

既往の津波地震による経済的視点からの復興計画の分析

立命館大学理工学研究科博士後期課程 朴 ジョンヨン*

立命館大学歴史都市防災研究センター 崔 青林

立命館大学歴史都市防災研究センター 谷口 仁士

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。被害現況調査結果¹⁾によると、地震による巨大津波は最大で38.9Mに達し、河口近くや平野部では陸地深くまで到達し、浸水区域6県で約535 k m²が浸水し、被災地には大量のがれきが残され、前例のない津波被害の規模となった。

津波被害に幾度となく遭遇してきた三陸海岸の地域では、その教訓に基づいた復興計画によって高台移転を行い、今回の津波被害を軽減した地域が存在している。一方で高台移転を行ったものの経済的利便性から再び低地へ戻ったり、低地に住宅地が形成されたりした事例もある。東日本大震災では再び高台移転が議論されることになる。しかし、これまでの経験から、数十年経つと低地にまた市街地が形成されてくることが予想される。幾度となく津波の被害を受けてきた地域の多くは、自然地形(海と山に囲まれるなど)から、その地域が独立した「ミニ・コンパクトシティ」の体をなしている。例えば、大船渡市や釜石市などがこれに該当している。

津波リスクに直面しているこのような地域における持続可能な社会を構築するためには、コンパクトシティの利点と震災による経済被害軽減の両面を考慮した復興計画の実現が必要である。すなわち、将来に向けた復興計画を立てるためには、将来の津波に対するリスクの軽減と経済発展の両面から考究することが重要である。

本研究では、ミニ・コンパクトシティの体をなしている地域を対象に、津波被害からの復興計画がもたらした経済的損失の軽減額を定量的に予測するため、津波による直接被害額推定式を開発する。現時点で、東日本大震災の詳細な被災データがまだ確定しない状況に先立って、過去に発生した地震事例(津波地震を含む)の被害データ・復興計画・復興プロセスの分析・比較を行い、津波地震による経済被害の特徴(特に津波要因による被害額の抽出)と復興計画およびその実施を促した要因を分析することで、東日本大震災の復興計画の評価手法へつながる手がかりを探ることを目的とした。

2. 研究の流れと用いたデータ

谷口ら²⁾³⁾は地震動および液状化を起因とする直接被害額の推定式を提案しているが、津波要因は考慮されていない。本研究は、この推定式を基本とし津波による直接被害額推定式の開発を行うべく以下のように研究を進む。まず、1960年以降の被害地震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の視点から分析を行った。ただし、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。ここで、被災地の経済被害や立地条件などの特徴からコンパクトシティ化についても考察を加えた。次に、津波被害事例について、多角度に渡る比較分析を行うことで津波被害の特徴や被害規模に影響する要因を明らかにする。特に、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中心に分析を進める。最後に、資料収集・分析から直接被害額の推計式²⁾の改良を準備プロセスとして位置づけ、津波地震による直接被

害額の予測手法の開発を行う。

以上、本研究は過去に発生した15事例地震事例（津波地震4事例を含む）の被害データ・復興計画・復興プロセスから直接被害額と民力総合指数とハザードとの関係を分析し、上記の情報を総合的に考慮した津波地震による経済被害の特徴（特に津波要因による被害額の抽出）と復興計画およびその実施を促した要因を分析すると同時に、津波による直接被災額を予測する算定手法を提案する。そして津波地震による津波被害額の予測を通じた復興計画の評価手法の確立を目指す。

3. 津波地震による経済被害額の影響要因分析

3.1 既往の地震による被害の概要と被害状況から見る津波被害の特性

今後発生が予想される津波地震による直接被害額を推定するためには、過去の事例を参考にするのが最も有効である。しかし、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が、集計データの区分や項目は必ずしも統一的ではない。また、調査する時代によって、項目分けが異なる場合がある。そこで、直接被害額の階層構造（表1）を定義する

本研究では、基本的には自治体からの資料に従い、レベル3の8項目で集計する。資料やデータの記述がレベル3の8項目に集計できない場合は、各項目の上位レベルに合計値として集計する。15事例の被害地震の集計結果を図1に示した。なお、参考のために、東日本大震災による岩手県の推計値（6月6日現在）を参考値として示している。ただし、住家被害額が推計されていないため、全壊・半壊家屋の被害額は1000万円/棟として加算した。

図1に示したように、人やモノが集中している都市地域では、全体に対する構造物被害が占める割合が高くなる「都市型災害」と農林水産関係被害額の占める割合が高い「中山間部や臨海型災害」の特徴が鮮明に出た。しかし、産業被害総額については、どの地震ともその割合は比較的高い数値となっている。

建物被害については、地震ごとに大きな違いが見られた。チリ地震津波では当時の津波への危機意識が比較的低かったこともあり平均高さ 3.7mの津波でも大きな被害となった。この現象は水産業を生業とする経済構造であったため、津波リスクを承知の上で、海岸付近を居住地としていたためと考えられる。こ

表1：直接被害額の階層構造

直接被災額の階層構造			解釈
レベル1	レベル2	レベル3	
直接被災額⑩	①建築物	①建築物	住家、非住家、県営住宅・公営住宅
		②都市施設被害	砂防、海岸、公園などの流通関係以外の土木施設
		③流通関係被害	道路、橋梁、鉄道、港湾、漁港、空港、駅など
		④ライフライン被害	電力、上下水、ガス、通信関係
		⑤医療衛生施設	医療関係、衛生関係
		⑥その他	他に分類されない被害
	⑩産業	⑦農林水産業	農業、林業、水産業関係、関連施設も含む
		⑧商工関係被害	工業、商業、観光業、関連施設も含む

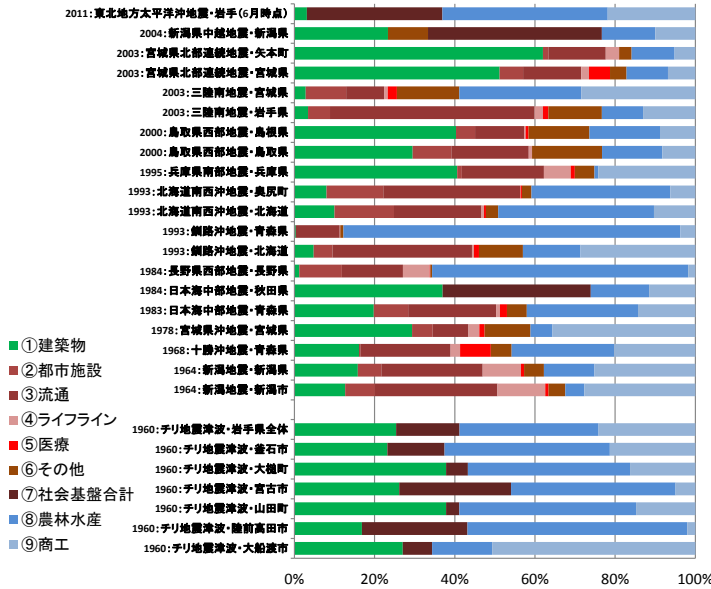


図1：既往の被害地震の直接被害額内訳の比較
(2010年基準の補正值)

の被害教訓を受けて、図2に示したような居住地を高台に移す復興計画が策定された。一方、1993年北海道南西沖地震で被災した奥尻町はもともと住民が少ないこともあって、社会基盤や産業被害より建物被害の割合が低かったと言える。

ライフライン被害については、大規模な液状化が発生した新潟地震（1964）を除き、他の地震ではそれほど大きな被害とはなっていない。そして、ほぼすべての地震において高い割合を占めているのが流通関係の被害である。流通関係被害とは、空港や港湾、駅などの「流通拠点」と道路や橋梁、鉄道などの「流通インフラ」の被害額合計である。山崩れや液状化によって発生する土木施設被害を食い止めることの難しさがよく現れた結果となっている。地震動を伴わないチリ地震津波では津波の高さも低く、結果的に社会基盤の被災割合が低かったと言える。一方で奥尻町では、社会資本ストックの総量が小さい（民力総合指数が低い）が、地震、津波（平均高さ 9.2M）による火災、地滑りなどの複合的被災で、町が壊滅的なダメージを受けた。

津波被害が発生しやすい地域の自然環境は、優良な港とその後背地から形成されている。この、後背地は港と一体となった平野低地であるため、浸水範囲内となれば空間全体に壊滅的被害が発生する(例えば、陸前高田市など)。被災環境は津波の浸水範囲内の社会資本ストックの構成と津波の破壊力（津波の高さ）が重要な指標だと考えられる。

以上より、被災環境によって直接被害額の内訳は大きく異なり、それを明らかにすることでその地域の特徴がよく現れる。すなわち、被災地域の持つ地域特性が被害に影響するといえる。この結果を踏まえ、津波地震の直接被害総額の推定を行う必要がある。

3.2 チリ地震津波による復興計画と東日本大震災による津波被害状況

今回の被災地域である大船渡市は1960年5月のチリ地震津波来襲により、甚大な災害を受けた。当時の被災・復興計画の実態は同市によってチリ地震津波1960大船渡災害誌⁵⁾に詳細にまとめられている。「経済的観点から復興計画の効果分析」という本研究の趣旨からすると、研究事例としての意義がある。ただし、東日本大震災に関する被災データの集計はまだ完了しておらず、ここでは浸水範囲の速報結果¹⁾を利用して、復興計画と津波被災の関係性について定性的に検討する。

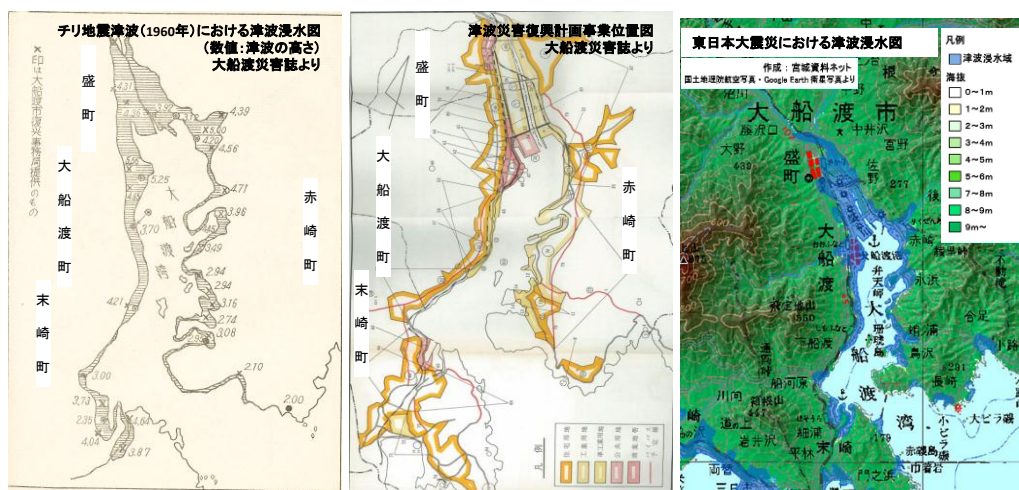


図2：大船渡市の事例

(左：1960年チリ津波における浸水図、中：復興計画事業位置図、右：東日本大震災における津波浸水図・速報)

大船渡市の事例（図2）はチリ地震津波の要因を考慮した住宅地の移転を復興計画事業の中核として位置づけた。今回の東日本大震災では結果としては移転エリアに移ったことで津波被害を受けずに済んだことや、避難できる高台が近いから命が守られたなど復興計画の効果も出た。一方で、予期せぬ巨大津波で、復興計画で指定された移転住宅地にもかかわらず被害を受けたり、また経済的利便性で津波リスクを承知しながら高いエリアで住居を置いたりする事例もあった。全体的に1960年チリ地震の津波被害より浸水エリア（図3）が広がったと見て取れる。また、東日本大震災の津波被害速報の暫定値を見ると、津波高と浸水エリアの面積は大勢的には合致するが、所々で必ずしも比例的ではないところがある。また地域ごとに津波高と浸水面積の関係も違ってくる点についても注意を払う必要があるが、暫定値の確定を待って詳細の分析を行うとし、それまでは津波被害に影響する要素として津波高とする。

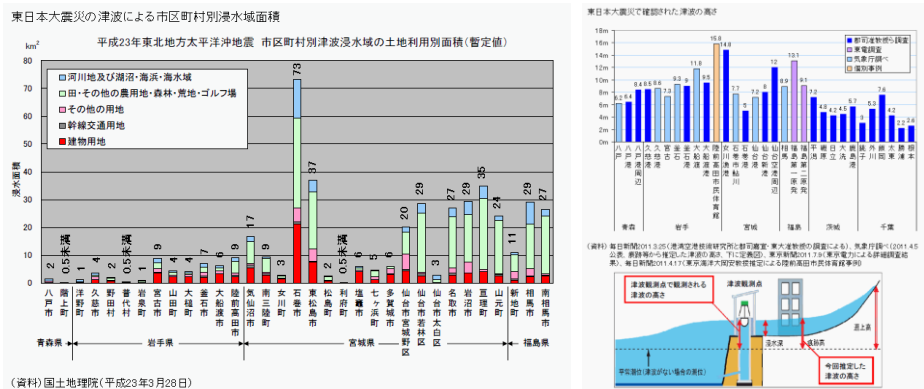


図3：東日本大震災の津波被害状況（暫定値）

4. 津波地震による直接被害額の予測モデルの提案

4.1 先行研究（地震災害による直接被害額の予測モデル）

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、 Sei, k との積、

$$Y_{pi, k, t} = \sum (N \times Sei, k) \quad (1)$$

で表される。

式(1)を地震による直接被害額推定式は、谷口ら³⁾、田口⁴⁾、上野⁵⁾一連の研究によって以下のように提案されている。

$$Y_p = 0.0347 \times Se_{24}^{1.3119} \times I \times (0.03 \times PL + 1) \times \left[\frac{D1}{D2} \right] \quad (2)$$

$$I = \frac{3}{(1 + 4.61 \times 10^8 \exp(-3.5Si))} \quad (3)$$

$$Se_{24} = 0.0084 \times Se_{10}^{1.0188} \quad (4)$$

ここで、 Y_p ：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）

$D1, D2$ ：Hazard に関する補正値

$$\left[\begin{array}{l} \text{地震動による危険度が主体の場合 } D1 = 1.00 \\ \text{大規模斜面崩壊が発生する場合 } D2 = 4.51 \end{array} \right]$$

4.2 津波による直接被害額推定式の提案

本研究では、地震などの影響要因がない 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⁶⁾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、地震津波への適応を試みる。岩手県の被災 14 市町村の直接被害額と民力総合指数⁷⁾の関係を表すと図 4 になる。なお、他の津波被害とも比較するため、すべての被害額は 2010 年を基準として補正を行った。

市町村被災額と民力総合指数の関係(1960年チリ地震津波・岩手県)

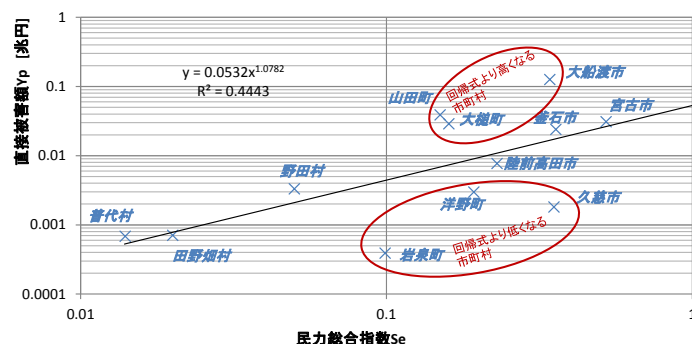


図 4：直接被災額と民力総合指数の関係
(1960 年チリ地震津波・岩手県の 14 市町村)

4.2.1 津波による直接被害額の推定式

ここで、まずチリ地震津波の直接被害データ(岩手県内)と民力総合指数に対して、回帰分析を行う。次に得られた回帰式から乖離する市町村を、低い市町村グループ、高い市町村グループに分けて再分類し、残った市町村を普通市町村グループとする。そして、普通市町村グループを対象に再度回帰分析を行い、得られた回帰式を津波の直接被害額の一般式(図 5)とする。

津波の直接被害額と民力総合指数との関係

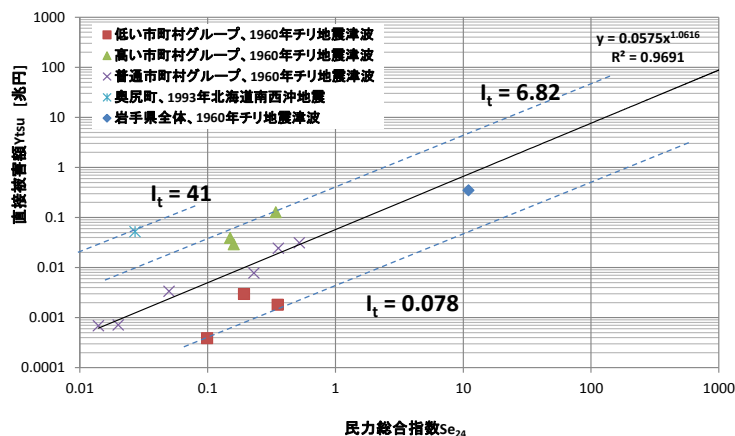


図 5：津波による直接被害額の補正係数の設定

$$Y_{tsu} = 0.0575 \times Se_{24}^{1.0616} \times I_t \quad (5)$$

$$Se_{24} = 0.0084 \times Se_{10}^{1.0188} \quad (6)$$

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

4.2.2 津波補正係数(I_t)の連続式の提案

乖離する市町村は津波の強度(波高)、浸水範囲などによる影響によるものとして、一般式の係数設定(図 5)により、それぞれの状態を補正する。よって、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。一般式の定数 0.0575 を 1.00 とした場合倍率は 0.078~6.82 倍となる。

次に、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)について分析する。式(2)~式(4)を利用すると、地震(アンケート震度：5.5⁸⁾、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41倍、大船渡市の5.98倍になることが分かった。

ここで、津波高と被害程度との関係を考慮するために、以下津波事例を特殊解（表2）として抽出した。

地震と同様に、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なる。本研究では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。（図6）

表2：津波補正係数の特殊解

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

$$I_t=41/ \{1+1.40 \times 10^4 \exp (-1.59 \times H_t)\}$$
 (7)

I_t:津波補正係数

H_t:津波高[単位:M]

5. 終わりに

本研究は既往の地震・津波被害および復興計画の分析を通じて津波地震の特徴や影響要因の特定を行った。また、1960年チリ地震津波の被害データを利用し、津波による直接被害額の推定式の提案を行った。そして津波高に連動する津波補正係数式を提案した。今後の課題としては、東日本大震災の集計データを活用し、補正係数への影響要因の特定および強震や特大津波による各地における直接被害総額への適用が考えられる。また、復興計画に対する政策シミュレーションに向けて、推定式の改良を行う予定である。

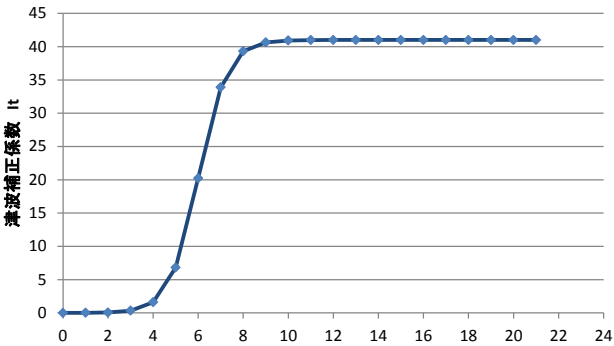


図6：津波高と津波補正係数のフラジリティ曲線

引用文献

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、 JCOSSAR 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) 岩手県大船渡市：1960 年チリ地震津波 大船渡災害誌、1962

7) 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

8). 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