

地震による直接被害額の按分技術の開発
 -平成 28 年熊本地震をケーススタディーとして-
 Development of an Apportion Method for Direct Damage Amount by Earthquake:
 Case Study on the 2016 Kumamoto Earthquake

○崔 青林¹, 花島 誠人¹, 佐野 浩彬¹, 臼田 裕一郎¹
 Qinglin CUI¹, Makoto HANASHIMA¹, Hiroaki SANO¹, and Yuichiro USUDA¹

¹ 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

Disaster response of serious and wide area earthquake is difficult only supported by the affected local government. It is important to grasp the direct damage amount and the overall picture of the damage promptly for disaster designation and support from outside. However, actual investigation and estimation works tend to be postponed because of human resources shortage after disaster. This study develops an apportion method of direct damage amount, and applies to the 2016 Kumamoto Earthquake to present the result of the direct damage amount (published value) of Kumamoto Prefecture which apportioned in 250 m mesh.

Keywords : direct damage amount, building area, seismic intensity level, apportion method, the 2016 Kumamoto Earthquake

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¹⁾²⁾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、人々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「住宅や企業の生産設備、道路などの地域社会の資本ストックの被害（直接被害）」、そして「生産や消費などの経済活動の低下といったフロー被害（間接被害）」を持たらす。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³⁾。その間接被害の影響は現在に至る。

地域経済のレジリエンス向上には、間接被害の要因にもなる資本ストック（直接被害）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」⁴⁾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。

第 3 回国連防災世界会議を経て、採択された仙台防災枠組（2017 年 2 月 2 日）では、災害による直接損失の削減は、グローバルターゲットの一つとな

っている。政府は、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、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をすでに行っている。例えば、南海トラフ巨大地震で約 169.5 兆円⁵⁾、首都直下型地震で約 66.6 兆円もの直接被害額⁶⁾が予測されている。

特に広域・激甚地震の場合、被災し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、地震災害の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。被災した地方自治体は、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なため、政府から追加的な財政的援助等の外部支援を得る必要がある。その場合、激甚災害の指定⁷⁾を受けることが条件となる。また、復旧・復興の政策立案のために、根拠となる実態の状況把握は避けては通れない。よって、被災した地方自治体等は、地震災害の実態調査を踏まえ、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。

迅速かつ効率的な激甚災害の指定やその後の復旧・復興につなげるために、直接被害額の積算だけでなく、その分布を示す必要がある。関係省庁及び財務省、内閣府が、被災し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。また、災害対応やその後の復旧・復興においては、被災した地方自治体

等へのリソースの調達や支援活動を展開する必要がある。このような意思決定の場において、直接被害額の分布も重要な根拠情報と考える。

そこで、本研究では、直感的かつ迅速に直接被害の状況把握技術を開発することを目的とし、地震による直接被害額の按分技術を開発した。また、按分技術を検証するため、平成28年熊本地震における熊本県公表の直接被害額の4分の1地域メッシュ（以降、250mメッシュ）に按分した。

2. 研究アプローチ

(1) 地震による直接被害額の推計

日本では、被災地の復旧・復興のための財政措置は、主に直接被害額に基づいて決められる。地震による経済被害は、直接被害額と間接被害額に分けられる。直接被害額は施設や建物などの被害であり、地域社会の保有する資産ストックの総量と関連する。直接被害額は被災地域を空間的範囲とし、被災した資産ストックの再調達によって、価額（再建価額、保険価額など）を用いて推計できる。なるべく正確な推計を迅速に行うことは政策的にも非常に重要である。

直接被害額に関する推計では、復旧費用・再調達価額・損害保険支払額を積み上げて算出する方法がある。発災してから、調査団による実態調査に基づいた直接被害推計を行う場合は、大規模な調査および膨大なデータ集計を実施し、直接被害額を推計する流れとなる。この方法は集計期間は長い、正確な推定結果が得られ、都道府県または市町村レベルで直接被害額の災害記録として残されている。特に被害の大きかった地方自治体においては、詳細な項目別内訳も公表される場合⁸⁾がある。ただし、項目構成等については、地震災害または被災した地方自治体によって異なる場合がある。なお、過去の被害地震の直接被害額の内訳の階層構造は、3階層8項目となっている（表1）。

内閣府や民間会社が被災地域の資本ストック推定値に損壊率を掛けあわせることで、地震による直接被害額を算出する方法^{9),10),11)}もある。損壊率等の必要な推定用パラメータの設定は過去の地震災害のデータ、もしくはその規模の違いを表す倍率を掛けたもので代用されるが、地震災害規模や範囲・被害量等を一様に考慮した形式を取る。つまり、地震発生後の事態において、即時性を優先させるため、推計の厳密性を犠牲にする側面を持つ。また、推計用パラメータを設定するために、ある程度の実態調査を踏まえる必要がある。

また、既存研究では、過去の被害地震データベースを用いた津波や地震など異なるハザード入力による複合型災害の直接被害額を推計する可能性を示している。谷口は1964年新潟地震から1994年までに日本国内で発生した被害地震のデータを用い、地震による直接被害額の推計モデルを提案している¹²⁾。また、朴ほかは地震と津波のハザードと

しての違いを分析し、津波による直接被害額の推計モデルを新たに提案した⁸⁾。分析に用いた過去の地震災害の直接被害額は、デフレーターを修正を加え、経済価値を統一している。ここでいうデフレーターとは、物価上昇の影響を示す指標で、内閣府国民経済計算の国内総生産（GDP）より算出したものである。

Cuiほかは、災害情報としての即時性と正確性のバランスを重要視し、地震による直接被害額の推計モデルを構築した¹³⁾。広域・激甚地震において、被災地域の地方自治体ができるだけ早い段階で公表できるように、被害地震データベースに対して、1995年以降の被害地震を追加し、地震と津波による被害を区別できない被害地震を除外した、そのうえで、地震の被災レベル（表2）を説明関数として、直接被害額の公表値を目的関数に、重回帰モデル（式(1)）を提案した。

$$Y_e = 41.9 + 65.9 \times \Sigma Se_1 + 12.1 \times \Sigma Se_2 \quad (1)$$

Y_e : 地震災害の直接被害額(億円)

ΣSe_1 : 各市町村の民力指数の集計値
(被災レベル1)

ΣSe_2 : 各市町村の民力指数の集計値
(被災レベル2)

民力指数（民力総合指数）とは、経済社会活動において、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な力を表すものである。ちなみに、日本全国を10万とした場合、熊本県の民力指数合計は1,563である。

(2) 直接被害額の按分技術の開発

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、国立研究開発法人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、広域巨大地震が発生した場合でも被災状況をリアルタイムに推定し、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

表1 直接被害額の内訳

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
	産業	その他	他に分類されない被害
		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	

表2 被災レベルの設定

設定被災レベル	震度階級		対応とする計測震度
	1995年まで	1996年以降	
1	震度7	震度7	6.5以上
2	震度6	震度6強 震度6弱	5.5以上, 6.5未満
3	震度5	震度5強 震度5弱	4.5以上, 5.5未満

を進めている¹⁴⁾。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、被害状況に関する情報が取り込まれている。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など）を介して、リアルタイムで反映されるようになった。

今後、利用できる被害地震データベースは、さらに充実すると予想される。特に、最近の地震では、地震の特徴を示すマグニチュードや震源パラメータ等が加わり、詳細な情報が公開されるようになってきた。これは、強震観測体制の充実および地震学の研究が飛躍的に進んだ結果であると解釈できる。また、被害地震後では関係する各学協会が詳細な災害調査を行うようになり、直接被害額が段々と公表されることが期待される。

地震による直接被害額の推計モデルに災害特性を示す計測震度を用いることで、迅速かつ精確に直接被害額を情報発信することが可能となった。そこで、本研究ではこれを前提として、県域直接被害額を250mメッシュに按分する技術を開発する。また、具体的には熊本地震の本震の計測震度と熊本県の建物面積の分布を考慮し、平成28年熊本地震による熊本地域の直接被害額を按分する。そのために、Cuiほかの方法を採用し被災レベル別の直接被害額の比を特定する。最後に、2016年熊本地震を対象に、熊本県公表値の直接被害額を按分するプロセスを検証する。

3. 県域直接被害額の按分技術

(1) 按分用データの作成

県域の直接被害額（ Y_e ）を250mメッシュ単位のデータ（ Y_e' ）に変換する方法として、メッシュ単位の建物面積と計測震度で按分計算を行った。地震が発生した際、強い揺れがなければ建造物の被害はない。強い揺れがあっても、表1に示した建造物がなければ、直接被害は発生しない。今回は、社会インフラや産業インフラも生活基盤を支えるものとし、また、生活基盤は、建物の分布によって説明できると仮定した。地震による直接被害額の推計値を按分するために、基盤地図情報（基本項目）に含まれる建物データ（ポリゴン）を用いて、メッシュごとの建物面積データを作成した（図1）。

$$Y_e = \Sigma (Y_{e1}' \times S_1) + \Sigma (Y_{e2}' \times S_2) \quad (2)$$

ただし、

Y_{e1}' : 単位建物面積当たりの直接被害額
(被災レベル1)

Y_{e2}' : 単位建物面積当たりの直接被害額
(被災レベル2)

S_1 : 250mメッシュ構造物面積(m²)
(被災レベル1)

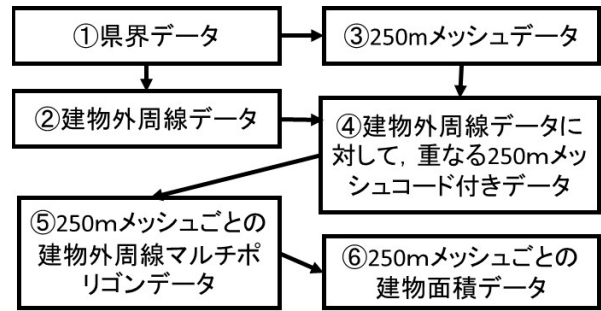


図1 按分用建物面積データの作成(熊本県)

S_2 : 250mメッシュ構造物面積(m²)
(被災レベル2)

(2) 被災レベル別の直接被害額の比

Cuiほかの方法では、地震による直接被害額の推計モデルとして、 ΣS_{e1} 、 ΣS_{e2} を説明変数とする重回帰モデル（式(1)）を採用した¹³⁾。式(1)の構成を見ると、推計モデルは、震度6弱以上から、直接被害額を推計できることが分かった。また、最大震度6弱以上を記録した場合は、 ΣS_{e3} の指数の変動（被災レベル3）が直接被害額 Y_e に影響を与えないと考えてよい。その推計値は、常数項（41.9億円）をベースに、 ΣS_{e1} と ΣS_{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、 ΣS_{e1} の単位指数当たりの直接被害額は65.9億円で、 ΣS_{e2} の単位指数当たりの直接被害額は12.1億円である。震度6弱を超えた地震が発生した場合、単位民力指数の直接被害額の比（ k ）は式(2)となる。

$$k = 65.9/12.1 = 5.45 \quad (3)$$

k : 単位民力指数あたりの直接被害額の比
(被災レベル1/被災レベル2)

本研究では、単位民力指数あたりの直接被害額の比を単位建物面積当たりの直接被害額の比に適用した。つまり、被災レベル1（震度7）の場合は、被災レベル2（震度6弱、6強）に比べて、単位建物面積あたりの直接被害額が式(3)と同様に5.45倍とした。

$$Y_{e2}' / Y_{e1}' = k \quad (4)$$

Y_{e1}' : 単位建物面積当たりの直接被害額
(被災レベル1)

Y_{e2}' : 単位建物面積当たりの直接被害額
(被災レベル2)

式(2)と式(4)を用いると、被災レベル1と被災レベル2それぞれについて、単位建物面積当たりの直接被害額を式(5)、式(6)で計算できるようになる。それを各250mメッシュの建物面積に掛け算することで、250mメッシュごとの按分結果を示すことができるようになる。

$$Y_{e1}' = Y_e / (6.45 \times \Sigma S_1') \quad (5)$$

$$Y_{e2}' = 5.45 \times Y_{e1}' \quad (6)$$

4. 平成28年熊本地震の按分結果

(1) 平成28年熊本地震への適用

本研究では、本震の計測震度を用いて、熊本県の直接被害額を按分した。「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日の本震で震度7を記録するなど、強い揺れが連続的に発生したこと¹⁵⁾が特徴と言える。熊本県は熊本地震による直接被害額が3兆7,850億円(平成26年9月28日現在)と公表している¹⁶⁾。今回は、按分技術の検証として熊本県の公表値を按分した(図2)。

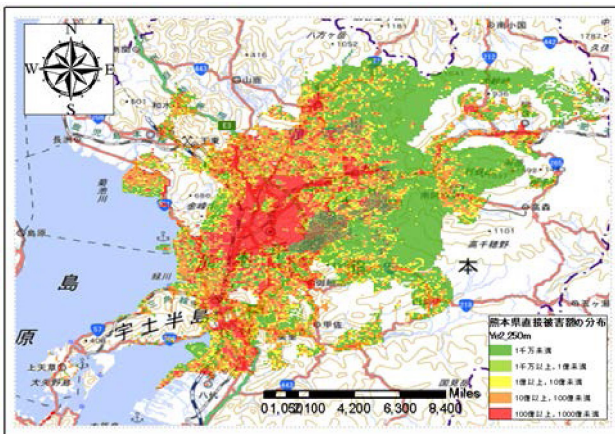


図2 県域直接被害額の按分結果
(平成28年熊本地震@250mメッシュ)

(2) 考察

本研究では、熊本地震の本震の計測震度を用いたため、震度6弱を超えた前震・本震・余震の発生を考慮していない。震度6弱を超えた前震・本震・余震が複数回に発生する場合、それぞれ按分した250mメッシュの直接被害額を足し合わせた250mメッシュの直接被害額の累積値を按分結果として表示できるように改善する余地がある。また、建物を含めた資本ストック(表1)の分布の影響を検討する必要がある。

ただし、強震が複数回の場合、震度6弱以上の前震・本震・余震は互いに独立しない事象として取り扱うことが難点といえる。強震の回数が増えることで、これまでの強震に持ちこたえた構造物もだんだんと危険な状況になりうる。複数回の強震は構造物への影響がまだ明確ではない。また、すでに倒れた構造物の取り扱いも課題である。

今回の按分技術は、リアルタイム性を有する直接被害額の推計モデルと組み合わせることで、被災状況のリアルタイム把握につながる。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。

5. まとめ

本研究では、地震による直接被害額の按分技術

を開発した。また、平成28年熊本地震を対象とした場合、熊本県公表の直接被害額を本震の計測震度を用いた検証を行った。結果、熊本県域の直接被害額(公表値)を250mメッシュに按分し見積もられた直接被害額の分布を確認できるようになった。

今後の課題として、250mメッシュに按分した結果の検証が挙げられる。また、他の被害地震等が発生する想定において、地震による直接被害額の推計モデルと連動した利活用と検証が望ましい。

謝辞:

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人:JST(国立研究開発法人科学技術振興機構))によって実施しました。

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
- 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
- 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) 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
- 9) 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
- 10) 寺崎友芳: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
- 11) 武田洋子・森重彰浩: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
- 12) 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
- 13) Q.CUI, et al. Simple Estimation Method for the 2016 Kumamoto Earthquake's Direct Damage Amount, Journal of Disaster Research Vol, 12 No.sp, pp.656-668 2017
- 14) 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 Vol, 8 No.5 pp.981-989, 2013
- 15) 気象庁 HP:災害時自然現象報告書
- 16) 熊本県:プレスリリース 2016.9.28