

「地球温暖化による海面上昇が津波被害に与える影響」

東北大学災害科学国際研究所
工学研究科土木工学専攻
チュラロンコン大学工学研究科
経営工学専攻（非常勤）
サッパシー アナワット

1. はじめに

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と予測されている。その中で津波災害においては、地球温暖化による海面上昇の影響を強く受けると考えられる。しかし、海面上昇が津波ハザード及びそれに伴う被害に与える影響は明らかになっておらず、将来的な津波による被害額推定のために評価が必要である。本稿では、1) 海面上昇による津波ハザードへの影響及び被害額への影響¹⁾、2) 港湾ネットワークへの影響²⁾について紹介する。まずは、土地利用データと産業連関表を用いた経済モデルによって、海面上昇が日本海溝沿いの巨大地震モデルによる、東北地方の津波被害額に対して与える影響を推定する。現在および複数の海面上昇シナリオに対する津波ハザードおよび津波リスクを推定する。海面上昇による津波ハザード及び被害額への影響では、内閣府によって新たに公開された日本海溝沿いの巨大地震による地震津波が、現在および海面上昇が懸念される将来の津波経済リスクに与える影響を定量的に評価することを目的とする。そのために、現在の海面および複数の海面上昇シナリオに対して数値計算を行い、東北地方沿岸部が受ける直接被害や、産業連関分析による間接被害を踏まえた津波被害額を推計し、海面上昇の影響を定量的に評価する。さらに、被害額を産業部門単位、県単位で分析することで、将来の海面上昇による津波リスクに対して脆弱性が大きい産業部門や県を明らかにする。津波及び海面上昇による港湾ネットワークへの影響評価については、港湾ネットワークに与えるリスクを包括的・定量的に評価する手法を開発し、世界の定期船ネットワークの位相やと港湾同士の接続度、地球温暖化による海面上昇等も考慮する。南シナ海のマニラ海溝で巨大地震・津波が発生するシナリオを適用し、世界の港湾および港湾ネットワークに生じるリスクを分析することに加えて、海面上昇による影響も評価する。

2. 浸水面積に対する海面上昇の影響

本稿で使用する断層モデルは、令和 2 年 4 月に内閣府より公表された「日本海溝沿いの巨大地震モデル」(図 1 左)を対象とした³⁾。また、日本海溝モデルによる地震津波が将来的に発生することを想定し海面上昇値を設定する。気候変動に関する政府間パネル(IPCC, International Pannel on Climate Change)が 2014 年に公表した第 5 次評価報告書によると、1986-2005 年を基準とした 2081-2100 年の世界平均海水面水位上昇は、RCP2.6 シナリオで 0.26-0.55m, RCP8.5 シナリオで 0.45-0.82 と推定されている⁴⁾。日本海溝モデルによる地震津波の発生までの海面上昇値にも不確実性があることから、IPCC の推定値を基に代表値として 0m, 0.25m, 0.5m, 0.75m, 1.0m を海面上昇値として設定した。東北地方での地形データは、内閣府中央防災会議による公開データ(2005)を使用した(図 1 右)。最小空間格子間隔は 50m である。また、防潮堤に関しては考慮せず最悪のケースを想定した津波計算を行う。断層モデルは、日本海溝沿いの巨大地震モデルにおける地殻変動量の図から海面初期変位を算出した。本稿では、津波電波モデルは、Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field tsunamis, No.2 (TUNAMI-N2) を使用した。

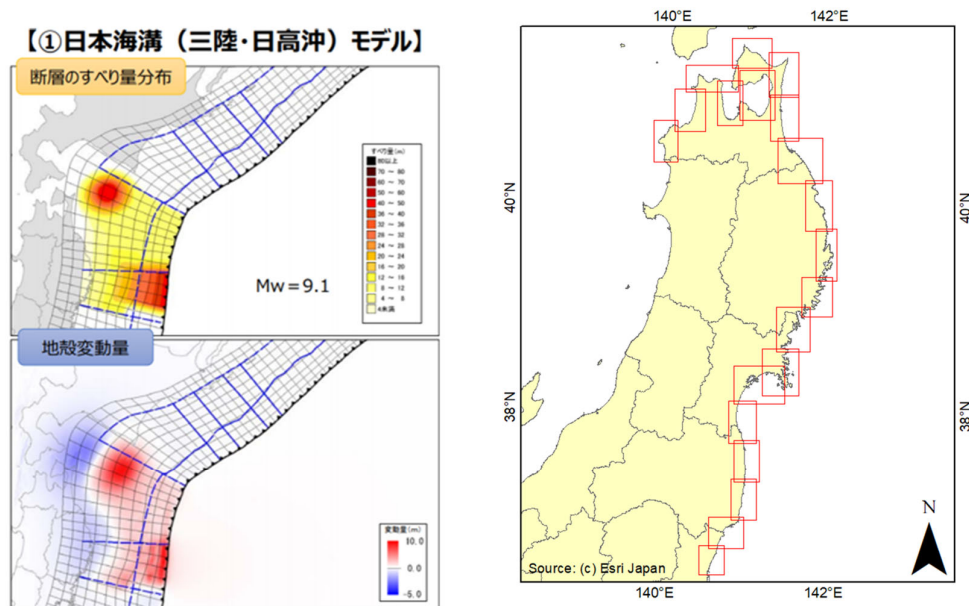


図 1 左：日本海溝沿いの巨大地震モデルの地殻変動量を初期水位データ。右：東北地方での 50m メッシュ領域の位置図。

津波数値計算から得られた各シナリオにおける閾値 0.5m 以上の浸水面積の値とその変化を図 2 および表 1 に示した。海面上昇 0m 時の浸水マップは内閣府の浸水想定と大きな差異はなかった。図-3 より、海面上昇値と浸水面積の増加率はおおよそ比例関係にあるが、各県によって増加率が異なる。特に、4 件の中では波源から遠い宮城・福島が増加率が 1m の海面上昇でそれぞれ約 105%, 約 66%と比較的高く、逆に波源に近い青森・岩手の増加率が 1m の海面上昇でそれぞれ約 24%, 約 19%と比較的小さい。この増加率の差により、宮城の浸水面積は 0.5m 上昇シナリオで青森の値を上回っている。浸水面積の増加率に差が生じた要因としては、宮城・福島は沿岸部に平地が多いこと、岩手県は沿岸部がリアス式海岸となっており浸水が広がりにくいこと、また青森県では海面上昇 0m のシナリオで既に平地の多くに浸水が広がっていたことが考えられる。

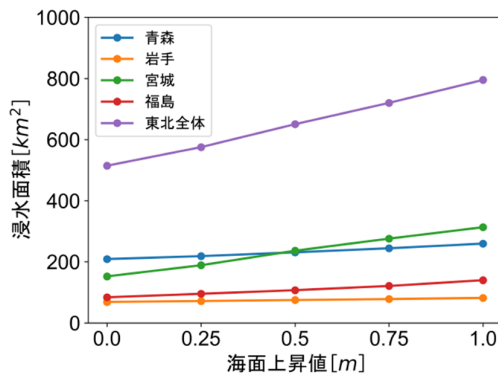


図 2 海面上昇値に対する浸水面積 (km²).

海面上昇値	青森	岩手	宮城	福島	東北合計
0.00m	209.2	68.8	152.5	84.2	514.8
0.25m	218.8	72.0	189.0	95.6	575.4
0.50m	231.3	75.3	236.5	107.4	650.5
0.75m	244.6	78.4	276.1	121.2	720.3
1.00m	259.7	82.1	313.4	140.2	795.4

表 1 各海面上昇シナリオにおける浸水面積

3. 被害額に対する海面上昇の影響

本研究の経済モデルは、Pakoksung et al.(2017)⁵⁾の手法に基づくモデルを使用し、5 種類の土地利用データを使用することで部門の集約を行う。土地利用データと産業連関表の対応を表-1 に示す。各土地利用データの浸水割合から集約された各部門の直接被害額を推計する。産業連関表は、東北活性化研究センターが作成した「平成 17 年東北地域県間産業連関表」⁶⁾を使用した。以上の推計手法により、各海面上昇シナリオに対する津波被害額を推計した。さらに、得られた被害額に産業連関表から得られる付加価値率を乗じることで、対 GDP 被害率を求め、分析を行った。

3.1 現在の海面シナリオにおける津波被害額推定

現在の海面シナリオに対する津波被害額の推定結果を図 3 左に示す。これより、東北地方全体の被害額は、約 5.1 兆円（うち間接被害額約 25%）と推定された。県別の被害額は宮城が約 2.1 兆円と最も大きい。対 GDP 被害率では青森が約 18%と最も高く、日本海溝モデルによる津波被害に対する脆弱性が大きいことがわかった。

一方、直接的な津波被害を受けない 3 県（秋田、山形、新潟）の間接被害額は、100 億円以下、対 GDP 被害率は 0.3%以下と直接被災する県に比べて小さい結果となり、直接被災していない県に対する間接被害は限定的であることが示された。

3.2 東北地方全体の被害額に対する海面上昇の影響

東北地方全体の被害額と海面上昇値の関係である（図 3 右）。東北地方全体の被害は、0.5m の海面上昇で約 23%，1m の海面上昇で約 46%増加することが明らかとなった。また、間接被害額よりも直接被災額のほうが増加率が大きくなることも示された。また、直接被災額に比べて間接被害額は小さい。これは東北地方からの移出先、つまり東北から関東や北海道など、他の地方への間接被害が含まれていないためだと推察できる。

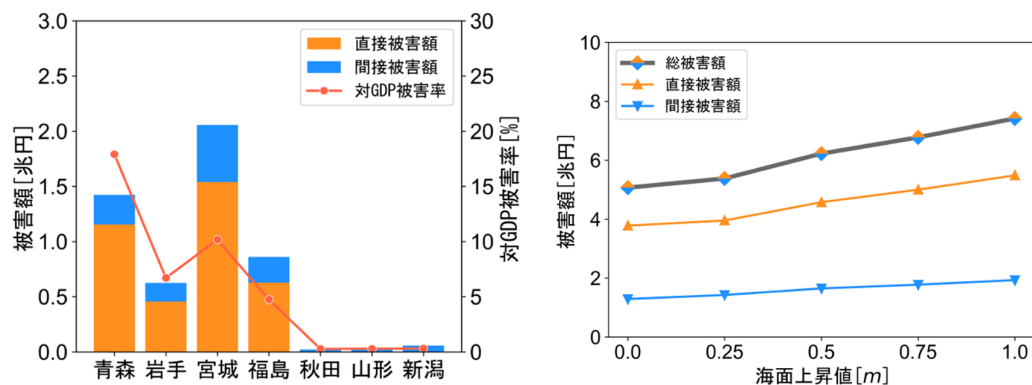


図 3 左：津波被害額の推定結果。右：海面上昇値に対する東北地方の被害額

3.3 県別被害額に対する海面上昇の影響

県別の各海面上昇値に対する被害額および対 GDP 被害率をそれぞれ図-6，図-7 に示す。被害額に着目すると、宮城・福島の被害額は青森・岩手に比べると 1m 海面上昇した際の総被害額の増加率（海面上昇 0m 比）がそれぞれ約 75%，約 59%と高い増加率となり、浸水面積と同様に、波源から比較的遠くても、沿岸部に平地が広がっているこ

とにより海面上昇の影響を受けやすいことが推察された。一方、対 GDP 被害率では、海面上昇によって特に宮城・福島被害率が増加し、宮城に関しては 1m の海面上昇によって、青森と同等の被害率となった。したがって、今後海面上昇によってさらに脆弱性が高い地域が現れる可能性が示唆された。

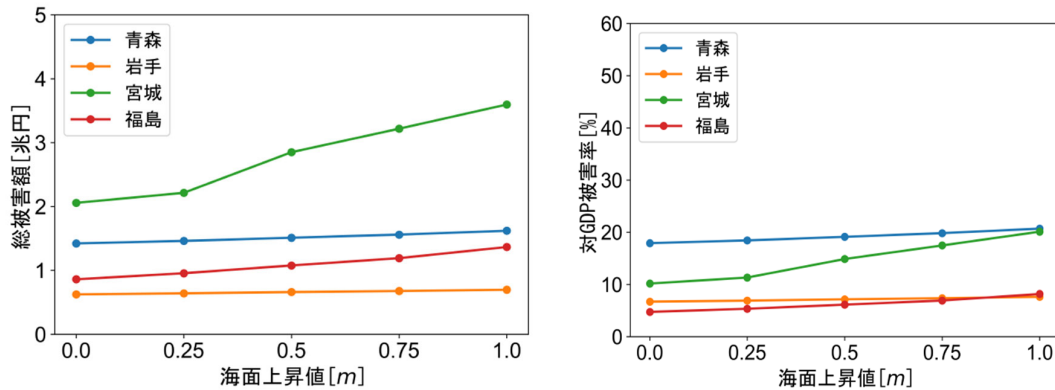


図 4 左：海面上昇値に対する県別被害額。右：海面上昇値に対する県別被害率。

3.4 産業部門別被害額に対する海面上昇の影響

5 種類の産業部門別の各海面上昇値に対する被害額を図 5 に示した。いずれの部門も海面上昇によって被害額が増加していることが確認できるが、特に農業、その他部門における被害額の増加率が 1.0m の海面上昇に対してそれぞれ約 29%、約 78%と著しいが、これは表-1 に示されている、それぞれ対応している土地利用データの農地及び建物用地が沿岸部の平地に多く分布している影響だと考えられる。したがって、特にこの 2 部門が長期的に脆弱性が大きくなることが予測され、災害対策が求められる。また、被害額をみると鉱工業が約 3 兆円と特に大きく、東北全体の被害額への影響も大きいと考えられることから、沿岸部の工業地域に対しても対策が必要だと考えられる。

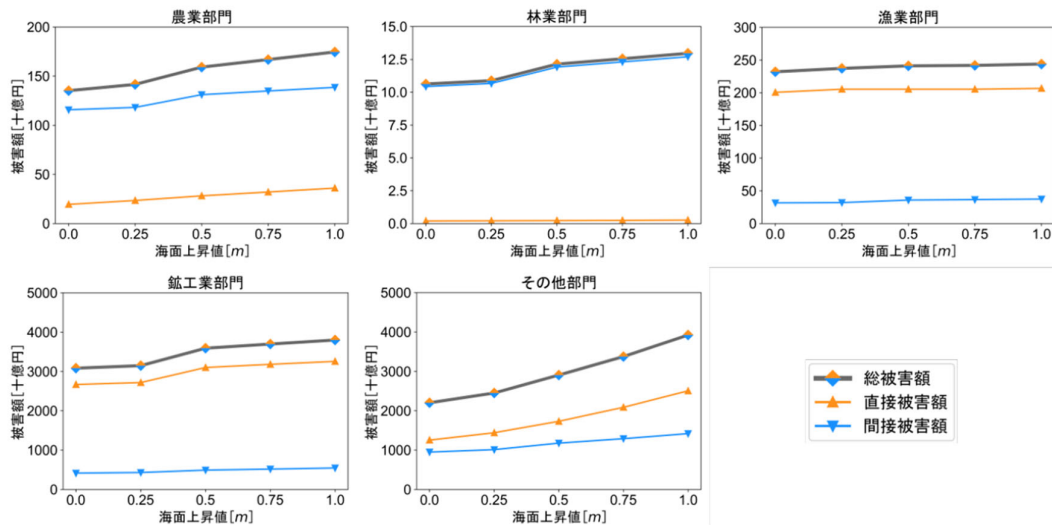


図 5 海面上昇値に対する産業部門別被害額

4. 港湾ネットワークにもたらす影響

世界の港湾ネットワークの位相、港湾同士の接続度、地球温暖化による海面上昇等を考慮し、津波が港湾および世界の港湾ネットワークにもたらす影響を包括的に評価する手法を開発した。この手法に南シナ海のマニラ海溝で巨大地震・津波が発生するシナリオ⁷⁾を適用し、世界の港湾および港湾ネットワークに生じるリスクを分析した。分析にあたり、津波高に関するデータに加え、「IPCC 第 6 次評価報告書」の最新データに基づく将来の海面上昇も考慮して計 104 シナリオを検討した。その結果²⁾、マニラ海溝地震・津波は現在の海面水位では最大で 11 の港湾に被害を与え、また 2100 年の海面上昇条件下では最大で 15 の港湾に被害を与える可能性が明らかになった(図 6)。最も被害の大きい港湾は 200 日以上も機能が停止することが予測される。経済損失の度合いは、港湾の機能停止期間ではなく年間貨物取扱量と関係していた。海面上昇による津波高や港湾ネットワークへの影響は場所によって異なるが、どのシナリオでも香港、フィリピン・マニラ、台湾・高雄の各港湾の貿易損失額が大きいことが示された。また、寸断される航路の数は 2004 年のインド洋津波や 2011 年の東日本大震災時を上回っていた。これは主に、南シナ海に多くのハブ港湾があり、世界有数の海上輸送の要所となっているためである。さらに、新たな指標「媒介中心性変化率」(＝結節点(港湾)が他の結節点のペア間の最短経路に位置する程度を定めることにより、ネットワーク全体における当該結節点(港湾)の重要性を測定する)を導入し、津波で影響を受けにくい港湾の機能を評価して代替港湾を提示することも可能にした。

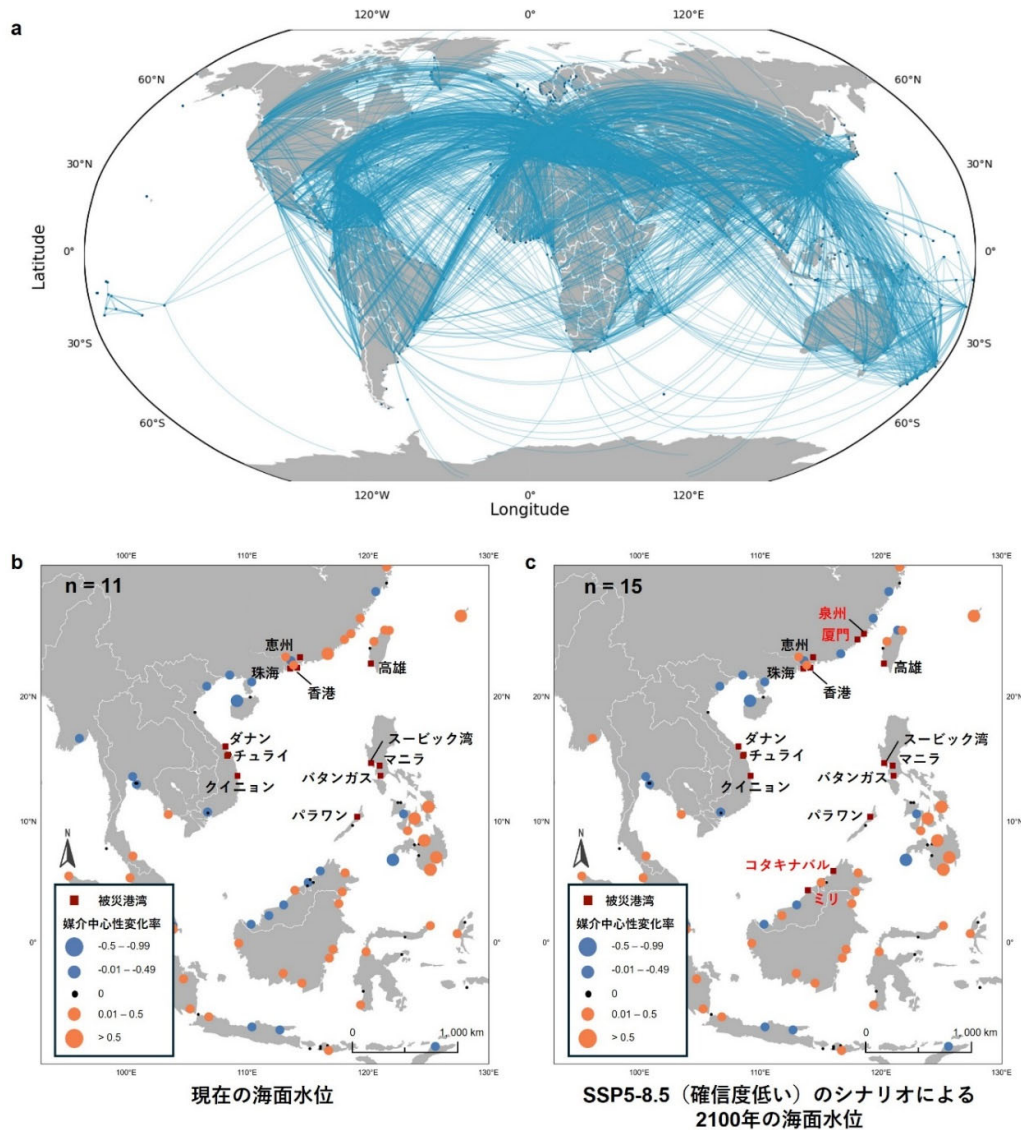


図6 a. コンテナサービスの港湾ネットワーク. b. 現在の海面水位で被災することが推定される港湾 (n=11). c. 2100 年までの海面上昇シナリオで被災が推定される港湾 (n=15).

※媒介中心変化率が0より大きい場合（オレンジ色の点）は、対象港湾が他の港湾間の「最短経路」に位置する頻度が増加し、代替の中継港として機能することを示す。媒介中心変化率が0より小さい場合（青色の点）は、対象港湾が他の港湾間の「最短経路」に位置する頻度が減少し、予定されていた船舶が寄港せず、他の港湾へ転換されることを示す。

5. 今後の展望

地震津波は複合災害であり、これまで将来的な津波被害による経済リスクを推計するのは難しいとされていたが、本稿の手法では、産業連関表と国土数値情報の土地利用データといった公表データを用いて被害推定を行い、簡易的に海面上昇の影響を評価することができた。また産業連関表の特性を利用して被災地以外が受ける間接的な被害までも推定が可能となった。一方で、本研究で利用した公表データの整備には多大な労力がかかり、地域間産業連関表に関しては 2005 年を最後に作成が打ち切られてしまった。本研究をはじめさまざまな研究で、産業連関表を用いた分析の有用性が改めて示され、作成が再開されることに期待したい。また、本研究では海面上昇の影響を評価することに焦点を置いているため、推定結果が過大評価となっている一方で、日本海溝モデルによる北海道の被害がまだ考慮されていない。今後は、被害関数を考慮したリスク推定の高度化に加え、被災地の対象地域を広げることが必要であると考察した。本稿で紹介された津波による港湾ネットワークへの影響評価手法は他地域の津波リスク評価にも適用が可能である。これにより、港湾・海運関係者は津波のリスクを事前に把握して防災・減災に生かし、被災後も競争力を維持するための事業継続計画（BCP）を考えることが可能となる。

「参考文献」

- 1) 藤 皓介, Anawat SUPPASRI, Kwanchai PAKOKSUNG, 宮本 龍, 今村 文彦, 松八重一代 (2021) 海面上昇が津波被害額に与える影響評価 -産業連関表を用いた推定法-, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 77 (2), I_1081—I_1086.
- 2) Chua, C.T., Otake, T., Li, T., Cheng, A.C., Qiu, Q., Li, L.L., Suppasri, A., Imamura, F. and Switzer, A.D. (2024) An approach to assessing tsunami risk to the global port network under rising sea levels, npj Natural Hazards, 1, 38.
- 3) 内閣府(防災担当): 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告): http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/model/pdf/honbun.pdf
- 4) 気象庁: IPCC 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書, 2015.
- 5) Pakoksung, K., Suppasri, A., Matsubae, K. and Imamura, F. (2019) Estimating Tsunami Economic Losses of Okinawa Island with Multi-Regional-Input-Output Modeling, Geosciences, 9 (8), 349.
- 6) (財) 東北活性化研究センター: 平成 17 年東北地域県間産業連関表, 2005.
- 7) Qiu, Q. et al. (2019) Revised earthquake sources along Manila trench for tsunami hazard assessment in the South China Sea. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 19, 1565–1583.