

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
	たかやま ゆうき 高山 雄貴		金沢大学	准教授
②研究 テーマ	名称	公共交通ターミナル整備の空間経済分析に関する研究開発		
	政策 領域	[主領域] 領域2 道路ネットワークの形成と有効活用 [副領域]	公募 タイプ	タイプIV ソフト分野
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
	1,560	1,820	1,820	5,200
※R2は受託額、R3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		
杉浦 聡志		北海道大学・准教授		
中西 航		東京工業大学・助教		
大澤 実		京都大学・助教		
中山 晶一郎		金沢大学・教授		
高森 秀司		八千代エンジニアリング(株) 技術開発研究所		
杉本 達哉		八千代エンジニアリング(株) 技術開発研究所		
内田 瑞生		八千代エンジニアリング(株) 技術開発研究所		
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>本研究では、公共交通ターミナル整備がもたらす長期的・広域的な効果の空間分布を計量化するため空間経済分析手法を開発する。そして、その手法を用いて、実都市（札幌、金沢）のターミナル整備を対象に、都市内部の土地利用変化・周辺地域への経済波及効果を評価する。この目的を達成するために、次の3種類の研究開発課題[A,B,C]を設定し、それらを順に実施する：</p>				

- [A] 交通・立地統合モデルを用いた政策効果分析手法の開発：交通施策が都市内交通・土地利用に与える長期的な影響を評価する手法を構築する。
- [B] 空間的応用一般均衡（SCGE）モデルを用いた地域経済分析手法の開発：公共交通ターミナル整備が周辺地域にもたらす長期的な経済波及効果を評価する手法を構築する。
- [C] 実都市における公共交通ターミナル整備の長期的・広域的効果の計測：[A, B]で構築した手法を用いて、札幌・金沢を対象に公共交通ターミナルの長期的な整備効果を評価する。

2020年度は、研究目的達成の準備に必要となる交通・立地・経済データの取得・整備に加え、研究課題[A,B]で開発する空間経済分析手法の基礎となる数理モデル構築・データ解析を実施する。より具体的には、次の2点の研究開発を進める：

- (a) 交通・立地統合モデルを用いた政策効果分析のための基本モデルの開発
- (b) 空間的応用一般均衡モデルを用いた地域経済分析のための基礎的解析

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでの研究目標の達成状況とその根拠（データ等）を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。また、研究の目的・目標からみた研究計画、実施方法、体制の妥当性についても記入。)

[研究の進捗状況について]

2020年度に実施している研究開発(a), (b)について、その進捗状況を示す。

(a) 交通・立地統合モデルを用いた政策効果分析のための基礎的枠組の開発

公共交通ターミナル整備が都市内交通・土地利用に与える影響評価に必要となる交通・立地データを取得し、次年度以降の分析に活用できる形式に整備した。さらに、広域・詳細な都市内空間を対象とした分析を可能にする交通・立地統合モデル開発の基礎となる交通サブモデル・立地サブモデルを構築した。より具体的な研究進捗状況は、以下に挙げる通り。

(a1) 交通・立地データの整備（主担当：高森・杉本・内田・高山・中西・杉浦）

- 分析対象の札幌・金沢都市雇用圏について、表1に挙げる交通・立地関係データを取得した。
- 次年度以降の分析で活用するために、立地関係データは町丁目単位で空間を分割したものを作成した。なお、金沢都市雇用圏は1,656町丁目、札幌都市雇用圏は6,653町丁目である。

表1：都市内交通・立地データの取得状況

	取得データ
道路関連データ	DRM データ（リンク長，車線数）
	道路交通センサスデータ（OD）
	ETC2.0 データ
バス関連データ	国土数値情報データ（距離、運行頻度）
鉄道関連データ	国土数値情報データ（距離）
立地関係データ	地図で見る統計（町丁目境界データ，町丁目別就業者・従業者数）

- ・ 取得したデータ（図1,2）を用いて、道路・バス・鉄道の各々について、町丁目間の交通条件（e.g., 最短経路距離，運行頻度，乗り換え回数）に関する情報を整備した（町丁目数の2乗個のデータ整備）。

(a2) 交通サブモデルの構築（主担当：杉浦・中山）

- ・ 交通サブモデルを標準的な交通量配分として定式化した。さらに，広域・詳細な都市内空間下での分析を可能にするための数値解析手法を開発した。
- ・ 開発した手法は，大規模な問題に適したCoordinate Descent法（更新する変数を限定する手法）を交通量配分の等価最適化問題に適用可能な形に改良したものである。この手法により，最短経路探索による計算コストの大幅な削減が期待できる。

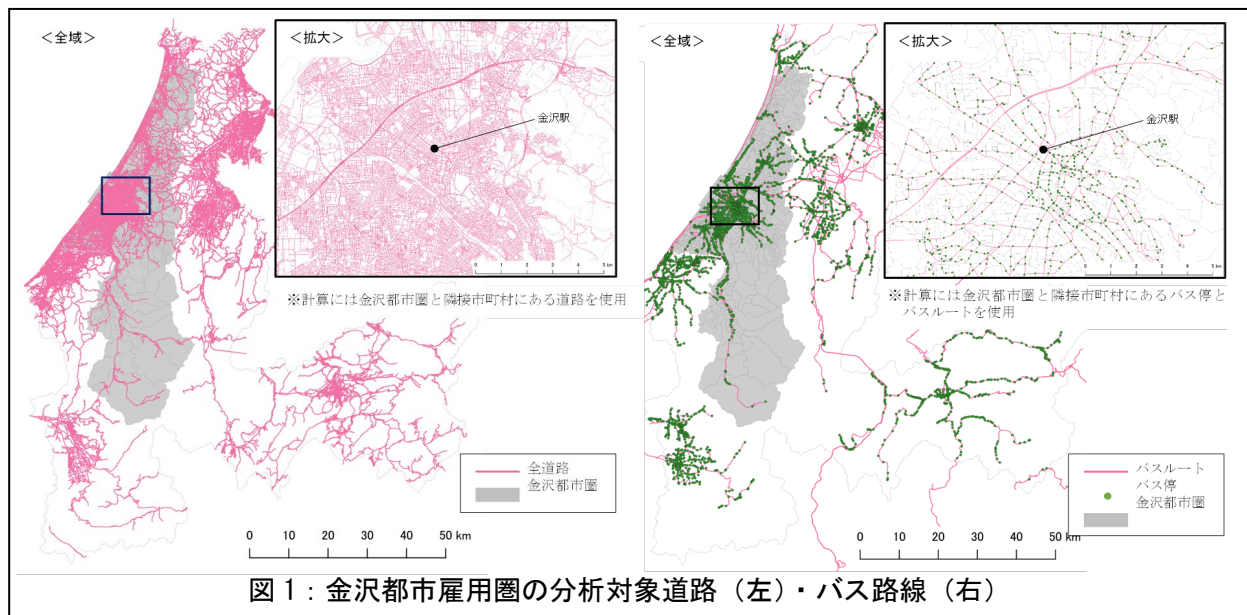


図1：金沢都市雇用圏の分析対象道路（左）・バス路線（右）

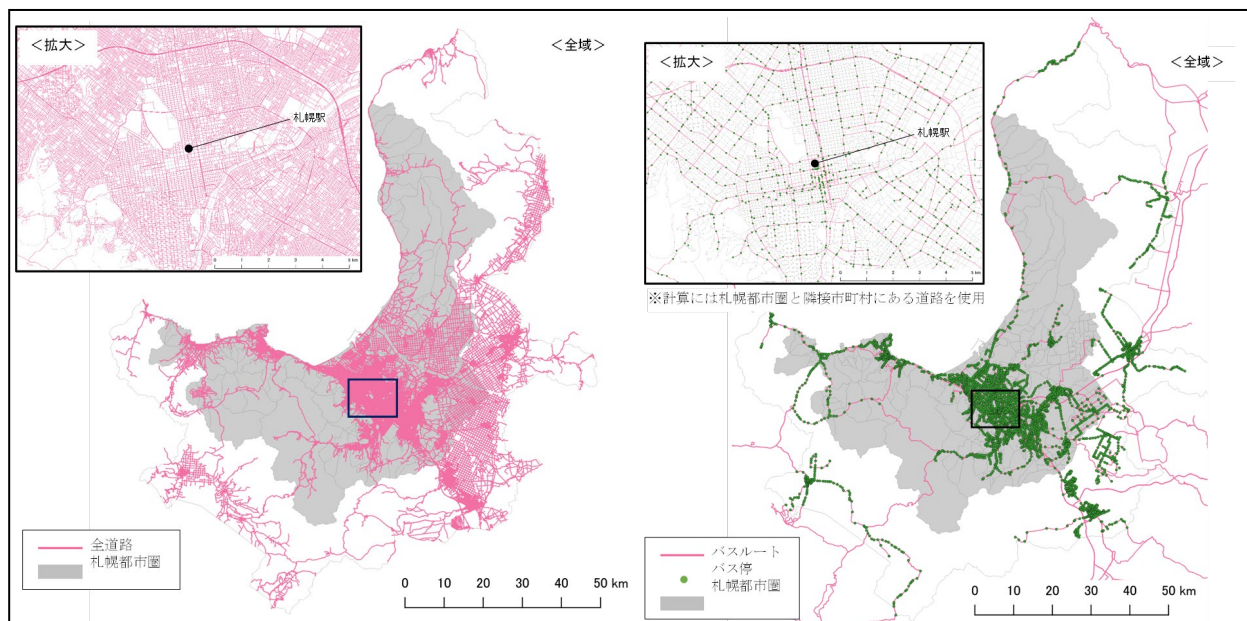


図2：札幌都市雇用圏の分析対象道路（左）・バス路線（右）

- Sioux Fallsネットワークを対象に、標準的なFrank-Wolfe法と提案手法の計算効果を比較した。その結果、小規模なネットワークであっても、提案手法の適用により計算時間が大幅に短縮されることを確認した（図3）。
- 次年度は、大規模なネットワークを対象とした数値解析を実施する予定である。

(a3) 立地サブモデルの構築（主担当：高山・中西・大澤・杉本）

- ミクロ経済学的基礎を持つ居住地・就業地選択モデルを構築した。
- 構築したモデルにポテンシャル関数が存在するという性質を利用し、大規模な空間下でも計算可能な数値解析手法を整備した。さらに、空間統計学に基づくパラメータ推定手法（空間的自己相関への対処）を提案した。
- 先行して整備した金沢都市雇用圏の立地・道路関係データを利用した予備解析（図4、居住地・就業地を選択するモデルであるため未知変数は1656²個）を実施し、開発した分析手法が詳細な空間でも利用可能であることを確認した。

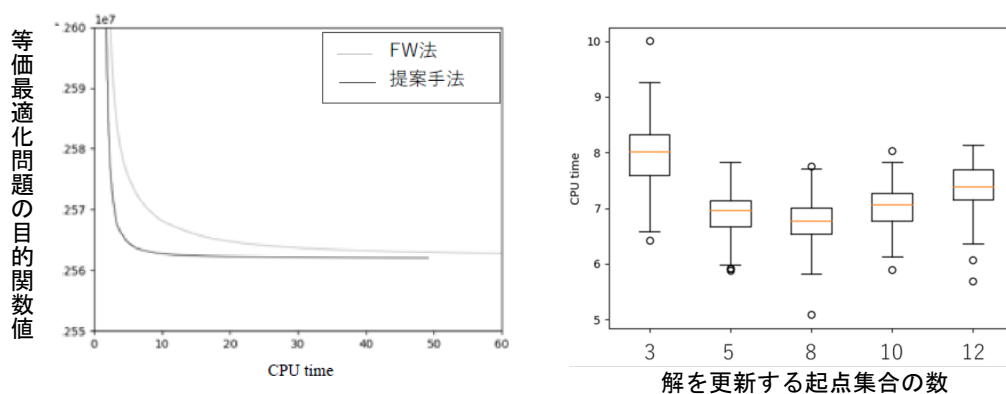


図3：本研究で開発した交通量配分の数値解析手法の効率性検証結果

※ 特定の起点の交通量のみを更新するアルゴリズムであるため、更新する起点集合の数に応じた計算効率の変化も評価した（右図）

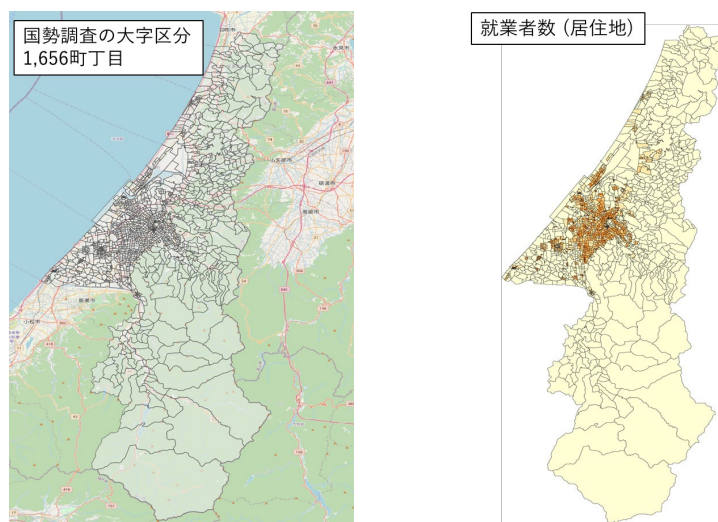


図4：立地サブモデルの予備解析で利用した金沢都市雇用圏

(b) 空間的応用一般均衡 (SCGE) モデルを用いた地域経済分析のための基礎的解析

公共交通ターミナル整備の経済波及効果を評価するための基礎となる地域経済・都市間交通データを取得し、分析に活用可能な形に整備した。さらに、高速バス路線の拡充による都市間交通の利便性向上効果分析に向けた基礎的なデータ解析を実施するとともに、次年度以降の分析手法の基礎となる空間経済モデルを構築した。より具体的な研究進捗状況は、以下に挙げる通り。

(b1) 地域経済・都市間交通データの整備・基礎解析

(主担当：大澤・杉本・高森・内田・中西・中山)

- ・次年度以降の分析で活用するために、日本の都道府県／都市雇用圏 (図5) 毎の人口・就業者数等と都市間交通データを取得した (表2)。
- ・都市人口データを用いた分析により、日本では、長期的には「特定の都市への人口集中 (大域的集積)」と「各都市の面積拡大・人口密度の低下 (局所的分散)」が同時に進んでいることを明らかにした (図6)。

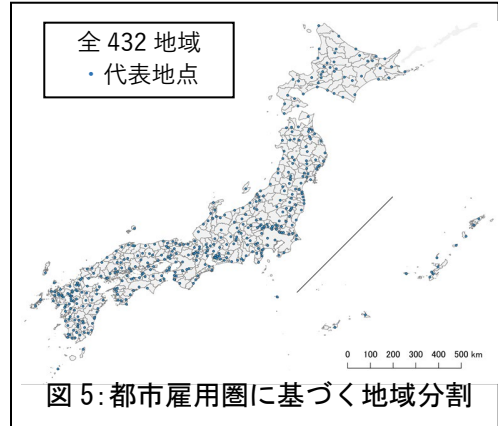


図 5: 都市雇用圏に基づく地域分割

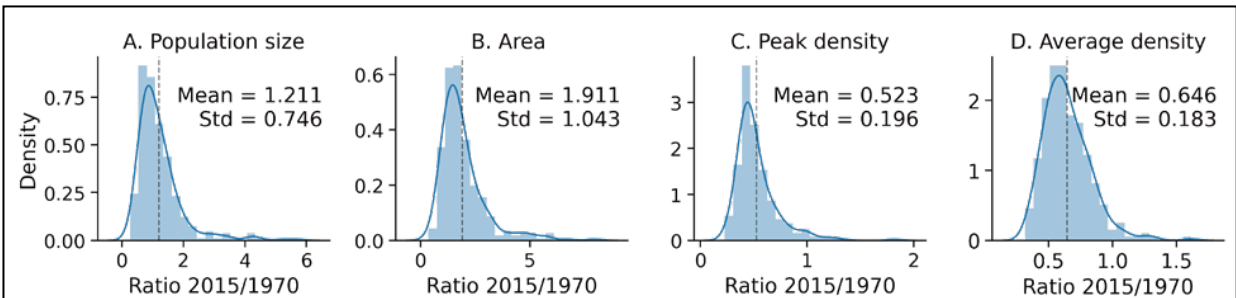


図 6: 都市人口の長期的変化: 1970~2015 年の都市人口・面積・人口密度の変化の分布

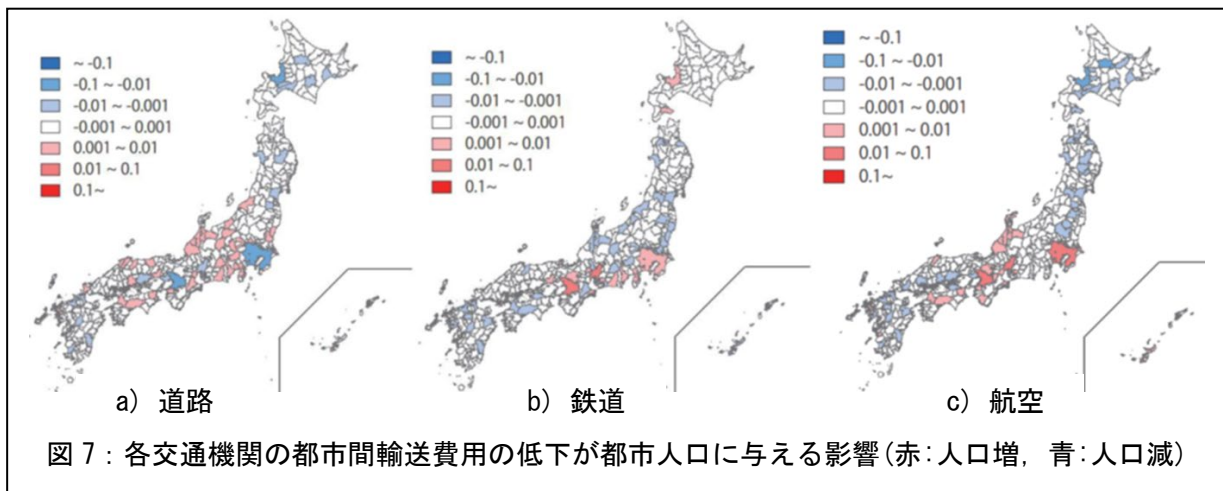
表 2: 都市間交通データの取得状況

		データ項目	取得データ
都道府県間・都市雇用圏	道路関連データ	距離・所要時間	DRM データ
		移動人数	旅客純流動調査データ (移動人数)
		輸送量	物流センサスデータ (輸送量)
	バス関連データ	距離・所要時間 運賃・運行頻度	民間情報サプライヤ (NAVITIME) データ
		移動人数	旅客純流動調査データ (移動人数)
	鉄道関連データ	距離・所要時間 運賃・運行頻度	民間情報サプライヤ (NAVITIME) データ
		移動人数	旅客純流動調査データ (移動人数)
		輸送量	物流センサスデータ (輸送量)
	航空関連データ	距離・所要時間 運賃・運行頻度	民間情報サプライヤ (NAVITIME) データ
		移動人数	旅客純流動調査データ (移動人数)
		輸送量	物流センサスデータ (輸送量)

- ・ 現在、地域経済分析で用いる都市間交通網モデルの構築に必要となる、都市間交通データを用いた基礎的な解析を進めており、今年度中に完了できる見込みである。

(b2) 地域経済分析の基礎となる空間経済モデルの構築（主担当：高山・杉本・大澤・中西）

- ・ 近年、急速に発展している定量的空間経済学に基づく空間経済モデルを構築した。
- ・ 先行して整備できた都市間交通データ（e.g., 道路・鉄道・航空の都市間距離・所要時間）等を利用した予備解析を実施した。そして、大規模な空間下であっても計算可能であること、構築したモデルが (b1) で示した日本の実人口分布の長期的変化の特徴（図6）を表現できることを確認した。
- ・ 都市間輸送費用の低下が都市人口に与える影響を交通機関別に分析した結果、交通ネットワークの形状に応じて、その効果が大きく異なることを明らかにした（図7）。
- ・ 都市間交通網モデルと空間経済モデルを統合したSCGEモデル構築の見通しが立った。



[研究計画・実施方法・体制の妥当性について]

- ・ 本研究開発の目的は、公共交通ターミナル整備がもたらす長期的・広域的な効果（ストック効果の空間分布）を評価できる、ミクロ経済学的基礎を持つ空間経済分析手法の開発である。
- ・ 目的達成のためには、分析枠組の構築（数理モデル・パラメータ推定手法の開発）、効率的な数値解析手法の開発が不可欠となる。そこで、交通・立地・統計などの複数の分野の研究者・実務家が、各々の分野の知見を融合する形で研究を進めるよう計画している（図8）。
- ・ 計画の実施のために、定期的に研究担当者が（対面・オンライン併用で）一堂に会し、その進捗状況確認・課題解決のための議論を重ねてきた。
- ・ その結果、COVID-19の影響を受けながらも、当初の研究計画に沿う形で研究開発を進展させることができている。

総括 高山雄貴	[A] 交通・立地統合 モデルの開発 交通施策が都市内交通 土地利用に与える 長期的効果の評価手法	[B] 空間的応用一般 均衡モデルの開発 交通施策が周辺地域に もたらす長期的な 経済波及効果の評価手法	[C] ターミナル 整備効果の計測 札幌・金沢を対象とした 公共交通ターミナルの 長期的な整備効果の計測
交通 杉浦聡志 中山晶一郎 高森秀司	交通サブモデル開発 +数値解析の効率化	都市間交通網の モデル化	ターミナル整備による 交通面の影響評価
立地 高山雄貴 大澤実 杉本達哉	立地サブモデル開発 +数値解析の効率化 +予備実験	SCGEモデルの構築 +数値解析の効率化 +予備実験	ターミナル整備による 土地利用・経済面の 影響評価
統計 中西航 村上大輔(*) 内田瑞生	データ整備・解析 +パラメータ推定	データ整備・解析 +パラメータ推定	データ整備・解析 +大都市適用時の パラメータ推定

(*) 統計数理研究所 村上大輔氏は2年目から参加

図8：研究体制・担当

⑦特記事項

(研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の見通しや進捗についての自己評価も記入。)

[研究で得られた知見・成果・学内外等へのインパクト]

- ・ 今年度の研究開発により、空間経済分析を実施するうえで問題となる次の2点に対処できる見通しを得た：
 - [1] 大規模なモデル（広域・詳細な空間）を対象とした場合、計算負荷が大きい
⇒ 効率的な数値解析手法を整備するとともに、その効果検証を実施した
 - [2] 空間データを用いた統計分析に必要となる空間的自己相関への対処が複雑
⇒ 分析上の負荷が殆ど増えない形で対処できる、固有ベクトル空間フィルタリングを利用したパラメータ推定方法を整備した
- ・ 公開されているデータのみで空間経済分析を実施するための基礎的な枠組を構築した
- ・ 本研究開発の成果に加え、開発した分析枠組・解析手法を応用した研究成果を学術論文・学会にて公表／論文投稿した：
 - [学術論文] Regional Science and Urban Economics, 土木学会論文集, arXiv など
 - [学会] 土木計画学研究発表会, 応用地域学会, ITSシンポジウムで発表, ISTTTに投稿

[研究の見通し・進捗への自己評価]

- ・ COVID-19の影響から、必要なデータの取得・分析用の加工に時間を要した上、当初計画していたface-to-faceの議論の多くが実施できなかった。そこで、次のように対応した(図9)：
 - [1] 一部の立地・交通データの先行整備と、それを利用した（部分的な）予備解析
 - [2] 対面・オンラインを併用した打ち合わせ
 - [3] 次年度実施予定であった空間経済モデル構築の一部を先行実施
- ・ 遅れが生じていたデータ整備に関しても、年度内には関連した分析を含めて実施できる予定
- ・ 以上より、研究開発は概ね順調に進んでおり、当初計画通りに進められる見通しが立った

