

道路投資の意思決定を考慮した道路網形成の ダイナミクス

道路投資の意思決定を考慮した道路網形成の
ダイナミクスに関する研究プロジェクト

2025年10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 山 内 弘 隆
同 原 田 昇

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-929

令和6年度自主研究プロジェクト

道路投資の意思決定を考慮した道路網形成のダイナミクス

刊行：2025年10月

道路投資の意思決定を考慮した道路網形成のダイナミクス

Dynamics of Road Network Formation with Consideration of Road Investment Decision-Making

主査：力石 真（広島大学）

Makoto CHIKARAISHI

要 旨

本研究では、交通投資が長期的に都市構造や社会経済活動に及ぼす影響を、歴史的・実証的・理論的な観点から多角的に検討した。まず、日本における交通投資の歴史を整理し、古代の駅路から戦後の高速道路網に至るまでの幹線構造が時代を超えて再生産される「ストック効果」の存在を確認した。次に、近年の実証研究をレビューし、過去の投資が数十年から数世紀にわたり経済活動や都市構造を方向づける強い経路依存性を有することを明らかにした。さらに、交通投資の意思決定をモデル化する一連のネットワーク進化モデル（SONG, SOUND, SONIC/GC, SIGNAL）を整理し、投資判断、撤退、ガバナンス、土地利用の相互作用を通じて交通網がどのように進化するかを定式化しうることを示した。加えて、国土数値情報等を基に鉄道・道路網の時系列データを再構築し、人口データと組み合わせて1884年以降の交通網と人口分布の変化を可視化した結果、鉄道の発展と東京・大阪圏への人口集中、戦後の高速道路・新幹線の拡張と地方鉄道の衰退といったダイナミクスを明らかにした。これらの分析を通じて、交通網の進化は投資決定や制度的要因に規定されると同時に、人口分布や経済活動との間で相互に作用し合い、長期的な共進化プロセスとして理解する必要があることを示した。今後は整備した基盤データを活用し、因果推論やシミュレーション分析を通じて、効率性と均衡ある国土発展の関係、中央集権型と地方分権型の制度差、さらに気候変動対応や Well-being の向上といった新たな価値軸を組み込んだ交通投資評価のあり方を検証することが重要な課題となることを指摘した。

キーワード：交通投資意思決定、交通網形成ダイナミクス、経路依存性、ネットワーク進化

Keywords: investment decisions, network formation dynamics, path dependence, network evolution

目 次

1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	研究目的	2
1.3	報告書の構成	2
2 章	日本における交通投資の歴史	4
2.1	古代の交通投資	4
(1)	古墳時代	4
(2)	飛鳥・奈良時代～平安時代	4
2.2	中世の交通投資	5
(1)	鎌倉時代	5
(2)	室町時代	6
(3)	室町時代末期～安土桃山時代	7
2.3	近世の交通投資	7
(1)	江戸時代	7
2.4	近代の交通投資	8
(1)	明治時代	8
(2)	大正時代	9
2.5	現代の交通投資	10
(1)	昭和時代（戦前）	10
(2)	昭和時代（戦後）	10
2.6	まとめ	12
3 章	交通投資の影響に関する実証研究	17
3.1	歴史的持続性研究のレビュー論文 (Cirone and Pepinsky, 2022)	17
3.2	貧困国における交通インフラ投資の長期的影響 (Jedwab and Moradi, 2016)	19
	研究目的	19
	対象地域	19
	対象時期	20

分析に用いたデータ	20
分析に用いた手法	20
分析の結果, 示唆される知見や施策	21
3.3 経済活動のグローバルな分布の歴史依存性 (Henderson et al., 2018)	21
研究目的	21
対象地域	21
対象時期	21
分析に用いたデータ	22
分析に用いた手法	22
分析の結果, 示唆される知見や施策	22
3.4 ケニアにおける植民地鉄道の長期的影響 (Jedwab et al., 2017)	23
研究目的	23
対象地域	23
対象時期	23
分析に用いたデータ	23
分析に用いた手法	23
分析の結果, 示唆される知見や施策	24
3.5 西ローマ帝国の崩壊が都市の分布に及ぼす影響 (Michaels and Rauch, 2018)	24
研究目的	24
対象地域	25
対象時期	25
分析に用いたデータ	25
分析に用いた手法	25
分析の結果, 示唆される知見や施策	25
3.6 1872 年ボストン火災の影響 (Hornbeck and Keniston, 2017)	26
研究目的	26
対象地域	26
対象時期	26
分析に用いたデータ	26
分析に用いた手法	27
分析の結果, 示唆される知見や施策	27
3.7 過去の集積力の歴史依存性 (Bleakley and Lin, 2012)	27
研究目的	27

対象地域	28
対象時期	28
分析に用いたデータ	28
分析に用いた手法	28
分析の結果，示唆される知見や施策	28
3.8 まとめ	29
4章 交通投資の意思決定のモデル化に関する既往研究	32
4.1 Evolving Transportation Networks (Xie and Levinson, 2018) 概要	32
4.2 基本モデル	33
4.2.1 土地利用配置	33
4.2.2 交通需要モデル	33
4.2.3 投資モデル (Investment models)	34
4.2.4 ネットワーク更新 (Updating network)	34
4.2.5 実験結果	34
4.3 発展モデル1：インフラ撤退の考慮	35
4.3.1 モデル構造	35
4.3.2 撤退ルール	36
4.3.3 測定指標	36
4.3.4 実証分析とモデル検証	36
4.3.5 シミュレーション実験	36
4.3.6 感度分析	37
4.3.7 まとめ	37
4.4 発展モデル2：ガバナンスの考慮	38
4.4.1 モデル構造	38
4.4.2 数理定式化	38
4.4.3 実験結果の概要	40
4.4.4 まとめ	41
4.5 発展モデル3：土地利用の考慮	41
4.5.1 モデル構造	42
4.5.2 モデルの解釈と意義	43
4.6 まとめ	44

5 章 実証分析・シミュレーション分析に向けた基礎的準備	45
5.1 データ整備	45
5.1.1 ネットワークデータ	45
5.1.2 人口データ	46
5.2 日本の交通網発展パターン	46
5.3 まとめ	49
6 章 おわりに	50
参考文献	52

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）
- 塚井 誠人（広島大学・准教授）
- 布施 正暁（広島大学・准教授）
- 吉野 大介（復建調査設計(株)・係長）
- 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（(株)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（東京工業大学・研究員）
- 図斎 大（関西学院大学・教授）
- 中丸麻由子（東京工業大学・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（金沢大学・講師）
- 安藤 広恵（名古屋大学・助教）

1 章 はじめに

1.1 背景

交通システムは、静的な完成形ではなく、継続的な投資と改良を通じて絶えず進化する動的な存在である。現在の交通ネットワークは、過去から積み重ねられてきた数多くの交通投資の蓄積により形成されており、その形成プロセスには地形、歴史、制度、交通需要の変動・変化など、多様かつ複雑な要因が絡み合っている。

現状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）に基づいており、道路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。しかし、こうした単純化された with/without の評価アプローチでは、①ネットワークの歴史的経路依存性（path dependence）、②将来の不確実性に備える柔軟性（flexibility）やオプション価値、③環境・レジリエンス・地域活性化など多元的な社会的価値を十分に捉えられないといった限界がある。日本の道路網や鉄道網は、次章にて詳しく見るように、古代の街道や明治期以降の鉄道整備、戦後の高速道路建設など、長期にわたる投資や意思決定の影響を強く受け、現在の形状や機能が規定されている。こうした過去の意思決定が現在および未来の交通システム形成に大きな制約を与えていることを考えると、将来的な社会経済情勢や評価基準の変化に柔軟に対応できるよう、交通インフラの再編や多用途化を含む柔軟性の高い交通システムを構築する必要性は高い。

同時に、過去の経緯を踏まえた交通投資および都市開発投資のあり方についても、改めて検討が求められる。例えば、既存のネットワークに沿った投資の継続がどの程度必然であったのか、あるいは技術革新や社会変化に対応しきれなかった場合に都市機能や競争力の低下を招く可能性があったのかといった論点は、依然として十分に解明されていない。特に、自動運転や多様なモビリティサービスの導入が進む現代においては、こうしたリスクに対して交通システムがどの程度柔軟に対応可能であるかを検討することは重要な課題である。また、将来的な社会経済情勢や技術革新への対応には、旅行時間短縮のみならず、環境保護、都市の活性化、災害へのレジリエンス向上など、多様な社会的価値を包括的に考慮した評価軸の導入も求められる。

歴史的経緯を含めた交通網形成に係る複雑な要因間の相互作用や影響を正確に把握し、政策に適切に反映するためには、定性的な分析と定量的な分析を統合的に活用することが肝要である。日本の交通投資の歴史や既存の実証研究の整理を通じて、交通システム形成の経緯

を深く理解することは、現在の交通課題を的確に捉えるための基礎的な背景知識となる。一方で、交通システムの発展は本質的に動的かつ進化的なプロセスであり、その変化にはトポロジカル要因（例：リンクの新設・廃止）、階層的要因（例：道路の優先順位）、時間的要因（例：歴史的遺産やロックイン効果）、技術的要因（例：新たな交通手段の登場）、経済的要因（例：料金制度や民営化）、社会的要因（例：人口集中や地域衰退）、政治的要因（例：政策決定や資金配分）など、多様な側面が絡み合っている。このような複雑なプロセスを定性的分析だけで十分に把握・予測することは困難であり、数理モデルやシミュレーションを含む定量的アプローチの活用が重要となる。

1.2 研究目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、交通システムの形成・発展プロセスに関するより深い理解を獲得することを目的として、一連の調査・分析を行う。具体的には、第一に、日本における交通投資の歴史を整理し、古代から近代に至るまでの道路・鉄道投資の累積が現在のネットワーク形成にどのような影響を与えてきたかを明らかにする。第二に、交通投資が長期的に都市や経済活動に及ぼす影響に関する実証研究を整理し、経路依存性やストック効果に関する既存知見を確認することで、過去の投資がどのように現在を規定しているかを把握する。第三に、交通投資の意思決定をモデル化した既往研究を検討し、分散的投資、撤退、ガバナンス、土地利用との共進化といった要素を組み込んだネットワーク進化モデルの系譜を整理することで、投資主体の行動や制度的要因がネットワーク構造に及ぼす影響を理論的に位置づける。第四に、鉄道・道路の時系列ネットワークデータや人口データを整備し、基礎的な記述分析を通じて実証分析・シミュレーションに向けた準備を行い、将来的な因果推定やシナリオ分析に活用可能な基盤を築く。これらを通じて、交通投資の意思決定が道路網形成のダイナミクスに与える影響を理論的・実証的に検討する枠組みを提示することを目指す。

1.3 報告書の構成

本報告書は全6章で構成される。第2章では、日本における交通投資の歴史を整理し、道路網や鉄道網がどのような歴史的経緯や社会的背景を経て現在に至ったかを明らかにする。第3章では、交通投資の長期的影響に関する実証研究を整理し、経路依存性やストック効果を実証的に検討した研究の知見を概観する。第4章では、交通投資の意思決定をモデル化し

た既往研究を整理し，基本モデルから撤退・ガバナンス・土地利用との共進化までを扱うネットワーク進化モデルの系譜を示す．第 5 章では，鉄道・道路の時系列ネットワークデータや人口データを整備し，基礎的な記述分析を通じて日本の交通網形成と人口分布の変化を確認し，実証分析・シミュレーションに向けた基盤を構築する．最後に第 6 章では，得られた知見を総括するとともに，将来的な研究課題と展望を整理する．

2 章 日本における交通投資の歴史

本章では、日本における交通投資の歴史を整理する。日本の道路網や鉄道網がどのような歴史的経緯や社会的背景を経て現在に至ったかを明らかにし、交通システムの形成における歴史的文脈を明確にする。なお、以下の整理は、主に、丸山（2003）、国際交通安全学会（2006）、木下（2013）、武部（2015）、近江（2012&2013）、大石・藤井（2018）、児玉（2018）をもとに行った。

2.1 古代の交通投資

（1）古墳時代

古墳時代の政治体制は豪族による支配に基づいており、道路投資は中央政権による統一的整備ではなく、地域単位での対応が主であった。また、日本列島の地形的条件（深い森林や急峻な山地）は道路整備に大きな制約を与え、水運が物流の中心を担う一方で、道路は主に人の移動に用いられた。このような背景のもと、道路は主に徒歩を前提として整備され、険しい地形を縫うように設けられた道路が交通基盤としての役割を果たしていた。この時代の道路について『魏志倭人伝』には「道路は禽鹿の経の如し」と記されており、当時の道路が手つかずの自然に近い獣道のような状態であったことを示している。

こうした中、計画的な道路建設の始まりとされるのが、仁徳天皇期に築かれたとされる（諸説あり）「京中大道」であり、日本道路史上最初の直線道路として幅 18m を有していた。この道路建設は、隋からの使者の来日に際して実施されたものであり、国家の確立を内外に示すとともに、外交上のもてなしを意図したものであった。このように、外交的な体面や対外関係を契機とした道路建設は、現代の東京オリンピック開催時の高速道路・新幹線整備にも通じている。

（2）飛鳥・奈良時代～平安時代

飛鳥・奈良時代から平安時代にかけて、日本は律令制に基づく中央集権的な国家体制を確立し、その体制のもとで道路整備は国家的な交通政策として制度的に位置づけられた。飛鳥・奈良時代には、大化の改新を契機として、広大な国土の統治と朝鮮半島との交流の活性化を背景に国家確立の必要性が高まり、道路は国家による情報連絡・統治手段として整備された。続く平安時代においても、貴族による政治のもとで、朝廷への報告や国司の赴任・帰任、有事の際の連絡や軍隊・役人の移動といった政治的・軍事的ニーズを背景に、道路網の形成と

維持が継続された。

現代においては、道路が情報伝達において担う役割は限定的である一方で、古代の道路は情報の伝達を主たる目的として構築されており、次いで軍隊や公用役人の移動、都への貢納物の輸送といった用途に用いられた。とりわけ情報の伝達においては、馬を用いた伝令制度が整備され、緊急時には一日に数百キロメートルを移動して都に情報を届ける体制が構築された。

この通信連絡システムの中核をなすのが、都を起点として東海・東山・北陸・山陰・山陽・南海・西海の七道地域を結んだ七道駅路である。駅路とは、情報伝達のための高速交通機能を備えた道であり、駅路（道路）、駅家（中継施設）、駅馬（輸送手段）から構成される駅制に基づいて運用された。通行許可証や用途によって通行可能な路線も駅制によって厳格に定められており、民間人の旅行は制度上想定されていなかった。

駅路は「本路」（主要幹線）と「支路」（分岐）に分かれ、各道相互を連絡する補助路線も存在した。これにより、ある路線が不通となった場合でも他の経路で都へ到達可能とするリダンダンシーが確保されており、災害や外敵侵入時に備えた危機管理機能も備えていた。

興味深いのは、この古代の道路網が、後の高速道路網と多くの共通点を持つ点である（武部, 2015, p.25）。例えば、全路線延長では古代道路が約 6300km に対し、国土開発幹線自動車道建設法（1966 年）による高速道路計画も北海道を除いて約 6500km とされており、ほぼ一致する。また、路線構成においても、東海道＝名神・東名、東山道＝中央道、北陸道＝北陸道、山陰道＝中国道、山陽道＝山陽道、南海道＝近畿道和歌山線など、現代の高速道路は古代の幹線路と重なる例が多い。これは、古代道路が遠方を直線的に結ぶ計画性と直達性に基づいて整備されたためであり、地域間接続と利便性を重視した江戸期の街道や近代国道とは異なる思想に基づいている。

さらに、古代の駅家と現代のインターチェンジ（IC）の立地が類似している点も指摘されており、古代の交通施設がのちの地域拠点形成に寄与した可能性が高い。

このように、飛鳥・奈良時代から平安時代にかけての道路整備は、中央集権体制の下で計画的かつ制度的に構築された国家の情報・軍事基盤であり、その構造や思想は、現代の高速道路整備においても多くの点で継承されているといえる。

2.2 中世の交通投資

（1）鎌倉時代

鎌倉時代は、武家政権による政治が確立された時期であり、律令制の実質的な崩壊を背景

に、中央による統制力は大きく弱まった。このような変化の中で、中央集権的な制度によって維持されていた駅路は衰退し、代わって荘園制度による土地の私的所有が広がり、在地勢力が地域ごとに支配力を強めていった。公的制度に基づく全国統一的な交通網整備から、地域ごとに異なる実態に応じた、より私的・分散的な交通基盤へと移行が進んだ。

このような状況の中で特に重視されたのが、朝廷のある京都と将軍のいる鎌倉という東西二極の政治拠点を結ぶ東海道であった。東海道は、鎌倉時代において政治的な中枢を結ぶ政治機能を担う基幹道路としての役割を果たし、幕府はこの路線に駅制を敷いた。各地の荘園に対し、駅路維持を補助させる「駅路の制」が設けられたが、荘園側の反発により制度は十分に機能せず、実際には東海道沿いに拠点を持つ御家人や、民間の旅宿の力を借りることで、駅制をなんとか維持していた。またこの時期には、民間経営の宿が各地に出現し、鎌倉幕府による強盗などの取締り強化とあわせて、道路の安全性が徐々に確保されるようになった。その結果、民間人による私的な旅行も次第に可能となっていった。

一方で、軍事目的に特化して整備されたのが鎌倉街道である。これは有事の際、鎌倉武士たちが迅速に鎌倉へ馳せ参じることを目的として設けられた軍用道路であり、駅路とは異なる系統で、鎌倉を中心に放射状に築かれた。鎌倉街道を通じて、鎌倉幕府の交通網は関東地方を中心に、東北地方から北海道方面にまで及んでいた。

このように鎌倉時代は、中央集権的な駅制の衰退とともに、地域に根ざした分散的な交通基盤へと移行する過渡期であった。一方で、幕府は東海道に駅制を敷くなど要所の交通を確保し、鎌倉街道に代表される軍用道路の整備によって独自の交通ネットワークを形成していた。公的制度の緩みと民間の関与が交通整備に新たなかたちをもたらし、武家政権の下で交通の役割もまた、政治的・軍事的要請に応じて変容していった。

（２）室町時代

室町時代は、足利幕府による分権的な政治体制のもと、強い中央権力が不在の状態が続いた。その結果、各地では大名間の争いや領国支配が進む一方で、全国的な交通システムの構築や道路政策はほとんど実施されなかった。鎌倉時代末から徳川家康による五街道整備（17世紀初頭）に至るまでの約270年間、日本は統一された交通制度を持たず、古代以来の駅路は平安時代末までに事実上廃絶していた。

このような時代背景のもと、道路整備は主に局地的・軍事的な目的で断片的に行われるにとどまり、国家的な道路投資や通信インフラとしての交通網の維持は困難となった。関所が多く、多くの道路に設けられ、通行税を徴収するなど、交通政策はむしろ後ろ向きな性格を帯びていた。また、幹線道路としての駅路は補修が困難なために維持されず、道路機能は各地で著しく劣化し、古代の幹線路は泥田と化すほど荒廃したという記録もある。

こうしたなかで、道路機能は地域の実情に応じた伝路的なルートや、中世以降に新たに整備された道によってかろうじて引き継がれたが、その整備方針や管理の在り方は領国ごとに異なっていた。戦時には、より戦術的価値の高い尾根道が谷筋よりも重視されるなど、道路整備も軍事戦略に強く依存する傾向がみられた。このように、室町時代の交通政策は、制度・組織の不在と現地対応的な施策により、道路の国家的ネットワーク性が大きく損なわれた時代であった。

（３）室町時代末期～安土桃山時代

戦国時代（室町時代末期～安土桃山時代）には、各地で大名による独自の領国支配が進むなか、道路のあり方も支配者ごとに多様な様相を呈した。基本的には、軍事のために交通路を確保し、道路の維持が行われたが、戦時には橋や道路をあえて破壊して敵の侵入を防ぐ戦術も採られた。中には、一般の通行を禁じる道路や、他国への侵攻を目的とした専用の軍用道路を築く大名も存在した。

このような状況下で、織田信長や豊臣秀吉は、道路整備を軍事的手段にとどめず、民衆の利用や経済活動の促進を視野に入れた平和的な建設事業として積極的に展開した。信長は、支配領域内の関所や通行税（関銭）を撤廃して交通の自由化を進め、道や橋の修復を民衆に命じるとともに、道路の直線化や街路樹の植栽によって、道の機能性と美観の両立を図った。一方、秀吉も同様に、民間交通の利便性を重視し、長距離道路の整備や多数の橋梁の架設を行った。これらの施策は、平時の民衆の利便性や経済活動を確保することを念頭に置いたとしたものであり、それまで軍事目的に偏っていた道路政策が、公共的・民生的なインフラ整備へと移行していく過程を示している。

2.3 近世の交通投資

（１）江戸時代

江戸時代には、徳川幕府による中央集権的な幕藩体制のもと、軍事的目的から民衆の利便性向上を重視した交通政策へと方針転換がなされた。道路整備においては、江戸を中心とする五街道（東海道・中山道・日光道中・奥州道中・甲州道中）およびその附属街道の整備が進められ、宿駅制度（伝馬制度）とともに、近世日本の骨格となる交通体系が構築された。

五街道は幕府の直轄管理下にあり、道中奉行によって直接統括された。主要幹線道路としての五街道の延長は約 1500km、支線を含む幹線街道全体では 5000km に及び、道路幅は標準で 5～7m とされた。さらに、歩行者と車両・馬の通行を分離する構造が京都周辺などでは導

入されるなど、近世日本の道路構造は徒歩を基準としつつ、歩車分離の思想に基づいた機能的設計が試みられていた。

幕府による道路整備は江戸城の防衛を主眼としているものと考えられていたが、道筋の選定には谷筋の利用や水利への配慮が見られ、戦略性よりも民衆の利用を優先した側面も確認される。また、参勤交代において各藩の大名行列が頻繁に往来する中、沿道の整備と文化的流動が進み、街道沿いには宿場町・城下町・港町などの都市が形成された。

交通制度の中核となった宿駅制度では、街道沿いに一定間隔で宿場が設置され、伝馬（荷物輸送用の馬）と人足が常備された。これらは幕府の公用輸送（役人や軍事物資など）を担う一方で、地元住民はその負担の見返りとして、一般客の宿泊や荷物輸送の営業権を得ることができた。しかし、交通量の増加とともに公用輸送の負担も拡大し、沿道の村々にとっては大きな経済的・人的負荷となった。このような過重な義務に対して幕府からの抜本的な改革はなく、この制度疲労は後の体制崩壊（幕末）にもつながったとされる。

2.4 近代の交通投資

（1）明治時代

明治時代は、中央集権的な近代国家体制のもとで、西洋的な文化や制度を導入しつつ国力の強化と産業基盤の整備が進められた時代であった。交通政策においても、国家統一と軍事力強化を背景として鉄道が最優先で整備され、道路は相対的に軽視される傾向にあり、その整備は大きく後れを取っていた。

近世までの日本の交通は徒歩を中心としており、道路も人の通行を前提とした構造となっていた。江戸時代には馬車の使用はほとんどなく、道路への負荷も小さかったため、比較的良好に維持されていた。一方、明治維新後には馬車や自動車の導入が進み、従来の道路ではそれらに対応できず、特に都市部では煉瓦舗装などの構造改良が求められるようになった。しかし、地方の幹線道路は依然として整備が進まず、地域間で大きな格差が生じていた。

このような状況のもと、政府は道路制度の整備に着手し、1873年に制度を制定、1885年に改定、1886年には道路構造に関する標準制度を導入した。これにより、道路の階層分類や幅員の規定、碎石舗装の採用などが制度化され、近代的道路体系の基盤が整えられていった。また1871年には、有料道路制度が導入された。これは、道路や橋梁の建設・運営を私人に許可し、通行料を徴収することを認める制度であった。これにより、日本初の有料道路が開通し、民間主導による道路整備の端緒が開かれた。同様の流れとして、江戸時代に存在した宿駅制度による沿道住民への無償輸送義務も廃止され、輸送業務は民間の陸運会社に委託され

た。これにより、公用輸送の有料化が進み、封建的な制度から脱却した近代的なインフラ運営への転換が進展した。

一方で、鉄道網が十分に及ばない地方では、鉄道駅から目的地までの道路が未整備のままである地域も多く、そうした場所では、地元の有力者や住民が自ら資金を出して道路を整備する動きも見られた。これは、中央政府の整備が及ばない東京から遠隔地における、自助的な交通インフラ整備の一形態であり、地域間の整備格差を象徴している。

このように明治時代の道路整備は、鉄道中心の交通政策の影で後回しにされる面があったものの、制度改革と民間資本の導入を通じて、次第に近代的な交通インフラ体系への移行と多様化が進展した時期であった。

（２）大正時代

大正時代は立憲君主制の下で、経済・技術の近代化が進展し、自動車の登場とともに交通インフラに対する新たな対応が求められるようになった時代であった。自動車の台数は1919年には約5,000台、1926年には約3万2,000台に達し、急速に普及していった。

こうした背景のもと、1919年には道路法が制定され、道路の整備、管理、構造、費用負担などが初めて体系的に定められた。道路法の制定に続き、1920年には道路構造令が制定され、道路の設計基準に初めて自動車交通の条件が考慮されるようになった。ただし、この時点では、依然として馬車や荷車の利用が圧倒的に多く、基準の多くはそれらに合わせて定められていた。制度的には、道路の階層分類や幅員の規定、縦断勾配や曲率半径の設計条件、さらには道路元標の導入などが進められ、道路設計においても体系化が進展しつつあった。

1923年の関東大震災は、都市と交通に甚大な被害をもたらした一方で、道路整備と技術実践の契機にもなった。震災復興は国の予算で実施され、東京市内を中心に路面舗装が急速に進展した。これは、1919年に都市計画法が制定され、具体的な都市計画の立案作業が進行していたことに加え、震災後の復興都市計画が迅速に樹立されたことによる。街路整備もその一環として実施され、震災を契機に多様な道路技術や橋梁形式の実践が進められた。

震災後にはバスの利用が急増し、ハイヤーやタクシーといった新たな交通サービスも事業として始動した。自動車の台数も震災を契機に急激に増加し、それに伴って馬車や荷車、人力車といった従来の交通手段は急速に姿を消していった。

こうした変化を背景に、自動車専用道路や国道建設の議論も生じた。自動車専用道路は一部で民間の有料道路として運営されたが、その実態はバス運行を主とする道路であった。また、より広域的な視点から「自動車国道計画」も構想された。この計画では、青森から下関まで太平洋側と日本海側に一本ずつの幹線を通し、それらを複数の横断道で結ぶというループ型構成が想定された。地理的には北海道最北端の稚内から樺太境界まで路線が延びる一方、

四国には路線が設定されておらず、九州も北部横断線のみであった。このような構成は、交通網というよりはむしろ国防上の要請に対応した「大陸思考型」「北方重視型」の性格が色濃く表れていた。

2.5 現代の交通投資

（１）昭和時代（戦前）

昭和戦前期は、軍国主義の台頭とともに自動車の普及が急速に進み、交通・道路政策が大きな転換点を迎えた時代であった。自動車台数は1932年に10万台を突破し、従来の道路構造や交通制度では対応が困難となりつつあった。

このような中、自動車専用道路の必要性が国防上の観点から強く認識されるようになった。利便性の向上よりも、軍事輸送の効率化という目的が優先されたことは、この時代の道路政策の大きな特徴である。また、1929年の世界恐慌以降、失業者救済策の一環として道路改修や整備事業が公共事業として展開されるようになった。これにより、道路・法制度の整備や交通安全対策が進められる契機ともなった。

1933年には自動車交通事業法が施行され、バス・タクシー事業に対して認可制度が導入された。これにより、産業・軍事の需要に対応した道路・交通網の合理化と近代化が推進され、バス業界の整理・統合も進められた。道路は単なる通行空間としてだけでなく、兵員・物資の輸送を担う戦略的インフラとして位置づけられるようになった。

しかし、1937年の日中戦争の勃発以降、戦時体制が強まる中でガソリンの配給統制が始まり、1938年にはガソリン配給切符制が実施された。さらに1941年には乗用車へのガソリン配給が全面停止され、民間の自動車利用は著しく制限された。自動車は兵器として戦場で消耗され、輸入制限や資材統制の影響も加わり、自動車工場の多くは航空機工場へと転換された。こうした事態により、国内の自動車登録台数は戦前比でおよそ3分の1に激減した。

このような背景のもとでは、道路整備に対する国家の関心も急速に低下し、交通政策における道路の位置づけは後景に退いた。道路が軍需インフラとしても軽視されたのは、交通手段としての自動車そのものが使用困難となっていたことに起因しているといえる。

（２）昭和時代（戦後）

第二次世界大戦の終結後、日本はアメリカを中心とする占領軍の管理下に置かれ、政治体制は軍国主義から民主主義へと大きく転換した。この新たな体制の下、経済の再建と国民生活の安定が国家の最優先課題とされ、社会基盤の整備が急務となった。しかし、戦時下の保

守・管理の不十分さや空襲による甚大な被害の影響で、道路などのインフラは著しく機能を低下させており、復興の大きな障害となっていた。

このような状況を踏まえ、連合国軍総司令部（GHQ）は、占領統治の一環として、日本政府に対し「日本の道路及び街路樹の維持修繕五箇年計画」の策定を指示した。この計画は、道路の抜本的な改良ではなく、主に戦災による破損の復旧と維持・修繕に重点を置いたものであり、その資金の多くはアメリカの対日援助資金（いわゆる見返り資金）に依存していた。

1952年に日本が主権を回復すると、管理体制は占領下から日本政府主導へと移行し、道路整備も本格化していく。1952～1953年には、戦後の道路政策の骨格として、①ガソリン税を道路財源とする制度による安定的な資金確保、②有料道路制度の創設による効率的な道路整備の促進、③「道路整備五カ年計画」の策定による計画的な整備の実施が打ち出された（武部, 2015, p.185）。中でもガソリン税制度は、その後の自動車の普及とともに道路整備の安定財源として機能し続けた。

さらに1955年には「国土開発縦貫自動車道建設法案」が国会に提出された。これは、本州中央部を縦貫する幹線道路と、そこから海岸部へと伸びる放射状の連絡道路により全国を網の目状に結ぶ構想で、戦前の国防を意識した自動車国道構想とは対極の発想であった。この構想は、戦後の道路整備に新たな方向性を与え、のちの高速道路建設の基盤となった。

その後も整備計画は段階的に拡張され、1960年代には「国土開発幹線自動車道建設法」に基づき、全国7600kmに及ぶ高速道路網が計画された。さらに、1969年の「新全国総合開発計画」では補完的な構想を含めた約9000km規模に拡張され、1987年には「高規格幹線道路網」構想として計画延長は14000kmに達した。これにより、高速道路は地方圏にも広がり、現在の全国高速道路網の原型が形成された。その中核をなす国土開発幹線自動車道は、先述のとおり、古代の駅路と路線構成や機能において類似しており、日本の幹線交通の基本的な枠組みが古代駅路に依存していることがうかがえる。

さらに、高速道路建設に向けた制度整備も進展した。当初、「自動車道」は鉄道に匹敵する輸送網として運輸省の所管を想定されていたのに対し、「高速道路」は国道の延長として建設省の所管とされた。最終的に両構想は統合され、「高速自動車国道」として道路法上の新たな体系が確立され、建設省の所管とされた。この制度的枠組みに基づき、1957年には名神高速道路の建設が着工され、日本における高速道路時代が本格的に幕を開けた。

2.6 まとめ

本稿で整理した史実（図 1.1-1.4）に基づけば、交通インフラには長期にわたるストック効果が存在すると結論づけられる。すなわち、古代の七道駅路が現代の高速道路網と路線対応・延長規模の両面で高い相似性を示すこと、駅家と現代のインターチェンジ立地が類似し結節点としての拠点性が持続していること、江戸期の五街道と宿駅制度が沿道に宿場町・城下町・港町を連鎖形成し後世の都市ネットワークの基盤となったこと、さらに関東大震災後の復興や戦後の高規格幹線道路網整備が既存骨格を前提に拡張・機能更新として進んだこと、といった事実はいずれも、初期投資の空間配置と制度起源の需要が後続投資や立地行動を経路依存的に方向づけることを示している。中世に駅制が衰退するなどの断絶は認められるものの、長期のスパンでは幹線構造の踏襲と結節点の持続によってネットワーク形状が再生産され、投資の累積が空間に厚みを与える。以上より、交通投資は単発の便益にとどまらず、空間ロックイン・制度需要の固定化・更新投資の累積を通じて機能が深化し、現在および将来の交通システムと都市構造を規定するストック効果を発揮するといえる。

	古墳時代	飛鳥・奈良時代	平安時代
政治体制	豪族政治	律令国家	貴族政治
社会背景	険しい峠の存在 → 物流：水運 → 人流：道路	朝鮮半島との交流活性化 → 国家確立の必要性	中央集権的管理体制 - 朝廷への報告，国司の赴任／帰任
投資目的	土地は山険しく深林多く，道路は禽鹿(きんろく)の経(みち)の如し (魏志倭人伝)	情報伝達のための道路整備（早馬の利用） 駅制：駅路・駅家・駅馬の3点セット 象徴性の高い道路（直進性を重視）	1. 有事の際の情報連絡 2. 軍隊の移動 3. 公用役人の輸送 4. 都への貢物の輸送
スペック	徒歩を前提	七道駅路の整備 幅員：12m（一部遺跡） その他：・七道駅路への果樹の植樹（759年太政官符公布） ・馬屋の配置，駅馬の管理 ・通行証による関所での通行制限 ・駅路の間隔：30里（16km） ・緊急の場合，160km/日移動 駅制の淵源：大化の改新	幅員：12m → 9m → 6m（遺跡） 総延長：6300km 駅総数：402駅 その他：リダンダンシーにも配慮した道路ネットワークとして整備 国司による宿・馬などの供給 延喜式（平安時代の法令集）
技術			トンネルやアーチ橋はほぼ皆無
副次効果			計画性・速達性を重視した道路網整備 (武部, 2015)

図 1.1 日本における交通投資の変遷（古墳～平安）

	鎌倉時代	室町時代-	信長・秀吉	江戸時代
政治体制	武家政権	分権体制		幕藩体制（中央集権）
社会背景	荘園制度による私的所有 → 在地勢力の拡大 政治の中心：京都と鎌倉	強い権力支配のない状況に 大名間の争い／領国支配		大名間の争い／領国支配
投資目的	東海道の駅制維持 軍事目的（鎌倉街道整備）	目立った投資はなし（？） 主に軍事目的の道路整備	民衆の公益/平和的建設事業としての道路投資	軍事から民衆の利便性向上へ 方針：速達性 < 地域の利便性
スペック	その他： 京都-鎌倉間の旅行に要した日数 緊急の場合：3-4日 普通の旅：12-15日 荘園が伝馬等の提供を拒否 → 御家人/民間の力で維持 民間経営の宿が出現 + 鎌倉幕府による強盗等の取締強化 → 私的旅行が可能に	➢ 関所を設けて通行税を取る等の政策を実施 ➢ 維持管理不足で道路機能は劣化の一途 ➢ 道路整備方針等は国ごとに異なる ➢ 戦の戦略： 尾根道 > 谷筋	➢ 関所(通行税)の撤廃 ➢ 路肩の植樹 ➢ 幅員、一里塚の指定	五街道の整備 ➢ 宿駅制度（物流システム）の整備 ➢ 民衆の利便性：尾根道 < 谷筋 ➢ 参勤交代のための道路整備と沿線開発 ➢ 幅員：標準5-7m（五街道） ➢ 歩車分離（京都周辺） ➢ 維持管理は通過する村が実施 ➢ 総延長：五街道(1500km) (幹線街道は5000km)
技術			橋柱に石柱を採用	宿駅制度（物流システム）：適当な間隔で配置された宿場に人足と伝馬を配置し、公用の役人の荷物を運送を担う（大名行列等は含まれない）。交通量の多少によって必要な人・馬の数を定める。
副次効果				大名行列による文化交流，現在まで続く，城下町、宿場町、港町を起源とする都市の形成

図 1.2 日本における交通投資の変遷（鎌倉～江戸）

	明治	大正	昭和（戦前）
政治体制	中央集権近代国家	立憲君主制	軍国主義
社会背景	富国強兵 馬車・自動車の輸入 鉄道整備の時代 （+ 電信整備）	自動車の増大 自動車台数1919年5千台， 1926年3.2万台 都市計画法（1919年） 関東大震災（1923年）	自動車台数1932年10万台突破 自動車専用道の必要性認識 （国防上の理由 > 利便性の拡大） 世界恐慌（1929年）
投資目的	軍事目的（鉄道> 道路） 人力車・乗合馬車のための 道路整備	軍事目的（鉄道> 道路） 震災を契機とした道路整備進展	自動車急増 → 道路・法整備，事故対策 失業者救済策としての道路改修事業 軍事資材輸送の需要が急増
スペック	道路制度制定（1873年， 1885年改定），道路築造 標準制定（1886年） 道路階層導入，幅員の 規定，砕石道路の採用 有料道路制を導入	道路法制定（1919年），道 路構造令（1920年） 道路階層別幅員の規定， 縦断勾配，曲率半径の導 入，道路元標の導入 震災契機のバス利用急増 ハイヤー・タクシー事業開始	自動車交通事業法施行（1933年） 許認可制度の導入，産業・軍事の需要 に応じた道路・交通網の合理化・近代化 → バス業界の整理・統合 ガソリン配給切符制実施（1938年），乗 用車にガソリン配給停止（1941年）→ 自動車の登録台数・利用が下火に。
技術	トンネル工事，RC橋	震災を契機とした様々な道路技 術・橋梁形式の実践	
副次効果			

図 1.3 日本における交通投資の変遷（明治～昭和）

政治体制

社会背景

投資目的

スペック

技術

副次効果

昭和（終戦直後～）

民主主義

栗石・砂利を使わない劣悪な路面（戦後直後）
経済発展に伴う自動車台数の急増

貧しさからの脱却（経済成長）

1952-1953年

1. ガソリン税による道路財源の確保
2. 有料道度制度創設による道路整備推進
3. 道路整備五カ年計画による計画的実施

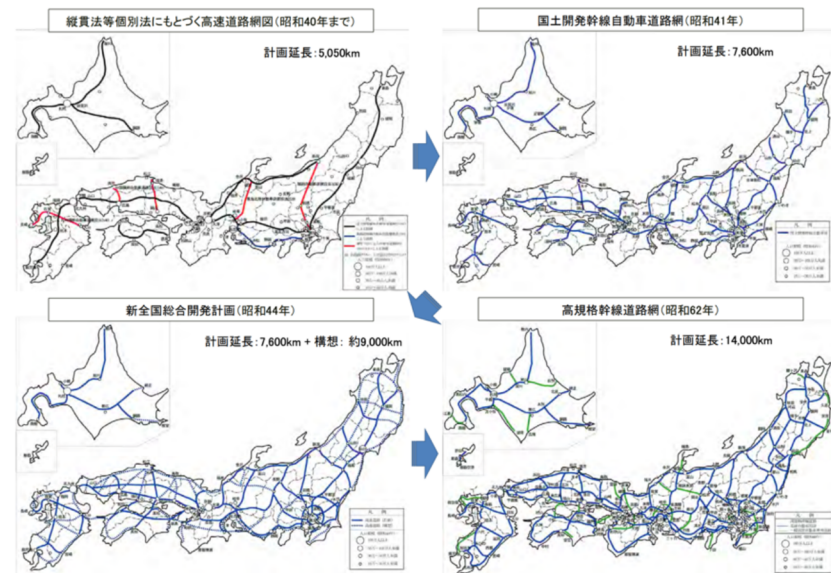
1956年

ワトキンス調査団報告書，技術の内生化

→ ・クサヘル・ドルシュ（道路計画の専門家，独国）

・ポール・ソンドレガー（土質・舗装の専門家，米国）

昭和（1960年代～）（詳細は省略）



https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/pdf9/3.pdf

図 1.4 日本における交通投資の変遷（終戦直後～）

3 章 交通投資の影響に関する実証研究

本章では、交通投資がその後の社会経済に及ぼす影響を検証した実証研究をレビューする。日本を対象とした分析は限られているものの、ローマ時代の都市交通インフラ投資が現在の都市構造に影響を及ぼしていることを実証的に確認した研究など、既存の事例は少なくない。こうしたデータ整備や実証分析の蓄積は、前章で論じた交通投資に関する歴史的理解を深化させるうえで大きな役割を果たしている。本章では、これらの研究成果を幾つか選定して整理する。

3.1 歴史的持続性研究のレビュー論文（Cirone and Pepinsky, 2022）

まず、Cirone and Pepinsky (2022) によって執筆された、「歴史的持続性 (Historical Persistence)」に関するレビュー論文を紹介する。本論文は、歴史的持続性に関する研究の潮流、方法論、課題、そして理論的基盤を体系的に整理することを目的とした論文である。具体的には、政治学主要 9 誌と経済学主要 5 誌（2000 年～2021 年 5 月）を対象に、要約レベルで全件を確認し、長期因果関係を主張する論文をコード化したうえで、この分野の研究を総合的に整理している。

歴史的持続性研究は、「10 年以上の時間スケールで作用し、政治・経済・社会における空間的な差異を説明する因果効果」と定義される。従来の歴史研究が物語的説明や事例分析に依拠してきたのに対し、この分野は定量データを用い、因果推論のための厳密な研究デザインを重視する点に特徴がある。2000 年代初頭に経済学から始まり、その後政治学に広がったこのアプローチは、過去の出来事が現代に与える因果的影響を統計的に明らかにしようとするものである。

研究の経験的範囲に関しては、対象地域と時間的スケールに偏りが見られる。地理的にはアメリカとドイツが特に多く扱われ、サハラ以南アフリカは全域を一括して分析対象とする研究が目立つ。アジアにおいてはインドを中心とする研究が多く、日本や中国を取り上げたものも一部存在する。時間的スケールについては、数十年単位を対象とする研究が約半数を占め、数世紀単位を対象とする研究がほぼ同数に達しており、数千年単位に及ぶ研究はごく少数である。

この分野を特徴づけるのは、因果推論を可能にする研究デザインの積極的な導入である。自然実験を利用して歴史的出来事や制度変化を「準ランダム」とみなす手法、地理的境界や

制度的閾値を活用する回帰不連続デザイン (RD)、処置群と対照群の変化を比較する差の差分法 (DiD)、さらには地理条件や歴史的ショックを外生的変数として利用する操作変数法 (IV) などが幅広く用いられており、歴史的要因と現代のアウトカムとの因果関係を実証的に明らかにする試みが進んでいる。

しかし、こうした方法論の発展にもかかわらず、歴史的持続性研究には固有の分析的・推論的課題が残されている。歴史的データに固有の測定誤差や欠損の問題、地理的に近接する観測値同士が互いに依存する空間的自己相関の問題、処置後に発生した変数を統制に含めることで事後処置バイアスが生じる危険などが挙げられる。さらに、歴史的効果がなぜ持続するのかという因果メカニズムの特定も大きな課題である。

理論的に、歴史的持続性は大きく二つの枠組みによって説明される。一つは「均衡依存 (equilibrium dependence)」であり、これは社会や制度が複数の均衡のいずれかに安定し得る状況で、過去の出来事がある特定の均衡を選択することで長期的な差異が生じるという考え方である。この視点では、歴史的ショックや初期条件が一度均衡を選び取ると、その選択が自己強化的なメカニズムを通じて維持されるため、地域や社会間に持続的な差が生まれることになる。例えば、植民地統治下で導入された制度がその後も政治的・経済的秩序を規定し続ける、といった説明は均衡依存の典型である。

他方で「緩やかな変化 (slow changeあるいは outcome dependence)」という枠組みは、均衡が最終的には一つに収束する場合でも、その収束過程が非常に緩慢であるために、初期条件の違いが長期間にわたって観察され続けるという考え方である。これは必ずしも強固な自己強化やロックインを前提とするものではなく、単に制度や行動、物的ストックの更新速度が遅いことに由来する。たとえば、歴史的なインフラ配置や教育制度の導入が、物理的・制度的摩擦のために長く残存し、その影響が世代を超えて持続するという現象は、この説明に合致する。

重要なのは、これら二つの枠組みが必ずしも対立するものではなく、互いに補完的であるという点である。均衡依存は、複数の安定的な状態の中で過去の偶発的な出来事が特定の経路を固定化することを強調するのに対し、緩やかな変化は、単一の経路であっても調整速度が遅ければ歴史的差異が長期にわたり残存することを強調する。現実の事例では、両者の要素が複雑に絡み合い、自己強化的なプロセスと遅い収束過程が同時に作用している可能性が高い。しかし、実証的にこれらを識別するのは容易ではない。観察される長期的相関が「均衡依存」によるものなのか、あるいは「緩やかな変化」によるものなのかを判定するには、中間的な過程を追跡する縦断的データや、制度・行動がどの程度で更新されるかに関する精緻な測定が求められる。ところが、多くの歴史的研究は断片的なデータに依存せざるを得ず、結果として「効果が存在すること」は示せても「なぜ効果が持続するのか」を説得的に区別

することは難しい。

著者らは、統計的な因果推論とあわせて質的・記述的な証拠を組み合わせることが不可欠であり、動学的なメカニズムを解明するには複数のアプローチを接合する必要があると指摘している。具体的には、統計的推定は長期的効果の存在を示すうえで有効だが、その背後にあるプロセスを十分に説明するには限界があり、歴史的過程を丁寧に追跡する研究との組み合わせこそが、説得力ある説明を可能にすると論じている。この議論をさらに発展させれば、因果推論とメカニズム記述を結びつけるだけでなく、動学的なメカニズムそのものを構造的に記述しようとする研究との統合も方針として考えられるだろう。とりわけインフラ整備のように巨額の資源配分を伴う歴史的投資を理解するには、投資決定を外生的に与えられたものとみなすのではなく、政治的・経済的な意思決定過程を内生的に記述した分析枠組みを取り込む必要がある。このようなアプローチは、歴史的持続性研究における因果推論と構造的メカニズム分析との橋渡しを可能にし、インフラ投資の持つ長期的影響をより包括的に理解するための新しい展望を開くと考えられる。こうした動学過程を考慮した研究方針については次章で議論する。以降、幾つか具体的なケーススタディを取り上げ、分析に使用されたデータ、手法、得られた知見について概観する。なお、本章は交通投資を主題としているが、歴史的持続性研究の分析枠組みは交通投資に特有のものではない。したがって、本レビューでは交通投資以外の事例についても対象に含め、研究動向を整理する。

3.2 貧困国における交通インフラ投資の長期的影響（Jedwab and Moradi, 2016）

研究目的

Jedwab and Moradi（2016）は、貧困国における大規模な交通インフラ投資が経済発展に与える長期的影響を明らかにすることを目的とした研究である。具体的には、アフリカの植民地時代に建設され、独立後に衰退した鉄道網を事例として、以下の点を検証している。

- ✓ 初期の交通インフラ（鉄道）が、経済活動の地理的分布にどのような影響を与えたか。
- ✓ その影響は、鉄道が衰退し道路網に代替された後も持続しているか（経路依存性）。
- ✓ 国の発展段階によって交通インフラ投資の効果は異なるのか。特に、インフラが未整備な貧困国における初期投資は、その後の追加投資よりも大きな影響を持つ可能性があるか。

対象地域

主たる分析対象はガーナである。研究結果の一般化可能性を検証するために、サハラ以南のアフリカ 39 カ国も対象としている。

対象時期

ガーナについては 1891 年から 2000 年までの約 1 世紀のデータ、アフリカ 39 カ国は 1890 年から 2010 年のデータを使用している。

分析に用いたデータ

ガーナの分析では、11km 四方のグリッドセル（計 2,091 セル）のデータセットが構築・使用された。これには、鉄道網の GIS データ（計画のみで建設されなかった路線情報も含む）、都市人口データ、カカオ栽培の適地・生産量データ、道路網などの地理・経済データが含まれる。アフリカ 39 カ国の分析では、同様に 11km 四方のグリッドセル（計 194,000 セル）のデータセットが構築・使用され、植民地時代の鉄道網と都市人口のデータが利用された。

分析に用いた手法

鉄道からの距離が経済活動に与える影響については、まず OLS 回帰分析によって推定が行われているが、単純な相関にとどまらず因果関係を識別するために複数の補足的戦略が採用されている。具体的には、以下のような手法である。

第一に、空間的不連続性分析である。分析に用いたセルは一律に約 11km 四方のグリッドで構成されており、近接するセル間では自然条件や歴史的条件が類似していると考えられる。この特性を利用して、鉄道から 0～10km のセルと 10～20km のセルを比較し、さらに郡(district)や民族グループの固定効果、緯度・経度の多項式を導入することで、未観測の地理的・歴史的要因を統制した上で効果を推定している。

第二に、鉱業や軍事目的で建設された路線の利用である。たとえば西線は金鉱山への資材輸送やアシャンティ王国への軍事支配を目的として敷設されたため、農業開発（特にココア栽培）の立地条件とは独立に決定されたものである。したがって、こうした路線を用いることで、内生性の懸念を弱めて鉄道効果を検証している。

第三に、プラセボ・チェックである。植民地政府によって計画されたが実際には建設されなかった複数の路線を反事実的な対照として利用し、これらの沿線では鉄道効果が観察されないことを確認することで、識別戦略の妥当性を裏づけている。

第四に、操作変数法（IV 法）である。ガーナに関しては、主要都市を直線的に結ぶ理論路線（セコンディ-クマシ直線など）からの距離を操作変数とし、またサハラ以南アフリカ全体の分析では、各国の主要都市を結ぶユークリッド最小生成木（Euclidean Minimum Spanning Tree: EMST）を理論的ネットワークとして構築し、その直線距離を操作変数に用いている。これにより、実際の鉄道配置の内生性を回避しつつ、鉄道の存在が都市成長に与える因果的効果を推定している。

このように、著者らは OLS 回帰に加え、空間的不連続性、外生的な路線配置、プラセボ比較、理論的ネットワークを用いた操作変数といった複数の識別戦略を組み合わせることで、

鉄道建設が経済活動や都市化に及ぼした因果的な影響を検証している。

分析の結果、示唆される知見や施策

植民地時代の鉄道建設は、ガーナおよびアフリカ 39 カ国において、カカオなどの新たな経済活動を創出し、鉄道沿線に新たな都市と人口の集積をもたらしたことが示された。この鉄道によって形成された都市の空間パターンは、独立後に鉄道が衰退し、道路網が全国に整備された後も、驚くほど強固に持続しており、強い経路依存性が確認された。本研究から得られる知見は、交通インフラが未発達な貧困国において、最初の画期的なインフラ投資（交通革命）は、経済の地理的構造を根本から変え、長期的な発展経路を決定づけるほどの巨大な力を持つということである。一度形成された都市網は、サンクコストと期待の固定化を通じて安定し、その後の追加的なインフラ投資（例：道路網）が空間構造に与える影響は比較的小さくなる、という投資効果の逡減も示唆される。これは、開発途上国における初期のインフラ計画が、国の将来の空間構造を決定づける上で極めて重要であり、現代のインフラプロジェクトも、既存の歴史的構造を前提としてその効果を慎重に評価する必要があることを示唆している。

3.3 経済活動のグローバルな分布の歴史依存性（Henderson et al., 2018）

研究目的

Henderson et al. (2018) は、全世界における経済活動の地理的分布を規定する要因として、自然特性(第一の自然)、歴史的持続性、および貿易の役割を明らかにすることを目的とした。とりわけ、各国の発展過程における「技術変化のタイミング」と「歴史的持続性」に焦点を当て、以下の問いに答えることを試みている。

- ✓ 先進国（早期発展国）では、農業の経済的重要性が低下しているにもかかわらず、経済活動の立地が農業適地の影響を強く受けているのはなぜか。
- ✓ 途上国（後期発展国）では、農業依存度が高いにもかかわらず、経済活動の立地が農業適性よりも貿易に適した土地（沿岸部など）の影響をより強く受けているのはなぜか。

対象地域

分析は全世界を対象とし、地球表面を約 24 万の 0.25 度四方のグリッドセルに区分して実施された。焦点は、各国内における経済活動の空間的分布に置かれている。

対象時期

主たる分析は、2010 年の夜間光データを用いたクロスセクション分析に基づいている。あわせて歴史的要因を考慮するため、1950 年時点の平均就学年数、都市化率、一人当たり GDP

を指標として国を「早期発展国」と「後期発展国」に分類し、両者の比較分析を行っている。

分析に用いたデータ

経済活動の代理変数として 2010 年の夜間衛星光データが用いられた。説明変数は計 24 種類の自然特性データであり、「農業関連変数」(気温, 降水量, 農業適性など), 「貿易関連変数」(海岸や航行可能な河川への距離など), 「基本変数」(マラリア指数, 地形の起伏)に分類される。また, 各国の歴史的発展段階を分類するために, 1950 年時点の平均就学年数, 一人当たり GDP, 都市化率のデータが使用された。

分析に用いた手法

分析手法として, グリッドセル単位の OLS 回帰分析が用いられ, 特に国別固定効果を導入することで国内の経済活動分布に焦点が当てられた。使用された 24 個の説明変数は以下の三群に分類された。農業関連(気温, 降水, 作期長, 農地適性, 標高, 緯度, および 14 バイオーム), 貿易関連(海岸からの距離, 海岸・自然港・航行可能河川・大湖への 25km 以内ダミー), 基礎(マラリア安定度指数, 起伏度)である。距離計算には球面距離や Fuller 正二十各変数群の相対的な重要性を評価するためにシャプレー分解が適用された。また, 国を 1950 年時点の発展段階で「早期発展国」と「後期発展国」に分割し, それぞれのグループで回帰分析を行うサンプル分割分析が中心的な役割を果たしている。さらに, 各国内の経済活動の空間的な不平等を測るため, 夜間光データから空間的ジニ係数が算出された。

分析の結果, 示唆される知見や施策

世界の経済活動の分布は, 農業に適した土地と貿易に適した土地という二種類の自然特性に大きく左右されるが, その影響のあり方は各国の発展過程によって異なることが示された。早期発展国では農業の経済的重要性が低いにもかかわらず農業適地が経済立地を強く規定し, 後期発展国では農業への依存度が高いにもかかわらず沿岸部など貿易適地の影響がより強い。この差異は, 農業革命と輸送革命の発生順序と都市の持続性によって説明される。すなわち, 早期発展国では農業革命が輸送革命に先行したため, 輸送コストの高い時期に農業適地で都市が形成され, その後も長期的に存続した。一方, 後期発展国では輸送革命が先行したため, 安価な輸送を前提として沿岸部などに都市が集中し, 内陸都市の成長は限定的となった。この知見は, 現代の経済活動の空間パターンが, 現在の条件だけでなく, 過去の技術的制約のもとで形成された都市配置が持続している結果であることを示す。したがって, 途上国の地域開発政策においては, 先進国の歴史的経験を単純に模倣するべきではなく, 低輸送コスト下で発展する途上国においては沿岸部への集中が合理的な選択であり得ること, また内陸部への大規模インフラ投資が必ずしも内陸都市の成長を促すとは限らないため, 費用対効果を慎重に検討する必要があることが示唆される。

3.4 ケニアにおける植民地鉄道の長期的影響（Jedwab et al., 2017）

研究目的

Jedwab et al. (2017) は、開発途上国における都市の発展が歴史にどれほど強く束縛されるか、すなわち「経路依存性（path dependence）」のメカニズムを解明することを目的とした研究を実施している。ケニアを事例に、以下の2段階の歴史的ショックを自然実験として利用する。

- ✓ 形成期（正のショック）：植民地時代に、①鉄道建設、②ヨーロッパ人入植者の到来、③アジア人貿易商の移住という3つの要因が、何もない状態からどのようにして都市の空間パターンを形成したかを分析する。
- ✓ 持続期（負のショック）：独立後、上記3要因が①鉄道の衰退、②ヨーロッパ人とアジア人の退去という形で失われたにもかかわらず、なぜ植民地時代に形成された都市が存続し続けたのかを検証する。

さらに、この持続性を説明する4つの候補（制度の持続性、技術変化、サンクコスト、空間的調整の失敗）の妥当性を比較検討する。

対象地域

分析対象はケニアであり、分析単位は1962年時点の第3レベル行政区画（473カ所）である。分析は主に、農業に適した非乾燥地域に限定されている。

対象時期

1901年から2009年までの約1世紀にわたる期間を対象とする。特に、独立年（1963年）を境にした植民地期と独立後の変化を比較している。

分析に用いたデータ

473の行政区画単位で、1901年から2009年までをカバーする新規の時空間データセットが構築された。これには、植民地時代の鉄道路線や駅、計画のみで未建設のプラセボ線、最小コスト経路などのGISデータが含まれる。また、人口データとして、都市人口の時系列データ、1962年時点のヨーロッパ人・アジア人人口、1933年のヨーロッパ人有権者名簿に基づく職業データ、19世紀のアフリカ人の歴史的居住パターンが用いられた。その他、道路網、学校、病院、土地制度、商業農業、夜間光などのデータも分析に利用されている。

分析に用いた手法

都市形成期の分析では、1962年時点の人口を従属変数とし、鉄道からの距離を説明変数とするOLS回帰分析を基本としつつ、因果関係を特定するために複数の識別戦略が採用された。具体的には、空間的不連続性（民族・郡固定効果）、外生的な路線の利用、プラセボ線を用いた検証、そして最小コスト経路（LCP）を操作変数とするIV法である。持続性の検証で

は、2009 年の都市人口を従属変数とし、1962 年時点の諸変数が持つ予測力を回帰分析で評価した。さらに、持続性のメカニズムを探るため、このモデルに制度、技術、サンクコストなどの変数を追加投入し、初期の都市人口の係数がどう変化するかを観察した。

分析の結果、示唆される知見や施策

ケニアにおける植民地時代の鉄道建設、ヨーロッパ人入植者、アジア人貿易商の到来は、鉄道沿線に新たな都市を形成し、国の経済の空間構造を根本から作り変えたことが明らかになった。さらに、独立後にこれら 3 つの形成要因が失われるという大規模な負のショックがあったにもかかわらず、鉄道沿いの都市は衰退せず、人口集積地として今日まで持続していることが確認された。この強い経路依存性は、制度や技術変化では十分に説明できず、植民地時代に整備されたインフラ等の「サンクコスト」が約 40%を説明した。残りの部分は、一度都市が形成されたことで、その場所が人々の投資や移住の「期待」を集める調整点（フォーカルポイント）となり、他の場所への移転が困難になった「空間的調整の失敗」が大きな役割を果たしたことが示唆される。この研究は、開発途上国の都市立地が一度歴史的イベントで決まると、その後の大規模な経済・社会変動にも耐えうる強固な持続性を持つこと、そしてそのメカニズムが物理的資本だけでなく人々の期待という社会的側面にも根差していることを示している。政策的には、既存都市の歴史的な調整機能の強さを踏まえると、新たな都市をゼロから創設しようとする試みは、非常に困難である可能性があり、歴史的に形成された都市網の機能を強化するアプローチがより現実的であるかもしれないとの示唆を得ている。

3.5 西ローマ帝国の崩壊が都市の分布に及ぼす影響（Michaels and Rauch, 2018）

研究目的

Michaels and Rauch（2018）は、都市の立地が地理的条件によって必然的に決まるのか、それとも歴史的な出来事によって非最適な場所に固定されうるのか（経路依存性）という問いについて検証した。この問いに答えるため、西ローマ帝国の崩壊という極めて大きな歴史的ショックを自然実験として利用している。このショックは、ブリテン（現在のイギリス）の都市ネットワークを完全に破壊・リセットしたが、ガリア（現在のフランス）では多くの都市が存続した。

この対照的な歴史を利用し、以下の点を明らかにする。

- ✓ 一度リセットされた都市ネットワークは、再興する際に新たな場所へ再配置されるか。
- ✓ 再配置は、時代の経済的要請（例：水運の重要性の高まり）により適した、より合理

的な場所へ向かうのか。

- ✓ 都市が存続した場合、歴史の重みによって非効率な場所に「閉じ込められる」ことはあるのか。

対象地域

主たる比較対象地域は、ローマ帝国時代のブリタンニア（現在のイギリス）とガリア（現在のフランス）である。研究の頑健性を確認するため、ベルギー、ドイツ、オランダなど、ローマ帝国領だった他の北西ヨーロッパ地域も分析対象に含めている。

対象時期

西暦 117 年（ローマ帝国最盛期）から 2012 年までの約 2000 年間。特にローマ時代と、都市が再興した中世（700 年以降）の立地パターンを比較している。

分析に用いたデータ

1km 四方のグリッドに基づき、ローマ時代から現代までの約 2000 年間にわたる都市の位置情報を記録した新規データセットが構築された。ローマ時代の町の位置は、考古学的文献に基づき複数の定義で特定され、中世の町の位置は司教座、貨幣鑄造所、人口推定値などの指標から特定された。これに加えて、海岸線や航行可能な河川といった地理データや、ローマ時代以前の鉄器時代の集落の位置データも利用されている。

分析に用いた手法

都市立地の持続性は、オッズ比（Odds Ratio）を用いて定量化された。これは、ローマ時代の町の近くに後の時代の町が存在する確率を、そうでない場所と比較するものである。この持続性の指標をブリテンとフランスで比較し、さらにローマ時代から中世にかけて都市の水運アクセスが両地域でどのように変化したかを分析した。水運の経済的重要性を評価するため、1200 年以降の都市の人口成長率を比較検証した。また、ローマ時代の都市立地の内生性に対処するため、ローマ時代以前の集落位置を操作変数として用いる IV 法が採用された。

分析の結果、示唆される知見や施策

西ローマ帝国の崩壊という歴史的ショックは、ブリテン（イギリス）とガリア（フランス）の都市ネットワークに全く異なる長期的影響をもたらしたことが明らかになった。都市が存続したフランスでは、中世の都市の多くがローマ時代の立地を維持し、強い持続性を示した。一方、都市ネットワークが一度完全にリセットされたブリテンでは、中世に再興した都市は、ローマ時代の立地への持続性が著しく低く、代わりに水運の利便性が高まった中世の経済状況に適応し、海岸や航行可能な河川沿いへと再配置された。1200 年から 1800 年にかけて、水運アクセスを持つ都市は持たない都市よりも速く成長したことから、この再配置は経済的に合理的であったことが示唆される。本研究から得られる知見は、都市ネットワークは通常、たとえ立地が非最適になっても歴史的な経路依存性によって固定化されるが、それを完全に

破壊するほどの大規模なショックがあった場合には、新たな経済合理性に基づいて再編成されうる、ということである。これは、フランスの多くの都市が、歴史の重みによって最適でない内陸の場所に何世紀にもわたって「閉じ込められ」、経済的コストを生んだ可能性を示唆している。政策的には、都市計画やインフラ整備の決定は、数世紀以上にわたる不可逆的な影響を持つ可能性があるため、長期的な地理的・経済的合理性を慎重に検討することの重要性を強く示唆している。

3.6 1872 年ボストン火災の影響 (Hornbeck and Keniston, 2017)

研究目的

1872 年 11 月 9 日、マサチューセッツ州ボストンのサマー・ストリートにある倉庫から出火し、大規模な火災が発生した。この火災は一晩中燃え続け、市街地は壊滅的な被害を受けた。その後、ボストン市は都市再編に着手し、通りの拡幅や防火対策を進めるなど都市計画的な改革を実施した。この火災は、都市の歴史的発展に大きな影響を及ぼしたことが知られている。Hornbeck and Keniston (2017) の論文は、1872 年ボストン火災が都市の成長にどのような影響があったのかについて実証分析を交えて考察した論文である。具体的には、都市の成長が古い建物の存在によってどのように妨げられるか、そして大規模な破壊がその障壁をどのように取り除くかを明らかにしている。

個々の土地所有者は、自身の土地を再開発しても近隣へのプラスの影響（正のスピルオーバー効果）を享受できないため、社会的に最適なタイミングでの建て替えを行わない傾向がある。この結果、都市全体の成長が抑制される可能性がある。この問いに対し、1872 年のボストン大火を「自然実験」として捉え、この出来事が広範囲の建物を同時に破壊したことで、協調的な再建が促進され、都市成長の障壁がどのように取り除かれ、どのような経済的利益が生まれたかを定量的に検証している。

対象地域

分析の対象地域は、アメリカ合衆国マサチューセッツ州ボストンのダウンタウンであり、特に 1872 年の大火で焼失した区域とその周辺の非焼失区域に焦点を当てている。

対象時期

分析は、大火発生前の 1867 年、1869 年、1871 年、1872 年と、発生後の 1873 年、1882 年、1894 年のデータを用いている。これにより、火災前後の長期的な変化を捉えることが可能である。

分析に用いたデータ

分析に用いたデータは、ボストン市の税務評価記録から収集したプロットレベル（区画ごと）の情報であり、各区画の土地価値、建物価値、土地面積、占有者の特性が含まれる。この評価額の妥当性を検証するため、ボストン登記所からの不動産売買データも利用された。さらに、地理情報を特定するために当時の火災保険用地図が GIS で処理され、大火との比較のためにボストン消防局の記録から 1866 年から 1891 年の個別の建物火災に関するデータも収集された。

分析に用いた手法

差分の差分（Differences-in-Differences）法を用いて、焼失区域（処置群）と非焼失区域（対照群）における火災前後の土地・建物価値の変化を比較し、火災の因果効果を推定している。また、地理的境界を利用した分析を行い、火災の影響が境界からどの距離まで及んだかをノンパラメトリックに推定することで、スピルオーバー効果の空間的範囲を特定した。この空間パターンをモデル化するために非線形最小二乗法を用い、地価上昇の総額を推計した。加えて、分位点回帰分析により、火災が建物価値の分布全体に与えた影響を検証している。

分析の結果、示唆される知見や施策

1872 年のボストン大火は、焼失区域だけでなくその近隣非焼失区域の地価をも大幅に引き上げたことが明らかになった。この経済的利益の総額は、焼失した建物の価値に匹敵する規模であった。これは、個別の建物火災では見られない現象であり、多数の建物が同時に再建されることで生じる強力な正のスピルオーバー効果を示唆している。本研究が示唆するのは、都市の成長は、個々の土地所有者が近隣へのプラスの影響を考慮しないために古い建物が残ることで制約されるという知見である。大火のような大規模な破壊的イベントは、この膠着状態を打破し、調整された再投資を促すことで、莫大な経済的価値を解放する「創造的破壊」として機能する可能性がある。ただし、この効果は経済が成長している都市に特有のものであり、衰退している都市では逆効果となりうる。政策的には、火災のような破壊的な方法に頼らずとも、都市再開発プロジェクトや、正の外部性を生む投資を奨励する補助金等の政策が、都市の潜在成長力を引き出す上で有効であることを示唆している。

3.7 過去の集積力の歴史依存性（Bleakley and Lin, 2012）

研究目的

Bleakley and Lin (2012) は、経済活動の地理的分布が不変の地理的特徴だけで決まるのか、

それとも一度形成された集積が歴史的に持続する「経路依存性 (path dependence)」によって決まるのかを検証した。この検証のため、かつては水運における障害 (滝や急流) を迂回するための「連水陸路 (portage sites)」として、また初期産業化においては水力源として重要であったが、技術革新によってその価値が完全に失われた場所を特定し、それらの場所が現在も経済活動の集積地であり続けているかを分析することで、経路依存性の存在とそのメカニズムを明らかにする。

対象地域

分析対象はアメリカ合衆国の南部、大西洋岸中部、中西部である。特に、大西洋岸の河川における航行の境界点であった「滝線 (Fall Line)」, 五大湖とミシシッピ川水系を結んだ「中西部の連水陸路」、そしてミシシッピ川の主要支流沿いの航行障害地点に焦点を当てている。

対象時期

アメリカの植民地時代から現代 (2000 年) までを対象とする。特に、連水陸路の経済的価値が失われた 19 世紀後半以降も、人口集積が持続しているかに焦点を当てている。

分析に用いたデータ

分析には、1790 年から 2000 年までの国勢調査に基づく郡および国勢調査細分区レベルの人口密度データが用いられた。経済活動の代理変数として 2003 年の夜間光データも使用された。連水陸路の正確な位置は、地質調査所の地図や歴史的文献、19 世紀の陸軍工兵隊の調査記録から特定された。これらに加え、気候、標高、19 世紀の鉄道網、水力ポテンシャル、歴史的な雇用データなど、多岐にわたる地理・歴史データが統合されている。

分析に用いた手法

まず、連水陸路への近接性が現代の人口密度に与える影響を、多様な地理的要因や河川流域の固定効果を統制した OLS 回帰分析で検証した。次に、1790 年から 2000 年までのパネルデータを用いた時系列分析により、この影響が時間とともにどう変化したかを追跡した。さらに、連水陸路の優位性が失われる前後を比較する差分の差分法的なアプローチも採用された。最後に、持続性のメカニズムを検証するため、現代のデータを用いて、連水陸路都市と他の同規模都市との間で、住宅ストックやインフラなどの「サンクコスト」となりうる要因に差があるかが比較された。

分析の結果、示唆される知見や施策

かつて水運の中継地として重要だった「連水陸路 (portage sites)」は、その経済的優位性が技術革新によって完全に失われた後も、現代に至るまで高い人口密度を維持していることが明らかになった。これらの都市は、優位性が失われた後に衰退するどころか、20 世紀初頭にかけて周辺地域よりもむしろ相対的に成長し、その後安定した状態にある。この持続性は、古い住宅ストックや特定のインフラといった物理的な「サンクコスト」だけでは十分に説明

できず、同規模の他の都市と比較しても、これらの要因に顕著な差は見られなかった。本研究が示唆する最も有力な知見は、規模の経済が働く状況下で、歴史的な偶然の優位性（連水陸路）が、どこに都市を建設すべきかという「調整問題（coordination problem）」を解決するきっかけとして機能した、ということである。一度そこに人や資本が集積すると、その集積自体が新たな引力となり、当初の立地理由が失われても都市が存続し続ける「経路依存性」が生じたと考えられる。このことは、都市の立地に関する政策決定が、長期にわたる不可逆的な影響を持つことを示唆している。一度形成された都市集積は非常に強固であるため、都市政策は既存の歴史的制約を前提として計画されるべきであり、また新たな都市を創設する際には、その立地選定が持つ長期的な重要性を認識する必要がある。

3.8 まとめ

以上にレビューした内容を表 3.1 に整理する。これらの研究はいずれも、「経済活動の立地は自然条件によってのみ決まるのではなく、一度形成された集積が歴史的に持続する」という事実を多角的に示している。ただしその持続の仕方や程度は、初期条件の性質、技術変化のタイミング、ショックの規模によって大きく異なる。

まず、インフラ投資が都市の空間構造を長期的に固定することは、アフリカにおける鉄道建設の研究（Jedwab and Moradi 2016, Jedwab et al., 2017）で明確に示された。鉄道がもたらした経済活動と都市形成は、道路網の整備や鉄道の衰退といった大きな環境変化があっても持続し、経済の地理を長期にわたり方向づけた。こうした持続性は単なる物的インフラの残存だけでは説明できず、人々の期待や都市が持つ調整機能そのものが大きな役割を果たしている。

次に、国や地域によって歴史の影響の仕方が異なることは、世界全体を対象とした研究（Henderson et al., 2018）で示された。先進国では農業の比重が低下しているにもかかわらず農業適地が都市立地を規定し続け、途上国では農業依存度が高いにもかかわらず沿岸部などの貿易適地がより強く都市立地を規定する。この逆説的な現象は、農業革命と輸送革命のタイミングの差と、形成された都市の歴史的持続性によって説明される。

一方で、大規模な歴史的ショックは都市ネットワークをリセットし、新たな合理的配置を可能にすることもある。ローマ帝国崩壊後のブリテンとガリアを比較した研究（Michaels and Rauch, 2018）によれば、ブリテンでは都市が一度消滅したことで、中世には水運に適した立地に再配置され、より経済的に合理的な都市パターンが形成された。これに対し、ガリアではローマ時代の都市が存続し、結果的に水運不便な内陸都市が長く残ることになった。

さらに、破壊的ショックが「創造的破壊」として機能する場合もある。1872年のボストン大火を分析した研究（Hornbeck and Keniston, 2017）は、大火が単に建物を失わせただけでなく、同時的な再建を促して周辺の地価を大幅に押し上げたことを示した。これは個別の小規模火災では生じなかった効果であり、大規模破壊が都市成長を阻む障壁を取り除く契機になり得ることを示す。ただし、この効果は成長中の都市に特有であり、衰退都市では逆効果となる可能性も指摘されている。

最後に、初期の偶然的な地理的優位性が長期的に持続することを、アメリカの連水陸路に関する研究（Bleakley and Lin, 2012）が明らかにしている。水運や水力の役割が失われて久しいにもかかわらず、これらの場所は現代に至るまで高い人口密度を維持している。しかもその持続性は住宅やインフラといったサンクコストでは説明できず、初期の集積が「どこに都市を築くか」という調整問題を解決し、その後の世代が重ねて投資することで自己強化的に存続してきた結果と解釈できる。

これらの研究が示すのは、都市や経済活動の立地は、歴史的な偶然や初期条件によって強く方向づけられ、その影響は数十年から数世紀にわたり持続するという事実である。一度形成された都市は、たとえ当初の立地優位性を失っても集積そのものが新たな引力となり、存続し続ける。ただし、ローマ帝国崩壊のような極端なショックや、大火のような破壊的イベントは、都市ネットワークをリセットしたり再投資を誘発する契機となり得る。

したがって、都市政策やインフラ投資は長期にわたる不可逆的影響を伴うことを認識しなければならない。新都市を創設することは容易ではなく、既存の歴史的集積を前提にした強化・改善が現実的な戦略となる。同時に、過去の偶然がもたらした「非効率な立地」に都市が固定化される可能性もあるため、どのような条件で歴史的束縛を乗り越え、新たな合理的配置に移行できるのかを理解することが、今後の大きな研究課題である。

表 3.1 実証研究まとめ

論文	対象地域	対象時期	主な手法	主な知見
Jedwab & Moradi (2016) 「The Permanent Effects of Transportation Revolutions in Poor Countries」	ガーナ（＋サハラ以南アフリカ 39 か国）	ガーナ：1891–2000 年 アフリカ 39 か国：1890–2010 年	- OLS 回帰- 空間的不連続性分析（郡・民族固定効果，緯度経度多項式）- 外生的路線の利用- プラセボ線による検証- 操作変数法（理論路線・EMST）	鉄道がココア栽培・都市形成を促進．その空間パターンは道路整備後も持続＝強い経路依存性．初期インフラ投資が長期的に空間構造を固定．
Henderson, Squires, Storeygard (2018) 「The Global Distribution of Economic Activity: Nature, History, and the Role of Trade」	世界全域（約 24 万グリッドセル）	現代（2010 年）＋1950 年の国別発展段階で分類	- OLS 回帰（国固定効果）- シャプレー分解- サンプル分割回帰（早期発展国／後期発展国）- 夜間光ジニ係数分析	農業適地と貿易適地が経済立地を規定．ただし早期発展国は農業適地，後期発展国は貿易適地に依存．技術革新のタイミングと歴史的持続性が空間パターンを決定．
Jedwab, Kerby & Moradi (2017) 「History, Path Dependence and Development: Evidence from Colonial Railroads, Settlers and Cities in Kenya」	ケニア（473 行政区）	1901–2009 年（独立 1963 年を境に分析）	- OLS 回帰（鉄道距離→1962 年人口）- 空間的不連続性分析- プラセボ線・外生路線- IV 法（最小コスト経路）- 持続性分析（1962→2009）	鉄道・欧米人入植により都市形成．独立後に鉄道衰退・入植者退去しても都市は存続＝強い経路依存性．制度や技術では説明できず，サンクコスト＋期待の固定化（調整失敗）が持続要因．
Michaels & Rauch (2018) 「Resetting the Urban Network: 117–2012」	英国（ブリテン）とフランス（ガリア）中心，北西欧諸国	ローマ帝国期（117 年）～2012 年	- オッズ比で都市持続性を測定- 水運アクセスの比較分析- 都市人口成長率の比較（1200–1800 年）- IV 法（鉄器時代集落を操作変数）	フランス：ローマ都市が存続し，非効率立地に固定化．イギリス：ローマ都市がリセットされ，中世に水運適地へ再配置し成長．→ 大ショックがあれば新たな合理的パターンに再編可能．
Hornbeck & Keniston (2017) 「Creative Destruction: Barriers to Urban Growth and the Great Boston Fire of 1872」	米国ボストン（ダウンタウン）	火災前：1867–1872 年 火災後：1873, 1882, 1894 年	- DID（焼失区画 vs 非焼失区画）- 距離減衰によるスピルオーバー推定- 非線形最小二乗法（地価総額推計）- 分位点回帰- 個別火災との比較	大火後の同時再建により地価が大幅上昇し，総額は焼失建物価値に匹敵．小規模火災では効果なし．→ 同時的再建が強い正のスピルオーバーを生み「創造的破壊」として機能．
Bleakley & Lin (2012) 「Portage and Path Dependence」	米国南部・大西洋岸中部・中西部（滝線・五大湖–ミシシッピ連水陸路・支流）	植民地期～2000 年	- OLS 回帰（portage 近接性→人口密度／夜間光）- パネル分析（1790–2000）- 差分の差分的比較- サンクコスト要因（住宅・インフラ等）の検証	Portage sites は価値喪失後も人口密度維持・成長．住宅やインフラでは説明不可．→ 初期の自然優位性が都市立地の調整問題を解決し，集積が自律的に持続＝経路依存性．

4 章 交通投資の意思決定のモデル化に関する既往研究

2 章では、わが国における交通投資の歴史的背景について、3 章では、交通投資の長期的影響を分析した実証研究を整理した。以上の整理から明らかになった点は、第一に、交通投資が都市の構造や経済活動のあり方に数十年から数世紀に及ぶ長期的影響を及ぼすこと、第二に、こうした影響を実証的に検証する研究は近年盛んに行われているものの、多くは基礎的段階にとどまり、交通政策や交通計画に直接反映できる水準には至っていないということである。

そこで本章では、交通投資の長期的影響を交通政策・交通計画に反映させることを目指した Xie and Levinson (2011) の研究を参考に、とりわけ交通投資に関わる意思決定のモデル化について整理する。歴史研究や因果推論分析は、交通投資の長期的影響を理解するうえで不可欠ではあるものの、将来の交通状態を十分に推論するには限界がある。この点に対し、Xie and Levinson (2011) が提唱する進化的交通計画は、構造モデルを用いてシミュレーションを行い、そこから政策的含意を導こうとするものであり、交通投資の長期的影響を視野に収めた交通計画論として発展し得る可能性を有している。

4.1 Evolving Transportation Networks (Xie and Levinson, 2018) 概要

書籍 *Evolving Transportation Networks* (Xie and Levinson, 2018) は、交通ネットワークを静的な完成形ではなく、社会経済的要因や投資行動に応じて進化し続けるシステムとして捉える視点を提示している。その中心的な問題意識は、交通需要と投資、土地利用や経済活動、さらには制度的な意思決定が相互作用しながら、どのようにネットワーク構造が変化していくのかを理解することにある。

著者らはまず、既存研究の系譜を次の 5 つのアプローチに整理し、本書の特徴を位置づけている。

1. **交通地理学 (Transportation Geography)** : Taaffe et al. (1963) が道路網発展を四段階モデルで記述するなど、地理的視点からネットワークの拡張過程を分析。
2. **最適化とネットワーク設計 (Optimization and Network Design)** : ネットワーク設計問題 (NDP) として、上位問題 (投資決定) と下位問題 (交通配分) を二段階で定式化。ただし、Zhang and Levinson (2007) は相互依存性を無視する点を批判。
3. **ネットワーク成長の実証モデル (Empirical models of network growth)** : スイス道路

網 (Erath et al., 2009) など、歴史的データを用いて実際の成長パターンを分析.

4. ネットワーク成長の経済学 (Economics of network growth) : ネットワーク外部性や事業者間の協力・競争関係を分析.
5. ネットワーク科学 (Network science) : preferential attachment 原理に基づく理論研究や, エージェントベースシミュレーションによる成長過程の再現 (Barthélemy and Flammini, 2009; Helbing et al., 1997; Zhang and Levinson, 2004)

これらの既存研究を踏まえつつ, 本書は需要, 交通配分, 投資意思決定, そしてフィードバック更新を組み合わせた「ネットワーク成長モデル」を提示し, 交通ネットワークの長期的進化をシミュレートする枠組みを示している. 投資がもたらすアクセス改善, 誘発需要, 地域間格差, 経路依存性を定量的に検証できる点が特徴であり, 災害後の復旧投資を含めた進化シナリオの比較にも応用できる. すなわち, 本書は交通投資の影響を理解するためのシミュレーション枠組みを提示するとともに, ネットワーク成長の規則性やパス・ディペンデンスを体系的に分析するための出発点を提供している. 以下では, こうした分析枠組みの概要を整理する.

4.2 基本モデル

Xie and Levinson (2011) が提示する基本モデルは, System of Network Growth (SONG) と呼ばれるシミュレーションモデルであり, 交通ネットワークが分散的かつ局所的な投資意思決定の積み重ねによって自律的に階層構造を形成し得るかを検証することを目的としている. 従来の中央集権的な計画論に対し, SONG は各リンクを独立したエージェントとみなし, 収入・費用に基づく単純な更新ルールを繰り返すことでネットワークの進化を再現する.

SONG は以下のモジュールから構成される (図 4.1 参照).

4.2.1 土地利用配置

二次元格子 (例: 50×50 セル) 上に人口や活動を配置し, 各セルから一定数のトリップを発生させる. トリップは最寄りのノードに割り当てられる.

4.2.2 交通需要モデル

簡略化された 4 段階推定を用いる. すなわち, トリップ生成 $\rightarrow$ 最短経路探索 $\rightarrow$ トリップ分布 $\rightarrow$ all or nothing 配分である. OD 間トリップ数は重力モデルで表現される. リンク a

の一般化コストは $t_a^l = \eta \left(\frac{l_a}{v_a^i} \right) + \tau (l_a)^{\rho_1} (f_a^i)^{\rho_2} (v_a^i)^{\rho_3}$ で与えられる。ここで、 η は時間価値、 l_a はリンク長、 v_a^i は時点 i における平均速度、 f_a^i は流量、 τ は料金率、 ρ_1, ρ_2, ρ_3 はパラメータである。OD ペア全体の経路コストは、リンクコストに徒歩アクセスコストを加えた形で算出される。

4.2.3 投資モデル (Investment models)

各リンクエージェントは収入と費用を比較して投資行動を決定する。収入は $E_{ab} = \tau l_{ab} (f_a + f_b)$ で表される。ここで l_{ab} はリンク長、 f_a と f_b は双方向リンクの流量である。費用は固定費と変動費に分けられる。

$$\text{固定費} : C_{fixed,ab} = 2 (l_{ab})^{\alpha_1}$$

$$\text{変動費} : C_{var,ab} = (l_{ab})^{\alpha_1} [(f_a)^{\alpha_2} + (f_b)^{\alpha_2}] (v_{ab})^{\alpha_3}$$

ここで v_{ab} はリンク a とリンク b の平均速度、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ は長さ、流量、速度の貢献度を定めるパラメータである。興味深い点は、速度が以下の式で定義される点である。

$$v_{ab}^{i+1} = v_{ab}^i \times \left(\frac{(E_{ab}^i - C_{fixed,ab}^i)}{C_{var,ab}^i} \right)^\beta$$

ここで β は速度改善係数である。収入が維持費を超えれば速度を改善され、反対に不足すれば速度は低下する、という交通投資の意思決定主体を仮定している。

4.2.4 ネットワーク更新 (Updating network)

各期で更新されたリンク速度を次期の需要モデルに反映し、これを繰り返す。速度分布が安定 (equilibrium) に到達するまでシミュレーションが続けられる。

4.2.5 実験結果

初期条件 (速度分布や土地利用配置) を変えた複数の実験が行われた。その結果、初期条件に依存せず、ネットワークは徐々に「高速幹線と低速ローカル路」が共存する階層構造を形成した。これは、交通ネットワークの階層性が中央集権的な計画によるものではなく、単純な分散的投資行動の集積からも自然発生的に生じ得ることを示している。

この SONG モデルは、土地利用、交通需要、費用・収入、投資判断という交通ネットワーク進化の最小限の要素を統合し、分散的な意思決定の帰結として秩序が生まれる過程を描

き出す点に意義がある。同時に、中央集権的計画を仮定せずにネットワークの進化を説明しようとする初期的な試みであり、後に提示される「撤退」「ガバナンス」「土地利用内生化」といった発展モデルの基盤となっている。

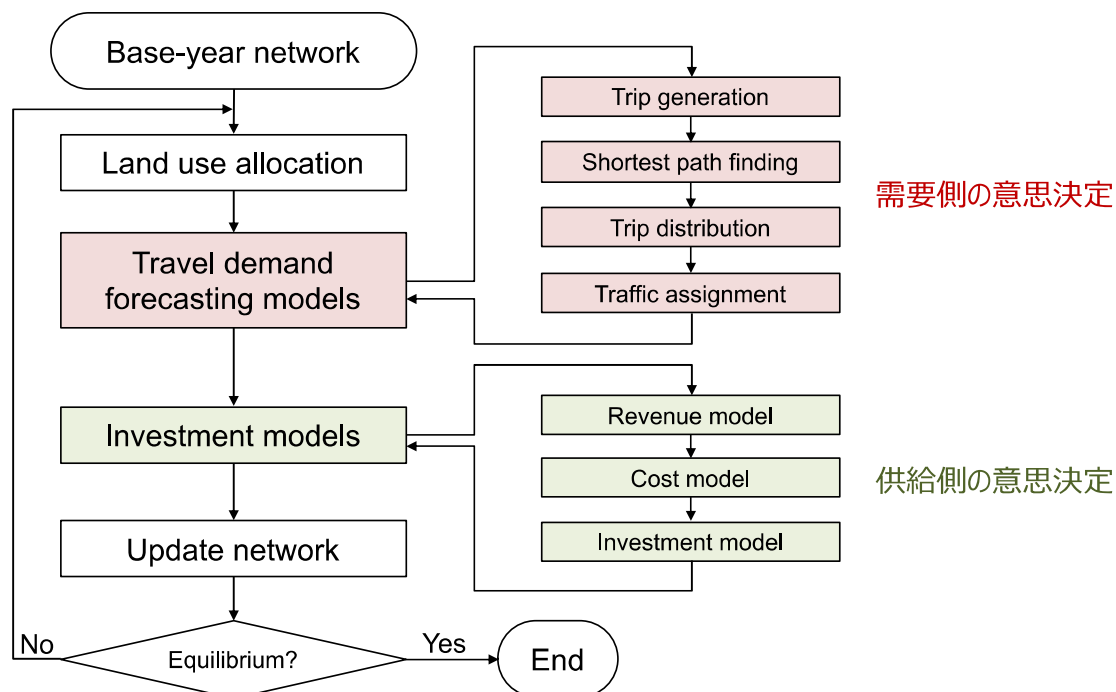


図 4.1 System of Network Growth (SONG) モデル

4.3 発展モデル 1：インフラ撤退の考慮

基本モデル SONG はネットワークの拡張を前提としたシミュレーション枠組みであったが、実際の交通ネットワークは需要減少や制度的制約により路線の廃止・縮退が生じる。これを明示的に組み込んだのが SOUND (System Of Ultra-connected Network Degeneration) モデルである。SOUND は、ネットワークの拡張と並行して「撤退 (disinvestment)」を導入することで、現実的なネットワーク進化を表現することを目指す。

4.3.1 モデル構造

SOUND は SONG の構造 (図 4.1) に撤退モデルを加えたものであり、以下のモジュールから成る (図 4.2 参照)。

土地利用配置：SONG と同様に、格子上のセルに活動を配置し、トリップを生成する。

交通需要モデル：トリップ生成、最短経路探索、トリップ分布、AON 配分を実施。

投資モデル：収入・維持費の差分に基づき、各リンクの速度を更新する。

撤退モデル：利用度の低いリンクを逐次的に削除するプロセスを追加。

4.3.2 撤退ルール

各期で「最弱リンク (weakest link)」を選択し削除する。利用度は交通量によって測定される。ネットワークが分断されないことを条件に除去を実施。対称的なネットワーク構造を持つ場合は、対称リンクを同時に削除する。削除後、土地利用セルは次に近いノードへ再割り当てされるため、交通需要は動的に再計算される。

4.3.3 測定指標

SOUND では、ネットワークの縮退過程を評価するために多様な指標が用いられる。

Connectivity：ガンマ指数 $\gamma = \frac{e}{3(v-2)}$ (e : エッジ数 v : ノード数)

Density： $D = L / B$ (L : 道路総延長, B : エリア面積)

Heterogeneity：速度分布に基づくエントロピー指標、および Gini 係数。

Connection patterns：リング・ウェブ・ツリーといった典型的形態を識別、各パターンの比率を算出。

4.3.4 実証分析とモデル検証

対象：1917-1941 年に衰退したインディアナ州インターバン鉄道網。

方法：1916 年時点のネットワークを基準に、最弱リンクを逐次削除するシミュレーションを行い、実際の廃止順序と比較。

結果：Spearman 順位相関により、シミュレーションと歴史的データの間に有意な正の相関が確認された。これは「最弱リンク」仮定が現実のネットワーク縮退過程を一定程度再現できることを示している。

4.3.5 シミュレーション実験

対象ネットワーク：格子 (grid)、完全 (complete)、六角格子 (hexagon) などの理想化ネットワーク。

条件：初期速度や土地利用の分布を変化させ、対称／非対称な状況を比較。

結果：初期条件の違いにかかわらず、利用頻度の低いリンクが消滅し、高頻度リンクが残存する秩序的な縮退が観察された。ネットワーク構造は時間とともにツリー型・リング型・ハブアンドスポーク型などに進化することが確認された。

4.3.6 感度分析

パラメータ（歩行速度 v_0 、料金率 τ 、流量係数 α_2 、速度改善係数 β ）を変化させて検証。料金率上昇はネットワーク速度の全体的上昇とエントロピーの増加をもたらした。流量係数の減少は高ボリュームリンクを優遇し、ネットワークの階層性を強めた。 β の変化は大きな影響を与えず、撤退過程は比較的ロバストであることが示された。

4.3.7 まとめ

SOUND モデルは、SONG が描いた「拡張中心」の進化観に対し、「縮退」を内生的に組み込むことで、ネットワークの両方向的な進化を表現可能にした点に特徴がある。実証分析とシミュレーションにより、リンク撤退が秩序あるネットワーク構造をもたらすこと、すなわちネットワーク進化の自発的秩序形成の一形態であることを示した。このことは、現実の政策過程においても、「撤退」や「縮退」を単なる衰退ではなく、次の秩序形成に資する現象として捉える視座を提供する。

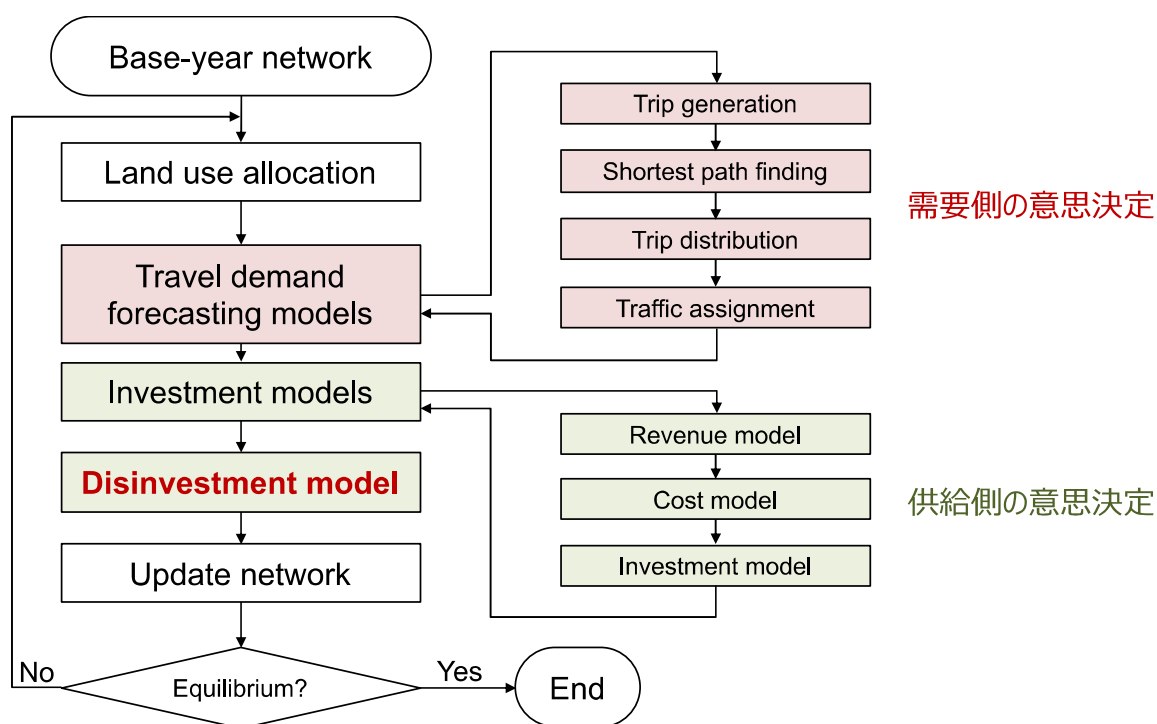


図 4.2 SOUND (System Of Ultra-connected Network Degeneration) モデル

4.4 発展モデル2：ガバナンスの考慮

交通ネットワークの成長は、技術的要因や需要構造に加えて、投資の意思決定主体が中央政府か地方政府かによっても大きく異なる。中央集権型の管理では、国家的な優先順位に基づいて資源が一元的に配分され、効率性が高い一方で、地域の特性を十分に反映できない可能性がある。一方、地方分権型では、地域事情を踏まえた柔軟な投資が可能だが、自治体間の競争や投資の重複により、全体として非効率性が生じ得る。

Xie and Levinson (2011) は、このような制度的多元性を明示的に取り込むために SONIC/GC (System Of Network Incremental Connection for Governance Choice) モデルを提示した (図 4.3)。このモデルは、逐次的なネットワーク成長過程において、中央集権型と分権型のガバナンス構造を比較し、料金設定・投資判断・便益配分の違いがネットワーク構造や財政収支に与える影響を分析することを目的としている。

4.4.1 モデル構造

SONIC/GC は、SONG や SOUND の基本的な構造を踏襲しつつ、料金政策と制度的枠組みを導入している。モジュールは以下の通りである。

交通需要モデル: トリップ生成・分布・交通配分を行う。交通配分には確率的利用者均衡 (SUE) を用いる。

料金モデル (Pricing): 中央集権下ではシステム全体を考慮した限界費用価格付けを実施する。分権型では各リンクを運営する主体が独自に料金を設定し、需要に基づき逐次調整する。

投資モデル (Investment): 便益費用比 (B/C) に基づき、既存道路の拡張および新設を選択する。予算は各期における料金収入を財源とし、中央集権型では全体プール、分権型では自治体ごとに配分される。

ネットワーク更新: 投資の結果を反映し、次期の需要計算に組み込む。

4.4.2 数理定式化

(1) トリップ生成・分布

$$\text{発生モデル: } O_i = \xi_0 + \xi_1 J_i + \xi_2 W_i$$

$$\text{集中モデル: } D_i = \psi_0 + \psi_1 J_i + \psi_2 W_i$$

$$\text{分布モデル: } N_{ij} = K_i K_j O_i D_j e^{-\theta t_{ij}}$$

(2) 料金設定

$$\text{中央集権型 (限界費用価格付け): } \tau_a(f_a) = \frac{\partial t_a(f_a)}{\partial f_a} f_a$$

分権型（逐次調整ルール）： $\Delta\tau_a^n = \rho_2 \Delta\tau_a^{n-1}$

(3) 投資モデル

収入（中央集権下）： $R^c = \Sigma_p \Sigma_a (365\phi\delta_a^p \tau_a^c f_a)$

収入（分権下）： $R_p^d = \Sigma_a (365\phi\delta_a^p \tau_a^d f_a)$

便益： $A_i = W_i \Sigma_j J_j e^{-\theta t_{ij}}$, $U_i = \pi A_i$

費用： $\ln(E_{e,p}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\Sigma_a \delta_a^p l_a \Delta C_a)$

拡張ルール： $\Delta C_a = f_a/Q^* - C_a$

新設ルール（中央集権下）： $H_p^c = \pi \Delta A_p^c / E_{n,p}$

新設ルール（分権下）： $H_i^p = (\pi \Delta A_i^p + (1 - \lambda_i^p) \chi_i^p R_p^d N) / (\chi_i^p E_{n,p})$

ここで、

O_i ：ゾーン i の発生トリップ数

D_i ：ゾーン i の集中トリップ数

J_i ：ゾーン i の就業者数

W_i ：ゾーン i の人口

N_{ij} ：ゾーン $i \rightarrow j$ の OD トリップ数

t_{ij} ：一般化交通費用（時間・費用）

θ ：費用感度パラメータ

K_i, K_j ：重力モデル補正係数（バランシングファクタ）

$\tau_a(f_a)$ ：リンク a に課される料金

f_a ：リンク a の交通量（フロー）

$t_a(f_a)$ ：リンク a の旅行時間（混雑関数）

$\Delta\tau_a^n$ ：逐次調整ルールにおける n 期の料金変化

ρ_2 ：調整速度パラメータ

R^c ：中央集権下での年間料金収入

R_p^d ：プロジェクト p に属する分権主体の年間料金収入

ϕ ：平均稼働率（平日換算係数など）

δ_a^p ：リンク a がプロジェクト p に属するダミー

τ_a^c, τ_a^d ：中央集権／分権下での料金

A_i ：ゾーン i のアクセシビリティ指標

U_i ：便益（効用）

π ：便益評価の重み係数

$E_{e,p}$ ：既存投資の費用（プロジェクト p の拡張投資）

$E_{n,p}$: 新設投資の費用
 l_a : リンク a の延長
 ΔC_a : 容量改善量
 Q^* : 基準容量
 C_a : 現状容量比率
 H_p^c : 中央集権下での投資評価指標
 H_i^p : 分権下での投資評価指標
 $\Delta A_p^c, \Delta A_i^p$: 投資によるアクセシビリティ変化
 χ_i^p : 費用分担係数
 λ_i^p : 収入配分率
 N : スケーリング定数 (人口や需要に基づく)

中央集権型の特徴は、料金設定や投資判断を一元的に行うことで、社会的余剰の最大化を理論的に追求できる点にある。限界費用価格付けを通じて外部費用を内部化し、B/C 比に基づく投資配分によりネットワーク全体として効率的な進化を実現できる。一方で、実際には情報集約の困難さや官僚的意思決定の遅延といった課題を抱え、地域ごとの事情を十分に反映できないリスクがある。

分権型の特徴は、料金や投資が各リンクあるいは自治体単位で独自に決定されるため、地域の状況や利用者特性を直接反映しやすい点にある。また、投資判断が迅速に行えるため、アクセス改善が地域レベルで積極的に進む可能性がある。しかし、他主体との競合により料金水準が非効率になったり、財源制約から過小投資に陥る場合があるほか、時に重複投資によって全体効率を損なうこともある。

すなわち、中央集権型は「効率性」を、分権型は「柔軟性」を優位とする一方で、それぞれ固有の限界を持つ。SONIC/GC モデルは、このトレードオフを定量的に比較し、ネットワークの進化における制度設計の重要性を示している。

4.4.3 実験結果の概要

中央集権型 : アクセス改善は効率的に実現されるが、長期的には財政赤字を生じやすい。

分権型 : 積極的な投資により地域的アクセスは改善するが、財政面では赤字が拡大しやすい。

共通点 : いずれも長期的な財政持続性に課題を抱えており、制度設計の重要性が浮き彫りとなる。

4.4.4 まとめ

SONIC/GC モデルは、SONG や SOUND が前提としていた「単一の計画主体」を超え、制度的多元性を定量的に表現した初の枠組みである。料金政策や投資判断の違いを比較可能とすることで、交通ネットワークを技術システムにとどまらず、制度的システムとして捉えることを可能にした。その結果、本モデルは現実の政策設計への直接的な示唆を提供し、理論と実務を橋渡しする役割を担っている。

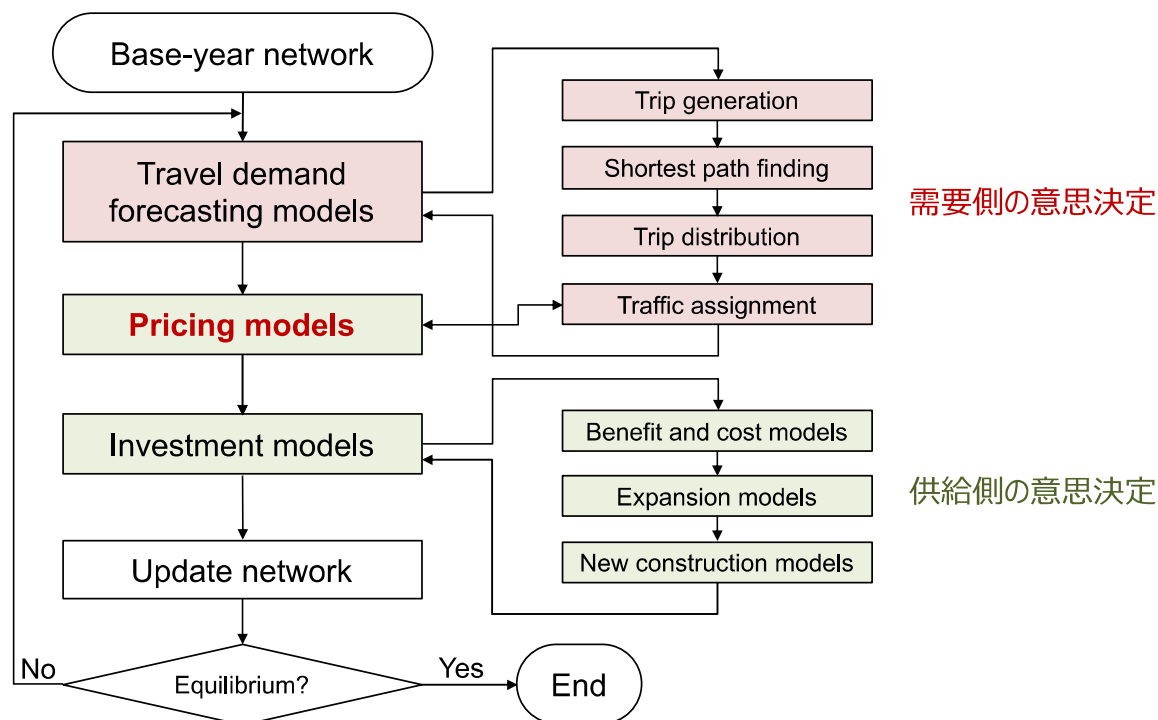


図 4.3 SONIC/GC(System Of Network Incremental Connection for Governance Choice)モデル

4.5 発展モデル3：土地利用の考慮

SIGNAL (System of Integrated Growth of Networks And Land-use) モデルは、道路ネットワークと土地利用（雇用・人口）の共進化をボトムアップ的に表現することを目的としたモデルである。道路整備は移動時間を変えるだけでなく、雇用や人口の立地を変化させ、その変化が再び交通需要に影響を与える。研究の中心的問いは次の通りである。

1. 道路ネットワークの階層化は土地利用動態によって強化されるのか、逆に平準化されるのか。
2. 土地利用の集積・分散は道路ネットワークの発展を加速させるのか、弱めるのか。

4.5.1 モデル構造

(1) トリップ生成モデル

$$\begin{aligned} O_i &= \xi_0 + \xi_1 J_i + \xi_2 W_i \\ D_i &= \psi_0 + \psi_1 J_i + \psi_2 W_i \end{aligned}$$

(2) トリップ分布

$$N_{ij} = K_i K_j O_i D_j e^{\theta t_{ij}}$$

(3) 一般化交通費用

$$\begin{aligned} t_{ij} &= \Sigma_a (\delta_{i,j}^a t_a) + t_{m,i} + t_{m,j} \quad (i \neq j); \quad t_{ij} = t_{m,i} \quad (i = j) \\ t_{m,i} &= t_m^0 [1 + (P_i/\bar{P})^2] \\ t_a &= \frac{l_a}{v_a} + \frac{R_a/\eta}{f_a} \end{aligned}$$

(4) 投資収入と費用：収入が費用を超えれば容量拡張投資を実施.

$$\begin{aligned} R_{a+b} &= \tau l_a (f_a + f_b) \\ S_{a+b} &= l_a v_{f,a}^{\sigma_2} (f_a^{\sigma_1} + f_b^{\sigma_1}) \\ C_a^{k+1} &= C_a^k \left(\frac{R_{a+b}^k}{S_{a+b}^k} \right)^\rho \end{aligned}$$

(5) アクセシビリティ：雇用や人口への到達可能性. 近接する活動が多いほど高い.

$$A_{i,J} = \Sigma_m J_m e^{-\theta t_{im}}, \quad A_{i,W} = \Sigma_m W_m e^{-\theta t_{im}}$$

(6) 立地ポテンシャルと再配置：雇用は集積指向, 居住は分散指向.

$$\begin{aligned} U_{i,J} &= A_{i,J}^{\lambda_1} A_{i,W}^{\lambda_2} \\ U_{i,W} &= A_{i,J}^{\lambda_3} A_{i,W}^{\lambda_4} \\ J_i^{k+1} &= \Sigma_m \left\{ J_m^k \frac{(U_{i,J}^k)^\mu}{\Sigma_n (U_{n,J}^k)^\mu} \right\} \\ W_i^{k+1} &= \Sigma_m \left\{ W_m^k \frac{(U_{i,W}^k)^\mu}{\Sigma_n (U_{n,W}^k)^\mu} \right\} \end{aligned}$$

ここで,

J_i : ゾーン i の雇用

W_i : ゾーン i の人口

O_i, D_i : 発生・集中トリップ数

N_{ij} : OD トリップ数

t_{ij}, t_a : 一般化交通費用, リンク所要時間

C_a, f_a : リンク容量・フロー

R_{a+b}, S_{a+b} : リンク収入・費用

$A_{i,J}, A_{i,W}$: 雇用・人口へのアクセシビリティ

$U_{i,J}, U_{i,W}$: 雇用・居住の立地ポテンシャル

$\lambda_1 - \lambda_4$: アクセシビリティへの反応係数(雇用は集積指向, 居住は人口分散指向を含む)

μ : 移動抵抗 (再配置されにくさ)

α, β : 混雑関数のパラメータ

ρ : 容量更新の収束速度

4.5.2 モデルの解釈と意義

本モデルでは、道路ネットワークと土地利用が相互依存的に進化する様子を数式で表現している。道路容量が拡張されれば所要時間が減少し、需要と収入が増えて再び投資が可能になる。同時に、所要時間の短縮はアクセシビリティを変化させ、雇用や居住の立地が再配置される。雇用は集積に惹かれる一方で、居住は人口密集を嫌うという性質があり、このプッシュ・プル力学が都市の形態を規定すると考えるモデル構造となっている。シミュレーションの結果として、均一なネットワークは徐々に階層化し集中化が進み、集中した土地利用は逆に平準化方向に動くなど、安定した階層的秩序が創発することが示されている。

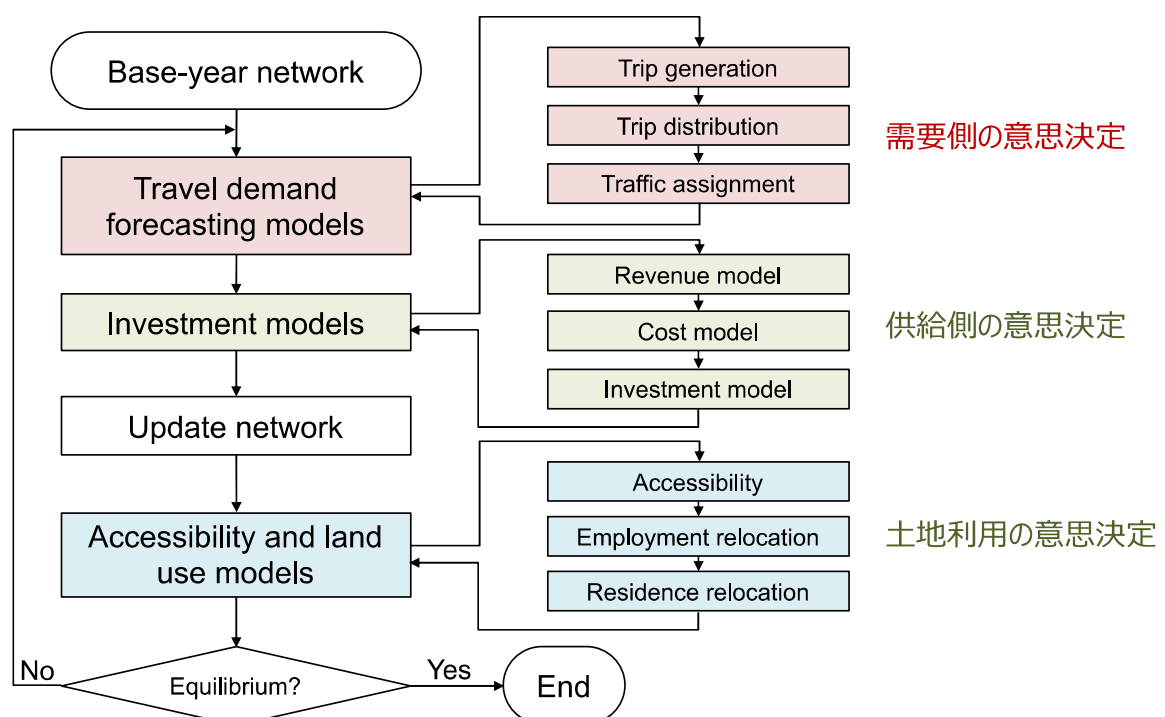


図 4.4 SIGNAL (System of Integrated Growth of Networks And Land-use) モデル

4.6 まとめ

本章では、交通投資の長期的影響を構造的に捉えるためのシミュレーションモデルの系譜を整理した。まず、基本モデルである SONG は、土地利用、交通需要、費用・収入、投資判断という交通ネットワーク進化の最小限の要素を統合し、分散的意思決定の累積から階層構造が自律的に生成されることを示した。次に、SOUND は、撤退（disinvestment）の要素を導入することで、ネットワーク進化を拡張と縮退の双方向的な過程として描き出した。さらに、SONIC/GC は、中央集権型と分権型というガバナンス構造を比較可能とし、制度設計がネットワーク形成に与える影響を定量的に検討する道を開いた。最後に、SIGNAL は、土地利用とネットワークの共進化をモデル化し、雇用と居住の立地動態がネットワーク階層化にどのように作用するかを分析可能とした。

これらのモデル群は、交通ネットワーク進化を単なる技術的プロセスではなく、土地利用や制度的要素を含んだ構造的・動学的システムとして理解するための基盤を提供している。すなわち、交通投資の意思決定を構造に埋め込み、その累積効果を動的に解析する枠組みが整いつつあるといえる。

もっとも、都市・地域の形態変化を理解するうえでは、ネットワーク構造に加えて、活動の集積と分散を生み出す経済メカニズムを不可欠の要素として組み込む必要がある。この点については、Fujita and Ogawa（1982）が示した都市内の多極化・多均衡構造の存在を端緒に集積と分散の空間スケールが理論的に整理されてきた（大澤実, 2018）。これらの成果は、グローバルには都市数の減少や都市間隔の拡大（集積）、ローカルには都市内部の平準化（分散）が同時に進む条件を明確にし、交通投資が都市体系や都市内構造に及ぼす長期的影響を検討するうえで不可欠な理論基盤となっている。

したがって、今後の研究は、SONG, SOUND, SONIC/GC, SIGNAL といったネットワーク進化モデルの枠組みに、これらの集積・分散メカニズムを統合することによって、交通投資の長期的効果をより包括的に評価できるようになる可能性がある。歴史的データや種々の統計データ（地価、雇用密度など）を活用し、ネットワーク投資 → 移動費用変化 → 集積・分散 → 土地利用・需要変化 → ネットワーク更新というループを同定可能な構造モデルとして推定・検証する実証分析の可能性は大きく広がりつつある。

加えて、第2章で議論したように、経済メカニズムに基づいて都市や交通システムが形成されてきた時代は、歴史的に見れば限られた期間に過ぎない。今後は、気候変動対応や Well-being の向上といった新たな観点を重視する方向へ、インフラ投資の枠組みが大きく転換していく可能性がある。こうしたインフラ投資主体の価値観の変容を積極的に取り上げるべき時期に来ていると考えられる。

5 章 実証分析・シミュレーション分析に向けた基礎的準備

本章では、これまで第2章から第4章で議論してきた歴史的背景、長期的影響の実証研究、およびネットワーク進化モデルの理論的枠組みを踏まえ、実証分析・シミュレーション分析に向けて進めている基礎的準備について報告する。すなわち、ネットワークの時系列データや人口データといった実証的基盤を整備し、GISを用いた基礎的な記述分析を行うことで、次の段階となる因果推定やシミュレーションにつなげることを目指す。

5.1 データ整備

5.1.1 ネットワークデータ

国土数値情報が提供する鉄道・道路網の時系列データを利用する。供用年、撤退年の情報が含まれていることから、近代以降における歴史的な交通インフラ投資の実態を一定程度確認することが可能である。ただし、もとのデータは、テンポラルネットワークデータとして整備されたものではないため、鉄道・高速道路の時系列ネットワークを、解析に直接使える形（ノード・リンクの位相整合、供用年の整合、速度・費用属性付き）に再構築した。

具体的には、時系列的に一貫して解析可能なテンポラルネットワークとして整備した。まず、鉄道・道路それぞれのノード・リンクデータを読み込み、座標系を統一するとともに、供用開始年や終了年の情報を整数化して補正した。これにより、歴史的に異なるデータソースを時間軸上で比較できるようにした。次に、ノード位置にあわせてリンクを分割し、駅や接点ごとに区切られるように整備した。端点にノードが存在しない場合にはダミーノードを自動生成し、すべての区間が必ずノード同士で結ばれるようにして、グラフとしての位相の一貫性を確保した。あわせて各区間に開始ノードIDと終了ノードIDを付与し、元リンクの供用年を継承したことで、どの時点においても切れ目のないネットワークが得られるようにした。さらに、鉄道については駅間距離が400m以内にあるものの既存の線路で結ばれていない組み合わせに対して歩行リンクを新たに追加し、徒歩による乗換えや連絡を時間軸付きで表現できるようにした。最後に、各区間の長さに基づいて所要時間と費用を算出し、鉄道、新幹線、道路ごとに仮定した速度や単価を付与した。これにより、重力モデルや利用者均衡配分、費用便益分析にそのまま利用できる一般化費用の基盤が整備された。以上の処理によって、本研究で用いるネットワークは、歴史的な変化を反映しつつ時間的に一貫した解析が可能なテンポラルネットワークとして利用できるようになっている。

5.1.2 人口データ

大正9年以降は国勢調査データを、それ以前については当時の内務省が構築した推計人口データを利用する。現時点では県レベルの人口データを使用する予定であるが、必要に応じて空間解像度を高めるよう工夫する。

5.2 日本の交通網発展パターン

図 5.1 に鉄道および高速道路網の発展と衰退（1884-2015 年）を、図 5.2 に人口分布の変化（1884-2015 年）を示す。これらの図は、本研究で整備したテンポラルネットワークデータと人口データを組み合わせたものであり、長期的な交通インフラ整備と人口動態の関係を視覚的に把握できる。

鉄道網の発展は、東京・大阪および北海道から始まったことが確認できる。特筆すべき点として、1904 年の図に示されるように、まず太平洋側を通して北海道を結ぶルートが整備され、その後に日本海側の鉄道網が形成されたことが挙げられる。また、東京や大阪などの大都市部では、都市内交通を担う密なネットワークが張り巡らされていたことも図から推察される。第2章で議論したように、こうした鉄道整備の背景には、全国から兵員を動員する必要があったことが一因として考えられる。

一方、高速道路や新幹線は戦後に整備が始まった交通網であり、鉄道に比べて整備開始は大きく遅れた。これらは主として経済発展を目的として開発され、自動車産業の発展や自家用車の普及と相まって拡張していった。その一方で、自動車交通の普及に伴い、北海道や地方部の鉄道路線には一定の衰退も確認される。この衰退要因については、第3章で扱った因果推論の枠組みによる分析や、第4章で整理した構造モデルやシミュレーションによる解析が今後の課題となる。

人口変化に目を向けると、鉄道網や交通網の発展と並行して、東京圏や関西圏に人口が一極集中していく様子が明確に観察できる。明治初期においては東京や大阪に人口が特段集中していたわけではなかったが、鉄道の整備と政治的な中央集権化の進展により、とりわけ東京周辺に人口が集中していったことが見て取れる。さらに、都市内交通の発展に伴い、東京や大阪の周辺県においても人口増加が顕著となり、特に神奈川県・埼玉県・千葉県では戦後に急増がみられた。これらの人口動態は交通ネットワークの整備と密接に関連しており、交通システムの進化と人口分布の変化は共進化の関係にあると考えられる。

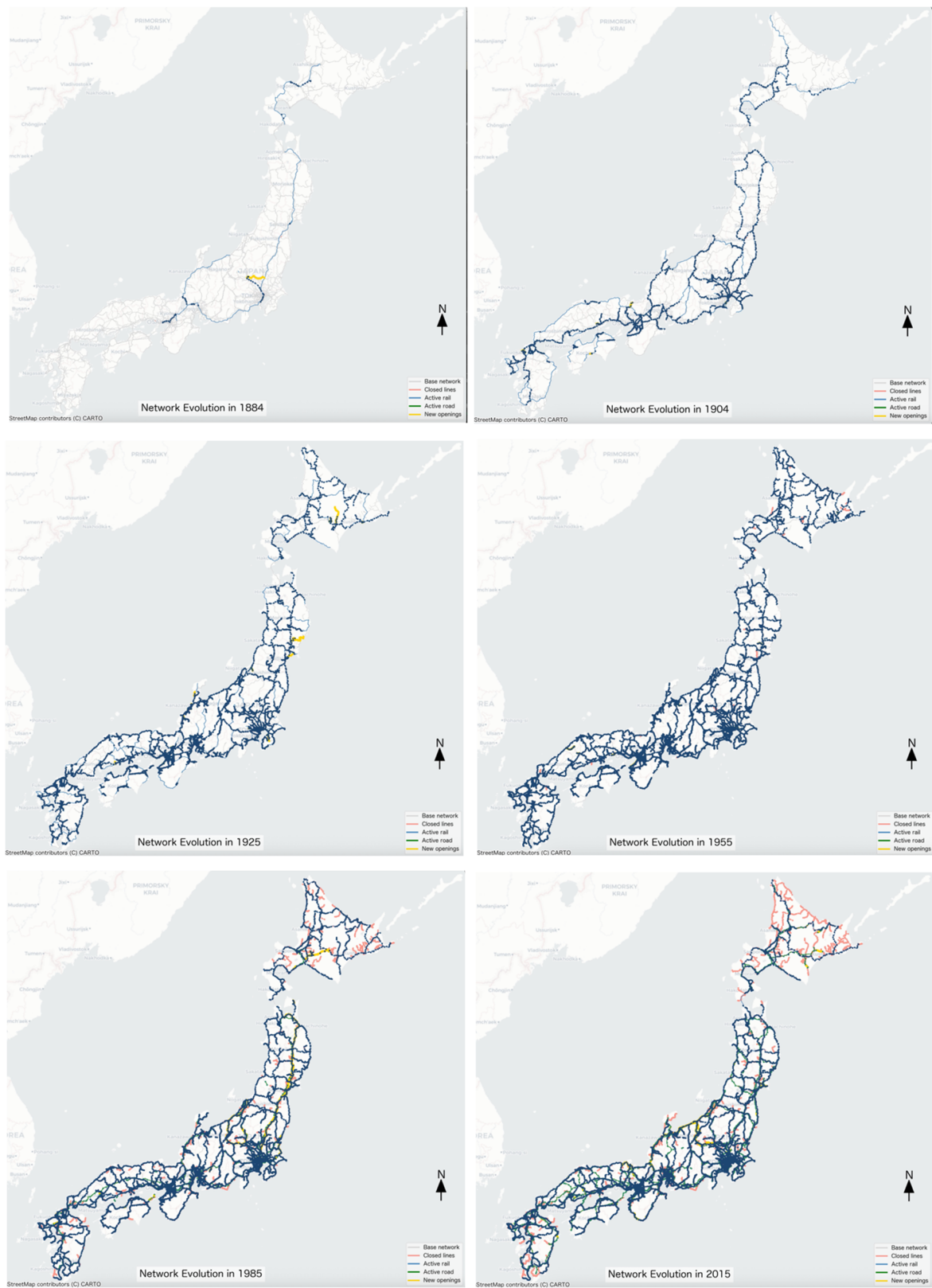


図 5.1 鉄道・高速道路網の発展と衰退（1884-2015）

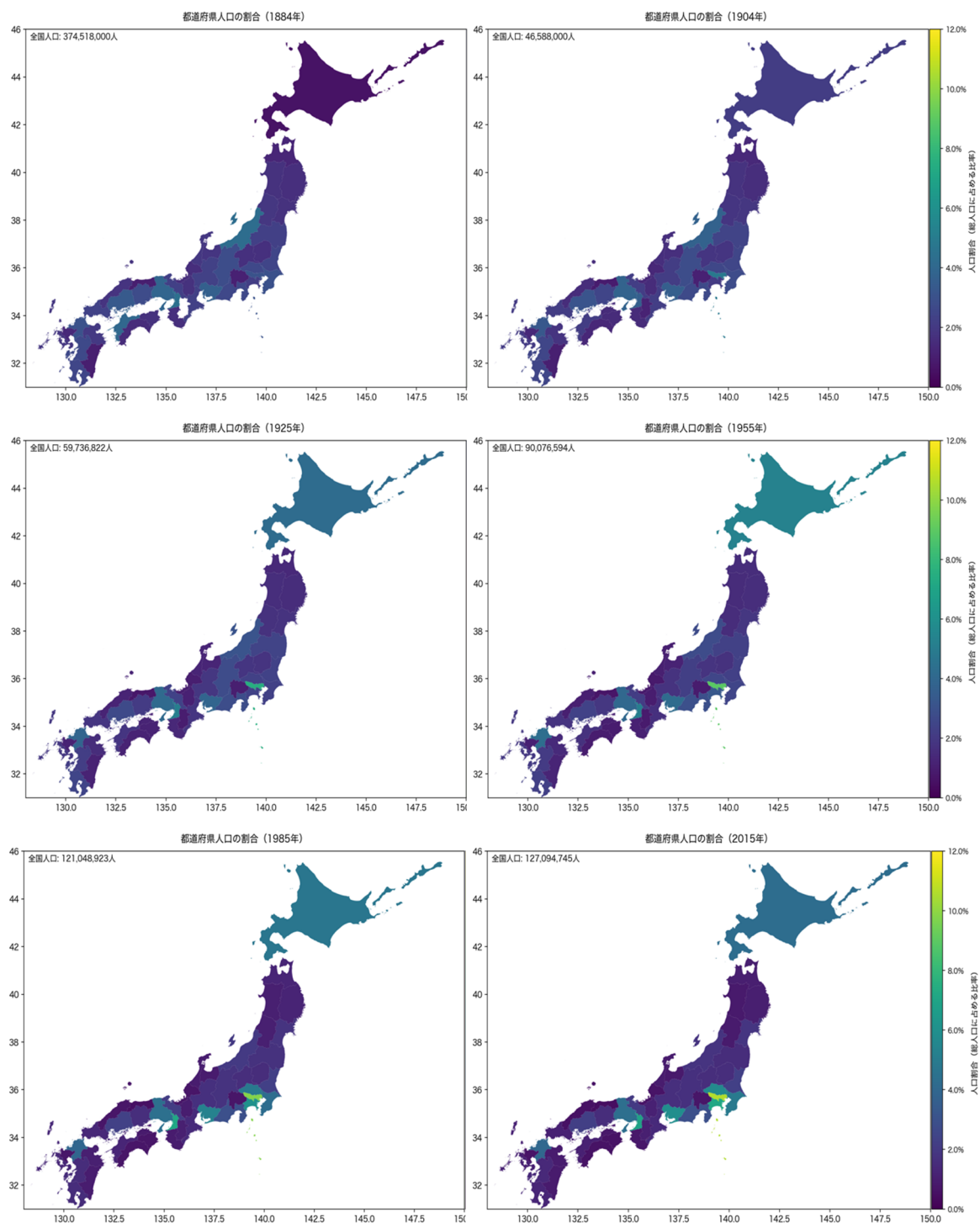


図 5.2 都道府県人口の変化 (1884-2015)

(※1884 年時点：香川県は愛媛県の一部として、奈良県は大阪府の一部としてカウント)

5.3 まとめ

本章では、第2章から第4章で議論してきた歴史的背景、長期的影響の実証研究、およびネットワーク進化モデルの理論的枠組みを踏まえ、実証分析・シミュレーション分析に向けた基礎的準備を報告した。具体的には、鉄道・道路の時系列ネットワークデータを再構築し、人口データと組み合わせることで、1884年以降の交通網と人口分布の変化を時系列的に確認した。その結果、鉄道が東京・大阪・北海道から発展したこと、高速道路や新幹線が戦後に整備され経済発展と自動車普及を背景に拡張したこと、また地方鉄道の衰退がみられることを示した。さらに、交通網の発展とともに東京圏や関西圏への人口集中が進み、交通システムと人口分布が共進化の関係にある可能性を示した。

今後は、これらの基盤データを活用し、需要追随型整備方針が現代の環境重視型システムに与える影響の検証、効率重視の整備と均衡ある国土発展との関係、地方分権型と中央集権型の道路整備の比較、長期計画の柔軟な見直しの是非、さらには政府と民間の異なる投資主体を組み込んだ制度設計のあり方などを、因果推論やシミュレーション分析を通じて検討していくことが課題である。

6章 おわりに

本研究では、日本における交通投資の歴史的展開とその長期的影響を踏まえ、既往の実証研究とネットワーク進化モデルを整理し、さらに実証・シミュレーション分析に向けた基礎的な準備を行った。第2章では、古代の駅路から戦後の高速道路網に至るまでの長期的な交通投資の歴史を通覧し、幹線構造や結節点が時代を超えて再生産されるある種の「ストック効果」の存在を確認した。第3章では、近年の歴史的持続性研究の蓄積を概観し、過去のインフラ投資が経済活動や都市構造に及ぼす因果的影響が数十年から数世紀にわたり持続することを示した。さらに第4章では、交通投資の意思決定を構造的に捉えるシミュレーションモデルの系譜を整理し、ネットワーク進化を拡張と縮退、ガバナンスの違い、土地利用との共進化といった多様な側面から定式化しうることを示した。これらを踏まえ、第5章では鉄道・道路網および人口の時系列データを再構築し、近代以降の交通網の発展と人口分布の変化を基礎的に記述した。簡単な可視化から、東京圏における人口集中が交通網整備と並行して進展し、交通システムと人口分布が共進化関係にある可能性を確認した。

以上の整理から得られる知見は、交通投資が単発の便益評価を超えて長期的な社会経済構造を規定する力を持つという点である。初期に形成されたネットワークの骨格や結節点は、その後の投資や立地行動を方向づけ、経済活動や人口動態と相互に作用しながら持続的に再生産される。こうした長期的影響は、因果推論研究が示すように経路依存的に固定される場合もあれば、大規模ショックや技術革新を契機として再編成される場合もある。いずれにせよ、交通システムは歴史的経緯に規定される動的・進化的存在であり、その理解には定性的・定量的両面からの多角的な分析が不可欠である。

今後の研究課題としては、まず、本研究で整備したテンポラルネットワークデータと人口データを用い、因果推論の手法を適用することにより、過去のインフラ投資の影響を確認する予定である。また、政策的には、効率性を重視する整備方針と均衡ある国土発展の関係、地方分権型と中央集権型の投資判断の差異、さらには長期計画の柔軟な見直しの是非など、制度設計の在り方を議論するツールとしての発展が考えられる。そのためには、ネットワーク進化モデルに集積・分散の経済メカニズムを統合し、交通投資が都市システムの長期的な形態変化にどのように作用するかを把握可能な分析枠組みに昇華することも重要である。特に、Fujita and Ogawa (1982) を端緒とする都市経済学的知見は、交通投資と都市の集積・分散ダイナミクスを結びつけるうえで不可欠な理論基盤を提供しており、これを活用した統合的分析の可能性は大きい。

さらに、交通投資の評価軸そのものも転換期を迎えている。これまでの費用便益分析に基

づく需要追随型の整備方針は、経済発展を支える上で大きな役割を果たしてきたが、今後は気候変動対応、Well-being の向上、災害レジリエンスといった新たな価値基準が重視される可能性が高い。インフラ投資主体の価値観の変容を視野に入れ、従来型の効率性に加えて多元的な社会的価値を評価に組み込む枠組みを模索することが急務である。本研究で整備した基盤データとモデル枠組みは、こうした新たな課題に応答する分析の出発点を提供するものであり、今後の実証研究とシミュレーション分析を通じて、交通投資の長期的効果を包括的に理解する道筋が開かれていくと期待される。

参考文献

- 1) Barthélemy, M., Flammini, A. (2009) Co-evolution of Density and Topology in a Simple Model of City Formation. *Networks and Spatial Economics* 9, 401-425.
- 2) Bleakley, H., Lin, J. (2012) Portage and path dependence. *The quarterly journal of economics* 127, 587-644.
- 3) Cirone, A., Pepinsky, T.B. (2022) Historical Persistence. *Annual Review of Political Science* 25, 241-259.
- 4) Erath, A., Löchl, M., Axhausen, K.W. (2009) Graph-Theoretical Analysis of the Swiss Road and Railway Networks Over Time. *Networks and Spatial Economics* 9, 379-400.
- 5) Fujita, M., Ogawa, H. (1982) Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics* 12, 161-196.
- 6) Helbing, D., Keltsch, J., Molnár, P. (1997) Modelling the Evolution of Human Trail Systems. *Nature* 388(6637), 47-50.
- 7) Henderson, J.V., Squires, T., Storeygard, A., Weil, D. (2018) The global distribution of economic activity: nature, history, and the role of trade. *The Quarterly Journal of Economics* 133, 357-406.
- 8) Hornbeck, R., Keniston, D. (2017) Creative destruction: Barriers to urban growth and the Great Boston Fire of 1872. *American Economic Review* 107, 1365-1398.
- 9) Jedwab, R., Kerby, E., Moradi, A. (2017) History, path dependence and development: Evidence from colonial railways, settlers and cities in Kenya. *The Economic Journal* 127, 1467-1494.
- 10) Jedwab, R., Moradi, A. (2016) The permanent effects of transportation revolutions in poor countries: evidence from Africa. *Review of economics and statistics* 98, 268-284.
- 11) Michaels, G., Rauch, F. (2018) Resetting the urban network: 117–2012. *The Economic Journal* 128, 378-412.
- 12) Taaffe, E.J., Morrill, R.L., Gould, P.R. (1963) Transport Expansion in Underdeveloped Countries: A Comparative Analysis. *Geographical Review* 53, 503-529.
- 13) Zhang, L., Levinson, D.M. (2004) Agent-Based Approach to Travel Demand Modeling: Exploratory Analysis. *Transportation Research Record* 1898, 28-36.
- 14) Zhang, L., Levinson, D.M. (2007) The Economics of Transportation Network Growth. *Essays on Transport Economics* eds Coto-Millán, P., Inglada, V., pp. 317-339.
- 15) 大澤実 (2018) 集積経済モデルの数理解析とその周辺. *土木学会論文集D3 (土木計画学)* 74,I_19-I_36.
- 16) 木下良 (2013) 日本古代道路の復原的研究. 吉川弘文館, 東京.
- 17) 国際交通安全学会 (2006) 「交通」が結ぶ文明と文化: 歴史に学び、未来を語る. 技報堂出版, 東京.
- 18) 児玉幸多 (2018) 日本交通史. 吉川弘文館, 東京.
- 19) 武部健一 (2015) 道路の日本史: 古代駅路から高速道路へ. 中央公論新社, 東京.
- 20) 丸山雍成, 小風秀雅, 中村尚史 (2003) 日本交通史辞典. 吉川弘文館, 東京.

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-929 道路投資の意思決定を考慮した道路網形成の
ダイナミクス

道路投資の意思決定を考慮した道路網形成の
ダイナミクスに関する研究プロジェクト

2025 年 10 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会