

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	GPSデータを用いた大都市圏における人流の解析とモデル化
Title(English)	Analysis and Modeling of Collective Human Flow in Metropolitan Areas Based on GPS Data
著者(和文)	志田洋平
Author(English)	Yohei Shida
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12282号, 授与年月日:2022年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高安 美佐子,三好 直人,渡邊 澄夫,高邊 賢史,脇田 建
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12282号, Conferred date:2022/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	志田洋平	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	高安 美佐子	教授	脇田 建	准教授
	審査員	三好 直人	教授		
		渡邊 澄夫	教授		
		高邊 賢史	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Analysis and Modeling of Collective Human Flow in Metropolitan Areas Based on GPS Data」と題し、全7章から構成されている。

第1章「Introduction」では、19世紀末から始まった人の移動に関する研究の流れを紹介し、近年ではGPSデータを用いて数百メートルから数百キロメートル単位での人の移動を分析する研究が進められていることを述べている。先行研究では都市内の時間変化する人流をパターン形成に着目した視点から解析している研究がなされていないことに言及しており、河川形成のパターン解析手法を応用した都市内人流の普遍的な構造の抽出を本研究の目的とすると述べている。また、人の動きを荷電粒子とみなす電気回路のアナロジーによる人流のモデル化を本研究のもう一つの目的とすると述べている。

第2章「Description of the Database and Fundamental Characteristics」では、本研究で使用したGPSデータの概要とその基本的な性質について説明している。個人情報に侵害しないように処理が施されたおよそ100万人のスマートフォンユーザの緯度経度と移動速度の情報が収録されており、30分程度の時間間隔で収集されたデータであると述べている。また、国勢調査による全人口の空間分布とGPSユーザの空間分布は、定数倍することでどの地域でもほぼ一致していることを確認したと述べている。

第3章「Definition of the Human Flow on the Map」では、時間変化する人流パターンを観測する為に、その前処理として注目する地域を500メートル四方の格子状の区画に分割し、各区画で30分間隔ごとに速度がゼロでない人々の平均速度を計算し、各区画、各時間における人流ベクトルの大きさと方向を定義している。

第4章「Universal Scaling Laws of Collective Human Flow Patterns in Urban Regions」では、河川形成のパターン解析で用いられてきた「流域」の概念を第3章で定義した人流ベクトルに適用し、大都市内における人流パターンの時間変化を観測する手法を提案している。午後の流域パターンに着目すると、流域のサイズ分布は指数分布で近似できると述べている。指数分布に従うことは、格子間の移動方向が無相関であり、人々が独立してランダムに移動するという仮説と矛盾しないと述べている。一方、朝の通勤ラッシュ時には、都心に向かう方向性を持った人流が集まり、巨大な流域が現れると報告している。この場合の流域サイズ分布は、日本の主要な9つの都市圏で共通しており、非自明な指数を持つべき分布で近似できると述べている。さらに朝のラッシュ時の特性に関して、流域の差渡しの最大長を $L$ とするとその流域内で移動する人の数は $L$ の3乗に比例し、さらに流域のサイズは、 $L$ の1.5乗に比例するというスケーリング則を見出したと述べている。

第5章「Universal Scaling of Human Flow Unchanged During the COVID-19 Pandemic」では、第4章で紹介した流域の解析手法を、COVID-19流行期に適用し、パンデミック拡大の影響を観察している。COVID-19流行前においては、午後の流域サイズ分布は指数分布で近似可能であると述べていたが、COVID-19に起因する第一次緊急事態宣言の影響を最も受けた東京と札幌の午後の流域サイズ分布においては、指数分布から大きく外れていることを発見している。一方で朝の通勤ラッシュ時では、通勤者の人口が大幅に減少したにもかかわらず、流域サイズ分布はパンデミック前と同様のべき分布が成り立っており、流域の差渡しの最大長 $L$ と流域内で移動する人の数、および、流域のサイズに関するスケーリング則も変化がなかったことを日本の主要な9つの都市に関して確認したと述べている。

第6章「Potential Fields and Fluctuation-Dissipation Relations Derived from Human Flow in Urban Areas Modeled by a Network of Electric Circuits」では、大都市内でGPSデータから

観測された人流を、交通インフラを反映した仮想的な電気回路網にマッピングするための基本的なフレームワークを提案している。まず、大都市圏を覆う 500m 四方の格子状の架空の電気回路を想定し、移動している人を荷電粒子とみなして各時刻の電流の空間パターンを GPS データから求めたと述べている。抵抗は、交通インフラを特徴付ける時間依存しない量として各格子の接続点に定義し、それらの値は、電流と抵抗の積として定義される電位差の回転の各成分の二乗和を全領域全時間帯で最小化するように最適化し計算したと述べている。求めた抵抗値を用いることで、時間帯ごとの人流を記述するスカラーポテンシャルである電位の時間変動を計算している。抵抗の逆数であるコンダクタンスは、それが定義されている格子地点での一日の中での最大人流にほぼ比例しており、首都圏周辺の朝と夕の推定電位は、東京都心部を中心として、それぞれ谷型と山型であることを地図上に描画して示している。さらに、これらの結果は、第 4 章で解析している流域によって特徴付けられる通勤および帰宅ラッシュにおける人流パターンと整合していると述べている。また、午後のポテンシャルはほぼ平坦であり、第 4 章で述べた午後の人流パターンはほぼランダムであるという結果と一致していると述べている。同じ地点同じ時刻における人流の平均値周りの日々の変動の分散は、その地点におけるコンダクタンスに比例していることを見出し、物質における揺動散逸関係と類似していると指摘している。

第 7 章「Conclusion」では第 4 章から第 6 章までの研究内容を総括し、今後の展望について論じている。

以上を要するに、本論文はスマートフォンユーザから取得された大規模 GPS データを用いて、河川流域パターン解析の手法を応用した人流解析手法から、大都市内の人流パターンに関する普遍的な法則性を発見している。さらに、大都市内で GPS データから観測された人流を、交通インフラを反映した仮想的な電気回路網にマッピングする基礎モデルを提案し、理学としての貢献が大きい。よって博士（理学）の学位として十分価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。