

津波地震による被災地域の直接被害額の推計手法について

A study on Estimation Method of Direct Damage Amount by Tsunami Earthquake

○崔 青林¹, 朴 ジョンヨン², 谷口 仁士³
 Qinglin CUI¹, Jungyoung PARK² and Hitoshi TANIGUCHI³

¹立命館大学 グローバル・イノベーション研究機構
 Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University
²立命館大学大学院 理工学研究科
 Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University
³立命館大学 グローバル・イノベーション研究機構
 Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

The scale and affected area of damage by Tohoku Earthquake much exceeded assumption of government and people's estimation. When considering rehabilitation and future's protection against disasters, a simplified and convenience damage estimation technique of is needed. In particular, to correspond to a wide area disaster, it's necessary to consider the regional economic feature and form with different disaster (like seismic ground motion and tidal wave). In this study we propose estimation method of direct damage amount by large compound disaster with the past disaster data, and using the Tohoku Earthquake data published in the present, try improving practical use of estimation method

Keywords :TsunamiEarthquake,Estimation Method,Direct Damage,Tohoku Earthquake, complex disaster

1. はじめに

平成 23 (2011) 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とする M9.0 の国内観測史上最大地震となる東北地方太平洋沖地震が発生した。特に地震による巨大津波は最大で 38.9m に達し、東日本一帯の太平洋沿岸を襲い、岩手、宮城、福島 3 県を中心に甚大な被害を与えた。政府は今回の震災を「東日本大震災」と閣議決定し、その被害は北海道から高知までの 21 都道県に及んでいる 1)。

まだ、今回の東日本大震災は地震・津波の規模も被災範囲も、政府の想定や人々の常識をはるかに超えたものとなった。このような津波地震災害から、被災地域の早期復興やこれからの防災を考える際には、迅速かつ正確に経済的被害(直接被害、間接被害を含む)を把握する必要がある。しかし計量経済学的アプローチを用いた場合は、大規模の調査および膨大なデータ集計を行うため、被災額推計結果は正確に得られる反面、時間にもコスト的にもかかることが最大の課題点でもあった。まだ、これだけ広域にわたっての災害では、被災地域にある各自自治体の経済構成・地域構成特性の違いを考慮した被災額推計が求められる。さらに(津波地震のような)複合的かつ災害特性が異なる自然災害にも対応できる推計方法でなければならない。

そこで本研究では、1960 年チリ津波地震の被災データを活用することで、地震と津波のようなそれぞれ異なる災害特性を考慮しえる直接被害額の推計手法の提案を行う。そして提案した直接被害額の推計手法の実用化について東日本大震災の被災地域の被害報告と照らし合わせて実用化に向けた検討を行う。

2. 関連研究と本研究のアプローチ

地震や津波に限らず各種の災害は被災額が公表され、その額によって災害がもたらしたダメージの大きさを評価している。谷口ら^{2~5)}は地震災害の直接被害額を事前に見積もり、経済的な視点を盛り込んだ防災計画の必要性を提唱している。上野⁵⁾は地域の直接被害と商工関係被害との間に強い相関関係があると指摘した。また、豊田⁶⁾は商工関係部門の直接被害額と間接被害額の関係を阪神淡路大震災の調査で明らかにしたため、方法論としては成立していると考えられる。よって、対象地域の直接被害額が推計できた場合、直接被害(経済ストックへの影響)を用いた地域経済の間接的被害の推計(フォローへの影響)への展開が原理的に可能となった。ただし、その手法は都市型直下地震による災害でかつ津波の複合発生ではないため、東日本大震災の各被災地域への適用について議論する必要があるが、本稿の守備範囲を超えたため詳細について触れない。

谷口ら^{2~5)}は地震動を起因とする直接被害額の算定式を提案されている。津波要因は考慮していない。

$$Y_p = 0.0347 \times Se_{24}^{1.3119} \times I \times (0.03 \times PL + 1) \times \begin{pmatrix} D1 \\ D2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$Se_{24} = 0.0084 \times Se_{10}^{1.0188} \quad (2)$$

$$I = \frac{3}{(1 + 4.61 \times 10^8 \exp^{-3.55I})} \quad (3)$$

ここで、 Y_e ：地震の直接被害総額(兆円)、
 Se_{24} ：民力総合指数(都道府県別、24指標)
 PL ：液状化危険度指数(加重平均PL値)、
 I ：震度補正係数、 Si ：加重平均震度(地震)
 $D1, D2$ ：地震動 Hazard に関する補正值
 $\left[\begin{array}{l} \text{地震動による危険度が主体の場合 } D1 = 1.00 \\ \text{大規模斜面崩壊が発生する場合 } D2 = 4.51 \end{array} \right]$
 以降、式1) 2) 3) をまとめて、地震式と称する。

そこで、本研究はまず津波による直接被害額の推定式の提案を行う。具体的にはまず、過去に発生した1960年以降の被害地震15事例(津波被害4事例を含む)による直接被害額データを収集・整理し、被災地域の社会経済構造との関係性から推計式を工学的経験則に基づき提案する。なお、社会経済構造を表す指標として民力総合指数を用いることとした。被災事例としては、1960年南米チリで発生した地震で三陸沿岸地域(主として大船渡市)に甚大な津波被害を及ぼした地震と1993年北海道南西沖地震による奥尻町の被害を用いる。次に津波地震のような複合型災害に適用するための直接被害額の予測手法を提案する。最後に、2011年の東北地方太平洋沖地震で再び被災した地域に対して、直接被害の推計を行い、各自治体の公表値と比較することで津波地震の推計式の実用化のための検討を行う。

3. 津波による直接被害額推計手法の提案

3.1 津波による直接被害額

本研究では、まず地震による影響が受けていなかった1960年チリ地震による津波被害を対象とし、岩手県の市町村被災統計データ(表1)⁷⁾を用いて、津波による直接被害額の一般式を特定する。そして、過去の地震津波(東日本大震災を除く)の中で詳細な被災記録があって、被災状況が最も大きい奥尻島の直接被災額を参考に津波の高さを取り入れた推計モデルを構築する。なお、すべての被害額データは2010年を基準とした補正值を用いる。また、合併した自治体についてはわかる範囲で、被災データの統合を2010年の自治体単位に合わせた統合を行った。岩手県の被災14市町村の直接被害額と民力総合指数⁸⁾の関係を表すと図4になる。

得られた回帰式を津波の直接被害額の一般式とする。ただし都道府県の場合は式(4)で、市町村の場合は式(5)を用いた係数変換が必要である。

$$Y_{tsu} = 0.0434 \times Se_{24}^{0.9892} \times I_t \quad (4)$$

$$Se_{24} = 0.0084 \times Se_{10}^{1.0188} \quad (5)$$

ここで、 Y_{tsu} ：津波による直接被害額(兆円)、
 Se_{24} ：民力総合指数(都道府県別、24指標)
 Se_{10} ：民力総合指数(市町村別、10指標)、
 I_t ：津波補正係数

表1：岩手県の市町村被災統計データ(1960年チリ津波地震)

被災エリア	大船渡市(旧三陸村を含む)	大槌町	山田町	陸前高田市	釜石市	宮古市	田野畑村	普代村	野田村	洋野町(旧種市町)	久慈市	岩泉町	岩手県全体
民力総合指数	0.342	0.16	0.15	0.23	0.358	0.523	0.02	0.014	0.05	0.193	0.353	0.099	11
2010年基準被害額(兆円)	0.127413	0.028829	0.038704	0.00769339	0.023912	0.031163	0.000703	0.000682	0.003298	0.002964	0.001808	0.000388	0.34461219

3.2 津波高さを要因とした連続補正係数の提案

各自治体の被災額の乖離状況は津波の強度(波高)、浸水範囲や地域の防災力など複雑な要因の影響を受けるもので、それらの影響を考慮した一般式の係数設定により、推計値の補正を行う必要がある。しかし現時点の入手データはまだ津波による直接被害額の乖離の原因を突き止めるほど十分ではないため、詳細の精査は今後の課題とする。

よって、本稿では民力と各自治体の被害額の関係式を用いて影響要因を津波の高さのみとする関係式の連続補正係数を提案する。

まずは津波高さに対応できるように津波補正係数の連続式の提案を行うための基本的な考え方をまとめる。過去の津波被害状況から、津波による被害は2mから発生するため、最小被害値の津波高さを2mとする。また記録がある過去の津波災害の中(東日本大震災は統計データがまだ揃えていないため含まない)で、最も津波被害が大きかった北海道南西沖地震の津波被害(奥尻町)を分析し、推計式の現時点での最大係数補正值とする。

まず、1960年チリ地震の津波被害を表すために、係数範囲が0.0045~0.39190であることから、0.0045の係数補正は津波高2mとする。そして最大被災額である大船渡市の津波高さ5.56mに対して補正係数は0.39190である。もし一般式の定数0.0575を1.00とすれば倍率は0.078~6.82倍の範囲となる。

次には補正係数の最大値を特定する。津波高さは奥尻島の西岸意思の藻内地区の21mと記録された。震源地に近かった奥尻町では地震動の被災だけでなく、それに伴って発生した津波により大きな被害を受け、人的被害に加え物的被害も大きく、被害額は664億円で、この額は被害総額の50.2%を占め、他市町村と比較して群を抜いて大きなものとなっている。

そこで、1993年北海道南西沖地震・奥尻町(地震、津波による火災、液状化、地滑りなど二次災害の複合的発生)の被害額を用いて推計式の最大補正值を特定する。式(1)(2)(3)を利用すると、地震(アンケート震度：5.59)、民力総合指数：0.028)による奥尻町の直接被害額推定値はD2補正で約0.0143兆円であった。そして、直接被災総額から地震による直接被害額推定値を引いた奥尻町の津波被害額=総被害額-地震による直接被害額=0.065756-0.0143=0.051456[兆円]である。奥尻町の場合は津波補正係数が一般式の42倍、大船渡市の5.98倍になることが分かった。したがって、津波高と被害程度の関係性を考慮するために、津波による被災事例から特殊解(表2)として抽出した。

表2：津波被害特徴を表す特殊解の抽出

項目	説明	津波高Ht[M]	It
特殊解2	1993年北海道南西沖地震・奥尻町	21	42
特殊解1	1960年チリ地震津波・大船渡	5.56	6.82
下限値	被害率が2Mから上昇し始める	2	0.078

本研究ではより対応性を高めるために、津波と被害率の関係は被害率 0.0 と 1.0 を漸近線とし、その間を増加する成長関数と似たことを着目し、過去の災害データを用いた津波補正係数の連続式を上記特殊解にフィットするフラジリティ関数として提案する。(式 6 および図 2 に参考)

$$I_t = 41 / \{1 + 1.40 \times 10^4 \exp(-1.59 \times H_t)\} \quad (6)$$

I_t : 津波補正係数
 H_t : 津波高[単位: M]

以降、式 4) 5) 6) をまとめて、津波式と称する。

津波の直接被害額と民力総合指数との関係 1960年チリ地震津波・岩手県

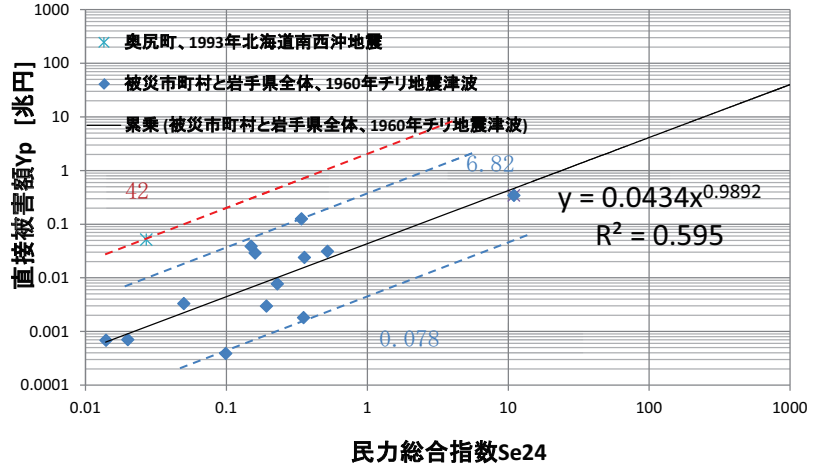


図 1: 津波の直接被害額と民力総合指数との関係

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波高(M)	1	2	4	8	16	32
津波形態	緩斜面	岸で盛り上がる	沖でも水の壁第二波砕波	先端に砕波を伴うものが増える	第一波でも巻き波砕波を起こす	
	急斜面	速い潮汐	速い			
音響				前面砕波による連続音(海鳴り、暴風雨)		
				浜での巻き波砕波による大音響(雷鳴、遠方では認識されない)		
				崖に衝突する大音響(遠雷、発破、かなり遠くまで聞こえる)		
木造家屋	部分的破壊		全面破壊			
石造家屋			持ちこたえる	(資料無し)	全面破壊	
鉄・コン・ビル			持ちこたえる	(資料無し)	全面破壊	
漁船			被害発生	被害率50%	被害率100%	
防潮林被害	被害軽微			部分的被害	全面的被害	
防潮林効果	津波軽減		漂流物阻止	漂流物阻止	無効果	
養殖筏	被害発生					
沿岸集落			被害発生	被害率50%	被害率100%	
打上高(M)	1	2	4	8	16	32

首藤伸夫、平成4年、平成5年

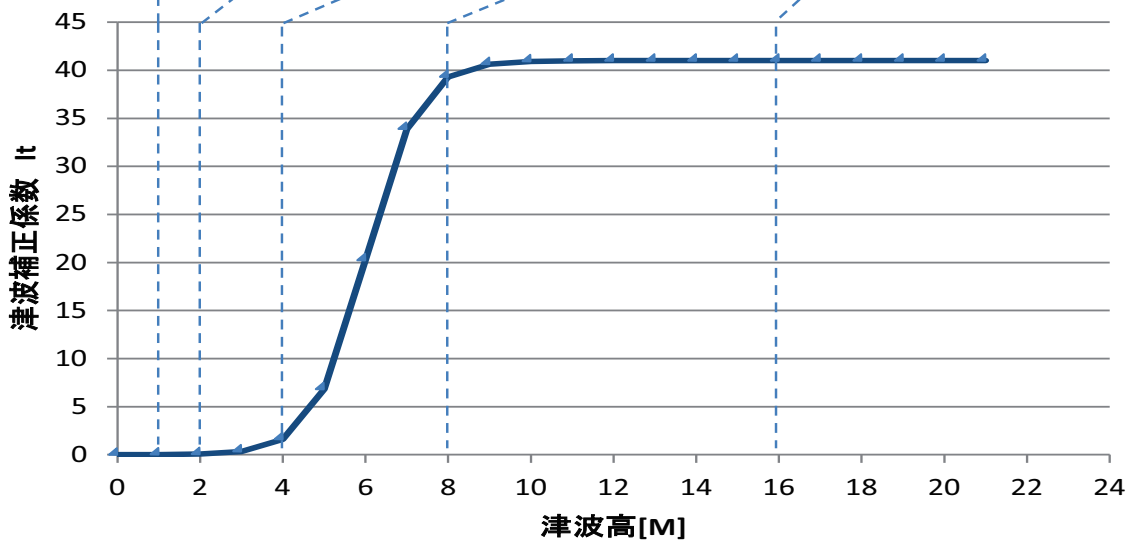


図 2: 津波補正係数の連続グラフと津波破壊力の比較

津波補正係数の連続式を過去の津波被害より経験的にまとめられた津波破壊力と波高との一般的関係と比較してみた。(図 2) 津波が 2 m の時点から、被害が発生し始めて、そして 2 m から 4 m の間は緩やかな上昇となる。

4 m を超えると津波の高さの上昇に伴い、被害額も急激に上昇し、8 m を超えると被害額が最大規模になることが見て取れた。概ね津波破壊力と津波の高さの関係に合致することから、今回の提案した津波補正係数の連続式

の妥当性について検証することができた。

3.3 津波式に関する討論

ここでは過去の津波被害のデータを用いた直接被害額の推計式に関する問題点をまとめた。主に五点に集約できる。1. 今回は日本国内の津波事例に注目してみたが、地震事例と比べて、記録として残ったデータや資料などがかなり少ない。2. 今回の津波は最大規模である可能性があり、過去の事例を利用した推計式では過小評価につながる可能性がある。3. 基本とするデータは 50 年前のもので、家屋や社会インフラなどの防災力が比較にならないほど差がつくため、過大評価につながる可能性がある。よって、東日本大震災の津波被害データを取り入れた推計モデルの再検討と現時点への数値補正と精査が必要である。

3.4 大船渡市の被災データを用いた数値補正について

1960 以降の 16 被災地震データを用いた地震による直接被害額の推計式は比較的にデータ数が多く、比較的新しい災害事例も含まれているため、社会的頑強性や災害の規模の変化による影響がある程度吸収できるとして、津波式の検証を行う。東日本大震災では地震と津波による被害を受けた大船渡市の被災データを用いて、補正の方法を示す。まずは地震式を用いて地震による直接被害額を推計する。大船渡市の直接被害額の公表値から地震式推計値を引く。引いた値を大船渡市の津波による直接被害額とする。最後に現在に対する補正係数 I_n = 大船渡市の津波による直接被害額/津波式試算値で補正係数 I_n を特定する。条件および試算結果を表 3 に示した。よって、津波による直接被害額の現況補正推計式

$$Y_{tn} = I_n \times Y_t \quad (7)$$

4. 複合災害を対象とした直接被害額推計手法

ある地域 i における直接被害額 $Y_{pi,k,t}$ はその地域固有の Hazard と脆弱性ととの積で表すことができる。具体的には地震動(最大加速度や震度)、津波危険度(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、

$$Y_{pi,k,t} = \Sigma (N \times S_{ei,k}) \quad (8)$$

で表される。

異なる破壊特性の持つハザード(地震津波など)が同時に発生した場合は各種のハザードに適した推計モデルを用いて推計する必要がある。そして各推計値の合計値を地域の直接被害額と定義する。

$$Y_{pi} = Y_{ei} + Y_{tni} = Y_{ei} + I_n \times Y_{ti} \quad (9)$$

5. 終わりに

本研究は 1960 年チリ津波地震の被害データを用いて津波による直接被害額の推計式の提案を行った。また現況への適用のための討論を踏まえたうえで、提案した津波式を東日本大震災の被災地である岩手県大船渡市の現時点での被害報告を用いて津波式の現況補正を試みた。まだ地震式と津波式を用いた津波地震による直接被害額の推計手法を提案した。ただし、地震と津波による被害状態の相互干渉を考慮せず、それぞれ別で直接被害額を推計した上で、足し合わせたものを大船渡市の直接被害額の推計値となる仮定のもとで成立する。

本研究は方法論の提示をしたが、これからは東日本大震災の被害データを出揃ってから、津波式も津波式の現況補正係数についてもさらに精査する必要がある。

直接被害に影響する要因は津波高のみとしたが、今後は津波の規模高、浸水範囲や地域の防災力などの要因を総合的に評価し、推計式に取り込む必要がある。また、民力指数を用いたストック量の評価は市町村単位が最小でかつ外国などでは存在しないものであるため、より柔軟的に検討範囲の特定や諸外国の検討事例への適用が難しくなるため、改良する余地がある。

参考文献

- 1) 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現況調査結果について (第 1 次報告)
- 2) 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
- 3) 谷口仁士・鐘ヶ江秀彦：地震災害が地域に及ぼす経済的影響、JCROSSAR 2000、論文集、2000
- 4) 田口明秀；地震による直接被害推定式の開発と東海地震への適用、名古屋工業大学大学院平成 14 年度修士論文、2003
- 5) 上野幸代：地震による経済被害の定量的予測手法の開発に関する研究、名古屋工業大学大学院平成 16 年度修士論文、2005
- 6) 豊田利久：阪神大震災の経済的諸問題、国民経済雑誌、第 173 巻、第 5 号、神戸大学経済経営学会、pp. 1-11、1996.5
- 7) 岩手県大船渡市：1960 チリ地震津波 大船渡災害誌、1962
- 8) 民力マーケティング・データベース DVD-ROM2010 (1989-2010) 朝日新聞出版
- 9) 鏡味洋史、岡田成幸、村上公一、高井伸雄：1993 年北海道南西沖地震の北海道内市町村別震度分布調査、文部省科学調査費突発災害調査研究成果、平成 5 年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究、pp. 39-42、1994.3

表 3：津波式の現況補正シート

市町村コード	市町村名	10指標民力総合指数 全国=100000 (2010)	24指標による 民力総合指数 全国=1000 (2010)	震度	液化化の危険性PL値	大規模な斜面崩壊なし:1.00 あり:4.51	最大津波高さ [m]	地震による直接被害額 [Ye]	津波による直接被害額 [Yt]	地域内の直接被害額 [Yp=Ye+Yt]	現時点での報告値	報告値-地震式推計値	補正係数In
3203	大船渡市	34.2	0.307004741	6	15	1	10	0.034337834	0.552334	0.58667208	0.1077	0.07336	0.132822049