

## 河川砂防技術研究開発 【成果概要】

<b>①研究代表者</b>	<b>氏名</b> (ふりがな)	<b>所属</b>	<b>役職</b>	
	ふじみ としお 藤見 俊夫	熊本大学くまもと水循環・ 減災研究教育センター	准教授	
<b>②研究 テーマ</b>	名称	不確実性下における高潮浸水リスク適応政策の経済評価		
	政策 領域	[分野] 流域計画・流域管理課題分野	融合 技術	海岸工学
		[公募課題] 継続課題		環境経済学 意思決定理論
<b>③研究経費</b> (単位: 万円)	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総 合 計
※端数切り捨て。	42万円	358万円	91万円	491万円
<b>④研究者氏名</b>	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏 名	所属・役職 (※平成29年3月31日現在)			
中北 英一	京都大学防災研究所			
多々納 裕一	京都大学防災研究所			
森 信人	京都大学防災研究所			
<b>⑤研究の目的・目標</b>	(申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>気候変動による極端気象事象の増加が予測されるなか、高潮リスクの増大に対して堤防の嵩上げや土地利用誘導・規制などの適応政策が求められている。高潮リスクの予測には不確実性が伴うが、これまでの政策評価では十分に考慮されていない。気候変動下において高潮リスクの適応政策を検討する場合には、こうした不確実性は増大するため、政策評価に及ぼす影響も大きくなることが予想される。また、流域計画・流域管理の観点からも、高潮は河川を遡上して堤防の越水・破堤に大きく関わるため、高潮リスクの不確実性は考慮すべき重要な要因である。</p> <p>本研究では、高潮リスク予測における不確実性を考慮した適応政策の経済評価手法の構築を目指す。さらに、そうした不確実性により適応政策の評価額に及ぼす影響を「不確実性プレミアム」として試算する。そのために、まず、大規模アンサンブル気候実験結果に基づく台風シミュレーションを入力データとした現状気候条件での浸水シミュレーションを行う。つづいて仮想市場評価法に基づき、不確実性下における浸水被害リスク軽減に対する住民の経済評価についてアンケート調査を行い、不確実性下のリスク評価モデルを推定する。選択実験によって推定された不確実性下の意志決定モデルである <b>Contraction</b> モデルに基づき不確実性プレミアムを試算し、現状と気候変動後の気候条件の下での浸水シミュレーション結果と統合することで、不確実性プレミアムの地理的分布を明らかにする。</p>				

## ⑥研究成果

(様式 H-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

### 1. 研究フレーム

本研究では、不確実性を考慮した高潮リスク軽減の経済価値を評価するための手法を構築することを目的とする。対象地域は大阪府と兵庫県にわたる大阪湾沿岸部の縦 22.23km×横 19.32km の範囲である。分析対象は対象地域の戸建て住宅に居住する世帯とする。高潮リスク軽減の経済価値とそのうちの不確実性プレミアムの算出のために、**図 1** に示す 4 つの手順を踏む。1. 現状の気候条件と地球温暖化後の気候条件において台風シミュレーションを実施し、大阪湾における高潮リスクを予測する。ここで、高潮リスク予測における不確実性を明示する。2. 台風シミュレーション結果を入力データとして大阪湾の浸水シミュレーションを行い、高潮氾濫による各地点の浸水深とその発生確率を算定する。3. 不確実性のある高潮浸水リスクを削減する経済価値を仮想市場評価法に基づき推定する手法を開発する。それにより、不確実性下での高潮リスク削減価値の経済評価モデルを推定する。4. 浸水シミュレーション結果と推定した経済評価モデルを統合することにより、不確実性下における高潮リスク削減政策の経済価値を試算する。

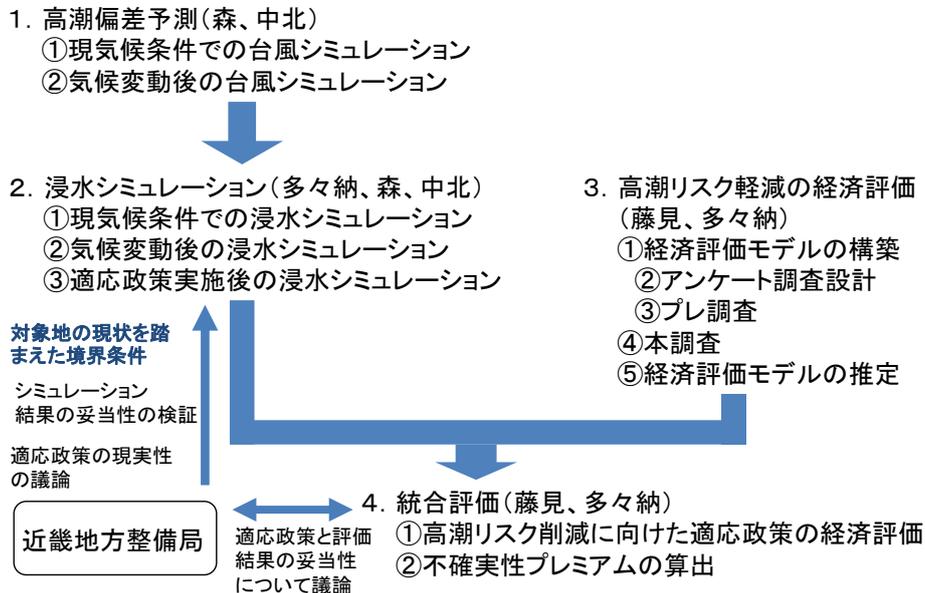


図 1 本研究の流れ

### 2. 高潮氾濫による浸水シミュレーション

#### (1) 台風シミュレーション

現在の気候条件のもと、中條ら(2012)の開発した時系列相関型の全球確率台風モデル(Global-STM)を用い、200年間の台風発生シミュレーションを25回行った。人工台風トラックをもとに、非線形長波方程式を用いた高潮のシミュレーションを実施した。大阪湾の高潮高さと発生頻度との関係を**図 2**に示す。灰色の細い線の一本、一本が異なるシミュレーションでの予測結果を示しており、青線が平均的な予測、赤線が最悪の予測を示している。これらの台風のうち、a) 大阪湾までの最小距離が200km以下、b) 最低中心気圧が950hPa以下、c) 地上での最大風速が20km/h以上、の3つの条件を満たす台風の中から規模の大きい順に100個の台風を選択し、それらの台風特性を高潮シミュレーションに入力した。大阪湾における高潮シミュレーションはKim(2008)によって開発されたSuWATモデルを用いた。

#### (2) 高潮氾濫による浸水シミュレーション

台風・高潮シミュレーションの結果を用いて、沿岸部の高潮氾濫による浸水シミュレーションを実施した。対象地域は**図 1**に示す縦横22.23km×19.32kmの範囲であり、メッシュサイズは30m×30mである。浸水シミュレーションはLiang(2009)の開発したCUFLOODモデルを用いて行った。

## ⑥研究成果（つづき）

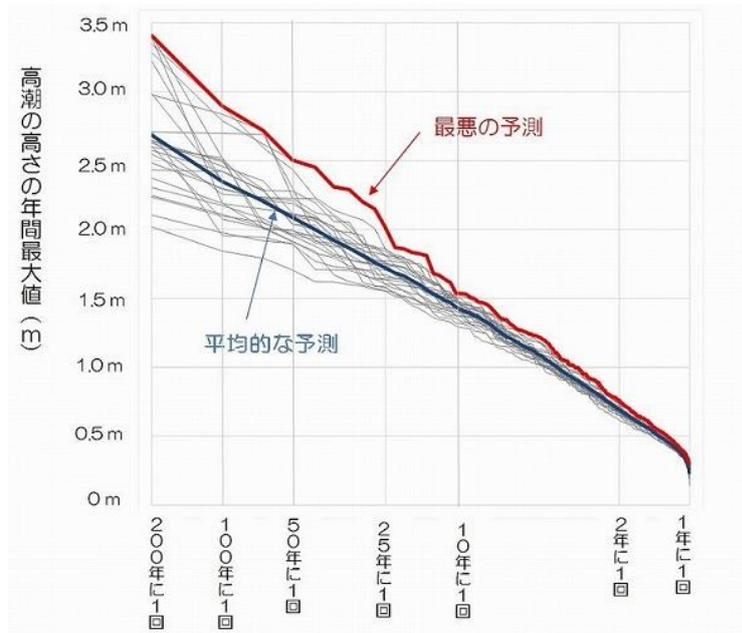


図2 大阪湾における高潮高さや発生頻度の予測結果

### 3. 高潮リスク軽減の経済評価手法

#### (1) 不確実性下の経済評価モデル

温暖化だけでなく現在の気候条件においても、高潮リスクの長期予測には大きな不確実性が伴うため、不確実性を考慮したリスク評価が求められる。本研究では、Gajdos et al (2008)の提案した **Contraction** モデルを用いて経済評価を行う。

#### (2) Web アンケート調査による選択実験

高潮リスク軽減の経済評価を仮想市場評価法により行う。本研究では、二つの方法で高潮リスクの不確実性を回答者に提示する。一つは、回答者の居住するエリアについて高潮氾濫シミュレーションで予測された高潮リスクと不確実性を提示する方法であり、もう一つは仮想的な高潮リスクと不確実性を提示する方法である。前者は、現実を反映したリスクと不確実性を提示しているため、回答者の回答の現実的妥当性が高くなると期待される。しかし、提示するリスクや不確実性のパターンが偏り、統計的なモデル推定精度が低くなる可能性がある。他方、仮想的な高潮リスクと不確実性を提示する方法では、回答の現実的妥当性は低くなるものの、様々なリスクや不確実性のパターンを提示できるため統計的なモデル推定精度を高めることができる。

まず、高潮氾濫シミュレーションで予測された高潮リスクと不確実性を提示する Web アンケート調査は下記の手順で行われる。

- ①回答者の郵便番号を尋ねる。
- ②回答者の所有する家屋と家財の資産価値を尋ねる。
- ③高潮氾濫による浸水被害を「床下浸水」、「床上浸水」、「家屋水没」の3つのカテゴリーに分け、それぞれの平均的予測での浸水リスクと最悪の予測での浸水リスクを提示する。
- ④高潮氾濫による被害リスクを完全に解消する経済価値を評価するため、高潮氾濫の被害を全額補償する仮想的な保険を購入するか尋ねる。

仮想的な高潮リスクと不確実性を提示する Web 調査は、上記の高潮氾濫シミュレーションの予測結果を提示する場合と、仮想的な高潮リスクと不確実性をランダムに回答者に提示するという点を除いて同じである。

#### (4) 計量経済モデル

**Contraction**モデルを推定するための計量経済モデルを構築する。回答者*i*の平均的ケースによる浸水リスクのもとでの期待効用を $U_{iA}$ 、最悪ケースのもとでの期待効用を $U_{iB}$ とする。効用関数 $u$ はリスク回避度 $r$ のCRRA関数とする。**Contraction**モデルに基づけ

## ⑥研究成果（つづき）

ば関数 $u$ はリスク回避度 $r$ の CRRA 関数とする。Contraction モデルに基づけば、 $U_{iA}$ と $U_{iB}$ は不確実性回避度 $\alpha \in [0,1]$ で重みづけられた評価関数により回答者に提示した仮想的な保険購入の判断を行う。保険を購入しないときの評価関数 $V_{i1}$ は $V_{i1} = (1 - \alpha)U_{iA} + \alpha U_{iB}$ で表される。保険を購入したときは、高潮氾濫の被害は完全に補償されるので、浸水リスクと不確実性の両方が解消される。そのため評価関数は $V_{i2} = u(m - m * C_i)$ で表される。ここで、 $m$ は回答者の資産、 $C_i$ は資産 1 円あたりの保険料（円/年）である。回答者 $i$ が料率 $C_i$ を提示されたときに保険に加入する条件は $V_{i1} + \varepsilon_2 < V_{i2} + \varepsilon_1$ で表される。ここで、 $\varepsilon_i$ が正規分布に従う確率効用であり、 $\varepsilon_2 - \varepsilon_1 \sim N(0, \sigma^2)$ とする。よって、回答者 $i$ が料金 $C_i$ で保険に加入する確率は下式となる。

$$Prob(V_{i1} + \varepsilon_2 < V_{i2} + \varepsilon_1) = Prob(\varepsilon < V_{i2} - V_{i1}) = \Phi\left(\frac{V_{i2} - V_{i1}}{\sigma}\right)$$

この式から尤度関数を構築し、最尤法によりリスク回避度 $r$ と不確実性回避度 $\alpha$ を推定する。

### (5) Web 調査データ

高潮氾濫シミュレーションの予測リスクを提示した Web アンケート調査は、本研究の氾濫シミュレーションの対象エリアに含まれる一戸建て家屋およびマンション・アパートの 1 階に居住の 1058 世帯を対象として 2018 年 1 月 16 日～22 日に実施した。このうち、一戸建て住宅は 821 世帯、アパート・マンションは 41 世帯；賃貸住宅は 196 世帯であった。後者二つについては分析に十分な標本数が得られなかったため、本研究では一戸建て居住世帯のみを分析対象とする。仮想的な高潮リスクを提示した Web アンケート調査は、大阪市内の一戸建て家屋の所有世帯のうち標高 5m 以下に住んでいると回答した 1000 世帯を対象として、2016 年 12 月 16 日～22 日に実施した。

### (6) 推定結果

Web アンケート調査で得られたデータを用いて、Contraction モデルに基づく計量経済モデルを推定した結果を表-1 に示す。不確実性回避度のパラメータは Model 1 で 0.0988、Model 3 で 0.0951 と非常に近い値をとっている。全く別のデータを用いて同様の推定値が得られたことから、不確実性回避度のパラメータの推定値の妥当性は高いと考えられる。リスク回避度についても、Model 1 で 0.5424、Model 3 で 0.3764 と近い値をとっている。これらのパラメータ推定値はどちらも 1%水準で統計的に有意であった。

表 1 Contraction モデルの推定結果

	予測リスク提示				仮想リスク提示			
	Model1		Model2		Model3		Model4	
	推定値	P 値	推定値	P 値	推定値	P 値	推定値	P 値
$\alpha$ : 不確実性回避度								
定数項	0.0988	0.207	-1.2438*	0.100	0.0951**	0.014	-0.5229	0.179
年齢			0.0198***	0.007			-0.0007	0.838
女性			-0.3265	0.510			-0.0213	0.762
世帯人数			0.0562	0.570			0.0438	0.167
大学卒業			0.1240	0.185			-0.0084	0.915
科学への信頼			0.1664	0.192			0.1267*	0.051
$r$ : リスク回避度								
定数項	0.5424***	<0.001	0.7931**	0.029	0.3764***	<0.001	0.6609***	<0.001
年齢			0.0090***	0.005			-0.0028**	0.028
女性			-0.4980**	0.016			-0.0651**	0.030
世帯人数			-0.1732***	0.000			0.0057	0.615
大学卒業			0.0877	0.187			0.0497**	0.032
科学への信頼			0.0645*	0.094			-0.0427**	0.021
標本数	508		508		660		660	
対数尤度	-340.8		-327.3		-391.5		-380.7	
疑似R <sup>2</sup>	0.027		0.066		0.134		0.158	

## ⑥研究成果（つづき）

### 4. 期待被害額の削減額、リスクプレミアム、不確実性プレミアムの試算結果

堤防嵩上げの経済価値として、期待被害額の削減額、リスクプレミアム、不確実性プレミアムがどのように地理的に分布するか検討するため、堤防嵩上げ 1m に対する試算結果を気候条件が「現状」の場合と台風の中心気圧が 10hPa 低下」の場合に分けて図 3 に示す。期待被害額の削減額の分布から、堤防を 1m 嵩上げすることで便益が得られるエリアは高潮リスクのあるエリアの一部であることが明らかになった。現状から温暖化が進行した場合、堤防嵩上げの便益が得られるエリアはそれほど広がらないが、それらのエリアに生じる期待被害額の削減額、リスクプレミアム、不確実性プレミアムは増加している。特に、不確実性プレミアムは大きく増加している。概してリスクプレミアムと不確実性プレミアムはあるエリアに偏って生ずる傾向があるため、堤防嵩上げの経済評価を行うにあたっては、対象地域全域で集計したものだけでなく、各エリアのリスクプレミアムと不確実性プレミアムについて検討することが重要であると示唆される。

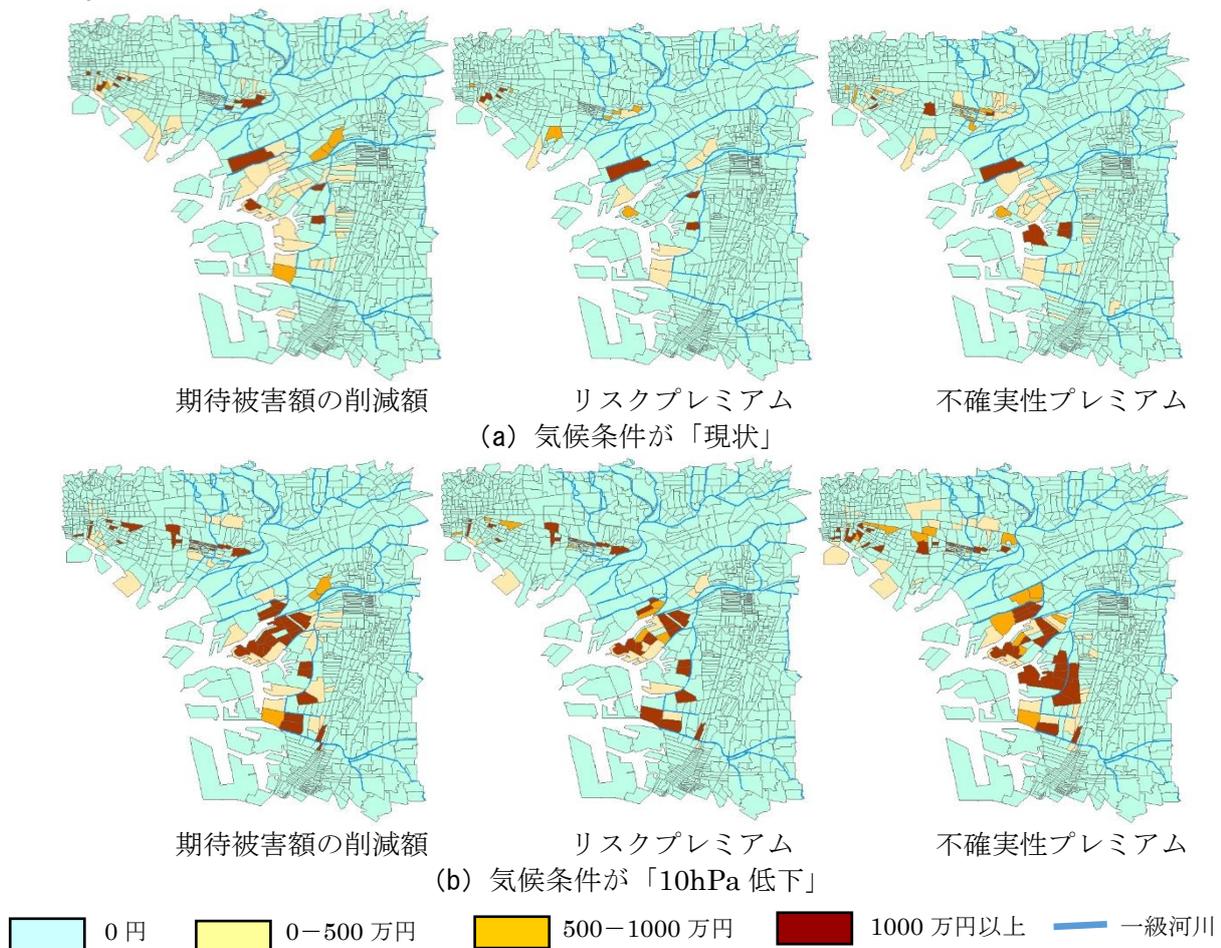


図 3 堤防嵩上げ 1m の期待被害額の削減額、リスクプレミアム、不確実性プレミアム

### 5. まとめ

本研究では、不確実性下における高潮リスク削減の経済価値を評価した。その結果、下記の知見が得られた。①リスクプレミアムと不確実性プレミアムは無視できない大きさであり、期待被害額の削減額だけで堤防嵩上げなどの高潮浸水リスク軽減対策の経済評価を行うと過少評価になる。②リスクプレミアムや不確実性プレミアムは発生するエリアが偏っており、沿岸域や河川沿いなどの高潮リスクの大きなエリアで大きくなる傾向がある。温暖化や堤防嵩上げにより高潮リスクが変化すると、リスクプレミアムは大きく変化する。不確実性プレミアムは比較的安定している。④リスクプレミアムのほうが不確実性プレミアムよりエリア間のばらつきが大きい。以上より、リスクプレミアムや不確実性プレミアムを考慮した適応策を検討する必要性が示唆された。

### ⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・これまでに発表した代表的な論文
- ・著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
- ・国際会議、学会等における発表状況
- ・主要雑誌・新聞等への成果発表
- ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・企業とのタイアップ状況
- ・特許など、知的財産権の取得状況
- ・技術研究開発成果による受賞、表彰等)

研究途中であり、成果発表は未だ行っていない

### ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

情報発信は行っていない

### ⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

なし

### ⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究の課題としては下記の点が挙げられる。まず、一戸建て世帯に分析対象を制限したことである。大阪湾のような大都市圏ではマンションやアパートのような集合住宅に居住する世帯も多いが、本調査では集合住宅のデータが十分に得られなかったため分析対象に含めることを断念した。今後は集合住宅に居住する世帯についても分析対象に含める必要がある。また、一戸建て居住世帯についてリスクプレミアムや不確実性プレミアムが無視できない大きさであることが明らかになったため、将来的には企業やインフラなどについてもリスクプレミアムや不確実性プレミアムを試算することが求められる。つぎに、浸水リスクを郵便エリアでまとめて評価したことである。各郵便エリアのなかでも地形に違いがあり世帯の直面するリスクも本来は異なる。より細かいメッシュでの分析が望ましい。最後に、表明選好法のそもそもの限界であるが、実際の行動結果のデータに基づく分析ではないので、回答者が信頼できる回答をしているかという問題が残る。実際の保険購入行動などの顕示選好データを用いてもリスクプレミアムや不確実性プレミアムを試算し、異なるデータと手法で得られた結果を相互に比較して検証することが課題として残されている。

### ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

研究途中であり、河川砂防行政の実務への反映は行われていない。