

海面上昇による津波の経済被害評価の試み —宮城県でのアウターライズ地震津波の事例

藤 浩介*, サッパシー・アナワット**, 今村文彦**, ペコクスン・クワンチャイ**

Key Words: *Tsunami risk, Economic loss, Sea Level Rise, Outer-rise earthquake, I-O Table*

1. 序論

近年、気候変動の影響により自然災害のリスクが増加することが予測されている。国連防災機関 (UNDRR) の報告によると、過去 20 年間 (1998 ~ 2017) の自然災害によるすべての経済被害は、その前の 20 年間と比較して 150% 以上増加している。2021 年の IPCC による第 6 次評価報告書によると、2100 年までに海面が 0.82m 上昇する可能性が示された。特に海面上昇は津波の強度に大きく影響し、長期的な防災対策にはその影響を考慮する必要がある。それに伴い様々な観点から研究が行われてきた。しかし、海面上昇が津波の経済的リスクに与える影響については、調査事例が少ない。特に、RCP シナリオに基づく海面上昇の影響は明らかになっていない。

本研究は、海面上昇が津波経済被害に与える影響を明らかにすることを目的として、東

北地方太平洋沖地震に伴って懸念されているアウターライズ地震津波を対象に、1) RCP シナリオに基づく海面上昇が津波経済被害に与える影響を明らかにすること、2) 複数のアウターライズモデルで被害を評価し、その被害の違いを明らかにすること、の 2 点を目的とする。そこで本研究では、まず宮城県を対象に、5 つのアウターライズモデルと 5 つの RCP シナリオについて津波数値計算と津波経済被害推定を行った。そして次に、全国への間接的な経済的被害を考慮した、海面上昇の影響に関する分析を行った。

2. 条件・手法

本研究における被害推定手法の流れを図-1 に示す。津波の数値計算で得られた浸水マップと産業連関表と土地利用データを組み合わせたデータから津波経済被害の推定を行う。その説明は以下の通り。

(1) 対象地域

9 地域に分けられた日本全国を対象として分析を行った。

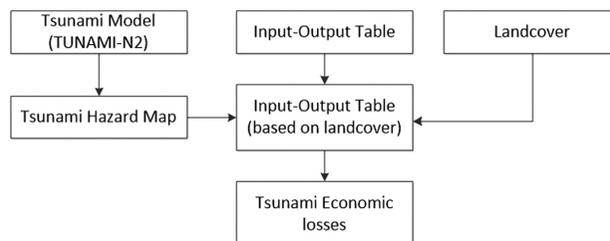


図-1 本研究で使用した土地利用データ

*PwC あらた有限責任監査法人

** 東北大学災害科学国際研究所

(2) 津波数値計算

a) 地震断層モデル

本研究の断層モデルには、Baba ら 2020 が提案したアウトライズ地震のパラメータを使用し津波数値計算を行った。本研究では、Baba ら 2020 が提案した 33 のモデルのうち、Mw8.0 ~ 8.3 の 5 つのモデルを使用した。本研究で使用したパラメータは表-1 の通り。

b) 海面上昇シナリオ

本研究では、潮位を考慮せず、将来発生するアウトライズ地震の発生を仮定する。現在の海面シナリオに加え、複数の海面シナリオで評価を行った。IPCC の 4 つの RCP シナリオで予測されている 1986 ~ 2005 年を基準として 2080 ~ 2100 年までの平均海面上昇量の推定値からそれぞれ平均を取り、0.00 m, 0.43 m, 0.47 m, 0.60 m, 0.82 m の 5 つ直シナリオで分析を行った。

c) 津波数値計算モデル

地形データには内閣府中央防災会議が公表している最小格子間隔 50 m のものを使用した。また、防潮堤を考慮していない最悪のケースの津波浸水計算を行った。本研究では、津波電波モデルとして TUNAMI-N2 を使用した。

d) 津波経済被害推定

本研究では、Pakoksung ら 2017 の手法にない、産業連関表を使用し、土地利用データと産業連関表を対応させることで、各土地利用データの浸水した割合と対応する産業部門の最終需要から直接被害額を算出する。土地利用データと産業部門の対応は、表-2 の通り。直接被害を受けたとする津波の浸水は、床上浸水の定義と同じく、0.5 m とした。使用した土地利用データは図-2 に示す。本研究では、平成 27 年宮城県産業連関表、平成 17 年地域間産業連関表を使用した。産業連関表の基本式とその均衡解は以下式 (1), (2) のように示される。

表-1 本研究で使用したアウトライズモデルのパラメータ

ID	Lat. (°)	Lon. (°)	Depth (m)	L (km)	W (km)	Dip (°)	Strike (°)	Rake (°)	Slip (°)	Mw
10	40.22	144.87	0.1	218	46	60	189	270	7.3	8.3
15	38.74	144.90	0.1	167	46	60	184	270	4.5	8.1
31	37.97	144.91	0.1	155	46	60	41	270	3.9	8.0
32	37.97	144.91	0.1	166	46	60	49	270	4.4	8.1
33	37.97	144.91	0.1	195	46	60	42	270	6.0	8.0

表-2 土地利用データと産業連関部門の対応

統一名	産業連関表の部門	土地利用データ
農業	農業/畜産/農業サービス	田/その他農用地 (土地利用細分メッシュ)
林業	林業	森林(土地利用細分メッシュ)
漁業	漁業	漁港データ
鉱工業	鉱業/飲食品/飼料・有機質肥料/繊維製品/ パルプ・紙・木製品/印刷・製版・製本/ 化学製品/石油・石炭製品/プラスチック製品/ ゴム製品/窯業・土石製品/鉄鋼製品/金属製品/ 一般機械/産業用電気機器/電子応用装置・電気計測器/ その他の電気機器/民生用電気機器/ 情報・通信機器/電子部品/乗用車・その他の自動車/ その他の輸送機械・同修理/精密機械/ その他の製造工業製品/	工業地帯データ
その他	建築・建設補修/公共事業/ その他の土木建設/電力・ガス・熱供給/ 水道・廃棄物処理/商業/金融・保険・不動産/ 運輸/情報通信/公務/その他公共サービス/ 対事務所サービス/対個人サービス/その他	建物用地 (土地利用細分メッシュ)

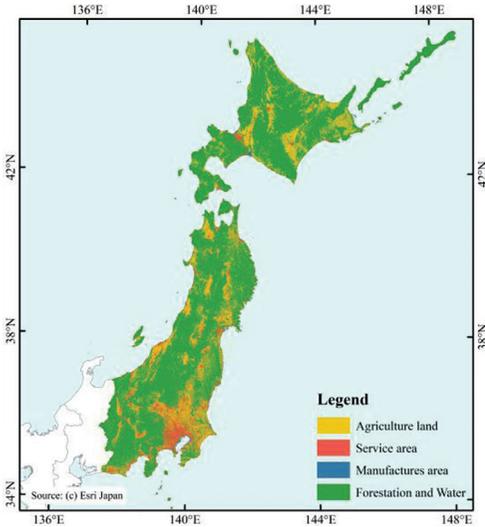


図-2 本研究で使用した土地利用データ

$$(I - M)AX + (I - M)Y = X \quad (1)$$

$$X = [(I - M)A]^{-1} [(I - M)Y + E] \quad (2)$$

ここで、 X は地域の生産額ベクトル、 Y は最終需要ベクトル、 A は投入係数行列、 I は単位行列、 M は輸入係数行列である。地域の生産額は中間需要と最終需要の和となり、式(1)の行列式を変形すると、式(2)のように、Leontief行列を用いて、地域の生産額と最終需要の関係式が導かれる。式(2)では、最終需要の変動量を直接被害とみなし、間接被害を含めた総被害を計算することができる。

3. 結果・考察

(1) 宮城県の被害に海面上昇が与える影響

まず、津波数値計算の結果から得られた各アウトターライズ地震の浸水面積および最大浸水深と海面上昇の関係を図-3、図-4に示す。浸水面積と最大浸水深はともに海面上昇に対して同じような推移をみせる結果となった。その中でも、マグニチュードが一番大きいID10 (Mw 8.3) が最も宮城県

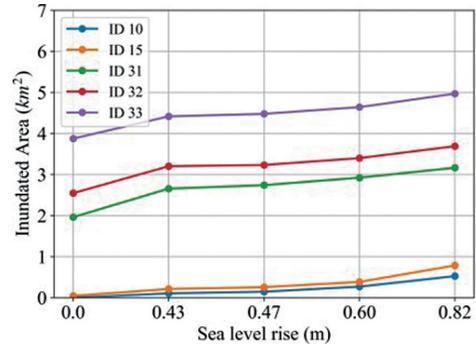


図-3 宮城県の浸水面積と海面上昇の関係

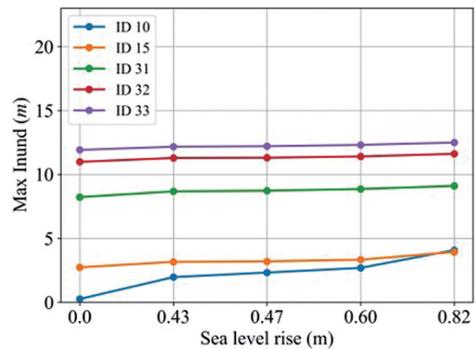


図-4 宮城県の最大浸水深と海面上昇の関係

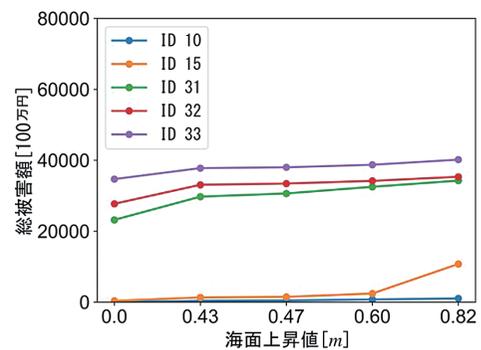


図-5 宮城県の被害額と海面上昇の関係

に与える被害が小さく、一方でマグニチュードの小さいID33 (Mw 8.0) が最も宮城県に与える被害が大きい結果となった。グラフの推移をみると、ID10とID15の2ケースと、ID31とID32、ID33の3ケースの2通りの推移がみられる。この2通りでは、断層パラメータの位置が大きく異なる。表-1の緯度経度と走行角のパラメータをみると、

前者の 2 ケースは緯度 38 度付近もしくはそれより北を南北に沿って位置している。一方後者の 3 ケースは、緯度 37 度付近を南西から北東方向に位置している。仙台市が北緯 38 度であり、宮城県の地形で仙台湾が南東方向を向いていることから、ID31 と ID32、ID33 の 3 ケースは、より強度を持って宮城県を津波で襲ったと推察される。また、ID10 と ID15 は、0.82m の海面上昇で被害が大幅に増加していることがわかる。これは、最悪のシナリオが進行していくと急激に被害が増大するポイントがあることを示しており、他の地域でも、海面上昇とともに一定のスピードではなく急に被害がある可能性が考えられる。

次に津波の経済被害推定から得られた、宮城県の被害額と海面上昇の関係を図-5 に示す。この結果では、浸水面積と比べて、大きな差が表れている。被害額の内訳をみると、鉱工業の被害が多くを占めており、また鉱工業は他産業と関係性が深いため、直接被害が増加すると同時に間接被害にも影響を与えている。工業地帯データをみても、鉱工業の多くは沿岸部に位置しており、内陸部でも高速道路の近くなど限られた場所に集中しているため、沿岸部の工場が受けた被害は産業として多大なものになる。また、海面上昇が 0.82m の場合の被害額の、海面上昇 0m の場合の被害額に対する増加率をみると、ID15 が 312%、ID31 が 47%、ID32 が 27%、ID33 が 15% と、被

害の大きかった ID33 の増加率が小さい一方で、浸水面積と同様に ID15 が大きな増加量を示している。これもやはり、鉱工業に被害が及んだことで、浸水面積では ID10 と大きな差はなかったが、被害額には差があらわれ、少しの海面上昇による被害の変化の大きさが示されている。

(2) 全国の被害に海面上昇が与える影響

アウターライズ地震の被害を、日本全国を対象として分析した際の結果を図-6、図-7 に示す。こちらの分析では、対象地域の拡大のため、海面上昇値に関しては 0m、0.5m、1.0m、と簡易的な代表値を取った。図-6 は、海面上昇を考慮していない場合の各地域の直接被害額と間接被害額を示している。全国的に間接被害は広がっているが、特に関東が東北よりも直接被害額が小さいにもかかわらず、大きな間接被害額となっている。これは、首都を含む関東が日本の経済の基盤となっていることが理由の一つとして考えられ、日本に限らず経済の中心となっている地域の防災活動の必要性がわかる。

次に、図-7 はアウターライズ地震による全国の被害と海面上昇の関係を示している。海面上昇による被害額の増加率としては、0.5m の海面上昇で 9%、1.0m の海面上昇で 21% とおおよそ線形的に増加した。また、間接被害額の割合は 65% を超えており、のように被害を受けていない地域でも、直接被害を受けた地域に及ぶ被害を受

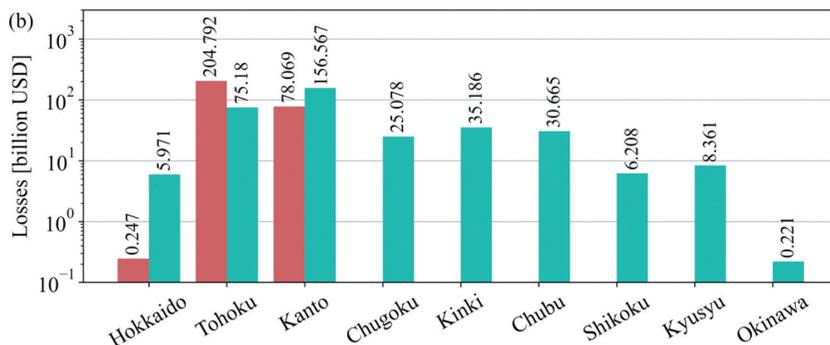


図-6 地域別の被害額

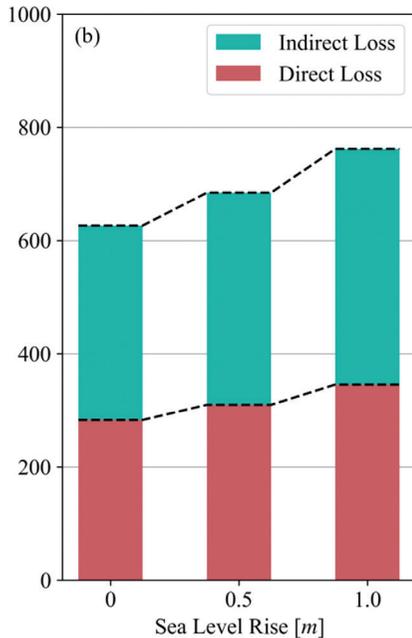


図-7 全国の被害額と海面上昇の関係

ける可能性がある。こういった被害を防ぐためにも、サプライチェーンなどといった災害時の事業継続も被害を減らす重要な要素だと言える。

4. おわりに

本研究は、海面上昇が津波による経済被害に与える影響を明らかにすることを目的とし、宮城県を対象に複数のRCPシナリオ、アウトターライズモデルで分析を行い、その海面上昇の影響と、アウトターライズ地震のモデルによる被害の違いを明らかにした。

主な結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 海面上昇によって被害が増加することが定量的に示され、津波災害の場合は、沿岸部に位置する鉱工業が被害を受けることで急に間接被害を含めた被害が増加する可能性がある。
- 2) アウトターライズ地震のモデルによって、被害の様相は大きく異なり、宮城県の緯

度と南東を向いた仙台湾の地形から、宮城県を向いている断層の場合は、地震規模が大きい地震以上に被害をもたらす。

- 3) 全国の被害の推計から、関東のような経済の中心地が受けた被害は、全国的に強く波及するため、一層防災に尽力する必要がある。
- 4) 全国を対象とした分析では、間接被害額の割合が65%を超えており、今後総合的な被害を低減していくためには、事業継続にも力を入れることが求められる。

宮城および日本全国のアウトターライズ地震被害の分析から、海面上昇が津波の経済被害に与える影響と被害の様相を明らかにできた。

より詳細な被害率を考慮した直接被害額の算出や、長期的な土地利用や経済構造の変化を考慮するなど、さらに高度な評価を行うことは、今後の課題とする。

参考文献

- 1) UNDRR : Sendai Framework for Disaster 2018 Annual Report, 2018.
- 2) IPCC : CLIMATE CHANGE 2021 Synthesis Report, 2021.
- 3) 藤ら : 海面上昇が津波経済被害額に与える影響評価ー産業連関表を用いた推定法ー. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 77 (2), I_1081-1_1086
- 4) Pakoksung et al. : Approach of estimating tsunami economic losses in The Okinawa Island-with scenario-based of input-output table and Okinawa Earthquake Sources, Internet Journal of Society for Social Management Systems, Vol.11, Issue 1, sms17-4567, 2017.
- 5) Baba et al. : Deep Investigations of Outer-Rise Tsunami Characteristics Using Well-Mapped Normal Faults Along the Japan Trench, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2020, Volume 125, Issue 10.