

津波災害時における消防・警察・自衛隊の救助能力と救助隊派遣規模の推定

嶋原 良典¹・多田 毅²・福谷 陽³

¹ 正会員 防衛大学校准教授 システム工学群 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)
E-mail:shigi@nda.ac.jp (Corresponding Author)

² 正会員 防衛大学校准教授 システム工学群 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

³ 正会員 関東学院大学准教授 理工学部 (〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1)

本研究では、消防・警察・自衛隊の津波災害時における救助能力を定量的に把握するための手法を提案した。救助能力 SC は、過去に発生した津波災害の救助活動の実績から推定し、得られた救助者指数 SI を自治体間で比較することで、津波被災時における救助活動の充足率・不足率を明らかにすることができる。提案した手法を神奈川県の沿岸地域をモデルケースとして適用し、想定津波浸水被害に対する消防・警察の救助活動が対応可能かを評価した。さらに、隊員数が不足する場合には自衛隊の災害派遣要請も含めた救助隊の派遣規模についても推定した。

Key Words: tsunami simulation, saver index, saving capacity, request for SDF disaster relief

1. 背景と目的

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）で発生した津波により、東北地方沿岸地域は甚大な被害を受けた。その際、災害時の捜索・救助活動を担う消防や警察も被災した。各庁舎は津波により浸水し、災害拠点としての機能を喪失したため、救助活動の実施が困難になった自治体もあった。そのため、今後津波による被害の可能性のある地域では、自治体の自律機能が一時的に損なわれることも想定した上で防災対策を講じる必要がある。その場合は、津波により被災した自治体や都道府県のみで初動対応が可能かについて検討するだけでなく、対処能力を超えた場合に自衛隊などの国による災害派遣を要請する基準と、必要となる救助隊の派遣規模を事前に見積もっておくことが重要である。

そこで本研究では、消防・警察・自衛隊の災害時における救助能力を定量的に把握するための手法を提案する。救助能力は、過去に発生した自然災害の救助活動の実績から推定する。提案した手法を神奈川県の沿岸地域をモデルケースとして適用し、想定津波浸水被害に対する消防・警察の救助活動が対応可能かを評価する。さらに、隊員数が不足する場合には自衛隊の災害派遣要請も含めた救助隊の派遣規模についても推定する。

2. 手法

本研究では、消防・警察・自衛隊の救助能力を数値化し、津波浸水計算に基づく被害推定手法と組み合わせることで、津波災害時における自治体の救助活動の対応が可能か否かについて評価する。以下では、本研究で提案する救助者指数 SI と救助能力 SC に関してその定義と概念について述べる。さらに、過去の津波災害事例を調査することにより、具体的な SC の値を推定することを試みる。

(1) 救助者指数 SI

津波等の自然災害で被災することにより発生する要救助者に対する救助隊の割合として救助者指数（Saver Index, SI）を定義し、以下の式で表す。

$$SI = \frac{NPS \cdot SC}{NR} \quad (1)$$

ここで、NR は要救助者数（Number of Rescuee）、NPS は救助活動が可能な隊員の人数（Number of Possible Saver）である。また SC は救助能力（Saving Capacity）であり、救助隊員一人当たりが被災後の一定期間内に救助可能な人数として定義する。式(1)より、SI は救助活動の充足率と理解することもできる。

一方で、災害発生後の要救助者数と救助隊員数はそれぞれの総人口と被災率から算定する。すなわち SI は、

$$SI = \frac{TNS \cdot (1 - DR_S) \cdot SC}{TNR \cdot (1 - DR_R)} \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、TNR は被災前の住民の人数 (Total Number of Residents)，TNS は被災前の救助隊の人数 (Total Number of Saver)， DR_R は住民の被災率 (Damage Rate of Residents)， DR_S は救助隊の被災率 (Damage Rate of Saver) である。なお、要救助者は、死亡、負傷、孤立、足止めなどにより自力で中・長期的に安全な場所まで避難できない人として定義する。救助隊は、自分自身の避難を留保し、救命、救出、誘導、捜索などの活動に主体的に従事する人として定義する。

救助隊を消防・警察・自衛隊等の公安系公務員と想定すると、式(2)の分子の値は異なっても分母は共通である。したがって、同一の自治体内であれば、異なる救助隊から算出される SI 同士の和をとることで総合的な救助者指数を算定できる。特に、自治体の救助活動の充足率を検討する場合は、消防・警察の救助者指数 SI_{FP} を式(3)として、さらに、海上保安庁や自衛隊の災害派遣要請も考慮する場合は、総救助者指数 TSI (Total Saver Index) として式(4)を算定すればよい。

$$SI_{FP} = SI_F + SI_P \quad (3)$$

$$TSI = SI_F + SI_P + SI_{SDF} + SI_{JCG} \cdots \quad (4)$$

SI 値を百分率とした場合、 SI_{FP} が 100% を上回っていればその自治体は頑健である。そうでない場合は TSI を 100% にするために、自治体内での救助隊の増強や周辺自治体との連携、国への災害派遣要請を検討する必要がある。

(2) 救助能力 SC の推定

式(1)～(4)を計算するためには、救助隊の救助能力 SC の具体的な値を決定する必要がある。SC は前述の定義から、

$$SC = \frac{\text{一定期間内に救助された人数}}{\text{一定期間内で派遣された隊員数}} \quad (5)$$

とした。ここで SC は、地震、津波、気象災害、火山噴火等の過去の自然災害の記録や報告に基づき、発災後の救助隊員の派遣人数と救助人数のデータから算出する。

一般に、災害発生時においては被災者の生命を守る為、発災後 72 時間の救助活動が重要であるとされる。そのため、特に発災後 1 日目から 3 日目までの救助記録が記載されている文献を参照する必要がある。本研究で対象とする津波災害に関しては、上記のデータが記載されている報告書等の文献を詮索した結果、消防庁¹⁾と防衛省²⁾により、2011 年東北地方太平洋沖地震津波に関して発災後の救助隊の派遣人数および救助人数が示されていた。

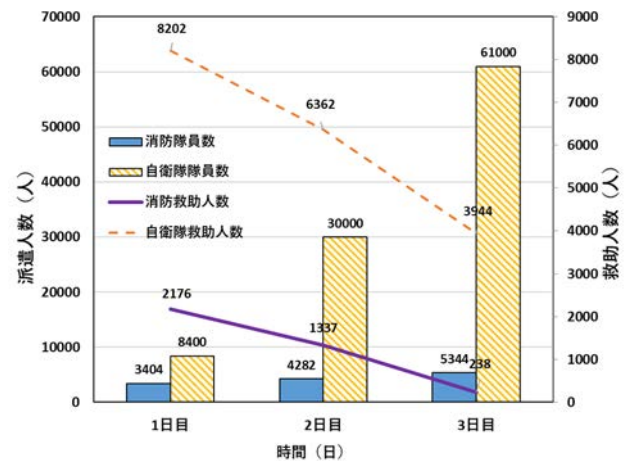


図-1 2011 年東北地方太平洋沖地震津波における救助活動の実績 (消防庁¹⁾，防衛省²⁾ から引用・作成)

表-1 図-1、式(5)に基づいて算定した SC 値。SC_{ALL}は消防と自衛隊の両者を合計した値から算出

	1 日目	2 日目	3 日目	3 日間の合計
SC _F	0.64	0.31	0.04	0.29
SC _{SDF}	0.98	0.21	0.06	0.19
SC _{ALL}	0.88	0.22	0.06	0.20

これらのデータを基に作成した、消防と自衛隊の発災後 3 日間の推移を図-2 に示す。これによると、両者ともに救助人数は 1 日目がピークであり、その後は減少する傾向にあることが分かる。一方で、救助隊員の派遣人数は増加し、自衛隊の派遣人数は 3 日目で 6 万人超となっている。

図-1 中の救助人数、派遣隊員数の値を式(5)に適用することによって算定した SC 値を表-1 に示す。ここで、SC_{ALL} は消防と自衛隊の両者を合計した値として算出している。表の結果から、1 日目は自衛隊の SC は 0.98 となった。すなわち、隊員 1 名当たり約 1 人の救助が可能であり消防の SC 値 SC_F=0.64 を上回る。しかしながら、その後 SC は大きく減少し、3 日目では SC_F=0.04，SC_{SDF}=0.06 と両者の差は小さくなる。特に自衛隊の場合は、隊員数が大幅に増員可能である一方で、時間経過にしたがい救助可能な人数の自体が減るためこのような傾向になったと推察する。消防・自衛隊の双方が 3 日間の救助活動した場合の平均的な救助能力は SC_{ALL}=0.2 となった。

なお、警察の SC は派遣人数と活動期間は公表されていないことから直接求めることはできない。しかしながら、内閣官房³⁾によると、2011 年東北地方太平洋沖地震津波での警察による救助人数は 3,749 人であり、消防の 3 日間の救助者数 (3,751 人) と大差がないことから、津波における SC_P は消防と同程度と仮定し、以降の検討では SC_F と同じ値を用いることにした。

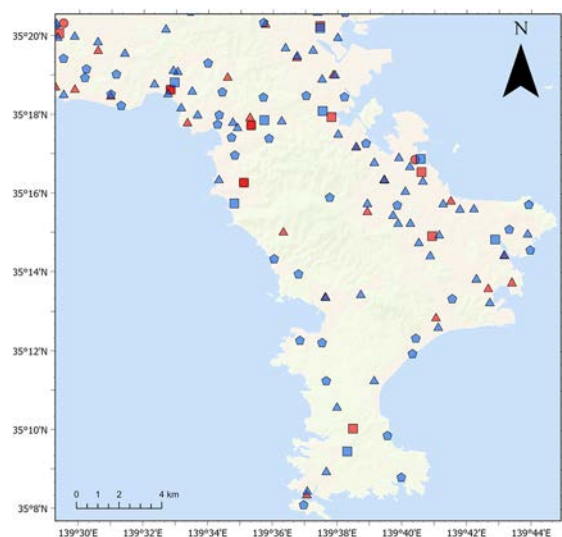


図-2 検討対象地域。図中の赤シンボルは各種の消防関連施設の位置、青シンボルは各種の警察関連施設の位置を示している。

3. 手法の適用例と結果

前章で提案した手法の適用例として、神奈川県の一部沿岸域を検討対象地域（図-2を参照）に対してケーススタディを実施する。なお、本研究においては、同図に示した地域の自治体をA～Eと称する。

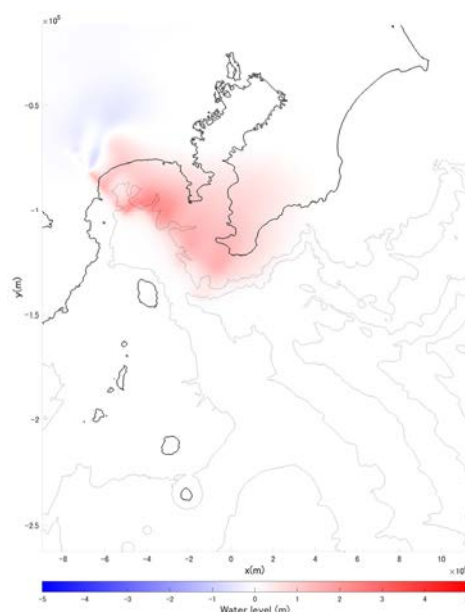
(1) 解析方法

震源モデルは南関東近傍を震源とする、元禄型関東地震（M8.5）と大正型関東地震（M8.2）とした⁴⁾。既公開の断層パラメータを基に Mansinha and Smylie⁵⁾の方法で計算した地殻変動量（津波初期水位）を図-3に示す。

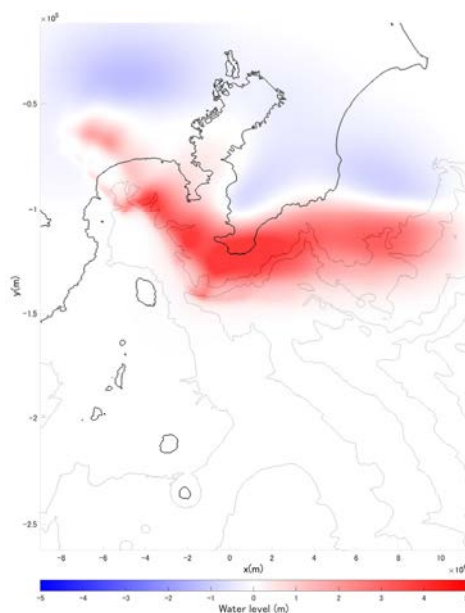
津波遡上計算は、支配方程式を非線形長波理論として Staggered Leap-frog 差分法により数値的に解いた。地形データは内閣府提供⁴⁾のものを使用し、波源域を含む沖合から空間格子サイズを 270m からネスティング接続を実施し、陸上浸水域で最小10m格子となるように設定した。時間ステップは 0.1 秒、津波の再現時間は 3 時間とした。Manning の粗度係数は土地利用状況等に応じて設定した。津波時の潮位条件としては朔望平均満潮位 0.9 m とし、防潮堤などの構造物は地震時に機能不全になると仮定したため考慮していない。

以上の条件で実施した津波浸水計算によって得られた最大浸水深分布を図-4に示す。大正型関東地震（M8.2）では、主に相模湾側において浸水深が大きい箇所約 2～3 m の規模で浸水している。元禄型関東地震（M8.5）では浸水規模が大きくなり、場所によっては浸水深が 5 m を超え、さらに東京湾側でも広範囲に浸水する様子が確認できる。

このようにして得られた津波の最大浸水深分布を用い



(a) 大正型関東地震（M8.2）

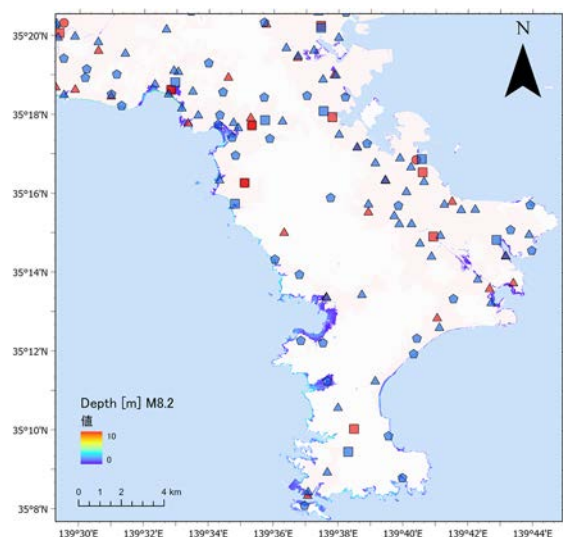


(b) 元禄型関東地震（M8.5）

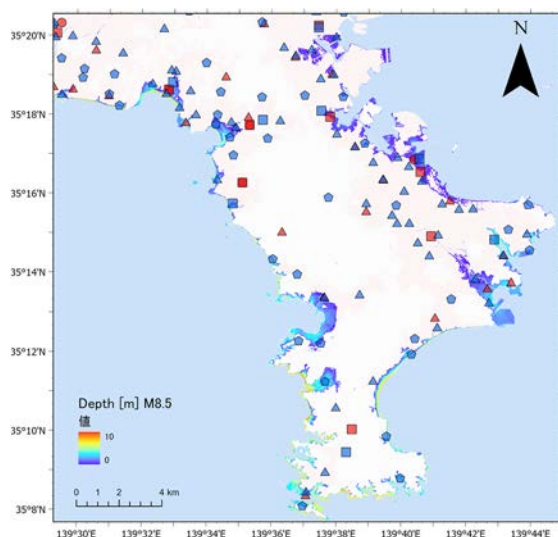
図-3 地盤の地殻変動量（初期津波水位）

て、要救助者数と活動可能な救助隊の人数をそれぞれ算出する。要救助者数は、津波の浸水により被災する可能性のある人数であり、前述の定義から津波影響人口とする。算出方法は鳴原の方法⁹⁾に従う。具体的には、各町丁別のポリゴンデータ⁷⁾と津波浸水深分布を GIS 上で重ね合わせ、浸水深 1cm 以上となる面積を算出する。そして、浸水面積と対応する人口密度を掛け合わせ、さらに避難率を一律に考慮することで各自治体の要救助者数とした。

一方で、救助隊の活動可能人員は、各自治体の消防史員、警察官の人数から津波による死亡・負傷者を除いた人数とした。GIS により各施設位置での浸水深を抽出し、



(a) 大正型関東地震 (M8.2)



(b) 元禄型関東地震 (M8.5)

図4 津波の最大浸水深分布

表-2 自治体の消防員・警察官の人数 (警察は推定値)

	A	B	C	D	E	計
消防	439	221	59	88	53	860
警察	696	295	79	98	55	1,223

内閣府⁹⁾による浸水深と死亡率の津波被害関数を適用することで死者数を算出した。負傷者については、救助隊の津波影響人口の83%が発生すると仮定した⁹⁾。避難率については要救助者に適用した値と同じ値を使用した。

なお、消防・警察の施設位置と種類は国土数値情報⁹⁾を利用し、データの基準日以降に庁舎の移転等で位置情報が異なるものについては修正を加えた。さらに、消防員の数には各自治体の消防年報から把握が可能であったが、警察官の人数は具体的なデータが公開されていないため、神奈川県の人1千人当たりの警察官数(1.7人)と分析対象の各自治体の人口を考慮することにより推定

した。具体的な値は表-2に示す通りである。

(2) 解析結果

解析結果を表-3に示す。ここでは避難率を90%、60%の2種類に設定した。全体的な傾向として、マグニチュードが大きくなり避難率が低くなると要救助者は増え、救助隊の活動可能人数は減少する。本検討では、いずれの条件においても SI_{FP} が100%を下回るため、要救助者が自治体(消防・警察)の救助能力を超えており、この地域では自治体自身の救助対応は難しいという結果になった。

そこで、 SI_{FP} が100%を満たすための不足隊員数を算出すると、M8.2では避難率90%で1,833人であるのに対し、避難率60%では13,670人となる。これは、主要な消防署と警察署の施設が地盤の高い位置にあるため浸水から免れやすい結果、救助活動可能人数はそれほど減少しない反面、低地に居住している要救助者数が増大したためである。このことは、自治体自身での救助活動を可能にするためには、特に住民側の避難行動を向上させることが極めて重要であることを示唆している。

次に、消防・警察の不足人数に対し、 $SC_{SDF}=0.98$ として自衛隊の派遣人数(24時間以内)で置き換えた場合と、 $SC_{ALL}=0.22$ として消防・警察・自衛隊全体の派遣人数(72時間以内のべ)で置き換えた場合とを比較すると、両者の要派遣人数には約5倍の差が生じることが分かった。すなわち、自衛隊の救助隊を派遣する場合、発災初日に出来る限り早急に投入することが救助活動全体の負担を大幅に軽減することに繋がるといえる。

最後に、各自治体の解析としてマグニチュード8.2、避難率90%の場合における結果を表-4に示す。これを見ると、全自治体で SI_{FP} が100%を下回っているもののその程度には差が見られる。例えば、自治体C、Dは不足隊員数が多く脆弱であること、自治体Eは要派遣人数が一番少なくて済む、といったことが理解できる。このように、隣接する自治体同士で比較することにより、事前に救助活動を重点的に行う箇所や優先順位付けができ、また、救助者指数が100%を超えて余裕がある自治体は、不足している自治体に応援するなどの災害時における自治体間の連携を模索することも可能になる。

4. 結論

本研究では、消防・警察・自衛隊の津波災害時における救助能力を定量的に把握するための手法を提案した。救助能力 SC は、2011年東北地方太平洋沖地震における津波災害での救助活動の実績から推定することができた。得られた救助者指数 SI を自治体間で比較することで、

表-3 地域全体の解析結果.

マグニチュード	8.2		8.5	
避難率	90	60	90	60
要救助者数	2,514	10,082	7,062	28,261
消防・警察の救助活動可能人数	2,095	2,083	2,046	1,877
消防・警察の救助者指数SI _{FP} (%)	53.3	13.2	18.5	4.3
消防・警察の不足隊員数	1,833	13,670	8,988	42,281
自衛隊の要派遣人数(24時間以内)	1,197	8,927	5,870	27,612
消防・警察・自衛隊の要派遣人数 (72時間以内のべ)	5,866	43,744	28,763	135,299

表-4 マグニチュード 8.2, 避難率 90%の場合における, 自治体別の解析結果.

自治体名	A	B	C	D	E
要救助者数	967	522	454	455	116
消防・警察の救助活動可能人数	1136	531	136	184	108
消防・警察の救助者指数SI _{FP} (%)	75.2	65.1	19.2	25.9	59.6
消防・警察の不足隊員数	375	285	573	527	73
自衛隊の要派遣人数(24時間以内)	245	186	374	344	48
消防・警察・自衛隊の要派遣人数 (72時間以内のべ)	1200	911	1835	1686	234

津波被災時における救助活動の充足率・不足率を明らかにすることが可能になる. 提案した手法を神奈川県沿岸地域をモデルケースとして適用し, 想定津波浸水被害に対する消防・警察の救助活動が対応可能かについて評価した. 本研究で設定した津波の規模では, 自治体自身での救助活動を可能にすることは難しいものの, 救助活動全体の負担を大幅に軽減するためには住民側の避難行動を向上させることや, 発災初日に自衛隊の救助隊を適切な個所に派遣することが重要である, といった傾向が明らかになった.

今後は, 本手法を津波リスクとして評価することや, その結果を受けた防災対策のスキーム構築について検討する予定である.

謝辞: 本研究の一部は, JSPS 科研費 JP18K04378 「津波被災により生じる都市機能麻痺に対する災害支援トリアーの構築」(研究代表者: 嶋原良典) の助成を受けて実施された. また, 本研究でのデータ整理等において, 当時防衛大学校建設環境工学科の学生であった伊吹祐二郎君, 田口愉斗君の協力にここで謝意を表す.

参考文献

- 1) 消防庁: 東日本大震災記録集, 4.3被災地域の消防本部等の活動, 2013.
- 2) 防衛省: 平成 24 年度版防衛白書, 第三部第 1 章第 2 節, 2012.
- 3) 内閣官房: 第 12 回東日本大震災復興構想会議, <http://www.cas.go.jp/jp/fukukou/> (2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 4) 内閣府: 首都の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書, 内閣府首都直下地震モデル検討会, 2013.
- 5) Mansinha, L. and Smylie, D. E.: The displacement fields of inclined faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440, 1971.
- 6) 嶋原良典, 津波対策計画のための人的被害評価手法ー横須賀市におけるケーススタディー, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 73, No. 4, I_236-I_242, 2017.
- 7) 総務省: 平成 27 年国勢調査, <https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.html> (2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 8) 神奈川県: 地震被害想定調査報告書, <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5151/p15579.html> (2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 9) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロード, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (2020 年 9 月 1 日閲覧)

ESTIMATION OF SAVING CAPACITY AND SCALE OF DEPLOYMENT OF FIRE, POLICE AND SELF-DEFENSE FORCES IN TSUNAMI DISASTER

Yoshinori SHIGIHARA, Tsuyoshi TADA, and Yo FUKUTANI

This study proposes a method to quantify the saving capability of the firefighters, police and the Self-Defense Forces during a tsunami disaster. The saving capacity, SC, is estimated from the past results of tsunami disaster rescue activities, and the saver index, SI, is compared among municipalities to clarify the sufficiency rate of rescue activities in tsunami disaster. The proposed method was applied to a coastal area in Kanagawa Prefecture as a model case to evaluate the applicability of fire and police rescue operations to the assumed tsunami flooding. We also estimated the size of the rescue team, including the request of the SDF for disaster relief in case of a shortage of personnel.