

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13003

研究課題名(和文)都市の将来変化を加味した地震・津波の複合による人的被害評価手法と減災手法の開発

研究課題名(英文)Development on Method of Estimation Human Casualties during Compound Disasters by Earthquake and Tsunami.

研究代表者

中嶋 唯貴(Nakashima, Tadayoshi)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60557841

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):本研究は、津波の複合災害を対象とし、都市の将来変化を加味した人的被害手法を構築した。次に、北海道の主要都市に開発した手法を適用し人的被害想定を実施した。結果、建物倒壊による人的被害は減少しているものの室内被害による人的被害は減少していないことが判明した。また、高齢化により津波による死亡率は増加傾向がみられた。加えて、自助と共助と公助に関する防災対策による人的被害の軽減効果の推定を実施した。結果、釧路市などの津波が想定される地域において対策実施後においても救えない命が多数存在することが判明した。今後は、安全なエリアへの住み替えなどを考慮する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、津波の複合災害を対象とし、都市の将来変化を加味した人的被害手法を構築した。結果、これまで考慮できていなかった地震・津波に対し、自助・共助・公助による人的被害の減災対策の評価が可能となったことは、今後の防災政策を立案するうえで大いに役立つと考えられる。加えて、地域ごとの医療活動の対応限界を明らかにすべく、想定地震の地震規模を変えることで各地域における人的被害推定と防災施策の減災効果の検証を実施した。結果、地域によって対応限界が大きく異なることを明らかにした。どの程度の地震に対し各自治体は対応可能となるような施策を講じるのか、防災政策の立案において重要な資料となるであろう。

研究成果の概要(英文): In this study, a method for estimating human casualties during compound disasters such as earthquakes and tsunamis was developed, while considering future changes within a city. The method was then applied to major cities in Hokkaido to estimate human casualties during such events. Although it was found that casualties caused by collapsing buildings were low, casualties caused by indoor damage were significant. Additionally, the effects of disaster prevention measures such as self-help, mutual assistance, and public assistance in mitigating human casualties were estimated. It was found that, in locations such as Kushiro City, casualty mitigation would be a challenge despite the implementation of disaster prevention measures in areas where tsunamis were expected, as residents reside in high-risk areas. Consequently, it may be necessary to consider their relocation to safer areas.

研究分野：都市防災学

キーワード：人的被害 地震 津波 地震規模 建物被害 室内被害 閉じ込め 減災対策

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我が国においては、1995年の兵庫県南部地震において死亡要因のおおくが建物倒壊によるものだったことから、建物の耐震化を目標に防災施策が立案実施されてきた。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震が発生し、津波により甚大な被害発生し多数の死者が出たことから津波に対する対策も急務となった。加えて、多くの町において過疎化が進んでいることから都市の将来予測を加えたうえで人的被害を予測し、地震・津波に対し、効果的な人的被害の減災政策を立案することが必要である。

### 2. 研究の目的

現在、地震動による被害と津波による被害は独立して評価し、それぞれに対して対策立案されている。しかし昨今重要視されている東海・東南海地震や南海トラフ巨大地震は日本近海での発生が想定されており、強震動と津波はほぼ同時に複合し被災地を襲う。両者が複合した際の被害評価法の確立とそれに基づく軽減化対策の立案は、喫緊の課題である。加えて、都市の将来変化を加味した地域に寄り添った減災戦略の立案がなければ、被害は軽減しない。本研究は以上の現状認識の下、両事象の複合災害に伴う被害評価法の提案、並びに評価システム構築と、それに基づいて具体的に北海道をケーススタディとして公助、共助、自助による減災効果の検討を実施する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 複合災害における人的被害発生の要因分析と評価手法の構築

兵庫県南部地震時の多発外傷性スコア(Injury severity score)を人的被害評価式に導入し医学手法を用いた高分解能で有益な情報を有する評価手法を構築する。家屋の倒壊に伴う人体損傷度評価手法と家具転倒散乱時における人体損傷度評価手法を構築する。方法としては、建物においては損傷度関数を用いることとし、室内においては地域における床面積・世帯人数・家具数・家具種別を住宅土地統計・消費実態調査から神戸市の危険度分布を評価すると共に、家具種別ごとに異なる人体損傷度関数を適用する。また、地域特有の家具配置等の住まいの調査結果を用い各年代における危険度の変遷を考慮することで推定精度の高い評価式構築を目指す。津波到来前のISS値別負傷者数を評価するためには、上記で構築した2種類の評価式を統合する。この統合には住宅の空間損失関数であるW関数を用いる。上記で構築した人体損傷度関数を用い、地震時の在宅者の年齢分布・閉じ込め者・負傷者を評価し、年齢別の避難速度・閉じ込めから脱出するまでの時間・負傷による避難速度の低下を考慮し建物倒壊による閉じ込め、負傷・少子高齢化の影響が評価可能な人的被害予測式を構築する。

#### (2) 人体損傷度関数の釧路市への適用

提案した手法に則り、北海道における31想定地震とそれに付随する津波が存在する場合はそれを加え、被害を250×250mメッシュで評価する。評価にはExcelで構築したシステムを用い、その結果から減災政策を提案する。複合災害における減災効果を検証するため、釧路市を対象に地震動と津波ハザードに対し、評価式を用い減災効果を検証する。建物に関しては、耐震改修・建て替え・住み替えなど、室内においては、家具の固定散乱防止・家具の減少・住居床面積の増加・世帯人数の減少などを対策とし人的被害軽減効果を検証する。

#### (3) 道内想定地震に対する適用

想定地震は一般的に一つの地震規模においてのみ被害予測が行われるが、地震規模が異なれば当然被害はことなる。また、地域の医療能力により対応可能な負傷者数が異なることが想定される。そこで、本研究では、道内を商圈単位に分割し、想定される地震規模(マグニチュードを0.1)を変化させ重傷者の発生数と空き病床数との対応を検証する。

#### (4) 防災対策の検討

被害評価において、住宅の場所と耐震性能・室内空間が人的被害に大きな影響を与える。そのため、安全な地域への住宅の移転推進や安全な住宅へ住まうことなどが大変重要となる。そこで、住宅移転の経済的問題点と住宅の所有区分における人的被害リスクの発生確率の検討を実施する。

### 4. 研究成果

#### (1) 人的被害予測式の構築

地震・津波の複合災害まで評価可能な人的被害予測式の構築を実施した。構築評価式の概要を図1に示す。本モデルにおける死者予測は、地震が発生した後、建物損傷、室内被害が発生し閉じ込めが発生する。トラップされた居住者は外傷重症度スコア(ISS値)により余命が決定される。加えて、SAR活動が行われる。その後、負傷や避難者の年齢などを加味し、津波避難の成否により死傷の有無が決定される。また、建物被害評価は耐震評点、室内被害評価は居室面積、世帯人数、家具数、閉じ込めは建物損傷度、避難は避難速度や避難ビルまでの距離が係数として組み込まれており、自助(建物の耐震化、住み替え、家具の固定)、共助(閉じ込め者の救助)、公助(避難ビルの新設)等が考慮可能な人的被害予測式となっている。

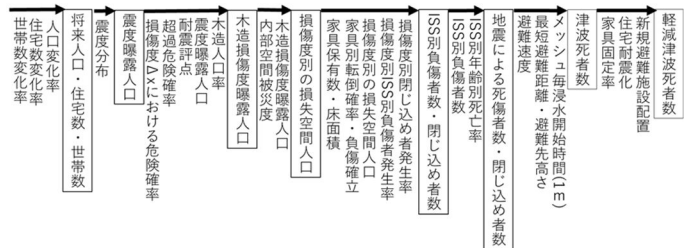


図1 人的被害評価モデル

(2)地震・津波を考慮した被害予測と減災戦略の評価

釧路市において2015年から2045年までにおける人的被害予測を実施した。将来予測にはコーホート生存モデルを適用し、2015年から2045年まで5年毎に30年間の人口、住宅数、世帯人員別世帯数の予測を実施し、人的被害予測を実施した。結果を図2に示す。これまでは考慮できていなかった建物や室内被害に起因する閉じ込め者において死者が多数発生する事が明らかとなった。また、将来において人口減少が予測されることから、死者数は軽減してきているものの住民の高齢化により時間不足による死亡率は増加傾向を示していることが判明した。加えて、自助(耐震改修や家具の固定)、共助(閉じ込め者の救助)、公助(避難ビルの新設)の各対策による死者軽減効果を図3に示す。各種対策において、死者は軽減されているもののまだ多数の救えない命が存在していることが判明した。その多くが、津波到来までの時間が短く、避難時間が不足しているものが多く、人口減少に伴う都市の集約化においては、集約するエリアについて津波危険度も考慮し検討する必要がある。

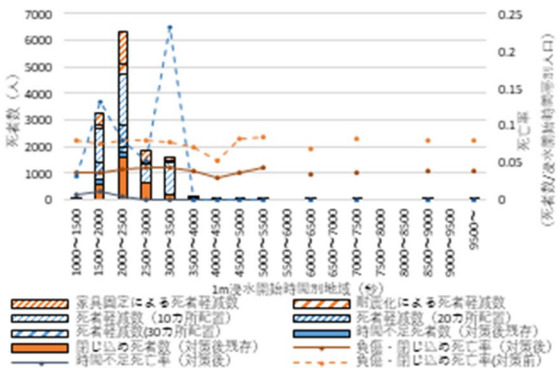
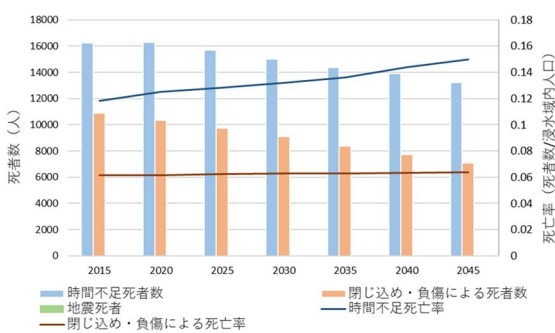


図2 釧路市における死者予測結果

図3 釧路市における対策後の死者数の変化

(3)道内における地震規模を変化させた医療限界

次に、道内全域の自治体を対象とし地震規模を変化させた地域の医療限界を明らかにすべく商圏単位で人的被害予測を実施した。想定地震と商圏を図4に示す。地域の空き病床数を評価した結果各地域で想定されている地震に対し対応可能な地震規模は大きく異なることが判明した。札幌商圏と稚内商圏において限界震源規模が断層の想定マグニチュードより0.2小さくとも病状があふれてしまうことが判明した。この2商圏が特に多くの対策が必要な状況である。重傷者の搬送距離を図5に示す。地震規模が大きくなるにしたがって重傷者の搬送距離も長くなる事が分かる。また、図6と図7にあふれた病床数の分布を示す。札幌商圏・月寒断層 M6.8では7,977床、稚内商圏・サロベツ断層 M7.1では101床、北西沖 M7.8では218床の病床が不足している結果となった。これは札幌商圏では現在商圏内で病床数が最大の病院 8.5 施設分、稚内商圏では1施設分にあたる。札幌商圏の場合、人口の多さと震度が高い箇所に曝露人口が多いという2つの要因により重傷者数がどの商圏よりも多くなることで大幅に重傷者が病床数を超過してしまう。稚内商圏の場合、利尻島・礼文島などの大きい離島での被害が大きくなると離島内の病床数では不足してしまい、ヘリや船での搬送が必要になり対応が困難になることが原因としてあげられる。

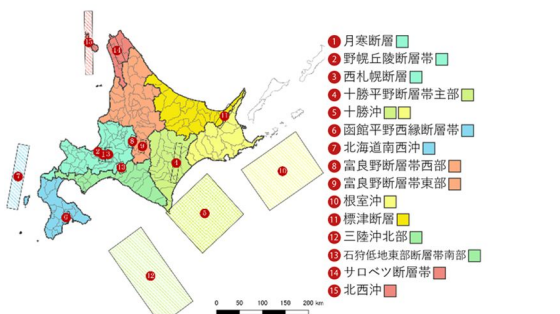


図4 8商圏と想定地震 1)2)

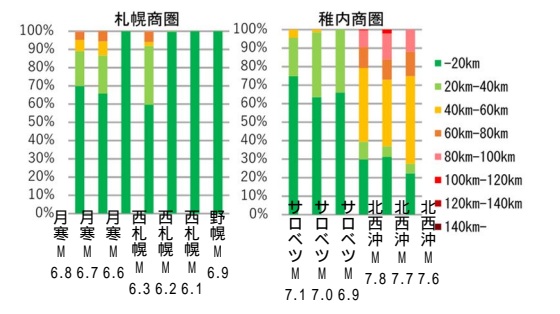


図5 搬送距離の重傷者割合

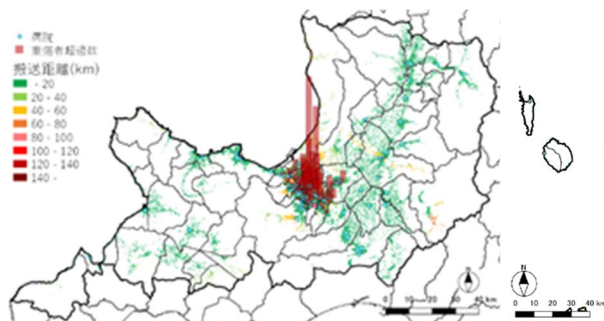


図 6 札幌圏-搬送距離分布(月寒 M6.8)

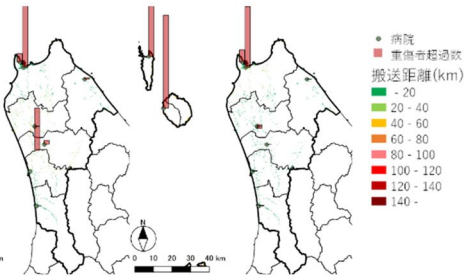


図 7 稚内圏-搬送距離分布

#### (4)北海道における防災対策

津波問題において、対策実施後も助けられない命が多数存在することが判明し、安全な地域への住まいの誘導が重要になる。しかしながら、北海道の木造家屋においては、他地域と比べ住宅価格が高い。加えて、しかしながら、貯金額は他地域と比べ低くなっているため、住宅を建て替えるためのハードルが高く平均の住宅価格と貯金額の比は住宅の建て替えが進んでいかないことも考えられる。将来の住民の安全な地域への集約化においては、資金補助の在り方も検討する必要があるだろう。また、適切な医療行為を受けるためには、負傷者の軽減が重要となるが、建物被害に起因する死傷者に比べ、室内における負傷者については、減少が見られないことが道内各地域の人的被害推定から判明している。特に、住宅所有区分ごとに人的被害リスク評価を実施した結果、全国において賃貸住宅においては、持ち家に比べ地震による負傷確率が高くなっていることも明らかとなった。しかしながら、賃貸住宅の選定には、立地や築年、家賃、設備などが選定理由となっており、市民が住宅の地震安全性を考慮して賃貸住宅を選べるような手法は存在していない。人的被害発生者数の軽減のためには、安全な賃貸住宅を選ぶ耐え目の情報提供手法などの構築が重要となると考えられる。

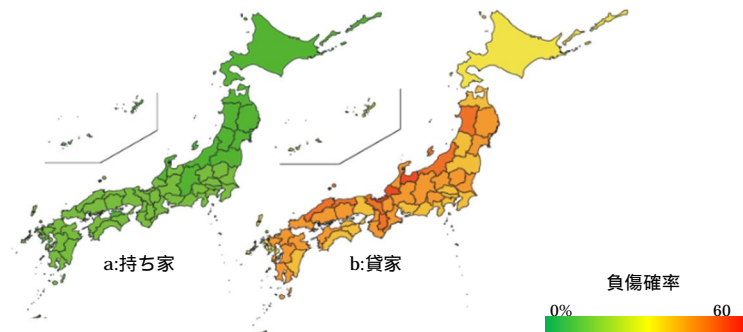


図 8 所有区分に伴う地震に伴う地震リスクの比較

#### 参考文献

- 1) 北海道庁：平成 21 年度北海道広域圏動向調査,2014.
- 2) 北海道総務部危機対策局危機対策課：平成 25 年度地震被害想定等調査結果報告書,2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakashima Tadayoshi, Okada Shigeyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Financial Imbalances in Regional Disaster Recovery Following Earthquakes Case Study Concerning Housing-Cost Expenditures in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 3225 ~ 3225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su10093225	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakashima Tadayoshi, Okada Shigeyuki, Shinoda Akane	4. 巻 12
2. 論文標題 The Importance of Seismic Death Risk Assessment of Households in the Kumamoto Earthquake of 2016	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 1151 ~ 1160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2017.p1151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 角田 勲亮, 岡田 成幸, 中嶋 唯貴	4. 巻 19
2. 論文標題 少子高齢化現象が地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価 ~ 自助・共助・公助による減災対策効果の限界 ~	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 5_423 ~ 5_439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5610/jaee.19.5_423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 角田勲亮・岡田成幸・中嶋唯貴
2. 発表標題 地震動に伴う閉じ込めを考慮した住民転居による津波人的被害減災評価
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷川真衣・岡田成幸・中嶋唯貴
2. 発表標題 札幌市近傍断層の想定震源距離漸増による災害対応限界の評価-医療従事者・患者搬送の観点から
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋唯貴・岡田成幸・篠田茜・松多信尚
2. 発表標題 熊本県益城町を対象とした地区別死者数の分析
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋唯貴・岡田成幸・気仙誠
2. 発表標題 北海道の木造家屋耐震性能が人的被害評価へ与える影響
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadayoshi Nakashima, Shigeyuki OKADA
2. 発表標題 The Importance of Seismic Death Risk Assessment Each Household Unit
3. 学会等名 JPGU and Agu joint meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 西嘉山純一郎, 中嶋唯貴, 岡田成幸, 寺西祐平
2. 発表標題 :2018年北海道胆振東部地震の被害調査 一厚真町全世帯アンケート調査の基礎解析 -
3. 学会等名 地域安全学会論文梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川怜恵・中嶋唯貴・岡田成幸
2. 発表標題 市場取引にみる賃貸住宅の地震時室内リスク価格の地域間評価
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷川真衣・中嶋唯貴・岡田成幸:
2. 発表標題 想定震源規模漸増による札幌市の災害対応限界の評価 その2 室内及び建物の複合被害による負傷者推定に基づく患者搬送の限界評価-
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋唯貴・岡田成幸
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その3 安平町全世帯アンケート調査の基礎解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	角田 叡亮 (THUNODA SATOAKI)		
研究協力者	篠田 茜 (SHINODA AKANE)		
研究協力者	谷川 麻衣 (TANIGAWA MAI)		
研究協力者	大久保 光 (OKUBO HIKARU)		
研究協力者	西嘉山 純一郎 (NISHIKAYAMA JUNICHIRO)		
研究協力者	中野 秀洋 (NAKANO HIDEHIRO)		
研究協力者	早川 怜恵 (HAYAKAWA SATOE)		



## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	岩崎 祥太郎  (IWASAKI SHOTARO)		