

災害復興計画の実施に伴う経済的被害軽減シミュレーション

Simulation Analysis for the Reduction Economic Damage by Implementation of Disaster Recovery Plan

崔 青林^{*1}・朴 ジヨンヨン^{*2}・豊田 祐輔^{*3}・豊田 利久^{*4}・谷口 仁士^{*5}
Qinglin CUI, Jungyoun PARK, Yusuke TOYODA,
Toshihisa TOYODA and Hitoshi TANIGUCHI

1. 本研究プロジェクトの着目点

1.1 研究目的と必要性

津波被害に幾度とあってきた三陸海岸では、復興計画によって高台移転を行い今回の津波被害を防いだ地区が存在する。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。東日本大震災の津波被害にあった地域では、再び高台移転が議論されている。しかしこ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測される。以上の点を鑑みて、既存研究では取り組まれてこなかった復興計画とその実施を促した要因の経済的損失軽減額のシミュレーションを行う。谷口らはこれまで被災地域における直接被害および間接被害を含めた算定手法を確立してきた。本研究は、これらの知見を津波被害および復興計画という将来の災害被害の緩和策に当てはめる初の研究である。

高台移転が行われ津波被害を防いだ地域がある一方で、低地に住宅地が形成され被害を受けた岩手県大船渡市を対象に、2つのサブ課題に分けて損失軽減額をシミュレーションする。一つは、復興計画という目標自体の経済的損失軽減額のシミュレーションによって、復興計画がなかった場合、現状、復興計画が完全に実施されていた場合の経済的損失額を比較して計画自体の有効性を検証する。もう一つは、計画遵守を促した地域のコンセンサス形成や規範、過去の津波の教訓伝達といった地域に内在している社会関係資本に着目し、オーラルヒストリーの収集を行い、計画実施における役割を検討することによって経済的損失軽減額への効果を明らかにするとともに、それと相関する「社会関係資本指標」を特定することにより、計画遵守の程度の予測を行えるようにする。

上述したように、復興計画による経済的損失軽減額を扱った研究はこれまでなく、本研究が初であることに特色・独創性を見出せる。また本研究は、現在議論されている三陸海岸における高台移転の効果を経済的視点から提言できるだけでなく、防災に着目した復興計画と早期の経済復興に着目した計画の経済的比較などを検証することも可能である。さらに同じリアス式海岸を有し、南海・東南海地震の被害が想定されている紀伊半島などにおいても防災計画や土地利用計画の評価手法を提言することができる。

*1 立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構ポストドクタルフェロー

*2 立命館大学大学院理工学研究科 大学院生

*3 立命館大学大学院政策科学研究科 大学院生

*4 立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構教授

*5 立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構教授

1.2 研究計画と方法

本研究では、復興計画による高台移転によって多くの住民が津波被害を免れた一方で、低地に住宅地が形成され被害にあった岩手県大船渡市を対象に、①復興計画による経済被害軽減額および計画実施における②コミュニティの役割の2つのサブ課題に分けて損失軽減額のシミュレーション分析の実現に目指す。

復興計画という目標自体の経済的損失軽減額のシミュレーション：復興計画がなかった場合（チリ津波時の土地利用計画が踏襲されていた場合）、現状、復興計画の土地利用が完全に実施されていた場合の経済的損失額をシミュレーションすることによって、復興計画が経済的損失をどの程度緩和したのかを間接被害額を含めて推計する。シミュレーションには、過去の域内総生産（GRP: Gross Regional Products）を参考にしたGRPの推移、過去の人口変動を参考にした将来人口の推移、「民力」や現地の行政機関から入手できる各種資料や聞き取り調査などを投入変数の情報源として用いる。

地域に内在している住民間関係の価値：1960年のチリ津波、今回の地震の両方を経験している住民や市の関係者から土地利用に関するオーラルヒストリー（インタビュー形式）を得、土地利用や移住の変遷を記録し、その年表を作成する。その中で、高台への移転に伴う住民間のコンセンサス形成、低地に再び戻った理由、戻ることを躊躇させた理由、そして新住民が低地に住み着いた理由や高台への居住を決定した理由のうち、居住コミュニティの規範や過去の津波の教訓を活かしたコミュニティ活動などに関する理由を抽出し、統計的にどれほどの人数の住民へ影響を与えたのか推計する。そしてサブ課題①でシミュレーションした経済的損失軽減額を参考に、計画遵守の側面から、コミュニティの社会関係資本の役割を検討するとともに、その計画遵守を予測できるアンケートで容易に測定することができる社会関係資本指標を特定する。

1.3 本研究報告について

本研究プロジェクトの報告書（以下本報告書とする）は印刷製本の関係で、報告書のとりまとめのタイミングはまだ研究進行中の段階である。従って、本報告書の内容は主にまとめる時点までの研究活動状況および研究成果を反映したものだとご理解いただければ幸いである。

2. 東日本大震災の概況と本プロジェクトの課題整理

2.1 東日本大震災の概況

被災地域へ与える経済的ダメージを増幅した理由は地震と津波の複合的かつ広域的発生であると考えられる。それを誘発した原因の観点から今回の地震の特徴は主に以下の3つにまとめられる。1) 観測史上最大のマグニチュード：日本国内観測史上最大で、アメリカ地質調査所（USGS）の情報によれば1900年以降、世界第4位の地震規模（マグニチュード）だった。断層の破壊が始まった震源地は三陸沖だが、最終的に断層が破壊した震源域は三陸沖から茨城県までの南北約500km、東西約200km（気象庁）の広範囲にも及んだ。2) 複雑な断層破壊：震源となる断層面が数分にわたり複雑に破壊し、最大のすべり量は約30mであったと推測されている。気

象庁の分析によれば、断層の破壊は宮城県沖から始まり、2回にわたり20m以上の大きな断層のすべりが生じた後に、約100秒遅れて茨城県沖でも10mを超えるすべりがあったものと推測されている。主な破壊継続時間は約160秒であったと推測されている。³⁾**4つの震源域の運動**:政府が個別に発生を想定していた4つの震源域が連動した。地震調査研究本部(文部科学省)は、過去に発生した地震に関する調査研究成果に基づき、三陸沖から房総沖まで発生する地震の評価を行ってきた。今回の地震は、三陸沖南部海溝寄り、宮城県沖、福島沖および茨城県沖にまたがり、連動して発生したと考えられている。政府の想定では事前に、三陸沖南部海溝寄り、宮城県沖の連動は想定されていたものの、4つの領域の連動は想定されていなかった。また、福島県沖と茨城県沖は過去にマグニチュード8クラスの地震の発生が知られておらず、想定されている地震規模は比較的小さいものだった。

上記の理由で結果的に東北地方をはじめとする東日本各地での極めて大きな地殻変動と広範囲での強い揺れと大規模な津波の発生につながった:気象庁によると、震度5強以上は青森県から静岡県まで15都県、震度6弱以上は岩手県から千葉県まで8県で観測された。震度6弱以上の範囲は南北約450km、震度6強は南北約300kmで、近年発生した内陸の地震と比較してその影響範囲の違いが顕著である。なお、福島、栃木、群馬、茨城、埼玉、千葉の各県で震度6弱以上を観測したのは1926年以降初めてである。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。被害現況調査結果によると、地震直後の津波は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535km²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。

2.2 本研究プロジェクトの課題整理

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、時間と費用がかかることが最大の問題点でもあった。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。

3. 本研究プロジェクトで行われた主な研究調査活動

本プロジェクトでは上記のような課題を最優先に取り込み、想定災害が被災地での災害特徴を把握したうえで、経済的被害額の推計式を開発する。そのために、大きく二つの研究トピックで研究を進めようとした。一つは被災地の現地調査である。被災の記憶が薄れる前に記録すると同時

に、現地調査を通じて被災状態を把握し被災特徴の分析を行うことで、災害の発生が被災地へ経済的影響を明らかにし、自然災害による各地域での直接被害額の各産業への波及効果を検討するための基礎的調査も行う。そしてもう一つは過去の津波地震の被災記録を活用し、工学的アプローチを用いた直接被害額の推計モデルの提案である。

研究トピック1では特に観光産業に焦点を絞り、観光産業の復興に深く関わる文化財の被害状況を把握する実態調査を行った。2011年3月11日に起きたマグニチュード9.0の東日本大震災では、前震、本震、余震と大規模に発生し、その影響が広範囲に及んだ。それに伴い文化財への被害も2012年2月9日現在、阪神淡路大震災以降の主要地震による被害を大幅に上回っている。本プロジェクトでは東日本大震災から約40日後に訪れた現地の文化財被害調査を行った。2011年4月22日～25日にわたって、岩手県南部および宮城県北部に位置する12カ所計25件¹の国宝、重要文化財(建造物)、登録有形文化財(建造物)などについて、被害の実態を記録した。詳細は第4章にまとめた。記録は、外部および内部からの被害の目視確認、(一部)文化財関係者への聞き取りによって実施した結果をまとめた。ただし、間接的被害への影響を明らかにするためには、これから

継続的な定期調査の実施も
重要である。

また、研究トピック2では、
地域特徴および津波地震の
発生や被災状況を記録する
史料データを収集するため
には2011年11月3日～5
日と2011年12月12日～16
日計2回の東北調査を行い、
書籍・文献や資料の収集を
行ってきた。主な資料リストを
表3-1,3-2に参考されたい。
なお津波による直接被災額
の推計に関わる内容は第5
章にまとめた。

表3-1 東北調査の入手資料リスト(2011年11月3日～5日調査分)

2011年11月3日～5日東北調査の入手資料リスト
東日本大震災全記録-被災地からの報告-255ページ 河北新報社
3.11東日本大震災:1か月の記録特別縮刷版 2011.3.11-4.11紙面集成 223ページ 河北新報社
宮城の水産業 宮城県 平成21年度
建築産業支援パッケージ改訂版 宮城県
石巻 広域都市計画 基本方針 概要版
宮城県史復刻版(災害) 昭和62年八月20日
石巻市史 第二巻 地震、海嘯関係
気仙沼市史 I 自然編 災害関係
78宮城県沖地震災害の概況 -応急措置と復興対策- 昭和53年12月
昭和35年5月24日 チリ地震津波調査報告 宮城県 昭和36年3月
チリ地震津波災害写真広報
平成20年岩手・宮城内陸地震からの復興に向けて 宮城県 平成21年12月
宮城県津波被害想定調査に関する報告書(概要版)宮城県地震・津波調査委員会 昭和63年3月
平成18年度観光動態調査報告書 宮城県産業経済部観光課 平成19年3月
昭和53年度宮城県歳入歳出決算概要書・付属書 宮城県
昭和54年度宮城県歳入歳出決算概要書・付属書 宮城県
昭和55年度宮城県歳入歳出決算概要書・付属書 宮城県
宮城県震嘯関係方面図12ページ、コピー 宮城県立図書館
宮城県海嘯誌、コピー 宮城県立図書館
宮城県昭和海嘯誌、コピー 宮城県立図書館

¹ 複数の文化財が同じ敷地内にある場合は、まとめて1つと数えているため、12カ所で25件となる。また、25のうち1件、石巻市にある稱法寺は文化財としての指定を受けていないものの、歴史文化的価値が非常に高く、他の文化財被害傾向の考察にも示唆を与えるため、本調査報告に加えた。

表 3-2 東北調査の入手資料リスト(2011 年 12 月 12 日～16 日調査分)

2011年12月12日～16日東北調査の入手資料リスト	
宮城県市町村要覧 平成16年版 宮城県総務部市町村課	
市町村図S25年、H15、H17、H18、H21年	
宮城県の商圏 消費購買動向調査報告書 平成21年3月 宮城県	
平成12年 宮城県産業連関表(経済波及効果分析ツール) 平成17年3月	
宮城県企画部統計課	
仙台平野の歴史津波 飯沢勇義 本田印刷(株)出版社	
東日本大震災の教訓 土木編 インフラ被害の全貌 日経コンストラクション編	
東日本大震災復興支援地図 昭文社	
大船渡市立博物館研究報告 三陸沿岸地震・津波年表 1990年3月31日	
日本被害津波総覧 1985年11月25日 渡辺 健夫 津波M3以上の分 コピー	
近代日本津波誌 山下文男 1984年4月1日 歴世地震・津波誌略年表	
東北地方に来襲した日本付近の地震津波 昭和55年3月 仙台管区気象台	
歴史津波とその研究 1981年1月 三陸沖歴史津波の規模と推定波源域	
三陸大震災史 三陸大震災史刊行会 昭和8年4月15日 友文堂書房	
日本歴史地図 1956年8月10日	
河北新報 データベース 2011.04.11～ 約A4用紙250ページ (検索キーワード: 東日本大震災 被害額) (検索キーワード: 東日本大震災 避難)	

4. 東日本大震災に伴う岩手県南部・宮城県北部における文化財被害の特徴

豊田 祐輔^{*1}・谷口 仁士^{*2}・樋本 圭佑^{*3}・田中 啓義^{*4}

4.1 はじめに

2011年3月11日、三陸沖で高い確率で起こると予測¹⁾はされていたものの、その予測規模を超えるマグニチュード9.0という巨大な地震が発生した。本震の前々日、前日に発生した前震を前震と認識するのが困難²⁾なほど、前震、本震、余震と大規模に発生し、その影響が広範囲に及んだ。それに伴い文化財への被害も2012年2月9日現在³⁾、阪神淡路大震災以降の主要地震による被害を大幅に上回っている。

本稿は、文化財被害などは記憶が薄れる前に記録する必要があるという認識から、この大地震(以下、東日本大震災)から約40日後に訪れた現地の文化財被害調査の報告である。2011年4月22日～25日にわたって、岩手県南部および宮城県北部に位置する12カ所 計25件²⁾の国宝、重要

*1立命館大学大学院政策科学研究科 大学院生

*2立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構教授

*3京都大学防災研究所助教

*4立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構教授

²⁾複数の文化財が同じ敷地内にある場合は、まとめて1つと数えているため、12カ所で25件となる。また、25のうち1件、石巻市にある稱法寺は文化財としての指定を受けていないものの、歴史文化的価値が非常に高く、他の文化財被害傾向の考察にも示唆を与えるため、本調査報告に加えた。

文化財(建造物)、登録有形文化財(建造物)などについて、被害の実態を記録した(図4-1)。記録は、外部および内部からの被害の目視確認、(一部)文化財関係者への聞き取りによって実施した。

4.2 多くの文化財に被害を与えた東日本大震災

表4-1は阪神大震災以降に発生した主な地震(名前がついた地震)による文化財被害である(国指定のみの件数であったり、文化財全てを含む件数であったりする)。東日本大震災で被害を受けた文化財は計744件³⁾とこれまでの地震をはるかに上回る被害となっている。全国の文化財分類別、および県別の被害件数は表4-2、表4-3

の通りであり、特に多くの重要な文化財が被害を受け、その被害は東日本だけにとどまっていることがわかる。このうち、岩手県では68件、宮城県では89件の文化財が被害を受けている。また、津波の浸水域にあった文化財(国宝、重要文化財、登録有形文化財「建造物」)は現地調査時点で19件であり、ほとんどが何らかの被害報告を出した(表4-4)。

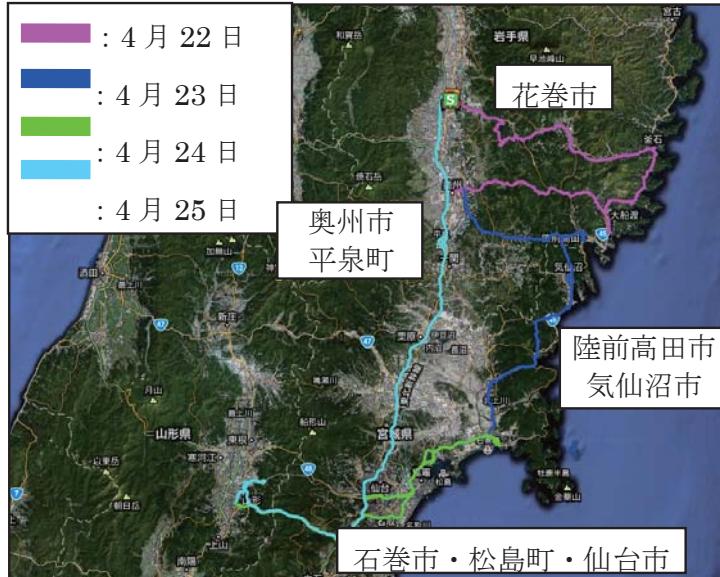


図 4-1 文化財被害調査における移動の軌跡

表 4-1 主要地震による文化財被害

発生日時	地震名	マグニチュード	全壊住宅	文化財被害件数合計	備考
1995年1月17日	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災) ⁴⁾	7.3	104,906	173	文化財等 うち、国指定116
2001年3月24日	芸予地震 ⁵⁾	6.7	70	40	文化財等
2003年9月26日	十勝沖地震 ⁶⁾	8	116	5	文化財等
2004年10月23日	新潟県中越地震 ^{7) 8)}	6.8	3,175	20	文化財等
2007年4月15日	能登半島地震 ⁹⁾	6.9	686	16	国指定 10 国登録 6
2007年7月16日	新潟県中越沖地震 ¹⁰⁾	6.8	1,331	26	文化財等
2008年6月14日	岩手・宮城内陸地震 ¹¹⁾	7.2	30	30	文化財等
2011年3月11日	東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) ^{3) 12)}	9.0	128,582	744	文化財等(内訳は表2を参照) (2012年2月9日現在)

*平成 12 年鳥取県西部地震の文化財被害データは入手できなかったため割愛

表4-2 東日本大震災による
各文化財の被害³⁾

文化財分類	件
国宝	5
重要文化財	160
特別史跡	6
史跡	90
特別名勝	5
名勝	17
天然記念物	16
重要伝統的建造物群 保存地区	6
重要有形民俗文化財	1
その他	445

*重複指定があるため、
合計とは一致しない

表4-3 都道府県別文化
財被害³⁾

都道府県	件
北海道	0
青森県	10
岩手県	68
宮城県	89
秋田県	11
山形県	20
福島県	76
茨城県	182
栃木県	87
群馬県	60
埼玉県	25
千葉県	38
東京都	47
神奈川県	12
新潟県	3
山梨県	10
長野県	1
静岡県	3
三重県	1
高知県	1

表4-4 津波浸水域内の文化財件数 (2011年4月8日現在)

都道府県	件	津波浸水域文化財件数(建造物のみ)		
		浸水域内 文化財 件数	うち被害 文化財件数 (2011年 4月8日現在)	県内被害 文化財 総数
岩手県	国宝	0	0	0
	重要文化財	0	0	12
	登録有形 文化財	4	4	8
宮城県	国宝	0	0	2
	重要文化財	1	1	15
	登録有形 文化財	11	9	15

*浸水域内文化財の特定には文化財文化財位置情報¹³⁾、および東京大学沢田・竹内研究室¹⁴⁾の津波浸水域情報を利用

**被害文化財件数は、文化庁提供データ(2011年4月8日現在)および現地調査結果を利用

表4-5 現地調査対象文化財一覧表¹³⁾

	文化財名称	文化財分類	建築	所在地	本震の震度 (最高の震度観測点)	構造	現地調査による被害報告
1	男山本店店舗	登録有形文化財 (建造物)	1931年頃	宮城県気仙沼市	6弱 (気仙沼市赤岩)	木造、鉄板葺	1・2階が倒壊
2	角星店舗・ 角星旧酒造工場	ともに登録有形文化財 (建造物)	ともに 1930年頃			土蔵造、瓦葺 木造、鉄板葺	1階が倒壊し、2階も津波によって流された
3	武山米店店舗及び主屋	登録有形文化財 (建造物)	1930年			木造、垂鉛メッキ銅板葺	1階部分はほぼ全壊
4	三事堂ささ木店舗 及び住宅・ 三事堂ささ木土蔵	ともに登録有形文化財 (建造物)	ともに 1912-1925年			木造、鉄板葺 土蔵造、瓦葺	外見上は被害がないが、店舗の扉が破損し、土蔵の内壁が一部剥落
5	小野健商店土蔵	登録有形文化財 (建造物)	1946年			土蔵造、瓦葺	壁が一部剥落しているものの、構造的な被害はない
6	酔仙酒造販品及び用度品 倉庫・ 酔仙酒造守衛所・ 酔仙酒造本社事務所	すべて登録有形文化財 (建造物)	すべて 1930年	岩手県陸前高田市	6弱 (大船渡市 大船渡町)	土蔵造、瓦葺 木造、スレート葺 木造、鉄板葺	津波により跡形もなく全壊
7	稱法寺	(指定なし)	1760年頃	宮城県石巻市	6弱 (石巻市門脇)	木造、瓦葺	柱が4本被害を受けたほか、一部壁が剥落
8	瑞巖寺庫裏及び廊下・ 瑞巖寺五大堂・ 瑞巖寺御成門・ 瑞巖寺中門・ 瑞巖寺本堂(元方丈)	国宝 重要文化財(建造物) 重要文化財(建造物) 重要文化財(建造物) 国宝	1609年頃 1604年 1609年頃 1609年頃 1609年	宮城県宮城郡松島町	6弱 (松島町高城)	切妻造、本瓦葺；入母屋造、本瓦葺 宝形造、本瓦葺 入母屋造、本瓦葺 切妻造、こけら葺 入母屋造、本瓦葺	庫裏は白壁にひびがあり、また一部が剥落している
9	大崎八幡宮・ 大崎八幡宮長床	国宝 重要文化財(建造物)	1607年 1661-1672年頃	宮城県仙台市	6弱 (仙台市 青葉区落合)	入母屋造、こけら葺など 入母屋造、こけら葺	本堂の彫刻が一部剥落し、漆塗装の壁が削剝するなどの被害
10	金色堂覆堂・ 釈尊院五輪塔・ 中尊寺金色堂・ 中尊寺経蔵・ 白山神社能舞台	重要文化財・ 重要文化財・ 国宝・ 重要文化財(建造物)・ 重要文化財(建造物)	1393-1466年 1169年 1124年 1086-1184年 1853年	岩手県西磐井郡平泉町	5強 (平泉町平泉)	宝形造、銅板葺 石造五輪塔 宝形造、木瓦形板葺 宝形造、銅板葺 舞台及び楽座；入母屋造、茅葺など	文化財(建造物)には被害なし
11	正法寺	重要文化財(建造物)	本堂：1811年 庫裏：1807年 惣門：1665年	岩手県奥州市	5強 (奥州市水沢区 佐倉河)	本堂：入母屋造、茅葺 庫裏：寄棟造、茅葺 惣門：切妻造、ちぢみ	鉄筋による耐震補強がされていることもあり被害なし
12	伊藤家住宅	重要文化財(建造物)	1701-1800年	岩手県花巻市	5強 (花巻市東和町)	寄棟造、茅葺、南面及び北面土庇付	戸部の角には深い亀裂、その他の壁にも亀裂、礎石に亀裂

*1-7は地震・津波被害にあった文化財、8-12以降は地震動の被害のみ

**黄色塗りは本調査で明らかにした被害の要約

4.3 東日本大震災による文化財被害

表4-5は、現地調査の対象となった文化財について、基本情報、および震災による被害の概要をまとめたものである。表4-5のうち、文化財番号1～7については、地震動と津波の両方の被害を受けたもの、8～12は地震動被害を受けたものである。次節より、各被害の実態を述べ、それから得られる被害の傾向をまとめる。

4.3.1 地震・津波被害

本節では、登録有形文化財(建造物)が集まっている気仙沼市街地を中心に、津波被害の実態を述べ、津波被害を軽減させた要因を探る。図4-2は気仙沼市街地の地図である。湾に面した文化財とそうでない文化財に分かれ、また表4-5にあるように木造と土蔵造の構造をもっている。まず、気仙沼の広田湾に面している男山本店は1・2階が倒壊し、3階が滑り落ちているのが分かる(図4-3)。同様に湾に面している角星店舗および角星旧酒造工場も1階が倒壊し、2階のみが原型をとどめているが、津波によって数十メートルも流されたことがわかる(図4-4)。これらの文化財の倒壊が地震動のためか津波のためなのかはわからないが、少なくとも角星店舗を数十メートルも押し流す非常に強い津波が来襲したことはみてとれる。一方で、湾との間にある建造物によって守られたと考えられる武山米店店舗及び主屋の1階部分は全壊しているが、外装については2階以上で被害はない(図4-5)。



図 4-2 有形登録文化財が密集している気仙沼市街地



図4-3 1・2階が倒壊した男山本店（以下の図においても文化財の被害前の図はいずれも文化庁¹³⁾より）

湾との間に建造物がある三事堂さき木店舗および住宅、三事堂さき木土蔵は構造的な被害はないものの、伝統的な扉が壊れ、土蔵の内壁が剥落した（図4-6）。この地点では津波は徐々に水面が高くなつていったということから（文化財所有者への聞き取り）、津波の直撃は避けることができ、甚大な被害を免れたものと思われる。同様に湾との間に建造物がある小野健商店土蔵は壁が一部剥落しているものの、構造的な被害はない（図4-7）。土蔵全体が所有者の住居によって囲まれているため、津波によって流されてきた建造物などとの衝突被害を最小限に防いたものを思われる。

一方で、陸前高田市に位置する酔仙酒造購品及び用度品倉庫・酔仙酒造守衛所・酔仙酒造本社事務所は津波により跡形もなく全壊した。これは津波の破壊力が大きかったこともあるが、陸前高田市の海岸線の土地は田畠が多く占めていたために、津波の勢いが弱まらずに襲ってきたと考えられる（図4-8）。

また石巻市にあり、250年もの歴史を有する稱法寺（文化財指定はされていない）は津波のため、柱が4本被害を受け、壁が崩れるなどの被害があったものの、構造的な被害は受けずに済んだ（図4-9）。理由の一つとして、稱法寺はいくつかの樹木に囲まれているが、300m先から津波に乗って流れてきた住宅が、本堂脇にある大木にぶつかり、本堂もしくは境内建築物への衝突を避けることができたことが挙げられる。

以上のことから、東日本大震災の津波によって文化財が破壊された一方で、周辺建造物や樹木によって文化財が守られたことも事実であり、沿岸部に位置する文化財への津波被害を軽減するには、波の方向を意識した、鉄筋コンクリートなどの建造物や樹木による防御壁が有効であったことを明らかにした。



図 4-4 1階が倒壊し津波によって流された角星店舗の2階部分（点線台形は元々角星店舗が立地していた場所）



図 4-5 1階部分が全壊した武山米店舗および主屋



図 4-6 壁が一部剥落した三事堂ささ木土蔵、扉が被害を受けた三事堂ささ木店舗および住宅



図 4-7 壁が剥落した小野健商店土蔵

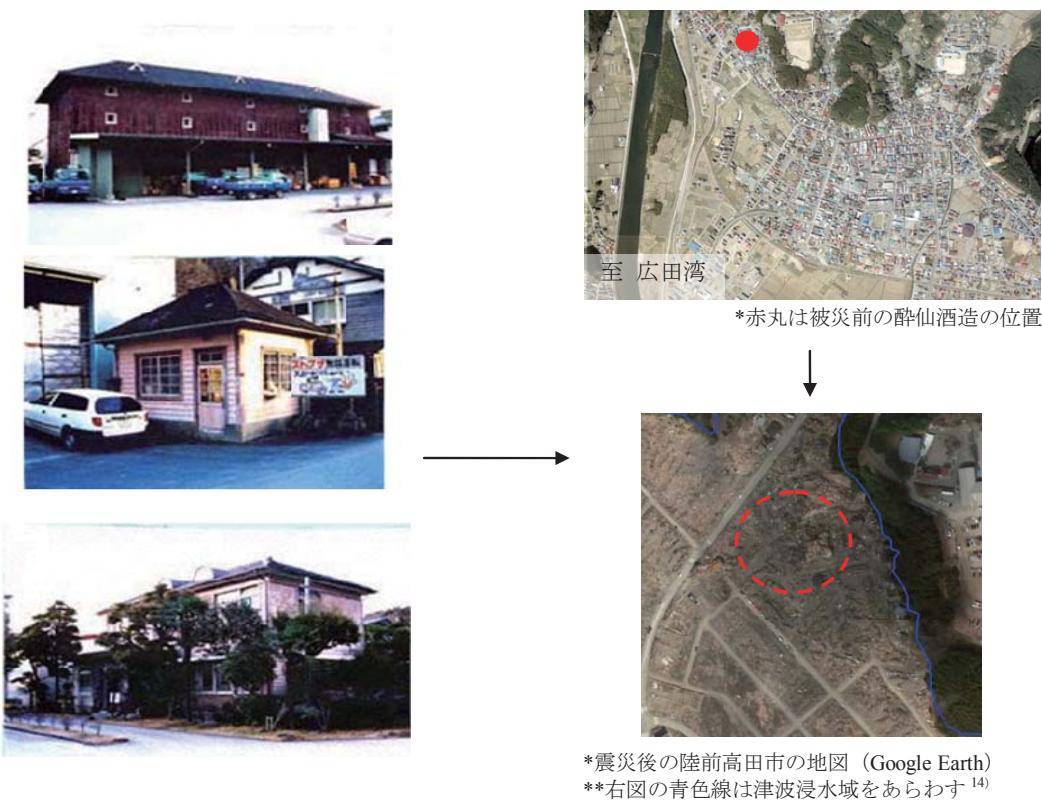


図 4-8 跡形もなく崩壊した（左上から）酔仙酒造購品及び用度品倉庫・酔仙酒造守衛所・酔仙酒造本社事務所



図 4-9 稽法寺本堂（左上）、被害を受けた柱および崩落した壁（右上）、稽法寺を取り囲む樹木（左下）、流れてきた住宅を受け止めた境内の大木（右下）

4.3.2 地震被害

本節では地震による文化財被害を概略し、その特徴を述べる。宮城郡松島町に位置する瑞巖寺は、本堂が改修工事中であり、瓦などは全部落ろされ、柱だけの構造であったため本堂に被害はなかったが、その隣の庫裏には白壁にひびや一部崩落があった（図4-10）。瑞巒寺は松島湾沿岸にあるものの、松島湾がいくつもの島によって守られているため、津波は参門・正門間の参道までしか到達しなかったということである。

仙台市に位置する大崎八幡宮・大崎八幡宮長床については大きな被害はなかったものの、本殿の彫刻が一部剥がれ落ちる、漆塗装の壁が削れるなどの被害が確認できた（図4-11）。

中尊寺金色堂・中尊寺経蔵・白山神社能舞台が位置する中尊寺内では、（文化財に指定されていない）本堂の白壁にひびが入るなどの被害はあったものの、それ以外の国宝や重要文化財に目立った被害はなかった（図4-12）。

奥州市にある正法寺では、著しく老朽化が進んだため、かやぶき屋根の葺き替え、礎石取替え、鉄骨による耐震補強、耐火設備の設置などを終え、2006年夏に大規模な修復工事が終了していた¹⁵⁾。図4-13のように本堂の内側に鉄筋による耐震補強がされ、また裏手の岩盤とも鉄骨によって補強されているため、被害はないということであった。

その一方で、花巻市の伊藤家住宅では、戸部の角に深い亀裂が見られ、その他、窓せん断亀裂や壁亀裂が見られた。また住宅の礎石にも亀裂が確認できた（図4-14）。

以上のように、今回の地震のような長周期地震動による文化財への被害は、調査対象文化財では、津波に比べて深刻ではない。特に耐震がなされている正法寺や多数の国宝や重要文化財が保管されている中尊寺は、被害がほとんどなかった。一方で、土壁は被害が大きくなることが明らかになった。



図4-10 白壁にひびや一部崩壊があった瑞巒寺庫裏

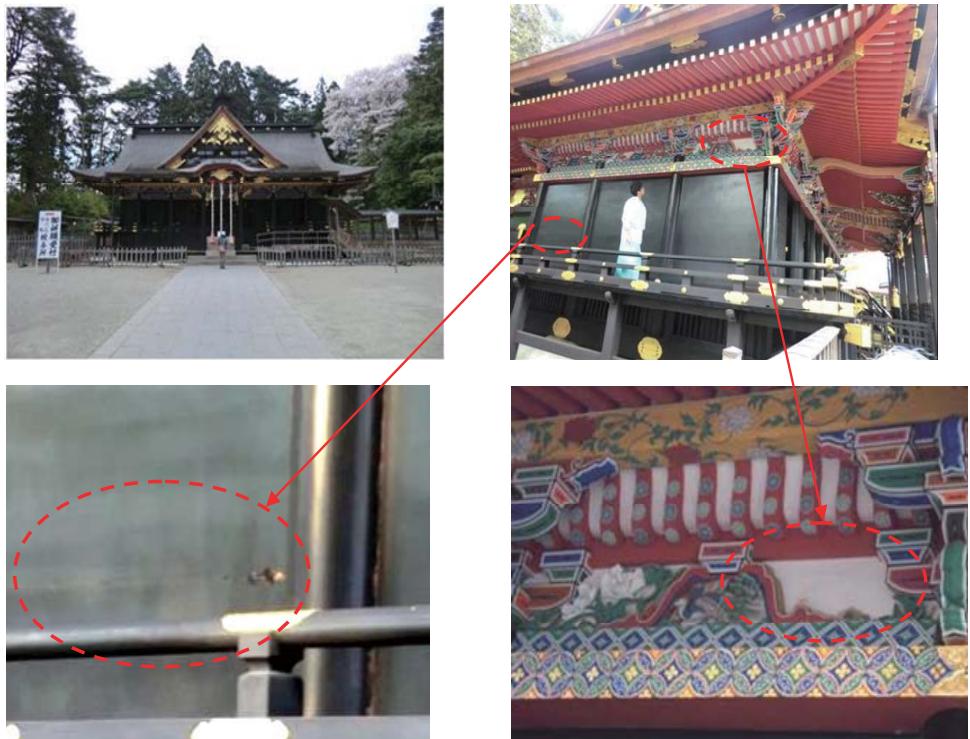


図4-11 大崎八幡宮本殿（上左）、本殿側面（上右）、本殿の被害（下左：彫刻の剥落、下右：漆壁の削剥）

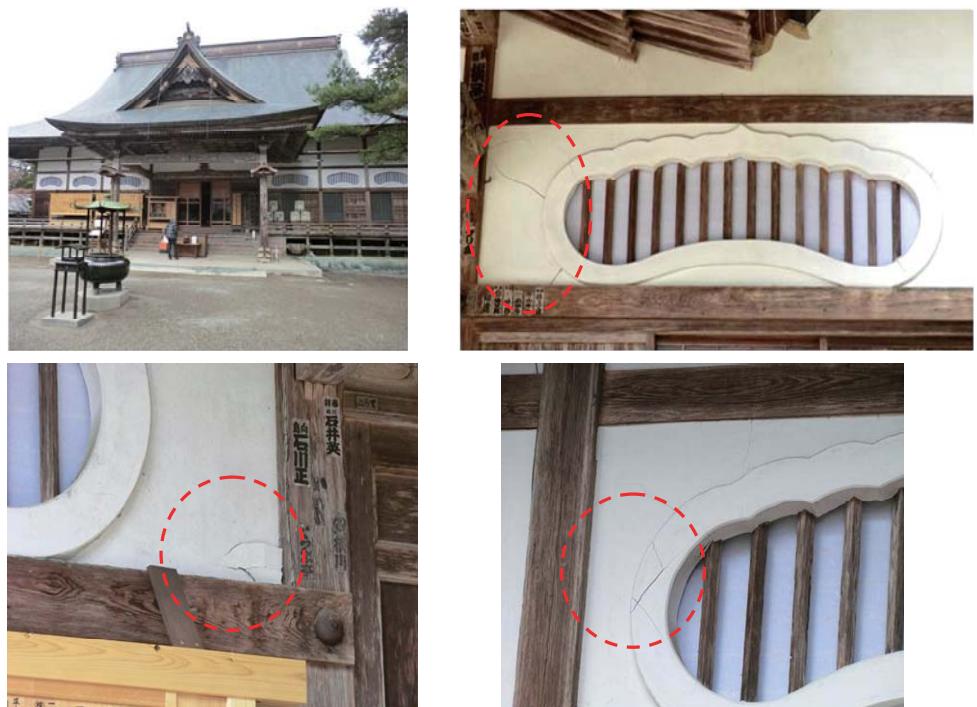


図4-12 文化財に指定されていない中尊寺本堂の白壁ひびの被害



図4-13 正法寺における鉄筋補強



図4-14 伊藤家全体像（左上）と破損箇所（上中央：戸部角亀裂、上右：壁亀裂、
左下および中央下：窓せん断亀裂、右下：礎石の亀裂）

4.4 まとめ

東日本大震災による文化財被害データより、津波よりも地震の方が被害件数が多い一方で、現地調査からは、各文化財の被害実態では津波による被害の方が大きいことが明らかになった。文化財は文化的価値を守るために、他の住宅のように容易に鉄筋コンクリートによる耐震化や津波に対処するために土壁をコンクリートにするといった対策もできないことから、特別な配慮が必要である。今回の被害実態調査では、大きな津波が押し寄せても文化財と津波経路の間に津波の勢いを弱められるような丈夫な建築物や樹木あると、木造・土蔵造を問わず、大きな損壊を防ぐことができたことが明らかになった。また地震動による被害は震度が5強であった正法寺や中尊寺でも被害がなく、その他の文化財でも津波被害に比べて小さな被害に抑えられていることが確認できたものの、土壁をもつ文化財の被害をより低減することの必要性が明らかになった。

謝辞

本調査にあたって、筆者らの質問に快くお答えくださった文化財関係者の方々に心より謝意を表します。また矢野桂司教授、中谷友樹准教授(ともに立命館大学文学部)、塚本章宏氏(立命館大学衣笠総合研究機構ポストドクトラルフェロー)、瀬戸寿一氏(日本学術振興会特別研究員DC)には、GIS機器や文化財被害データの提供等の便宜を図っていただきました。記して謝意を表します。本調査は、グローバルCOEプログラム「歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点」事業、および立命館大学「2011年度東日本大震災に関する研究推進プログラム(研究代表者:谷口仁士)」の一環として実施しました。なお本稿は「豊田祐輔、谷口仁士、樋本圭佑、田中哮義「東日本大震災に伴う岩手県南部・宮城県北部における文化財被害調査報告」立命館大学歴史都市防災研究センター『歴史都市防災論文集』Vol.5、2011年、315-322頁」として発表したものに最新の情報を加えるとともに加筆修正したものです。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部:「全国を概観した地震動予測地図」報告書、地震調査研究推進本部、2006年。
- 2) ニュートンプレス:ニュートン、第31巻、6号、2011。
- 3) 文部科学省『東日本大震災による被害情報について(第181報)』2012、アクセス日:2012年2月15日、URL:
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afielddfile/2012/02/09/135089_020910_1.pdf
- 4) 文部科学省:阪神・淡路大震災における文部省の対応について、n.d.、アクセス日:2011年5月2日、
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpad199501/hpad199501_2_278.html#top
- 5) 内閣府:平成13年(2001年)芸予地震について、2003、アクセス日:2011年5月2日、URL:
<http://www.bousai.go.jp/kinkyu/akinada/akinada0919.pdf>
- 6) 内閣府:平成15年(2003年)十勝沖地震について(第33報)、2004、アクセス日:2011年5月2日、URL:
<http://www.bousai.go.jp/pdf/040401tokachi1700.pdf>
- 7) 内閣府:平成16年(2004年)新潟県中越地震について、2009、アクセス日:2011年5月2日、URL:
http://www.bousai.go.jp/pdf/jishin_niigata_64.pdf
- 8) 東京文化財研究所:プロジェクト報告、2005、アクセス日:2011年5月2日、URL:
<http://www.tobunken.go.jp/~joho/japanese/publication/nenpo/2004/pdf/2-2-1.pdf>
- 9) 石川県:平成19年能登半島地震災害記録誌、石川県、2010。
- 10) 内閣府:平成19年(2007年)新潟県中越沖地震について、2009、アクセス日:2011年5月2日、URL:
http://www.bousai.go.jp/kinkyu/080107jishin_niigata/jishin_niigata34.pdf
- 11) 文部科学省:平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による被害情報、2008、アクセス日:2011年5月2日、URL:
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/06/08061806/009.htm

- 12) 消防庁:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第144報)、2012、アクセス日:2012年2月15日、URL:
<http://www.fdma.go.jp/bn/data/%E5%B9%8B3%E6%88%9023%E5%B9%B4%EF%BC%882011%E5%B9%B4%EF%BC%89%E6%9D%B1%E5%8C%97%E5%9C%B0%E6%96%B9%E5%A4%AA%E5%B9%B3%E6%B4%8B%E6%B2%96%E5%9C%B0%E9%9C%87%EF%BC%88%E7%AC%AC144%E5%A0%B1%EF%BC%89.pdf>
- 13) 文化財:国指定文化財等データベース、n.d.、アクセス日:2011年5月2日、URL:<http://www.bunka.go.jp/bsys/>
- 14) 東京大学 沢田・竹内研究室:国土地理院オルソ航空写真より作成した投影変換済PNG,KMLファイル、津波到達(浸水域)判読ライン、その他統計GISデータのKML(KMZ)、SHP形式による配布、2011、アクセス日:2011年5月2日、URL:http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/eq_data/
- 15) 鹿島建設株式会社:重要文化財・正法寺本堂耐震補強、n.d.、アクセス日:2011年5月2日、URL:
http://www.kajima.co.jp/tech/traditional/ex/ex5_01/index.html

5. 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に関する研究

朴 ジヨンヨン*1・崔 青林*2・谷口 仁士*3

5.1 はじめに

2011年3月11日、三陸沖を震源とするマグニチュード9.0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。被害現況調査結果¹⁾によると、地震直後の津波は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535km²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。なお、公表されている調査結果は、現時点までに把握できた範囲のものであり、今後引き続き調査を行うなど詳細な把握を進めることで、被災状況がさらに拡大する可能性は十分ある。

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・コンパクトシティー」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、コンパクトシティー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・コンパクトシティー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

*1立命館大学大学院理工学研究科 大学院生

*2立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構ポストドクタルフェロー

*3立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構教授

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。

5.2 研究方法と用いたデータ

谷口ら^{2~5)}は地震動および液状化を起因とする直接被害額の算定式を提案しているが、津波要因は含まれていない。そこで、この推定式を基本とし津波による直接被害額推定の開発を行う。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の視点から分析を行った。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ー化についても考察を加えた。

次に、津波被害を経験した4事例の地震(2011年東北地方太平洋沖地震、1993年北海道南西沖地震、1983年日本海中部地震、1960年チリ地震)については、津波が発生しなかった場合(地震動と液状化などに起因する被害額)と津波が発生した場合を比較することで津波被害の特徴や被害規模について明らかにする。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目指す。さらに、チリ地震で被害を被った大船渡市では、津波リスク軽減を念頭に復興計画が策定された。しかし、2011年の東北地方太平洋沖地震で再び被災した。チリ津波地震で策定された復興計画はどの程度経済被害の軽減有効であったかを2つの地震を分析することで可能となる。

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。そして、過去の津波地震の被害データから、津波による直接被災額を予測する算定手法の改良を行うことで、東日本大震災による津波被害額を予測する基本式を提案し、東日本大震災の被災予測を試みる。

5.3 津波地震による経済被害額の影響要因分析

5.3.1 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 5-1)を定義する。

表 5-1：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	
直接被害額 ①	①建築物	①建築物	住家、非住家、県営住宅・公営住宅
	翻 轉 金 社	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	⑧農林水産業	農業、林業、水産業関係、関連施設も含む
		⑨商工関係被害	工業、商業、観光業、関連施設も含む

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。これらの被害地震は、全て表 5-1 のレベル 3 で集約することができた。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。

なお、被害地震の発生年代が大きく異なるため、貨幣価値の補正が必要になる。そこで、自治体等から公表されている直接被災額を 2010 年の GDP を基準年としたデフレータによる補正を行った。

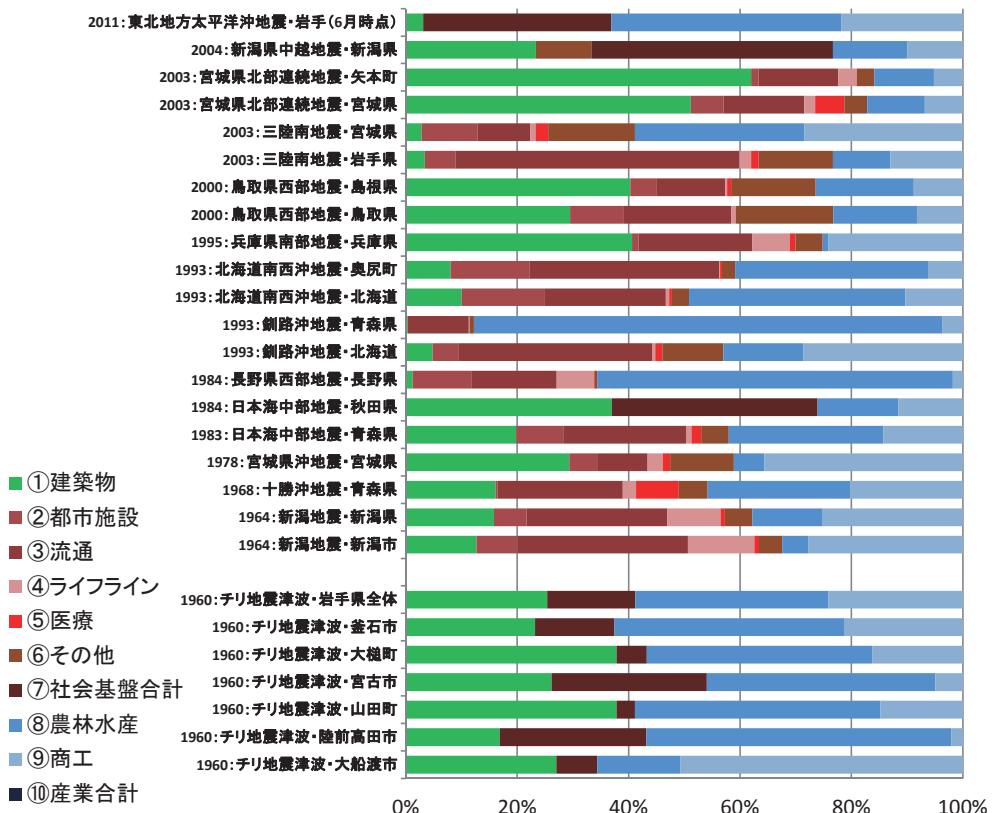


図 5-1：既往の被害地震の直接被害額内訳の比較（2010 年基準の補正值）

図 5-1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。この被害教訓を受けて、図 5-2 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。

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。

5.3.2 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、ここでは図 5-3 に示した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 5-2：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・速報値)

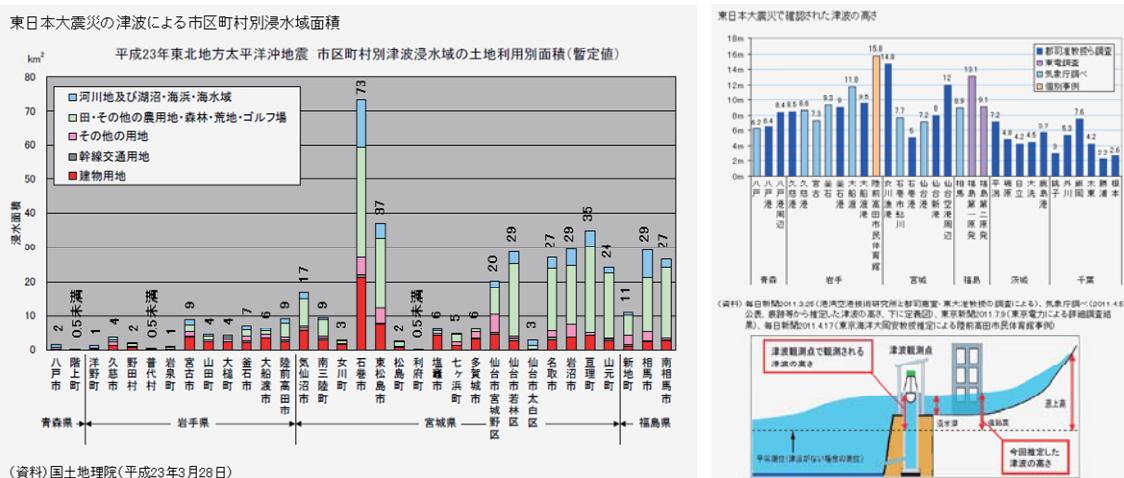


図 5-3：東日本大震災の津波被災状況（暫定値）

大船渡市の事例(図 5-2)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、また経済的な事情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は広くなったと見て取れる。また、東日本大震災の津波被害速報の暫定値を見ると、津波高と浸水面積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ことが分かる。特に、地域ごとに津波高と浸水面積の関係も違つてくる点についても注意深いところである。

5.4 津波地震による直接被害額の予測モデルの提案

5.4.1 先行研究の紹介(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、 $Se_{i,k}$ との積、

$$Y_{pi,k,t} = \Sigma (N \times Se_{i,k}) \quad (1)$$

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。

$$Y_p = 0.0347 \times Se_{24}^{1.3119} \times I \times (0.03 \times PL + 1) \times \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

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

ここで、 Y_p :直接被害総額(兆円)、 Se_{24} :民力総合指標(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

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

5.4.2 津波による直接被害額推定式の提案

本研究では、まず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、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つて、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。最後には今回の東日本大震災の被災事例への適応を試みる。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。岩手県の被災 14 市町村の直接被害額と民力総合指標⁷⁾の関係を表すと図 5-4 になる。

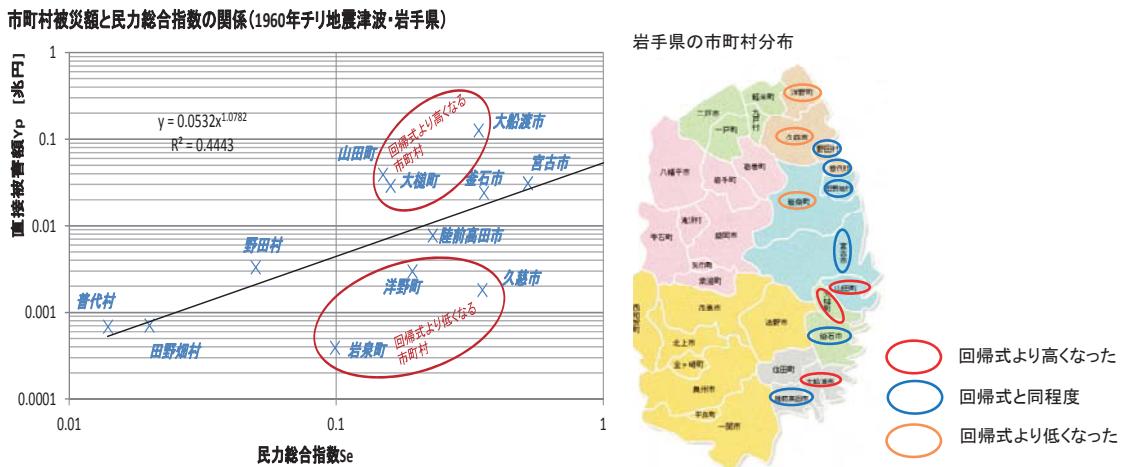


図 5-4: 岩手県の 14 市町村の直接被災額と民力総合指数の関係

5.4.3 チリ地震津波被害状況(岩手県内)を考慮した津波による直接被害額推計の一般式

得られた回帰式から乖離状況から市町村を、低い市町村グループ、高い市町村グループと普通市町村グループに分けられる。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。ここでは普通市町村グループの被災状況をベースとし、低い市町村グループと高い市町村グループの場合は普通市町村グループの一般式に補正する形で表すこととした。ただし、影響要因は津波の強さのみ(津波の高さ)とする。そこで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とする。

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

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

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

5.4.4 津波補正係数(I_t)の連続式の提案

a. 補正係数の考え方

ここでは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仮定し、一般式の係数設定により、それぞれの被害状態を補正する。今回は影響要因を津波の高さによるものとして津波補正係数の連続式を提案する。過去の津波被災記録を見た場合は 2m から被害が発生することから、最小被害値の津波高さを 2m とする。たとえば、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 の係数補正是津波高 2m とする。なお一般式の定数 0.0575 を 1.00 とした場合倍率は 0.078～6.82 倍の範囲となる。

またチリ地震の津波被害が過去の津波被害の中では最大規模ではないため、今回は記録が

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出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を分析し、推計式の現時点での最大係数補正值とする。

b. 北海道南西沖地震の概要と最大係数補正值の検討

1993年7月12日北海道南西沖地震は日本海沿岸を中心に道内60市町村で死者・行方不明者229名、家屋の全半壊1009棟、被害漁船1514船など被害総額1323億円という未曾有の大災害をもたらし、とりわけ奥尻町青苗地区においては、地震とともに津波や火災などが発生して地域がほぼ壊滅状態となった。本震の震源地は北緯42度47分・東経139度12分、震源深さは約34kmで、規模はマグニチュード7.8と推定されている。それに伴う余震の震央は幅約60km、長さ約170kmの広範囲にわたって分布しており、特に奥尻島周辺では、島を取り組むように多数の震央分布がみられる。日本海で発生する地震は、海底地形の関係および断層が海底部の比較的浅い部分で発生することも加わり、津波が大きくなる傾向にあると言われている。津波高さは奥尻島の西岸意意思の藻内地区の21mを最高に、東海岸の松江地区初松前の16mなど、各地で大きな津波到達高が記録された。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(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5-2)として抽出した。

表5-2: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

津波の直接被害額と民力総合指数との関係

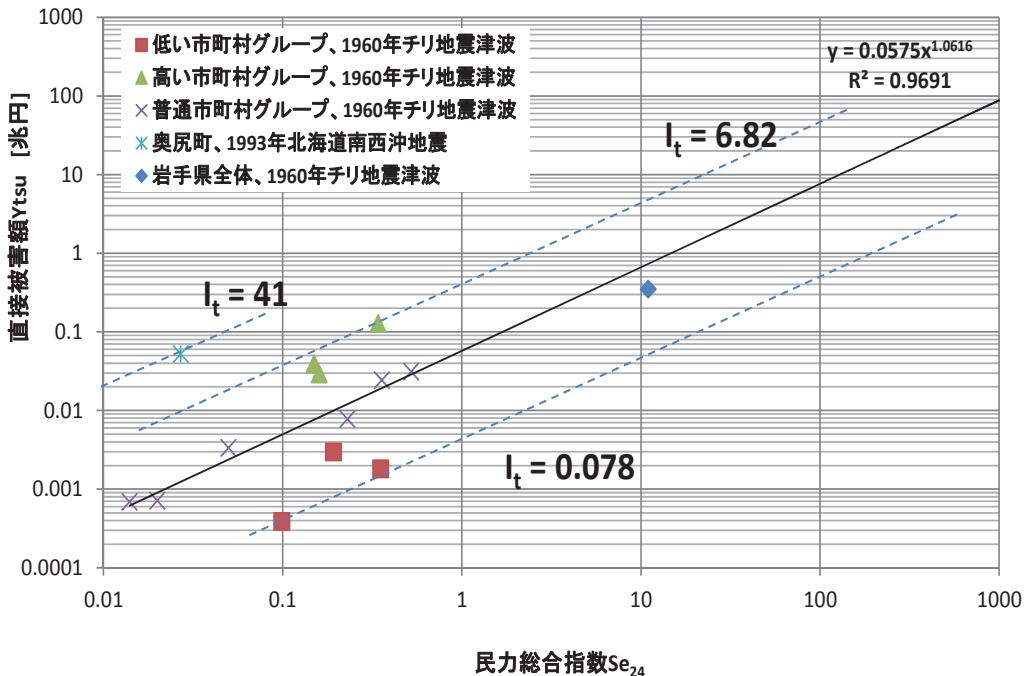


図 5-5: 提案する津波による直接被害額の一般式と補正係数の設定値

c. 津波補正係数の連続式

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ンジリティ関数として提案する。(式 7 および図 5-6 に参考)

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

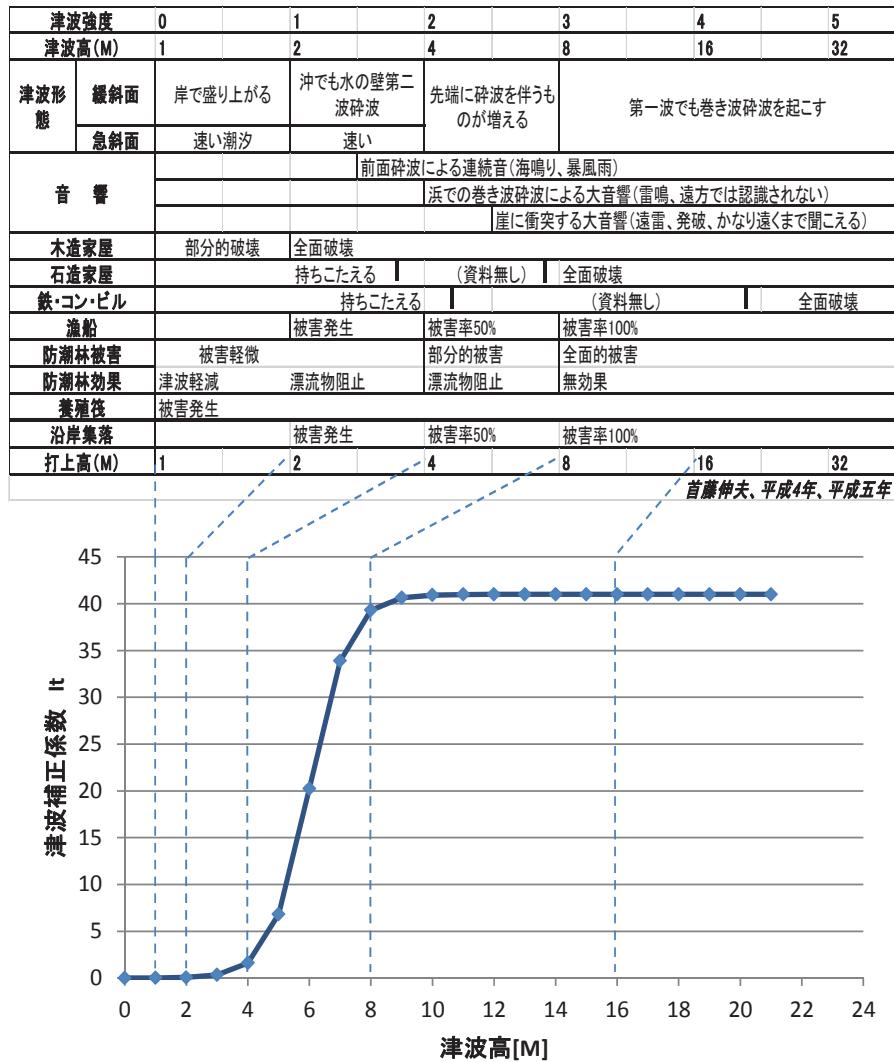
I_t : 津波補正係数

H_t : 津波高 [単位: M]

d. 津波破壊特徴からみる津波補正係数の連続式の妥当性

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な関係と比較してみた。(図 5-6) 津波が 2m の時点から、被害が発生し始めて、そして 2m から 4m の間は緩やかな上昇となる。4m を超えると津波の高さの上昇と伴い、被害額も急激に上昇し、8m 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評価することができた。

過去の津波被害より



式7 ⇒

図 5-6 : 津波高を考慮した津波補正係数の連続グラフと津波破壊力の比較

e. 東日本大震災の被災事例への適用事例(地震と津波の複合災害)

ここでは、本研究で提案した直接被害額の予測モデルを東日本大震災の被災地である岩手県大船渡市の被災状態への適用を試みる。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する。大船渡市の現状を基づき、推計式への適用状態を整理する。大船渡市の経済ストックを表す民力指数は 34.2、震度:6.0、液状化危険度指数 PL:15、斜面崩壊ありとして式(2)、(3)、(4)に代入し、地震による直接被害額がおよそ 738.8 億円と推計した。また図 3 の暫定値を参考に津波高さを 10m とし、式(7)に代入すると津波による直接被害額の推計値がおよそ 221.1 億円となった。したがって、東日本大震災の岩手県・大船渡市について試算した結果、直接被害額の合計は 959.9 億円となっている。ちなみに、東日本大震災による大船渡市の直接被害額に関する集計値 1077 億円(2011 年 11 月 15 日現在)に比べて比較的近い値となった。なお、東日本大震災に関連する報告データはあくまで現時点での暫定値であるため、さらに照査する必要がある。

f. 提案する津波補正係数(I_t)の連続式に関する討論

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。主に以下の五点に集約できる。

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. 直接被害に影響する要因は津波高のみとしたが、今後は津波高や浸水範囲などを総合的に評価する必要がある。
4. 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。

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精査が必要である。

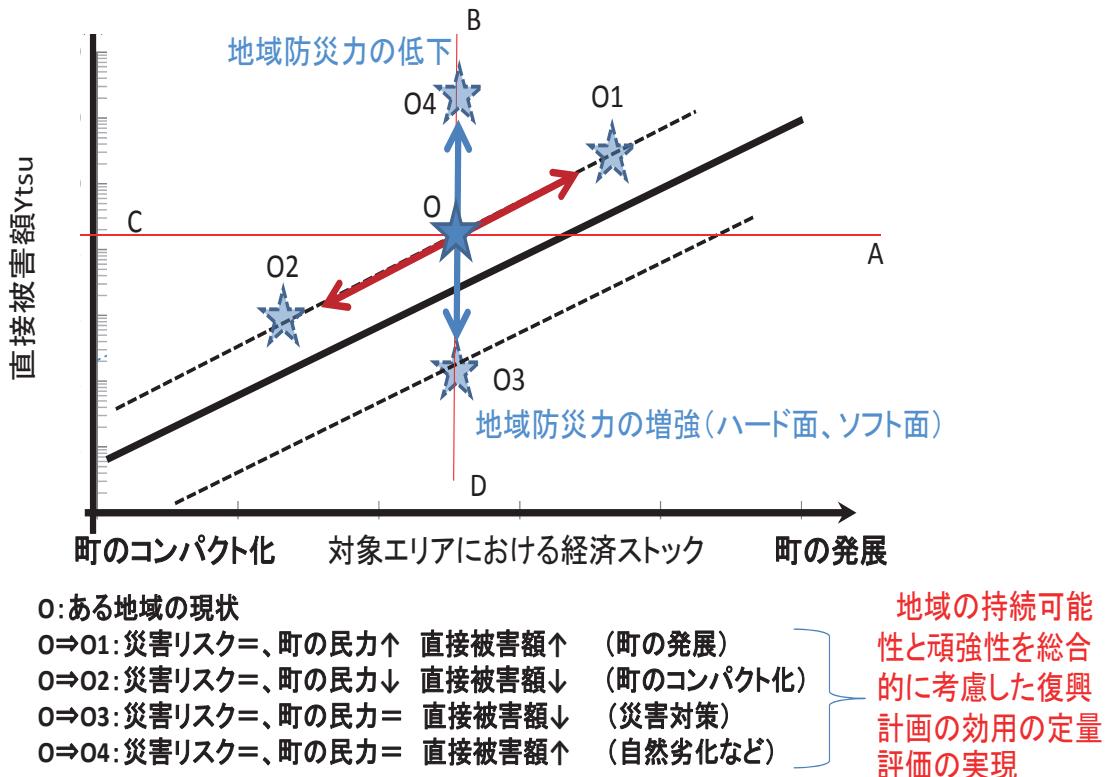
5.4.5 地域直接被害額の予測モデルを用いた復興・防災計画の検討プロセス

a. 地域直接被害額の予測モデルを用いた被災額予測および復興・防災計画の検討

もしある対象地域において、検討対象とする災害リスクに対する地域直接被害額の推計式が特定できるであれば、利用法としては災害発生からの直接被災額の推計だけでなく、復興・防災計画の検討のための新たな評価軸としても利用できる。具体的なイメージを図 5-7 に示した。その際に復興計画また防災計画の実施前後の状態を想定する必要があるが、ここでは直接被害額モデルに適応することで状況変化の持つ意味合いを簡単に説明する。

まずは実施前の状態を O、各単純な変化パターンをそれぞれ O1、O2、O3、O4 とし、O から O1 への状態変化は災害リスク一定で、町の経済的ストックが上昇することで、結果的に想定した同一災害リスクに対する直接被害額が上昇することとなった。町の発展による直接被害額の自然上昇分を元の状態またはもっと低い状況に抑えるためには地域防災力の増強が必要となることを示唆される。逆に O2 へ状態変化した場合は町の経済的ストックを減少させることで、意図的に町のコンパクト化を実施することを意味する。町のコンパクト化自体は地域の直接被災額の軽減効果がある。つまり人口減少撤退縮小期に合わせたまちづくりを実施するだけでも災害減軽効果もある程度期待できることを示唆される。O3 への状態変化は町の経済ストックも災害リスクも変化しない状態で、地域防災力(ハード面・ソフト面)の増強で対象地域の直接被害額を軽減させることができが分かる。また、逆に O4 は自然劣化などによる地域防災力の低下として考えられる。このように、対象地域の状態変化(町の発展や防災まちづくりなど)を直接被害額という同一評価軸での検討が可能となった。

ある災害リスクに対して地域直接被害額の予測モデルを利用した復興計画の分析



b. 対象地域の各産業への間接的影響の分析

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な被害(フォローへの影響)への展開が可能となる。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⁹⁾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が、都市型災害かつ地震津波の複合災害ではないため、東日本の各被災地域に直接適用できるかについて議論する必要があるため、詳細について触れないが、方法論としては成立していると考えられる。さらに、各地域の産業連関表または経済波及効果分析ツールを活用すれば、自然災害の発生が各産業への(正、負)波及効果についても議論することも可能である。

5.5 まとめ

本研究は、まず既往の津波地震の被害データ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。それから、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および津波高に連動する津波補正係数式を開発した。最後に推計モデルを用いた経済視点からの復興計画への分析プロセスを提案した。

これからは時期に出揃う東日本大震災の集計データを活用し、主に下記の研究課題に取り込む予定である。

- ・各産業への経済波及効果の実証検証(ケーススタディー)
- ・津波被害への影響要因の特定と補正係数の改良
- ・東日本大震災の被災データを用いた推計式の改良(強震や特大津波への適用)
- ・地域特性を表す経済的ストック値の改良
- ・復興計画の分析に向けて、間接被害額の推定式

謝辞

本研究は、立命館大学の「2011年度東日本大震災に関する研究推進プログラム(研究代表者: 谷口仁士)」の一環として実施しました。日本地域学会第48回年次大会特別セッション「コンパクトシティ政策評価を目的としたシミュレーション技法の開発と評価」において、活発な議論・コメントをいただいた座長の鐘ヶ江秀彦先生(立命館大学)、桙井昌邦先生(福岡大学)、討論者の豊田利久先生(広島修道大学)、山根敬三先生(摂南大学)、押谷一先生(酪農学園大学)に感謝いたします。なお本稿は「朴ジョンヨン、崔青林、谷口仁士、「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」日本地域学会第48回年次大会学術発表論文集、CD-ROM 6pages, 2011年10月10日発表した内容から発展させたものを加えるとともに加筆修正したものです。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局、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)、2011年8月4日
- 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 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
- 9) 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

以下は、既往の被害地震の資料収集に参考した文献である。

- 1) 兵庫県: 阪神・淡路大震災誌、第1巻、第1部、pp.51-61
- 2) 内閣府: 平成15年版 経済財政白書、長期経済統計、2003

- 3) 統計データ提供サービス: MC-統計、<http://www.mc-stat.com/stat/free/>
- 4) 新潟市: 新潟地震誌、1966
- 5) 青森県防災: 地震総覧 十勝沖地震(昭和 43 年)、
http://www.bousai.pref.aomori.jp/jisinsouran/tokachi/select_menu.htm
- 6) 青森県防災: 地震総覧 日本海中部地震(昭和 58 年)、
http://www.bousai.pref.aomori.jp/jisinsouran/nihonkai/select_menu.htm
- 7) 秋田県総合防災課: 日本海中部地震の概要、<http://www.pref.akita.jp/syobo/bousai/>
- 8) 長野県生活環境部消防防災課: 長野県西部地震の記録、pp.108-109、1985.8
- 9) 釧路市: 平成 5 年(1993 年)釧路沖地震記録書、pp.15-18、pp.306-313
- 10) 奥尻島: OH!NET 蘇る夢の島、<http://www.dosanko.co.jp/okushiri/>
- 11) 鹿児島大学理学部: 1997 年鹿児島県北西部地震、
<http://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/~oyo/hokusatsu3.html>
- 12) 鳥取県防災危機管理課: 「平成 12 年鳥取県西部地震」記録集、
<http://www.pref.tottori.jp/bosai/seibujishin/data/db/index.html>
- 13) 島根県総務部消防防災課:
http://cgi.pref.shimane.jp/shoubou_bousai/wnews/file01/20040529200006_0.pdf
- 14) 愛媛県: 芸予地震による被災者支援の対応について、
<http://www.pref.ehime.jp/houdou/houdou1304/kaiken1304-2.htm>
- 15) 岩手県総合防災室: 5 月 26 日の地震発生に伴う災害被害状況、2003.6.20
- 16) 宮城県総務部危機対策課: 三陸南地震による被害について(最終報)、2003.6.19
- 17) 宮城県危機対策課: 宮城県北部連続地震による被害について、
<http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/saigai/0726saigai40.pdf>
- 18) 矢本町役場: 宮城県北部連続地震 公共施設等被害の状況、
http://www.town.yamato.miyagi.jp/saigai/higai_0810.PDF
- 19) 北海道総務部総合防災対策室防災消防課: 「平成 15 年 十勝沖地震」対策・被害状況(第 30 報—最終)、2003.12.10

6. 本研究プロジェクトの進捗状況を踏まえた今後の展開

本プロジェクトでは現地調査、既往の地震・津波被害および復興計画の分析手法の提案を通じて、広域で大規模な複合型災害(津波地震)の特徴や影響要因を分析したうえで、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計式および津波高に連動する津波補正係数の連続式の開発を行った。また提案した直接被害額の推計モデルを用いた今回の東日本大震災への適用を試みた。これからは、引き続き研究を進むと同時に次第に出揃う東日本大震災の集計データを活用することで、補正係数への影響要因の特定、強震や特大津波による広域かつ複合型災害への適用と復興計画に対する政策シミュレーションに向けた推定式の改良などの課題に臨む予定である。また、上記課題のための各産業・現地被害の実態調査などのケーススタディーも継続的に行っていく予定である。