

# リアルタイム地震速報を用いた県域直接被害額の推計方法 に関する研究

A Study on Estimating Method of Direct Damage in Prefectural Units Using J-RISQ

○崔 青林<sup>1</sup>, 佐伯 琢磨<sup>1</sup>, 崔 明姫<sup>2</sup>, 李 泰榮<sup>1</sup>, 中村 洋光<sup>1</sup>, 臼田 裕一郎<sup>1</sup>  
Qinglin CUI<sup>1</sup>, Takuma SAEKI<sup>1</sup>, Mingji CUI<sup>2</sup>, Taiyoung YI<sup>1</sup>  
Hiromitsu NAKAMURA<sup>1</sup> and Yuichiro USUDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

<sup>2</sup> 立命館大学 衣笠総合研究機構

Ritsumeikan University

Disaster response of wide area and serious earthquake is difficult only by the affected local government. Serious disaster designation or support from the outside are necessary, and it is required the information of direct damage amount caused by the earthquake. However, actual investigation and estimation works tend to be postponed because of human resources shortage soon after disaster. In order to provide the information of direct damage quickly and accurately, this study proposes a simple estimation method of direct damage using J-RISQ (Japan Real-time information System for Earthquake) and verify the effectiveness. As a result, it is confirmed that in the case of the Kumamoto Earthquake, the preliminary report of the direct damage amount (4 trillion yen) in Kumamoto prefecture can be released immediately after the main shock.

**Keywords** : J-RISQ, Seismic Intensity Class, the Amount of Direct Damage, Multiple Regression Analysis, Realtime Estimation

## 1. はじめに

地震災害は地域社会の経済活動に複合的かつ長期的な影響<sup>[1][2]</sup>を与える。地域社会に集積された構造物や社会基盤施設は、市民の生活基盤をはじめ、地域社会の経済活動を支える上で重要な役割を果たす。地震が発生すると、地域社会に下記の2種類の経済的被害をもたらす。一つは「住宅や企業の生産設備、道路といった地域社会の資本ストックの被害（直接被害）」、もう一つは「生産や消費など経済活動の低下といったフロー被害（間接被害）」である。平成23年東日本大震災では、直接被害額は約16-26兆円、間接被害額は6.3-11.3兆円と見積もられた<sup>[3]</sup>。その影響は現在に至っている。

地域経済のレジリエンス向上はフォロー被害の要因にもなる資本ストック（直接被害額）の落ち込み・回復状況を把握することが重要である。地域経済のレジリエンスとは、「自然災害に見舞われた経済が迅速に生産活動を復旧することのできる復元力」<sup>[4]</sup>と提唱されている。つまり、地域経済のレジリエンス向上は資本ストックの落ち込みを減少させ、また、その後の復旧・復興を加速させ

ることで実現できる。今後において発生確率の高い想定地震の直接被害額を把握するためには、地震ハザードや過去の地震災害の知見に基づいた事前予測がすでに行われている。例えば、南海トラフ巨大地震で約169.5兆円<sup>[5]</sup>、首都直下型地震で約66.6兆円<sup>[6]</sup>もの直接被害額が予測されている。

特に広域・激甚地震の場合、被災された地方自治体は政府からの追加的な財政的援助を受けるために、地震災害の災害対応として、実態調査を経て被災状況および直接被害額を積算・報告することが一般的である。被災された地方自治体は、自力で広域・激甚地震の災害対応・復旧・復興を行うことが困難で、政府から追加的な財政的援助等を得る必要がある。その場合、激甚災害の指定<sup>[7]</sup>を受けることが条件となる。ただし、広域・激甚地震は、数十年から数百年の頻度で発生する。そのタイミングや揺れの規模・分布、地域社会の具体的な様相まで考慮すれば、直接被害額等の事前予測値は激甚災害の指定に用いることが極めて難しい。よって、被災された地方自治体等は、激甚災害の指定を受けるために、地震災害の実態調査を

踏まえて、各事業の所管省庁に被害状況を速やかに報告する必要がある。

直接被害額の積算等や各事業の所管省庁への報告が遅くなった場合、激甚災害の指定もその後の復旧・復興も遅れる。関係省庁、財務省及び内閣府が被災された地方公共団体からの報告を受けてから激甚災害の指定について協議する流れとなっている。しかし、災害直後の災害対応の現場においては、被災された地方自治体等が人的リソースを確保できない課題を抱える。結果的には、直接被害額の調査・推計・積算作業が遅れた場合は、その後の復旧・復興も影響を受け、結果的に地域経済の効果的な回復が阻害される要因となりうる。

そこで、本研究では、精度よく迅速に直接被害額を推計するために、リアルタイム地震速報を用いた直接被害額の簡易推計方法の提案を目的とする。また、平成 28 年熊本地震に適用し、熊本県域の直接被害額を推計し、その結果を検証する。

## 2. 研究アプローチ

### 2.1 リアルタイム性を有する直接被害額の推計

地震の計測・観測技術や情報通信技術の進展に伴って、計測震度情報のリアルタイム発信など、災害情報の流通環境が劇的に改善されている。例えば、防災科学技術研究所（以降、防災科研）では、災害発生直後の初動対応の意思決定支援等に資することを目的に、大地震のような広域にわたる災害が発生した場合でも被害全体をリアルタイムに推定、状況を把握することで概観可能なリアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）の開発<sup>9</sup>を進めている。また、J-RISQ の開発には、これまで培ってきた全国を対象とした地震ハザード評価技術や地震観測網データを用いた即時解析技術、地下構造、建物・人口分布モデルなど、被害状況に関する情報を取り込んでいる。特に計測震度情報は、防災科研が整備している全国を網羅する強震観測網（K-NET, KiK-net）を介して、リアルタイムに反映されるようになってきている。

本研究では、計測震度情報を用いた、地震による直接被害額の推計方法を提案すれば、その推計値の災害情報としてのリアルタイム性を保証できる仮説の着想に至った。また、その仮説を検証するために、下記の 3 つ手順で研究を展開する。第 1 に、過去の被害地震のデータベースを用いて、被災された地方自治体の震度階級を考慮した直接被害額の簡易推計モデルを重回帰分析によって構築し、その含意を検討する。第 2 に、平成 28 年熊本地震の地震災害の特徴を踏まえて、リアルタイム性を有する簡易推計方法を提案する。第 3 に、平成 28 年熊本地震を対象とした熊本県の直接被害額を推計し、その精度とリアルタイム性を考察する。

### 2.2 本研究で用いるデータベース

本研究では、谷口<sup>9</sup>、朴ら<sup>10</sup>が整理した昭和 39 年から平成 6 年までの日本国内で発生した被害地震のデータベースをベースに、平成 6 年以降の被害地

震の公開データ<sup>11-17</sup>を加え、計 20 の地震災害事例のデータベースを構築した。ただし、データシートには、津波被害の含まれる地震災害を除外した。また、朴らは、過去の被害地震の直接被害額の内訳を基本的な階層構造の 3 階層 8 項目（表 1）に整理した。本研究では、その直接被害額の内訳を援用する。ただし、地震災害が発生するたびに、様々な研究機関や自治体等から報告書が公表される直接被害額の集計データの区分や項目は必ずしも統一されているわけではない。また、調査する時代、地域や災害の特徴や集計方法の違いにより、それぞれの具体的な内訳が基本的な階層構造のすべて項目を含まれるとは限らない。

表 1 直接被害額の内訳<sup>10</sup>

直接被害額の階層構造			内容
大項目	中項目	小項目	
直接被害額	建築物	建築物	住家、非住家、県営住宅・公営住宅
		都市施設	砂防、海岸、公園などの流通関係以外の土木施設
	社会基盤	流通関係	道路、橋梁、鉄道、港湾、漁港、空港、駅など
		ライフライン	電力、上下水、ガス、通信関係
		医療衛生設備	医療関係、衛生関係
		その他	他に分類されない被害
	産業	農林水産業	農業、林業、水産業関係、関連施設も含む
		商工関係	工業、商業、観光業、関連施設も含む

直接被害額を推計するために、被災地域の経済力を示す指標として、「民力総合指数」<sup>18</sup>を用いた。民力総合指数とは、各地域の生産、消費、文化、暮らしなどの分野にわたって国民が持っている総合的の力を都道府県、エリア（1 都道府県に 3、4 エリア）、都市圏、市町村別に示したものである。民力総合指数の統計方法は、平成 9 年からの市町村合併による行政区域変更、平成 14 年の構成指標の一部の変更、そして平成 19 年の新たに「暮らし指標」の追加、があった。本研究では、改編年度前後のデータ連続性の問題を回避するために、平成 19 年以降のデータを用いた。また、利用するデータに合わせて行政区域や貨幣価値の補正も行った。

## 3. 県域直接被害額の推計手法の提案

### 3.1 直接被害額の推計モデルの構築

ある地域  $i$  における直接被害額  $Y_{ei,kt}$  は、その地域固有の Hazard と脆弱性との積で式 (1) のように表すことができる。具体的には地震動(最大加速度や震度)、津波(最大波高や浸水面積)、二次災害危険度などの Hazard のインパクトの強さ  $N$  と資本ストックの質・量、集積度、産業構造などによる脆弱性  $S_{ei,k}$  との積となる。

$$Y_{ei,kt} = \sum (N \times S_{ei,k}) \quad (1)$$

本研究では、直接被害額  $Y_e$  を目的関数とし、 $\sum S_{e1}$ 、 $\sum S_{e2}$ 、 $\sum S_{e3}$  を説明関数とする重回帰分析を実施した。ただし、 $\sum S_e$  とは、被災された地方自治体の民力総合指数の集計値である。また、 $\sum S_e$  は被災状況を区別するために、それぞれ、被災レベル 1・被災レベル 2・被災レベル 3 の三段階（表 2）に分けて集計した。そして民力総合指数の集計値で、地域社会の資本ストックの脆弱性を表した。

表 3 重回帰分析に用いたデータシート

表 2 被災レベルの設定

設定被災レベル	震度階級	
	1995年まで	1996年以降
1	震度7	震度7
2	震度6	震度6強 震度6弱
3	震度5	震度5強 震度5弱

説明関数の全組み合わせ（表 3）を重回帰分析にかけた結果、今回の地震による直接被害額の簡易推計モデルとして、 $\Sigma S_{e1}$ 、 $\Sigma S_{e2}$  を説明変数とする重回帰モデルを採用した。それは、 $\Sigma S_{e1}$  と  $\Sigma S_{e2}$  を説明変数とする推計モデル（図 1）が各簡易推計モデルの性能を示す統計量の RMSE、AIC、Cp のいずれの結果（表 4）にも支持されているためである。なお、簡易推計モデルを式(2)に示した。

$$Y_e = 41.9 + 65.9 \times \Sigma S_{e1} + 12.1 \times \Sigma S_{e2} \quad (2)$$

$Y_e$  : 地震災害の直接被害額(億円)

$\Sigma S_{e1}$  : 各市町村の民力指数の集計値

(被災レベル 1)

$\Sigma S_{e2}$  : 各市町村の民力指数の集計値 (被災レベル 2)

式(2)の構成を見ると、今回の提案した簡易推計モデルは、震度 6 弱から、直接被害額を推計できることが分かった。その推計値は常数項 (41.9 億円) をベースに、 $\Sigma S_{e1}$  と  $\Sigma S_{e2}$  のそれぞれの直接被害額を足し合わせた合計値となる。なお、 $\Sigma S_{e1}$  の単位指数当たりの直接被害額は 65.9 億円で、 $\Sigma S_{e2}$  の単位指数当たりの直接被害額は 12.1 億円である。また、最大震度 6 弱以上を記録した場合は、 $\Sigma S_{e3}$  の指数の変動が直接被害額  $Y_e$  に影響を与えないと考えてよい。

### 3.2 平成 28 年熊本地震への適用方法

本研究では、本震や余震による建造物の被害状況の相互干渉を考慮せず、震度 6 弱を超えた本震や余震が発生した度に、震度階級に基づきその直接被害額を推計する方法を提案した。「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」(The 2016 Kumamoto Earthquake) は、4 月 14 日 21 時 26 分の前震、さらに 4 月 16 日のもっと規模が大きい本震で震度 7 を記録したなど、強い揺れが連続的に発生したこと<sup>[9]</sup>が特徴と言える。しかし、建造物の設計基準等が基本的に複数回の強震を考慮していない。そのため、震度 6 弱以上の強い揺れが記録したたびに、被災地域の直接被害額も積み重ねると考えられる。一方で、本震や余震など、異なる地震による建造物の被害状況への相互干渉も考えられる。しかし相互干渉の影響を特定できるほど知見の蓄積がないため、今回は相互干渉の影響を考慮しないこととし、互いに独立した事象として捉える。また、推計した各本震や余震の直接被害額を足し合わせた累積値を該当時点での県域の直接被害額の推計値とする。

地震名 ※被害地震ではないもの	対象都道府県	市町村民力総合指数の合計値 (10万比)			直接被害額(千円) ※2011年現在価値
		$\Sigma Se1$	$\Sigma Se2$	$\Sigma Se3$	
昭和53年(1978年) 宮城県沖地震	宮城県	0.0	0.0	270.6	296,978,820
昭和59年(1984年) 長野県西部地震	長野県	0.0	4.2	0.0	44,418,148
平成5年(1993年) 釧路沖地震	北海道	0.0	122.5	135.6	44,737,117
平成7年(1995年) 兵庫県南部地震	兵庫県	1,300.6	44.0	77.2	8,447,411,379
鹿児島県北西部地震※	鹿児島県	0.0	113.5	92.6	20,593,353
平成12年(2000年) 鳥取県西部地震	鳥取県	0.0	183.1	123.4	52,418,892
平成13年(2001年) 茨予地震	広島県	0.0	201.2	1,642.2	4,192,431
三陸南地震※	岩手県	0.0	269.6	745.1	10,876,829
	宮城県	0.0	208.5	837.8	5,098,918
宮城県北部連続地震※	宮城県	0.0	336.4	257.4	59,436,328
平成16年(2004年) 新潟県中越地震	新潟県	241.3	151.4	647.0	2,780,838,156
平成19年(2007年) 能登半島沖地震	石川県	0.0	198.9	106.7	334,042,887
平成19年(2007年) 新潟県中越沖地震	新潟県	0.0	565.5	424.9	1,438,930,363
平成20年(2008年) 岩手・宮城内陸地震	岩手県	0.0	117.5	231.8	28,503,762
	宮城県	0.0	169.3	956.2	116,079,632
	秋田県	0.0	0.0	266.9	2,556,849
平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震	栃木県	0.0	764.6	820.1	674,175,730
	新潟県	0.0	0.0	56.7	29,072,490
	長野県	0.0	0.0	88.6	17,035,459

表 4 各重回帰分析モデルの統計量

モデル	変数数	R2乗	RMSE	AIC	Cp
Se1, Se2, Se3	3	0.9696	3.68E+08	855.570	4.0000
Se1, Se2	2	0.9693	3.59E+08	852.175	2.1800
Se1, Se3	2	0.9552	4.34E+08	859.693	9.5634
Se2, Se3	2	0.0166	2.03E+09	921.487	503.6921
Se1	1	0.9544	4.26E+08	856.904	8.0118
Se3	1	0.0162	1.98E+09	918.328	501.8983
Se2	1	0.0010	1.99E+09	918.634	509.8738

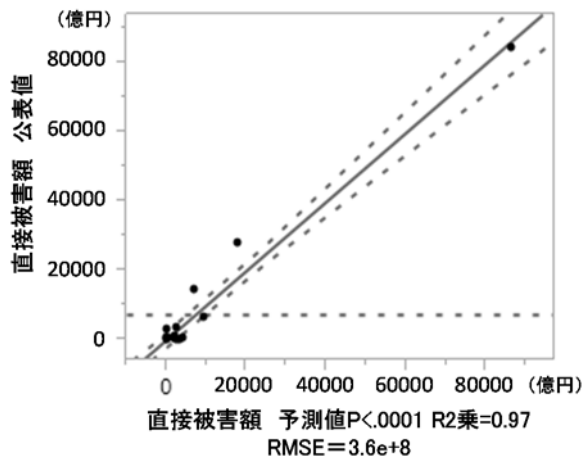


図 1 実測値と予測値のプロット図

## 4. 平成28年熊本地震の推計結果と考察

### 4.1 推計結果

提案した直接被害額の推計方法を平成 28 年熊本地震に適用した結果、熊本県域の震度 6 弱以上を記録した余震と本震による各市町村の震度階級情報をを用いた直接被害額の推計額が、およそ 41,000 億円規模と見積もられた。なお、被災した市町村の震度階級情報は J-RISQ の地震速報の公開情報である計測震度情報<sup>[20]</sup>を用いた。4 月 14 日の余震による熊本県での直接被害額はおよそ 9,358 億円と推計された。また、4 月 16 日の本震による熊本県での直

接被害額はおよそ 16,568 億円と推計された。震度 7 を記録した余震と本震だけでも、合わせて 25,000 億円を超えた。なお熊本県域において、震度 6 弱以上を記録した本・余震（全 8 回）の被災レベルに基づいた推計結果を表 5 に示した。ちなみに、熊本県の民力指数合計は 1563（全国を 10 万とした場合）である。

表 5 県域直接被害額の推計結果(熊本地震)  
※震度 6 弱以上を記録した本震・余震

トリガ時刻	ΣSe1	ΣSe2	県域直接被害額推計値 Ye(億円)	Yeの累積値(億円)
2016/4/14 21:26	21.6	652.3	9358.17	9358.17
2016/4/15 0:03	0.0	592.4	7209.94	16568.11
2016/4/16 1:25	26.1	1202.7	16314.56	32882.67
2016/4/16 1:44	0.0	524.9	6393.19	39275.86
2016/4/16 1:53	0.0	72.7	921.57	40197.43
2016/4/16 3:56	0.0	30.6	412.16	40609.59
2016/4/16 9:48	0.0	43.7	570.67	41180.26
2016/4/18 20:42	0.0	30.6	412.16	41592.42

参考値:  
内閣府の推計値: 24,000~46,000億円(2016年5月27日公表)  
熊本県の推計値: 9月14日時点37,850億円(2016年9月28日公表)

## 4.2 考察

熊本県域の直接被害額の推計値を内閣府や熊本県の暫定公表結果と比較した結果、新たに提案した県域の直接被害額の推計方法が平成 28 年熊本地震を事例とした場合、実際の被害状況を迅速かつ精度よく直接被害額の速報を発信することができることと評価した。内閣府の推計は 24,000~46,000 億円（平成 26 年 5 月 27 日現在）となっている<sup>[21]</sup>。また、熊本県は熊本地震による直接被害額が 37,850 億円（平成 26 年 9 月 28 日現在）と公表している<sup>[22]</sup>。今回の推計値の規模感ほぼ同程度と見てよい。また 4 月 16 日にでも速報値として公開できることから、今回の推計値のリアルタイム性も認められた。ただし、そのリアルタイム性は、強震観測網（K-NET, KiK-net）が被災されずに機能していることによってはじめて保証される。

本研究では、提案した推計方法を平成 26 年熊本地震に適用した結果を踏まえて、下記の 5 点を今後の課題として挙げたい。第 1 に、今後、被害地震の際に、引き続き災害事例データベースの更新と推計方法の検証、第 2 に、県域に加え各市町村レベルの直接被害額の災害事例データベース構築、第 3 に、適切な地域ストック量とそのデータ処理のプロセスの確立、第 4 に、本震や余震間に存在する建造物の被害状況の相互干渉の検証、第 5 に、地震被害をはじめとしたマルチハザードへの対応、である。

## 5. まとめ

本研究では、平成 28 年熊本地震の特徴を考慮した直接被害額の簡易推計方法を提案した。また熊本県の直接被害額を推計し、その簡易推計方法の検証を行った。得られた主な知見を以下に示した。

1) 地域社会の経済活動状況および被災された震度階級を考慮した直接被害額の簡易推計モデルを提案した。なお、簡易推計モデルは最大震度が震度 6 弱以上を記録した地震災害に適用できる。

- 2) 簡易推計モデルを用いた直接被害額の簡易推計方法を提案した。また、平成 28 年熊本地震に適用した結果、熊本県域の震度 6 弱以上を記録した余震と本震による直接被害額の推計額が、およそ 41,000 億円規模と見積もられた。
- 3) 平成 28 年熊本地震を事例とした場合、熊本県域で見積もられた直接被害額の規模感が、本震の 4 月 16 日に速報値として公開できた。

今後の課題として、他の災害地震等が発生した際には、地震による直接被害額の簡易推計方法を適用・検証する。また、地震による直接被害額の簡易推計方法を改良するために、過去の被害災害データベースの構築・拡充、さらに、直接被害額の簡易推計モデルの高度化を検討する。

## 参考文献:

- [1] 中林一樹: 災害が地域に与えるダメージとしての“被害の大きさ”について、総合都市研究 第 5 号, pp.71-89, 1978
- [2] 上野山智也, 荒井信幸: 巨大災害による経済被害をどう見るか阪神・淡路大震災、9/11 テロ、ハリケーン・カトリーナを例として、関府経済社会総合研究所, 2007.
- [3] 内閣府政策統括官室: 東日本大震災によるストック毀損額の推計方法について、経済財政分析ディスカッションペーパー、2011
- [4] Adam Rose: Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions, Environmental Hazards, Vol.7, No.4, pp.383-398, 2007.
- [5] 内閣府(防災担当): 南海トラフ巨大地震の被害想定(第二次報告)、平成 25 年 3 月 18 日発表  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/pdf/20130318\\_kisha.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_kisha.pdf)
- [6] 内閣府(防災担当): 首都直下地震の被害想定(概要)  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/higai\\_gaiyou.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/higai_gaiyou.pdf)
- [7] 内閣府(防災担当): 激甚災害制度について  
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/seido.pdf>
- [8] Hiromitsu Nakamura, Shin Aoi, Takashi Kunugi, Wataru Suzuki, and Hiroyuki Fujiwara: Prototype of a Real-Time System for Earthquake Damage Estimation in Japan, Journal of Disaster Research pp.981-989 2013
- [9] Hitoshi Taniguchi: Development of an Estimation Method for Direct Economic Damage Loss caused by Earthquake,九州大学大学院比較社会文化研究科紀要,第 4 巻,pp.19-26, 1998
- [10] 朴ジョンヨン・崔青林・谷口仁士: 過去の地震・津波の経験にもとづいた被災地経済復興計画立案の分析方法に関する研究、地域学研究第 43 巻第 3 号, pp.291-305, 2013 年
- [11] 岩城秀裕・是川夕・権田直・増田幹人・伊藤久仁良: 東日本大震災によるストック毀損額の推計方法について、経済財政分析ディスカッション・ペーパー DP/11-01 pp.1-14
- [12] 寺崎友芳(日本政策投資銀行): 東日本大震災資本ストック被害金額推計について、2011 年 7 月 21 日
- [13] 武田洋子, 森重彰浩(三菱総合研究所): 東日本大震災の経済的影響, 特別企画震災復興提言論文、No.1, pp.6-26, 2011 年 4 月 8 日
- [14] 気象庁 HP: 災害時自然現象報告書
- [15] 内閣府 HP: 防災白書
- [16] 関西社会経済研究所: 東日本大震災のストック被害額の推計, 2011 年 4 月 8 日
- [17] 国土交通省都市局. (平成 23 年 8 月 4 日). 東日本大震災による被災状況調査結果について (第 1 次報告)
- [18] 民力マーケティング・データベース Web (1989-2015) 朝日新聞出版
- [19] 気象庁 HP: 推計震度分布
- [20] J-RISQ 地震速報 HP: [www.j-risq.bosai.go.jp/report/](http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/)
- [21] 堤雅彦・森脇大輔・田中吾朗・武藤裕雄: 平成 28 年熊本地震の影響試算の推計方法について、経済財政分析ディスカッション・ペーパー DP/16-01 pp.1-23 2016.07
- [22] 熊本県: プレスリリース 2016.9.28