

COVID-19 の影響に着目した 日本全国の旅客 OD の推移

一万田 凌¹・塚井 誠人²

¹ 学生会員 広島大学大学院 先進理工系科学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

E-mail: b174094@hiroshima-u.ac.jp

² 正会員 広島大学大学院准教授 先進理工系科学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

E-mail: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

2020年は、COVID-19の蔓延により国内の旅客流動が大きく変化した。COVID-19と共存する社会における旅客交通政策を検討するため、2020年の地域間旅客流動の変化を明らかにして、人々の移動特性を解明する。モバイル空間統計から生活圏間OD表を作成し、基底挿入法を適用して地域間旅客流動の変化パターンを明らかにした。その上で、内々比および再現率の推移やk-means法によるクラスタ分析をもとに、2年間の全国の旅客ODの推移を把握した。その際に OD表を内々トリップと非内々トリップに分けて扱うことによって、旅客のトリップ圏域の縮小を捉えた。特に、非内々トリップではクラスタ分析に基づいて、地方ごとや生活圏ごとの特徴を抽出できた。

Key Words : *Mobile Spatial Statistics, daily interactive areas, linear programming, base insertion approach*

1. はじめに

大規模イベントや災害は、旅客流動に大きな影響を与える。2020年は世界が新型コロナウイルス（以下、COVID-19）の流行に翻弄された一年であった。日本政府は、2020年4月7日に東京・千葉・埼玉・神奈川・大阪・兵庫・福岡の7都道府県に対して緊急事態宣言を発令した。4月16日には緊急事態宣言が全国に拡大され、不要不急の外出行動の自粛が求められた。その後、一時的に感染者数が減少し、7月22日には宿泊業をはじめとしたサービス産業や観光業の支援政策として「Go To トラベルキャンペーン」が開始された。しかし、11月頃から再び感染者数が増加傾向になり、2021年3月現在もCOVID-19の脅威は去っていない。

本研究では、日本全国（全国 207 生活圏¹⁾）を研究対象地域として、NTTドコモが開発したモバイル空間統計²⁾のデータをもとに、2020年に起こった地域間旅客流動の変化を明らかにする。その際に変化のパターンを明示するためにナップサック問題を応用した基底挿入法を用いる。OD表を内々成分と非内々成分に分けて分析すると共に、別途とりまとめた2020年のCOVID-19の流行状況と旅客ODの推移の関係を明らかにする。以上の分析結果をふまえて、今後のCOVID-19と共存する社会への適応や、今後の旅客交通政策について考察する。

本論文の構成は、以下の通りである。2. では、モバイル空間統計を用いた旅客流動の把握、およびCOVID-19下の移動制限に関する既往研究を整理し、本研究の位置づけを示す。3. では、基底挿入法の概要について説明する。4. では、本研究で用いるモバイル空間統計の概要、リアルタイムで作成される生活圏間OD表および基底の設定について説明する。5. では、基底挿入法の結果および全国の旅客流動変化について述べる。6. では、結論を述べる。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

山口ら³⁾は、モバイル空間統計から得られる、時間解像度の高い多時点の都道府県間OD表の時間変動の分析方法を提案した。この研究では、都市間OD表を、目的地価値としての魅力と一般化交通費用の2種類で把握できることを示した。ただし、この研究が分析対象としたOD交通量は全国都道府県50ゾーン（北海道のみ4ゾーン）間に留まっている。

清家ら⁴⁾は、拠点地区の分析に関してモバイル空間統計とその他の統計を組み合わせたモデルと、モバイル空間統計のみを用いたモデルを比較した。その結果、前者では対象地域への広域の来訪者特性やイベントの集客効

果などを後者よりも詳細に把握できることを示した。

大佛ら⁵⁾は、携帯電話位置情報から作成された複数の人口統計データを統合して、都市内滞留者・移動者の時空間分布を推定する方法を提案した。この研究では、モバイル空間統計を滞留者・移動者を合算した人口分布データとして用いつつ、混雑統計から得られるメッシュ間の流出者数と流入者数に基づいて移動率の最尤推定量を推定する方法を構築した。提案手法を用いて単位時間当たりの各地域の移動者数と移動方向を推定したところ、時間帯ごと、商業・業務集積地や大規模住宅団地ごとの旅客流動の傾向を、定量的に把握できた。

廣井⁶⁾は、Web 調査型のアンケート調査を用いて、緊急事態宣言前後（2020年2月中旬から4月中旬）の外出抑制効果を検証した。その結果、緊急事態宣言（以下、簡単のため宣言）直後の、食事・娯楽・観光・買い物・通勤目的の自粛割合が高く、特に「人と会った回数」が宣言前後で大きく減少したことがわかった。しかしこの研究のサンプル数は2000人ほどであり、対象とした11都道府県の人口に対しては十分とは言えない。また調査日が宣言発表から10日後に設定されており、中長期的な旅客流動変化を把握できていない。

大津山ら⁷⁾は、都市封鎖やそれに類似する政策が各国内の旅客流動に与えた影響を整理した。この研究では、感染者数の増減をもとに移動制限の効果を比較し、各国の都市封鎖を4つに類型化した。その結果、日本のみモラル依存型に分類され、罰則ではなく市民のモラルや判断に依拠した自粛要請だったことを指摘した。

モバイル空間統計を用いた旅客流動把握に関する研究からは、急速に変化する旅客流動の把握など同データの特徴を活かした提案が多くなされていた。しかし、それらの既往研究では対象地域が狭い、対象期間が短い、集計ゾーン単位が大きく詳細な旅客流動が把握できない、あるいは旅客流動の経年変化がわからないなどの課題が残った。COVID-19下の移動制限に関する既往研究からは、緊急事態宣言前後の状況しか分析されておらず、COVID-19流行前後の数ヶ月以上を網羅した旅客流動が不明であった。今後のCOVID-19と共存する社会に貢献する成果を得るには、2020年の旅客流動変化の実態を明らかにする必要がある。また、移動制限は最近の政策のため、より多くの観点から研究を蓄積する必要がある。

以上より、本研究の対象地域は全国の生活圏とする。これにより広範囲かつ詳細な旅客流動把握を行える。また、対象期間を2019年と2020年の2年間に設定することで、COVID-19蔓延前の2019年とその蔓延後の2020年の比較が可能となる。また、基底挿入法によりCOVID-19が蔓延する前の時点を基準とした旅客流動の変動が抽出できる。さらにOD表の内々成分と非内々成分の異なる視点から旅客流動の推移を分析する。

3. 基底挿入法の概要

基底挿入法は、基底を目的関数に挿入するナップサック問題であり、線形計画法として定式化できる。モデルのアウトラインは以下の通りである。

基底および挿入先目的関数には、いずれもOD表を用いる。基底としてOD表の一部を抽出して（以下、部分OD）、その交通量を基準化、すなわち部分ODの全要素和で各要素を割って、全要素和を1にする。以下この部分ODを基底と呼ぶ。次に、基準化した部分OD表を挿入先のOD表に埋め込む。この操作は、挿入先OD表の各OD交通量をそれぞれ制約条件として、それぞれの挿入先OD交通量を超えない範囲で、挿入元の基準化した部分ODの総和が最大になるような基底の組み合わせ問題を設定する。モデルの出力は、挿入元の部分OD、つまり基底それぞれの重みと、挿入先ODそれぞれの残差である。式(1)に基底挿入モデルのベクトル表現を示す。

$$Z = U \times W + A \quad (1)$$

ここでNを地域数、Kを基底数とすると、Zは挿入先OD表(N×Nサイズ)、Uは基底(N×N×Kサイズ)、Wは重み係数(K×1サイズ)である。基底Uに基準化を施しているため、WはZと同じ計測次元を持つ。Wを得るための規範として残差 $a_i \geq 0, \forall i$ 、かつそれらの総和の最小化を採用すると、式(1)の右辺第1項: $U \times W$ のノルムの最大化に等しい。よってこの問題は線形計画法として定式化できる。式(2)に目的関数、式(3)に制約条件、式(4)に基底再現率Rをそれぞれ示す。

$$\max \sum_{k=1}^K w_k \quad (2)$$

$$s. t. \sum_{k=1}^K u_{ijk} w_k \leq z_{ij}, z_{ij} > 0, w_k \geq 0, \forall k \quad (3)$$

$$0 \leq R = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{I, J} \hat{z}_{ij}}{\sum_{i=1, j=1}^{I, J} z_{ij}} \leq 1 \quad (4)$$

制約条件(3)において、 ij はそれぞれ発地・着地を示す。上述したように、基底挿入法は、挿入先の z_{ij} がそれぞれ制約条件となり、その交通量を超えない範囲で最大の基底の重み係数 w_k の組み合わせを求めるナップサック問題となっていることがわかる。

4. 生活圏間ODデータの作成と基底の設定

モバイル空間統計は、2013年に株式会社NTTドコモ（以下、ドコモ）が事業化した人口統計である。以下では、携帯電話の所在地とその契約地の間で観測される擬

似 OD を旅客流動データとみなして、分析を行う。調査対象は 15~79 歳までの男女であり、1 人が 2 台の携帯電話を保有する場合に生じるダブルカウントを避けるため、法人名義の契約データ等は除去される。モバイル空間統計が網羅する国内の携帯保有者は約 8000 万台（2020 年 3 月現在）、また訪日外国人について観測したのべ携帯数は約 1200 万台（2019 年の年間実績）に上っており、国内最大級の移動体データベースである。

本分析では、データの空間的な解像度をできるだけ高く保ちつつ、計算量や結果の取り扱い易さを加味して、空間解像度を全国幹線旅客純流動調査に倣って設定した全国 207 生活圏とする。ただし、旅客流動の少ない 13 の離島生活圏（大島（東京）・佐渡・淡路・五島・対馬・壱岐・天草・大島（鹿児島）・熊本・沖縄（南部・中部・北部・宮古八重山））を除いた 194 生活圏で分析を行う。OD 表作成時に発地および着地について、ドコモ提供の 500m メッシュ市区町村対応表と市区町村一生活圏対応表からデータを集計する。分析期間は 2019 年と 2020 年の 2 年間のため、COVID-19 の影響の有無の比較が可能になる。以上の手順によって 194 行×194 列の生活圏間 OD 表を 1 時間ごとに 2 年間分作成する。

基底は COVID-19 蔓延前の 2020 年 1 月第 4 週の OD 表とする。以下の分析では、平日と休日の旅客流動は異なると考えて、平日（1/20-1/24 の平均）と休日（1/25-1/26 の平均）に分けて、それぞれ 0-23 時の毎時で基底を作成する。これは、1 月の前半では年始の休暇や始業などが旅客流動に影響する点を考慮したためである。なお、平均操作の結果、部分 OD 表の要素の値が 10 人未満となった場合は、モバイル空間統計の秘匿処理と同様にその要素の値を 0 にする。これは、ナップサック問題の性質上、基底の一部が挿入先の制約条件にかかりにくくするための処理である。

OD 表は内々（同一生活圏内の旅客流動を表す）成分と非内々（生活圏間の旅客流動を表す）成分から成る。これらは性質が異なるため、それぞれに基底挿入法を適用する。内々交通量に対しては内々基底、非内々交通量に対しては行基底・列基底・スライス基底を設定する。前者は内々を抽出した基底である。後者について行基底と列基底はそれぞれ発地別着分布と着地別発分布を表し、スライス基底は非線形的な人流の集中を再現する。図-1 に内々、非内々それぞれの基底挿入モデルのイメージ図を示す。

なお、本データにおいてトリップの発地は契約地または滞在地の生活圏、着地は滞在する生活圏である。本来 OD 表は、それぞれのトリップ（図-2）を 1 日単位でカウントした交通量を行列形式でまとめたものである。しかし、モバイル空間統計から作成する OD 表は、発地：

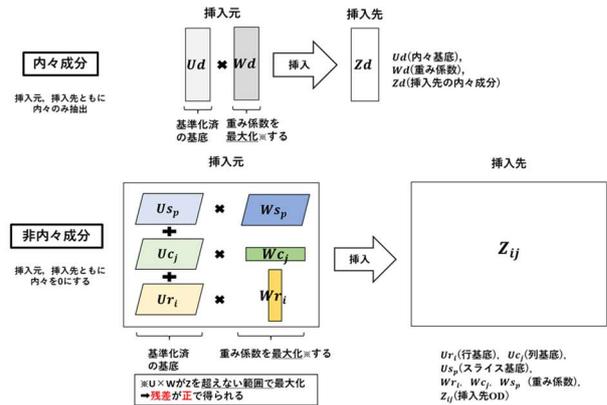


図-1 基底挿入モデルのイメージ図

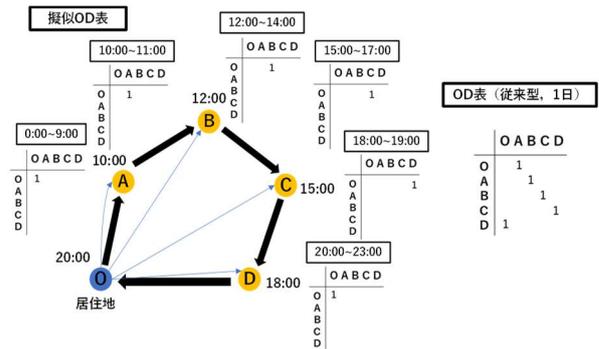


図-2 トリップチェーンと OD 表

契約地→着地：滞在メッシュ間の OD 表である。よって、本研究で使用する OD 表はトリップチェーンを表す OD 表ではなく、上述した擬似 OD 表である点に注意する必要がある。この擬似 OD 表では、たとえば自宅から第一目的地のトリップは把握できるものの、第二トリップ以下は把握できない。

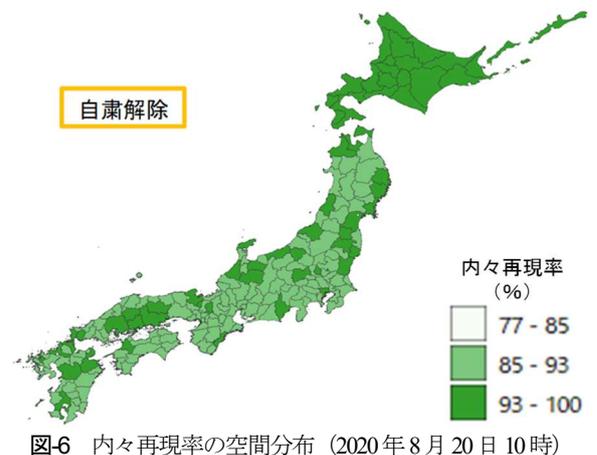
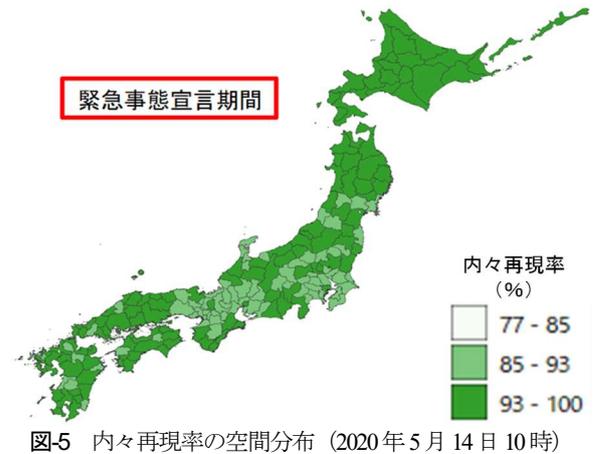
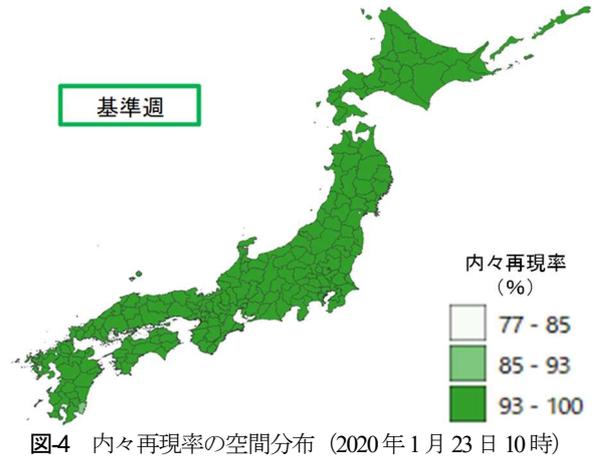
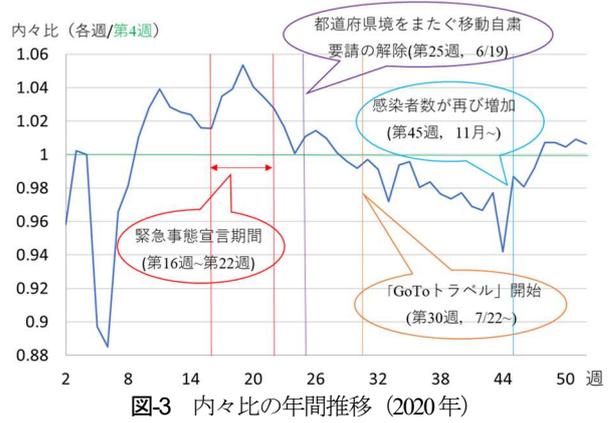
5. 全国の流動の把握

(1) 週の設定と主な出来事

全国旅客 OD の変動要因について考察するため、全体的な傾向が把握できるように、基底挿入法の結果を週単位（月曜日～日曜日）で平均した。時間帯については、人々の移動が 8~18 時に集中すると考えて 8~18 時の昼間時間帯の平均をとった。週ごとの日付および両年の旅客流動に影響を与える主な出来事⁹⁾を表-1 に示す。なお、2019 年第 1 週目は 2018 年 12 月 31 日からであるが、同日のデータは入手できていないため、第 2 週目以降の計 51 週で分析を行う。また、2020 年末の 12 月 28 日~12 月 31 日は省略した。

表-1 各週の日付および主な出来事

週番号	2019年	主な出来事(2019年)	2020年	主な出来事(2020年)
1	12/31~1/6	(データが一部欠損のため省略)	12/30~1/5	(データが一部欠損のため省略)
2	1/7~1/13		1/6~1/12	
3	1/14~1/20		1/13~1/19	国内初の感染者(1/16)
4	1/21~1/27		1/20~1/26	
5	1/28~2/3		1/27~2/2	
6	2/4~2/10		2/3~2/9	クルーズ船が横浜港に停泊(2/3~)
7	2/11~2/17		2/10~2/16	
8	2/18~2/24	北海道で震度6弱(2/21)	2/17~2/23	
9	2/25~3/3		2/24~3/1	
10	3/4~3/10		3/2~3/8	小中高臨時休校(3/2~)
11	3/11~3/17		3/9~3/15	
12	3/18~3/24		3/16~3/22	
13	3/25~3/31		3/23~3/29	
14	4/1~4/7		3/30~4/5	
15	4/8~4/14		4/6~4/12	緊急事態宣言 一部(4/6~)
16	4/15~4/21		4/13~4/19	緊急事態宣言 全国(4/16~)
17	4/22~4/28		4/20~4/26	
18	4/29~5/5		4/27~5/3	
19	5/6~5/12		5/4~5/10	
20	5/13~5/19		5/11~5/17	39県で解除(5/14)
21	5/20~5/26		5/18~5/24	大阪・京都・兵庫解除(5/21)
22	5/27~6/2		5/25~5/31	緊急事態宣言全面解除(5/25)
23	6/3~6/9		6/1~6/7	
24	6/10~6/16		6/8~6/14	
25	6/17~6/23	新潟県で震度6(6/18)	6/15~6/21	都道府県境をまたぐ移動自粛要請の解除(6/19)
26	6/24~6/30		6/22~6/28	
27	7/1~7/7	鹿児島・熊本・宮崎で大雨(7/3~7/4)	6/29~7/5	九州(特に熊本)で豪雨(7/4~)
28	7/8~7/14		7/6~7/12	
29	7/15~7/21		7/13~7/19	
30	7/22~7/28		7/20~7/26	「Go To トラベル」キャンペーン開始(7/22~)
31	7/29~8/4		7/27~8/2	
32	8/5~8/11		8/3~8/9	
33	8/12~8/18		8/10~8/16	
34	8/19~8/25		8/17~8/23	
35	8/26~9/1	福岡・佐賀・長崎で大雨(8/28)	8/24~8/30	
36	9/2~9/8		8/31~9/6	九州(特に宮崎)に台風10号上陸(9/6~)
37	9/9~9/15	千葉・神奈川に台風15号上陸(9/9)	9/7~9/13	
38	9/16~9/22		9/14~9/20	
39	9/23~9/29		9/21~9/27	
40	9/30~10/6		9/28~10/4	Go To 対象に東京都追加(10/1~)
41	10/7~10/13	静岡・長野に台風19号上陸(10/12~10/13)	10/5~10/11	
42	10/14~10/20		10/12~10/18	
43	10/21~10/27		10/19~10/25	
44	10/28~11/3		10/26~11/1	
45	11/4~11/10		11/2~11/8	
46	11/11~11/17		11/9~11/15	
47	11/18~11/24		11/16~11/22	
48	11/25~12/1		11/23~11/29	Go To 札幌市・大阪市を一時除外(11/24~)
49	12/2~12/8		11/30~12/6	
50	12/9~12/15		12/7~12/13	
51	12/16~12/22		12/14~12/20	開越道(新潟・群馬)で大雪、立ち往生(12/16~)
52	12/23~12/29		12/21~12/27	



(2) 内々比と内々再現率の推移

2020年の基底人口内々比の推移を図-3に示す。なお、基底人口は昼間(8~18時)の週平均であり、全生活圏で平均した。内々比は各週の基底人口を基準週(第4週)で割った値である。図-3より、内々比が宣言期間に基準を超え、自粛解除やGoToトラベル開始で基準を下回り、感染者数が再び増加した11月頃から再度基準を超える



図-7 内々再現率の空間分布 (2020年11月26日10時)

ことがわかる。この推移は、宣言による移動制限で生活圏外への移動が減って同一生活圏内の滞在人口が増え、その後制限緩和により移動が再活発化、さらに感染者数の増加に伴って再び移動が減少するという推移を表していると考えられる。

内々再現率の空間分布を図-4-7に示す。これらの図の時間帯は全て10時として、基準週の1月23日、宣言期間の5月14日、自粛が解除されてしばらく経った8月20日、感染者が再び増加した時期の11月26日の4時点の空間分布に着目する。図-4より、基準週ではほぼ全ての生活圏で再現率が高い。図-5より、宣言期間では、基準週同様、多くの生活圏で再現率が高くなっている。移動制限によって生活圏外への移動が減少すると共に、生活圏内の滞在人口が増加するため、再現率が高くなると考えられる。一方で、三大都市圏を中心に一部の生活圏では再現率がやや低い。三大都市圏は人口規模が大きいため、宣言下でも他の生活圏に比べて生活圏をまたぐような人々の移動が生じたと考えられる。しかし、図-6から明らかなように、自粛が解除されると多くの生活圏で再現率は低下する。これは全国的に生活圏外への移動が増加したためと考えられる。図-7より、感染者数が再増加した期間では、再現率は全国的に再び上昇する。感染再拡大に伴って、人々の生活圏を越える移動が減少したと考えられる。

(3) 非内々再現率の推移

非内々再現率の2019年、2020年の年間推移を図-8、9にそれぞれ示す。図-8より、2019年は年間を通して再現率が高く、春から夏にかけて再現率がやや低下する週が現れるような季節変動が見られるという特徴がある。また、再現率は年末年始やGW、お盆の時期に低下が見られた。これらの時期は、帰省や旅行などによって他の時期に比べて旅客流動が盛んになるためと考えられる。10月から11月の再現率低下の原因は不明だが、データ異常の可能性が考えられる。図-9より、2020年は基準とし

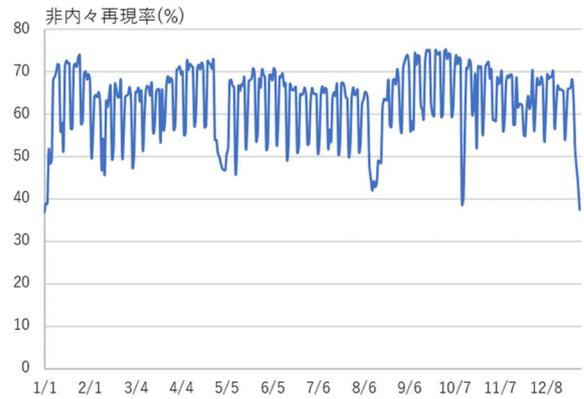


図-8 非内々再現率の年間推移 (2019年)



図-9 非内々再現率の年間推移 (2020年)

た1月第4週を除くと、全体的に2019年よりも再現率が低く、特に宣言期間に急激に低下している。これは移動制限により、別の生活圏に移動する人口が減少したためと考えられる。また、宣言解除や自粛要請解除によって移動が活発になると考えられる6月頃から再現率が上昇している。その後11月頃からは再び、再現率の低下が見られた。これは感染の再拡大によって人々が自発的に移動を抑制したためと考えられる。

図-10-13に非内々再現率の空間分布を示す。なおこれらの日時の設定は内々再現率と同様とした。図-10より、多くの生活圏で基準週は再現率が75%~100%だが、図-11より、緊急事態宣言期間になると全国的に再現率の低下が見られた。この時期の再現率は0%~25%の生活圏がほとんどであり、これらの生活圏への流入人口が激減したためと考えられる。図-12より、自粛が解除されると多くの生活圏で再現率が上昇している。これはGoToトラベルによって移動が再活発化し、生活圏への流入人口が増加したことを示すと考えられる。図-13より、感染者数増加時期には、三大都市圏を中心に再現率の上昇が見られる。この傾向は人々の移動増加と感染者の増加に共変関係があることを示すが、両者の因果関係の同定は、この結果のみでは至らない。

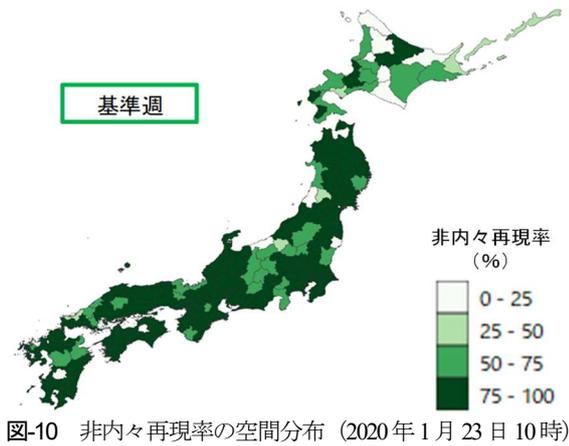


図-10 非内々再現率の空間分布 (2020年1月23日10時)

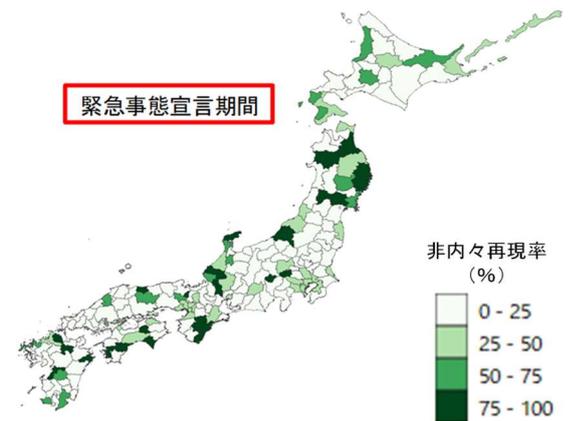


図-11 非内々再現率の空間分布 (2020年5月14日10時)

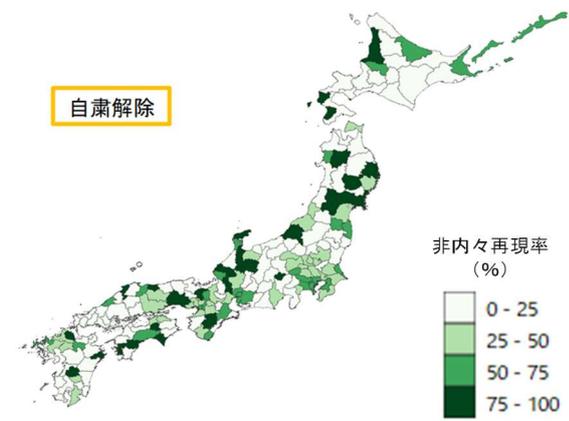


図-12 非内々再現率の空間分布 (2020年8月20日10時)

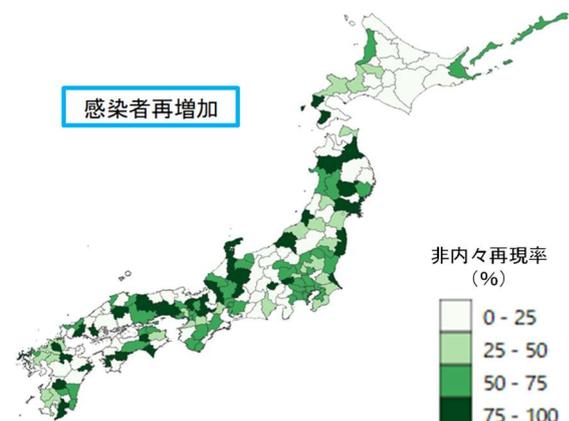


図-13 非内々再現率の空間分布 (2020年11月26日10時)

(4) 非内々再現率のクラスタ分析

図-8, 9より, 2019年と2020年の間で非内々再現率には大きな差が見られた. 2020年の旅客流動の変化をより明らかにするため, 年次間の再現率の差に基づいてクラスタ分析を行う. 非内々について, 同一生活圏の2019年/2020年の同週再現率ペアのデータを作成して, k-means法によるクラスタリングを行ったところ, その結果, 5クラスタを得た. それぞれの平均再現率を図-14に示す. 再現率の高さと年次間の再現率の低下に着目して, 図-14に示す名称を各クラスタに与えた.

図-15に生活圏の年間のクラスタ推移のうち, 関東地方を抜粋して示す. 図-15より, ほとんどの生活圏で「12月に平常A」→「COVID-19が国内で広がり始めた3月頃に平常C」→「宣言期間に異常」→「宣言解除やGoToトラベル開始により再び平常C」という典型的な変化パターンが見られる. これは「COVID-19蔓延前は旅客流動が盛ん」→「国内で感染が広がり始めた頃に旅客流動が多少減少」→「宣言期間に旅客流動が大きく減少」→「宣言解除後に再び旅客流動が活発化」という推移を示すと思われる. ただし, 23区は宣言期間の異常クラスタは1週のみの上, 解除後も平常Aが頻出している. これは, 23区は他の生活圏に比べてCOVID-19状況下でも旅客流動の変化が乏しいためと考えられる. 一方で, 水戸・日立や日光は, 宣言解除後も流入が増加していない. また, 平常Bと特異の2クラスタは秩父や沼田・利根など一部の生活圏でのみ見られる. これらの生活圏はCOVID-19の影響ではなく, 旅客流動人数が少ないため基底挿入法の当てはまりが悪いことが, 低い再現率につながっていると解釈できる.

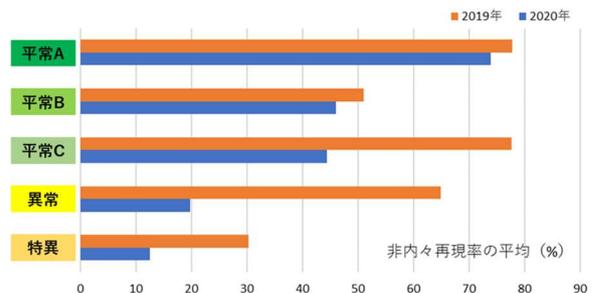


図-14 各クラスタの平均再現率

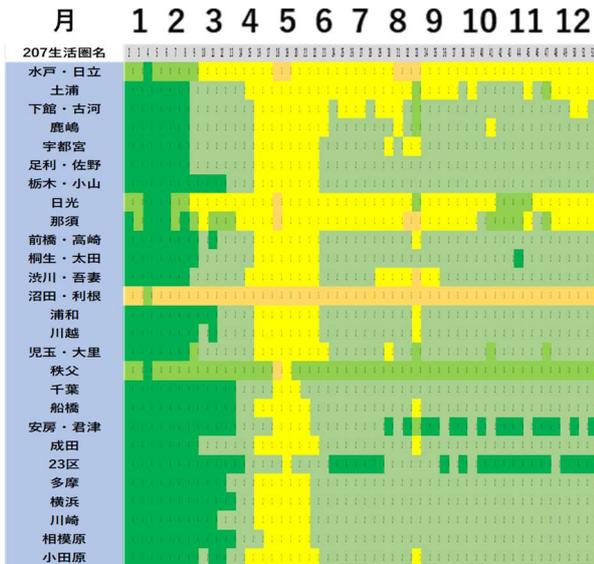


図-15 生活圏の年間のクラスター推移（関東地方）

(5) 生活圏の分類

図-15を例とした生活圏の年間のクラスター推移について、推移のパターン別に生活圏を分類した。表-2-7にその結果を示す。なお、推移パターンは、典型的、ほとんど平常AあるいはC、異常が続く、ほとんど平常B、ほとんど特異、判定不能の6種である。

典型的なパターンの生活圏は、関東地方や中部地方、関西地方に多い。これらは3大都市圏を含み、23区、名

古屋、大阪の3生活圏も含まれる。

ほとんど平常Aあるいは平常Cのパターンでは、年間を通して平常Aが続くか、COVID-19蔓延前は平常Aだが蔓延後は平常Cが続く。このパターンの生活圏では異常クラスターは見られず、COVID-19の影響は比較的少なかったと考えられる。この推移は旅客流動が極端に多い関東・関西以外の地方で多く見られるという特徴がある。

異常が続くパターンは、COVID-19蔓延後に異常クラスターが現れ、さらに移動制限解除後も異常クラスターが続く。このような推移は、北海道・東北地方や中国・四国地方、九州地方の生活圏に多く見られる。これらの生活圏は、緊急事態宣言解除後になっても旅客流動が基準流動に戻らなかったと考えられる。

ほとんど平常Bやほとんど特異のパターンは、旅客流動が少ない生活圏が多い。平常Bと特異は2019年、2020年とも再現率が低く、特異の再現率はさらに低い。前節でも述べたが、これらの生活圏は、旅客流動人数が少ないため手法の当てはまりが悪かったと解釈できる。また、旅客流動が少ないためモバイル空間統計の秘匿にかかりやすいという可能性もある。つまり秘匿にかかると見かけの観測滞在者数が0の4次メッシュが増えるため、結果として制約条件までのスラックが低下してその他の地域間の再現率が低下する影響が現れるためと考えられる。

判定不能は帰属クラスターが不安定で、変則的な推移が見られた生活圏が属している。

表-2 北海道・東北地方

典型的	ほとんど平常 AorC	異常が続く	ほとんど平常 B	ほとんど特異	判定不能
	江差, 宮古, 石巻, 古川, 新庄	札幌, 青森, 南部, 津軽, 盛岡, 両磐, 仙台, 秋田臨海, 雄物川流域, 福島, 郡山, 白河	留萌, 紋別, 滝川, 深川, 釜石・大船渡, 米代川上流, 米代川下流, 会津	旭川, 北網走, 稚内, 名士, 富良野, 釧路, 帯広, 根室, 室蘭, 静内, 函館, 庄内, いわき	苫小牧, 小樽・倶知安, 岩見沢, 下北, 北上中部, 山形, 米沢, 相双

表-3 関東地方

典型的	ほとんど 平常 AorC	異常 が続く	ほとんど 平常 B	ほとんど 特異	判定不能
鹿嶋, 宇都宮, 足利・佐野, 栃木・小山, 前橋・高崎, 桐生・太田, 浦和, 川越, 児玉・大里, 千葉, 船橋, 安房・君津, 成田, 23区, 多摩, 横浜, 川崎, 相模原, 小田原		水戸・日立, 土浦, 下館・古河, 日光, 那須	秩父	沼田・利根	渋川・吾妻

表-4 中部地方

典型的	ほとんど 平常 AorC	異常 が続く	ほとんど 平常 B	ほとんど 特異	判定不能
新潟, 富山, 高岡, 砺波, 能登中部, 岐阜, 大垣, 可茂, 中部, 名古屋, 東三河, 豊田	長岡, 三条・燕, 村上, 能登北部, 嶺北, 南越, 峡北	国中, 長野, 西部, 東部		上越, 魚沼, 嶺南, 郡内, 松本, 上田, 飯田, 諏訪・伊那	新川, 加賀, 東濃, 飛騨

表-5 関西地方

典型的	ほとんど 平常 AorC	異常 が続く	ほとんど 平常 B	ほとんど 特異	判定不能
中南勢, 北勢, 中部, 京都, 宇治, 大阪, 堺, 東大阪, 豊中, 神戸, 尼崎, 播磨	南部, 新宮	伊勢志摩, 東北部, 北部, 但馬, 和歌山, 田辺		伊賀	東紀州, 南部, 亀岡, 丹波, 奈良, 南和

表-6 中国・四国地方

典型的	ほとんど 平常 AorC	異常 が続く	ほとんど 平常 B	ほとんど 特異	判定不能
出雲, 香川東部, 香川西部	津山, 備後, 備北, 徳島, 三好, 南部, 八幡浜・大洲, 高幡, 安芸	西部, 松江, 広島, 山口, 下関, 宇部, 岩国, 徳山, 松山, 新居浜・西条	浜田, 萩, 宇和島, 中央, 幡多		東部, 中部, 益田, 大田, 県南, 今治

表-7 九州地方

典型的	ほとんど 平常 AorC	異常 が続く	ほとんど 平常 B	ほとんど 特異	判定不能
福岡, 久留 米・大牟田, 佐賀	筑豊, 伊万 里・西松, 伊 万里・北松, 周防灘, 佐 伯, 大隈, 南 薩	北九州, 佐世 保, 熊本, 宮 崎, 都城・北 諸県, 延岡, 日南, 小林・ 西諸県, 鹿児 島, 川北薩・ 串木野	球磨, 日田・ 玖珠		唐津, 長崎, 八代・苫北, 大分

6. おわりに

本研究では、基底挿入法とクラスタ分析によって2年間の全国の旅客 OD の推移を把握した。その結果、2020年の旅客流動が COVID-19 によって大きく変化したことがわかった。OD 表を内々成分と非内々成分に分けて考察することによって、旅客のトリップ圏域の縮小を捉えることができた。特に、非内々成分では 2019 年との比較によって COVID-19 の影響が生活圈間で大きく異なることがわかった。

本研究の分析結果と感染者数情報を突合する分析は、ミクロレベルの疫学的なメカニズムを欠くため厳密に言えば無理がある。しかし、内々比や再現率は旅客流動に対応すると考えられる上、感染が人々の移動によって広がると考えることは蓋然性が高い。そこで、現段階では感染者数と旅客流動との相関が高いことを示す点に留意しつつ、以下の政策提言を行う。現在緊急事態宣言は都道府県単位で発令されるが、各都道府県の中でも一定密度以上の都市で感染が拡大していることは明らかである。つまり、生活圈（日常流動の基本単位）のような都道府県よりもより小さい範囲で移動制限を行えば、経済活動停止によるダメージを軽減できる。本分析で得られる各生活圈の旅客流動パターンと実際の都道府県単位の感染者の推移を照らし合わせて、感染リスクの高い地域（生活圈）を明らかにし、その生活圈との移動（流入あるいは流出）を遮断することで、経済活動への影響を抑えつつ、感染拡大も抑える部分的な旅客移動の緩和が図れると考えられる。

今後の課題として、基底挿入法の当てはまりが悪い生活圈の特徴が捉えづらいことや、k-means 法の手法的限界がある。なお、本分析では基底挿入法で得られた結果のうち、基底人口や再現率についての分析は行ったが、同時に得られた残差には着目できていない。残差の解釈を進めることでより、詳細な旅客流動の把握ができる可

能性がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：第6回(2015年度)全国幹線旅客純流動調査 (PDF) , <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/content/001340149.pdf> (アクセス：2021年1月28日)。
- 2) NTT ドコモ：モバイル空間統計に関する情報, https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/, (アクセス：2021年1月28日)。
- 3) 山口裕通, 中西航, 福田大輔：都市間 OD 表の時間変動パターン分析, 第55回土木計画学研究発表会・講演集, 2017。
- 4) 清家剛, 三牧浩也, 森田祥子：モバイル空間統計を活用した都市拠点地区の人口特性分析に係る研究, 日本建築学会計画系論文集, 第80巻, 第713号, pp.1625-1633, 2015。
- 5) 大佛俊泰, 早坂遼：携帯電話人口統計を用いた都市内移動者の時空間分布推定, 日本建築学計画系論文集, 第84巻, 第762号, pp.1853-1862, 2019。
- 6) 廣井悠：COVID-19に対する日本型ロックダウンの外出抑制効果に関する研究, 公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集, Vol55, No.3, 2020。
- 7) 大津山堅介, 斎藤悠介, 小松崎暢彦, 石井紗知香, 松本慎一郎, 竹中大貴, 廣井悠：COVID-19に対する都市封鎖の類型化と課題-主要感染拡大国における暫定的事例研究-, 公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集, Vol55, No.3, 2020.10。
- 8) Nippon.com : News from Japan, <https://www.nippon.com/ja/news/>, (アクセス：2021年1月28日)

(?)

Transition of passenger OD among whole Japan focusing on the impact of COVID-19

Ryo ICHIMANDA, Makoto TSUKAI

In 2020, the spread of COVID-19 had significantly changed the domestic passenger traffic. It is important to understand the passenger flow among the regions in order to redesign a novel policy for domestic passenger trips.

In this study, we analyze the transition of passenger OD among whole Japan (at the daily interactive areas) obtained from Mobile Spatial Statistics. The inter-regional OD matrix is analyzed by a novel linear programming model named “the basis insertion method” and by cluster analysis. The dataset analyzed in this study is aggregated for daily interacting area for each hour in 2019 and in 2020. The basis insertion method is applied separately for diagonal and off-diagonal components. The output of the diagonal component is analyzed by using the diagonal component ratio of each week to base week as to see the transition of the population staying in the areas. And the output of the off-diagonal component is analyzed by applying the k-means method as to classify the areas according to the pattern of passenger OD transition.

As a result, some clusters showed typical transition patterns, which are decreasing in reproduction rate during the national infection alert for COVID-19. In addition, the change in passenger OD in 2020 caused by COVID-19 was clarified through the comparison with the seasonal change in 2019.