

将来の都市構造を考慮した 水害リスク軽減対策に関する研究

石徹白 伸也¹・天方 匡純²・高森 秀司³・
島田 高伸⁴・神永 希⁵・杉本 達哉⁶・佐藤 徹治⁷

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)
E-mail: itoshiro@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)
E-mail: amakata@yachiyo-eng.co.jp

³正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1-4-70)
E-mail: takamori@yachiyo-eng.co.jp

⁴非会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄町2-9)
E-mail: tk-shimada@yachiyo-eng.co.jp

⁵正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)
E-mail: kaminaga@yachiyo-eng.co.jp

⁶正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)
E-mail: tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp

⁷正会員 千葉工業大学教授 創造工学部都市環境工学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)
E-mail: tetsuji.sato@it-chiba.ac.jp

我が国の社会情勢や気象条件が変化するなか、日本総体としての生産性の維持・向上が大きな課題であり、水害による経済的・社会的リスク等を軽減した都市構造再編も考えられ得る対応策の一つである。本研究は、複数河川と内外水の氾濫リスクを想定し、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して、富山市のコンパクトシティ施策を前提とした連携方策について検討した。その結果、連続堤防による完全治水ではなく、守るべき地域による浸水深軽減（河川）、立地適正化（都市）が有効な施策となり得ることを確認した。更に、将来の人口分布変化を念頭に置いた効率的な河川施策の実現可能性や、都市施策の適用による被害低減の可能性を示した。

Key Words : *multiple simultaneous flood events, evaluation of flood risk, delivery of risk information, locational equilibrium model, future estimates*

1. はじめに

わが国の社会資本整備への投資比率の減退が予想されるなか、人口規模に適した都市のあり方として様々なダウンサイジング論がある。一方で、水害に関しては、気候変動等による超過外力や局所的豪雨の発生頻度の高まりが懸念されている。このように、社会資本整備の前提条件が大きく変化し、グローバル化が一段と進むなか、日本総体としての生産性の維持・向上が大きな課題となっており、可能な限り水害による経済的・社会的リスク等を軽減することも考慮しつつ、都市構造の再編を促す

必要がある。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り、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。水害に対するリスク情報が十分に反映されて安全性がより高い将来像を描くためには、今後の都市構造と浸水リスクとの関係を紐解き、河川施策と都市施策が連携した

対策の有効性を検証することが重要である。

ここで、浸水リスク情報の一つである洪水ハザードマップの多くは、浸水想定区域図マニュアル¹⁾による浸水深情報をベースに作成されており、避難情報としてのある一定の効果が確認されている²⁾。一方で、浸水深以外のリスク指標による記載例は少なく、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新たなリスク情報内容の検討も必要であると考え。

また、氾濫原における浸水軽減対策の効果分析を行った既往研究として、秋山ら³⁾は遠賀川飯塚市街地において複合氾濫を対象に、池内ら⁴⁾は利根川・荒川流域において大規模水害時を対象に浸水被害軽減効果について評価している。一方、水害リスクと土地利用の関係性から都市施策の効果分析を行った既往研究として、寺本ら⁶⁾は大阪府の寝屋川流域等において土地利用規制の適用性について、今井ら⁷⁾は、富山市を対象に移転誘導・転入規制・水害リスク理解度向上についての効果分析を行っている。以上のように、河川施策と都市施策を個別で評価した事例は多くあるが、両施策を総合的に扱った事例は少ない。なお、行政による先進的な事例としては滋賀県の流域治水の推進に関する条例⁸⁾があり、河川施策と土地利用規制等によって被害最小化を図る取り組みが進められているが、今後は将来の人口分布変化を念頭にといった施策効果の検証が望まれる。

以上を踏まえ、本研究では現行の浸水想定区域図を用いた場合と本研究で提示する複数の外力条件を踏まえたリスクマップを用いた場合で、将来の立地選択行動の違いから新たなリスク情報の有効性と、今後の都市構造検討における浸水リスクの重要性について確認する。更に、将来の都市立地選択（人口分布）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。

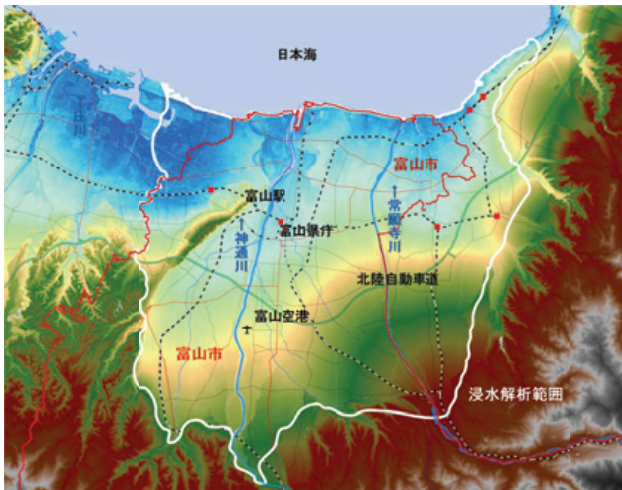


図-1 研究対象範囲（浸水解析）

2. 新たな浸水リスク情報の提示

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算定し、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。

(1) 研究対象地域

本研究の対象は、神通川と常願寺川に挟まれた扇状地にあり、コンパクトシティのトップランナーである富山市とする。なお、水害リスクの評価範囲（氾濫解析）は、常願時川と神通川の氾濫原及びその周辺を対象範囲とする（図-1）。また、人口・資産の将来推計は、富山市全域を対象とするが、現在の居住実態等を踏まえ山間地等は対象外とする。

(2) 対象とする外力規模

地先の浸水リスク評価は、高頻度から低頻度までの起こりうる可能性のある洪水すべてを対象とする。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。また、洪水規模の刻みは、内水発生頻度、河川整備計画の目標年や都市構造を考える際の一つの目安（都市マス更新年、一世代等）を参考に1/5、1/10、1/20、1/30、1/50、1/100、1/150、1/300、1/500年を設定した（図-2）。

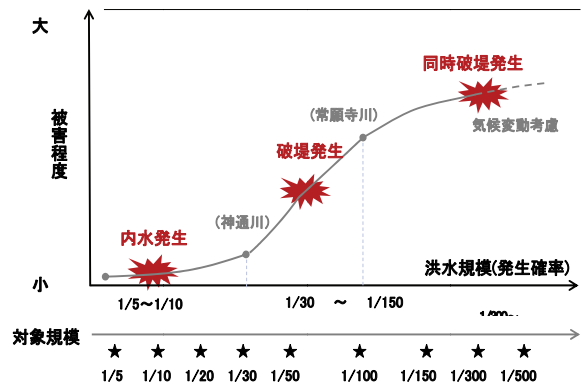


図-2 外力規模

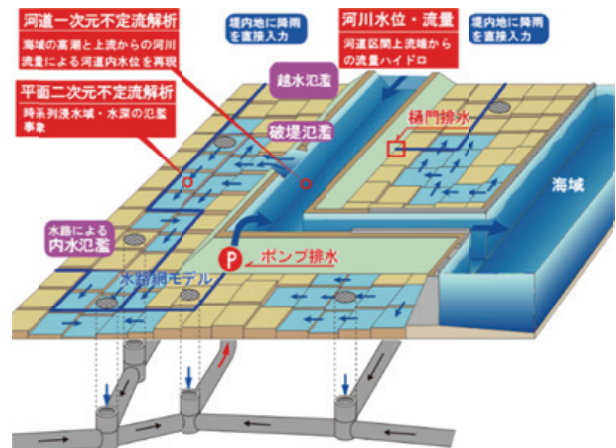


図-3 複合型氾濫解析モデルの概念図

(3) 氾濫解析モデル

氾濫解析モデルは、内水や河川洪水などの浸水過程を一体的かつ連続的に表現可能な複合型氾濫解析モデルを採用し、氾濫流を阻害する二線堤、連続盛土及びボックスカルバート、主要支川、内水処理システムをモデルに組み込んでいる（図-3）。内水処理システムは地表メッシュに配置したマンホールとそれを結ぶ下水道管から構成され、流末はポンプ施設もしくは排水樋門を介して河川や海域へ排水される。下水道管は、管径1~2m以上の幹線管渠を基本とし、都市機能が集約する富山駅周辺の松川排水区については、管径60cm程度までの枝線管渠及び貯留管をモデル化している。モデルの妥当性は、富山市内水ハザードマップ⁹⁾に掲載の過去の浸水履歴を参考に確認した。なお、河川洪水は一次元不定流解析で追跡し、流出域からの流量は貯留関数法により算出している。

(4) 浸水解析の実施

a) 解析条件の設定

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、超過洪水の一つであるC.同時破堤氾濫を考える（表-1）。外力条件として、内水と外水氾濫に寄与する降雨特性に違いがみられたことから、A.の解析では局所的豪雨を捉えるため解析雨量（5km格子）を用いる。B.とC.の解析では河川整備基本方針^{10,11)}の計画降雨波形を用い、また、破堤に至るまでに発生しうる支川等の内水氾濫を加味する。

なお、地先の浸水リスクを評価する場合には、同一の河道内水位に対して破堤する/しないの破堤確率を考慮する必要があるが、本研究では氾濫シミュレーションマニュアル¹²⁾と同様に特定水位に達した際には必ず破堤するものとして扱い、想定浸水区域は内水氾濫及び各河川の想定破堤地点毎の氾濫解析結果の最大値により作成される。また、C.の同時破堤も複数地点による破堤確率の

表-1 解析条件

	A 内水氾濫	B.内外水複合氾濫(破堤)		C.同時破堤 氾濫
		常願寺川	神通川	
外力条件 (降水量)	解析雨量 (2008.8降雨)	地点雨量 (1969.8降雨)	地点雨量 (1965.6降雨)	地点雨量 (1965.6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
氾濫 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	氾濫原：平面二次元不定流解析(支川、水路、下水道、ポンプ、盛土等)			
	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)			

課題はあるが、便宜的に考慮しないものとして扱うものとした。

b) 内水氾濫シミュレーション

富山市では過去に、家屋浸水や道路冠水などの内水被害が発生している。内水被害規模は破堤に比べて小さいが発生頻度が高く、本研究の浸水リスク評価には欠かせない。10年に一回程度の高頻度外力の浸水解析では、富山駅周辺の市街地において浸水地区が確認された。このような地区の浸水特性は、一つの外力(限定リスク)を扱った現行の浸水想定区域図では把握できないため、内水氾濫を含めた複数外力による浸水状況を評価し、地域固有の浸水リスク特性を知ることは重要である。

本シナリオの降雨外力は、近年の短時間降雨で浸水被害の最大であった2008年8月16日の降雨波形をベースに表-2に示す確率雨量まで引き伸ばしたものをを用いた。ここで、確率雨量は1988年~2013年(n=26)の降雨継続時間3時間の解析雨量から算出した(表-2の確率雨量は格子全体の平均値であるが、解析では格子毎に求めた確率雨量で引伸ばしている)。

内水解析では引き伸ばし後の解析雨量を氾濫原に直接与えて浸水過程を把握した。なお、河川流量は破堤氾濫が生じる流量よりも十分に小さいものとして平均年最大流量相当(神通川670m³/s、常願寺川280m³/s)を与えた。

表-2 確率雨量

生起 確率	堤内地 (内水) 全格子平均	神通川		常願寺川	
		実績降雨：S40年6月 2日雨量：128.2mm	実績降雨：S44年8月 2日雨量：460.4mm	実績降雨：S40年6月 2日雨量：128.2mm	実績降雨：S44年8月 2日雨量：460.4mm
	確率雨量 (mm/3hr)	確率雨量 (mm/2d)	引き 伸ばし率	確率雨量 (mm/2d)	引き 伸ばし率
1/5	19.3	153	1.191	225	0.489
1/10	25.3	178	1.392	276	0.599
1/20	29.0	203	1.584	328	0.713
1/30	30.7	217	1.694	361	0.783
1/50	34.8	235	1.833	403	0.875
1/100	39.2	259	2.020	463	1.005
1/150	40.6	273	2.128	500	1.085
1/300	46.9	297	2.314	566	1.228
1/500	50.3	314	2.450	616	1.339

表-3 確率流量

神通川		常願寺川	
基準地点：神通大橋		基準地点：瓶岩	
実績降雨：S40年6月 2日雨量：128.2mm		実績降雨：S44年8月 2日雨量：460.4mm	
生起確率	確率流量 (m ³ /s)	生起確率	確率流量 (m ³ /s)
1/5	3,900	1/5	2,000
1/10	5,300	1/10	2,500
1/20	6,600	1/20	3,000
1/30	7,300	1/30	3,300
1/50	8,200	1/50	3,700
1/100	9,400	1/100	4,200
1/150	10,100	1/150	4,600
1/300	11,300	1/300	5,200
1/500	12,000	1/500	5,600

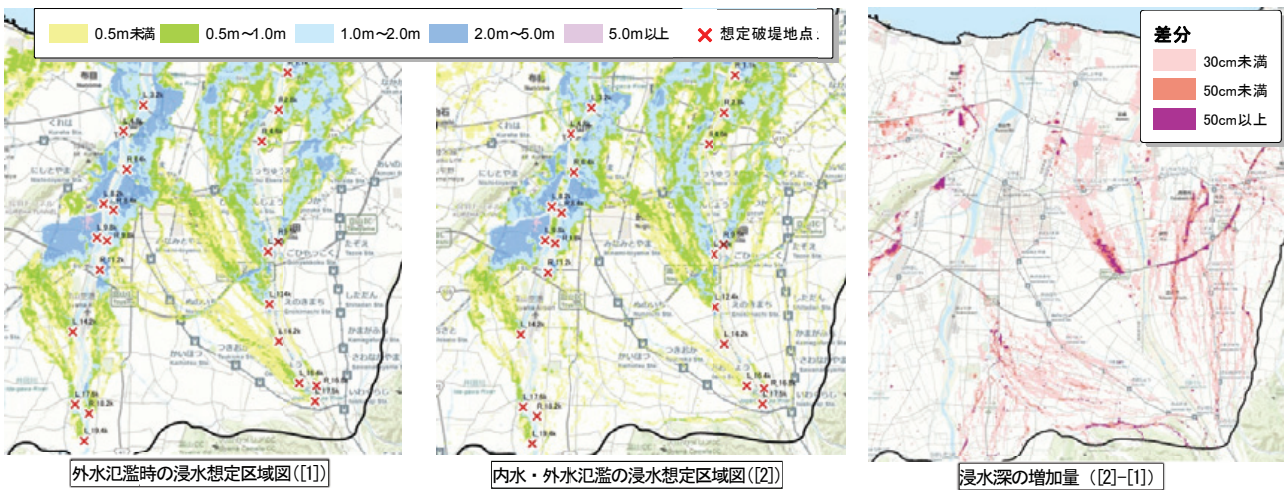


図4 内外水複合氾濫による浸水想定区域と増減量

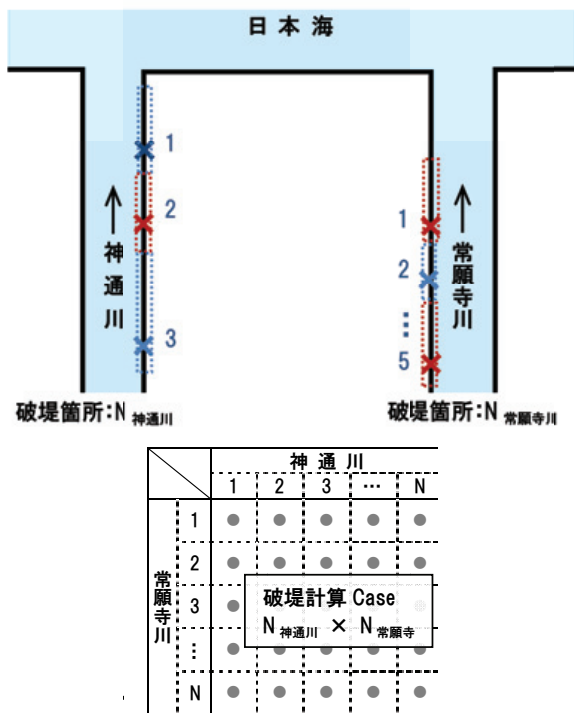


図5 同時破堤氾濫の組合せ解析イメージ

c) 内外水複合氾濫シミュレーション

現行の浸水想定区域図は本川の破堤氾濫のみを考慮したものであり、支川や水路等の排水不良による内水氾濫は考慮されていない。ただし、実際の洪水氾濫では、破堤に至る前に内水による浸水被害が生じる地域があり、これらの内水地区では現行の浸水想定区域図よりも被害の拡大が懸念されることから、複合氾濫現象を捉えることは重要である。

本シナリオの河川流量は、河川整備基本方針¹⁰⁾の計画降雨波形である神通川S40.6洪水、常願寺川S44.8洪水を表-2の確率雨量まで引き伸ばした流域平均雨量を入力として貯留関数法により算出した。基準地点における確率規模の河川流量は表-3のとおりである。氾濫解析では危険箇所（神通川：12箇所、常願寺川：10箇所）毎の

表-4 破堤箇所組合せ一覧 (W=1/500年)

		常願寺川破堤地点				
		L10k	L12.4k	L14.2k	L16.4k	L17.5k
神通川 破堤地点	R6.4k	●	●	●	●	●
	R8.4k	●	●	●	●	●
	R9.8k	●	●	●	●	●

注) W=1/5~1/300年では同時に破堤するケースはない

破堤氾濫に加え、破堤前の内水による浸水過程を考慮するために洪水氾濫と同様の降雨波形を氾濫原に直接与えて複合氾濫事象を表現した。

図-4は確率規模 (W=1/500年) での浸水状況を図示しており、支川沿いの内水地区では浸水深の増加がみられる。その増加量は30cmから50cm程度、場所によっては1m以上の増加が見込まれる。

d) 同時破堤氾濫シミュレーション

富山市の中心市街地が位置する低平地は、神通川と常願寺川との複合扇状地となっており、双方の河川が同時に氾濫した場合には、単独水系の氾濫被害よりも増加することが予想される。そこで、超過洪水の浸水リスク把握の一つとして、複数水系による同時破堤氾濫を実施する。

複数河川の同時破堤事象を扱うための河川流量は両河川の洪水に影響を与える強雨域の広い神通川の降雨波形 (S40.6洪水)を常願寺川にも適用した。本シナリオでは、各河川の氾濫挙動が相互に影響を及ぼし合うため、両河川の破堤地点の組合せ毎に浸水状況を把握するものとする。具体的には図-5に示すとおり、各河川において氾濫挙動の似通った区間毎に代表となる破堤地点を選定し、代表地点による組合せ解析 (破堤箇所数神通川×破堤箇所数常願寺川) を実施した。表-4に破堤箇所の組合せ一覧を示すとおりであり、同時に破堤する確率規模は1/500を超過した時点となる。

図-6の左図は複数水系による同時破堤での浸水状況であり、右図は単独水系の破堤よりも想定浸水深が増加したエリアを示している。神通川沿川では発生確率1/500年で同時破堤が生じ、浸水深の増加量は10cm程度と小さいがその影響は広範囲にわたる。なお、実降雨をベースとした本解析では神通川の破堤が常願寺川より早く、富山駅周辺での氾濫流の到達時間の違いは1~3時間であるが、仮に到達時間のズレが無ければ浸水深が数10cm程度増加すると想定される。

(5) 新たな浸水リスクマップの作成

a) 浸水リスクに対する住民意識の調査

リスクマップの作成にあたり、浸水リスクに対する住民意識を把握するため、富山市在住の世帯主を対象としたWEBアンケート調査を実施した。調査は2014年11月に大手WEB調査会社に依頼して実施し、600世帯から有効回答を得た。母集団（富山市全世帯）の比率の推計に際して信頼水準95%で必要なサンプル数は380程度であり、十分な回答数を得ることができた。

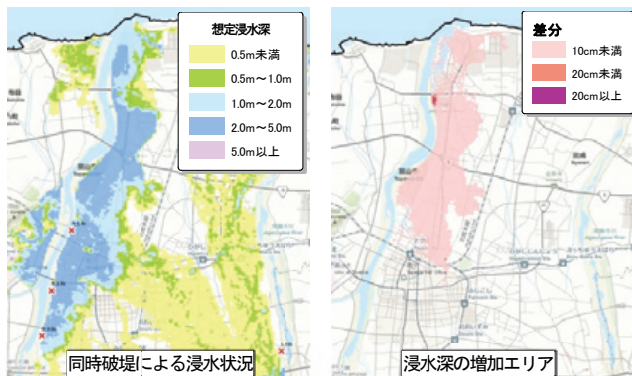


図-6 同時破堤氾濫による浸水想定区域

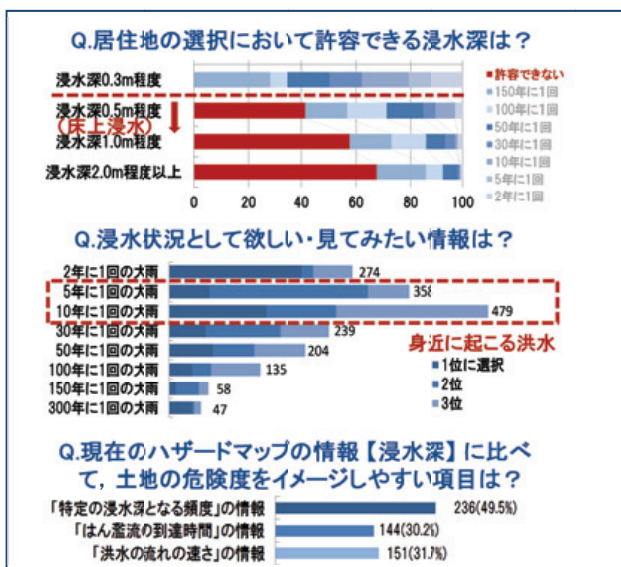


図-7 住民意識調査結果

アンケート結果の一部を図-7に示す。居住地選択の際に、50cm以上（床上浸水）の浸水深は許容できない割合が増加する傾向にある。次に、知りたい浸水情報としては、5年~10年に一回程度の身近に起こる洪水との回答割合が高い。また、浸水深の表示に比べて土地の危険度をイメージしやすい指標として、“浸水頻度”の回答割合が半数程度を占め、“氾濫流の到達時間”や“氾濫水の速さ”よりも関心が高い。

b) 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する。

作成にあたっては、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-8に浸水リスクマップを示す。本図は外水氾濫に加えて身近な洪水である内水の浸水状況を反映しており、地域住民の関心が高い床上浸水の発生頻度を示している。作図方法は図-9に示すとおり、2.(4)で解析した浸水シナリオ毎の浸水状況から、解析メッシュ毎に浸水深が最大となる浸水シナリオの値を抽出して、発生頻度と最大浸水深の関係を整理したうえで、床上浸水（浸水深50cm）となる発生頻度を推定した。なお、発生頻度は実感しやすさを考慮し、今後10年間に発生しうる回数として表現している。

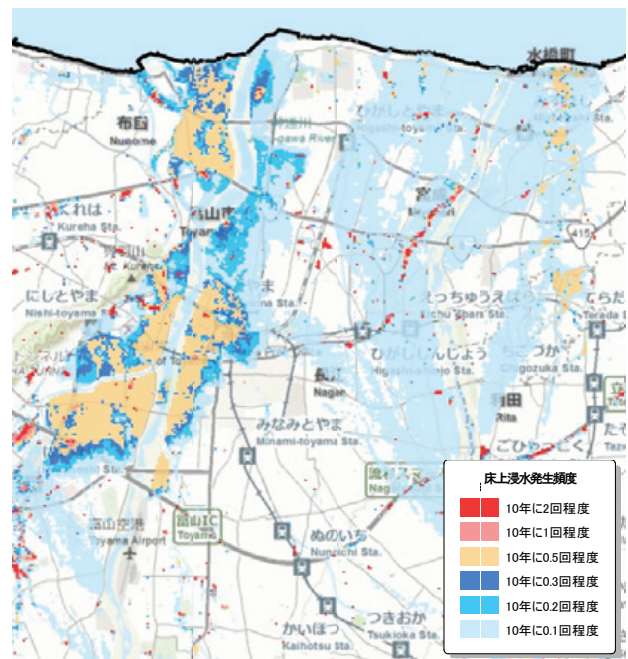


図-8 浸水リスクマップ（浸水頻度マップ）

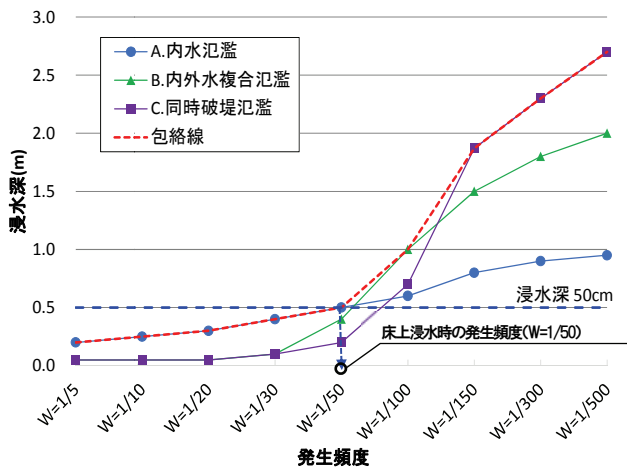


図-9 浸水リスクマップの作成イメージ

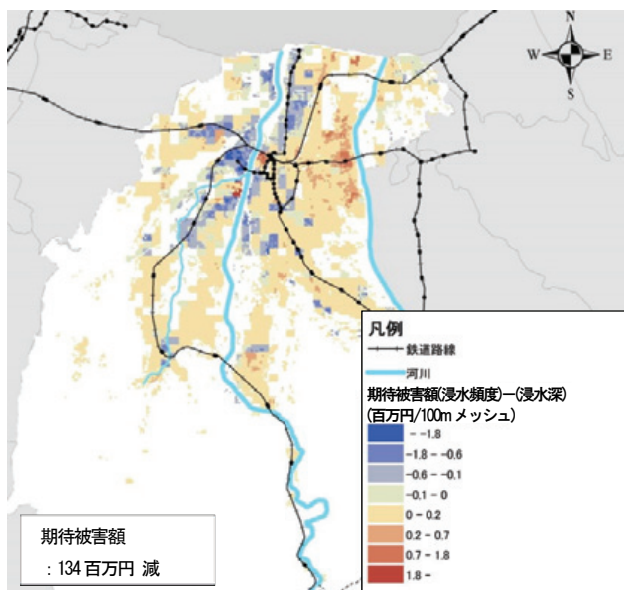


図-10 期待被害額差分の分布 (浸水頻度マップ-浸水深マップ)

(6) 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2.(3)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する。ここで、期待被害額は後述の3.(1)での人口分布推計モデルから各マップ (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する。なお、期待被害額の算定方法は4.(4)で後述する。

その結果、図-10に示すとおり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る。ただし、浸水頻度のみでは避難のタイミングや最悪の事態を想定できないため、現行の浸水深と併せて情報提供することが望ましいと考えられる。

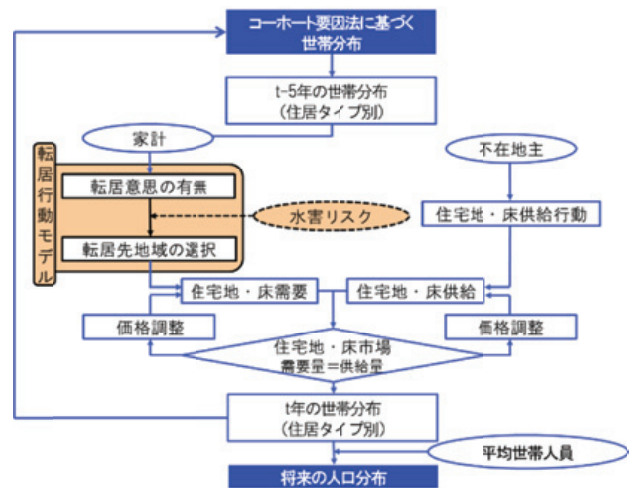


図-11 人口分布推計モデルフロー

3. 将来人口分布の推計手法の構築

長期間存在する社会資本整備の効果等の検討・検証には、人口・資産についても長期的な視点から将来推計を行い、リスクとの位置関係を検討することが有効である。そこで、浸水リスクの存在による人口・資産への影響を考慮した将来人口分布の推計手法を構築する。

(1) 将来人口分布推計モデルの構築

当該モデルの内容について以下に示す。なお、モデルの詳細は今井ら⁹⁾によるものと同様であるため、そちらに譲ることとする。

a) モデルの概要

転居意思のある世帯のみを対象に住居タイプ別に需給均衡を定式化し、水害リスクを考慮して将来時系列の人口分布が推計できるモデルを構築する (図-11)。ここで、対象圏域外に関連する社会増減、自然増減は、別途設定し ((2) a) 詳述)、対象圏域一律に外的に与えられるものとする。

モデル構築にあたっては、以下の仮定をおく。

- A) 対象圏域は1市町村とし、メッシュ単位のゾーン (単位地域) に分割されている。
- B) 各ゾーンにおいて、ゾーン内の施設へのアクセシビリティや地価等の価格は均質とする。
- C) 経済主体は、「家計」、「不在地主」の2主体とする。
- D) 家計は「転居意思の有無の決定」、「転居先地域の選択」の2段階での意思決定行動を行う。転居先地域選択に際しては、確率的な選択を行う。
- E) 不在地主は利潤最大化行動を行う。
- F) 市場は住居タイプ別に存在する。
「戸建 (持家・賃貸) : 住宅地市場」
「集合住宅 (分譲・賃貸) : 住宅床市場」

b) 家計の転居行動

転居意思の有りの家計の割合は、実態データ（H26年度プレアンケート調査結果）に基づき、5年あたり4.5%とする。各世帯の転居先地域の選択は、各転居先候補地域における効用水準を基に多項ロジットモデルで決定されると仮定する（式(1)~(2)）。

$$P_j^s = \frac{\exp(V_j^s + \tau_j^s)}{\sum_r \exp(V_j^r + \tau_j^r)} \quad (1)$$

$$V_j^s = a_j \ln(R^s) + b_{nj} \ln(Zn^s) + c_j \ln(\overline{FR} - FR^s) \quad (2)$$

ここで、 r, s はゾーン、 V ：部分効用水準、 τ ：部分効用以外の要因、 P_j^s ：住居タイプ j への転居を希望する世帯のゾーン s の選択確率、 R ：地代または家賃、 Zn ： n 番目の住環境評価項目、 FR ：水害リスク指標（浸水深もしくは浸水頻度）、 \overline{FR} ：定数、 a, b, c ：パラメータ。

式(2)のパラメータは、富山市在住の世帯主を対象とする居住地選択プロファイルアンケート調査の個票データを用い、コンジョイント分析法により推定した。ここで、プロファイルに用いた水害リスク以外の転居先地域選択の要因（効用関数の説明変数）は、本調査に先立ち実施したプレアンケート調査結果から選定した。なお、プロファイルアンケート調査では、回答のしやすさ等を考慮して地代の代理変数として地価を使用した。各調査の詳細については、今井ら⁶⁾に譲る。

以上の方法により推定した FR 別（浸水深もしくは浸水頻度）・住宅タイプ別の部分効用関数のパラメータを表-5、表-6に示す。各変数の単位が異なるため、各パラメータの大小関係から妥当性を検証することは困難であるが、 p 値より、一定の有意水準を満たし、統計的に概ね妥当な結果となった。

c) 住宅地・住宅床需要及び世帯数

各ゾーンの住宅地（集合住宅の場合は住宅床）の需要は、各ゾーンに転入する世帯数に1世帯あたりの住宅地（または住宅床）面積を乗じることで求められる。 t 年の住宅地（または住宅床）需要面積を式(3)、 t 年の世帯数を式(4)に示す。

$$Q_{j,t}^s = l_j^s \sum_r N_{j,t-5}^{*r} P_j^s \quad (3)$$

$$N_{j,t}^s = N_{j,t-5}^s - N_{j,t-5}^{*s} + \sum_r N_{j,t-5}^{*r} P_j^s \quad (4)$$

表-5 部分効用関数のパラメータ推定結果（浸水深）

	戸建			集合住宅 (50㎡)			集合住宅 (70㎡)			
	係数	t値	p値	係数	t値	p値	係数	t値	p値	
地価 (万円)	-0.68	-5.76	0.00	—	—	—	—	—	—	
家賃 (万円)	—	—	—	-5.80	-4.91	0.00	-4.35	-2.73	0.01	
所要時間 (分)	食品スーパー	-0.52	-7.16	0.00	-0.64	-2.93	0.00	-1.19	-3.98	0.00
	鉄道駅	-0.79	-9.99	0.00	-0.58	-1.99	0.05	-0.87	-2.16	0.03
	小学校	-0.71	-9.09	0.00	—	—	—	—	—	—
	町医者	—	—	—	-0.80	-3.53	0.00	-0.78	-2.42	0.02
想定最大浸水深 (m)	5.19	14.63	0.00	6.71	3.84	0.00	5.39	2.91	0.00	
N	1516			188			96			
対数尤度	-1335.06			-163.34			-80.72			

ここで、 r, s ：ゾーン、 Q ：住宅地または住宅床需要面積、 N ：世帯数、 l ：1世帯あたりの住宅地（住宅床）面積、 N^* は転居意思ありの世帯数。

ここで、1世帯あたりの住宅地（住宅床）面積に関しては、実際の不動産市場では住居タイプ別に固定的に供給される住宅地（住宅床）に対して家計が選択を行うケースが一般的であると考えられたため、住居タイプ別に外生的に与えられると仮定する。

d) 不在地主の住宅地・住宅床供給行動

不在地主の住宅地または住宅床供給行動については、一般的なCUEモデル¹³⁾と同様に、不在地主による住宅地（集合住宅の場合は住宅床）の供給行動を式(5)のとおり仮定する。

$$L_{j,t}^s = \left(1 - \frac{\delta_j^s}{R_{j,t}^s}\right) \quad (5)$$

ここで、 L ：住宅地または住宅床供給面積、 R ：地価または家賃、 δ ：パラメータ、 Y ：供給可能面積。

e) 住宅地・住宅床市場の均衡

住宅地・住宅床市場では、各ゾーンにおいて各住居タイプの住宅地（住宅床）需要面積と住宅地（住宅床）供給面積が一致するように住宅地・住宅床市場で価格調整が行われて均衡し、最終的に住居タイプ別に各ゾーンの立地面積が決定される（式(6)）。

$$L_{j,t}^s(R_{j,t}) = Q_{j,t}^s(R_{j,t}) \quad (6)$$

(2) 将来人口分布の推計

前述のモデルを用いて、以下の前提条件に基づき将来人口分布の推計を行う。

a) 将来推計の前提条件

推計期間は、推計に必要な基礎データである国勢調査人口¹⁴⁾の調査時点（2010年）及び河川整備期間（2015年から50年間と仮定）を踏まえて、2010年～2065年とする。対象圏域は、富山市域のうち、2010年度時点で世帯が存在する地域（平成22年国勢調査）とする。また、単位地域は世界測地系500mメッシュとする。

将来分布推計のリスク情報には「浸水深マップ」、 「浸水頻度マップ」の2種類を用いる（図-12、図-14）。

表-6 部分効用関数のパラメータ推定結果（浸水頻度）

	戸建			集合住宅 (50㎡)			集合住宅 (70㎡)			
	係数	t値	p値	係数	t値	p値	係数	t値	p値	
地価 (万円)	-0.30	-2.60	0.01	—	—	—	—	—	—	
家賃 (万円)	—	—	—	-5.92	-4.70	0.00	-2.96	-2.24	0.03	
所要時間 (分)	食品スーパー	-0.52	-7.60	0.00	-0.60	-2.30	0.02	-0.95	-3.39	0.00
	鉄道駅	-0.38	-4.93	0.00	-0.49	-1.90	0.06	-0.62	-1.85	0.07
	小学校	-0.36	-4.74	0.00	—	—	—	—	—	—
	町医者	—	—	—	-0.38	-1.46	0.15	-0.80	-2.74	0.01
床上浸水頻度 (回/年)	12.69	15.88	0.00	17.47	4.07	0.00	5.67	1.62	0.11	
N	1516			188			96			
対数尤度	-1335.06			-172.06			-86.57			

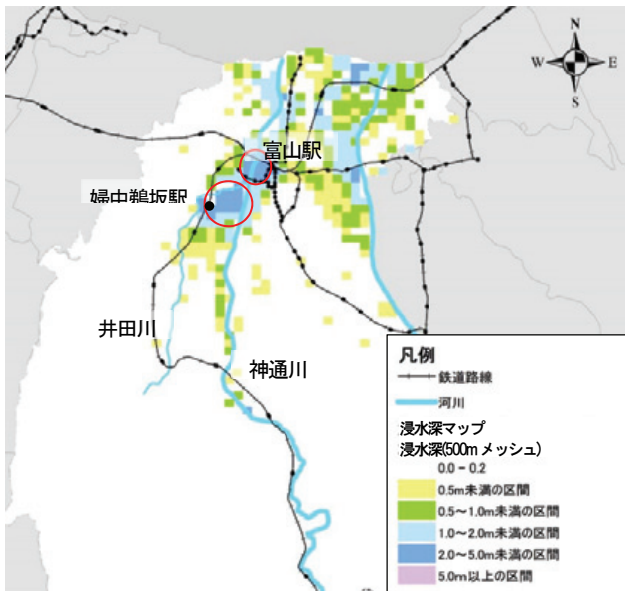


図-12 浸水深マップ

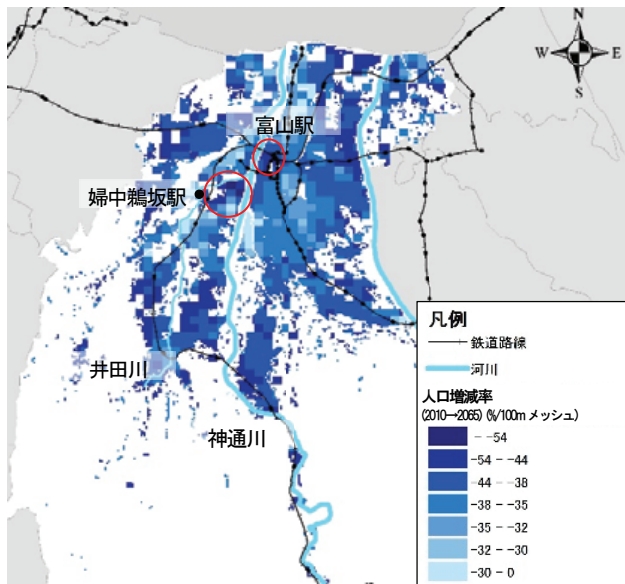


図-13 浸水深マップを提示した場合の経年人口増減 (2010年～2065年)

各リスク情報は2.(3)の浸水解析結果から、国土数値情報の土地利用細分メッシュ¹⁵⁾の建物用途に重なる箇所を抽出し、500mメッシュ毎に抽出箇所の浸水深・浸水頻度(0を除く)を相加平均して設定する。

ここで、対象圏域全体として外的に与える将来総世帯数は、国立社会保障・人口問題研究所の男女別年齢階層別人口¹⁶⁾(2040年)を基に、富山市の仮定値を使ってコーホート要因法及び世帯主率法により設定を行う(表-7)。

また、対象圏域外に関連する世帯数の社会増減(圏域外からの転入、圏域外への転出)、自然増減については、表-7から算出する対象圏域全体での世帯増減数($t-5$ 年

表-7 富山市の総人口・総世帯

	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年
人口	421,953	416,815	407,815	395,734	381,749	366,312
世帯数	159,068	162,265	162,605	161,150	158,302	154,322
平均世帯人員	2.65	2.57	2.51	2.46	2.41	2.37
	2040年	2045年	2050年	2055年	2060年	2065年
人口	349,870	333,327	316,824	299,641	281,657	263,151
世帯数	148,411	142,375	135,984	128,781	120,652	112,647
平均世帯人員	2.36	2.34	2.33	2.33	2.33	2.34

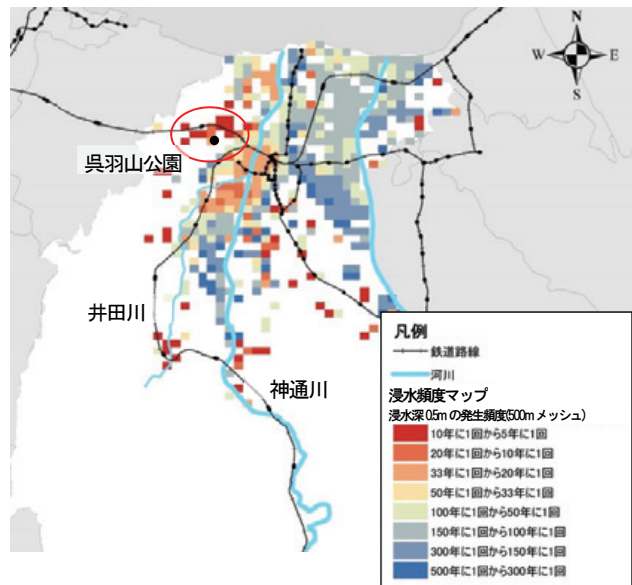


図-14 浸水頻度マップ

から t 年)を対象圏域内の社会増減後の世帯数(t 年)の割合で各メッシュに配分することにより設定する。実際には、圏域外からの転入者についても、各種施設までの所要時間や水害リスク等を考慮して転居先地域を選択していると考えられるが、圏域外からの転入者に対するアンケート調査が困難であること等から簡易的に設定する。

b) 将来推計結果

2010年～2065年の人口増減率(2065年値÷2010年値-1)をみると、浸水深マップを提示した場合の将来人口分布は、市街地縁部では強めの減少傾向、中心部周辺で比較的緩やかな減少傾向が確認できる(図-13)。富山駅周辺や井田川・神通川合流部等での強い減少傾向は、浸水深が影響したものと考えられる。ただし、婦中鵜坂駅と神通川の間は広い範囲で深めの浸水深であるが、人口減少の傾向は必ずしも一様ではない。その理由として、現時点の人口集積傾向等が影響した可能性が考えられる。同様に、浸水頻度マップを提示した場合の将来人口分布は、同じ地区でも浸水特性の違い(例えば、最大浸水深は小さいが頻度は高いケース等)や、内水を評価したことにより、浸水頻度を提示した場合のリスクの存在範囲

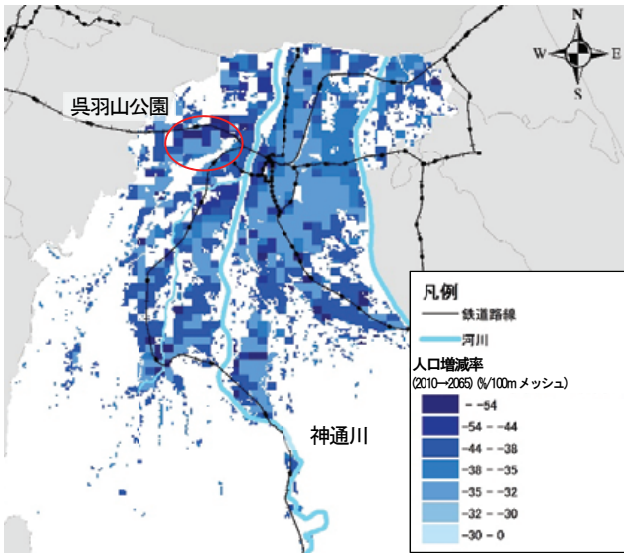


図-15 浸水頻度マップを提示した場合の経年人口増減 (2010年～2065年)

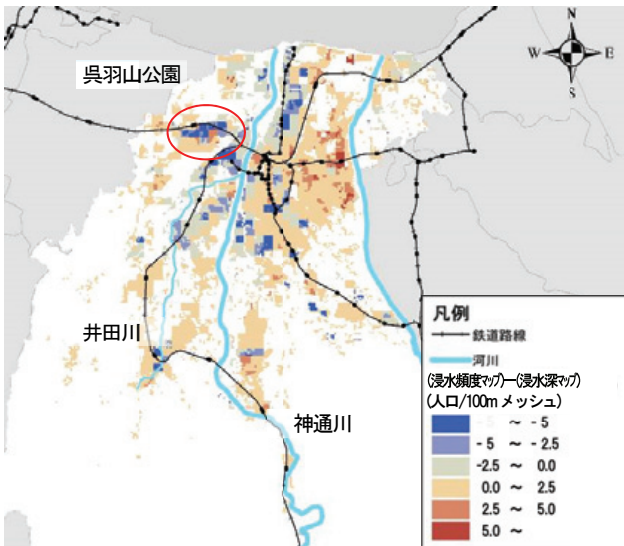


図-16 浸水頻度マップと浸水深マップの人口分布の差 (2065年時点)

が浸水深の場合より広がることで全体的に緩やかな減少傾向にあるが、市街地縁辺部での減少傾向は比較的弱まっている (図-15)。

2065年時点での浸水頻度マップ提示結果と浸水深マップ提示結果との差分をみると (浸水頻度値-浸水深値)、吳羽山公園周辺近等で減少傾向にある。浸水頻度は高く評価された地区であり、立地選択と浸水頻度の関係に一定の関係性が確認できる (図-16)。

以上より、浸水深や浸水頻度の高い地域では人口の減少傾向が確認できた。また、推計結果について、過去 (2000年～2010年) おおむね分布変化を捉えていることを確認した。

表-8 都市施策オプションの概要

施策オプション	内容
ア. 基準ケース	・施策を実施しないケースで、各施策オプションの比較対象とする。
イ. 規制オプション	・現時点での法制下においては、居住制限の条件に課題があることから、富山市の政策 (都市計画マスタープラン) によるコンパクトシティの方向性を踏まえた縮退を図る方向性とする。 【具体的な政策例】 逆線引き・農振指定等による「建替・更新の不許可 (既存不適格化)」
ウ. 誘導オプション	・イ同様、富山市都市計画マスタープランにおいて、「団子」とされる拠点の他、基準ケースの将来推計結果において、高密度な人口の集積が見られるエリアへの集積をより強める方向性とする。 【具体的な政策例】 移転に伴う費用助成
エ. 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により、水害リスクへの感度を高めた転居を促す方向性とする。 【具体的な政策例】 リスクコミュニケーションとしての「出前講座の開催や学校教育での防災教育の推進、防災訓練等の情報提供」等

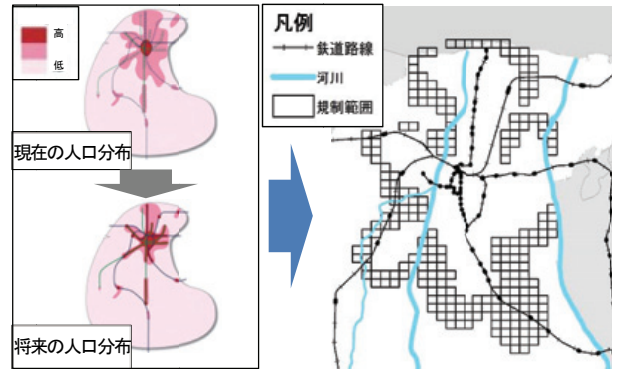


図-17 規制オプションの適用

4. 将来人口分布に基づく水害リスク軽減対策

都市施策・河川施策それぞれについて、その効果を分析・検討した上で、連携施策の可能性と水系治水・流域治水の今後のあるべき方向性を考察する。

(1) 都市施策オプションの概要

浸水頻度マップと将来人口分布推計モデルを用い、都市施策を行った場合の将来人口分布及び被害額に及ぼす影響を分析し、水害リスク低減策としての都市施策の可能性を検討する。ここで都市施策オプションは、規制・誘導・認知の3つを設定し、施策を実施しない基準ケースとの差分により施策の効果を検討する。表-8に各施策オプションの概要を示す。

a) オプション共通の条件設定

推計期間は、推計に必要な基礎データである国勢調査人口の調査時点 (2010年) 及び河川整備の計画期間を踏まえて、2010年～2065年とする。

将来人口・資産分布推計に用いる浸水リスク情報は、2.(3)で作成した浸水頻度マップとする。

期待被害額の算定方法は4.(4)で後述する。

b) 規制オプションの条件設定

規制オプションを適用する範囲は、富山市都市マスタープラン¹⁷⁾を参考とする。富山市都市マスタープランでは、現状の市街地に対し、今後の公共交通の活性化により、人口分布をより集約（高密度化）する方向性が示されているため、その変化（縮退）範囲を本研究での規制範囲とする（図-17）。

上記の適用範囲において、住宅地・住宅床面積の供給を制限し、新たな転居（新規立地）を抑制する設定とする。

c) 誘導オプションの条件設定

誘導オプションを適用する範囲は、以下の2つの条件から設定する。

- ・条件1：都市マスタープランにおける位置付け
- ・条件2：将来、一定以上人口密度を有する範囲

条件1は、富山市都市マスタープランで「都心」及び「地域生活拠点」とされる範囲（図-18）とする。

条件2は、基準ケースの将来推計結果2035年時点において、DID（人口集中地区）の人口密度（40人/ha=1,000人/500mメッシュ）を有する範囲とする。

上記の条件を満たす範囲（図-19）について、転居時の地代・賃貸費を助成して誘導を図る方向性とする。助成金の設定にあたっては、富山市による「まちなか推進事業¹⁸⁾」及び「公共交通沿線支援事業¹⁹⁾」を参考に設定する。

具体的には、都心地区においては「まちなか推進事業」を参考に、戸建持家で50万円、集合住宅賃貸で1万円/月とする。なお、戸建持家については50万円を平均土地面積（39 m²）で除した1,257円/m²を助成金として設定する。



図-18 都心及び地域生活拠点

都心地区以外の誘導範囲においては、「公共交通沿線支援事業」を参考に、戸建持家で30万円（集合住宅賃貸の補助金は0円）とし、30万円を平均土地面積（397m²）で除した754円/m²を助成金として設定する。

d) 認知オプションの設定

水害リスクに対する理解度を高める効果は、効用関数の浸水頻度に関するパラメータを変化させることで設定する。

パラメータ設定では、プロフィールアンケート調査において、設問のうち「洪水ハザードマップを見たことがある」と回答したデータのみを対象に、認知オプション適用時のパラメータを推定することを試みた。しかしながら、浸水頻度を含むプロフィールでは有意なパラメータ推定結果が得られなかった。そこで、浸水深を含むプロフィールを活用して認知前後の比を設定し、この比率を以て浸水頻度のパラメータを変化させて設定されることとした。以下に具体的な設定手順を示す。

- 浸水深を含むプロフィールを用いて、全データによるパラメータ推定（認知前）と「洪水ハザードマップを見たことがある」と回答したデータのみによるパラメータ推定（認知後）を行う。
- 認知前・認知後それぞれについて、地価または家賃のパラメータに対する浸水深のパラメータの比率を算定する。
- 算定した「認知前」の比率と「認知後」の比率により、認知前後の比率を算定する（表-9）。

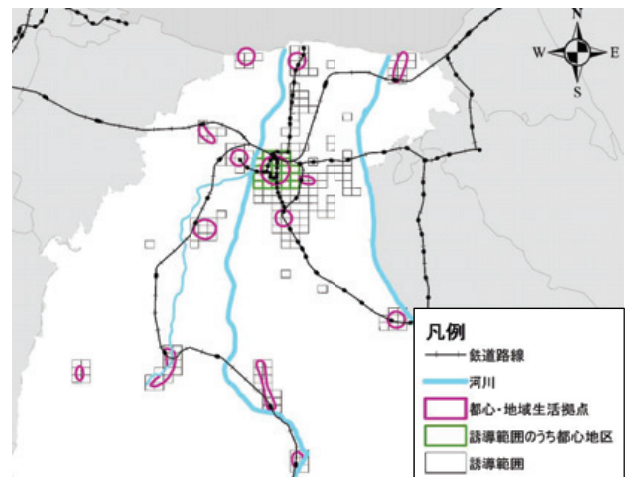


図-19 誘導オプションの適用範囲

表-9 認知前・認知後の地価または家賃に対する比率

	パラメータの比率（浸水深÷地価または家賃）	
	戸建て	賃貸
A：認知前	-7.60	-1.17
B：認知後	-13.98	-1.32
比（B÷A）	1.839	1.124

D) 浸水頻度を含むプロファイルを用いて、全データによるパラメータ推定結果に、C)の比率を乗じて、認知後の浸水頻度に関するパラメータを設定する(表-10)。

(2) 都市施策オプションの適用結果

a) 規制オプション

期待被害額は36,597百万円で基準ケースより207百万円減となり(図-20)，規制オプションを適用することにより期待被害額が低下した。メッシュ別に期待被害額の差をみると、規制範囲での期待被害額が低下し(特に井田川・神通川合流部の想定浸水深が深い地区)，その分、中心部(相対的に浸水深が浅い地区)で増加した。規制範囲に転居するはずの世帯が中心部に転居することを選択する挙動を示したものと想定される。

b) 誘導オプション

期待被害額は36,791百万円で基準ケースより13百万円減となり(図-21)，誘導オプションを適用することにより期待被害額が低下した。メッシュ別に期待被害額の差をみると、都心地区における期待被害額が増加し、それ以外の範囲で低下した。都心地区(浸水範囲内)では

表-10 誘導オプション適用時の効用関数のパラメータ推定結果

変数	戸建て	変数	賃貸50㎡	賃貸70㎡
地価	-0.30	地価	-5.92	-2.96
スーパー	-0.52	スーパー	-0.60	-0.95
鉄道駅	-0.38	鉄道駅	-0.49	-0.62
小学校	-0.36	小学校	-0.38	-0.80
浸水頻度	23.34	浸水頻度	19.64	6.37

賃貸世帯が特に増加しており、その影響と想定される。転居先の選択において、都心地区での賃貸への助成金の設定が強く影響する結果となったことが示唆される。

c) 認知オプション

期待被害額は36,513百万円で基準ケースより291百万円減となり(図-22)，認知オプションを適用することにより期待被害額が最も大きく低下した。メッシュ別に期待被害額の差をみると、富山駅西方等の想定浸水深・浸水頻度ともに高い地区での期待被害額が低下した。水害リスクを回避する傾向をより強めたことの影響と評価できる。

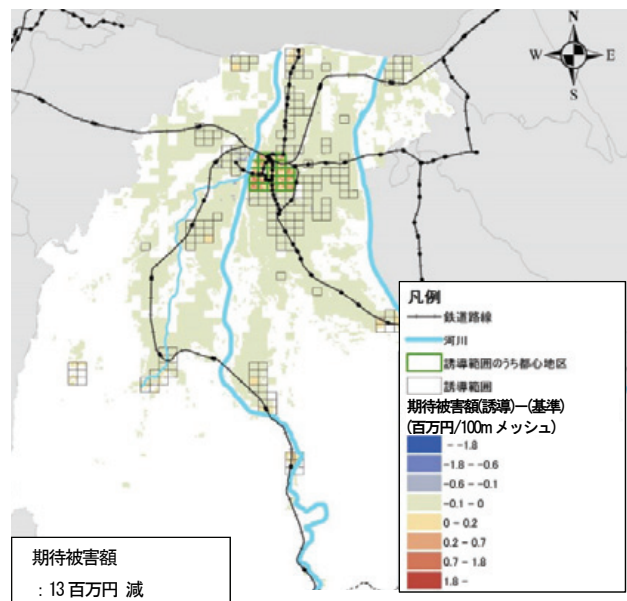


図-21 誘導オプションの期待被害額差分の分布(誘導オプション) - (基準ケース)

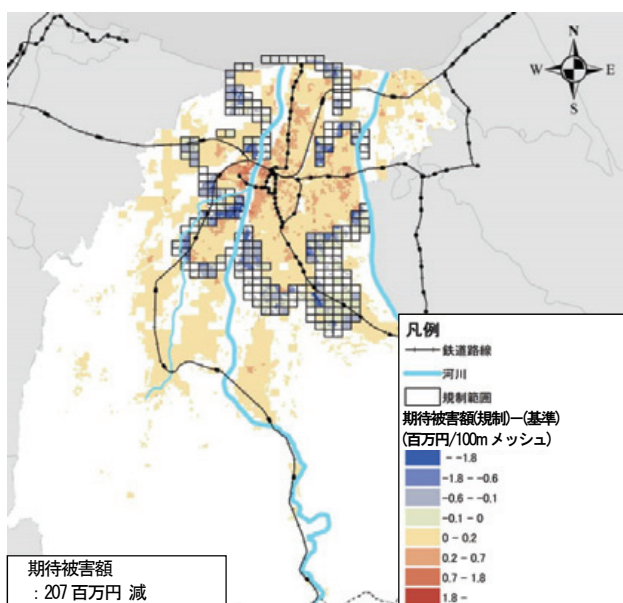


図-20 規制オプションの期待被害額差分の分布(規制オプション) - (基準ケース)

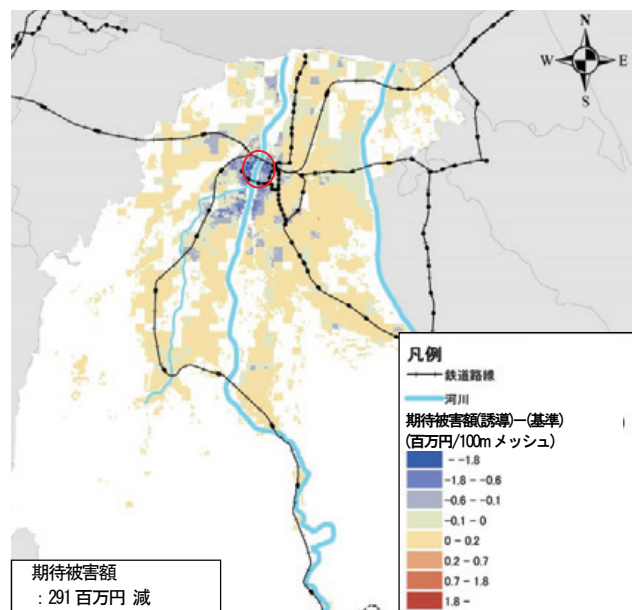


図-22 認知オプションの期待被害額差分の分布(認知オプション) - (基準ケース)

d) 都市施策の可能性検討

各施策オプションにおける期待被害額をまとめた結果を図-23、表-11に示す。

全ての施策オプションにおいて期待被害額が低下し、都市施策は水害リスク低減策としての可能性があることを確認した。中でも、認知オプションを適用した場合の期待被害額が最も低下した結果となった。これにより、水害リスク低減策としてのリスクコミュニケーションの重要性が示唆された。

また、3つの施策のうち誘導オプションの効果が最も低い結果となった。これは、誘導先とした「団子」等の地区は、都市政策上の重要区域であり、水害リスクが高い地区が含まれることで、立地選択の誘導が期待被害額を直接減じる方向性とはならないことが要因となっている。

逆説的には、誘導オプションの効果を発現させる上では、「団子」等の誘導範囲に対して、誘導オプションに並行して個別の水害リスク低減策を講じることの必要性が示唆されている。

人口減少という社会背景や、コンパクトシティ化が都市政策の主な方向性として示されていることを考慮すると、規制オプションや誘導オプションの親和性は高く、それらの施策の効果をより効果的に発現できるような環境整備の検討が重要と考えられる。

リスクコミュニケーションに代表される認知オプションは、各種の取組みに並行して進めることが可能という特性を有することから、防災教育等のソフト施策の同時並行的な展開を図ることが望ましい。

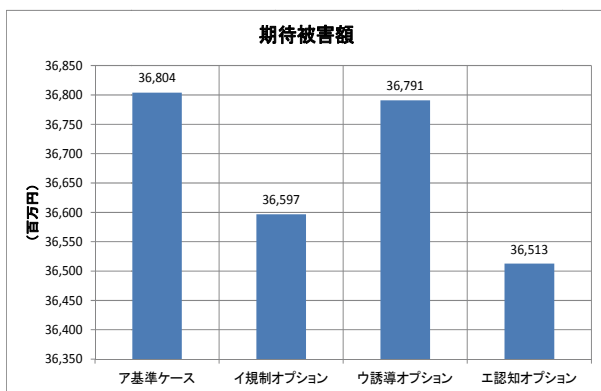


図-23 都市施策オプションの期待被害額

表-11 都市施策オプションの期待被害額

	期待被害額 (百万円)	差分 【当該ケース】 - 【ア】
ア：基準ケース	36,804	0
イ：規制オプション	36,597	-207
ウ：誘導オプション	36,791	-13
エ：認知オプション	36,513	-291

(3) 河川施策の概要

3.(2)で推計した将来の立地選択（人口・資産）に対して、浸水リスクの低減を図るための河川施策（河道対策＋氾濫原対策）を検討し、浸水状況、資産・人的被害の観点から対策効果を整理する。

a) 整備規模・整備目標

都市立地の選択は長期的な視点で変化させていくことが現実的である。また、河道は河川整備計画に基づき整備を進めている段階である。そこで、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、整備目標としては、4.(1)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。

b) 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。破堤しない堤防は現時点で高規格堤防だけであるが、沿川に既存市街地が広がる当該地での適用は現実的でない。本研究では川裏法面や法尻部等をコンクリート等で被覆した越水に対して粘り強い堤防構造とすることで破堤しない堤防とみなす（粘り強い堤防は破堤に至るまでの時間を遅延させるもので破堤しない堤防と異なるが便宜的に設定）。また、河川整備基本方針に従い、急流河川対策（護岸の根入れ対策・侵食対策）を実施する。なお、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。整備区間延長及び管理区間に対する比率は、神通川で $L=5.1\text{km}$ (11.5%)、常願寺川では $L=5.2\text{km}$ (12.1%)である。

c) 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



図-24 河道対策・氾濫原対策の整備箇所

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、表-12、図-24に示す二線堤の整備、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。

二線堤の整備では氾濫流の制御及び誘導を図り、浸水リスク範囲の制限を図る。整備箇所は既設道路とし、二線堤の高さは図-25に示すとおり、沿線取付け道路や盛土上流側での浸水深の増加に留意して、盛土高0.5mに防水壁（隔壁高）0.5mを加えた1.0mとした。盛土部は舗装修繕時のタイミングで徐々に嵩上げを行うことで無理なく二線堤を整備することができる。二線堤の整備延長は14.7kmとなる。

防水扉は氾濫流の制御効果の高い連続盛土（北陸自動車道）の開口部において5箇所整備する。防水扉の高さは浸水解析結果を踏まえて3mとした。

次に、浸水深を低減させるための既設水路の拡幅を行う。拡幅規模は沿川の立地条件（土地利用、補償物件）や排水性を考慮して現川幅の3～5割とした。対象河川は富岩運河及び中川であり、整備延長は8.9kmである。

最後に、自然排水が困難な窪地地形において、氾濫水

を強制的に排水させる施設を整備する。施設規模は浸水解析から得た排水量と浸水深の関係を踏まえて設定し、富山駅西方に1m³/sのポンプを整備した。

(4) 河川施策の適用結果

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。評価外力は、図-2に示す確率規模1/5~1/500に加え、ここでは参考までに想定最大規模²⁰（1/1,000年未満）も対象とする。

a) 浸水状況

整備規模（W=1/150年）での浸水リスク低減対策前後の最大浸水深及び差分を図-26、図-27に示す。最大浸水深は神通川、常願寺川の想定破堤地点毎の氾濫解析及び内水氾濫の結果を重ねあわせたものである。ここで、守るべき地域の対策後の平均浸水深は概ね床下浸水（0.5m

表-12 水害リスク軽減対策メニュー

治水対策	対策内容	本研究で扱う対策
河道対策	・氾濫規模を軽減させるための堤防強化（破堤しにくい堤防構造）	○
氾濫原対策	二線堤	○
	輪中堤	○
	防水壁	○
	排水門	-
	水路の拡幅	○
	排水機場整備	○

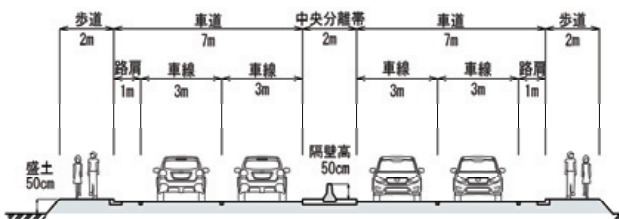


図-25 二線堤の整備イメージ

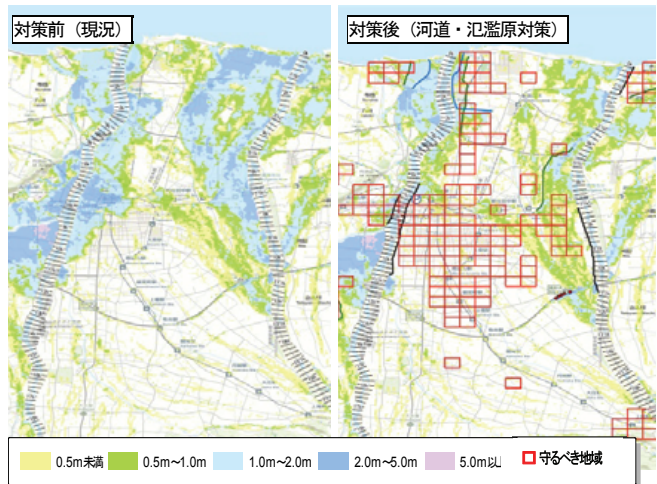


図-26 浸水リスク低減対策による浸水想定区域

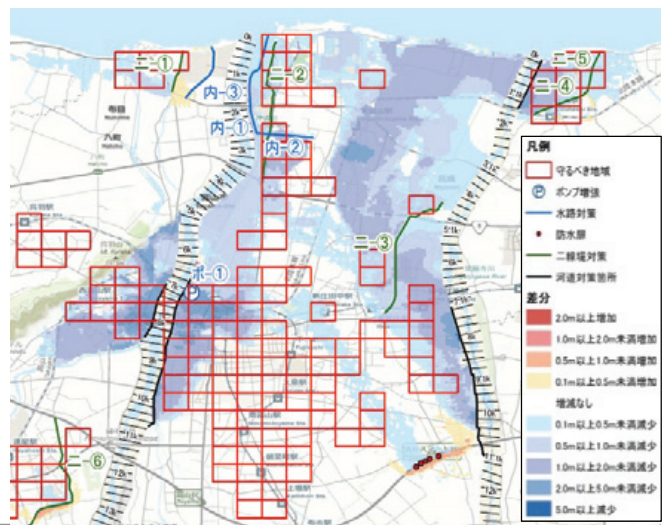


図-27 対策前後の最大浸水深の増減量

未満)となっており、対策前に比べて1~2mの低減効果がみられる。なお、二線堤・防水扉の整備により上流側での浸水深が0.1~1m程度増加する箇所もみられるが、いずれも守るべき地域の外にあり、0.5m以上増加しているのは主に農耕地である。一般的に二線堤を整備した場合、上流側の浸水深が増加して被害を助長する課題が残る。その課題には、例えば先に河道対策によって浸水深を低減させた後で二線堤を整備するなど、対策前の浸水状況よりも悪化しないよう整備順序を工夫することで解決できると考える。

次に、確率規模別の浸水深の変化から浸水リスクの低減効果を考察する。図-28に従来の河川整備、河道・氾濫原対策による確率規模別の平均浸水深を示す。評価対象年は、外水氾濫が発生する $W=1/20$ から $1/500$ 、想定最大規模とする。ここで、従来の河川整備では整備規模 $W=1/150$ を上回ると一気に床上浸水以上になるのに対し、河道・氾濫原対策では中頻度洪水で浸水が発生するものの超過外力時では従来の河川整備よりも浸水深が下回り、想定最大規模では、平均浸水深に30cmほどの差がみら

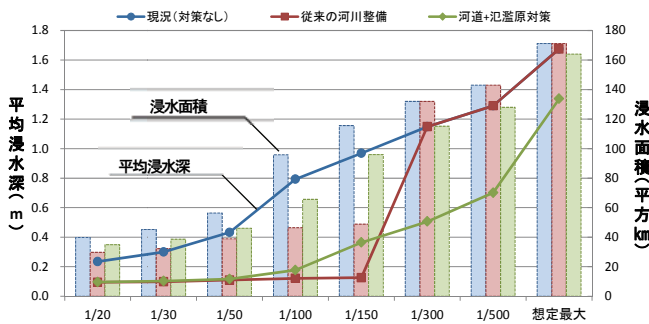


図-28 確率規模別平均浸水深(守るべき地域)

表-13 期待被害額 (守るべき地域)

対策メニュー	1/5	1/10	1/20	1/30	1/50	1/100	1/150	1/300	1/500	想定最大	期待被害額(百億円)
現況(対策なし)	6.9	6.9	9.1	10.0	11.9	17.8	21.4	24.9	27.4	36.5	1.72
従来の河川整備	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	24.9	28.0	36.5	1.42
河道+氾濫原対策	6.9	6.9	6.9	6.9	7.0	7.4	9.2	12.3	15.7	27.9	1.39

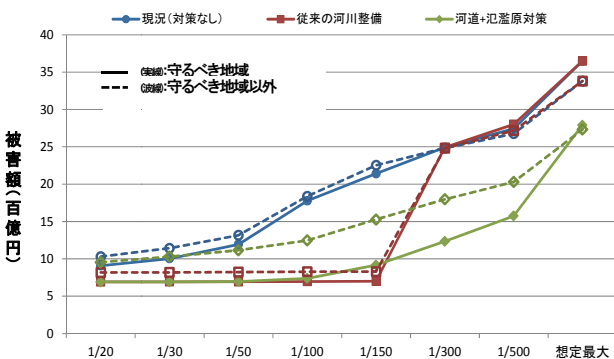


図-29 確率規模別被害額

れる。河道・氾濫原対策はとくに低頻度洪水での効果が高く、最悪の事態に対しても一定程度の安全度が確保されている。

b) 資産被害

被害量の対象は3.(2)で推計した将来世帯に対する一般資産被害及び稼働被害(応急対策費用)とし、被害額の算出方法は治水経済調査マニュアル²¹⁾に準拠している。

ここで守るべき地域における期待被害額(年平均被害額。 $W=1/5 \sim 1/500$)は、表-13に示すとおり、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-29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。

以上を踏まえ、大規模洪水を含めて水害リスクを低減させるには、従来の河川整備による対応だけでは限界があり、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。

c) 人的被害

人的被害の被害量については、水害の被害指標分析の手引き²²⁾に準拠し、想定死者数・最大孤立者数を対象として推計する。想定死者数はLIFESimモデルを基に年齢別人口(65歳以上、未満)と住宅階数に応じた死亡率から算定する。推計にあたっての避難率は40%、避難困難は最大浸水深50cm以上とした。また、住宅階数別人口

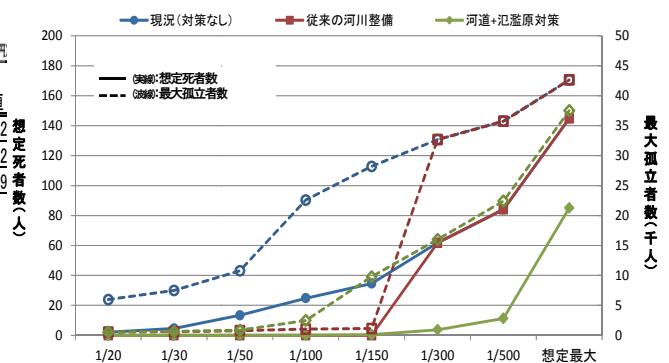


図-30 確率規模別死亡者数・孤立者数

表-14 人的被害の増減(守るべき地域)

	現在人口(2010年)[1]		将来人口(2065年)			増減率 $([2]-[1])/[1]$			
	1/300	1/500	想定最大	1/300	1/500	想定最大	1/300	1/500	想定最大
死者数(人)	2.7	8.2	62.7	3.7	11.3	85.1	37%	37%	36%
孤立者数(千人)	16.0	22.4	37.5	11.1	15.1	25.5	-31%	-32%	-32%

は2065年時点の人口に富山市階層比率（1階建4.6%，2階建76.8%，3階建以上18.6%※平成25年住宅・土地統計調査）を乗じて設定した。

守るべき地域における確率規模別の想定死者数及び最大孤立者数を図-30に示す。河道・氾濫原対策では超過外力時での軽減効果が大きく、現況に対して死者数で58人～73人（41.2%～94.0%），最大孤立者数で3,502人～11,184人（12.1%～50.2%）が減少する。従来の河川整備では、整備規模を超過する外力に対して人的被害を低減させる効果は期待できない。

次に、将来人口の変化（2065年：富山市全体で37.6%減）が人的被害に及ぼす影響を考察する。表-14は河道・氾濫対策後の人的被害を現在人口と将来人口で評価したものである。ここで、想定最大規模外力における最大孤立者数は人口の減少に伴い12,000人（32%）と大幅に減少する一方で、死者数は高齢化とも相まって22人（36%）増加する結果となった。図-31に富山市における将来人口・65歳以上人口の推移を示す。2065年後の総人口は現在より37.6%減少するが、65歳以上人口は1.4%減に留まる。2040年頃までは65歳以上人口が増加するため、将来人口の動向を見据えた時間軸での対応が重要となる。

(5) 都市・河川の連携施策の概要

今後、縮小すると想定される限られた予算のなか、効果的な事業投資を行うためには、純便益の最大化を目指すことが好ましい²³⁾。しかし、従来の治水事業はシビルミニマム論のもと、最低レベル以上の事業投資を行ってきた。

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。しかし、今後の河川・都市計画事業との関係上、不十分な純便益の最大化、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。そこで、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い、それに基づき、河道対策・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。ここでリスクコストは、対策の費用と対策後の期待被害額の和で表される。

a) リスクコストの算定条件

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、整備期間中は均等に生じると仮定する。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²¹⁾に基づき算定する。

b) 対象とする連携施策

本研究で扱う連携施策を表-15に示す。河川施策は、従来の河川整備に加え、4.(3)の河道・氾濫原対策を対象とする。都市施策は、4.(1)で扱った施策とするが、規制オプションでは現時点での水害リスクが高い範囲（家屋倒壊氾濫想定区域²⁴⁾に該当）を規制範囲として追加する（図-33）。

表-15 対象とする連携施策

名称	河川施策	都市施策
A:従来河川整備	従来の河川整備	施策なし
B:基準ケース	河道・氾濫原対策	施策なし
C:規制オプション		規制オプション
D:誘導オプション		誘導オプション
E:認知オプション		認知オプション

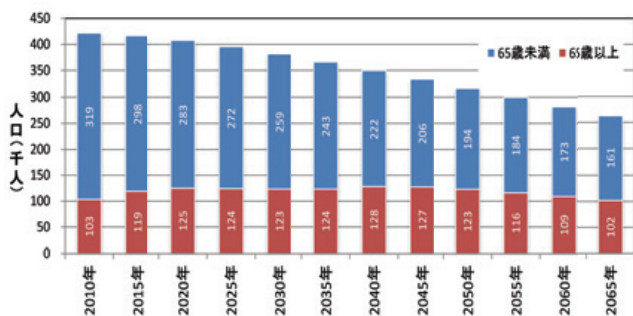


図-31 総人口・65歳以上人口の推移（富山市）

2015年	都市施策のみでの期待被害額※
	低減 ※4.(2)の期待被害額が2065年時点に生じると仮定して、一定割合で減少させた際の期待被害額
2035年	連携施策（河道・氾濫原対策開始）での期待被害額 ※
	低減 ※4.(6)の期待被害額が2065年時点に生じると仮定して、一定割合で減少させた際の期待被害額
2065年	連携施策（河道・氾濫原対策完了）での期待被害額 4.(6)

図-32 各年次の期待被害額算定イメージ

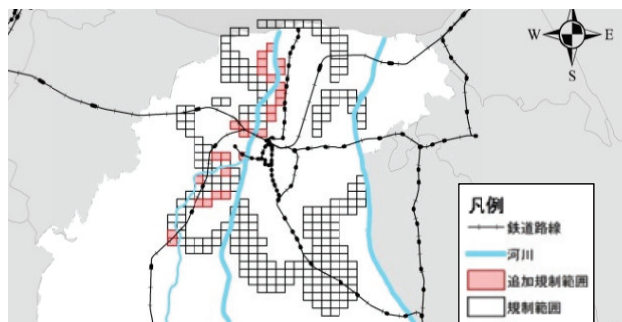


図-33 追加規制オプションの適用範囲

(6) 都市・河川の連携施策の可能性検討

都市・河川の各連携施策（C～D）と基準ケース（B）との期待被害額の差分の分布状況は、図-34～図-36に示すとおりである。基準ケースとの期待被害額の差分では、規制オプションが477百万円と最も減少が大きく、次いで認知オプション94百万円、誘導オプションの45百万円となり、規制、認知、誘導の順で水害リスク低減策として効果のある結果であった。

次に、リスクコスト算定結果を図-37に示す。

基本方針レベル（ $W=1/150$ 年）の流量に対し、守るべき地域において概ね床上浸水解消を目指した河道・氾濫原対策では、全地域の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、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。

以上を踏まえ、都市施策のうち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・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。また認知オプションは、都市構造等の特性によらず適宜展開可能という特性がある。ただし、立地選択の基礎情報として提示する浸水リスク情報を、河道・氾濫原対策の実施前と実施後のどちらにするかで、その効果（期待被害額の低減幅）が変化する。認知オプションの展開に当たっては、河道・氾濫原対策の効果発現に至るまでの時間軸を考慮し、提示情報の選択に留意することが重要となる。なお、都市施策の取組は大きな社会的コストを要せず時間軸の中で被害量を低減することができ、社会資本の投資余力の限界がある社会背景において重要な示唆を与える結果と考える。

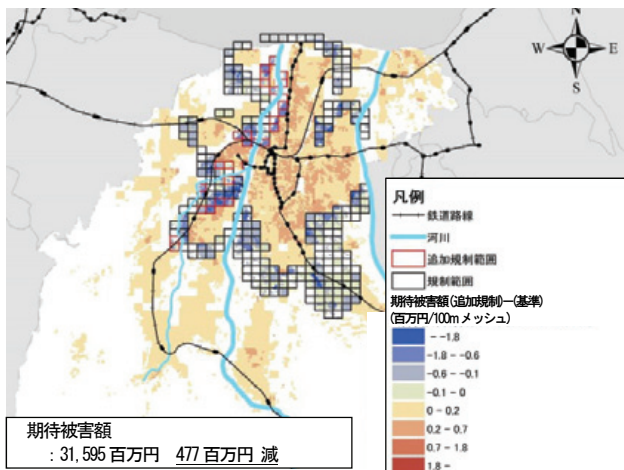


図-34 規制オプションとの連携による期待被害額差分の分布（規制オプション）－（基準ケース）

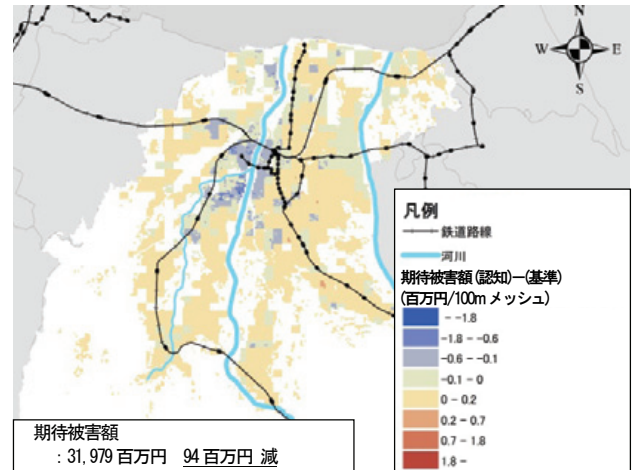


図-36 認知オプションとの連携による期待被害額差分の分布（認知オプション）－（基準ケース）

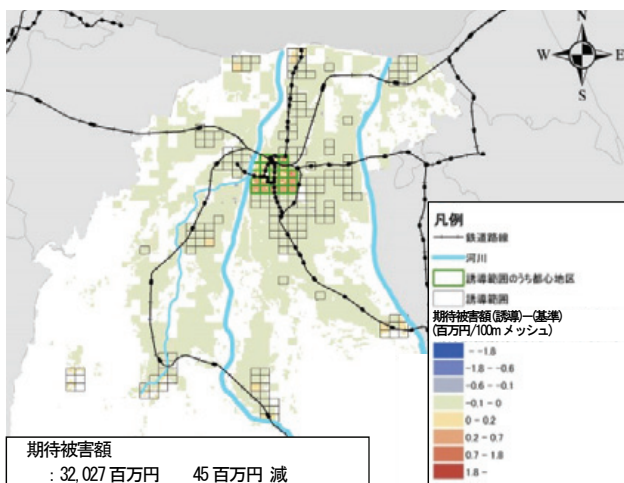


図-35 誘導オプションとの連携による期待被害額差分の分布（誘導オプション）－（基準ケース）

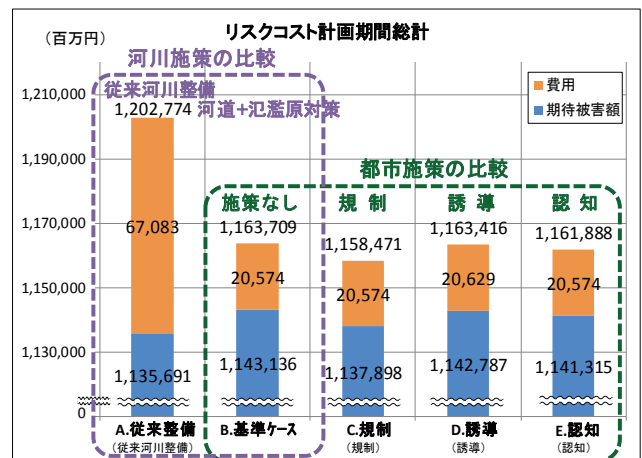


図-37 連携施策のリスクコスト比較 (百万円)

5. まとめ

本研究で得られた主な知見と残された課題点や今後の展開について以下に述べる。

(1) 新たな浸水リスクマップの提示

水害から身を守るためには、自分の住んでいる地域の浸水リスクを正しく認識し、日頃からの災害に対する備えが重要である。本研究では、内外水氾濫や複数河川の同時破堤、複数規模の洪水等を加味した地先の浸水特性を評価し、浸水リスクに関する意識調査結果を踏まえたうえで、住民目線での浸水リスクマップを作成した。浸水頻度で表現したリスクマップは、現行の浸水想定区域図に比べて、期待被害額が134百万円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。また、頻度情報の内容は、本研究で用いた床上浸水（浸水深50cm）だけでなく、例えば人命にかかわる情報であれば1階水没（浸水深3m）の発生頻度で示すことも考えられるため、浸水リスク情報に対する地域ニーズの調査や他都市での同様な適用事例による評価が重要である。さらに、浸水リスクは現在の状況に加え、気候変化や将来人口・資産による時間軸に沿った変化も捉えておくことが望ましいと考える。

(2) 河川行政と都市行政の連携施策

本研究では、河川行政と都市行政による新たな治水対策の方向性を探ることを目的として、富山市のコンパクトシティ施策を前提とした連携方策について検討した。その結果、連続堤防による完全治水ではなく、共通目標とする守るべき地域の浸水深軽減（河川）、立地適正化（都市）が有効な施策となり得ることを確認した。更に、将来の人口分布変化を念頭に置いた効率的な河川施策の実現可能性や、都市施策の適用による被害低減の可能性を示した。

少子高齢化の進展や社会情勢の変化が顕著な地方都市を抱える河川流域では、財政上の問題から、更なる河川整備（基本方針レベル）は困難であると予想される。そのため、今後は現在進めている整備計画河道の着実な実施によって確実に水害リスクを低減させること、また計画を上回る洪水に対しては流域が抱える水害リスク（リスクマネジメント）を踏まえた総合的な対応が必要となる。さらに万が一の備えである氾濫原対策は、都市構造の中長期的な変化に柔軟に対応し、整備手順や規模を工夫する等して効果的に実施していく必要があると考える。

(3) 事業効果の評価方法

本研究では、事業効果の整理方法としてリスクコストを採用した。これは、今後の財政条件のなか、想定最大

規模までの洪水に対して施策効果を議論する際には、従来の治水計画規模ありきの施設設定ではなく、便益最大化を目指した施設規模・内容設定が合理的だと考えたためである。しかし、今後、人口減少社会に突入するわが国では、同一整備基準でも同一外力に対する便益が減少していくことが想定される。そのトレンドのなかで、現時点での便益最大化・リスクコスト最小化の妥当性を証明することは難しい。このため、今後、事業実施の妥当性を考える際には、ある程度の未来を想定した時点でのリスクコスト最小化を評価し、ダウンサイジング社会に備え、無駄となってしまう事業効果を確認した上で事業選択する必要があると考えられる。

謝辞：本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発公募（流域計画・流域管理課題分野）による「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」（平成26～27年度）の研究成果の一部をとりまとめたものである。本研究を進めるにあたっては国土交通省北陸地方整備局河川部・富山河川国道事務所から多大な御協力、支援を賜った。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 浸水想定区域図作成マニュアル，国土交通省河川局治水課，2005.6.
- 2) 片田敏孝，及川康：平成10年8月末豪雨災害における郡山市民の避難行動の実態とその問題点，河川災害に関するシンポジウムテキスト，pp. 21-28, 1999.
- 3) 秋山壽一郎，重枝未玲，小園裕司，草野浩之：治水システムを考慮した飯塚市街地の都市域氾濫解析と被害軽減効果の検討，土木学会論文集 B1, Vol. 67, pp. 943-948, 2011.
- 4) 池内幸司，越智繁雄，藤山秀章，安田吾郎，岡村次郎，青野正志：大規模水害時における地下鉄等の浸水想定と被害軽減方策の効果分析，土木学会論文集 B1, Vol. 68, pp. 136-147, 2012.
- 5) 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, Vol. 69, pp. 1651-1656, 2013.
- 6) 寺本雅子，市川温，立川康人，椎葉充晴：水災害危険度に基づく土地利用規制の適用性に関する分析，土木学会論文集 B, Vol. 66, pp. 130-144, 2010.
- 7) 今井一貴，佐藤徹治，神永希，杉本達哉，高森秀司：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, Vol. 72, pp. I_423-I_434, 2016.
- 8) 滋賀県流域治水の推進に関する条例，滋賀県，2014年3月，3http://www.pref.shiga.lg.jp/jourei/reiki_int/reiki_honbun/k001RG00000883.html
- 9) 富山市内水ハザードマップ，富山市上下水道局，2013年4月，<https://www.city.toyama.toyama.jp/data/>

- open/cnt/3/11336/1/hazard_map_koukai_.pdf
- 10) 神通川水系河川整備基本方針, 国土交通省北陸地方整備局, 2008.6.
 - 11) 常願寺川水系河川整備基本方針, 国土交通省北陸地方整備局, 2005.11.
 - 12) 氾濫シミュレーションマニュアル(案) —シミュレーションの手引き及び新モデルの検証, 土木研究所資料, No. 3400, 1996.
 - 13) 上田孝行 編著: Excel で学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010.
 - 14) 平成 22 年国勢調査結果, 総務省統計局, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>
 - 15) 国土数値情報ダウンロードサービス, 国土交通省国土政策局国土情報課, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
 - 16) 国立社会保障・人口問題研究所, 日本の将来推計人口(平成 24 年 1 月推計), <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/sh2401top.html>
 - 17) 富山市都市整備部都市計画課, 富山市マスタープラン, 2008.
 - 18) 富山市都市整備部都市再生整備課住宅政策係, まちなか推進事業, 2005.
 - 19) 富山市都市整備部都市再生整備課住宅政策係, 公共交通沿線支援事業, 2007.
 - 20) 浸水想定(洪水,内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法, 国土交通省水管理・国土保全局, 2015.7.
 - 21) 治水経済調査マニュアル(案), 国土交通省河川局, 2005.4.
 - 22) 水害の被害指標分析の手引(H25 試行版), 国土交通省水管理・国土保全局, 2013.7.
 - 23) 多々納裕一: リスク情報に基づいた公共事業における意思決定論, 文部科学省委託事業 数学協働プログラム 甚大災害の外力想定に必要な極値統計解析法の背景と活用, 2014.
 - 24) 家屋倒壊氾濫想定区域図, 国土交通省北陸地方整備局, 2017, http://www.hrr.mlit.go.jp/toyama/topics_genre_41.html

(2017. 11. 8 受付)

A STUDY ON MEASURES OF FLOOD RISK REDUCTION CONSIDERING FUTURE URBAN STRUCTURE

Shinya ITOSHIRO, Masazumi AMAKATA, Shuji TAKAMORI, Takanobu SHIMADA,
Nozomi KAMINAGA, Tatsuya SUGIMOTO and Tetsuji SATO

Maintaining and improving whole Japan's productivity is big challenge for us under the situation such as climate change and depopulation. One possible countermeasure is urban restructuring with economically and socially low flood damage risk. This study aims to analyze simultaneous flood risk with multiple rivers and drainage system in an urban area, to understand urban structure more clearly in relation to flood risk, and to find out the direction of new flood control management in cooperation with urban planning. The analysis applied to Toyama City which promotes compact city strategy gives us a result of the possibility that the limitation of area to be reduced inundation depth and location optimization of urban facilities are more effective than complete flood control with continuous embankment. In addition, this study shows the feasibility of efficient flood control management considering the change of population distribution and flood risk and cost reduction in cooperation with the induction countermeasures of urban structure such as regulation, subsidy and recognition of risk.