

気候変動に伴う高潮リスク増大への 都市域の適応策の評価枠組 —災害後のQOL低下と回復に着目して—

橋本 拓実¹・朴 秀日²・大野 悠貴³・加藤 博和⁴

¹正会員 (独) 鉄道・運輸機構 大阪支社 工事第四部工事第七課 (〒532-0003 大阪市淀川区宮原3-5-36)

E-mail: hashimoto.tak-6gz2@jrtr.go.jp

²非会員 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: suil@urban.env.nagoya-u.ac.jp

³正会員 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: yuukiohno@urban.env.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

気候変動により、現在よりも強い勢力の台風の増大や海水面の上昇が予想されている。これらの状況によっては、従来にない規模の高潮被害が生じかねない。本研究では、高潮災害発生に伴う都市域の住民の生活の質 (Quality of Life; QOL) の低下と回復の過程を評価する枠組を提案する。これを用いて被害軽減策を導入した場合の効果を、QOL低下抑制の観点から評価する。三重県松阪市を対象にケーススタディーを行った結果、QOL低下を抑える施策とQOL回復速度を向上させる施策を組合せることで大きな効果が期待できること、特定のインフラがQOL回復に大きく影響することが示唆された。

Key Words : storm surge ,adaptation, climate change, QOL

1. 研究の背景と目的

日本は数多の災害に見舞われてきた。その中でも、1959年に襲来した伊勢湾台風は大きな被害をもたらしたことで現在でも注目される。

伊勢湾台風は当時観測史上第 3 位の強さで、勢力を維持したまま日本列島に襲来した。死者・行方不明者は 5,098 人を記録し、十数万人にも及ぶ孤立者も生じた。これは戦後、東日本大震災に次ぐ死傷者数であった。特に伊勢湾岸各地域における高潮による浸水被害が顕著であった¹⁾

高潮の影響は長期間にわたった。河口部に集中していた貯木場から流木が流出したこと、湾奥部の地域に干拓によるゼロメートル地帯が広がっており自然排水が困難なこと、その干拓地に多くの人口があったことが被害を拡大させた。伊勢湾台風による高潮被害は、湾全体にわたる広い浸水範囲と、ゼロメートル地帯の長期間にわたる浸水という 2 つの特徴を持っていた。¹⁾

現在では気候変動の影響に伴い、より強い勢力の台風の増大、そして海水面の上昇、気温や海水温の上昇が

予想されている。温室効果ガス削減策を今後十分に講じたとしても一定程度の影響が不可避と考えられ、その被害を抑える適応策が望まれる。²⁾

IPCC では、今後の温室効果ガスの放射強制力変化の想定に基づいて 4 つのシナリオを描いている。これによると、100 年後の海面上昇量をもっとも高い RCP8.5 のシナリオでは 45-82cm と予測されている。海面が上昇することで、ゼロメートル地帯が増加がもたらされる。

水による災害は河川氾濫、高潮、津波などがある。河川氾濫リスクは降雨強度に依存し、気候変動の影響を受ける。津波は高潮と近い特徴を有するものの、地震動に伴って生じ、気候変動は海面上昇をもたらすことで副次的に影響する。これに対し高潮は、気候変動による様々な影響を受け、より深刻な被害をもたらしかねない。

本研究ではこの点に着目し、高潮を対象として、その気候変動に伴う被害増大に対する適応策を導入した際の効果を、発災後の住民の生活の質の低下と回復に着目して評価することを目的とする。

2. 既往の研究や取組と本研究の位置づけ

(1) 気候変動に対する適応策に関する取組と研究

日本では 2018 年に気候変動適応法（平成 30 年法律第 50 号）が策定され、それに伴い同年には気候変動適応計画³⁾が策定された。この計画では、適応策をあらゆる関連施策に組み込むことを基本戦略としている。

気候変動はあらゆるものに影響することであるから、適応策もあらゆる分野の技術的、経済的、政策的なソフト・ハード双方にわたる。

特に水に関わる災害に対しては、施設の運用や整備手順といった工夫により減災を図るとともに、災害リスクを考慮したまちづくり・地域づくりの促進や避難・応急活動のための備えの充実を図ることとしている。

関本ら（2010）⁴⁾は海域施設について、適応策の評価をするための指標を提案している。沖ら（2017）⁵⁾は、超過洪水を軽減する施設の効果分析として、排水機場や遊水地といった治水施設の評価手法を提案し、北広島市を対象に治水施設が氾濫域を限定的にすることを明らかにしている。大平ら（2017）⁶⁾は、海岸林は津波の減衰機能がある一方で、その効果が十分に発揮できなかったり、流木化して被害を増大させたりする恐れがあると指摘している。さらに、林ら(2018)⁷⁾はこれを基に、海岸林による効果を定量化した。

(2) 本研究の位置づけ

自然災害に関する既往研究で、被害の定量化手法や推計が行われてきている。しかし、巨大自然災害はひとたび起こるとその後も影響が及び、被害によって低下する生活の質（QOL）の低下をいかに抑えるかという検討も必要である。この観点から、気候変動に伴う自然災害リスク増大に対する適応策の評価を行った研究は行われていない。

そこで本研究では、気候変動に伴って発生が増える強い台風による高潮を想定し、余命指標を用いて生命健康被害と生活環境悪化による被害の経時変化を算出し、気候変動に対する適応策の導入効果の評価を行う。

3. 分析の枠組と評価方法

(1) 高潮による直接被害の推計

本研究では「水害被害指標分析の手引き」⁸⁾に示されるライフラインの支障による影響人口などの算出方法を準用する。評価の空間的単位は使用するデータから 250mメッシュとする。

本研究では、適応策を導入し所要の効果を発揮できるようになった後の被害の差を比較検討することで適応策の評価とする。想定する高潮について、避難行動を基に

死者・負傷者数とインフラの被災状況を推計する。この被災状況から1日毎にQOLを評価する。以下では各段階について詳しく述べる。

まず高潮のハザードを与える。これによる人的被害の算出フローを図-1に示す。本研究では、地域の人口として夜間人口を用いるため、発災を夜間とし、事前避難は行われぬものとする。一時避難場所には避難した場合は、浸水が0.3mを下回ってから空いている避難所へ移動する。既往の災害での実績から、事後避難でも水平避難はほぼ行われぬため、本研究では0%として考える。住宅が浸水すると垂直避難を行うが、この評価は図-2に示すLifeSIMモデルを用いる。鉛直避難した際に避難が成功するか失敗するかを示すモデルで、年齢と地面からの高さに応じて、表-1の死亡率となる水位帯を示す。1階床高と階高の設定は「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」¹⁰⁾に基づきそれぞれ0.5m, 2.7mを適用する。

住宅被害については浸水深から判断する。「災害に関わる住家の被害認定基準運用指針」¹¹⁾により2階まで浸水したものを全壊、1階床上まで達したものについては半壊と判断する。

(2) 災害時のQOL評価

発災後の住民のQOLを余命指標で表して定量評価する。本研究に用いる災害時のQOL評価の枠組は元来、医療の分野で考案された手法で、疾病による負担を定量的に評価することを目的とされている。発災後のQOLの低下は、図-3のように生命健康被害と生活環境被害の2つと捉えることができる。

生命健康被害については「障害調整生存年数（Disability Adjusted Life Year, DALY）」で評価する。傷病

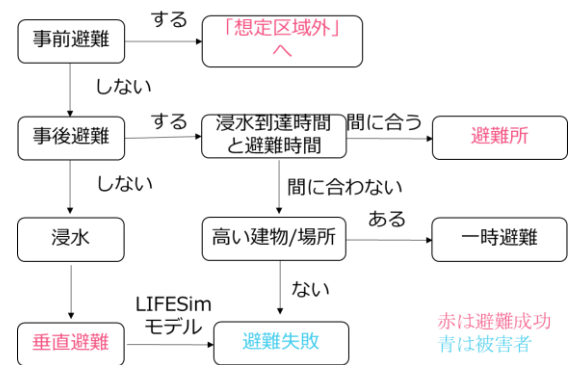


図-1 人的被害の算出

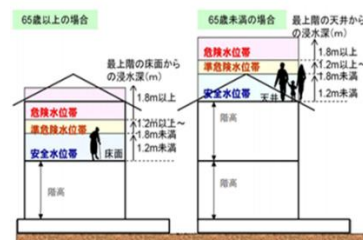


図-2 LIFESimモデル

表-1 LIFESimモデルにおける死亡率(%)

	死亡率
危険水位帯	91.75
準危険水位帯	12.00
安全水位帯	0.023

を患った状態の1年は健康な1年よりも健康的な負担があるためその分の余命を引いて評価する考え方で、死亡している状態を1、健康な状態を0として、病状や年齢によって重みづけされたQOLの損失の値である。

直接被害により負傷したり、インフラの欠損による生活環境の悪化から発病したりする。この被害を医療分野で用いられるDALYに当てはめて評価する。具体的には式(1)で示される。

$$DALY = \int_a^{a+L} DCxe^{-\beta x} e^{-\gamma(x-a)} dx \quad (1)$$

ただし、 a は評価開始時点、 L は評価期間、 D は障害の重み、 $Cxe^{-\beta x}$ は年齢による重み ($C=0.1658$, $\beta=0.04$)、 $e^{-\gamma(x-a)}$ は時間割引率 ($\gamma=0.03$) である。

インフラ復旧シナリオに合わせて1日ごとに評価を繰り返し、各日の被害の余命評価値を算出する。

自宅が浸水した場合に生存者は避難所に行くが、避難所では通常的生活環境が確保されず、傷病が発生する可能性がある。橋ら¹²⁾がまとめた時系列の傷病発生率を用いて評価する。病院での治療可否は災害拠点病院を考える。災害拠点病院には非常用発電機等の整備がなされており、浸水した階を除いて治療が継続できる。浸水が解消されれば他の地域の病院へ移送することも可能である。

本研究では、メッシュ内の人口について健康状態を評価する。また、被災後のQOLの回復に着目するため、高潮により死亡した人は考慮しない。これにより、高潮で生き残った人が損失する余命を評価することができる。

生活環境悪化被害については「生活の質により調整された生存年数 (Quality Adjusted Life Year; QALY)」で評価する。生活環境が整っていない(災害時の)状態での1年の価値は、十分に整っている(平常時の)状態での1年の価値より低いという考え方で、あとはDALYと同様である。平常時の生活を基準とし、発災後、ライフラインやインフラの供給力低下による生活環境の悪化に伴って基準に比べて低くなるQOLを、余命換算値で与える。各ステージは表-2に示す要素で構成される。表中の「○」のついたインフラやサービスがすべて供給されることで構成要素が達成される。ただし、移動によって満たされる構成要素は、どんな手段でも目的地に到達することができれば充足可能であると判断する。近年は通信の発達目覚ましく、通信ができれば満たされるものもある。ライフラインの復旧などにより、ステージの構成要素がすべて満たされた場合に1つ上のステージへと移行するものとする。QALYは式(2)で定義される。

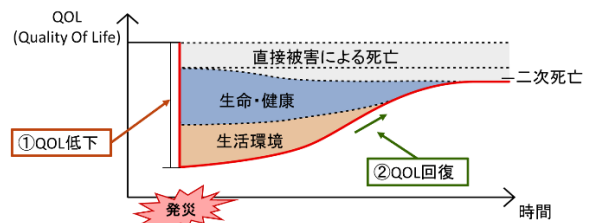


図-3 災害時のQOL低下と回復のイメージ

表-2 QOL構成要素と充足対応表

「インフラ」「サービス」の背景：恒常的 一時的

ステージ	カテゴリ	住宅		風呂		便所		水		電気		ガス		情報		商業		交通		医療施設		行動		就労・文化施設		物質		人材	
		住	宅	一	時	ト	イ	上	下	給	送	都	市	小	販	自	公	緊	急	中	仮	学	文	飲	生	医	現	公	公
4	教育	○	○																										
3	就業	○	○																										
3	買い物	○	○																										
3	住宅生活	○	○																										
3	医療																												
3	薬																												
3	介護																												
3	食料の質																												
3	入浴																												
3	トイレ																												
2	衣類																												
2	空気の清浄																												
2	温熱環境																												
2	プライバシー																												
2	飲料水																												
2	食糧																												
2	寝るところ																												
2	寒さ・暑さ																												
2	トリアージ																												
1	緊急医療																												
1	透析など																												
1	人工呼吸器																												

背景色なし→あらゆる場合に適用 背景色→その組合せで必要 濃灰→本研究では検討しない

$$QALY = \int_a^{a+L} w_p(t) dt \quad (2)$$

ここで、 a は評価開始時点、 L は評価期間、 w_p は個人 p のQOL値である。

各ステージにおけるQOL値は一定であると仮定する。十分に生活環境の整っているステージ4を健康な状態である1.0とし、生活環境による制限を疾病による障害と類推してステージ1から3の値を設定する。ステージ1では0.4、ステージ2では0.6、ステージ3では0.8とする。この値を式(2)の w_p として用いる。

本研究ではメッシュ毎に生活環境を評価する。よって、QOLステージの高いメッシュに避難することで余命損失は低減できる。

元来、QALYは長期間にわたる障害による影響を評価するもので1年を単位に計算されることが多いが、災害復旧は日を追うごとに着々と変化するため、1日単位で評価する。

さらに、本研究では図-3の枠組みに合わせ、式(3)により損失余命LLE (Loss of Life Expectancy) を算出する。これにより、先に説明した生命健康被害と生活環境被害それぞれによる損失余命が算出できる。

$$LLE = \int_a^{a+L} dt - QALY = \int_a^{a+L} \{1 - w_p(t)\} dt \quad (3)$$

4. ケーススタディ

(1) 対象地域

a) 対象地域の概要

対象地域は、三重県松阪市の都市計画区域とする。

松阪市は伊勢湾に面しており、伊勢湾台風の際にも湾奥ではないにもかかわらず高潮被害が生じており、今後も強い外力の災害が予想される。伊勢湾台風の後に建てられた防潮施設の計画では松阪市を含む海岸ではTP.+6.0mで整備することになっている。¹⁾ 四日市港湾事務所¹³⁾によれば、整備は完了している。都市計画区域では都市ガスが普及し下水道の整備が進むなど、市内の他地域とわけて考えることができる。都市計画区域内でも様々な土地利用がなされているという特徴もある。

本研究では、将来の時点における評価を行うことから、現在では整備途上である都市ガスと下水道が都市計画区域全域で整備されるものとして評価する。

b) 施策の検討

高潮災害に対して有効と考えられる適応策には、以下のものがある。³⁾

- 1) 用水路などのパイプライン（管路）化
- 2) 防波堤・坊は施設かさ上げなど海岸保全施設の整備
- 3) 災害リスクを考慮したまちづくり・地域づくり
- 4) 災害リスクの低い地域への居住・都市機能の誘導
- 5) 築堤・河道掘削・下水道などの施設整備
- 6) 水門の施設捜査の遠隔化・自動化
- 7) 活動拠点の整備や水防資器材の備蓄
- 8) 住民の危機意識の向上
- 9) 河川整備計画
- 10) 海岸防災林の整備
- 11) 道の駅の防災機能強化

本研究では、主にQOLの低下量を軽減する施策と、QOLの回復速度を上げる施策に分類し、それぞれについて現地の特性に留意して選択、評価を行う。

QOL低下量を軽減する施策として、9)の海岸防災林の導入というハードの整備を考える。整備する場所は図-4に示すメッシュ内の沿岸集落の防潮堤と集落までの間とする。大平ら⁹⁾の研究を基に、この海岸からの流入が考えられるメッシュの浸水深及び浸水域を8割にする。海岸防災林整備の実現可能性は検討しないが、所要の性能を満たすものとする。

QOL回復速度を向上させる施策は、7)の活動拠点の整備や水防資器材の備蓄にあたる、自治体による排水ポンプの確保を考える。現状では、地域内のポンプが浸水し使えなくなった場合は三重河川国道事務所のポンプ車を使うほかないが、伊勢湾岸の多くの地域で浸水した場合に確実に使えるよう市として1台ポンプ車を導入することを考える。排水区域は図-5に示す。破堤する場合は堤防の仮締切を行う必要がある。「濃尾平野の排水計画」¹⁴⁾での予測を基に1チームあたり250mの締切を、各区画5チームずつ行うことで仮締切が成されるものとする。人的資源については満たされるものと仮定するため、最初の区画の排水が終わり次第次の区画の排水ができるものとした。

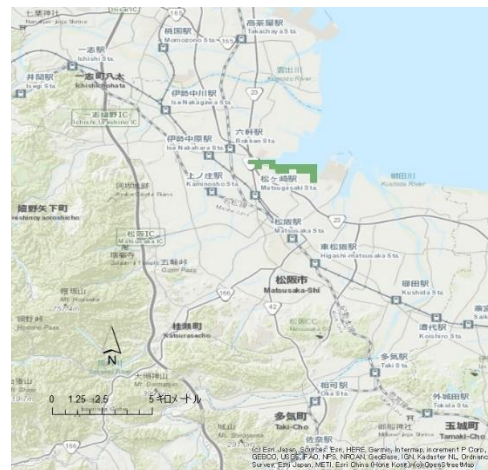


図-4 海岸防災林の導入区域

本研究で評価するこれらハードの施策は生活環境の改善に主に効果があると考えられる。

(2) 対象とする災害の規模

本研究で対象とする災害について検討する。名古屋港湾空港技術調査事務所の推計¹⁵⁾によれば、室戸台風級の台風が襲来しても広域に被害が生じることはない。しかしこの報告は詳細が公開されていないうえ、海岸堤防が十分に整備される前の推測であった。一方で、より広範な被害を生じさせうる予測もある。森ら (2016)¹⁶⁾は、気候変動により海面温度が上がることに着目し、台風の中心気圧を予測し、三大湾において高潮ポテンシャルを算出している。これによると、伊勢湾の高潮ポテンシャルは6.2mである。ここから松阪市付近での高潮ポテンシャルを5.0mと求めた。天文潮位として朔望平均満潮位を、気候変動シナリオとして海面上昇量が最大となる0.82mを仮定したとき、高潮襲来時の潮位はTP.+7.1mと推計される。このときは計画高のTP.+6.0mを超え、越流による浸水被害が生じる。

湛水・排水については、東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会が濃尾平野で行った推計¹⁴⁾の仮定を準用し、平均潮位までは自然排水されるものとする。松阪市では高潮災害に対するハザードマップは作成されていないため、浸水継続時間および排水シナリオは本研究にて仮定する。同じ湾内であるから、本研究でも4時間で浸水ピークを迎え、その時点から徐々に浸水が解消していくものとする。

「高潮浸水想定区域図作成の手引き」¹⁷⁾から、海岸堤防は海面が天端高を超えるとき破壊すると考える。国総研の報告¹⁸⁾によれば、平均水位が護岸等の天端を超える場合には、水深波高比によらず護岸通過流量はほぼ一定である。越波と越流が共存する本研究のシナリオにおいては、越波の影響は無視して考える。

松阪市は高潮災害のハザードマップを作成していないことから、本研究では同程度の外力が予想される津波のハザードマップを基に浸水域を設定、浸水継続時間については市域で唯一公開されている榑田川の洪水氾濫ハザードマップを基に判断、浸水到達時間は松阪市が公表し

ている津波ハザードマップと二階堂らの研究¹⁹⁾の双方から類推する。仮定が多分に含まれているが、本研究は高潮によるQOLの低下とその後の回復過程の評価を行うものであり、より精緻な災害の経過を与えることによって評価の精度は向上しうる。

本研究のようなメッシュ単位での推計の場合、本来は勾配と近接メッシュとの関係性も影響すると考えられるが、本研究は氾濫解析は行わず条件を与えるために浸水深と標高のみを考えて推計する。排水シナリオは、自然排水の仮定から、標高が海面より高い場合は浸水が解消されるまで、標高が海面より低い場合には水位が海面の標高になるまでを先に推計した浸水継続時間で与え、仮締切が完了したのちにポンプにより排水するものとする。仮堤防の締切は「濃尾平野の排水計画」¹⁴⁾の推計に基づく。自然排水される水位は、気候変動のシナリオに合わせ、TP.+0.82mまでとする。

(3) インフラ破壊・復旧シナリオ

インフラの推計は「水害の被害指標分析の手引」⁸⁾を基に行う。同手引ではライフラインが停止することによる影響を人口で算出しているが、ライフラインの利用可否そのものに着目する。本研究では復旧までに必要な条件と、故障の修理がそろうことで復旧できるものとする。

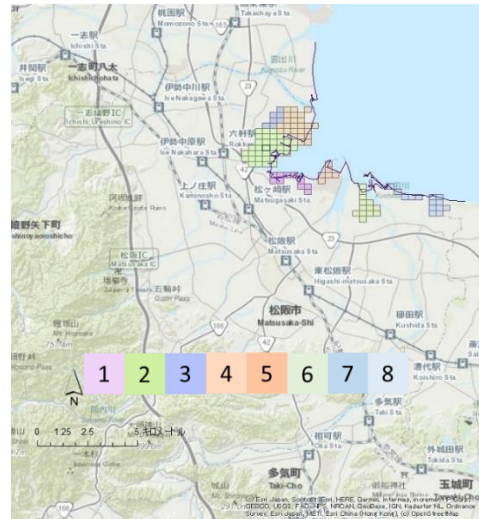


図-5 排水区域

表-3 インフラ破壊・復旧シナリオ

インフラ	破壊	復旧
道路	浸水深30cm以上	浸水深30cm以下で緊急車両と歩行者、浸水解消で全車両
電気	浸水深70cm以上	送電設備と公共施設の受電設備は浸水解消から2日、それ以外は7日
都市ガス	浸水深100cm以上	浸水継続時間が1日未満のとき浸水解消から半日、それ以外のとき6日
上水道	停電	電力復旧と同時に
下水道	下水処理場浸水	浸水解消の翌日
住宅	浸水	全壊のとき仮設住宅の入居、半壊のとき浸水解消
仮設住宅	—	30日後から100軒、以降1週間あたり50軒

これらを表-3に示す。

通信については基地局の位置データが入手できなかったため被害を考慮しない。ただし、浸水区域に限られることから基地局は無事であると考え。

病院は今回、災害拠点病院である松阪中央総合病院が浸水区域外であるから、病院にたどり着けさえすれば医療を受けることができると仮定する。松阪市内の病院で対応できない人数や傷病についても、対象地域外への搬送ができるものとする。

インフラの復旧には人手が必要であるが、松阪市はそれほど深刻な被害にはならない上に応急復旧拠点はあるため、必要な人手は十分に確保できるものとする。

6. 算出結果とその解釈

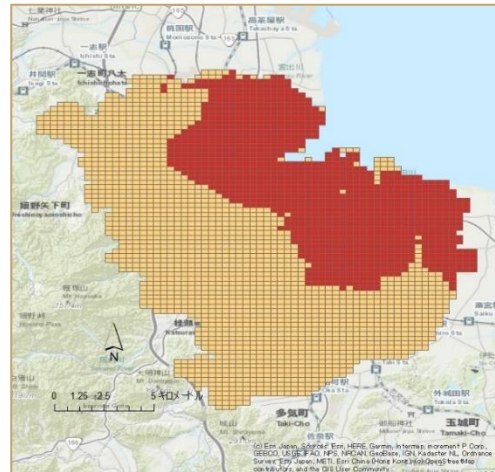
(1) ケーススタディにおける結果

a) 現状での評価

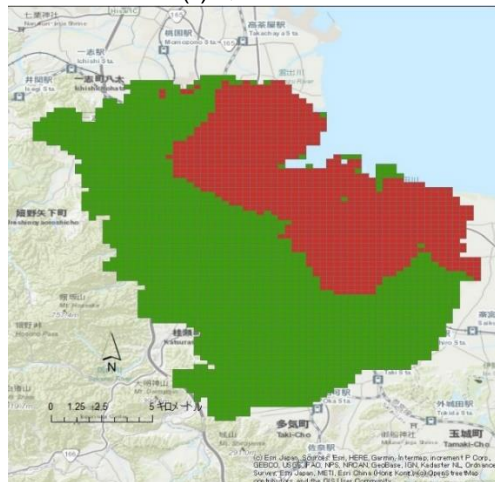
高潮による死亡者は1349人であった。発災当日、8日後、30日後のQOLステージを図-6に示す。QOLステージに基づく生活環境被害による損失余命*LLE*とDALYによる損失余命[日/30日]を比較する。この結果を図-7に示す。

もっとも顕著な点としては、下水処理場が浸水することにより下水道が使えなくなることが挙げられる。浸水区域外でも同じ下水処理場を使用しているために、浸水区域外であってもQOLステージの低下が生じる。2日程度で浸水が解消し、浸水区域外および浸水深の浅かった地域ではすべてのインフラが復旧する。70cm以上の浸水をした地域では8日後になると電力などが使用できるようになり、一気にステージ3まで回復する。仮設住宅の供給は30日後から徐々に始まるので、30日後の時点ではQOLステージが変わらない。ゼロメートル地帯では浸水が継続しており、生活できる環境にない状態が続いている。生活環境被害では浸水深が深く人口が密集する地域に大きな被害が生じている。対象地域全体で下水道が停止した影響で浸水区域外でも余命損失が生じている。

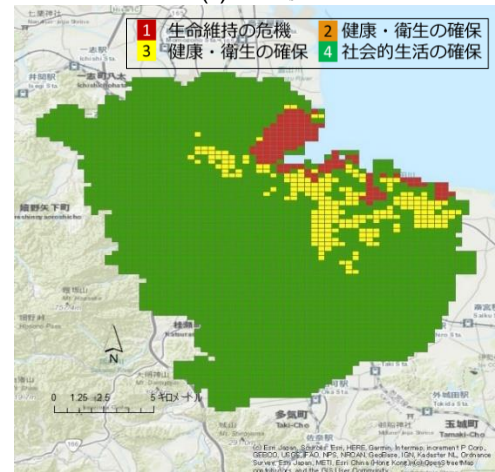
一方、生命健康被害は大きな値とならなかった。これは、特に浸水深の深い地域に人口が多くないこと、本研究のシナリオでは早い段階で道路が開通したこと、ゼロメートル地帯でも緊急車両の通行を認める30cm以下の浸水になる地域が多かったことから傷病が発生してもすぐに治療を受けられる体制が整ったことによる。この結果、生命健康被害による損失余命は生活環境被害に比べ無視できる値であったため、適応策導入のシナリオではQOLステージ及び*LLE*の比較を通じて効果の検証を行う。なお、この結果はあくまで今回の想定によるものであり、傷病者が多数出る場合にはまったく逆の結果になることもある。



(a) 発災当日



(b) 7日後



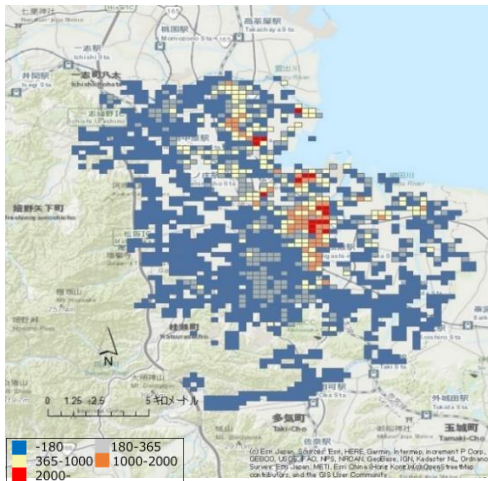
(c) 30日後

図-6 QOLステージ

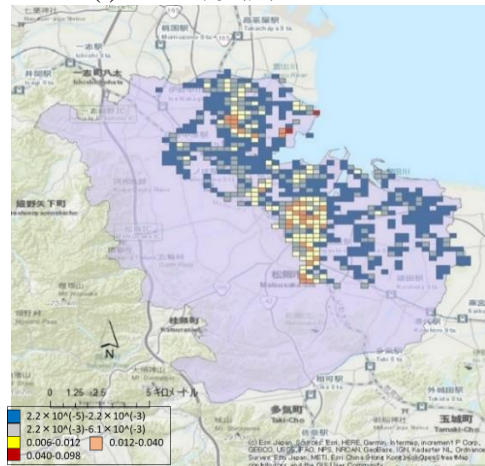
(2) 適応策導入シナリオにおける結果

適応策を導入したときの QOL ステージのうち、特徴的なものを掲載する。海岸防災林を導入した際の8日目を図-8に、排水ポンプを確保した際の発災30日後を図-9に、それぞれのシナリオの30日間での*LLE*を図-10に示す。

以上から、30日間でのそれぞれのシナリオの効果につ



(a) 生活環境被害によるLLE



(b) 生命健康被害
 図-7 損失余命

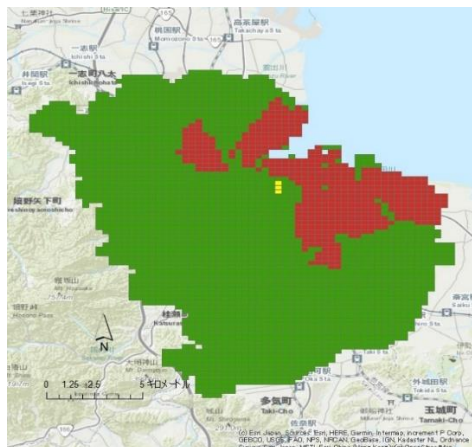


図-8 海岸防災林導入の8日後QOLステージ

いて考察する。

海岸防災林については、背後地でQOLステージの改善がみられ、早く平常時の生活に戻ることができると示された。一方で、効果があるのは当然背後地のみであるから、対象地域全体で見たときの違いは微妙であった。対象地域の沿岸全域に導入することも考えられるが、その場合は工業地帯や物流への影響が避けられなくなる。

排水ポンプについては、30日後には図-5における1と

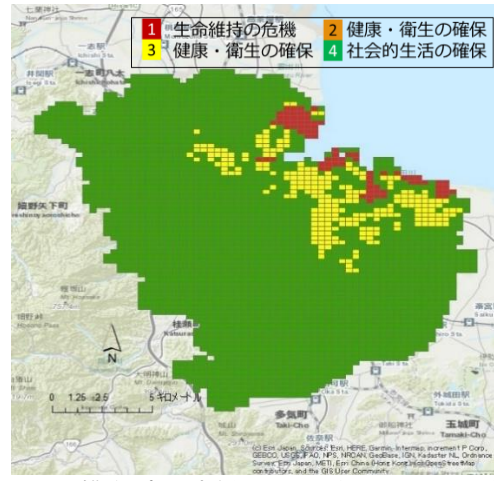
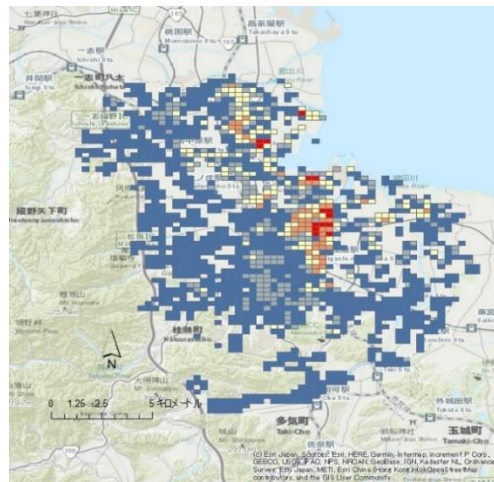
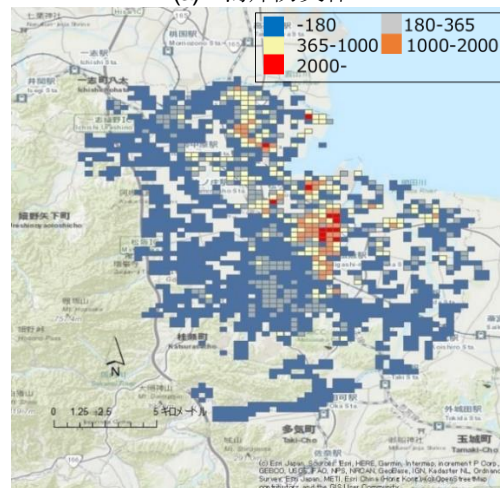


図-9 排水ポンプ確保の30日後QOLステージ



(a) 海岸防災林



(b) 排水ポンプ

図-10 シナリオ導入によるLLE

2の区画で排水が完了し、QOLステージが回復していることがわかる。排水が完了すれば順次復旧ができるが、排水を始めるための堤防の仮締切や排水自体に時間がかかることが示された。これ以上の長期間になると、対象地域のみでの検討では難しくなる。

QOLの低下を抑えること、QOLの回復速度を向上することを目的として2つの施策を選定した。今回の結果は

妥当であるといえる。しかし、損失余命の評価では差異がほとんど見られない。損失余命を改善するには複数の施策を組み合わせることが効果的であると考えられる。

7. 結論

本研究では、気候変動により台風の増大や海水面の上昇、気温や海水温の上昇が生じた際の甚大な高潮被害による住民のQOLの低下と回復の過程を評価する枠組を提案した。これを用いて、高潮による住民のQOL低下・回復と施策実施に伴う低減について評価した。

本研究で得られた知見を以下に述べる。

- 1) ゼロメートル地帯では排水ポンプは不可欠なものであるが、想定外の規模の災害が襲来すると浸水して使えなくなってしまうと、ポンプ車を用いても効果は小さい。それゆえ、長期間にわたってQOLも長期間回復しないことがわかった。
- 2) QOLの低下を抑える施策とQOLの回復速度を向上させる施策があるが、これらを組み合わせることで大きな効果が期待できることが示唆された。
- 3) ひとたび止まったインフラが長期間使えなくなるとQOLの回復が遅れること、特定のインフラの開通で飛躍的にQOLが改善されることが示唆された。

また、本研究での課題は以下の通りである。

- 1) 本研究では発災後30日間の評価を行ったが、ゼロメートル地帯の排水は終わっていない。完全回復まで評価するには、対象地域に限らず被害の出る地域を広く検討し評価する必要がある。
- 2) 施策の導入については、その減災効果だけで決めることのできるものではない。導入や維持にかかるコストを考えることが必要となる。

謝辞：本研究は環境保全機構・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) 建設省：伊勢湾台風災害誌，700p., 1962
- 2) IPCC: Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report

- of the IPCC, Cambridge University Press, 2014
- 3) 環境省：気候変動適応計画，93p., 2018
 - 4) 関本恒浩，安野浩一朗，中嶋さやか，磯部雅彦(2010)：海域施設の温暖化適応策に向けた新しい性能評価指標の提案，土木学会論文集B2(海岸工学)，pp.901-905
 - 5) 沖岳大，中津川誠：超過洪水による反乱被害を軽減するための治水施設の総合的な効果分析手法の研究，土木学会論文集B1(水工学)，pp.367-372, 2017
 - 6) 大平浩之，林晃大，今村文彦：宮城県岩沼市における海岸林を活用した多重防御の津波被害軽減効果，土木学会論文集B2(海岸工学)，pp.1459-1464, 2016
 - 7) 林晃大，山下啓，今村文彦：海岸林の分布・地形条件を考慮した家屋の津波被害に関する定量評価手法の提案，土木学会論文集B2(海岸工学)，pp.234-240, 2018
 - 8) 国土交通省水管理・国土保全局：「水害被害指標分析の手引き」，2013
 - 9) 池内幸司，越智繁雄，安田吾郎，岡村次郎，青野正彦：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(水工学)，Vol.67, No.3, pp.133-144, 2011
 - 10) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室，国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室：洪水浸水想定区域図作成マニュアル43p., 2015
 - 11) 内閣府：災害に係る住家の被害認定基準運用指針，2018
 - 12) 橘竜瞳，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
 - 13) 国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所(最終閲覧日2020年1月30日) <http://www.yokkaichi.pa.cbr.mlit.go.jp/>
 - 14) 国土交通省中部地方整備局：濃尾平野の排水計画，2014
 - 15) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所「伊勢湾沿岸温暖化影響検討業務」(最終閲覧2019年12月23日) <http://www.meigi.pa.cbr.mlit.go.jp/>
 - 16) 森信人，有吉望，安田誠宏，間瀬肇：台風の最大潜在強度にもとづく高潮偏差の長期変動評価，土木学会論文集B2, Vol.72, No.2, pp.1489-1494, 2016
 - 17) 農林水産省農村振興局整備部防災課，農林水産省水産庁漁港漁場整備部防災漁村課，国土交通省水管理・国土保全局河川環境課，国土交通省水管理・国土保全局海岸室・国土交通省港湾局海岸・防災課：「高潮浸水想定区域図作成の手引き」，2015
 - 18) 鈴木武・柴木秀之：越波・越流共存時の護岸通過流量のモデル化と三大湾高潮浸水被害の地球温暖化による感度の推定，国総研報告書46, 2011
 - 19) 二階堂竜司・五十嵐雄介・新保正暢・岡本慎太郎・三浦心・程谷浩成・平野宜一・中園大介：建物の評価手法の違いが高潮・高波の浸水被害に及ぼす影響，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.73, No.2, pp.229-234, 2017

?

AN EVALUATION FRAMEWORK OF ADAPTATION TO INCREASING STORM SURGE RISK DUE TO CLIMATE CHANGE IN URBAN AREAS - FOCUSING ON QOL DECREASE AND RECOVERY AFTER DISASTER-

Takumi HASHIMOTO, Suil PARK, Yuki ONO and Hirokazu KATO