

市街地における洪水に着目した 適応策評価枠組みの提案

柴田 達矢¹・加藤 博和²・中村 晋一郎³
杉本 賢二⁴・林 良嗣⁵・清水 喬文⁶

¹非会員 (元)名古屋大学 大学院環境学研究科

²正会員 名古屋大学准教授 大学院環境学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2)

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

³正会員 名古屋大学講師 大学院工学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2)

E-mail:shinichiro@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学特任講師 大学院環境学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2)

E-mail:k.sugimoto@nagoya-u.jp

⁵フェロー 中部大学教授 総合工学研究所 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200番地)

E-mail: y-hayashi@isc.chubu.ac.jp

⁶学生会員 名古屋大学 大学院環境学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2)

E-mail:tshimizu@urban.env.nagoya-u.ac.jp

巨大自然災害が多く発生し、地理的条件等から脆弱性の高い日本では、防災施設の整備を進めてきたものの、未だ十分とはいええず、更に気候変動に伴って、将来の災害リスクの増加が見込まれ、壊滅的な被害の発生可能性が高まることが懸念されている。本研究では、河川の洪水に着目し、その気候変動による発生確率の増大と、人口動態の将来変化を同時に考慮し、年平均期待被害額を簡便に算出する手法を構築する。具体的な気候変動適応策のうち、浸水想定区域からの撤退策を対象に、費用効率性を推計することで、地域特性に即した適応策の検討に資する情報を提供する。実地域を対象に、期待浸水深に基づいて選定した地域の都市的利用を中止し撤退する施策が費用効率性に優れていることを示唆している。

Key Words : QOL, Flood, Adaptation, Disaster Risk, Land Use

1. はじめに

日本は、国土の7割を山地・丘陵地が占め、急峻な山岳や短く急勾配な河川が多い。そして、国土の1割にすぎない沖積平野に全人口の約1/2、総資産の約3/4が集中している。様々な巨大自然災害への脆弱性が強く懸念されており、その対応は重要な課題であり続けてきた。気象災害についてみると、世界で有数の多雨地帯であるモンスーンアジアの東端に位置する地理的条件から、年平均降水量は世界平均の約2倍にあたる1,700mm強であり、さらに台風の接近・上陸などの脅威にも晒されている。これらの要因から日本は、特に水害や土砂災害、高潮災害等による被害への対策が重要である。

さらに、気候変動に関する政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) の第4次報告書

(2007)¹⁾では、地球温暖化の進行が短時間豪雨や大雨の発生頻度の増加、海面水位の上昇、台風の激化、干ばつ・熱波の増加など多方面に及ぶことが予測されている。既存の治水施策は、将来における気象条件の変化がもたらす影響を加味して計画されていないものがほとんどである。そのため、過去の統計や経験をもとに治水施策を整えるばかりでは、災害の頻度や規模の増大によって大きな被害の発生が頻発する可能性が懸念されている。

これらの要因を踏まえ、将来における人口動態と気象条件双方の変化を考慮した災害リスクの変化を定量的に評価し、効率的な防災・減災施策を具体化することが重要である。本研究では、災害の中でも河川の洪水に着目し、将来の気象条件と人口動態の変化による洪水リスクの変化を対象として、適応策の検討に資する情報を提供することを目的に、防災・減災施策の実施によって期待

される年平均期待被害額の削減と地域における住民の生活環境質 (QOL : Quality of Life) の向上, および施策の費用効率性を評価する手法を構築し, それを実地域で適用する。

2. 防災・減災施策実施による住民への影響の定量評価システムの構築

2.1 評価の考え方

現状の社会経済データと浸水想定区域図を重ねあわせることで被害量を推計する。具体的には, 国土交通省および自治体から公表されている浸水想定区域図や国土数値情報をはじめとする基本データを ArcGIS 上で統合し, 100m メッシュごとのデータとして整備した上で, 現状における住民の QOL 値・洪水期待被害額を算出する。さらに, 気候変動と人口減少を考慮した将来推計を行い, 防災・減災施策の実施による費用効率性をシナリオ分析によって評価する。本研究では, 防災・減災施策として, 土地利用の誘導を対象とする。浸水想定区域に存在する住宅を, 同地区の非浸水想定区域の内, QOL 値の高い地域に優先して撤退させることで, 計画的な撤退を講じる。

2.2 住民のQOL指標の定式化

2.2.1 QOLの定式化

QOL 値は, 加知ら (2006) ²⁾を参考に式(1)~(3)のとおり定式化する。本研究では, 表-2.1 に示す交通利便性 (AC : Accessibility), 居住快適性 (AM : Amenity), 安心安全性 (SS : Safety & Security) の 3つの評価軸からなる 11項目を生活環境質向上機会 (Life Prospects : LPs) として, 対応するデータを対象地域において整備し用いることで数値化し, 個人の主観的価値観を表す重み w を乗じて総和をとることによって QOL を定量化させる。重み w の単位はそれぞれの LPs の物理量分の貨幣価値となる。

$$QOL_{ki} = w_k LPs_i \quad (1)$$

$$w^T = [w^{AC} \quad w^{AM} \quad w^{SS}] \quad (2)$$

$$LPs_i^T = [AC_i \quad AM_i \quad SS_i] \quad (3)$$

ここで, QOL_{ki} は個人属性グループ k の地区 i における QOL, w は LPs 各要素に対する個人の価値観 (重み), LPs_i は地区 i の生活環境質向上機会, AC_i は経済・文化機会, AM_i は居住の快適性, SS_i は災害に対する安全性である。

表-2.1 本研究における QOL の評価要素

評価要素	要素細目	指標
交通利便性 (AC:Accessibility)	就業利便性	就業場所への AC
	教育利便性	高校への AC
	医療利便性	病院への AC
	買物利便性	小売店への AC
居住快適性 (AM:Amenity)	空間使用性	1人あたり居住延べ床面積
	景観調和性	空き家率
	自然環境性	周辺の緑地率
	環境負荷性	快適度スコア
安心安全性 (SS: Safety&Security)	地震危険性	地震による期待損失余命
	土砂災害危険性	土砂災害による期待損失余命
	犯罪遭遇危険性	犯罪遭遇率

各要素の具体的な算出方法については参考文献2) 加知ら (2006) を参照されたい。

2.2.2 主観的価値観の推計

個人の主観的価値観 w は, 2012年に三重県松阪市の住民を対象に実施された「住みやすく魅力的な生活環境」に関する意識調査によるアンケート結果を用いたコンジョイント分析によって推計する。単位は貨幣 (円) を用いている。推計結果を表-2.2に示す。

表-2.2 住民の価値観 (QOL 構成要素の重み w)

QOL 評価要素	要素細目	重み	t 値	単位
AC	就業利便性	1.83*10 ⁴	6.30	万円/人(従業者数)
	教育利便性	3.73*10 ²	2.42	万円/人(在校生数)
	医療利便性	2.48*10 ³	-2.76	万円/病床数
	買物利便性	6.65*10 ⁵	6.30	万円/面積(小売業売場面積)
AM	空間使用性	1.18*10 ¹	7.92	万円/面積(1人あたり居住床面積)
	景観調和性	-1.07*10 ¹	-5.02	万円/空き家率
	自然環境性	2.82*10 ²	3.34	万円/緑地率
	環境負荷性	7.19*10 ¹	4.14	万円/快適度スコア
SS	地震危険性	-1.80*10 ⁴	-6.16	万円/期待損失余命
	土砂災害危険性	-1.80*10 ⁴	-6.16	万円/期待損失余命
	犯罪遭遇危険性	-5.94*10 ²	-6.74	万円/犯罪遭遇率

2.3 洪水期待被害額の算出手法

2.3.1 洪水期待被害額算出の考え方

本研究では、国土交通省河川局（2005）³⁾の治水経済調査マニュアルを参考に、被害対象を人的被害と直接的に被害を受ける家屋や家庭用品および事業所の一般資産とする。洪水期待被害額算出の枠組みを図-2.1に示す。

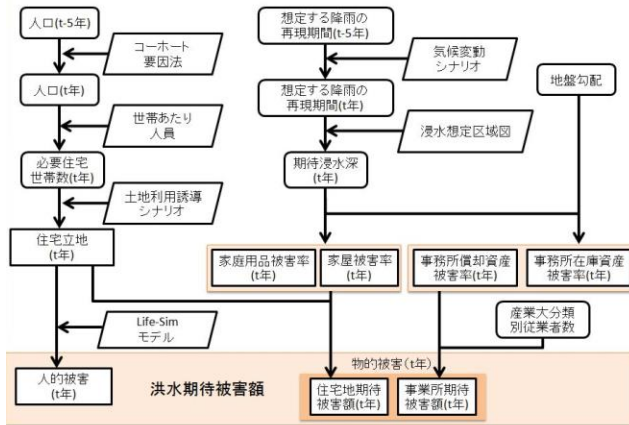


図-2.1 洪水期待被害額算出の枠組み

2.3.2 洪水時における人的被害の算出手法

人的被害は、氾濫原の住民が在宅状況にあると仮定し、米国で開発された死者数算定プログラム「Life-Simモデル」にもとづいて推計する。このモデルでは、水害の際に、65歳以上の住民は建物最上階の居住階に、64歳以下の住民は建物の屋根上に避難できると仮定し、避難時の浸水深に応じて表-2.3に示す死亡率を決定する。

表-2.3 Life-Simモデルにおける避難時浸水深別死亡率

水位帯名称	避難時浸水深	死亡率 (%)
危険水位帯	1.8m以上	91.750
準危険水位	1.2m以上 1.8m未満	12.000
安全水位帯	1.2m未満	0.023

洪水時における人的被害を期待損失余命によって算出する。期待損失余命は厚生労働省の公表する市区町村別生命表（2010）⁴⁾にもとづいて平均期待余命を算出し、浸水想定区域の住民を対象に、式(5)のとおり定式化する。

$$LLE_{fi} = R_f(d) \times P_i \times LE \quad (5)$$

ここで、 LLE_{fi} は浸水時における住民の期待損失余命（年）、 $R_f(d)$ は避難時浸水深別死亡率（%）、 P_i は人口（人）、 LE は平均期待余命（年）である。

また、各評価単位における人口などの基本データは、秋山ら（2013）⁵⁾により整備されたマイクロジオデータを使用して算出する。

期待損失余命は 2.2.2 節で示した住民の価値観を用いて貨幣価値に換算することで、後述する物的被害と併せて、洪水期待被害額の推計に用いる。

2.3.3 洪水時における直接的な物的被害の算出手法

直接的に被害を受ける家屋や家庭用品などの一般資産および事業所における物的被害は治水経済調査マニュアルを参考に、資産額に浸水深別被害率を乗じて求める。資産別の被害額算出式は式(6)~(10)のように定式化する。

$$PDA_i = HDA_i + GDA_i + DDA_i + IDA_i \quad (6)$$

$$HDA_i = PHV \times FA_i \times HDR_i \quad (7)$$

$$GDA_i = HGV \times FH_i \times GDR_i \quad (8)$$

$$DDA_i = PDV \times FE_i \times DDR_i \quad (9)$$

$$IDA_i = PIV \times FE_i \times IDR_i \quad (10)$$

ここで、 PDA_i 、 HDA_i 、 GDA_i 、 DDA_i 、 IDA_i は物的、家屋、家庭用品、事業所償却、事業所在庫資産期待被害額（円）、 PHV は都道府県別家屋評価額（円/m²）、 FA_i は浸水家屋延べ床面積（m²）、 HDR_i は家屋の浸水深・地盤勾配別被害率（%）、 HGV は家庭用品評価額（円/世帯）、 FH_i は浸水家屋世帯数（世帯）、 GDR_i は家庭用品の浸水深別被害率（%）、 PDV は産業別事業所償却資産評価額（円/人）、 FE_i は浸水域内従業員数（人）、 DDR_i は事業所償却資産の浸水深別被害率（%）、 PIV は産業別事業所在庫資産評価額（円/人）、 IDR_i は事業所在庫資産の浸水深別被害率（%）である。各資産の浸水深（地盤勾配）別被害率は、治水経済調査マニュアルに基づいて、表-2.4に示す値を用いた。

2.3.4 年平均期待被害額の算出手法

洪水期待被害額算出に用いる浸水想定区域図は、想定する降雨が発生した際に破堤が予測される地点を特定した上で氾濫シミュレーションを行うことで作成されている。このシミュレーションは降雨量や治水インフラ整備量などを変数にとり、河川からの氾濫流の挙動を再現するものである。

しかし、国土交通省河川局の浸水想定区域図作成マニュアル（2014）⁶⁾によると、氾濫シミュレーションを行うためには、堤防などの整備状況、現状河積、各地点において洪水を安全に流下できる水位、各地点における氾濫開始流量、対象氾濫原の設定、氾濫原の地形特性をはじめとする膨大な条件設定およびデータが必要である。しかし本研究では、簡便な方法で洪水による被害量を推計し、適応策の実施効果を評価する手法を構築するため、後藤（2010）を参考に、公表されている浸水想定区域図

表-2.4 各資産の浸水深（地盤勾配）別被害率

資産	地盤勾配	浸水深						
		床下	床上					
			50cm未満	50cm～99cm	100cm～199cm	200cm～499cm	500cm～	
住宅	家屋	1/1000未満	0.0320	0.0920	0.1190	0.2660	0.7070	0.8340
		1/1000～1/500	0.0440	0.1260	0.1760	0.3430	0.7550	0.8700
		1/500～	0.0500	0.1440	0.2050	0.3820	0.7845	0.8880
	家庭用品償却	-	0.0210	0.1450	0.3260	0.5080	0.9595	0.9910
事業所	償却	-	0.0990	0.2320	0.4530	0.7890	0.9805	0.9950
	在庫	-	0.0560	0.1280	0.2670	0.5860	0.9395	0.9820

を用いて年平均期待被害額を推計する。

年平均期待被害額は、浸水想定区域別に推計した洪水期待被害額に、浸水想定区域に応じた洪水の生起確率を乗じて求めた浸水想定区域別年平均期待被害額を対象地域内で累計し、年平均期待被害額を算出する。

年平均期待被害額の経時変化を推計する際に、1)気象条件の変化による降雨の再現期間の変化がもたらす影響と、2)人口動態の変化が洪水期待被害額にもたらす影響の2点を考慮する。本来であれば、気象条件の変化による影響として、降水量の増加に伴う浸水想定区域の拡大や、現行の治水計画で想定している降雨を上回る降雨が生じた際の被害をはじめとする外力そのものの増大についても考慮すべきだが、本研究では氾濫シミュレーションを用いずに、公表されている浸水想定区域図によって簡便に洪水期待被害額を算出するため、気候変動による影響を降雨の再現期間の変化のみで考慮する。

1)気候変動により、年最大日降水量が増大することで、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、今後低減することが予測される。そこで、社会資本整備審議会（2008）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単回帰分析することで、将来における計画基準となる降雨の再現期間変化を式(11)のとおり定式化する。また、式(11)の決定係数 $R^2 = 0.6435$ であり、統計学的に有意である。

$$FRP = 0.0009CRP^2 + 0.363CRP + 11.357 \quad (11)$$

ここで、 FRP は 100 年後における計画基準となる降

雨の再現期間（年）、 CRP は現在における計画基準となる降雨の再現期間（年）である。

さらに、計画基準となる降雨の再現期間は年数に比例すると仮定することで、経年的な降雨の再現期間の変化を推計する。

2)高齢化および人口減少の進行は、人的被害分野では平均期待余命に、物的被害分野では家庭用品期待被害額に影響をもたらす。本研究では、将来の人口をコーホート要因法によって男女 5 歳階級別に 2040 年まで 5 年毎に推計し、現在の人口分布にもとづいて 100m メッシュ単位に割り振る。ここで、コーホート要因法とは、男女別・年齢別の人口の変化を死亡率、出生率および人口移動などの要因毎に計算し、将来の人口を推計する手法である。推計の際に、平成 22 年度国勢調査（総務省）と、国立社会保障・人口問題研究所の公表するデータを参考にす。また、将来における世帯数は、将来人口を 2015 年における世帯あたり人口で除することで推計する。

1), 2)の影響は表-2.5 における再現期間と洪水期待被害額を将来の値に変化させることで年平均期待被害額へ組み込む事ができる。

2.4 施策実施費用（土地利用の誘導）の算出手法

水害リスクを回避する施策として、浸水深および年平均期待被害額によって撤退地域を選定し、撤退地域内の住宅を同じ町丁目の非撤退地域に移転する。さらに、撤退先の候補の中から、QOL 値の割合に応じて移転人口を割り振ることによって、年平均期待被害額の削減のみならず、対象地域内の住民がより高い QOL 値の地区に居住することで、住民がより効率良く高い QOL 値を得られる効果も加味し、移転施策の実施効果を過小評価してしまうことを回避する。

撤退に要する費用は、用地買収費用、建物補償費用、建物取り壊し費用の3つを想定する。本来であれば、インフラの撤去に要する費用や撤退した跡地の維持・活用に要する費用などについても考慮すべきであるが、本研究ではデータ上の制約から対象としない。各費用は式(12)～(15)のように定式化する。

$$C_{Ri} = C_{Pi} + C_{Ci} + C_{Di} \quad (12)$$

$$C_{Pi} = R_i \times A_{floori} \quad (13)$$

$$C_{Ci} = R_w \times A_{wi} + R_n \times A_{ni} \quad (14)$$

$$C_{Di} = R_{ws} \times A_{wi} + R_{ns} \times A_{ni} \quad (15)$$

ここで、 C_{Ri} は撤退費用（円）、 C_{Pi} は用地買収費用（円）、 C_{Ci} は建物補償費用（円）、 C_{Di} は建物取り壊し費用（円）、 R_i は公示地価（円/m²）、 R_w は木造住宅単価評価額（円/m²）、 R_n は非木造住宅単価評価

額 (円/m²) , A_{wi} は木造住宅床面積 (m²) , A_{ni} は非木造住宅床面積 (m²) , R_{ws} は木造住宅解体単価 (円/m²) , R_{ns} は非木造住宅解体単価 (円/m²) である. 公示価格は国土交通省国土計画局 (2015) : 地価公示を用いる. 撤退費用の各原単位を表-2.5 に示す.

表-2.5 撤退費用の原単位

使用データ	データ整備	原単位 (円/m ²)	
構造別住宅床単価	総務省 (2014) : 固定資産の価格等の概要調査	木造専用住宅	21,944
		木造共同住宅	33,937
		非木造住宅	34,074
構造別解体単価	損失補償算定標準書 III巻 単価編	木造住宅	12,100
		非木造住宅	24,200

3. ケーススタディ

3.1 対象地域の概要

対象地域は、図-3.1 に示す三重県の松阪市と多気町の 1 市 1 町から構成される榊田川流域圏とする. 対象地域を 100m 四方のメッシュに分割したものを評価単位として用いる. 松阪市は 2005 年 1 月に松阪市と、嬉野町、三雲町、飯南町、飯高町が、多気町は 2006 年 1 月に多気町、勢和村が合併して成立した. 人口は、松阪市が 167,443 人 (2016 年) , 多気町が 15,083 人 (2015 年) で、面積は 623.77km² , 103.17km² である. 対象地域は南西部に台高山脈などの山地、北東部には伊勢平野が広がり、比較的小さな範囲に中山間地域と都市域が混在している. 沿岸部を中心に浸水想定区域が広がっており、都市域である旧松阪市・旧三雲町において洪水被害が危惧されていることや、1959 年に発生した伊勢湾台風によって甚大な被害を受けた (榊田川水系河川整備基本方針) ことから、水害に対して早急な対策を講じるべき地域と言える.

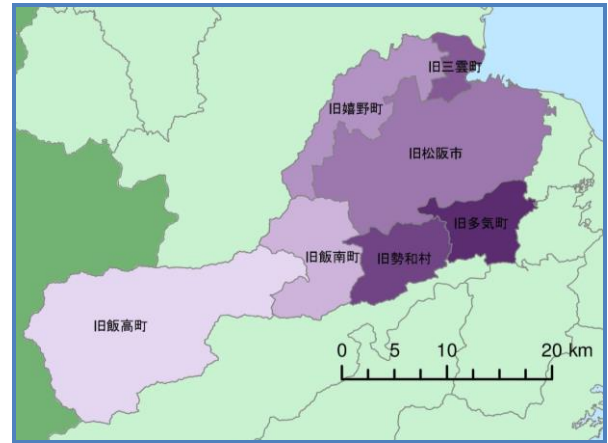


図-3.1 対象地域

3.2 現状・将来における対象地域の各指標推計結果

3.2.1 現状における QOL 値の空間分布

(1) 交通利便性

図-3.2 に、2015 年における交通利便性の空間分布を示す. 交通利便性の構成要素のうち、AC1 (就業利便性) と AC4 (買物利便性) が支配的となっている. 東部の旧松阪市に密集している市街地を中心に高い値を示しており、鉄道や対象地域内の主要道路である国道 23 号線沿線において交通利便性が高い. 南西の旧飯高町に向けて榊田川沿いに上流に行くにつれて交通利便性は減少する. また、対象地域中央に工場が点在しているため、他の郊外地域に比べて就業利便性の魅力値が大きく、交通利便性も高い値を示している.

(2) 居住快適性

図-3.3 に、2015 年における居住快適性の空間分布を示す. 居住快適性の構成要素は周辺の空き家率によって決定される AM2 (景観調和性) のみが負に作用する. また、対象地域では居住快適性の構成要素のうち、AM1 (空間使用性) が支配的となっている. そのため、市街地が密集し、十分な居住床面積や緑地の確保が困難な旧松阪市では低い値を、比較的余裕のある市街地を展開している旧多気町および旧勢和村においては高い値を示している. 一方で、旧飯高町では、緑地を比較的多く確保できているため AM3 (自然環境性) は高いが、衰退の進む集落が散見され、空き家が多く存在しているため、居住快適性はあまり高くない.

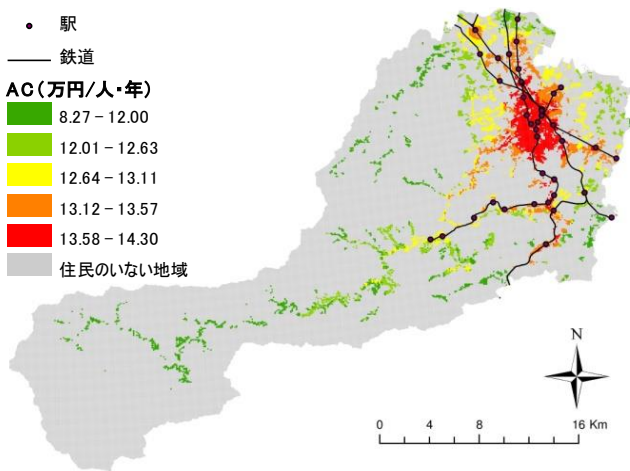


図-3.2 現状における交通利便性の分布

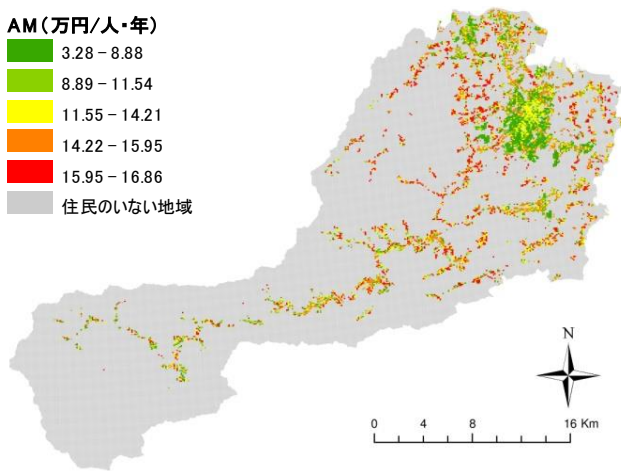


図-3.3 現状における居住快適性の分布

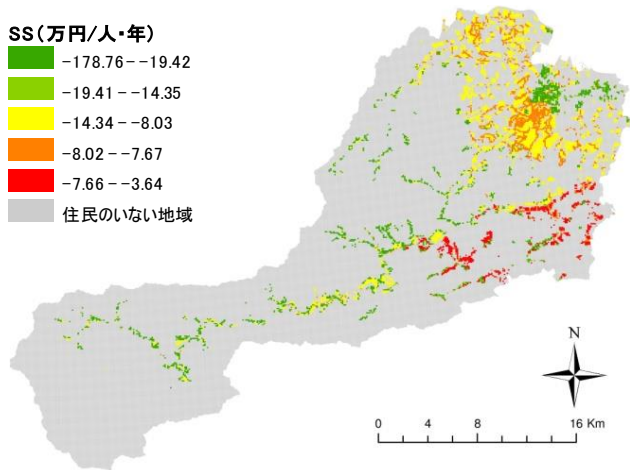


図-3.4 現状における安心安全性の分布

(3) 安心安全性

図-3.4 に、2015 年における安心安全性の空間分布を示す。SS3 (犯罪遭遇危険性) は、市区町村単位でのデータを用いて推計を行ったため、松阪市 (旧三雲町・旧嬉野町・旧松阪市・旧飯南町・旧飯高町) と多気町 (旧多気町・旧勢和村) とで街頭犯罪件数が異なり、結果に差異が生じている。SS2 (土砂災害危険性) は、土砂災害

危険区域を基に算出しているため、危険区域の存在しない旧三雲町では値は 0 となり、多くの住宅が危険区域に存在している中山間地域の旧飯南町・旧飯高町では非常に高い値を示している。SS1 (地震危険性) は、木造住宅の全壊率が大幅に増大する震度 6.0 以上の地震が想定される地域が多く存在する旧三雲町、および旧松阪市において大きな値を示している。

(4) QOL 値

将来の水害リスク増大に対する (土地利用誘導策) の条件設定の際に、撤退先の選定材料として QOL 値を用いる。図-3.5 に 2015 年における QOL 値の空間分布を示す。さらに、図-3.6 に旧市町村別の QOL 値の内訳を示す。南西部に存在する旧飯南町・旧飯高町では SS2 が非常に大きな値を示しているため、地域内の QOL 値も他の地域と比べて低い値を示す。居住快適性は優れ、交通利便性についても高い値を示す旧松阪市は SS1 が大きいために、QOL 値全体で比較すると、郊外に位置する旧多気町・旧嬉野町とあまり差異がない。そのため、都市の中心部近傍に存在し居住快適性が確保できる上に、地震や土砂災害の危険性が比較的小さい旧三雲町・旧嬉野町が QOL 値で高い値を示している。

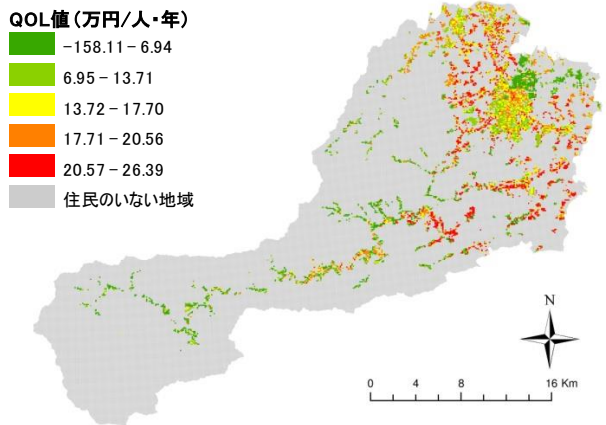


図-3.5 現状における QOL 値の分布

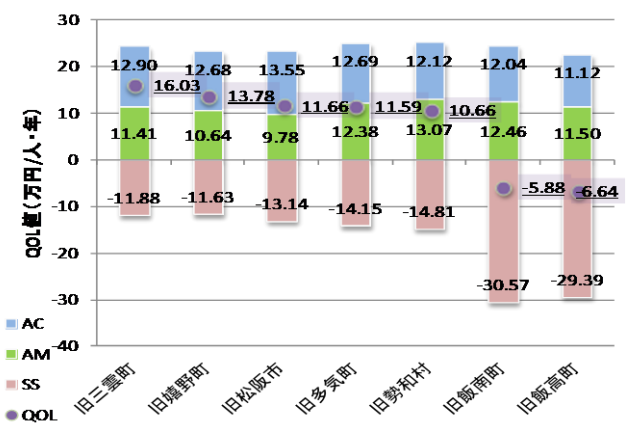


図-3.6 QOL 値の旧市町村別内訳

3.2.2 洪水による期待被害額の推計

期待浸水深の空間分布（図-3.7）では、浸水想定区域の北西部および東部で大きい。洪水期待被害額の空間分布（図-3.8）では、市街地・工場が展開している旧三雲町・旧松阪市において高い値を示している。また、榊田川の河口から離れた地域では、河川が湾曲している地点の周辺に集落が点在していることから、期待浸水深および期待被害額がともに比較的高い。旧松阪市では、期待浸水深は比較的小さいが、住宅および事業所が密集しているため、同等の期待浸水深を示す東部の一部地域よりも洪水期待被害額が高い。

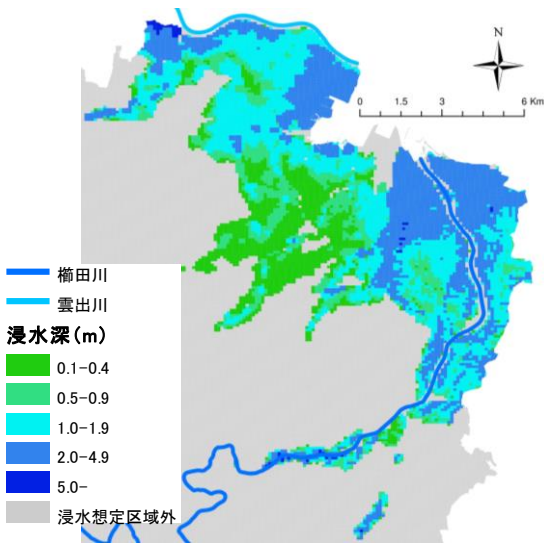


図-3.7 期待浸水深の空間分布

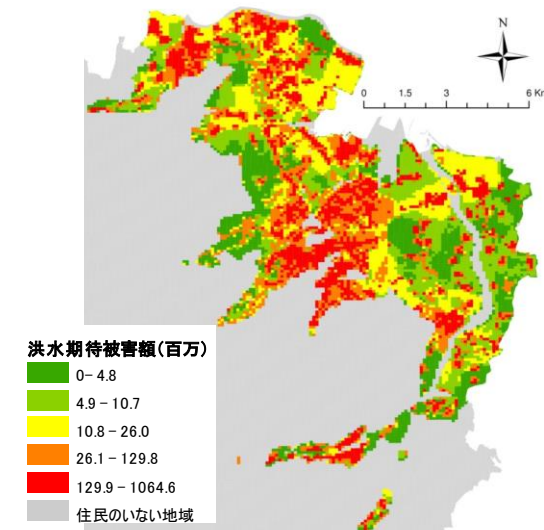


図-3.8 洪水期待被害額の空間分布

図-3.9 に 2015 年から 2040 年までの年平均期待被害額の将来予測を示す。年平均期待被害額の経時変化は、気候変動に伴う再現期間の変化と、人口動態に伴う平均期待余命の変化によってもたらされていると仮定し、治水設備の整備状況や事業所の移動などは考慮せずに推計

を行った。2040 年には 2015 年と比較して年平均期待被害額は約 1.1 倍になり、1 人あたりの期待被害額に換算すると約 1.3 倍まで増大する。この傾向は今後も継続・加速すると予測されており、早期の対策が必要である。

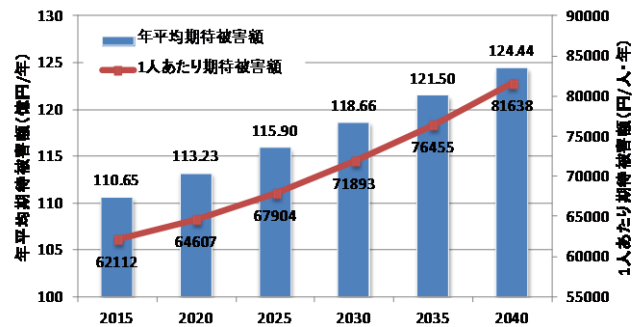


図-3.9 年平均期待被害額の将来予測

3.3 施策（土地利用の誘導）実施効果の分析

(1) シナリオ設定の概要

撤退地域の選定を表-3.1 に示す条件として用いた。

表-3.1 シナリオ細目における撤退地域の選定条件

シナリオ細目	選定に用いる指標	選定条件	撤退地域の面積 (km ²)	移転人口 (人)
a-5	期待浸水深	5.0m 以上	0.69	131
a-2		2.0m 以上	30.78	12,311
a-1		1.0m 以上	63.54	40,758
b-5	洪水期待被害額	上位 5%	453.55	20,858
b-10		上位 10%	907.10	39,966
b-15		上位 15%	1360.65	56,447

(2) 実施効果の推計

実施によって期待される効果を推計する際に、年平均期待被害削減額と対象地域における QOL 値総和の向上を対象とする。

防災・減災施策 1 における年平均期待被害削減額は、撤退地域における住宅分野（家屋・家庭用品）の洪水期待被害額を 0 として推計した年平均期待被害額と、3.2.2 項で推計した防災・減災施策未実施の場合における年平均期待被害額との差分と定義する。

また、QOL 値総和の向上は、防災・減災施策実施時と未実施の場合での、対象地域内の各評価単位における QOL 値に人口を乗じた値の総和差分と定義する。

表-3.2 にシナリオ細目別における各年の効果を示す。ここで、3.2.2 項の図-3.9 より、2040 年には年平均期待被害額が 2015 年と比較して 13.80 億円増加するため、2040 年における年平均期待被害額を 2015 年と同じ水準である 110.65 億円に軽減するには a-5 シナリオのみを実施するだけでは大幅に不足している。

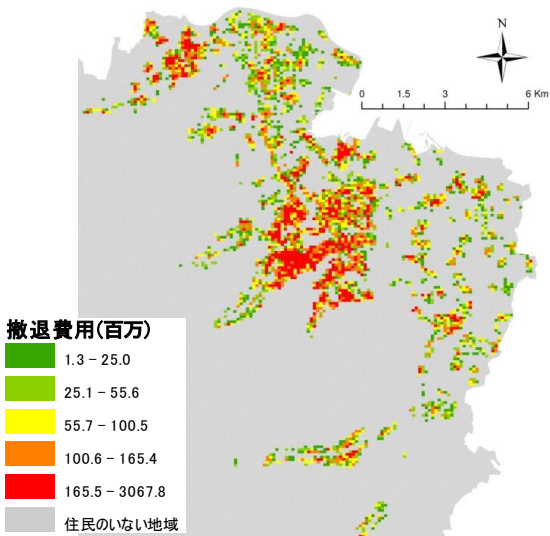


図-3.10 撤退費用の空間分布

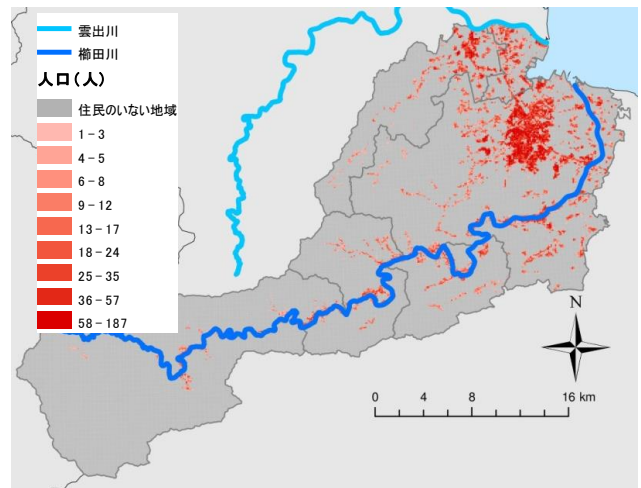


図-3.11 人口分布

表-3.2 シナリオ細目別各年効果

シナリオ細目	便益 (億/年)					
	2015	2020	2025	2030	2035	2040
a-5	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24
a-2	28.11	28.60	29.05	29.51	30.00	30.54
a-1	76.70	82.97	83.97	84.95	85.98	87.07
b-5	38.23	38.58	38.88	39.16	39.46	39.78
b-10	66.19	68.43	68.89	69.31	69.75	70.23
b-15	78.68	86.23	87.06	87.86	88.69	89.56

表-3.3 シナリオ細目別実施費用

シナリオ細目 (期待浸水深)	実施費用 (億円)	シナリオ細目 (洪水期待被害額)	実施費用 (億円)
a-5	4.08	b-5	826.08
a-2	501.15	b-10	1,523.33
a-1	1,594.26	b-15	2,125.58

(3) 実施費用の推計

住宅の撤退費用として用地買収、建物補償、建物取壊費用の3つを想定する。図-3.10に浸水想定区域内における評価単位毎の撤退費用の空間分布を示す。撤退費用は密集した市街地を中心に高い値を示しており、対象地域の人口分布(図-3.11)と概ね同じ傾向の空間分布となっている。また、表-3.3に施策におけるシナリオ細目別の実施費用を示す。

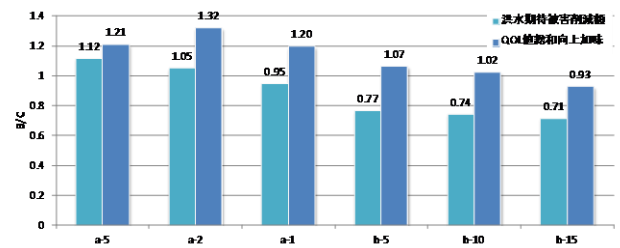


図-3.12 シナリオ細目別の費用効率性 (2020~2040年)

(4) 費用効率性の推計

(2), (3)で得られた施策の実施効果と実施費用を用いてシナリオ細目別の費用効率性を推計する。実施効果は、気候変動の影響に伴い浸水想定区域が拡大することで、撤退先の非撤退地域が氾濫原に含まれない限り持続するものであり、その継続期間を推計するためには、詳細な降水量の予測とそれにもとづいた氾濫シミュレーションを行う必要がある。しかし本研究は、現行の浸水想定区域図を用いて洪水被害の将来予測を行い、様々な防災・減災施策の検討を行うことのできる汎用性の高い手法を構築することが目的であるため、将来においても浸水想定区域は変化せず、現状における非撤退地域は将来においても洪水被害を受けないものと仮定する。

また、住宅の撤退には5年を要し、2020年から実施効果が発現すると仮定し、2020年~2040年の間に得られる実施効果と費用を用いてシナリオ細目別の費用効率性を推計する(図-3.12)。年平均期待被害削減額のみで費用効率性を推計した場合、最も費用の少ないa-1シナリオが優位となり、残りのシナリオでは移転人口が多く、費用の嵩むシナリオほど費用効率性が低くなった。しかし、撤退先をQOL値の高い地域を優先して選択することで期待できる地域全体におけるQOL値総和の向上効果を加味した際には、移転人口が著しく少ないa-5シナ

リオでは QOL 値総和の向上効果があり期待できないため、a-1 シナリオと概ね同じ費用効率性となり、最も優れたシナリオは a-2 シナリオとなる。このことから、撤退地域の設定条件を洪水被害の削減効果のみで検討するのではなく、移転によって期待できるその他の効果も加味することで、実施する地域において、より効率的な施策の検討が可能となることが明らかとなった。

また、撤退地域の選定条件に洪水期待被害額を用いる b-5～b-15 シナリオでは、移転人口および撤退地域の面積が a-5～a-1 シナリオと比べて大きいいため、費用効率性の観点では、期待浸水深による撤退地域の選定が望ましい。しかし、気候変動によって浸水想定区域が変化した際には、撤退地域の選定条件として地域が将来氾濫原となる可能性も考慮する必要がある。

4. 結論

本研究では、気候変動に伴う洪水リスクの変化に対する適応策として、土地利用の誘導を想定し、それぞれの費用効率性を評価する手法を構築した。さらに櫛田川流域圏に適用した結果、次のような知見を得られた。

- ・ QOL 値は、都市域と中山間地域の間で、構成要素の割合が大きく異なり、特に安全安心性が劣る南西部においては著しく低い値を示した。
- ・ 都市域では、交通利便性が高いが、居住快適性が低いため QOL 値はあまり高くなく、都市域近傍に存在する地域において一定量の居住快適性を確保できている郊外地域が最も高い QOL 値を示した。
- ・ 洪水期待被害額は期待浸水深よりも密集した市街地の

存在する地域や産業の展開している地域で嵩んでおり、旧松阪市および旧三雲町において特に高い値を示した。

・ 土地利用の誘導によって得られる便益として年平均期待被害削減額のみを考慮した場合には、移転人口および実施費用の最も少ない期待浸水深 5.0m 以上の地域を撤退させた場合の費用効率性が最も高かったが、撤退先を QOL 値によって選定することによる地域全体の QOL 値総和の向上効果も加味した場合には期待浸水深 2.0m 以上の地域を撤退させ、移転人口をある程度確保した場合の費用効率性が最も高くなった。

・ 撤退地域の選定条件として、期待浸水深と期待被害額の 2 種類を検討したが、期待浸水深による選定を行った場合の方が、費用効率性は高い値を示した。

参考文献

- 1) IPCC(2007)：気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 4 次報告書 (AR4)
- 2) 加知範康, 加藤博和, 林良嗣, 森杉雅史(2006): 余命指標を用いた生活環境質 (QOL) 評価と市街地拡大抑制策検討への適用, 土木学会論文集 D, vol62, No. 4, pp.558-573.
- 3) 国土交通省河川局(2005)：治水経済調査マニュアル (案)
- 4) 厚生労働省(2010)：平成 22 年市区町村別生命表
- 5) 秋山祐樹, 洪木猛, 長田達朗, 上山智士, 柴崎亮介(2013): 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-ROM392).
- 6) 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 危機管理技術研究センター 水害研究室(2014)：浸水想定区域図作成マニュアル (改訂版)

PROPOSAL OF AN EVALUATION FRAMEWORK FOR ADAPTATION MEASURES RELATED TO FLOOD IN URBAN AREAS

Tatsuya SHIBATA, Hirokazu KATO, Shinichiro NAKAMURA,
Kenji SUGIMOTO, Yoshitsugu HAYASHI and Takafumi SHIMIZU

This study focuses on changes in the flood risk by climate change and aims to establish a method to estimate average annual damage considering the change occurrence period of flood and demographic. In addition, the cost-benefit ratio is estimated in the case of implementing an adaptation measure that withdrawal from inundation area. As a result in the target area, the analysis shows that the withdrawal area selection from expected flood depth is more cost-effective.