

## 研究助成実施報告書

助成実施年度	2020 年度
研究課題（タイトル）	次世代交通サービスの導入による都市内モビリティ向上効果の数理的研究
研究者名※	長谷川 大輔
所属組織※	東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門 特任助教 (東京大学大学院工学系研究科 特任助教)
研究種別	研究助成
研究分野	都市交通システム、エネルギー計画
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

( ) は、報告書提出時所属先。

# 大林財団2020年度研究助成実施報告書

所属機関名 東京大学大学院工学系研究科

申請者氏名 長谷川大輔

研究課題	次世代交通サービスの導入による都市内モビリティ向上効果の数理的研究
(概要) ※最大10行まで CASE (Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric)の技術革新による交通サービスの多様化・自動運転化・電動化の時代を見越し、①. 都市内ネットワーク網の性能評価手法の開発を通じて、既存の固定路線・ダイヤ型の公共交通サービスの時空間的空白の所在を明らかにする。さらに②. 多様な交通サービスの成立条件と都市内モビリティの向上可能性の評価を通じて、時空間的空白に該当する需要に対する新しいモビリティサービスの利便性向上効果を定量的に示し、CASE時代の地域公共交通の設計指針について考察することで、将来的な社会的変革に対応した政策の具体的目標を示唆する。	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>我が国では市街地の拡大と加速する少子高齢化に伴う人口密度の希薄化が進んでおり、インフラ整備・維持コストの増大や公共交通の衰退、ドライバー不足による公共交通の供給力の限界が問題視されている。こうした状況下において、近年我が国が目指す都市空間像となっている「コンパクト・プラス・ネットワーク」の推進によって、利便性やコスト、環境負荷や住民の健康問題など、様々な問題の改善が期待されている。また、近年の動向として、自動車業界で進むCASE (Connected, Autonomous, Shared &amp; Services, Electric)の技術革新による、交通サービスの多様化・自動運転化・電動化がある。自転車・小型車両のシェアリング交通や、タクシーの相乗りに代表される交通サービスの多様化はMaaS (Mobility as a Service) として社会実装が進みつつあり、バスや鉄道といった既存の公共交通手段では対応が難しい移動需要を代替・補完することができる。自動運転化・電動化はそれぞれドライバー不足の解消による人件費の削減、ガソリン車と比較した車両維持費の削減が可能で、コスト構造の変化をもたらすとされている。これら新技術の導入は、コンパクト・プラス・ネットワークにおける「効率的なネットワーク形成」の実現に寄与すると期待されている。しかし、新技術の導入には課題も存在する。第一に、既存の公共交通サービスの性能評価が、新しい交通サービスの導入を検討するために不十分であるという点である。効率的なネットワーク形成の実施に対応して、2020年4月の段階で592の自治体が地域公共交通網形成計画を策定している。しかし、それらの多くにおいて、公共交通カバー率を上げることにのみ焦点が置かれた、長大路線で迂回が多い、かつ低頻度となっているケースが散見される。既存のネットワークが、サービスの技術革新によって、どれだけ利便性の高い交通ネットワーク設計を行う余地があるのか、という定量的な具体性</p>	

が不足している。第二に、新しい交通サービスが優位となる都市の空間的な特徴が把握されていない点である。既存の公共交通手段では対応が困難な、特に都市内移動の際に重要となる低需要密度・短距離の移動に対して、新しい交通サービスが適応可能とされているが、その認識は定性的なイメージでの認識に留まっている。また、自動運転化・電動化による車両走行にかかる費用の低下によって既存の交通手段の優位性も変化するがその考慮も十分に行われていない。

そこで本研究では、効率性に着目した都市内公共交通ネットワークの現状評価と、将来的なコストの変化をふまえた新しい交通サービスの優位性の定量的導出を行い、多様化・電動化・自動運転化を考慮した都市内公共交通の設計指針を得ることを目的とする。

## 2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究は以下の2つのサブテーマを設定し、次世代交通サービスの導入による都市内モビリティ向上効果を明らかにする研究を進めた。

### ①. 都市内ネットワーク網の性能評価手法の開発

市町村内で商業施設が相対的に集積する商業集積地点、およびその規模を決定する手法を構築した上で、居住地から商業集積地への人々の日常生活の移動需要を空間相互作用モデルによって推定する手法を構築した。また、鉄道・バス・航空・船舶の運行ダイヤを基に、公共交通の車両・乗換移動を多次元のグラフ構造として表現した時空間ネットワークの分析環境を構築した。これにより、市町村別の昼間人口と公共交通の車両密度の間の高い相関関係について示した。また、都市内移動需要に対する公共交通の需要被覆率、速達性、利便性からみた性能評価を行い、各都市における、今後の地域公共交通計画における路線網・ダイヤどちらの改善を行うべきかの方向性を示唆した。さらに、昨今の新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染防止のために行動制限による旅客需要の減少によって生じた交通手段別の減便の状況と、減便前後における都道府県間の移動における所要時間の増加によって、人々の移動利便性の悪化の現状について明らかにした。

### ②. 多様な交通サービスの成立条件と都市内モビリティの向上可能性の評価

デマンド型交通やシェアサイクル、配車サービスといった路線・ダイヤが固定されていない交通手段において、車両基地やポートといった拠点 (デポ) の配置に対する移動コストの推計を行うために、デポと配送領域が任意の位置関係にあっても、複数車両の巡回距離を推計できる、デポと配送領域間の平均距離 (Linehaul 距離) に着目した連続近似モデルを構築した。数理最適化ソルバーにおいて配送計画問題 (VRP) の数値実験を行った値との比較検証の結果、デポが領域外にある場合の巡回距離の推定値が既存のモデルより高精度に推計できることを示した。また、当モデルを活用した、領域サイズ・需要密度を任意に設定したときの最適な車両台数を導出可能なモデルを構築し、荷物配送や乗合タクシーを想定した、いくつかの需要分布に対する最適台数を分析した。

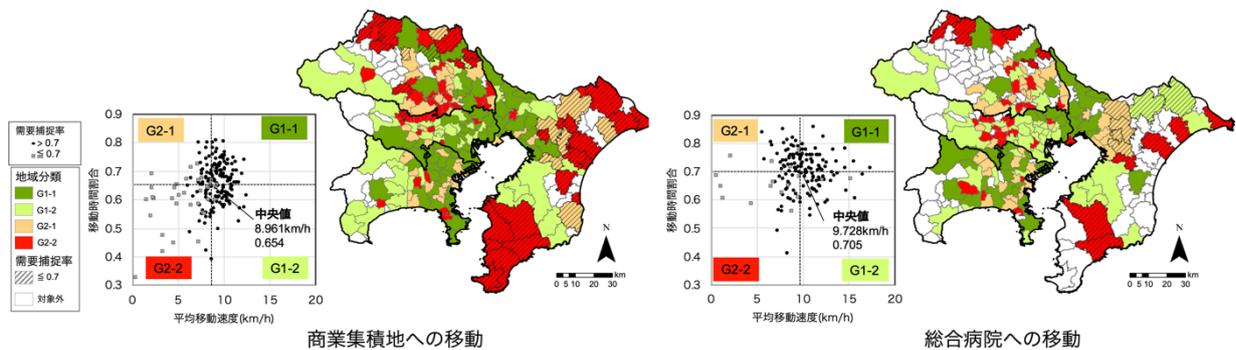
### 3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

2つのサブテーマについて、以下の通りの研究成果を得た

#### ①. 都市内ネットワーク網の性能評価手法の開発

都市内を発着する公共交通の車両数の多寡と都市の地域性との関係性を分析し、(1) 1日・1km<sup>2</sup>あたりの車両密度と通勤通学需要の高い、就業者・就学者の人数である昼間人口との関係性が高く、1000人/km<sup>2</sup>増加すると15.5便/日・km<sup>2</sup>増加する関係が示された。さらに、市区町村内における日常の移動需要に対して、需要捕捉率、路線網の速達性平均移動速度、ダイヤの効率性を示す移動時間割合の3指標から公共交通の性能評価を行い、(2) 移動時間に対する待ち時間は多くの市区町村で3~4割を占めていて、特に通院行動において、地域によってダイヤの接続性に差があることを示した。(3) 平均移動速度と移動時間割合から市区町村の相対的な評価を行い、都心から近い地域においても速達性の低い地域、ダイヤ接続の悪い、利便性の低い地域が存在することを示した。それら2指標の値を基準に、図①-1に示す4つのグループに区分し、各自治体において、G2-1,G2-2においては路線網の改善を、G1-2,G2-2においては運行頻度・ダイヤ接続を検討すべきという公共交通の性能改善の方向性を示した。



図①-1 平均移動速度と移動時間割合の関係に基づく地域分類結果

また、昨今の新型コロナウイルス感染症（COVID-19）による減便の状況を見ると、全ての政令指定都市で減便が起きており、特に到着本数が比較的多い三大都市よりも、運行頻度が比較的に少ない地方都市において平均到達時間や到達圏面積などのアクセシビリティへの影響が大きいことが明らかとなった。これは地方都市では三大都市に比べて自動車分担率が高い場合が多いことがアクセシビリティ変化につながっている可能性があり、このような変化はさらなる利用者離れを誘因する恐れがあり、交通弱者の生活の足を確保することが今後さらなる課題となることを示した。

上述の成果に基づき、以下による成果報告を行った。

2件の学術論文（うち1件審査中）

- 長谷川大輔・巖先鏞: ダイヤの接続性を考慮した地域公共交通網の性能評価手法に関する研究, 都市計画学会論文集, 56(3), pp.532-538, 2021.

1件の学会誌への寄稿

- 長谷川大輔: 縮小時代の公共交通ネットワーク分析—時空間ネットワークを用いたダイヤの評価—, 『オペレーションズ・リサーチ』, Vol.67, No.7, 2022年7月発行予定

#### 4 件の外部発表

- 長谷川大輔: ネットワークの効率性・冗長性に着目した公共交通網の都市間比較, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 2021
- 長谷川大輔・巖先鏞: 時空間ネットワークを用いた地域公共交通網の運行ダイヤを考慮した性能評価に関する研究, 地理情報システム学会講演論文集, 2021
- 長谷川大輔・本間裕大: 道の駅への生活機能の整備による生活利便性向上効果に関する研究, 第 64 回土木計画学研究発表会・講演集, 2021
- Eom, S., Hasegawa, D.: Urban Core and Facility Location Model for Shrinking Cities, the 22nd Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS 2021), 2021

#### ②. 多様な交通サービスの成立条件と都市内モビリティの向上可能性の評価

図②-1 に示すように、デポと配送領域の位置関係で 9 つのパターンに分け、数理最適化ソルバーにおいて配送計画問題 (VRP) の数値実験を行い、連続近似モデルの精度検証を行った。その結果、デポが領域外にある場合の巡回距離の推定値が既存のモデルより高精度に推計できることを示した。これまでのモデルでも高い精度をとっていたが、LineHaul 距離を精緻化することで、デポと領域が離れた場合、誤差率 3.5%以下に収まっており、特に、デポと領域重心間の距離が短い場合に改善効果が高くなることを示した。

	7	8	9		
	4	5	6		
B	1	2	3		
	A				
7		8		9	
RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
(1)	9534.3    2.3 %	(1)	8803.4    3.3 %	(1)	8210.7    6.1 %
(1-1)	5945.0    1.4 %	(1-1)	6063.7    2.3 %	(1-1)	9031.0    7.1 %
4		5		6	
RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
(1)	9584.3    2.2 %	(1)	8055.7    2.9 %	(1)	11613.6    6.5 %
(1-1)	5957.1    1.3 %	(1-1)	5559.7    2.0 %	(1-1)	6283.2    3.4 %
1		2		3	
RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
(1)	8704.2    1.8 %	(1)	6474.8    1.9 %	(1)	8522.0    3.4 %
(1-1)	5655.3    1.1 %	(1-1)	5010.0    1.6 %	(1-1)	7206.8    2.8 %

デポと領域の位置関係

精度検証結果

図②-1 デポと領域の位置関係と連続近似モデルの推定精度検証結果

上述の成果に基づき、以下による成果報告を行った。

2 件の学術論文 (掲載決定済)

- Hasegawa, D., Honma, Y., Shiono, N., and Toki, S.: Improving the accuracy of vehicle routing problem approximation using the formula for the average distance between a point and a rectangular, The International Conference in Optimization and Learning (OLA2022), 2022, Accepted.

- Hasegawa. D., Honma.Y., Shiono. N., and Toki. S.: The continuous approximation model for vehicle routing problem focusing on linehaul distance, The 9th International Conference on Transportation & Logistics (T-LOG 2022), 2022, Accepted.

1 件の外部発表

- 長谷川大輔・本間裕大・塩野直志・土岐爽真: デポと配送領域の平均距離に着目した連続近似モデルによる配送距離推定, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 2022.

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究に関しては、以下の課題が残されている。

①. 都市内ネットワーク網の性能評価手法の開発

- ・市町村間の移動、移動距離の地域差・年齢差を想定した、より現実的な移動需要を用いた公共交通網評価
- ・整備量からみた提供側コストの観点を考慮した分析手法の検討
- ・ダイヤ改正による公共交通アクセシビリティ変化の定期的なモニタリング

②. 多様な交通サービスの成立条件と都市内モビリティの向上可能性の評価

- ・現実的な移動需要を用いた、デマンド型交通配送コストの導出
- ・既存の公共交通サービスに巡回・個走サービスを組み合わせた際のアクセシビリティ向上効果の評価