

大規模自然災害に伴う生命・健康・生活への ダメージの余命指標を用いた評価

橘 竜瞳¹・森田 紘圭²・杉本 賢二³・加藤 博和³・林 良嗣⁴・秋山 祐樹⁵

¹正会員 西日本高速道路株式会社 保全サービス事業本部（〒530-0003 大阪市北区堂島1-6-20）
E-mail:r.tachibana.aa@w-nexco.co.jp

²正会員 大日本コンサルタント株式会社 中部支社技術部（〒451-0044 名古屋市西区菊井2-19-11）

³正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

⁴フェロー 名古屋大学大学院 環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

⁵正会員 東京大学 地球観測データ統融合連携研究機構（〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 Cw-503）

大規模自然災害においては直接的な人的被害だけでなく、ライフラインや医療機関へのダメージにより、発災後から長期的に様々な被害が発生・拡大することが予想されている。本研究では、被災者の生命・健康・生活へのダメージを時系列で予測し、余命指標を用いて定量的に評価する手法を構築する。構築した手法を南海トラフ巨大地震に適用した結果、発災から1ヶ月後に至るまで、多くの地域において医療対応が不足し、重軽傷者の回復に遅れが出る上に、健康であっても避難所生活が長期に渡れば、新たな健康被害も発生することが確認された。また、これらの現象を障害調整生存年（DALY）で統合的に評価した結果、発災して1ヶ月後においても人々へのダメージは緩和せず、事前のライフライン強化や発災後の医療・避難環境のケアが重要であることが示唆された。

Key Words : *natural disaster, indirect damage, life expectancy indicator, disaster mitigation*

1. はじめに

わが国の地震観測史上最大となるマグニチュード9.0を記録した東日本大震災では、従来の想定を大幅に上回る巨大な津波等により、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。岩手・宮城・福島の前3県の沿岸部を中心に死者・行方不明者数は約1万8000人、震災発生直後の避難者数は40万人以上と報告されている¹⁾。この震災は、これまでの防災・減災対策や既往最大クラスの地震を想定対象としてきた地震被害想定²⁾のあり方に対しても、新たな課題を提起するものとなった。これを受け、東海・東南海・南海地震被害想定（2003年、内閣府）についての再検討を行うため、2012年4月に内閣府中央防災会議「防災対策推進検討会議」の下に有識者会議「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」が設置され、発生しうる最大クラスの地震・津波による建物被害・人的被害及び経済被害の推計結果が発表された。これらの報告によると、最大クラスの震災の想定により、関東から九州に亘る太平洋岸の広大な範囲において被害が見込まれ、死者は最大32万3000

人、避難者は950万人に上るとされている³⁾。そうした大規模自然災害の被害想定がなされると同時に、これまで経験したことのない規模の災害に対し、我々はどのように対応していくべきかについて、様々な議論が行われている。これまで検討対象としてきた、レベル1と表現される再現期間が短く規模が小さい地震に対しては、建物の耐震化や防潮堤などのハード整備によって災害外力の低減あるいは回避が可能である。一方、再現期間が長く規模が大きい東日本大震災に代表される低頻度メガリスク災害（レベル2）に対しては、防災、減災を複合的に取り入れた施策を検討する必要性が指摘されている³⁾。

さらに、レベル2のような広域かつ大規模な災害においては、発災後以降も様々な被害が拡大する可能性がある。住民に直接影響するものとしては、長期に亘る避難生活や、ライフライン寸断および病院の被災による健康への影響、災害関連死等が挙げられる。こうした問題に対応していくためには、インフラ多重化等の事前対策はもとより、事後においても適時適切な対応を図っていく必要がある。しかしそのためには、まずは発災直後から事後において、住民生活にどのような問題が発生し、そ

れが人々の命や健康にどのような影響をおよぼすかについて、時系列かつ地区別に把握する必要がある。東日本大震災の例では、発災してから即座の支援活動に資するような被害状況に関する情報に偏りが生じており、特に甚大な被害をもたらした地域への救援が遅れた例も存在した。実際の各地域における被害を確認してから、どの地域にどの程度の支援需要が発生しているかを確認し、その後支援を行っていたために、対応が後手に回り、被害が拡大した事例もあった。このような事例からみても、迅速かつ的確な初動が被害の抑制にとって非常に重要であることは明らかである。南海トラフ巨大地震への対応が叫ばれている今日、被害の全容を想定する手法の確立が急務だと言える。

本研究では、大規模自然災害による被災者の生命および健康へのダメージを時系列で予測し、余命指標を用いて定量的に評価する手法を構築する。また、構築した手法を南海トラフ巨大地震に適用し、大規模自然災害が発生した場合における問題を、詳細かつ地理的に把握することで事前対応策の検討や、災害発生時の救助および援助活動に資する基礎的知見を得ることを目的とする。

2. 余命指標を用いた生命・健康・生活へのダメージ予測方法

(1) 余命指標の考え方と定式化

本研究では、大規模自然災害によってもたらされる生命・健康・生活へのダメージの評価に、集団の死亡損失および健康損失として定量的に捉えることのできる障害調整生存年（Disability Adjusted Life Year：DALY）^{4b)}を用いる。DALYは健康な期間の損失分を意味し、「早死損失年数」と「障害共存年数」から構成されている。これは次の前提に基づいて算出されている。1) 早死による損失年数算出のため、理想的な平均寿命を男性80.0歳、女性82.5歳としている。2) 1年間の生存の価値に年齢による重みづけを行う。25歳の1年間の生活の価値を最大とし、幼少期と老年期が低く設定する。3) 基準年次か

らの時間による割引率を設定する。本研究では池田ら（1998）に従い、これを年率3%とする。4) 非致死的健康結果（障害度）を、公衆衛生専門集団によるデルファイ法変法により大きく6段階に分類し、障害度の重みを定め（表-1）、各疾患についても個別に重みを設定している。以上の前提に基づき、DALYは次の式(1)により算出される。

$$DALY = \int_{x=a}^{x=a+L} D \cdot Cx e^{-\beta x} \cdot e^{-r(x-a)} dx \quad (1)$$

ここで、 D ：障害度の重みづけ（完全な健康の場合は0，死亡の場合は1）， $Cx e^{-\beta x}$ ：年齢による重みづけ（ $C=0.1658$ ， $\beta=0.04$ ）， $e^{-r(x-a)}$ ：時間割引（ $r=0.03$ ）， a ：障害発生時点または死亡時点， L ：障害の持続期間または死亡時点での期待寿命，である。

(2) 生命・健康・生活へのダメージ予測方法

災害における生命・健康・生活へのダメージとして、a) 地震動被害および津波被害といったファーストインパクトによる直接的な人的被害量（生命），その後のb) 病院被災による医療機能低下と要治療者への対応遅れ（健康），さらにc) 住宅やライフラインの被災による長期の避難生活と衛生環境悪化による罹患リスクの増大（生活）を想定する。各項目による余命への影響を検討した上で、1日単位での繰り返し計算を行いDALYへ統合する（図-1）。

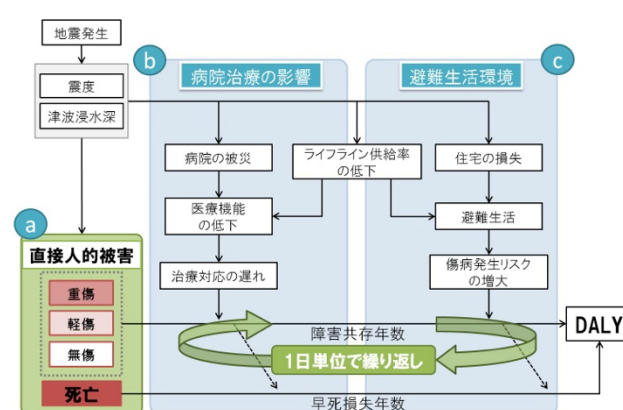


図-1 全体フロー

表-1 DALYにおける障害度の重みづけ

障害度	重み	説明
健康	0	—
1	0.096	娯楽・教育・生殖・就業のうち、一分野の活動において最低一つ障害があるもの
2	0.220	娯楽・教育・生殖・就業のうち、一分野のほとんどの活動において障害があるもの
3	0.400	娯楽・教育・生殖・就業のうち、複数の分野における活動に障害があるもの
4	0.600	娯楽・教育・生殖・就業のうち、全ての分野におけるほとんどの活動に障害があるもの
5	0.810	食事の用意や買物、家事のような日常生活に必要な活動において介助が必要なもの
6	0.920	食事や個人衛生や排便等の基本的な活動に介助が必要なもの
死亡	1	—

出典：池田ら（1998）

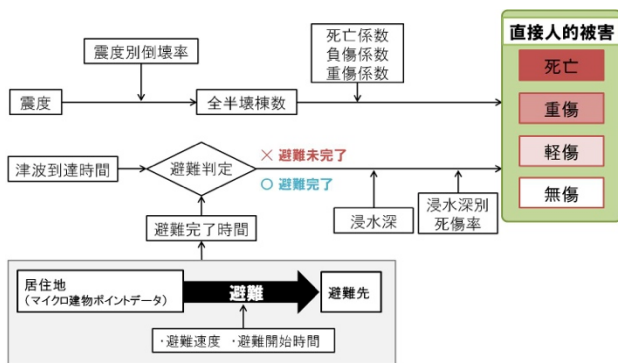


図-2 直接人の被害算出フロー

a) 直接人的被害

直接被害については、内閣府中央防災会議より発表されている南海トラフ巨大地震による被害想定概要書²⁾および国土技術政策総合研究所の地震・津波被害想定マニュアル⁶⁾に従い、被災地域において死亡・重傷・軽傷・無傷を判定する。ただし、従来の被害想定では市区町村単位での被害量算出となっているのに対し、本研究ではマイクロ建物ポイントデータ⁷⁾を用いて建物一棟単位での被害判定を行い、津波避難についてより詳細なシミュレーションを行う。地震動及び津波による直接被害の算出についての詳細フローを図-2に示す。

まず、想定地震の震度分布と震度別倒壊率により建物の全半壊棟数および全壊棟数を算出する。死亡者は全壊時に発生するとし、建物内滞留率と死亡係数を乗じて求める。一方、負傷者（重傷者数および軽症者数）は全半壊時に発生するものとして建物内滞留率と負傷係数より求め、重傷および軽傷訳は重傷係数により求める。

津波による直接被害は、想定地震により津波浸水深および津波到達時間と想定浸水域内の居住人口を示す津波影響人口から、各々が居住建物から避難先（浸水域外、津波避難タワー、10階以上の建物）まで避難できるかを判定する。具体的には居住建物と避難先を結ぶ最短距離について、避難速度や避難開始時間に応じて津波到達時間までに到達可能かネットワーク計算を行う。避難判定により避難が完了する場合は無傷、避難が未完了である場合は津波に巻き込まれるものとし、その際の浸水深と浸水深別死者率から死亡、重傷、軽傷となる確率を算出する。なお、地震動による建物倒壊に伴う自力脱出困難者は津波からの避難ができないものとする。浸水深別死者率については越村ら（2009）の津波被害関数を基に内閣府が設定した浸水深別の死者率²⁾を用い、津波に巻き込まれ、生存した場合でも全員が負傷するものとし、その割合は「重傷者数：軽傷者数=34：66」とする。

b) 病院での治療可否の判定

次に、災害によって負傷した重・軽傷者が、病院での治療を受けられるか否かを検討する（図-3）。地震動お

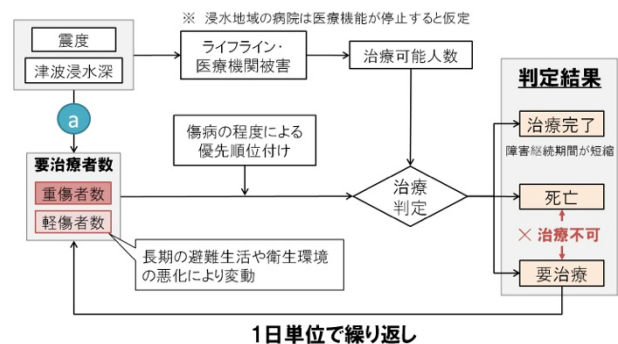


図-3 病院での治療可否判定フロー

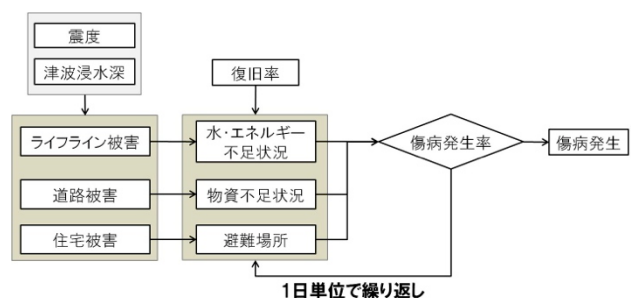


図-4 傷病発生確率の算出フロー

よび津波被害により重傷または軽傷を負った人数を要治療者数とし、病院での治療を受けることが可能であるかどうか、1日単位で判定を行う。このとき、病院は地震動に応じた被害を受け、津波浸水域内では医療機能が失われるが、災害拠点病院については耐震化等の措置が施されており、災害時においても医療機能低下は発生しないと想定する。災害時の最大対応可能人数を、今泉ら（1996）の阪神・淡路大震災の病院実態調査⁸⁾に従い、医師1人当たりの対応可能重傷者数を5人/日、対応可能軽傷者数を70人/日と定め、外科系医師は重傷者対応、外科系以外の医師は軽傷者対応にまわると想定する。その対応可能人数が医療機関建物被害率とライフライン低下による医療機能低下率により低減すると仮定する。医療機関建物被害率、ライフライン低下による医療機能低下率については静岡県第4次地震被害想定（2013）による以下の算出方法に従う。

- ・医療機関建物被害率=全壊率 + 1/2×半壊率
- ・ライフライン低下による医療機能低下率 = (0.6×震度6強以上比率+0.3×震度6弱以下比率) × ライフライン支障率

c) 避難生活における健康被害の発生予測方法

避難生活における健康被害の発生を予測する方法を図-4に示す。まず、地震動および津波被害によるライフラインの供給の低下率、道路被害、住宅被害を算出する。次に住宅被害を受けた避難者数から物資需要量、道路施設の被害状況から物資供給量を求め、これらから物資の

不足量を算出する。その後、水・エネルギーの不足率、物資不足率、避難生活期間より避難生活における傷病発生確率を算出する。このサイクルを1日単位で繰り返し計算を行い、傷病発生数を求める。なお、傷病の発生確率は、内閣府（2012）の「避難に関する総合的対策の推進に関する実態調査結果報告書」、城ら（2005）の「阪神大震災における災害ストレスの実態調査」、静岡県健康福祉部（2013）の「静岡県医療救護計画」、復興庁（2012）の「東日本大震災における震災関連死に関する報告」、内閣府（2011）の「地震発生後の被災者の生活環境対策」など過去の災害の調査・報告を基に計算を行う。例えば、ある避難所での報告書では、感染症を発症した人は全体の1.5%であった。その原因として、①電気が通っていない、②水道が使えない、③食料・生活物資の不足、を挙げている場合、感染症の発症確率は以下ようになる。

$$\text{感染症の発生確率} = (\text{電力の機能支障率}) \times (\text{水道の機能支障率}) \times (\text{物資不足率}) \times 0.015$$

3. 南海トラフ巨大地震を対象としたケーススタディ

(1) 対象地域の概要

分析対象地域は、全国最多の死者数10万9000人の被害想定が発表されている静岡県とする。静岡県は県全域での地震動被害や沿岸部での津波遡上が予想されており、沿岸から平野が広がっている浜松市では広域にわたる津波被害が懸念されている¹³⁾。また、県中央部に位置し、人口密度の高い静岡市では津波浸水域は広くないものの甚大な被害が想定されている。また、県内の沿岸部には伊豆半島を中心に漁村が多数見られ、東日本大震災での宮城県気仙沼市や、岩手県大船渡市と同様の被害が起これると想定されている。

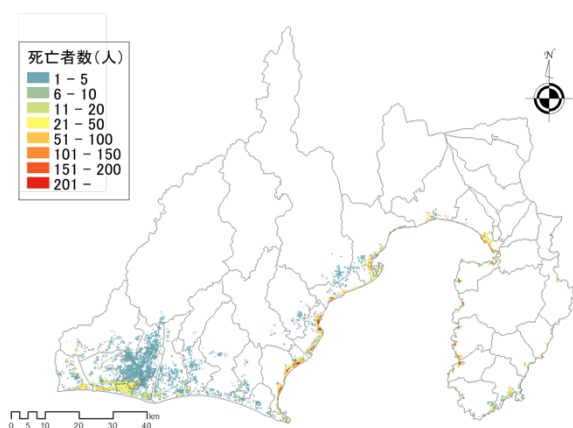


図-5 直接被害分布（死亡者数）

(2) 想定地震及び復旧シナリオ

a) 地震の想定

地震の前提条件として、震度分布は内閣府中央防災会議の南海トラフ巨大地震強震断層モデルにおける「レベル2基本ケース」を採用する。津波については津波断層モデルにおける「駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域+超大すべり域」のケースを採用する。

b) ライフライン及びインフラの復旧シナリオ

本研究で対象とするインフラ・ライフラインは、電力、水道、ガス、道路とし、それぞれに復旧シナリオを設定する。電力、ガス、水道については、文部科学省の首都直下地震防災・減災特別プロジェクト総括成果報告書（2012）によるライフライン復旧曲線に従う。また、道路については、静岡県危機管理部の静岡県第4次地震被害想定二次報告書（2013）における緊急輸送網の復旧シナリオを用いる。

(3) 直接被害量の予測

表-2に静岡県全域における直接的被害量を示す。このときの想定は、震災発生時刻を朝5時、建物内滞留率は1としている。また、津波避難の可否の判定の際は、東日本大震災の事例¹⁵⁾を参考に、避難速度を大人：2.65km/h、65歳以上の高齢者：1.96km/hとし、避難の開始時間は早期避難者率が低い場合の発災5分後：20%、発災15分後：50%、津波到達後避難：30%と設定している。

その結果、死亡者数は107,381人（内閣府試算：約102,000人）、重傷者数は20,828人（内閣府試算：約23,000人）、軽傷者数は48,010人（内閣府試算：約54,000人）、建物が倒壊するなどの被害に遭いながらも無傷だった住民の数は1,105,156人（内閣府試算：約900,000人）であった。また、死亡者数の9割は津波によるもので、沿岸部を中心に多くの死亡者が確認できた（図-5）。

表-2 静岡県全域における直接的被害量

	全体	地震動	津波
死亡者数（人）	107,381	5,633	101,748
重傷者数（人）	20,828	16,669	4,160
軽傷者数（人）	48,010	39,935	8,075
無傷者数（人）	1,105,156	822,468	282,688

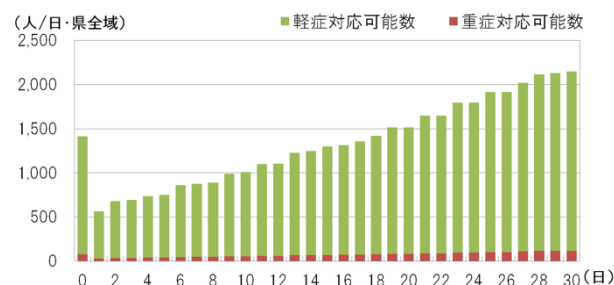


図-6 一日あたりの治療対応可能数の推移（静岡県全域）

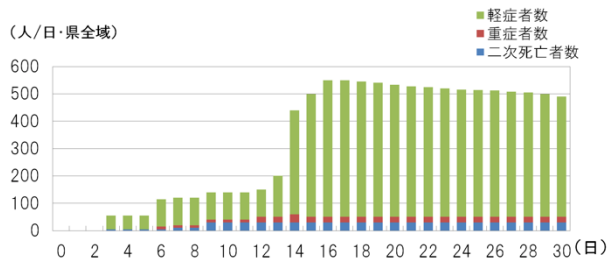


図-7 避難生活における傷病発生数（静岡県全域）

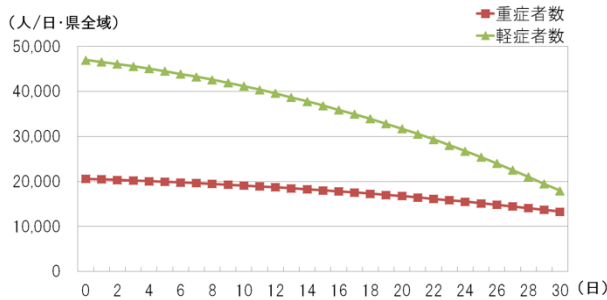


図-8 病院治療を考慮した傷病者数の推移（静岡県全域）

(4) 健康・生活被害の予測

a) 病院における治療対応可能数の推移

医療機能の低下を考慮した1日当たりの治療対応可能数の推移を図-6に示す。災害発生当日は、医療機関にバックアップがあるため、ライフラインの被害による医療機能の低下は起こらない。その後、バックアップを消費しきると断水および停電の影響を受けるため、発災翌日に医療機能が一旦低下し、それ以降は上水道供給率および電力供給率の回復に伴い、治療対応可能数も増加する。

b) 避難生活における健康被害発生数の推移

静岡県全域での傷病発生数の推移を図-7に示す。発災後、数日で物資不足や環境の変化を原因に軽度の傷病が発生し始め、2週間目からは避難生活の長期化により、傷病発生数がさらに増加する。その後、16日目をピークにライフラインの復旧とともに傷病発生数は徐々に減少していくことが分かる。

c) 健康・生活被害の時系列予測

避難生活における健康被害量（図-7）を直接的被害量に加えた全人的被害量に対して、病院での治療対応（図-6）を考慮した治療判定適用後の傷病者数（要治療者かつ未治療者の人数）の推移を図-8に示す。発災当日から重症者・軽症者共に未治療の傷病者は減少しており、発災1ヶ月時点では、重症者の治療完了度は35%、軽傷者の治療完了度は62%である。

また、図-9に発災当日の傷病者数、図-10に発災1ヶ月後の傷病者数の250mメッシュでの分布を示す。発災当日は沿岸域や市街地を中心に広い範囲で負傷者が発生しており、発災1ヶ月後は医療対応能力の低い地域において要治療者が多く残存している。

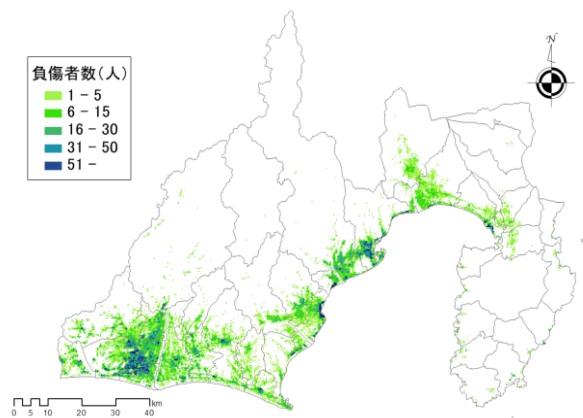


図-9 発災当日における傷病者数

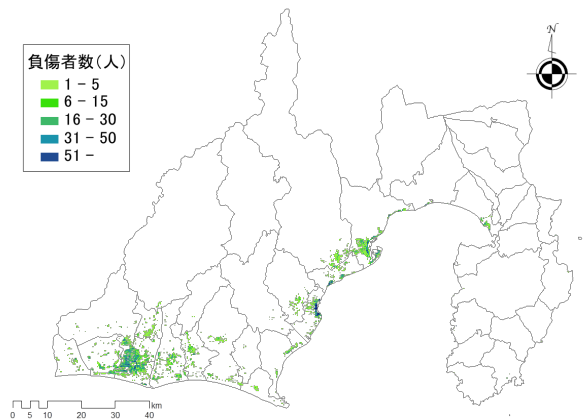


図-10 発災1ヶ月後における傷病者数

(5) 障害調整生存年（DALY）による被害の評価

前節で示した死亡者および傷病者数をもとに算出したDALYの推移を図-11に示す。重症、軽症は減少傾向にあり、二次死亡は増加している。障害度の重みが大い重症については障害継続期間が長いいため、1ヶ月ではDALYがあまり減少しないことが分かる。そのため、死亡者の発生の抑制はもとより、重症者の発生抑制および治療能力向上が、生命・健康・生活へのダメージの低減に効果的であると考えられる。また、2週目以降は避難に伴う重軽症者が増加し（図-7）、それらへの医療のフォローが必要であることから既存病院の復旧のみならず

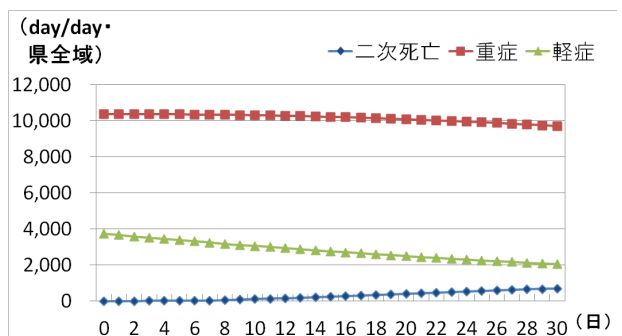


図-11 発災1ヶ月後における傷病者数

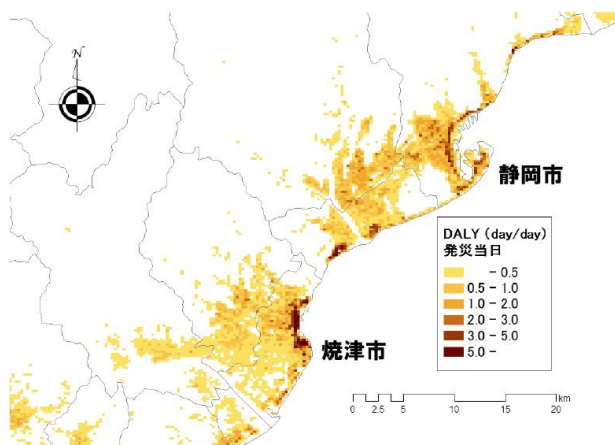


図-12 発災当日における DALY 分布

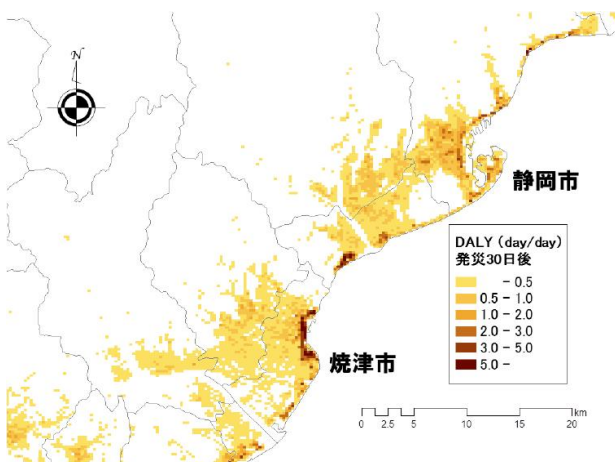


図-13 発災1ヶ月後における DALY 分布

避難所単位での診療や、避難所環境向上が必要である。次に、発災当日と発災1ヶ月後のDALYの250mメッシュでの分布を図-12、図-13に示す。静岡市～焼津市に注目すると、1ヶ月後間で大きくは変化しないものの、主に軽症者の容態回復に伴うDALYの低下が各地で確認できる。

4. おわりに

本研究では、大規模自然災害による被災者の生命および健康へのダメージを時系列で予測し、余命指標を用いて定量的に評価する手法を構築した。また、構築した手法を南海トラフ巨大地震に適用し、大規模自然災害が発生した際における人的被害量の予測と様相の把握を試みた結果、以下の成果が得られた。

- 1) 直接的な被害のみならず、避難生活における傷病の発生リスクを考慮した健康被害予測手法を用いることで、より詳細な被害予測情報が得られた。
- 2) 各傷病の重みを考慮した障害調整生存年（DALY）を用いることで、災害による多様な被害を損失余

命で統合的に評価を行うことが可能となった。

- 3) マイクロ建物ポイントデータを本手法に適用することで、条件設定の精緻化が図れ、地理的に詳細な人的被害量の把握が可能となった。

また、本研究の課題は以下の通りである。

- 1) 本研究で構築した手法を過去の災害に適用し、その妥当性を検証する必要がある。
- 2) 災害医療派遣による活動や被災地域外への負傷者移転等、施策導入による被害の低減効果を検討する必要がある。
- 3) 本研究では、過去の災害における調査・報告等を参考に傷病発生確率を設定したが、今後は、医学的な知見による傷病発生の因果関係を適用することでより精緻化が図れると考えられる。
- 4) 本研究では、南海トラフ巨大地震において想定されている11ケースの内、レベル2の基本パターンを外力として与え、計算を行った。今後は様々な災害ケースについて被害予測を行い、発災時に備えて被災情報を備蓄しておく必要がある。

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。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 内閣府：避難に関する総合的対策の推進に関する実態調査結果報告書，2013。
- 2) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要，南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ，2012。
- 3) 内閣府：地震発生後の被災者の生活環境対策，第6回地方都市等における地震防災のあり方に関する専門調査会，2011。
- 4) Marthe R. Gold, David Stevenson and Dennis G. Fryback：HALYS AND QALYS AND DALYS, OH MY: Similarities and Differences in Summary Measures of Population Health, Annu. Rev. Public Health, 23, 115-134, 2002。
- 5) 池田俊也・田端航也：わが国における障害調整生存年（DALY）—簡便法による推計の試み—，医療と社会，Vol.8, No.3, 1998。
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：地域被害推定と防災事業への活用に関する研究，国総研プロジェクト研究報告第30号，2010。
- 7) 秋山祐樹・小川芳樹・仙石裕明・柴崎亮介・加藤孝明：大規模地震時における国土スケールの災害リスク・地域災害対応力評価のためのミクロな空間データの基盤整備，第47回土木計画学研究講演集，CD-ROM(392)，2013。
- 8) 今泉・金子・佐藤・室崎：阪神大震災における病院実態調査の結果と評価モデルの提案：震災時地域医療

- ポテンシャルの評価に関する研究，学術講演梗概集，F-1，都市計画，建築経済・住宅問題，63-64，1996.
- 9) 内閣府：避難に関する総合的対策の推進に関する実態調査結果報告書，2013.
- 10) 城：阪神大震災における災害ストレスの実態調査，平成 7 年度ひょうご科学技術創造協会「阪神・淡路大震災に関連する緊急調査研究助成」研究実績報告書，28p，1995.
- 11) 静岡県健康福祉部：静岡県医療救護計画，2013.
- 12) 復興庁：東日本大震災における震災関連死に関する報告，震災関連死に関する検討会，2012.
- 13) 静岡県危機管理部危機政策課：静岡県第 4 次地震被害想定二次報告書，2013.
- 14) 東京大学地震研究所・防災科学技術研究所・京都大学防災研究所：首都直下地震防災・減災特別プロジェクト総括成果報告書，2012.
- 15) 国土交通省：東日本大震災の津波被災現況調査，2012.
- 16) Murray C. J. L., Lopez A. D. : Evidence-Based Health Policy Lessons from the Global Burden of Disease Study, Science, 1996a:274 (5288) :740-43, 1996.
- 17) 高野剛志，戸川卓哉，三室碧人，加藤博和，林良嗣：被災者の QOL 水準に基づく小地区単位の災害影響時系列評価システム，土木計画学研究，講演集，Vol.45，CD-ROM(27)，2012.
- 18) 加藤博和，森田紘圭，林良嗣：都市・健康分野における QOL 評価指標の統合化に向けた基礎的考察，日本環境共生学会第 16 回(2013 年度)学術大会発表論文集，pp.338-342，2013.

(2014. 4. 25 受付)

EVALUATION OF DAMAGE ON LIFE, HEALTH, AND LIVING BY LARGE SCALE NATURAL DISASTER USING THE LIFE EXPECTANCY INDICATOR

Ryudo TACHIBANA, Hiroyoshi MORITA, Hirokazu KATO,
Yoshitsugu HAYASHI, Kenji SUGIMOTO and Yuki AKIYAMA