ~ 0.3						
TRE・AFT	23,693** (10,249)	21,515** (10,189)	1,741** (691.0)	1,760** (690.4)	0.0355*** (0.0137)	0.0348** (0.0137)
TRE	141,603*** (37,227)		6,308*** (2,158)		0.164*** (0.0371)	
AFT	34,526 (32,684)	34,279 (33,351)	1,669 (2,187)	1,551 (2,263)	0.00133 (0.0429)	-0.0157 (0.0448)
ln(Highway)	-1,599 (13,864)	-29,311 (79,889)	-1,348* (799.6)	-2,753 (5,422)	-0.0523*** (0.0137)	-0.114 (0.107)
ln(g-ACC(1))	10,094 (10,617)	9,784 (10,849)	590.8 (710.4)	525.6 (736.2)	0.000503 (0.0139)	-0.00508 (0.0146)
ln(Capital)	167,036*** (17,382)	5,141 (38,831)	8,497*** (1,030)	-650.4 (2,634)		
ln(Employee)	217,446*** (17,400)	114,947*** (23,916)				
Firm FE	No	Yes	No	Yes	No	Yes
Constant	-1.662e+06*** (189,846)	277,164 (404,482)	-51,919*** (11,279)	38,661 (27,111)	7.311*** (0.108)	7.396*** (0.198)
Observations	4,033	4,033	4,033	4,033	3,992	3,992
R-squared		0.015		0.004		0.005
Firms	2,017	2,017	2,017	2,017	2,003	2,003

Note: Standard errors in parentheses. ***, **, * : significant at 1%,5%,10%,respectivity

6. おわりに

(1) 結論

本研究の目的は、都市間交通基盤整備に着目して、仕入れ取引数の増加が企業の生産性に及ぼす因果効果を明らかにすることである。まず、仕入れ取引数の増加する確率として傾向スコアを推定した。その結果、製造業において、新幹線駅までの距離および高速道路 IC までの距離が有意に負の効果を示した。また、Effective Density を表現する集積の指標は有意に正の効果を示した。つまり、より新幹線駅や高速道路 IC に近く、大規模企業の側に立地している企業ほど仕入れ取引数を増加させやすい傾向があることを示している。ここで、各企業の共変量のインバランスを調整するため、推定した傾向スコアを用いて層別化を行なった。

次に、固定効果モデルを用いた差の差分析により、仕入れ取引数の増加が企業の生産性に与える影響についての因果効果を推定した。その結果、仕入れ取引数の増加が企業の生産性に有意に正の影響を与えるということが示された。また、高速道路 IC までの直線距離を示す指

標および Effective Density 指標が有意に推定されなかったことから、厳密な比較ではないが、仕入れ取引数を増加させることによる効果の方が直接的なアクセス向上効果および Effective Density による効果よりも有意に企業の生産性に正の影響を与えるということが言える。この結果は Holl(2016)⁴⁾ の示した結果と類似するものがある。また、本研究で得られた結果は Combes(2010)¹⁴⁾ の定義した TFP 計測に取引数増加の効果を考慮したものと考えられる。ただし、本研究のモデルは短期の効果を扱っているのに対し、Holl(2016)⁴⁾ は中長期、Combes(2007)¹⁴⁾ は長期の効果を推定している。つまり、1年ほどの短期では、取引数増加による効果の方が直接的な時間短縮効果よりも企業の生産性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

(2) 今後の課題と展開

今後の課題と展開を以下に述べる。まずは、傾向スコアモデルの改善である。傾向スコアの利用にあたって、前提条件を直接確認することは難しい。そこで、間接的なチェックとして、擬似決定係数 pseudo-R² や c 統計

量が高いなどを示すことでモデルの当てはまりが良いことを確かめるというものがある。本研究で使用した傾向スコア推定モデルでは、擬似決定係数がそれほど高くはなかったため、今後、モデル式の中に高次項や交差項を含めるなどして、より当てはまりの良い傾向スコア推定モデルを構築したい。

本研究における因果推論の枠組みにおいては、「企業の生産性向上が取引数の増加をもたらす」という逆向きの因果性について十分に対処できているとは言えない。本分析においては、1) 顧客側企業の仕入れ取引数と生産性の関係に着目している点、2) 逆向きの因果性について同様の方法で推定を行なった結果、有意な効果は認められなかったことから、逆向きの因果は推定結果にさほど影響を及ぼさないと推察されるものの、より厳密な検討を行うためには操作変数を用いた推定を行う必要がある。

謝辞：本研究は科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究（課題番号：16K14320）の助成を受けて行った。また、本研究は、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。

参考文献

- 1) 経済産業省：産業構造ビジョン 2010 骨子。
- 2) Daisuke Fujii, Kentaro Nakajima, Yukiko Saito, Determinants of Industrial Coagglomeration and Establishment-level Productivity, RIETI Discussion Paper Series 15-E-077, 2015.
- 3) Kentaro Nakajima, Transactions as a Source of Agglomeration Economies: Buyer-seller matching in the Japanese manufacturing industry, RIETI Discussion Paper Series 12-E-021, 2012.
- 4) Adelheid Holl, Highways and productivity in manufacturing firms, *Journal of Urban Economics*, 93, 131-151, 2016.
- 5) Hangtian Xu, Kentaro Nakajima, Highways and industrial development in the peripheral regions of China, *Papers in Regional Science*, 2015.
- 6) Andrew B. Bernard, Andreas Moxnes, Yukiko U. Saito, Production Networks, Geography and firm performance, National Bureau of Economic Research, 2015.
- 7) Hiroshi Kanasugi, Koichi Ushijima, The Impact of a High-speed Railway on Residential Land Prices, Department of Policy and Planning Sciences Discussion Paper Series ; No.1344, 2016.
- 8) 経済産業省九州経済産業局：九州のビジネス環境, 2012.
- 9) D. J. Graham, Agglomeration, Productivity and Transport Investment, *Journal of Transport Economics and Policy*, Volume 41, Part 3, pp.317-343, 2007.
- 10) Patricia C. Melo, Daniel J. Graham, Robert B. Noland, A meta-analysis of estimates of urban agglomeration economies, *Regional Science and Urban Economics* 39, pp.332-342, 2009.
- 11) Pierre-Philippe Combes, Laurent Gobillon, The Empirics of Agglomeration Economies, *Handbook of Regional and Urban Economics*, Chapter5.
- 12) Kentaro Nakajima, Yukiko Saito, Ichiro Uesugi, Role of Inter-firm Transactions on Industrial Agglomeration : Evidence from Japanese firm-level data, RIETI Discussion Paper Series 13-E-021, 2013.
- 13) Tsutomu Watanabe, Ichiro Uesugi, Arito Ono, Editors, The Economics of Interfirm Networks, Springer, 2015.
- 14) Pierre-Philippe Combes, Gilles Duranton, Laurent Gobillon, and Sébastien Roux, Estimating Agglomeration Economics with History, Geology, and Worker Effects, *Agglomeration Economics*, 15-66, 2010.
- 15) 黒田達郎, 田淵隆俊, 中村良平, 都市と地域の経済学, 有斐ブックス, 2008.
- 16) 山本勲, 実証分析のための計量経済学, 中央経済社, 2015.
- 17) 星野崇宏, 調査観察データの統計科学 因果推論・選択バイアス・データ融合, 岩波書店, 2009.
- 18) 森田果, 実証分析入門, 日本評論社, 2014.
- 19) 岩崎学, 統計的因果推論, 朝倉書店, 2015.
- 20) ヨシユア・アングリスト, ヨーン・シュテファン・ピスケ, 「ほとんど無害」な計量経済学, NTT 出版, 2013.
- 21) 星野崇宏, 繁榎算男, 傾向スコア解析法による因果効果の推定と調査データの調整について, 行動計量学第 31 号巻第 1 号, 2004.
- 22) 松浦寿幸, Stata によるデータ分析入門, 東京図書, 2015.

(2017. 4. 28 受付)

THE IMPACTS OF THE INTER-FIRM TRANSACTION NETWORK CHANGES ON FIRM-LEVEL PRODUCTIVITY

Toshiyuki AKESADA and Toshimori OTAZAWA

Investments in transportation infrastructure such as high-speed railway and highways not only reduce transportation costs between transaction partners but also promote the efficiency of production networks of firms. This study investigates how the inter-firm transaction network changes, which might be triggered by transportation investment, affect the performance of firms. Regarding the whole line opening of Kyushu Shinkansen in 2011 as an external shock, we use the difference in difference propensity score matching (DID-PSM) method to estimate the effect of the increase in the number of transactions with suppliers on the productivity of firms. Results show that improvement of transportation networks tends to enhance the density of the inter-firm transaction networks. Furthermore, we find that the increase in the number of suppliers raises firm-level productivity directly and beyond the effect of effective density in the short-run.