

卒業論文

放射・環状型道路ネットワーク整備による効果の発現特性に関する研究

令和7年2月4日

神戸大学工学部市民工学科

氏名： 澤田 遼

学籍番号： 2184219T

主査：織田澤利守 副査：瀬谷創

卒業論文

放射・環状型道路ネットワーク整備による効果の発現特性に関する研究

令和 7 年 2 月 4 日

神戸大学工学部市民工学科

氏名： 澤田 遼

学籍番号： 2184219T

目次

| | | |
|-----|--------------|----|
| 1 | はじめに | 1 |
| 1.1 | 本研究の背景 | 1 |
| 1.2 | 本研究の目的と手法 | 2 |
| 1.3 | 本研究の構成 | 2 |
| 2 | 本研究の位置付け | 3 |
| 2.1 | 既往研究の整理 | 3 |
| 2.2 | 本研究の位置付け | 3 |
| 3 | 分析データ | 4 |
| 3.1 | 分析対象 | 4 |
| (1) | 対象の環状道路と放射道路 | 4 |
| (2) | 分析対象地域 | 7 |
| 3.2 | 使用データ | 7 |
| (1) | 高速道路データ | 8 |
| (2) | 地価データ | 8 |
| (3) | 交通量データ | 9 |
| (4) | 所要時間データ | 9 |
| 3.3 | データの作成 | 11 |
| (1) | 使用したデータ | 11 |
| (2) | 接続本数データ | 11 |
| (3) | マーケットアクセス指標 | 12 |
| 3.4 | データの記述統計 | 12 |
| 4 | 分析 | 15 |
| 4.1 | 固定効果推定 | 15 |
| 4.2 | 分析手法 | 16 |
| (1) | 基本分析 | 16 |
| (2) | 交互作用分析 | 17 |
| 5 | 分析結果と考察 | 20 |

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| 5.1 | 基本分析 | 20 |
| | (1) 接続本数分析 | 20 |
| | (2) マーケットアクセス分析 | 20 |
| 5.2 | 交互作用分析 | 21 |
| | (1) 圏央道 IC 距離交互作用分析 | 21 |
| | (2) 2001 年地価交互作用分析 | 21 |
| | (3) 最寄り駅距離交互作用分析 | 22 |
| | (4) 乗降客数交互作用分析 | 23 |
| | (5) 最寄り IC 距離・最寄り駅距離交互作用分析 | 23 |
| 6 | 終わりに | 25 |
| 6.1 | 本研究のまとめ | 25 |
| 6.2 | 今後の課題 | 25 |
| | 参考文献 | 27 |
| | 付録 | 28 |
| | 謝辞 | 29 |

図目次

| | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 3.1 | 圏央道概要図 | 5 |
| 3.2 | 対象地価観測点-全体プロット図 | 9 |
| 3.3 | 2023 年のマーケットアクセスの分布 | 13 |
| 3.4 | 地価の変化と IC からの距離 | 13 |
| 3.5 | 地価の変化と 2001 年の地価 | 14 |

表目次

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 3.1 | 圏央道供用年次 | 6 |
| 3.2 | 使用するデータ一覧 | 7 |
| 3.3 | 放射道路の交通量 | 10 |
| 3.4 | 経路探索条件 | 11 |
| 3.5 | 接続本数データの例 | 12 |
| 5.1 | 分析結果 接続本数 | 20 |
| 5.2 | 分析結果 マーケットアクセス | 20 |
| 5.3 | 分析結果 IC 距離 | 22 |
| 5.4 | 分析結果 2001 年地価 | 22 |
| 5.5 | 分析結果 拠点駅 | 23 |
| 5.6 | 分析結果 最寄り駅距離 | 23 |
| 5.7 | 分析結果 乗降客数 | 24 |
| 5.8 | 分析結果 IC 距離と最寄り駅距離 | 24 |

1 はじめに

1.1 本研究の背景

高速道路整備の影響を正しく理解することは、その投資の必要性を判断する上で極めて重要である。高速道路整備の効果としては、渋滞の緩和や地域間のスムーズな移動の促進などの交通市場内効果だけでなく、住民生活効果、地域経済・財政効果などの様々な交通市場外効果も期待されている。その一方で、整備効果の発現状況は非常に複雑であり、その因果関係を明らかにすることは必ずしも容易ではない。費用便益分析の実施が制度化されたことにより、事業採択時（及び再評価時）には整備効果の定量的評価が行われてきたものの、道路整備完了後に周辺地域で発現する多様な効果の計測については十分に行われてこなかった。そのような課題に対して、国土交通省では幅広い効果の把握に向けた事後評価の充実や帰着ベースの経済分析手法の活用に向けた検討などが推進されている。そのため、交通政策の事後評価は今後の我が国における道路整備を考える上で、必要不可欠である。

近年、我が国を含む多くの先進国では新たな高速道路は交通需要の少ない農村部や郊外に多く投資されている。日本の主要都市周辺では、本研究で研究対象とした関東地方における首都圏中央連絡自動車道（以下、圏央道）をはじめとして、東京外かく環状道路（外環道）、東海地方における東海環状自動車道、関西地方における関西大環状道といった多くの環状高速道路が郊外地域に建設されている。こうした郊外に設置される環状型高速道路は、都市部の交通を環状ルートに分散させ、都市部の交通渋滞を緩和させる効果や災害時の迂回路としての役割が期待されている。さらに、都市部から郊外に向かって伸びる放射型高速道路同士を接続し、放射・環状型道路ネットワークを形成する。放射・環状型道路ネットワークの形成によって、郊外地域では放射型高速道路までのアクセシビリティが改善され放射型高速道路を利用した都市部や他の地域への移動が容易になる。特に産業の分野においては、他の地域への輸送の所要時間の短縮や、都市部を通行しないことで渋滞を回避して輸送を行うことが可能になり、郊外地域での企業や倉庫の立地促進や地域の生産拡大といったストック効果の発現が期待されている。また、環状型高速道路が整備された地域以外でも放射・環状型道路ネットワークが拡充し、アクセシビリティが向上することでストック効果が発現すると考えられ、こうした特徴を持つ環状型高速道路の整備効果を帰着ベースで測定する際には、環状道路の整備の有無だけでなく、放射・環状型道路のネットワーク性を考慮する必要がある。だが、国内における郊外地域への高速道路整

備，特に環状型高速道路整備による周辺地域への効果についての実証的証拠は乏しい。

1.2 本研究の目的と手法

本研究は，放射・環状道路ネットワークが周辺地域に及ぼす効果の発現特性を明らかにすることを目的としている．本研究では，首都圏郊外の圏央道をケーススタディとして取り上げ，圏央道整備によってアクセシビリティがどのように変化するかとアクセシビリティの変化がその周辺地域に与えた影響について地価に着目して双方向固定効果モデルを用いて分析を行う．

第一に，GIS 形式の高速道路時系列データを用いて，圏央道の各インターチェンジ（以下 IC）の 2001 年から 2023 年までの各時点において何本の放射道路と圏央道を通じて接続しているかを調査し，接続本数データを作成する．次に NITAS を用いて各年次において各 IC から放射道路まで経路探索を行い，得られた所要時間データを使用してマーケットアクセス指標を作成する．こうして得られた接続本数データとマーケットアクセス指標データをアクセシビリティの指標とし，2001 年から 2023 年までの 23 時点の地価データを用いてアクセシビリティの変化が地価に及ぼす因果効果を推定する．また，発展分析として交互作用分析を行う．

1.3 本研究の構成

本研究は全 6 章で構成されている．第 1 章「はじめに」では，高速道路整備効果の評価の重要性と環状高速道路の特徴を説明し，その評価の課題と研究目的を提示する．第 2 章「本研究の位置付け」では，これまでの高速道路整備効果の実証的研究や，高速道路のアクセシビリティについての既往研究を整理し，本研究の新規性を明確にする．第 3 章「分析データ」では，本研究で使ったデータの説明と作成したデータの作成手法，本研究におけるマーケットアクセス指標の定義と経路探索の方法について述べる．第 4 章「分析」では，本研究の基本分析と発展分析の枠組みについて説明を行う．第 5 章「分析結果と考察」では，基本分析と発展分析の結果を示し，その考察を行う．最後に，第 6 章「終わりに」では，本研究の結論と今後の課題について述べる．

2 本研究の位置付け

2.1 既往研究の整理

一般にマーケットアクセス指標とは目的地へのアクセスのしやすさを表す指標である。Harris¹⁾ は、地域 i におけるマーケットアクセスを次のように定義した。

$$MA = \sum_{i \neq j} E_j / d_{ij}$$

ここで、 E_j は目的地の魅力を表し、人口や雇用者密度など経済規模に関する値が用いられる。 d_{ij} は地域 i と j の間の交通抵抗を表す。Harris タイプのマーケットアクセス指標は多くの実証分析に用いられている。Redding and Vevables²⁾ は新経済学地理学に基づいてマーケットアクセスと賃金の関係式を導出し、マーケットアクセスの違いが一人当たり GDP の格差を生じさせることを世界 101 カ国を対象とした分析によって示した。Head and Mayer³⁾ は EU 諸国を対象にマーケットアクセスが賃金に及ぼす影響を明らかにした。また、Combes et al.⁴⁾ はマーケットアクセスを集積の対象として捉え、集積の便益の推計を行っている。しかし、これらの研究では交通抵抗として 2 地域間の直線距離を採用しているため、交通インフラのネットワーク性を十分に考慮することができていない。織田澤・足立ら⁵⁾ は交通抵抗に ij 間の自動車による交通所要時間を用いてマーケットアクセスと地価の関係式を導出し、マーケットアクセスが高ければ地価も高い水準にあるという因果効果を明らかにした。

2.2 本研究の位置付け

本研究は、放射・環状道路ネットワークの整備効果がどのように発現するかを明らかにすることを目的としている。本研究では、首都圏郊外の圏央道をケーススタディとして取り上げ、圏央道整備によってアクセシビリティがどのように変化するかと、アクセシビリティの変化がその周辺地域に与えた影響について地価に着目して分析を行う。本研究の新規性は、アクセシビリティの向上という道路ネットワークの機能に着目した分析を行った点、時間と共に一定のトレンドを持っているが、そのトレンドの度合いが個体ごとに異なる未観測因子である個別トレンドを考慮した分析を行った点にある。

3 分析データ

3.1 分析対象

(1) 対象の環状道路と放射道路

本研究では、圏央道整備による整備効果の推定を行なう。圏央道（首都圏中央連絡自動車道）は、東京都心から約 40～60km を環状に連絡する高規格幹線道路である。東名高速道路、中央自動車道、関越自動車道、東北縦貫自動車道、常磐自動車道、東関東自動車道等の放射状に伸びる高速道路や都心郊外の主要都市を連絡し、東京湾アクアライン、東京外かく環状道路等と一体となって首都圏の広域的な幹線道路網を形成している⁶⁾。最初の区間は 1996 年に開通し、その後徐々に延長され、最新区間は 2017 年に開通した。計画総延長は約 300km で、すでに約 270km の主要区間が開通しているほか、南西部や東部では 2026 年の開通が予定されている。ほとんどの区間が 4 車線区間であるが、東部の交通量が少ない一部区間では、暫定 2 車線区間として建設されており、車線拡張プロジェクトが進行中である。圏央道の概要については図 3.1 に、圏央道の各区間供用年次については表 3.1 に示す。

本研究での放射高速道路は圏央道に接続する東名高速道路、中央自動車道、関越自動車道、東北縦貫自動車道、常磐自動車道、東関東自動車道水戸線、東関東自動車道館山線を指す。



図 3.1 圏央道概要図

表 3.1 圏央道供用年次

| 年 | 区間供用年次 |
|-------|---|
| ～2001 | 茅ヶ崎 JCT～藤沢 IC (1998), 青梅 IC～鶴ヶ島 JCT (1996), 東金 IC～松尾横芝 IC (1998) |
| 2002 | 日の出 IC～青梅 IC |
| 2003 | つくば JCT～つくば牛久 IC |
| 2004 | —— |
| 2005 | あきる野 IC～日の出 IC |
| 2006 | —— |
| 2007 | つくば牛久 IC～阿見東 IC, 木更津東 IC～木更津 JCT, 八王子 JCT～あきる野 IC (中央道～関越道路) |
| 2008 | 鶴ヶ島 JCT～川島 IC |
| 2009 | 阿見東 IC～稲敷 IC |
| 2010 | 海老名 JCT～海老名 IC, 川島 IC～桶川河本 IC, つくば中央 IC～つくば JCT |
| 2011 | 白岡菖蒲 IC～久喜白岡 JCT |
| 2012 | 高尾山 IC～八王子 JCT |
| 2013 | 海老名 IC～相模原愛川 IC, 茅ヶ崎 JCT～寒川北 IC, 東金 IC～木更津東 IC |
| 2014 | 稲敷 IC～神崎 IC, 相模原愛川 IC～高尾山 IC (東名～中央道連絡) |
| 2015 | 寒川北 IC～海老名 JCT (新湘南 BP～東名連絡), 久喜白岡 JCT～境古河 IC, 神崎 IC～大栄 JCT (常磐道～東関道連絡), 桶川北本 IC～白岡菖蒲 IC (関越～東北道連絡) |
| 2016 | —— |
| 2017 | 境古河 IC～つくば中央 IC (東北道～常磐道連絡) |
| 今後 | 大栄 JCT～松尾横芝 IC (2025 or 2026 予定) |
| | 藤沢 IC～釜利谷 JCT (未定) |

(2) 分析対象地域

本研究の分析対象地域は、東京都（諸島部を除く）、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県、かつ、各圏央道の IC からの距離が 10km 以内の地点である。図に分析対象地域を示す。圏央道から離れた地点を分析対象から除いた理由として、都心に近い地点では都心からの様々な影響を受けやすく、正確な処置効果を算出するのに偏りを生じさせる可能性が高いと考えたからである。これについて圏央道の整備効果について分析を行なった Wetwitoo ら（2024）⁷⁾の研究においても、東京駅までの距離が 30km より近い地点を分析対象地域に入れることで有意性が低くなることを明らかにしている。また、圏央道の外側の部分については、遠く離れた地点は圏央道の影響を受けているとは到底考えにくく、処置効果を適切に算出できないと考えたため、対象から除外した。

3.2 使用データ

| データ分類 | データ項目 | 内容 | 出典 |
|---------|------------|------------------------------|---------------|
| 高速道路データ | 高速道路時系列データ | GIS 形式の点ベースの IC 情報と線ベースの路線情報 | 国土交通省「国土数値情報」 |
| 地価データ | 地価公示データ | 各地価観測点の鑑定地価 | 国土交通省「国土数値情報」 |
| 交通量データ | 上下線合計日交通量 | 各区間の 24 時間交通量の上下線合計 | 全国道路・街頭交通情勢調査 |
| 所要時間データ | 総所要時間 | 各 IC から各放射道路の JCT までの所要時間 | NITAS |
| 乗降客数データ | 駅別乗降客数データ | 駅別の乗降客数 | 国土交通省「国土数値情報」 |

表 3.2 使用するデータ一覧

(1) 高速道路データ

高速道路データは国土数値情報の高速道路時系列データを使用した。高速道路時系列データは GIS 形式の点ベースの IC 情報と線ベースの路線情報で構成されており、IC 情報には供用開始年などの情報が含まれている。

(2) 地価データ

東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県の地価データは国土数値情報の地価公示データ（2001 年～2023 年分）を GIS 形式で使用した。地価公示データは国土交通省の土地鑑定委員会が毎年 1 月 1 日に各観測点の 1 平方メートルあたりの鑑定地価である。交通政策の整備効果を地価の動きから調査する際には鑑定バイアスのない市場取引価格を用いるのが最善であるが、プライバシー保護の観点などからそのようなデータは一般に公開されていない。また、そうしたデータは分析に用いるにはサンプル数が少ないといった問題もある。そこで、本研究では鑑定価格の情報を提供する国土数値情報の地価公示データを採用している。^{8) 9)} この地価公示データにおける地価変動は実際の市場取引価格の変動に比べると穏やかである。そのため、本研究による分析結果は圏央道整備による整備効果の最小値を示していると考えられる。

地価観測点はしばしば変更されており、鉄道駅の開通などに伴って新たな地点が追加される場合もある。そのため、本研究では分析対象期間である 2001 年～2023 年の間で継続して地価が観測されている地点を対象として分析を行っており、対象の観測点は、890 点である。また、高速道路時系列データ、地価公示データから各観測点の最寄り圏央道 IC を GIS 上で算出し、地価データに最寄り圏央道 IC 情報を含めている。また、各観測点の最も良い駅も GIS 上算出し、地価データに最寄り駅情報を含めている。

高速道路データと対象の地価観測点を地図上にプロットしたのが図 3.2 である。オレンジのポイントが対象の地価観測点、水色のポイントは圏央道 IC、緑色の線が現在開通済みの圏央道路線、青色の線が放射高速道路（東名高速道路、中央自動車道、関越自動車道、東北縦貫自動車道、常磐自動車道、東関東自動車道水戸線、東関東自動車道館山線）を表している。

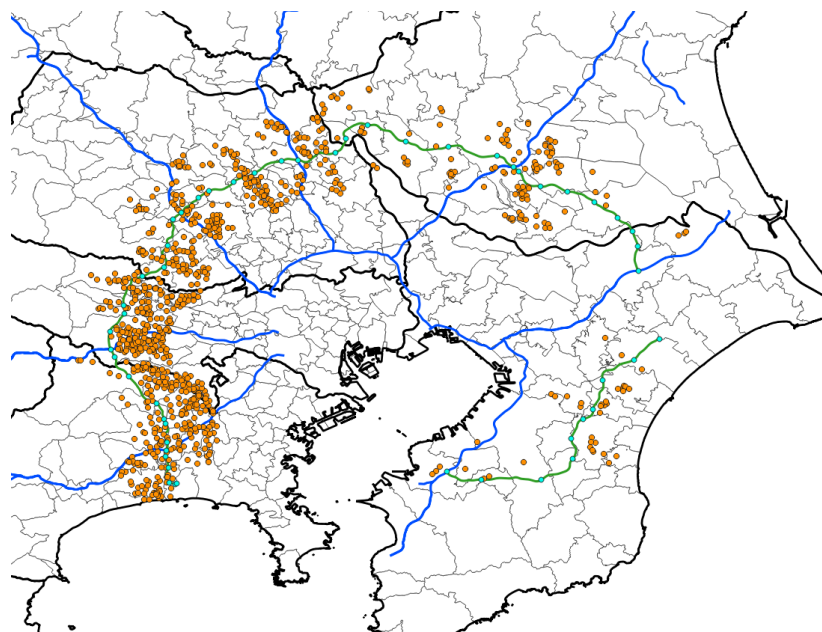


図 3.2 対象地価観測点-全体プロット図

(3) 交通量データ

各放射高速道路の交通量のデータとして 2021 年実施分の道路交通センサスから上下線合計日交通量（台）を使用した。各放射高速道路の圏央道との JCT から放射高速道路の下り方面の一つ先の IC までの区間の上下線合計交通量を放射道路の交通量としている。表 3.3 に各放射高速道路の交通量とその計測区間を示す。

(4) 所要時間データ

所要時間データは国土交通省が提供する NITAS を用いて圏央道の各 IC から各放射高速道路までの経路探索を行い、収集した。

NITAS

NITAS は国土交通省が提供している道路・鉄道・航空・船舶の各交通機関を組み合わせたモード横断的な観点で交通体系の分析が可能なシステムである。複数対複数の地点間による経路探索や、地図上に探索結果等々を図化することができ、不通過区間を設定することで現在の交通ネットワークだけでなく、過去や将来の交通ネットワークでも経路探索が可能である。¹⁰⁾

| 放射道路名 | 上下線合計日交通量（台） | 計測区間名 |
|------------|--------------|-----------------|
| 東名高速道路 | 137337 | 海老名 JCT～厚木 IC |
| 中央自動車道 | 50040 | 八王子 JCT～相模湖東 IC |
| 関越自動車道 | 95913 | 鶴ヶ島 JCT～鶴ヶ島 IC |
| 東北縦貫自動車 | 86328 | 久喜白岡 JCT～久喜 IC |
| 常磐自動車道 | 52557 | つくば JCT～桜土浦 IC |
| 東関東自動車道水戸線 | 22367 | 大栄 JCT～大栄 IC |
| 東関東自動車道館山線 | 28029 | 木更津 JCT～木更津南 IC |

表 3.3 放射道路の交通量

経路探索条件

経路探索を行う時の詳細な設定について表 3.4 に示す。一般には所要時間最小ではなく一般化費用を最小とする条件で経路探索を行うが、所要時間を最小とすることで本研究のマーケットアクセスは企業の立地ポテンシャルを表し、産業目線での分析が可能になっていると言える。

乗降客数データ

乗降客数データは国土数値情報の駅別乗降客数データを用いた。最寄り駅情報を用いて乗降客数を地価データに紐づけている。

| 設定名 | 設定詳細 |
|----------|---|
| 探索条件 | 所要時間最小 |
| 設定速度 | 道路交通センサス 2021 年実施分より道路種類ごとに一定な平均旅行速度（混雑を考慮）. ¹¹⁾ 過去の経路探索においても現況の速度と同じ速度を用いる. |
| 交通モード | 道路モード. 有料道路と一般道路のみを使用し鉄道などの他の交通は使用しない. |
| ネットワーク設定 | 2021 年～2023 年の道路ネットワークを不通過区間の設定により再現. ただし, 有料道路以外は現況のネットワーク. |
| 起終点設定 | 起点は各圏央道 IC, 終点は各放射道路の JCT から下り方面の一つ先の IC |

表 3.4 経路探索条件

3.3 データの作成

(1) 使用したデータ

本研究では高速道路時系列データと NITAS から得られた所要時間データを用いて IC ごとに接続本数データとマーケットアクセス指標を作成した.

(2) 接続本数データ

接続本数データとは, 各時点において圏央道の IC が圏央道を通じて接続している放射高速道路の本数のデータである. GIS 形式の高速道路時系列データを用いて 2001 年～2023 年の圏央道の各 IC が何本の放射高速道路と接続しているかを調査した. IC が供用開始前の場合は接続本数は 0 として扱った. 接続本数データは地価データに最寄り圏央道 IC 情報を用いて紐付けた. 表 3.5 に接続本数データの例を示す.

| IC 名 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | ～ | 供用開始年 |
|----------|------|------|------|------|------|---|-------|
| あきる野 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | ～ | 2005 |
| 入間 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ～ | 1996 |
| つくば牛久 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | ～ | 2003 |
| 厚木 PASIC | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ～ | 2020 |

表 3.5 接続本数データの例

(3) マーケットアクセス指標

本研究では織田澤・足立らを参考に、放射・環状型道路ネットワークを考慮した n 年における IC_i のマーケットアクセス指標を次のように定義する．

$$MA_i^n = \sum_{i \neq j} t_j / c_{ij}^n$$

ここで、 t_j は放射高速道路 j の上下線合計日交通量（台）であり、 c_{ij}^n は n 年における IC_i と放射高速道路 j の間の自動車による所要時間（分）である．放射高速道路の行き先の人口や雇用者密度などの経済規模ではなく放射構想道路の交通量を用いたのは、本研究が放射・環状型道路ネットワーク整備の効果の測定を目的としているためである．交通量を放射高速道路の価値と考えることで、放射高速道路の行き先の経済規模の影響を排除し放射・環状型道路ネットワークの接続性を示す指標としている．こうして求めたマーケットアクセスを地価データの最寄り圏央道 IC 情報を用いて地価観測点と紐づけた．

3.4 データの記述統計

本節は分析に使用したデータについて記述統計を行う．2023 年のマーケットアクセスの分布は図 3.3 のようになっている．

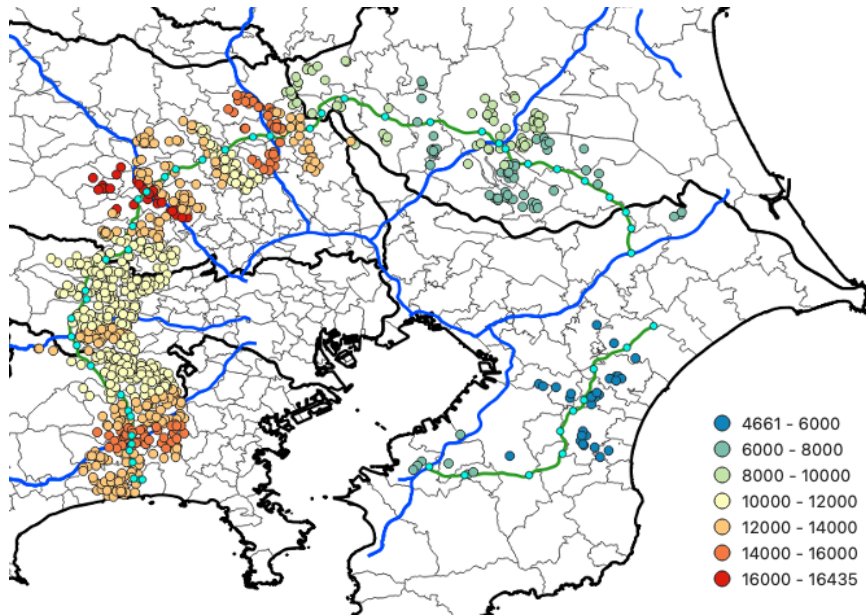


図 3.3 2023 年のマーケットアクセスの分布

図 3.3 を見ると、マーケットアクセスは関越道周辺で大きく、ついで東北道や東名高速付近で大きくなっている。また、常磐道や東関東道周辺ではマーケットアクセスは小さいことが分かった。

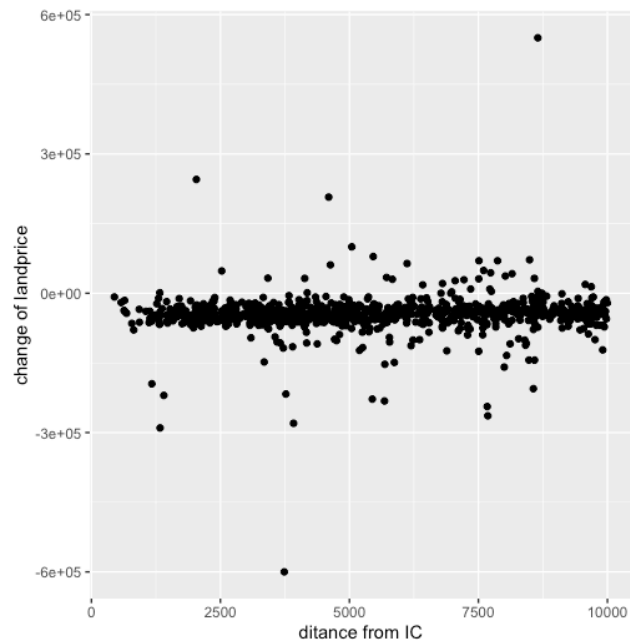


図 3.4 地価の変化と IC からの距離

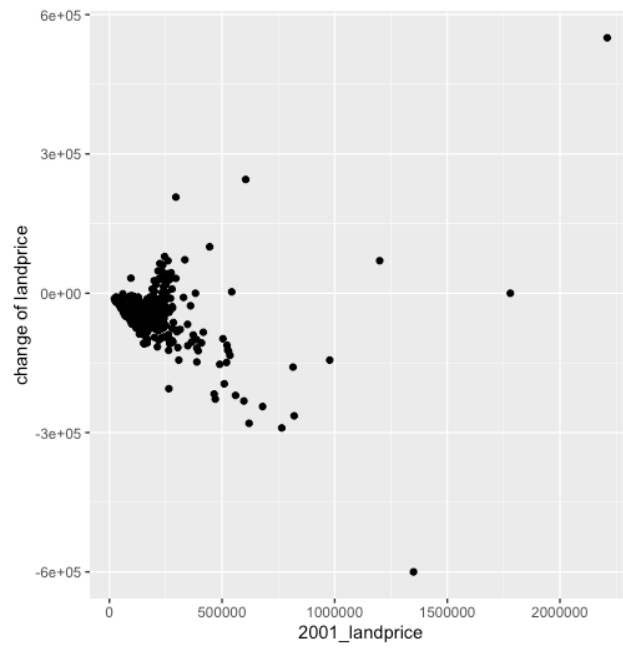


図 3.5 地価の変化と 2001 年の地価

4 分析

4.1 固定効果推定

固定効果モデル (Fixed Effect Model:FE) はパネルデータを用いた因果推論に広く用いられているモデルである。固定効果モデルは、同一個体の時間的な変動に着目することで個体を持つ個体間で異なる時間不変の未観測因子を個別固定効果として調整することを得意とする。個別固定効果項を調整することで欠落変数バイアスが生じることを防ぐことができる。固定効果モデルは式 4.1 で示される回帰モデルである。

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \cdots + \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

それぞれの $i = 1, 2, \dots, N$ および $t = 1, 2, \dots, T$ について、 Y_{it} は被説明変数であり、 $(X_{1it}, X_{2it}, \dots, X_{kit})$ は説明変数を示す。また、 α_i は個体 i の時間不変の固定効果、すなわち個別固定効果を、 ε_{it} は誤差項を示す。個別固定効果モデルでは欠落変数バイアスをもたらす効果は、時間を通じて一定であると仮定する。

式 4.1 は個体の固定効果のみを考慮したモデルであるが、個体に加えて時点の固定効果を考慮した固定効果モデルも存在する。時点固定効果とは個体間では等しいが時間と共に変化する未観測因子のことを指し、個体固定効果と時点固定効果を同時に調整する固定効果モデルは双方向固定効果モデル (Two-Way Fixed Effects Model:TWFE) と呼ばれる。双方向固定効果モデルは式 4.2 で示される回帰モデルである。

$$Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \cdots + \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (4.2)$$

それぞれの $i = 1, 2, \dots, N$ および $t = 1, 2, \dots, T$ について、 Y_{it} は被説明変数であり、 $(X_{1it}, X_{2it}, \dots, X_{kit})$ は説明変数を示す。また、 α_i は個体 i の個別固定効果を、 π_t は時間 t における時点固定効果を、 ε_{it} は誤差項を示す。

固定効果モデルの推定の代表的な方法として LSDV 推定がある。双方向固定効果モデルの推定において、LSDV 推定では個体を表すダミー変数を N 個と時点を表すダミー変数を T 個を推定の式に含め、それを最小二乗推定する。

$$Y_{it} = \beta_1 X_{1it} + \cdots + \beta_k X_{kit} + \gamma_1 I_{1i} + \cdots + \gamma_N I_{Ni} + \delta_1 D_{1t} + \cdots + \delta_T D_{Tt} + \varepsilon_{it} \quad (4.3)$$

式 4.3 において, I_{1i}, \dots, I_{Ni} は個体 i ごとのダミー変数, D_{1t}, \dots, D_{Tt} は時点 t ごとのダミー変数を表す.

$$D_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{if } j = i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.4)$$

$$I_{lt} = \begin{cases} 1 & \text{if } l = t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.5)$$

実際の計算では多重共線性を回避するため, ダミー変数をのうちどれか一つを削除する必要があり, 通常は統計ソフトがどれかを自動的に削除する. また, 回帰分析では残差が独立に同一の分布に従うという仮定のもとで標準誤差を計算する必要があるが, パネルデータ分析の場合はこの仮定が成り立たない可能性が非常に高く, 一般には個体(クラスター)内の相関を許容するクラスター・ロバスト標準誤差の使用が強く推奨される.

4.2 分析手法

本研究では双方向固定効果モデルを用いて, 基本分析として接続本数分析とマーケットアクセス分析を行い, 発展分析として交互作用分析を行った. 推定には LSDV 推定を用いクラスター・ロバスト標準誤差を使用した.

(1) 基本分析

接続本数分析

接続本数分析での推定には式 4.6 の双方向固定効果モデルを用いた.

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta_C C_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.6)$$

ここで, Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価, C_{it} は地価観測点 i の時点 t における放射高速道路の接続数, α_i は個別固定効果, π_t は時間固定効果, ε_{it} は誤差項である. TWFE 推定量 β_C は地価観測点において放射道路の接続数が 1 本増えた時に地価が何 % 変化するかを表す. この分析では接続本数データを接続性の指標として扱う.

マーケットアクセス分析

マーケットアクセス分析の推定には式 4.7 の双方向固定効果モデルを用いた.

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta_{MA} \ln MA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.7)$$

ここで、 Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価、 MA_{it} は地価観測点 i の時点 t におけるマーケットアクセス、 α_i は個別固定効果、 π_t は時間固定効果、 ε_{it} は誤差項である。TWFE 推定量 β_{MA} は地価観測点においてマーケットアクセスが 1 % 増加したときに地価が何 % 変化するかを表す。この分析ではマーケットアクセスを放射・環状型ネットワークを考慮した接続性の指標として扱う。

(2) 交互作用分析

基本分析では説明変数 X と被説明変数 Y の間の関係を線形と仮定して推定を行った。この仮定によって、推定された回帰係数はある一つの値に決定される。しかし、図のように X が Y に与える影響がその他の変数 Z の影響を受ける場合を考えると、これは X が Y に与える影響は一定ではないことを意味する。この Z は調整変数と呼ばれる。交互作用分析では調整変数による交互作用を考慮した双方向固定効果モデルを用いる。調整変数を含んだ 2 変数の双方向固定効果モデルは式 4.8 で示される回帰モデルである。

$$Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta_1 X_{it} + \beta_2 Z_i X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.8)$$

ここで、 $Z_i X_{it}$ は交差項と呼ばれる。 Z がダミー変数の場合を考えると式 4.9 のようになる。

$$Y_{it} = \begin{cases} \alpha_i + \pi_t + \beta_1 X_{it} + \varepsilon_{it} & \text{if } Z_i = 0 \\ \alpha_i + \pi_t + (\beta_1 + \beta_2) X_{it} + \varepsilon_{it} & \text{if } Z_i = 1 \end{cases} \quad (4.9)$$

式 4.9 から Z の値によって回帰直線の「傾き」が変わることが分かる。 β_1 は $Z = 0$ のときの X が Y に与える影響を意味し、 β_2 は $Z = 1$ のときと $Z = 0$ のときとの X が Y に与える影響の差を意味する。

交互作用分析では、マーケットアクセス分析を基本の形としており、様々な観点から分析を行う。

IC 距離交互作用分析

IC 距離交互作用分析では、マーケットアクセスが地価に与える影響が、各地価観測点から最寄りの IC までの距離によって変化するかどうかについて分析を行う。IC 距離交互作用分析での推定には式 4.10 に示される双方向固定効果モデルを用いた。

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta \ln MA_{it} + \beta^{IC} Z_i^{IC} \ln MA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.10)$$

ここで、 Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価、 MA_{it} は地価観測点 i の時点 t におけるマーケットアクセス、 Z_i^{IC} は地価観測点 i から最寄りの IC までの距離が 5km 以下

の時に 1, それ以外の時に 0 をとるダミー変数, α_i は個別固定効果, π_t は時間固定効果, ε_{it} は誤差項である.

2001 年地価交互作用分析

2001 年地価交互作用分析では, マーケットアクセスが地価に与える影響が, 各地価観測点の 2001 年時点の地価によって変化するかどうかにについて分析を行う. 2001 年地価交互作用分析での推定には式 4.11 に示される双方向固定効果モデルを用いた.

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta \ln MA_{it} + \beta^{low} Z_i^{low} \ln MA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.11)$$

ここで, Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価, MA_{it} は地価観測点 i の時点 t におけるマーケットアクセス, Z_i^{low} は地価観測点 i の 2001 年の地価が 25 万円以下の時に 1, それ以外の時に 0 をとるダミー変数, α_i は個別固定効果, π_t は時間固定効果, ε_{it} は誤差項である.

最寄り駅距離交互作用分析

最寄り駅距離交互作用分析では, マーケットアクセスが地価に与える影響が, 各地価観測点から最寄りの駅までの距離によって変化するかどうかにについて分析を行う. 最寄り駅距離交互作用分析での推定には式 4.12 に示される双方向固定効果モデルを用いた

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta \ln MA_{it} + \beta^{sta} Z_i^{sta} \ln MA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.12)$$

ここで, Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価, MA_{it} は地価観測点 i の時点 t におけるマーケットアクセス, Z_i^{sta} は地価観測点 i の最寄り駅までの距離が 2.5km 以下の時に 1, それ以外の時に 0 をとるダミー変数, α_i は個別固定効果, π_t は時間固定効果, ε_{it} は誤差項である.

乗降客数交互作用分析

乗降客数交互作用分析では, マーケットアクセスが地価に与える影響が, 各地価観測点の最寄りの駅の乗降客数によって変化するかどうかにについて分析を行う. 乗降客数は, 駅の規模を表すデータとして用いていえる. 乗降客数交互作用分析での推定には式 4.13 に示される双方向固定効果モデルを用いた

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta \ln MA_{it} + \beta^{pas} Z_i^{pas} \ln MA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.13)$$

ここで, Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価, MA_{it} は地価観測点 i の時点 t におけるマーケットアクセス, Z_i^{pas} は地価観測点 i の最寄り駅の乗降客数が 5 万人以下の時に

1, それ以外の時に 0 をとるダミー変数, α_i は個別固定効果, π_t は時間固定効果, ε_{it} は誤差項である.

IC 距離・最寄り駅距離交互作用分析

IC 距離・最寄り駅距離交互作用分析では, マーケットアクセスが地価に与える影響が, 各地価観測地点の最寄り IC までの距離と最寄り駅までの距離の両方によって変化するかどうかについて分析を行う. 通常, 駅の近辺には IC が設置されることは稀であり, 離れた場所にあることが多い. このことから IC 距離ダミーの IC が近いという情報には, 駅までの距離が遠いという情報も含まれている可能性があり, IC と最寄り駅の両方のダミーを用いることで, IC までの距離と最寄り駅までの距離を別々にコントロールすることを目指す. 距離ダミー IC・最寄り駅距離交互作用分析での推定には, 式 4.14 に示される双方向固定効果モデルを用いた.

$$\ln Y_{it} = \alpha_i + \pi_t + \beta \ln MA_{it} + \beta^{IC} Z_i^{IC} \ln MA_{it} + \beta^{sta} Z_i^{sta} \ln MA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.14)$$

ここで, Y_{it} は地価観測点 i の時点 t における地価, MA_{it} は地価観測点 i の時点 t におけるマーケットアクセス, Z_i^{IC} は地価観測点 i の最寄り IC までの距離が 5km 以下の時に 1, それ以外の時に 0 をとるダミー変数, Z_i^{sta} は地価観測点 i の最寄り駅までの距離が 2.5km 以下の時に 1, それ以外の時に 0 をとるダミー変数, α_i は個別固定効果, π_t は時間固定効果, ε_{it} は誤差項である.

5 分析結果と考察

5.1 基本分析

(1) 接続本数分析

分析結果を表 5.1 に示す。接続本数の回帰係数は 0.005 となった。これは地価観測点の最寄りの圏央道の IC の放射高速道路接続本数が 1 本増えると地価は 0.5% 増加することを意味する。

(2) マーケットアクセス分析

分析結果を表 5.2 に示す。マーケットアクセスの回帰係数は 0.139 となった。これは地価観測点の最寄りの圏央道の IC のマーケットアクセスが 10% 増えると地価は 1.39% 増えることを意味する。

表 5.1 分析結果 接続本数

| | Two-way |
|-------------|----------------------|
| (Intercept) | 12.491*** (0.006) |
| 接続本数 | 0.005** (0.002) |
| R^2 | 0.985 |
| $Adj.R^2$ | 0.984 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.084 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 5.2 分析結果 マーケットアクセス

| | Two-way |
|-------------|----------------------|
| (Intercept) | 11.236*** (0.291) |
| lnMA | 0.139*** (0.032) |
| R^2 | 0.985 |
| $Adj.R^2$ | 0.985 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.084 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

5.2 交互作用分析

(1) 圏央道 IC 距離交互作用分析

分析結果を表 5.3 に示す。マーケットアクセスの回帰係数は 0.161，マーケットアクセスと圏央道 IC までの距離の交差項の回帰係数は-0.046 であるが有意な結果とはならなかった。この結果からマーケットアクセスが地価に与える効果には圏央道 IC までの距離による異質性が存在するとはいえない。

このことより，マーケットアクセスの地価に与える効果は，マーケットアクセスが良い IC が利用可能かどうか重要であり，IC までの距離によらず IC が存在する地域全体に発現すると考えられる。

(2) 2001 年地価交互作用分析

分析結果を表 5.4 に示す。マーケットアクセスの回帰係数は 0.462，マーケットアクセスと 2001 年の地価の交差項の回帰係数は-0.345 となった。この結果からマーケットアクセスが地価に与える効果には 2001 年の地価による異質性が存在すると言える。2001 年の地価が 25 万円を超える地点と 25 万円以下の地点のどちらにおいても，マーケットアクセスは地価を押し上げる効果を持つが，2001 年の地価が 25 万円を超える地点の方が効果が大きいことが明らかになった。

このことより，マーケットアクセスの地価を押し上げる効果は，元々地価が高い地点において地価が低い地点よりも大きく発現すると考えられる。

表 5.3 分析結果 IC 距離

| | Two-way |
|-------------------|----------------------|
| (Intercept) | 11.030*** (0.314) |
| lnMA | 0.161*** (0.035) |
| $\ln MA * D^{IC}$ | -0.046 (0.027) |
| R^2 | 0.985 |
| $Adj.R^2$ | 0.985 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.084 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 5.4 分析結果 2001 年地価

| | Two-way |
|--------------------|----------------------|
| (Intercept) | 11.437*** (0.286) |
| lnMA | 0.462*** (0.065) |
| $\ln MA * D^{low}$ | -0.345*** (0.059) |
| R^2 | 0.986 |
| $Adj.R^2$ | 0.985 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.082 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

(3) 最寄り駅距離交互作用分析

分析結果を表 5.6 に示す。マーケットアクセスの回帰係数は-0.047 であるが有意な結果とはならず、マーケットアクセスと最寄り駅距離の回帰係数は 0.303 となった。マーケットアクセスと最寄り駅距離の交差項の回帰係数が有意な結果となったので、マーケットアクセスの地価に与える効果には最寄り駅までの距離による異質性が存在すると言える。しかし、マーケットアクセスの回帰係数が有意ではないので、最寄り駅との距離が 2.5km 以下の地点と 2.5km を超える地点の間の効果の違いがあることは明らかになったが、マーケットアクセスが地価を押し上げている効果があるとはいえない。

このことより、マーケットアクセスが地価に与える効果は、鉄道へのアクセスの違いによって異なると考えられる。

表 5.5 分析結果 拠点駅

| | Two-way |
|---------------------|----------------------|
| (Intercept) | 11.602*** (0.302) |
| lnMA | 0.099** (0.034) |
| $\ln MA * D^{base}$ | 0.117** (0.036) |
| R^2 | 0.985 |
| $Adj.R^2$ | 0.985 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.083 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 5.6 分析結果 最寄り駅距離

| | Two-way |
|--------------------|----------------------|
| (Intercept) | 10.159*** (0.305) |
| lnMA | -0.047 (0.032) |
| $\ln MA * D^{sta}$ | 0.303*** (0.027) |
| R^2 | 0.986 |
| $Adj.R^2$ | 0.986 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.081 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

(4) 乗降客数交互作用分析

分析結果を表 5.7 に示す。マーケットアクセスの回帰係数は 0.237、マーケットアクセスと乗降客数の交差項の回帰係数は-0.200 となった。この結果からマーケットアクセスが地価に与える影響は最寄り駅の乗降客数による異質性が存在すると言える。また、最寄りの乗降客数が 5 万人未満の地点と 5 万人を超える地点のどちらにおいても、マーケットアクセスは地価を押し上げる効果を持つが、乗降客数が 5 万人未満の地点の方が効果が小さいことが明らかになった。

このことより、マーケットアクセスが地価を押し上げる効果は、最寄り駅の規模の大きい地点において規模が小さい地点よりも大きく発現すると考えられる。

(5) 最寄り IC 距離・最寄り駅距離交互作用分析

分析結果を表 5.8 に示す。マーケットアクセスの回帰係数は-0.043 であるが有意な結果とはならず、マーケットアクセスと最寄り駅距離の交差項の回帰係数は 0.302、マーケットアクセスと IC までの距離の交差項は-0.006 であるが有意な結果とはならなかった。この結果からマーケットアクセスが地価に与える影響には IC までの距離による異質性は存

在するといえないが、最寄り駅までの距離による異質性が存在することが明らかになった。しかし、最寄り駅距離交互作用分析と同じく、マーケットアクセスの回帰係数は有意ではないためマーケットアクセスが地価を押し上げている効果があるとはいえない。

表 5.7 分析結果 乗降客数

| | Two-way |
|--------------------|----------------------|
| (Intercept) | 12.169*** (0.298) |
| lnMA | 0.237*** (0.035) |
| $\ln MA * D^{sta}$ | -0.200*** (0.027) |
| R^2 | 0.986 |
| $Adj.R^2$ | 0.985 |
| $Num.obs.$ | 20447 |
| $RMSE$ | 0.082 |
| $NClusters$ | 889 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 5.8 分析結果 IC 距離と最寄り駅距離

| | Two-way |
|--------------------|----------------------|
| (Intercept) | 10.134*** (0.305) |
| lnMA | -0.043 (0.034) |
| $\ln MA * D^{sta}$ | 0.302*** (0.027) |
| $\ln MA * D^{IC}$ | -0.006 (0.025) |
| R^2 | 0.986 |
| $Adj.R^2$ | 0.986 |
| $Num.obs.$ | 20470 |
| $RMSE$ | 0.081 |
| $NClusters$ | 890 |

Clustered robust standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

6 終わりに

6.1 本研究のまとめ

「あなたのこと全く好きではないけど、付き合ってもいいわ。その代わりに、わたしをちゃんと守ってね。理想として、あなたが死んでもいいから」彼女に告白し、そして奇妙な条件付きの返事をもらった瞬間から、僕は彼女の為に生きはじめた。この状況が僕に回ってきたことが、神様からの贈り物であるようにも思える。この結果が、いつの日か、遠い遠い全く別の物語に生まれ変わりますように。人間人間の名作が、『六百六十円の事情』『ぼっちーズ』でコンビを組んだ宇木敦哉のイラストによって、待望の文庫化！

6.2 今後の課題

「あなたのこと全く好きではないけど、付き合ってもいいわ。その代わりに、わたしをちゃんと守ってね。理想として、あなたが死んでもいいから」彼女に告白し、そして奇妙な条件付きの返事をもらった瞬間から、僕は彼女の為に生きはじめた。この状況が僕に回ってきたことが、神様からの贈り物であるようにも思える。この結果が、いつの日か、遠い遠い全く別の物語に生まれ変わりますように。人間人間の名作が、『六百六十円の事情』『ぼっちーズ』でコンビを組んだ宇木敦哉のイラストによって、待望の文庫化！

参考文献

- [1] Harris, C. "The Market as a Factor in the Localization of Industry in the United States". *Annals of the Association of American Geographers*, Vol.64:pp.315–348, 1954.
- [2] Stephen Redding and Anthony J. Venables. "Economic geography and international inequality". *Journal of International Economics*, Vol.62(1):pp.53–82, 2004.
- [3] Keith Head and Thierry Mayer. "Regional wage and employment responses to market potential in the EU". *Regional Science and Urban Economics*, Vol.36(5): pp.573–594, 2006.
- [4] Combes,P.P., Duranton,G., Gobillon,L. and Roux,S. "Estimating agglomeration economies with history, geology, and worker effects". *NBER Working Paper*, pages pp.15–66, 2010.
- [5] 織田澤 利守, 足立 理子, 佐藤 啓輔, and 小池 淳司. "都市間高速道路網整備が地方部の都市雇用圏の地価に及ぼす因果効果の推定". *土木学会論文集 D3 (土木計画学)* , Vol.77(5):pp.I.95–I.105, 2022.
- [6] 国土交通省 関東地方整備局. 圏央道（首都圏中央連絡自動車道）. <https://www.ktr.mlit.go.jp/road/shihon/index00000036.html>（参照 2025-1-16）.
- [7] Jetpan Wetwitoo, Yoshikazu Kanai, Toshimori Otazawa, Hironori Kato. "Impact of Introducing Ring-Road Expressway on Land Value in Suburban Area: Empirical Evidence from Tokyo". In *Transportation Research Board 103rd Annual Meeting, Washington D. C. (U. S.)*, January 2024.
- [8] Chihiro Shimizu and Kiyohiko Nishimura. "Biases in appraisal land price information: The case of Japan". *Journal of Property Investment & Finance*, Vol.24 (2):pp.150–175, 2006.
- [9] Takara Kunimi and Hajime Seya. "Identification of the geographical extent of an area benefiting from a transportation project: A generalized synthetic control". *Journal of Transport and Land Use*, Vol.14(1):pp.25–45, 2021.
- [10] 国土交通省. 総合的な交通体系を目指して：総合交通分析システム（NITAS）. https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_tk_000055.html（参照 2025-1-20）, .

- [11] 国土交通省. 令和 3 年度 全国道路・街路交通情勢調査 箇所別基本表及び時間帯別交通量表に関する説明資料. <https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/>(参照 2025-1-21), .

付録

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々からご支援とご指導をいただきました。この場を借りて、深く感謝の意を表します。

まず、神戸大学工学研究科市民工学専攻の灘研究室で学ぶ機会をいただき、社会資本投資に関する研究を進める上で多大なご指導を賜りました、指導教員の灘教授に心より感謝申し上げます。灘先生には、研究テーマの設定から分析手法の選定、さらには結果の解釈に至るまで、常に丁寧で的確なアドバイスをいただきました。特に、困難に直面した際には、適切な示唆をいただくことで研究を前進させることができました。また、研究に向き合う姿勢や学問への情熱についても、先生から多くを学ばせていただきました。

また、研究を進める過程で、研究室の先輩方や後輩たちからも多くの助言と励ましをいただきました。特に、後輩の皆さんには日々の議論や意見交換を通じて多くの刺激を受けました。研究室での時間は、学術的な成長だけでなく、人としての成長をも促してくれるものでした。これらの経験は私にとって非常に貴重であり、今後の糧として大切にしていきたいと思います。

また、研究活動の中で印象深い出来事の一つとして、研究室のメンバーと沖縄を訪れた思い出があります。このフィールドワークでは、社会資本の役割について実地で学ぶだけでなく、メンバー間の絆を深める貴重な時間を過ごしました。研究以外の場面でもともに過ごしたこれらの時間が、私の大学院生活をより充実したものにしてくれました。

さらに、家族や友人の支えにも感謝を申し上げます。研究の途中で悩みや迷いを抱えることもありましたが、日々の生活を支え、心の拠り所となってくれた家族と友人の存在があったからこそ、ここまで研究を続けることができました。

最後に、本研究に関わるすべての方々に改めて深く感謝申し上げます。この経験を糧に、今後も社会資本投資に関する研究や実践に貢献していきたいと考えています。