

気候変動を考慮した洪水リスク変化に関する 地域のレジリエンスの評価

朴 秀日¹・山本 通寛²・橋本 拓実³・大野 悠貴⁴・
加藤 博和⁵・石川 佳治⁶・秋山 祐樹⁷

- ¹ 非会員 名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: suil@urban.env.nagoya-u.ac.jp
- ² 非会員 元名古屋大学大学院環境学研究科
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: rerewfpk@gmail.com
- ³ 学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: thashi@urban.env.nagoya-u.ac.jp
- ⁴ 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: yuukiohno@urban.env.nagoya-u.ac.jp
- ⁵ 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp
- ⁶ 非会員 名古屋大学大学院情報学研究科
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: ishikawa@i.nagoya-u.ac.jp
- ⁷ 正会員 東京大学空間情報科学研究センター
(〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5) E-mail: aki@csis.u-tokyo.ac.jp

気候変動によって水害の激甚化・頻発化が懸念されている。それに対応し、発災時の一次被害の軽減はもとより、中長期的に発生する二次被害の軽減や生活環境悪化からの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。本研究では、気候変動による浸水想定区域の拡大や浸水深の上昇を考慮し、余命指標の QALY (Quality Adjusted Life Year : 生活の質により調整された生存年数) を用いて発災後の生活環境悪化による被害の評価手法を構築し、実地域へ適用して評価を行った。その結果、被災直後は物資支援のための道路ネットワークの冗長性の確保が重要であり、復旧・復興段階ではライフラインの早期回復、仮設住宅の供給が重要であることが明らかになった。

Key Words: Climate change adaptation, QALY(Quality Adjusted Life Year), Resilience, Flood

1. はじめに

(1) 研究の背景

近年では、気候変動による影響の中で水害リスクの増大が顕著であると認識されるようになってきている。平成 30 年 7 月西日本豪雨では、7 月の月降水量の平年値の 2~4 倍となる大雨となったところがあった。こうした大雨は、人的・物的のそれぞれに被害をもたらすため、その事前推計については様々な研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾が行われてきた。人的被害については死傷者数を指標⁶⁾⁷⁾⁸⁾として用いることが一般的である。しかし、生き残って怪我がない人達も、建物やインフラの破壊によって日常よりも劣悪な生存・生活環境の中で一定期間暮らすことを余儀なくされることがある。劣悪な環境に長期間置かれた場合、健康を損なうことや、場合によっては死に至ることもある。また、発災

前の生活水準まで回復するには多大な費用と長い時間が必要となる。

水害の激甚化・頻発化が想定されている今、発災時の一次被害の軽減はもとより、中長期的に発生する二次被害の軽減や生活環境の悪化からの早期回復も可能な「レジリエントな国土形成」がハード・ソフト両面から求められている。具体的には、道路などの交通インフラ、電気・ガス・水道、通信網などのライフラインの冗長性確保や、生存環境が長期間脅かされると予想される地区における立地抑制・撤退といった土地利用変更策などが考えられる。これらの施策を検討する際には、その実効性を適切に評価できる時間軸を考慮した評価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。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がこの積分値を減らし、レジリエンス向上に資すると言える。

災害時の QOL 低下は、生命・健康被害と生活環境悪化被害に分けて考えることができる。前者については杉本ら⁹⁾が「障害調整年数(Disability Adjusted Life Year: DALY)」を用い、南海トラフ大地震での静岡県、愛知県、三重県のレジリエンス評価とレジリエンス向上施策の検討を行っている。後者については、高野ら¹⁰⁾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、東日本大震災での被災事例に、地域のレジリエンスの評価を行っている。これらは地震や津波を対象とした被害評価の試みである。今後の気候変動により激甚化・頻発化が予想される水害(洪水)についても、同様のレジリエンス評価手法の導入必要性が高まっている。

(3) 研究の目的

本研究では、水害(洪水)がもたらす被災者の生活環境の悪化に着目し、その発災以降の時系列変化を QALY の余命指標で表し、その低下量で地域のレジリエンスを評価する手法を開発する。また、将来の気候変動に伴う被害の甚大化について検討するために、想定最大の洪水被害を対象に、生活環境被害からの短期的回復能力を定量的に評価することで、生活環境面から地域のレジリエンスの把握を可能とする。さらに、気候変動への適応を目指したレジリエンス向上施策検討に資するツール構築を目指す。

2. QALY 指標による生活環境被害の評価手法

(1) 被害時の予測・評価の概略

一次被害として、3 章で述べる国土交通省の「水害被害指標分析の手引」¹¹⁾と湧川ら¹²⁾を参考に、浸水による想定死者数などを避難率別に推計する。

二次被害は、ライフラインや施設の機能低下に伴う生活環境の悪化や物資不足、そして長期間自宅に戻れない不安・ストレス、衛生環境悪化などを考慮する。

これらの状況を予測し、発災から 1 日ごとに QALY を用いて「生活環境被害」の値として評価する。

(2) QALY による生活環境被害の評価

「生活環境被害」の計量に用いる QALY は、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として、健康状態に関

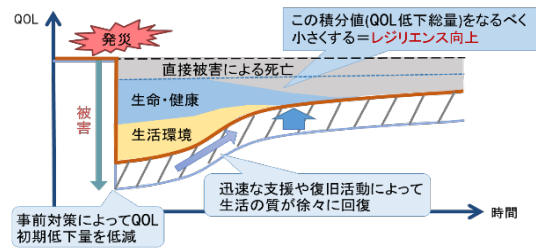


図-1 大規模災害による被害のイメージ⁹⁾

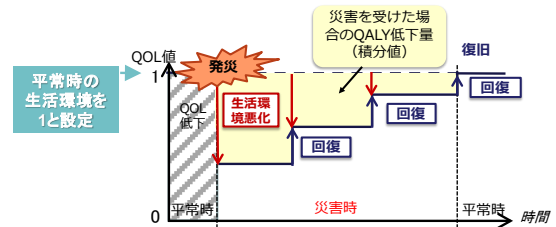


図-2 QALY のイメージ

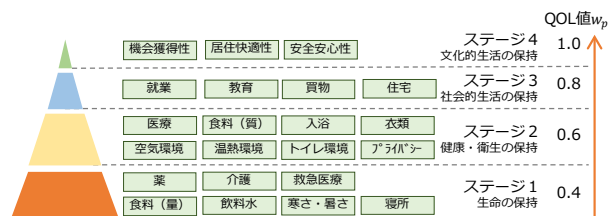


図-3 災害時 QOL の構成要素とステージ¹⁰⁾

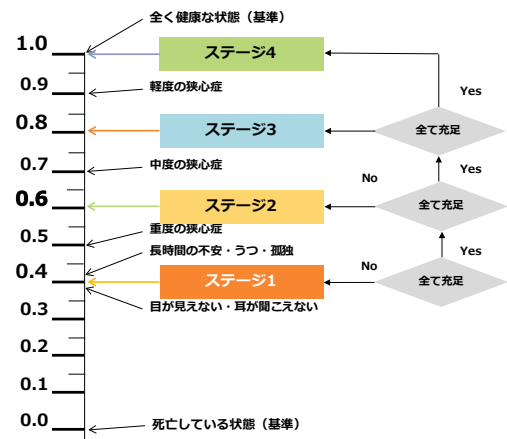


図-4 QOL ステージと QALY の重み付け¹⁰⁾

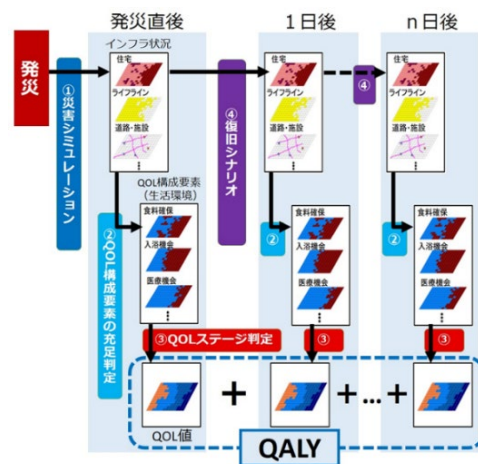


図-5 生活環境被害 (QALY) 算出フロー¹⁰⁾

表-1 災害時 QOL 構成要素の充足対応表¹⁰⁾

QOL 構成要素	インフラ 建物 サービス	居住施設		住宅性能/設備				ライフライン				利便施設		教育施設		交通		防災施設		支援物資				臨時施設		人的支援																
		避難所	住宅	安全性	衛生	快適性	電気	水道	ガス	通信	医療施設	大規模小売店	入浴施設	介護施設	小学校	中学校	高等学校	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	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																																									
2	買物																																									
	住宅																																									
	医療																																									
	食料(質)																																									
	入浴																																									
	トイレ																																									
1	衣類																																									
	空気環境																																									
	温熱環境																																									
	プライバシー																																									
1	救急医療																																									
	薬																																									
	飲料水																																									
	食料(量)																																									
	寝るところ																																									
寒さ・暑さ																																										
介護																																										

連した生活の質(Health Related QOL : HRQOL)で調整される生存年数のことである。平常時の生活 1 年を基準とし、そこから低下した生活環境下ではその価値が基準に比べて低いと考え、1 年より小さい値として表現する。そのために、QOL を表す余命評価値で重み付けしたものである(図-2)。

本研究では災害影響評価を目的とするため、式(1)で示すように、災害が発生しなかった場合の QALY から、災害が発生した場合の QALY を差し引いた損失余命 LLE(Loss of Life Expectancy)で評価する。

$$LLE = \int_0^{\hat{t}} \{1 - w(t)\} dt \quad (1)$$

ここで、LLE : 災害影響による健康な個人の損失余命、 \hat{t} : 発災から復旧・復興までの期間、 $w(t)$: 健康な t 日目に居住することで得られる QALY 値、 t : 発災からの時間

この値を定量評価するため、災害についての報道や先行研究¹⁰⁾からまとめた被災者 ニーズの時系列変化をもとに、図-3 に示すように QOL の構成要素と階層構造を定義する。

QOL 構成要素は、そ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は充足可能、それ以外の場合は充足不可能とする。各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-1 に示す。

そして、各ステージについて、全ての 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ものとする。その上で、図-4 に示す各ステージにおける余命への重み付けを用いて QALY を算出する(図-5)。

3. 徳島県吉野川流域圏を対象としたケーススタディ

(1) 対象地域の概要

本章では、2 章で述べた評価手法を用いて徳島県、吉野川流域圏対象にケーススタディを行った。

吉野川は、流域が四国 4 県、12 市 14 町 2 村にまたがり、幹川流路延長 194km、流域面積 3,750km²の一級河川である。流域内人口は約 61 万人(平成 22 年国勢調査)で、減少傾向にある。また、流域面積の 15%に相当する想定氾濫区域内には、流域内人口の約 80%にあたる約 49 万人が、集中して居住している。

吉野川上流は居住地の殆どが氾濫域となっており、浸水深が深いところでは 10m以上になることが想定される。吉野川下流域の氾濫域は、県庁所在地である徳島市のほか、鳴門市などの市街地が広がり、大規模工場、医療機関なども多く立地し、人口・資産が集積している。また、鉄道などの基幹交通網が発達するとともに、防災拠点となる市役所をはじめとした行政機関が集中し、徳島県の地域経済の中枢となっている。吉野川下流域に広がる徳島平野部の地盤高は洪水時の水位より低く、一度、堤防の決壊が発生すれば、市街地等の水没に加えて、浸水時間が長期化するなどの氾濫特性を有している。

このように吉野川流域は、大雨による大規模洪水発生とともに都市基盤施設の被害の激甚化が予想され、それに伴う生活環境悪化の長期化が懸念される。

(2) 使用データ

ケーススタディで使用したデータを表-2 に示す。

仮設住宅は、平成 30 年 7 月豪雨における広島県と愛媛県の事例を参考に、発災 55 日後から供給が始まると仮定し、住宅データで使用した建物ポイントデータは、

秋山ら (2011)¹³⁾による建物情報と、国勢調査の人口情報を統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。

(3) 復旧シナリオ

道路復旧シナリオは、国土交通省、水管理・国土安全局による「水害の被害指標分析の手引」¹¹⁾と、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」¹⁴⁾を参考に、発災後24時間をめどに進出ルートを確認し、その後、順次浸水範囲の縮小に合わせた道路啓開を想定した。また、支援物資の起点は他県と接する高速道路・一般国道を想定した。なお、本研究では浸水区域内の道路被害のみを想定した。

電力、ガス、水道の供給率は、平成30年7月豪雨におけるライフラインの停止状況のデータを参考に、浸水深に応じて段階的に復旧すると仮定し、データは経済産業省「7月5日からの大雨に係る被害・対応状況について」と、厚生労働省「平成30年7月豪雨による被害状況等について(第8報~第46報)」から集計した(図-6~図-8)。

(4) 想定死者数の算出

a) 想定死者数の算出方法

国土交通省の「水害被害指標分析の手引」¹¹⁾と湧川ら¹⁵⁾を参考に、浸水による想定死者数を避難率別に推計する。推計フローに関しては図-9に示す。ここで、図中の用語はそれぞれ、事前避難：避難勧告・避難指示前の避難、事後避難：避難勧告・指示後の避難、家屋避難：建物2階以上への一時的な避難、地区外避難：浸水区域外の避難所への避難、地区内避難：居住地から最も近い避難所・避難場所への避難と定義した。

本研究では、人口は建物ポイントデータに入力されている国勢調査の夜間人口をベースとしているため、夜間に発災すると仮定する。ただし、夜間の場合は先行研究^{9,10)}より事前避難はしないものと想定するため、今回は事前避難については考慮しない。事後避難に関しては浸水開始の2時間前に避難指示が発令されると想定し、2時間以内に避難所・避難場所へと到達可能な場合は避難可能、避難所・避難場所へと到達することができない場合は死亡すると仮定する。

b) LIFESimモデル

想定死者数の推計にあたっては、米国陸軍工兵隊とオーストラリアがスポンサーとなって開発したLIFESimモデル¹⁵⁾をベースに米国陸軍工兵隊がハリケーン・カトリーナによるニューオーリンズ周辺での人命損失の検証のために採用したモデル^{15),16),17)}を用いた。このモデルで用いられている死者数の想定方法(図-10)は、死者数、死亡率、最大浸水深、建物構造等が明らかになっている過

表-2 使用したデータ一覧

データ項目	出典
道路ネットワーク	ESRI JAPAN: ArcGIS データコレクション
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プティマリジェンス: DAFMS2016
住宅	秋山ら (2011) 各種属性付きマイクロ建物ポイントデータ
避難所	国土数値情報：避難施設データ、徳島県IP：避難所データ
電力復旧状況	経済産業省 7月5日からの大雨に係る被害・対応状況について (7/12~27)
ガス復旧状況	経済産業省 7月5日からの大雨に係る被害・対応状況について (7/12~27)
水道復旧状況	厚生労働省 平成30年7月豪雨による被害状況等について (第3報~第46報)
入浴施設	自作データ
ガソリンスタンド	国土数値情報：燃料給油所
学校	国土数値情報：学校データ
介護施設	国土数値情報：介護施設データ

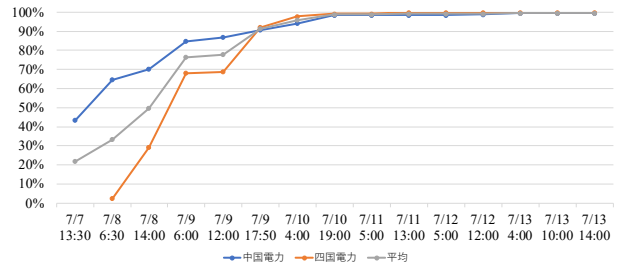


図-6 電気復旧率 (経済産業省データにより著者加工)

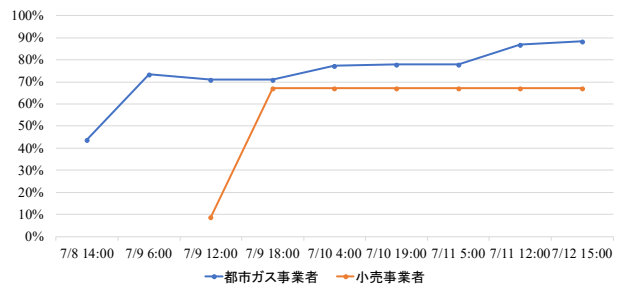


図-7 ガス復旧率 (経済産業省データにより著者加工)

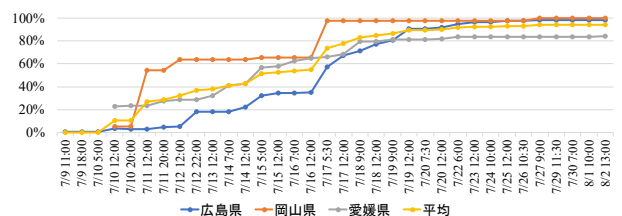


図-8 水道復旧率 (厚生労働省データにより著者加工)

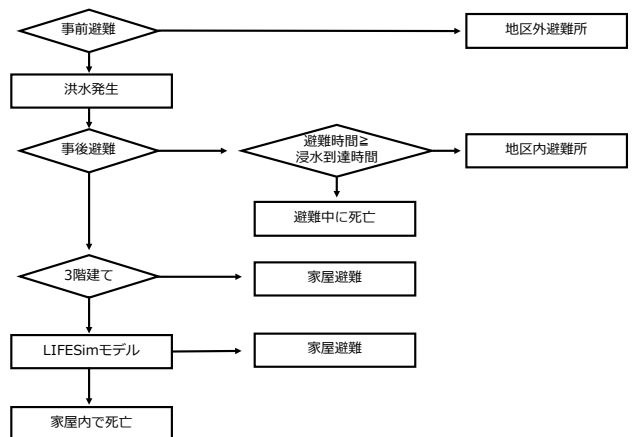


図-9 推計フロー

去の洪水時のデータをもとに求められているものである。

このモデルでは、65 歳以上の場合には住宅・建物の最上階の居住階まで避難し、65 歳未満の場合にはさらに屋根の上等に避難することとする。避難した先の床面からの最大浸水深により、危険水位帯（床面から 1.8m 以上）、準危険水位帯（床面から 1.2m 以上～1.8m 未満）、安全水位帯（床面から 1.2m 未満）の3つの危険度を分類され、池内ら（2011）¹⁸⁾によって日本での適用性が検証されているものである。

以上のように、年齢、建物の階数から危険度別の人数を算出し、分類ごとに設定した死亡率を乗じて想定死者数を推計する。また、既存水害における避難率は既往研究¹⁸⁾を参考し、過去日本で発生した洪水の平均避難率である 0%、40%、80%の3つのケースを設定した。

推計手法の式は式(2)を用いる。

$$P_d = P_0 \times (1 - \varepsilon) \times s_0 + P_1 \times (1 - \varepsilon) \times s_1 \quad (2)$$

ここで、 P_d は想定死者数、 P_0 は浸水域内の 65 歳以上の人口、 P_1 は浸水域内の 65 歳未満の人口、 ε は避難率、 s_0 は住宅階数・浸水深に応じた 65 歳以上の死亡率、 s_1 は住宅階数・浸水深に応じた 65 歳未満の死亡率である。

(3) 想定死者数の算出結果

本研究では、徳島県吉野川流域圏を対象として国土交通省¹⁹⁾が推計した、洪水防御に関する計画の基本となる降雨（計画規模）である概ね 150 年に 1 回程度起こる降雨が発生したことにより、吉野川が氾濫した場合に想定される浸水状況をシミュレーションにより予測したデータを使用し、評価手法の適用と検討を行った。なお、想定的前提となる計画降雨はそれぞれ流域によって異なるが、概ね2日間総雨量 390mm～490mm 程度を想定している。この降雨に伴う洪水発生時に想定される浸水の区分（被害ランク）を図-11 に、想定死者数の推計結果を表-3 に示す。浸水深に関しては、徳島市と石井町など周辺の市町において、2 階の軒下に迫る 2m 以上の浸水となる地点が多く、深刻な被害を受けている。

死者数に関しては、避難率を向上させることで大幅に減少させることができるが、死者数の大半は高齢者であり、自力で避難することが困難で支援が必要である可能性が考えられる。

(4) QALY 算出結果

メッシュごとの QOL ステージを発災から時系列に図-12～図 15 に示す。

本研究では発災後雨が止み、水が引き始めた時点を基準として算出を行った。浸水継続時間については、時間経過より減少していくとして、2 日間で浸水は解消する

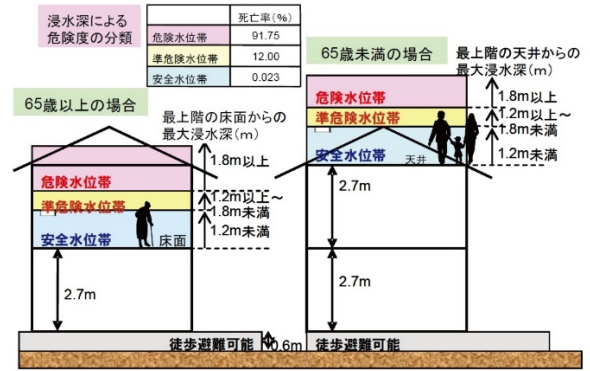


図-10 LIFESim モデル¹¹⁾

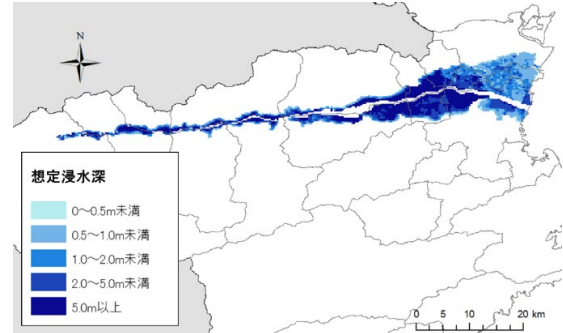


図-11 計画規模想定浸水深

表-3 想定死者数の推計結果

避難率	死者数
0%	3033 人
40%	1820 人
80%	607 人

と仮定した。そのため、時間経過に従って道路啓開がなされることで、別の地区から避難地域への物資供給などの支援が活発となるため、生命の保持段階のステージ 1 から、健康・衛生の保持段階のステージ 2 へと移行していることが分かる。

吉野川上流部では、浸水による道路の遮断により、浸水が改善しても生命の保持段階のステージ 1 から健康・衛生の保持段階のステージ 2 へと回復しない地域も存在した。12 日後からは、浸水被害の軽微な地域から水道などのライフラインの供給率も平常時に大幅に近づくため、徐々に健康・衛生の保持段階のステージ 2 から社会的生活の保持段階のステージ 3 へと移行した。さらに、30 日後には被害が軽微であった地域は社会生活の保持段階のステージ 3 から文化的生活の保持段階のステージ 4 へと回復している。

しかし、それ以降は 2m 以上の浸水が発生した地域では、30 日後になっても健康・衛生の保持段階のステージ 2 から社会的生活の保持段階のステージ 3 へと回復しない。これは住宅に居住し続けることが困難となり、避難所での生活となることに起因しており、仮設住宅の供給が開始するまでは社会的生活の保持段階のステージ 3 まで回復しないと考えられる。

4. 想定最大規模の洪水被害による生活環境被害の評価

(1) 概要

気候変動の影響により、年降水量の全国平均は、有意に増加している。また、気象庁²⁰⁾²¹⁾による 100 年以上のデータが利用可能な全国 51 地点における 1901～2006 年の年最大日降水量のデータから統計的に推定した再現期間 30 年・50 年・100 年・200 年の確率降水量と、社会資本整備審議会 (2008)²²⁾ が示している 20km メッシュ全球大気モデル (GCM20 : General Circulation Model 20) による予測にもとづいた全国 82 水系の一级河川における試算結果を比較して推計すると、将来的には降水量の増加により、現行の治水計画において想定している降雨の再現期間は低減することが予測される (表-4)。しかし、現在目標としている治水安全度は、将来の気候変動による降雨量の増加により著しく低下することが想定されるため、現行計画の見直しの必要がある。また、気候変動の影響は、気温や降水量といった基本的な環境条件を変えるため、影響が様々な分野に連鎖的に波及する。さらに、高齢化や都市化の進展、土地利用の変化といった他の要因とも重なり合って、より深刻な影響が現れる場合もある。

そこで、本研究では気候変動を考慮しつつ将来発生が予想される、降雨に伴う大規模な洪水が発生した場合の生活環境悪化被害を評価することとし、想定最大規模の浸水深のデータを用いて地域のレジリエンスを評価した。

(2) 想定シナリオ

本研究では、国土交通省²³⁾²⁴⁾²⁵⁾が推計した、吉野川流域に再現期間 1000 年に 1 度、48 時間総雨量 765mm の降雨が発生した場合を想定した洪水により吉野川が氾濫した場合の浸水状況をシミュレーションにより予測したデータを使用した。なお、このシミュレーションの実施にあたっては支川の決壊による氾濫、シミュレーションの前提となる降雨を超える規模の降雨による氾濫、高潮及び内水による氾濫等は考慮しないものとした。このシミュレーションによる浸水深の想定結果を図-16 に示す。

(2) 一次被害の算出結果

3 章で述べた想定死者数算出方法に従って推計を行った結果を表-5 に示す。

吉野川上流部では、浸水地域の大半の浸水深が 5m 以上となって、道路への被害を含め、甚大な被害が想定される。吉野川下流域の平野部や人口が集中する徳島市の中心部を含む多くの地域の被害をみると、計画規模の想定死者数より大幅に増加する結果となった。特に、約 4 万 8 千人が居住している鮎喰川との合流地点周辺の徳島

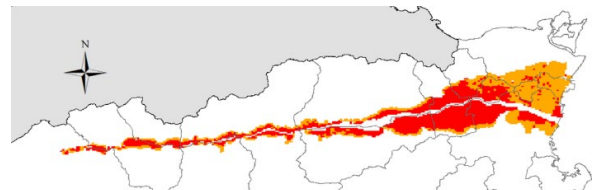


図-12 推計結果：発災から 1 日後の QOL ステージ

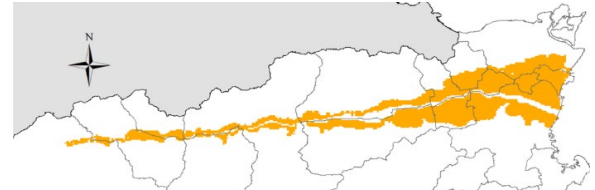


図-13 推計結果：発災から 3 日後の QOL ステージ

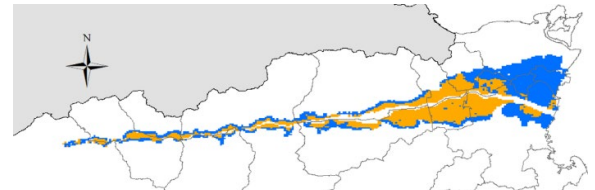


図-14 推計結果：発災から 12 日後の QOL ステージ

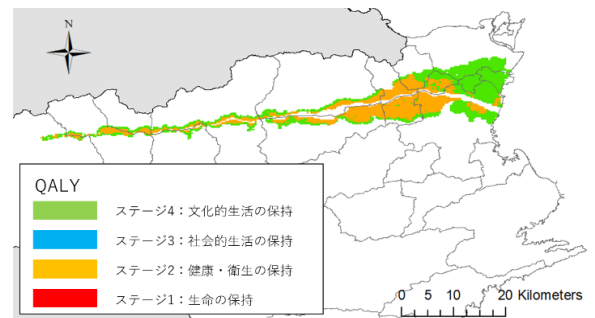


図-15 推計結果：発災から 30 日後の QOL ステージ

表-4 将来における確率降水量

	30年	50年	100年	200年
確率降水量	297mm	331mm	379mm	429mm
確率降水量 (100年後)	330mm	367mm	421mm	476mm

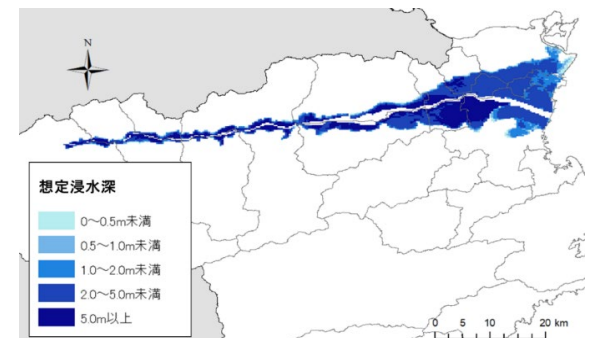


図-16 想定最大規模の浸水深

表-5 想定死者数の推計結果

避難率	死者数
0%	20076 人
40%	13128 人
80%	4376 人

市不動町、北井上、南井戸地区、石井町付近においては、広範囲に渡り 5m 以上の浸水による甚大な被害が想定されている。

(3) QALY 算出結果

発災から 1～3 日後のメッシュごとの QOL ステージを時系列に図-17～図-21 に示す。

浸水継続時間については時間経過により減少していくとして、3 日間で浸水は解消すると仮定する。また、想定最大規模の洪水発生時には、多くの地点で 5m 以上の浸水となるため、ライフラインの基幹設備にまで被害が発生すると仮定する。

発災から 2 日後には、大鳴門橋から支援物資が供給されるため、浸水被害が軽微でアクセスしやすい鳴門市周辺の地区から、健康・衛生の保持段階のステージ 2 へと移行している。発災 4 日後になると浸水区域がなくなり、道路が啓開することで支援物資が到達し、生命の保持段階のステージ 2 から健康・衛生の保持段階のステージ 3 へと移行している。発災から 22 日後には、ライフラインの復旧により回復がみられるが、2m 以上の浸水深となる地域では住宅が全壊判定となり、使用することができないため、避難所において生活を余儀なくされる。そのため QOL 構成要素のプライバシーを充足させることができず、発災 30 日後においても回復せず、仮設住宅の供給が開始されるまで、健康・衛生の保持段階のステージ 2 から社会的生活の保持段階のステージ 3 へと回復しない。比較的被害が軽微であった地域は 30 日後までに社会的生活の保持段階のステージ 3 から文化的生活の保持段階（平常時）のステージ 4 へと回復した。

(4) 洪水の規模別の損失余命の算出

発災から 30 日後まで被災地区に住み続けた場合の 1 人当たりの損失余命を、過去最大降雨量による洪水被害と気象庁および国土交通省が提示している気候変動による将来の確率降水量における洪水被害とのそれぞれの場合についてを図-22 と図-23 に示す。

この損失余命が大きいほど、災害の影響が大きい地区である。

吉野川上流部などアクセス性に乏しい地域や浸水被害が甚大な地域など QOL の回復が遅い地域では損失余命が大きい。また、気候変動ありの場合では多くの地域において、損失余命が 11 日以上となっている。特に、徳島市周辺において被害が拡大していることを示している。比較すると気候変動ありの場合、1 人あたり損失余命が 2 日程度増加している。

今回は、評価期間を 30 日間としたため、損失余命は 2 日程度の増加となったが、評価期間を長くした場合、さらに損失余命が増加することが想定される。

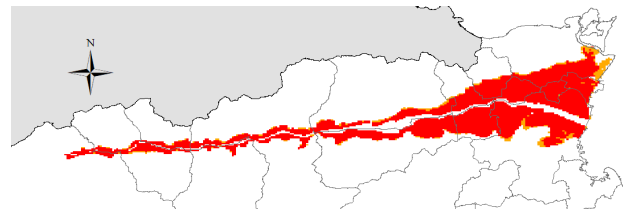


図-17 発災から 1 日後の QOL ステージ

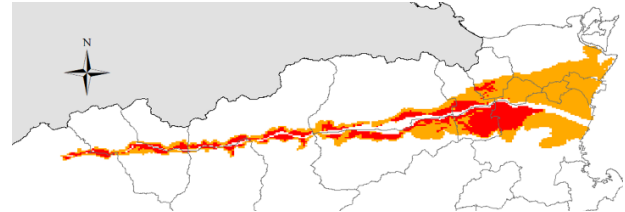


図-18 発災から 3 日後の QOL ステージ

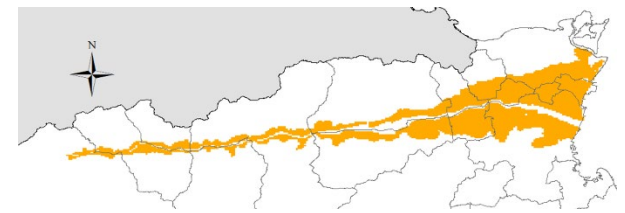


図-19 発災から 4 日後の QOL ステージ

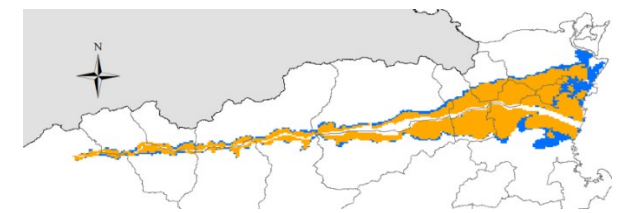


図-20 発災から 22 日後の QOL ステージ

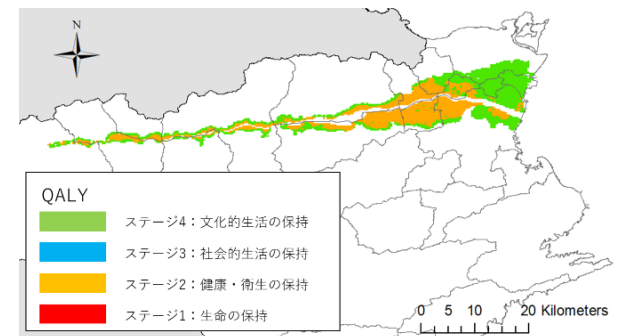


図-21 発災から 30 日後の QOL ステージ

5. 結論

(1) 本研究の成果と得られた知見

本研究では、気候変動の影響により災害が激甚化・頻発化する一方で、人口減少・少子高齢化進展など、広域的な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ことを目的とした。

そのため、広域的な洪水発生後の人的被害の経時変化について、生活環境悪化被害の面から、QALY の余命指

標を用いて詳細地区の 250m メッシュレベルで評価する手法を構築した。それを実都市に適用するとともに、将来の異常気象や気候変動を考慮した想定最大規模の洪水被害の激甚化がもたらす影響を評価した。

以下に本研究の具体的な成果をまとめる。

- ✓ 気候変動に伴う洪水被害の激甚化がもたらす被害予測及び評価を行った。その結果、いずれも浸水による死者の大半は 65 歳以上の高齢者であり、想定最大規模の洪水発生時には 5m 以上の浸水が広域に広がるため、大幅に死者数が増加することが明らかになった。
- ✓ 特に、人口が集中する徳島市周辺地域には 5m 以上の浸水が想定されるため、非常に深刻な被害を受けることになった。このため、特に高齢者を含む洪水避難対策が必要とされる。
- ✓ 浸水範囲の縮小に合わせた道路啓開を想定したが、吉野川上流部などの他地域からのアクセス性が乏しい地域では災害時 QOL ステージの回復が遅れた。
- ✓ 浸水深が 2m 以上となる地域では家屋が全壊となるため、仮設住宅の供給が始まるまで健康・衛生の保持のステージ2の段階から、社会的生活の保持のステージ3の段階へと回復しない。

(2) 今後の課題

本研究を踏まえた課題は以下の通りである。

- QALY 評価手法で用いた障害の重みは、医療分野における QALY の参考値から仮定した値を用いている。そのため、アンケートを実施してより妥当な重みを得る必要がある。
- 一次被害は浸水による被害のみを考えているが、土砂災害などによる家屋倒壊等の被害、急傾斜地崩壊被害も考慮する必要がある。
- ライフラインの復旧については、平成 30 年 7 月豪雨のライフライン損害率を参考に設定したため、今後発生が予想される洪水被害へ適用する際には、一般的なライフライン復旧モデルの構築が必要である。
- 家屋の全半壊判定について、国交省の設定した浸水深による判定方法を用いたが、氾濫シミュレーションを行い、より詳細に推計する必要がある。
- 本研究では、過去最大規模の洪水被害および国交省の気候変動を想定した想定最大規模の洪水被害について扱ったが、本モデルをより効果的に検証するためには、気候変動に伴う浸水想定区域の拡大、浸水の激甚化を考慮した評価とともに、将来の人口変化や住宅、事業所などの種々の施設に対する総合的な評価が必要とされる。

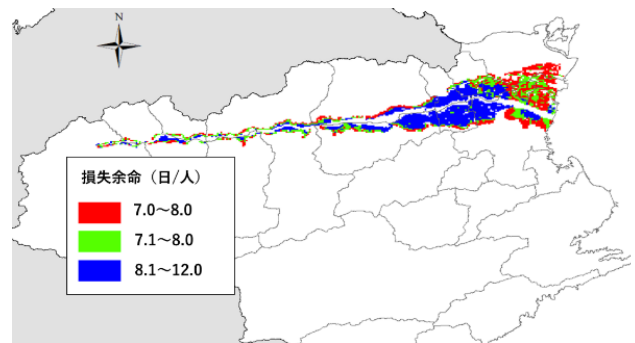


図-22 気候変動なしの損失余命

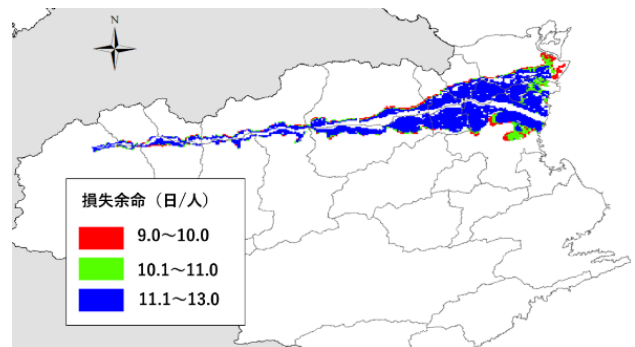


図-23 気候変動ありの損失余命

謝辞：本研究は、文部科学省地球環境情報等融合プログラム (DIAS-P) および (独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (2-1706) 「再生可能都市への転換戦略—気候変動と巨大自然災害にシナヤカに対応するために—」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 加藤尚子：昭和 13(1938)年「阪神大水害」における神戸区町会連合会の対応，農業史研究 (47)，35-46，2013。
- 2) 西鶴誠希，武藤慎一：山梨県における動学 CGE モデルを用いた洪水被害に着目した地球温暖化の影響評価，土木学会論文集 G (環境)，Vol.73(6)，II_391-II_402，2017。
- 3) 石田義明，久加朋子，清水康行：2016 年 8 月北海道豪雨における空知川幾寅地区の氾濫被害に関する調査および要因検証，木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.73(4)，I_1429-I_1434，2017。
- 4) 秋間将宏，風間聡，小森大輔：再現確率にもとづく洪水氾濫・高潮複合災害潜在被害額推定，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.72(4)，I_1267-I_1272，2016。
- 5) 片田敏孝，桑沢 行：ダム機能を考慮した下流域の洪水氾濫対策のためのシミュレーション・システムの開発，土木学会論文集 D，Vol.65(3)，280-292，2009。
- 6) 沖村孝，杉本剛康：神戸市街地における過去の豪雨災害(洪水・人的被害)の分布とその変化，建設工学

- 研究所報告(33), p227-244, 1991.
- 7) 池内幸司, 越智繁雄, 藤山秀章, 安田吾郎, 岡村次郎, 青野正志: 大規模水害時の人的被害の想定と被害軽減方策の効果分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69(4), I_1651-I_1656, 2013.
 - 8) 牛山素行: 豪雨災害による人的被害と地形の関係について, 日本地理学会発表要旨集, 2018s(0), 00185, 2018.
 - 9) 杉本賢二, 橋竜瞳, 森田紘圭, 加藤博和, 林良嗣: 大規模自然災害に伴う生命・健康へのダメージの余命指標を用いた評価, 土木学会論文集 D3, 71(5), pp.121-128, 2015.
 - 10) 高野剛志, 森田紘圭, 戸川卓哉, 福本雅之, 三室碧人, 加藤博和, 林良嗣: 東日本大震災における被災者生活環境の時間的変化の評価, 土木学会論文集 D3, 69(5), pp.125-135, 2013
 - 11) 国土交通省水管理・国土保全局: 水害の被害指標分析の手引 (H25 試行版), 2013.
 - 12) 湧川勝己・岡安徹也・天野雄介: 損失余命を用いた洪水のリスクコミュニケーションに関する研究, 河川技術論文集, 土木学会 17 巻, 2008.
 - 13) Akiyama Y., Takada T., Shibasaki R.: Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census, CUPUM2013 conference papers, pp.110, 2013.
 - 14) 四国道路啓開等協議会: 四国広域道路啓開計画, 2016.
 - 15) Abolata, M., Bowles, D, S. and McClelland, D. M.: A Model for Estimating Dam Failure Life Loss, *Proceedings of the Australian Committee on Large Dams Risk Workshop, Tasmania, Australia, October, pp.1-13, 2003.*
 - 16) Abt Associate Inc.: Estimating Loss of Life from Hurricane-Related Flooding in the Greater New Orleans Area-Loss-of-Life Modeling Report, p.19, 2006.
 - 17) Interagency Performance Evaluation Task Force: Performance Evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System-Final Report, Volume VII, pp.106-120, US Army Corps of Engineers, 2007.
 - 18) 池内幸司, 越智繁雄, 安田吾郎, 岡村次郎, 青野正志: 大規模水害時の氾濫形態の分析と死者数の想定, 土木学会論文集 B1, Vol67, No3, pp133-144, 2011.
 - 19) 国土交通省水管理・国土保全局: 水防災意識社会 再構築ビジョン, 2015.
 - 20) 気象庁: アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について.
 - 21) 気象庁: 確率降水量地点別一覧表 (51 地点) .
 - 22) 社会資本整備審議会: 水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について (答申), 2008.
 - 23) 国土交通省水管理・国土保全局: 新たなステージに対応した防災・減災のあり方, 2015.
 - 24) 国土交通省水管理・国土保全局: 水災害分野における気候変動への適応策の取組について, 2016.
 - 25) 国土交通省水管理・国土保全局: 治水経済調査マニュアル (案) 各種資産評価単価及びデフレーター, 2015.

(2019.10.4)

RESILIENCE EVALUATION OF REGIONS PRONE TO FLOODING DUE TO CLIMATE CHANGE

Suil PARK, Michihiro YAMAMOTO, Takumi HASHIMOTO, Yuki OHNO
Hirokazu KATO, Yoshiharu ISHIKAWA, Yuki AKIYAMA

Flood damage caused by climate change is becoming a serious problem. It is important to decrease the primary damage by this phenomenon. Also, a rapid reduction of the long-term secondary damage due to the deterioration of the living environment is required for the formation of resilient land. This study considers the expansion of flood zones and the increase of flood depths due to climate change. QALY (Quality-Adjusted Life Year) is applied to evaluate the damage by the deterioration of the living environment caused by disasters. This paper evaluates the damage to real areas. It was found that it is important to ensure the redundancy of the road network for the distribution of supplies in the immediate aftermath of a disaster. It is also important to ensure the early restoration of critical infrastructure and provision of temporary housing.