

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

① 研究代表者	氏名（ふりがな）		所属	役職
	羽 藤 英 二		東京大学	教授
② 研究 テーマ	名称	マルチスケールな拠点空間計画のための新たな行動モデル研究		
	政策 領域	[主領域] 特定なし	公募	IV
		[副領域]	タイプ	
③ 研究経費（単位：万円）	令和2年度	令和3年度	令和4年度	総合計
	5,000	5,000	5,000	15,000
※H29は受託額，H30以降は計画額を記入，端数切捨。				
④ 研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名，所属・役職を記入。なお，記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）				
氏名		所属・役職		
原田 昇		中央大学・教授		
原 祐輔		東北大学・准教授		
浦田 淳司		東京大学・助教		
大山 雄己		芝浦工業大学・助教		
瀬谷 創		神戸大学・准教授		
児玉 千絵		國學院大学 助教		
柴田 純花		東京大学 特任研究員		
山根 啓典		復建調査設計（株） 部長 他6名		
⑤ 研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）				
<p>駅まちみちを結びつける交通拠点の効果的な設置のために，交通拠点およびその近傍の空間計画と都市圏と都市間スケールの公共交通網の立案とその評価手法の確立が求められている。</p> <p>本研究は，バスタなどを含む地域交通拠点の配置とそのネットワーク化に向けて，1）建物内，2）1km四方，3）都市圏流動，4）全国レベルという4つの移動スケールを取り上げ，複数のデータを用いた交通需要予測手法と，これを用いた拠点設計手法を同時に開発することを目的として実施する。令和2年度は，「行動データ収集と交通量推定等のためのデータ基盤の構築」と「マルチスケール行動モデルのフレームワークに基づく基本アルゴリズム開発とその評価」を行った。</p>				

## ⑥これまでの研究経過

### (1) 行動モデル構築のためのデータ基盤の構築

- マルチスケール行動モデルの構築に向けた、スケールの異なる「交通行動データ」及び「各種統計データ」の収集を行いデータプラットフォームの構築を行った。

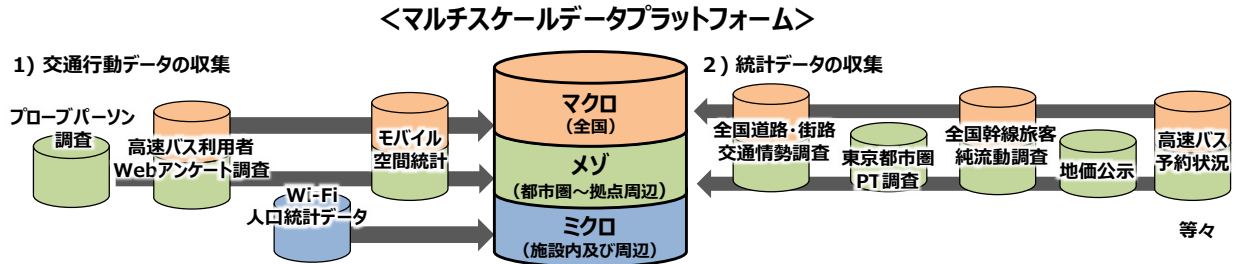


図1 データプラットフォームイメージ図

### 1) 交通行動データの収集

- 本研究にて実施した調査・収集したデータの概要を以下に示す。

表1 データ概要

項目	調査実施	調査実施	データ購入
	プローブパーソン調査 +アンケート調査	高速バス利用者 Webアンケート調査	Wi-Fi 人口統計データ
対象スケール		マクロ (全国)	
	メゾ (都市圏～拠点周辺)	メゾ (拠点周辺)	メゾ (拠点周辺)
			ミクロ (施設内及び周辺)
対象エリア・箇所	豊洲～品川	5箇所 (札幌駅、新宿駅、三宮駅、 呉駅、松山・松山市駅)	4箇所 (検討中)
対象者	対象エリア来訪者	高速バス利用者 (直近で利用した1日)	Free Wi-Fi自動接続アプリ 利用者
サンプル数	335名	2,000名	箇所別に異なる
実施期間	PP調査：11月～12月 Webアンケート調査：12月	2021年1月末	コロナ前 1か月間 コロナ禍 1か月間を予定
詳細	モニターにはアンケート調査も実施 ①PP調査最後の1週間の行動の詳細 ②コロナの影響 ・新型コロナウイルス感染拡大前、 ・緊急事態宣言発令中、 ・PP調査期間中 上記3期間で、リモートの活用、 活動の変化等を調査	①直近での高速バスの利用状況 ・高速バスの選択理由、 ・代替手段の検討状況、 ・バスターミナルまでの移動経路、 ・立寄り施設 等 ②GoToトラベルの影響 ・地域クーポン券の活用状況、 旅行決定への影響 等	・交通拠点周辺 (50mバッ ファ以内) 程度に位置する Free Wi-Fiのデータを対象 とする予定。

**【収集データの例：プローブパーソン調査】**

- ・ プローブパーソン調査で取得した1日のデータ事例として、乗り換え評価を目的に鉄道や自動車を使った広域な移動から駅端末である徒歩や自転車の移動データを取得した。

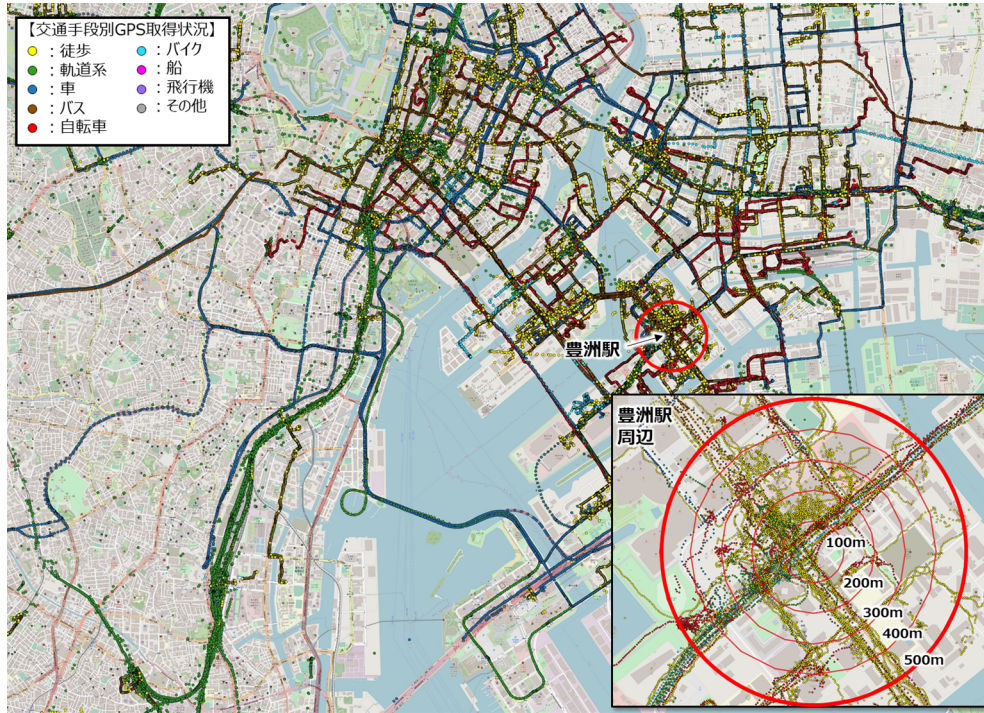


図2 データ例(プローブパーソン調査1日でのデータ取得)

**2) 既存統計データの収集**

- ・ 行動モデルの構築に必要な統計データや交通需要に関するデータ収集を行った。

表2 統計データ

テーマ	統計・調査名	対象スケール			主なデータ
		マクロ	メソ	ミクロ	
旅客流動	全国道路・街路交通情勢調査	●	●		箇所別基本表、Bゾーン別OD表
	全国幹線旅客純流動調査	●			交通機関別目的別都道府県間OD表等
	自動車輸送統計調査	●			地方運輸局別(あるいは6大と府県別)旅客輸送量等
	鉄道輸送統計調査	●	●		路線別旅客輸送量等
	旅客地域流動調査	●			交通機関別府県相互間旅客輸送人員 等
	高速バス予約状況(発車オーライネット)	●			高速バスの予約状況(バス計画のある三宮を対象として)
	高速バス供給量(時刻表データ)	●			高速バス時刻表
観光	旅行・観光消費動向調査	●			訪問地(都道府県あるいは地域ブロック)別旅行内容、消費実態、地域ブロック別観光OD表(第15表)等
	訪日外国人消費動向調査	●			訪問地(都道府県)別訪日外国人の旅行内容、消費実態等
パーソントリップ調査等	大都市交通センサス		●		三大都市圏の鉄道・バス等の旅客流動量や利用状況(経路、端末交通手段、利用時間帯分布等)、乗換え施設の実態
	全国都市交通特性調査		●		全国都市パーソン(2015年は70都市が対象)
	幹線鉄道旅客流動実態調査		●		全国の新幹線や幹線鉄道の特急列車等を利用した旅客を対象としたと道具県間流動等
地価	国土交通省地価公示・都道府県地価調査		●		国が算出した標準地の公示地価(都市部)、都道府県が算出した基準地の基準地価(都市部以外も含む)
			●		国税庁が算出した相続税路線価、市町村が算出した固定資産税路線価

### 【収集データの例：高速バス予約状況】

- ・ バスタ計画のある三宮を発着する高速バス路線を対象に、緊急事態制限が解除され、GoToトラベルキャンペーンが実施中の段階で、高速バス需要を把握するために高速バス予約サイトから予約状況から需給分布を確認し、広域モデル検証データを収集した。

※鉄道で繋がっていない四国とは供給量が多く確保されているものの予約率は徳島県、香川県で5割を切る状況で、地方から、コロナ発症が続いていた関西圏への利用が少なかった様子が伺える。次年度以降も継続し高速バスの供給と需要を全国レベルで把握していく予定。

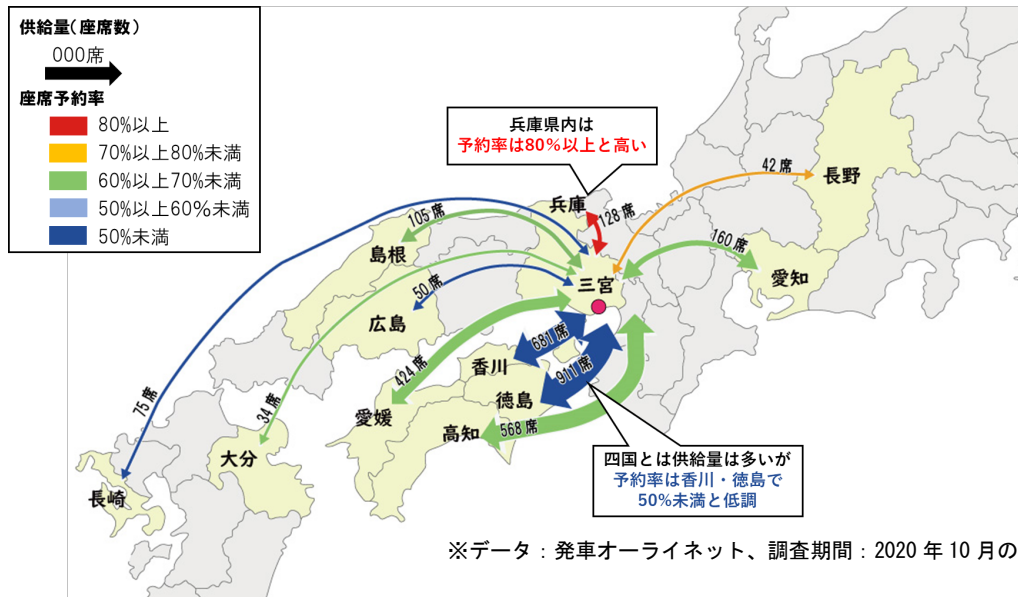


図3 高速バスの予約状況

## (2) マルチスケール行動モデルの開発とその評価

### 1) 既存の交通需要予測に関するレビュー

各スケールの交通需要予測モデルに関する既存研究のレビューを行った。

#### ① ミクロメゾスケール

##### 【OD交通量の把握】

- ・ OD交通量の把握は、バスタ拠点の駅まちみち空間の交通計画やマネジメントを行う上で重要なものである。従前からOD交通量推定のためにさまざまな手法が提案されてきた。目的関数（情報量）、逆推定に用いる配分交通量計算のアルゴリズム、ネットワークにおける混雑考慮の有無の3つの観点で区分することができる（図-4参照）。
- ・ 配分交通量計算では、モデルパラメータを用いてリンク選択確率や経路選択確率を所与とし、混雑を考慮しないネットワークにおけるOD交通量推定手法が多く提案されている。一方、配分交通量計算に均衡配分を用いて、混雑を考慮するネットワークにおけるOD交通量推定手法も提案されている。これに対して、OD交通量そのものを所与とし、観測リンク交通量から経路選択モデルのパラメータを逆推定する研究も存在する。また、配分交通量計算を確率的に扱い、用いられるリンクコストパラメータとOD交通量を同時に推定する手法も提案されているが、**多峰性から推定安定性の問題**が指摘されてきた。

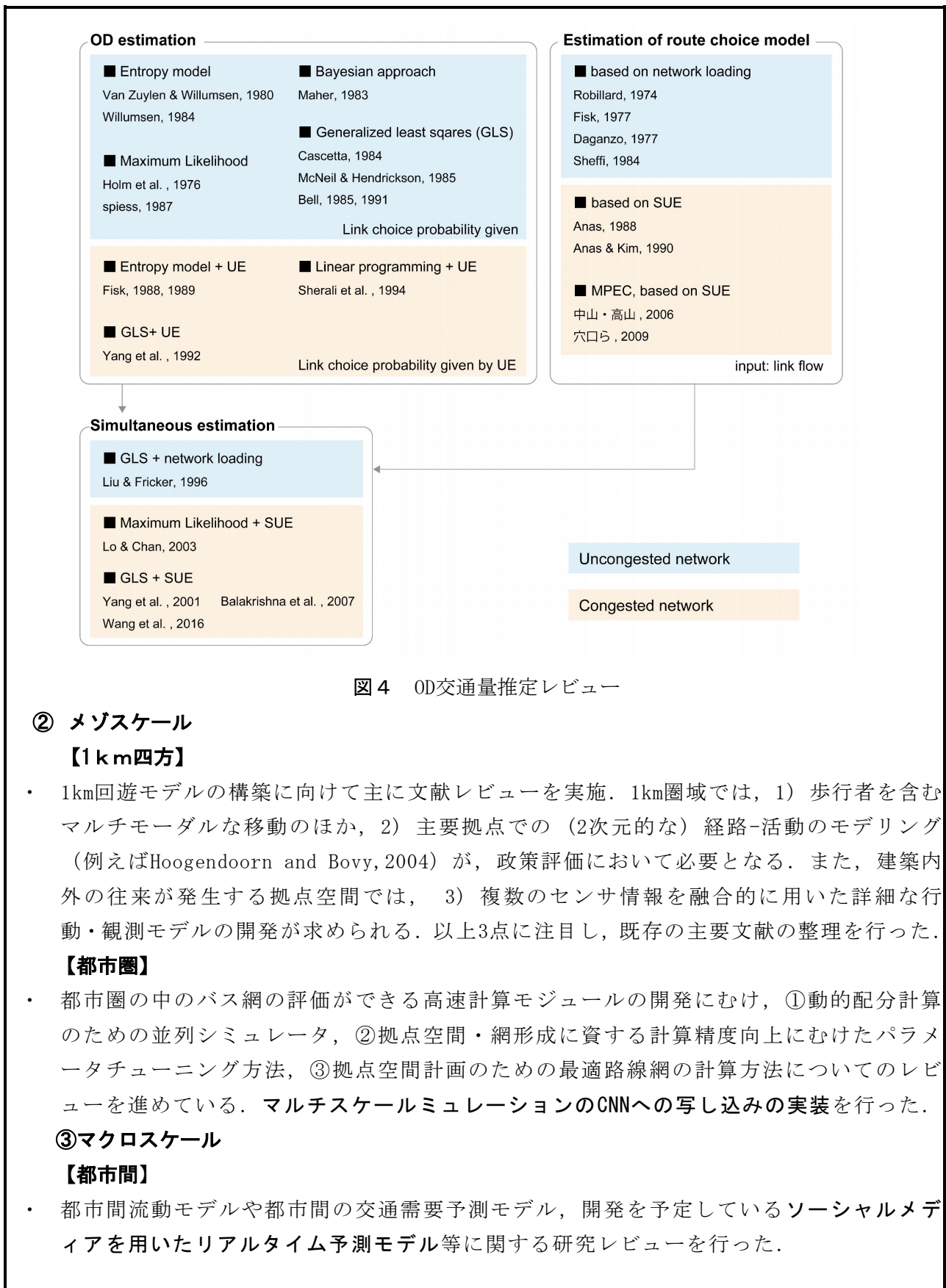


図4 OD交通量推定レビュー

## ② メゾスケール

### 【1km四方】

- 1km回遊モデルの構築に向けて主に文献レビューを実施。1km圏域では、1) 歩行者を含むマルチモーダルな移動のほか、2) 主要拠点での（二次元的な）経路-活動のモデリング（例えばHoogendoorn and Bovy, 2004）が、政策評価において必要となる。また、建築内外の往来が発生する拠点空間では、3) 複数のセンサ情報を融合的に用いた詳細な行動・観測モデルの開発が求められる。以上3点に注目し、既存の主要文献の整理を行った。

### 【都市圏】

- 都市圏の中でのバス網の評価ができる高速計算モジュールの開発にむけ、①動的配分計算のための並列シミュレータ、②拠点空間・網形成に資する計算精度向上にむけたパラメータチューニング方法、③拠点空間計画のための最適路線網の計算方法についてのレビューを進めている。マルチスケールシミュレーションのCNNへの写し込みの実装を行った。

## ③マクロスケール

### 【都市間】

- 都市間流動モデルや都市間の交通需要予測モデル、開発を予定しているソーシャルメディアを用いたリアルタイム予測モデル等に関する研究レビューを行った。

### ③ 交通—土地利用モデル

- 自動運転技術を下敷きとするバスタネットワークと、テレワークの進展により、今後土地利用そのものが大きく変わっていく可能性がある。本課題では、このような都市シナリオを分析するための土地利用・交通モデルについてレビューを行っている。現在、関連研究を収集している段階であり、自動運転の影響に関する Soteropoulos et al. (2019) など、密接に関連する研究を確認している。モデル構築に必要な社会経済データについては、レビューに基づいて、モデルの空間・時間解像度を検討し、現在までに、入手可能な不動産データと価格と空室率情報などを整理した。

## 2) マルチスケール行動モデルの構築

### ① マルチスケールな交通行動モデルの開発とバスタ網評価に向けたベンチマークテスト

- マルチスケール交通行動モデルのフレームワーク構築、およびバスタネットワーク評価に向けたベンチマークテストについて検討を行い、再現性の向上を確認した。1) 計算性向上のため (MFDを想定した) マルチスケールセルの導入、2) バスタ利用のスケジュールリングを再現できる強化学習型モデルの開発、3) 駅まちみち空間の3次元評価が可能な配分モデル、4) バスタにおけるAIカメラやWi-Fiセンサのデータ収集戦略の最適化アルゴリズムの開発、5) CNNによるバスタ拠点の最適設計導入による組み合わせ最適の計算高速化を実現した。

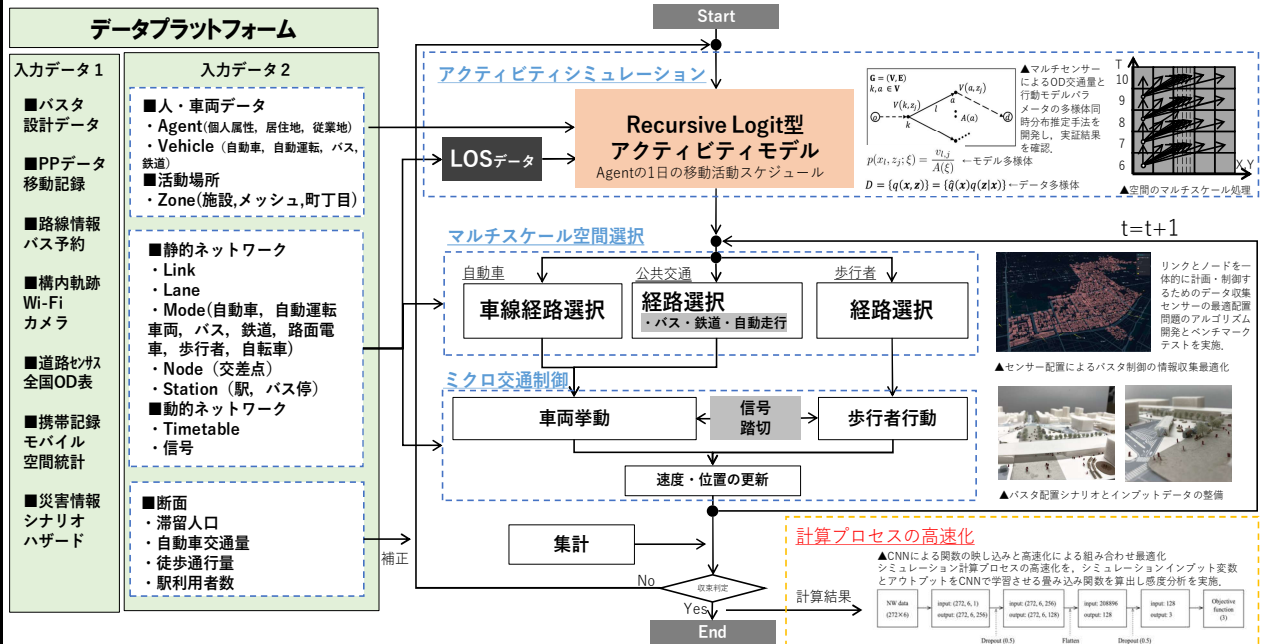


図5 マルチスケールな交通行動モデルの開発

### ② ミクロ-メソスケール

#### 【情報幾何に基づくOD交通量と経路選択モデルの同時推定】

- 本研究では、リンク交通量を用いたOD交通量と経路選択モデルの解の一意性を保証可能な同時推定手法の構築を目指している。

- リンク交通量を用いたOD交通量推定は、経路選択に関する仮定や事前情報が必要である。一方、リンク交通量からリンクコストパラメータ推定は、OD交通量の情報を既知としていることから両者の推定は相補的な関係にあるといえる。KL情報量を用いた多様体同時学習手法を開発し、簡易ネットワークの双子実験によりOD交通量・経路選択モデル双方の推定値の安定性と欠測に対する頑健性を確認した。格子状のDail-NWで既往手法の残差二乗和最小化（OLS）と本研究での提案手法であるNpemの推定精度比較を行ったところ、Npem（本研究の提案手法）でパラメータとOD交通量ともに高い精度を確認した。

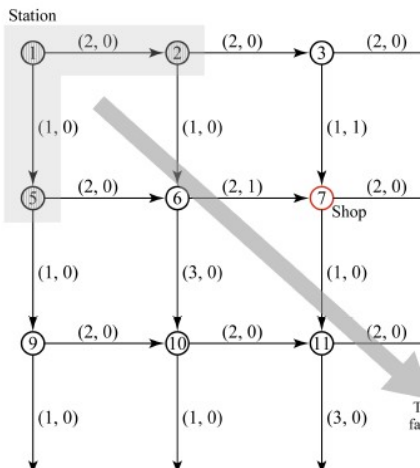


図6 dail network

表 3.1 Estimation with simulated data in dial NW

Variable	True value	Method	Mean	SD	CI 95%	Mi
Length	-1.00	NP_em	-1.0004	0.0018	0.0003	-1.0003
		OLS	-1.4200	1.5110	0.2961	-8.0000
Shop	2.00	NP_em	1.9980	0.0058	0.0011	1.9980
		OLS	1.9809	0.0644	0.0126	1.9809
OD1	200	NP_em	199.90	0.5076	0.0994	199.90
		OLS	198.81	4.0614	0.7960	198.81
OD2	300	NP_em	299.89	0.2494	0.0488	299.89
		OLS	300.99	3.3748	0.6614	300.99
OD3	300	NP_em	300.14	0.0452	0.0885	300.14
		OLS	298.95	3.5661	0.6989	298.95
OD4	200	NP_em	200.10	0.4229	0.0828	200.10

図7 推定精度比較結果

【マルチスケールNWの概念整理】

- バスタ拠点の計画においては、1)バスタ拠点が有すべき防災広場機能の再配分や、2) (COVID-19を契機とする) リモート化に伴う建物内の機能配置と周辺空間との回遊性確保、3)立体道路制度による道路交通の混雑改善効果の把握をマルチスケールに評価する必要がある。対象とした東京臨海部では鉄道ネットワークが十分でない一方で、道路基盤が卓越しており、自動走行を前提とした拠点形成の可能性を有している。対象エリア中心部は、50m メッシュの詳細なグリッドを採用することで実ネットワークと同程度の表現力を持たせる。一方、計算コストを削減しつつ周辺エリアとの接続を記述する。対象エリアの詳細度を保ちつつ、計算コストの課題が解決可能なネットワークとなる。マルチスケールネットワークではグリッドネットワーク形式を採用しているため、グリッド単位で状態に付随する変数と遷移に付随する変数を定義することができ、異なるグリッド間においても同一の形式で説明変数を設定できる。

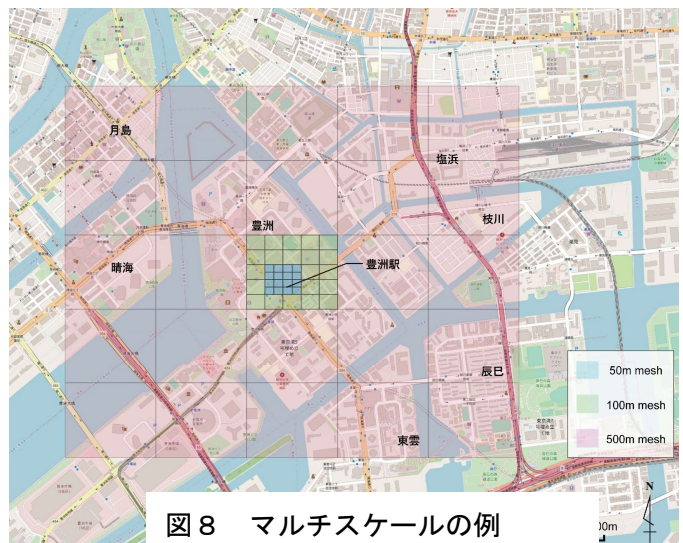
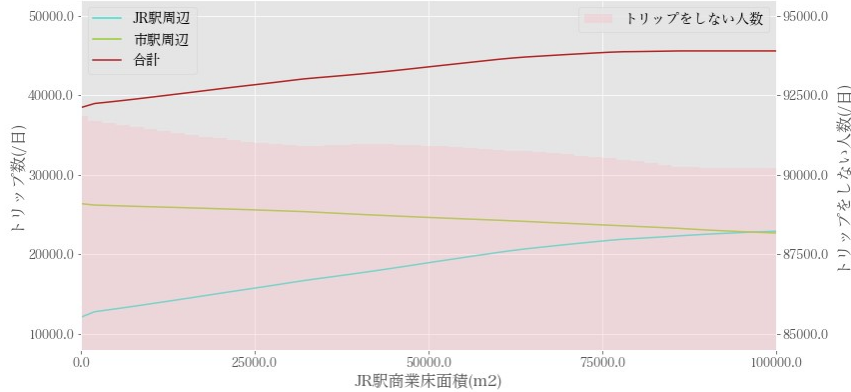


図8 マルチスケールの例

### 【シナリオ・計画評価検討】

- ・ バスタ計画の際のシナリオ（条件）検討や計画案に対する評価について、松山など複数の駅まちみち拠点を対象に検討を実施した。次年度以降に本格的に取り組む予定である。



例) 松山バスタ付近の商業床面積に対するトリップ数の推移を予測すると、80,000㎡程度で市中心部の移動は最大となると考えられる。今後の地域交通拠点のシナリオ検討を行う際の指標の一つとなる。

図9 バスタ拠点における商業床面積と訪問客数



図10 バスタ計画の立地シナリオ



図11 バスタ評価（周辺部旅行速度）

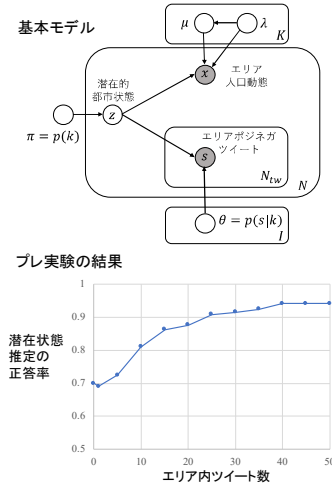
### ③メゾマクロスケール

#### 【全国レベルの交通需要予測モデルの基本要素の構築・パラメータ推定可能性の確認】

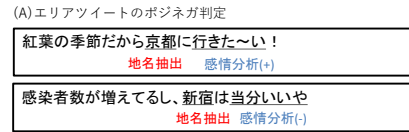
- ・ バスタネットワークの全国網の構築に向けて、都市間流動モデルや都市間の交通需要予測モデルが必要となる。災害時などに求められるリアルタイム性を有するバスタマネジメントに向けて、CS分野を中心に、ソーシャルメディアの特徴量抽出を用いたリアルタイム予測モデル等に関する研究レビューを行った。
- ・ 複数のデータソースを用いた交通需要モデルの理論的な解析と基本要素の構築を行い、トイデータを生成することで、特徴量抽出モデルで実証的にパラメータ推定可能であることを確認した。今後は、基本モデルによる予測精度の検証を行う予定である。



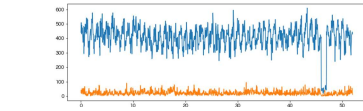
■ 都市の潜在状態推定  
 特定の都市/地名に対する感情分析、モバイル空間統計による人口動態からデータ駆動型の潜在状態推定



観測可能なエリア人口動態とエリアポジネガツイートからそれらを生み出す共通の潜在的都市状態（雰囲気、ムード）を変分ベイズ法を用いて推定する



(B) エリア人口動態  
 モバイル空間統計等から得られる人口動態の推移



(C) 潜在状態推定  
 推定された潜在的都市状態(=離散変数)と実際の人口動態、ツイート内容等から、潜在的都市状態に影響を与える要因を分析  
 →プレ実験の結果は左図

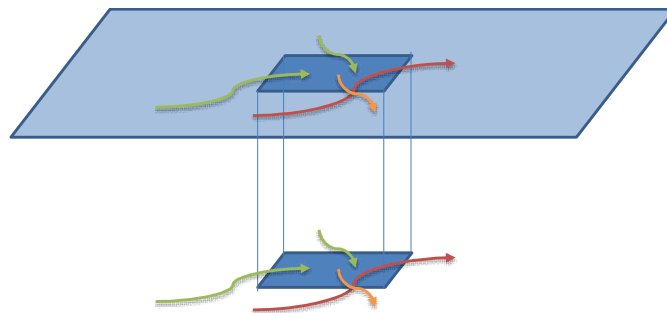
全国レベル、都市圏レベルの移動需要に与える影響を解析  
 →予測モデルへ

図 1 2 都市の潜在状態推定

【全国スケールの流動モデルと都市圏網-拠点モデルの接続条件について】

- 全国スケールの流動モデルでは、大きく次の2ステップのモデルを構想している。1) 潜在的都市状態の推定モデル（モバイル空間統計データやソーシャルメディアによる状態推定モデル）、2) 潜在的都市状態の説明モデル（推定された都市状態を外生的な説明変数によって説明可能とするモデル：予測モデルへ）。
- 都市状態の推定モデルでは、都市で行われている様々な活動やCOVID-19における自粛の状態などを特徴量抽出するとともに、モバイル空間統計におけるメッシュ人口値を用いて、リアルタイムな都市の状態を推定する。一方状態説明モデルでは、一般的な社会経済属性を外生変数として、これを予測するモデルである。
- 2ステップ目のモデルでは、さまざまな説明変数を外挿できるため、全国スケールの都市間流動を予測するモデルを想定している。
- 予測モデルを用いて、マイクロメゾスケールのマルチスケールシミュレーションモデルの境界条件を制約とする（都市圏網-拠点モデルの内外/外内/外外トリップの需要として接続条件とする）配分計算と、全国バスタ網の最適化を行うための方法論の検討を分担者の原と代表者の羽藤が協力して、次年度データの追加収集と合わせて実施予定である。

全国スケールの  
 流動モデル

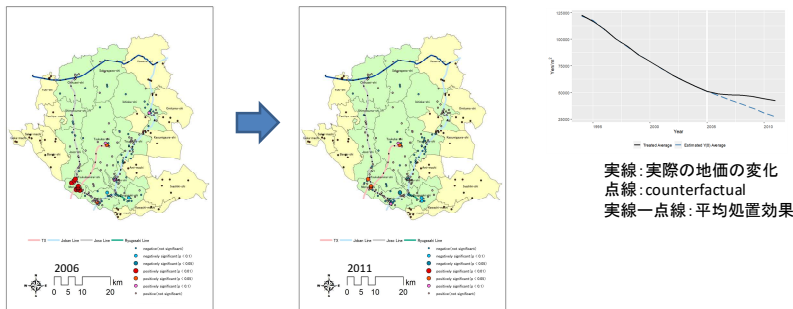


都市圏網-拠点モデル

図 1 3 接続性条件と集計スケールの検討

#### ④ 交通—土地利用モデル

- バスタ拠点とバスタネットワーク整備によるストック効果の把握に向けて、インフラの整備の影響把握に関する研究では、長期の変化である土地利用だけではなく短期に反応する地価に着目することも多い。バスタは再開発と共に整備が行われることが多いため、梅田『うめきたプロジェクト』と仙台駅周辺の再開発を対象に、路線価や従業者数などの程度の空間範囲で変わるかを分析した。分担者である瀬谷が、つくばエクスプレス線を対象に、空間範囲を視覚化する方法を考案・検証し、論文投稿を行なうことができた。
  - TX開業後の公示地価の変化が、対照群より有意に大きかったところ。
  - 競合により地価が下がる範囲を確認した。
    - 常総線は正の効果で常磐線は負の効果だが有意ではない。



Kunimi, T. and Seya, H. 2021: Identification of the geographical extent of an area benefiting from a transportation project: A generalized synthetic control method, Journal of Transport and Land Use, to appear.

図 14 再開発に伴う影響分析

分担者と代表者が協力して、COVID-19によるリモート化の進展が土地利用と勤務形態と地理的圏域、企業立地に大きな影響を与えることから、Anas(1984)の研究を下敷に、CUEやSCGEモデルをレビューすることができた。産業連関表を用いていたモデルでは事業評価の感度が出ないことや、計量的推定手法がナイーブであることから推定法開発が重要であることを確認した。こうした課題解決に向けて、Loらの一連の交通と住宅の最適投資戦略評価のモデルの枠組みを下敷きに、準動的な不動産投資と住宅立地および交通ネットワーク評価が同時に可能なモデルを開発し、現実的なパラメータ推定法の検討と、準動的な計算手法の平成期の首都圏分析への適用を実施し、提案手法の感度を確認した。次年度は、地価分析と組み合わせた広域的な評価への接続を目指したい。

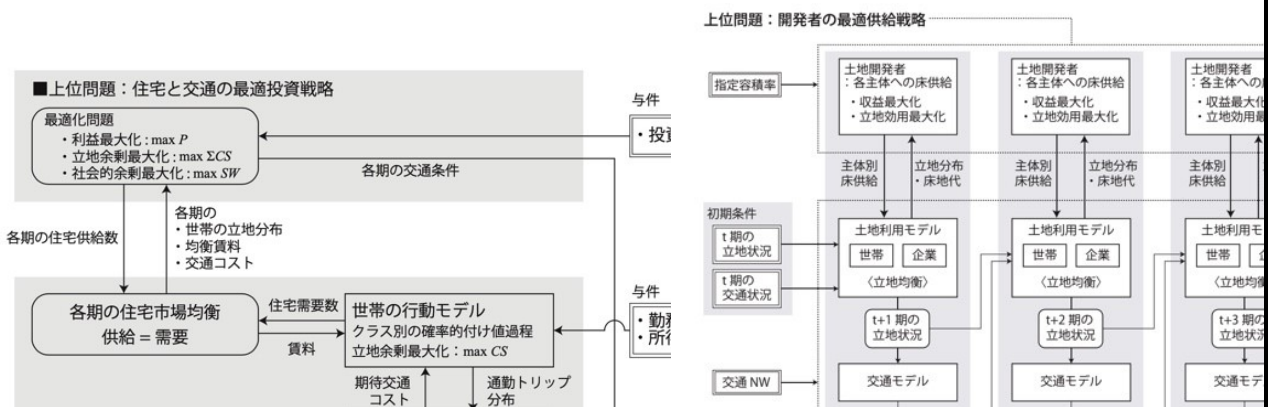


図 15 世帯と企業立地モデルの動学化の枠組み (左:Loらのモデル, 右:本研究)

## ⑦特記事項

### 【マイクロ-メゾスケール】

- ・ OD交通量と経路選択モデルパラメータの相補的關係性に着目し、リンク交通量を観測としたOD交通量・経路選択モデルの同時推定を行い、多峰性の問題を解決することができたことは大きな成果と判断している。今後は、バスタ拠点のデータ収集機能に着目して、リンク交通量が欠測する箇所と推定精度の対応を分析し、センサーの最適配置の検討に着手する予定である。
- ・ 引き続きレビュー・モデル検討を進めつつ、提案したアルゴリズムの位置付けを明確化し、簡単な計算実験を行うなどして、ジャーナル論文の執筆を進めつつ、今年度中～来年度にかけて、実用展開に向けたアルゴリズム開発の方針を固める。
- ・ 都市圏の中のバス網の評価ができる高速計算モジュールの開発にむけ、①動的道路需要計算のための並列シミュレータ開発を既に開発したCNNモデルと比較検証に基づく、バスタ拠点計画のシナリオに基づいた組み合わせ最適化の高速計算手法の構築、②拠点空間・網形成に資するシミュレータ精度向上にむけたパラメータチューニング方法、③拠点空間計画のための最適路線網の計算方法についてのレビューを進めている。
- ・ 分担者によるレビューと理論研究に対する意識の適切な共有に基づいて、叩き台となるマイクロシミュレーションとODパラメータの同時分布学習手法の開発に成功したことから、今後は、現実の事業効果の評価に向けた手法開発を代表者と分担者が協力して図っていく。

### 【マクロスケール】

- ・ マクロスケールは、全国流動とその変化を、Social sensingの研究成果と結びつけていくことが求められている。企業統計のような静的なデータに加えて、リアルタイム性の高いSocial sensingに関する研究レビューを踏まえて、都市の潜在状態推定の基本モデルの構築と、ベンチマークテストを終えた。
- ・ 今後に向けて、全国スケールの流動モデル構築の進捗は現時点で問題ないと考えているものの、全国予約データと複数のSNSの表現データの網羅的確保が必要であり、研究上の倫理的な手続きについても確認を行なっている。
- ・ メゾーマイクロモデルとの境界条件のやりとりと収束計算の方法とあわせて、同期・非同期の計算仕様検討も引き続き図っていく予定である。

### 【交通・土地利用】

- ・ 今年度の地価変化に関する研究結果を踏まえ、非集計モデルを基本とする立地—交通モデルを構築した。来年以降のモデル適用を具体の駅まちみち空間拠点整備に伴うストック効果を対象に行なっていく予定である。
- ・ 事業評価に精通した分担者：原田を中心に平成期の拠点整備のストック効果の把握分析を通じて、ノード—リンクの総合評価手法として確立を図っていく予定である。