

モバイル空間統計に基づく方向卓越型交通機能の定量化

Quantification of directional dominant traffic functions based on Mobile Spatial Statistics

澤村 悠里*
Yuri SAWAMURA

*地域計画学・レジリエンス計画研究室（指導教員：奥村 誠 教授）

Round-trip traffic, such as for external support after a disaster or for commuting in a metropolitan area, is very important for maintaining the socioeconomic activity level in the destination area. This study refers this type of traffic as “directional dominant traffic” and attempts to quantify the function of it. To quantify the traffic, we developed a “zone system” in which spatially contiguous zones are arranged along the dominant direction in the calculation area. By combining the zone system with the population distribution by time of day, obtained from Mobile Spatial Statistics, the total travel time per zone can be calculated, enabling the quantification of the directional dominant traffic function. Based on the developed method, the external support traffic after the 2024 Noto Peninsula earthquake and the commuter traffic in the Sapporo metropolitan area during the heavy snowfall in February 2022 were analyzed.

Key Words: Mobile Spatial Statistics, directional dominant traffic, zone system, zone cumulative diagram

1. はじめに

大規模災害後、特に現地宿泊が困難な状況下では、外部支援者が比較的安全な支援拠点と被災地内目的地の間を往復する。また都市部では、多くの人々が都心部勤務地への往復移動を行う。これらの往復交通は目的地とする地域の活動水準を維持する上で大変重要な意味を持つため、本研究では「方向卓越型交通」と呼び、地域における実現水準を「方向卓越型交通機能」と呼ぶ。

方向卓越型交通機能が低下すると、それに伴って目的地とする地域の活動水準が低下する。令和 6 年能登半島地震後、大きな被害を受けた奥能登地域に至るまでの道路網の寸断と復旧の遅れにより、交通機能の低下が続いた。その結果、外部支援者の受け入れが困難な状況が続き、「静かすぎる被災地」と呼ばれた。復旧活動の改善を図るためには、交通機能の低下の著しい場所を把握し、効果的な改善策を明らかにする必要がある。

本研究では、目的地の活動水準維持に大きな影響を与える方向卓越型交通機能の定量化を試みる。そのため、計算領域内に交通の卓越方向に沿って空間的に連続する途中出入りの無いゾーンを設定する「ゾーンシステム」を開発した。ゾーンシステムとモバイル空間統計から把握できる時刻別の人口分布を組み合わせることで、モバイル空間統計から直接把握できるゾーンごとの滞在人口を、実効滞在人口(当該メッシュ内で活動中の人口)と移動人口(目的地の存在する別のゾーンへ移動中の人口)に分離する。さらに抽出した時刻別の移動人口から、ゾーンごとの延べ移動時間[人・時間]が計算でき、ゾーンごとの方向卓越型交通機能の定量化が可能となる。

2. 本研究のアプローチ

(1) 利用データの検討

方向卓越型交通機能を定量化するためには、交通流動または人口の変化をマクロに把握できるデータが必要となる。モバイル空間統計¹⁾は携帯電話の基地局から得

られる位置情報をもとにした、日本全国の 1 時間ごとの推計人口分布を 500m メッシュ単位で取得できるデータである。現在利用可能なビッグデータの中でも、最も広範囲でサンプル数が卓越して多く、集計速度も数時間程度であり、準リアルタイムな使用も可能である。また、携帯電話契約者の居住市区町村、年代、性別といった属性別のデータも提供されている。

本研究では居住市区町村に基づく日付、時間帯、メッシュ別の人口推計値データを利用する。居住地外で捕捉された滞在人口を、居住地から流出した結果と考えることで、居住地流出後の移動を捉えることが可能になる。

(2) 既往研究の整理

モバイル空間統計のメッシュ内滞在人口を目的地での滞在中と考える既往研究は多数あり、災害後の被災地外からの流入人口の把握を試みたものも複数存在する。しかし、このメッシュ内滞在人口の中には、別の地域に移動中の人が少なからず含まれており、滞在人口を過大評価してしまうという問題がある。

モバイル空間統計から方向卓越型交通を捉える研究として、澤村・奥村(2024)²⁾は計算領域内に空間的に隣接するゾーンを設定することで、隣接するゾーン間の人口分布の増減から方向卓越型交通の量を計算する方法を開発した。さらに、2022 年 2 月の大雪時の札幌大都市圏における移動量の減少とその回復過程を定量的に把握した。しかし、方向卓越型交通の時間的数量を求めるまでには至っていない。

本研究の新規性は以下の 2 点である。

- ・モバイル空間統計から直接取得できる滞在人口を、実効滞在人口と移動人口に分割する方法を提案した点
- ・方向卓越型交通機能を表す時間的な指標とその計算方法を提案した点

3. 方向卓越型交通機能の定量化手法

(1) ゾーンシステムと往復ゾーン累積図

人口分布の時間変化から方向卓越型交通を捉えるた

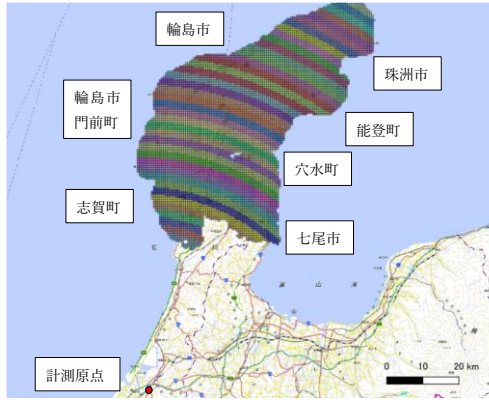


図-6 能登半島におけるゾーンシステム

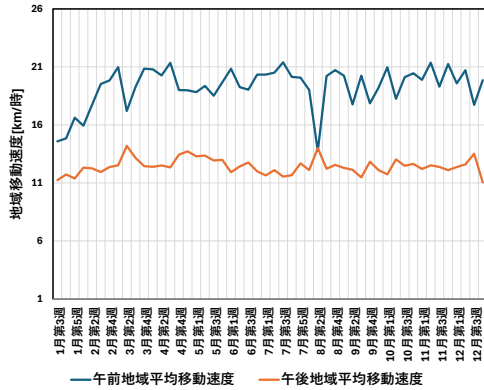


図-7 領域移動速度の推移

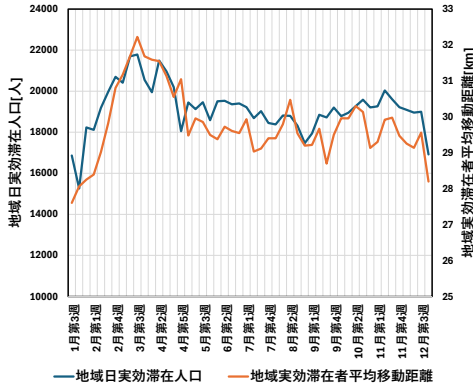


図-8 領域日実効滞在人口・領域実効滞在者平均移動距離の推移

(b) 目的ゾーンごとの諸指標

- ・日実効滞在人口 TEP_j [人]

$$TEP_j = E_j^T \quad (12)$$

- ・実効滞在者延べ移動距離 TTD_j [人・km]

$$TTD_j = TEP_j \sum_{i=i_0}^j d_i \quad (13)$$

- ・実効滞在流入率 e_j^t [人/時]

$$e_j^t = \frac{dE_j^t}{dt} \quad (14)$$

- ・実効滞在流出率 \bar{e}_j^t [人/時]

$$\bar{e}_j^t = -\frac{dE_j^t}{dt} \quad (15)$$

- ・実効滞在平均開始時刻 BT_j

$$BT_j = \sum_{t=t_0}^T \frac{t \cdot e_j^t}{E_j^T} \quad (16)$$

- ・実効滞在平均終了時刻 \overline{FT}_j

$$\overline{FT}_j = \sum_{t=t_0}^T \frac{t \cdot \bar{e}_j^t}{E_j^T} \quad (17)$$

- ・平均実効滞在時間 AEH_j [時間]

$$AEH_j = \overline{FT}_j - BT_j \quad (18)$$

(c) 計算領域全体の諸指標

- ・領域日実効滞在人口 TEP [人]

$$TEP = \sum_{i=i_0}^I TEP_i \quad (19)$$

- ・領域実効滞在者延べ移動距離 TTD [人・km]

$$TTD = \sum_{i=i_0}^I TTD_i = \sum_{i=i_0}^I Y_i^T d_i \quad (20)$$

- ・領域実効滞在者平均移動距離 ATD [km]

$$ATD = \frac{TTD}{TEP} \quad (21)$$

- ・領域平均移動時間 ATH [時間]

$$ATH = \frac{\sum_{i=i_0}^I TTH_i}{Y^T} = \frac{TTH}{Y^T} \quad (22)$$

- ・領域移動速度 ATV [km/時]

$$ATV = \frac{TTD}{TTH} \quad (23)$$

4. 能登半島地震後の外部支援者交通の分析

(1) 計算領域・対象期間

地震の被害が特に大きかった石川県輪島市、珠洲市、七尾市、能登町、穴水町、志賀町の6市町を計算領域とする。外部支援者は、能登半島の根元側から半島内の目的地向かうという方向卓越型の交通を行う。この方向を考慮して、図-6のように金沢市からの直線距離に基づいて2kmごとのゾーンからなるゾーンシステムを設定した。外部支援者の数は、モバイル空間統計のメッシュ別時間帯別の人口分布データにおいて、全人口から6市町居住者人口を差し引いた値を与える。対象期間は、データが不安定であった発災直後を除いた2024年1月15日(月)から2024年12月27日(金)とする。なお、分析結果は、行動パターンの違いを考慮し、平日の1週間ごとの平均値を表示する。

(2) 分析結果

本概要では、計算領域全体としての集計結果を示す。図-7は領域移動速度の推移を示している。午前の領域移動速度は、発災後から3月第1週にかけて約1.6倍速くなった。その後は週ごとに細かな変動はあるものの概ね一定の水準を保った。8月第2週の速度の大幅な低下はお盆休みにおける外部支援以外の交通の影響と考えられる。午後の領域移動速度は3月第2週までやや速くなったが、大きな変動は見られなかった。

図-8は領域日実効滞在人口と領域実効滞在者平均移動距離の推移を示す。領域日実効滞在人口は発災後大幅に上昇し、3月第3週にピークを迎えた。その後4月第5週までやや減少したが、その後はほぼ一定で推移した。領域実効滞在者平均移動距離も発災後大幅に上昇し、3月第3週にピークを迎えた。平均移動距離の増加は長距離移動の割合が大きくなったことを示しており、奥能登地域で支援活動を行う人の割合が大きくなっていったことを示している。能登半島を縦断する自動車専用道路であるのと里山海道は、地震により複数の区間で通行止めが続いた。1月から3月中旬の間に徐々に通行可能な区間が増え、3月15日に輪島方面が全線通行可能となった。領

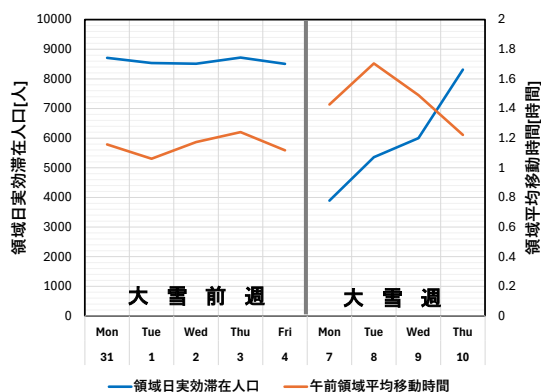


図-9 江別市の領域日実効滞在人口と午前の領域平均移動時間の推移

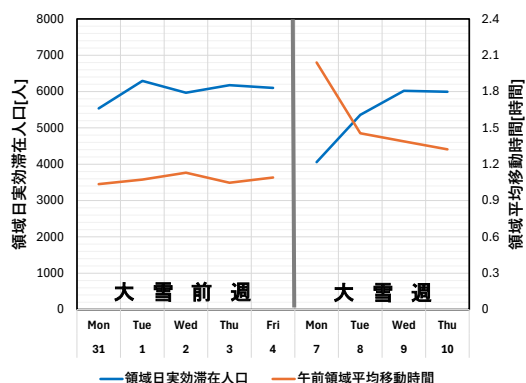


図-10 石狩市の領域日実効滞在人口と午前の領域平均移動時間の推移

域移動速度と領域日実効滞在人口は3月中旬まで改善されており、道路復旧の効果が表れていると考えられる。

5. 大雪時の札幌大都市圏通勤・通学交通の分析

(1) 計算領域・対象期間

札幌大都市圏には札幌市を中心市とする24市区町村が含まれ、各郊外市町村からは都心方向に通勤・通学に代表される方向卓越型交通が発生している。市区町村ごと都心方向に計算領域を設定し、当該市区町村の方向卓越型交通機能を定量化する。

2022年2月5日(土)から6日(日)にかけて、札幌市を中心に発生した記録的な大雪により、大規模な交通障害が発生し、方向卓越型交通機能に多大な影響を与えた。大雪の影響で方向卓越型交通機能がどの程度低下し、どのように回復したのかを分析するために、2022年1月31日(月)～2月4日(金)を大雪前週、2022年2月7日(月)～2月10日(木)を大雪週とした9日間を対象期間とする。

(2) 分析結果

本概要では、江別市と石狩市の領域日実効滞在人口と午前の領域平均移動時間を示し、それらの推移を比較する。江別市は札幌市北東部に隣接する都市である。他市区町村への通勤通学手段としての鉄道利用率は38%であり都市圏内で最も高い。石狩市は札幌市北部に隣接する都市である。市内に鉄道は走っておらず、他市区町村への通勤通学手段としての自動車利用率は63%であり都市圏内では札幌市を除いて最も高い。

図-9は江別市の領域日実効滞在人口と午前領域移動時間の推移を示している。大雪前週の日実効滞在人口は約8,500人、午前の領域平均移動時間は1.1時間前後で、両者ともほぼ一定で推移した。大雪週の日実効滞在人口は7(月)に前週の45%まで減少し、9(水)まで前週の80%未満を推移し、10(木)にほぼ前週と同程度の水準まで回復した。午前の領域平均移動時間は8(火)にピークを迎え、前週より60%長く時間がかかった。その後10(木)に前週と同程度の水準に戻った。江別市と札幌市を結ぶJR函館本線は9(水)18時まで運休した。鉄道利用率の高い江別市では7(月)から9(水)まで領域日実効滞在人口の落ち込みが続いた。運転が再開した10(木)は、通常の通勤が可能となり、領域日実効滞在人口とともに平均移動時間も、前週並みに回復している。このように、回復に時間を要する一方で、一旦回復すれば平常のサービスを提供できる鉄道の特性が反映されている。

図-10は石狩市の領域日実効滞在人口と午前領域移動時間の推移を示している。大雪前週の日実効滞在人口は約6,000人、午前の領域平均移動時間は1.1時間前後で、両者ともほぼ一定で推移した。大雪週の日実効滞在人口は7(月)に73%減少したが、9(水)には前週の水準まで回復した。午前の領域平均移動時間は7(月)に前週の約2倍の長さとなった。8(火)に前週の約1.4倍の長さまで短縮されたが、10(木)まで前週の水準より移動時間の長い状況が続いた。自動車利用率の高い石狩市は、大雪週の日実効滞在人口の落ち込みは小さく回復も早かったが、領域平均移動時間は前週の水準よりも長い状況が続いた。これは道路の回復は早く、自動車の通行は可能になったが、雪による道路の機能低下が継続していたことを反映した結果であると考えられる。

6. おわりに

本研究は、目的地の活動水準を維持する上で重要な災害後外部支援交通や通勤交通といった方向卓越型交通に着目し、その機能の定量化手法を開発した。「ゾーンシステム」を設定し、モバイル空間統計から得られる人口分布の時間変化を組み合わせることで、方向卓越型交通に関する時間的指標の計算を可能にした。開発した手法を用いて令和6年能登半島地震後の外部支援交通、および2022年2月の大雪時の札幌大都市圏の通勤交通を分析した。今後の課題として、区間ごとの交通のサービスレベルを把握する手法の提案が挙げられる。具体的には、往復ゾーン累積図から把握できる移動者流出率をもとに交通流率を、移動人口をもとに交通密度を計算できれば、交通状況を捉える混雑指標であるMacroscopic Fundamental Diagramの描画が可能になる。

参考文献

- 1) NTTドコモ：モバイル空間統計とは、<https://mobaku.jp/about/> (参照 2025-01-28)
- 2) 澤村悠里，奥村誠：モバイル空間統計データに基づく都市圏一次元的移動の定量化，土木学会論文集，Vol.79, No.20, 23-20060, 2024.