

都市計画基礎調査を活用した地震発生時における避難者数の予測手法 —金沢市における事例研究—

○本田 匡平*¹ グエンディンタン*²
沈 振江*³ 川上 光彦*⁴

キーワード：都市計画基礎調査、避難所、避難者、地震災害

1. はじめに

我が国では、依然から大規模地震の切迫性が指摘されており、内閣府中央防災会議では南海トラフ地震や首都直下地震などの地震対策の検討を行っている。また、2011年3月11日に発災した東日本大震災において避難所の防災機能が不十分であったという報告が多数あり、避難所の問題・課題が浮き彫りとなった。特に、応急段階とされている発災後3日間は避難者数のピークとなることが実態として明らかにされており、この期間では自助の範囲で生存できるだけの備蓄や設備の整備が必要不可欠である。国では阪神・淡路大震災以降より耐震改修促進法による耐震化の取り組みがなされてきたが、その遅れが指摘されている。また、新耐震基準を満たすように耐震化したといっても必ずしも大きな被害を受けないとは限らないことは建物被害の実態調査からも明らかであり、それだけでは不十分である。以上の3つの側面から、震災に対する防災計画においては避難所の整備が必要であり、どの避難所がどの程度の整備状況でどの程度の整備が必要であるかといった評価を行うことが重要であるといえる。

一方で都市計画基礎調査(以下「基礎調査」と略す)は、国土交通省の都市計画運用指針において都市計画の根幹なすべきものであり客観的データとしてその合理性やその時の人口や産業、社会情勢などに対する適応性を確保する役割を担うものであるとしている。しかし、昭和62年に策定された実施要領における調査項目は社会情勢や産業構造の変化に対応しておらず、調査結果の活用が難しくなり調査自体の形骸化が実態として指摘されている。その後平成25年6月に実施要領が見直され、調査項目の統廃合や都市計画行政のニーズを踏まえた調査内容の充実、GISデータへの整理の推進などの変更が行われた。したがって、このような流れから基礎調査をどう利活用するか、または活用を前提として調査項目をどう検討するかということは都市計画重要な課題となっており、新たな利活用方法の考案が必要であると言える。

以上から、本研究では大規模地震による震災を想定し、避難者数の推計によるアプローチから、応急段階において避難者が生存するため、また生活するために必要な避難所の防災機能の評価を行うことを最終目的とし、本稿ではその前段階として建物個別での倒壊、滞在人口および避難を

考慮した避難者数の予測手法を構築し、金沢市の小学校区を事例対象として避難場所の収容能力とアクセシビリティの2つの観点から防災性を評価し、小学校区内の避難においてどのような問題・課題があるかを明らかにすることを目的とする。同時に基礎調査の新たな利活用方法を検討することを目的とする。

2. 都市計画基礎調査の実態と課題

眞島ら¹⁾の調査研究によれば、基礎調査の実施は都市計画法による義務付けで実施自体はなされているが、調査目的が規定されていないため調査自体が目的化しているという問題があるという。したがって課題として調査目的の明確や調査結果の活用、調査項目の見直しを挙げている。また石川県を対象として実施実態を調査しており、調査項目について「人口、産業、土地利用及び土地利用条件、建物、交通」を中心とした項目が対象となっており、他の項目はほぼ対象となっていないことを明らかにしている。

本研究では基礎調査の活用方法を検討していくため、どのようなデータを利用するかを明らかにする必要がある。そこで金沢市から提供を受けた基礎調査のデータを昭和62年の実施要領における調査項目と照らし合わせ、どのデータがどのような形式で、またGISでの利用を中心位考えるため、SHP形式のデータに関してはベクタの種類と単位について整理した(表1)。以降、シミュレーションモデルの構築において基礎調査の活用方法や課題点について探っていく。

3. 研究方法

本報では、ArcGISを用いて拠点避難場所を対象とした避難者数の予測と防災性の評価のシミュレーションモデルを構築する。枠組みとしては、小学校区など任意の避難圏域のスケールを対象に、大きく分けて震度分布予測、建物被害予測から各避難場所までの避難者数の推計までと、その結果を受けて各避難場所の収容能力と、避難者の物理的な避難距離によるアクセシビリティの観点から防災性を評価するまでモデルを構築する。次に金沢市の小学校区を対象としてこのシミュレーションモデルを適用し、問題点・課題点を抽出するという流れで行う。データとしては基礎調査を主に用い、他に必要なデータに関しては新たに

作成あるいは収集する。今回は道路網データから道路ネットワークを作成し、他に避難施設の位置データと小学校区の境界データを入手した。

表-1 H18 金沢市都市計画基礎調査の整備状況

調査項目	データの有無			SHPファイル	
	Excel	PDF	SHP	ベクタ形式	ベクタ単位
人口総数及び増加数	○	×	×		
人口増減の内訳	○	×	×		
人口の将来見通し	○	×	×		
市街地区別人口	○	×	○	ポリゴン	町丁目
地区別人口	○	×	×		
地区別寺院校密度状況	×	×	×		
地区別人口密度増減	×	○	○	ポリゴン	町丁目
年齢・性別構成	○	×	×		
産業大分類人口	○	×	×		
流出・流入別人口	○	×	×		
産業大分類事業所数	○	×	×		
産業中分類別鉱業出荷額	○	×	×		
産業中分類別商業販売額	○	×	×		
地区別住宅の所有関係別	○	×	×		
地区別持家率	×	○	○	ポリゴン	町丁目
地形及び水系	×	○	○	ポリゴン	地形区分
土地利用現況	×	○	○	ポリゴン	土地利用
土地利用別面積	○	×	×		
市街地の進展状況	○	○	○	ポリゴン	人口集中地区
国公有地現況	○	○	○	ポリゴン	国公有地領域
非可住地現況	○	○	○	ポリゴン	非可住領域
宅地開発等の状況 (道路位置指定状況含む)	○	○	○	ポリゴン	宅地開発領域
農地転用状況	○	×	×		
市街化調整区域内開発	○	○	○	ポイント	開発建物
農地・山林現況	○	○	○	ポリゴン	土地利用
農林漁業関係施策	○	×	○	ポイント	不明
				ライン	不明
法適用現況	○	○	○	ポリゴン	法適用区域
再開発・高度利用	×	○	○	ポリゴン	開発区域
条例・協定等	○	×	○	ポリゴン	協定区域
地区計画等	○	×	○	ポリゴン	地区
建物用途別現況	○	○	○	ポリゴン	建物
地区別新築状況	○	○	○	ポリゴン	建物
建物構造別・階数別現況	○	○	×		
地区別建ぺい率現況	○	○	○	ポリゴン	町丁目
地区別容積率現況	○	○	○	ポリゴン	町丁目
文化財等の分布	○	○	○	ポイント	文化財建物
				ポリゴン	種類・規模
都市施設の整備状況	○	×	×		
道路網	×	○	○	ライン	道路幅員
下水道網	×	○	○	ライン	汚水・雨水別
上下道の整備状況	×	○	○	ポリゴン	整備領域
ゾーン間自動車交通量	○	×	×		
主要道路断面交通量	○	×	×		
主要駅乗降人員	○	×	×		
公共交通網	×	○	○	ポリゴン	町丁目
地区別65歳以上人口及び増減数・比率	○	○	○	ポリゴン	町丁目
災害危険箇所分布図	○	○	○	ポリゴン	危険区域
避難所の分布	○	○	○	ポイント	避難所
未利用地現況	○	○	○	ポリゴン	未利用領域

※他の項目に関してはデータ無し

4. シミュレーションモデルの構築

4. 1. 震度分布予測

建物の被害がどの程度生じるかを推計する際、被害率曲線を利用するため計測震度を予測する必要がある。震度の予測手法としては距離減衰式による簡便法と統計的グリーン関数を用いた詳細法の2種類があり、地震調査推進研究本部の実務では詳細法を簡便法により補うという形で両者を併用して震度予測を行っている。詳細法ならば震源特性を考慮でき、より精度の高い予測が可能だが、断層モデルなど震源特性を設定するのに必要な情報が多いため

基礎調査の活用はあまり期待できない。そこで計算負荷の軽い簡便法でよく利用されている司・翠川²⁾の距離減衰式、松岡・翠川³⁾による表層地盤の速度増幅度算定式、翠川・藤本・村松⁴⁾による最大地動速度と計測震度の関係式により計測震度を予測した。

4. 2. 建物被害予測

国の行う地震被害想定では、建物被害に関して揺れ、液状化、津波、急傾斜地、火災による被害の他、ブロック塀や自販機などの屋外設置物の転倒被害の想定を行っている。金沢市でも震災アセスメントにおいて、揺れ、火災、液状化を考慮している。建物被害は避難者数に関わるため、それぞれの予測結果の精度を上げるにはこれらの要因を全て考慮する必要があるが、本報では拠点避難場所の防災性の評価を主旨とするため、揺れによる建物被害のみを考慮することとする。

揺れによる建物倒壊の推計では被害率曲線がよく用いられ、従来から研究が行われてきている。阪神・淡路大震災以降、研究が進められ、様々なデータを元にした多様な被害率曲線が構築されてきた。本報では、阪神・淡路大震災で比較的被害の大きかった西宮市の被災度調査結果に基づき構築された山口・山崎の被害率曲線⁵⁾を採用する。採用理由としては、被害が多数出た地域のデータに基づくため、比較的建物倒壊棟数の推計結果が多く出やすいため、最悪のケースを想定できるからである。基礎調査に丁目単位のポリゴンベクタデータがあるため、町丁目ごとに建物被害率を推計することが可能であるが、小学校区単位のデータの作成は困難であるため、基礎調査のデータ整理において課題点である。小学校区単位のポリゴンベクタデータは別にデータを入手し、これを利用することとした。

被害率曲線による建物被害率は、ある領域における建物の内の全壊または半壊する建物の割合を表すものである。そこで、倒壊する建物を個別に指定するために、ArcGISのランダム選択機能を活用する。まず手順として、基礎調査の建物データには属性データとして建物の構造データがあるので、木造、RC造など構造別に分類する。次に震度分布予測で推計した計測震度を建物データに与え、構造別に分類した建物データをさらに計測震度別に分類する。分類は小数点第一位ごとに行った。ここで被害率曲線により構造別かつ計測震度別に全壊率・半壊率を推計する。半壊率は全半壊率から全壊率の差を取って計算した。最後に推計した被害率に相当する建物数を分類別にランダム選択機能により選択することで倒壊建物を設定した。

4. 3. 人口の配分方法

ここでは建物データに属性データとして滞在している人数を、人口を配分して推計する。基礎調査の人口データに属性として入力されているのは町丁目毎の居住人口、つ

まり夜間人口であるが、他に人口に関するデータが世帯数や前回調査からの人口増減、世帯増減に関するものであるため、これだけでは昼間人口を推計することが難しい。基礎調査にとっては昼間の地震被害想定するためにこの点が課題であるといえる。よって夜間の時間帯を想定し、居住人口を住宅または共同住宅に配分することとした。

手順としては、まず基礎調査に町丁目ごとのポリゴンベクタデータと人口密度データがあるため、ポリゴンの面積を ArcGIS の演算機能で推計し、これに人口密度を乗じて居住人口を推計する。次に住宅、共同住宅の延床面積を推計する。推計方法には大場による予測式⁹⁾を利用し、推計後、町丁目毎に合計し居住人口をこれで除することで、床面積当たりの人口を計算する。これを原単位として、各建物の延床面積を乗じることで配分する人員を推計する。

4. 4. 避難行動予測

阪神・淡路大震災の避難行動に関する調査研究によってほとんどの避難者が学校施設へ、また 1000m 程度の比較的近い圏域内での避難を行っていることが明らかにされており、また建物被害率や断水率と、避難率との関係についても研究され、これらに基づいて避難者数を予測している事例が国をはじめ地方自治体では大半を占めているが、避難率はあくまで変数であるため、ここでは一つのケースとして、全壊、半壊のいずれにおいても 100%避難するものとして建物の被害状況と避難率の関係を設定した。

避難行動予測では、基礎調査の道路網データを利用し、道のり避難を考慮する。道路網データは道路の中心線をラインベクタとして整理されているものであるが、道路が全て繋がっていないため、シミュレーションを行うため一つの道路ネットワークにする必要がある。この処理には ArcGIS のライン延長機能を利用し、近傍同士にあるラインを結合させることで道路ネットワークを作成した。次にジョイント機能によりこの道路の交差点に結合点を作り、避難シミュレーションにおいて交差点に差し掛かる度に経路選択が可能にする。最後に避難場所を指定することでネットワーク解析機能により任意の避難開始位置から避難場所までの道のりで最短のルートを手動で選択して避難シミュレーションを行う。避難場所としては主に小学校が指定されている拠点避難場所を対象とした。これは小学校校区を単位とした避難計画では小学校に避難することが最優先として周知されているからである。これにより各避難場所の避難者数とその避難者の避難開始位置、避難ルート、避難距離を個別にシミュレーションすることができる。

4. 5. 避難場所の収容能力の評価

避難場所の収容能力は、避難場所の防災機能として避難者を保護、また避難所での滞在・生活において必要不可欠であり重要な観点である。しかし、阪神・淡路大震災の事

例では学校をはじめとする多くの収容避難所で容量不足が発生したという問題が起き、避難計画の不十分さが指摘された。よって収容能力の過不足をある程度把握すべきであり、評価項目の一つとした。

金沢市では学校施設の延床面積を公開しているため、これを一般的とされている一人当たりの必要面積 3 m²/人で除することで収容可能な人数として計算した。収容能力の評価には避難者数をこの収容可能人数で除した値を指標として評価を行う。

4. 6. 避難場所のアクセシビリティの評価

避難者の避難距離の観点からも評価を行う。物理的な避難距離は避難を円滑かつ迅速に行える避難場所の計画のために把握しておくべき項目であり、避難距離はできるだけ避難者一人一人にとってできるだけ短い方が望ましい。

アクセシビリティの評価では、阪神・淡路大震災の調査研究⁷⁾に基づき、避難距離を 500m 圏内、500m～1000m、1000m～2000m の 3 分類を設定し、それぞれの人数の割合から遠距離避難の課題を明らかにする。また、既存研究から 1km 圏内での避難が大半であることから、1km を基準として評価を行う。

5. 事例対象地区におけるケーススタディ

5. 1. 事例対象地区の概要

金沢市には森本・富樫断層帯があり地震調査推進研究本部による 2013 年の再評価では今後 30 年の地震発生確率が 2~8%へとなっておりこの値は兵庫県南部地震の当時の発生確率とほぼ同程度以上であり地震発生切迫性、危険性は軽視すべきではない状況である。

金沢市の市街地周辺では幅員 4m 未満の狭隘道路や建物の密集が多く見られ、特に被害が大きくなることが考えられる。よって事例地区としては市街地周辺から森山町小学校校区を選定した。森山町小学校校区は、密集市街地を有しており、城下町周辺であったという歴史的背景から古い家屋を初めとして木造の建物が多数を占め、既存道路のため現建築基準法に適合した建て替えもあまり進んでいないため耐震化は十分でない。このため、事例地区として小学校区での避難課題を明らかにするのに適すると考えた。

5. 2. シミュレーションの適用結果

森山町小学校区において拠点避難場所と指定されているのは森山町小学校のみであるので、これを対象として避難予測を行った。シミュレーションの結果から、避難者数は 1928 人となり、収容可能人数として計算した 2520 人で除した値は 0.79 であり必要面積が 3 m²/人を基準とした場合では安全面にあると言える。次に、避難距離と避難者数に着目すると(表-2、図-1)、およそ 7 割の避難者は 1km 圏内の避難が行えているが、残りの 3 割は 1km 以上の避難

距離となっており、道路閉塞など不確定要素を考えればこれらの避難者を円滑な避難を確保することが課題となる。

表-2 避難距離分類別の避難人数

単位：人、0内は割合(%)

計	道のりでの避難距離			
	500m以内	500-1000m	1000-2000m	2000m以上
1982	756 (39)	568 (29)	592 (31)	12 (0.01)

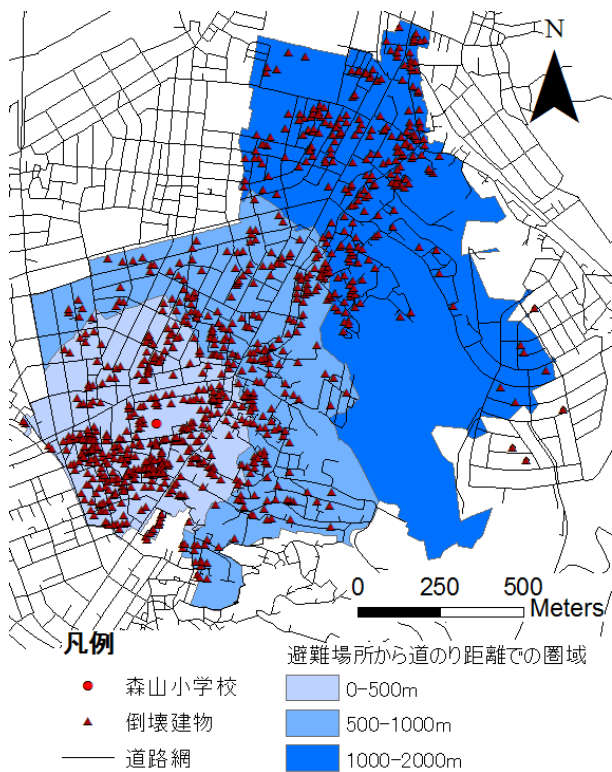


図-1 拠点避難場所から道のり距離での圏域

5. 3. 考察

シミュレーション結果では収容能力は安全面と評価できたが、あくまでも必要面積は 3 m²/人を基準としているため、一時的な収容能力の評価となっている。実際に避難場所での生活環境を想定した場合、必要な面積も多くなるため、評価結果が異なってくると考えられる。また、床面積全てを活用できるとして計算しているが、これも活用できる場所を考慮する必要がある。

避難距離が1kmを超える避難者が増えた要因としては、図-1 からわかるように避難場所が小学校区の左下に位置しており空間的に見て位置の偏りがあるためであり、他の避難場所への避難も視野に入れて遠距離避難の課題に取り組む必要があると考えられる。

6. まとめ

本報では、基礎調査のデータを基に建物個別に人口を配分し揺れによる建物被害を考慮した避難者数の予測、また道路ネットワークによる避難行動予測より行うシミュレ

ーションモデルを構築した。ケーススタディを通して、収容能力と避難距離の観点から避難場所の機能の評価を行い、また基礎調査の活用方法と課題点を検討した。

研究課題として、シミュレーションの柔軟性を改善することが考えられる。例えば、ここでは建物の被害状況に応じて避難率をある一つのケースとして設定したが、実際には不確定な要素であり、変数として利用者が自由に設定できるようにするのが望ましい。そうすることで、現状の避難計画が十分なのかという評価や、どういう計画方針にするかを考える上で有用なモデルになると考えられるため、この点は重要な課題点である。他に変数としては避難場所での生活に必要な面積なども考えられる。

他に、避難場所の防災機能として、備蓄物資を考慮し、整備状況の評価する必要がある。一人当りに必要な飲料水や生活用水、食料はもちろんのこと、他に毛布など他に必要な生活必需品の程度など、これらも変数として設定できる。これらを考慮すると変数が多くなるため、ケースをいくつか設定し、シミュレーションモデルを活用した防災計画自体の評価の可能性を示すことも課題である。

本シミュレーションモデルにおける基礎調査の課題としては、昼間人口データの整備や小学校区などの町丁目より大きな空間スケール単位でのデータ整備が課題である。

【参考文献】

- 1) 眞島俊光・埜正浩・岸井隆幸・大沢昌玄・竹村裕樹, 都市計画基礎調査の活用に関する調査研究—石川県を事例として—, 土木学会土木計画学研究・講演集, 第42巻, 2010年11月
- 2) 司宏俊・翠川三郎, 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第523号, pp.63-70, 1999年
- 3) 松岡昌志・翠川三郎, 国土数値情報とサイズミックマイクロゾーニング, 日本建築学会, 第22回地盤震動シンポジウム, pp.23-34, 1994年
- 4) 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄, 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文集, 第1巻, pp.51-56, 1991年11月
- 5) 山口直也・山崎文雄, 西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, 第2号, pp.128-138, 2000年11月
- 6) 大場亨, 建築面積及び地上階数からの延べ面積の予測, 都市計画論文集, 第35号, pp.1033-1038, 2000年
- 7) 堀切真美・小谷通泰, 阪神・淡路大震災後における住民の避難行動に関する分析, 土木計画学研究・論文集, 第17巻, pp.819-826, 2000年9月

*1 金沢大学自然科学研究科環境デザイン学専攻 修士

*2 金沢大学自然科学研究科環境デザイン学専攻 博士

*3 金沢大学環境デザイン学系 教授

*4 金沢大学環境デザイン学系 名誉教授