

# 研究報告書

## 多様な情報から未経験の災害現象を推測する次世代型被害予測技術の開発

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016年12月～2020年3月

研究者: 廣井 悠

### 1. 研究のねらい

本研究では、これまでの防災研究の基本スキームを踏襲する従来型の被害想定手法とは全く異なる、将来事象予見型の新しい被害予測技術に関する理論を構築した。これまでわが国では、災害から2、3日が経過しても被害の全体像が把握できない、未経験の災害の発生、担当者の経験・教育不足等が原因で災害対応が後手に回るケースが幾度なく繰り返されており、これは従来の防災研究・科学技術の限界となっていた。例えば直近では令和元年台風15号のように、災害から2、3日経過しても被害の全体像が把握できず、深刻な被害が発生している場所も不明であり、災害対応が後手に回るといった状況が繰り返されてきた。また災害によって当てはまりの良い被害予測式はそれぞれ異なり、さらには理論化に必要な根拠データに乏しい巨大災害や未経験の災害を精緻に予測することは困難であるという特徴も広く知られていた。特に后者は東日本大震災時に大きな犠牲を伴う形で顕在化し、この課題解決は震災から8年を経た今もなお残されたまま、学術的にも解決が図られていないという現状があった。

この長年の災害研究・防災研究が有する根本的な課題を解決するためには、従来型の被害想定技術では限界があった。例えば災害発生前の事前対策を評価・意思決定する予防的アプローチとして用いられることが多い従来の被害予測技術は、災害直後に「これから何が起きるのか」といった、実際の災害対応の参考となる情報を与えてくれるものでは必ずしもなかった。また近年では、モバイルデータやSNSデータによってリアルタイムに社会の状況を把握しようとする「時系列ビックデータ解析」も、現在のところ防災利用に限っては効果的な災害対応に生かされていない。また、防災科研などによる「SIP」などが行う「即時に被害を予測する技術」の開発は、被害を量的にかつ精緻に予測することを目的としたものであるが、このような「精緻な予測」を目的としたシステムが、効率的な災害対応に必ずしも応用できていないという現状があった。これらの状況を踏まえて担当研究者は、これまでの災害現象から社会現象に至るまでのあらゆる因果や、この対応に関する膨大な経験をデータベース化し、これを根拠にデータサイエンスを用いて災害発生直後に次々と発生する事象を予見する方法論が必要という認識に至った。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究では、これまでになかった新しい被害予測手法の構築を目指したものである。ここでは、これまでの被害予測技術の問題点を踏まえ、効果的な災害対応を可能にするためには精緻な被害予測ではなく、データサイエンスを用いて災害発生直後に次々と発生する事象を予見し、最適な対応を示唆する方法論を学術的に確立することが必要であるとの認識に至った。

本研究は下記に示す2つの種類の研究に大きく分類される。

①情報空白域の被害を不完全情報から推測する技術

②膨大な因果データベースから将来に発生する事象を定性的に予見しようという技術この双方の技術を開発することで、将来事象予見型の新しい被害想定技術の道筋をつけることが可能となった。

①については、従来のリアルタイム被害予測研究のスキームに対して、災害から一定時間経過後に得られた一部の被害情報を被害推定に用いることで、災害固有の特徴を踏まえた被害予測が可能であることを示した。ここへは、いくつかの既に知られている予測式を比較することで、一番当てはまりのよい被害予測式を選び、また係数を推定した。また情報の空白域の問題については、階層ベイズモデルとマルコフ連鎖モンテカルロ法による係数推定を行い、精度向上をはかった。

②については、ひとつの事例として阪神・淡路大震災を対象として朝日新聞の記事から、日本語テキストからの因果関係の抽出を行うことで、阪神・淡路大震災に伴って発生した物理現象や社会現象の因果を自動的に抽出し、膨大な因果データベースを作成することができた。

## (2) 詳細

### 【これまでの被害予測技術の問題点】

一般に、災害による被害を予測する方法は下記の3種類に大別される。

- ①建物の揺れや津波などの物理メカニズムを理論化し、実際の都市や建物に応用させることで外力からの被害を予測する理論的アプローチ
- ②人の行動や物のふるまいをモデル化し、計算機などを用いて行うシミュレーション
- ③既往の災害による被害データから統計手法に基づき被害を算出する帰納的アプローチ

しかしながらこれらの被害予測手法はいずれも、災害発生前の事前対策を評価・意思決定する予防的アプローチとして用いられることが多いため、想定した災害に対する最適解の対応は事前に導き出せるものの、災害直後に「これから何が起きるのか」といった、実際の災害対応の参考となる情報を与えてくれるものでは必ずしもなかった。

他方で近年、災害直後にモバイルデータや SNS データ、センサデータなどを用いることで、リアルタイムに社会の状況を把握しようとする、いわゆる「時系列ビックデータ解析」が精力的に行われている。これらは情報化社会におけるデータ量の飛躍的な増大を背景とし、スマートシティ化の進展もあいまってますます大規模センサネットワークから得られる情報量は増大するものと見られるが、現在のところ防災利用に限っては、学術的にも実用的にも「可視化」と「異常検地」の域を脱しておらず、効果的な災害対応に生かされていない。

一方で、近年では防災科研などによる「SIP」などがその代表例となるが、「即時に被害を予測する技術」の開発は過去よりわが国で継続的に行われてきた。これらの研究はおおむね、災害直後に揺れのデータや地域データ・モバイルデータなどを用い、すでに知られているいくつかの被害予測式とパラメータから被害予測を行う仕組みとなっており、時間経過に伴って最新の観測情報を得て被害予測を更新することで、最終的に被害を量的にかつ精緻に予測することを目的としたものである。しかしながら、このような「精緻な予測」を目的としたシステムが、効率的な災害対応に必ずしも応用できているわけではない。

本研究は、上記に示した従来の各被害予測技術の限界、ひいては経験や勘によらない災害対応科学の不在を学術的背景とし、精緻かつ量的なリアルタイム被害予測手法のみからの脱却を目指すべく、これまでの方法論とは全く異なるアプローチによる被害予測手法を提案する。

### 【行った研究の内容】

上記の背景を踏まえ、本研究では「巨大災害に対しても先回りで素早い災害対応を可能とする社会」を導き出すべく、災害が発生して即時にこれから起きる事象を次々に予測する、将来事象予見型の新しい被害予測技術に関する理論を構築した。これは事前に災害を想定してその対応を準備する、地域防災計画に代表される決め打ち型災害対応とは一線を画すもので、なおかつ被害を精緻に量的に予測することを一義的な目的にしていた従来の「リアルタイム被害予測」とも全く異なる方法論である。提案手法は、下記に示す 2 種類の内容に大別される。

- ① 多種多様なビックデータと得られた一部の被害情報を数理工学的手法によってデータ同化して被害の全体像を把握する。つまり災害発生直後にリアルタイムで「どこで何が起きているか」を把握する方法論(リアルタイム被害像予測手法)
- ② 過去の経験から、将来にどのような事象が発生するかを定性予測する。つまり災害発生直後にリアルタイムで「これから何が起ころか」を予測する方法論(災害因果データベースによる将来事象予見手法の開発)

特に後者の作業により、わが国がこれまで幾度なく繰り返してきた災害の因果や災害対応の経験が結集される。これは災害因果データベースというビックデータとも言え、経験の浅い担当者のもとより、地域によっては未経験の現象などもふくめ、災害の特徴に合う形で最適な対応が示唆される。この手法は経済学分野で不況等を予見する目的で一部研究が進められているが、防災分野では国内外でいまだ行われておらず、独創性・新規性を有する。また本提案手法の確立はデータサイエンスを用いた効率的な災害対応を実現するものであり、将来的には、行政対応のみならず企業や個人への展開が期待され、あらゆる主体の災害対応行動を抜本的に効率化することを可能とする。本研究は、ケーススタディとして地震を対象とし、建物被害と火災被害に焦点を絞り、上記の基礎的手法を確立した。詳しい内容を下記に示す。

### 【研究テーマ① リアルタイム「被害像」予測手法の開発】

巨大災害時は、災害直後に被害が甚大なところほど災害情報が得られず、被災の全体像が掴めないという問題が知られている。これは阪神・淡路大震災時より学術的にも「情報の空白域」と呼ばれているが、近年の SNS の普及によって、利用者が被害情報や支援情報を示すことでその解決に繋がるものと期待されていた。しかしながらこの情報は偏りが大きく、また膨大な情報の中からこれらを探索する必要がある、被害情報の収集や支援ニーズを把握するには十分な方法論とは現状でなり得ないことが東北大学佐藤らにより明らかにされている。

本研究の①ではこのような課題も踏まえ、下記の手順で、被害の全体像を即時予測する理論を構築した。

- ① 災害直後、揺れのデータ、モバイル空間データ、センサデータ、建物などの地域データなどを用いて、既知の被害予測式とパラメータから、初期値としての被害予測を行う。
- ② 災害から一定時間経過後、得られた一部の被害情報を被害推定に用いて、一番当てはまりのよい被害予測式の係数を推定する。つまり、逐次的に得られる被害データを用いて新しい被害予測式を即時に構築する。ここでは空間的自己相関も考慮し、階層ベイズモデルとマルコフ連鎖モンテカルロ法による係数推定を行い、精度向上を実現する。
- ③ これらのデータ同化手法などを用いることで、被害データが得られていない被害情報の空白域の被害を推定する。さらにこれらを統合して被害の全体像を抽出する。

限定的な被害情報を精緻に予測するのではなく、被害の種類も幅広く予測しようとする点が従来手法との相違点である。本研究では首都直下地震を対象として、倒壊被害・火災被害について情報空白域の被害予測を行った。具体的には人工的に 100 パターンの首都直下地震を発生させ(下図)、その一部の被害データを隠し、残りの被害量から被害予測式を構築し、隠した被害データとの比較を行った。結果として提案手法では、予測しにくい火災被害であっても市区町村ベースで全体の 25%の被害データが得られれば、 $R^2=0.6$  程度の精度で残り 75%の市区町村における情報空白域の被害量が推定できることが明らかになった。

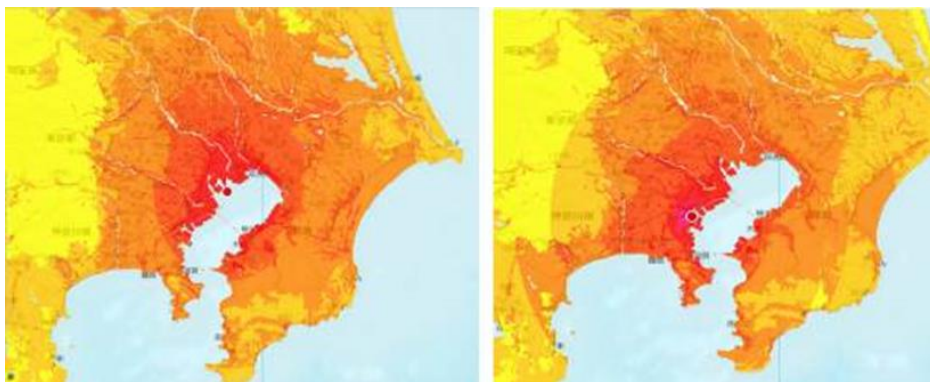


図1 想定した首都直下地震の一部  
(左図:東京湾北部東京湾北部 M7.3 10km、右図:横浜直下 M7.3 10km)



図2 75%欠損の一例(白色)

表 1 未知データ率と決定係数の比較

計算回数	欠損パターン	未知データ率	決定係数 (平均)/建物	決定係数 (平均)/火災
40000回	ランダム	25%	0.96	0.74
160000回	ランダム	25%	0.91	0.64
400000回	ランダム	25%	0.92	0.61
400000回	ランダム	50%	0.76	0.54
400000回	ランダム	75%	0.65	0.59

## 【研究テーマ② 災害因果データベースによる将来事象予見手法の開発】

災害を契機として次々と発生する事象を把握する試みは、これまで主に災害発生後の検証を目的として行われてきた。例えば下図は、阪神・淡路大震災後に研究者らがワークショップを行い、作成した災害関連図である。これは災害に伴って発生した事象が、どのような事象を生み、更にもその事象がどのように関連していくかの「因果」をまとめた図であるが、本研究の②では、このような過去に知られている災害時の現象間の因果をもとにして災害因果データベースというビックデータを構築し、より詳細な災害関連図をリアルタイムで作成する理論を構築した。ここでは作成の一例として、日本語テキストからの因果関係の抽出を対象として研究をすすめた。具体的には、朝日新聞のデータベースを用い、阪神・淡路大震災に関する記事を全て抜き出したのち、災害に伴って発生した物理現象や社会現象の因果を自動的に抽出している。

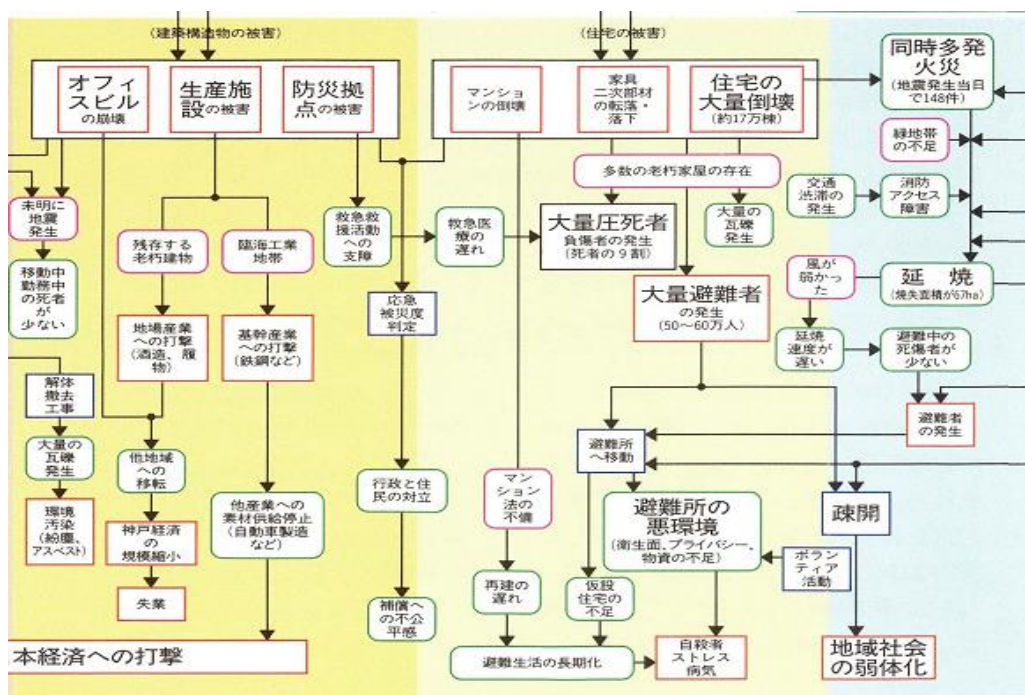


図3 阪神・淡路大震災時の災害関連図(「自然災害科学」より引用)

具体的には、

- ① 新聞記事で災害事象の因果関係がどのような表現で記述されているのかを調べ、
- ② これらを自動抽出ルールとして整理したうえで検証を試み、
- ③ 災害事象の因果データベースを拡充する道筋をつける

という順序で作業を行ったが、これにより、朝日新聞の全ての記事を対象として災害発生後の因果関係をデータベース化し、災害関連図を構築することが可能となった。

一例を示すと、下図は上記の因果データベースを作成したことで得られた「停電」に関連する災害関連図である。このように、防災研究者らによるワークショップなどでは把握できない詳細な因果が、新聞データなどの自動抽出によって膨大に得られた。つまり、この手法を用いることで、災害に関する阪神・淡路大震災時の膨大な因果を示すビックデータが整備できたことになる。

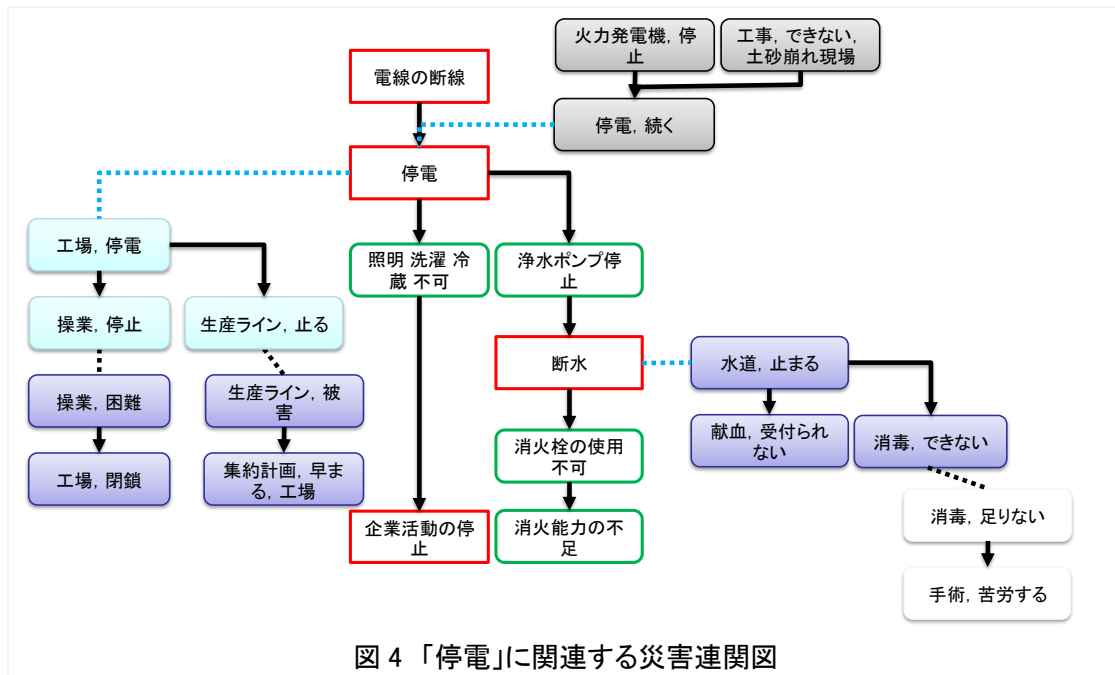


図4 「停電」に関連する災害連関図

### 3. 今後の展開

今後は本研究で対象とした建物倒壊と火災被害に加え、津波や液状化、風水害も含め、災害を起因として連関していく物理・社会現象の予見を即時に行う。また、上記②については、既に行った朝日新聞からの因果データベース構築のみならず、放送原稿や他の新聞、災害教訓集、報告書、そして専門家へのヒアリングなどあらゆる素材・あらゆる災害を対象として、より広範かつ詳細な災害事象の因果関係を抽出する。それとともに、ここで作成した災害因果データベースに、発生場所、発生時間、発生条件、行われた災害対応などの付加情報を紐づける。これにより上記①と②が結び付けられ、災害直後に即時予測した被害像をもとに、将来に発生する事象を予見し、いつ、どのような災害対応を行えばよいかを示唆する具体的なシステムを構築することが可能となる。また将来的にこの方法論は、行政の災害対応のみならず、企業別にまた個人別に各人の状況・環境を踏まえて災害後に直面する将来事象を予見する技術へと展開される。また本研究は近い将来、災害多発国であるわが国特有の技術として国外への技術移転が期待されるが、その際は、自然災害のみならずテロやパンデミックを対象とした将来事象の予見を目指す構想を持っている。

### 4. 自己評価

さきがけ研究をすすめる上で、実務者へのヒアリングなどの機会を設けていただき、研究の内容が大きく変わった点は非常に有意義であった。現状で研究成果が社会に有用な技術とはなっていないが、これまでにない新しい被害予測研究の理論構築が出来たものと考えられる。ただし、研究の進捗はやや遅かった。

### 5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- |  |
|--|
| 1. 廣井悠, 松原龍, 上園智美, 渡辺竜之:糸魚川市大規模火災における住民の避難行動調査, 都市計画論文集, No.54-3, 2019.  |
| 2. 廣井悠, 齊藤健太, 福和伸夫:巨大災害時疎開シミュレーションの構築と検証 -南海トラフ巨大地震を対象とした疎開行動の量的検討-, 都市計画論文集, No.53-3, pp.897-904, 2018.         |
| 3. 新藤淳, 村上正浩, 廣井悠, 市居嗣之, 宮田桜子, 黒目剛, 虎谷洸:新宿駅周辺地域における帰宅困難者一時滞在施設開支援手法の開発, 地震工学会論文集 2019 年 19 巻 6 号 p. 6_296-6_305. |
| 4. 秦康範, 関谷直也, 廣井悠:2016 年熊本地震における市町村を超える避難行動-人口統計データからの考察-, 災害情報, No.15-2, pp.255-266, 2017.09.                   |

(2)特許出願

研究期間累積件数:0件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

**主な発表**

1. 廣井悠, 細川直史, 鹿島真弓:多様な情報から被害量を即時予測する手法の提案, 日本災害情報学会予稿集, 2019.
2. 廣井悠:リアルタイム地震出火予測手法の検討, 第8回横幹連合コンファレンス論文集, 特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合, 2017.
3. 廣井悠, 松原龍, 有友春樹, 渡辺竜之:糸魚川市大規模火災における避難行動調査, 災害情報学会第19回学会大会予稿集, pp.76-77, 災害情報学会, 2017.

**著作物**

1. 大阪府北部地震と地震火災, 東京消防, 東京消防庁 (2019年6月)
2. 巨大災害時における人口変動の予測技術, 都市計画, Vol. 337, 日本都市計画学会 (2019年3月)

**アウトリーチ**

1. 帰宅困難者対策の展望と企業を核とした防災まちづくり[招待講演], BOCO 防災フェア, 2019.08.02.
2. 大規模災害時の出勤・帰宅困難問題[招待講演], 自治体総合フェア, 2019.05.24.

以上