

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属		役職
	石徹白伸也 (いとしろしんや)		八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部 河川部		主幹
②研究 テーマ	名称	浸水リスクの変化とその提示内容改善が将来の人口分布・土地利用に与える影響とそれらを考慮した水害リスク軽減対策に関する研究			
	政策 領域	[分野] 流域計画・流域管理課題分野	融合 技術	浸水解析技術、都市（立地選択）	
		[公募課題]			
③研究経費 (単位:万円) <small>※端数切り捨て。</small>	平成26年度	平成27年度	平成 年度	総 合 計	
	297	200		497	
④研究者氏名 (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28年3月31日現在)			
天方匡純		八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部河川部 課長			
高森秀司		八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部社会計画部 主幹			
島田高伸		八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部河川部 主任			
神永 希		八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部インフラマネジメント部 主幹			
杉本達哉		八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部インフラマネジメント部 主任			
佐藤徹治		千葉工業大学工学部建築都市環境学科 教授			
⑤研究の目的・目標 (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
[研究の目的]					
<p>河川行政としては、水系治水から流域治水への移行期にあるが、水防情報等のソフト施策が充実する一方で、ハード施策については氾濫原管理のメニューが幾つか提示されているものの、思想・アイデアだけが先行する状況にある。また、都市行政としては、都市再生特別措置法等の一部を改正する法律が施行され、ますます都市全体の構造の見直しが求められるなかで水害に対するリスク情報が十分に反映されていない状況にある。確実な未来を描くために、今後の都市構造と浸水リスクとの関係を紐解き、河川行政と都市行政が連携した対策の有効性を検証することが重要である。</p> <p>そこで本研究では、浸水想定区域図と同様に単一の外力条件で作成した浸水深マップを用いた場合と、複数の外力条件を踏まえた浸水頻度マップを用いた場合で、将来の都市立地選択推計の違いを確認し、今後の都市構造検討における浸水リスクの重要性を確認する。更に、将来の都市立地選択を想定したうえで水害リスクを低減する対策を検討し、河川行政と都市行政の連携による新たな治水対策の方向性を探ることを目的とする。</p>					
[研究の目標]					
1. 新たな浸水リスクマップの提示					
<p>浸水想定区域図は、計画規模相当外力による浸水状況を示した限定リスク情報であり、地先のリスクを理解するには十分でない。そこで、様々な氾濫形態や複数規模の洪水等を加味したリスクを評価し、地域住民の浸水リスクの認知度を高めるための新たなリスクマップを提示する。</p>					
2. 将来人口・資産分布の推計手法の構築					
<p>長寿命な社会資本の整備効果等の検証には、人口や資産の将来推計を行い時間軸の視点からの評価が有効である。そこで、浸水リスクと将来都市の位置関係の評価を目的として、水害リスクと住民移転意向に関する情報を反映した将来人口・資産分布の経年変化を推計する手法を開発する。</p>					
3. 将来の都市立地選択に基づく水害リスク軽減対策の検討					
<p>複数の浸水リスク提示方法を踏まえた将来の都市立地を推計し、都市構造検討における浸水リスク情報・提示方法の有効性を確認する。次に、水害リスク低減策として可能性のある都市計画施策(規制・誘導・認知)を将来の都市立地の変化から検討・評価する。また、都市の将来推計結果における浸水被害を軽減するための水系・流域治水対策の効果を検証し、河川と都市計画の連携施策のあるべき方向性を考察する。</p>					

⑥研究成果

1. 新たな浸水リスクマップの提示

1.1 外力規模の設定

地先の浸水リスク評価は、高頻度から低頻度までの洪水を対象とする。低頻度洪水の外力は、既往最大洪水規模や治水計画規模、気候変動による洪水外力増大を考慮する。

1.2 浸水解析の実施

浸水解析の対象地域は富山市とする。浸水シナリオは、様々なリスクを想定するため、a)内水氾濫、b)内外水複合氾濫、また、超過確率事象の一つである c)同時破堤氾濫を考慮する(表-1)。外力条件として a)の解析では雨量計で捕捉しにくい局所的豪雨を捉えるため解析雨量(5km格子)を採用した。また、b)とc)の解析では破堤に至るまでに発生しうる支川等の内水氾濫を加味した。更に、c)の解析では、常願寺川と神通川の氾濫挙動が相互に影響を及ぼし合うため、各河川の破堤地点の組合せ(破堤_{常願寺川}×破堤_{神通川})毎に解析を実施している。

1.3 新たな浸水リスクマップの作成

地域住民に居住場所の浸水程度や発生頻度を理解してもらい、浸水特性を踏まえた住まい方や今後のまちづくりにまで活かせるような、住民目線での浸水リスクマップを作成した。浸水リスクマップは、(2)で解析した浸水シナリオ毎の浸水状況から、解析メッシュ毎の浸水深が最大となる浸水シナリオの値を抽出し、それらを発生確率別に整理する。次に、浸水リスクマップが、住民にとって理解しやすい指標とするため、現行の浸水深による表現だけでなく、住民意識調査でのキーワード(床上浸水、身近な洪水、浸水頻度)を参考に、浸水リスクの認知度を向上するための適切な表示方法について検討した。図-1に浸水リスクマップを示す。

1.4 リスク情報の提示内容改善効果の検討

浸水リスクマップ(浸水頻度)の効果を把握するため、同様に1.2の浸水解析モデルで作成した浸水深マップの期待被害額との差分を比較した(期待被害額は、図2に示す人口分布推計モデルから各々のマップ(浸水深、浸水頻度)を提示した場合の将来推計結果より算出)。その結果、期待被害額の差分は134百万円(0.5%減)となり、浸水頻度マップの方が浸水深マップよりも微小ではあるが期待被害額が低い結果となり、浸水頻度をリスク情報として提供することは有効である可能性が示唆された。

2. 将来人口・資産分布の推計手法の構築

2.1 モデルの枠組み

応用都市経済(CUE)モデルをベースとし、転居意思有りの世帯に対して住

表-1 解析条件

外力条件 (降水量)	A.内水はん濫	B.複合はん濫(破堤)		C.同時破堤 はん濫
		常願寺川	神通川	
解析雨量 (H20.8降雨)		地点雨量 (S44.8降雨)	地点雨量 (S40.6降雨)	地点雨量 (S40.6降雨)
	5km格子	ティーセン分割	ティーセン分割	ティーセン分割
はん濫 条件	内水	○	○	○
	外水	-	○	○
解析領域	富山市 (中心市街地)	常願寺川流域	神通川流域	常願寺川・神通川流域
解析解像度	50mメッシュ			
解析手法	はん濫原：平面二次元不定流解析(支川、水路、連続盛土 考慮) 河川：一次元不定流解析(破堤、越水 考慮) 流出域：貯留関数法(貯留施設 考慮)			

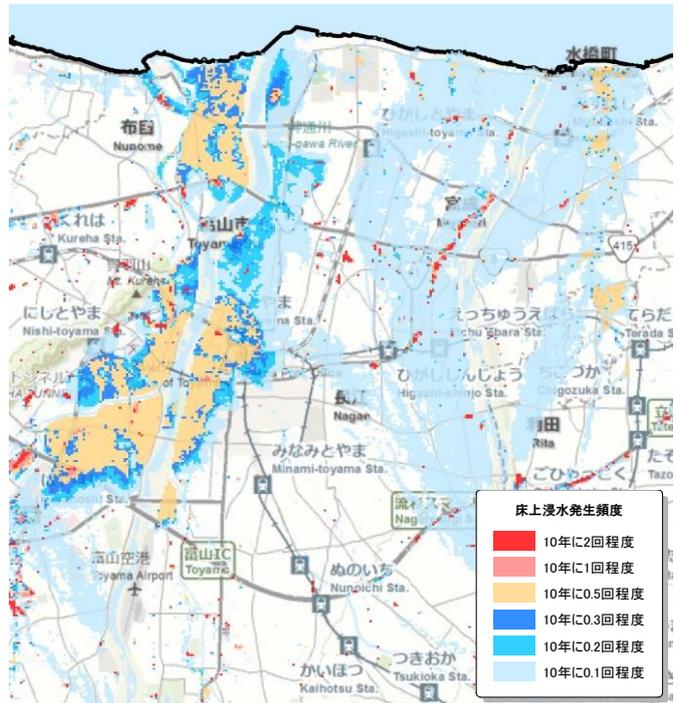


図-1 浸水リスクマップ(案)

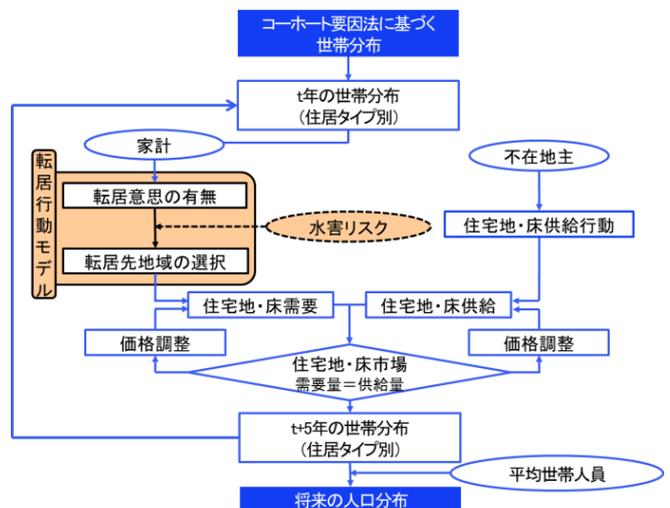


図-2 人口分布推計モデルフロー

居タイプ別に需給均衡を定式化し、水害リスクを考慮した将来時系列の人口分布変化が推計可能なモデルを構築する(図-2)。

2.2 モデルの枠組み

構築したモデルにより 2065 年まで推計した結果、呉羽山公園周辺や富山駅周辺、井田川・神通川合流部など、浸水頻度の高い地域では世帯数の減少傾向が確認でき、水害リスクを一定程度反映したモデルを構築できた(図-3)。

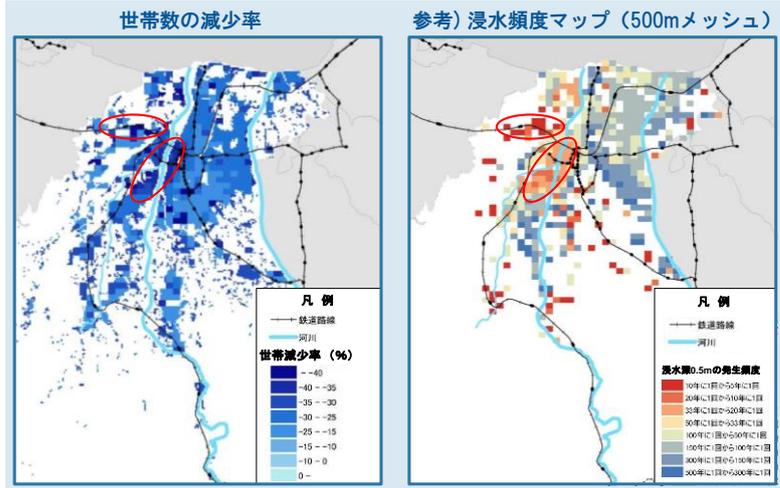


図-3 2010年から2065年にかけての世帯増減率

3. 都市施策オプションの検討

以下の視点から「施策オプション」を設定する。

【視点1：規制オプション】

- ・水害リスク存在下での市街地の拡大を抑制する観点から、「まちをたたむ」範囲での新たな居住を制限する方向性の施策を与える。

【視点2：誘導オプション】

- ・市街地の集約化や高密度化を図りたい範囲への居住を誘導する方向性の施策を与える。

【視点3：認知オプション】

- ・市民の水害リスクへの理解を高めることで、転居時の水害リスク回避を促す方向性の施策を与える。

3.1 規制オプションの条件設定

富山市都市マスタープランを参考とし、今後想定する人口分布の変化(縮退)範囲を規制範囲(図-4)として、新たな転居を抑制する。

3.2 誘導オプションの条件設定

富山市都市マスタープランで「都心」および「地域生活拠点」とされる範囲、もしくは将来推計結果 2035 年時点において DID(人口集中地区)の人口密度を有する範囲を誘導範囲(図-5)とし、当該地域への転居に対して助成金を与える。

3.3 認知オプションの条件設定

浸水深マップを見たことがある住民のアンケート結果を用いて転居行動モデルのパラメータを再推定することで設定する。

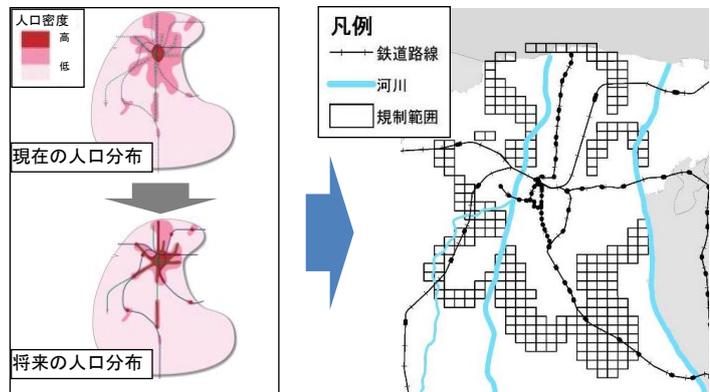


図-4 規制オプションの適用範囲

4. 河川施策の検討

4.1 整備目標(対象外力)

将来の治水対策のあり方を検討する際の整備規模は河川整備計画レベルの次のステップである基本方針レベル(W=1/150年)を扱うものとし、整備目標は3.3で設定した「誘導範囲(=守るべき地域)」に対して概ね床上浸水解消を目指すものとする。



図-5 誘導オプションの適用範囲および助成金の設定

4.2 河道対策および氾濫原対策の検討

守るべき地域の地形・浸水特性に応じた床上浸水被害を軽減するための減災対策を検討する。

(1)河道対策

河道対策は基本方針レベルの流量（W=1/150年）に対して破堤しない堤防整備を考える。河道対策の整備範囲は全川ではなく、守るべき区域において浸水低減効果の高い重点区間を対象とする。整備区間延長および管理区間に対する比率は、神通川で L=5.1km(11.5%)、常願寺川では L=5.2km(12.1%)である。ここで、破堤しない堤防整備とは、便宜的に「従来の河川整備のうち急流河川対策のみ+越水に対して粘り強い堤防構造（川裏法面や法尻部等をコンクリート等で被覆）」と定義した。

(2)氾濫原対策

守るべき地域において、概ね床下浸水まで低減させる氾濫原対策を検討する。氾濫原対策は当該地域の地形特性や浸水特性を踏まえて、二線堤の整備、既設水路の拡幅、排水施設の整備などの既設施設を最大限活かした整備内容とし、現実的な施設規模とする。

4.3 河道対策および氾濫原対策の効果

2065年時点の都市立地条件（人口・資産）を用いて、a)浸水状況、b)資産被害、c)人的被害の観点から、従来の河川整備との違いを比較整理し、河道・氾濫原対策の治水効果を確認する。ここでは、資産被害の一例を記載する。

守るべき地域における期待被害額（年平均被害額、W=1/5～1/500）は、対策前の17,200百万円に対して、従来の河川整備では14,200百万円、河道・氾濫原対策では13,900百万円とほぼ同じとなる。

一方で、確率規模別の資産被害額の変化については、図-6に示すとおり、河道・氾濫原対策では中頻度洪水から被害が発生するが、超過外力時には従来の河川整備の半分程度まで被害は減少する。また、河道・氾濫原対策の守るべき地域の被害額は、それ以外の地域に比べて小さく推移しており、被害軽減効果の高いことが確認できる。

以上より、大規模洪水を含めて水害リスクを低減させるには、メリハリをつけた河道整備と洪水氾濫を前提とした氾濫原対策による多重防衛が有効であるといえる。

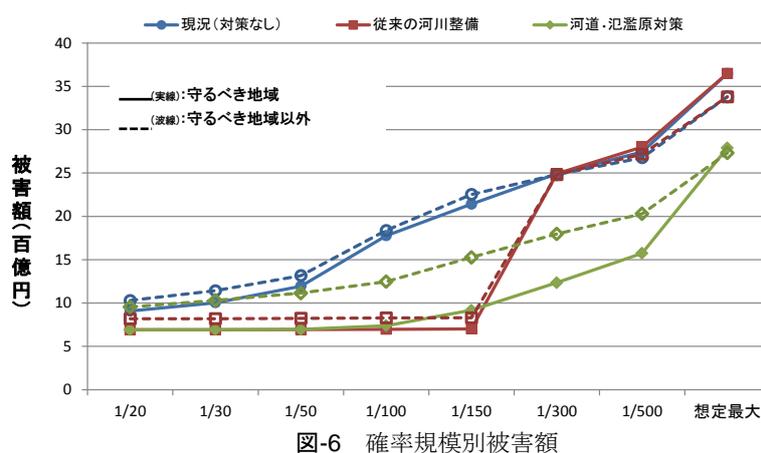


図-6 確率規模別被害額

5. 連携施策の可能性検討

本研究では、計画規模以上の外力も含めた幅広い洪水規模を対象として施策検討を行うため、純便益の最大化を目指した施設規模・内容を設定することが好ましいが、従来、そして、今後の河川事業との関係上、不十分な純便益の最大化、すなわち、不十分なリスクコストの最小化による評価では、不都合が発生する可能性がある。

このため、連携施策の効果検証においてはリスクコストの相対比較を行う。リスクコストの相対比較に基づき、河道・氾濫原対策と都市施策の連携について、望ましい方向性を考察する。

$$\text{リスクコスト} = \text{対策の費用} + \text{対策後の期待被害額}$$

5.1 算定条件

評価時点は2015年とし、評価期間は河川整備期間（30年間仮定）後50年間を含め、2015年～2115年とする。なお、リスクコストは社会的割引率（4%）により現在価値換算を行い評価期間内の合計値とする。対策費用は河川事務所提供資料から設定し、期待被害額は1/5年・1/10年・1/20年・1/30年・1/50年・1/100年・1/150年・1/300年・1/500年を対象確率規模として治水経済調査マニュアルに基づき算定する。

5.2 連携施策のリスクコスト比較

リスクコスト算定結果を図-9に示す。基本方針レベル（W=1/150年）の流量に対して、誘導範囲内の床上浸水及び他の地域の床上・床下浸水の発生を許容している河道・氾濫原対策では、全地域の破

堤氾濫による浸水をゼロとする従来河川整備に比べて期待被害額は増加するが（図-10）、守るべき地域での限定した対策内容により費用が抑制されリスクコストは低くなる。

都市施策については、規制、認知、誘導の順でリスクコストが少ない結果となった。リスクコスト算定に用いる期待被害額の分布状況（図-11～図-13）から、規制オプションは比較的市街地が広がった都市に効果的であり、誘導オプションは河道対策・氾濫原対策と併せることで、ある程度集約化が達成されている都市に効果的である可能性が示唆された。

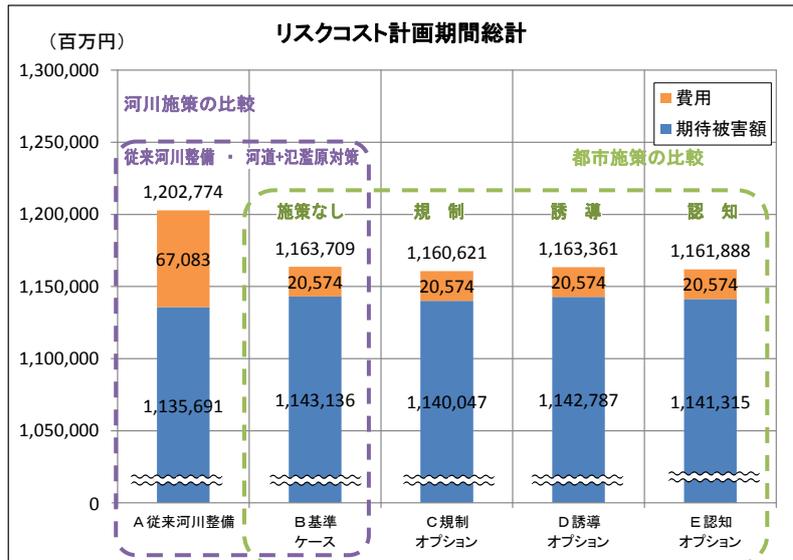


図-9 連携施策のリスクコスト比較 (百万円)

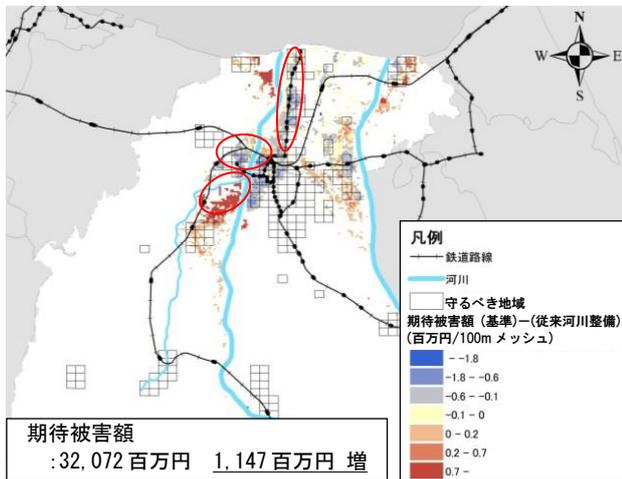


図-10 河道対策・氾濫原対策を行った場合の期待被害額差分の分布 (基準ケース) - (従来河川整備)

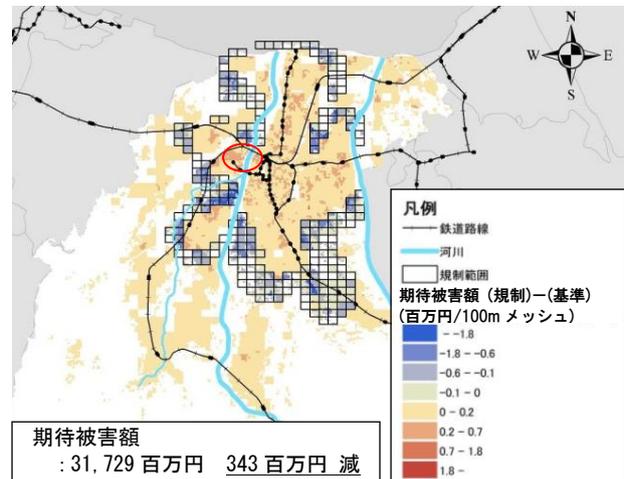


図-11 規制オプションと連携した場合の期待被害額差分の分布 (規制オプション) - (基準ケース)

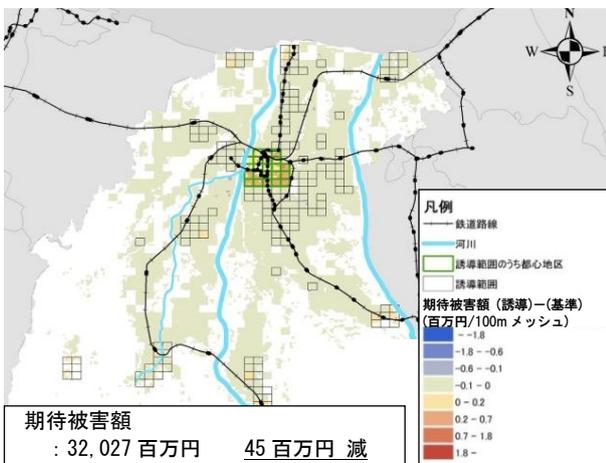


図-12 誘導オプションと連携した場合の期待被害額差分の分布 (誘導オプション) - (基準ケース)

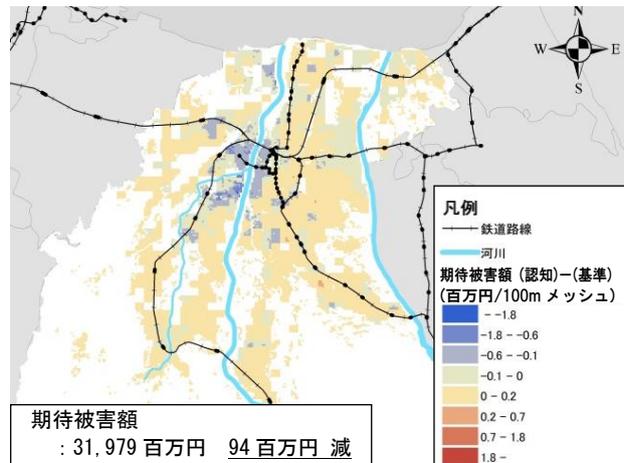


図-13 認知オプションと連携した場合の期待被害額差分の分布 (認知オプション) - (基準ケース)

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)

(研究論文)

- ・ 水害リスクを考慮した土地利用施策評価のための将来時系列の人口分布推計モデルの開発, 都市計画論文集, 50(3), 2015
- ・ ソフト施策による水害リスク軽減対策が将来の都市内人口分布に与える影響分析, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol. 72, 2016(登載決定)

(学会発表)

- ・ 水害リスクを考慮した土地利用施策評価のための将来の人口分布推計モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, 2014
- ・ 水害リスク提示内容の違いが将来の人口分布に与える影響の評価手法, 土木計画学研究・講演集, Vol. 52, 2015

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。)

- ・ 特になし

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。)

- ・特になし

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道路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。)

(今後の課題)

- ・本研究で構築した将来人口・資産分布推計モデルは、「単位地域の設定」、「対象地域外からの転入」、「効用関数」に課題があると考え。本モデルでは単位地域を500mメッシュとしたが、追加調査等を行い単位地域の設定について精査する必要があると考え。次に、本モデルでは対象地域外からの転入を一律としたが、域外からの転入が将来の人口分布に及ぼす影響は小さくないと思われるため改良の余地があると考え。また、本研究では浸水深と浸水頻度という異なる水害リスク情報に対して、それぞれの効用関数を推定したが、それらを同時に包含する関数の定式化が望ましいと考え。さらに、効用関数のパラメータ推定において、一部有意なパラメータが得られず使用できなかったことから、推定に用いるプロファイルアンケートでのリスクの表現方法は課題と言える。
- ・純便益基準に基づく物理的防御レベルの設定では、純便益が非負となる範囲が効率性基準を満たす物理的防御水準の範囲となる。しかし、純便益算定精度を向上させる必要があるとともに、純便益規模が縮小する近未来に対して、事業の落としどころを考えていく必要がある。
- ・「守るべき地域」に人口・資産を誘致した場合、ある特定時期の高齢者が増加し、例えば、LIFESim等で死者数を算定した場合、現況よりも死者数が多くなる可能性が考えられる。これらのタイミングにも留意し、経年的に人口・資産・被害額等を捉え、連携施策を検討していく必要がある。
- ・破堤しない構造を有する堤防設置が難しい場合も、破堤確率を小さくする(破堤を遅らせる)方法は現在も検討が進められている。これらの効果を見込むだけでも地先のリスクは低減すると考えられる。このため、堤防のフラジリティをリスク評価に見込む必要があると考え。

(今後の展望)

- ・内水、洪水、高潮、土砂災害を対象とした水災害のリスク評価手法の検討、また、住民理解に着目した従来の紙媒体にかわるICT活用による災害リスク情報提供のあり方について検討していきたい。
- ・住民は水害リスクの程度(頻度や大きさ)によってリスク認知の度合いが異なると思われるため、それらを考慮した将来人口・資産分布モデルを検討していきたい。また、その前段として、提供すべき頻度情報の閾値の適正化についても、更なる検討を進めたい。
- ・既存都市の成立条件(氾濫原の資産分布状況)により、「守るべき地域」の設定が異なると想定される。また、各都市の転居時の移動条件等も異なることが想定される。今後は、富山市とは異なる都市成立条件・地域での検討を進め、連携施策の適用範囲等を明確にしていく必要がある。
- ・将来人口・資産分布の変化により、現在の治水経済調査マニュアル(案)による事業評価では事業の妥当性を証明することが難しくなると考えられる。本研究で用いたCUEモデルとは言わないまでも、簡便化した人口・資産分布推計モデルにより将来の事業効果を確認する等の新たな事業評価手法が必要になると考えられる。
- ・本研究では富山市を対象に水害リスク軽減対策を実施したが、複数の適用事例(他地域での検証)を通じた河川・都市行政の連携にあたっての法制度上の課題、さらにはリスクファイナンス等の新たな手法の適用等について検討していきたい

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、河川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。)

- ・本研究で提示した浸水頻度マップ(新たな浸水リスクマップ)は、浸水深マップ(現行の浸水想定区域図で示す浸水リスク情報)に比べて、期待被害額が若干低減される結果となり、頻度情報が有効である可能性が示された。今後の水害リスク評価および情報提供のあり方を検討する際の基礎資料になると考える。
- ・将来の曝露人口を推計することで、社会資本の長寿命性を考慮した時間軸として、社会資本投資の効果を定量的に評価することが可能となる。水害は、社会資本投資によってその災害レベル自体が高下することが特性の一つであり、想定される水害リスクが時間軸の中でどう変化するかを示すことは、「どの時点のどのような水害リスクを目指した(前提とした)まちづくりを進めるか」の基礎情報の一つとなる。時間軸における整備効果の発現の変化を都市再度に提供する工夫も重要と考える。
- ・本研究では富山市を例に、将来の人口・資産分布に基づく水害リスク軽減対策を検討し、河川行政と都市行政の役割分担とその効果を明確にした。これからの時代は、河川管理者以外の管理者との共働等による治水対策が不可欠となり、この成果はその検討の基礎資料になると考える。