

津波リスクカーブを用いた 南海トラフ沖地震による静岡県内の想定被害分析

橋 竜瞳¹・森田 紘圭²・唐津 佑一朗³
柴原 尚希²・加藤 博和²・林 良嗣⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科

E-mail: rtachibana@urban.env.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院環境学研究科

³正会員 日本たばこ産業株式会社製造部九州工場

⁴フェロー 名古屋大学大学院環境学研究科

2011年3月に発生した東日本大震災以降、極めて稀にしか発生しないものの、一度生じると甚大な被害をもたらす低頻度メガリスクに対し、防災だけではなく減災を取り入れた施策を新たに検討する必要性が指摘されている。本研究では、南海トラフ沖地震を想定し、それによる津波の人的被害量と発生確率との関係を連続的に示す津波リスクカーブを作成し、リスクの定量評価を行った。さらに対象地域の予測被害の様相について詳細に分析・考察を行った。

Key Words : risk curve, tsunami, Nankai Trough Quake, GIS

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災では高さ10mを超える津波により、東北・関東沿岸域は甚大な被害を受けた。堤防破壊や、沿岸市街地への壊滅的打撃は、低頻度メガリスク災害への対応を根本から問うものであった。東日本大震災を受けて、2012年8月に中央防災会議より公表された報告書¹⁾では、前回(2003年)の検討²⁾を大幅に見直し、マグニチュード(M_w)9.1クラスの地震が発生した場合の被害規模を推計した。その結果、今後発生が予想される南海トラフ沖地震では、その予想最大被害が従来予想の数倍になるとされ、推定死者数は全国で32万3000人と過去最大規模の想定とされている。

一方、これまで経験したことのない規模の災害に対して、我々はどうに対応していくべきかについて、現在様々な議論がなされている。これまで検討対象としてきた、比較的再現期間が短い(～100年)災害に対しては堤防などのハード整備で防災が可能である一方、再現期間が長い低頻度メガリスク災害に対しては、防災だけではなく減災を取り入れた施策を検討する必要性が指摘されている。しかし、その具体的な施策の検討や、住民・自治体との合意形成は、現時点ではほとんど進んでいない。「いつ」「どれ程の規模で」発生するのか分からない災害に対して、どのレベルまで防災し、減災すべきか、防災・減災施策どのように組み合わせていくべきかは今

後の重要課題である。

防災・減災対策の組み合わせを検討するために有効のツールとして、著者ら³⁾は津波リスクカーブの活用を提案している。起こりえる様々な規模の災害について、それぞれに発生確率と面的な被害量を求め、連続的に表現し、リスクと被害量のバランスを見ながら対策の組み合わせを検討するものである。本研究では、新たに人的被害を推計し、予測される被害の地域別特性について概感することで、今後の災害対策のあり方について、基礎的知見を得るものである。

2. 津波リスクの定量化

(1) 津波リスクカーブ作成の考え方

リスクカーブを津波被害へ適用するためのフローを図-1に示す。リスクカーブとは縦軸に、ある事象の年超過確率、横軸に予測被害量をとったものであり、被害の大きさと発生頻度を同時に把握できるものである。本研究では災害を津波被害に限定するため、津波を発生させる地震を複数想定し、それぞれの発生についての年超過確率を推計する。さらに、対象地域を設定し、想定地震による予測津波浸水深を推計する。その上で、被害量を降順で並べ替え、想定津波毎の累積年超過確率を算出する。それらを用いることでリスクカーブが作成できる。

(2) 地震ケースの想定

南海トラフ沖地震における津波発生域の組み合わせは、東海、東南海、南海において、それぞれの震源域での単独発生、東海+東南海の連動、東南海+南海の連動、三連動が考えられる。東海地震については過去に単独発生したケースがなく、全て連動地震とされている。そのため、津波発生域の組み合わせは東海地震の単独発生を除き、図-2に示す計5ケースとした。それぞれに対し、a)地震発生確率の算出、b)津波発生域の組み合わせ、c)マグニチュードの分布幅の設定、の3点において確率計算を行い、年超過確率を推計する。各項目の計算方法について説明する。

a) 地震発生確率の算出

地震発生確率の算出には地震ハザードステーション(J-SHIS)により公開されている「確率論的地震動予測地図」⁴⁾より、BPT (Brownian Passage Time) 分布で算出した震源域別発生確率を用いる。(式(1))

$$P_i = 1 - \sqrt[n]{1 - p_n} \quad (1)$$

ここで、 P_i : 震源 i の年超過確率、 p_n : 震源域の n 年発生確率、である。

b) 津波発生域の組み合わせ

想定地震が単独、又は連動かを考慮し、年超過確率 P_i の計算を行う。単独発生時の確率 P_{Ti} は式(2)、連動発生時の確率 P_{Ri} は式(3)で示される。

$$P_{Ti} = P_i \frac{t_i}{A_i} \quad (2)$$

$$P_{Ri} = P_i \frac{r_i}{A_i} + P_{i\pm 1} \frac{r_{i\pm 1}}{A_{i\pm 1}} \quad (3)$$

ここで、 t_i : 震源 i での過去の単独地震発生回数、 A_i : 震源 i が起因する過去の地震発生総数、 r_i : 震源 i での過去の連動地震発生回数、である。

c) マグニチュードの分布幅の設定

前述した「確率論的地震動予測地図」では各固有地震のマグニチュードを一意としているが、現実にはある程度の幅を持つことが想定される。したがって、「確率論的津波ハザード解析の方法」⁵⁾を参考にマグニチュード分布幅の中央値に既往最大の値を採用し、分布幅を 0.5 と設定する。分布形は一様分布とした。なお、三連動地震においては、最大マグニチュードは内閣府で推計されており、これは、南海地震の断層のさらに西側の断層が連動した四連動地震の想定である。また、この地震は再現期間が 1000 年とされているため、それを反映するために、三連動地震のマグニチュード最大時の確率配分を 0.1% とし、残りを一様分布で配分した。

d) シミュレーションによる津波浸水深の推計

計25パターンの想定地震による津波浸水深をシミュレーションにより推計する。なお、本研究では、津波シミュレーションには「TSUNAMI-K(2011)」を使用し、全

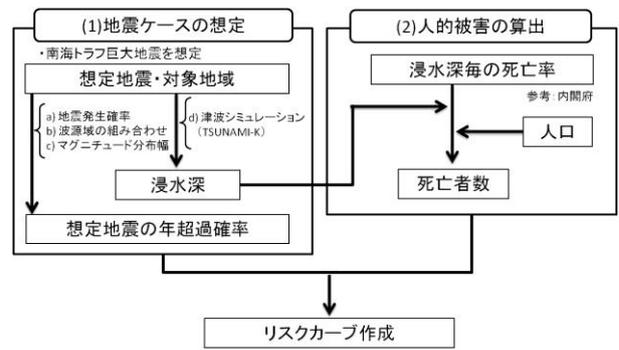


図-1 リスクカーブ作成フロー

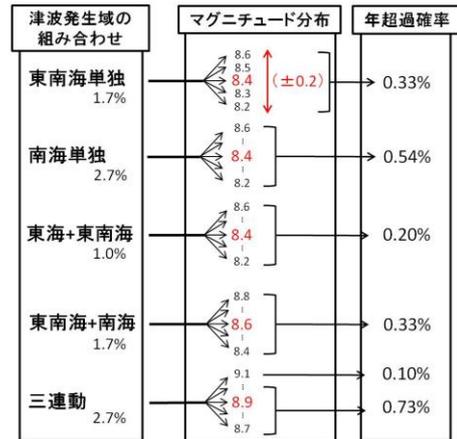


図-2 地震発生の年超過確率の推計

ての場合に置いて現存する堤防などの防災施設は考慮していない⁶⁾。

(3) 人的被害の算出方法

人的被害算出にあたっては、図-3に示すシミュレーションにより得られた津波浸水深と、津波浸水深毎の死亡率から、人口を乗じることで算出する。津波浸水深毎の死亡率は、国土交通省による東日本大震災の津波被災現況調査結果から引用した⁷⁾。(図-3)

3. 対象地域の人的被害量及びリスクカーブ

(1) 対象地域

対象地域は、静岡県浜松市、静岡市を対象とする。静岡県は沿岸部全域で南海トラフ沖地震による津波の溯上が予想されており、マグニチュード 9.1 クラスの四連動地震では津波被害だけで死者は約9万5000人に上るとされている¹⁾。県西部に位置する浜松市は、標高が低いいため、広域に亘る被害が予想される。県中央部に位置する静岡市は、市街地が沿岸部に広がっているため、狭い浸水域であっても甚大な被害発生が予想される。

(2) 予想死亡者数

浜松市、静岡市における予想死亡者数は表-1、表-2に示す結果となった。なお、括弧内はマグニチュードを表す。どちらの地域においても三連動（四連動）地震が他の地震と比較して被害が増加することが予想される。同じ南海トラフ地震であっても、連動の仕方により被害が大きく異なり、また発生規模によっても被害が10倍以上異なることが予想される。

(3) リスクカーブ作成結果

前節の結果をリスクカーブで表現したものを図-4に示す。どの市にも共通しているのは、三連動地震($M_w=8.8$)である年超過確率2.4%を境に、死亡者数が大幅に増加している点である。

地域別では、静岡市では図-4(i), (iii)で大きく死亡者数が増加している。一方浜松市では(i)で大きく、(ii), (iii)では増加分が徐々に小さくなっている。このように、三連動地震が発生した場合、マグニチュード0.1の変化で大幅に死者数が増える。しかし、その分布は地域によって異なるため、マグニチュード分布による被害増加の大きいケースに着目し、その変化を分析することで地域の災害に対する脆弱性をより詳細に把握できる可能性がある。

4. 対象地域における詳細分析

被害量増加の大きい(i)区間に着目し、その被害の違いを空間的に把握する。

図-5、6の静岡市における被害分布の違いを比較する。清水区において、 $M_w=8.8$ では、主に沿岸部の工業地帯や太平洋側の一部が被害を受けているのに対し、 $M_w=8.9$ では中心市街地を含む平野部の多くが被害を受けることが予想される。被害拡大は市内中心部への津波拡大が主たる要因であること、沿岸には産業に重要な施設が集積していることから、被害低減にはハードを中心とした整備が必要不可欠であると考えられる。一方、駿河区では $M_w=8.8$ は同様に沿岸部による被害、 $M_w=8.9$ ではそれが東名自動車道をまたぎ、内陸に広がる形で被害が拡大している。これらの被害低減を進めるためには、一定のハード整備のほか、沿岸部、例えば東名高速道路以南のソフト対策や土地利用的対策や、東名高速道路等の活用による内陸堤防の構築など、土地利用とハード対策の組み合わせ等によっても軽減効果が大きく期待できる。

図-7、8に浜松市における被害分布の違いを比較する。浜松市では、 $M_w=8.8$ と8.9では大幅に被害を受ける面積が異なっている。これは比較的沿岸部から平地が続くことから、一定程度の津波高が発生した場合、一度に広範なエリアが浸水してしまうことによるものである。清水区同様、 $M_w=8.9$ においては中心市街地にも被害が及ぶ可能

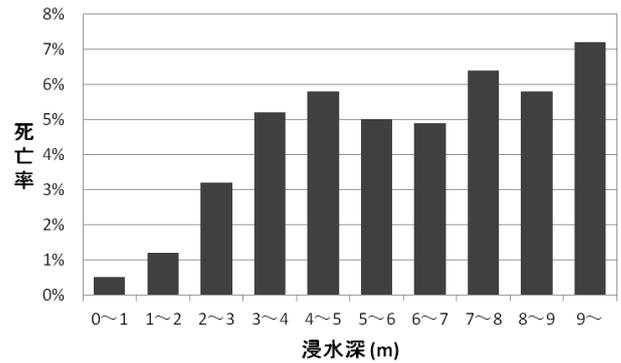


図-3 津波浸水深と死亡率の関係

表-1 浜松市の予想死亡者数

M_w	南海	東南海	東南海+南海	東海+東南海	三連動
+0.2	38 (8.6)	133 (8.6)	224 (8.8)	1,204 (8.6)	24,155 (9.1)
+0.1	6 (8.5)	56 (8.5)	84 (8.7)	279 (8.5)	21,687 (9.0)
中央値	4 (8.4)	7 (8.4)	9 (8.6)	75 (8.4)	16,235 (8.9)
-0.1	0 (8.3)	6 (8.3)	8 (8.5)	8 (8.3)	6,702 (8.8)
-0.2	0 (8.2)	0 (8.2)	1 (8.4)	7 (8.2)	1,172 (8.7)

表-2 静岡市の予想死亡者数

M_w	南海	東南海	東南海+南海	東海+東南海	三連動
+0.2	102 (8.6)	293 (8.6)	423 (8.8)	2,122 (8.6)	10,708 (9.1)
+0.1	36 (8.5)	162 (8.5)	182 (8.7)	890 (8.5)	7,097 (9.0)
中央値	16 (8.4)	46 (8.4)	151 (8.6)	349 (8.4)	7,168 (8.9)
-0.1	0 (8.3)	24 (8.3)	24 (8.5)	94 (8.3)	3,062 (8.8)
-0.2	0 (8.2)	8 (8.2)	17 (8.4)	87 (8.2)	1,498 (8.7)

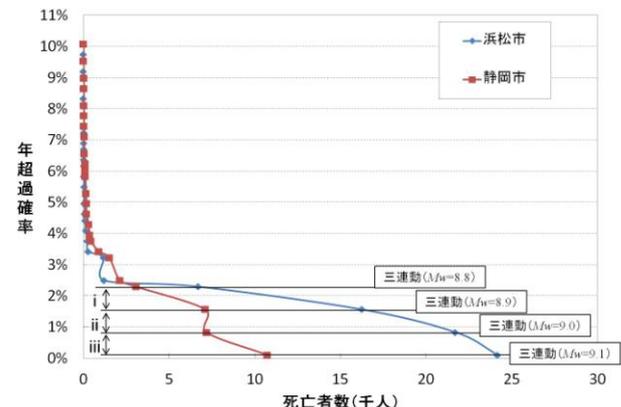


図-4 各市のリスクカーブ

性があるが、沿岸域が非常に長いことや、海岸から中心部まで比較的距離があることから、駿河区と同様、ハード対策と土地利用的対策の組み合わせ等の施策も、 $M_w=8.9$ 以上において大きく被害を軽減できる可能性がある。

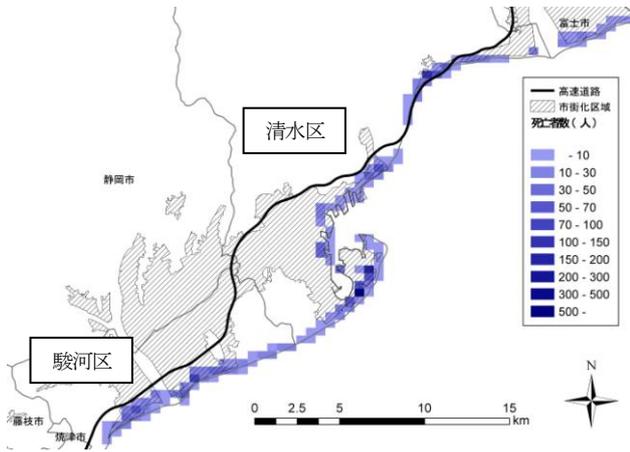


図-5 静岡市における被害分布 (三連動 $M_w=8.8$)

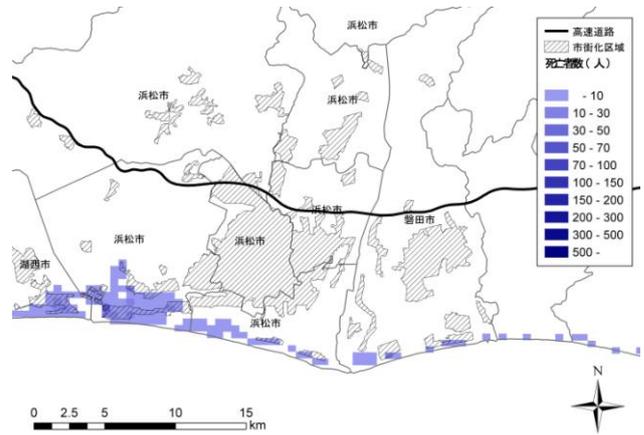


図-7 浜松市における被害分布 (三連動 $M_w=8.8$)

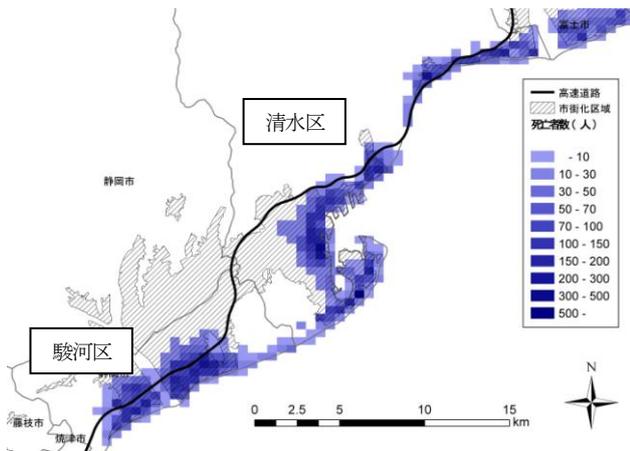


図-6 静岡市における被害分布 (三連動 $M_w=8.9$)

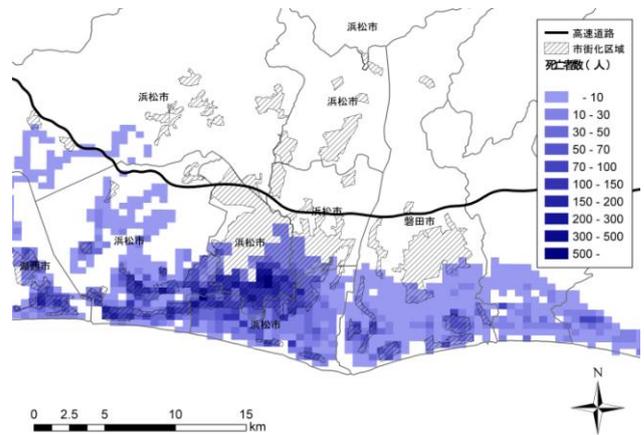


図-8 浜松市における被害分布 (三連動 $M_w=8.9$)

5. おわりに

本研究では、今後重要となる防災・減災対策のパッケージ検討に資する事を目的に、リスクの定量評価を行った。さらに地域別被害想定の違いについて詳細に分析し、今後の防災・減災対策のあり方について考察を行った。今後はこれらの知見を基に実際に多様な防災・減災対策のパッケージについて検討し、その効果量の算出と施策実施の妥当性を評価するためのシステムを構築していくことが必要である。

謝辞: 本研究は、文部科学省のグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス(GRENE)事業 環境情報分野「環境情報技術を用いたレジリエントな国土のデザイン」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について，2012.
- 2) 中央防災会議：東海・東南海・南海地震想定，2003.
- 3) 唐津佑一朗，森田紘圭，福本雅之，杉戸信彦，橘竜暲，柴原尚希，加藤博和，林良嗣：津波による建物被害リスクカーブの GIS を用いた推定，土木計画学研究・講演集，Vol.47，CD-ROM(395)，2013. 6.
- 4) 地震ハザードステーション：J-SHIS 地震ハザードステーションマップ，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>，2012.
- 5) 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会：確率論的津波ハザード解析の方法，2011.
- 6) 株式会社構造計画研究所：津波シミュレーションシステム「TSUNAMI-K」，2011.
- 7) 国土交通省：東日本大震災の津波被災現況調査，2012.

Analysis of Damage in Shizuoka Caused by Nankai Trough Earthquake Using the Tsunami Risk Curve

Ryudo TACHIBANA, Hiroyoshi MORITA, Yuichiro KARATSU, Naoki SHIBAHARA, Hirokazu KATO and Yoshitsugu HAYASHI