

洪水被害推計・避難対策検討のための P T 調査の人口分布データ活用手法

中野敦¹・平山大輔²・片田敏孝³・森田哲夫⁴・細井教平⁵

¹正会員 一般財団法人計量計画研究所（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）

E-mail: anakano@ibs.or.jp

²正会員 群馬県県土整備部河川課（〒371-8570 群馬県前橋市大手町一丁目1-1）

E-mail: hirayama-d@pref.gunma.lg.jp

³正会員 東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）

E-mail: office@katada-lab.jp

⁴正会員 前橋工科大学工学部（〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460番地1）

E-mail: tmorita@maebashi-it.ac.jp

⁵正会員 株式会社アイ・ディー・エー 社会技術研究所（〒376-0023 群馬県桐生市錦町3丁目2-28）

E-mail: hosoi@ida-web.jp

昼間にさまざまな人が集まる中心市街地においては、洪水など防災上の課題把握や避難対策を検討する際、居住人口に加えて昼間人口に配慮した検討が不可欠である。人の1日の行動全体を捉えているパーソントリップ調査は、時刻別の人の滞留状況を把握可能で、昼間の人口分布実態を把握して防災計画を検討するのに有効である。本研究は、パーソントリップ調査データを用いて、地方都市の中心市街地におけるさまざまな切り口からみた人の分布状況を分析し、これら地域の洪水被害想定と避難対策における課題を明らかにする。また、一人一人の行動を再現する避難シミュレーションを実施することを念頭に、そのベースとなる建物単位のままさまざまな特性と紐付された人口データ作成方法を構築し、これらデータを活用した分析結果を例示する。

Key Words : *person trip survey, flood evacuation, estimate population, simulation*

1. はじめに

(1) 研究の背景

近年、我が国では豪雨による大規模な洪水が頻発している。洪水などの災害の際、起こり得る人的な被害を適切に予測し、対策を検討することは、重要である。これまで、これらの検討は、居住者の人口分布をベースとして、行われるのが一般的であるが、仕事や通学などで多くの人が訪れる中心市街地などの地域では、居住者だけでなく、通勤、通学、買物などで地域外から来訪する人の分布を考慮した検討を行うことが求められる。

人のさまざまな目的による日常の移動・活動を調べる統計調査として、パーソントリップ調査（以下 P T 調査）が、多くの都市で実施されている。この調査の本来の目的は、交通実態を把握し、交通計画を立案することにあるが、1日の人の移動の全体を捉えているため、時刻別の人の滞留状態を知ることができ、被害想定への利用にも適している。

群馬県では、平成27年度から28年度にかけて県全域を対象に P T 調査を実施し、これらの人口動態データを活用して、洪水氾濫が発生した場合の住民の避難行動についてシミュレーションを行い、避難計画立案に際しての留意点、減災対策の考え方等について検討を行った。

(2) 研究の目的

本研究は、群馬県 P T 調査データを用い、伊勢崎市を対象に洪水対策上の課題を明らかにする観点から、滞留人口の分析を行う。また、被災想定や避難対策検討のための避難行動シミュレーションを実施することを念頭に、P T 調査を用いた人口分布データの作成方法を構築し、人口データを用いた避難行動シミュレーションを実施する。これら分析を通じて、洪水対策に対する有効な手法を示し、P T 調査データの有効性を明らかにすることが本研究の目的である。

2. 研究の位置づけ

(1) 既往研究の整理

P T 調査の集計分析によって、災害時の被害想定や防災対策上の課題の検討を行う試みは、大震災時の帰宅困難者問題や津波災害について、近年、実施されてきているが、洪水避難対策を想定した分析は例がない。

津波や洪水、高潮などの被害想定及び避難対策検討のための避難シミュレーションの研究は、多く行われており、ベースデータとして人口データ作成が行われている。これらの研究では、夜間人口に基づいて行われている例はあるが、昼間や朝の通勤時間帯のデータを用いている例は見られない。

また、近年は、携帯電話の位置情報を活用して、滞留人口を入手することも可能になってきているが、これらのデータの世帯・個人情報には利用できないため、避難行動を想定する人口データとしては制約がある。また、データ購入には費用がかかり、高額になる場合もある。

(2) 本研究の位置づけ

a) P T 調査の集計分析について

本研究は、洪水避難対策の検討を念頭に置いて、P T 調査データを用い、さまざまな切り口で時刻別の滞留人口を分析する。この分析では、最新の P T 調査で加えられた新たな調査項目である「移動支援者」のデータを用いた分析も行っている。洪水被害や洪水避難の観点で、新しい調査項目も活用して、詳細な分析を行ったことは、本研究の特徴である。

また、P T 調査によるさまざまな特性別（滞留施設、目的、交通手段など）の時刻別人口分布データと、用途別床面積データを組み合わせて、個別建物に人口を割り当てた。避難シミュレーションのベースデータの作成手法を構築したことも、本研究の特徴である。ここでは、これらデータ・手法を用いて、群馬県が実施した洪水シミュレーションとの重ね合わせを行った上で、避難行動シミュレーションを実施して課題を明らかにし、手法の有効性の提示も行っている。

3. 滞留人口・移動中人口からみた防災計画上の課題の整理

(1) P T 調査の特徴と防災上の有用性

P T 調査は「どのような人が」「いつ」「どのような目的で」「どの交通手段で」「どこからどこへ」移動したかについて調査し、調査対象圏域に居住する人の、1日のすべての移動を捉える調査である。この調査の特徴は、世帯・個人属性別に全ての交通手段を対象に、移動の目的、起点及び終点、出発時間、到着時間などを把握していることにある。

1日の移動を時間の経過を追って把握しているため、何時にどの地域に何人いるかを、個人属性（居住地、性・年齢・職業）、滞留施設、交通目的、交

通手段別に把握可能である。滞留人口と移動中人口データが、防災対策の検討に有用である。

滞留人口は、ある時刻に、自宅もしくは自宅以外の施設にいる滞留している人口であり、移動中人口は、ある時刻に、移動中と推定される人口である。これらデータは、浸水地域と滞留場所を重ね合わせることで、災害が起こった場合の被災者数を把握できるほか、浸水地域にどのような特性の人がいるかを分析することで、防災上のさまざまな課題を分析できる。ここでは、代表的な集計から、防災上の課題を明らかにする。

(2) 滞留人口・移動中人口分析と課題

P T 調査データを用いて、対象地域における時刻別人口分布や滞留している人の特性を分析し、対象地域の特徴や洪水対策やシミュレーション上の留意点を明らかにする。

a) 浸水エリア全体の滞留者・移動者

分析対象とした伊勢崎市の中心市街地周辺の浸水エリアには、70,000~75,000人程度の人が存在し、総数では、時間帯別にあまり差がない。ただし、下記の通り、滞留する人の特性は、夜間と昼間で大きく異なる。移動中の人は、朝の時間帯には、1万人程度と最も多く、時間帯による差が大きい。

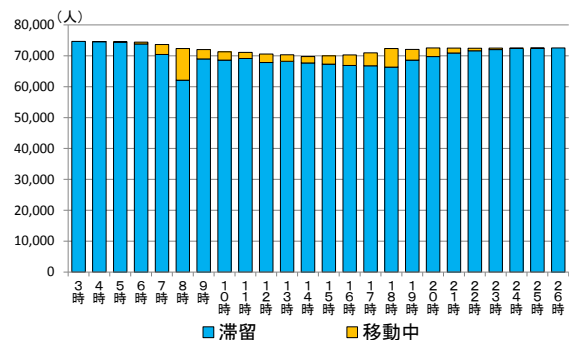


図-1 浸水エリア内の滞留者・移動者別人口

b) 人の属性について

浸水エリアには、高齢者が2万人以上（うち後期高齢者がその半分）、常時付添いが必要な人も3,500人~4,000人程度存在している。

夜間、昼間の時間帯ともに、支援の必要な人が相当数存在し、対応が必要であることがわかる。

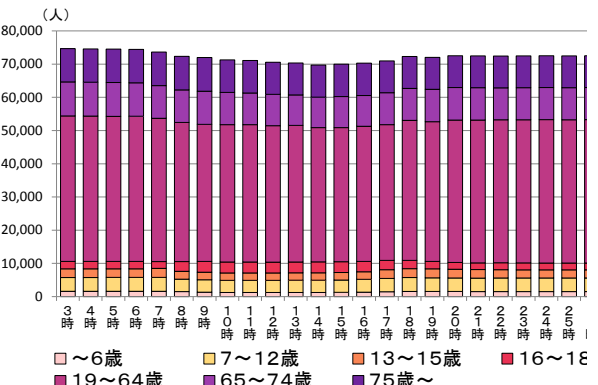


図-2 年齢別浸水エリア内人口

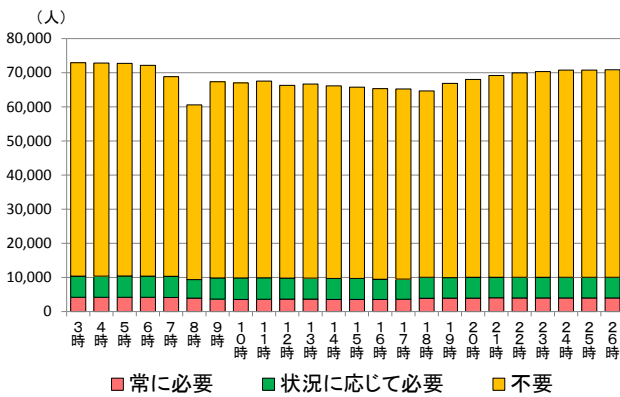


図-3 外出時の付添必要状況別浸水エリア内人口

c) 滞留場所について

夜間には、大半の人が自宅に滞留しているが、昼間は、通勤先・通学先にいる人が多く（最大3万人程度）、買物先など自宅でも通勤通学先でもないところにいる人も、9千人程度に上るなど、さまざまな施設に滞留している。

夜間は、住宅への居住人口を前提とした避難対策が有効であるが、昼間の時間帯においては、事業所や学校、商業施設・公共施設など、さまざまな滞留場所における被害や、それに応じた対策を検討することが求められる。

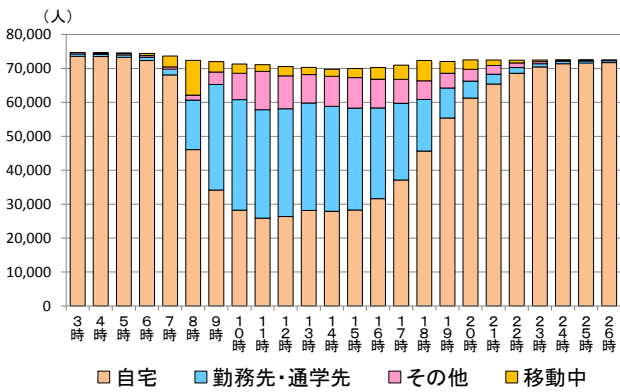


図-4 滞留場所別浸水エリア内人口

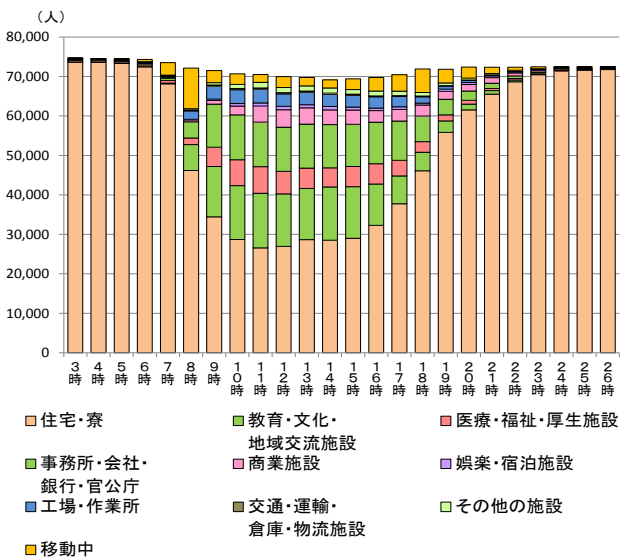


図-5 施設別浸水エリア内人口

d) 交通手段について

自動車で来訪した人が、昼間には約2.9万人と最も多く、自転車や徒歩で来訪している人もそれぞれ5千人前後いる。

洪水時には、多くの人が自動車を利用して、帰宅などの行動をすることが予想され、渋滞によって、洪水の被害が拡大することに配慮する必要がある。また、徒歩で帰宅する人も相当程度発生し、徒歩帰宅中に浸水に合うことや、自動車の渋滞との輻輳にも配慮が必要になる。

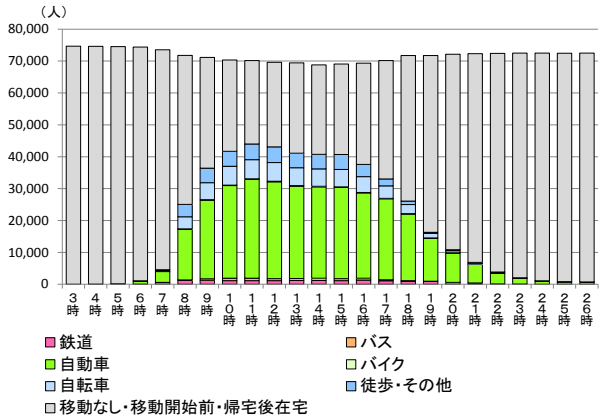


図-6 交通手段別浸水エリア内人口

e) 滞留者の居住地について

昼間の時間帯で見ると、浸水エリア以外の伊勢崎市内外に居住する人が、2万人以上おり、隣接市以外の地域の居住者も、3千人以上いる。

昼間の時間帯における対策を考えると、広域との関係を考慮することが重要である。

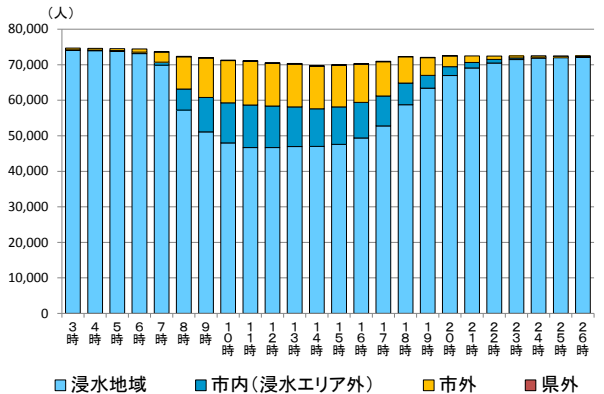


図-7 居住地別浸水エリア内人口

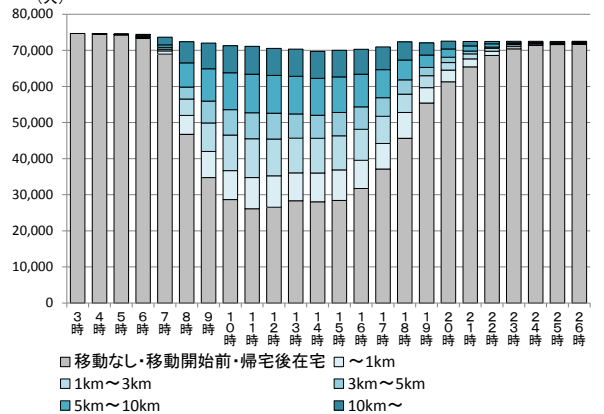


図-8 距離帯別の浸水エリア内人口

f) 昼間の滞留者・移動者の全体的状況について
 夜間は在宅者が主な検討対象となるが、昼間の場合は、下記のように、大量の帰宅者発生など、さまざまな異なる課題が生じる。

昼間は自動車での来訪者が多く、災害時に、自動車帰宅が大量発生するとみられる。

市内から自動車以外の手段で来訪している人も多く、徒歩帰宅者も大量に発生するものみられる。市外からの鉄道バスでの来訪者は、帰宅困難であり、市内で滞留可能な施設等を提供する必要がある(0.2万人程度)。

表-1 滞留者・移動者の全体的状況

		人数	想定行動(例)		
			行動	交通手段	
夜間	在宅①	7.3万	自宅滞留	-	
			避難	徒歩	
昼間	在宅②	2.7万	自宅滞留	-	
			避難	徒歩	
	自宅外近距離(市内居住)	自動車③ その他④	1.8万	帰宅し、その後自宅滞留、または避難	自動車(帰宅時)
			1.8万		徒歩(帰宅時)
	自宅外遠方(市外居住)	自動車⑤ 鉄道バス⑥	0.9万	帰宅困難	自動車
			0.2万		-

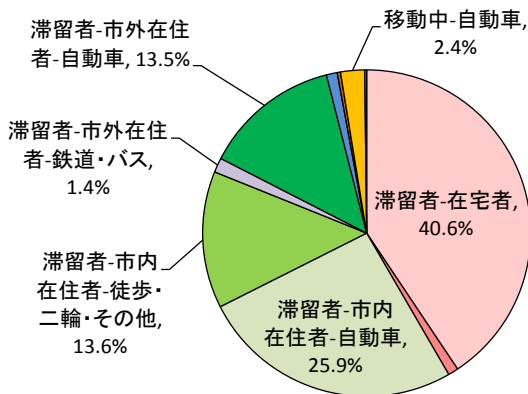


図-9 滞留者・移動者の全体的状況：14時

4. 避難シミュレーションのための詳細人口分布データの作成方法

(1) 対象地域と対象人口及び算定の元データ

a) 対象エリアと対象者

本業務におけるケーススタディでは、伊勢崎市の中心市街地周辺において、洪水の浸水を受ける可能性のある地域を主な対象とする。ここでは、これら地域を「浸水エリア」という。実際には、人の分布を把握するデータがPT調査であり、このデータはゾーン単位で集計されているため、最小単位である小ゾーン単位に、浸水の可能性のある地域を包括する範囲を対象地域として定める。これらの地域に洪水による浸水が生じた場合に、影響を受ける人を対

象に避難行動をシミュレートする。主な対象者は、「浸水エリア」に滞留している人とそのエリアを移動中の人である。

b) 対象人口の種類と対応するデータ

主に用いる人口データであるPT調査は、県内全域を対象に居住者を抽出して、平日の移動を調査したデータであるため、伊勢崎市に居住する人はもちろん、市外(県外を除く)に住んでいて伊勢崎市に通勤・通学あるいは買物等で来訪した人も、対象エリアに滞留しているか、移動中の人を対象に含まれる。

なお、県外の居住者や世帯で保有されていない営業用貨物車の行動は調査されていないため、別途考慮する必要がある。ここでは、道路交通センサスの自動車OD調査データから把握して考慮する。また、浸水エリアに発着しない通過自動車交通については、別途考慮する。

(2) 建物単位の人口設定手法

a) PT調査データからの人口設定

PT調査からの人口は、小ゾーン単位に集計された滞留人口と移動中人口をベースとする。これらの人口は、PT調査で調査された属性データ(年齢、居住地、滞留施設、居住地など)や移動の特性データ(交通手段、目的など)と紐づけることができる。

これらのデータは、ゾーン単位であるが、シミュレーションに用いるためには、個々の建物に分割して割り当てる必要がある。ここでは、都市計画基礎調査データなどを用いて、個々の建物の用途と床面積を把握し、これを用いて分割処理を行う。具体的には、ゾーン内で合計した用途別床面積と各建物の床面積の比率を用いて分割する。建物毎に振り分けた滞留人口は整数ではなく属性毎の実数となり、1つの建物に属性の異なる実数値(以下、個票)が割り当てられる。また、この実数値は1以下になることもあり、この個票の実数値を整数へ変換することで、1人1人の住民を作成した。

PT調査から居住地、性別、年齢、目的、交通手段、自動車利用、外出時の付き添いの可否、施設区分の8つの属性毎に、各属性分類の組合せ毎の集計値(15,504,384通り)を求める。また、建物毎に実数の合計を算出する

まず、個票単位の滞留人口の集計値が1人以上の場合、実数値の小数以下を切り捨てて整数とし、その人数を建物に割り当てる。割り当て後に、小数以下の実数も個票に残す。

つぎに、建物単位の滞留人口の集計値が1人以上の場合、実数値の小数以下を切り捨てて整数とし、その人数を建物に割り当てる。割り当てる人の属性は、個票の実数値を比率としてランダムに設定した。割り当て後に、小数以下の実数も個票に残す。

個票単位、建物単位での滞留人口の集計値が全て1未満となり、残りの数の振り分けを行う。各属性分類の組合せ毎の集計値で滞留人口が1人以上の場合には、実数値の小数以下を切り捨てて整数とし、

その人数を建物に割り当てる。割り当てる人の属性は、個票の実数値を比率としてランダムに設定した。

最後に、全体の集計値と振り分けた人口の総数の差から残りの数を求める。求めた残りの人数について、全個票の実数値を比率としてランダムに選定し割り当てた。

b) 通過交通の設定

本研究では、ある時刻に対象エリアに滞留または移動中の人を対象にするが、対象エリア内を移動する際の自動車の混雑状況を反映させるため、対象エリアを通過する自動車については、別途流動させる。

具体的には、PT調査データの自動車OD表で広域で交通量配分を行い、対象エリアの境界ノード相互間のOD表を作成する。このOD表にPT調査の平均的な時間分布を適用し、各時間帯に分割し、発生させるといった方法をとった。

c) 域外滞留人口の設定

対象エリアの居住で該当該時刻にエリア外に滞留している人は、エリア内に向かって帰宅して来て被災したり、移動中の混雑に影響を及ぼすので、これらの人口も流動させる必要がある。具体的には、エリア外の滞留人口を自宅に向かって流動させた。滞留中の域外のゾーンのうち、遠方で構築した道路ネットワークの範囲外のゾーンも含まれる。そこで、滞留中のゾーンから道路ネットワークの端点までの距離とその距離の移動に要する時間を算出し、帰宅開始のタイミングから推計した移動時間の後に道路ネットワークの端点から帰宅する状況を表現した。

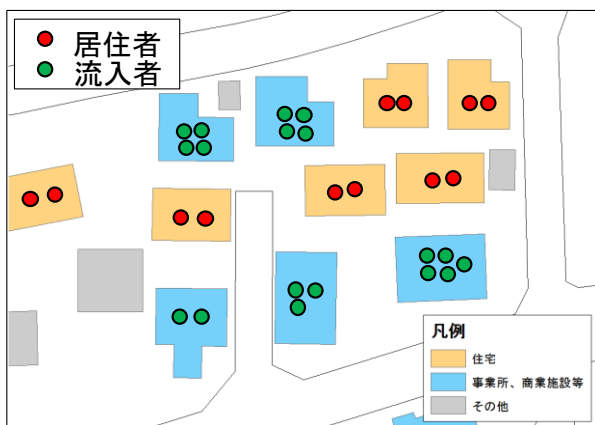


図-10 住民分布の作成 (イメージ)

(3) 人口データの作成結果

PT調査は、1日24時間の時刻について、任意の時刻の滞留人口や移動中人口を集計可能である。なお、今回の分析では、シミュレーションの開始時刻として3時、8時、14時の3時点を設定した。このうち、14時の人口分布を次頁に示す。データは、浸水エリア全域で作成したが、図では市の中心部のエリアを示している。これらの点は、一人の人を示しており、それぞれ個人属性や居住地、来訪時の交通手

段、滞留施設の種類などの情報を紐付されているこのため、それぞれの人に対して、特性に応じた避難行動を当てはめて、シミュレーションを実施することができる。

5. 避難シミュレーションの概要

(1) 現況再現シミュレーションの実施内容

本研究の元になっている業務では、別途群馬県が推計した洪水のシミュレーション結果と重ねあわせて、前述の人口データを用いて、さまざまなケースで避難行動をシミュレートし、被災人口を推計した。また、避難対策の状況を表現したシミュレーションも実施し、避難対策の効果や課題を明らかにした。ここでは、人口データの有効性を示すため、現況再現シミュレーションの結果の一部を示す。

a) 洪水避難シミュレーション実行例

図12は、施策実施前の洪水時の避難を反映させた状況の再現結果である。実際の計算は1秒毎の変化をシミュレートして動画で表現するが、図はその中から8つの特徴的な時点を切り出して示している。

- ①シミュレーション開始時で、PT調査を基に建物毎に住民を配置し、通過交通を発生させている。
- ②避難準備情報が発令された時点で、広報車が出勤し住民に情報を伝達する。併せて、テレビ・ラジオ等により広報が行われる。この時点で高齢者は避難を開始する。
- ③避難勧告が発令される時点で、職場や学校から帰宅が開始され、自宅にいる人の一部が避難を開始する。また、中小河川や冠水しやすい箇所では道路が通れなくなる。
- ④避難、帰宅者が移動途中の中、氾濫が発生する。
- ⑤氾濫流が広がり、避難者、帰宅者に氾濫が重なり、身動きができなくなる人が発生し始める。
- ⑥避難交通、帰宅交通により渋滞が発生し、その渋滞に氾濫流が流入し、多くの被害が発生する。
- ⑦氾濫流が広がり、被害も拡大していく。自宅等に留まった人のなかには、徐々に氾濫流が深くなることで身動きがとれなくなる人もみられる。
- ⑧氾濫が対岸にも広がり、逃げ遅れた人や避難しなかった人などの被害が拡大していく。

b) 洪水発生時刻別の被災者数の推計例

図13は、洪水発生時刻別のシミュレーションの結果推定された被災者数である。被災者は発生時刻3時で1,921人、8時で5,600人、14時で8,743人となり、14時が最も多くの被害が発生している。浸水域内人口(安全確保者数と被災者数の合計)も14時が最も多く15,852人にのぼっており、洪水発生時刻によって被害の様相が大きく異なることがわかる。

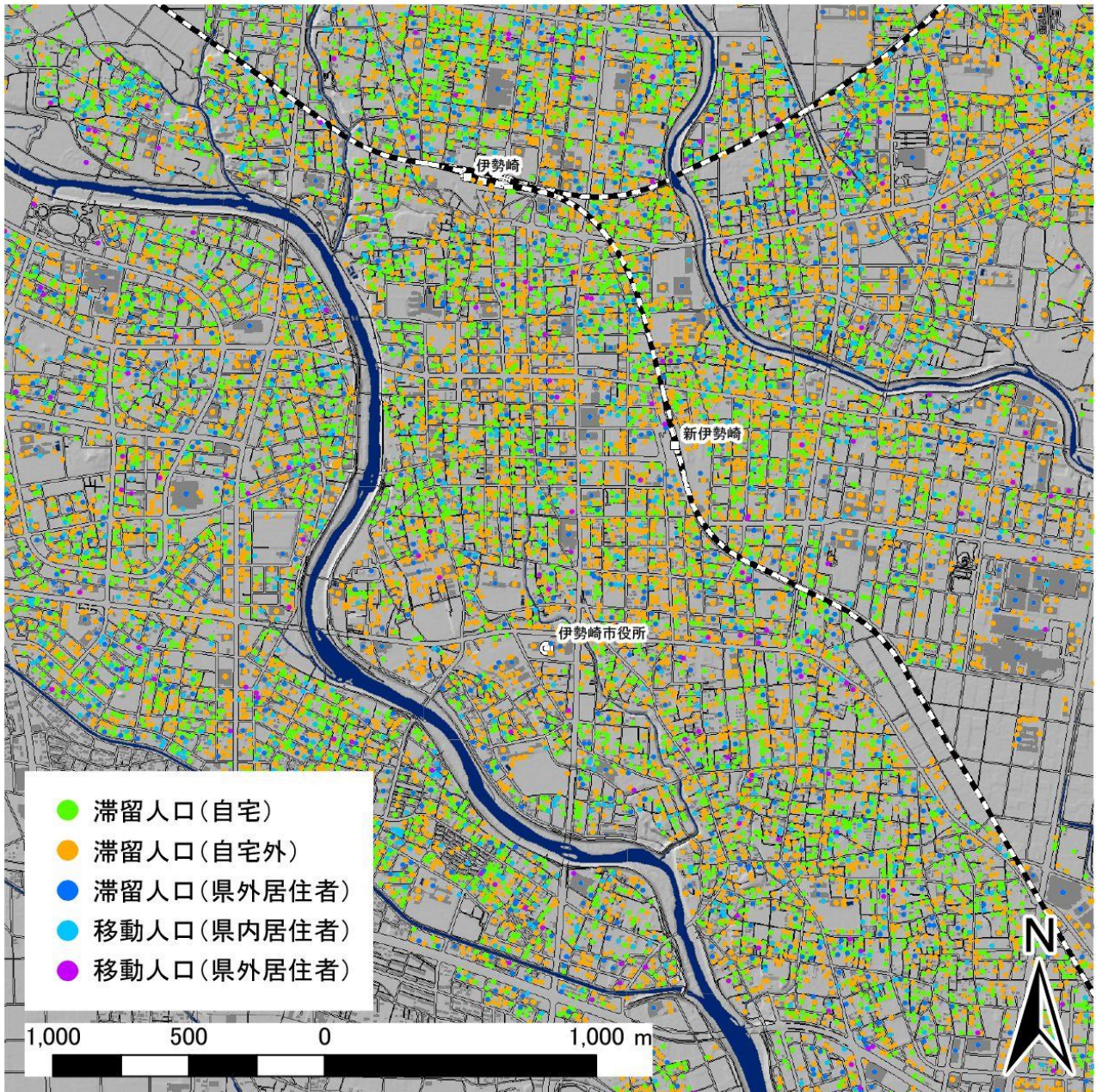


図-11 滞留人口の分布 (市中心部の14時を例示)

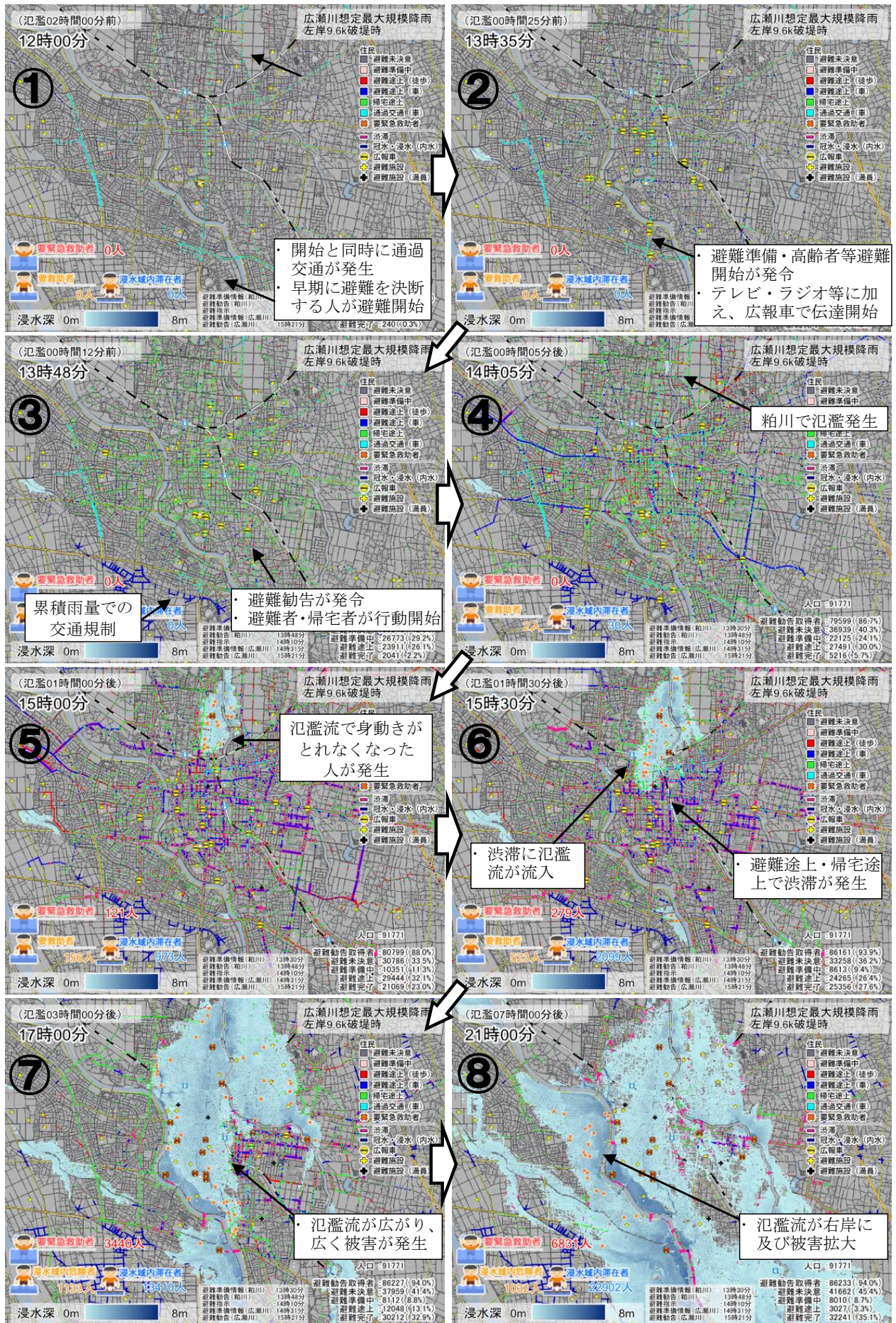


図-12 避難シミュレーションの結果 (例)

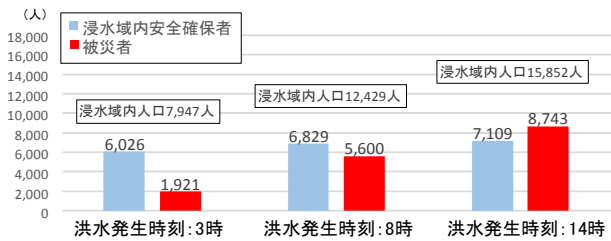


図-13 洪水発生時間帯別の現状再現シミュレーション結果

6. おわりに

a) P T調査データの滞留人口分析について

P T調査データを用い、洪水対策上の課題を明らかにする観点から滞留人口の分析を行い、以下の知見を得た。

夜間には大半の人が在宅しているが、昼間は通勤・通学先や買物先など多様な施設に滞留している。また、遠方からの来訪者は自動車での来訪者が大半を占め、一方、自動車、徒歩、自転車での近距離からの来訪者も多い。

本研究で、P T調査データ分析により、以下の事項が数値的根拠をもって明確に確認されたことは、大きな成果と考える。①中心市街地が浸水する場合、勤務先・通学先や買物先などへの人の分布に配慮した避難対策が必須である。②昼間滞在者は多くが自動車を利用して来訪しており、また、比較的近距离から来訪して徒歩帰宅可能な人も多いことから、自動車・歩行者の両方に配慮した帰宅行動の適切な管理が必須である。

b) P T調査データからの人口推計とその意義について

避難行動シミュレーションに適用することを念頭に、P T調査の滞留人口データと都市計画基礎調査等の建物特性データと組合せた、建物単位でかつ居住地や来訪交通手段などさまざまな属性と紐付された人口分布データを作成する手法を構築した。

本研究では、一部を例示したが、上記の人口データは、洪水浸水地域想定結果と重ね合わせ、避難行動シミュレーションを行うことで、以下のような知見を得られる。

洪水時に、自動車や徒歩の帰宅を管理しないと、浸水想定エリア内に自動車や徒歩による帰宅者が侵入して人的被害を生じる。また、全域的に自動車の大規模な渋滞が発生し、人的被害の増加につながる恐れがある。上記の手法により、これらの被災者数を把握することができる。また、勤務先や通学先に留まってもらうなど、適切

な管理を行うことで、人的被害の発生を削減することができるが、人的被害をゼロにするために、どのような管理を行うことが必要か、さまざまな対策ケースをシミュレートすることで具体的な検討が可能である。

c) 今後の課題

本研究では、洪水時の避難シミュレーションを行うための人口データ作成手法を構築したが、精度改善には多くの可能性があり、その研究が課題である。

また、上述のような有効性のある手法であるが、この種の検討が実務で適用された例は少ない。有効活用事例を積極的にPRするなど、実務での活用を促進するための努力も重要と考える。ゾーンの滞留人口と洪水浸水想定地域を重ね合わせて課題を把握するなどの簡便な分析方法の構築も有効と考える。

参考文献

- 1) 中野敦・本田武志 (1997) 都市における時刻別地域別人口分布と震災被害に関する研究, 土木学会シンポジウム「阪神・淡路大震災に学ぶ—土木計画学からのアプローチ」阪神・淡路大震災土木計画学調査研究論文集, pp75-82
- 2) 秋元伸裕・和泉範之 (2012) パーソントリップ調査データを活用した帰宅困難者分析 ~減災につながる施策の検討に向けて~, IBS Annual Report 研究活動報告 2011, pp.15-20
- 3) 片田敏孝・桑沢敬行・金井昌信 (2006) 発災時刻の都市アクティビティを考慮した津波による人的被害量の推定に関する研究, 土木学会論文集
- 4) 片田敏孝・桑沢敬行 (2006) 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3, pp.250-261
- 5) 石神孝裕・大門創・中野敦・佐藤弘子・松井浩・岡田真理子 (2014) 津波避難とまちづくり, IBS Annual Report 研究活動報告 2011, pp.41-46
- 6) 国土交通省都市局都市安全課・街路交通施設課 (2013) 津波防災まちづくりの計画策定に係る指針 (第1版)]
- 7) 新階寛恭他 (2015) 携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計の都市交通分野への適用に関する研究, 第52回土木計画学研究発表会・講演集
- 8) 鈴木俊博他 (2016) モバイル空間統計の防災計画分野への活用, NTT ドコモ テクニカルジャーナル Vol.20, No.3
- 9) 原田玲香・平山大輔 (2018) パーソントリップ調査を活用した効果的な洪水避難の検討, 河川, 2018.3

Method of Analysis for Flood Evacuation Using Person Trip Survey Data

Atsushi NAKANO, Daisuke HIRAYAMA, Toshitaka KATADA, Tetsuo MORITA
and Kyohei HOSOI