

平成30年度 土木学会関西支部共同研究グループ
報告書

スーパーメガリージョンとしての関西における
インフラ高度化戦略

令和元年7月

目次

第1章	はじめに	1
第2章	地域間交通費の削減と人口分布	3
2.1	はじめに	3
2.2	本研究の基本的な考え方	4
2.2.1	新経済地理学における人口の集積・分散	4
2.2.2	地域間交通費の削減とストロー効果	5
2.2.3	地域的異質性と地域間交通費	6
2.3	モデル	7
2.3.1	家計の効用関数と地域的異質性	7
2.3.2	財の需要	9
2.3.3	家計の所得と効用	11
2.3.4	企業の行動と参入・退出	12
2.3.5	市場均衡	12
2.3.6	空間均衡	13
2.4	モデルの分析	13
2.4.1	解析的な分析	14
2.4.2	数値的な分析	20
2.5	政策的示唆	22
2.6	おわりに	24
第3章	都市間交通基盤整備と企業の生産性	26
3.1	はじめに	26
3.2	既存研究と本研究の分析方針	26
3.2.1	既存研究の概要	26
3.2.2	分析方針	28
3.3	指標およびデータ	29
3.3.1	集積の指標	29
3.3.2	取引ネットワーク指標	29
3.3.3	生産性指標	30
3.3.4	データ	31

3.4	傾向スコア推定	32
3.4.1	推定モデル	32
3.4.2	推定結果	32
3.4.3	層別化	33
3.4.4	バランスチェック	34
3.5	差の差分析	35
3.5.1	推定モデル	35
3.5.2	推定結果	36
3.6	おわりに	39
3.6.1	結論	39
3.6.2	今後の課題と展開	39
第 4 章	都市内道路と物流施設立地	41
4.1	はじめに	41
4.2	本研究の基本的な考え方	43
4.2.1	商業施設の立地に関する研究概要	43
4.2.2	都市内物流に関する研究概要	43
4.2.3	物流センターとリードタイムの関係	44
4.3	モデル	46
4.3.1	前提	46
4.3.2	消費者の買い物行動と消費者余剰	47
4.3.3	チェーン店の在庫管理	48
4.3.4	企業の利潤	53
4.4	比較静学分析	55
4.4.1	道路整備が物流センターの立地に与える影響	55
4.4.2	道路整備がチェーン店数と商品価格に与える影響	58
4.4.3	道路整備が消費者余剰に与える影響	64
4.4.4	政策的示唆	65
4.5	おわりに	66
	参考文献	68

第1章 はじめに

明治維新150周年、さらに戦後75周年が間近に迫る中、高度経済成長時代に策定された関西地方のインフラ整備構想も、その実現化への最終的な道筋が見えてきた。おりしも、リニア新幹線、北陸新幹線の大阪への延伸が俎上に上り、関西地域はスーパーメガリージョンの一翼を担うグローバル都市圏として飛躍することが期待される。さらに、グローバル都市圏を戦略的に誘導するための新たなインフラ整備戦略を構想することが焦眉の急になっている。このようなインフラ整備戦略は、これまでに形成されたインフラストックを高度にシステム化するとともに、多様なインフラシステムをさらにシステム化する多重多層のシステム化戦略によって特徴づけられる。リニア新幹線の整備は、単に都市間の移動距離の短縮をもたらすだけではなく、人々の生活行動や価値観にも多大な影響を及ぼす可能性がある。このような新しい国土像の転換が期待される中で、スーパーメガリージョンの形成やインフラシステムズのシステム化戦略を指導するような新しい都市論・都市システム論を展開することが求められている。

現在、世界のグローバル都市圏においては、都市圏のコンパクト化、複数都市圏のコリドー化によるメガリージョン化という共通した変化傾向が見いだせるようになってきた。先進的な都市研究において、このような兆候を「ポストアーバン」論として体系化する動きが活発化している。ポストアーバン都市は、(1) 知識・サービス産業地域への人口移動、(2) 郊外地域における人口密度の増加によるコンパクト化（都市と郊外の二分法的枠組みの消失）、(3) 交通インフラの整備による労働市場の広域化、(4) 都市地域とその後背地域との関係の希薄化、(5) 都市間ネットワークの強化、という共通の傾向を持っている。このような新しい傾向は、単身世帯の増加による家族構成の多様化、ソーシャルキャピタルの蓄積による家族概念の拡張という家族活動の変化と、インフラ整備による人々のモビリティの増加が結びつくことにより現れている。さらに、人口減少・高齢化の時代においては、このような人々の新しい生活パターンを可能にし、生活の質の発展に資するようなインフラ整備が強く求められている。このような問題意識の下で、従来の国土計画・総合開発計画を通じて提案されてきた定住圏構想、多極分散構造や、国土軸などの理念的国土モデルを再吟味することが要求されている。

本研究グループは、ポストアーバン都市論の視点からスーパーメガリージョン形成の原理とそれを支えるインフラ整備戦略を明らかにすることを目的として、(1) ポストアーバン概念と従来の都市概念の再検討と整理、(2) 従来型の地域計画・国土計画の批判的検討、(3) あるべき「スーパーメガリージョン」の条件の探査、(4) 以上の事項に関する、理論研究・モデル研究・地域事例研究の方向性の吟味、といった4点を柱とした研究活動を

行うことを調査・研究の目的とした。前記の研究目的遂行のために、(1) 都市概念に関する先行研究の整理、(2) 「ポストアーバン」研究のトレンドに関するキャッチ・アップ的研究、(3) 過去の国土計画・地域計画の整理と健闘、(4) 「スーパーメガリージョン」構想の検討と課題の整理、(5) 本共同研究成果のアウトカムの在り方の吟味、(6) 我が国と海外の都市のケース（実態と地域政策）に見える異同への着目、などの研究事項について検討した。

第2章 地域間交通費の削減と人口分布

2.1 はじめに

日本においては東京首都圏への人口の一極集中が問題となっている。この現象は首都圏と地方の双方に経済的・社会的な問題をもたらしていると言われている。まず、首都圏においては、人口の集積により深刻な交通混雑が生じている。また、首都圏に政治・経済の枢要な活動が集中している現状においては、首都圏に大震災が発生した際に、日本の政治・経済の機能が停止して甚大な影響が生じることになる。次に、地方部においては、首都圏に人口が流出する結果として、社会経済活動の維持が困難になっている。

以上のような問題を解決するために、首都圏への人口集中の緩和と地方部の人口維持を目的とした政策が検討・実行されている。その中でも効果的な政策として、高速道路や高速鉄道のネットワーク整備政策が挙げられている。その理由は、これらのネットワークへのアクセス性が、地方に企業や観光客を誘致する際の重要な因子であると考えられていることにある。他方、これらのネットワーク整備は、いわゆる「ストロー効果」によって、大都市圏への人口集中を加速させるとして、その有効性に懐疑的な意見も存在する。

ストロー効果が生じる原因は、どの地域においても同質な財・サービスを生産できる産業の存在にある。そのようなサービスの例として、銀行の窓口業務を取り上げ、ストロー効果が生じるメカニズムを説明しよう。地域間の交通費が高い（旅行時間が長い）状況においては、人口の少ない小地域にも銀行の支店が立地している。なぜなら、各地域の住民は、他地域の銀行を利用することが困難であるからである。そのため、各地域に立地した銀行の支店は、当該地域に住む住民の需要を総取りできる。しかし、地域間の交通費が削減されると、これらの需要は大都市に立地するサービス水準の高い銀行に吸い取られ、小地域の銀行の支店は閉店することになる。以上が、ストロー効果が生じるメカニズムの簡易な説明である。

以上のメカニズムが生じる前提条件は、どの地域においても同質な財・サービスが生産可能であることである。もし、地域ごとに特色のある財やサービスが生産されており、ある特色を持つ財・サービスは特定の地域においてのみ生産可能である場合には、以上のメカニズムは生じない。むしろ、地域間交通費が削減されると、大都市には存在しない財・サービスを求める大都市の住民により、小地域において生産される財・サービスに対する需要が増え、小地域の雇用が活性化されると考えられる。

以上の議論を踏まえると、地域間交通費の削減が人口分布に与える影響を考察する際には、ある地域においてのみ生産可能な財・サービスが存在するという地域的異質性を考慮

することが重要であると言える。そこで、本研究は、このような地域的異質性を考慮した空間経済モデルを定式化したうえで、地域的異質性の存在下において地域間交通費の削減が人口分布に与える影響について考察することを目的とする。以下、**2.2**では本研究の考え方を整理する。**2.3**ではモデルを定式化する。**2.4**ではモデルを解析的・数値的に分析する。**2.5**では分析結果を踏まえ、政策的示唆を導く。

2.2 本研究の基本的な考え方

2.2.1 新経済地理学における人口の集積・分散

地域間交通費が人口の空間分布に与える影響に関しては、新経済地理学の分野に膨大な理論的研究の蓄積がある。それらの研究が採用するモデルは、人口を一点に集積させようとする「集積力」と、人口を広い地域に分散させようとする「分散力」の二つの力を表現しており、それらの力のせめぎ合いとして定まる空間均衡（spatial equilibrium, 人口の空間的分布）を求めることができる。また、これらのモデルは地域間交通費をパラメータとして含んでおり、このパラメータに関する比較静学分析を行うことにより、地域間交通費の削減が空間均衡に与える影響を分析できる。

新経済地理学の分野においては多くのモデルが提案されている。Akamatsu et al.¹⁾は、それらのモデルの数学的な特性は、分散力の性質に応じて3つのクラスに分けられることを示した。分散力には、空間の広い範囲に働くもの（Global dispersion force, 大域的分散力）と、空間のごく狭い範囲にしか働かないもの（Local dispersion force, 局所的分散力）が存在する。前者の代表例は、後述する「空間的に分散した需要」である。後者の代表例は、土地や交通の混雑である。土地や交通の混雑の不効用は、混雑が生じている地域から少しでも離れれば解消される。Akamatsu et al. は、新経済地理学の分野における既往研究のモデルは、前者のみを含むもの（Class 1）、後者のみを含むもの（Class 2）、両者を含むもの（Class 3）の3つのクラスに分けられることを示している。

Akamatsu et al. は、Class 3のモデルのみが現実に観察される人口分布パターンを説明できることを示している。現実の人口分布パターンにおいては、複数の人口集積地（都市圏）が存在しており、個々の都市圏内では中心部から郊外まで広い範囲に人口が分散している。Akamatsu et al. は、複数の人口集積地が存在するためには大域的分散力が必要であること、および、個々の都市圏内では広い範囲に人口が分散していることを説明するためには局所的分散力が必要であることを示した。そのうえで、実証分析を行ううえでは、双方の分散力を含むClass 3のモデルが優れていることを議論している。

Akamatsu et al. は、地域間交通費の削減が空間均衡に与える影響も、3つのクラスの間で異なることを示している。Class 1のモデルにおいては、地域間交通費の削減は必ず人口の集積をもたらす。Class 2のモデルにおいては、地域間交通費の削減は必ず人口の分散

をもたらす。Class 3 のモデルにおいては、地域間交通費がある閾値よりも高い場合には、地域間交通費の削減は人口の集積をもたらす、その閾値よりも低い場合には、人口の分散をもたらす。これらの結果は、本研究のモデルの分析結果を解釈するうえでも重要なので、次節において詳しく述べる。

2.2.2 地域間交通費の削減とストロー効果

新経済地理学の嚆矢である Krugman²⁾ の Core-Periphery モデルは、ミクロ経済学の基礎付けを持つ大域的分散力を定式化した初めての研究である。このモデルは対称的な二地域から成る経済を表現したモデルである。経済には「製造業労働者」と「農家」の二種類の家計が存在する。製造業労働者は製造業部門において働く労働者であり、居住する地域を自由に選択・変更できる。他方、農家は農産物を生産する労働者であり、両地域に等しい人数が居住している。農家は居住地を変更できない。

Core-Periphery モデルにおいては、農家の存在が大域的分散力として働いている。農家が生産する農産物は、製造業労働者は生産できず、かつ、家計の生存に必須の財として定式化されている。そのため、製造業労働者の所得の一部は農産物に支出され、両地域に居住する農家に均等に配分されることになる。農家はこうして得た所得を工業品の購入に支出する。ここで、工業品の地域間輸送には高い輸送費が必要であると仮定すると、製造業の企業には、企業数が少ない地域に立地しようとする誘因が働くことになる。なぜなら、各地域に住む農家は、他地域で生産される工業品を購入することが困難であるからである。そのため、製造業の企業数が少ない地域に立地した企業は、当該地域に住む農家の需要を総取りできる。このように、居住地を変更できず、かつ、一定の所得を得ることが保証されている家計が空間的に分散していることを仮定すると、大域的分散力を表現できる。本研究では、このような大域的分散力を「空間的に分散した需要」と呼ぶ。空間的に分散した需要は、古典的な Chritaller の中心地理論においても設けられている仮定である。

大域的分散力としての空間的に分散した需要は、地域間輸送費が削減されると弱くなる。地域間輸送費がゼロになると、農家による工業品の需要は、製造業の企業数が多い地域に吸い取られ、全ての企業は一地域に集積してしまう。これは 2.1 において述べたストロー効果のメカニズムそのものであり、Core-Periphery モデルはストロー効果を表現したモデルであると言える。したがって、Core-Periphery モデル、もしくは、Akamatsu et al. の定義する Class 1 のモデルを用いて分析を行うと、高速道路や高速鉄道のネットワーク整備政策は、大都市圏への人口集積を加速させるという結論が導かれることになる。

他方、現実の人口分布パターンを説明できる Class 3 のモデルにおいては、地域間交通費がある閾値よりも低ければ、地域間交通費の削減は人口の分散をもたらす。なぜなら、地域間交通費の削減は、集積力も弱めるからである。例えば、Core-Periphery モデルにおいて、消費者は工業品に対する多様性選好 (Love of variety) を持ち、これが集積力として

作用している。製造業の企業数が多い地域においては、住民は輸送費を負担することなく、多様な財を安く消費できるため、高い効用を得やすい。そのため、製造業の企業数が多い地域は、製造業労働者を引き付けやすい。しかし、地域間輸送費が下がると、どの地域においても安く工業品が買えるようになるため、製造業の企業数が多い地域に住むメリットは低下する。他方、混雑などの局所的分散力の強さは地域間交通費の影響を受けないため、地域間交通費の低下に伴い人口の分散が生じる。

Class 3 のモデルにおいて、地域間交通費の削減が人口の集積・分散のどちらをもたらしのかを決める閾値は、局所的分散力が強いほど高くなる。よって、ネットワーク整備政策が人口の分散を図るうえで有効であるかどうかを議論する際には、局所的分散力としてどのようなものがあり、その強さはどの程度であるのかを分析する必要がある。既存研究の多くは、土地市場^{3), 4)}もしくは混雑⁵⁾の形で局所的分散力を導入している。土地資源の賦存量が有限な地域内に多くの人口が居住すれば、地価の高騰や混雑の不効用が生じる。

2.2.3 地域的異質性と地域間交通費

本研究は、Core-Periphery モデルに地域的異質性を導入したモデルを定式化し、地域的異質性が局所的分散力として働くという仮説を理論的に検証する。各地域において生産される財の中には、その土地の資源や文化が反映された財が含まれており、それらの財は他の地域では生産できない（もしくは、生産費用が高い）と考える。そのような財の身近な具体例としては、各地域の気候や農水産物を活用した食料工業品（地名の入った酒やワインなど）、観光サービスなどを挙げられる。その他にも、特定の産業が特定の地域に長期間にわたり集積していた歴史がある場合には、その産業に関するイノベーションを生み出しやすい人的資本が、その土地に蓄積していることが考えられる。この場合には、イノベーションの創発という高度なサービスの生産は、その土地に優位性があると言える。これも一種の地域的異質性と考えられる。

地域的異質性が存在する場合には、国内の特定の地域に人口が過度に集積することは非効率的となる。なぜなら、人口の集積地の資源や文化を反映した財のみが生産されるようになり、国内の財から多様性が失われてしまうからである。他方、資源や文化が異なる複数の地域に人口を分散させれば、国内の財の多様性が増加し、各地域の特色や優位性を生かした経済活動が行われることになる。これは経済全体の生産性や社会厚生を高めると考えられる。

このような地域的異質性は、新経済地理学の分野では、ほとんど考慮されてこなかった。本研究では、各地域において生産された財は、他地域において生産された財とは差別化されているという仮定（Armington 仮定）を用いて、地域的異質性を簡便に表現する。また、Core-Periphery モデルと同様に、消費者の財に対する多様性選好を用いて集積力を表現し、空間的に分散した農家を用いて大域的分散力を表現する。

Krugman のオリジナルの Core-Periphery モデルにおいては、農産物以外の財は工業品であると解釈していたが、本研究では、サービスを含めたより一般的な財であると解釈する。また、Krugman は、地域間交通費を工業品の輸送費であると解釈していたが、本研究では、人流も含めた一般的な交通費であると解釈する。その理由は、今日の日本国においては、サービス産業が国内 GDP の大きい割合を占めているからである。そして、サービス業の取引には、一般に人のトリップが伴う。例えば、飲食店のような対個人サービスを利用するためには、消費者は事業所まで移動しなければならない。コンサルタントサービスや IT システム開発サービスの生産活動においては、供給者と顧客の打ち合わせが必要であり、どちらかの従業員が相手先の事業所に移動しなければならない。このように考えると、人流に関わる交通費は、サービスの取引に対する抵抗であると解釈できる。

また、今日の製造業においては、製品の研究開発のように、新たな知識の生産を目的とした活動の重要性が高まっている。このような研究開発においても人流は重要である。企業の研究開発部門の従業員は、顧客のニーズをくみ取るために、各地域の顧客もしくは営業部門の従業員と打ち合わせを行う必要があるだろう。また、大学のように、専門性の強い知識・技術の生産を行う研究機関は、保有する知識・技術を社会に還元するために、それらを必要とする企業や団体の構成員と打ち合わせを行う必要があるだろう。これらの研究開発に関わる活動も一種のサービス産業として捉えられ、そこでも人流に関わる交通費が生産活動に対する抵抗として作用していると言える。

以上の議論を踏まえると、一定の条件の下では、高速道路や高速鉄道のネットワーク整備による物流・人流の地域間交通費の削減は、各地域の地域的異質性を活かした多極分散型の国土構造の形成を促すと考えられる。本研究は、以上のような視点から、地域間交通費の削減により人口の分散を促すうえでの地域的異質性の役割を明らかにするとともに、その政策的な意義について議論することを目的とする。このような観点から地域的異質性に関する分析を行った理論的研究は、筆者らの知る限り存在しない。

2.3 モデル

2.3.1 家計の効用関数と地域的異質性

地域 1, 2 の二つの地域から構成される二地域経済を考える。各地域には L_A 人の農家が居住している。これらの農家は居住地を変更できない。また、経済には農家の他に、 L 人の労働者が存在する。これらの労働者は長期的には居住地を変更できる。ただし、短期的には居住地を変更できない。以下では、特に断らない限り、短期均衡を考えるものとし、各地域に居住する労働者数は固定されていると考える。地域 r ($r \in \{1, 2\}$) に居住する労働者数を L_r で表す ($L_1 + L_2 = L$)。

全ての農家と労働者は、以下の式で表される Nested CES 型の効用関数を持つ。

$$u = A^{1-\mu} M^\mu \quad (2.1)$$

$$M = \left[\sum_{r \in \{1,2\}} Q_r^{\frac{\rho-1}{\rho}} \right]^{\frac{\rho}{\rho-1}} \quad (2.2)$$

$$Q_r = \left[\int_0^{n_r} m_r(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (2.3)$$

u は効用を表す。 A は農作物の消費量である。 M はその他の財（以下では、単に財と呼ぶ）の消費量の指数であり、式 (2.2) により定義される。 μ は家計の支出額に占める財の消費額を表す定数であり、 $0 < \mu < 1$ を満たす。 Q_r は地域 r 産の財の消費量の指数であり、式 (2.3) により定義される。 $\rho > 1$ は異なる地域において生産された財の間の代替の弾力性を表す定数である。 n_r は地域 r に立地する企業数を表す変数である。 $m_r(i)$ ($0 \leq i \leq n_r$) は地域 r に立地する i 番目の企業が生産する財の消費量を表す。 $\sigma > 1$ は異なる企業が生産する財の間の代替の弾力性を表す定数である。

式 (2.2) は応用一般均衡分析において多用される Armington 仮定を表現した CES 関数に他ならない。 ρ が小さいほど、異なる地域において生産された財の異質性が強くなり、代替性が低くなる。式 (2.1)–(2.3) の効用関数は、 $\rho = \sigma$ の特殊なケースを想定すると、オリジナルの Core-Periphery モデルにおける効用関数に等しくなる。このとき、 M は以下の式で表される。

$$M = \left[\sum_{r \in \{1,2\}} \int_0^{n_r} m_r(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

このオリジナルの Core-Periphery モデルにおける M の表現は、重要な仮定を暗に含んでいる。それは、「全ての財はどの地域においても生産が可能である」ということである。例えば、いま、各企業が生産している財を 1 単位ずつ消費している ($m_r(i) = 1, \forall (r, i) \mid r \in \{1, 2\}, 0 \leq i \leq n_r$) 消費者がいるとしよう。ここで、地域 1 の一企業が地域 2 に移転し、 n_1 が 1 だけ減少し、 n_2 が 1 だけ増加したとしよう。このとき、 $m_r(i) = 1$ が全ての (r, i) について成立し続ける限り、消費者の効用は不変である。これは、企業が移転して財の生産地が変わろうと、財の性質は変化しないことを意味している。言わば、オリジナルの Core-Periphery モデルは、全ての企業はどの地域においても生産活動が可能であるような状況を想定しているのである。

しかし、**2.2** において述べた地域的異質性を考慮すると、全ての財はどの地域においても生産が可能であるという仮定は極端過ぎるであろう。各地域で生産される財には、地域の資源や文化が反映されており、差別化がなされているからである。このような地域的異

質性を考慮するためには、 $\rho < \sigma$ であると考えれば良い。この想定の下で、各企業が生産している財を1単位ずつ消費している消費者を考えよう。このときには、 n_1 が1だけ減少し、 n_2 が1だけ増加した場合には、 $n_1 > n_2$ であれば効用が増加し、 $n_1 < n_2$ であれば効用が減少する。このように、 $\rho < \sigma$ という想定の下では、企業が両地域に均等に分散するほど、消費者が高い効用を得やすい。これは、資源や文化が異なる複数の地域に人口を分散させれば、各地域の特色や優位性を生かした経済活動が行われるためであると解釈できる。

2.3.2 財の需要

地域 r に居住する家計（農家と労働者）の効用最大化問題を解き、需要関数を導出する。Nested CES 型関数の最大化問題は、入れ子の下位の支出最小化問題を考えることにより解きやすくなる。まず、最も下位の式 (2.3) の支出最小化問題を考える。地域 r の家計が消費する地域 r' 産の財の消費量の指数を変数 $Q_{r'r}$ で表す。効用を最大化するためには、所与の $Q_{r'r}$ を得るための支出額が最小化されている必要がある。この支出最小化問題は以下のように定式化される。

$$\min \int_0^{n_{r'}} p_{r'}(i) T_{r'r} m_{r'r}(i) di \quad (2.4)$$

$$s.t. Q_{r'r} = \left[\int_0^{n_{r'}} m_{r'r}(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (2.5)$$

$m_{r'r}(i)$ は地域 r' の i 番目の企業が生産する財の地域 r における消費量を表す変数である。 $p_{r'}(i)$ は地域 r' の i 番目の企業が生産する財の生産者価格を表す変数である。 $T_{r'r} \geq 1$ は地域 r' 産の財を地域 r の家計が消費する際に要する交通費を表す定数である。この交通費は、分析を簡便化するために、氷塊型の交通費として表す。具体的には、地域 r' の i 番目の企業が生産する財を、地域 r の家計が1単位消費するためには、企業は財を $T_{r'r}$ 単位だけ生産しなければいけないと考える。このとき、 $T_{r'r} - 1$ 単位の余分な財は、モノや人の移動のために消費されると考える。

この氷塊型の交通費は、物的な財の輸送費を表すために多用されるが、サービスの取引に関わる交通費を表すと解釈することもできる。例えば、コンサルタントサービスを生産する企業を考えよう。この企業が顧客1人に対してサービスを1回提供するためには、従業員の調査業務が9時間、従業員の顧客との打ち合わせが1時間必要であるとする。顧客との打ち合わせの際には、従業員が顧客の下まで移動する必要があると考える。もし、顧客が企業の所在地に居住しているとすれば、サービス1回当たりの従業員の労働時間は10時間である。他方、企業の所在地から顧客の居住地までの往復トリップに必要な時間が1時間であるとするならば、従業員の労働時間は11時間となる。このとき、 $T_{r'r} = 1.1$ と解釈できる。

消費者がサービスを受けるために事業所に移動する場合には、氷塊型の交通費は正確な表現ではなくなる。しかし、これは物流についても当てはまる話であり、モノの購入者側が輸送サービスを生産する場合にも、氷塊型の輸送費は正確な表現ではない。氷塊型の交通費はあくまで、一般均衡モデルの枠組みの中で交通費を簡便に表現するための手段である。より一般的な交通費の定式化も考えられるが、定性的な分析結果に影響を及ぼさないことから、本研究では氷塊型の交通費を採用する。

式 (2.4) の支出最小化問題を解くと、以下の需要関数が得られる。

$$m_{r'r}(i) = Q_{r'r} p_{r'}(i)^{-\sigma} P_{r'}^{\sigma} \quad (2.6)$$

$$P_{r'} T_{r'r} Q_{r'r} = \int_0^{n_{r'}} p_{r'}(i) T_{r'r} m_{r'r}(i) di \quad (2.7)$$

$$P_{r'} = \left[\int_0^{n_{r'}} p_{r'}(i)^{1-\sigma} di \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (2.8)$$

$P_{r'}$ は地域 r' 産の財の生産者価格を合成した指数を表す変数であり、式 (2.8) により定義される。式 (2.7) は、地域 r の家計が地域 r' 産の財を $Q_{r'r}$ 単位だけ消費するために要する支出額を表している。

次に、一つ上位の式 (2.2) の支出最小化問題を考える。地域 r の家計が消費する財の消費量の指数を変数 M_r で表す。効用を最大化するためには、所与の M_r を得るための支出額が最小化されている必要がある。この支出最小化問題は以下のように定式化される。

$$\min \sum_{r' \in \{1,2\}} P_{r'} T_{r'r} Q_{r'r} \quad (2.9)$$

$$s.t. M_r = \left[\sum_{r' \in \{1,2\}} Q_{r'r}^{\frac{\rho-1}{\rho}} \right]^{\frac{\rho}{\rho-1}} \quad (2.10)$$

この支出最小化問題を解くと、以下の需要関数が得られる。

$$Q_{r'r} = M_r (P_{r'} T_{r'r})^{-\rho} q_r^{\rho} \quad (2.11)$$

$$q_r M_r = \sum_{r' \in \{1,2\}} P_{r'} T_{r'r} Q_{r'r} \quad (2.12)$$

$$q_r = \left[\sum_{r' \in \{1,2\}} (P_{r'} T_{r'r})^{1-\rho} \right]^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (2.13)$$

q_r は地域 r の家計が直面する財の消費者価格を合成した指数を表す変数であり、式 (2.13) により定義される。式 (2.12) は、地域 r の家計が財を M_r 単位だけ消費するために要する支出額を表している。

最後に、最も上位の式 (2.1) の効用最大化問題を考える。地域 r の家計が消費する農作物の量を変数 A_r で表し、地域 r の家計の総所得を変数 I_r で表す。このとき、地域 r の家計効用の総和を最大化する問題は以下のように定式化される。

$$\max A_r^{1-\mu} M_r^\mu \quad (2.14)$$

$$s.t. A_r + q_r M_r = I_r \quad (2.15)$$

ただし、式 (2.15) において、農産物をニューメレールとし、その価格を 1 に基準化している。農作物の輸送費はゼロであり、その消費者価格は両地域において均質化され则认为る。この効用最大化問題を解くと、以下の需要関数が得られる。

$$A_r = (1 - \mu) I_r \quad (2.16)$$

$$M_r = \frac{\mu I_r}{q_r} \quad (2.17)$$

式 (2.6), (2.8), (2.11), (2.13), (2.16), (2.17) により、財の需要関数が定義される。この需要関数は、地域 r の家計による財の需要を集計化したものである。個々の家計による財の需要関数を得る場合には、式 (2.14) の右边を家計の所得で置き換えてから効用最大化問題を解けば良い。

2.3.3 家計の所得と効用

地域 r の賃金を変数 w_r で表す。地域 r に居住する労働者は、地域 r の企業に 1 単位の労働力を供給する。よって、地域 r の労働者の所得は w_r となる。地域 r の労働者の効用を変数 u_r で表す。この効用は、式 (2.14) の右边を w_r で置き換えた効用最大化問題を解くことにより、以下のように求められる。

$$u_r = (1 - \mu)^{1-\mu} \left(\frac{\mu}{q_r} \right)^\mu w_r \quad (2.18)$$

1 人の農家は 1 単位の農作物を生産できる。農作物の輸送費はゼロであり、その消費者価格は 1 であるから、全ての農家の所得は 1 となる。各地域に居住する農家の数は L_A 人であり、地域 r に居住する労働者の数は L_r 人であるから、地域 r の家計の総所得は以下のように表される。

$$I_r = L_A + w_r L_r \quad (2.19)$$

式 (2.3) における効用関数のパラメータ μ は重要な意味を持っている。 $1 - \mu$ は、大域的分散力である「空間的に分散した需要」の強さを表している。式 (2.16) より、家計は所得のうち $1 - \mu$ の割合を農産物の消費に支出する。この支出額は全て農家の所得となる。そ

して、農家は所得のうち μ の割合を財の消費に支出する。以上の構造のため、 $1 - \mu$ が大きいときには、仮にある地域が、労働者の 1 人も住んでいない過疎地だったとしても、その地域は企業にとって無視できない需要を有することになる。以上の議論から明らかであるが、「空間的に分散した需要」は農家である必然性は無い。例えば、国民から徴収した税金を、各地域に対して均等に配分するような政策も「空間的に分散した需要」となる。

2.3.4 企業の行動と参入・退出

地域 r の i 番目の企業の利潤を変数 $\pi_r(i)$ で表す。この利潤は以下の式で表される。

$$\pi_r(i) = (p_r(i) - cw_r) \sum_{r \in \{1,2\}} [T_{rr'} m_{rr'}(i)] - Fw_r \quad (2.20)$$

c は財を 1 単位生産するために必要な労働力を表す定数である。 F は財の生産量と無関係に必要な労働力であり、企業が操業するうえでの固定費を表す。この式の右辺の総和記号は、企業が生産する財の総需要（氷塊型の交通費として消費される財を含む）を表している。 $p_r(i) - cw_r$ は、財 1 単位を販売することにより得られる利益である。

企業は式 (2.6) により表される需要関数を知っていると考える。また、個々の企業は小さい存在であるため、 $Q_{rr'}$ や $P_{r'}$ を所与として意思決定を行うと考える。この条件の下で利潤 $\pi_r(i)$ を最大化する価格 $p_r(i)$ を求めると、以下の式が得られる。

$$p_r(i) = \frac{\sigma}{\sigma - 1} cw_r \quad (2.21)$$

この式より、地域 r の全ての企業は、 i に依存せず、同一の価格を設定することがわかる。よって、式 (2.6) により表される $m_{rr'}(i)$ も i に依存しない。そこで、以下では企業を区別するための番号 i を省略して変数を記述する。

式 (2.21) を式 (2.20) に代入すると、地域 r の企業の利潤は以下のように表される。

$$\pi_r = \frac{cw_r}{\sigma - 1} \sum_{r \in \{1,2\}} [T_{rr'} m_{rr'}] - Fw_r \quad (2.22)$$

企業の参入・退出は自由であり、地域 r の企業数は利潤 π_r がゼロになるように調整されると考える。このとき、式 (2.22) より、以下の条件式が成立する。

$$\sum_{r \in \{1,2\}} T_{rr'} m_{rr'} = \frac{(\sigma - 1)F}{c} \quad (2.23)$$

2.3.5 市場均衡

地域 r の企業一社が雇用する労働力を変数 l_r で表す。この労働力は以下の式で表される。

$$l_r = c \sum_{r \in \{1,2\}} [T_{rr'} m_{rr'}(i)] + F = \sigma F \quad (2.24)$$

この式の2つ目の等号は、式(2.23)より成立する。式(2.24)より、地域 r の労働力の需給均衡式は以下の式で表される。

$$L_r = n_r l_r \Leftrightarrow n_r = \frac{L_r}{\sigma F} \quad (2.25)$$

式(2.25)より、地域 r の企業数は地域 r の労働者数に比例する。よって、労働者の多い地域に居住する労働者は、異なる企業が生産する財に対する多様性選好のため、高い効用を得やすい。これが集積力として作用することになる。この集積力は、異なる企業が生産する財に対する多様性選好が強いほど、すなわち、 σ が小さいほど、強いものとなる。

以上により、モデルを構成する方程式が全て定式化された。短期均衡を決定する方程式は式(2.6), (2.8), (2.11), (2.13), (2.16)–(2.19), (2.21), (2.23), (2.25)である。オリジナルのCore-Peripheryモデルとの違いは、地域的異質性を導入したことのみである。

2.3.6 空間均衡

空間均衡は、短期均衡を用いて以下のように定義する。長期的には、短期均衡により定まる効用の高い地域に労働者が移動する。この移動は、両地域の効用が等しくなるか、片方の地域に全ての労働者が集積するまで進行する。労働者の移動が起こらなくなった状態を空間均衡とする。空間均衡においては以下の式が成立する。

$$(u^* - u_r)L_r = 0 \quad (2.26)$$

$$u^* \geq u_r, 0 \leq L_r \leq L \quad (2.27)$$

u^* は空間均衡における労働者の効用である。ただし、この条件式は空間均衡の安定性は保証しない。空間均衡の安定性を調べるためには、 L_1, L_2 を微小に変化させた際に、元の空間均衡に戻ろうとする復元力が働くかどうかを調べる必要がある。

2.4 モデルの分析

本章では、解析的な分析と数値的な分析を用いて、地域的異質性の存在下において地域間交通費の削減が空間均衡に与える影響の性質を明らかにする。分析に当たり、定数として新たに λ と T を定義する。 λ ($0 \leq \lambda \leq 1$)は地域1に居住する労働者数の割合を表す。 λ を用いると L_1, L_2 は以下のように表される。

$$L_1 = \lambda L \quad (2.28)$$

$$L_2 = (1 - \lambda)L \quad (2.29)$$

本章においても、特に断らない限りは短期均衡を考えるものとし、 λ は定数であるとする。 $T > 1$ は地域間交通費であり、 $T_{12} = T_{21} = T$ とする。 同一地域内の交通費はゼロとし、 $T_{11} = T_{22} = 1$ とする。

2.4.1 解析的な分析

本節では Fujita et al.⁶⁾ に倣い、解析的な分析を行う。 まずは、モデル中の未知変数の数を減らす。 式 (2.8), (2.21), (2.25) を式 (2.13) に代入すると、 q_1, q_2 に関する以下の式が導かれる。

$$q_1 = \left(\frac{\sigma F}{L} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \frac{\sigma c}{\sigma-1} \cdot [\lambda^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} w_1^{1-\rho} + (1-\lambda)^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} (w_2 T)^{1-\rho}]^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (2.30)$$

$$q_2 = \left(\frac{\sigma F}{L} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \frac{\sigma c}{\sigma-1} \cdot [\lambda^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} (w_1 T)^{1-\rho} + (1-\lambda)^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} w_2^{1-\rho}]^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (2.31)$$

式 (2.6), (2.8), (2.11), (2.17), (2.19), (2.21), (2.25) を式 (2.23) に代入して整理すると、 w_1, w_2 に関する以下の式が導かれる。

$$w_1^\rho = \frac{\mu c}{(\sigma-1)F} \left[\frac{\sigma-1}{\sigma c} \right]^\rho \left[\frac{\sigma F}{\lambda L} \right]^{\frac{\sigma-\rho}{\sigma-1}} \cdot [\{w_1 \lambda L + L_A\} q_1^{\rho-1} + \{w_2 (1-\lambda) L + L_A\} T^{1-\rho} q_2^{\rho-1}] \quad (2.32)$$

$$w_2^\rho = \frac{\mu c}{(\sigma-1)F} \left[\frac{\sigma-1}{\sigma c} \right]^\rho \left[\frac{\sigma F}{(1-\lambda)L} \right]^{\frac{\sigma-\rho}{\sigma-1}} \cdot [\{w_1 \lambda L + L_A\} T^{1-\rho} q_1^{\rho-1} + \{w_2 (1-\lambda) L + L_A\} q_2^{\rho-1}] \quad (2.33)$$

式 (2.30)–(2.33) により、未知変数は q_1, q_2, w_1, w_2 のみとなった。 次に、これらの式を未知変数および λ について対数全微分する。 これにより、以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} \frac{dq_1}{q_1} = & \frac{1}{1-\rho} \left[\phi_{11} \left\{ \frac{\rho-1}{\sigma-1} \frac{d\lambda}{\lambda} + (1-\rho) \frac{dw_1}{w_1} \right\} \right. \\ & + (1-\phi_{11}) \left\{ \frac{\rho-1}{\sigma-1} \frac{-\lambda}{1-\lambda} \frac{d\lambda}{\lambda} \right. \\ & \left. \left. + (1-\rho) \frac{dw_2}{w_2} \right\} \right] \end{aligned} \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} \frac{dq_2}{q_2} = & \frac{1}{1-\rho} \left[\phi_{21} \left\{ \frac{\rho-1}{\sigma-1} \frac{d\lambda}{\lambda} + (1-\rho) \frac{dw_1}{w_1} \right\} \right. \\ & + (1-\phi_{21}) \left\{ \frac{\rho-1}{\sigma-1} \frac{-\lambda}{1-\lambda} \frac{d\lambda}{\lambda} \right. \\ & \left. \left. + (1-\rho) \frac{dw_2}{w_2} \right\} \right] \end{aligned} \quad (2.35)$$

$$\phi_{11} = \frac{\lambda^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} w_1^{1-\rho}}{\lambda^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} w_1^{1-\rho} + (1-\lambda)^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} (w_2 T)^{1-\rho}} \quad (2.36)$$

$$\phi_{21} = \frac{\lambda^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} (w_1 T)^{1-\rho}}{\lambda^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} (w_1 T)^{1-\rho} + (1-\lambda)^{\frac{\rho-1}{\sigma-1}} w_2^{1-\rho}} \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{dw_1}{w_1} = & -\frac{\sigma-\rho}{\sigma-1} \frac{d\lambda}{\lambda} + \theta_{11} \left[\frac{w_1 \lambda L}{w_1 \lambda L + L_A} \right. \\ & \cdot \left(\frac{dw_1}{w_1} + \frac{d\lambda}{\lambda} \right) + (\rho-1) \frac{dq_1}{q_1} \left. \right] \\ & + (1-\theta_{11}) \left[\frac{w_2 (1-\lambda) L}{w_2 (1-\lambda) L + L_A} \right. \\ & \cdot \left(\frac{dw_2}{w_2} + \frac{-\lambda}{1-\lambda} \frac{d\lambda}{\lambda} \right) + (\rho-1) \frac{dq_2}{q_2} \left. \right] \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{dw_2}{w_2} = & -\frac{\sigma-\rho}{\sigma-1} \frac{-\lambda}{1-\lambda} \frac{d\lambda}{\lambda} + \theta_{21} \left[\frac{w_1 \lambda L}{w_1 \lambda L + L_A} \right. \\ & \cdot \left(\frac{dw_1}{w_1} + \frac{d\lambda}{\lambda} \right) + (\rho-1) \frac{dq_1}{q_1} \left. \right] \\ & + (1-\theta_{21}) \left[\frac{w_2 (1-\lambda) L}{w_2 (1-\lambda) L + L_A} \right. \\ & \cdot \left(\frac{dw_2}{w_2} + \frac{-\lambda}{1-\lambda} \frac{d\lambda}{\lambda} \right) + (\rho-1) \frac{dq_2}{q_2} \left. \right] \end{aligned} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} \theta_{11} = & \{w_1 \lambda L + L_A\} q_1^{\rho-1} [\{w_1 \lambda L + L_A\} q_1^{\rho-1} \\ & + \{w_2 (1-\lambda) L + L_A\} T^{1-\rho} q_2^{\rho-1}]^{-1} \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} \theta_{21} = & \{w_1 \lambda L + L_A\} T^{1-\rho} q_1^{\rho-1} \\ & \cdot [\{w_1 \lambda L + L_A\} T^{1-\rho} q_1^{\rho-1} \\ & + \{w_2 (1-\lambda) L + L_A\} q_2^{\rho-1}]^{-1} \end{aligned} \quad (2.41)$$

ϕ_{11} , ϕ_{21} , θ_{11} , θ_{21} は表記の簡略化のために導入した変数であり, 式 (2.36), (2.37), (2.40), (2.41) により定義される. 式 (2.34)–(2.41) の連立方程式を dq_1/q_1 , dq_2/q_2 , dw_1/w_1 , dw_2/w_2 について解くことにより, これらの変数を $d\lambda/\lambda$ の一次関数として表せる. この結果を用

いと、空間均衡の安定性を調べられる。式 (2.18) を対数全微分すると、以下の式が得られる。

$$\frac{du_r}{u_r} = \frac{dw_r}{w_r} - \mu \frac{dq_r}{q_r} \quad (2.42)$$

この式の右辺に式 (2.34)–(2.41) の解を代入すれば、 $du_1/u_1 - du_2/u_2$ を $d\lambda/\lambda$ の線形関数として以下のように表せる。

$$\frac{d(u_1/u_2)}{u_1/u_2} = \frac{du_1}{u_1} - \frac{du_2}{u_2} = X \frac{d\lambda}{\lambda} \quad (2.43)$$

X は未知の係数である。いま、経済は長期的な空間均衡にあると考える。このとき、係数 X が負であれば、地域 1 の人口 λ が外乱的な要因により微小に増加したとしても、地域 1 の効用が相対的に下がるため、元の空間均衡への復元力が働く。よって、その空間均衡は安定である。逆に、係数 X が正であれば、その空間均衡は不安定である。

本節では、両地域の労働者数が等しい対称的な空間均衡の安定性を調べる。 $\lambda = 0.5$ を式 (2.30)–(2.33) に代入すると、各変数の値が以下のように求められる。

$$w_1 = w_2 = \frac{\mu}{1 - \mu} \frac{2L_A}{L} \quad (2.44)$$

$$q_1 = q_2 = \left(\frac{2\sigma F}{L} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \frac{\sigma c}{\sigma - 1} (1 + T^{1-\rho})^{\frac{1}{1-\rho}} \cdot \frac{\mu}{1 - \mu} \frac{2L_A}{L} \quad (2.45)$$

この結果と式 (2.18) より $u_1 = u_2$ となるので、 $\lambda = 0.5$ は空間均衡であることが確認できる。次に、 $\lambda = 0.5$ と式 (2.44), (2.45) を式 (2.34)–(2.41) に代入し、 dq_1/q_1 , dq_2/q_2 , dw_1/w_1 , dw_2/w_2 について解くと、以下の式が得られる。

$$\frac{dw_1}{w_1} = -\frac{dw_2}{w_2} = \frac{-\frac{1}{\rho} \frac{\sigma-\rho}{\sigma-1} + \frac{\mu}{\rho} Z - \frac{1}{\rho} \frac{\rho-1}{\sigma-1} Z^2}{1 - \frac{\mu}{\rho} Z - \frac{\rho-1}{\rho} Z^2} \frac{d\lambda}{\lambda} \quad (2.46)$$

$$\frac{dq_1}{q_1} = -\frac{dq_2}{q_2} = \frac{-\frac{1}{\rho} \frac{\sigma}{\sigma-1} Z + \frac{1}{\rho} \frac{\sigma\mu}{\sigma-1} Z^2}{1 - \frac{\mu}{\rho} Z - \frac{\rho-1}{\rho} Z^2} \frac{d\lambda}{\lambda} \quad (2.47)$$

$$Z = \frac{1 - T^{1-\rho}}{1 + T^{1-\rho}} \quad (2.48)$$

Z は財の地域間交易に対して、地域間交通費がどれだけ大きい抵抗になっているのかを示す指数である。 Z は T について単調に増加する。 $T = 1$ (地域間交通費がゼロ) のとき $Z = 0$ であり、 $T \rightarrow \infty$ のとき $Z = 1$ である。式 (2.46), (2.47) 右辺の $d\lambda/\lambda$ の係数の分母は必ず正となる。これは以下の式が成立することによる。

$$\begin{aligned} 1 - \frac{\mu}{\rho} Z - \frac{\rho-1}{\rho} Z^2 &\geq 1 - \frac{\mu}{\rho}(1) - \frac{\rho-1}{\rho}(1)^2 \\ &= \frac{1-\mu}{\rho} > 0 \end{aligned} \quad (2.49)$$

式 (2.46), (2.47) を式 (2.42), (2.43) に代入すると, 以下の式が得られる.

$$\begin{aligned} \frac{d(u_1/u_2)}{u_1/u_2} = & 2 \left[-\frac{1}{\rho} \frac{\sigma - \rho}{\sigma - 1} + \frac{\mu}{\rho} \left(1 + \frac{\sigma}{\sigma - 1} \right) Z \right. \\ & \left. - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\rho - 1}{\sigma - 1} + \frac{\sigma \mu^2}{\sigma - 1} \right) Z^2 \right] \\ & \cdot \left[1 - \frac{\mu}{\rho} Z - \frac{\rho - 1}{\rho} Z^2 \right]^{-1} \frac{d\lambda}{\lambda} \end{aligned} \quad (2.50)$$

式 (2.49) より, この式の $d\lambda/\lambda$ の係数の正負は, 右辺の 1 つ目の [] 内の正負に一致する. そこで, この [] 内を Z の関数 $f(Z)$ として定義する.

$$\begin{aligned} f(Z) = & -\frac{1}{\rho} \frac{\sigma - \rho}{\sigma - 1} + \frac{\mu}{\rho} \left(1 + \frac{\sigma}{\sigma - 1} \right) Z \\ & - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\rho - 1}{\sigma - 1} + \frac{\sigma \mu^2}{\sigma - 1} \right) Z^2 \end{aligned} \quad (2.51)$$

以下では, 式 (2.50) の結果を用いて, $\lambda = 0.5$ の空間均衡の安定性を分析する. 分析に当たり, $T \rightarrow \infty$ ($Z = 1$) のときには, 大域的分散力である「空間的に分散した需要」が強く作用するため, $\lambda = 0.5$ は安定な空間均衡になると考える. この条件は, $f(1) < 0$ として表せる. この不等式を整理すると, 以下の式が得られる.

$$1 - \mu > \frac{1}{\sigma} \quad (2.52)$$

これは Fujita et al.⁶⁾ の No-Black-Hole 条件に他ならない. **2.3 (3), (5)** で述べたように, 左辺は大域的分散力の強さを表し, 右辺は集積力の強さを表している. 以下では, この条件が成り立つと考えて分析を進める.

No-Black-Hole 条件の下では $f(1) < 0$ である. また, 本研究が想定している $\rho \leq \sigma$ の条件の下では $f(0) \leq 0$ である. $f(Z)$ は上に凸の二次関数であるから, $f(Z) > 0$ を満たす Z が $0 < Z < 1$ の範囲に存在し得る. このような Z が存在するための条件は, $f(Z)$ の最大値を与える Z が $0 < Z < 1$ の範囲にあること, および, $f(Z)$ の最大値が正である (二次方程式 $f(Z) = 0$ の判別式が正である) ことである. これらの条件はそれぞれ, 以下の式で表される.

$$\mu \left(\sigma - \frac{1}{2} \right) - (\rho - 1 + \sigma \mu^2) < 0 \quad (2.53)$$

$$\mu^2 \left(\sigma - \frac{1}{2} \right)^2 - (\sigma - \rho)(\rho - 1 + \sigma \mu^2) > 0 \quad (2.54)$$

式 (2.53), (2.54) が成立する場合には, $\lambda = 0.5$ の空間均衡が不安定となる交通費 T ($1 < T < \infty$) が存在する. そのような交通費の下では $\lambda = 0.5$ の空間均衡は崩れ, 片方の地域に人口が集積した空間均衡が生じる. 逆に, 式 (2.53), (2.54) が成立しない場合には, $\lambda = 0.5$ の空間均衡は T の値に依存せず, 常に安定となる.

式 (2.54) 左辺の値の正負は, $f(Z) > 0$ を満たす Z の存在の有無を決める重要な値である. そこで, 式 (2.54) に含まれるパラメータ σ, μ, ρ が左辺の値に与える影響を調べるために, 左辺の値をパラメータの関数 $g(\sigma, \mu, \rho)$ として表す.

$$g(\sigma, \mu, \rho) = \mu^2 \left(\sigma - \frac{1}{2} \right)^2 - (\sigma - \rho)(\rho - 1 + \sigma\mu^2) \quad (2.55)$$

関数 g を σ と μ について偏微分すると, 以下の式が導かれる.

$$\frac{\partial g}{\partial \sigma} = -(1 - \mu^2)(\rho - 1) < 0 \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial g}{\partial \mu} = 2\mu \left[\sigma(\rho - 1) + \frac{1}{4} \right] > 0 \quad (2.57)$$

これらの式は, $f(Z) > 0$ を満たす Z が存在するためには, σ が十分に小さい (集積力が強い), もしくは, μ が十分に大きい (大域的分散力が弱い) 必要があることを示している. これは自然な結果である.

次に, ρ が関数 g に与える影響を調べる. 関数 g は ρ について下に凸の二次関数になっており, 以下の性質を満たす.

$$g(\sigma, \mu, 1) = \frac{\mu^2}{4} > 0 \quad (2.58)$$

$$g(\sigma, \mu, \rho_m) = -\frac{1}{4}(1 - \mu^2)[\sigma(1 - \mu) - 1] \cdot [\sigma(1 + \mu) - 1] < 0 \quad (2.59)$$

$$\rho_m = \frac{1 + \sigma(1 - \mu)(1 + \mu)}{2} > 1 \quad (2.60)$$

$$\sigma - \rho_m = \frac{\sigma(1 + \mu^2) - 1}{2} > 0 \quad (2.61)$$

$$g(\sigma, \mu, \sigma) = \mu^2 \left(\sigma - \frac{1}{2} \right)^2 > 0 \quad (2.62)$$

ρ_m は関数 g の極小値を与える ρ であり, 式 (2.60) により定義される. 式 (2.59), (2.60) の不等式は, 式 (2.55) の No-Black-Hole 条件より導かれる. ρ_m は $1 < \rho_m < \sigma$ を満たす. 式 (54)–(2.62) は, $g(\sigma, \mu, \rho) = 0$ を満たす ρ が $1 < \rho < \sigma$ の範囲に 2 つ存在することを示している. それらの ρ の値を, 小さいものから順に変数 ρ_-, ρ_+ として表す. これらの変数は以下のように表される.

$$\rho_- = \rho_m - \frac{1}{2}[(1 - \mu^2)\{\sigma(1 - \mu) - 1\} \cdot \{\sigma(1 + \mu) - 1\}]^{\frac{1}{2}} \quad (2.63)$$

$$\begin{aligned}\rho_+ &= \rho_m + \frac{1}{2}[(1 - \mu^2)\{\sigma(1 - \mu) - 1\} \\ &\quad \cdot \{\sigma(1 + \mu) - 1\}]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}\quad (2.64)$$

以上より、 $g > 0$ が成立するためには、 $1 < \rho < \rho_-$ もしくは $\rho > \rho_+$ が成立する必要がある。しかし、 $\rho < \rho_-$ の場合には条件式 (2.53) が満たされなくなる。これは以下の不等式と、式 (2.53) の左辺が ρ について単調減少することから確認できる。

$$\begin{aligned}&\mu\left(\sigma - \frac{1}{2}\right) - (\rho_- - 1 + \sigma\mu^2) \\ &= -\frac{1}{2}[(1 - \mu)\{\sigma(1 - \mu) - 1\}] \\ &\quad + \frac{1}{2}[(1 - \mu)\{\sigma(1 - \mu) - 1\}] \\ &\quad \cdot (1 + \mu)\{\sigma(1 + \mu) - 1\}]^{\frac{1}{2}} > 0\end{aligned}\quad (2.65)$$

他方、 $\rho > \rho_+$ の場合には式 (2.53) は必ず満たされる。これは式 (2.65) と同様の計算を行うことにより確認できる。以上の結果を命題として整理する。

命題 2.1: 式 (2.52) の条件の下で、 $\lambda = 0.5$ の空間均衡が不安定となる Z が $0 < Z < 1$ の範囲に存在するためには、 $\rho > \rho_+$ が成立しなければならない。

この命題は、片方の地域に人口が集積した空間均衡が生じるためには、 ρ が十分に大きい（地域的異質性が小さい）必要があることを示している。これは、地域的異質性が分散力として働くことを意味している。

命題 2.1 の条件が満たされるとき、 $\lambda = 0.5$ の空間均衡が不安定となる Z の範囲は、以下の式で定義される変数 Z_- , Z_+ を用いて、 $Z_- < Z < Z_+$ と表せる。

$$Z_- = \frac{1}{\rho - 1 + \sigma\mu^2} \left[\mu\left(\sigma - \frac{1}{2}\right) - \sqrt{g(\sigma, \mu, \rho)} \right] \quad (2.66)$$

$$Z_+ = \frac{1}{\rho - 1 + \sigma\mu^2} \left[\mu\left(\sigma - \frac{1}{2}\right) + \sqrt{g(\sigma, \mu, \rho)} \right] \quad (2.67)$$

$\rho < \sigma$ の場合には、 $Z_- > 0$ である。この結果より、次の命題が成立する。

命題 2.2: 式 (2.52) の条件の下で $\rho_+ < \rho < \sigma$ が成立するとき、 $\lambda = 0.5$ の空間均衡の安定性は以下のように整理できる。

- $Z_+ < Z < 1$ のとき安定
- $Z_- < Z < Z_+$ のとき不安定
- $0 < Z < Z_-$ のとき安定

すなわち、地域的異質性の存在下においては、地域間交通費 T が十分に高い場合だけではなく、 T が十分に低い場合にも、 $\lambda = 0.5$ の空間均衡は安定になる。これは Akamatsu et

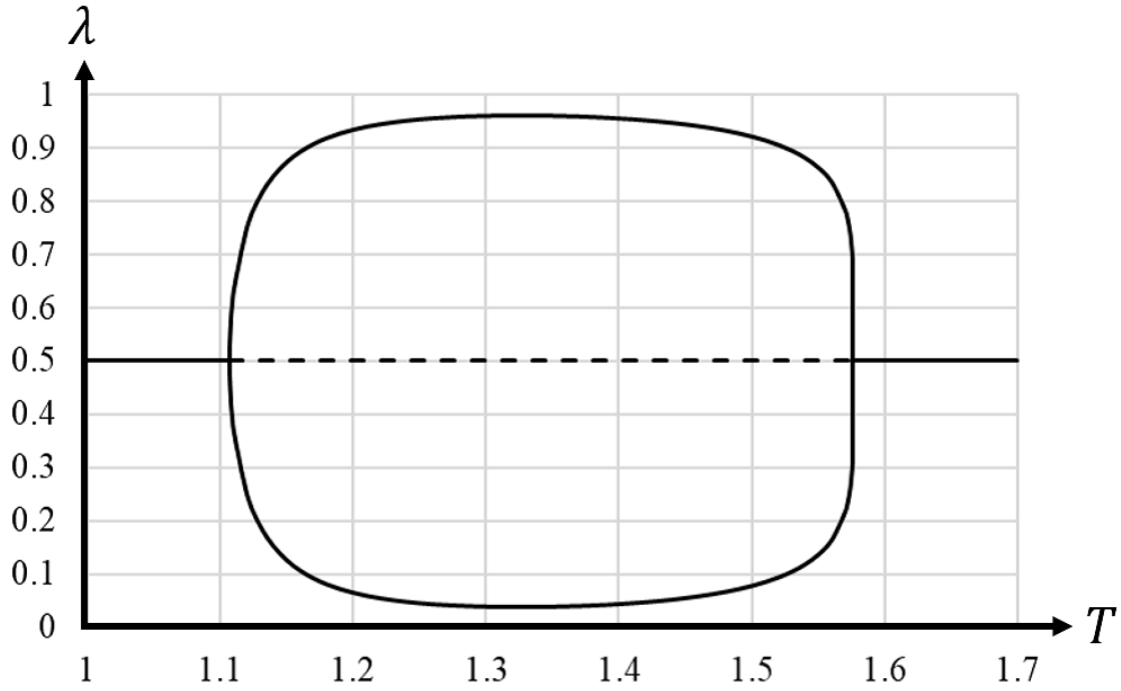


図-2.1 地域間交通費 T と空間均衡の関係

al.¹⁾ が定義する Class 3 のモデルの挙動であり，地域的異質性が局所的分散力として作用していることが確認できる．他方，地域的異質性が存在しない場合（ $\rho = \sigma$ のとき）には， $Z_- = 0$ となるため，一旦，片方の地域に人口が集積してしまうと，地域間交通費をどれだけ下げても，人口の分散した空間均衡は生じない．

2.4.2 数値的な分析

前節では，解析的な分析により命題 2.1, 命題 2.2 を示した．本節では，これらの命題の成立を具体的なパラメータの下で確認するとともに，解析的な分析では調べるのが困難なモデルの性質を調べる．

まず，パラメータを $\mu = 0.4$, $\sigma = 5$, $\rho = 4.5$ と設定した．これらのパラメータ設定は No-Black-Hole 条件の式 (2.52) と $\rho > \rho_+ = 4.19$ を満たす．この設定の下で，式 (2.26), (2.27) を満たす空間均衡と地域間交通費 T の関係を調べた．その結果をグラフとして ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 に示す．図の横軸は地域間交通費 T であり，縦軸は地域 1 に居住する労働者の割合 λ である．実線は安定な空間均衡を表し，破線は不安定な空間均衡を表す．ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 より，命題 2.1, 命題 2.2 が成立していることが確認できる．また，閾値 $\tilde{T} = 1.33$ が存在しており，地域間交通費の削減は $T > \tilde{T}$ の領域では人口の集積をもたらす， $T < \tilde{T}$ の領域では人口の分散をもたらすことが確認できる．

次に，地域間異質性が強まった際に空間均衡に生じる影響を調べるため， $\mu = 0.4$, $\sigma = 5$,

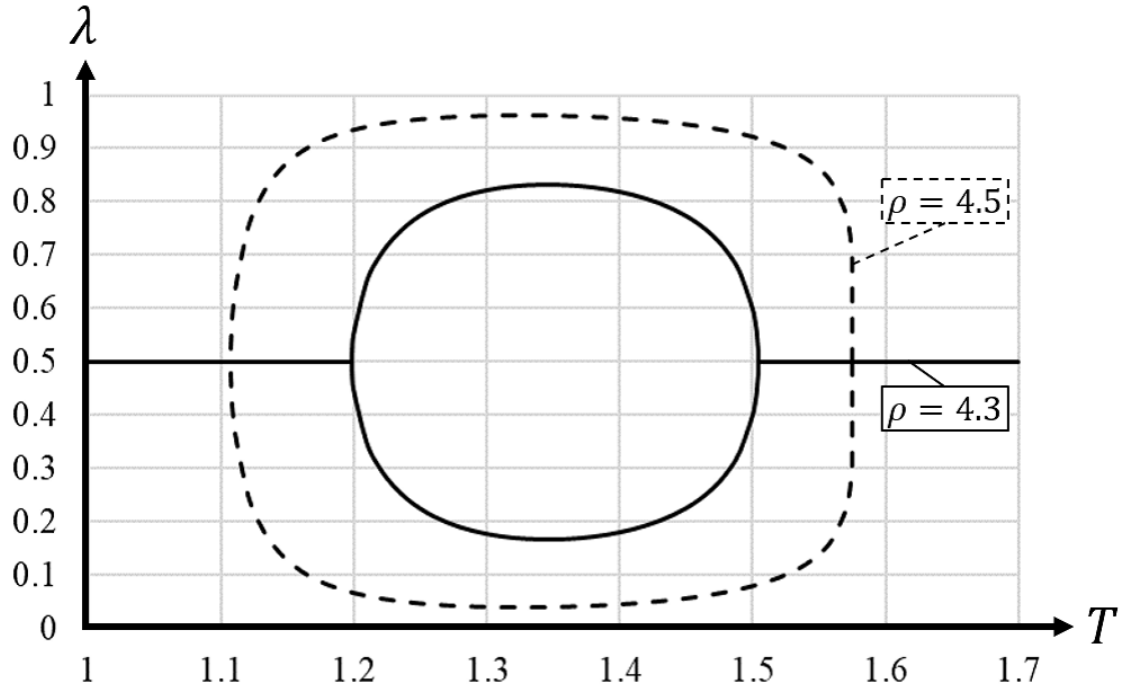


図-2.2 地域間異質性と空間均衡の関係

$\rho = 4.3$ のパラメータ設定の下で、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 と同様の分析を行った。その結果をグラフとして ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.2 に示す。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.2 には、 $\rho = 4.3$ のときの安定な空間均衡が実線で示されている。また、比較のために、 $\rho = 4.5$ のときの安定な空間均衡が破線で示されている。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.2 より、地域間異質性の強化は、 $\lambda = 0.5$ の空間均衡が不安定になる T の範囲を狭め得ると言える。さらに、片方の地域に人口が集積している場合には、その集積の程度を緩和し得ると言える。

最後に、地域間異質性の存在下において、地域間交通費の削減が社会厚生に与える影響を分析する。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.3, ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.4 は、 $\mu = 0.4$, $\sigma = 5$, $\rho = 4.3$ のパラメータ設定の下で、地域間交通費 T と家計効用の関係をグラフに表したものである。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.3 は労働者の効用 u^* を示しており、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.4 は農家の効用 u_{A1} , u_{A2} を示している。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.4 の破線は、労働者が少ない地域（Periphery）に居住する農家の効用を示している。地域 r の農家の効用 u_{Ar} は、式 (2.18) の w_r を農家の所得 (1) で置き換えることにより得られる。これらの図より、 T の削減は、家計の効用を増加させる傾向があるものの、その関係は単調なものではないことが確認できる。まず、労働者人口の片方の地域への集積が進む $T = 1.5$ 付近においては、Periphery の農家の効用が大きく減少する。これは、労働者が人口の集積地（Core）に移動することにより、Periphery の農家は高い交通費を負担しながら、Core で生産される財を購入しなければいけなくなるからである。次に、労働者人口の均質化が

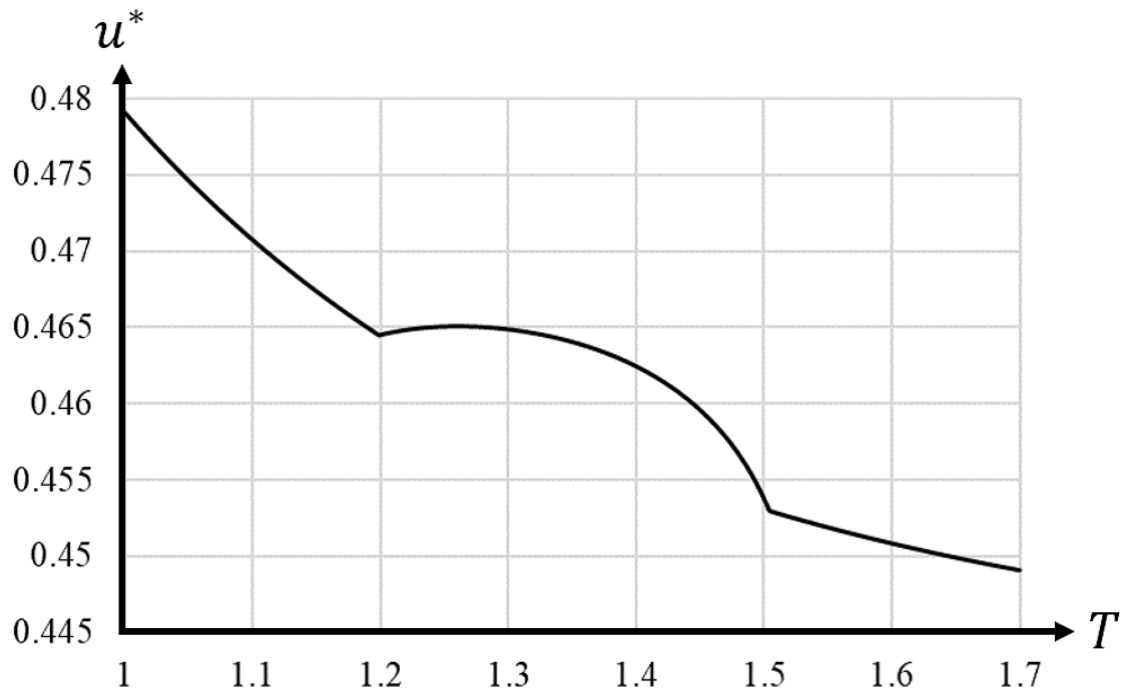


図-2.3 地域間交通費 T と労働者の効用 u^* の関係

進む $T = 1.2$ 付近においては、労働者と Core に居住する農家の効用がわずかに減少する。これは、人口の再分散が急激に進行することにより、Core に居住するメリットが大きく低下するからである。

ただし、全ての家計の効用の総和 $W = Lu^* + L_A(u_{A1} + u_{A2})$ は、 T の削減に伴い単調に増加した。以上の結果より、地域間異質性の存在下において、労働者人口が片方の地域に集積している場合、地域間交通費の削減は人口集積地の効用をわずかに下げる可能性があるものの、国全体の社会厚生は改善し得ると言える。また、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.2 から確認できるように、地域間異質性の強化は、効用の地域間格差を縮小するうえで有用であると言える。地域間異質性が無い場合には、人口の再分散は生じないため、 u_{A1} と u_{A2} の格差は $T = 1$ になるまで無くならない。

2.5 政策的示唆

2.4 の分析により、2.2 (3) において述べた「地域的異質性が局所的分散力として働く」という仮説が成立することが理論的に示された。この仮説のメカニズムは、2.2 (2), 2.2

(3) で述べた通りである。地域的異質性が存在する場合には、国内の特定の地域に人口が過度に集積することは非効率的となる。資源や文化が異なる複数の地域に人口を分散させれば、国内の財の多様性が増加し、各地域の特色や優位性を生かした経済活動が行われる。これは経済全体の社会厚生を高める。

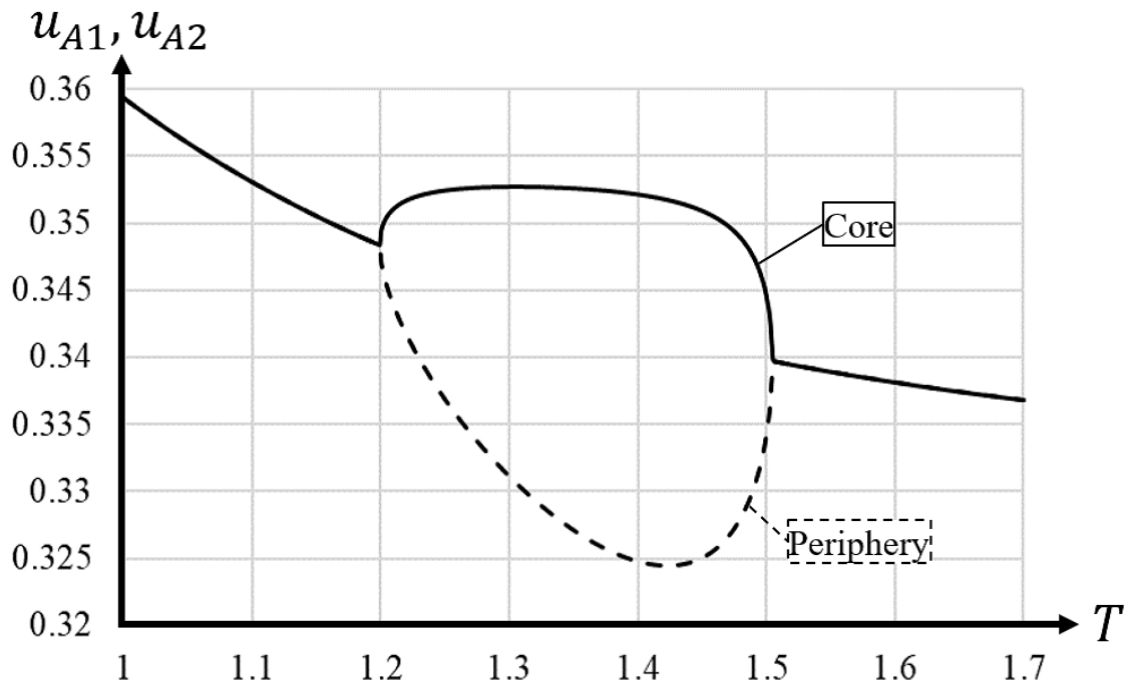


図-2.4 地域間交通費 T と農家の効用 u_{A1}, u_{A2} の関係

しかし、地域間交通費が高いとき ($Z_- < Z < Z_+$ のとき) には、「人口集積地に住めば当該地域で生産される多様な財を消費でき、高い効用を得やすい」という集積力が、「人口分散による地域的異質性の活用」のメリットを上回ってしまう。よって、地域的異質性を活用可能な国土を作るためには、地域間交通費を十分に下げる必要がある。

ただし、現状の地域間交通費が極めて高いとき ($Z > Z_+$ のとき) には、大域的分散力である「空間的に分散した需要」が強く働いており、これが人口の分散を促している可能性がある。このときに地域間交通費を中途半端に削減すると、人口集積地への人口集積を加速させるというストロー効果が生じる可能性がある。

以上の議論を踏まえ、本研究の分析結果から得られる政策的示唆について考察する。まず、昨今、リニア新幹線の整備によるスーパーメガリージョンの形成が政策的な議題として取り上げられるが、このような概念も地域的異質性の観点から捉えられる可能性がある。リニア新幹線のような超高速鉄道の整備は、地域間のサービスの取引や生産にかかわる交通費を劇的に削減することにより、($Z < Z_-$ の状態を作り出し) 地域的異質性を活かした多極分散型の国土構造の形成を促すと考えられる。そのような国土構造の下では、東京・名古屋・大阪の各都市に人口が分散しているものの、各都市で生産されたサービスが他都市において容易に入手可能であるという意味において、一つの巨大かつシームレスな経済圏が誕生すると言える。

次に、高速道路や高速鉄道のネットワーク整備が不十分な地域においてネットワーク整備を進める場合には、ストロー効果が生じる危険性がある。この危険性を下げるためには、

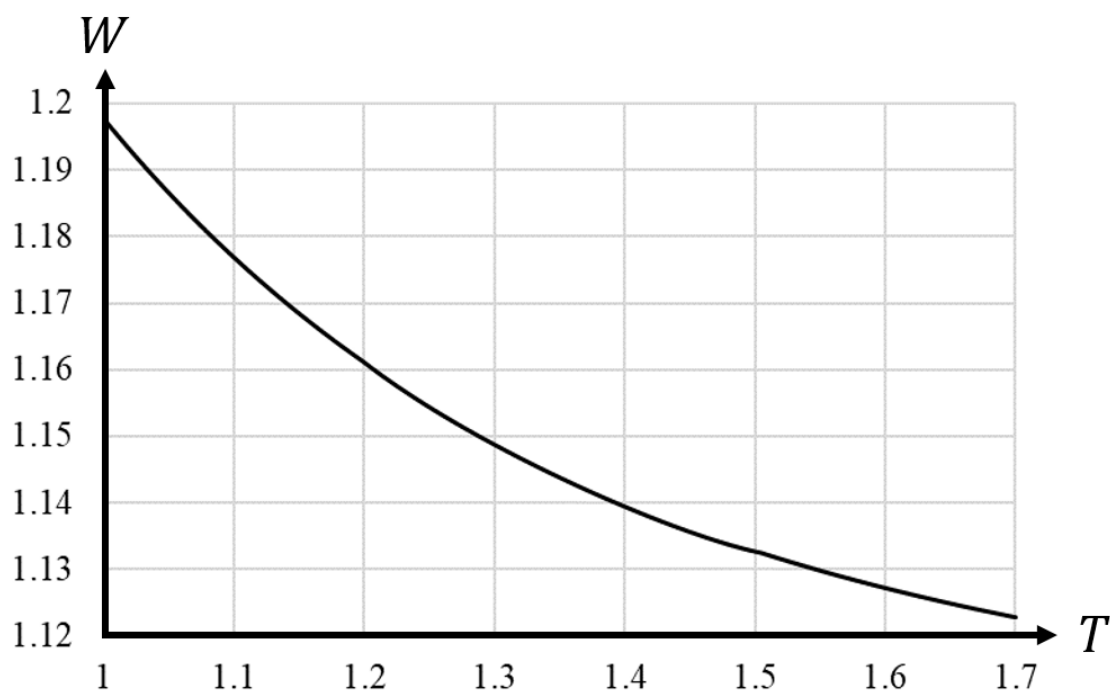


図-2.5 地域間交通費 T と社会厚生 W の関係

地域的異質性の活用が可能となる水準までネットワーク整備を進めるとともに、地域的異質性を強化するような政策が有効であると言える。例えば、大都市に立地する消費者や企業は、大都市には存在しない資源や文化、人的資本が他の地域に存在することを、十分に把握していない可能性がある。このときには、地方において生産される財の販路開拓の支援や、地方に立地する企業と大都市に立地する企業のマッチングの支援などを通じて、地域的異質性を強化できると考えられる。これにより、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 2.2 に示されているように、より高い T の下でも分散した人口分布が生じると考えられる。

2.6 おわりに

地域間交通費の削減が大都市への人口集積をもたらすというストロー効果が生じる原因は、どの地域においても同質な財を生産できる産業の存在にある。本研究では、「各地域において生産される財の中には、その地域の中でしか生産できないものが存在する」という地域的異質性に着目した。地域的異質性の存在下においては、地域高交通費の削減は、複数の地域に人口が分散した国土構造の形成を促す可能性がある。本研究は、この可能性を理論的に検証するため、Core-Periphery モデルに地域的異質性を導入した空間経済モデルを定式化し分析を行った。分析の結果、地域間交通費が十分に小さいとき、地域的異質性は人口の分散を促すことが示された。

今後の課題としては、本研究で定式化された二地域モデルを、より多くの地域から成る

モデルに拡張することが挙げられる。これは簡単な課題ではない。なぜなら、地域間異質性は空間的に離れた地域ほど強いと考えられるが、本研究の定式化した CES 関数ではこの特性が考慮できないからである。例えば、多地域モデルにおいて式 (2.2) をそのまま使うと、人口集積地のすぐ隣の地域（東京のベッドタウンなど）に人口を分散させることと、人口集積地の遠方の地域（大阪など）に人口を分散させることは、国内の財の多様性への貢献という点において同じ効果を持つことになる。このような問題を解決するためには、遠方の地域において生産される財ほど異質性が強いという特性をモデル上で表現する必要がある。

第3章 都市間交通基盤整備と企業の生産性

3.1 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⁷⁾。

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、差の差分析法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。

3.2 既存研究と本研究の分析方針

3.2.1 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。Holl⁸⁾ 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 Nakajima⁹⁾ は、幹線道路が急速に延伸する中国を対象として、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てより産業成長を促すこと、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 et al.¹⁰⁾ は、2004 年に開業された九州新幹線鹿児島ルートを対象に、新幹線の新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、収益ベースの全要素生産性を用いて、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。

Kanasugi and Ushijima¹¹⁾ 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に問題となる。この問題に関して Kanasugi and Ushijima 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。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場合に生じるバイアスが自己選択バイアスであり、特に、立地の選択に関するものは立地選択バイアスと呼ばれる。例えば、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、Kanasugi and Ushijima は傾向スコアマッチングを用いている。また、Xu and Nakajima 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。一方、企業レベルで分析を行う Bernard et al. では、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絵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。Bernard et al. 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、開通の時点を経済的処置の時点としている。それに対し、Kanasugi and Ushijima 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年時点を経済的処置の開始された時点として定義している。

3.2.2 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」を経済的処置の有無とし、差の差分析法を用いて企業の生産性に及ぼす因果効果を推定する。ただし、その際、2. (1) で述べた選択バイアスによって、処置群と対照群の間で共変量のインバランスが生じる問題に注意が必要である。具体的には、交通インフラの整備前後で取引数を増加させた企業（処置群）がもともと交通アクセスの良い地点に立地していたり、あるいは、取引ネットワークにおいて中心的な位置にあるなど、仕入れ取引数以外にも生産性を向上させる要因が存在することが考えられる。こうした場合に、対照群を適切に設定しなければ、推定された効果が本当に取引数の増加によるものなのかを識別することは困難となる。本研究では、選択バイアスを制御するために、傾向スコアマッチングを用いて対照群を設定した上で、差の差分析を行う。この手法は傾向スコアマッチング差の差分析法（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（式(3.1)）を推定する。

$$\text{Propensity Score}_i = \text{Probit}(Z_i = 1 | X_i) \quad (3.1)$$

式(3.1)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(3.1)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。

$$\begin{aligned} Y_{it} = & a + bTRE_{it} \cdot AFT_{it} + cTRE_{it} + dAFT_{it} \\ & + eX_{it} + F_i + v_{it} \end{aligned} \quad (3.2)$$

式(3.2)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。

3.3 指標およびデータ

3.3.1 集積の指標

本研究では、Graham¹³⁾ 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 et al.¹⁵⁾)。アクセシビリティ指標 $ACC_i(\gamma)$ 定義式は以下の通り。

$$ACC_i(\gamma) = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} n_j \cdot f(d_{ij}) \quad (3.3)$$

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。

$$e - ACC_i(\gamma) = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} n_j \cdot \exp(-\gamma d_{ij}) \quad (3.4)$$

$$g - ACC_i(\gamma) = \frac{1}{N} \sum_{j \neq i} \frac{n_j}{d_{ij}^\gamma} \quad (3.5)$$

$e - ACC_i(\gamma)$ 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。

3.3.2 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、接続しているノード（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。

$$D_i = \sum_j g_{ij} \quad (3.6)$$

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，Page et al.¹⁴⁾ 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」というアイディアの指標であり，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．

$$\begin{aligned} PR_i &= \sum_j \left(\frac{1-\mu}{M} + \mu \frac{g_{ij}}{D_j} \right) PR_j \\ &= \frac{1-\mu}{M} + \mu \sum_j \frac{g_{ij}}{D_j} PR_j \end{aligned} \quad (3.7)$$

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 Page et al. 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．

3.3.3 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，Holl⁸⁾ 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．

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\beta_1} L_{it}^{\beta_2} \quad (3.8)$$

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 (3.8) の両辺に対数をとって，

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} \quad (3.9)$$

式 (3.9) 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、

$$TFP_i = \ln Y_{it} - \hat{\beta}_1 \ln K_{it} - \hat{\beta}_2 \ln L_{it} \quad (3.10)$$

式 (3.10) より、各企業ごとに TFP が算出される。

3.3.4 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 24 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¹²⁾。平成 22 年工業統計（経済産業省）によれば、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。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 99,530 社であり、そのうち製造業企業 10,018 社を本研究の分析対象とする。

3.4 傾向スコア推定

3.4.1 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 ($Z_i=0$) 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。

$$\text{Propensity Score}_i = \text{Probit}(Z_i = 1 | X_i) \quad (3.11)$$

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²¹⁾。著者らは、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、共変量を選択した。

3.4.2 推定結果

傾向スコアの推定結果を ifstarfloatno 表 floatnoo 表 3.1 に示す。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。

表-3.1 傾向スコア推定結果

	係数	限界効果
Sinkansenkm	-0.00104*	-0.000283*
	(0.000562)	(0.000152)
ln(Highwaykm)	-0.0362**	-0.00982**
	(0.0166)	(0.00450)
ln(Railkm)	0.0243	0.00658
	(0.0161)	(0.00436)
g-ACC(2)	239,346**	64,891**
	(117,964)	(31,997)
ln(PageRank)	0.0140	0.00380
	(0.0228)	(0.00617)
ln(Transaction)	0.105***	0.0285***
	(0.0248)	(0.00672)
ln(Capital)	0.0722***	0.0196***
	(0.0187)	(0.00508)
ln(Employee)	0.199***	0.0539***
	(0.0205)	(0.00553)
Factory	0.0191	0.00518
	(0.0196)	(0.00530)
Office	-0.00222	-0.000603
	(0.00365)	(0.000990)
Sales	-9.91e-10	-2.69e-10
	(1.19e-09)	(3.22e-10)
ln(Age)	-0.0756***	-0.0205***
	(0.0250)	(0.00677)
DID	-0.0181	-0.00489
	(0.0403)	(0.0109)
Constant	-1.836***	
	(0.312)	
Observations	8,027	
Pseudo R^2	0.0827	

Note: Standard errors in parentheses.

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

3.4.3 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 ifstarfloatno 図 floatnoo 図 3.1 に示す。製造業の場合、処

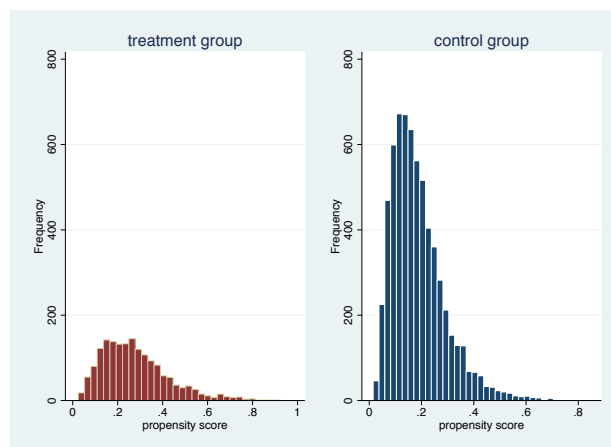


図-3.1 処置群と対照群の度数分布

置群が1,693社で、対照群が6,468社であった。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 3.1 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²²⁾。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。

3.4.4 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。ifstarfloatno 表 floatnoo 表 3.2 は傾向スコアによる層別化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。ifstarfloatno 表 floatnoo 表 3.2 から分かるように、層別化前では処置群と対照群における値差は大きかったが、層別化後は両群の値が比較的近づいている。さらに層別化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-3.2 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		-9.760	-9.353	0.909	1.014
Stratified	1	-10.207	-10.202	0.690	0.656
	2	-9.854	-9.839	0.815	0.787
	3	-9.363	-9.333	0.847	0.827
	4	-9.056	-9.053	0.909	0.866
	5	-8.747	-8.624	0.882	0.787
ln(capital)					
Raw		9.135	9.804	1.102	1.386
Stratified	1	8.340	8.412	0.737	0.713
	2	8.927	8.938	0.717	0.730
	3	9.567	9.648	0.812	0.804
	4	10.277	10.270	0.930	0.921
	5	10.987	11.014	1.034	0.956

3.5 差の差分析

3.5.1 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。

$$Y_{it} = a + bTRE_{it} \cdot AFT_{it} + cTRE_{it} + dAFT_{it} + eX_{it} + F_i + v_{it} \quad (3.12)$$

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)・収益ベースの全要素生産性 (Revenue Total Factor Productivity: RTFP) 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 は固有效果、 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 (3.12) 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。

固有效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。固有效果 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 ifstarfloatno 表 floatnoo 表 3.3 に示し、考察を行う。

3.5.2 推定結果

表-3.3 差の差分析の推定結果（製造業；2011-2012）

	(1) Sales	(2) Sales	(3) LP	(4) LP	(5) TFP	(6) 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)	0.00050 (0.0139)	-0.0051 (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%, respectively

表-3.3 は、傾向スコア 0.2~0.3 のグループを対象とした差の差分析の結果である。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 $\ln(g\text{-ACC}(1))$ 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強く影響することがわかる．なお，変量効果モデルである (3), (5) から同様の推定結果が得られている．

Combes et al.¹⁹⁾ 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，以下の関係式を想定している．

$$\ln TFP_i = \text{constant} + \varphi X_{a(i)} + \mu_i \quad (3.13)$$

ここで， $X_{a(i)}$ として，Employee Density や Market Potential を用いられている．また，Holl⁸⁾ は，TFP の決定要因として高速道路へのアクセスの効果について推定を行っている．本研究は，既往研究で扱われるこれらの要因に加え，仕入れ取引数の増加がもたらす効果に着目し，以下の関係式を想定する．

$$TFP_i = \alpha + \beta(\text{transaction}) + \delta X_{a(i)} + \mu_i \quad (3.14)$$

なお，Holl⁸⁾ や Combes et al.¹⁹⁾ が中・長期的な効果を推定しているのに対し，本研究では極めて短期的な効果を扱っている点に留意が必要である．今回の推定結果は，短期的には，仕入れ取引数の増加がもたらす効果の方が直接的な交通アクセスの効果よりも企業の生産性へ強く影響を及ぼすことを示唆している．

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) といった変量効果モデルを用いた推定では， 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業績が高いということを表している．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 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．

表-3.4 各階層における推定結果（TFP のみ）

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Propensity Score	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
TRE・AFT	-0.0406** (0.0264)	0.0040 (0.0144)	0.0348** (0.0137)	0.0388* (0.218)	-0.0256 (0.0313)
AFT	-0.0173 (0.0543)	-0.0094 (0.0366)	-0.0157 (0.0448)	0.0337 (0.0834)	0.0771 (0.1176)
ln(Highway)	0.0442 (0.0553)	-0.0936 (79,889)	-0.114 (0.0593)	0.2864 (0.3222)	-0.0653 (0.2156)
ln(g-ACC(1))	-0.0047 (0.0169)	-0.00387 (0.0118)	-0.0051 (0.0146)	0.0114 (0.0271)	0.0198 (0.0386)
Firm FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Constant	6.980*** (0.1655)	7.275*** (0.1330)	7.396*** (0.198)	7.017*** (0.4903)	7.587*** (0.3951)
Observations	2,656	6,580	3,992	1,723	669
R-squared	0.0028	0.0010	0.0050	0.0070	0.0035
Firms	1,329	3,298	2,003	867	335

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

TFP を対象として、階層毎に推定を行った結果（固定効果モデル）を ifstarfloatno 表 floatnoo 表 3.4 に示している。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。傾向スコア 0.4~0.5 のグループについては、仮説とは異なり係数が負となっている。ただし、サンプルサイズが十分ではないため、有意な結果は得られていない。

3.6 おわりに

3.6.1 結論

本研究では、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について分析を行った。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、集積指標である Effective Density が有意に正の効果を示した。この結果は、新幹線駅や高速道路 IC により近く、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唆している。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ことが明らかとなった。また、高速道路 IC までの直線距離や Effective Density の係数がともに有意に推定されなかったことから、厳密な比較ではないものの、仕入れ取引数の増加が TFP に及ぼす効果の方が高速道路への直接的なアクセスの効果や集積の効果よりも有意に大きいということが示された。ただし、高速道路への直接的なアクセスの効果や集積の効果に着目した既往研究がいずれも中長期的な効果を推定しているのに対し、本研究は短期的な効果を対象とする点に留意する必要がある。

3.6.2 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ったものがある。本研究で使っ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¹、有意な効果は認められなかったことから、逆

¹具体的には、分析対象期間中に企業の TFP が向上していること（向上している場合に 1 を、向上しなかった場合に 0 を取るような 2 値変数で表現）が仕入れ取引数に及ぼす影響について、傾向スコアマッチング差の差分析を行った。

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．

第4章 都市内道路と物流施設立地

4.1 はじめに

食品や日用品を扱う商店の立地は、消費者の生活の利便性に直結している。近年は、ネット通販や宅配など様々な流通チャネルが存在しており、消費者の商品調達方法が多様化しているとは言え、生鮮食品など日常的に購入される商品の多くはなお、消費者の居住地付近の商店において購入されている。本研究では、このように商店を通じた消費者の商品調達に着目する。消費者の居住地付近に商店が立地していない場合、消費者は買い物の度に、遠方まで買い物に出かける不便を強いられることになる。このような買い物の利便性が低い地区に、商店の新規立地が実現した場合、近隣住民は、買い物交通費用（ガソリン代や消費者の旅行時間）が削減される便益を受ける。現代の都市においては、小規模なスーパーマーケットやコンビニエンスストアのチェーン店が多数立地しているが、このようなチェーン店の立地戦略は、消費者の利便性を高めることを通じて、売上や利益を伸ばそうとするものであると言える。

都市内にチェーン店を多数立地させるためには、各チェーン店に商品を配送する拠点となる物流センター（配送センター，Distribution Center, DC）を配置することが効果的である。チェーン店は商品の在庫を保有している。商品の需要は日々変動しているため、在庫保有には常に売れ残りのリスクが伴う。小規模なチェーン店には、このようなリスクを負担することは困難である。そこでチェーン店を統括するフランチャイズ小売企業は、都市内もしくは都市近郊に物流センターを配置し、この物流センターに多量の在庫を保有する倉庫機能を持たせる。物流センターからチェーン店には頻繁に商品が配送されるため、チェーン店は必要最小限の在庫を保有すれば運営が可能となる。この点において、物流センターはチェーン店の在庫保有リスクを集約して引き受ける拠点と見なすことができる。

現代のスーパーやコンビニエンスストアなどのフランチャイズ小売企業の多くが、物流センターを都市内に配置し、傘下のチェーン店に商品を配送する戦略を採用している。この傾向には、都市内道路網整備等による物流費用の継続的低減が寄与している可能性がある。仮に、都市内道路ネットワークが未整備であり、物流センターとチェーン店間の商品の輸送時間が長い場合には、チェーン店が急遽商品を追加発注したとしても、商品がチェーン店に配送されるまでの間に在庫切れが発生する可能性がある。このため、チェーン店は安定的に商品を販売するために、商品の在庫ストックを増加させることが合理的となる。すべてのチェーン店が十分な在庫ストックを確保するような状況では、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.1 に示すように、チェーン店は物流センターを介さずにサプライヤから直接商品を仕

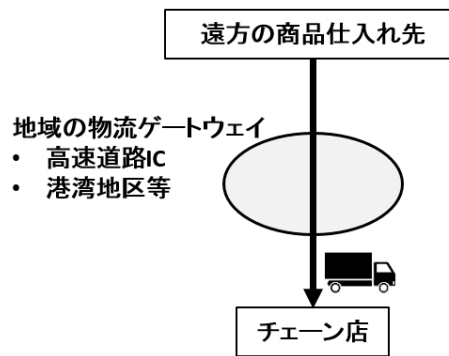


図-4.1 直接仕入れを採用する場合

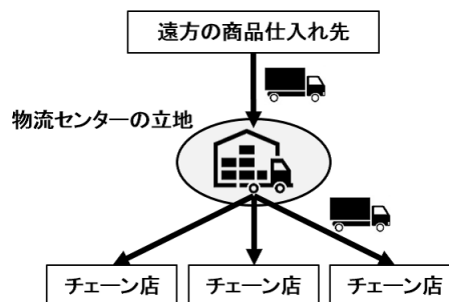


図-4.2 都市内物流センターを配置する場合

入れることが効率的になると考えられる。一方，都市内物流時間が十分に短縮されれば，ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.2 に示すように都市の物流拠点となる物流センターを配置することが効率的となる。

以上で議論したように，都市内道路の整備状況や都市内物流費用は，フランチャイズ小売企業による都市内物流センターの立地戦略に影響を及ぼす可能性がある。そして，物流センターの立地は，チェーン店の在庫保有費用を軽減することによりチェーン店の立地数を増やすとともに，消費者の最寄りのチェーンに対する買い物トリップ数の増加をもたらすと考えられる。本研究では，このような問題意識のもとで，在庫保有リスクの観点から，都市内の複数のチェーン店を統括するようなフランチャイズ小売企業が，都市内物流センターの立地を決定するような理論的モデルを定式化する。そのうえで，都市内道路整備による物流の円滑化が，都市内物流センターやチェーン店の立地パターンを再編する効果と，消費者の買い物利便性を改善する効果について分析する。以下，4.2 では本研究の基本的な考え方を述べる。4.3 ではモデルの定式化を行う。4.4 では比較静学によりモデルを分析し，政策的示唆について考察する。

4.2 本研究の基本的な考え方

4.2.1 商業施設の立地に関する研究概要

商業施設の立地については、Hotelling²³⁾やChristaller²⁴⁾、Losch²⁵⁾の先駆的研究以来、都市経済学の分野で理論的研究が蓄積してきた。Hotelling²³⁾は、広い商圈を獲得するように戦略的に立地を決定する商店間の競争を分析した。Hotellingの理論的モデルにおいては、商店の数が外生的に与えられているため、空間内に立地する商店数を分析することはできない。Christaller²⁴⁾やLosch²⁵⁾の中心地理論は、空間内に存在すべき商業都市の数について1つの規範的理論を提示した。中心地理論は、消費者への財の供給に規模の経済が働く状況を想定し、財の供給を担う商業都市が空間上に一定の間隔を置いて立地することにより、社会全体の費用を最小化できることを明らかにした。商業都市間の効率的な空間的距離は、規模の経済性と消費者の買い物費用のトレードオフによって決まり、前者が卓越するほど効率的な間隔は広くなる。中心地理論の基本的な考え方は、都市や産業の集積を分析する新経済地理学にも引き継がれている²⁶⁾。新経済地理学は、財の多様性を増やす際に働く規模の経済をモデル化し、この規模の経済と財の輸送費のトレードオフによって経済活動の空間的集積を説明している。ただし、新地理経済学は都市や産業などのマクロな集積現象を扱うものであり、ミクロな商業施設の立地は分析対象ではない。

商業施設の集積現象に関する理論的研究としては、Eaton and Lipsey²⁷⁾とWolinsky²⁸⁾を挙げることができる。前者の研究では、消費者が1つのチェーン店で2種類の商品を購入すれば、買い物費用を節約できる状況が想定されている。このとき、2種類の商品を扱う商店と、1種類の商品のみを扱う商店の2つのタイプが空間上に分布することが示されている。後者の研究では、消費者が各商店で扱われている商品の特性について事前に十分な情報を持っておらず、複数の商店を訪れて商品の特性を比較したうえで、購入する商品を決定すると仮定する。このとき、消費者は近隣に単独で存在する商店よりも、遠方の商業集積地に最初に向かうことが示されている。その結果、商業集積地に立地する誘引が商店に働く。これらの研究においても、商店に働く規模の経済性が固定費用の形で表現されている。

4.2.2 都市内物流に関する研究概要

商業施設の立地に関する理論的研究に共通するのは、消費者の買い物費用と商店に働く規模の経済性の関係から、商店の立地を分析していることである。しかし、商品を仕入れる際に使われる道路ネットワークや物流に着目して、商業施設の立地について分析した理論的研究は見当たらない。他方、都市内道路ネットワークと物流の関係については、交通工学やOperations Research (OR)の分野において多くの研究が蓄積してきた。代表的な研究分野としては、まず、都市内の配送サービスを行うトラック数やトラックの経路を最適

化する Vehicle Routing Problem (VRP) が挙げられる²⁹⁾。このモデルは物流センターの立地との直接的関係は無いが、都市内道路ネットワークの形状がトラック交通流や物流費用に及ぼす影響を評価できる。谷口ら³⁰⁾は VRP を応用し、配車配送計画の高度化や輸送の共同化が都市内物流に与える影響を分析している。

都市内道路ネットワークと物流の関係を分析するもう一つの代表的な分野は、消費者の居住地などの地理的諸条件を所与として、物流センターなどの施設の立地点を最適化する Facility Location Model である³¹⁾。谷口ら³²⁾は Facility Location Model を応用し、道路ネットワークの混雑状況を明示的に考慮して、道路ネットワーク内の物流ターミナルの配置と規模を最適化するモデルを開発している。このモデルは都市内道路ネットワークと施設の立地点の関係性を分析するものであり、本研究と問題意識を共有している。ただし、このモデルは、所与の需要の下で費用を最小化するサプライチェーンの設計を支援するものであり、消費者側の行動や便益については分析できない。また、物流センターの機能としては、大量輸送を担う大型トラックから、小口配送を担う小型トラックへの中継地としての機能に重点が置かれており、本研究のように在庫管理の機能に着目した研究は限られている。

物流費用とサプライチェーンの関係をマクロな視点から分析するモデルとしては、Nagurney et al.³³⁾ が構築した Supply Chain Network Equilibrium (SCNE) モデルが挙げられる。これは、製造業者、小売業者、消費市場の3主体から構成されるサプライチェーンを想定し、各主体が利潤や効用を最大化する前提の下に、サプライチェーン上の商品取引量、商品価格、ネットワーク構成の均衡を求めるモデルである。田辺ら³⁴⁾は、SCNE モデルを応用し、都市物流施策がサプライチェーンに与える影響を評価している。SCNE モデルは、一つの都市内に留まらず、広域のサプライチェーンネットワークを分析できる利点を有するが、都市内道路上の輸送費用などの狭域の情報は抽象化されている。本研究と関連する SCNE の分析としては、山田ら³⁵⁾を挙げることができる。山田ら³⁵⁾は商品需要の不確実性がもたらす在庫費用を SCNE モデルに導入し、商品需要の不確実性がサプライチェーンに与える影響を分析している。ただし、この研究では、道路上の旅行時間が在庫管理費用に与える影響は考慮されていない。

4.2.3 物流センターとリードタイムの関係

本研究は、在庫管理という視点から、フランチャイズ小売企業による都市内物流センターの立地戦略を分析する。チェーン店が顧客満足度を高めるためには、来店した消費者が在庫切れに直面する事態を防ぐ必要がある。しかし、商品の需要は日々変動しており、平均よりも高い需要が生じることもあるため、チェーン店は、需要の高まりに備えて在庫を保有しなければいけない。この在庫を安全在庫と呼ぶ。安全在庫は、売れ残った場合には処分する必要があるため、商品価値の減耗が早い商品を扱うチェーン店にとっては重い負担とな

る。商品価値の減耗が早い商品の例としては、食品や季節性の衣料品、ファストファッション、型落ちしやすい電子機器などを挙げられる。このような商品を扱う小売企業においては、在庫管理をいかに効率的に行うかが、経営戦略上の重要な課題となる。例えば、スーパーやコンビニエンスストアの主力品は飲食料品であり（飲食料品は平成 28 年度のスーパーの売上の 73%, コンビニエンスストアの売上の 68%を占めている³⁶⁾）、これらの身近なチェーン店にも、上述の議論は当てはまる。

本研究では、小売企業による都市内物流センターの立地に関する意思決定をモデル化する。そのために、OR の分野で利用されている在庫管理モデルを応用する。在庫管理モデルとして最も広く知られている基本的なモデルが EOQ (Economic Order Quantity) モデルと Safety Stock（安全在庫）モデルである³⁷⁾。交通に関係した研究分野において、在庫管理モデルは物流リードタイムの品質（早さや信頼性）の評価に関する研究に応用されてきた実績がある。Baumol and Vinod³⁸⁾ や Blauwens et al.³⁹⁾ は、在庫管理モデルを利用して荷主の費用と物流リードタイムの関係を表現し、貨物輸送サービスや輸送機関の選択問題に応用している。de Jong and Ben-Akiva⁴⁰⁾ は、貨物の輸送経路の選択に在庫管理モデルを応用している。瀬木⁴¹⁾ は貨物の時間価値の性質の分析に在庫管理モデルを応用している。

Safety Stock モデルの 1 つの重要な貢献は、安全在庫を複数のチェーン店間で共有することにより、必要な安全在庫の総量を削減できることを明らかにした点にある³⁷⁾。たとえば、来客が平常よりも少なかったチェーン店の余分な安全在庫を、来客が平常よりも多かったチェーン店に補充することができる。これにより、在庫保有リスクを全体として平準化し、安全在庫の総量の圧縮が可能になる。安全在庫を複数のチェーン店間で共有するいま 1 つの方法は、サプライチェーンの上流に物流センターを配置することにより、下流に位置するチェーン店の在庫保有リスクを集約化することである。ただし、この方法を利用するためには、4.1 でも述べたように、チェーン店が必要なときに必要なだけ、物流センターから商品を補充できるような輸送環境が必要である。すなわち、物流センターとチェーン店間の輸送時間の短さが、物流センターを核とするサプライチェーンを形成するための要件となる。

本研究の新規性は、在庫保有リスクのサプライチェーン上流への集約という観点から、道路上の輸送時間と都市内物流センターの立地の関係を分析する点にある。物流拠点の立地を最適化する Facility Location Model に関しては、数多くの研究蓄積がある。しかし、これらの研究では、物流センターは物流の結節点（大型トラックから小型トラックへの積み替え地点）としての役割しか持たないことが多い。本研究のモデルは、サプライチェーンの上流と下流の間の在庫管理の協調と、その協調に道路上の旅行時間が与える影響を定式化する点に新規性がある。

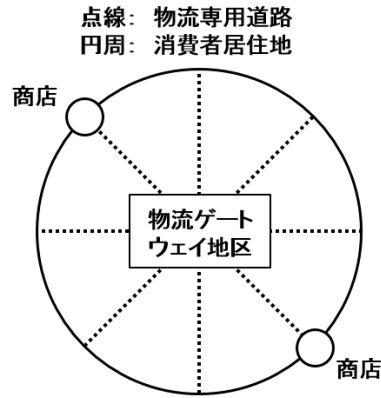


図-4.3 想定する都市構造

4.3 モデル

4.3.1 前提

本研究は、議論の見通しをよくするために簡単な理論モデルを提案する。いま、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 に示すような円周都市を考える。都市の中心部には物流ゲートウェイ地区（高速道路インターチェンジや港湾地区など）が存在する。物流ゲートウェイ地区と円周は、放射線状に伸びる多数の物流専用道路（図中の破線）により連結されている。交通混雑は発生しないを考える。円周上は住民が居住する市街地であり、消費者が均等な人口密度 e で居住している。円周の総延長を R で表す。

都市内には日常的商品を販売するチェーン店を経営する独占企業が存在する。この企業は、円周上の任意の位置にチェーン店を立地することができる考える。企業は利潤を最大化するように、円周上のチェーン店数 n と商品の販売価格 p を決定する。円周上の人口密度は均質であるため、企業は均等な間隔 R/n を置いてチェーン店を立地させることになる。ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 は $n = 2$ のときを表している。消費者は円周上を移動して最寄りのチェーン店を利用し、自宅とチェーン店間の距離に比例した買い物交通費用を負担する。1つのチェーン店が担当する商圈は、そのチェーン店の位置を中心として $\pm R/(2n)$ の範囲となる。

また、企業意思決定の対象には、「物流ゲートウェイ地区に物流センターを立地させるか否か」も含まれる。物流センターを立地させない場合には、個々のチェーン店は都市の外部から直接商品を仕入れる。物流センターを立地させる場合には、物流センターが都市の外部から商品を仕入れて在庫を保有し、チェーン店は物流センターから商品を仕入れる。いずれの場合にも、チェーン店が商品を仕入れる際には、都市外部に位置するサプライヤから、物流ゲートウェイ地区を経由したのちに、物流専用道路を介して各チェーン店に商品の輸送が行われる。

4.3.2 消費者の買い物行動と消費者余剰

買い物需要

消費者の買い物需要の発生はランダムであり、ポアソン過程に従って商品 1 個ごとの需要が独立に発生する。商品は価値の劣化が早い、もしくは保管のためのスペースを要するため、需要が発生する度に消費者は近隣のチェーン店に商品を 1 個購入に出かける。ポアソン過程の到着率 λ は、商品の価格と買い物費用に依存すると考え、この関係を線形の需要関数で表す。

$$\lambda(l) = \bar{\lambda} - a(p + \tau l) \quad (4.1)$$

$\lambda(l)$ は最寄のチェーン店までの距離が l の地点に住む消費者の、単位時間当たりのチェーン店訪問回数 (以下、到着率と呼ぶ) である。 $\bar{\lambda}$ は消費者 1 人の商品需要の上限を、 a は商品需要の価格・買い物費用に対する感度を表す外生的な正の定数である。 p は企業が設定する商品の販売価格である。 τ は単位距離当たりの消費者の往復買い物交通費用を表す定数である。 $p + \tau l$ は消費者が商品を 1 個購入するのに必要な総費用を表す。この総費用に依存して、消費者の商品の購入頻度は減少する。このポアソン過程によって、商品の需要変動リスクが表現される。

消費者余剰

式 (4.1) の需要関数を利用し、消費者余剰を定義する。まず、最寄のチェーン店までの距離が l の地点に住む消費者 1 人の消費者余剰 $cs(l)$ は

$$\begin{aligned} cs(l) &= \int_{p+\tau l}^{\bar{\lambda}} (\bar{\lambda} - ax) dx \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\bar{\lambda}^2}{a} - 2\bar{\lambda}(p + \tau l) + a(p + \tau l)^2 \right] \end{aligned} \quad (4.2)$$

と表される。よって、都市全体の総消費者余剰 CS は

$$\begin{aligned} CS &= n \cdot 2 \int_0^{\frac{R}{2n}} e \cdot cs(l) dl \\ &= eR \left[\frac{\bar{\lambda}^2}{2a} - \bar{\lambda} \left\{ p + \frac{\tau R}{4n} \right\} \right. \\ &\quad \left. + a \left\{ \frac{p^2}{2} + \frac{p\tau R}{4n} + \frac{1}{24} \left(\frac{\tau R}{n} \right)^2 \right\} \right] \end{aligned} \quad (4.3)$$

となる。式 (4.3) の積分値は、1 つのチェーン店が担当する商圈の右半分内に住む消費者の総消費者余剰を表す。これを 2 倍すれば、1 つのチェーン店が担当する商圈内の総消費者余剰となる。これにチェーン店数 n を掛ければ、都市全体の総消費者余剰となる。

消費者余剰の性質

消費者余剰 CS が持つ性質について考察する．前提条件として，都市内に住む全ての消費者は正の需要を持つと考える．この条件は，隣り合うチェーン店の商圈の境界に住む消費者の需要が正であることに等しい．したがって，

$$\lambda\left(\frac{R}{2n}\right) = \bar{\lambda} - a\left(p + \frac{\tau R}{2n}\right) > 0 \quad (4.4)$$

が成立する．チェーン店数 n は厳密には整数値しか取れないが，本研究では簡単のため，実数値として扱えると考え．式 (4.4) に示す前提条件の下で，商品価格 p とチェーン店数 n が消費者余剰に与える影響は，

$$\frac{\partial CS}{\partial p} = -R\left[\bar{\lambda} - a\left(p + \frac{\tau R}{4n}\right)\right] < 0 \quad (4.5-a)$$

$$\frac{\partial CS}{\partial n} = \frac{e\tau R^2}{4n^2}\left[\bar{\lambda} - a\left(p + \frac{\tau R}{3n}\right)\right] > 0 \quad (4.5-b)$$

と評価できる．消費者余剰は商品価格 p について単調に減少し，チェーン店数 n について単調に増加する．チェーン店数 n が増えるほど，都市内の消費者の買い物交通費用が節約されるため，消費者余剰が増加するという結果になる．

4.3.3 チェーン店の在庫管理

チェーン店内の在庫推移

チェーン店は古典的な在庫管理モデルである EOQ (Economic Order Quantity) モデルと Safety Stock モデル³⁷⁾に従い在庫管理を行う．チェーン店内の商品の在庫数の推移過程を，ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.4 を用いて説明する．消費者が来店し商品を購入する度に，チェーン店内の在庫数は減少していく．在庫数がある閾値 (Re-Order Point, ROP) を下回ると，上流 (物流センターが無い場合は地域外の仕入れ先，ある場合は物流センター) に商品の発注が行われる．この際の手発注量 (ロットサイズ) を変数 Q で表す．発注された商品がチェーン店に届くと，在庫数は Q だけ回復する．以上の過程が繰り返される．

チェーン店が商品の発注を行ってから，チェーン店に商品が届くまでの間にはタイムラグが存在する．このタイムラグをリードタイムと呼ぶ．リードタイムには，商品の出庫やトラックの配車，トラックへの積荷，道路上のトラックの走行に要する時間などが含まれる．このリードタイムの間に在庫切れが生じないように，チェーン店は余裕を持って商品の発注を行う必要がある．その結果，商品が届いた時点では，チェーン店内には商品の在庫が残るケースが多い．商品が届いた時点でチェーン店内に残っている在庫数の期待値を安全在庫 (Safety Stock) と呼び，変数 ss で表す．EOQ モデルは，ロットサイズ Q を決定するモデルであり，Safety Stock モデルは安全在庫 ss を決定するモデルである．

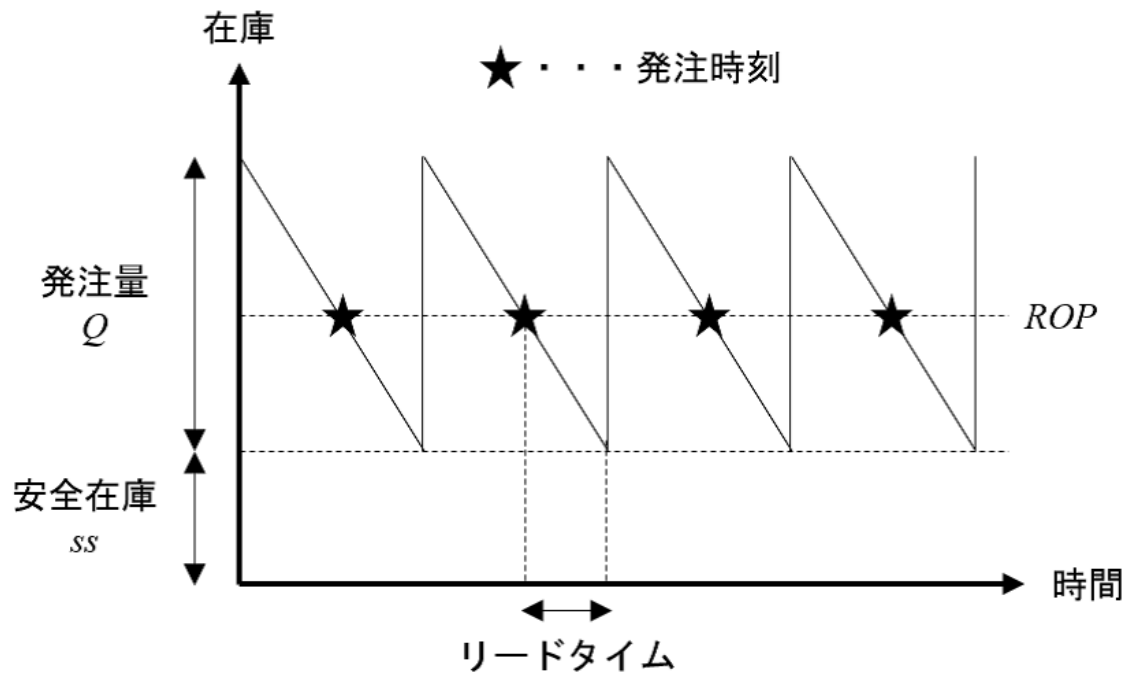


図-4.4 チェーン店内の在庫推移（需要が一定の場合）

なお、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.4 では説明の都合上、一定の間隔を置いて商品の発注が行われているようなグラフを示しているが、これは需要が偶然に一定で推移した特殊なケースのものである。本研究が以下の分析で想定するように、需要が変動する一般的なケースでは、発注間隔は不定期に変動することになる。このような発注方法は、定量発注方式と呼ばれており、単価が安い商品や、需要変動の小さい商品に適用されることが多い。この他の発注方式には、発注間隔を固定し、ロットサイズをその都度変更する定期発注方式などがある。定期発注方式は、高価な商品や、需要変動の大きい商品に適用されることが多い。本研究では、解析的に扱いやすく、かつ、安全在庫とリードタイムの定性的な関係を表現可能なモデルである、EOQ モデルと Safety Stock モデルを採用する。これらのモデルを用いることにより、理論的な見通しの良い分析が可能となる。

また、現実の商店においては、商品の品目ごとに需要や在庫保有費用の特性が異なるため、品目ごとに異なる発注方式が採用されることが一般的である。本研究では、理論的な見通しを良くするため、チェーン店は一種類の品目のみを扱い、定量発注方式を採用するという定式化を採用している。ただし、複数の品目を扱い、品目ごとに発注方式を管理する商店をモデル化した場合でも、安全在庫とリードタイムの定性的な関係は変わらないため、本研究の定性的な分析結果は同様に成立すると考えられる。

EOQ モデル

EOQ モデルによるロットサイズ Q の決定について述べる．1つのチェーン店が担当する商圈内の単位時間当たりの商品需要の期待値を D ，1回の発注にかかる固定費用（出庫・荷積・輸送・荷卸などの物流に関わる費用）を S ，単位時間当たりの商品1個の在庫保有費用を h とする．在庫保有費用 h は，在庫投資の資本費用（金利）やチェーン店のスペースを占有する倉庫費から成る³⁷⁾．さらに，商品価値の減耗が早い食品などについては，商品の入荷後の時間経過に伴い，値引きや廃棄処分が必要となる．このような商品価値の減耗費用も h に含まれる．

ロットサイズが Q のとき，発注の頻度は単位時間当たり D/Q となる．したがって，単位時間当たりの発注費用は DS/Q と表される．ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.4 から確認できるように，チェーン店が保有する在庫数の長期平均値は $Q/2 + ss$ となる．したがって，単位時間当たりの在庫保有費用は $hQ/2 + h \cdot ss$ となる．単位時間当たりの発注費用と在庫保有費用の和を求めると

$$\frac{DS}{Q} + \frac{hQ}{2} + h \cdot ss \quad (4.6)$$

となる．式 (4.6) を最小化するロットサイズ Q^* (EOQ) は

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{h}} \quad (4.7)$$

と表される．EOQ は商品の発注費用と在庫保有費用のバランスを取る効率的なロットサイズである．EOQ は在庫保有費用 h について単調に減少する．すなわち，在庫保有費用が高い商品は，ロットサイズを減らしてこまめに発注を行い，店内の在庫回転率を上げることが効率的となる． Q^* を式 (4.6) に代入すると，1つのチェーン店が負担する単位時間当たりの発注費用と在庫保有費用の和は

$$\sqrt{2hDS} + h \cdot ss \quad (4.8)$$

と表される．

Safety Stock モデル

Safety Stock モデルにより安全在庫 ss を求める．チェーン店は，在庫数がある閾値 (ROP) を下回ると商品の発注を行う．この閾値を変数 ROP で表す．チェーン店が商品を発注してからチェーン店に商品が届くまでのリードタイムを L とする．このリードタイムの間には，平均 LD の需要が発生する．したがって，在庫が補充される直前における在庫数の期待値（安全在庫）は，近似的に次式で表せる．

$$ss = ROP - LD \quad (4.9)$$

リードタイムの間には平均よりも大きい需要が発生する可能性がある。安全在庫は、このような事態においても消費者が欠品に遭遇することを防ぐために保有される在庫である (ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.4 参照)。ただし、安全在庫を保有していても在庫切れは発生し得る。

リードタイム中に在庫切れが発生しない確率は、リードタイム中に発生する需要が ROP を下回る確率に等しい。1つのチェーン店が担当する商圈内の商品需要の単位時間当たりの分散を σ_D^2 とすれば、リードタイムの間に発生する需要の分散は $L\sigma_D^2$ である。個々の消費者の需要がポアソン分布に従う場合、リードタイム内に発生する需要は平均 LD 、分散 $L\sigma_D^2$ の正規分布に従うものとして近似できる。この近似を用いると、リードタイム中に在庫切れが発生しない確率は、

$$\Phi\left(\frac{ROP - LD}{\sqrt{L}\sigma_D}\right) = \Phi\left(\frac{ss}{\sqrt{L}\sigma_D}\right) \quad (4.10)$$

と表される。 Φ は標準正規分布の累積分布関数である。チェーン店は、この確率が外生的な目標値 α (95%など) に一致するように ss を決定する。このとき ss は、

$$ss = \sqrt{L}\sigma_D\Phi^{-1}(\alpha) \quad (4.11)$$

と表される。 Φ^{-1} は Φ の逆関数である。式 (4.11) は、リードタイム L が長い環境において、チェーン店の安全在庫の負担が増えることを示している。安全在庫の保有費用は $h \cdot ss$ であるから、チェーン店の扱う商品の在庫保有費用 h が高い場合、リードタイムの短縮はチェーン店の費用負担を削減することができる。

なお、厳密には、式 (4.9) は近似式であり、安全在庫を過小評価する。なぜなら、式 (4.9) は在庫数が負の値を取り得ないことを無視しているためである。リードタイム中に発生する需要が ROP を上回った場合、在庫が補充される直前における在庫数はゼロとなる。よって、厳密には、安全在庫は $ROP - LD$ よりも大きくなり、その正確な水準 ss' は、

$$ss' = ROP - \int_{-\infty}^{ROP} x f_N(x, LD, L\sigma_D^2) dx \quad (4.12)$$

と表される。ここで、 $f_N(x, \mu, \sigma^2)$ は正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ の確率密度関数である。ただし、チェーン店が保有する在庫数の長期平均値は、 ss' を用いても正確に表せない。在庫数の正確な長期平均値は、 $Q/2 + ss$ よりも大きく、 $Q/2 + ss'$ よりも小さくなる。なぜなら、 $Q/2 + ss'$ を用いることは、「在庫切れが生じるタイミングは、商品が到着するのと同時にある（商品の到着以前に在庫が切れ、在庫がゼロのまま推移することはない）」と考えることに等しいからである。以上の近似誤差は、在庫管理モデルを扱う教科書や文献では無視されていることが多い。

チェーン店の在庫管理費用と道路上の旅行時間

EOQ モデルと Safety Stock モデルは、1つのチェーン店の単位時間当たり商品需要の期待値 D と分散 σ_D^2 を必要とする。これらの値は消費者の購入行動の結果として求まる。最寄のチェーン店までの距離が l の地点に住む消費者1人の単位時間当たり需要の期待値と分散はともに $\lambda(l)$ となる。個々の消費者の商品需要が独立なポアソン過程に従い発生する場合、需要の和の期待値と分散は、個々の需要の期待値と分散の和として表せる。したがって、1つのチェーン店が担当する商圈内の単位時間当たりの需要の期待値 D と分散 σ_D^2 は

$$\begin{aligned} D &= \sigma_D^2 = 2 \int_0^{\frac{R}{2n}} e\lambda(l)dl \\ &= \frac{eR(\bar{\lambda} - ap)}{n} - \frac{ea\tau R^2}{4n^2} \end{aligned} \quad (4.13)$$

となる。式(4.6)に式(4.11)、式(4.13)を代入すると、1つのチェーン店が負担する単位時間当たりの発注費用と在庫保有費用の和 $C_I(S, L)$ は

$$\begin{aligned} C_I(S, L) &= \sqrt{2hDS} + h\sqrt{L}\sigma_D\Phi^{-1}(\alpha) \\ &= \sqrt{D}[\sqrt{2hS} + h\sqrt{L}\Phi^{-1}(\alpha)] \end{aligned} \quad (4.14)$$

と表される。以下、本研究では $C_I(S, L)$ のように、発注費用と在庫保有費用の和を在庫管理費用と呼ぶ。チェーン店の在庫管理費用は発注費用 S とリードタイム L に依存する。

発注費用 S にはトラックの輸送費用が含まれており、リードタイム L には道路上の旅行時間が含まれている。よって、ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 に示される放射線状の物流専用道路上の旅行時間を短縮すれば、 S と L は減少することが期待される。以下では、この関係を明示的にモデル化する。 S と L はそれぞれ、チェーン店が上流に商品を発注する際の発注費用とリードタイムであるから、これらの値は、上流に物流センターが無い場合と有る場合で異なる。物流センターが無い場合の値を S_N, L_N で表し、有る場合の値を S_W, L_W で表す。これらの変数を以下のように定式化する。

$$S_N = S_0 + \beta T \quad (4.15-a)$$

$$L_N = L_0 + T \quad (4.15-b)$$

$$S_W = \beta T \quad (4.15-c)$$

$$L_W = T \quad (4.15-d)$$

S_0 と L_0 はそれぞれ、都市外のサプライヤから都市の物流ゲートウェイ地区までの物流費用と輸送時間を表す。 T は ifstarfloatno 図 floatnoo 図 4.3 の物流専用道路の片道の旅行時間である。 β は旅行時間を物流費用に換算する係数である。物流センターが有る場合には、リードタイムに L_0 は含まれない。その代わり、物流センターが都市外のサプライヤから商品を仕入れる際に、リードタイム L_0 が生じることとなる。

4.3.4 企業の利潤

チェーン店を運営する独占企業の意思決定の対象は、「物流センターを物流ゲートウェイ地区に立地させるか否か」、都市内のチェーン店数 n 、商品価格 p の3つである。企業は利潤を最大化するように意思決定を行う。そこで、以下では、「物流センターを立地させない場合」と「立地させる場合」に分けて企業の利潤を定式化する。

物流センターを立地させない場合

物流センターを立地させない場合の単位時間当たりの企業の利潤を $\pi_N(n, p, T)$ で表し、

$$\begin{aligned}
 \pi_N(n, p, T) &= (p - c)nD - n[C_I(S_N, L_N) + F] \\
 &= \left[eR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4n} \right] (p - c) - Fn \\
 &\quad - \sqrt{neR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4}} \\
 &\quad \cdot [\sqrt{2h(S_0 + \beta T)} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L_0 + T}]
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

と定式化する。ここで、 c は商品を1単位販売するために必要となる各種の可変費用、 nD はチェーン店の商品の総売り上げ、 F は1店舗のチェーン店を立地・運営するために必要となる固定費用である。

なお、式(4.16)は、消費者が在庫切れに直面した場合の売上の低下を考慮していない。現実的に考えると、消費者が在庫切れに直面した場合には、消費者は商品の購入を諦めるか、商品の入荷後に再度、チェーン店を訪問することになる。前者の場合は需要の一部が実現しないことになる。すなわち、厳密には、商品の総売上は、「需要 nD のうち、在庫切れに直面しない割合」を表す変数 γ を用いて、 $p\gamma nD$ と表される必要がある。さらに、 γ が消費者の需要 D や消費者余剰 CS に与える影響をモデル化すれば、消費者の需要の不確実性（需要リスク）に起因する社会的費用をより正確に評価できるようになる。ただし、このようなモデルは解析的な取り扱いが困難になるため、本研究では $\gamma \simeq 1$ であると見なし、分析を進める。本研究が採用する単純化の下でも、需要リスクに起因する社会的費用の基本的な性質、すなわち、需要リスクを一か所に集約することにより社会的費用を削減できるという性質は表現できるため、理論的な議論を行う上では見通しが良くなる。

物流センターを立地させる場合

物流センターを立地させる場合は、物流センターにおいても在庫管理を行う必要がある。物流センターは都市外に立地するサプライヤから商品を仕入れる。物流センターはPOSシステムを通じて、各チェーン店の商品在庫の状況を常に把握可能であると考えられる。このと

き、チェーン店から物流センターに発注される商品需要の単位時間当たりの期待値 D_W と分散 σ_{DW}^2 は

$$D_W = \sigma_{DW}^2 = nD = eR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4n} \quad (4.17)$$

と表される（POS システムが無い場合には、チェーン店の在庫状況が把握できないため不確実性が増し、 σ_{DW}^2 は式 (4.17) よりも大きくなると考えられる）。物流センターも EOQ モデルと Safety Stock モデルに従い在庫管理を行うと考える。式 (4.8), (4.11), (4.17) を用いれば、物流センターの在庫管理費用は

$$\begin{aligned} C_W &= \sqrt{2h \cdot D_W \cdot S_0} \\ &\quad + h\sqrt{L_0}\Phi^{-1}(\alpha_W)\sigma_{DW} \\ &= \sqrt{eR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4n}} \\ &\quad \cdot [\sqrt{2hS_0} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L_0}] \end{aligned} \quad (4.18)$$

と表せる。ただし、 S_0, L_0 はそれぞれ、物流センターが都市外のサプライヤから商品を仕入れる際の発注費用とリードタイムである。在庫保有費用 h 、および、リードタイム中に在庫切れが発生しない確率の目標値 α は、チェーン店と物流センターの間で共通と考える。

物流センターの在庫管理費用 C_W を用いれば、物流センターを立地させる場合の単位時間当たりの企業の利潤 $\pi_W(n, p, T)$ は、次式で表せる。

$$\begin{aligned} \pi_W(n, p, T) &= (p - c)nD - n[C_I(S_W, N_W) + F] \\ &\quad - [C_W + F_W] \\ &= \left[eR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4n} \right] (p - c) - Fn - F_W \\ &\quad - \sqrt{neR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4}} \\ &\quad \cdot [\sqrt{2h\beta T} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{T}] \\ &\quad - \sqrt{eR(\bar{\lambda} - ap) - \frac{ea\tau R^2}{4n}} \\ &\quad \cdot [\sqrt{2hS_0} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L_0}] \end{aligned} \quad (4.19)$$

ただし、 F_W は物流センターを立地・運営するために必要となる固定費用である。

企業の意思決定

企業の意思決定は次のように行われる。まず、都市内輸送時間 T が外生的に与えられる。次に、企業は与えられた T の下で、 $\pi_N(n, p, T)$ と $\pi_W(n, p, T)$ を（仮想的に） n, p について最適化し、物流センターを立地させない場合・立地させる場合の各ケースおけ

る最適なチェーン店数と商品価格を決定する． $\pi_N(n, p, T)$ の最適化問題の解を $n_N(T)$, $p_N(T)$ で表し， $\pi_W(n, p, T)$ の最適化問題の解を $n_W(T)$, $p_W(T)$ で表す．最後に，企業は $\pi_N(n_N(T), p_N(T), T)$ と $\pi_W(n_W(T), p_W(T), T)$ を比較し，前者が大きい場合は物流センターを立地させず，後者が大きい場合は物流センターを立地させる．すなわち，次式が成立する．

$$\begin{cases} \text{物流センター} & \pi_N(n_N(T), p_N(T), T) \geq \\ \text{を立地しない} & \pi_W(n_W(T), p_W(T), T) \end{cases} \quad (4.20\text{-a})$$

$$\begin{cases} \text{物流センター} & \pi_N(n_N(T), p_N(T), T) < \\ \text{を立地する} & \pi_W(n_W(T), p_W(T), T) \end{cases} \quad (4.20\text{-b})$$

4.4 比較静学分析

本章では，4.3 で定式化したモデルに対して解析的・数値的な比較静学分析を適用し，都市内道路整備による物流の円滑化が，小売企業による都市内物流センターの立地を促す効果や，消費者の買い物利便性を改善する効果について分析する．具体的には，都市内輸送時間 T の短縮が，企業的意思決定に与える影響を分析する．さらに，この企業的意思決定の変化が消費者余剰に与える影響についても分析する．

4.4.1 道路整備が物流センターの立地に与える影響

都市内輸送時間 T の短縮が，物流センターの立地に及ぼす影響を分析する．まずは，所与の n, p の下で $\pi_W(n, p, T)$ と $\pi_N(n, p, T)$ を比較する． n, p は企業によって決定される内生変数であり， T や物流センターの立地の有無に依存する．しかし，まずは議論の見通しを良くするため， n, p を外生変数のように固定値として扱えると考える．この前提の下で， $\pi_W(n, p, T)$ と $\pi_N(n, p, T)$ の差を取ると，

$$\begin{aligned} & \pi_W(n, p, T) - \pi_N(n, p, T) \\ = & \sqrt{\frac{eR(\bar{\lambda} - ap)}{n} - \frac{ea\tau R^2}{4n^2}} \\ & \cdot [h\Phi^{-1}(\alpha)(n\sqrt{L_0 + T} + n\sqrt{S_0 + \beta T}) \\ & - \sqrt{2h}(n\sqrt{T} + \sqrt{nL_0} + n\sqrt{\beta T} + \sqrt{nS_0})] \\ & - F_W \\ = & \sigma_D h\Phi^{-1}(\alpha)(n\sqrt{L_0 + T} - n\sqrt{T} - \sqrt{nL_0}) \\ & + D\sqrt{2h}(n\sqrt{S_0 + \beta T} - n\sqrt{\beta T} - \sqrt{nS_0}) \\ & - F_W \end{aligned} \quad (4.21)$$

を得る．この値は，所与の n, p の下で，物流センターを持たない企業が，物流センターを立地することにより得られる利潤の増加額を表す． T の短縮がこの金額に与える影響を分析するために，式 (4.21) の両辺を T について偏微分すると，

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial T} [\pi_W(n, p, T) - \pi_N(n, p, T)] \\ &= -\sigma_D h \Phi^{-1}(\alpha) n \left(\frac{1}{2\sqrt{T}} - \frac{1}{2\sqrt{L_0 + T}} \right) \\ & \quad - D\sqrt{2hn} \left(\frac{\beta}{2\sqrt{\beta T}} - \frac{\beta}{2\sqrt{S_0 + \beta T}} \right) < 0 \end{aligned} \quad (4.22)$$

を得る．式 (4.22) より， n, p が外生的に与えられているとすれば，物流センター立地による利潤の増加額は， T の短縮に伴い拡大することを確認できる．

物流センター立地の便益について考察するために，都市内輸送時間が $T = 0$ となる極限的な状況を考える．このとき，チェーン店は発注費用を負担せずに，物流センターから瞬間的に商品を仕入れることができるため，一切の在庫を保有する必要がなくなる．このとき，式 (4.21) の値は，

$$\begin{aligned} & \pi_W(n, p, 0) - \pi_N(n, p, 0) \\ &= (n - \sqrt{n}) \sigma_D h \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{L_0} \\ & \quad + (n - \sqrt{n}) D \sqrt{2hS_0} - F_W \end{aligned} \quad (4.23)$$

となる．一般に， $n \geq 1$ である．式 (4.23) は，物流センターの固定費 F_W が無ければ，物流センターの立地が企業の利潤を必ず増やすことを意味している．式 (4.23) の右辺第 1 項は，**4.2 (2)** で述べた，「下流のチェーン店の在庫保有リスクを集約して引き受ける」という，物流センターの機能の便益を表している． σ_D は，個々のチェーン店の商品需要の標準偏差である．式 (4.11) より，チェーン店が個別に安全在庫を保有する場合，個々のチェーン店は $\sqrt{\sigma_D^2} \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{L_0}$ の安全在庫を保有する必要がある．チェーン店は n 店舗あるので，企業が保有する安全在庫の総量は，これの n 倍となる．他方，物流センターが集約的に在庫を保有する場合，その商品需要の分散は $n\sigma_D^2$ となる．よって，企業が保有する安全在庫の総量は， $\sqrt{n\sigma_D^2} \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{L_0}$ となる．このように，物流センターは複数のチェーン店の在庫保有リスクを一括して引き受けることにより，在庫保有リスクを全体として平準化し，安全在庫の総量を圧縮できる．すなわち，式 (4.23) 右辺の第 1 項は，安全在庫の圧縮化便益を表している．

物流センター立地のもう 1 つの便益は，式 (4.23) の右辺第 2 項により表されている．これは，複数のチェーン店が共同で商品を仕入れることにより，仕入れ時のロットサイズを大型化して規模の経済を活用し，発注費用（物流費用）を削減する効果である．この効果は，Facility Location Model³¹⁾ に関する既存研究において，物流センター立地の便益として考慮されている効果であり，ロットサイズ大型化便益と呼ぶ．このように，本研究の

ように在庫管理モデルを導入することにより、物流センターの便益は、既往研究で考慮されてきたロットサイズの大型化便益と安全在庫の圧縮化便益の和として表現することができる。

式 (4.23) で表される物流センターの便益は、都市内輸送時間を無視できる理想的な環境 ($T = 0$ の場合) を想定していた。都市内輸送時間を無視できない ($T > 0$ が成立する) 場合、物流センターが立地していても、各チェーン店は安全在庫を保有しなければいけない。このような状況において、物流センター立地による安全在庫の圧縮化便益は、式 (4.21) の 2 つ目の等号の右辺第 1 項により表される。物流センターが立地していない場合の安全在庫の総量は、 $\sigma_D \Phi^{-1}(\alpha) n \sqrt{L_0 + T}$ となる。他方、物流センターが立地している場合の安全在庫の総量は、 $\sigma_D \Phi^{-1}(\alpha) (n \sqrt{T} + \sqrt{n L_0})$ となる。式 (4.22) から確認できるように、両者の差は T の増加に伴い減少し、特に $T \rightarrow \infty$ の極限においては、

$$\begin{aligned} & \lim_{T \rightarrow \infty} \pi_W(n, p, T) - \pi_N(n, p, T) \\ &= -\sigma_D h \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{n L_0} - D \sqrt{2h} \sqrt{n S_0} - F_W \end{aligned} \quad (4.24)$$

となる。すなわち、 T の値が非常に大きいときには、 n, p の値に依存せず、物流センターの立地は安全在庫の総量を逆に増やしてしまう。 T が大きい場合には、物流センターが立地しても、チェーン店は長いリードタイムに備えて多くの安全在庫を保有しなければならない。そのうえ、物流センターも安全在庫を保有しなければいけないので、結局、物流センターの立地は安全在庫の負担を増やすだけに終わってしまう。式 (4.22), (4.24) の結果は、物流センターが都市内物流効率化の機能を発揮するためには、都市内輸送時間の改善が必要であることを表している。

以上では、議論の見通しを良くするため、ひとまず n, p を固定値として扱った。実際には、4.3 (4) で述べたように、これらの変数は T や物流センターの立地の有無に依存する。以下では、このように n, p が内生変数となる一般的な状況を想定して比較静学分析を実施する。このような状況においては、企業は $\pi_N(n_N(T), p_N(T), T)$ と $\pi_W(n_W(T), p_W(T), T)$ を比較して物流センターの立地を決定する。ここで、都市内輸送時間 T を与件としたときの、物流センターの立地便益を表す関数

$$\begin{aligned} f(T) &= \pi_W(n_W(T), p_W(T), T) \\ &\quad - \pi_N(n_N(T), p_N(T), T) \end{aligned} \quad (4.25)$$

を定義する。関数 $f(T)$ の単調性を解析的に保証することは容易ではない。このため、式

(4.23), (4.24) の結果を用いて, 関数 $f(T)$ の定性的な性質を議論する. まず, 式 (4.24) より,

$$\begin{aligned} \lim_{T \rightarrow \infty} \pi_W(n_W(T), p_W(T), T) \\ - \pi_N(n_W(T), p_W(T), T) < 0 \end{aligned} \quad (4.26-a)$$

$$\begin{aligned} \pi_N(n_N(T), p_N(T), T) \\ \geq \pi_N(n_W(T), p_W(T), T) \end{aligned} \quad (4.26-b)$$

が成立する. したがって, $\lim_{T \rightarrow \infty} f(T) < 0$ が成立する. 次に, 式 (4.23) より,

$$\begin{aligned} \pi_W(n_N(0), p_N(0), 0) \\ - \pi_N(n_N(0), p_N(0), 0) > 0 \\ (\text{if } n_N(0) \geq 1 \text{ and } F_W \simeq 0) \end{aligned} \quad (4.27-a)$$

$$\begin{aligned} \pi_W(n_W(0), p_W(0), 0) \\ \geq \pi_W(n_N(0), p_N(0), 0) \end{aligned} \quad (4.27-b)$$

が成立する. したがって, $n_N(0) \geq 1$ であり, かつ, F_W が十分に小さければ, $f(0) > 0$ が成立する. 以上の結果と $f(T)$ が連続であることより, 次の命題が成立する.

命題 4.1 $n_N(0) \geq 1$ であり, かつ, F_W が十分に小さいとき, 式 (4.28-a), (4.28-b) を満たす閾値 $\tilde{T} > 0$ が存在する.

$$f(\tilde{T}) = 0 \quad (4.28-a)$$

$$f(T) > 0 \quad (0 \leq T < \tilde{T}) \quad (4.28-b)$$

この命題は, 都市内輸送時間 T をある水準 $\tilde{T}$ 以下に短縮すれば, 企業が物流センターを立地することを意味している. なお, 上述の議論は, $f(T) = 0$ を満たす T が複数存在する可能性を排除できていないが, 仮にそのような T が複数ある場合には, その中で最小のものが $\tilde{T}$ となる. これは, $f(T)$ の連続性と $f(0) > 0$ より導ける.

4.4.2 道路整備がチェーン店数と商品価格に与える影響

以下では, T の短縮が, 企業の決定するチェーン店数 n と商品価格 p に与える影響を分析する. このため, 企業の利潤最大化問題の 1 階の最適化条件に比較静学分析を適用する. まず, 物流センターが立地していない状況を想定し, 企業の利潤 $\pi_N(n, p, T)$ の n, p に関

する最大化問題の1階の最適化条件を求めると、

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_N}{\partial n}(n, p, T) &= \frac{ea\tau R^2}{4n^2}(p - c) - F \\ -(\bar{\lambda} - ap)X(n, p)Z_N(T) &= 0\end{aligned}\tag{4.29-a}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_N}{\partial p}(n, p, T) &= eR(\bar{\lambda} + ac - 2ap) \\ -\frac{ea\tau R^2}{4n} + anX(n, p)Z_N(T) &= 0\end{aligned}\tag{4.29-b}$$

となる。ただし、 $X(n, p)$, $Z_N(T)$ は記述を簡略化するために導入する関数であり、次のように定義される。

$$X(n, p) = \frac{eR}{2\sqrt{neR(\bar{\lambda} - ap) - ea\tau R^2/4}}\tag{4.30-a}$$

$$\begin{aligned}Z_N(T) &= \sqrt{2h(S_0 + \beta T)} \\ &\quad + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L_0 + T}\end{aligned}\tag{4.30-b}$$

式(4.29-a), (4.29-b) を n, p, T について偏微分することにより、比較静学分析の方程式を導くと、

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n^2} & \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} \\ \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dn \\ dp \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial T} \\ \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p \partial T} \end{pmatrix} dT\tag{4.31}$$

となる。この方程式を dn, dp について解くと、

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix} dn \\ dp \end{pmatrix} &= \left\{ \det \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n^2} & \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} \\ \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p^2} \end{vmatrix} \right\}^{-1} \\ &\quad \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p^2} & -\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} \\ -\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial T} \\ \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p \partial T} \end{pmatrix} (-dT)\end{aligned}\tag{4.32}$$

を得る。利潤最大化問題の2階の最適化条件より、式(4.32)右辺の行列式の符号は正になる。そこで、式(4.32)右辺の残りの部分の符号を特定化することを試みる。まず、式(4.29-a),

(4.29-b) より，以下の式が導かれる．

$$\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n^2} = -\frac{ea\tau R^2}{2n^3}(p-c) - (\bar{\lambda} - ap)X_n Z_N \quad (4.33-a)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p^2} = -2eaR + anX_p Z_N \quad (4.33-b)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} &= \frac{ea\tau R^2}{4n^2} + [aX - (\bar{\lambda} - ap)X_p]Z_N \\ &= \frac{ea\tau R^2}{4n^2} + [aX + anX_n]Z_N \end{aligned} \quad (4.33-c)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial T} = -(\bar{\lambda} - ap)X Z'_N \quad (4.33-d)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p \partial T} = anX Z'_N \quad (4.33-e)$$

Z'_N は Z_N の導関数を表し， X_n, X_p はそれぞれ X の n, p に関する偏導関数を表す．関数の引数は省略している．式 (4.33-a)–(4.33-e) より，以下の式が導かれる．

$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p^2} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial T} - \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p \partial T} \\ &= 2eaRX Z'_N \left[\bar{\lambda} - a \left(p + \frac{\tau R}{8n} \right) - \frac{anX Z_N}{2eR} \right] \end{aligned} \quad (4.34-a)$$

$$\begin{aligned} &- \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial p} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n \partial T} + \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial n^2} \frac{\partial^2 \pi_N}{\partial p \partial T} \\ &= -\frac{ea\tau R^2}{4n^2} X Z'_N \left[\bar{\lambda} - a \left(p + \frac{\tau R}{2n} \right) \right] \\ &\quad \cdot \left(1 - \frac{4n^2 X Z_N}{e\tau R^2} \right) \end{aligned} \quad (4.34-b)$$

式 (4.34-b) を導く際には，最適解における式 (4.29-b) の成立を利用していることを断っておく．式 (4.34-a), (4.34-b) の符号を特定できれば， dn, dp の符号を特定できる．式 (4.34-a), (4.34-b) の符号の解析的な特定は一般に困難であるが，最適解において以下の条件が満たされる場合には，解析的な特定が可能となる．

$$\frac{Z_N n \sqrt{D}}{nD} < \frac{\tau R}{2n} \quad (4.35)$$

この式の左辺の分子は，企業の在庫管理費用の総額 $nC_I(S_N, L_N)$ を表す．分母の nD は商品の総需要であるから，左辺は需要一単位当たりの平均在庫管理費用を表している．式 (4.35) は，この平均費用が $\tau R/2n$ （最も不便な場所に居住する消費者の買い物一回当たりの交通費用）よりも低いことを意味する．最適解において式 (4.35) が成立するときには，式 (4.34-a), (4.34-b) の符号が特定できる．式 (4.35) が成立するとき，以下の不等式が成立する．

$$\frac{anX Z_N}{2eR} < \frac{a\tau R}{8n} \quad (4.36-a)$$

$$\frac{4n^2 X Z_N}{e\tau R^2} < 1 \quad (4.36-b)$$

式 (2.4), (4.36-a), (4.36-b), および, $Z'_N > 0$ を利用すると, 式 (4.34-a) の符号は正に, 式 (4.34-b) の符号は負に特定できる. 以上より, 以下の命題が導かれる.

命題 4.2: 最適解において式 (4.35) が成立するとき, 都市内輸送時間 T の減少は $n_N(T)$ を増加させ $p_N(T)$ を減少させる.

次に, 物流センターが立地している状況に対して比較静学分析を実施する. この状況において, 企業の利潤 $\pi_N(n, p, T)$ の n, p に関する最大化問題の 1 階の最適化条件を求めると,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_W}{\partial n}(n, p, T) &= \frac{ea\tau R^2}{4n^2}(p - c) - F \\ &\quad - (\bar{\lambda} - ap)X(n, p) \left[Z_W(T) + \frac{Z_0}{\sqrt{n}} \right] \\ &\quad - \frac{eRZ_0}{4X(n, p)n\sqrt{n}} = 0 \end{aligned} \quad (4.37-a)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_W}{\partial p}(n, p, T) &= eR(\bar{\lambda} + ac - 2ap) \\ &\quad - \frac{ea\tau R^2}{4n} + anX(n, p) \\ &\quad \cdot \left[Z_W(T) + \frac{Z_0}{\sqrt{n}} \right] = 0 \end{aligned} \quad (4.37-b)$$

となる. ただし, $Z_W(T)$, Z_0 は記述を簡略化するために導入する関数と変数であり, 次のように定義される.

$$Z_W(T) = \sqrt{2h\beta T} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{T} \quad (4.38-a)$$

$$Z_0 = \sqrt{2hS_0} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L_0} \quad (4.38-b)$$

式 (4.37-a), (4.37-b) を n, p, T について偏微分し, dn, dp について解くことにより, 比較静学の方程式が導かれる. **命題 4.2** の証明と同様にして, 最適解において以下の条件が満たされる場合に, dn, dp の符号を解析的に特定可能であることを示せる.

$$\begin{aligned} &\frac{Z_W n \sqrt{D} + Z_0 \sqrt{nD}}{nD} \\ &< \frac{\tau R}{2n} - \frac{Z_0 \sqrt{nD}}{nD} \frac{\bar{\lambda} - ap - \frac{3a\tau R}{8n}}{\bar{\lambda} - ap - \frac{a\tau R}{2n}} \end{aligned} \quad (4.39)$$

この式の左辺の分子は企業の在庫管理費用の総額 $nC_I(S_W, L_W) + C_W$ を表し, 左辺全体は需要一単位当たりの平均在庫管理費用を表している. 式 (4.39) は, この平均費用が一定の水準以下になることを意味する. 最適解において式 (4.39) が成立するときには, dn, dp の符号が特定でき, 以下の命題が導かれる.

命題 4.3: 最適解において式 (4.39) が成立するとき, 都市内輸送時間 T の減少は $n_W(T)$ を増加させ $p_W(T)$ を減少させる.

命題 4.2 と命題 4.3 は、都市内輸送時間 T の短縮が、チェーン店数 n を増やし商品価格 p を下げる効果を持つことを示している。この結果をもたらした仕組みについて考察するために、個々のチェーン店の在庫管理費用を表す式 (4.14) に注目する。この式は、在庫管理費用に、商品需要 D に関する規模の経済が働くことを示している。商品需要 1 単位当たりの平均在庫管理費用を求めると

$$\frac{C_I}{D} = \frac{1}{\sqrt{D}} [\sqrt{2hS} + h\sqrt{L}\Phi^{-1}(\alpha)] \quad (4.40)$$

となり、 D について単調減少することを確認できる。この理由は、商品需要が大きいほど、安全在庫の保有リスクが低下するためである。式 (4.13) で表されるように、商品需要の期待値と分散は比例関係にある。よって、個々のチェーン店が保有すべき安全在庫は、リードタイムを L とするとき、 $\sqrt{D}\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L}$ と表せる。これは、商品需要が大きいほど、消費者 1 人当たりの安全在庫が減少することを意味している。式 (4.40) の右辺が D について単調減少するもう 1 つの理由は、商品需要が大きいほど、仕入れ時のロットサイズを大型化して規模の経済を活用し、発注費用を削減できるためである。以上の理由より、在庫管理費用を抑えるためには、チェーン店数 n を減らすことが望ましい。なぜなら、チェーン店数を増やせば、商品需要がチェーン店の間で分割されてしまうためである。以上の効果は、リードタイム L や発注費用 S が大きいほど強くなる。逆に、 L と S が小さくなれば、最適なチェーン店数は増加する。なぜなら、チェーン店は物流センターから細目に商品を発注することが可能となり、在庫管理費用の負担が軽減されるため、チェーン店一店舗当たりの需要が小さくても運営が可能となるためである。 T の減少が n の増加をもたらすのは、この理由によるものである。また、 T の増加が p の減少をもたらす理由は、在庫管理費用の限界費用 (C_I の D に関する導関数) の低下により、値下げの余地が生じるためだと考えられる。

以上では、物流センターの立地の有無を所与として、 T の短縮効果を分析した。前節でみたように、 T の短縮が閾値 $\tilde{T}$ を跨いで行われる場合には、物流センターが立地していない状態から、立地している状態への変化が生じる。この際、物流センターの立地に伴う費用構造の変化が生じるため、チェーン店数と商品価格は $(n_N(T), p_N(T))$ から $(n_W(T), p_W(T))$ へと不連続に変化する。この不連続な変化の方向について分析する。まず、 $(n_N(T), p_N(T))$ は式 (4.29-a), (4.29-b) を満たすことから、 $(n_N(T), p_N(T))$ に関する条件式が 2 本得られ

る。この条件式を π_W の偏導関数に代入すると、以下の2本の式が得られる。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \pi_W}{\partial n}(n_N(T), p_N(T), T) \\
&= (\bar{\lambda} - ap_N(T))X(n_N(T), p_N(T)) \\
& \quad \cdot \left[\sqrt{2h} \left(\sqrt{S_0 + \beta T} - \sqrt{\beta T} \right) \right. \\
& \quad \left. + h\Phi^{-1}(\alpha) \left(\sqrt{L_0 + T} - \sqrt{T} \right) \right. \\
& \quad \left. - Y(n_N(T), p_N(T)) \right. \\
& \quad \left. \cdot \left(\sqrt{\frac{2hS_0}{n_N(T)}} + h\Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{\frac{L_0}{n_N(T)}} \right) \right] \tag{4.41-a}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \pi_W}{\partial p}(n_N(T), p_N(T), T) \\
&= -an_N(T)X(n_N(T), p_N(T)) \\
& \quad \cdot \left[\sqrt{2h} \left(\sqrt{S_0 + \beta T} - \sqrt{\beta T} \right) \right. \\
& \quad \left. - \sqrt{\frac{S_0}{n_N(T)}} \right) + h\Phi^{-1}(\alpha) \left(\sqrt{L_0 + T} \right. \\
& \quad \left. - \sqrt{T} - \sqrt{\frac{L_0}{n_N(T)}} \right) \right] \tag{4.41-b}
\end{aligned}$$

ただし、 $Y(n, p)$ は記述を簡略化するために導入する関数であり、次のように定義される。

$$Y(n, p) = 2 - \frac{ea\tau R^2}{4neR(\bar{\lambda} - ap)} \tag{4.42}$$

式 (4.13) の需要 D が正であることより、 $Y(n, p)$ は必ず 1 以上 2 未満の値を取る。式 (4.41-a), (4.41-b) の符号は、物流センターの立地に伴い企業の費用構造が変化した際に、企業が利潤を増やすためには、 n と p をどの方向に動かすべきかを示している。そこで、これらの式の符号について考察する。式 (4.41-a), (4.41-b) の $[\]$ 内は、 $n_N(T)$ がある値よりも大きければ正となることが確認できる。 $Y(n, p) \geq 1$ より、以下の2つの条件が満たされるとき、式 (4.41-a), (4.41-b) の $[\]$ 内は正となる。

$$\frac{\sqrt{n_N(T)}}{Y(n_N(T), p_N(T))} > \sqrt{\frac{T}{L_0}} + \sqrt{1 + \frac{T}{L_0}} \tag{4.43-a}$$

$$\frac{\sqrt{n_N(T)}}{Y(n_N(T), p_N(T))} > \sqrt{\frac{\beta T}{S_0}} + \sqrt{1 + \frac{\beta T}{S_0}} \tag{4.43-b}$$

式 (4.43-a), (4.43-b) は、 T が小さいほど満たされやすい。例えば、 $T/L_0 = 1$, $\beta T/S_0 = 1$ のときは、 $Y(n, p) < 2$ より、式 (4.43-a), (4.43-b) が成立するためには $n_N(T) > 23.3$ である必要がある。一方、 $T/L_0 = 0.1$, $\beta T/S_0 = 0.1$ のときは、 $n_N(T) > 7.5$ であれば式 (4.43-a), (4.43-b) が満たされる。

命題 4.4： 物流センターの新規立地が実現したとき、式 (4.43-a), (4.43-b) が満

たされていれば、 $(n_N(T), p_N(T))$ の近傍において、企業は n を増やし p を減らすことにより利潤を増やせる。

命題 4.4 より、都市内輸送時間 T が十分に短い場合には、物流センターの新規立地が実現した場合、企業はチェーン店数 n を増やし商品価格 p を下げると予想される。この結果が生じた仕組みは、命題 4.2 や命題 4.3 と同様である。物流センターの立地に伴い、チェーン店にとってのリードタイムは $L_0 + T$ から T へと減少する。その結果、商品需要を分割するデメリットが緩和されることにより最適なチェーン店数が増加し、在庫管理費用の限界費用が低下することにより価格が低下する。

なお、命題 4.4 は $n_N(T) < n_W(T)$ や $p_N(T) > p_W(T)$ を必ずしも意味しない。 $(n_N(T), p_N(T))$ から $(n_W(T), p_W(T))$ に向かう過程で、 π_W の導関数の符号が変化する可能性があるためである。ただし、少なくとも、 $(n_N(T), p_N(T))$ が $(n_W(T), p_W(T))$ の十分に近傍にあれば、命題 4 より $n_N(T) < n_W(T)$ や $p_N(T) > p_W(T)$ が成立すると言える。

4.4.3 道路整備が消費者余剰に与える影響

前節の分析より、平均在庫管理費用が十分に小さければ、都市内輸送時間 T の短縮は n の増加と p の減少をもたらすことが示された。また、都市内輸送時間 T が十分に短ければ、 T の短縮により物流センターの新規立地が実現したとき、 n の増加と p の減少がもたされることが示された。既に 4.3 (2) で確認したように、都市内の消費者余剰 CS は n について単調増加し、 p について単調減少する。したがって、命題 4.2-命題 4.4 より、以下の命題が導かれる。

命題 4.5 :

- 物流センターが立地しておらず、式 (4.35) が成立しているとき、 T の減少は消費者余剰 CS を増加させる。
- 物流センターが立地しており、式 (4.39) が成立しているとき、 T の減少は消費者余剰 CS を増加させる。
- 物流センターの新規立地が実現したとき、式 (4.43-a), (4.43-b) が満たされており、かつ、 $(n_N(T), p_N(T))$ が $(n_W(T), p_W(T))$ の十分に近傍にあれば、消費者余剰 CS は増加する。

この命題は、都市内輸送時間 T の短縮は、企業の利潤を増やすのみならず、消費者余剰も改善することを示している。 T の短縮による企業の意思決定の変化に伴い、消費者は商品価格の低下と、買い物交通費用の削減という恩恵を受けることになる。

4.4.4 政策的示唆

前節までの比較静学分析より，都市内道路整備による物流の円滑化と，都市内の物流センターやチェーン店の立地パターンに関するいくつかの政策的示唆が導かれる．

第1に，都市内道路整備は，仮にそれが物流の円滑化のみに資するものであったとしても，都市内のチェーン店数を増やすことにより消費者の買い物利便性を改善し，消費者余剰を増加させる．

第2に，物流センターの立地は，都市内輸送時間が十分に短い場合，都市内のチェーン店数を増やし，消費者の買い物利便性を改善する効果を持つ．よって，物流センターの立地は，消費者余剰の増加に繋がる．そのような環境を実現するための必要条件としては，物流地区の整備などが考えられるが，特に重要な条件は，都市内道路整備による輸送時間の短縮であることが示唆される．下流のチェーン店から上流の物流センターに在庫保有リスクを集約する戦略は，現代のスーパーやコンビニエンスストア等の小売企業の多くが採用するものであるが，このような戦略の成立には，都市内道路整備が寄与している可能性が示唆される．

第3に，都市内道路整備による物流センターや都市内のチェーン店の再編は，消費者の買い物交通行動の変化に繋がる可能性がある．チェーン店数が増えれば，消費者は居住地のより近隣において商品を購入するようになり，短距離の買い物トリップが増加する．これは，物流に生じた変化が消費者の私的なトリップに間接的な影響を与える可能性を示唆するものである．

なお，本研究は分析の都合上，物流が利用する道路と，消費者が利用する道路を完全に区別したことに留意する必要がある．紙面の都合上，詳細な分析は省略するが，本研究のモデルにおいて，単位距離当たりの消費者の買い物交通費用を表す τ を削減した場合には，企業の決定するチェーン店数 n が減少する．この結果は，式(4.16)，(4.19)の π_N, π_W の式に $\tau = 0$ を代入することにより容易に確認できる． $\tau = 0$ のとき，企業の利潤は n について単調減少するため，企業はチェーン店数を $n = 1$ にするのが最適となる．また，この場合には，物流センターを立地しない方が利潤が高くなる．この結果が生じた理由は，消費者が低い交通費用で遠方まで出かけることが可能であれば，チェーン店数を絞り，規模の経済を活かす方が効率的になることによる．他方，現実の都市においては，消費者の買い物交通費用を下げるような交通インフラ整備も行われてきた．それにも関わらず，小規模なチェーン店を多数立地させる戦略が採用されてきたことは，物流センターが立地しやすい都市内環境の整備に加えて，消費者の時間価値の増加や，買い物に長い時間を使うことへの心理的抵抗感の増大を反映している可能性がある．

本研究で得られた知見は，あくまでも消費者が利用する円周道路と物資が輸送される放射線道路が稠密に配置されるような円形都市を対象として得られたものである．以上の理論的分析の結果は，あくまでも限られた仮定の上に成立するものであり，一般的に成立す

るものではないことは論を俟たない。また、道路ネットワークにおける多目的の道路交通の錯そう現象や道路混雑の問題を捨象している。現実的な都市における物流センターの立地や都市内道路ネットワークの整備が都市内物流の効率化に及ぼす影響を分析するためには、交通均衡モデルと都市内物流企業の行動を同時に考慮したような、ハイブリッド型均衡モデルを用いた実証分析が不可欠である。このような実証研究に関しては将来の課題としたい。

4.5 おわりに

本研究では、物流センターによる商品在庫保有リスクの集約化、ロットサイズの大規模化を考慮したフランチャイズ小売企業の在庫管理行動をモデル化し、都市内道路整備による物流の円滑化が、都市内のチェーン店や物流センターの立地パターンを再編する効果や、消費者の買い物利便性を改善する効果について分析した。その結果、都市内道路の整備や都市内物流の円滑化は、フランチャイズ小売企業のサプライチェーンの効率化をもたらし、一定の条件の下では、チェーン店の立地数の増加を招くとともに、消費者の買い物交通費用を削減することが明らかとなった。

本研究の分析により得られた政策的知見については、4.4 (5) で考察した通りである。本研究には、今後に残されたいくつかの課題がある。第1に、本研究で得られた理論的知見は、本研究が対象とした円形都市を対象として導かれたものである。消費者の居住地分布や道路ネットワークの形状を考慮した現実的な状況における都市内の物流センターと商店の立地パターンについては、交通均衡モデルと都市内物流企業の行動も同時に考慮したような、ハイブリッド型均衡モデルを用いた実証分析が不可欠である。第2に、本研究ではフランチャイズ企業1社による独占市場を想定したが、複数のフランチャイズ企業が競争する寡占市場や、差別化された店舗が共同輸送を試みるような独占的競争を対象とした分析も必要である。第3に、コンビニエンスストア等の立地により、消費者が家庭内における在庫管理を変更する可能性がある。このように消費者側の在庫管理について、今後は理論的・実証的研究を進めていく必要がある。第4に、生産者から消費者までに及ぶサプライチェーン全体の中で、道路整備は消費者の家庭内における在庫保有リスクや、チェーン店や物流センターにおける在庫保有リスクを、サプライチェーンのより上流側に集約することにより、社会厚生全体を改善している可能性がある。これまで、道路整備が貨物輸送の効率化に及ぼす便益は、主としてドライバーの拘束時間や車両の償却費用に基づいて計測されてきた。在庫保有費用についても、輸送時間中の在庫資本費用（金利）によって部分的に評価されているものの、極めて少額である。今後は在庫保有費用（本研究における h ）の内訳やその定量的な大きさを把握し、本研究のような在庫管理モデルを応用することにより、在庫管理の効率化や物流拠点の立地点の変化に関する便益の理解を深めてい

く必要がある。最後に、本研究は小売企業を想定して分析を行ったが、本研究の分析枠組みは、製造業のサプライチェーンに物流インフラ（鉄道・港湾を含む）が及ぼす影響の分析など、多方面に拡張が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y.: Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications, RIETI Discussion Paper Series 17-E-125, 2017.
- 2) Krugman, P. R.: Increasing returns and economic geography, *Journal of Political Economy*, Vol. 99, No. 3, pp. 483-499, 1991.
- 3) Tabuchi, T.: Urban agglomeration and dispersion: A synthesis of Alonso and Krugman, *Journal of Urban Economics*, Vol. 44, No. 3, pp. 333-351, 1998.
- 4) Murata, Y. and Thisse, J.-F.: A simple model of economic geography a la Helpman-Tabuchi, *Journal of Urban Economics*, Vol. 58, No. 1, pp. 137-155, 2005.
- 5) Allen, T. and Arkolakis, C.: Trade and the topography of the spatial economy, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 129, No. 3, pp. 1085-1140, 2014.
- 6) Fujita, M., Krugman, P. R. and Venables, A.: *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, Princeton University Press, 1999.
- 7) 経済産業省：産業構造ビジョン 2010 骨子，2010.
- 8) Holl, A.: Highways and productivity in manufacturing firms, *Journal of Urban Economics*, Vol.93, pp.131-151, 2016.
- 9) Xu, H. and Nakajima, K.: Highways and industrial development in the peripheral regions of China, *Papers in Regional Science*, Vol.96(2), pp. 325-356, 2017.
- 10) Bernard, A. B., Moxnes, A. and Saito, Y. U.: Production networks, geography and firm performance, *Journal of Political Economies*, forthcoming (*National Bureau of Economic Research*, No. 21082, 2015).
- 11) Kanasugi, H. and Ushijima, K.: The Impact of a high-speed railway on residential land prices, *Papers in Regional Science*, forthcoming.
- 12) 経済産業省九州経済産業局：九州のビジネス環境，2012.
- 13) Graham, D. J.: Agglomeration, productivity and transport investment, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 41, Part 3, pp.317-343, 2007.

- 14) Page, L., Brin, S., Motwani, R. and Winograd, T.: The PageRank citation ranking: bringing order to the web, *Technical Report of the Stanford Digital Library Technologies Project*, 1998.
- 15) Melo, P. C., Graham, D. J. and Noland, R. B.: A meta-analysis of estimates of urban agglomeration economies, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 39, pp.332-342, 2009.
- 16) Combes, P. P. and Gobillon, L.: The empirics of agglomeration economies, *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol.5, pp.247-348, 2015.
- 17) 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-021, 2013.
- 18) Watanabe, T., Uesugi, I. and Ono, A. (Ed): *The Economics of Interfirm Networks*, Springer, 2015.
- 19) Combes, P. P., Duranton, G., Gobillon, L. and Roux, S.: Estimating agglomeration economies with history, geology, and worker effects, *NBER Chapters*, In: *Agglomeration Economics*, pp. 15-66, 2010.
- 20) 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.
- 21) 岩崎学：統計的因果推論，朝倉書店，2015.
- 22) Rosenbaum, P. R. and Rubin, D. B. : The central role of the propensity score in observational studies for causal effects, *Biometrika*, Vol. 70, No. 1, pp.41-55, 1983.
- 23) Hotelling, H. : Stability in competition, *The Economic Journal*, Vol. 39, No. 153, pp. 41-57, 1929.
- 24) Christaller, W: *Central Places in Southern Germany*, Jena, 1933.
- 25) Losch, A: *The Economics of Location*, Jena, 1940.
- 26) Fujita, M., Krugman, P. and Venables, A. J.: *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, The MIT Press, 1999.
- 27) Eaton, B. C. and Lipsey, R. G.: An economic theory of central places, *The Economic Journal*, Vol. 92, No. 365, pp. 56-72, 1982.

- 28) Wolinsky, A.: Retail trade concentration due to consumers' imperfect information, *Bell Journal of Economics*, Vol. 14, No. 1, pp. 275-282, 1983.
- 29) Eksioglu, B., Vural, A. V. and Reisman, A.: The vehicle routing problem: A taxonomic review, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 57, pp. 1472-1483, 2009.
- 30) 谷口栄一, 山田忠史, 細川貴志: 都市内集配送トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No. 625, IV-44, pp. 149-159, 1999.
- 31) Melo, M. T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F.: Facility location and supply chain management - a review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, pp. 401-412, 2009.
- 32) 谷口栄一, 則武通彦, 山田忠史, 泉谷透: 物流タ-ミナルの最適規模および配置の決定法に関する研究, 土木学会論文集, No. 583, IV-38, pp. 71-81, 1998.
- 33) Nagurney, A., Dong, J. and Mang, D.: A supply chain network equilibrium model, *Transportation Research Part E*, Vol. 38, pp. 281-303, 2002.
- 34) 田辺建二, 山田忠史, 谷口栄一: サプライチェーンネットワーク均衡モデルを用いた流通ネットワーク特性および都市物流施策の影響評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 25, No. 2, 2008.
- 35) 山田忠史, 繁田健, 今井康治, 谷口栄一: 在庫費用を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡モデル: 消費需要の不確実性に伴う物資流動量とネットワーク効率性の変化, 土木学会論文集 D, No. 66, No. 3, pp. 359-368, 2010.
- 36) 経済産業省大臣官房調査統計グループ: 商業動態統計月報 平成29年2月分, 2017.
- 37) Chopra, S. and Meindl, P.: *Supply Chain Management (5th Edition)*, Prentice Hall, 2012.
- 38) Baumol, W. J. and Vinod, H. D.: An inventory theoretic model of freight transport demand, *Management Science*, Vol. 16, No. 7, pp. 413-421, 1970.
- 39) Blauwens, G., Vandaele, N., de Voorde, E. V., Vernimmen, B. and Witlox, F.: Towards a modal shift in freight transport? A business logistics analysis of some policy measures, *Transport Reviews*, Vol. 26, No. 2, pp. 239-251, 2006.
- 40) de Jong, G. and Ben-Akiva, M.: A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice, *Transportation Research Part B*, Vol. 41, pp. 950-965, 2007.

- 41) 瀬木俊輔: 在庫管理モデルを応用した貨物の時間価値に対する理論的アプローチ, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.72, No.2, pp.113-127, 2016.

土木学会関西支部 共同研究グループ
「スーパーメガリージョンとしての関西におけるインフラ高度化戦略」
平成 30 年度第 1 回研究会 議事録

日時：平成 30 年 4 月 26 日（木）15:00-18:00

場所：土木学会関西支部会議室

参加メンバー（*印は本日出席者）

小林 潔司*	京都大学 大学院経営管理研究部	教授
堤 研二*	大阪大学 文学研究科文化動態論専攻	教授
水谷 淳*	神戸大学 大学院海事科学研究科	准教授
松島 格也*	京都大学 大学院工学研究科都市社会工学専攻	准教授
織田澤 利守*	神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻	准教授
酒井 裕規*	神戸大学 大学院海事科学研究科	准教授
瀬木 俊輔*	京都大学 大学院工学研究科都市社会工学専攻	助教
畔取 良典*	中央復建コンサルタンツ 総合技術本部鉄道系部門	ゼネラルマネージャー補佐
加古 真一*	中央復建コンサルタンツ 総合技術本部道路系部門	ゼネラルマネージャー
白水 靖郎*	中央復建コンサルタンツ	取締役経営企画本部長
安野 貴人*	八千代エンジニアリング（株）	技術推進本部技術開発部 専門課長
高森 秀司*	八千代エンジニアリング（株）	総合事業本部社会計画部大阪エリア担当 主幹
乾 健志	八千代エンジニアリング（株）	大阪支店道路・構造部 課長
神永 希*	八千代エンジニアリング（株）	総合事業本部インフラマネジメント部兼経営企画 本部営業戦略室 専門課長
杉本 達哉*	八千代エンジニアリング（株）	総合事業本部インフラマネジメント部 主任
植村 哲士*	野村総合研究所 グローバルインフラコンサルティング部	上級研究員

主な内容は以下のとおり

- ✓ 各参加者が自己紹介をすると共に、スーパーメガリージョンにおけるインフラ整備のあり方に関する問題意識について発表が行われた。
- ✓ 参加者が所属する企業毎、また各研究者から、現在行われている業務・研究に関する発表と、それに関する質疑応答が行われた。
- ✓ 今後の共同研究グループの運用方法について議論が行われ、最終的な成果として書籍の出版を目指すこと、ゲストスピーカーを交えた議論を行うこと、などが決定した。
- ✓ 次回研究会は後日日程調整を行う。

文責：松島

土木学会関西支部 共同研究グループ
「スーパーメガリージョンとしての関西におけるインフラ高度化戦略」
平成 30 年度準備会 議事録

日時：平成 30 年 8 月 17 日（木）9:00-11:00

場所：京都大学桂キャンパス C1-2-332

参加メンバー（*印は本日出席者）

小林 潔司*	京都大学 大学院経営管理研究部	教授
堤 研二*	大阪大学 文学研究科文化動態論専攻	教授
松島 格也*	京都大学 大学院工学研究科都市社会工学専攻	准教授
織田澤 利守	神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻	准教授
白水 靖郎*	中央復建コンサルタンツ	取締役経営企画本部長

主な内容は以下のとおり

- ✓ 共同研究グループの成果としての出版計画に関する議論が行われた。
- ✓ 書籍の内容としては、ポストアーバン世界をふまえてスーパーメガリージョンのあり方に関する、学術に基づく展望書籍とする。
- ✓ 想定される執筆者は、準備会参加メンバー。
- ✓ これまでに各執筆者が蓄積してきた研究内容のうち、本書籍の方向性に合う物をちりばめると共に、Society 5.0 や MaaS などあたらな展開を考えた最新の研究実績を組み込む。
- ✓ キーワードは、本源的資源である時間を用いた遊びと学びの重要性、ビジネスとしてのコーディネーション戦略、地方部生き残りのためには起業(アントレプレナーシップ)が重要、など
- ✓ 2 年間の共同研究グループ終了時（2020 年 3 月）の出版を目指す

文責：松島