日交研シリーズ　A－940

交通インフラ投資順序と地域の発展に関する実証分析

交通インフラ投資順序と地域の発展に関する実証分析
研究プロジェクト

２０２６年９月

公益社団法人日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は，公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究成果，本研究会の行う講演，座談会の記録，交通問題に関する内外文献の紹介，等々を印刷に付して順次刊行するものである。

2. シリーズはＡよりＥに至る５つの系列に分かれる。

シリーズＡは，本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。

シリーズＢは，シリーズＡに対比して，より時論的，啓蒙的な視点に立つものであり，折にふれ，重要な問題を積極的にとりあげ，講演，座談会，討論会，その他の方法によってとりまとめたものを収める。

シリーズＣは，交通問題に関する内外の資料，文献の翻訳，紹介を内容とする。

シリーズＤは，本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして，本研究会の研究調査活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。

シリーズＥは，本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。

3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し，本研究会は責任を負わない。

4. 令和２年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会
代表理事　竹　内　健　蔵
同　中　村　文　彦

令和２年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号を明記の上，下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6
守住ビル　４階
公益社団法人日本交通政策研究会
電 話 （03）3263-1945（代表）
Ｆａｘ （03）3234-4593
E-Mail：office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-940
令和 7 年度自主研究プロジェクト
「交通インフラ投資順序と地域の発展に関する実証分析」
刊行：2026 年 9 月

交通インフラ投資順序と地域の発展に関する実証分析
Empirical Analysis of the Effects of Transportation Infrastructure Investment Sequencing on Regional Development

主査：力石　真（広島大学）
Makoto CHIKARAISHI

要　旨

本研究は，交通インフラ投資の意思決定・ネットワーク形成・人口動態を一つのモデルに統合し，その投資順序が地域の長期的発展経路に与える影響を，効率性（累積便益）と空間的公平性（アクセシビリティ格差）の両軸から明らかにすることを目的とする．特に，中央集権と地方分権の制度差が交通ネットワーク形成・人口分布・地域間格差に及ぼす影響を比較する．具体的には，税収をゾーン人口から内生化し，費用便益比に基づく投資選択とアクセシビリティを介した人口動態を組み込んだ動学モデルを 46 都道府県の簡略化ネットワーク上で構築した．1 期 = 配分 → 税収 → 投資 → 撤退 → 再配分 → 人口更新のループを 100 期（1 期 = 1 年）繰り返し，全国一括の予算プールをもつ中央集権と，8 ブロックの自治体単位に分かれる地方分権を比較する．あわせて，1920–2020 年の都道府県別人口データから，集積・人口流動・交通費用の各感応度パラメータを推定した．分析の結果，効率性では，net 便益（便益−撤退損失）でみて，中庸予算かつ現代日本相当の人口流動感応度では地方分権型が中央集権型を 1.29 倍上回る一方，より大きい予算規模では拮抗した．ただし地方分権の優位は中程度の人口流動感応度に限られ，流動が極端に強い社会では人口流出で周辺の財政基盤が枯渇し，財政移転を持たない地方分権は周辺インフラの撤退を迫られて崩落する．さらに，同一予算でも観察期間が短いと中央集権型が，長いと地方分権型が上回る「短期・長期の逆転」が生じることが示された．一方，空間的公平性では地方分権が地域間のアクセシビリティ格差を拡大させることも確認した．これらの結果は，「中央集権か地方分権か」に一義的な答えはなく，人口流動感応度・予算規模・観察期間・評価軸に依存して結論が変わることを示唆するものといえる．

キーワード：　インフラ投資順序，制度設計，動学シミュレーション，公平性と効率性
Keywords：　investment sequencing, institutional design, dynamic simulation, equity and efficiency

目　　次

第１章　はじめに 1
1.1　研究の背景 1
1.2　研究の目的 3
1.3　報告書の構成 5

第２章　既往研究のレビュー 6
2.1　本章の目的と全体構成 6
2.2　長期実証研究 6
2.3　空間経済モデルに基づく反実仮想分析 7
2.4　ネットワーク進化シミュレーション 8
2.5　本研究の位置づけと貢献 10

第３章　提案するシミュレーションの枠組み 11
3.1　シミュレーション枠組み概要 11
3.2　モデル定式化 11
3.3　シナリオ設計 15

第４章　実証設定とパラメータ推定 17
4.1　ネットワーク 17
4.2　パラメータの設定 19
4.3　妥当性検証 20
4.4　パラメータ（η, ν, α）のジョイント推定 22

第５章　シミュレーション結果 24
5.1　効率性に着目した中央集権vs 地方分権の制度比較 24
5.2　空間的公平性の評価 33
5.3　歴史データへの妥当性検証 38

第６章　おわりに 52
6.1　研究の総括 52
6.2　政策含意 53
6.3　今後の課題 53

参考文献 55

研究メンバーおよび執筆者　（敬称略・順不同）

主査　　力石　真（広島大学・教授）

メンバー　藤原章正（広島大学・教授）

渡邉園子（広島大学・准教授）

塚井誠人（広島大学・准教授）

布施正暁（愛媛大学・教授）

吉野大介（復建調査設計㈱）

岡　英紀（計量計画研究所・データサイエンス室　室長代理 兼 GM）

福井のり子（㈱バイタルリード・イノベーション事業部長 兼 総合計画部部長）

野口寛貴（東京科学大学・助教）

瀬谷　創（神戸大学・准教授）

図斎　大（関西学院大学・教授）

中丸麻由子（東京科学大学・教授）

原　祐輔（東京大学・准教授）

大山雄己（東京大学・准教授）

ジアンカルロス・パラディ（東京大学・講師）

佐津川功季（東北大学・准教授）

安藤広恵（名古屋大学・助教）

第 1 章　はじめに

1.1　研究の背景

1.1.1　交通インフラ投資の長期的影響

交通インフラ投資の意思決定は，交通サービス水準の改善を通じて世紀単位で経済地理を規定する．たとえば日本の古代律令国家が整備した七道駅路は，東海道・山陽道・北陸道など現代の主要高速道路と路線・延長規模の両面で高い相似性を示すことが知られる (武部 2015)．より近代の事例としては，明治期（1872 年の東京・横浜間開業から 1907 年の鉄道国有化まで 35 年間）に整備された鉄道網が，戦後の都市階層形成を決定づけたことが計量経済分析を通じて確認されている．具体的には，Tang (2014) は明治期の都道府県別パネルデータを用いて，鉄道接続県では企業資本金が増加し，特に製造業の集中が促進されたことを示している．Yamasaki (2025) はさらに踏み込み，当時の工場のデータセットを構築，1892 年時点の鉄道距離が 1888 年から 1902 年の間における工場の蒸気動力導入の伸びの 34% を説明することを明らかにしている．戦後の高速道路網についても，竹林ら (2025) は高速道路整備が市区町村人口に対して長期的に正の効果を持つことを示している．

このように，過去の交通投資が長期の将来にわたって現代の経済地理を方向づける構造があるにもかかわらず，現在の交通投資の判断基準は主として費用便益分析（Cost–Benefit Analysis: CBA）に基づき，整備前後の旅行時間短縮を中心とした評価体系を採用している．こうした単純化された with/without の評価アプローチでは，交通ネットワークならびに人口・経済活動分布の歴史的経路依存性や，投資の順序が長期的発展経路に与える影響を十分に捉えられないという限界がある．本研究では特に投資順序の問題に焦点を当てる．とりわけ強い集積力が働く系においては，どのリンクから先に整備するかによって人口集積の方向と速度が変わり，それが次の投資判断に影響するという内生的フィードバックが存在することが知られている (大澤 2018)．こうした投資順序の長期影響を定量化するには，動学的なフレームワークが不可欠となる．

1.1.2　中央集権 vs 地方分権の論点

日本の戦後の道路インフラ整備は，急速なモータリゼーションと国土の基盤整備需要に応えるため，国が計画・財源・採択基準を整え，地方の事業化を支える国庫補助連動型の計画システムとして展開してきた．1954 年に第 1 次道路整備五箇年計画が発足し，1958 年の道路整備緊急措置法および道路整備特別会計の設置以降，揮発油税をはじめとする道路特定財源を背景に，一般道路事業，有料道路事業，地方単独事業を含む計画的な道路投資が進められた．この仕組みは，戦後日本の道路ストック形成を大きく加速させた一方で，国の計画・財源制度が地方の事業選択を強く方向づける構造も形成した．2000 年代の三位一体改革は，国庫補助負担金改革，税源移譲，地方交付税改革を一体的に進め，地方の裁量拡大を目指したが，裁量的補助金や地方交付税の質

的改革は限定的であったとの指摘もあり，国・地方間の財政調整を通じた中央依存的な構造は一定程度残っている (赤井ら 2003)．

2025 年に閣議決定された第 6 次社会資本整備重点計画（2025–2030）は，「インフラマネジメント」をインフラ政策の核心に据え，(I) 活力のある持続可能な地域社会の形成，(II) 強靱な国土が支える持続的で力強い経済社会，(III) インフラ分野が先導するグリーン社会の実現，(IV) 戦略的・計画的な社会資本整備を支える基盤の強化，という 4 つの重点目標を掲げた．しかし，特に重点目標（I）を実現する整備主体の中央集権・地方分権の最適配分については定量的な分析枠組みが存在しない．人口減少局面に入った日本において，どの制度設計が空間的公平性（地域間格差）と効率性（総便益）を両立する国土発展を実現するかは必ずしも明確ではない．中央集権下での全国一括の予算プールと，地方分権下での自治体単位の予算プールの違いが，交通ネットワーク形成・人口分布・地域間格差に及ぼす長期的影響を体系的に比較した研究は乏しい．

中央集権型と地方分権型の制度的トレードオフは，財政連邦主義の文献で長く議論されてきた．Oates (1972) の分権化定理によれば，便益が地域内におおむね閉じる地方公共財については，中央政府が一律的に供給水準を決定するよりも，地域ごとの選好や費用条件に応じて地方政府が供給水準を決定する方が効率的であるとされる．一方，交通インフラは広域的なネットワーク外部性，規模の経済，財政力格差，標準化の必要性を伴うため，戦後の道路整備において中央政府が計画・財源・技術基準を担う枠組みの採用にも一定の合理性がある．

費用便益比（B/C）の高いリンクから順に採択するという基準に基づく投資順序付けは，以下の理由から副作用を伴いうる．まず，事業実施時点における交通需要が大きい地域，すなわち東京・大阪などの既存集積地域の周辺道路の費用便益比が高くなることから，これらの道路が優先的に整備される．こうして整備された道路は当該地域のアクセシビリティをさらに高め，人口と経済活動の集中を加速させる．集中の進行は次期以降の B/C 評価において再び大都市圏の道路を優位に立たせ，集積と投資の正のフィードバックループが駆動する．このループが早期に作動すると，長期的には大都市圏が過度に肥大化し，地方圏の人口・経済基盤が弱体化する．その結果，国土全体の空間が十分に活用されず，集中に伴う混雑といった社会的コストが増大する可能性がある．すなわち，個々の投資判断時点では効率的でありえた選択が，経路依存的な集積動学を通じて，長期的には国土全体の厚生を損なう均衡へと社会を誘導しうる．動学シミュレーションの意義は，まさにこうした「短期の投資効率と長期の国土活用との不整合」を可視化し，初期段階の投資配分が将来の人口分布とネットワーク形態を規定する過程を明らかにできる点にある．

1.1.3 既存の評価枠組み

交通インフラ投資の長期的影響を分析する研究は，大別して 3 つのアプローチを採ってきた．

第一に，長期実証研究である．Tang (2014) や Yamasaki (2025) に代表される研究は，歴史的データや長期パネルデータを用いて，交通インフラ整備が地域の人口，産業，雇用，地価，都市成長に与えた影響を実証的に明らかにしてきた．これらの研究は，実際に整備されたインフラの長

期的効果を識別する点で重要であるが，制度比較を目的とした反実仮想実験，すなわち中央集権的な整備体制と地方分権的な整備体制の違いが，長期的なネットワーク形成や地域分布をどのように変えるかまでは扱えない．

第二に，空間経済モデルに基づく反実仮想分析である．この系譜には，地域間産業連関表や産業構造を基礎に社会資本整備の地域別・産業別波及効果を計測する SCGE モデルや，観測された人口・雇用・賃金・交通ネットワーク等に構造モデルを fit させて反実仮想下の空間均衡を推計する量的空間経済学（QSE）が含まれる．国内では RAEM-Light モデル (小池 2019) や SCGE 系列の研究が多くなされ，道路・新幹線整備の便益を地域別・産業別に計測してきた．また，Hayakawa et al. (2021) は QSE モデルの構造推定により，新幹線がない反実仮想下では東京は 6.3%，大阪は 4.4% 大きいと推計している．これらの研究は，交通インフラが地域経済・人口分布・厚生に与える効果を評価できる点で優れているが，多くは比較静学的な分析にとどまり，毎期の投資・撤退を通じたネットワーク形成過程や，中央集権・地方分権といった制度設計の違いが長期的なインフラ配置をどう変えるかまでは扱っていない．

第三に，ネットワーク進化シミュレーションである．元ミネソタ大学（現シドニー大学）の Levinson らの研究グループが体系化したこの方法論は，投資・撤退の動学反復により，ネットワーク構造の時間進化を直接シミュレートする．特に Xie and Levinson (2009a,b) は，中央集権・地方分権の比較を理論的・シミュレーション的に行った先駆的研究である．しかし，彼らの分析は抽象的な格子ネットワークを対象としており，集積現象を扱っていない．

1.2 研究の目的

本研究の目的は，ネットワーク進化シミュレーションを通じて以下の問いに答えることである．

(Q1) 同一の初期条件・パラメータの下で，中央集権（Centralized Budget pool: CB）と地方分権（Decentralized Budget pool: DB）のどちらが累積便益を多く生むか？

(Q2) その答えは観察期間 T（短期 20 期 / 中期 50 期 / 長期 100 期）に依存するか？

(Q3) その答えは人口流動感応度 η（社会の集積バイアス強度）と予算規模 τ（一人当たり実効税収）にどう依存するか？

(Q4) 1920–2020 年の長期実証データに整合する (η, ν, α) はどのような値に推定されるか？ それは現代日本の制度選択にどんな含意を持つか？

1.2.1 本研究のアプローチ

以上の目的を達成するため，本研究は以下の 4 要素を統合した動学シミュレーションモデルを構築する．

1. 実地理ネットワーク：47 都道府県のうち沖縄を除く 46 都道府県をノードとし，陸上隣接

県のペアおよび青函トンネル・関門トンネル・本四連絡橋などの固定道路施設で結ばれるペアの計 89 リンクをトイネットワークとして構築する．

2. 動学反復：1 期 = 交通量配分 → 税収・予算 → 投資選択 → 撤退 → 人口再配分 → 人口更新のループを 100 期（1 期 = 1 年，1920–2020 年に相当）繰り返す．毎期の交通配分は確率的利用者均衡（Stochastic User Equilibrium: SUE）を解く．
3. 集積経済の内生化：目的地アクセシビリティを log-sum 関数 $\mathrm{Acc}_i = \log \sum_j p_j^{\nu} \exp(-\theta\, t_{ij})$ で表現し，集積感応度 ν（目的地の人口規模 p_j への弾力性；$\nu > 1$ のとき大都市ほど不均衡に強く引き寄せる集積選好を意味する）により大都市の魅力を陽に取り入れる．人口移動はアクセシビリティの相対差に応じて Logit 形で更新する（人口流動感応度 η：η が大きいほどアクセシビリティ差に対して人口移動が鋭敏に反応する）．
4. 履歴校正：1920 年から 2020 年の都道府県別人口パネル（5 年刻み 21 時点）に対して，シェアベースの平方平均誤差（RMSE）を最小化するように (η, ν, α) を Nelder–Mead 法で同時推定する．

中央集権型は全国を一つの予算プールとして扱い，全国規模で費用便益比（B/C）の高い投資から順に貪欲（greedy）に採択する．地方分権型は，8 地方ブロック（北海道・東北・関東・中部・関西・中国・四国・九州）ごとに予算プールを分割し，各ブロックが独立に管轄リンクへの投資を貪欲に決定する．ブロック間にまたがる県境跨ぎリンクは，両端いずれかの県を含むブロックが投資判断の対象とする．両制度を，同一の地理・同一の初期条件・同一のパラメータの下で 100 期（1 期 = 1 年）動学比較する．

1.2.2 本研究の主要な貢献

本研究の主要な貢献は以下の 2 点である．

1. 動学モデル × 制度比較の組み合わせ：Xie and Levinson (2009a,b) のネットワーク進化シミュレーションを，(i) 実地理（46 都道府県），(ii) 1920–2020 年の長期実証データへの fit による $\eta \cdot \nu$ の推定，(iii) 集積効果の内生化，の 3 方向に拡張し日本への適用例を示した．
2. 初期投資による集積・経路依存メカニズムの可視化と制度選択への含意：効率性基準（B/C）に基づく初期投資が，東京・大阪など既存集積地域へのアクセシビリティを優先的に高め，人口集中と次期投資判断との間に正のフィードバックを駆動する過程を，動学シミュレーション上で陽に可視化した．個々の投資が事業時点では効率的でありながら，累積的には大都市圏の過度な肥大化と国土全体の潜在力の未活用，混雑コストの累積を招きうるという「短期効率と長期国土活用の不整合」を定量的に示した．このメカニズムの帰結として，観察期間 T と人口流動感応度 η に応じて中央集権・地方分権の累積便益上の優劣が変化することを示した．具体的には，短期（20 期）では中央集権が，長期（100 期）かつ予算が中庸の条件下で地方分権が累積便益で追い上げ・逆転するという条件付き結果が得られた．

現代日本相当の人口流動感応度（推定値 $\hat{\eta} \approx 60$，1 年スケール）の下では，本トイモデル上で，予算が中庸（$\tau = 4 \times 10^{-6}$）の場合 100 期で DB が CB を net 便益で 1.29 倍上回り，より大きい予算（$\tau = 5 \times 10^{-6}$）では拮抗となる．ただしこの地方分権の優位は中程度の人口流動感応度に限られ，仮想的に人口流動が極端に強い社会（$\eta \gtrsim 200$）では人口流出により周辺地域の財政基盤が損なわれ，財政移転を持たない地方分権はむしろ崩落する．低 η では中央集権が安定的に勝つ．これは，全国一括の B/C 貪欲投資が早期に集積フィードバックを駆動するため短期効率では勝るが，長期では国土の過度な集中を招きうるという可視化されたメカニズムと整合する結果といえ，均衡解析や比較静学的な反実仮想分析だけでは捉えにくい動学過程を解析することの重要性を示すものである．

1.3 報告書の構成

本報告書は本章を含めて全 6 章で構成される．第 2 章では，交通インフラ投資の長期的影響，交通ネットワーク進化の理論・シミュレーション，および中央集権・地方分権をめぐる制度経済学の各系譜について既往研究を体系的にレビューし，本研究の方法論的位置づけを明確化する．第 3 章では，本研究が提案する動学シミュレーションモデルの定式化を，OD 需要・確率的利用者均衡・アクセシビリティ・税収・投資・撤退・人口更新までの 1 期内処理の順序に沿って詳述し，シナリオ設計を述べる．第 4 章では，モデルの実証設定を整理する．第 5 章では，シミュレーション結果を提示し，中央集権・地方分権の制度比較，歴史データへの妥当性検証，モデルの限界について議論する．第 6 章では，研究全体の総括，政策含意，今後の研究課題について述べる．

第 2 章　既往研究のレビュー

2.1　本章の目的と全体構成

本章では，(i) 長期実証研究，(ii) 空間経済モデルに基づく反実仮想分析，(iii) ネットワーク進化シミュレーションに関する既往研究を整理し，本研究の主要な貢献を明らかにする．本研究はネットワーク進化シミュレーション研究の系譜に位置づけられるが，実データをパラメータ校正と仮説検証に用いる点で，系譜を横断的に接続する位置にある．以降，各系譜の代表的研究をレビューし，最後に本研究の位置づけと貢献を整理する．

2.2　長期実証研究

長期実証研究は，歴史的な交通インフラ整備が地域の人口・産業・雇用にどのような長期影響を及ぼしたかを，主に準実験的な識別戦略により明らかにしてきた．本研究にとって特に重要なのは，日本のデータを用いた一連の研究と，経路依存性に関する歴史的証拠を提供する一連の研究である．

明治期鉄道整備の長期効果 : Tang (2014) は明治期の都道府県別パネルデータに差分の差分法を適用し，鉄道接続県では企業資本金が増加し製造業の集中が促進されたことを示した．Yamasaki (2025) は工場のデータセットと地形勾配を用いた操作変数法により，1892 年時点の鉄道距離が 1888–1902 年における工場の蒸気動力導入の伸びの 34% を説明することを明らかにした．これらの研究は，明治期鉄道の中央集権的整備が幹線沿線への産業集中を不可逆的に加速させたことを示唆している．

新幹線整備の効果 : Hayakawa et al. (2021) は新幹線整備が経済活動の空間分布に与えた効果を QSE モデルの構造推定で評価し，新幹線がない反実仮想下では東京は 6.3%，大阪は 4.4% 大きいと推計した（新幹線が大都市の規模をやや縮めている）．Koster et al. (2022) は長距離経済（Long-Haul Economies）という概念を導入し，新幹線網に接続された中間都市が雇用を失う「ストロー効果」を実証した．Wetwitoo and Kato (2017, 2019) は，新幹線の効果が駅近接ではなく広域ネットワーク全体に分散していることを示した．竹林ら (2025) は処置タイミングの異質性に対応した Staggered Difference-in-Differences と Synthetic Control Method を用いて新幹線と高速道路の人口効果を再検証し，処置効果が時間とともに減衰する一方，高速道路の正の人口効果は近年でも残存することを示した．

災害ショックと経路依存性．Davis and Weinstein (2002) は，第二次世界大戦における日本都市への爆撃という大規模ショックを用い，立地基礎条件（locational fundamentals）が経路依存性を支配することを示した．他方，Imaizumi et al. (2016) は 1923 年関東大震災が東京の産業空間分布に永続的影響を残したことを示し，Okazaki et al. (2019) は同震災の創造的破壊効果を

企業レベルデータで識別した．duPont IV and Noy (2015) は 1995 年阪神淡路大震災の影響を Synthetic Control Method で再評価し，神戸経済に永続的負の影響が残ったと結論した．

以上に加えて，Donaldson and Hornbeck (2016) は米国鉄道網（1870–1890 年）の経済効果を市場アクセス（market access）アプローチで定量化し，鉄道全廃の反実仮想で農地価値が 60% 減少すると推計した．Yamano and Ohkawara (2000) は，日本の公共投資の地域配分が efficiency（大都市集中）よりも equity（地方への配分）を重視してきたことを示した実証研究で，生産性の高い都市部ではなく地方部へと再配分する公平性に配慮したスキームが，日本全体の GDP を抑制しているとしている．佐川・中谷 (2020) と 坂本・山岡 (2017) は地域鉄道廃止が沿線地域に与える人口・経済的影響を定量評価する実証分析を行っている．

2.3 空間経済モデルに基づく反実仮想分析

本節では関連する 3 つの空間経済モデルを扱う研究についてレビューする：(i) 新経済地理学（NEG, New Economic Geography）は，独占的競争と地域間輸送費から集積を陽に導く理論枠組である；(ii) 空間応用一般均衡（SCGE, Spatial Computable General Equilibrium）は地域間の交易，産業構造，家計・企業の行動，交通費用などを明示的に考慮しながら，道路・鉄道・港湾などの社会資本整備や交通政策が，地域経済や産業，所得，消費，生産などに及ぼす直接・間接の波及効果を定量的に評価するための経済モデルであり，日本では 小池 (2019) の RAEM-Light などが交通投資の便益帰着評価に用いられてきた；(iii) 量的空間経済学（QSE, Quantitative Spatial Economics）は，NEG の問題意識，すなわち輸送費や交易費用の変化が経済活動の集積・分散に与える影響を受け継いでいるが，NEG に限られず，都市経済学，国際貿易論，地域経済学，労働経済学の空間均衡モデルを統合し，実データに基づいて交通政策やインフラ投資の反実仮想効果を定量評価する枠組みとして発展しており，日本への適用例として Hayakawa et al. (2021), Koster et al. (2022) がある．

理論的側面からは，Fujita and Ogawa (1982) は，集積力（企業間の情報スピルオーバー）と分散力（地代と通勤費）のミクロ基礎を提示し，多重均衡と単中心・多核都市への構造転移を解析した古典である．Tabuchi and Thisse (2002) は，分散力として労働者の選好異質性（Logit）を導入している．Mun (1997) は，交通網と都市システムの相互依存を扱う研究であり，都市数・規模・配置の同時決定に関する均衡分析を行っている．大澤 (2018) は，集積経済モデルの数理解析と類型化を提供するレビュー論文である．Akamatsu et al. (2017) や Osawa and Akamatsu (2020) は，集積モデルを potential game として特徴付け，均衡の存在・安定性の解析を行っている．これらの理論的解析が答える問いは，均衡の存在・多重性・選択や定常状態における厚生比較である．

日本国内を対象とした研究として，小池 (2019) の RAEM-Light モデルや 武藤ら (2016) の SCGE 系列の研究が，新幹線・高速道路整備の便益を産業構造の詳細とともに計測してきた．ま

た Hiramatsu (2018) は，九州新幹線をケースに，47 県の地域間 CGE モデルによる比較静学分析で雇用・人口立地と経済規模効果を評価している．量的空間経済学（QSE）では Hayakawa et al. (2021) と Koster et al. (2022) が，新幹線整備の効果を構造推定で定量化している．

NEG・SCGE・QSE の主流は，インフラネットワークを外生的に与えた上で立地・人口・厚生を均衡的に決定し，新幹線・高速道路の整備有無を反実仮想として比較する（例：Hayakawa et al. 2021, Donaldson and Hornbeck 2016）．近年，この前提を緩める方向として Fajgelbaum and Schaal (2020) は，輸送費を所与の primitive ではなくインフラ投資の結果として内生化し，社会的計画者がリンク別投資量を同時最適化する問題として最適交通網を解く枠組みを提案した．彼らはさらに，リンクごとの民間建設業者が Pigouvian 課金の下で利潤最大化的に投資量を選ぶ市場機構による分権化を考え，トールが最適水準に設定されれば分権的投資は社会的最適ネットワークを実現することを示した．

しかし Fajgelbaum and Schaal (2020) の枠組みは依然として静学・単一最適化問題であり，動学経路は扱わない．また同論文の「decentralization」は市場メカニズムによる welfare-equivalent な分権化（民間建設業者の利潤最大化）であって，財政連邦主義の文脈における行政主体（中央政府 vs 地方政府）の意思決定比較とは概念的に別物といえる．本研究の中央集権 vs 地方分権は，後者の意味で，異なる政府主体が同一の B/C 貪欲ルールの下でも，予算プールの分離と OD 視野の局所性によって異なる投資経路を生むという現象を比較対象とする．

まとめると，主流の既存の空間経済モデルを用いた研究においては，「誰が・どの予算制約の下で・どの順序で投資・撤退するか」という，動学的かつ非最適でありうる投資意思決定そのものは枠組み外である．本研究は，この点を補完するものであるあり，均衡を直接求める分析というより、ミクロな意思決定・適応・相互作用の積み重ねから、都市・交通・制度のマクロ構造がどのように生成・固定化・変化するかを理解するための生成的・進化的アプローチを採用する．その嚆矢となったのが，次節でレビューするネットワーク進化シミュレーションの系譜である．

2.4　ネットワーク進化シミュレーション

ネットワーク進化シミュレーションは，米ミネソタ大学（現シドニー大学）の David Levinson 教授グループが 2005 年以降体系的に開発してきた方法論で，投資・撤退の動学反復によりネットワーク構造の時間進化を直接シミュレートする．本研究はこの系譜に位置づけられる．特に Xie and Levinson (2009a,b) の中央集権・地方分権比較の枠組みを実地理・集積効果を考慮したモデルに拡張したものである．

Yerra and Levinson (2005) は SONG（System of Network Growth）モデルの祖となる論文で，各リンクをエージェントとし料金収入と維持費の差で速度（≒ サービス水準）が更新される単純なルールから，初期条件に依らず階層構造（高速幹線＋低速ローカル路）が自発的に創発することを示した．Zhang and Levinson (2004) は旅行者・ノード・リンクの 3 種エージェントに

よるトリップ生成・配分モデルを提示した．Xie and Levinson (2008) は SOUND（System Of Ultra-connected Network Degeneration）モデルでネットワーク衰退メカニズムを定式化し，米国インディアナ州 interurban 鉄道網（1917–1941 年衰退）の実廃止データで「最も使われていないリンクから順に削除」する weakest link rule の有効性を検証した．Xie and Levinson (2009c) はこの分野の包括レビューであり，Xie and Levinson (2011)（書籍 *Evolving Transportation Networks*）が SONG / SOUND / SONIC / SIGNAL の 4 モデルを体系的にまとめた本研究の出発点である．

本研究に直接関係する先行研究は Xie and Levinson (2009b) である．Xie and Levinson (2009b) は SONIC（Simulator of Network Incremental Connection）モデルで，旅行者の destination/route choice と中央・地方管轄者の financing/investment 意思決定を毎期反復シミュレートし，中央集権が管轄間対立を低減する一方で地域ニーズを反映できないというトレードオフを示した．Xie and Levinson (2009a) は，二層連邦制での道路投資意思決定を理論解析し，ガバナンスの構造が道路投資が進むとともに変わりうることを示した．本研究はこれらの分析を静学的比較から 100 期動学比較へ，集積効果なしからありへ，人口動態を外生から内生へと拡張する．本研究と SONIC-GC の対応関係を表 2.1 にまとめる．

表 2.1　SONIC-GC (Xie and Levinson 2009b) と本研究の対応

	SONIC-GC	本研究
ネットワーク	抽象的格子	46 都道府県の実隣接（89 リンク）
投資ルール	B/C ベース貪欲	B/C ベース貪欲
需要	4 段階推定（簡略）	SUE（Logit 経路選択）＋ logsum Acc
集積効果	なし	あり
人口分布	外生	内生化（総人数固定．分布のみ）
校正	パラメータ感度分析中心	(η, ν, α) を 1920–2020 履歴データに fit

また，Levinson et al. (2007) では，道路網と土地利用（雇用・人口）の共進化を扱っている．毎期，道路網更新 → アクセシビリティ更新 → 立地更新 → 需要更新が連鎖する点で，本研究の人口分布更新の枠組みと類似のアプローチを採用する先行研究である．Lahoorpoor and Levinson (2024) は 1855–2015 年シドニー鉄道網の成長をエージェント・ベースで再現した最近の研究で，「実地理 × 長期歴史データ × シミュレーション」という統合方向は本研究と類似している．

2.5　本研究の位置づけと貢献

2.5.1　方法論的位置づけ

本研究は，毎期の動学シミュレーションを採用し，かつ投資者の逐次的意思決定をモデルに陽に組み込む．具体的には，1 期＝交通配分・税収・投資・撤退・人口再配分の一連の処理を順次反復し，各期の状態（リンクのサービス水準と人口分布）が次期の入力となる．毎期の投資選択は，税収から内生的に決まる予算制約の下で，B/C に基づく貪欲ルールにより 投資主体（中央集権または地方分権）が決定する．パラメータ（特に集積感応度 ν，人口流動感応度 η，距離・時間費用の共通スケール α）は，1920–2020 年の都道府県別人口パネルの観測値とモデル予測の整合性を最大化するように Nelder–Mead 法で同時推定する（第 4 章で詳述）．

先行研究との差異は二軸に整理できる．第一に，均衡分析や静学的反実仮想が答えられるのは均衡の存在・多重性・安定性，および定常状態における厚生の比較である．対して本研究が問うのは，同一の初期条件・パラメータの下で中央集権と地方分権のどちらが累積便益を多く生むか，その答えは観察期間 T と人口流動感応度 η に依存するか，という均衡に到達するまでの動学経路に関する問いである．特に観察期間 $t = 20$ では中央集権が，$t = 100$ では地方分権が累積便益で優位となるという非定常性（短期・長期逆転）は均衡到達前の動学経路上で生じる現象であり，均衡分析だけでは原理的に見えない．第二に，NEG・SCGE・QSE の各潮流はインフラ網を外生的に与えた上で立地均衡を解く構造であり，投資者の意思決定そのものは枠組み外である．本研究は予算制約・B/C 投資選択・撤退判断・投資主体の制度（CB vs DB）を陽にモデル化することで，「投資者の意思決定をどう設計するか」という制度設計の論点を動学経路上で比較可能にする．以上 2 点が本研究の大きな特徴といえる．

2.5.2　本研究の主要な貢献

本研究の主要な貢献は，第 1 章で述べた通り次の 2 点である．

第一に，Xie and Levinson (2009a,b) のネットワーク進化シミュレーションを，(i) 抽象格子から 46 都道府県の実地理へ，(ii) 静学比較から 1920–2020 年の長期実証データへの fit による (η, ν, α) の推定を含む 100 期動学比較へ，(iii) 集積効果なしから集積効果の内生化へ，(iv) 人口外生から人口動態の内生化へ，の 4 方向に拡張し，日本への適用例を示した．

第二に，観察期間 T と人口流動感応度 η によって，中央集権・地方分権の累積便益上の優劣が変化することを定量的に示した．具体的には，短期（20 期）では中央集権が，長期（100 期）かつ高 η の社会では地方分権が累積便益で優位となるという，条件付きの結果を得た．これは均衡解析だけでは見えない動学経路上の挙動に関する観察であり，「観察期間が制度選択の結論を変える」という政策含意を示唆するものである．

第 3 章　提案するシミュレーションの枠組み

3.1　シミュレーション枠組み概要

本研究では，前章にてレビューした Levison らのアプローチを踏襲したプロセス志向のシミュレーションを採用する．本アプローチは，均衡を直接求めるというよりも，ミクロな意思決定・適応・相互作用の積み重ねから，都市・交通・制度のマクロ構造がどのように生成・固定化・変化するかを理解することを目指す生成的アプローチである．具体的には，「1 期 = 配分 → 税収 → 投資 → 撤退 → 再配分 → 人口更新」というループを多期繰り返す動学モデルを構築する（図 3.1）．各期で得られた状態（リンクのサービス水準，人口分布）が次期の入力となるため，初期条件と意思決定制度が長期経路を内生的に決定する．本研究では，1 期 = 1 年とするため，100 期は実時間で 1920–2020 年の 100 年間に相当する．なお，過去の実データへのフィットに用いる国勢調査は 5 年刻みであるため，予測値を 5 期ごとにサンプリングして観測値と比較しパラメータを最適化する．

1 期分の処理フロー：
(1) 期 t の状態 (p_t, s_t) から確率的利用者均衡を解き，ゾーン別アクセシビリティ Acc_t を得る（B/C 計算に利用）．
(2) 税収 Y，維持費 M，中央予算 B^C または赤字 Def_t を確定する．
(3) 中央集権または地方分権のルールで投資選択 E_t を行う．
(4) 赤字 $\mathrm{Def}_t > 0$ のときは撤退集合 D_t を決定する．
(5) 投資・撤退後にネットワークを再均衡させ，投資後アクセシビリティ $\mathrm{Acc}_t^{\mathrm{post}}$ を得る（人口更新に利用）．
(6) 人口を更新する：$p_{t+1} = p_t + \eta\,(\mathrm{Acc}_t^{\mathrm{post}} - \overline{\mathrm{Acc}}_t^{\mathrm{post}})$．
→ 次期 $t+1$ の状態 (p_{t+1}, s_{t+1}) を得る．

図 3.1　1 期分の処理フロー

このループを N 期繰り返した結果として得られる道路インフラ分布，人口分布を，中央集権型・地方分権型の 2 制度で比較する．

3.2　モデル定式化

3.2.1　OD 需要の生成（ロジット型目的地選択）

ゾーン i から j への単位時間あたり旅行需要は，ロジット型目的地選択モデルで生成する：

$$q_{ij,t} = \mu\, p_{i,t} \cdot \frac{p_{j,t}^{\nu} \exp(-\lambda\, \tilde{C}_{ij,t})}{\sum_{k \neq i} p_{k,t}^{\nu} \exp(-\lambda\, \tilde{C}_{ik,t})} \tag{1}$$

ここで μ は 1 人あたり平均発生トリップ率，λ は時間費用感応度である．ν は集積感応度であり，$\nu = 1$ で人口比例，$\nu > 1$ で大規模県の魅力が累乗的に増える集積効果を表現する．$\tilde{C}_{ij,t}$ は

当期の OD 一般化費用（自由流ベース）である．人々は，混雑を考慮しない自由流の旅行時間で目的地を選択すると仮定する．

3.2.2 確率的利用者均衡（SUE）配分

OD 需要 q_t をネットワーク $G_t = (V_t, \mathcal{L}_t)$ に確率的利用者均衡（Stochastic User Equilibrium: SUE）で配分する．経路選択は logit モデルに従い，リンク旅行時間は標準的な BPR（Bureau of Public Roads）関数で表現する：

$$t_{a,t} = t^0_{a,t}\left[1 + \alpha\left(\frac{f_{a,t}}{\mathrm{cap}_{a,t}}\right)^{\beta}\right] \tag{2}$$

ここで $f_{a,t}$ はリンク a の当期交通量，$t^0_{a,t}$ は自由流（混雑なし）旅行時間，$\mathrm{cap}_{a,t}$ は容量であり，$\alpha = 0.15$，$\beta = 4.0$ と仮定する．本研究では各リンクの整備状態をサービス水準 $s_{a,t}$ で表す．$s_{a,t}$ は投資により増加し撤退により減少するリンク固有の状態変数であり，容量と自由流時間をこれにより内生化する．具体的には，

$$\mathrm{cap}_{a,t} = \mathrm{cap}^{\max}_{a}\, s_{a,t}, \qquad t^0_{a,t} = t^{0,\min}_{a} \big/ s_{a,t} \tag{3}$$

すなわち $s_{a,t}$ が高いリンクほど容量が大きく自由流時間が短いとする．詳細な数値設定は次章にて議論する．

OD 一般化費用は経路ログサムで定義する：

$$C_{ij,t} = -\frac{1}{\phi}\ln \sum_{r \in R_{ij}} \exp\left(-\phi \sum_{a \in r} t_{a,t}\right) \tag{4}$$

ここで ϕ は経路選択のロジット感度パラメータである．SUE 配分では Dial 法と逐次平均法（Method of Successive Averages: MSA）を用いる．既定設定（最大反復数 500，収束閾値 2×10^{-3}）で，46 県・89 リンクの設定下においては約 300 反復で収束することを確認している．

3.2.3 ゾーンアクセシビリティ

ゾーン i のアクセシビリティは，ロジット型目的地選択の期待最大効用（ログサム値）として定義する：

$$\mathrm{Acc}_{i,t} = \frac{1}{\theta}\ln \sum_{j \neq i} \exp\!\big(-\theta C_{ij,t} + \nu \ln p_{j,t}\big) \tag{5}$$

ここで θ は時間費用感応度である（後述するように，$\theta = \lambda$ を仮定）．

3.2.4 税収・維持費・予算

道路インフラの整備・投資に充当できる税収（総税収のうちインフラ部門が利用できる分．以下「実効税収」）を，人口比例で以下のように定義する：

$$Y^{\mathrm{infra}}_{t} = \tau \sum_{i \in V} p_{i,t} \tag{6}$$

ここで τ は 1 人あたり実効税収，すなわち住民 1 人あたり税収のうち道路インフラの投資・維持に回せる水準を規定するパラメータである．サービス水準比例の維持費は以下とする：

$$M_t = \sum_{a:s_{a,t}>s_{\min}} \bar{m}_a \, s_{a,t} \tag{7}$$

ここで $\bar{m}_a$ はリンク a の維持費係数（リンク長に比例），$s_{\min}$ はサービス水準の下限（撤退時の到達点）である．維持費は各リンクのサービス水準 $s_{a,t}$ に比例し，下限 $s_{\min}$ まで降格したリンク（撤退済み・最低水準）の維持費は不要とする．

予算の繰越（carry-over）：当期使い切らなかった予算は翌期に全額持ち越されるとする．期 t の繰越残高を R_t と表記すると，当期の利用可能額は $Y_t^{\text{infra}} + R_t$ であり，維持費を差し引いた予算が新規投資に回せる予算 B_t^C になる．

$$B_t^C = \max\{Y_t^{\text{infra}} + R_t - M_t,\, 0\} \tag{8}$$

当期総採択コスト C_t に対し，翌期繰越は黒字時は $R_{t+1} = B_t^C - C_t$，赤字時は $R_{t+1} = 0$（撤退発動）となる．初期条件は $R_0 = 0$ とする．

地方分権型では，自治体（8 地方ブロック）ごとに独立した繰越残高 $R_{k,t}$ を保持すると考え，以下のとおり同様の予算スキームを想定する．

$$Y_{k,t}^{\text{infra}} = \tau \sum_{i \in V_k} p_{i,t}, \quad B_{k,t}^D = \max\{Y_{k,t}^{\text{infra}} + R_{k,t} - M_{k,t},\, 0\} \tag{9}$$

ここで自治体 k の管轄リンク集合 $\mathcal{L}_k$ は，「片端でも自治体内ゾーンを端点とするリンク」とする：

$$\mathcal{L}_k = \{a = (i,j) \in \mathcal{L} \mid i \in V_k \text{ または } j \in V_k\} \tag{10}$$

これにより，内部リンク（両端 $\in V_k$）と県境跨ぎリンク（片端のみ V_k）の双方が自治体 k の投資判断対象となる．後者は隣接 2 自治体の双方から独立に管轄される．県境跨ぎリンクへの投資コストは，意思決定した自治体が全額を自身の予算 $B_{k,t}^D$ から支払う（コストの按分はしない）．維持費 $M_{k,t}$ は，内部リンクは全額，県境跨ぎリンクは 50/50 で隣接 2 ブロックが共有する：

$$M_{k,t} = \sum_{a \in \mathcal{L}_k^{\text{int}}} m_{a,t} + \frac{1}{2} \sum_{a \in \mathcal{L}_k^{\text{cross}}} m_{a,t} \tag{11}$$

これにより $\sum_k M_{k,t} = M_t$（中央集権型の総維持費）が成立し，地方分権型の総予算は中央集権型と整合する．このルールにより県境跨ぎリンクは先に判断した自治体が採択する構造をもち，地方分権型でも必ずしも放置されるわけではない．

3.2.5 投資選択（B/C グリーディ）

リンク a への 1 単位 Δs 投資の社会的便益増分は，全ゾーンの人口加重アクセシビリティ改善の合計として計算する：

$$\Delta W_{a,t} = \sum_{i \in V} p_{i,t} \cdot \Delta \text{Acc}_{i,t} \tag{12}$$

費用便益比は次のように定義する：

$$b_{a,t} = \frac{\Delta W_{a,t}}{C_a^{\mathrm{lane}}} \tag{13}$$

ここで C_a^{lane} はリンク a のサービス水準を 1 単位 Δs だけ引き上げる（$s_{a,t} \to s_{a,t} + \Delta s$）のに要する投資費用であり，リンク長 d_a に比例する（数値設定は 4 章参照）．

なお，ΔW はアクセシビリティ（log-sum 効用，人口加重）の改善量で金銭単位ではない点に注意が必要である．費用 C_a^{lane} も実数比例の相対値である．B/C 比は両者の比であり，両側に同じスケール変換を加える限り採択判断（$b_{a,t} > 1$）は不変である．

当期の採択集合 E_t は，$b_{a,t} > 1$ を満たす候補を B/C 降順に貪欲（greedy）に採択することで決定する．採択のたびにネットワークを更新して残候補を再評価する：

$$E_t = \left\{ a_{\sigma(r)} \;\middle|\; \sum_{s=1}^{r} C_{a_{\sigma(s)}}^{\mathrm{lane}} \le B,\; b_{a_{\sigma(r)},t} > 1 \right\} \tag{14}$$

ここで σ は候補を B/C の降順に並べ替える置換である．中央集権型は全国一括の予算 $B = B_t^C$ と全国 1 本の B/C ランキングから採択し，地方分権型は 8 ブロック毎に予算 $B = B_{k,t}^D$ と独立ランキングから並列採択する．いずれの場合も，採択を停止するのは「予算が次のリンクのコストを下回る」か「次の候補の $\mathrm{B/C} \le 1$」の何れかが先に成立した時点である．本研究では 1 期内の最大採択数（$K_{\max}$）に実効的な制約を設けないこととした．実際には重機の台数や工期の関係で 1 期に採択できる投資数は物理的に制約される．

3.2.6 撤退ルール

赤字 $\mathrm{Def}_t = \max\{M_t - Y_t^{\mathrm{infra}} - R_t,\, 0\} > 0$ のとき，便益損失 $\ell_{a,t}$（$s_{a,t} \to s_{\min}$ への降格による ΔW 損失）が小さい順に降格集合 D_t を選び，累積維持費削減が Def_t を満たす最小数を採択する：

$$\sum_{a \in D_t} \bar{m}_a (s_{a,t} - s_{\min}) \ge \mathrm{Def}_t \tag{15}$$

降格後 $s_{a,t+1} = s_{\min}$ となるが，リンク自体は最低水準で存続するため，ネットワークの連結性は常に保たれる．これは Xie and Levinson (2008) の SOUND モデルの「最も使われていないリンクから順に削除」という weakest link 思想を，財政赤字のトリガに置き換えたものに相当する．

3.2.7 人口更新

各ゾーンの人口は，アクセシビリティの相対的な大きさに応じて移動する：

$$p_{i,t+1} = p_{i,t} + \eta \left(\mathrm{Acc}_{i,t}^{\mathrm{post}} - \overline{\mathrm{Acc}}_t^{\mathrm{post}} \right) \tag{16}$$

ここで $\mathrm{Acc}_t^{\mathrm{post}}$ は投資・撤退反映後の再配分により得られるアクセシビリティ，$\overline{\mathrm{Acc}}_t^{\mathrm{post}}$ はその全国平均，η は人口流動感応度である．$\sum_i (\mathrm{Acc}_i - \overline{\mathrm{Acc}}) = 0$ より，総人口は厳密に保存される．なお，この人口保一定の仮定は反実仮想比較のための理想化された設定である．人口増加を入れ

ると自然増減と空間再分配が混ざってしまうことから，中央 vs 分権の反実仮想比較を行う上で必要な仮定として採用した．

なお，観測総人口が大きく変化する 1920–2020 年の実測データを用いてパラメータを fit させる際には，外生総人口 $P_{t+1}^{\mathrm{obs}} = \sum_i p_{i,t+1}^{\mathrm{obs}}$ を入力として与え，上式の結果を乗算でリスケールする：

$$\tilde{p}_{i,t+1} = p_{i,t} + \eta\,(\mathrm{Acc}_{i,t}^{\mathrm{post}} - \overline{\mathrm{Acc}}_{t}^{\mathrm{post}}), \quad p_{i,t+1} = \tilde{p}_{i,t+1} \cdot \frac{P_{t+1}^{\mathrm{obs}}}{\sum_j \tilde{p}_{j,t+1}} \tag{17}$$

乗算リスケールは中心化された更新のシェア形を保ったまま絶対水準だけを調整する操作である．これにより自然増減と空間再分配（社会増減）を分離する．反実仮想比較では自然増減を入れずに社会増減のみを比較する．

人口下限保証：高 η の下では，アクセシビリティが極端に低い周辺県が毎期負方向に押され，総人口保存モードでは長期で人口が負に発散しうる．これを物理的に意味のある形で抑制するため，総人口を厳密に保存しながら下限を保証するアルゴリズムを導入する：

$$\tilde{p}_i = p_i + \eta\,(\mathrm{Acc}_i - \overline{\mathrm{Acc}}_t), \quad p_i^{\mathrm{new}} = \mathrm{floor_redistribute}(\tilde{p}, \mathrm{floor}) \tag{18}$$

具体的には，下限を下回るセル $S = \{i : \tilde{p}_i < \mathrm{floor}\}$ を特定し，不足量 $D = \sum_{i \in S}(\mathrm{floor} - \tilde{p}_i)$ を計算し，S のセルを下限にクリップする．残りのセルから比例配分で D を吸収し，すべてのセルが下限を満たすまで反復する．これにより全セル $p_i \geq \mathrm{floor}$ を保証しつつ $\sum_i p_i$ を不変に保つ．本研究では $\mathrm{floor} = 100{,}000$ 人を全反実仮想シナリオの既定値とする．

3.3 シナリオ設計

3.3.1 比較する 2 シナリオ

投資意思決定の主体を中央集権・地方分権の 2 通りとし，以下の 2 シナリオを比較する（表 3.1）．両シナリオとも投資選択は B/C グリーディに統一し，予算プールの構造（全国一括か 8 ブロック分割か）のみが異なる．

表 3.1　比較する 2 シナリオ

略号	意思決定	内容
CB	中央集権	全国一括の予算プールと全国 1 本の B/C ランキングから採択
DB	地方分権	8 ブロックごとの独立予算プールとブロック別 B/C ランキングから並列採択

3.3.2 地方分権の 8 ブロック分割

地方分権型の自治体単位は，総務省の地方区分に倣い 8 ブロックに分割する（表 3.2）．

表 3.2　8 ブロック分割

ブロック	県数	構成
北海道	1	北海道
東北	6	青森・岩手・宮城・秋田・山形・福島
関東	7	茨城・栃木・群馬・埼玉・千葉・東京・神奈川
中部	9	新潟・富山・石川・福井・山梨・長野・岐阜・静岡・愛知
関西	7	三重・滋賀・京都・大阪・兵庫・奈良・和歌山
中国	5	鳥取・島根・岡山・広島・山口
四国	4	徳島・香川・愛媛・高知
九州	7	福岡・佐賀・長崎・熊本・大分・宮崎・鹿児島

第 4 章　実証設定とパラメータ推定

本章では，第 3 章で定式化した動学シミュレーションモデルの実証分析の設定について述べる．まず 4.1 節で 46 都道府県のトイネットワーク構造を示し，次いで 4.2 節でパラメータ値の設定を述べる．4.3 節では 1920–2020 年の国勢調査パネルへの妥当性検証の枠組みを述べ，4.4 節にて (η, ν, α) の 推定結果を示す．なお，予算規模 τ・人口流動感応度 η の感度分析の結果は，シミュレーション結果の一部として第 5 章にまとめて示す．

4.1　ネットワーク

本研究が対象とする 46 都道府県トイ道路ネットワークの全体像を図 4.1 に示す．

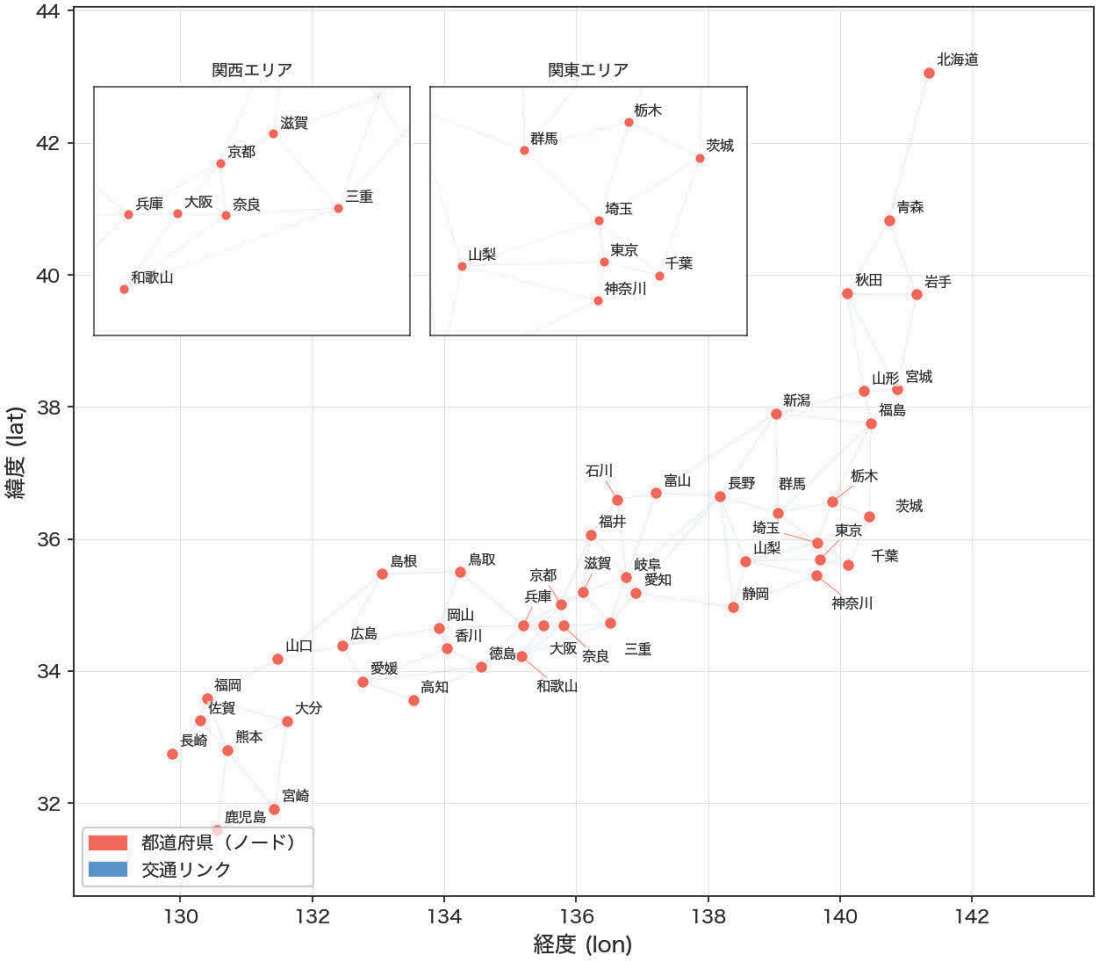


図 4.1　46 都道府県トイ道路ネットワーク

4.1.1　ノード集合

46 都道府県（沖縄県を除く）をノードとする．総ノード数は $|V| = 46$ である．各ノード i の位置は県庁所在地の緯度経度とする．本研究で報告するシミュレーション結果はいずれも 1920 年の観測人口を初期値 $p_{i,0} = p^{\mathrm{obs}}_{i,1920}$ として開始しており，初期総人口は約 5,540 万人である．初期人口データは，1920–2020 年の 5 年刻み 21 時点（国勢調査・現住人口）の都道府県別パネルから取得する．沖縄を除外する理由は，現行のリンク網が陸上隣接関係に基づくためである．

4.1.2　リンク集合

陸上で隣接する県ペアを無向リンクとし，青函トンネル・関門トンネル・本四連絡橋など固定道路施設で結ばれるペアを含める．総リンク数は $|\mathcal{L}| = 89$ である．各リンクは陸上隣接関係に基づき作成した．各リンクの主要属性は以下の通りである（表 4.1）．

表 4.1　リンクの主要属性

記号	定義
d_a	県庁所在地間の大円距離（緯度経度から算出）
$s_{a,0}$	期 0 のサービス水準（全リンク 0.45 で一様初期化）
$s_{\min}$	サービス水準の下限（撤退時の到達点）0.10
$s_{\max}$	サービス水準の上限（投資の上限）5.00
cap_a^{base}	8,000 vehicles/h
$t_a^{0,base}$	60 km/h 走行時の旅行時間
$\bar{m}_a$	維持費係数（$0.05 \times d_a$ [km]）
C_a^{lane}	1 単位 Δs 投資の費用（$160 \times d_a$ [km]）

本研究のモデルでは，容量と自由流時間をサービス水準で内生化する：

$$\mathrm{cap}_{a,t} = \mathrm{cap}_a^{base} \cdot s_{a,t}, \qquad t^0_{a,t} = \frac{t_a^{0,base}}{s_{a,t}} \tag{19}$$

サービス水準 $s_{a,t}$ が低いリンクは「容量が小さく自由流時間も長い」状態として表現される．$s_{\max} = 5.00$ は，初期容量 8,000 vehicles/h を上限で 40,000 vehicles/h まで投資で拡張可能であることを意味する（高速道路の多車線化・バイパス建設に相当）．

4.1.3　トポロジ的特徴

全 46 県の接続次数（隣接県の数）の分布を表 4.2 に示す．次数の平均次数は約 3.9，最頻値は 4 である．

表 4.2　全 46 県の接続次数分布

次数	県数	県名
1	2	北海道，長崎
2	2	高知，鹿児島
3	13	青森，岩手，千葉，神奈川，石川，和歌山，鳥取，島根，山口，香川，佐賀，大分，宮崎
4	18	宮城，秋田，山形，茨城，栃木，東京，富山，福井，静岡，愛知，滋賀，大阪，奈良，岡山，広島，徳島，愛媛，福岡
5	7	群馬，新潟，山梨，三重，京都，兵庫，熊本
6	2	福島，埼玉
7	2	長野，岐阜

次数 1 の北海道・長崎は単一接続による構造的不利を，次数 2 の高知・鹿児島は半島・離島近接県の特徴を有する．他方，次数 7 の長野・岐阜，次数 6 の福島・埼玉は内陸の県であることから多くの県と隣接する．

4.1.4　ネットワーク構築上の仮定

以下の仮定のもとネットワークを構築した．

- 道路のみ：鉄道・航空などの公共交通モードは今回の解析では考慮しない．
- 県内移動の捨象：県境間移動のみを OD 需要として計上する．
- 時不変リンク集合：$\mathcal{L}_t = \mathcal{L}$，すなわち，リンク数は固定で，サービス水準のみが変化する．
- 大円距離の使用：都道府県間を結ぶ道路は直線と仮定する．

これらは「制度差の比較」という主目的に対しては中立な単純化であり，中央集権型と地方分権型の比較分析に支障はない．ただし，実証データへのフィット（精度）を上げるには，今後，これらの単純化を緩める必要がある．

4.2　パラメータの設定

パラメータの値と設定基準を表 4.3 に示す．

表 4.3　パラメータ値

記号	定義	値	設定基準
実データから推定			
$\hat{\eta}$	人口流動感応度（再分配速度，1 年スケール）	59.72	推定値（4.4 節参照）
$\hat{\nu}$	目的地集積感応度	5.53	推定値（4.4 節参照）
$\hat{\alpha}$	距離・時間費用の共通スケール（$=\lambda=\theta$）	0.0653	推定値（4.4 節参照）
著者設定			
μ	1 人あたり発生トリップ率	5×10^{-4}	
ϕ	経路選択ロジット感度	0.05	代替経路間の置換性確保
α,β	BPR 関数パラメータ	0.15, 4.0	標準的に使用される値を採用
投資・維持費・撤退			
C_a^{lane}	リンク建設・改良コスト	距離比例（10K–50K ／リンク）	リンク長に比例（$160\times d_a$）
$\bar{m}_a$	リンク維持費係数	5.0（全リンク一律）	$M_t=\sum_a \bar{m}_a s_{a,t}$
σ_{cost}	費用単位スケール	1.0	B/C 絶対水準調整
v_T	時間価値	1.0	B/C 絶対水準調整
構造パラメータ			
p_{floor}	人口下限（floor 機構）	100,000 人	周辺県の負発散防止
$s_{\min}, s_{\max}$	サービス水準下限・上限	0.10, 5.00	撤退時下限・投資上限
Δs	1 投資単位	0.05	扱いを簡便にするために投資単位を離散化
$s_{a,0}$	初期サービス水準	全リンク 0.45	一様初期化
税収・予算・動学設定			
τ	1 人あたり実効税収	$[2.5,\ 15]\times10^{-6}$	感度分析を通じて頑健性を確認（5.1.2 項）
R_0	初期繰越額	0	期 0 で使い切り
N	期数	主分析 100（短期 20）	シナリオ別
$K_{\max}$	期あたり最大採択数	200	予算と B/C >1 のみが採択を制約.

本表のうち 3 つの推定パラメータ $(\hat{\eta},\hat{\nu},\hat{\alpha})$ について，妥当性検証の枠組みを 4.3 節にて，推定結果を 4.4 節にて詳述する．

4.3　妥当性検証

4.3.1　データと初期条件

妥当性検証の対象は 1920–2020 年の国勢調査による 46 都道府県人口（5 年刻み 21 時点）である．シミュレーションは 1920 年の観測人口を初期値 $p_{i,0}=p_{i,1920}^{\text{obs}}$ として開始する．1920 年から開始することで，5 年刻みの 21 時点すべてで真の人口が既知となり，各時点での予測精度を細かく検証できる．

4.3.2　推定枠組みの概要

観測総人口は 1920 年 5,540 万人から 2020 年 1 億 2,469 万人へと約 2.25 倍に増加するため，外生的に総人口をリスケーリングすることで，各期で予測総人口を観測総人口に合わせる．自然増減は外生入力として与え，推定対象は空間再分配のダイナミクスのみとなる．推定アルゴリズ

ムは Nelder–Mead 法（3 次元・微分不要の単体法）を用いる．具体的なロス関数の定義および推定対象パラメータの動学方程式上の役割は，4.4 節で詳述する．

なお，パラメータ推定はネットワークのサービス水準を初期状態に固定して行う．すなわち推定の各期では Acc 計算（SUE 配分）と人口更新のみを反復し，第 5 章で扱うインフラ投資・撤退（中央集権／地方分権シナリオ）は一切行わない．これは，移動・集積パラメータ (η, ν, α) を「固定ネットワーク上で観測された人口再分配」のみから同定し，意思決定制度（中央集権／地方分権）はあくまで反実仮想の処置として推定から分離する設計による．したがって本推定は特定の投資制度を前提としてチューニングしたものではなく，推定値 $(\hat{\eta}, \hat{\nu}, \hat{\alpha})$ は両制度の比較に対して中立である．

4.3.3 集積に関わるパラメータの役割分担

妥当性検証を通じて実観測の人口集中を再現するうえで，本モデル内では以下の 3 つのパラメータが集積メカニズムを規定する（表 4.4）．

表 4.4 集積に関わる 3 つのパラメータの役割

記号	名称	場所	役割
η	人口流動感応度	人口更新	Acc の差異が人口移動に及ぼす影響の程度を規定．大きいほど早く人口の再分配が進む．
ν	集積感応度	OD 需要・Acc 計算	人口が目的地選択行動に及ぼす影響の程度を規定．$\nu > 1$ で大規模県の魅力度が累乗的に増える．
α	時間費用感応度	OD 需要・Acc 計算	時間費用が目的地選択行動に及ぼす影響の程度を規定．大きいほど近隣との OD 需要が大きくなる．

ν は経済地理学の集積の経済に対応するパラメータであり，人口が大きい場所ほど追加的な集中圧力を生む構造を表現する．また，OD ロジット選択の距離抵抗 λ とアクセシビリティの時間費用感応度 θ を共通スケール $\alpha(= \lambda = \theta)$ に統一し，α を推定する．

4.4 パラメータ (η, ν, α) のジョイント推定

4.4.1 推定対象とアルゴリズム

推定は 1920–2020 年の都道府県別人口パネル（5 年刻み 21 時点）に対するシェアベースの平方平均誤差最小化で行う：

$$L(\eta, \nu, \alpha) = \sqrt{\frac{1}{(T-1)\cdot V} \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i \in V} \left(\pi_{i,t}^{\mathrm{pred}}(\eta, \nu, \alpha) - \pi_{i,t}^{\mathrm{obs}} \right)^2} \tag{20}$$

ここで $\pi_{i,t} = p_{i,t} \big/ \sum_{j \in V} p_{j,t}$ は県 i の期 t における人口シェアであり，$\pi_{i,t}^{\mathrm{pred}}$ はモデル予測値，$\pi_{i,t}^{\mathrm{obs}}$ は観測値を表す．$T = 21$，$V = 46$ であり，$t = 0$（1920 年）は初期条件として観測値と一致するため和から除外する．観測総人口は 1920 年 5,540 万人から 2020 年 1 億 2,469 万人へと約 2.25 倍に増加するため，外生的に総人口をリスケールし，自然増減を排除する．推定対象は空間再分配のダイナミクスのみとなる．推定には Nelder–Mead 法を用いる．

なお，反実仮想シミュレーション（第 5 章）は 1 期 = 1 年で実行されるため，推定もこれと時間スケールを揃え 1 年刻みで行う．具体的には，内部で 100 サブステップ（1 年刻み）の動学を回し，5 サブステップ毎（5 年毎）にサンプリングした予測値を 21 時点の観測パネルと照合する．これにより推定値 $(\hat{\eta}, \hat{\nu}, \hat{\alpha})$ と反実仮想シミュレーションのパラメータは同一の時間単位（per year）で解釈できる．

4.4.2 推定結果

(η, ν, α) の 3 次元ジョイント推定の結果，$(\hat{\eta}, \hat{\nu}, \hat{\alpha}) = (59.72,\ 5.53,\ 0.0653)$ を得た．この推定値の下で，1920–2020 年の人口シェアパネル（21 時点）に対する RMSE は 0.00870 であり，人口流動を考慮しないベースライン（$\eta = 0$，アクセシビリティ勾配による再分配なし，RMSE = 0.00946）と比較して 8.01% 改善した．

推定値の含意は次の通りである．$\hat{\nu} = 5.53$ は $\nu = 1$（人口比例）を大きく超えており，目的地選択において大規模県の魅力度が累乗的に増す集積効果が，実観測の人口集中パターンから支持された．$\hat{\eta} \approx 60$ はアクセシビリティの差異が人口移動への感応度に及ぼす影響を規定するパラメータであり，第 5 章の感度分析で中央集権・地方分権の制度比較の基準値として用いる．

4.4.3 損失曲面の単峰性確認

ジョイント最適化の挙動を確認するため，推定値 $(\hat{\eta}, \hat{\nu}, \hat{\alpha})$ のうち 2 つを推定値に固定し，残り 1 つを 1 次元グリッドで掃いた損失曲面を図 4.2（η）・図 4.3（ν）に示す．

η の損失曲面（図 4.2）は $\eta \in [0, 160]$ で明瞭な単峰構造を示し，$\eta \approx 60$ に内点最小をとる．グリッド最小は推定値 $\hat{\eta} = 59.72$ と整合する．η を最適値から離すと RMSE は両側で増加し（$\eta = 0$ で 0.00946，$\eta = 160$ で 0.01233），η は良く同定されている．

ν の損失曲面（図 4.3）は ν の増加とともに単調に減少し，$\nu \approx 5.4$ 付近で最小をとった後ほぼ

平坦になる．グリッド最小は推定値 $\hat{\nu} = 5.53$ と整合する．ただし $\nu \gtrsim 4.5$ の領域では損失曲面が浅く（$\nu = 4.75$ と $\nu = 6.0$ の RMSE 差は 10^{-5} オーダー），ν の同定はやや弱い．これは強い集積（ν 大）の効果が渋滞ペナルティで打ち消され，一定以上の ν では予測シェアがほとんど変わらないことに起因すると考えられる．

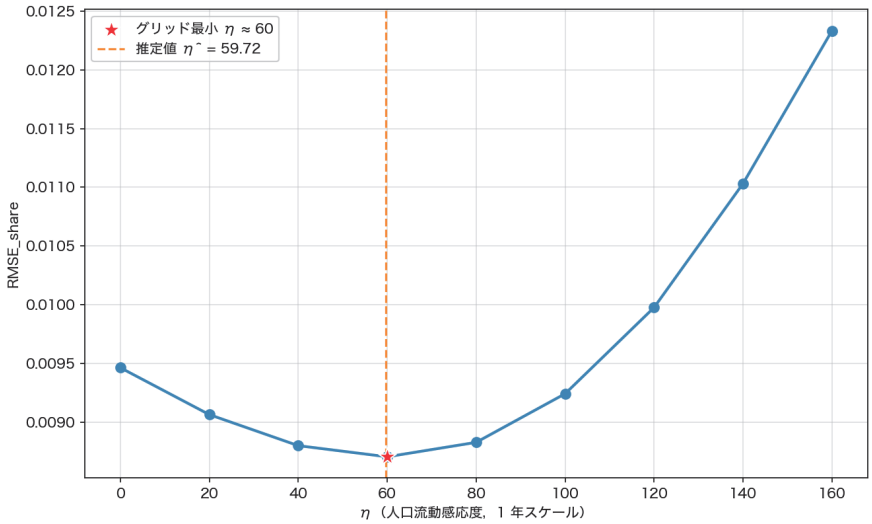


図 4.2　η 損失曲面（ν・α は推定値に固定）

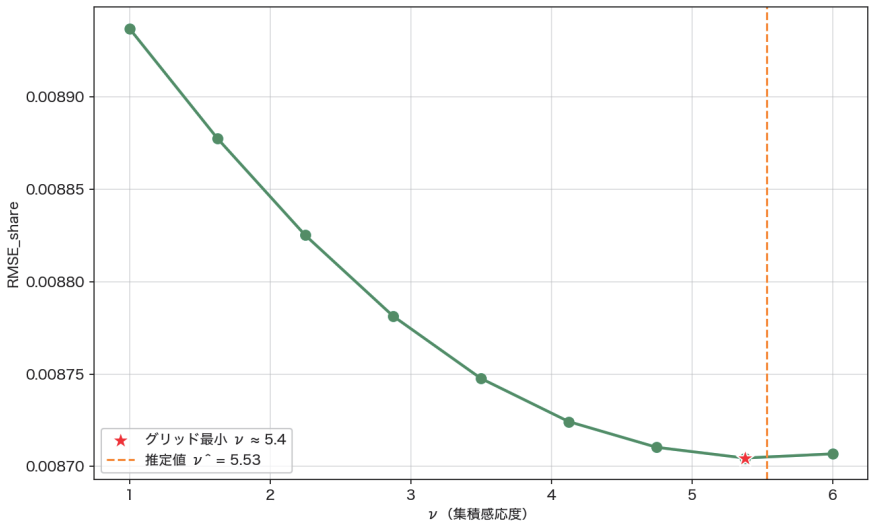


図 4.3　ν 損失曲面（η・α は推定値に固定）

第5章　シミュレーション結果

本章では，第 3 章で定式化した動学シミュレーションモデルと第 4 章で設定したパラメータに基づく計算結果を提示し，シミュレーション結果から得られる主要な知見について考察する．46 都道府県のトイ道路ネットワーク上で中央集権型（CB）と地方分権型（DB）の制度比較を，予算規模・シミュレーション期間・人口流動感応度の各値について 100 期（1 期 = 1 年，1920–2020 年に相当）の動学シミュレーションで実施した．以降，効率性（5.1 節），空間的公平性（5.2 節），歴史データへの妥当性検証（5.3 節）の順に結果を述べる．

なお本章の結果はすべて本トイモデル（46 都道府県・道路のみ・$\hat{\nu} = 5.53$, $\hat{\eta} \approx 60$, $\hat{\alpha} = 0.0653$, 1920 年起点・100 期・総人口保存）を前提とした計算上の観察である．現実政策への適用にあたっては次章に整理する課題（公共交通モードの欠落，自然増減の捨象等）を考慮する必要がある．

5.1　効率性に着目した中央集権 vs 地方分権の制度比較

5.1.1　人口流動感応度・実効税収を変化させた際の制度比較

伝統的な政策議論では「中央集権か地方分権か」を二者択一で論じることが多いが，採用したシミュレーション枠組みの条件のもとでは，両者の優劣が複数の構造パラメータ（人口流動感応度 η，予算規模 τ，観察期間）に依存することが示唆された．表 5.1 に主要な知見を整理する．以下，予算規模 τ の影響を 5.1.2 項，評価期間の影響を 5.1.3 項，人口流動感応度 η の影響を 5.1.4 項 にて詳述する．

表 5.1 得られた主要な知見

条件	結論	メカニズム
低 η（人口流動弱，$\eta \lesssim 25$）＋任意の τ	CB > DB	集積が生じない条件下では，投資の効果を相殺する人口移動は発生しないことから，費用便益比の高い事業に優先投資できる CB が優位
中 η（$\eta \approx 50$–100）＋中庸予算（$\tau \approx 4 \times 10^{-6}$）	DB > CB（中差）	人口が再分配される程度に動くため，DB の 8 ブロック並列投資が各地方の Acc を底上げし大都市への集積を抑制する動学的フィードバックが働く．周辺ブロックの税源流出は穏やかで撤退損失が小さく，net 便益でも DB が優位（net DB/CB ≈ 1.3）
高 η（人口流動強，$\eta \gtrsim 200$）＋任意の τ	CB > DB（大差）	人口流出で周辺ブロックの税源が枯渇し，財政移転を持たない DB では周辺ブロックがインフラを撤退．撤退損失が投資便益を上回り DB の便益は崩落する（$\eta = 400$ で net 負）．CB は全国予算プールで周辺の維持を下支えする
強撤退予算（$\tau \lesssim 3 \times 10^{-6}$）＋任意の η	CB > DB（大差）	予算が維持費を賄えず大量撤退が発生．DB は各ブロックが自管轄リンクのみから撤退するため首都圏ブロックも高交通量リンクの撤退を迫られ，撤退損失が CB の数十倍に達する

5.1.2 予算規模 τ の影響

τ（1 人あたり実効税収）はモデル予算規模を決めるシナリオパラメータである．$\eta = 60$（推定値），$\nu = 5.53$ のもとで τ を 6 水準に振った感度分析を行った．主要な定量結果を表 5.2 に，撤退合計・採択合計・総便益（log 軸）・Acc CV・リンク平均 $s \cdot s_{\min}$ 到達リンク数の 6 指標を τ 軸（log）で中央集権（青）・地方分権（赤）について比較したものを図 5.1 に示す．

表 5.2 τ 感度の主要結果（推定値 $\eta = 60, \nu = 5.53$, 100 期累積, 便益の単位 $\times 10^8$）

τ	Y_{infra}	撤退 CB/DB	投資便益 CB/DB	撤退損失 CB/DB	net 便益 CB/DB
2.5×10^{-6}	138	36/41	1.89 / 1.47	0.12 / 6.09	1.78 / −4.62
3.0×10^{-6}	166	20/28	0.96 / 1.51	0.01 / 1.14	0.95 / 0.37
4.0×10^{-6}	222	0/13	1.93 / 2.65	0.00 / 0.17	1.93 / 2.48
5.0×10^{-6}	277	0/4	4.55 / 4.67	0.00 / 0.19	4.55 / 4.48
7.5×10^{-6}	415	0/0	8.36 / 8.02	0.00 / 0.00	8.36 / 8.02
1.5×10^{-5}	831	0/0	15.83 / 12.20	0.00 / 0.00	15.83 / 12.20

注）CB ＝中央集権型，DB ＝地方分権型．投資便益（gross）＝採択リンクの ΔW 累計，撤退損失＝撤退リンクの ΔW 累計，net 便益＝投資便益 − 撤退損失．

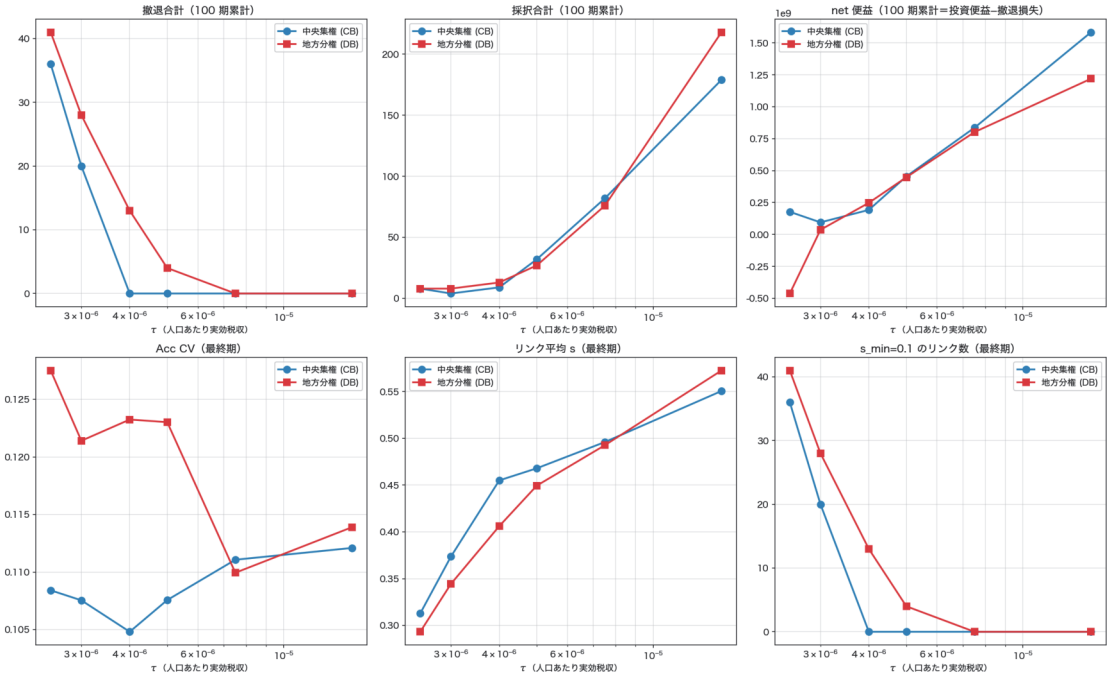


図 5.1　τ 感度分析（100 期，推定値 $\eta = 60$，$\nu = 5.53$，1920 起点）

主な知見は次のとおりである．第一に，撤退の発動領域が制度で異なる．中央集権では $\tau \leq 3 \times 10^{-6}$（全国で $Y_{\text{infra}} < M_{\text{init}}$）で撤退が発動し $\tau \geq 4 \times 10^{-6}$ で撤退ゼロとなるのに対し，地方分権では $\tau = 5 \times 10^{-6}$ でも一部ブロックが撤退する．これは地方分権では各ブロックが自前の予算で維持費を賄うため，首都圏ブロックに黒字があっても税源の細い周辺ブロックは独立に赤字となり撤退を迫られるためである．

第二に，地方分権が中央集権を net 便益で上回るのは $\tau = 4 \times 10^{-6}$ の一点のみであり（net DB/CB = 1.29），それ以外の予算水準では中央集権が優位かほぼ拮抗する（$\tau = 5$–7.5×10^{-6} で 0.96–0.99，$\tau = 1.5 \times 10^{-5}$ で 0.77）．

第三に，強撤退予算（$\tau \leq 3 \times 10^{-6}$）では地方分権の net 便益が著しく悪化し，$\tau = 2.5 \times 10^{-6}$ では net 便益が負（-4.62×10^{8}）にまで落ち込む．投資便益（gross）自体は両制度で同程度（CB 1.89 ／ DB 1.47，$\times 10^{8}$）だが，撤退損失が DB 6.09 ／ CB 0.12（$\times 10^{8}$）と約 50 倍の開きがある．これは撤退対象を選べる範囲の差による．中央集権は全国一括で社会的損失が最小のリンクから順に撤退できるのに対し，地方分権では各ブロックが自管轄リンクのみから撤退することになる．強い緊縮下では「全国一括での撤退対象の最適選別」という中央集権の利点が顕在化する．

すなわち地方分権の net 便益上の優位は $\tau = 4 \times 10^{-6}$ という限られた中間予算でのみ現れ，予算を絞っても緩めても消失する．予算を絞る側では周辺ブロックの財政破綻に伴う撤退損失で net 便益が大きく毀損し，予算を緩める側では中央集権の集中投資が分権の分散投資をやや上回る．τ の影響は，次節の評価期間および 5.1.4 項 の人口流動感応度 η の影響と併せて理解する必要がある．

5.1.3　評価期間の影響

20 期・50 期・100 期で同一パラメータの下でも結論が変化するという結果が得られた．これは，政策的に重要な含意を持つ．表 5.3 に，推定値 $\hat{\eta} \approx 60$（1 年スケール）の下で評価期間別の中央集権・地方分権の優劣を整理する．

表 5.3　評価期間別 CB / DB 優劣

τ	期数	net 便益（CB / DB）	比 DB/CB	結論
4×10^{-6}	20	2.86e7 / 1.96e7	0.69	CB > DB（CB 1.46 倍）
4×10^{-6}	50	9.78e7 / 1.08e8	1.11	DB > CB（DB 1.11 倍）
4×10^{-6}	100	1.93e8 / 2.48e8	1.29	DB > CB（DB 1.29 倍）
5×10^{-6}	20	1.39e8 / 1.06e8	0.77	CB > DB（CB 1.31 倍）
5×10^{-6}	50	2.80e8 / 2.16e8	0.77	CB > DB（CB 1.29 倍）
5×10^{-6}	100	4.55e8 / 4.48e8	0.99	ほぼ拮抗（僅かに CB）

注）net 便益＝投資便益 − 撤退損失（表 5.2 の定義）．

メカニズムの解釈は次の通りである．短期（20 期）では，中央集権は首都圏トップリンク（東京-神奈川，東京-埼玉，大阪-兵庫等）を最優先で確保し，初期アクセシビリティ改善で勝つ（CB が $\tau = 4 \times 10^{-6}$ で 1.46 倍，$\tau = 5 \times 10^{-6}$ で 1.31 倍）．中期以降の挙動は予算規模で分岐する．$\tau = 4 \times 10^{-6}$ では 50 期で地方分権が net 便益で逆転し（net DB/CB = 1.11），100 期で 1.29 倍に達する．これは中央集権の大都市への集中投資が B/C 逓減を起こす一方，地方分権がブロック内の次善リンクを改善する効果による．逆転点は $t \approx 39$ で生じる．他方 $\tau = 5 \times 10^{-6}$ では 100 期を通じて地方分権が中央集権を上回らず（net DB/CB は 20→50→100 期で 0.77→0.77→0.99），逆転は起こらない．予算が潤沢になると中央集権であっても地方への投資が可能になるため，上述した地方のリンクを改善する効果が中央集権下においても生じ，結果的に地方分権が中央集権に追いつけないまま 100 期に至る．すなわち「短期は CB，長期は DB」という現象は普遍的な現象ではなく，予算が中庸（$\tau = 4 \times 10^{-6}$）の場合に限って観察される条件付きの現象である．図 5.2 に累積 net 便益の時間推移を示す．

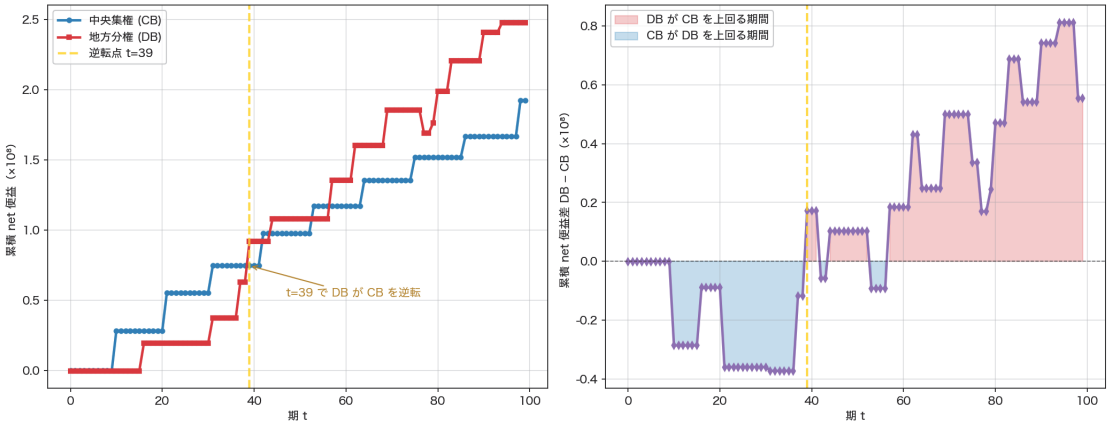


図 5.2　100 期の累積 net 便益の時間推移（$\tau = 4 \times 10^{-6}$, 推定値 $\eta = 60, \nu = 5.53$）

左パネルは中央集権（青）と地方分権（赤）の累積 net 便益の時間推移を，右パネルは地方分権から中央集権を引いた累積差分（赤陰影は地方分権優位・青陰影は中央集権優位）を示す．推定値 $\hat{\eta} \approx 60$，中庸予算 $\tau = 4 \times 10^{-6}$ の下では，$t \approx 39$ で地方分権が中央集権を net 便益で逆転し，100 期末で DB が 1.29 倍となる．予算が潤沢な $\tau = 5 \times 10^{-6}$ では 100 期を通じて逆転は起こらず，地方分権は中央集権に追いつかない（100 期末で net DB/CB $= 0.99$）．

現在の費用便益分析に基づく投資判断は，社会的割引率により短期的な便益をより重視する傾向にあり，分権構造がもたらす長期の影響はほとんど無視される評価枠組みとなっている．こうした評価構造が，長期視点から見て非効率な集権的振る舞いを生む構造的要因になっている可能性を示唆する結果といえる．言い換えると，政策評価の評価期間を長期に取る制度設計が，分権寄りの投資選択をもたらしうる．逆に，短期の成果を重視する評価枠組みでは，長期視点から逸脱した集権的振る舞いが選好されつづける可能性がある．

5.1.4　人口流動感応度 η の影響

η 感度分析として，$\eta \in \{0, 25, 50, 60, 100, 200, 400\}$ と $\tau \in \{4 \times 10^{-6}, 5 \times 10^{-6}\}$ の組み合わせ 14 通りの 100 期シミュレーションを実施した．結果の概観を図 5.3 に，100 期累積 net 便益比 DB/CB を表 5.4 に示す．

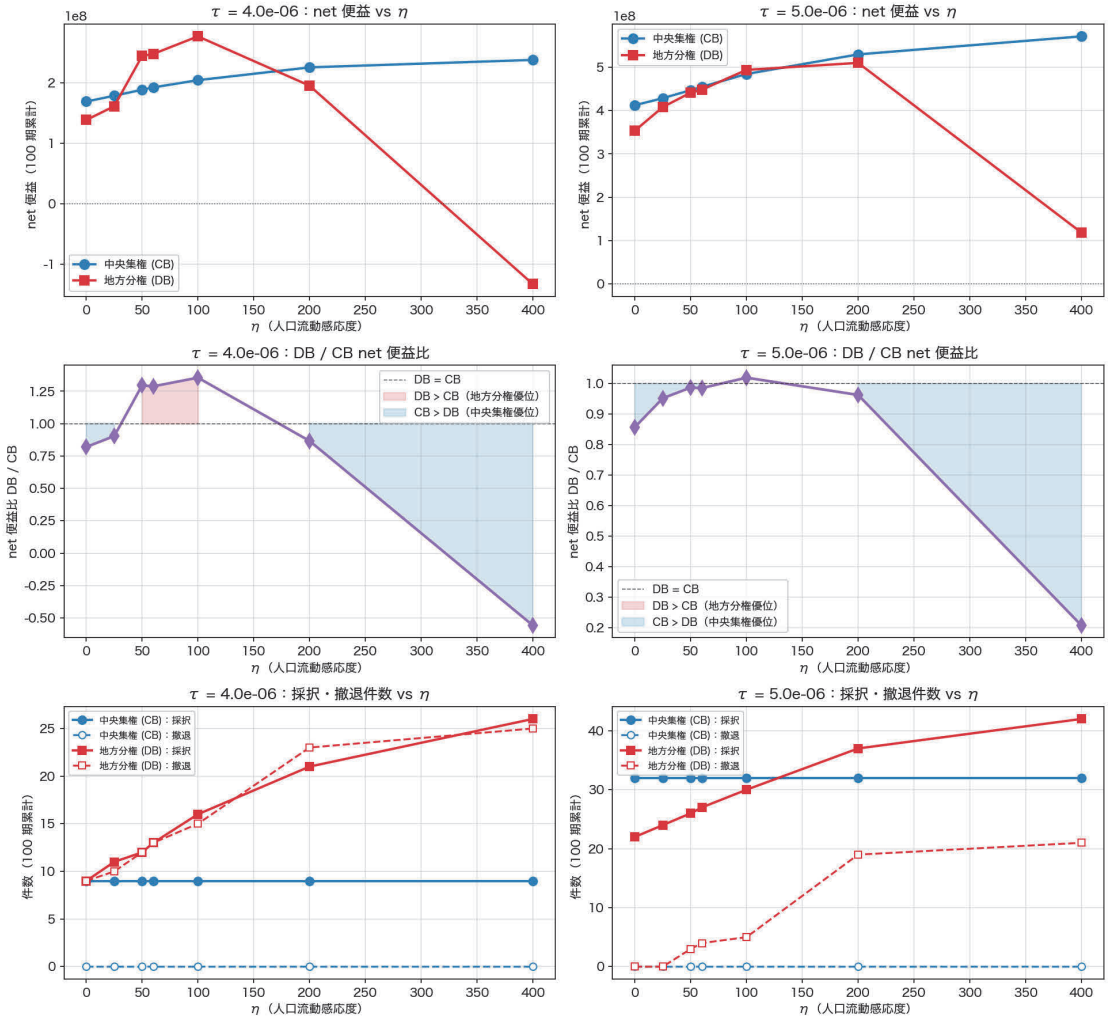


図 5.3　η 感度分析（100 期，1920 年起点，$\nu = 5.53$，$\tau = 4 \times 10^{-6}$ と 5×10^{-6}）

表 5.4　$\eta \times \tau$ 別の net 便益比 DB/CB（100 期累積，$\nu = 5.53$，$K_{\max} = 200$）

η	$\tau = 4 \times 10^{-6}$	$\tau = 5 \times 10^{-6}$	結論
0	0.82	0.86	CB 優位（人口流動なし）
25	0.90	0.95	CB やや優位
50	1.30	0.99	$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で DB へ反転
60	1.29	0.99	推定値．$\tau = 5 \times 10^{-6}$ で拮抗
100	1.35	1.02	DB 優位のピーク帯
200	0.87	0.96	CB 優位（DB が失速）
400	−0.56	0.21	DB 崩落（$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で net 負）

注）CB ＝中央集権型，DB ＝地方分権型．値は 100 期累積 net 便益（投資便益 − 撤退損失）の比 DB/CB で，1 を上回ると地方分権型が優位．負値は DB の net 便益が負（撤退損失が投資便益を上回る）ことを示す．

図 5.3 の上段は中央集権・地方分権の 100 期累積 net 便益，中段は net 便益比 DB/CB，下段は採択件数と撤退件数を η 軸で示す．中段が本節の中心的発見を表す：net 便益比 DB/CB は η に対して単調ではなく，中程度の η（50–100）で 1 を超えてピークをとり，その両側で 1 を下回

るハンプ（山）型を描く．表 5.4 の通り，$\tau = 4 \times 10^{-6}$ では $\eta = 0$ の 0.82 から $\eta = 100$ の 1.35 まで上昇した後，$\eta = 200$ で 0.87，$\eta = 400$ で -0.56 へと急落する．$\tau = 5 \times 10^{-6}$ でも $\eta = 100$ の 1.02 をピークに $\eta = 400$ で 0.21 まで落ちる．すなわち地方分権が中央集権を net 便益で上回るのは中程度の η に限られ，人口流動がそれより弱くても強くても中央集権が優位となる．

図 5.3 下段の採択・撤退件数の読み方には注意を要する．中央集権の採択件数は η によらず一定（$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で 9 件）で撤退はゼロである．これは中央集権の予算が毎期 $\tau \times \Sigma p$ であり，総人口保存ゆえ η に依存しないためである．一方，地方分権の採択件数は η とともに増える（$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で 9 件から 26 件へ）が，これは投資先の拡大を意味しない：投資した異なるリンクの数は η によらず 4–5 本で一定であり，増加分は少数の首都圏リンクへの積み増しと，投資による維持費増 → 赤字 → 撤退 → 再投資 という行動による．地方分権では採択件数とほぼ同数の撤退件数が η とともに増える（$\eta = 400$ で採択 26・撤退 25）ことが，この現象を直接示している．採択件数の増加は活発な国土整備ではなく，全国プールを持たない地方分権が人口集中（高 η）の下で首都圏ブロックに予算を偏在させ，周辺では撤退を繰り返す帰結である．

高 η で地方分権が崩落するメカニズムは，撤退（サービス水準の引き下げ）を陽に組み込むことで顕在化する．中央集権では全国一括の予算プールが赤字を吸収するのに対し，地方分権では各ブロックが自前の予算で維持費を賄い，赤字に陥ったブロックは自管轄リンクを $s_{\min}$ まで撤退させて収支を均衡させる．η がもたらす影響は次の 3 つに整理できる：

- 低 η（$\eta \lesssim 25$）：人口がほとんど動かないため，分散投資が人口分布に与える動学的フィードバックが働かない．費用便益比の高い大都市リンクへ集中投資できる中央集権が単純に効率的である（net DB/CB = 0.82–0.95）．
- 中 η（$\eta \approx 50$–100）：人口が再分配される程度に動くため，地方分権の 8 ブロック並列投資が各地方の中継リンクのアクセシビリティを底上げする効果が顕在化する．かつ周辺ブロックの税源流出はまだ穏やかで撤退損失が小さい（$\eta = 100$，$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で撤退損失は 0.30×10^8）ため，net 便益でも DB が CB を上回る．地方分権の優位はこの帯域に限られる．
- 高 η（$\eta \gtrsim 200$）：人口流出が急速で周辺ブロックの予算（人口）が枯渇し，自前では維持費すら賄えなくなる．地方分権では中央からの財政移転がないため，周辺ブロックは自管轄リンクを撤退させるしかない．撤退損失は η とともに急増し（$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で $\eta = 100$:0.30，$\eta = 200$:2.07，$\eta = 400$:6.13，いずれも $\times 10^8$），$\eta = 400$ では投資便益（gross 4.80×10^8）を上回って net 便益が負（-1.33×10^8）に転じる．中央集権は全国一括の予算プールにより首都圏の黒字で周辺の維持費を賄えるため，同条件でも撤退はゼロである．

なお，実データを使用した推定値は 2 番目に該当することから，今回の解析条件においては「中庸の予算（$\tau = 4 \times 10^{-6}$）で長期評価すれば DB がやや上回るが，予算が潤沢なら拮抗」ということが示唆された．

η の影響を明らかにするため，「人口流動が無い社会」「推定値相当の社会」「集積が強い社会」「集積が暴走する社会」の 4 つを評価期間別に対比したのが表 5.5 である．

表 5.5　η 別の評価期間 × net 便益比 DB/CB（$\nu = 5.53$

η	τ（$\times 10^{-6}$）	20 期	50 期	100 期	解釈
0	4	0.68	0.66	0.82	人口がほぼ動かず分散投資の効果が働かない．評価期間によらず CB が優位．
0	5	0.55	0.71	0.86	
60	4	0.69	1.11	1.29	推定値相当．短期は CB．$\tau = 4$ では 50 期で DB が逆転し 100 期 1.29 倍．$\tau = 5$ では 100 期でも僅かに CB（0.99）．
60	5	0.77	0.77	0.99	
200	4	0.70	1.17	0.87	DB が中期に一時先行するが，後半に周辺撤退が累積し 100 期で CB に再逆転（DB の優位が定着しない）．
200	5	0.55	0.97	0.96	
400	4	0.97	0.47	−0.56	集積暴走．DB の net 便益は時間とともに悪化し，$\tau = 4$ では 100 期で負に転じる（周辺財政の破綻）．
400	5	0.69	0.83	0.21	

注）各セルは当該期数までの累積 net 便益の比 DB/CB．1 超で DB 優位，負値は DB の net 便益が負．

表 5.5 からは，制度の優劣が η と評価期間の双方に依存することが読み取れる．$\eta = 0$ ではどの評価期間でも CB が優位（net DB/CB = 0.55–0.86）で，長期化しても逆転しない．推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ では短期（20 期）は CB 優位だが，$\tau = 4 \times 10^{-6}$ では 50 期で DB が逆転し 100 期で 1.29 倍に至る（$\tau = 5 \times 10^{-6}$ では 100 期でも 0.99 と僅かに CB）．$\eta = 200$ では DB が中期（50 期）に一時 1.17 倍まで先行するが，後半に周辺撤退が累積して 100 期では 0.87 へ失速し，DB の優位は定着しない．$\eta = 400$ では DB の net 便益が時間とともに悪化し，$\tau = 4 \times 10^{-6}$ では 100 期で負に転じる．

まとめると，地方分権は「各地方が自律的に投資を判断する自由」を与えるが，同時に「各地方が自前で財源を確保する責任」を課す制度である．人口流動が中程度の社会（中 η レジーム）では前者の利点―地域ニーズに即した分散投資―が後者の負担を上回るが，人口流動が強い社会（高 η レジーム）では人口流出により周辺の財源が枯渇し，後者が機能不全に陥る．高 η 下で地方分権が崩落するのは，分権が財政基盤の地域間格差を均す仕組み（中央から周辺への財政移転）を内蔵しないという本質的な弱点が顕在化した結果である．

なお，歴史的な人口流動感応度は時代によって変化しうる．戦後高度成長期（1955–1975 年）は地域間移動が活発で，η は本研究の推定値（1920–2020 全期間平均）より高かった可能性がある．本モデルに従えば，移動性が極端に高い局面では地方の自前財源が枯渇しやすく，地方の維持・整備を地方財源のみに委ねる純粋な地方分権はむしろ機能しにくい――逆に，全国一括での

財源配分（中央集権的整備，あるいは中央から地方への財政移転）が周辺インフラの維持に寄与する可能性があることが示唆された．

5.1.5　初期人口の設定が結果に及ぼす影響

本研究の主要結果は，シミュレーションの初期人口を 1920 年の観測値とした場合に得られたものである．これを 2020 年の観測値を初期値として再実行したところ，CB と DB の累積便益比は 推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ の下でほぼ同等となった（表 5.6）．

表 5.6　初期人口の年次が制度比較結果に与える影響（推定値 $\eta = 60$, $\nu = 5.53$, $\alpha = 0.0653$, $\tau = 5 \times 10^{-6}$, 100 期）

起点	初期総人口	CB net 便益	DB net 便益	net DB/CB	採択件数 CB/DB
1920 年	55.4 M	4.55×10^8	4.48×10^8	0.99	32 / 27
2020 年	124.7 M	9.36×10^9	9.12×10^9	0.97	150 / 154

推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ かつ $\tau = 5 \times 10^{-6}$ の下では，初期人口を 1920 年（拡張余地大・低密度）にとっても 2020 年（既に高密度・混雑あり）にとっても，net DB/CB はほぼ同じ（0.97–0.99 の拮抗，いずれも僅かに中央集権が優位）となる．初期 v/c の違いが制度差に与える影響は，現代日本相当の条件下では小さい．ただし採択件数は 2020 起点で約 5 倍（CB: 32 → 150, DB: 27 → 154）に増え，混雑したネットワーク上では多くのリンクで投資の余地があることを示唆している．

混雑度の違い自体は両起点で大きく異なる（表 5.7）．2020 起点では，シミュレーション 1 期目の時点で首都圏路線が飽和している．東京-神奈川リンクの v/c は 2.47 に達し，BPR 関数 $t = t_0[1 + 0.15(v/c)^4]$ により旅行時間は自由流時の約 6 倍に膨れ上がる．大阪-兵庫，埼玉-東京なども v/c > 1.7 で同様の状態にある．これに対して 1920 起点では，最大 v/c=0.75（埼玉-東京）で v/c > 1 のリンクが無い．余裕のあるネットワークの上で，中央集権は首都圏トップリンクへの集中投資を，地方分権はブロック並列で各地方の中継リンクへの投資を，それぞれ独立に最適化される．

表 5.7　初期人口の違いが初期 v/c に与える影響（1 期目 SUE 配分結果，全リンク $s_{a,0} = 0.45$）

指標	1920 起点	2020 起点
総人口 $\sum p_{i,0}$	55.4 M	124.7 M（×2.25）
総 OD 需要 $\sum q_{ij,0}$	27,696	62,346（×2.25）
平均 v/c	0.098	0.232
中央値 v/c	0.046	0.092
最大 v/c	0.75（埼玉-東京）	2.47（東京-神奈川）
v/c > 1 のリンク数	0	5
v/c > 0.5 のリンク数	4	10
最も混雑するリンク群	埼玉-東京（v/c=0.75），大阪-兵庫（0.71），東京-神奈川（0.58），福岡-佐賀（0.55）	東京-神奈川（v/c=2.47），大阪-兵庫（1.89），埼玉-東京（1.79），岐阜-愛知（1.50），千葉-東京（1.24）

5.2　空間的公平性の評価

ここまでは累積便益（効率性）の観点から CB と DB を比較してきたが，ここではもう一つの評価軸である空間的公平性の観点から考察する．本節では，第 3 章で定義した 46 都道府県のゾーンアクセシビリティ $\mathrm{Acc}_{i,t}$ の県間ばらつきを変動係数（coefficient of variation，CV）

$$\mathrm{CV}_t \;=\; \frac{1}{\overline{\mathrm{Acc}_t}}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\bigl(\mathrm{Acc}_{i,t}-\overline{\mathrm{Acc}_t}\bigr)^2}, \qquad \overline{\mathrm{Acc}_t}=\frac{1}{N}\sum_{i}\mathrm{Acc}_{i,t}, \quad N=46$$

で測り（以下「Acc CV」），制度間で空間的格差がどう推移するかを検討する．Acc CV は 0 に近いほど 46 県のアクセシビリティが均等で，値が大きいほど特定の県に偏ることを意味する．

5.2.1　予算規模 τ 別の Acc CV

τ 感度分析（100 期，推定値 $\eta = 60$，$\nu = 5.53$，1920 起点，初期 Acc CV ≈ 0.073）における 100 期末の Acc CV を表 5.8 に示す．

表 5.8　τ 別の 100 期末 Acc CV（推定値 $\eta = 60$, $\nu = 5.53$, $\alpha = 0.0653$, $K_{\max} = 200$，1920 起点，初期 CV ≈ 0.073）

τ	CB CV	DB CV	差 DB−CB	解釈
2.5×10^{-6}	0.1084	0.1275	+0.0191	強撤退レジーム．DB は周辺ブロックの大量撤退で格差が大幅に拡大．
3.0×10^{-6}	0.1075	0.1214	+0.0139	撤退境界．DB の周辺撤退で格差拡大．
4.0×10^{-6}	0.1048	0.1232	+0.0184	中庸予算．両制度とも初期より格差拡大，DB の拡大がより大きい．
5.0×10^{-6}	0.1076	0.1230	+0.0154	潤沢予算下端．DB の周辺撤退で格差拡大．
7.5×10^{-6}	0.1111	0.1099	−0.0012	余剰予算．撤退ゼロで両制度ほぼ同等．
1.5×10^{-5}	0.1121	0.1139	+0.0018	過剰予算．制度差は小さい．

重要な観察は次の 3 点である．第一に，初期 Acc CV（≈ 0.073）と比べ，100 期末にはすべての τ で中央集権・地方分権ともに Acc CV が上昇する——中央集権は 0.105–0.112，地方分権は 0.110–0.128 であり，いずれの制度でも 100 年を通じてアクセシビリティ格差は拡大する．第二に，CB と DB の差は撤退の有無に強く規定される．DB が周辺ブロックの撤退を行う $\tau \leq 5 \times 10^{-6}$ では DB−CB が +0.014–+0.019 と無視できない大きさで DB の格差がより大きいのに対し，撤退がゼロとなる $\tau = 7.5 \times 10^{-6}$ では制度差がほぼ消失する（−0.0012）．第三に，DB の格差がより大きいのは，赤字に陥った周辺ブロックが自管轄リンクを $s_{\min}$ まで撤退させ，周辺県のアクセシビリティが低下することの直接の帰結である．効率性で見た $\tau = 4 \times 10^{-6}$ の DB 優位（net 便益 1.29 倍，表 5.3）は，空間的公平性の悪化（DB−CB = +0.0184）と引き換えに得られたものといえる．

5.2.2　人口流動感応度 η 別の Acc CV

η 感度分析（$\tau = 4 \times 10^{-6}$，5×10^{-6}，100 期，$\nu = 5.53$，1920 起点）における 100 期末の Acc CV を表 5.9 にまとめる．

表 5.9　η 別の 100 期末 Acc CV（$\nu = 5.53$, $\alpha = 0.0653$, $K_{\max} = 200$，1920 起点，初期 CV ≈ 0.073）

	$\tau = 4 \times 10^{-6}$			$\tau = 5 \times 10^{-6}$			
η	CB	DB	差	CB	DB	差	解釈
0	0.0749	0.0743	−0.0006	0.0769	0.0758	−0.0011	流動なし．格差は初期からほぼ不変で両制度同等．
25	0.0834	0.0830	−0.0004	0.0858	0.0849	−0.0009	低流動．格差拡大は小さく制度差も小さい．
50	0.1007	0.1111	+0.0104	0.1032	0.1031	−0.0001	境界帯．$\tau = 4$ で DB の撤退が始まり格差拡大．
60	0.1048	0.1232	+0.0184	0.1076	0.1230	+0.0154	推定値．DB が周辺撤退で格差拡大．
100	0.1102	0.1288	+0.0186	0.1129	0.1188	+0.0059	中流動．DB の格差拡大が顕著．
200	0.1196	0.1906	+0.0710	0.1232	0.1400	+0.0168	高流動．DB の周辺崩落で格差が大きく拡大．
400	0.1305	0.2246	+0.0941	0.1334	0.2256	+0.0922	集積暴走．DB の周辺崩落で格差が最も拡大．

主な発見は 3 点である．第一に，中央集権の Acc CV は η に対して単調に増加する（$\tau = 4\times10^{-6}$ で $\eta = 0, 25, 50, 60, 100, 200, 400$ に対し $0.075, 0.083, 0.101, 0.105, 0.110, 0.120, 0.131$）．人口流動が活発な社会ほど人口が中核へ集中し，周辺県のアクセシビリティが取り残されて格差が拡大する．人口がほとんど動かない $\eta = 0$ では Acc CV は初期値 0.073 近傍にとどまり，最も公平である．第二に，地方分権の Acc CV はおおむね $\eta \geq 50$ で中央集権を上回り，高 η ほど大きく拡大する（$\eta = 400$ では DB が 0.22 超）．推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ では，中央集権・地方分権ともに初期 0.073 より格差が拡大しており（CB 0.105，DB 0.123），道路インフラ整備によって格差が縮小するわけではない——制度差は格差拡大の度合いとして現れ，中央集権の方が拡大を抑える．第三に，制度間差 |DB−CB| は DB が周辺撤退を行う $\eta \gtrsim 50$ の帯域で顕在化し，$\tau = 4 \times 10^{-6}$ では $\eta = 50$ の +0.010 から $\eta = 400$ の +0.094 まで η とともに急拡大する．効率性のみならず空間的公平性においても制度差は明確であり，地方分権は周辺インフラの撤退を通じて格差を拡大する．ただし，人口流動がほとんどない $\eta \lesssim 25$ の帯域では DB の方がわずかに公平である（DB−CB $= -0.0004$–-0.0011）．

5.2.3　Acc CV の時系列推移

時間軸での Acc CV の推移を図 5.4 に示す．これは「制度差が時間軸でどこに現れるか」を直接可視化したものである．

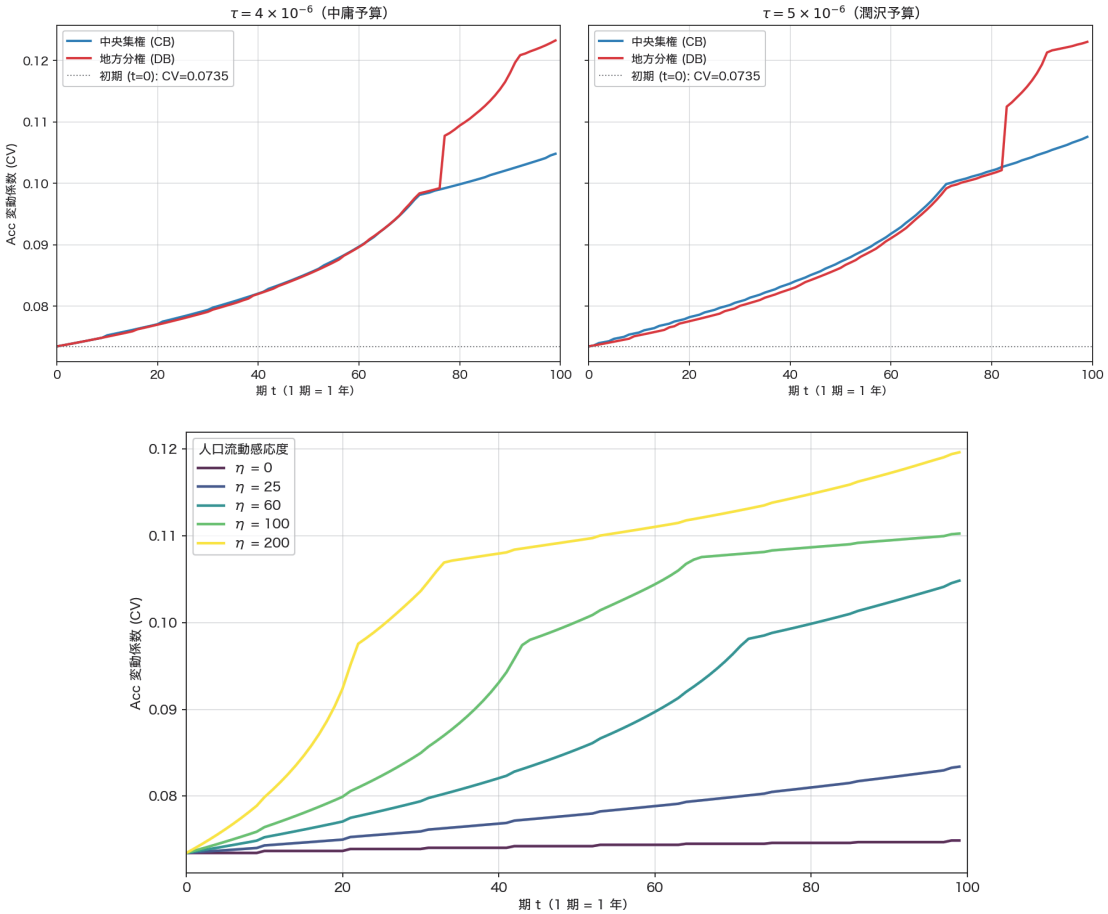


図 5.4　Acc CV の時系列（1920 起点，100 期，$\nu = 5.53$）．上：CB/DB の比較（$\tau = 4 \times 10^{-6}$・5×10^{-6}，推定値 $\eta = 60$）．下：η を変えた場合の中央集権の Acc CV 時系列（$\tau = 4 \times 10^{-6}$）

上段の図（$\tau = 4 \times 10^{-6}$，$\tau = 5 \times 10^{-6}$）から得られる結果は次の通りである．Acc CV は 1920 年（$t = 0$）の ≈ 0.073 から 100 期を通じて単調に上昇し，中央集権では 100 期末に 0.105（$\tau = 4 \times 10^{-6}$）／0.108（$\tau = 5 \times 10^{-6}$）に達する．アクセシビリティ格差は観察期間を通じて一貫して拡大しており，途中で公平化に転じる局面はない．この単調な格差拡大は，投資ではなく人口再配分の動学が生む現象である．その証拠が図 5.4 下段である：人口が動かない $\eta = 0$ では Acc CV はほぼ平坦（$0.073 \to 0.075$）にとどまり，η を大きくするほど上昇が急になる（100 期末で $\eta = 60$：0.105，$\eta = 100$：0.110，$\eta = 200$：0.120）．η が大きいほど人口の中核集中が速く進み，周辺県のアクセシビリティが取り残されて格差が拡大する．なお η が大きいほど曲線は早期に立ち上がり，かつ早期に増勢が鈍る（頭打ちになる）—これは，周辺県の人口が下限値（floor = 100,000 人）に達するとそれ以上の流出が止まり，格差拡大が一巡するためで，下限到達の時期は η にほぼ反比例する（$\eta = 200$ で $t \approx 22$，$\eta = 100$ で $t \approx 44$，$\eta = 60$ で $t \approx 72$）．いずれにせよ格差拡大は投資の時期とは独立であり（投資の採択は 100 期全体に分散しており，特定の期に地方投資が始まるという現象ではない），人口再配分の動学そのものに由来すると考えられる．

制度間の差は時系列の後半に現れる．CB と DB の Acc CV は $t \approx 70$ 頃までほぼ重なるが，

後半で DB が CB を上回って乖離する（$\tau = 4 \times 10^{-6}$ で 100 期末に CB 0.105 ／ DB 0.123）．これは，人口流出で赤字に陥った周辺ブロックが後半に自管轄リンクを撤退させ，周辺県のアクセシビリティを押し下げるためである（潤沢予算 $\tau = 5 \times 10^{-6}$ でも同様で，乖離の開始はさらに遅い）．

5.2.4　総括：効率性と公平性

以上の三つの分析（τ 感度・η 感度・時系列）から得られる本研究の主な知見は次の通りである．

表 5.10　中央集権 vs 地方分権の選択が効率性と公平性に及ぼす影響の比較

評価軸	効率性（累積 net 便益）	空間的公平性（Acc CV）
制度間差の規模	中 η・中庸予算で DB が CB の 1.3 倍，高 η では DB が CB を大きく下回り net 負にもなる	DB が撤退を行う領域で DB−CB > 0（推定値近傍で +0.018，高 η で +0.09 超），DB が一貫して格差を拡大
パラメータ依存性	η にハンプ型依存（中 η で DB 有利・高 η で崩落），τ・評価期間にも依存	DB の撤退が起きる η・τ の帯域で制度差が顕在化
時系列パターン	中庸予算で短期的には CB が優位，長期的には DB が優位	前半は両制度ほぼ一致，後半に DB が CB を上回って乖離

地方分権は効率性・公平性の両軸で中央集権と異なる挙動を示す．推定値 $\hat{\eta} \approx 60$，中庸予算 $\tau = 4 \times 10^{-6}$ の操作点では，地方分権は中央集権より効率的（net 便益 1.29 倍）である一方，空間的公平性は劣る（Acc CV が +0.018 高い）．すなわち地方分権の効率上の優位は，空間的公平性の悪化と引き換えに得られており，制度選択には現在の設定下においては効率性と公平性のトレードオフが現れる．

このトレードオフの根源は，地方分権が財政の地域間調整（中央から周辺への移転）を持たないことにあるといえる．地方分権では各ブロックが自前の予算で投資・維持を行うため，地域ニーズに即した分散投資（効率上の利点）と引き換えに，税源の細い周辺ブロックがインフラを撤退させる（公平性上の課題）．高 η ではこの難点が効率性をも侵食し，地方分権は両軸で中央集権に劣る．

政策含意としては，本トイモデル上では，地方分権の効率上の利点を空間的公平性の悪化なしに得るには，地方分権の枠組みに財政調整（赤字ブロックへの財政移転）を組み込む必要があるといえる．これは地方交付税等の仕組みを備えていることと対応する．また，空間的公平性そのものの改善には，制度選択（CB か DB か）に加えて，目的関数の修正―B/C 最大基準ではなくアクセシビリティ最小の県を優先する規範や，Acc CV を制約条件として課す規範―が有効でありうる．

5.3　歴史データへの妥当性検証

第 4 章で示した推定値 $(\hat{\eta}, \hat{\nu}, \hat{\alpha}) \approx (59.72, 5.53, 0.0653)$ により，1920 年から 2020 年の都道府県別人口パネルへのフィットは残差二乗平均で 8.01% 改善した．主要 10 県の絶対人口について観測値とモデル予測値を比較したものを図 5.5 に示す．外生総人口リスケールにより総量整合は保たれており，三大都市圏（東京・神奈川・埼玉）で過少予測，福岡・広島で良好なフィット，愛媛・島根で過大予測の傾向が読み取れる．

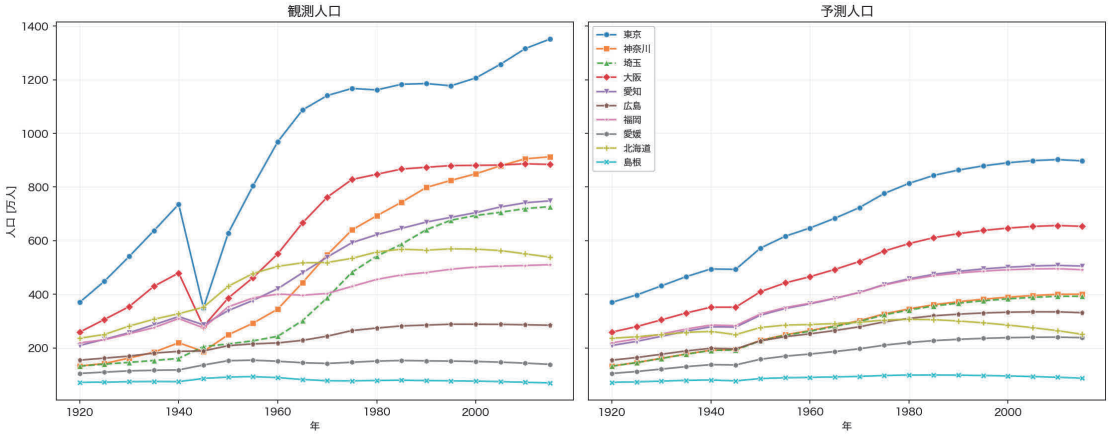


図 5.5　主要 10 県の絶対人口の観測 vs 予測

5.3.1　人口集積の再現性検証

本モデルが最も明確に示した限界は集積限界である．道路だけでは首都圏の人口集中を完全に再現できない．集積限界の数値証拠を 2015 年シェアで表 5.11 にまとめる．

表 5.11　集積限界の数値証拠（2015 年シェア）

県	観測シェア	予測シェア	乖離	解釈
東京	10.8%	7.1%	−3.7pt	首都圏トップ，道路だけで支えきれない部分
神奈川	7.3%	3.2%	−4.1pt	通勤需要，鉄道網依存度が極めて高い
埼玉	5.8%	3.1%	−2.7pt	首都圏ベッドタウン
大阪	7.0%	5.2%	−1.8pt	京阪神の中心
福岡	4.1%	4.0%	−0.1pt	道路網で十分支えられる規模
島根	0.55%	0.74%	+0.2pt	過大予測

これらの数値が意味することは次の通りである．第一に，現実の都市部では鉄道網が通勤・通学・業務交通の大半を吸収しており，道路だけで都市部の輸送量を捌くことは物理的に不可能である．第二に，集積に伴う混雑の外部不経済を，現実は公共交通という別モードで解消している．本モデルにはこの吸収機構がないため，ν を強めても道路の容量制約で集積が頭打ちになる．観

測の東京シェア 10.8% に対し予測 7.1% という乖離は，「公共交通など本モデルが捨象した要因の合算分」を示唆する量と解釈できる．

県別シェア乖離の状況を図 5.6 に示す．赤のバーはモデル過小予測（実態より人口が少ない），青のバーはモデル過大予測（実態より多い）を表す．神奈川 −4.1pt，東京 −3.7pt，埼玉 −2.7pt，大阪 −1.8pt と，人口上位 4 県すべてで系統的にモデルが過小予測する．一方，地方部では過大予測となる．乖離はランダムではなく構造的であり，県を観測人口で並べると左端（首都圏）が一様に赤（過小予測），右に向かうほど青（過大予測）へグラデーションになっている．これは「モデルが捉えられない集積メカニズム」が首都圏でのみ働いていることを示す．この問題を解決するための最有力の候補が鉄道網の考慮である．

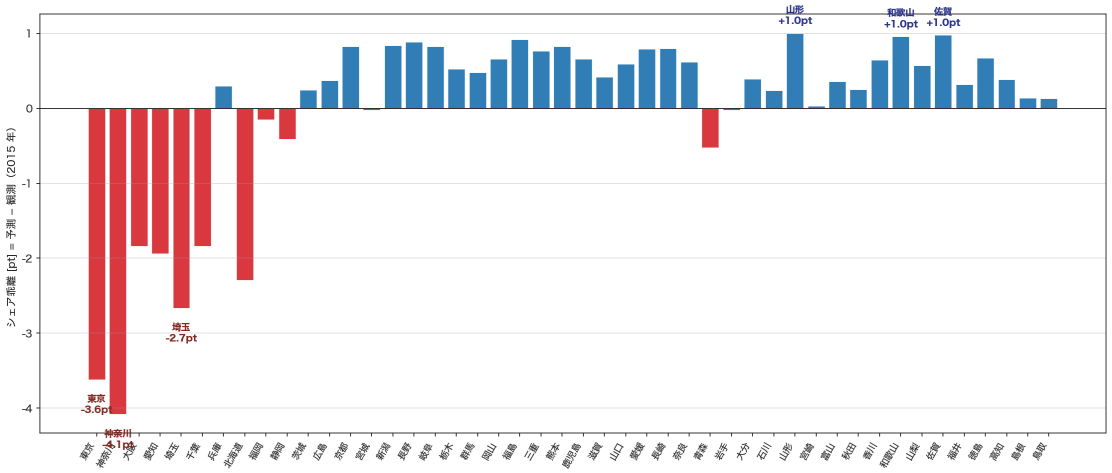


図 5.6　2015 年の県別シェア乖離（予測 − 観測，pt 単位，観測人口降順）

5.3.2　生成した人口分布，交通量，サービス水準の可視化

CB と DB が時間とともに地理的に何を変えるかを，人口分布・リンク交通量・容量利用率（v/c）・サービス水準 s・累積投資量 Δs の 5 側面で可視化する．モデル時間と暦年の対応は 1 期 = 1 年（第 3 章で記述）であり，100 期 = 100 年（1920–2020 年）に相当する．以下では報告書上の見やすさを優先し，1920・1955・1985・2020 年の 4 時点を CB / DB 各シナリオ別に示す．パラメータは $\tau = 5 \times 10^{-6}$，$\eta = 60$（推定値 $\hat{\eta} = 59.72$），$\nu = 5.53$，$\alpha = 0.0653$，$s_{\max} = 5.0$ で共通である．人口分布とリンク交通量を図 5.7–5.14（CB: 5.7–5.10 ／ DB: 5.11–5.14），リンク混雑度 v/c を図 5.15–5.22（CB: 5.15–5.18 ／ DB: 5.19–5.22），サービス水準 s を図 5.23–5.30（CB: 5.23–5.26 ／ DB: 5.27–5.30）に示す．

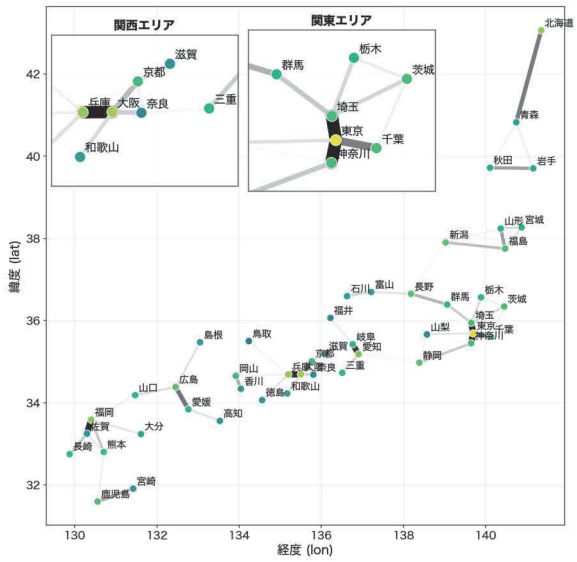


図 5.7　1920 年・中央集権 CB

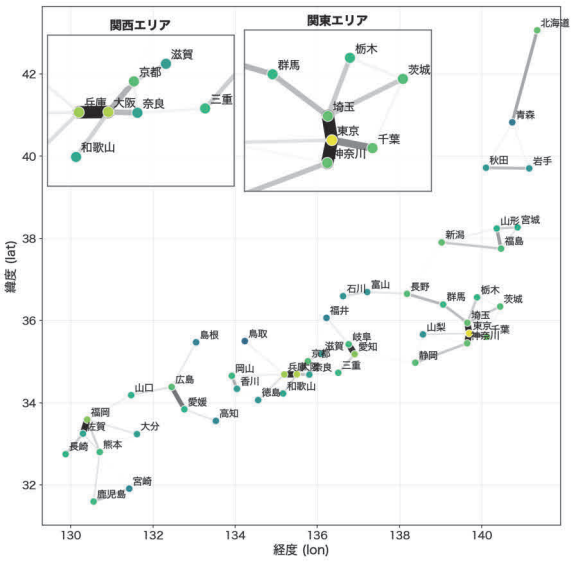


図 5.8　1955 年・中央集権 CB

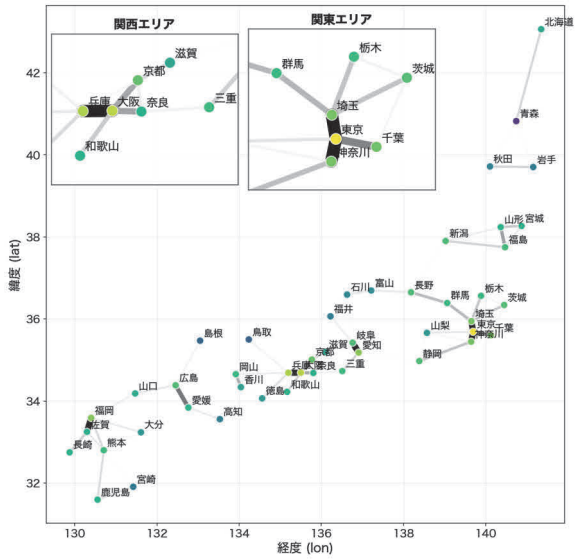


図 5.9　1985 年・中央集権 CB

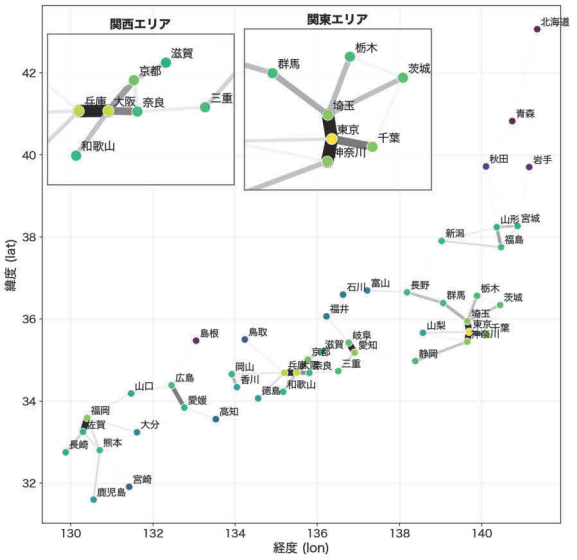
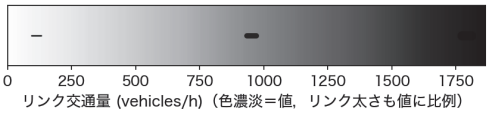
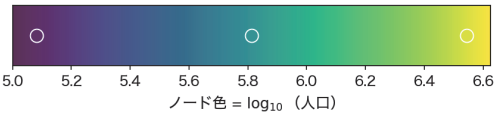


図 5.10　2020 年・中央集権 CB





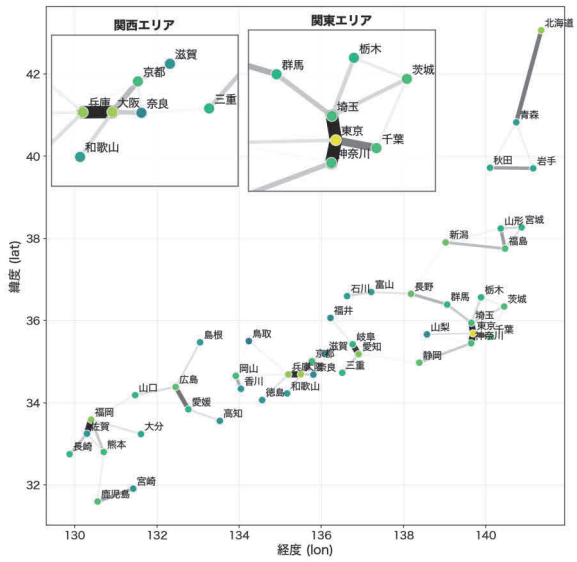


図 5.11　1920 年・地方分権 DB

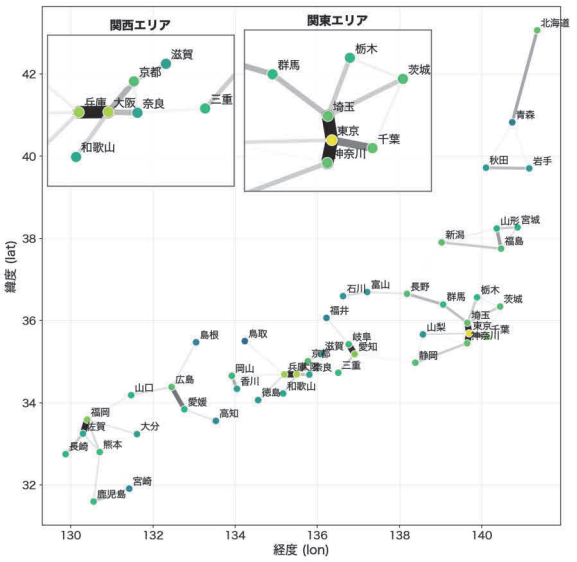


図 5.12　1955 年・地方分権 DB

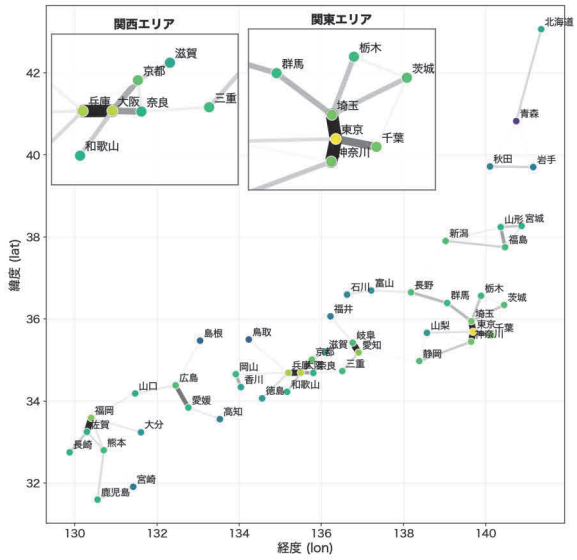


図 5.13　1985 年・地方分権 DB

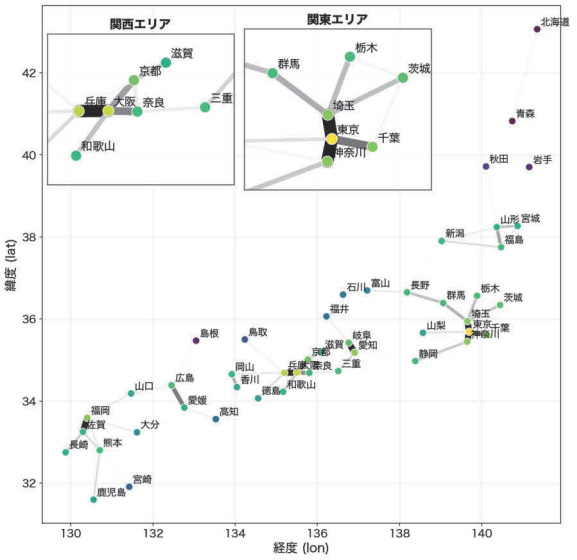
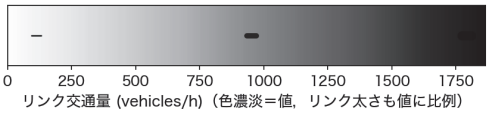
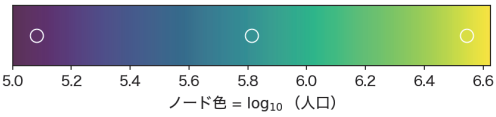


図 5.14　2020 年・地方分権 DB





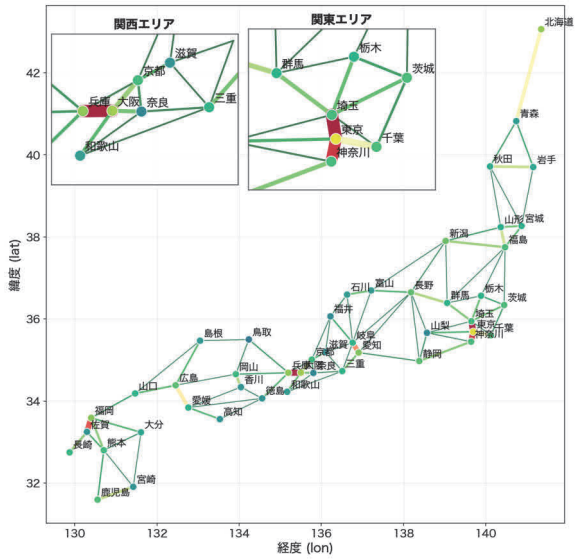


図 5.15　1920 年・中央集権 CB

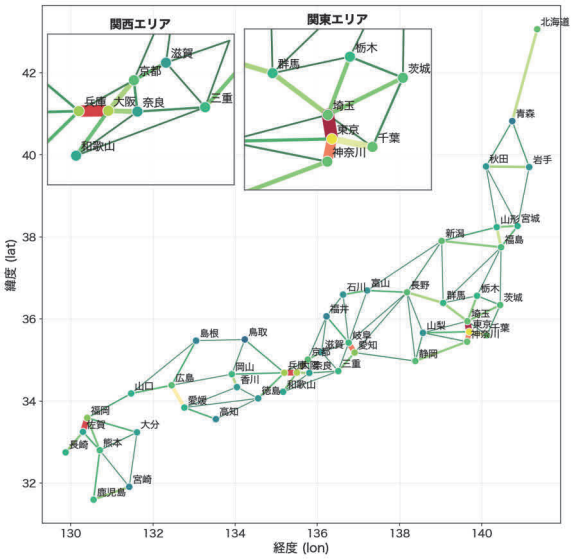


図 5.16　1955 年・中央集権 CB

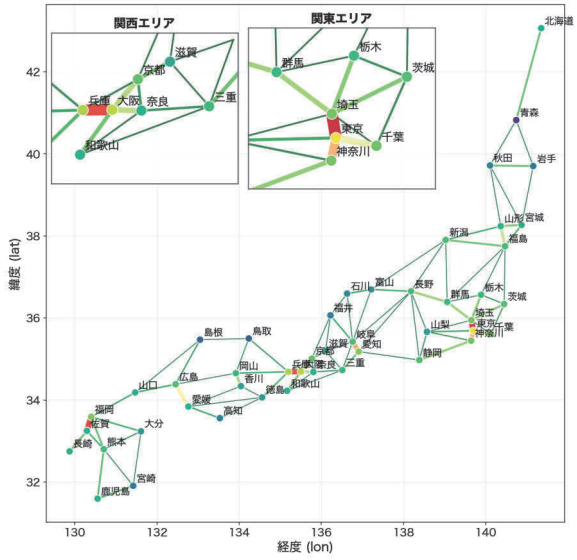


図 5.17　1985 年・中央集権 CB

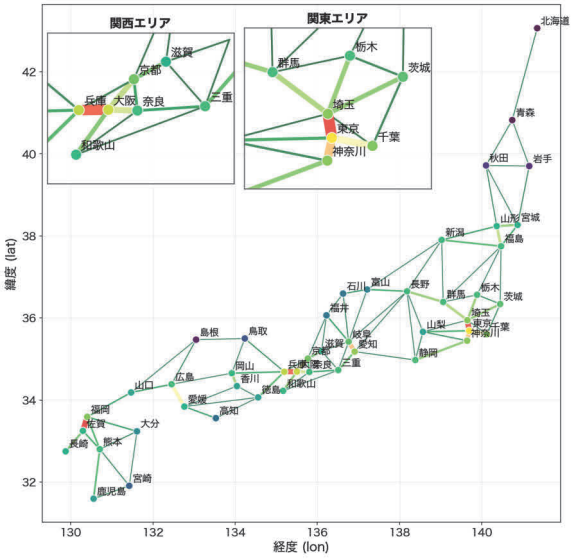
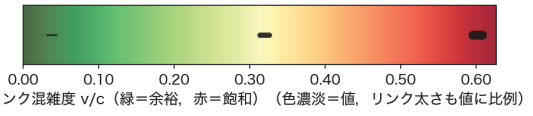
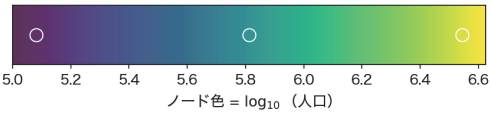


図 5.18　2020 年・中央集権 CB





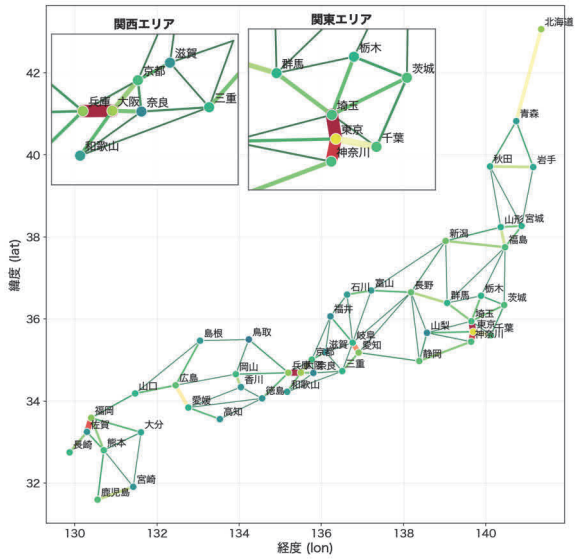


図 5.19　1920 年・地方分権 DB

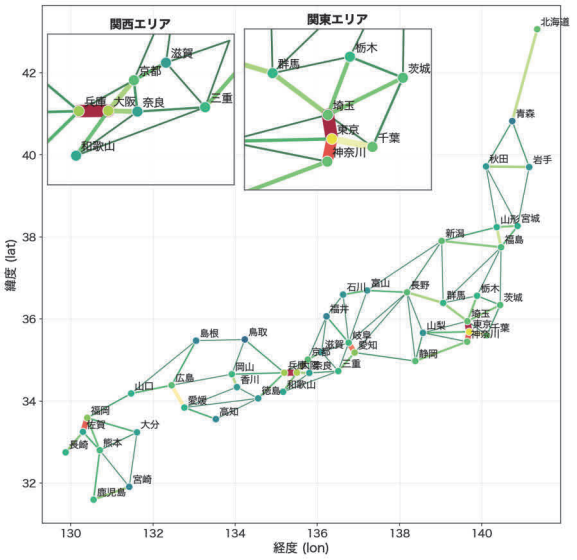


図 5.20　1955 年・地方分権 DB

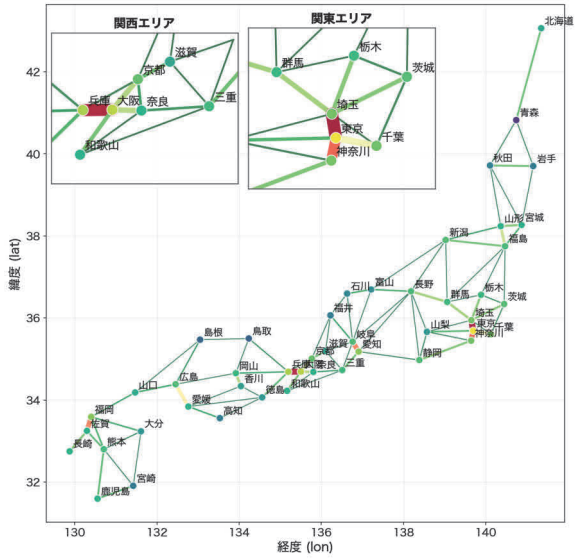


図 5.21　1985 年・地方分権 DB

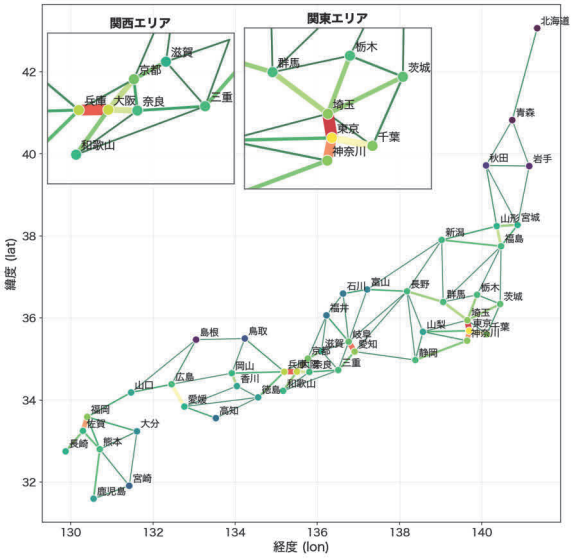
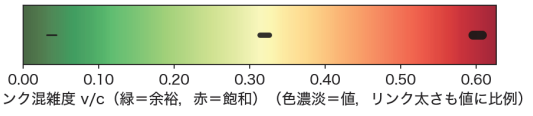
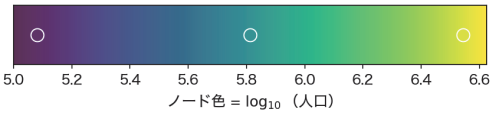


図 5.22　2020 年・地方分権 DB





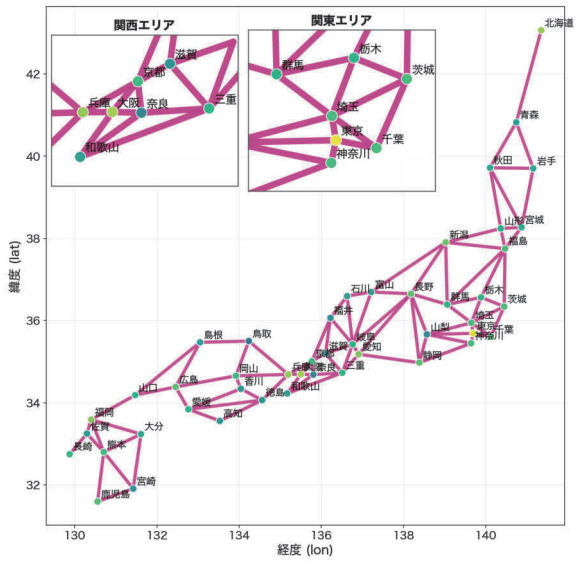


図 5.23　1920 年・中央集権 CB

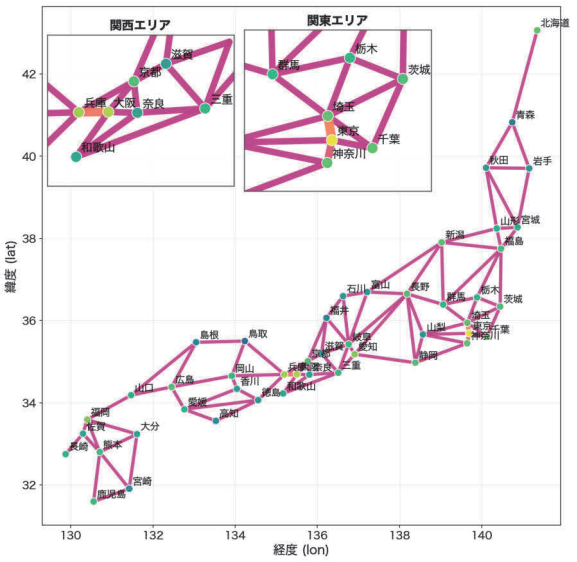


図 5.24　1955 年・中央集権 CB

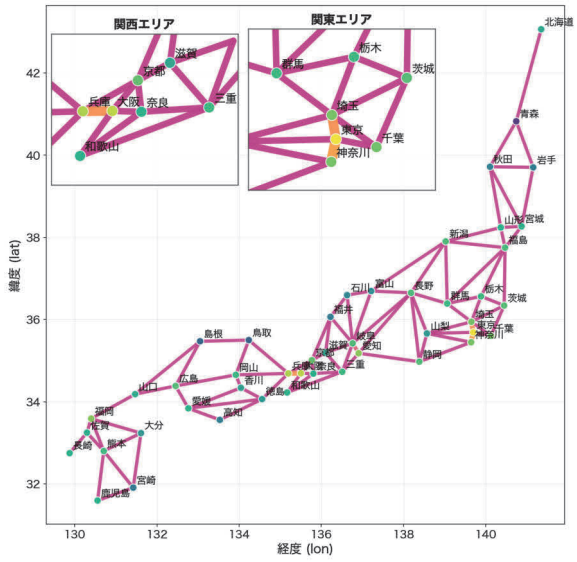


図 5.25　1985 年・中央集権 CB

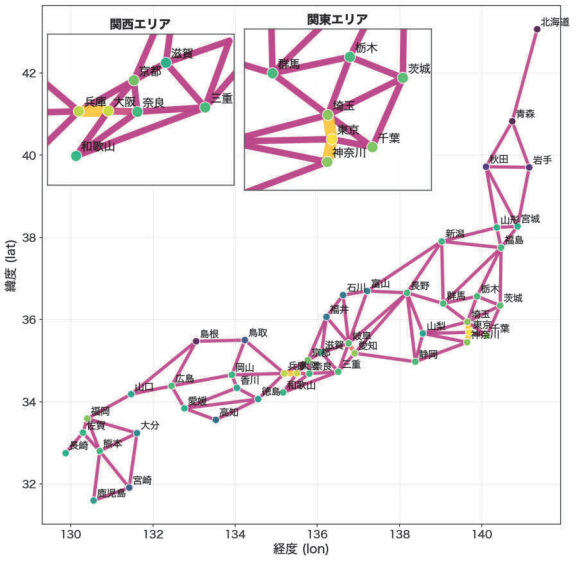
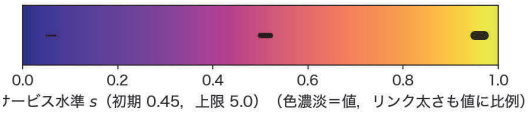
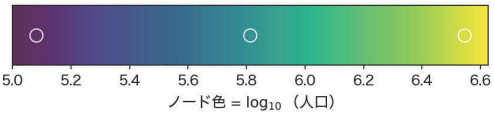


図 5.26　2020 年・中央集権 CB



ナービス水準 s（初期 0.45，上限 5.0）（色濃淡＝値，リンク太さも値に比例）



ノード色 = $\log_{10}$（人口）

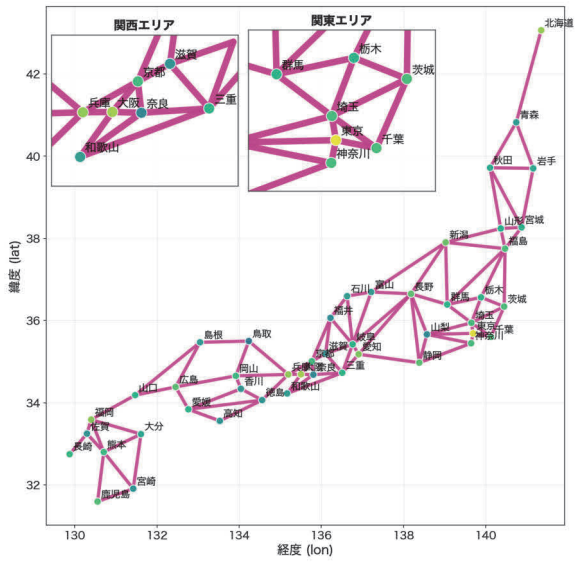


図 5.27　1920 年・地方分権 DB

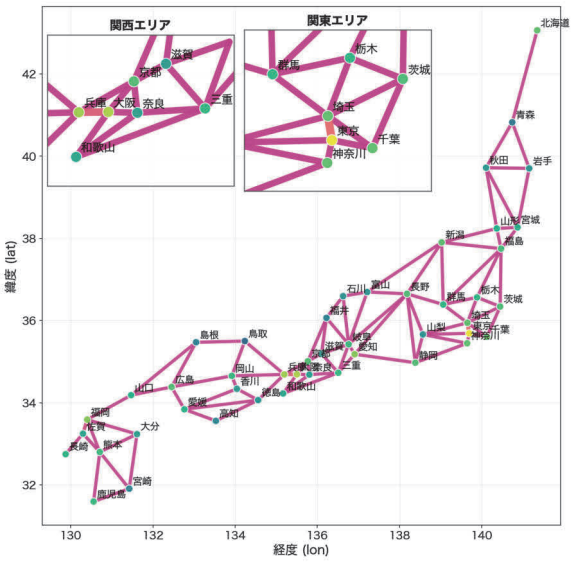


図 5.28　1955 年・地方分権 DB

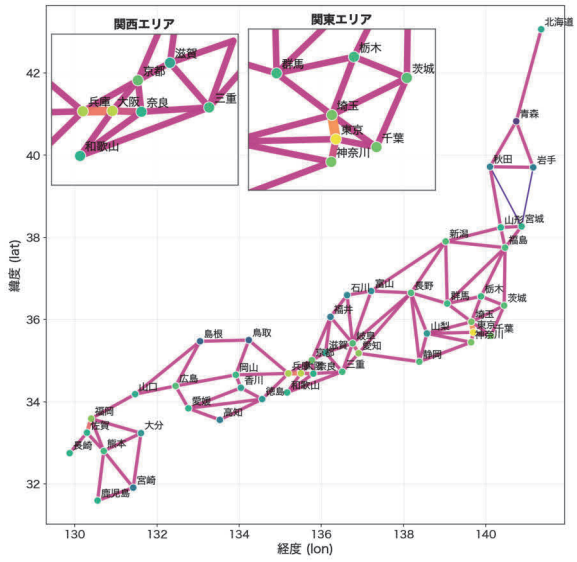


図 5.29　1985 年・地方分権 DB

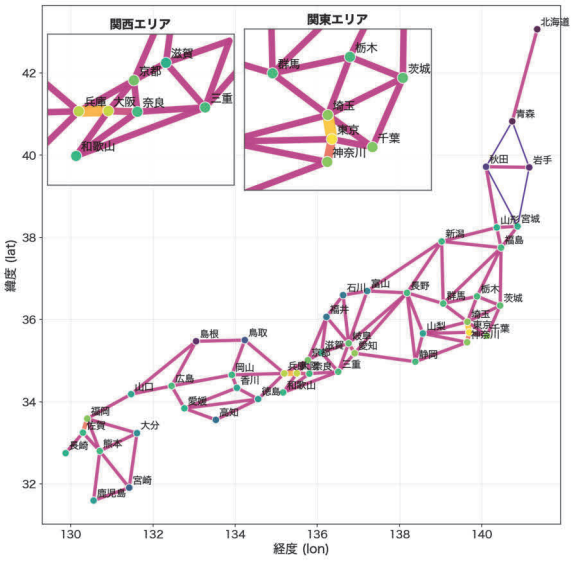
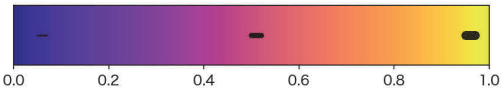
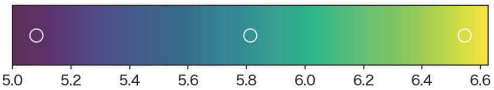


図 5.30　2020 年・地方分権 DB



ナービス水準 s（初期 0.45，上限 5.0）（色濃淡＝値，リンク太さも値に比例）



ノード色 = $\log_{10}$（人口）

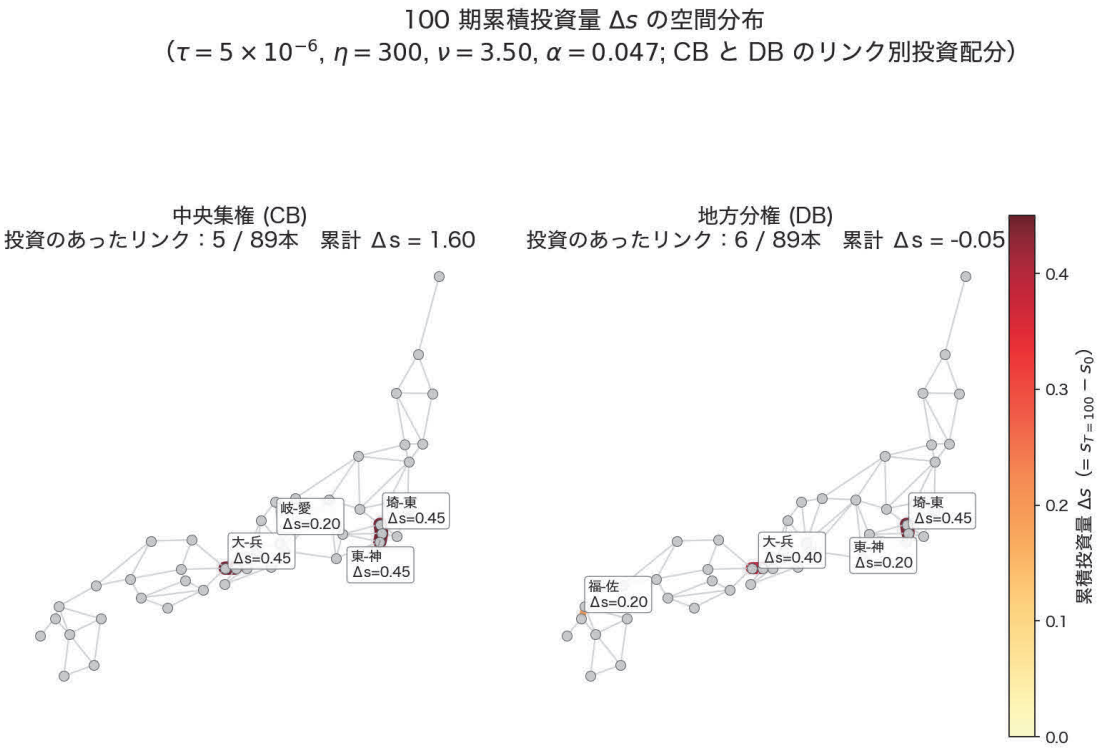


図 5.31　100 期累積投資量 $\Delta s = s_{T=100} - s_0$ の空間分布．CB・DB それぞれで，どのリンクにどれだけ投資が累積したかを示す．左 CB ／右 DB.

投資によって生じた投資・人口変化を表 5.12，表 5.13 に整理する．

表 5.12　100 期累積投資量 Δs のトップ・リンク（推定値 $\eta = 60$, $\nu = 5.53$, $\tau = 5 \times 10^{-6}$, $K_{\max} = 200$）

順位	リンク	距離 [km]	CB Δs	DB Δs	CB 最終 s	DB 最終 s
1	埼玉-東京	29	0.450	0.450	0.900	0.900
2	東京-神奈川	27	0.450	0.400	0.900	0.850
3	大阪-兵庫	28	0.450	0.200	0.900	0.650
4	岐阜-愛知	30	0.200	0.050	0.650	0.500
5	福岡-佐賀	39	0.000	0.200	0.450	0.650
6	大阪-奈良	28	0.050	0.050	0.500	0.500
合計	—	—	*1.600*	*1.350*	—	—
投資リンク数	—	—	*5 / 89*	*6 / 89*	—	—
撤退リンク数	—	—	*0 / 89*	*4 / 89*	—	—

表 5.12 から主に以下のことが読み取れる．

- CB は首都圏（東京-神奈川・埼玉-東京）と関西（大阪-兵庫）に集中投資（いずれも $\Delta s = 0.45$）．これに岐阜-愛知（中部，0.20）と大阪-奈良（少額）が続き，計 5 リンクで Δs 累積 1.60，撤退はゼロである．
- DB は首都圏，関西に加えて福岡-佐賀（九州ブロックの top）にも投資する．DB のみが

投資する福岡-佐賀（$\Delta s = 0.20$，最終 $s = 0.65$）は，CB では国土全体の B/C ランキングで次善に届かず未投資である．DB は計 6 リンクに投資（Δs 累積 1.35）する一方，税源の細いブロックで 4 リンクを $s_{\min}$ まで撤退させている．

- 両制度とも首都圏・関西の高需要リンクに集中する点は共通である．DB が広範囲にバラまく訳ではないが，ブロック並列構造により九州への投資が成立する点が CB との大きな違いとえる．
- DB は CB が拾わない福岡-佐賀への投資で九州のアクセシビリティ改善に貢献する一方，周辺ブロックの撤退による損失も負う．net 便益（投資便益 − 撤退損失）でみると，$\tau = 5 \times 10^{-6}$ では DB/CB $= 0.99$ とほぼ拮抗する．

表 5.13　2020 年人口の CB・DB 比較（推定値 $\eta = 60$, $\nu = 5.53$, $\tau = 5 \times 10^{-6}$, 100 期，全 46 県，$|\mathrm{DB}-\mathrm{CB}|$ 降順，単位：千人）

順位	県	1920 人口 [M]	CB 2020 [M]	DB 2020 [M]	DB−CB [K 人]
1	福岡	2.19	2.14	2.21	+68.7
2	佐賀	0.67	1.09	1.16	+68.5
3	長崎	1.14	0.98	1.03	+54.5
4	神奈川	1.32	2.21	2.16	−50.0
5	大阪	2.59	3.27	3.23	−39.3
6	東京	3.70	4.22	4.18	−39.2
7	兵庫	2.30	3.03	2.99	−38.4
8	静岡	1.55	1.36	1.32	−35.4
9	熊本	1.23	1.24	1.27	+30.0
10	愛知	2.09	2.35	2.33	−17.4
11	埼玉	1.32	2.21	2.19	−15.2
12	岐阜	1.07	1.60	1.59	−14.4
13	岩手	0.85	0.15	0.14	−11.1
14	群馬	1.05	1.32	1.30	−10.9
15	大分	0.86	0.61	0.62	+9.8
16	栃木	1.05	1.32	1.31	−9.6
17	茨城	1.35	1.54	1.53	−9.0
18	宮崎	0.65	0.30	0.31	+7.8
19	鹿児島	1.42	0.76	0.76	+7.8
20	奈良	0.56	1.25	1.26	+7.1
21	島根	0.71	0.12	0.12	+7.1
22	山梨	0.58	0.80	0.80	−6.9
23	山口	1.04	0.83	0.84	+6.7
24	高知	0.67	0.39	0.40	+6.3
25	富山	0.72	0.54	0.54	+5.0
26	石川	0.75	0.45	0.45	+4.9
27	徳島	0.67	0.76	0.76	−4.2
28	京都	1.29	1.86	1.86	−4.2
29	宮城	0.96	0.99	0.99	+4.0
30	香川	0.68	0.82	0.82	+4.0
31	山形	0.97	1.04	1.04	+3.8
32	愛媛	1.05	1.02	1.02	+3.7
33	秋田	0.90	0.17	0.17	+3.0
34	福島	1.36	1.28	1.28	+2.9
35	新潟	1.78	1.19	1.20	+2.9
36	千葉	1.34	2.05	2.04	−2.8
37	三重	1.07	1.32	1.33	+2.7
38	広島	1.54	1.35	1.35	+2.6
39	和歌山	0.75	1.14	1.14	−2.2
40	長野	1.56	1.29	1.29	−1.9
41	福井	0.60	0.44	0.44	−1.6
42	鳥取	0.45	0.26	0.25	−1.5
43	滋賀	0.65	0.99	0.99	+1.4
44	岡山	1.22	1.17	1.17	+0.0
45	北海道	2.36	0.10	0.10	+0.0
46	青森	0.76	0.10	0.10	+0.0

表 5.13 の解釈：推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ の下では，CB・DB の制度差は最大でも県別 ±70K 程度と穏当である．九州内（福岡・佐賀・長崎・熊本）で DB がやや人口を増やし，兵庫・大阪・首都圏

（埼玉・東京・神奈川）で DB が CB より僅かに少ないという再分配パターンが見える．これは九州ブロックが DB で福岡-佐賀リンクへの投資を取り込めるため，九州内のアクセシビリティが CB より高くなる結果である．

1920 起点での周辺県の挙動．$\eta = 60$ の下では，東北南部（宮城・福島・山形），中国（広島・岡山），九州（熊本・大分・宮崎・鹿児島）等は 100 期にわたり概ね 1920 年水準の 0.5–1.4 M を維持する．広島も 1.36–1.37 M で維持されており，北海道と青森のみが接続次数の構造的制約で floor に張り付くが，これは中央集権／地方分権のいずれの制度を採っても同じである．

総じて，推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ の下で本トイモデルが描く 1920–2020 年の長期動学は，「強い集積暴走で大半の地方が衰退する」シナリオではなく，「主要 4 大都市圏（東京・大阪・名古屋・福岡）がやや成長し，地方も大半が現状維持で，制度差は微妙に CB と DB を分ける程度」というかなり穏当な像である．これは現実日本の人口動向とは異なる（実際にはより強い集積が観測される）が，本モデルが道路単独・$\nu = 5.53$ の制約で再現できる範囲はこの水準である．

これらの図および表から読み取れる構造的差異は次の通りである．

第一に，首都圏（東京-神奈川-埼玉-千葉）の交通量集中が両制度で進む．中央集権では 1920 年の細い線が 2020 年には極太に育ち，首都圏一帯に強い集中流が形成される．第二に，地方部のリンクでは，中央集権は首都圏・関西以外がほとんど太くならない（投資が首都圏に集中する）のに対し，地方分権では九州（福岡-佐賀）など一部の地方リンクが太くなる．第三に，最大流量リンク（埼玉-東京）の交通量は 1920 年の約 2,700 から，中央集権で約 3,900（+44%），地方分権で約 4,100（+54%）へ増える．第四に，人口分布は両制度とも東京の集中が進むが，地方分権では九州の福岡周辺がやや明るくなる（ブロック内 Acc 改善による人口維持）一方，税源の細い周辺ブロックでは撤退によりアクセシビリティが低下する．

地方分権が九州ブロック内で福岡-佐賀リンクへの投資を成立させることは，中 η・中庸予算（$\tau = 4 \times 10^{-6}$）の条件下で地方分権が中央集権を net 便益で上回る（表 5.4）一因を地理的に説明する：地方分権は各地方ブロックの中で重要なリンクを使えるようにすることで国土全体の活用に部分的に貢献する．ただしこの利点は条件付きであり，周辺ブロックの財政が悪化する高 η や強撤退予算の下では，同じブロック並列構造が周辺インフラの撤退を招いて net 便益を損なう（5.1.4 項）．また本モデルは便益総量で評価しており効率の観点に立つため，地域間公平性の評価は別途 5.2 節 で論じた通りである．

5.3.3　都市間交通について

図 5.7–5.13 の時系列を特定リンクの交通量で抜き出すと，もう一つの重要な構造が見えてくる．図 5.32 は代表 7 リンクの 1920–2020 年交通量推移を中央集権・地方分権並列で示す．

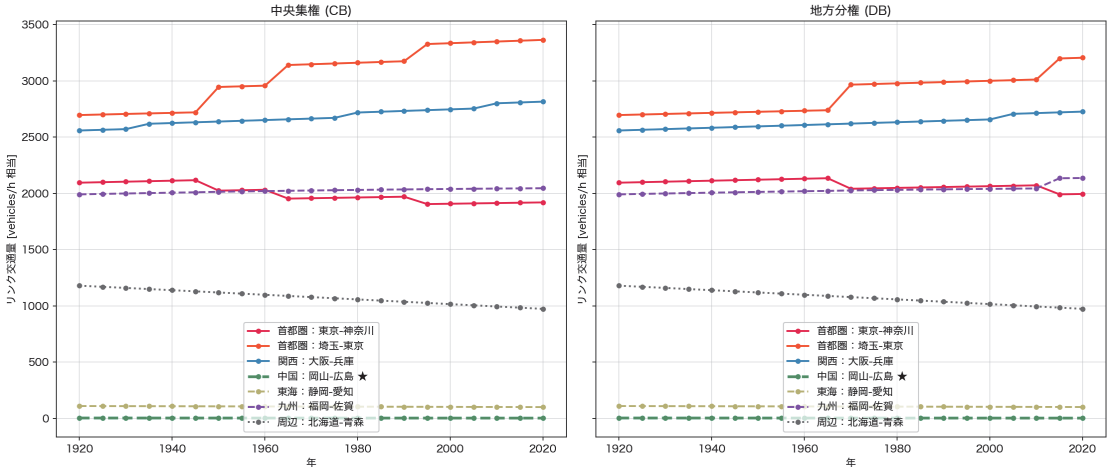


図 5.32　代表的リンクの交通量時系列（5 年刻み 21 時点，$\tau = 5 \times 10^{-6}$, $\eta = 60$, $\nu = 5.53$）

短距離・首都圏内（赤系・実線）は顕著に伸びるが，中距離の都市間リンク（緑系・破線，特に岡山-広島）は 1920 年時点ですでに交通量が僅少で，その後も伸びない．北海道-青森（灰点線）は撤退で交通量がゼロ近くへ低下する．代表 7 リンクの 1920 年から 2020 年への交通量変化率を表 5.14 にまとめる．

表 5.14　1920–2020 年のリンク交通量変化率（$\eta = 60$, $\nu = 5.53$, $\tau = 5 \times 10^{-6}$, floor = 100K）

リンク	種別	距離 [km]	1920 flow	CB 増減	DB 増減
東京-神奈川	首都圏内（短距離）	27	2095	+37.1%	+15.6%
埼玉-東京	首都圏内（短距離）	29	2696	+44.4%	+53.8%
大阪-兵庫	関西内（短距離）	28	2559	+45.1%	+41.8%
福岡-佐賀	九州内（中短距離）	39	1991	+0.3%	+17.8%
岡山-広島	中国地方都市間（中距離）	138	4	−56.5%	−56.9%
静岡-愛知	東海地方都市間（中距離）	136	111	−74.1%	−62.6%
北海道-青森	周辺接続（長距離）	254	1180	−95.8%	−91.5%

この観察が示す 2 つのメカニズムは，両方とも公共交通の欠落に起因する．

第一に，集積による混雑の自己相殺．投資 Δs で得たリンクの容量増加は，流入する人口増により混雑で打ち消される．短距離・首都圏内リンクではそれでも純流入が勝って交通量が伸びる．

中距離リンクでは，流入する OD 自体がそもそも増えないので，サービス改善の便益が積み上がりにくい．

第二に，長距離 OD の物理的非成立．現実では新幹線（1964 年東海道，1972 年山陽，1975 年博多開業）が東京・大阪・広島・福岡間の都市間移動を実現している．本モデルは道路のみであり，かつ集積感応度 $\nu = 5.53$ が強いため，岡山-広島程度の距離の都市間 OD はそもそも僅少であり，人口集中が起きてもこの距離の都市間移動は増えない．静岡-愛知に至っては交通量が中央集権で -74%，地方分権で -63% と絶対的に減少する．

つまり岡山-広島の停滞，静岡-愛知の減少は，ランダムな計算誤差ではなく「モデルが新幹線・在来線・航空を持たない」という構造的欠落の直接の現れと考えられる．さらにいえば，集積限界（首都圏予測過小）と都市間交通の停滞・減少（表 5.14）は，同じ「新幹線・在来線・航空を持たないモデル」という構造的欠落の現れである．この構造的欠落は，都市間交通の伸び悩みを通じて，地方分権が都市間交通の改善を通じた地方活性化に貢献する余地を過小評価する可能性がある．

第6章　おわりに

6.1　研究の総括

本研究の主な成果は，交通インフラ投資の意思決定・ネットワーク形成・人口動態を一つのモデルに統合し，交通システムの長期的発展過程を議論できる枠組みを構築した点にある．具体的には，46 都道府県のトイ道路ネットワーク上で，税収をゾーン人口から内生化し，費用便益比に基づく投資選択とアクセシビリティを介した人口動態を組み込んだ動学的シミュレーションモデルを構築した．中央集権では全国一括の予算プール，地方分権では自治体単位の予算プールに分かれる差を，複数の予算規模 τ・観察期間・人口流動感応度 η について比較し，あわせて 1920–2020 年の国勢調査パネルとの照合から構造パラメータ $(\hat{\eta}, \hat{\nu}, \hat{\alpha}) \approx (59.72, 5.53, 0.0653)$ を推定した．これにより，従来は定性的議論にとどまっていた中央集権・地方分権の制度設計の論点を，効率性（累積 net 便益）と空間的公平性（Acc CV）の二軸で定量的に比較する道筋を得た．

得られた知見の第一は，集積感応度の同定である．人口流動感応度 η と集積感応度 ν をジョイント推定した結果，$\hat{\nu} \approx 5.53$ という強い集積効果が得られた．これは大都市の魅力が単純な人口比例（$\nu = 1$）を超えることを実証データが支持することを意味する．他方で今回のモデル設定では十分な人口集積を再現できないことも確認された．具体的には，ν を最適化しても東京・神奈川・大阪のシェア予測は観測値の 6–7 割にとどまり，道路単独モデルでは現代日本の首都圏一極集中を再現しきれない．これは公共交通（新幹線・在来線・航空）の欠落が根本原因と考えられ，本研究の最大の限界であると同時に，集積を支える交通モードの重要性を示唆する結果ともいえる．

第二に，中央集権と地方分権のいずれが優れるかは一義的に決まらず，社会の人口流動感応度 η，予算規模 τ，観察期間 T，および評価軸（効率性か空間的公平性か）の組合せに依存することが示された．効率性（累積 net 便益）でみると，地方分権が中央集権を上回るのは中程度の η（おおむね 50–100）に限られる．推定値 $\hat{\eta} \approx 60$ では，中庸予算 $\tau = 4 \times 10^{-6}$ で地方分権が中央集権を net 便益で 1.29 倍上回る一方，潤沢予算 $\tau = 5 \times 10^{-6}$ では拮抗する（0.99 倍）．η が小さい社会では人口がほとんど動かず分散投資の利点が働かないため中央集権が優位となり，逆に η が極端に大きい社会（$\eta \gtrsim 200$）では人口流出で周辺ブロックの税源が枯渇し，財政移転を持たない地方分権は周辺インフラの撤退を迫られて崩落する（$\eta = 400$ では net 便益が負にもなる）．さらに同一の (η, τ) でも，観察期間が短い（20 期）と中央集権が，長い（100 期）と地方分権が優位となる短期・長期の逆転が，中庸予算かつ中 η という条件下で観察された．評価期間の取り方そのものが制度評価の結論を左右する．

第三に，効率性で地方分権が優位となる場合であっても，空間的公平性では中央集権が優位となることが示された．アクセシビリティの県間格差（Acc CV）でみると，地方分権は赤字に陥った周辺ブロックがインフラを撤退させるため，撤退が起こる領域で中央集権より格差を拡大する

（推定値近傍で Acc CV が +0.018，高 η では +0.09 超）．効率性での優位と空間的公平性での劣位はトレードオフの関係にあり，その根源は地方分権が財政の地域間調整（中央から周辺への移転）を持たないことにある．「中央集権か地方分権か」という二者択一に一義的な答えはなく，条件と評価軸に応じて結論が変わる―これが本研究の主要な知見である．これらは均衡解析では原理的に見えにくい知見であり，動学シミュレーションという方法論の必要性を示唆する結果である．

6.2　政策含意

以上の知見は，本研究の動学トイモデル（46 都道府県・道路単独ネットワーク・1920 年起点・100 期）の枠組み上での観察であり，現実の政策設計への適用にあたっては次節で整理する限界が制約条件となる．その留保の下で，主要な政策含意は次の通りである．

最も実務的な含意は，政策評価期間の設定そのものが制度選択の結論を決めるという点である．現行の道路投資の費用便益評価は 30-50 年を評価期間とすることが多いが，本研究が示した短期・長期の逆転に照らせば，短期評価では集中投資（中央集権）が，長期評価では分散投資（地方分権）が支持されやすい．評価期間の選択は中立な技術的前提ではなく，それ自体が政策決定であることを認識すべきといえる．次に，人口流動感応度に応じて投資戦略を使い分けることが示唆される―人口流動が小さい社会では中央集権の集中投資が効率的であり，中程度の社会では地方分権の分散投資が効率上の優位を持ちうるが，人口流動が極端に強い社会では周辺の税源枯渇により純粋な地方分権は周辺インフラを維持できず，全国一括の財源配分あるいは中央から地方への財政移転が周辺の維持に資する．現代日本（$\hat{\eta} \approx 60$）は中程度の社会に位置するが，将来の人口減少や移動性の変化によって変わりうる．さらに，空間的公平性を重視するならば，地方分権の枠組みに財政調整（赤字ブロックへの財政移転）を組み込むこと―現実の地方交付税等の均等化交付金に対応する―が，効率上の利点を公平性の悪化なしに得るために有効でありうる．

6.3　今後の課題

本研究のモデルは，現実の都市・地域を大幅に単純化した枠組みに依拠している．最も重要な限界は二つある．第一は公共交通の捨象である．本モデルは道路単独であり，新幹線・在来線・航空を統合していないため，長距離移動の便益と都市部の輸送力を過小評価する．第二に，ガバナンスの単純化（現実には国直轄事業・補助事業・地方単独事業などのハイブリッドが存在する）が挙げられる．各国のスキームを整理し，それらのスキームを比較分析することも一定の価値があろう．その他，政治経済的要素の捨象，ネットワークの時不変性，自然増減の捨象など，改善可能な点は数多く残されている．

以上を整理すると，モデル面では，住居市場・通勤費を陽に組み込んで分散力を補強すること，新幹線・在来線・航空を加えた多モードネットワークへ拡張すること（国土数値情報の鉄道時系

列を用いれば明治期以降の鉄道網の進化を投資・撤退として扱える），純粋な中央集権／地方分権の二項対立を超えて補助率によるハイブリッド制度を扱うことが重要である．データ面では，地域間産業連関表による集積効果の再校正や多モード歴史データベースの整備が課題となる．また本研究の構造シミュレーションは「もし制度が違っていたら何が起きたか」を計算する点で，「何が起きたか」を識別する reduced-form の因果推論研究と相補的であり (Hayakawa et al. 2021; Yamasaki 2025; 竹林ら 2025)，両者を組み合わせて集積・撤退効果のパラメータを推定し反実仮想を計算する統合枠組みの構築も考えうる．

参考文献

Akamatsu, Takashi, Fujishima, Shota and Takayama, Yuki (2017). "Discrete-space agglomeration model with social interactions: Multiplicity, stability, and continuous limit of equilibria". In: *Journal of Mathematical Economics* 69, pp. 22–37.

Davis, Donald R. and Weinstein, David E. (2002). "Bones, Bombs, and Break Points: The Geography of Economic Activity". In: *American Economic Review* 92.5, pp. 1269–1289.

Donaldson, Dave and Hornbeck, Richard (2016). "Railroads and American Economic Growth: A 'Market Access' Approach". In: *Quarterly Journal of Economics* 131.2, pp. 799–858.

duPont IV, William and Noy, Ilan (2015). "What Happened to Kobe? A Reassessment of the Impact of the 1995 Earthquake in Japan". In: *Economic Development and Cultural Change* 63.4, pp. 777–812.

Fajgelbaum, Pablo D. and Schaal, Edouard (2020). "Optimal Transport Networks in Spatial Equilibrium". In: *Econometrica* 88.4, pp. 1411–1452. DOI: 10.3982/ECTA15213.

Fujita, Masahisa and Ogawa, Hideaki (1982). "Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations". In: *Regional Science and Urban Economics* 12, pp. 161–196.

Hayakawa, Kazunobu, Koster, Hans R. A. Tabuchi, Takatoshi and Thisse, Jacques-François (2021). "High-speed Rail and the Spatial Distribution of Economic Activity: Evidence from Japan's Shinkansen". RIETI Discussion Paper 21-E-003 / CEPR DP 15771; *Journal of Political Economy: Microeconomics* forthcoming.

Hiramatsu, Tomoru (2018). "Job and population location choices and economic scale as effects of high speed rail: Simulation analysis of Shinkansen in Kyushu, Japan". In: *Research in Transportation Economics* 72, pp. 15–26.

Imaizumi, Asuka, Ito, Kaoru and Okazaki, Tetsuji (2016). "Impact of natural disasters on industrial agglomeration: The case of the Great Kantō Earthquake in 1923". In: *Explorations in Economic History* 60, pp. 52–68.

Koster, Hans R. A. Tabuchi, Takatoshi and Thisse, Jacques-François (2022). "To be connected or not to be connected? The role of long-haul economies". In: *Journal of Economic Geography* 22.4, pp. 711–753.

Lahoorpoor, Bahman and Levinson, David M. (2024). "An agent-based simulation model for the growth of the Sydney Trains network". In: *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*.

Levinson, David M. Xie, Feng and Zhu, Shanjiang (2007). "The Co-Evolution of Land Use and Road Networks". In: *Transportation and Traffic Theory 2007*. Elsevier, pp. 839–859.

Mun, Se-il (1997). "Transport Network and System of Cities". In: *Journal of Urban Economics* 41, pp. 205–221.

Oates, Wallace E. (1972). *Fiscal Federalism*. Harcourt Brace Jovanovich.

Okazaki, Tetsuji, Okubo, Toshihiro and Strobl, Eric (2019). "Creative Destruction of Industries: Yokohama City in the Great Kanto Earthquake, 1923". In: *The Journal of Economic History* 79.1, pp. 1–31.

Osawa, Minoru and Akamatsu, Takashi (2020). "Equilibrium refinement for a model of non-monocentric internal structures of cities: A potential game approach". In: *Journal of Economic Theory* 187, p. 105025.

Tabuchi, Takatoshi and Thisse, Jacques-François (2002). "Taste heterogeneity, labor mobility and economic geography". In: *Journal of Development Economics* 69, pp. 155–177.

Tang, John P. (2014). "Railroad Expansion and Industrialization: Evidence from Meiji Japan". In: *The Journal of Economic History* 74.3, pp. 863–886.

Wetwitoo, Jetpan and Kato, Hironori (2017). "High-speed rail and regional economic productivity through agglomeration and network externality: A case study of inter-regional transportation in Japan". In: *Case Studies on Transport Policy* 5.4, pp. 549–559.

Wetwitoo, Jetpan and Kato, Hironori (2019). "Regional and Local Economic Effects from Proximity of High-Speed Rail Stations in Japan: Difference-in-Differences and Propensity Score Matching Analysis". In: *Transportation Research Record* 2673.11.

Xie, Feng and Levinson, David M. (2008). "The weakest link: A model of the decline of surface transportation networks". In: *Transportation Research Part E* 44.1, pp. 100–113.

Xie, Feng and Levinson, David M. (2009a). "Governance choice on a serial network". In: *Public Choice* 141, pp. 189–212.

Xie, Feng and Levinson, David M. (2009b). "Jurisdictional Control and Network Growth". In: *Networks and Spatial Economics* 9.3, pp. 459–483.

Xie, Feng and Levinson, David M. (2009c). "Modeling the Growth of Transportation Networks: A Comprehensive Review". In: *Networks and Spatial Economics* 9.3, pp. 291–307.

Xie, Feng and Levinson, David M. (2011). *Evolving Transportation Networks*. Springer.

Yamano, Norihiko and Ohkawara, Toru (2000). "The Regional Allocation of Public Investment: Efficiency or Equity?" In: *Journal of Regional Science* 40.2, pp. 205–229.

Yamasaki, Junichi (2025). "Railroads and technology adoption in Meiji Japan". In: *Explorations in Economic History* 97, p. 101683.

Yerra, Bhanu M. and Levinson, David M. (2005). “The emergence of hierarchy in transportation networks”. In: *Annals of Regional Science* 39, pp. 541–553.

Zhang, Lei and Levinson, David M. (2004). “Agent-Based Approach to Travel Demand Modeling: Exploratory Analysis”. In: *Transportation Research Record* 1898, pp. 28–36.

赤井伸郎・佐藤主光・山下耕治 (2003). **地方交付税の経済学—理論・実証に基づく改革**. 有斐閣.

大澤実 (2018). “集積経済モデルの数理解析とその周辺”. In: **土木学会論文集** *D3*（**土木計画学**）74.5, I_19–I_36.

小池淳司 (2019). **社会資本整備の空間経済分析—汎用型空間的応用一般均衡モデル**（*RAEM-Light*）**による実証方法**. コロナ社.

坂本淳・山岡俊一 (2017). “地域鉄道の廃止と駅周辺における社会経済の変化の関係分析”. In: **都市計画論文集** 52.3, pp. 270–276.

佐川大輔・中谷友樹 (2020). “鉄道路線の廃止が沿線自治体の人口・所得水準変化率に及ぼす影響”. In: **季刊地理学** 72.2, pp. 107–121.

竹林幹人・松浦巧弥・瀬谷創 (2025). “新幹線と高速道路整備が市区町村人口に与えた影響—Staggered adoption を考慮した検証—”. In: **土木学会論文集** 81.2, pp. 24–00122.

武部健一 (2015). **道路の日本史—古代駅路から高速道路へ**. 中公新書.

武藤慎一・森杉壽芳・Vu, M. D. (2016). “SCGE モデルを用いた東海道新幹線・東名名神高速道路の便益計測”. In: **第** *53* **回土木計画学研究・講演集**, pp. 8–04.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ
http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください。

A-940 「交通インフラ投資順序と
地域の発展に関する実証分析」

交通インフラ投資順序と地域の発展に関する
実証分析研究プロジェクト

2026年9月　発行

公益社団法人日本交通政策研究会