

# 巨大自然災害による生活環境悪化と 生命・健康被害の経時変化に着目した 地域のレジリエンス評価

清水 大夢<sup>1</sup>・加藤 博和<sup>2</sup>・山本 通寛<sup>3</sup>・河合 一輝<sup>4</sup>・秋山 祐樹<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 計画系部門  
(〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島 4-11-10)  
E-mail: shimizu\_hir@cfk.co.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学大学院 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)  
<sup>3</sup>学生会員 名古屋大学大学院 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)  
<sup>4</sup>正会員 (独) 鉄道・運輸機構 大阪支社 工事第二部工事第三課  
(〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36)

<sup>5</sup>正会員 東京大学 (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉)

巨大災害が発生すると、発災直後の死傷者の発生といった一次被害だけでなく、中長期的に発生する二次被害も問題となる。災害に対してレジリエントな地域形成を推進するためには、一次被害と二次被害の両方を軽減し得る施策が必要であり、発災後の経時的な状況変化も考慮し、施策を適切に評価する手法の構築が求められる。本研究では、予想される南海トラフ巨大地震による徳島県の人的被害を「生活環境悪化」に伴う被害と「生命・健康被害」に分け、それぞれについて「生活の質により調整された生存年数(Quality Adjusted Life Year: QALY)」と「障害調整生存年数(Disability Adjusted Life Year: DALY)」を用いて算定し、地域のレジリエンス性を評価した。その結果、発災 5 日後以降は QALY の回復がほぼ見られないこと、DALY の回復量が僅かであることが分かった。また、実施策の効果についても評価を行い、より効果的な施策とするための提言を行った。

**Key Words:** QOL, QALY, DALY, Resilience

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

東日本大震災や熊本地震など、ここ数年の大規模な地震は、建物の倒壊や津波による死傷者の発生といった甚大な一次被害をもたらしただけでなく、避難生活者のエコノミークラス症候群発症や、被災した病院の治療機能低下に起因する死者数の増加など、中長期にわたり二次被害を生じさせた。巨大自然災害の発生リスクが高い日本においては、発災時の一次被害の軽減はもとより、上記のような中長期的に発生する二次被害の軽減や早期回復も可能な「レジリエントな国土形成」が求められる。そして、その実現施策を検討する際には、施策の実効性を適切に評価できるツールが必要となる。

### (2) 災害時のレジリエンス評価手法と既往研究の課題

大規模災害による人的被害を、生活の質(Quality of Life:

QOL)の観点から図示したものを図-1 に示す。地域のレジリエンスは QOL 低下量の時間積分値で表すことができる。そして発災時の QOL 低下量を低減させ、回復スピードを向上させる施策であれば、レジリエンス向上に資すると言える。

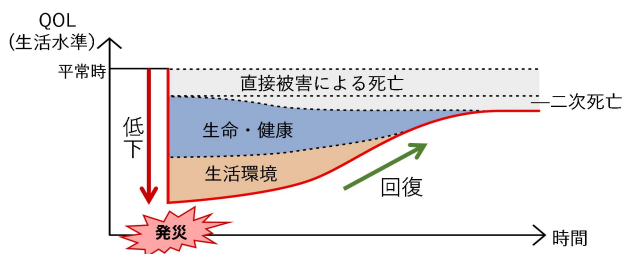


図-1 大規模災害による人的被害の時間変化  
(高野ら(2012)より著者編集)

災害時の QOL 低下は、「生活環境悪化被害」, 「生命・健康被害」からなる。

「生活環境悪化被害」による QOL 低下については高野ら<sup>1)</sup>が「生活の質により調整された生存年数(Quality Adjusted Life Year: QALY)」を用い, 「生命・健康」を損なうことによる QOL 低下については橋ら<sup>2)</sup>が「障害調整年数(Disability Adjusted Life Year: DALY)」を用いて評価している。

施策検討の際, 被災状況を総合的に評価するためには, 「生活環境悪化被害」と「生命・健康被害」の両方を扱うことが適切であるが, 両方を同時に算出し評価した研究は行われていない。

**(3) 研究の目的**

本研究では, これまで別々に行われてきた QALY, DALY 評価手法を, 一つの事例で同時に適用し, レジリエンス向上施策導入に適用することで, 施策実施の検討に資するツール構築を目指す。

**2. 評価手法**

**(1) QALY 算出方法**

QALY はもともと, 医療分野において開発された, 生活の豊かさを考慮して重みをつけた余命を尺度とする健康指標である。1年の QOL 値を完全に健康な状態では 1, 死亡した状態を 0 とし, 間の値を健康状態による重みから定めるように設定し, 死亡するまでの QOL 値の積分値を QALY として定義している(図-2.1)。QALY の定義式を式(2a)に示す。

$$QALY = \int_{x=a}^{x=a+L} w_p dx \quad (2a)$$

ここで,  $w_p$ : 個人  $p$  の QOL 値,  $a$ : 評価開始時点,  $L$ : 評価開始から死亡するまでの期間であり,  $x$  は時間を表す。

高野らは, 医療分野における QALY の定義で用いる健康状態に応じた QOL 値を, 災害時の生活環境から想定される QOL 値に置き換え, 災害時のレジリエンス評価に適用した。本研究では, この高野らの手法を用いて評価を行う。

まず, 災害についての報道や既往研究からまとめた被災者ニーズの時系列変化をもとに, 図-2.2 のように災害時 QOL の構成要素と階層構造が定義されている。

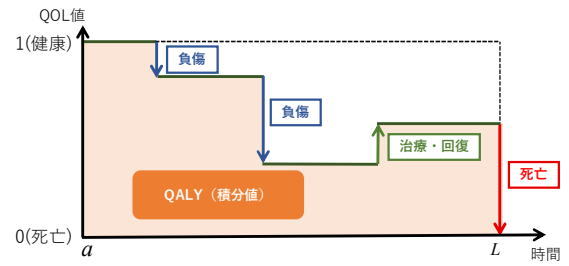


図-2.1 QALY のイメージ

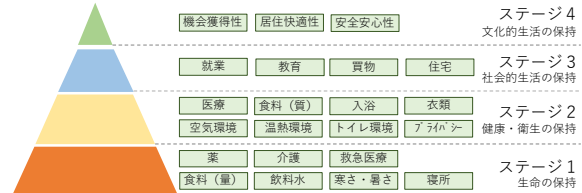


図-2.2 災害時 QOL の構成要素と階層構造

各ステージについて, 全ての災害時 QOL 構成要素が充足された場合にのみ, 上位のステージへ移行するとしている。

災害時 QOL 構成要素は, 構成要素の充足に必要なインフラ・建物・サービス等が全て機能している場合には充足可能, それ以外の場合を充足不可能としている。災害時 QOL 構成要素の充足に必要なインフラ等をまとめた充足対応表を表-2.1 に示す。

QALY 評価手法の算出フローを図-2.3 に示す。推定したインフラ状況から QOL の構成要素である生活環境の充足を判定し, QOL ステージを判定する。これをインフラの復旧シナリオに従いながら 1 日単位で繰り返す。本研究では評価期間が短いため, 完全に健康な状態で過ごす 1 日を 1 とする day-QALY を用いて算出している。

**(2) DALY の算出方法**

DALY も医療分野において開発された, 生存年数を生存の質を考慮して調整した健康指標である。完全に健康な状態を 0, 死亡した状態を 1 とし, 罹患や病気の程度に応じた障害の重みと, 年齢による重みで重み付けされた QOL 値について, 理想的な寿命年齢に至るまでの期間で積分されたものが DALY と定義される(図-2.4)。この値は, 理想的な寿命を迎えるまでの期間で, どれだけ健康な年数を失うかを意味する。個人の DALY の定義式を式(2b)に示す。

$$DALY = \int_{x=a}^{x=a+L} DCxe^{-\beta x} e^{-r(x-a)} dx \quad (2b)$$

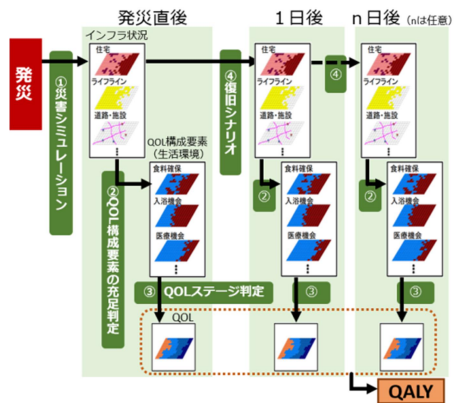


図-2.3 QALY算出フロー

表-2.2 DALY 評価手法における障害の重み

出典：橘ら

障害度	重みD	説明	
健康	0	-	
軽症	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	食事の用意や買い物、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
重症	1	-	
死亡	1	-	

表-2.1 災害時 QOL 構成要素の充足対応表

QOL 構成要素	インフラ				住宅性能/設備			ライフライン				便利施設			教育施設				交通		防災施設			支援物資				臨時施設		人的支援																		
	建物	サービス	避難所	避難所	耐震	風呂	換気	洗濯	遮音	冷暖房	電気	水道	ガス	通信	大規模小売店	乗車	介護施設	小学校	中学校	高校	保育所	就業施設	公共交通	自動車	ガソリン	防波堤	水門	河川堤防	備蓄	飲料水	食料	生活用品	医薬品	燃料	電源車	給水車	通信	臨時診療所	仮設トイレ	仮設風呂	仮設撤去	瓦礫撤去	各種サービス					
4	機会獲得性	居住快適性	安全安心性																																													
3	教育	就業	買物	住宅																																												
2	医療	食料(質)	入浴	トイレ	衣類	空気環境	温熱環境	アラウンド																																								
1	救急医療	薬	飲料水	食料(量)	寝るところ	寒さ・暑さ	介護																																									

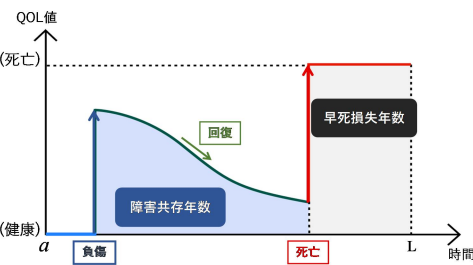


図-2.4 DALYのイメージ

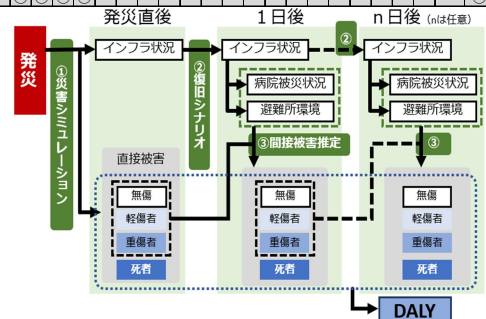


図-2.5 DALY算出フロー

ここで、 $D$  : 障害による重み付け,  $Cxe^{-\beta x}$  : 年齢による重み付け ( $C = 0.1658$ ,  $\beta = 0.04$ ),  $e^{-r(x-a)}$  : 時間割引率 ( $r = 0.03$ ),  $a$  : 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り,  $x$ は時間を表す。

橘らは、医療分野における DALY と 3 章で述べる被害算出手法を用いて、地域のレジリエンスを評価した。橘らが設定した障害による重み付けを表-2.2 に示す。

DALY 評価手法の算出フローを図-2.5 に示す。推定したインフラ状況から、病院機能状況や避難所環境を推定し、死傷者数の変動を算出する。これをインフラの復旧シナリオを用いて1日ごとに繰り返し、DALYを算出している。

3. 被害算出方法

(1) 一次被害算出方法

本研究では、内閣府中央防災会議の「南海トラフ巨大地震の被害想定」<sup>3)</sup>に従い、地震発生による一次被害の算出を行う。

地震動による死傷者数は、南海トラフ地震における震度分布、建物情報と、建物情報別の被害係数を用いて算出する(図-3.1)。また、津波による被害は、内閣府の津波浸水深データと、人口の避難シミュレーション結果を用いて算定する(図-3.2)。

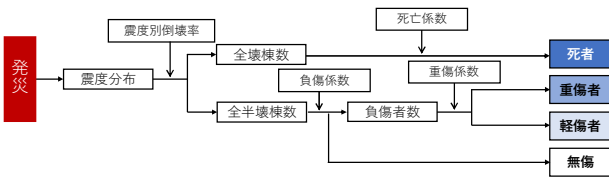


図-3.1 地震による一次被害算出フロー

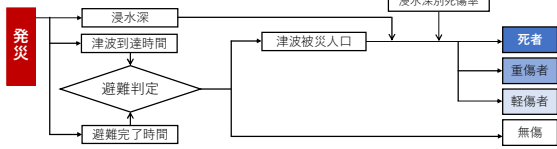


図-3.2 津波による被害算出フロー

(2) 二次被害算出方法

病院での治療可否は、病院での治療可能患者数を基に判定を行う。災害時の治療可能患者数の算出には、「静岡県第 4 次地震被害想定」<sup>4)</sup>の方法を用い、平常時の病院機能が建物の損壊やライフライン支障により低減すると考える。

まず、病院での受入可能患者数を一般病床数と各種被害情報を用いて算出する。病院での対応可能患者数は、今泉ら<sup>9)</sup>による病院実態調査のデータを用いる。治療可能患者数は、重傷患者については受入可能患者数と対応可能患者数の少ない方、軽傷患者については対応可能患者数とする。

避難所での傷病発生予測手法は橘らの手法に従う。まず、建物被害から避難者数を算出する。ライフラインの支障率や、道路損壊による避難所での物資不足率といった避難所環境を、避難所ごとに算出する。避難者数と避難所環境、傷病発生率から傷病発生判定を行い、傷病発生数を予測する。このサイクルを 1 日ごとに行う。

なお、傷病発生率は、橘らが過去の災害の報告や報道を基にまとめた避難生活における時系列の傷病発生確率を用いる。

(3) 道路被害算出方法

道路施設の被害箇所数は、東日本大震災の実態を踏まえて内閣府が設定した値(表-3.1)を用いて算出する。

4. ケーススタディ

(1) 対象とする災害・地域

本研究では徳島県を対象地域とし、「南海トラフ巨大地震」を想定して、評価手法の適用と統合の検討を行う。なお、地震動については「最大ケース」を想定し、津波については「ケース④」を想定する。

徳島県の人口は約 74 万人で、そのうちの半数以上が徳島市とその周辺市町村に居住している(平成 30 年 1 月現在)。内閣府によると、徳島県では南海トラフ巨大地震の発生によって、全域において震度 6 弱以上の強い揺

れが予想され(図-4.1)、沿岸部の広い範囲で津波による浸水が予想されている(図-4.2)。

表-3.1 道路施設被害率

		道路施設被害率(箇所/km)	
		高速道路・直轄国道	補助国道・都府県道 市町村道
浸水域外	震度6弱	0.16	0.071
	震度6強	0.17	0.076
	震度7	0.48	0.21
浸水域内	1m未満	0.13	0.058
	1m以上3m未満	0.37	0.16
	3m以上5m未満	0.65	0.29
	5m以上10m未満	1.52	0.68
	10m以上	2.64	1.17

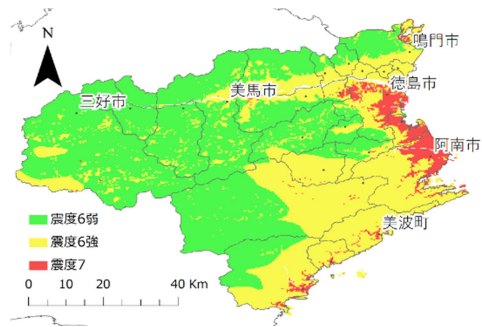


図-4.1 徳島県における予想震度

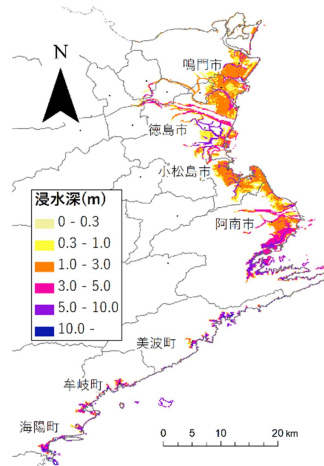


図-4.2 徳島県における予想浸水深

(2) 使用データ

ケーススタディで使用したデータを表-4.1に示す。

なお、住宅データで使用した建物ポイントデータは、秋山ら<sup>9)</sup>により住宅地図(Zmap-Town II)の建物情報と、国勢調査の人口情報を結合して開発された非集計のマイクロ人口統計データである。

表-4.1 使用したデータ一覧

データ項目	出典
避難所	・国土数値情報：避難施設データ ・徳島県HP：指定避難所データ
仮設住宅	国土交通省住宅局（2012）：応急仮設住宅着工推移
住宅	秋山ら・東京大学地球観測データ統合連携研究機構（2011）：各種属性付きマイクロ建物ポイントデータ
ライフライン供給率	加藤ら（2015）：供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル
医療施設	国土数値情報：医療施設データ
スーパー	株式会社ゼンリンオープンテリジェンス：DARMS2016
入浴施設	自作データ
介護施設	国土数値情報：介護施設データ
高校	国土数値情報：学校データ
道路ネットワーク	ESRI JAPAN：ArcGISデータコレクション
ガソリン	国土数値情報：燃料給油所
備蓄	徳島県災害時相互応援連絡協議会（2014）：南海トラフ地震等に対応した備蓄方針
医者数	厚生労働省：平成28年医師・歯科医師・薬剤師調査
一般病床数	厚生労働省：平成28年医療施設（動態）調査
一般病院在院患者数	厚生労働省：平成28年病院報告
一般病院外来患者数	厚生労働省：平成28年病院報告
震度分布	内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会：強震断層モデル(1)データセットA
津波浸水深	内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会：津波断層モデル(11)津波浸水深データ（ケース4）
津波到達時間	内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会：津波断層モデル(11)津波浸水深データ（ケース4）

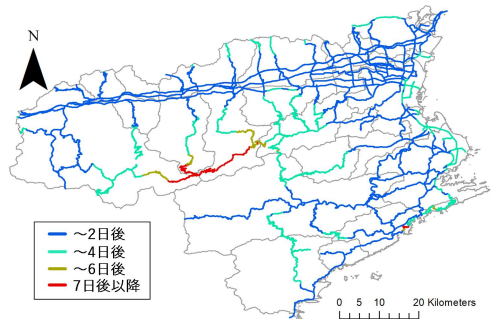
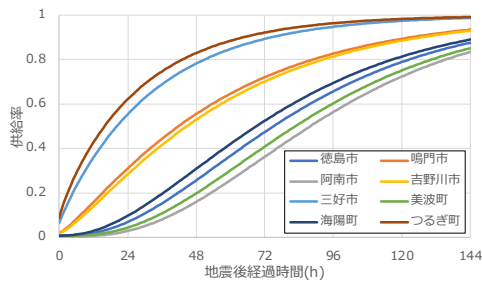
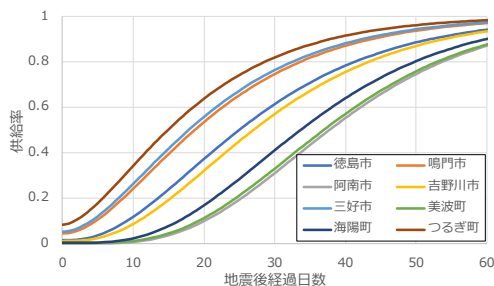


図-4.3 道路復旧シナリオ



a) 電気



b) 水道

図-4.4 ライフライン供給率（一部市町のみ表示）

(3) 復旧シナリオ

道路復旧シナリオは、四国道路啓開等協議会において

策定された「四国おうぎ（扇）作戦」<sup>6)</sup>を参考に作成した(図-4.3)。電力、水道の供給率は、加藤ら<sup>7)</sup>が過去の災害事例をもとに構築、改良した「震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能評価モデル」を用いて、市区町村ごとに算出した(図-4.4)

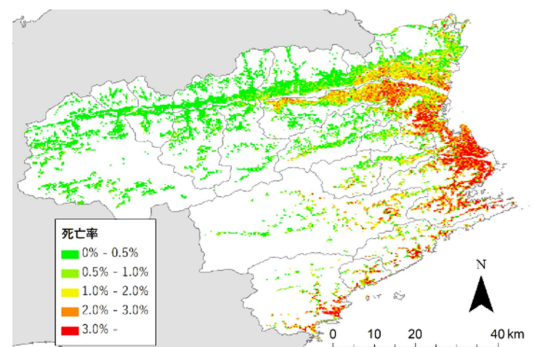
(4) 一次被害算出結果

地震動と津波による死者数を表-4.2 に、メッシュごとの死亡率を図-4.5 に示す。負傷を伴う被災者が 14 万人を超えるような、甚大な被害が発生する結果となった。

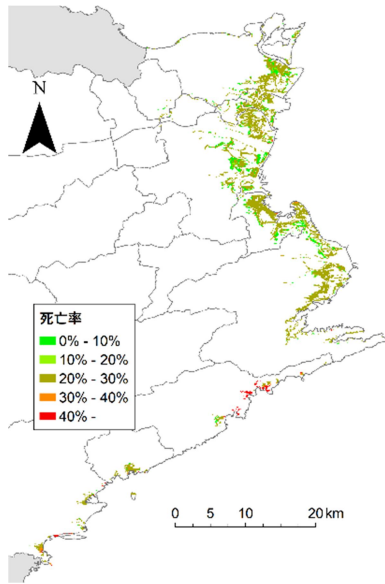
地震動によるメッシュごとの死亡率は東高西低となっており、非常に強い揺れが予想されている東側平野部で大きな値となった。津波による被害は、沿岸北部では広い範囲で 20~30%の死亡率となり、沿岸南部では被災範囲は狭かったものの死亡率は高い傾向にあった。特に美波町由岐湾地区では浸水域のほとんどで 40%以上の死亡

	地震動	津波	合計
死者	13,501	55,132	68,633
(徳島県想定)	(3,900)	(26,900)	(30,800)
重傷者	6,380	4,320	10,700
軽傷者	57,421	8,324	65,745
合計	77,302	67,776	145,078

表-4.2 一次被害の推定結果

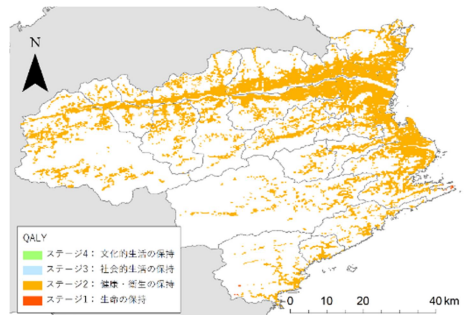


a) 地震動による死亡率

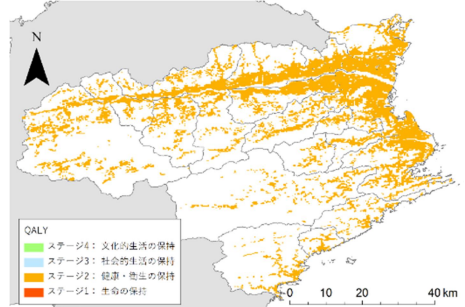


b) 津波による死者率

図-4.5 メッシュごとの死亡率



d) 発災 5 日後



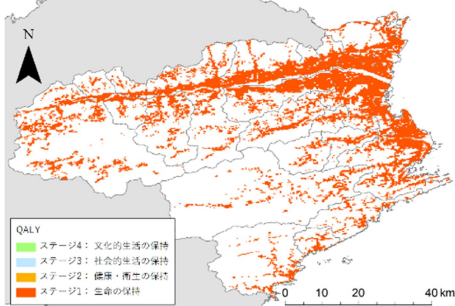
e) 発災 30 日後

図-4.6 発災後の QOL ステージの推移

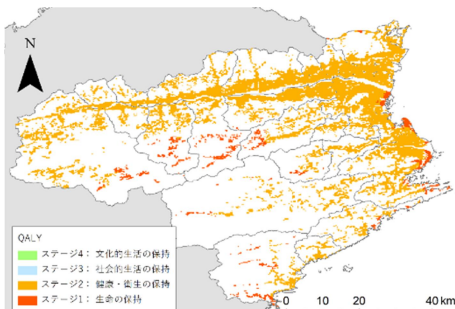
率となった。

(5) QALY 評価結果

発災から 1, 3, 5, 30 日後のメッシュごとの QOL ステージを時系列に図-4.6 に示す。発災 3 日後には内陸の山間部や、津波被害の大きい一部地域を除いて、広い範囲がステージ 2 に移行し、那賀町や三好市の山間地区でも、部分的にステージ 2 に移行する。発災 5 日後には、アクセスが困難な蒲生田岬付近を除いてステージ 2 になるが、仮設住宅の供給や水道復旧が進まないため、発災 30 日後でも県全域でステージ 2 のままである。



a) 発災 1 日後



c) 発災 3 日後

(6) DALY 評価結果

DALY の時間推移を図-4.7 に示す。ここでは、1 章で説明した地域のレジリエンスのイメージに合わせ、縦軸を反転した。

発災直後から次第に回復スピードが遅くなり、発災 20 日後頃から横ばいに近づいている。発災直後に回復スピードが速い点については、徳島県の人口当たりの医師数が多いこと、次第に回復が遅くなり横ばい状態になった点については、水道復旧の遅れにより医療機能低

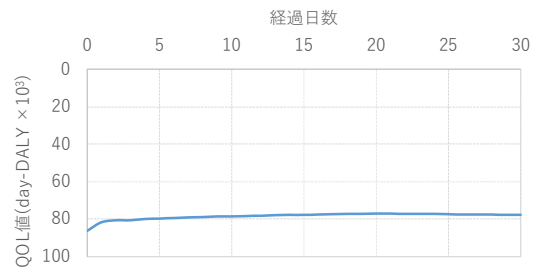


図-4.7 地域の DALY の推移 (死者数を考慮)

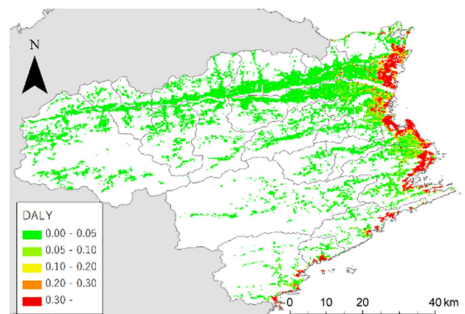


図-4.9 発災直後の day-DALY 分布

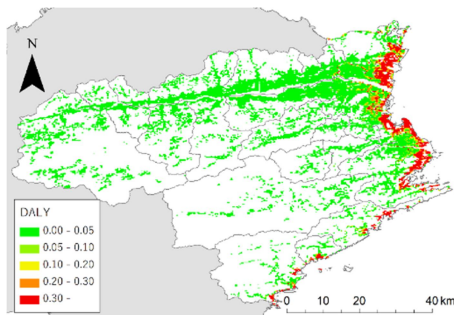


図-4.10 発災から30日後のday-DALY分布

下が続いていることが考えられる。

発災直後と30日後の1日あたりのDALYの分布を図-4.9, 4.10に示す。沿岸部においてDALYの値が大きくなった。震度や浸水深の分布と比較すると、地震動よりも津波の影響を受けていると考えられる。また、DALY分布の時間変化については、ほとんど違いが見られなかった。これは、DALY値に対する死者数の影響が支配的であることが原因として考えられる。

#### 4. 実政策の定量的評価

##### (1) リスク分散型近居の概要と分析条件の設定

本章では、リスク分散型近居の導入効果を評価する。リスク分散型近居とは、程ら<sup>8)</sup>により提案された居住形態のことで、具体的には「津波脅威下にある世帯の次世代が、安全な地域に親世帯と近居となる住宅を取得」するような居住選択を行うことである。既往研究において様々な効果が明らかにされているが、生活の質の面からリスク分散型近居の災害時の効果を定量的に評価する研究は行われていない。

本章では、現在リスク分散型近居を推進している美波町由岐湾地区において、QALY, DALYを用い、全ての住民が既存市街地と近くの高台でリスク分散型近居を行っている状態（以下、施策達成時とする）と現状の比較から、リスク分散型近居の効果を評価する。

##### (2) 評価結果

施策達成時と施策が行われていない時の、それぞれのQALY, DALY推移を図-4.5, 4.6に示す。なお、各QALYステージにおけるQOL値は、橘らが用いた値を参考に、ステージ1で0.4、ステージ2で0.6、ステージ3で0.8、ステージ4で1.0と仮定した。

QALY推移におけるQOL値は、発災直後は施策の有無に関わらず同じ値であったが、次第に回復スピードに差が現れ、発災30日後の時点では施策達成時のQOL値の方が200(日/日)ほど大きくなった。「近居浸水外」にあたる住民数の差が、QOLの回復スピードの差に現れたと考えられる。

一方DALYは、発災直後の時点で200日ほど小さくなったが、その後の推移にほとんど差は見られなかった。DALYの推移に差が現れなかったことと、次第にDALYが増加していることについては、対象地域外の周辺地区では依然として多くの負傷者が発生しており、さらに浸水域内の医療機関の機能低下も重なったことで、治療が追いついていないことが原因として挙げられる。このことから、周辺各地区で同様に施策を行うことや、災害に強い医療体制の構築などが求められると示唆される。

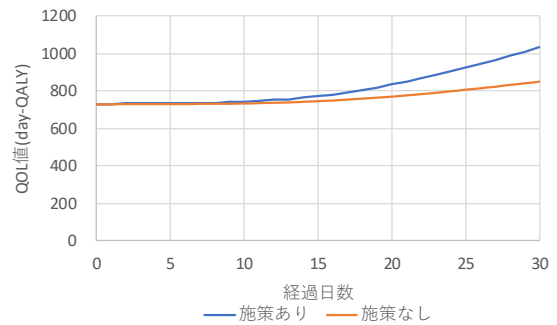


図-4.5 対象地区のQALYの推移

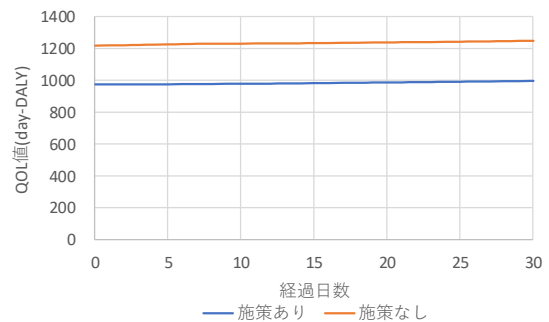


図-4.6 対象地区のDALYの推移

#### 4. 結論

本研究では、人口減少・少子高齢化進展の一方で、巨大災害リスクに直面している都市・地域のレジリエンス向上施策導入の検討に資するべく、巨大災害発生後の人的被害の経時変化について、生活環境悪化面および生命・健康被害面に分け、それぞれQALYとDALYを用いて詳細地区メッシュのレベルで評価する手法を開発した。以下に具体的な成果をまとめる。

- ・ 徳島県を対象に、南海トラフ巨大地震発生を想定した評価を行った。
- ・ リスク分散型近居策の効果を評価し、指標の有用性を明らかにした。

これらの成果から、以下の知見が得られた。

- ・ 東側平野部では地震動による死亡率が高く、特に戸建住宅の多い阿南市での被害が目立つ。南部の沿岸部では、居住地域のほとんどで死亡率が高かった。
- ・ 津波による死亡率は美波町由岐湾内地区周辺で40%以上となり、非常に深刻な被害であった。
- ・ QALYは、発災5日後には県内のほとんどの地区で

ステージ 2 まで回復するが、仮設住宅の供給や水道の復旧が進まないため、発災 30 日を過ぎても県全域でステージ 2 のままであった。

- ・ DALY は、発災直後の回復スピードは速いが次第に遅くなり、発災 20 日後頃から横ばいに近づいている。
- ・ リスク分散型近居は、周辺各地区で同様に施策を行うことや、災害に強い医療体制を構築することにより、効果のある施策となる可能性がある。

**謝辞：**本研究は、環境省環境研究総合推進費「再生可能都市への転換戦略—気候変動と巨大自然災害にしなやかに対応するために—」（環境再生保全機構）の一環として実施したものである。

#### 参考文献

- 1) 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, 2012
- 2) 橋竜瞳, 森田紘圭, 杉本賢二, 加藤博和, 林良嗣, 秋山祐樹: 大規模自然災害による生命・健康・生活へのダメージの余命指標を用いた評価, 土木計画学研究, 講演集, Vol.47, 2014
- 3) 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
- 4) 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, 2013
- 5) Akiyama Y., Takada T., Shibasaki R: Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census, CUPUM2013 conference papers, pp.110, 2013
- 6) 四国道路啓開等協議会: 四国広域道路啓開計画, 2016
- 7) 加藤宏紀, 能島暢呂: 供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル—市区町村別簡易評価法のシステム構築—, 15 巻, 7 号, pp.7\_354-7\_367, 2015
- 8) 程飛, 山中英生, 井若和久, 黒田慎也: 津波災害におけるリスク分散型近居の生活再建への効果, 日本環境共生学会第 19 回学術大会発表論文集, 2016

(2018.4.26 受付)

## Resilience Evaluation of Region Focused on Time-serial Changes of Living Environment Degradation and Health Damage by Large-Scale Natural Disaster

Hiromu SHIMIZU, Hirokazu KATO, Michihiro YAMAMOTO,  
Kazuki KAWAI and Yuuki AKIYAMA

Large-scale natural disasters cause not only primary damages like first dead and injured, but also secondary damages that occur in medium- and long-term. Some schemes considering these damages are needed to make regions resilient for disaster. Evaluation methods that consider time-serial changes after disaster and appropriately evaluate the schemes are also needed.

In this study, resilience of Tokushima Prefecture is evaluated by “Quality Adjusted Life Year(QALY)” and “Disability Adjusted Life Year(DALY)” when Nankai Trough Earthquake occur. It is revealed that QALY stages are not changed from fifth day after the earthquake and DALY is slightly changed. QALY and DALY method revealed the way to improve actual scheme.