## モバイル空間統計を用いた地域災害特性の類型化と地震被害想定への応用

#### 1. 研究の背景と目的

都市における人口分布の実態は日時によって大きく異なり、地震発生時刻の違いが被害の様相に大きな違いを生み出しうる。内閣府の平成25年南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ 1)で想定されている地震発生時刻は、①冬深夜5時、②夏昼12時、③冬夕方18時の3パターンに限られており、基礎自治体での被害想定も多くがこれに基づいている。このような被害想定で用いられる人口統計の多くは5年に1度の国勢調査を基にしており、信頼性が高い反面、最近の人口情勢を反映できないことや、曜日を考慮できないこと、夜間人口であるため日中の人口動態を反映できないことが課題である。

近年,この課題を解決しうる人口統計データとして,NTTドコモグループが提供する「モバイル空間統計」が注目されている。これは,携帯電話ネットワークの運用データに基づいて,特定日時における実際の人口分布を推計可能な人口統計である<sup>2)</sup>.1時間刻みの人口動態が把握可能で,変動の激しい都市の人口分布を把握するツールとなりえる(表1).

本研究では、名古屋市域のモバイル空間統計データを用いて、曜日や時刻の違いといった時間的要因を踏まえた市内の地域災害特性を定量的に明らかにし、災害時の事態想定や対策行動策定の一助となる資料の作成を目的とする.

### 2. モバイル空間統計の概要と特性

モバイル空間統計は、携帯電話サービスを行う基地局ご とにエリア内の携帯電話台数を定期的に集計し、普及率を 加味して、住民基本台帳人口データから人口を推計してい

表1 モバイル空間統計と他の主な人口統計との比較

	モバイル 空間統計	国勢調査	住民基本 台帳	パーソン トリップ調査
頻度	◎いつでも	△5年ごと	O1月ごと	△10年ごと
調査日	◎いつでも	△特定の日	△特定の日	△特定の日
調査範囲	◎全国	◎全国	〇各自治体	△特定の地域
悉皆性	〇実態を携帯電 話普及率で拡大	◎量的実態 を実測	◎量的実態 を実測	△実態を少数 拡大推計
属性把握	〇性別・年齢 ・居住地別	〇性別・年齢 ・居住地別	〇性別・年 齢	〇性別・年齢 ・居住地別
時間解像度	〇時間単位	-	-	〇時間単位
来街目的	×把握不能	-	-	〇大まかに把握
移動手段	×把握不能	-	-	◎具体的手段や 経路を把握可
集計期間	〇1ヶ月程度	△1年程度	〇1ヶ月程度	△1年程度

# 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 博士課程前期課程 2 年 福和研究室 山田航輝

る. 具体的には、運用データを非識別処理(個人識別性の除去)、集計処理(ドコモの携帯電話の普及率 45.1%<sup>3)</sup>を加味して人口推計)、秘匿処理(少人数の削除)することでデータ化を行っている<sup>2)</sup>.(図1)なお、十分なサンプルが確保できないため 15 歳未満、80 歳以上は対象外である、

表 2 に本研究で用いるモバイル空間統計データの概要を示す. 以降では、2017年6月3日(日)を「休日」、7月12日(水)を「平日」と呼ぶ. 日付は、大型連休を避けた平日・休日であり、休日の影響を受けづらい水曜を選択した.

モバイル空間統計データの精度を確認するため、名古屋市人口の年齢(15歳以上19歳未満,20代,30代,40代,50代,60代,70代の7区分)と性別(男女の2区分)について、平成27年国勢調査50との比較を行った(表3).モバイル空間統計は平日の4時台を使用した。名古屋市域では男女計の内約1割が他市区町村からの来訪者のため、全ての年代でモバイル空間統計が国勢調査の人口を上回



図1 モバイル空間統計の作成までの手順4)

表2 本研究で用いたモバイル空間統計の概要

24 年明九	て用いたに/ 47 /2 全国	りがけりが女					
日時	2017年6月3日 (土)	2017年7月12日 (水)					
天候※	晴	去					
平均・最高・最低気温※	19.3 • 24.7 • 14.9 ℃	28.6 • 34.4 • 24.7 °C					
空間解像度	1kmメ	ッシュ					
範囲	名古屋市域						
時間		5 , 7 , 8 , 10 , 12 , 14 , 22 , 24時の13時間					
年齢	15~19歳未満, 20代, 30代, 40	代,50代,60代,70代(7区分)					
性別	男・女	(2区分)					
居住地 [[ 契約地]	<b>邦道府</b> 県 市	反町村 大字					

表 3 名古屋市人口の国勢調査とモバイル空間統計の比較

年齢	国勢調査 (2015)		モバイル (2017	空間統計 .7.12)	比率			
	男[a]	女[b]	男[c]	女[d]	[c] / [a]	[d] / [b]		
15-19	53,426	51,618	55,684	54150	1.04	1.05		
20代	130,728	125,865	148,184	139846	1.13	1.11		
30代	158,112	149,841	186,479	173132	1.18	1.16		
40代	181,832	172,068	218,069	198916	1.20	1.16		
50代	140,589	135,200	163,018	152317	1.16	1.13		
60代	142,060	145,273	162,295	161940	1.14	1.11		
70代	107,085	128,995	120,306	140760	1.12	1.09		
合計	913,832	908,860	1,054,035	1,021,061	1.15	1.12		
男女計	1,822,692		2,692 2,075,096			1.14※男女計比		

ったが、その比率は 4%~20%程度であった。名古屋市域 において、1日を通じた人口動態を把握するために使用す るデータとしては十分な精度を有している。

#### 3. 平日・休日を考慮した地域災害特性の類型化

#### 3.1 1日を通じた人口動態による地域の類型化

本章では、平常時の1日を通じた人口動態の傾向による 地域の類型化と地震ハザードの組み合わせから、時間的要 因を踏まえた地域災害特性の把握を試みる.

1日を通じた人口動態は、立地や土地利用、公共交通機関の利便性等の様々な要因によって様相が異なり(図 2)、災害対策の方向性も異なってくる。そこで、本研究では 1km メッシュの 1日を通じた人口変化に着目し、クラスター分析によって地域の類型化を試みる。この際、人口規模によらず 1日の人口変化を捉えるため、午前 4時台人口に対する各時間帯の人口の割合を指標として分析を行う。

用いたクラスター分析の手法はクラスター数を事前に 決められ、ビックデータに対応可能な非階層クラスター分析の k-means 法である. 数学的には、評価式 (1) を最小化するよう k 個のクラスターに分類する. ここで、k: クラスター数、ci: クラスターの重心点を表し、距離 d はユークリッド距離を採用している.

$$\sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in C_i} \left( d(x, c_i) \right)^2 \qquad \cdots \vec{\Xi}(1)$$

図3,図4は,名古屋市の人口集中地区における平日・休日の15歳~79歳を対象とし,クラスター数を5としてクラスター分析を行った結果を示している.クラスター数は,1日を通じた人口変化の特徴を捉えた分類が行なえ,

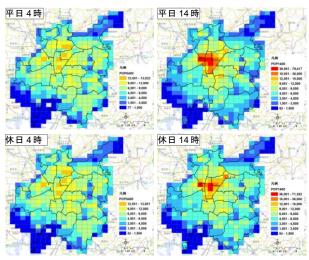


図2 名古屋市における平日・休日の4時台・14時台人口

分析後の各クラスターの意味付けを行える数とした.これらの図からは各クラスター(CL)の分布・構成と意味づけ、 夜間人口に対する時間変化を読み取れる.

平日・休日ともに、CL1~CL3 は昼間に最大3 倍以上の人口流入が見られる. CL1 は、名古屋駅や栄といった名古屋における都心部が該当しており、5~6 倍の人口流入が確認できる. 平日の人口流入は7時台ころから顕著になるが、休日では8時台以降になだらかに流入が増えており、都心部における人口流入の仕方に平日と休日では違いがみられる.

平日 CL2 では三の丸に加え、東名古屋港駅周辺の工業地域といった就労エリアが該当している。これらの地域は夜間人口が少ないわりに昼間の流入が 5 倍程度と多いため、都心エリア並みの人口流入割合を示している。また、4 時に対して人口が増えている時間帯が都心エリアよりも短い。これは、データの制約上 14 時から流出に転じているが、実際には 17 時頃から一斉に帰宅が始まるからであると考えられる。一方、休日 CL2'では、レゴランドやポートメッセなごやが立地する金城ふ頭が該当し、10 倍を超える人口流入がみられるレジャーエリアといえる。

CL3 は最大 3 倍程の流入があり、平日では、主要な乗換駅や大学、工業エリア等の拠点が当てはまる.休日では、主要な乗換駅に加えて名古屋港や東山公園といったレジ

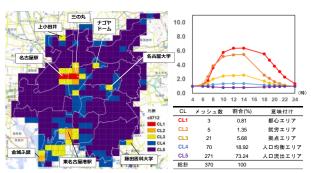


図3 平日の各 CL 分布・構成と 4 時人口比の平均値時間変化

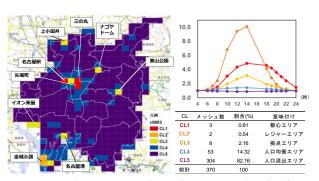


図4 休日の各 CL 分布・構成と4時人口比の平均値時間変化

ャーの拠点も見られる. CL5 は昼間に人口が流出するエリアである. クラスター分析により, 平日・休日において1日を通じた人口動態の地域差を明確にし, 類型化が行えた.

#### 3.2 地震ハザードとの関係による地域災害特性の把握

地域類型化結果と地震ハザードとの関係の中で地域災害特性の把握を試みる. 本研究で地震ハザードを表現する指標は、東京都「地震に関する地域危険度調査」のを参考に、地震動・液状化・急傾斜地崩壊による建物倒壊危険度とした. 地域の相対的な被災可能性を地域間で比較するため、特定の地震を想定するのではなく、工学的基盤に同一の地震動の強さ(30cm/s)を設定している. ランク V が最も危険度が高いとした 5 段階のランクで危険度を表している (図 5).

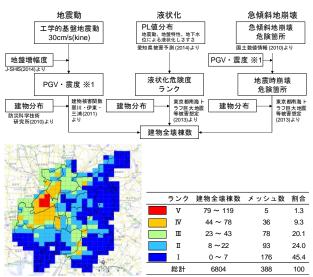


図5 建物倒壊危険度推計手順と結果

						<b>5</b> :	ンク						
CL	意味付け	I I		m v		▼	v		裁計				
		平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日
CL1	都心エリア	1	1		1	2	1					3	3
CL2	平日就労エリア	4		1								5	
CL2'	休日レジャーエリア		2										2
CL3	拠点エリア	13	5	4	2	2	1	2				21	8
CL4	人口均衡エリア	37	31	21	10	12	10		2			70	53
CL5	人口流出エリア	103	119	67	80	62	66	34	34	5	5	271	304
裁計		158	158	93	93	78	78	36	36	5	5	370	370
7				79	正		)	500	4	THE STATE OF THE S	F	>	PLOM SEQUENT, AZIBBIN HAND, SETPEZ, II GL.1 GL.3
休日	ランク V		þ	トロラ	ンクコ	V		3	休日ラ	ンク	<b>II</b>		

図6 平日・休日の地域類型化結果と建物倒壊危険度

地域類型化結果と建物倒壊危険度の関係を示した図 6 によると、最も建物倒壊危険度が高いランクVには人口流出エリア (CL5) が多く該当したが、生産年齢人口の流出により、災害時要配慮者となりうる高齢者の割合増加が懸念される等、脆弱性が高まる地域である可能性がある。また、ランクIIIからIVでは、平日よりも休日の方が「昼間の人口流入による災害リスク」が減少する地域があることや、人口流入が見られる CL1~CL3 では建物倒壊危険度に対して災害リスクが高まる時間帯や、その継続時間に差が見られることが明らかになった。

### 4. 昼間人口流入地域における帰宅困難者に関する分析

地域類型化では、都心エリア (CL1) や平日の就労エリア (CL2) 等において、特に昼間の人口流入が多く、時間帯によって被災者の数や属性が全く異なる地域であることが明らかになった。この様な地域では、帰宅困難者の問題が懸念される。本章では、名古屋駅周辺 (CL1) と東名古屋港駅周辺 (平日 CL2)において、東京の被害想定(2006)の手法で帰宅困難者数を推計し、既存のパーソントリップ調査 (以下 PT 調査)を用いた検討との比較を通して、有用性の確認と帰宅困難者対策の具体化を行った。

図7は、名古屋駅周辺における発災時間帯別の平日・休日滞留者・帰宅困難者数と、第3次名古屋駅周辺地区都市再生安全確保計画<sup>8</sup>(以下第3次計画)によるPT調査から推計した帰宅困難者数を示している。第3次計画によると、平日14時で20.2万人の滞留人口と8.5万人の帰宅困難者が推計されている。本研究による推計では、平日12時台における滞留者数が18.7万人でありオーダーは合っ

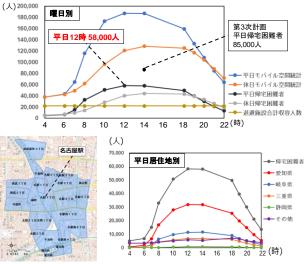


図7 名古屋駅周辺の対象範囲と帰宅困難者(曜日・居住地別)

ている. 一方、帰宅困難者数の最大推計値は平日 12 時台の約 5.8 万人である. 第 3 次計画より 2.7 万人程度少ない推計となった. これは、モバイル空間統計が 14 歳以下 80 歳以上の滞留者を含んでいないことや、居住エリアまでの距離の算出方法に違いが見られるからである. いずれにしても、発災から 24 時間を限度として帰宅困難来訪者を受け入れる退避施設の収容人数が約 2.2 万人では足りないことは明らかである. また、休日では 14 時~18 時台にかけて 4.4 万人程度の帰宅困難者が推計された. 休日では退避施設の使用が困難である事態が想定されるため、休日における分析も重要である.

居住地別では、その他の都道府県からの帰宅困難者が 18 時台において最大で7千人近くに上る. 発災後の24 時 間以降ではホテル等の退避施設への優先的な滞在が考え られる.

図8は、東名古屋駅周辺における発災時間帯別の平日・休日滞留者・帰宅困難者数を示している。平日14時台における滞留者数が約5.1千人であり、帰宅困難者数の最大推計値は同時間帯の約1.4千人である。居住地別には、他県の桑名市在住の帰宅困難者が6番目に多い。公共交通機関等の復旧状況により中長期の滞在を余儀なくされる可能性がある。また、国勢調査では分からない4時台の夜間就労者とみられる約600人が確認できる。推計上帰宅困難者とはならないが、企業での夜間における災害対応上で考慮すべき事項であり、BCPの策定・共有が重要となる。

# 5. 昼間人口流出地域における災害対応力に関する分析 人口流出エリア(CL5)は昼間に人口流出がみられる地

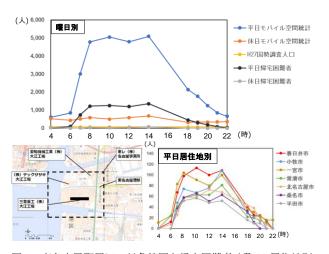


図 8 東名古屋駅周辺の対象範囲と帰宅困難者(曜日・居住地別、 居住地は 14 時の帰宅困難者数が多い上位 7 市区町村)

域で、昼間の災害時には被災する人口が減少しているため、 一見災害リスクは高まらない地域である.しかし、年齢別 割合の変化に焦点を当てると、地域内における災害対応の 担い手の通勤等による流出や、災害時要配慮者となりうる 高齢者の割合増加が懸念される.本章では、人口流出エリ ア(CL5)における高齢化率の時間推移と名古屋市消防局 職員課提供の消防団員の勤務地データから地域の脆弱性 と災害対応力の時間変化を分析する.

図9を見ると、中村区西部や中川区、守山区、緑区等で高齢化率の増加がみられ、30%を超える地域が出てくる。図10左によると、CL5のみ昼間に高齢化率が増加することが分かる。また、図9と図10右を比べると、消防団員数の内4割以上が居住区外勤務の学区がCL5に該当する傾向が見られる。これより、人口流出エリア(CL5)内において特に平日昼間で災害リスクが高まる時間帯があることが明らかになった。

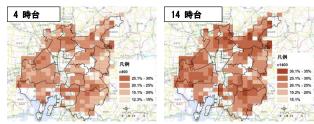


図9 平日の人口流出エリア (CL5) における 4 時,14 時高齢化率

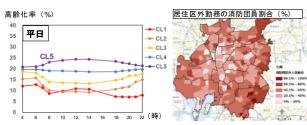


図 10 平日の各 CL の高齢化率推移(左図)と学区別の消防団 員数に対する居住区外勤務の消防団員数の割合(右図)

#### 6. 結論

モバイル空間統計を用いて、平常時の1日を通じた人口動態の地域差と地震ハザードから時間的要因を踏まえた地域災害特性を把握し、災害時事態想定の具体化や対策における課題や優先度の把握に寄与する分析を行えた.

参考文献 1)内閣府中央防災会議 (2012): 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要, pp2 2)寺田雅之・永田智大・小林基成 (2012): モバイル空間統計における人口推計技術, NTTDOCOMO テクニカル・ジャーナ, VOL.20NO.3, pp11-16 3)一般社団法人電気通信事業者協会(2018): 事業者別契約数 4)NTTドコモ:モバイル空間統計に関する情報 5)総務省統計局: H27 年国勢調査結果 6)東京都(2018): 地震に関する地域危険度測定調査 7)東京都(2006): 首都直下型地震による東京の被害想定 8)名古屋駅周辺地区安全確保計画部会 (2018): 第 3 次名古屋駅周辺地区都市再生安全確保計画