気候変動を踏まえた適応策（水害リスクの低減）検討マニュアル

～十勝川流域、常呂川流域を例に～

気候変動を踏まえた適応策（水害リスクの低減）　目次

1．H28洪水の被害概要

2．北海道における降雨量の変化

3．十勝川と常呂川の位置付け

4．十勝川流域の概要

5．降雨の設定

6．十勝川流域のリスク評価について

7．十勝川流域における適応策について

8．十勝川流域における当面の適応策について

9．常呂川流域の概要

10．降雨の設定

11．常呂川流域のリスク評価について

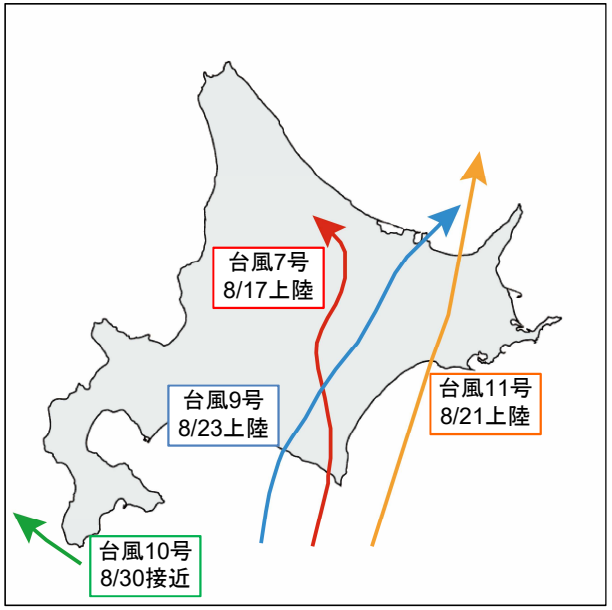
12．常呂川流域における適応策について

13．常呂川流域における当面の適応策について

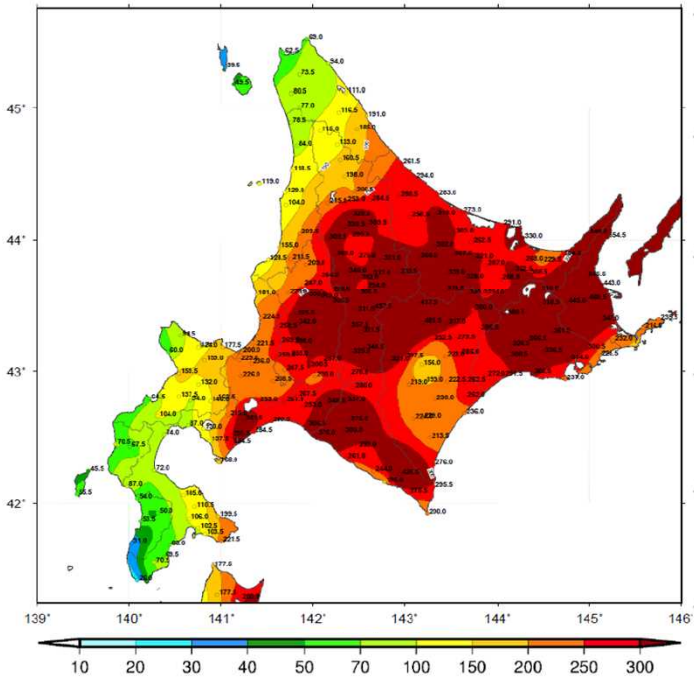
1. H28洪水の被害概要

平成28年8月出水について（概要）

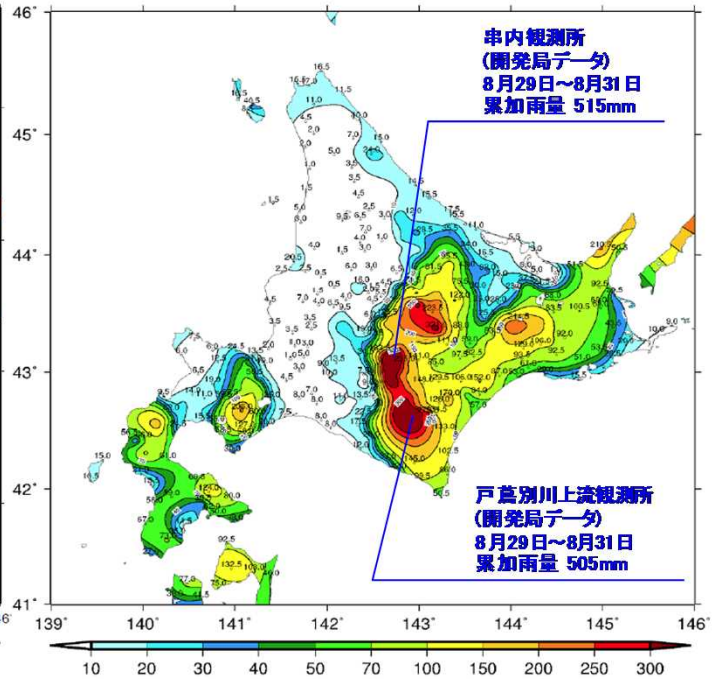
■平成28年8月17日～23日の1週間に観測史上初めて3個の台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。また、8月29日から前線に伴う降雨があり、その後、台風第10号が北海道に接近し、串内観測所では8月29日から8月31日までの累加雨量が515mmに達するなど、各地で記録的な大雨となった。



アメダス降水量分布
（平成28年8月15日1時～24日24時）
（日本気象協会 配布資料から転載）



アメダス降水量分布
（平成28年8月29日1時～31日9時）
（日本気象協会 配布資料から転載）



◆道内の主要な地点における年降水量の平均値(mm)

地点名	年降水量の平均値(mm)	統計期間	地点名	年降水量の平均値(mm)	統計期間
札幌	1106.5	1981～2010	釧路	1042.9	1981～2010
函館	1151.7	1981～2010	帯広	887.8	1981～2010
小樽	1232.0	1981～2010	網走	787.6	1981～2010
旭川	1042.0	1981～2010	北見	763.6	1981～2010
室蘭	1184.8	1981～2010	留萌	1127.0	1981～2010

8／16～8／31の雨量観測について
・串内観測所(空知郡南富良野町)　総雨量　888mm
・戸蔦別川上流観測所(北海道帯広市)　総雨量　895mm

※本資料の数値は速報値であるため、今後の調査で変わる場合があります。

平成28年8月出水（主な河川の被害状況）

■国管理河川では、石狩川水系空知川、十勝川水系札内川等で堤防が決壊するなどの被害が発生。北海道の国管理河川の堤防の決壊は、昭和56年洪水以来。

地理院地図
（電子国土Web）

台風第10号による大雨
石狩川水系空知川（南富良野町）
・堤防決壊　2箇所
・浸水面積　約130ha　浸水家屋189戸



台風第10号による大雨
十勝川水系札内川（帯広市）
・堤防決壊　2箇所
・浸水面積　約50ha　浸水家屋2戸他



8月20日から続く大雨
常呂川水系常呂川（北見市）
・堤防決壊　1箇所　越水4箇所
・浸水面積　約500ha



台風第10号による大雨
十勝川水系音更川（士幌町）
・堤防侵食　1箇所
・浸水被害なし



2. 北海道における降雨量の変化

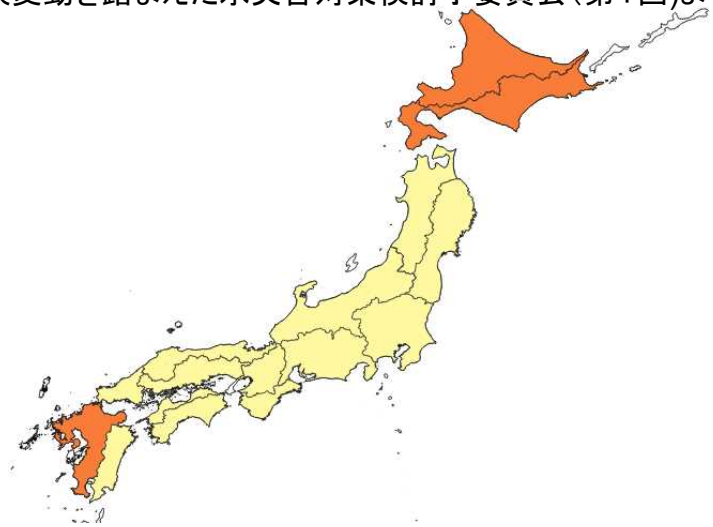
気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化

■北海道においては、全国の他の地域と比べて、将来における降雨量の変化倍率が大きくなる傾向にある。
※2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道ならびに九州北西部で1.15倍、その他12地域で1.1倍、4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は北海道ならびに九州北西部で1.4倍、その他12地域で1.2倍と試算。
※4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

社会資本整備審議会河川分科会　気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会（第1回)より改変

＜地域区分毎の降雨量変化倍率＞

地域区分	2℃上昇（暫定値）	4℃上昇	
			短時間
北海道北部、北海道南部、九州北西部	1.15	1.4	1.5
その他12地域	1.1	1.2	1.3
全国平均	1.1	1.3	1.4



＜参考＞降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
RCP2.6（2℃上昇相当）	約1．1倍	約1．2倍	約2倍
RCP8.5（4℃上昇相当）	（ 約1．3倍 ）	（ 約1．4倍 ）	（ 約4倍 ）

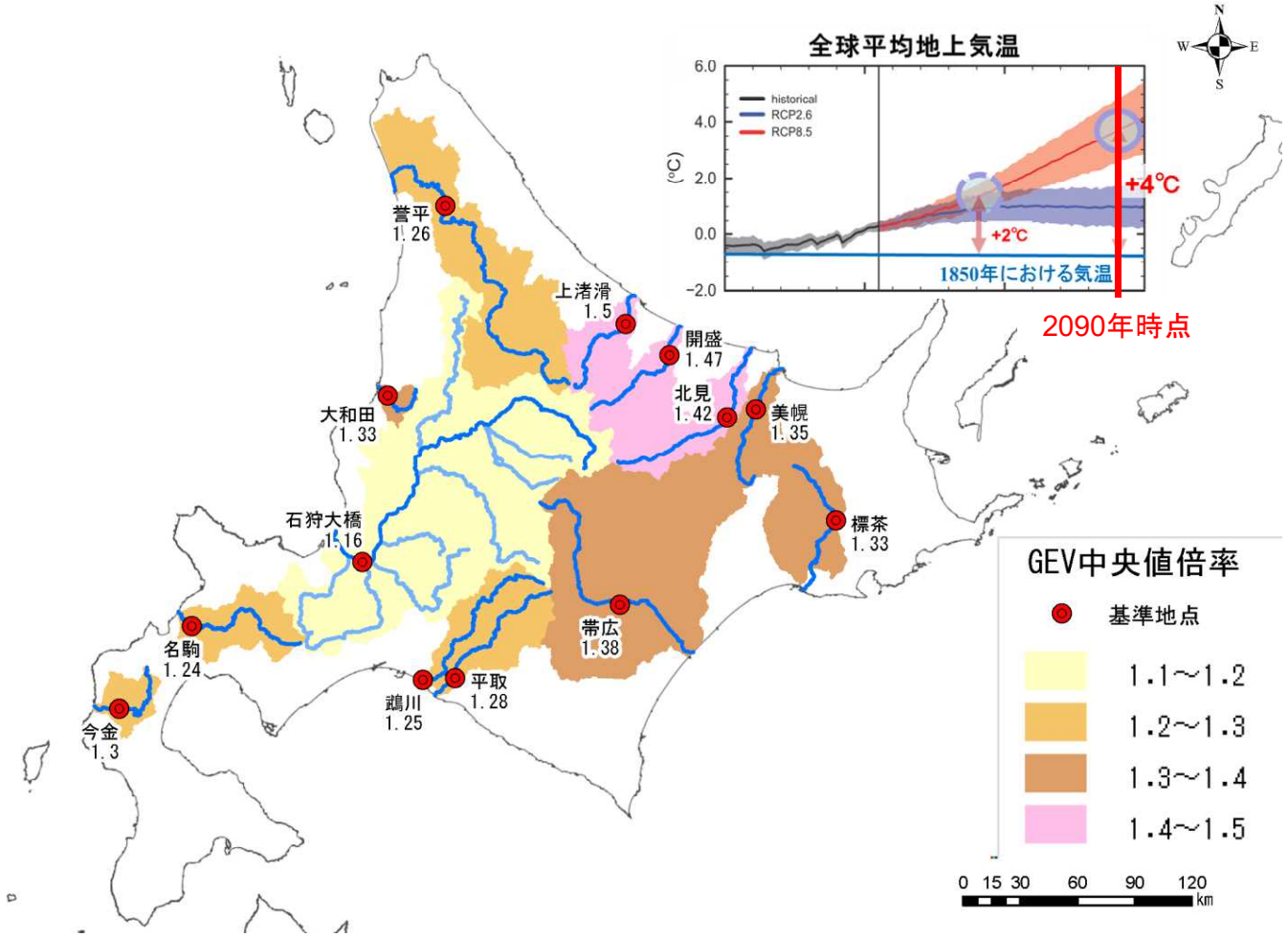
※ 降雨量変化倍率は、20世紀末（過去実験）に対する21世紀末（将来実験）時点の、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の降雨量の変化倍率の平均値
※ RCP8.5（4℃上昇相当）時の降雨量変化倍率は、産業革命以前に比べて全球平均温度が4℃上昇した世界をシミュレーションしたd4PDFデータを活用して試算
※ 流量変化倍率は、降雨量変化倍率を乗じた降雨より算出した、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の流量の変化倍率の平均値
※ 洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の降雨の、現在と将来の発生頻度の変化倍率の平均値
（例えば、ある降雨量の発生頻度が現在は1/100として、将来ではその発生頻度が1/50となる場合は、洪水発生頻度の変化倍率は2倍となる）

北海道における気候変動に伴う降雨量の変化

■ 北海道内1級水系の各基準地点で、過去実験と将来実験（4℃上昇時点）のそれぞれにおいて、計画規模となる降雨継続時間内における降雨量の中央値を算出し比較することにより、気候変動に伴う降雨量の変化倍率を算定した。

■ 気候変動に伴う降雨量の変化倍率は、概ね1.1～1.5倍程度の値となっており、特に道東地方などで大きな値となる河川が見られた。（十勝川の帯広地点で1.38倍、常呂川の北見地点で1.42倍、石狩川の石狩大橋地点で1.16倍など）

流域名	計画規模	降雨の継続時間	変化倍率
石狩川	1/150	3日	1.16
天塩川	1/150	3日	1.26
留萌川	1/100	2日	1.33
十勝川	1/150	3日	1.38
鵡川	1/100	24h	1.25
沙流川	1/100	24h	1.28
常呂川	1/100	24h	1.42
網走川	1/100	24h	1.35
湧別川	1/100	12h	1.47
渚滑川	1/100	12h	1.50
釧路川	1/100	48h	1.33
尻別川	1/100	2日	1.25
後志利別川	1/100	24h	1.30



※各水系の基準地点において、気候予測アンサンブルデータの利用可能な5kmDSデータを使用して、バイアス補正及びリサンプリングを施し、確率評価を実施している。図中の倍率は、GEV分布の中央値の変化倍率。

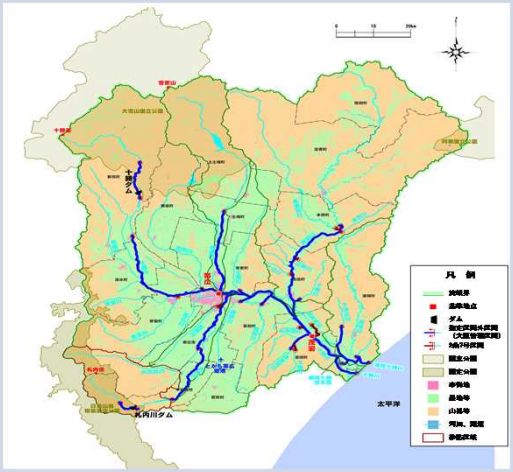
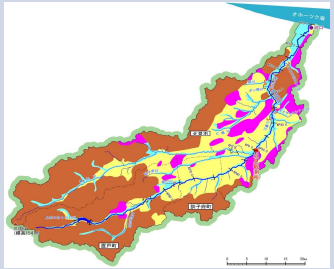
※一部の河川では気候予測アンサンブルデータを用いた降雨の継続時間に仮定をおいている。（以下、特段の記載がない場合は同様の考え方を用いた。）

3. 十勝川と常呂川の位置付け

十勝川と常呂川の位置づけ

■ 十勝川と常呂川について、幹川流路延長で比較すると、十勝川（156km）に対して常呂川（120km）となっており、両者で大きな差があるわけではない。しかし、流域面積で比較すると、流域の形状が扇状である十勝川は9,010km^{2}であり、常呂川1,930km^{2}と比較して流域面積が大きくなっている。

■ 十勝川流域においては、平成28年の台風第10号により、日高山脈沿いが大雨に見舞われるなど、地形性降雨の影響が大きい。

	十勝川	常呂川
幹川流路延長	156km	120km
流域面積	9,010km^2	1,930km^2
流域図		
流域における山地など	日高山脈や大雪山系など	大雪山系の東端から、支湧別山地、置戸山地、仁頃山地など

十勝川における
気候変動を踏まえた適応策の検討

気候変動適応策検討の流れ

■ 気候予測アンサンブルデータを活用したリスク評価等を行うとともに、それに基づいた気候変動の適応策等の検討を行う。

気候変動適応策検討までのフロー	検討事項
ハザードの変化を分析	・d4PDF及びd2PDFを用いて降雨や流量の時空間分布の変化を分析 ・基準点、主要な地点での計画規模降雨量（十勝川の場合：1/150）の変化 ・基準点、主要な地点での計画規模に相当する流量の変化 ・クラスター分析による降雨パターンの分類、各クラスター毎の流量変化の分析
リスクの変化を評価 （リスクベースアプローチ）	・d4PDF及びd2PDFのアンサンブルデータを活用して氾濫計算を実施 ・4℃上昇時のリスクを基本に地域の被災状況等を具体的に評価 ・特に人命に係る安全の確保や社会・経済的な拠点の機能等に関して、重点的な評価・検討を行う ・社会的リスクの高い地域（人的被害大、地域社会や地域経済に大きな影響を及ぼすことが想定される地域等）、生産空間に与えるリスクの高い地域を抽出
適応策の検討	・こうしたリスク評価に基づき、可能な限りの適応策を検討 →①ハード整備（河道掘削、貯留施設　等）、②流域対策（二線堤、霞堤、土地利用、構造物対策等）、③ソフト対策 ・d4PDFのアンサンブルデータを活用して適応策の効果検証を実施
当面の適応策の期間を設定	・気候変動シナリオに大きな違いが見られないこと等を総合的に勘案し、当面の適応策として想定する期間を概ね30年と設定
当面の適応策の検討 ①d2pdfを用いて設定した目標流量に対する治水適応策 ＋ ②社会的リスクの高い箇所に対する適応策 ※生産空間に与えるリスクが高い地域に対する適応策 整備計画での社会実装、減災対策協議会におけるリスク共有等	・流域の被害をどのように軽減するのか、減災ストーリーの検討 ・4℃上昇時のリスクを基本に地域での安全性の確保方策等を検討、ハード整備については、段階的に整備を行うという観点から、2℃上昇時のリスクに対して、現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度を確保するとともに、社会的リスクの高い地域の被害を軽減できるよう当面の治水適応策を検討 ・具体には、①d2PDFを用いて設定した目標流量に対する治水適応策に加えて②社会的リスクの高い箇所に対する治水適応策を組み合わせて検討 【①】確率規模降雨の信頼区間にある降雨を抽出、基準点や主要な地点において過去実験と将来実験（d2PDF）の充足率が概ね変わらない流量を設定 【②】社会的リスクの高い地域への治水適応策をリスクベースアプローチで検討するが、必要に応じて充足率の変更を再検討する ・実現性の高い、流域対策、ソフト対策の提示（地域でリスクへの対応を選択） ・d2PDFのアンサンブルデータを活用して当面の適応策による効果検証を実施

4. 十勝川流域の概要

十勝川の流域および河川の概要

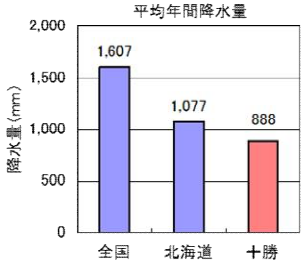
■十勝川は北海道東部を流れる流域面積9,010km2、幹川流路延長156kmの川で、流域の中心には道東の社会・経済活動の拠点となる帯広市がある。
■流域の気候は太平洋側気候区に属し、平均年間降水量（約900mm）は全国平均（約1,600mm）に比べて少ない。
■流域の35%を農地が占め、畑作や酪農畜産を主体とした大規模農業が営まれており、国内有数の食料供給地となっている。

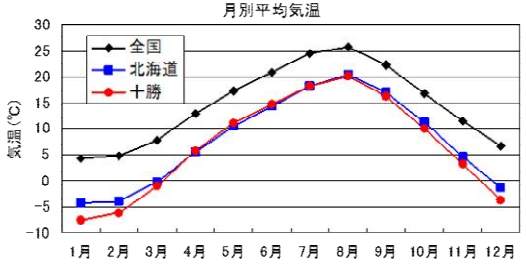
流域及び氾濫域の諸元

項　目	諸　元	備　考
流域面積	9,010km^2	全国第6位/109水系
幹川流路延長	156km	全国第17位/109水系
流域内人口	約34万人	
想定氾濫区域面積	617.8km^2	
想定氾濫区域内人口	約15.5万人	
想定氾濫区域内資産	約3兆1000億円	
流域内市町村	1市14町2村	帯広市、音更町、幕別町、池田町、芽室町　等

流域の気候特性

◆ 平均年間降水量は約900mmであり、全国平均（約1,600mm）に比べて少ない。
◆ 夏の平均気温は北海道平均程度であるが、冬は北海道平均よりも低く、寒暖の差が大きい。





出典：気象庁アメダス
統計期間：1981～2010年の近年30ヵ年統計値を使用

流域の社会特性

◆ 十勝川流域では、小麦・馬鈴薯・てん菜・小豆・いんげん等の畑作、酪農・肉用牛生産業等の畜産を中心とした大規模な農業、甜菜製糖・乳製品・馬鈴薯加工食品等の食品加工業が営まれ、日本有数の食料供給地となっている。
◆ 十勝の農業は、農業産出額約2,400億円(注1)、食料自給率はカロリーベースで約1,100%(注2)を誇る。



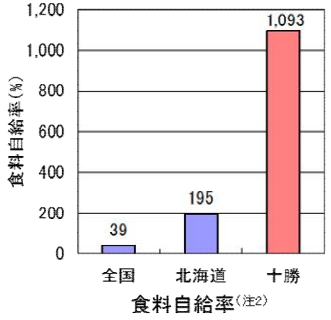










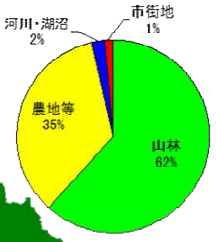


（注1）農業産出額～農林水産省「生産農業所得統計」(H18)、（注2）食料自給率～十勝総合振興局資料(H18)

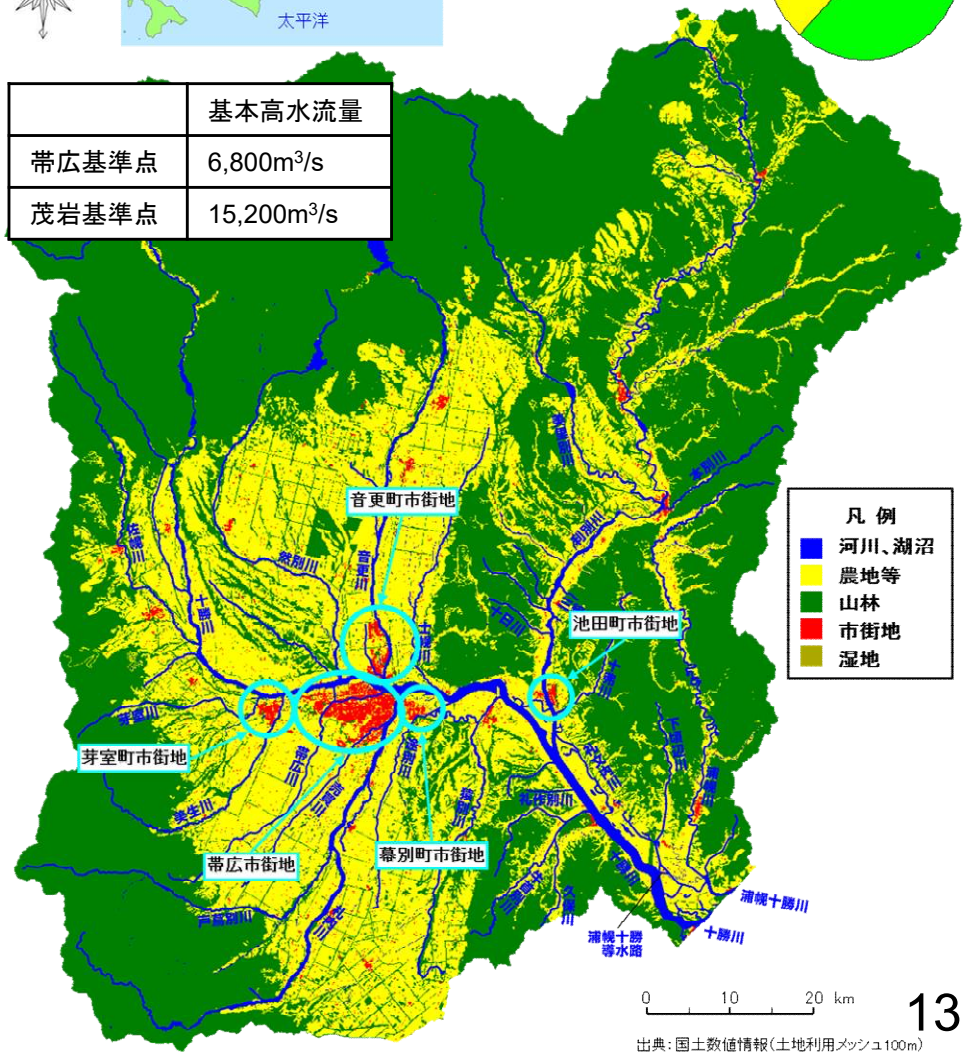
流域の土地利用

◆ 流域の土地利用は、山林が約62%、畑地や牧草地等の農地が約35%、宅地等の市街地が約1%となっている。





	基本高水流量
帯広基準点	6,800m^3/s
茂岩基準点	15,200m^3/s

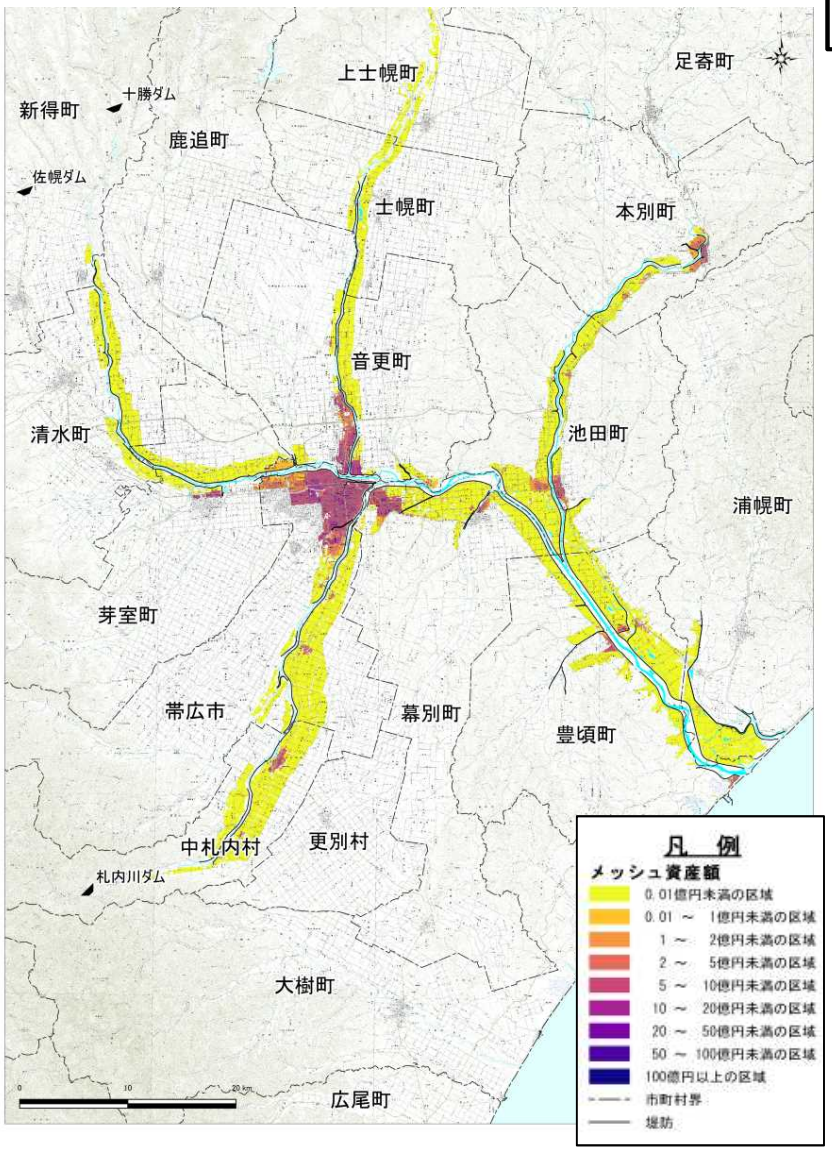


出典：国土数値情報（土地利用メッシュ100m）

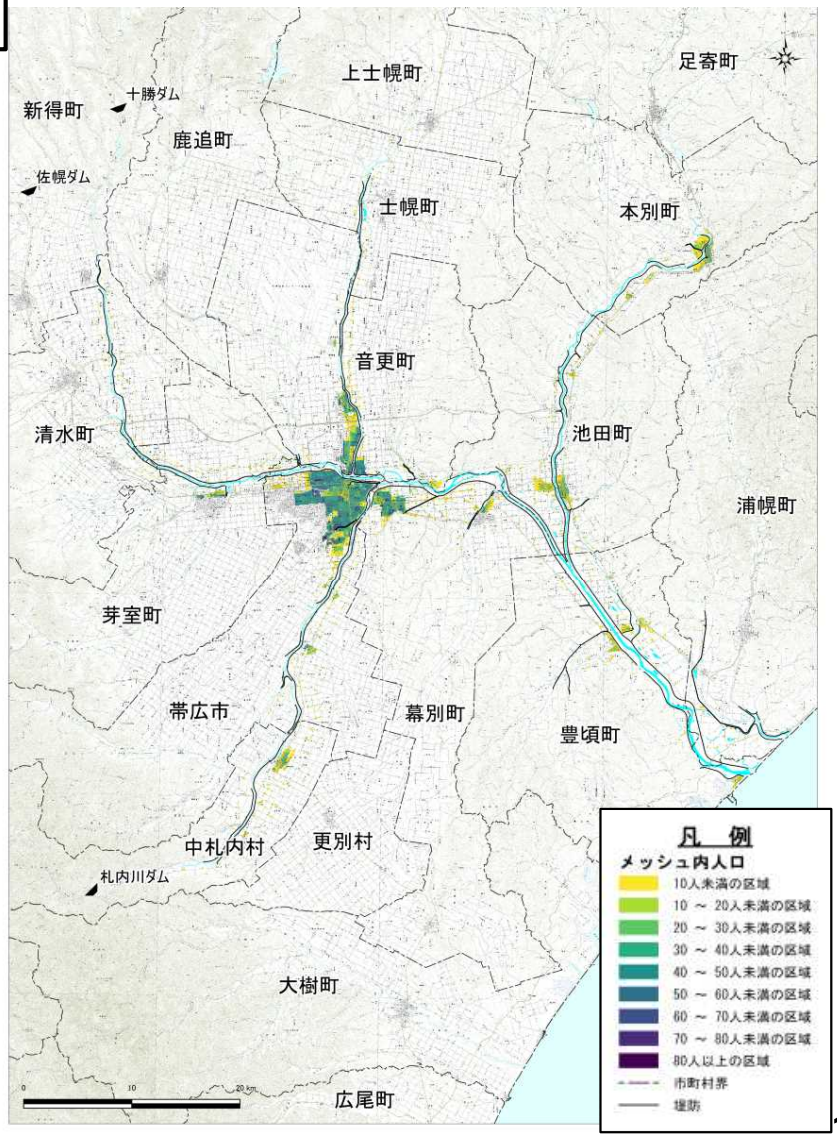
十勝川水系の人口・資産分布について

■ 十勝川流域は、帯広市をはじめとする1市14町2村からなる。特に、帯広市を中心とした帯広圏は、近年、十勝川や音更川、札内川と平行する国道沿いに市街地が拡大している。

資産分布



人口分布



5. 降雨の設定

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

5－2. 流域平均雨量について

5－3. ダウンスケーリングについて

5－4. バイアス補正について

5－5. 確率評価の考え方について

5－6. リサンプリングについて

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

5－1. 気候予測アンサンブルデータ
5－2. 流域平均雨量について
5－3. ダウンスケーリングについて
5－4. バイアス補正について
5－5. 確率評価の考え方について
5－6. リサンプリングについて

気候変動後の降雨予測の必要性

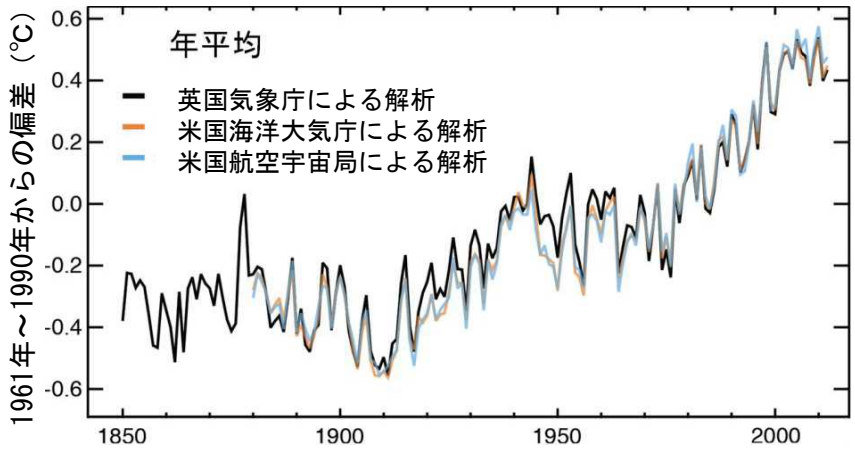
■ IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第5次評価報告書では、気候システムの温暖化については疑う余地がなく、中緯度の陸域のほとんどで極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高いという予測がなされている。
■ 本検討では、平成28年8月出水で大きな被害を受けた常呂川、十勝川をモデル河川として、気候変動の影響を把握する。

【観測事実と温暖化の要因】
◆ 気候システムの温暖化については疑う余地がない。
◆ 人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高く、温暖化に最も大きく効いているのは二酸化炭素濃度の増加。
◆ 最近15年間、気温の上昇率はそれまでと比べ小さいが、海洋内部（700m以深）への熱の取り込みは続いており、地球温暖化は継続している。

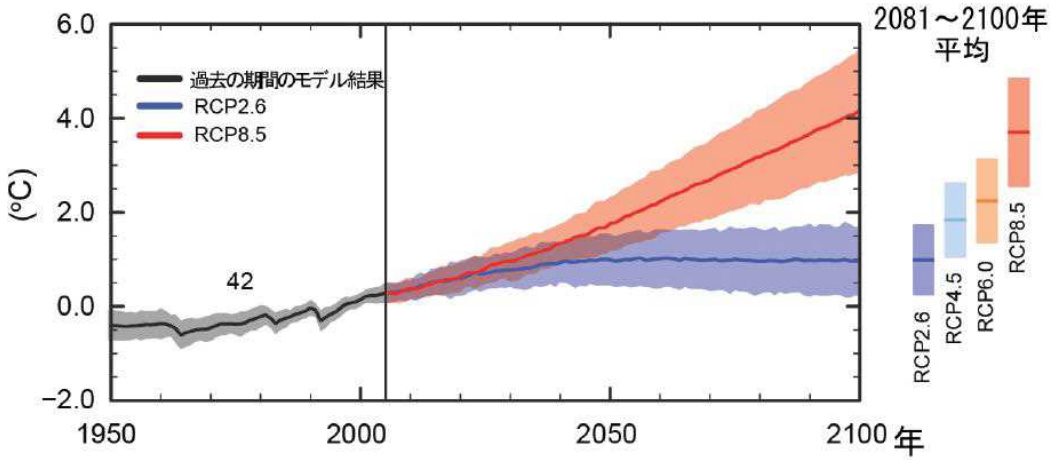
【予測結果】
◆ 21世紀末までに、世界平均気温が0.3～4.8℃上昇、世界平均海面水位は0.26～0.82m上昇する可能性が高い（4種類のRCPシナリオによる予測）。
◆ 21世紀末までに、ほとんどの地域で極端な高温が増加することがほぼ確実。また、中緯度の陸域のほとんどで極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い。

『地球温暖化予測情報 第9巻』（気象庁）より
◆ AR5に示されているRCP8.5シナリオ下での年降水量は、「多くの中緯度の湿潤地域や高緯度域では今世紀末までに増加する可能性が高い」ものの、日本域では北海道付近を除き明瞭な増減効果が現れていない。

世界の地上気温の経年変化



1950年～2100年の世界平均地上気温の
経年変化（1986年～2005年の平均との比較）

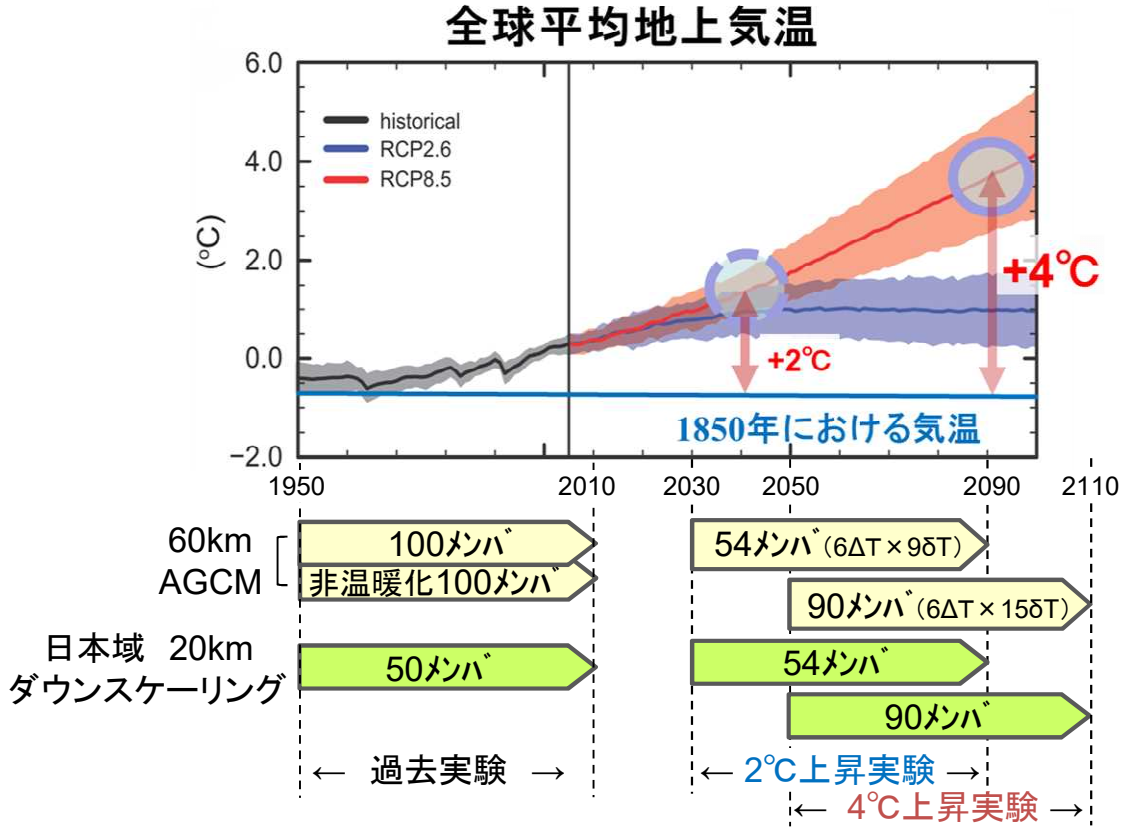


（IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書を基に国土交通省水管理・国土保全局が作成）

気候予測アンサンブルデータについて

■「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」は、防災等への研究利用、国・自治体、産業界への影響評価や温暖化対策策定への活用を目的として、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成されたものである。
■ 気象庁気象研究所の全球気候モデル（水平解像度60km）と領域気候モデル（日本域20km）を用いた大規模な気候変動アンサンブル実験（過去実験50メンバ×60年、2℃上昇実験54メンバ×60年、4℃上昇実験90メンバ×60年）のデータが利用可能である。

「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」における利用可能データ



全球モデル（AGCM）と領域モデル（NHRCM）の解像度と計算領域（一部改）

※出典：地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースd4PDF,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html
文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2018.11,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html

気候予測アンサンブルデータについて

■「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」のアンサンブル数は、過去実験として60年（1951-2010）×50メンバの計3000年となっている。
■ また、将来実験として、4℃上昇実験（気候変動シナリオRCP8.5における2090年時点相当）で60年（2051-2110）×SST6メンバ×15摂動の計5400年分となっている。さらに、2℃上昇実験（気候変動シナリオRCP8.5における2050年時点相当）で60年（2031-2090）×SST6メンバ×9摂動の計3240年分　となっている。　※本資料では、4℃上昇実験をd4PDF、2℃上昇実験をd2PDFと呼称する。

名称	地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース		
実験	過去実験	4℃上昇実験（d4PDF※）	2℃上昇実験（d2PDF※）
気候変動シナリオ		RCP8.5における2090年時点（1850年比4℃上昇相当）	RCP8.5における2040年時点（1850年比2℃上昇相当）
ダウンスケーリング手法	力学的		
全球モデル	AGCM		
領域モデル	NHRCM		
解像度	20km		
実験年	1951年～2010年（60年）	2051年～2110年（60年）	2031年～2090年（60年）
海面水温パターン（SST）	観測値（COBE-SST2）	6パターン（CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2-AO、MIROC5、MPI-ESM-MR、MRI-CGCM3）	6パターン（CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2-AO、MIROC5、MPI-ESM-MR、MRI-CGCM3）
積雲対流スキーム	1パターン（Yoshimura Scheme (YS)）		
メンバ数等	摂動50メンバ×60年 ⇒3000年分	SST（海面水温）6メンバ×摂動15メンバ×60年 ⇒5400年分	SST（海面水温）6メンバ×摂動9メンバ×60年 ⇒3240年分
実施機関	文科省：気候変動リスク情報創生プログラムおよび統合的気候モデル高度化研究プログラム、気候変動適応技術社会実装プログラム 海洋研究開発機構：地球シミュレータ特別推進課題		

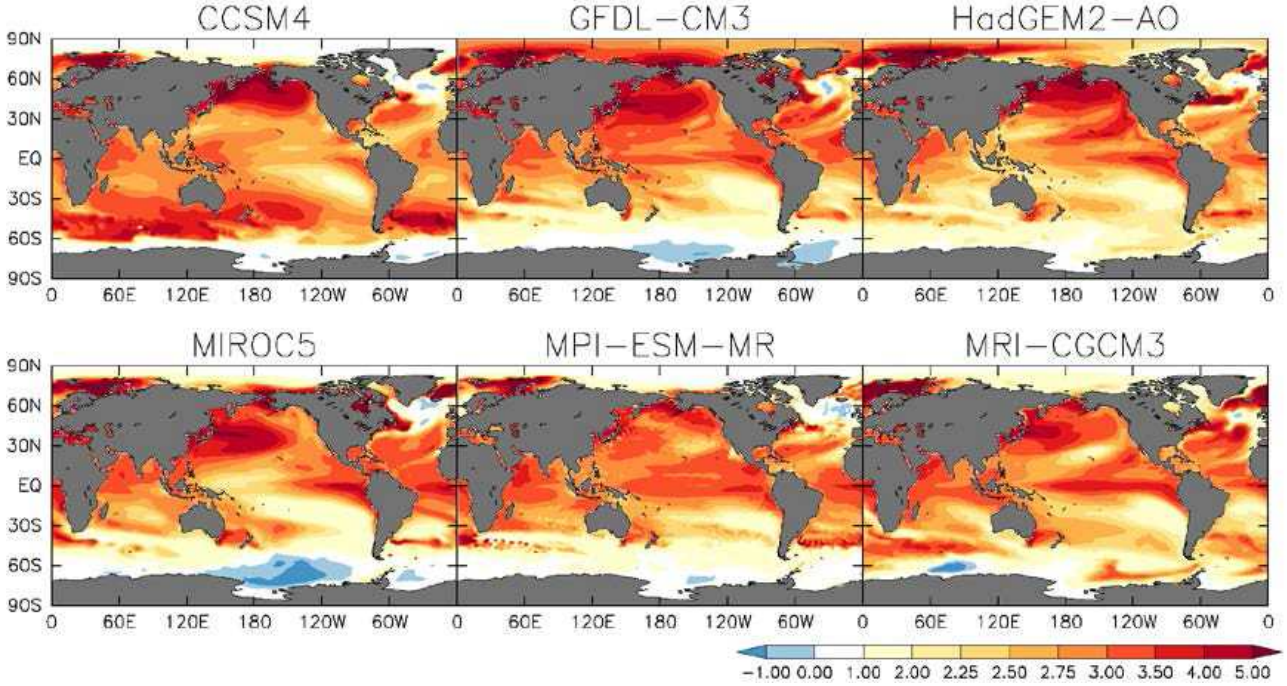
気候変動予測実験データの活用について

■ 過去実験では、観測されたSST(海面水温)データに50の摂動を与えることにより、アンサンブルメンバを作成。
■ 将来実験では、6つのSST(海面水温)メンバ及び15の摂動によりアンサンブルメンバを作成。

◆ 将来実験において使用しているSSTモデル

CMIP5	実験各略称	機関名
CCSM4	CC	米国　大気科学研究所
GFDL-CM3	GF	米国　地球物理流体学研究所
HadGEM2-AO	HA	英国　気象庁ハドレーセンター
MIROC5	MI	日本　海洋研究開発機構
MPI-ESM-MR	MP	独　マックスプランク研究所
MRI-CGCM3	MR	日本　気象庁気象研究所

◆摂動の作成について
海面水温解析の推定誤差と同等の振幅を持つ海面水温摂動を作成した。将来実験には、その中から任意に選んだ15個を使用した。



⇐使用したCMIP5結合モデル毎の、与えた海面水温変化パターン[K]。すべての月、すべての年、すべてのメンバーを平均したもの。

※出典：地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースd4PDF,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html
文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html

5－2. 流域平均雨量について

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

↓

5－2. 流域平均雨量について

↓

5－3. ダウンスケーリングについて

↓

5－4. バイアス補正について

↓

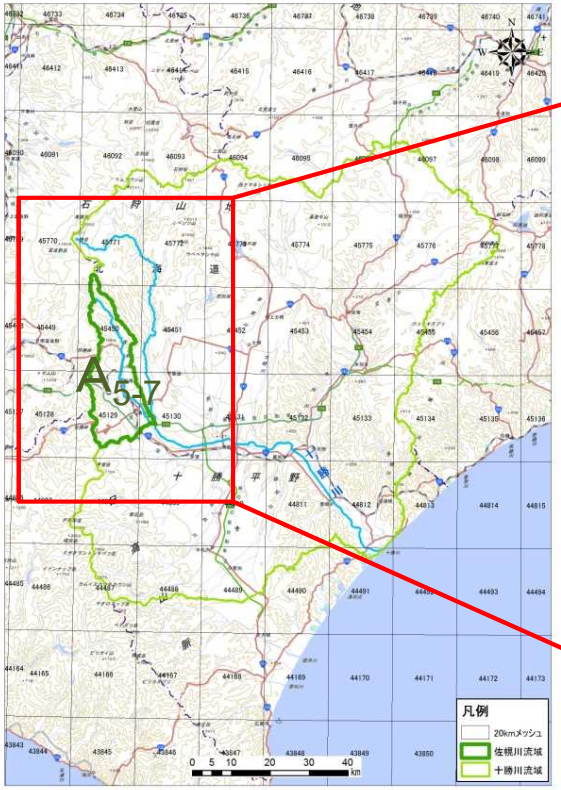
5－5. 確率評価の考え方について

↓

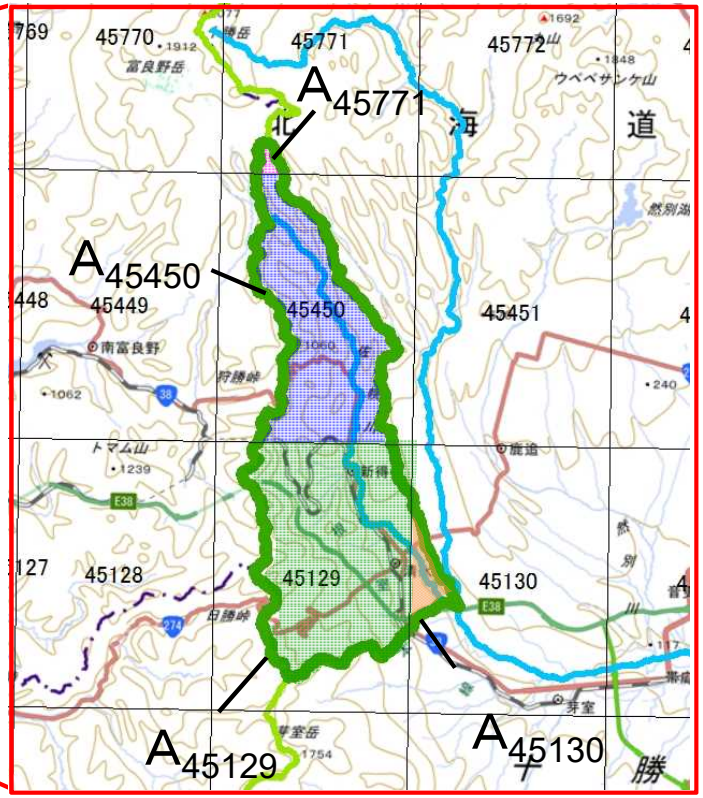
5－6. リサンプリングについて

流域平均雨量の算定について

- d4PDFの20kmメッシュを十勝川水系の流域図に重ね、各メッシュの寄与率（面積割合）を求める。
- 各メッシュの時間雨量に寄与率をかけて流域で総和をとり、流域面積で割ると時間当たりの流域平均雨量となる。



十勝川流域とd4PDF20kmメッシュ



十勝川5-7番流域の例

時間雨量算定式

$$R_{5\text{-}7番流域} = (R_{45129} \times A_{45129} + R_{45130} \times A_{45130} + R_{45450} \times A_{45450} + R_{45771} \times A_{45771}) / A_{5\text{-}7番流域}$$

R　：時間雨量

添字：d4pdfメッシュ番号　or　十勝川流域番号

5－3. ダウンスケーリングについて

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

↓

5－2. 流域平均雨量について

↓

5－3. ダウンスケーリングについて

↓

5－4. バイアス補正について

↓

5－5. 確率評価の考え方について

↓

5－6. リサンプリングについて

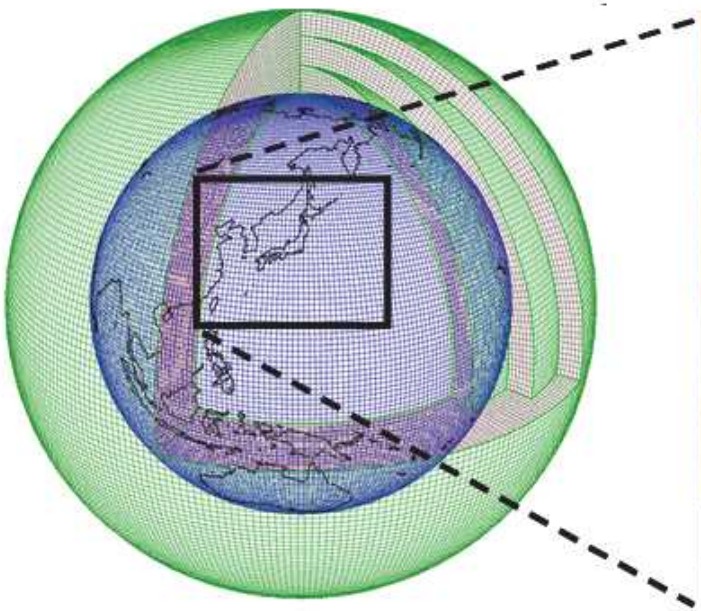
ダウンスケーリングの概要

■ 大きな洪水流出をもたらす台風や集中豪雨等の数十kmスケールの気象現象を対象とし、極端降雨や流域の地形特性を十分に表現できる解像度が必要となる。
■ 本検討では、d4PDFおよびd2PDFの領域モデル実験（水平格子間隔20km）結果を、気象庁の領域気象モデル（NHRCM）を用いて5kmメッシュにダウンスケーリングした。

＜ダウンスケーリングについて＞

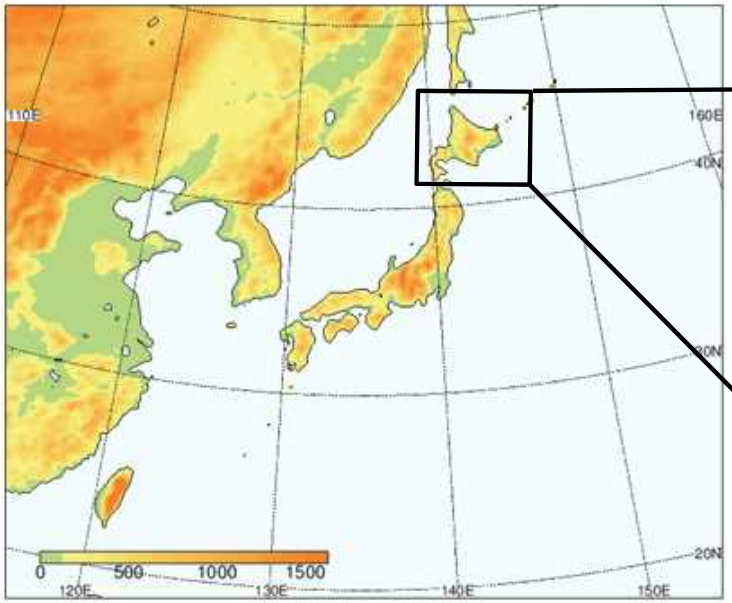
◆ 粗い気象モデルを境界条件として、領域内の気象を高解像度に再計算する方法。
◆ 課題…解像度によって計算負荷が大きくなる。

AGCM
（水平解像度約60km）

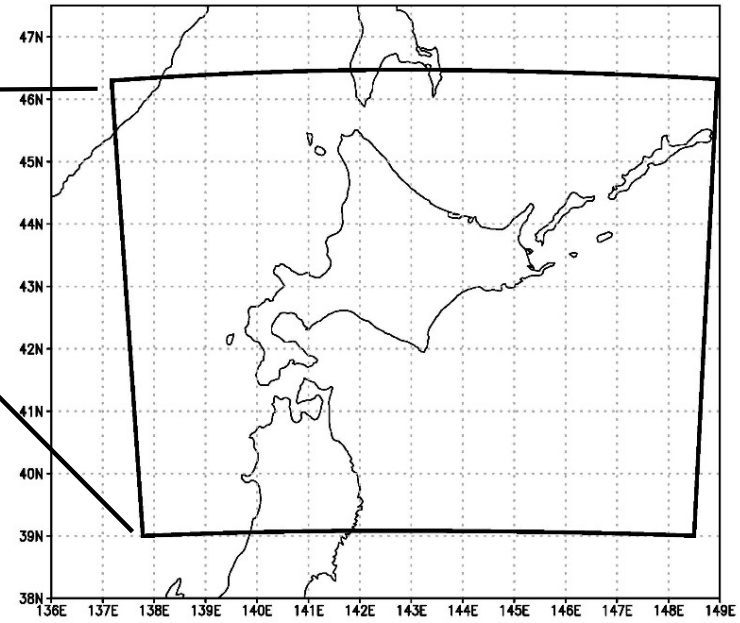


（画像：気象庁提供）

NHRCM
（水平格子間隔約20km）



NHRCM
（水平格子間隔約5km）



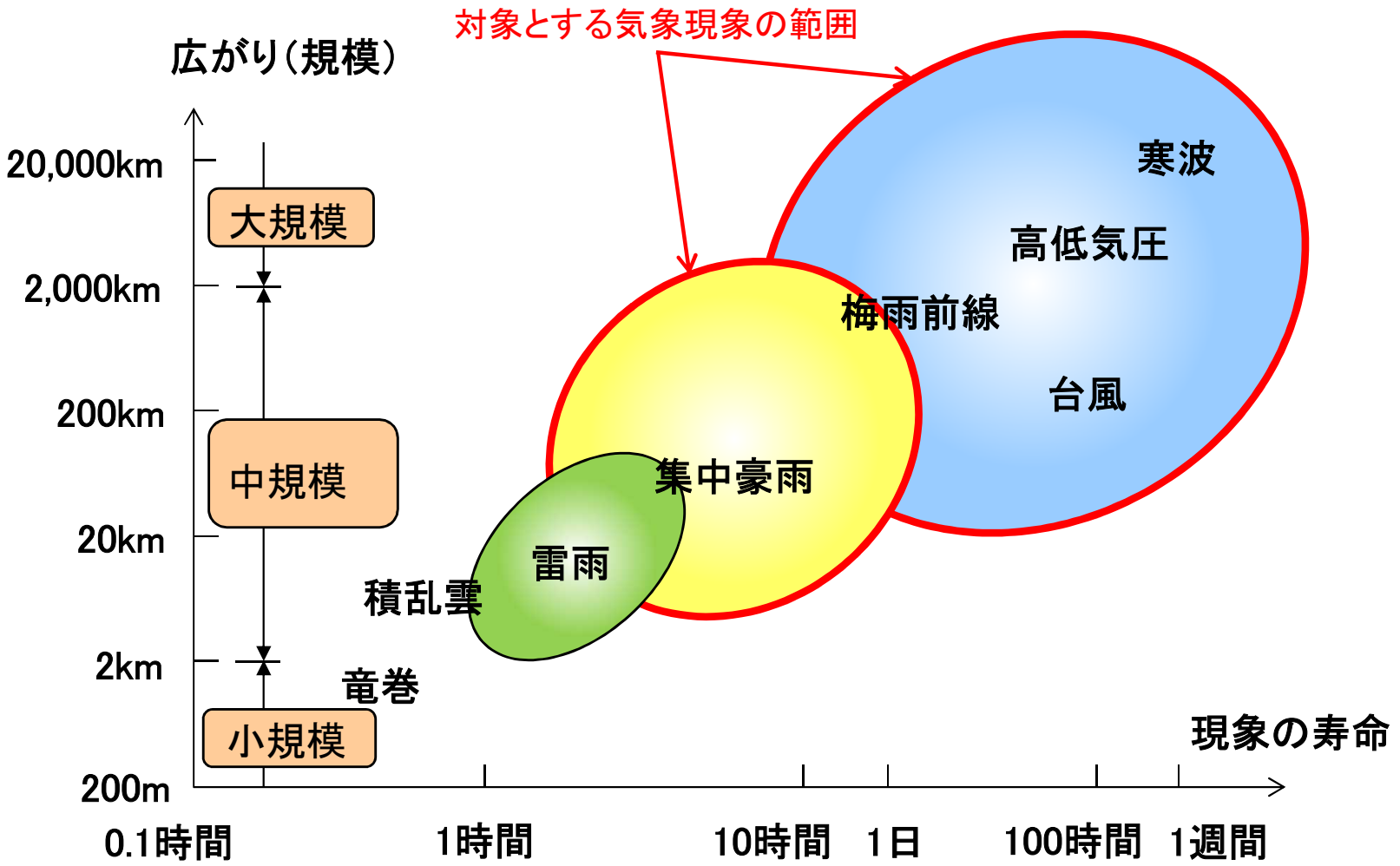
142.5E, 42.75Nを中心に東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲

※出典：文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html

ダウンスケーリングの実施について－対象とする気象現象と水平スケール（１）

■ 本検討では、大きな洪水流出をもたらす台風や集中豪雨等の数十kmスケールの気象現象を対象とする。
■ 水平スケールに着目すると、集中豪雨や前線は中規模スケール、台風などの現象は大規模スケールに含まれる。
■ 解析には対象とする水平解像度の4～5倍の解像度が必要とされている。

気象現象の水平及び時間スケール

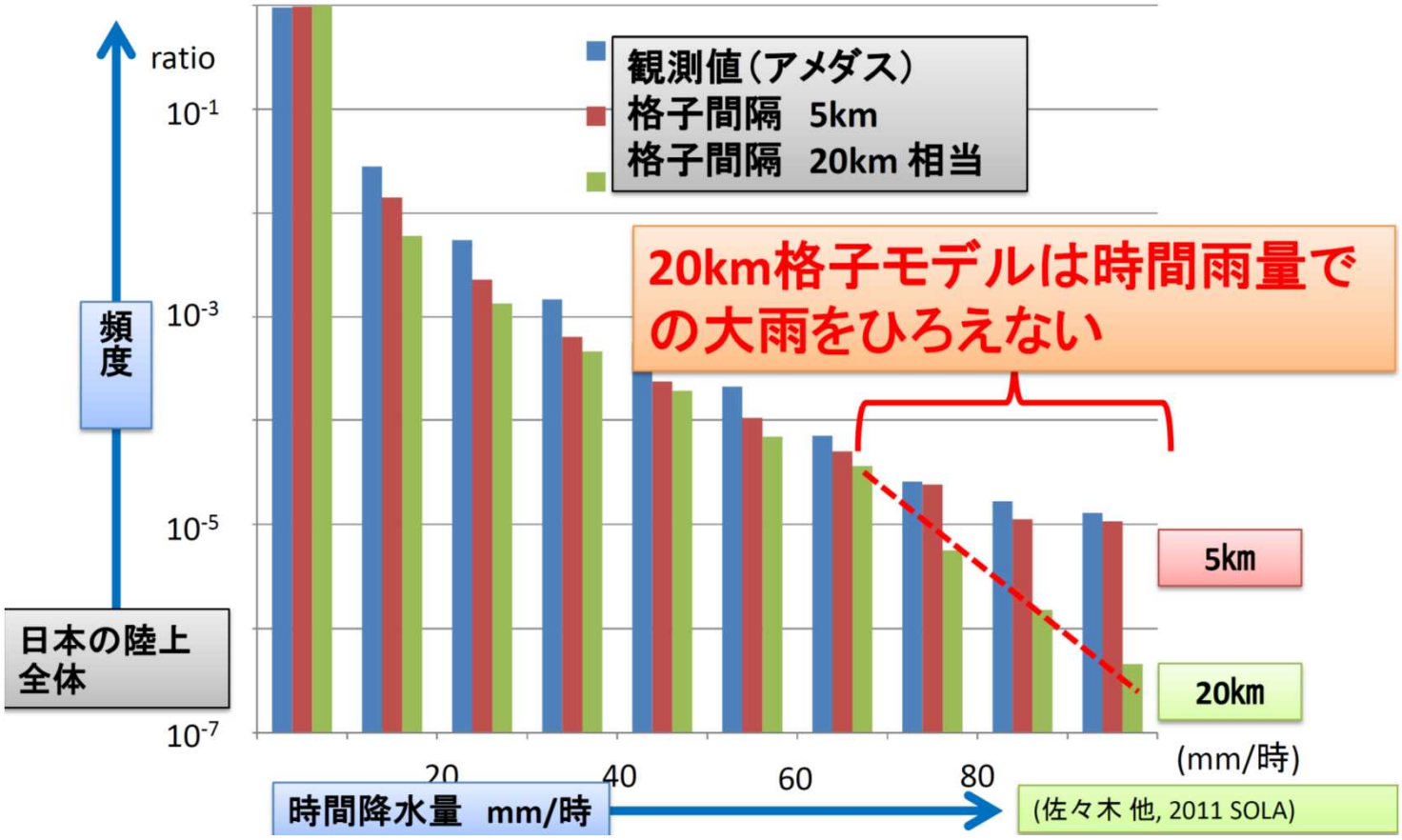


※出典：気象庁,数値予報モデルの種類, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-3-4.html

ダウンスケーリングの実施について－対象とする気象現象と水平スケール（２）

■ 高薮※らによると、20km格子では時間雨量が大きい降雨の再現ができていないことや、アメダスの極端降雨の再現性を確保するためには水平解像度5kmが必要であることが指摘されている。

時間降水の降り方の、モデル解像度による違い
（気象庁　温暖化予測情報第8巻データ）

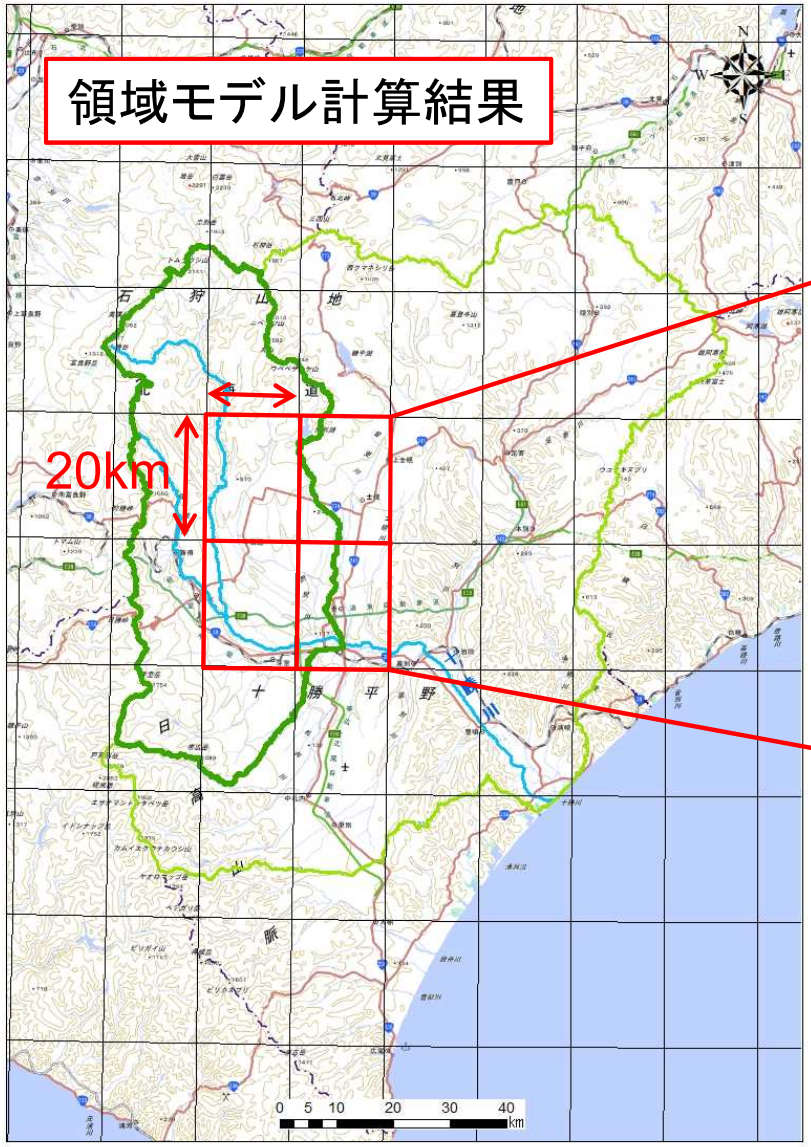


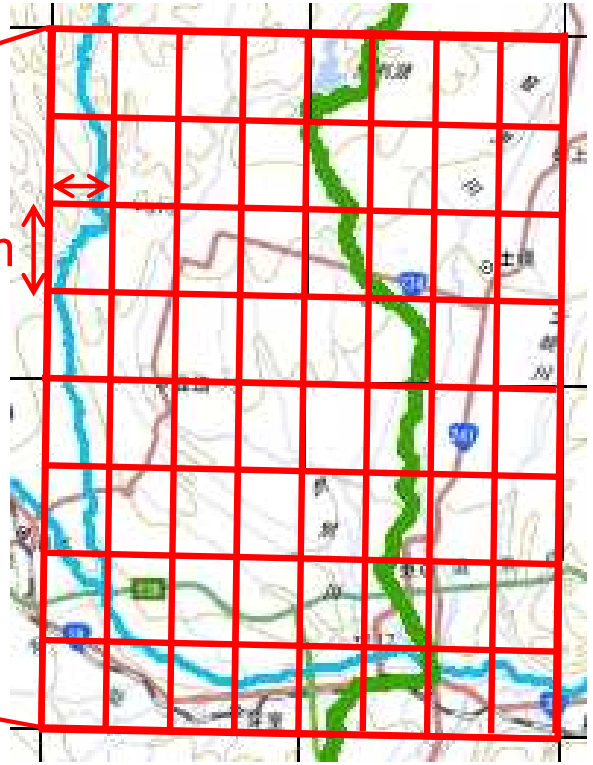
※出典：高薮,d4PDFの目的と概要,2015.12, https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/pdf/1_Takayabu.pdf
佐々木ら, Reproducibility of Present Climate in a Non-Hydrostatic Regional Climate Model Nested within an Atmosphere General Circulation Model,2011, https://www.jstage.jst.go.jp/article/sola/7/0/7_0_173/_pdf

ダウンスケーリングの実施について－水平解像度

■ 解像度を上げることで、計算負荷も増すため、既往の研究報告に基づいて5kmメッシュへダウンスケーリングを実施する。
■ ダウンスケーリングには気象庁の領域気象モデル（NHRCM）を用いる。

本検討で実施するダウンスケーリングの事例（十勝川流域の例）



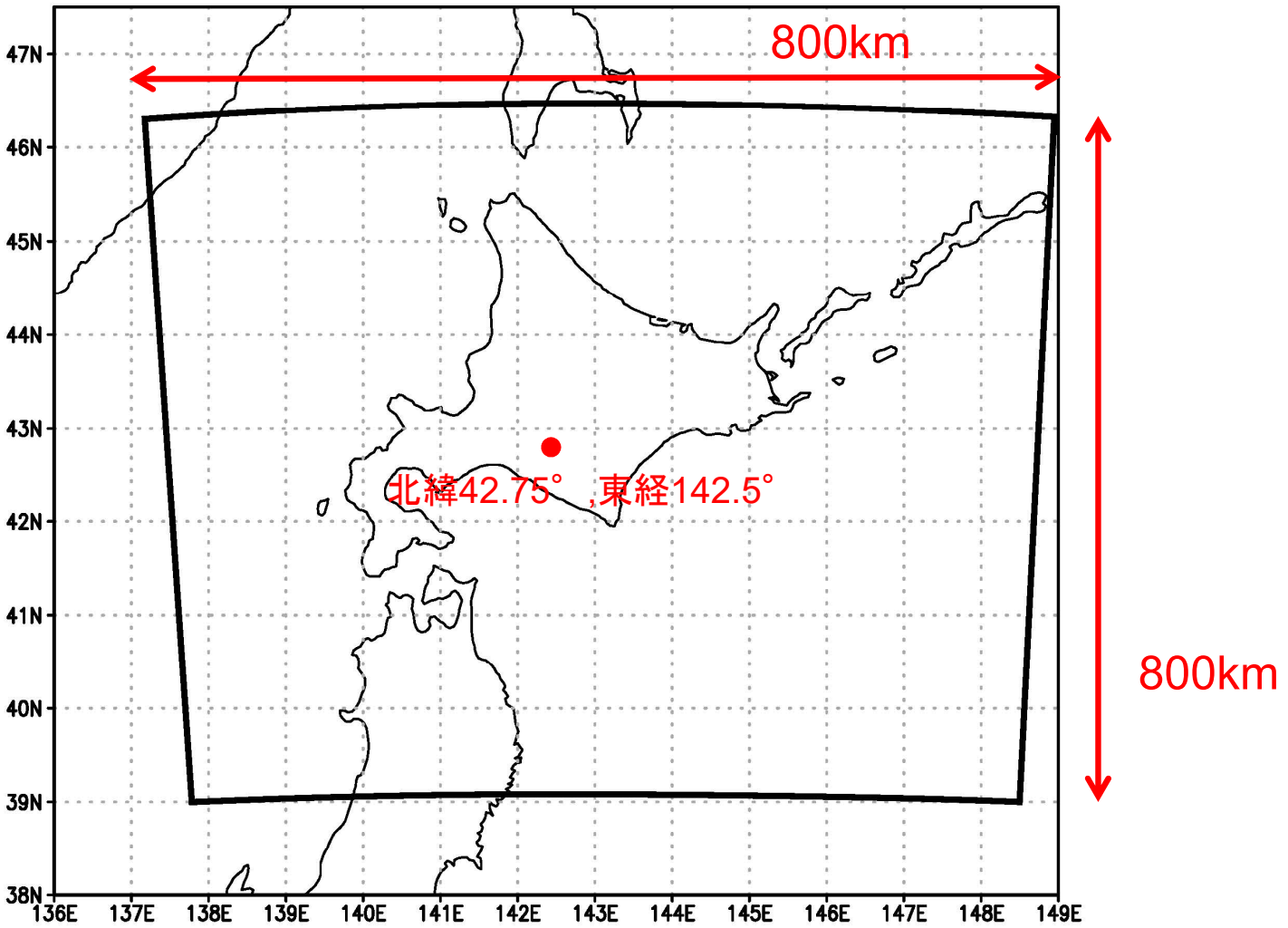


力学的ダウンスケーリングの実施

ダウンスケーリングの実施について－対象とする計算領域

■ ダウンスケーリングの実施にあたり、十勝川及び常呂川流域以外の検討も視野にいれ、北海道地方の気候変動予測に必要な計算領域を設定する。
■ 計算対象とする領域は、北緯42.75°,東経142.5°を中心とした東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲とした。

ダウンスケーリングの対象とした計算領域



142.5E, 42.75Nを中心に東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲

ダウンスケーリングの実施について– 対象期間

■ d4PDF（d2PDF）の日本周辺RCM20の過去実験60年×50メンバ、将来予測(4℃上昇実験：60年×90メンバ、2℃上昇実験：60年×54メンバ）の降雨量データから、各流域で年最大流域平均雨量となるイベントを抽出。このときの降雨継続時間は、常呂川1日、十勝川3日、石狩川3日とする。

■ ダウンスケーリング実施期間は、対象降雨を含む2週間程度とする。

・各メンバの6月～11月を対象に、降雨継続時間内の流域平均積算雨量を算定（24hの場合）

HFB_4K_CC m101　2051年　…　2110年

HFB_4K_CC m102

HFB_4K_CC m103

HFB_4K_MR m115

日時	流域平均時間雨量	降雨継続時間内積算雨量	降雨継続時間
6/1 10:00	10mm/h	50mm/24h	6/1 10:00 ～6/2 9:00
6/1 11:00	5mm/h	60m/24h	6/1 11:00 ～6/2 10:00
6/1 12:00	20mm/h	150mm/24h	6/1 12:00 ～6/2 11:00
6/1 13:00	15mm/h	120mm/24h	6/1 13:00 ～6/2 12:00
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
11/30 0:00	0mm/h	0mm/24h	11/29 0:00 ～11/30 24:00

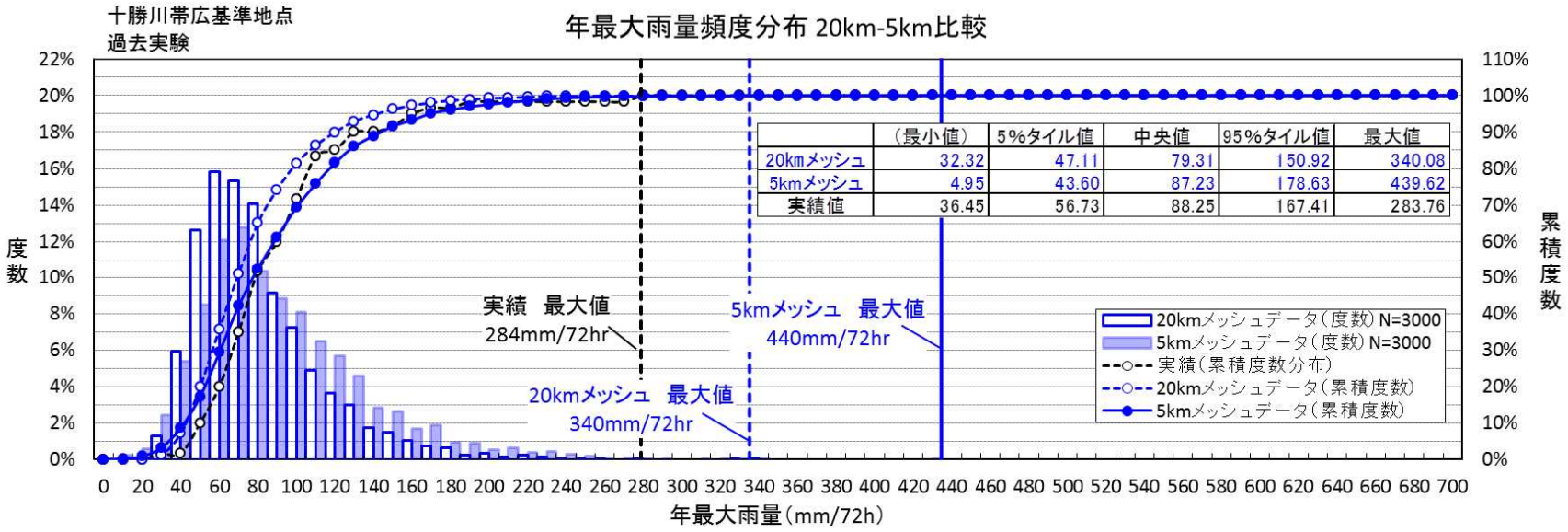
年最大流域平均雨量

それぞれの降雨について、助走期間を含めて2週間程度の期間を対象に、ダウンスケーリング計算を実施。

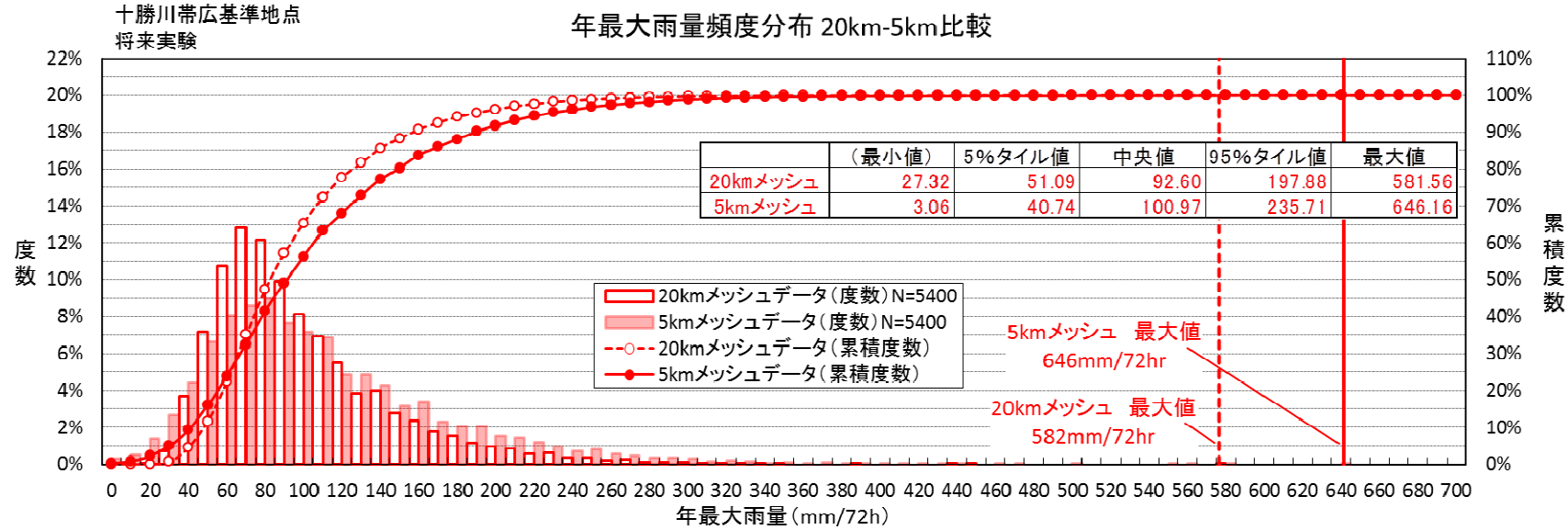
ダウンスケーリング結果報告（十勝川）①―20kmデータと5kmデータの比較

- 十勝川帯広基準地点流域を対象として、ダウンスケーリング前後の将来実験5400ケース及び過去実験3000ケースの流域平均72時間雨量を比較した。
- ダウンスケーリングによって、過去実験、将来実験ともに、流域平均72時間雨量の中央値が大きくなり、規模の大きな降雨が増加する傾向となった。

十勝川
帯広基準地点



	（最小値）	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
20kmメッシュ	32.32	47.11	79.31	150.92	340.08
5kmメッシュ	4.95	43.60	87.23	178.63	439.62
実績値	36.45	56.73	88.25	167.41	283.76



	（最小値）	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
20kmメッシュ	27.32	51.09	92.60	197.88	581.56
5kmメッシュ	3.06	40.74	100.97	235.71	646.16

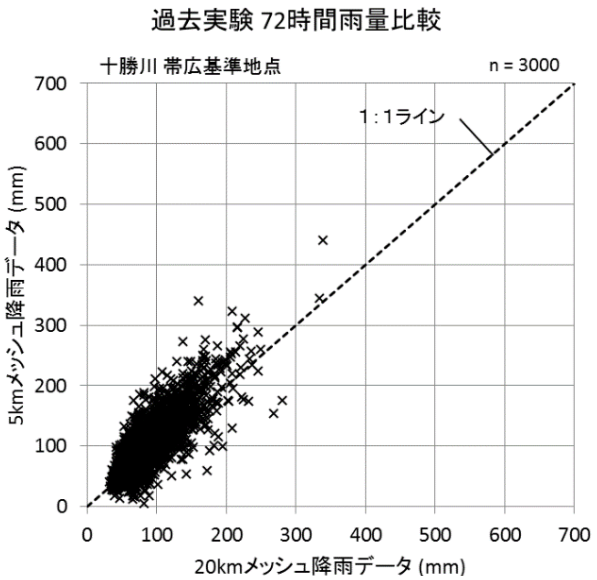
ダウンスケーリング結果報告（十勝川）②―20kmデータと5kmデータの比較

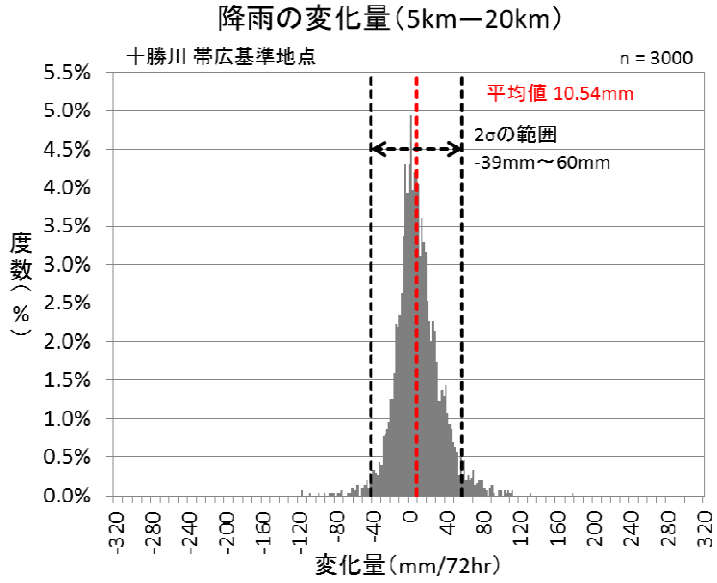
■ ダウンスケーリング前（20kmメッシュ）の流域平均72時間雨量とダウンスケーリング後（5kmメッシュ）の流域平均72時間雨量の変化量を整理した。
■ 十勝川帯広基準点では、ダウンスケーリング後に72時間雨量が増加したケースが多く、変化量の平均値は過去実験で+10.5mm、将来実験で+10.6mmであった。

十勝川 帯広基準地点

過去実験

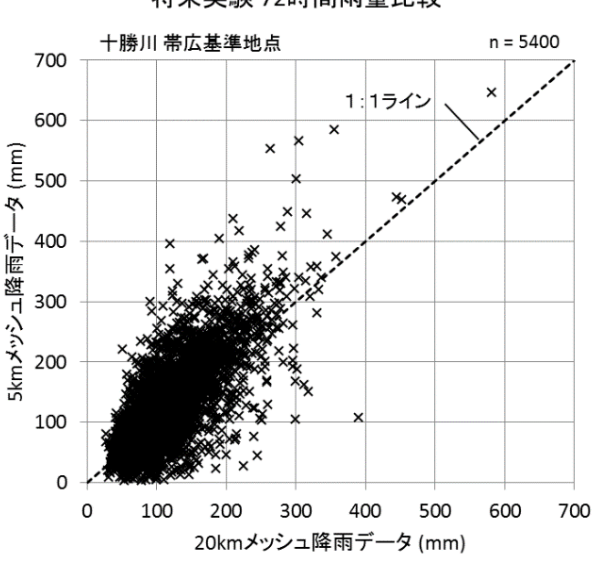
➢ 降雨の変化量
2σの幅：**-39mm～60mm**
平均値：**10.54mm**

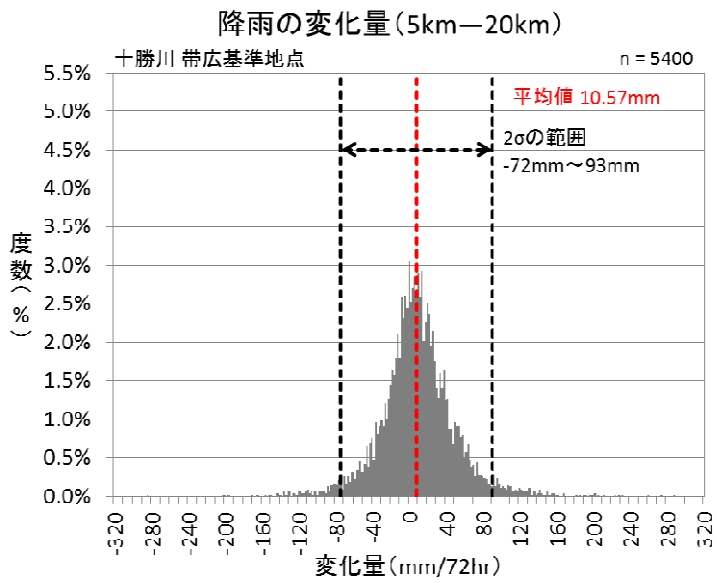




将来実験

➢ 降雨の変化量
2σの幅：**-72mm～93mm**
平均値：**10.57mm**

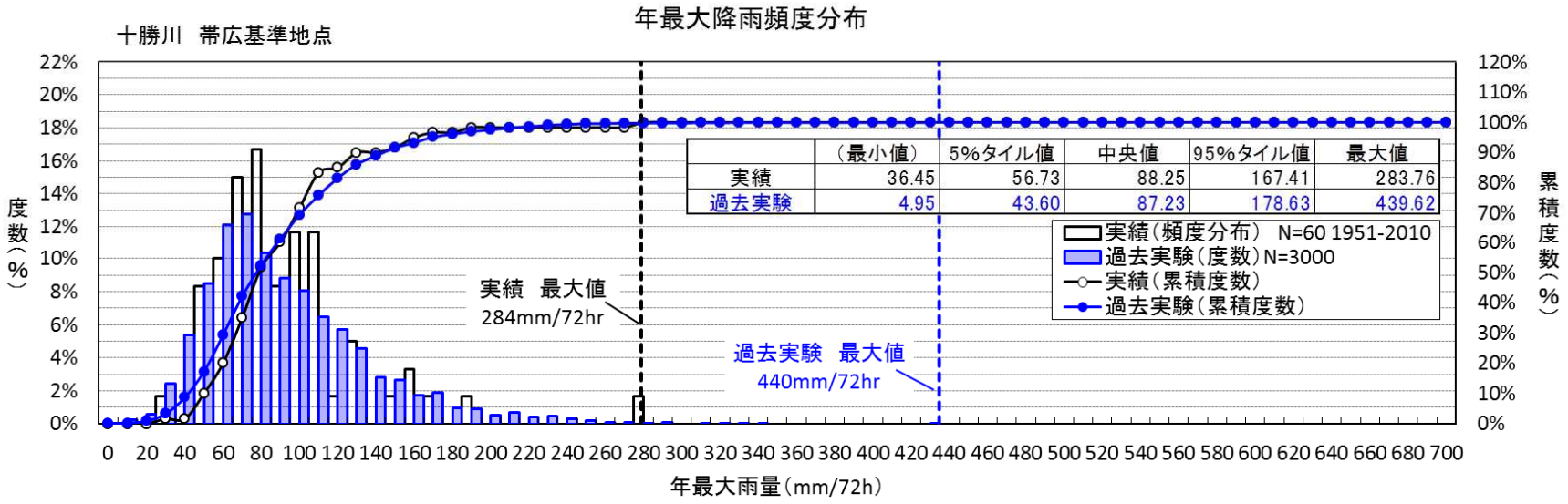


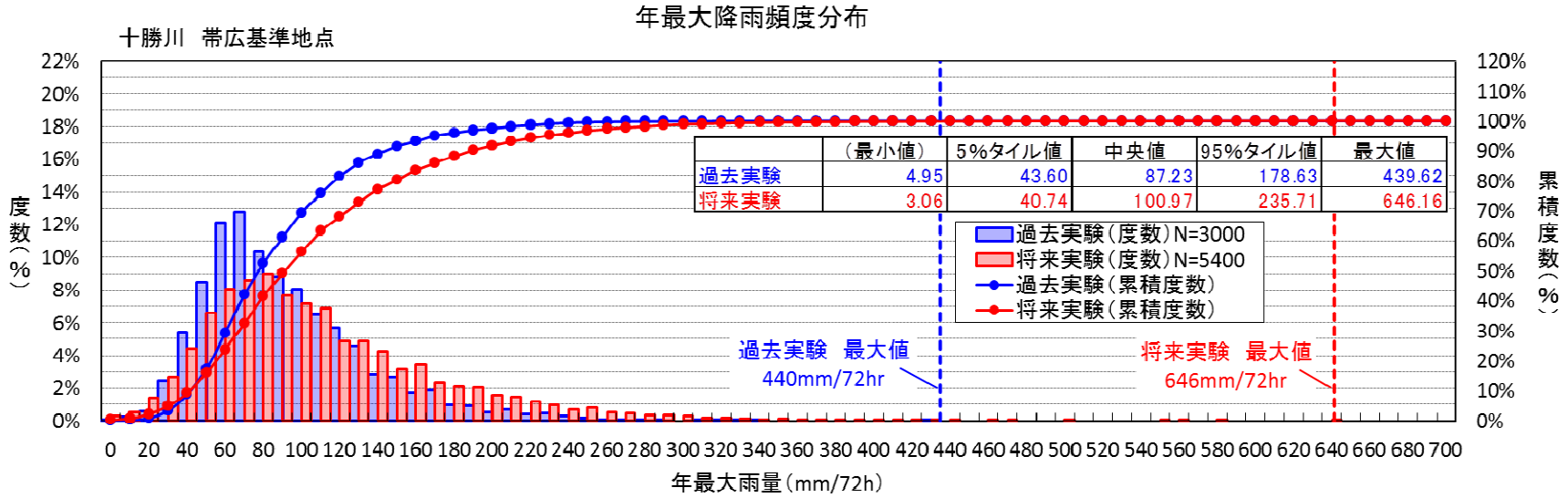


ダウンスケーリング結果報告（十勝川）③ー実績値及び5kmデータ間の比較

■ 十勝川帯広基準地点流域における実績降雨とダウンスケーリング後の過去実験降雨を比較すると、実績降雨の中央値88mmに対して過去実験降雨の中央値は87mmとなり、同程度であった。
■ ダウンスケーリング後の過去実験降雨と将来実験降雨を比較すると、過去実験降雨の中央値87mmに対して将来実験降雨の中央値は101mmとなり、気候変動後には降雨量が増加傾向になる。

十勝川
帯広基準地点



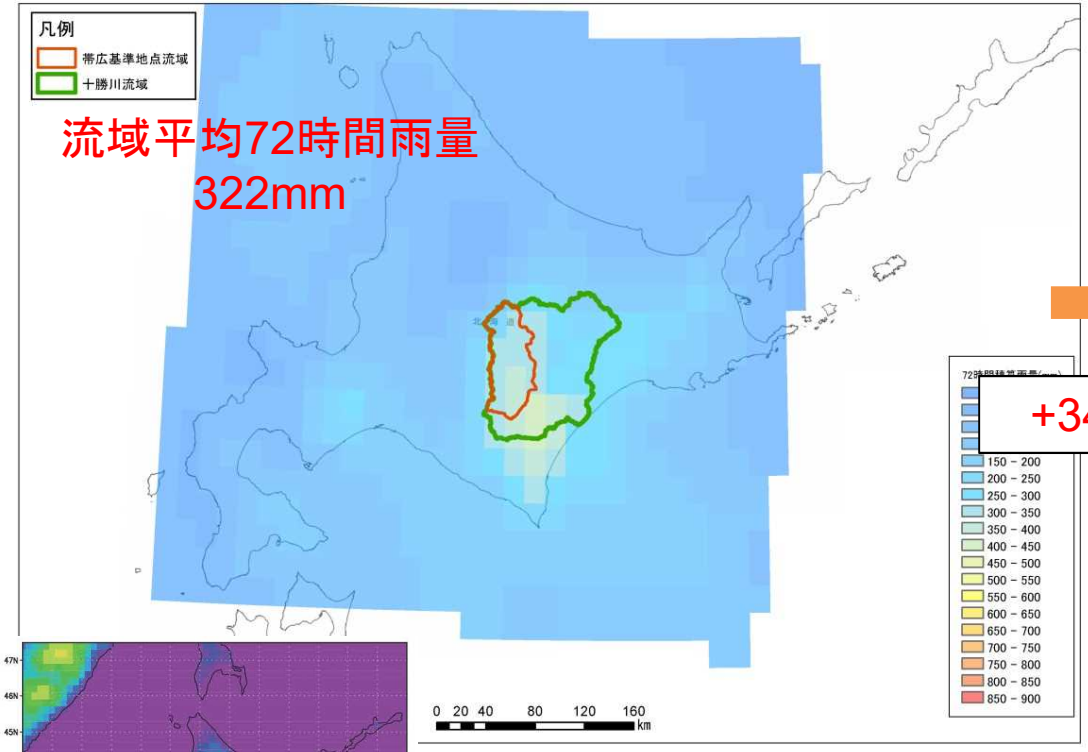


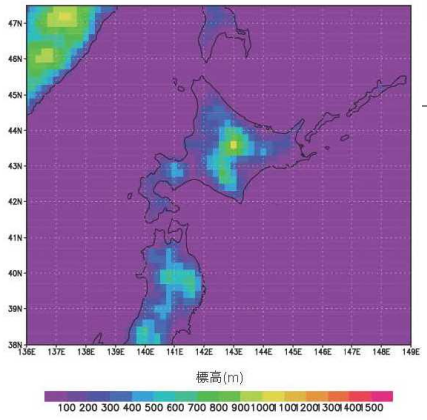
ダウンスケーリング結果報告－ダウンスケーリング前後での雨量分布変化

■ 十勝川流域を対象とし、ダウンスケーリングによって帯広基準地点流域平均72時間雨量が増加した将来実験2056年（MI m103）の72時間積算雨量分布図を作成した。
■ ダウンスケーリング後の降雨分布は、ダウンスケーリング前と比べて降雨分布が明瞭となったほか、日高山脈の影響を強く受けたことにより十勝川流域の降雨が増加したものと考えられる。

➢ 十勝川　将来実験　MI m103 2056年データ

ダウンスケーリング前（20kmメッシュ）

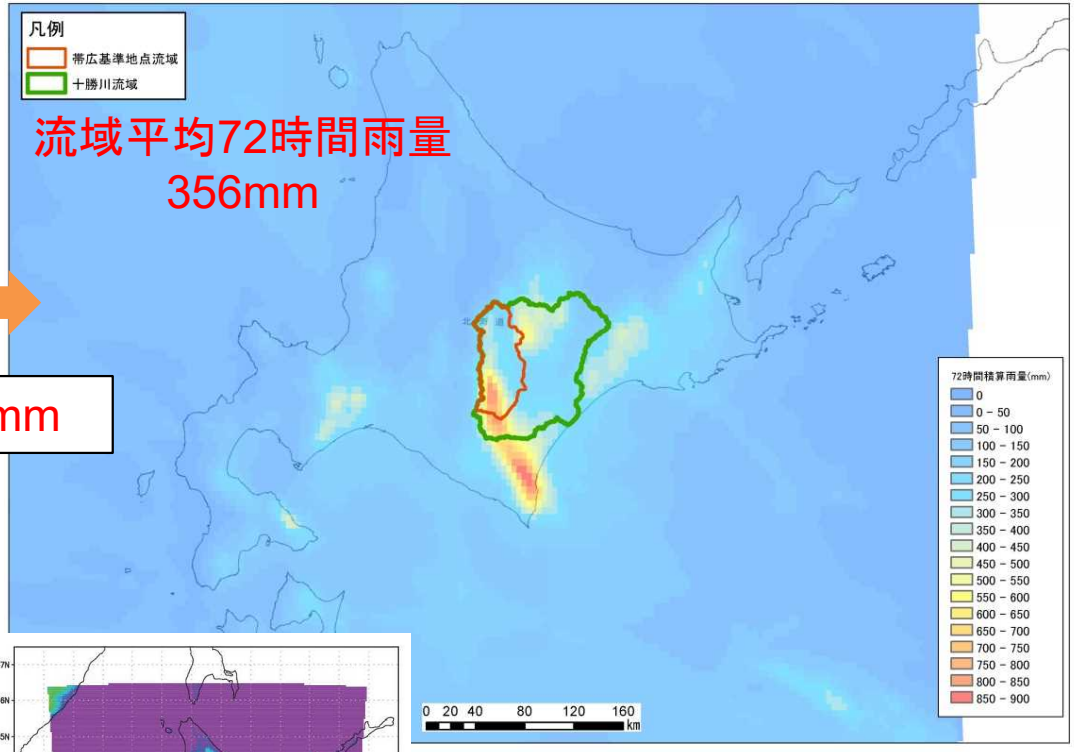


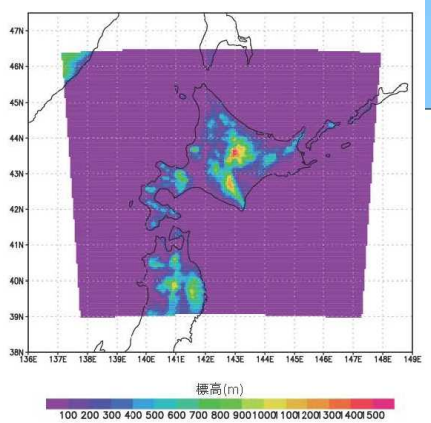


20kmメッシュ標高コンター図

+34mm

ダウンスケーリング後（5kmメッシュ）





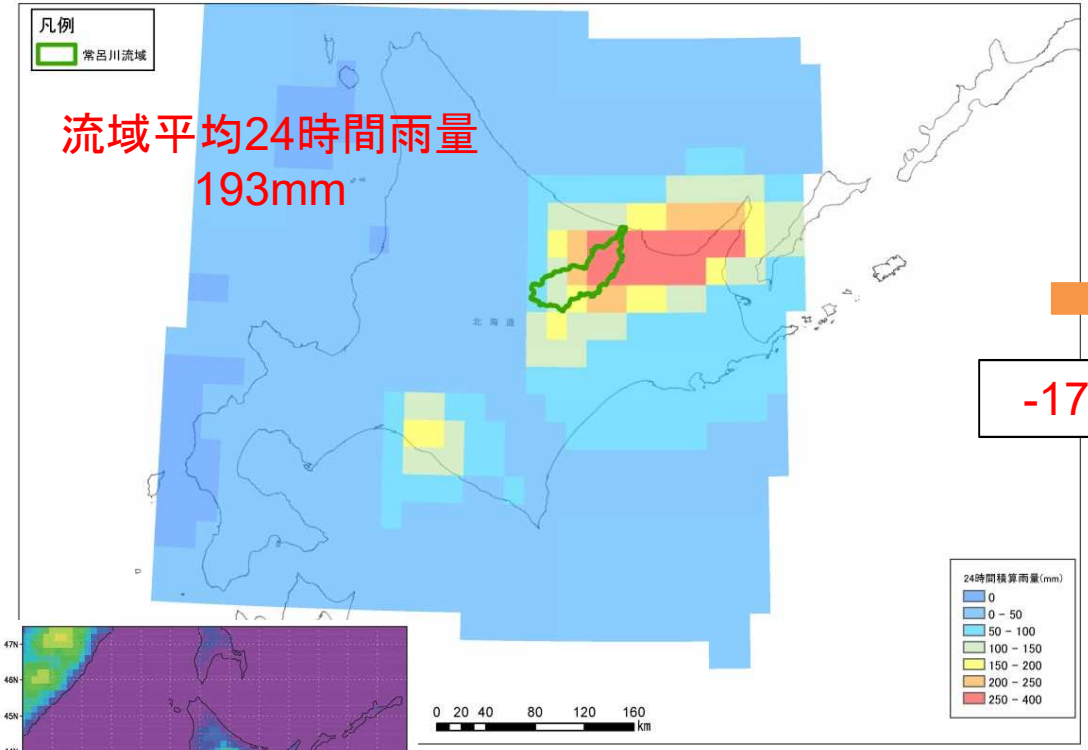
5kmメッシュ標高コンター図

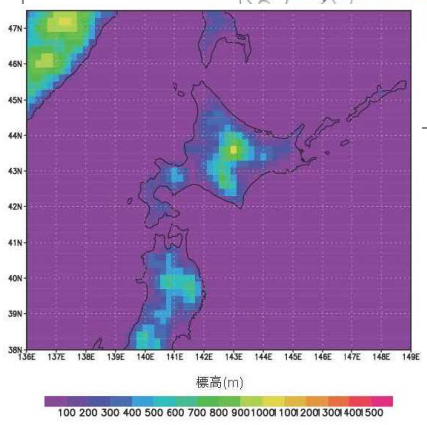
ダウンスケーリング結果報告－ダウンスケーリング前後での雨量分布変化

■ 常呂川流域を対象とし、ダウンスケーリングによって北見基準地点流域平均24時間雨量が減少した将来実験2075年（CC m102）の24時間積算雨量分布図を作成した。
■ ダウンスケーリング後の降雨分布は、ダウンスケーリング前と比べて降雨分布が明瞭となったほか、知床半島から阿寒湖に広がる山地の影響を受け、常呂川流域外の降雨が増加したため、常呂川流域の降雨が減少したものと考えられる。

➢ 将来実験　CC m102 2075年データ

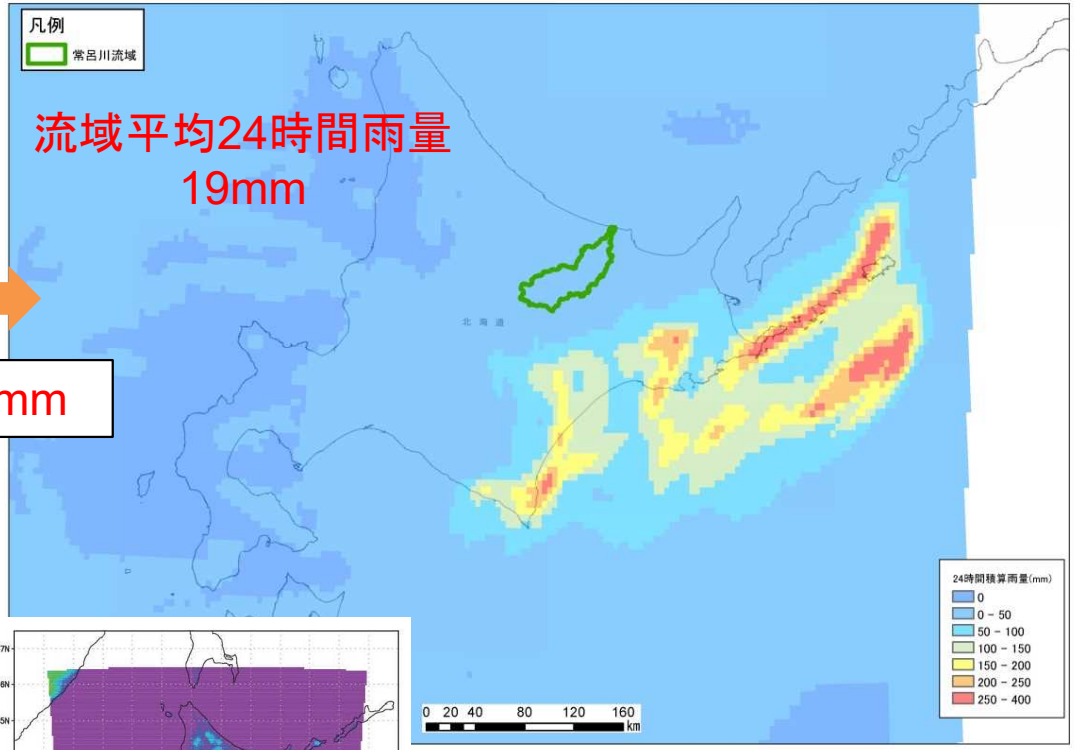
ダウンスケーリング前（20kmメッシュ）



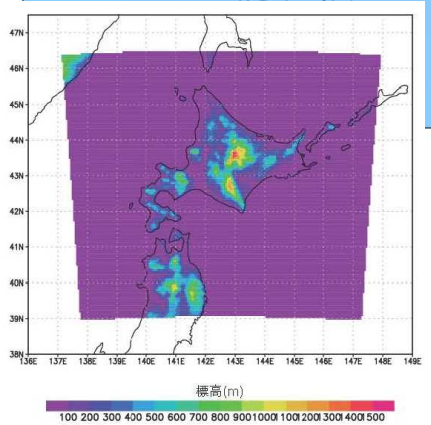


20kmメッシュ標高コンター図

ダウンスケーリング後（5kmメッシュ）



-174mm



5kmメッシュ標高コンター図

5－4. バイアス補正について

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

↓

5－2. 流域平均雨量について

↓

5－3. ダウンスケーリングについて

↓

5－4. バイアス補正について

↓

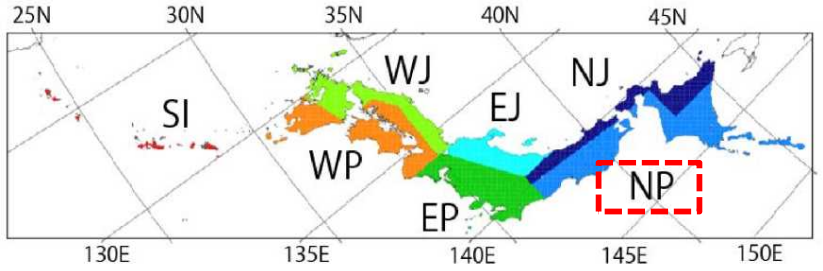
5－5. 確率評価の考え方について

↓

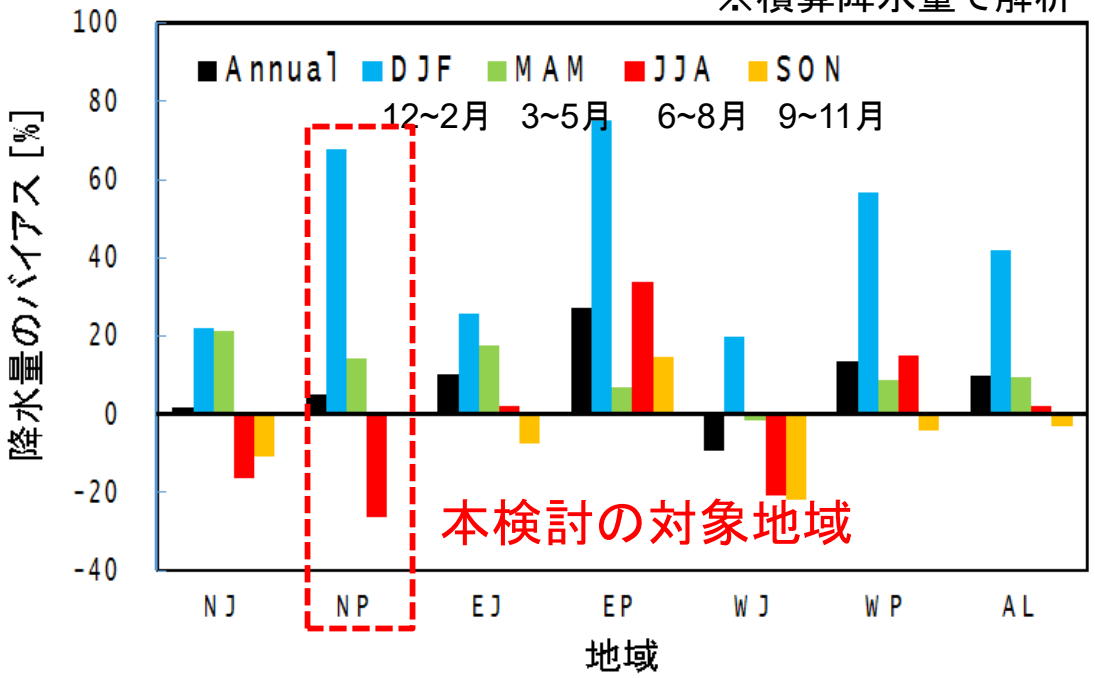
5－6. リサンプリングについて

バイアス補正の必要性

■ 過去実験のうち、1979年9月から2009年8月までの30年間のデータを気象庁アメダスデータと比較すると、十勝川流域および常呂川流域が位置するNP地域においては、6月～8月において降水量が少なくなる傾向にある。
■ d4PDFは、単一の気象モデル（AGCM、NHRCM）を用いていることから、モデルの系統誤差を含んでいる可能性があるため、本検討では降雨量に対してバイアス補正を行う。



降水量　※積算降水量で解析



※1：アメダス観測地点から距離が20km以内の格子点におけるデータを平均化することによってモデル再現値を求めた。
※2：100×（b/a－1）、ここでaは観測値、bはモデル再現値

バイアス補正実施にあたっての留意点

・実績降雨データと過去実験データによりバイアス補正式を設定するため、設定したバイアス補正式が将来実験データのバイアス補正には適さない可能性がある。

・観測体制等により、実績降雨データは不確実性を含んでいるため、バイアス補正を行っても真値を捉えられない可能性がある。

※出典：文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12 , http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html

これまでに実施されたバイアス補正手法の例

■ これまでに、様々なバイアス補正手法が提案されており、主に日降水量を対象に補正がおこなわれている。

●井沢ら[1)]

①月平均降水量の比を用いた方法

基準期間におけるモデル出力と観測値の各月ごとの月平均降水量の比を計算する。その比を対応する月の**日降水量**にかけることで、モデル出力の月平均値が観測の月平均値を一致するように補正される。

②累積分布関数を用いた方法

モデル出力及び観測値それぞれについて各月ごとの**日降水量**のクオンタイル値を求める。そして、モデル出力の各クオンタイル値が対応する観測値のクオンタイル値に置き換えられることによって、モデル出力のバイアス補正が行われる。

③各日降水量毎に係数を定める方法

基準期間における観測日降水量とモデル日降水量をそれぞれ降順に並べ、同順位の日データの比を求めることで、各日毎のスケーリング係数を定める。そのスケーリング係数を、降順に並べたバイアス補正対象期間の対応する順位の**日降水量**にかけることで、補正された日降水量を得る。

●森ら[2)]

①適用手法1

現在気候における初期条件アンサンブル出力（main、m01、m02の3つのアンサンブル）および観測値の**日降水量**データの25年間分を月ごとに分類し、各月について日降水量を大きさの順位ソートする。次に、各順位の初期条件アンサンブル出力と観測値の比率を算出し、j-12番目からj+12番目の25個の平均をj番目の比率とする。その比率を初期条件アンサンブル出力ごとに求め、将来も変わらないとして各初期条件アンサンブル出力の現在気候降水量、将来気候降水量に乗じることで補正する。

②適用手法2

現在気候における初期条件アンサンブル出力および観測値の日降水量データの25年間分を月ごとに分類し、各月について**日降水量**を大きさの順位ソートする。そして、各順位において全ての初期条件アンサンブル出力の平均値と観測値の比率を算出し、j-12番目からj+12番目の25個の平均をj番目の比率とする。この比率を全ての初期条件アンサンブル出力の現在気候降水量、将来気候降水量に乗じることで補正する。

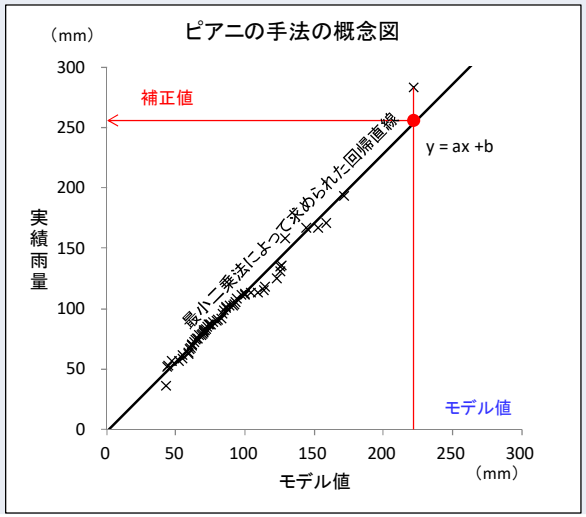
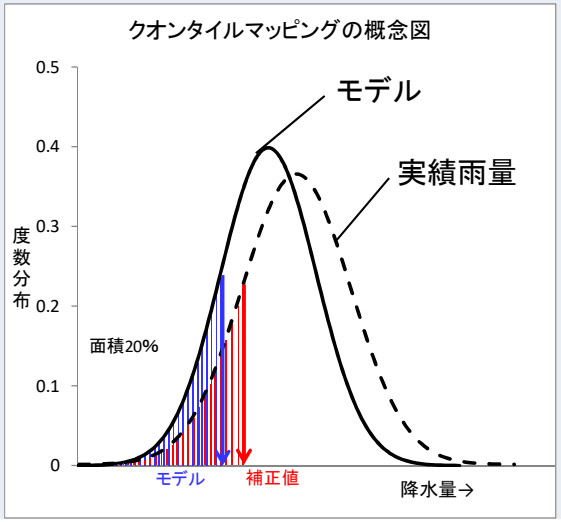
●猪俣ら[3)]

GCM20（計算値）およびアメダスの日降水量データを月毎に分類し、各月について各**日降水量**の非超過確率を求め、GCM20降水量と観測値の各非超過確率降水量値について比率を算出する。次に、その非超過確率ごとに定められたGCM20降水量と観測値の比率は将来も変わらないとしてGCM20の将来予測降水量にその比率を乗じることで将来の降水量を推定する。

1）井沢　慶彦、藤村　和正、村上　雅博、鼎　信次郎（2015）：領域気候モデルとバイアス補正手法に起因する不確実性が早明浦ダム貯水量将来変化の推定に与える影響、流域圏学会誌　第3巻　第1号、p23-32
2)森　信治、Kim sunmin、萬　和明、立川　康人、椎葉　充晴（2012）：気候モデルのアンサンブル降水出力に対するバイアス補正の影響分析、水文・水資源学会研究発表会要旨集25(0)、254
3)猪俣　広典、竹内　邦良、深見　和彦（2009）：GCM降水量データの統計的バイアス補正手法に関する一考察、水工学論文集第53巻、p223-228

適用するバイアス補正手法

■ 気象研究所技術報告第73号では、バイアス補正手法としてピアニの手法、クオンタイルマッピング法が紹介されている。
■ 本検討では、流出計算実施の際の時間雨量に対してもバイアス補正を行う。そのため、バイアス補正を行っても補正前の降雨と大小関係（降雨波形）が維持され、実務上も取り扱いが容易なピアニの手法を用いる。

	ピアニの手法	クオンタイルマッピング
手法の概要	モデルによる計算値、観測値それぞれをソートし、小さい値から大きい値の順に並べる。ソートされた計算値、観測値をそれぞれx、y の値と見なしてxy 平面にプロットする。そして、x とy についての線形関係を最小二乗法によって求める。この関係式を用いれば計算値（x）が観測値（y）に近似的に補正される。	モデルによる計算値、観測値それぞれについて累積密度関数を求め、等しいパーセンタイル値を示すデータを対応させる。 クオンタイルマッピングでは観測値の累積密度関数に数値を合わせるため、将来気候実験データに適用すると不具合が生じる場合がある。
概念図		
利点	補正前の計算値の大小関係が補正後も維持される。	モデルによる計算値が対応するパーセン タイル値の観測値に置き換えられることによって、誤差が完全に解消される
欠点	最小二乗法による近似を用いているため、誤差が完全に解消されるわけではない	将来気候におけるモデル計算値と観測値との関係を現在気候のもので代用すると、補正前の計算値の大小関係が補正後に逆転してしまう現象が稀にみられる。

参考資料：『気象研究所技術報告第73号2015第4章将来気候予測』

ピアニの手法によるバイアス補正

■ 過去実験の年最大雨量を対象とし、ピアニの手法によるバイアス補正を実施した。
■ 関係式作成の対象データは観測実績データとの対応期間とし、過去実験の各50アンサンブルメンバの関係式を作成した。
■ なお、関係式については、降雨量が負の値となることのないように、b=0とした。
■ 作成した50アンサンブルメンバの関係式の定数aの平均値を算出し、全サンプルに適用する関係式を作成した。

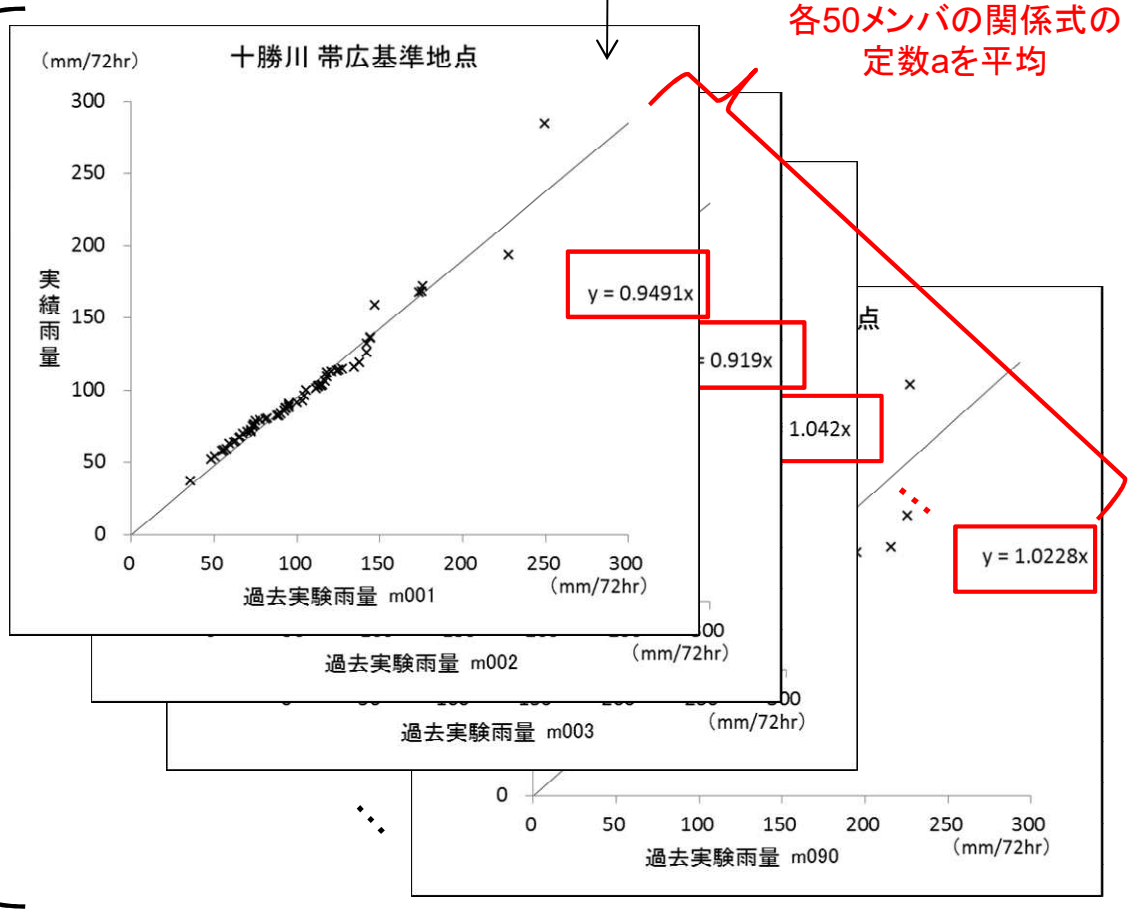
関係式の作成方法

➢ 観測実績データとの対応期間
・帯広基準地点…60年（1951-2010）
・北見基準地点…49年(1962-2010)

観測実績値と実験値を昇順に並び替えてプロットを作成。

各50メンバの関係式の定数aを平均

過去実験50メンバ



補正値の算出方法

ダウンスケーリング後の流域平均雨量（X）

・将来実験
・過去実験

関係式

$$Y = a_{平均} \times X$$

・帯広基準地点… y = **0.99** x
・北見基準地点… y = **1.10** x

バイアス補正値（Y）

※補正式について
補正式は、流域平均の計画降雨継続時間（十勝川72時間・常呂川24時間）での年最大雨量を対象にして作成されている。一方で、流出計算には時間雨量が必要となる。補正式（y=ax+b）を時間雨量に適用した場合、bの値により、負の値をとる可能性がある。そのため、補正式はy=ax（b=0）とした。

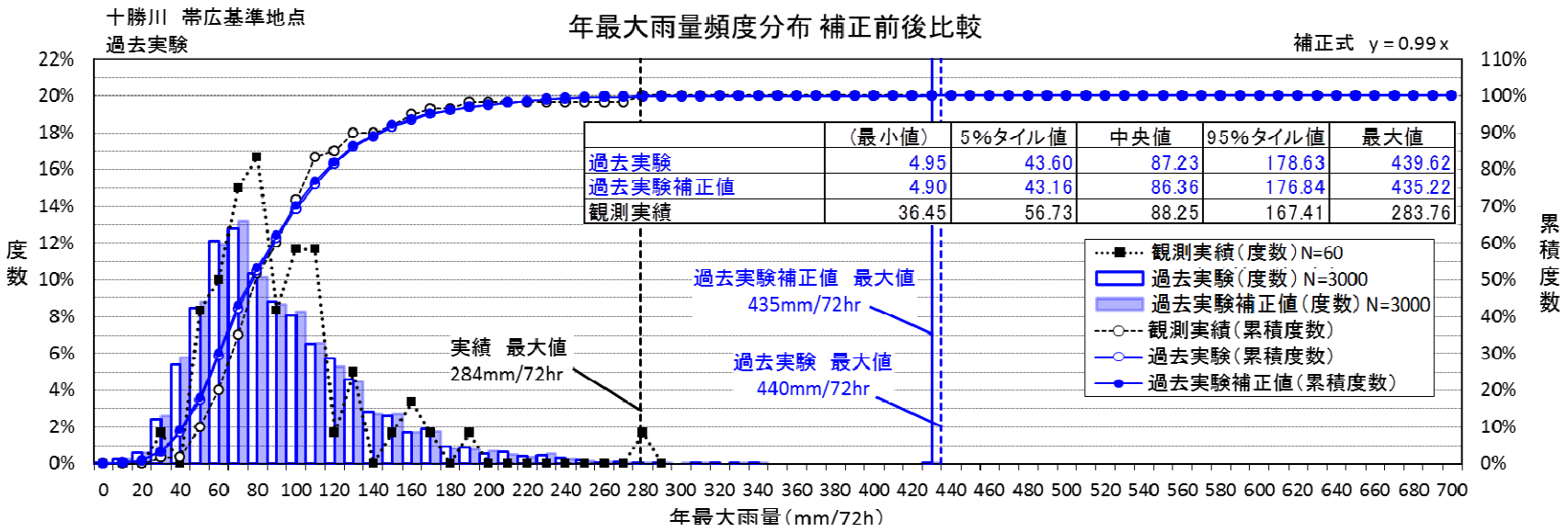
バイアス補正結果【十勝川帯広基準地点】

■ 十勝川帯広基準点については、流域平均72時間年最大雨量を対象に、バイアス補正係数a=0.99として補正を実施した。
■ バイアス補正の結果、過去実験における年最大雨量の累積度数は実績の年最大雨量の累積度数に概ね一致している。
■ 将来実験では、中央値は1.16倍、95%タイル値は1.32倍に降雨量が増加する。

十勝川 帯広基準地点

過去実験

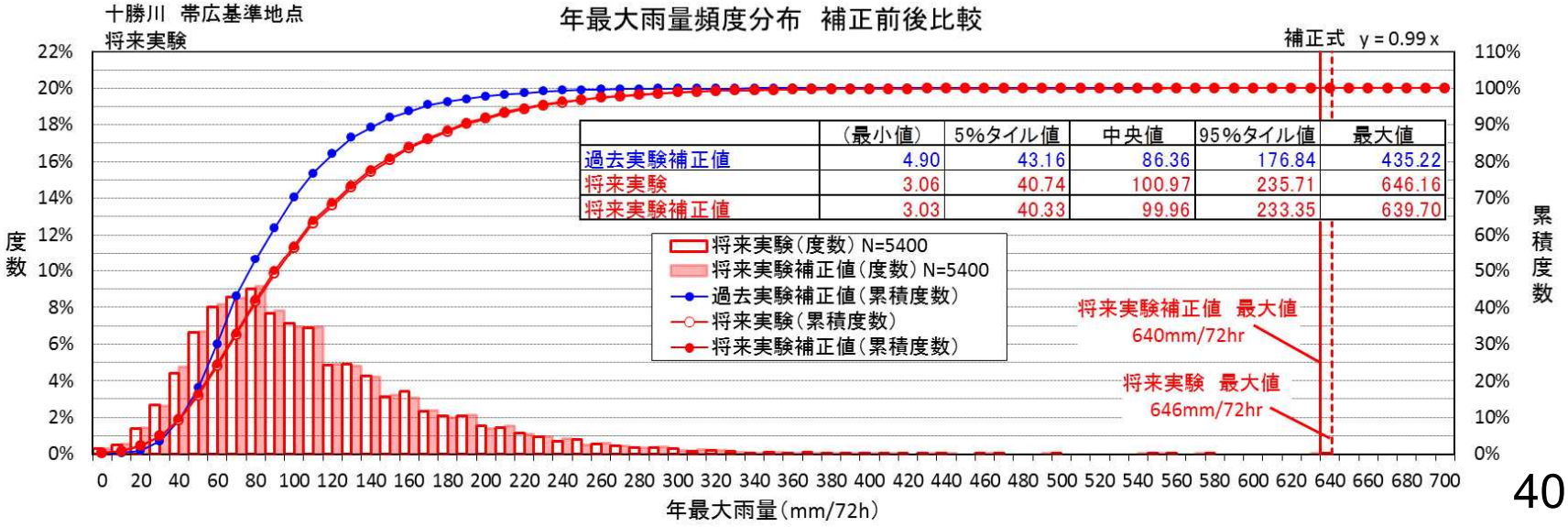
➢ 補正後の降雨量
中央値・・・**86**mm
95%タイル値・・・**177**mm



	(最小値)	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
過去実験	4.95	43.60	87.23	178.63	439.62
過去実験補正値	4.90	43.16	86.36	176.84	435.22
観測実績	36.45	56.73	88.25	167.41	283.76

将来実験

➢ 補正後の降雨量
中央値・・・**100**mm
※過去実験の1.16倍
95%タイル値・・・**233**mm
※過去実験の1.32倍



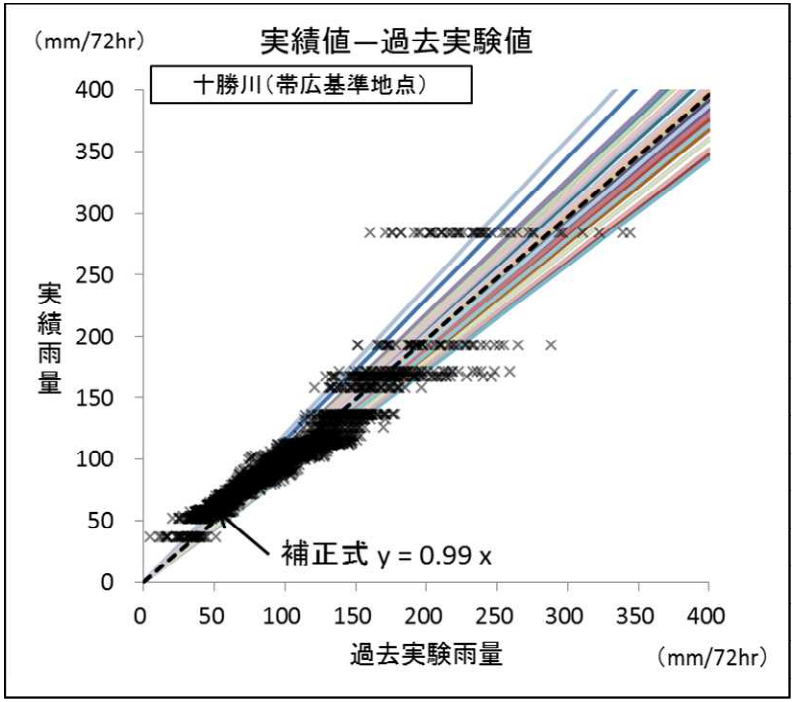
	(最小値)	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
過去実験補正値	4.90	43.16	86.36	176.84	435.22
将来実験	3.06	40.74	100.97	235.71	646.16
将来実験補正値	3.03	40.33	99.96	233.35	639.70

設定したバイアス補正式

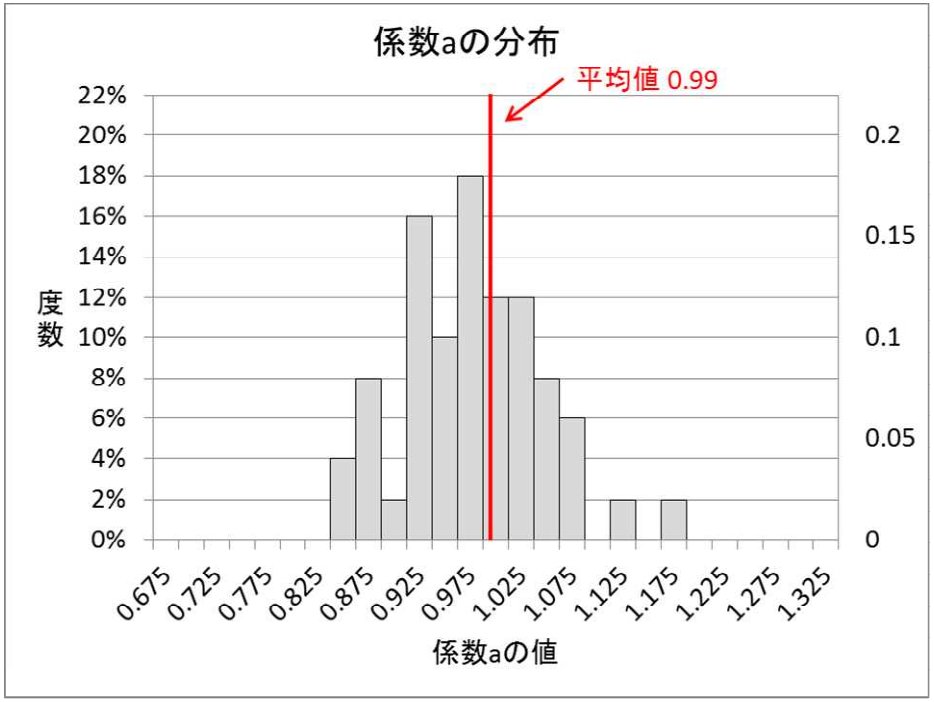
■ 補正式の作成において、50メンバ毎に作成した補正式の係数aの平均値を用いるにあたり、メンバ毎の係数aの分布を確認した。
■ 係数aの平均値は、十勝川帯広基準地点で0.99となっており、中央値と一致している。

十勝川 帯広基準地点

➢50メンバ×60年分の過去実験及び実績雨量のプロット図



➢50メンバ毎に作成した補正式の係数aの分布



係数aの最小値は**0.86**、
最大値は**1.20**。
中央値は**0.99**。

5－5. 確率評価の考え方について

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

↓

5－2. 流域平均雨量について

↓

5－3. ダウンスケーリングについて

↓

5－4. バイアス補正について

↓

5－5. 確率評価の考え方について

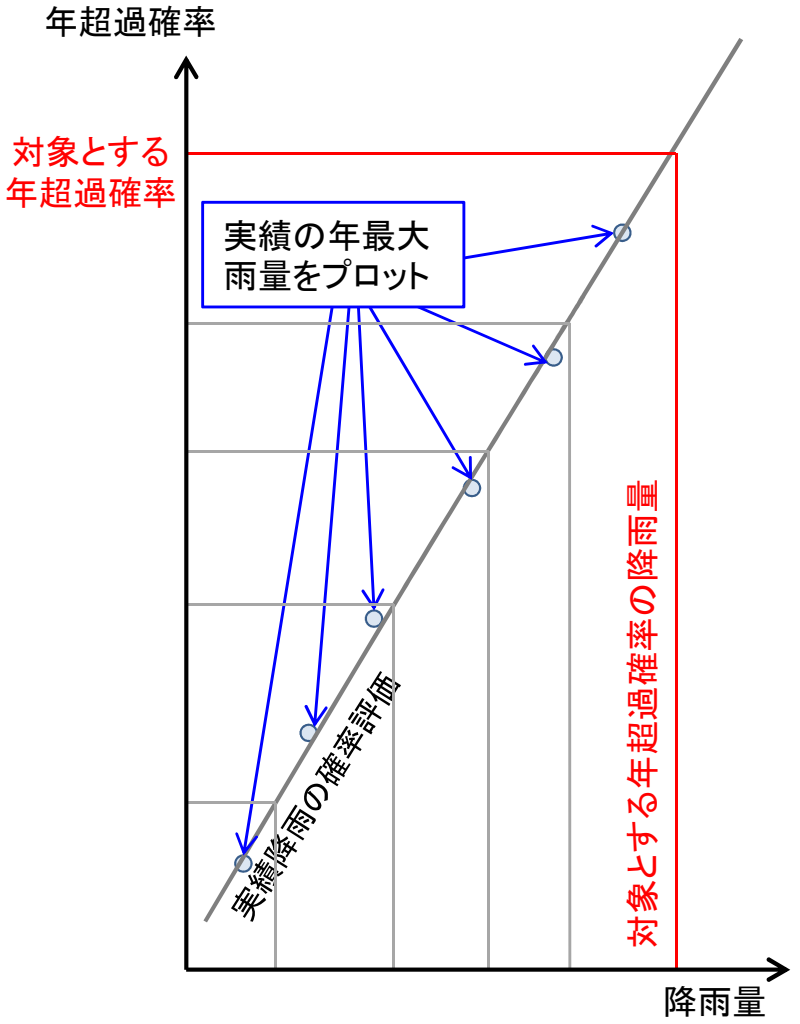
↓

5－6. リサンプリングについて

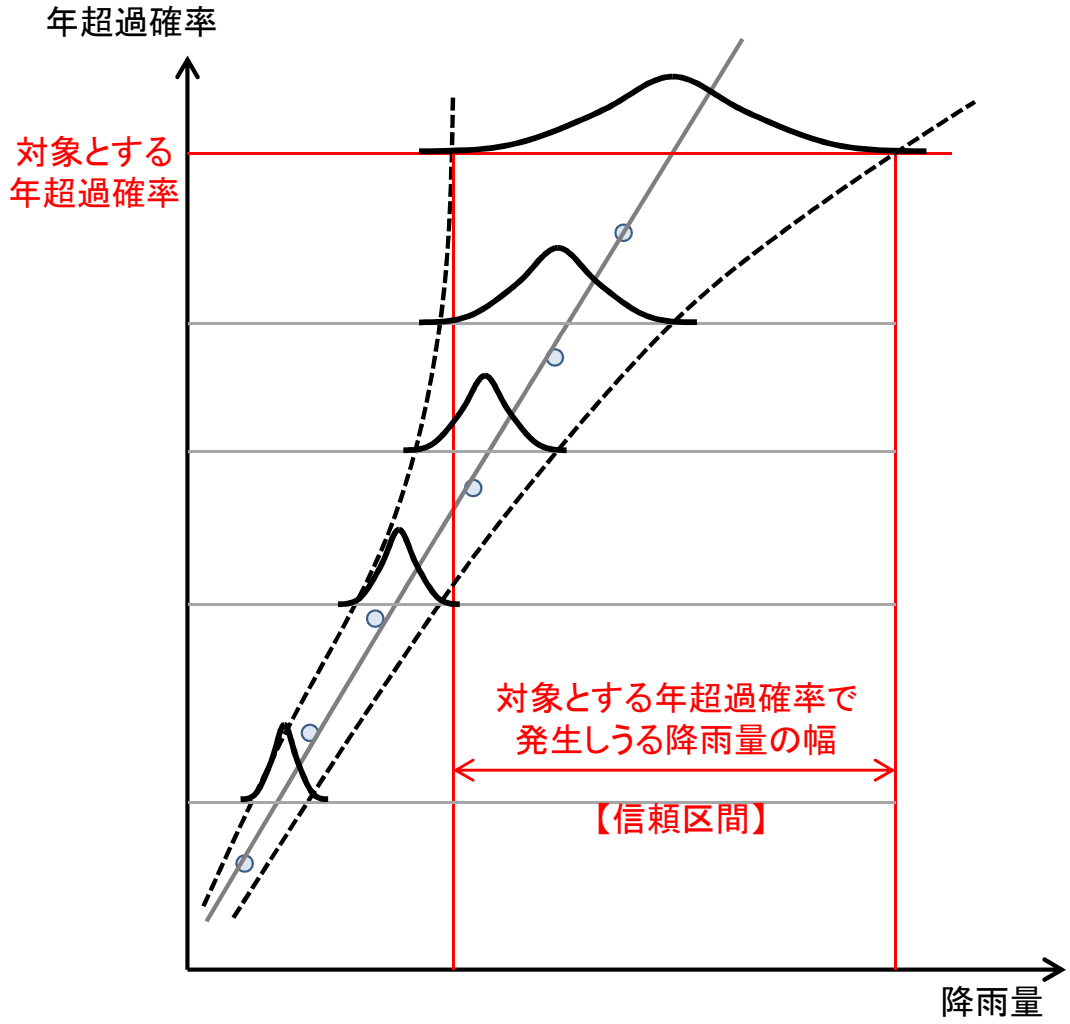
降雨の評価方法について

■ これまでの降雨の評価は、実績降雨を用いた確率評価によって求めた各確率規模の降雨を対象に行われてきた。
■ 大量アンサンブルデータを取り扱ったことによって、同一の確率規模において発生しうる降雨の幅を設定することが可能である。
■ 本検討では、大量アンサンブルデータすべてを用いた降雨の確率評価を実施し、十勝川1/150確率規模及び常呂川1/100確率規模を対象とした信頼区間や頻度分布も示す。

これまでの降雨の評価のイメージ



大量アンサンブルデータを用いた降雨の評価のイメージ



〇確率規模として起こりえる値について、一つの値では無く、幅を持たせて提示　→「確率論的な考え方の導入」

5－6. リサンプリングについて

5－1. 気候予測アンサンブルデータ

↓

5－2. 流域平均雨量について

↓

5－3. ダウンスケーリングについて

↓

5－4. バイアス補正について

↓

5－5. 確率評価の考え方について

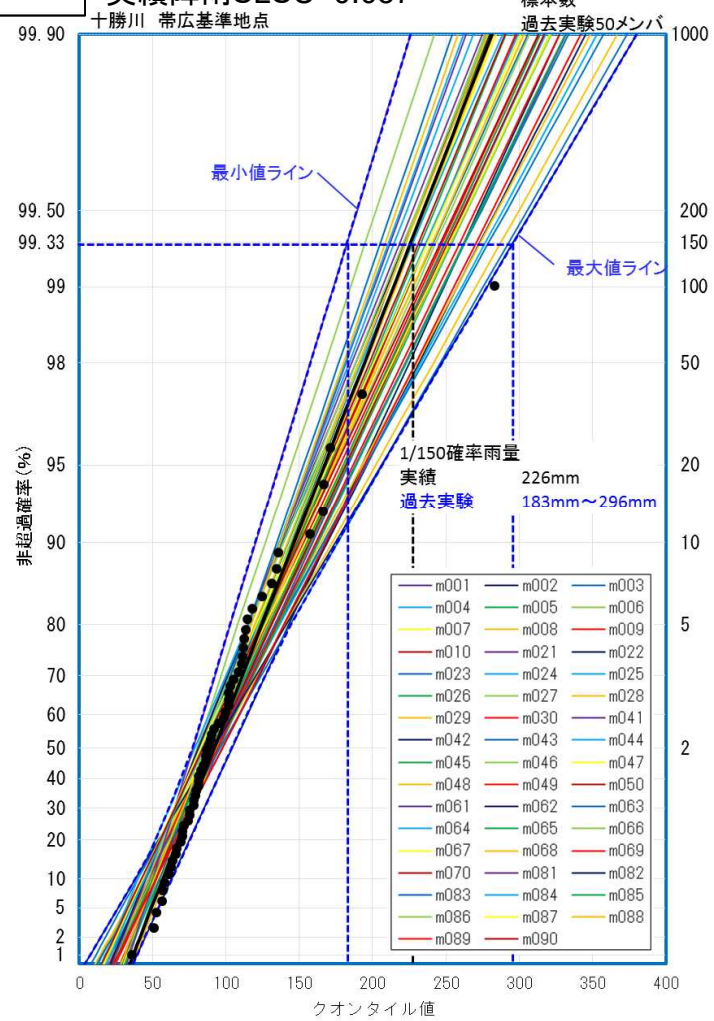
↓

5－6. リサンプリングについて

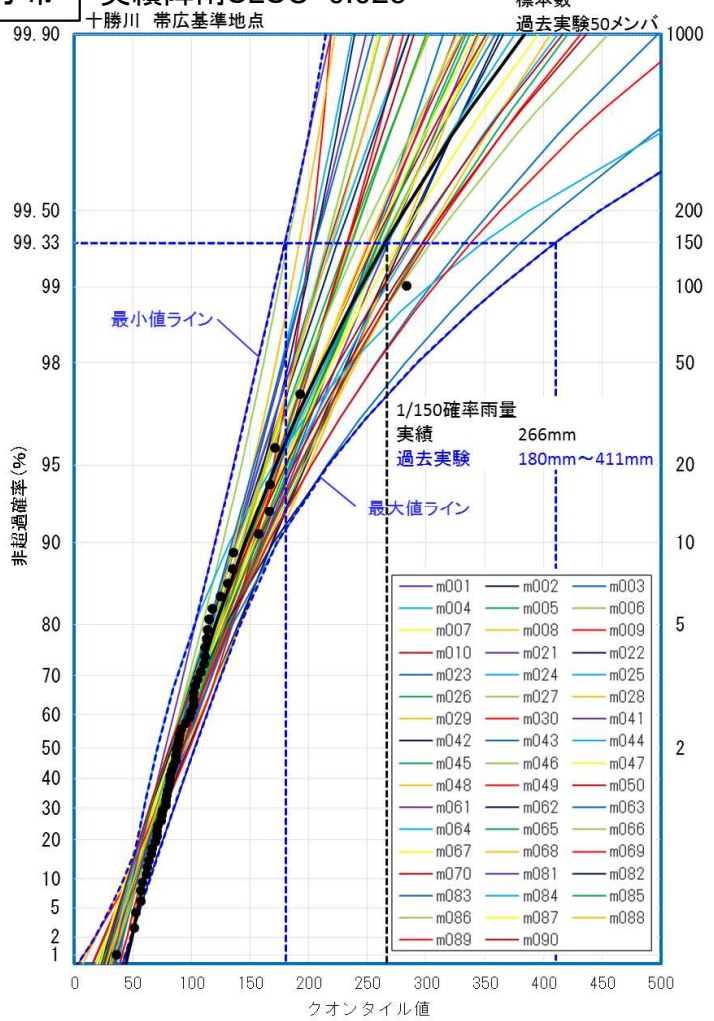
実績降雨および過去実験降雨の確率評価（十勝川）

- 現在の降雨の規模を把握するため、Gumbel分布およびGEV分布（一般化極値分布）を用いて、十勝川帯広基準地点の実績降雨（1951年～2010年）および過去実験（1951年～2010年、50メンバ）の確率評価を実施した。
- Gumbel分布では、計画規模である1/150確率雨量を比較すると、実績降雨が226mm、過去実験が183mm～296mmとなった。
- GEV分布では、計画規模である1/150確率雨量を比較すると、実績降雨が266mm、過去実験が180mm～411mmとなった。
- SLSCについては、GEV分布で0.025となり、適合度が高いとされている0.040以下の値となった。

Gumbel分布　実績降雨SLSC=0.057



GEV分布　実績降雨SLSC=0.025



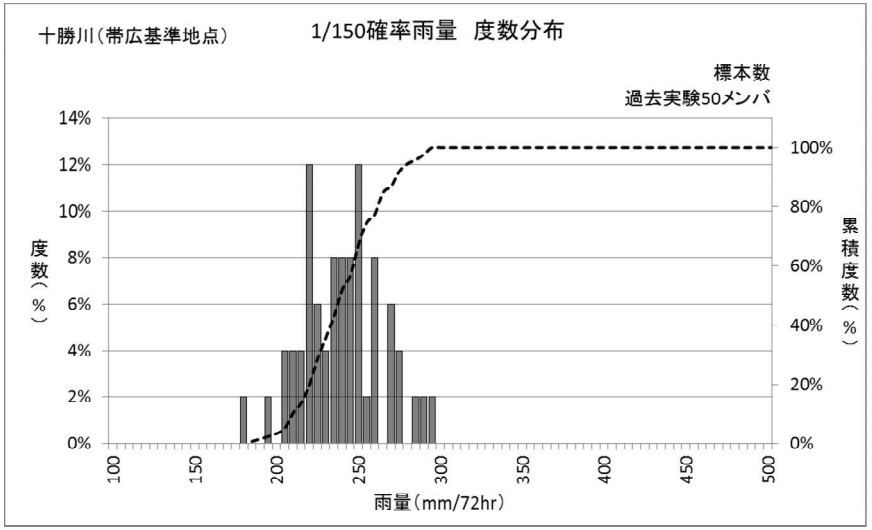
（いずれも、リサンプリング前の確率雨量図）

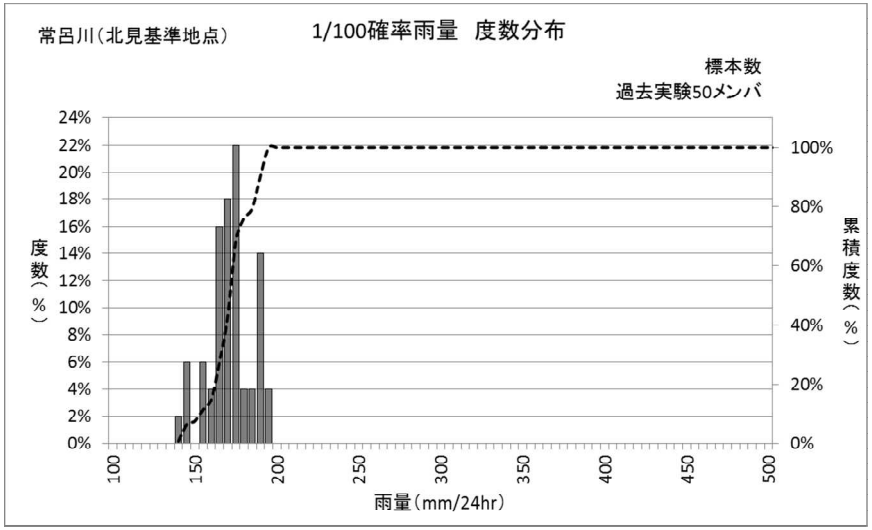
リサンプリングの必要性

■ 過去実験データの計画規模降雨を整理すると、十勝川帯広地点1/150確率規模の降雨はGumbel分布で最小値183mm～最大値296mm、GEV分布で最小値180mm～最大値411mmであった。また、常呂川北見基準地点の1/100確率規模の降雨はGumbel分布で最小値141mm～最大値197mm 、GEV分布で最小値118mm～最大値244mmであった。

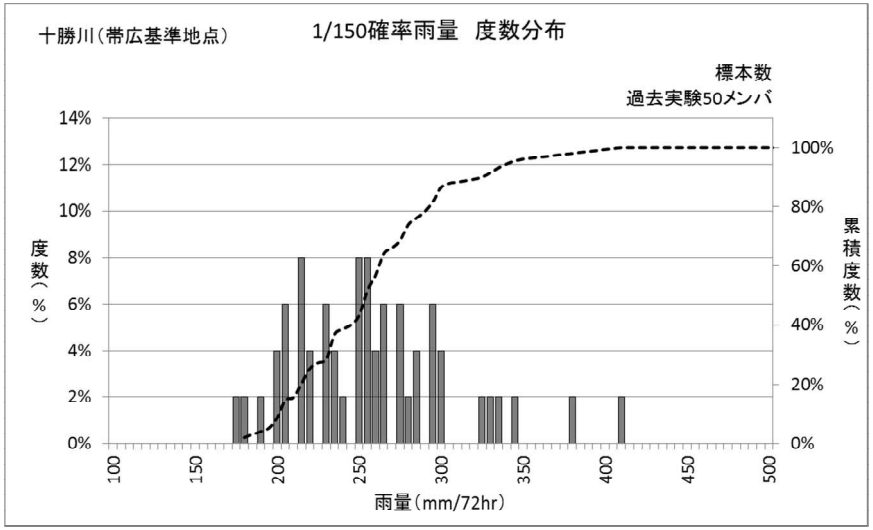
■ 50メンバの標本数でも中央値や95%信頼区間を把握することは可能である。しかし、近年の計算機の進歩によってリサンプリングの実施が容易になったことから、本検討ではリサンプリングによって分布の波形を描くこととした。

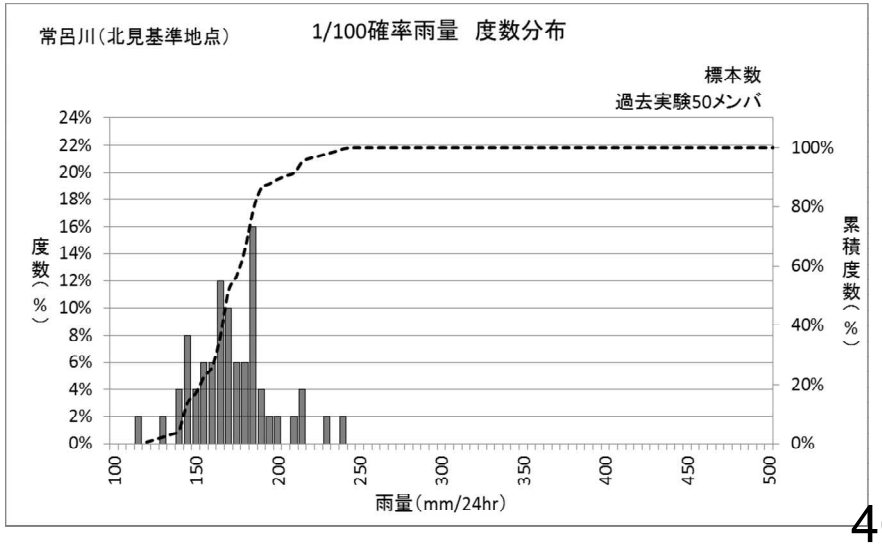
Gumbel分布





GEV分布





リサンプリング方法

■ 確率雨量の取りうる幅を評価する際に重要となる、分布のすそ野部分の評価を行うため、リサンプリングによって標本を大量に作成し、確率評価を行った。
■ リサンプリングの標本数は、確率雨量の試行毎の値の変動を考慮し、1.0×10^5個とした。
■ 過去実験については、年々変動の影響を考慮し、各年の50メンバから1メンバを無作為抽出したものを一つの標本とした。将来実験については、5400ケースから60ケースを無作為抽出し、一つの標本とした。

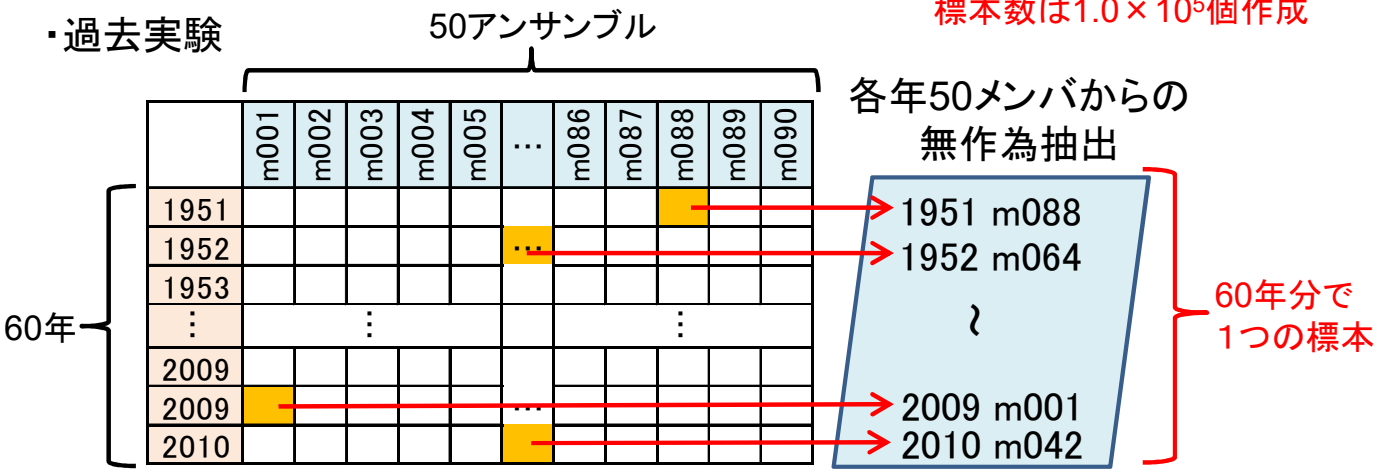
確率雨量の算出方法

ダウンスケーリング後の流域平均最大雨量（X）
・将来実験
・過去実験
↓
リサンプリングの実施
↓
リサンプリング標本
↓
確率評価
・Gumbel分布
・GEV分布
↓
確率雨量

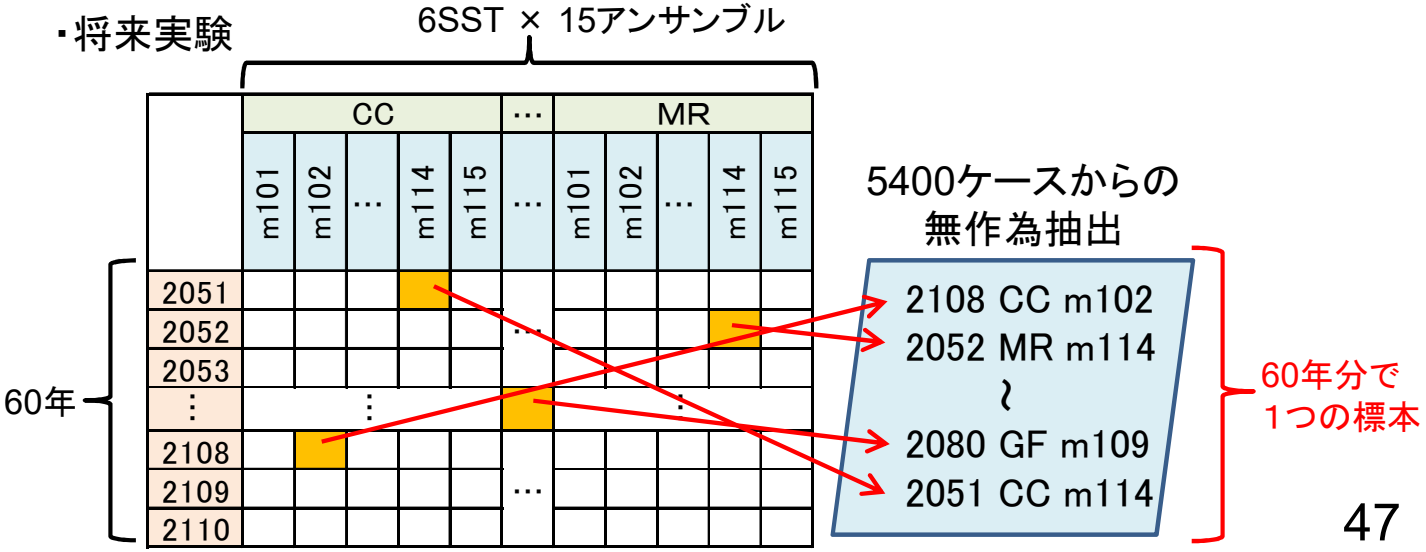
リサンプリング標本作成方法

標本数は1.0×10^5個作成

・過去実験



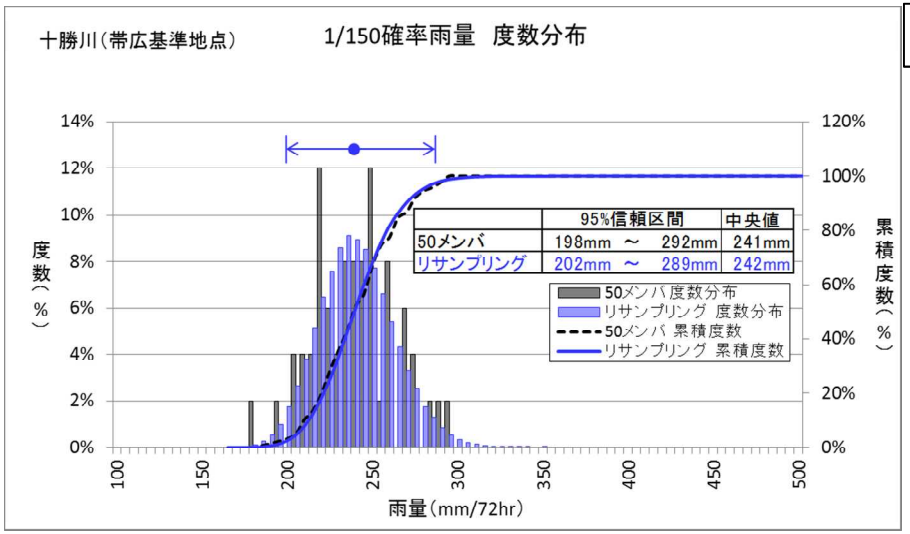
・将来実験

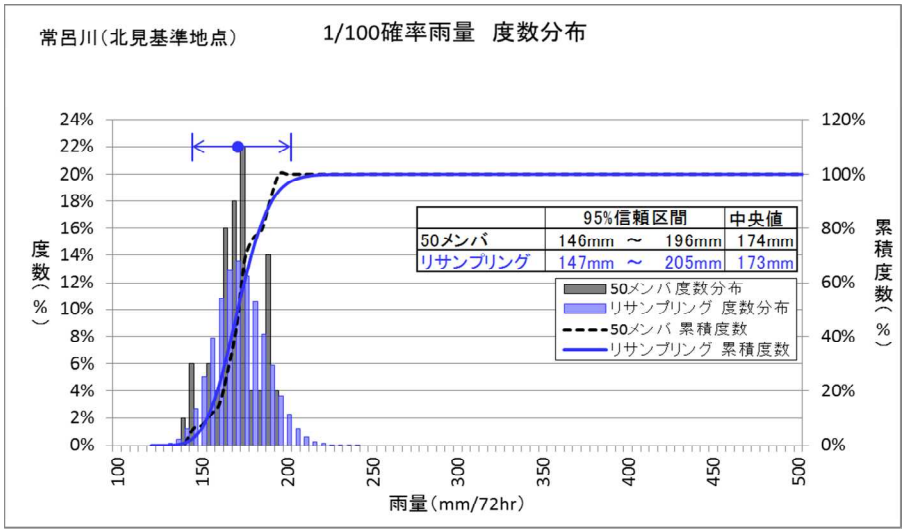


リサンプリング結果

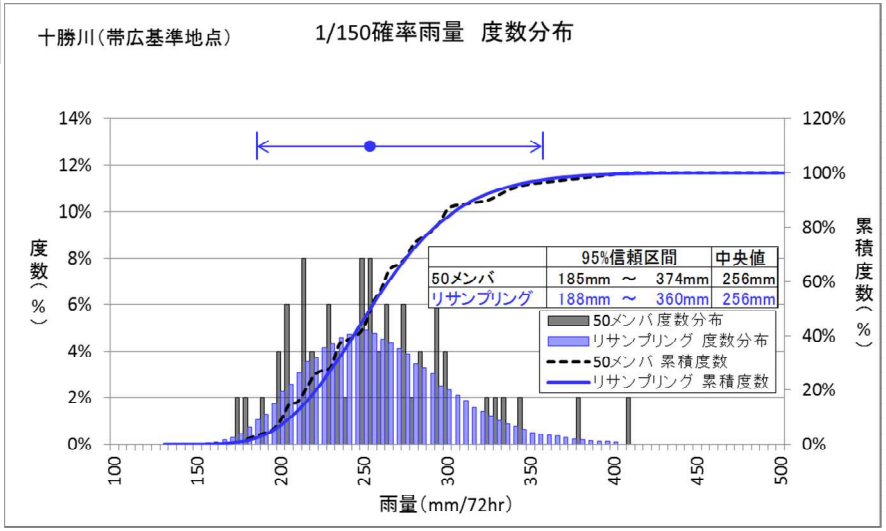
■ リサンプリング前後を比較すると、いずれの地点、分布形においても95%信頼区間の幅は概ね一致している。
■ リサンプリングによりデータが増えたことで、分布の波形を描くことができた。

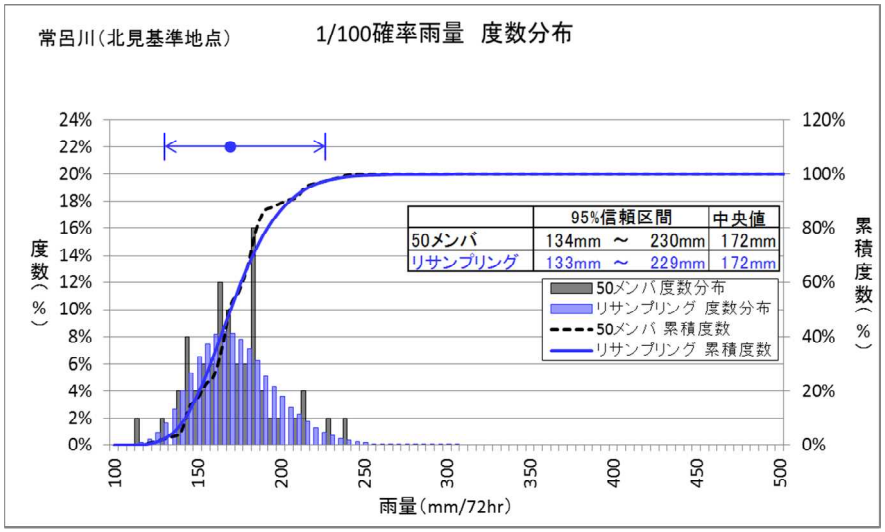
Gumbel分布





GEV分布





6. 十勝川流域のリスク評価について

6－1. 気候変動による降雨の変化

↓

6－2. 気候変動による流量の変化

↓

6－3. 気候変動によるリスクの変化

6－1. 気候変動による降雨の変化

6－1. 気候変動による降雨の変化

↓

6－2. 気候変動による流量の変化

↓

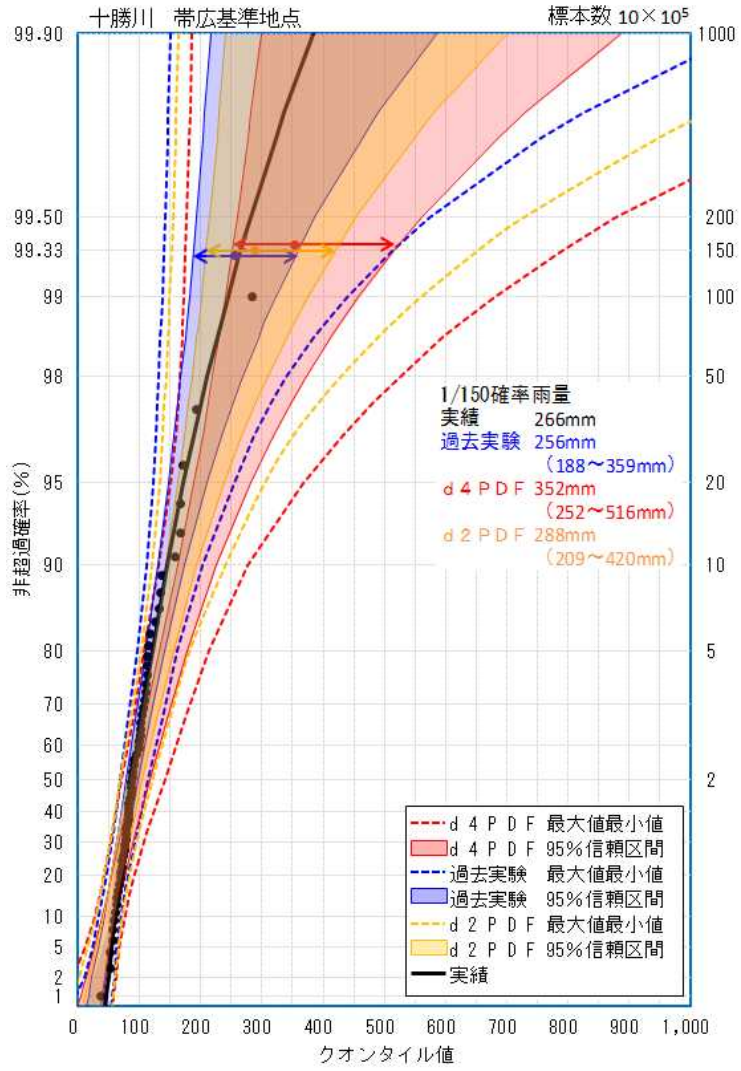
6－3. 気候変動によるリスクの変化

帯広地点における1/150規模となる降雨量の変化

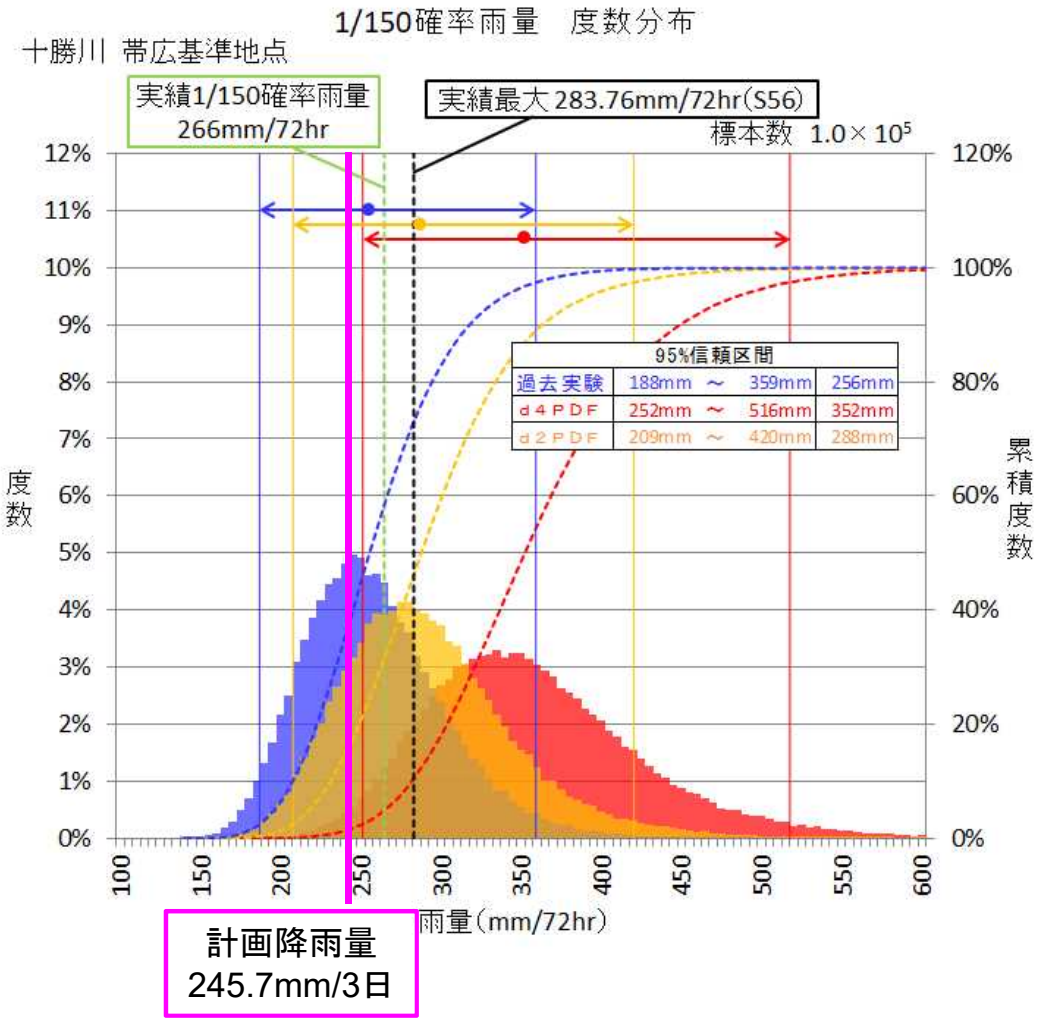
■ GEV分布では、1/150確率降雨量の過去実験の95%信頼区間は188mm～359mmとなった。一方、将来実験(d4PDF)の95%信頼区間は252mm～516mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる傾向がみられた。
■ 帯広基準地点の1/150確率降雨量の中央値は、過去実験256mmに対し、d2PDFが288mm、d4PDFが352mmとなった。すなわち、1/150規模の降雨量は、気候変動により気温が2℃上昇することで1.13倍、4℃上昇することで1.38倍に増加する。

※想定外を極力避けるため、分布の幅が広いGEVを採用。

GEV分布

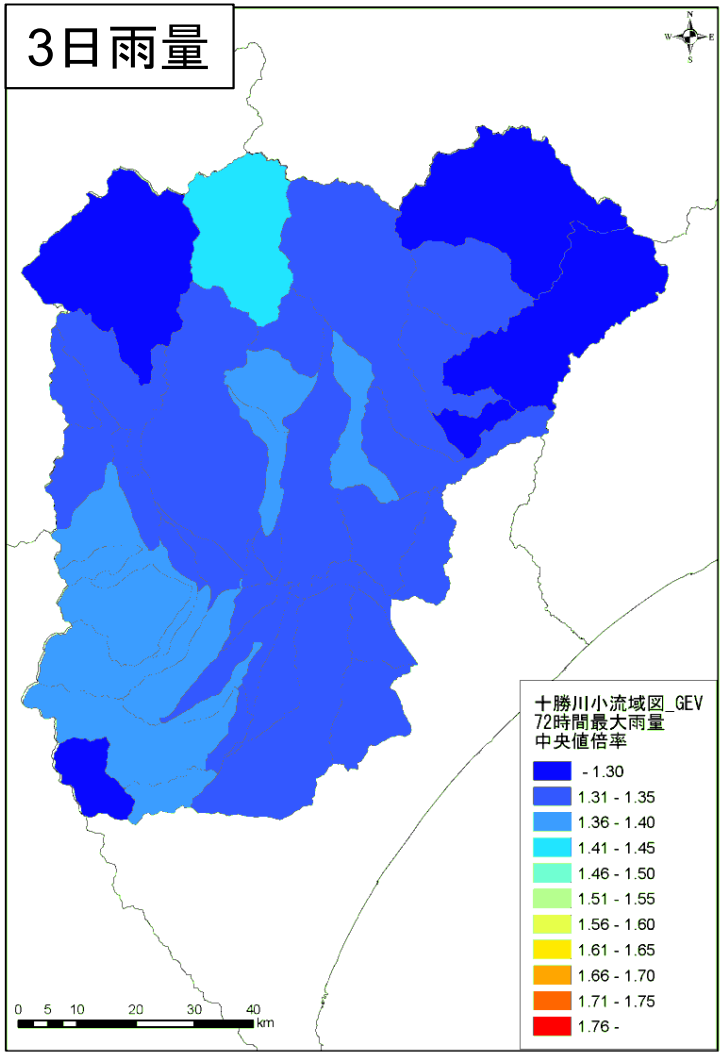


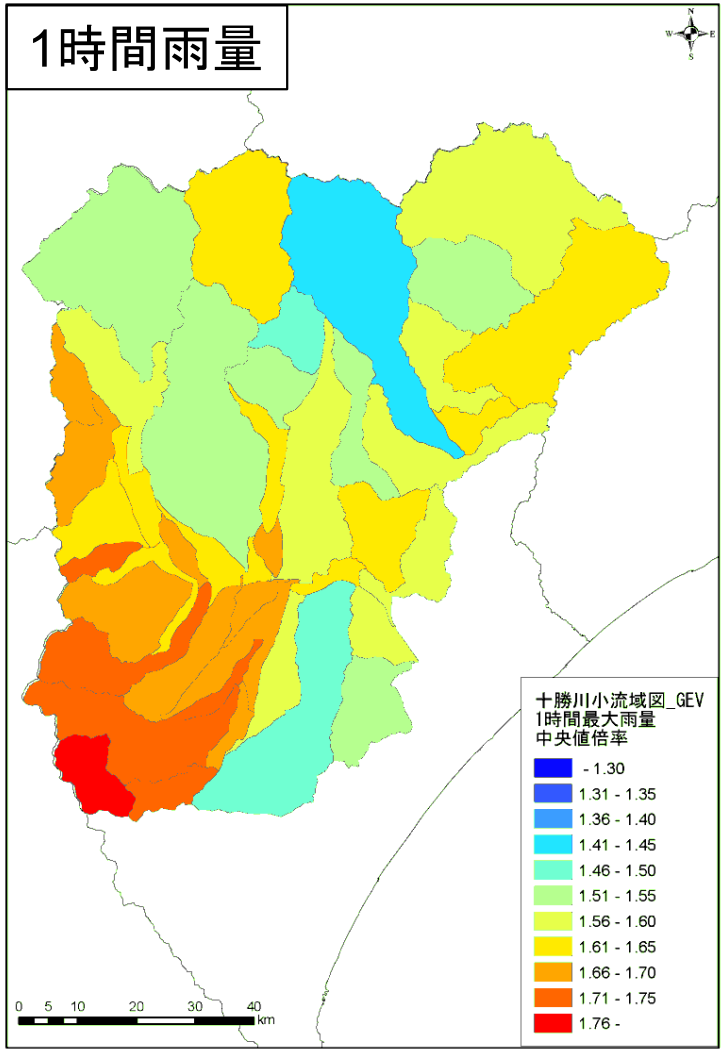
※補正係数は、過去実験5kmメッシュデータから算出された、a = 0.99



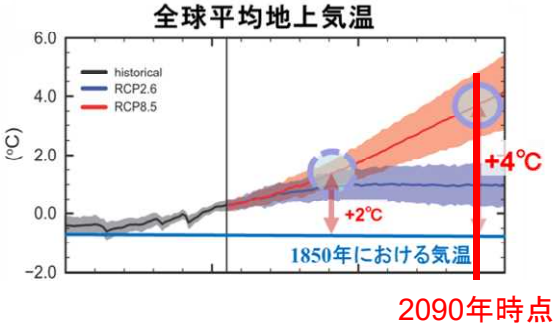
十勝川流域における気候変動に伴う降雨量の変化

■ 十勝川流域の各小流域において、計画規模（1/150確率）の降雨に対して、気候変動による変化倍率を算定した。
■ 気候変動による降雨量の変化倍率は、日高山脈沿いなど、流域の南西部ほど大きな値をとるものが多い。また、3日雨量の変化倍率と比較して、1時間雨量の変化倍率の方が大きな値をとるものが多い。





※GEV分布による1/150雨量中央値の降雨量の変化倍率（バイアス補正無し）



※気候変動による降雨量の変化倍率については、以下により算出した。

①将来実験および過去実験について、それぞれ各流域における降雨の確率評価（GEV分布）を行う。

②確率評価により1/150確率となる降雨群に対して、中央値を算出する。

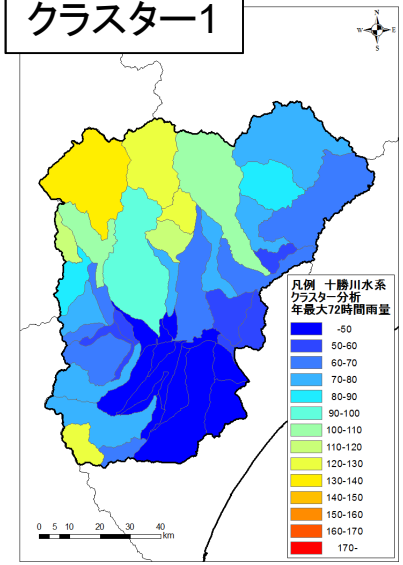
③②の中央値について、将来実験と過去実験の値を各流域ごとで比較する。

※なお、十勝川において、Kinematic Wave法及び角谷の式による洪水到達時間の検討、ピーク流量とピーク生起時間から遡る短時間雨量との相関関係、主要洪水における強い降雨強度の継続時間について、過去実験と将来実験のそれぞれを整理したところ、両者には大きな差が見られない。

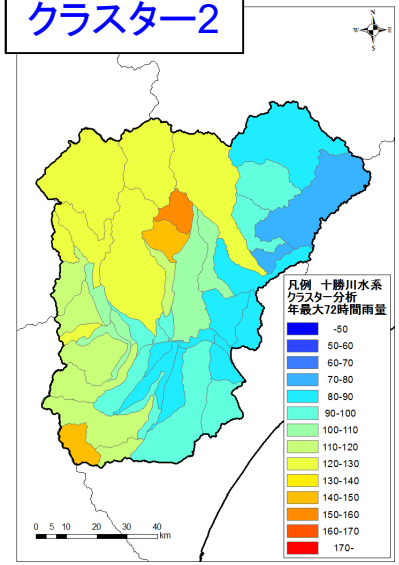
降雨パターンの分類について

■ 気候変動に伴う降雨の時空間分布の変化を把握するため、十勝川帯広地点における過去実験および将来実験の年最大雨量を対象に、降雨の空間分布をクラスター分析により5つに分類した。
■ 降雨の空間分布に偏りを持つ降雨パターンが抽出された。発生頻度はクラスター2およびクラスター3が多い。一方、将来実験では過去実験と比較して、流域南西部に降雨が集中するクラスター5における発生割合が増加する傾向が見られる。

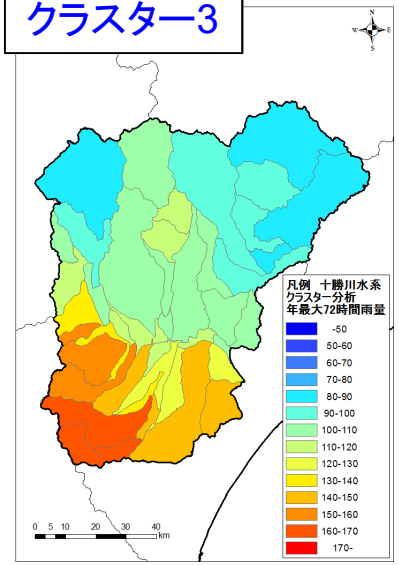
クラスター1



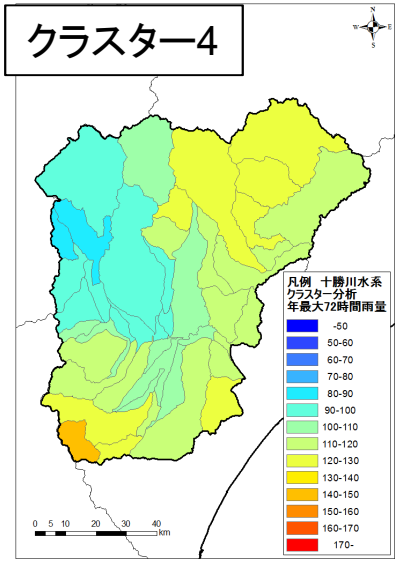
クラスター2



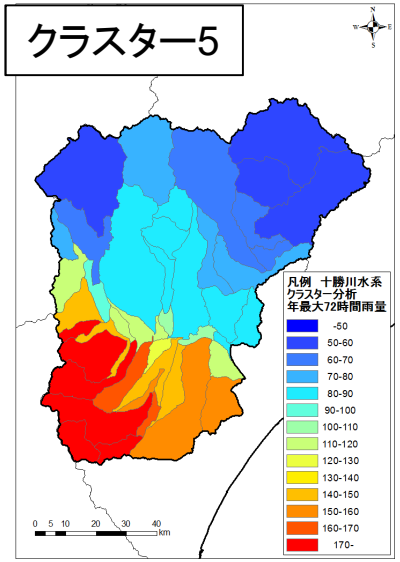
クラスター3



クラスター4



クラスター5

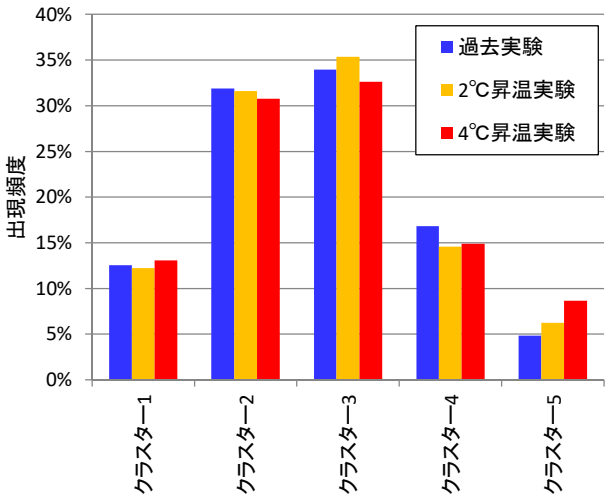


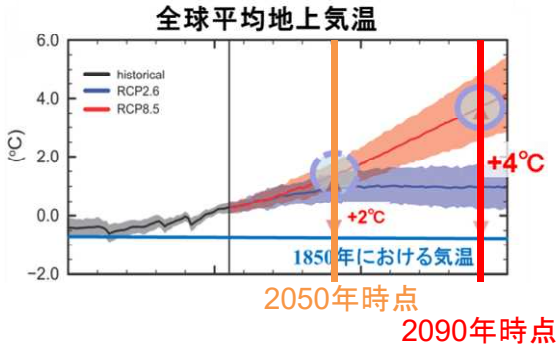
分類方法の概要

・分析手法：ウォード法
・類似度判定：ユークリッド距離
・次式の各単流域の総雨量に対する寄与率を用いて、類似度を判定

$$x_i = \frac{R_i A_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i A_i}$$

ここに，x：流域総雨量に対する寄与率，R：流域平均3日雨量(mm)，A：流域面積(km^2)，添字i：流域番号，n：小流域数(42流域)





6－2. 気候変動による流量の変化

6－1. 気候変動による降雨の変化

↓

6－2. 気候変動による流量の変化

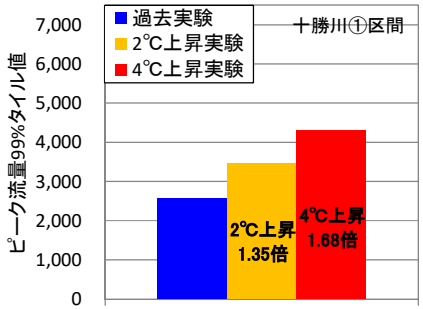
↓

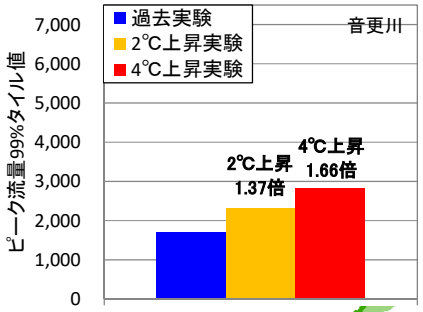
6－3. 気候変動によるリスクの変化

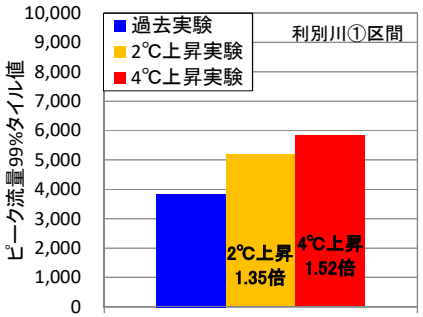
気候変動によるピーク流量の変化

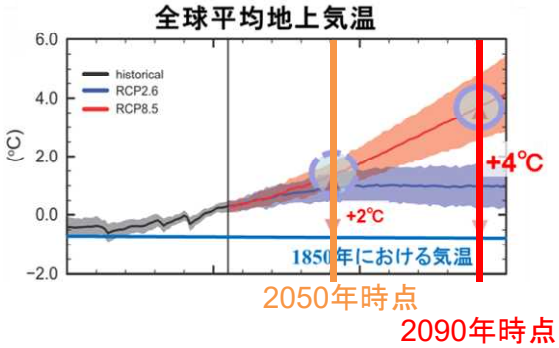
■ 各地点におけるピーク流量（99%タイル値）を、過去実験および将来実験を用いて算出した。
■ 将来実験において流量が増加する傾向があり、特に札内川においては、過去実験に対して将来実験は1.9倍程度の倍率となっている。

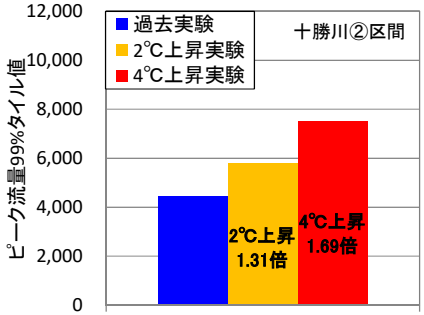
※気候変動による流量の傾向を把握するため、各地点における流量の99%タイル値を算出したものである。
すなわち、計画規模としての流量とは算出の考え方が異なる。

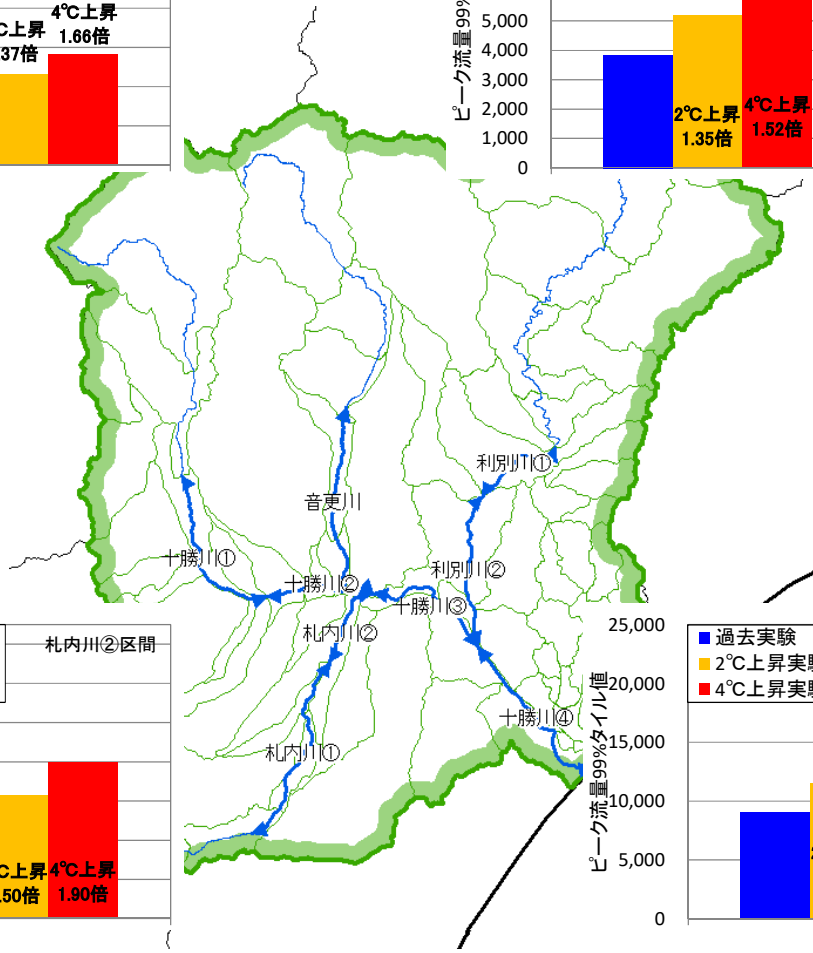


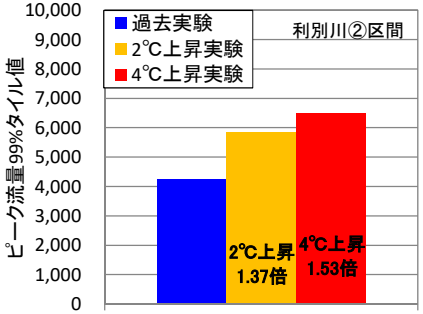


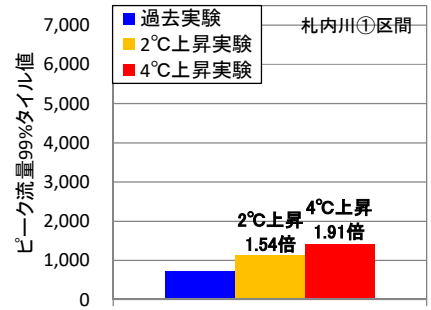


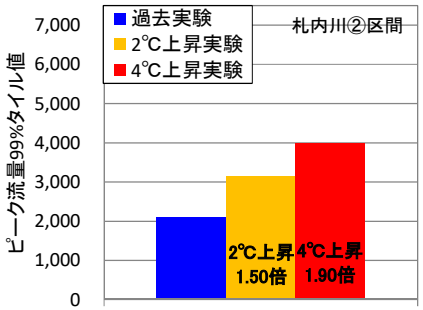


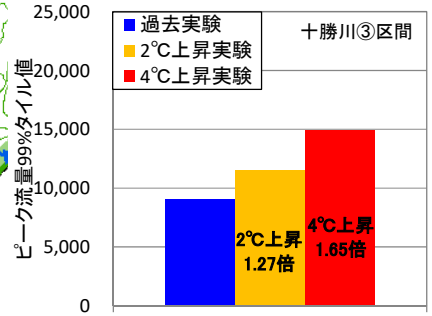


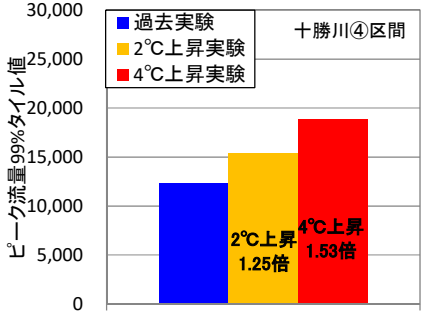








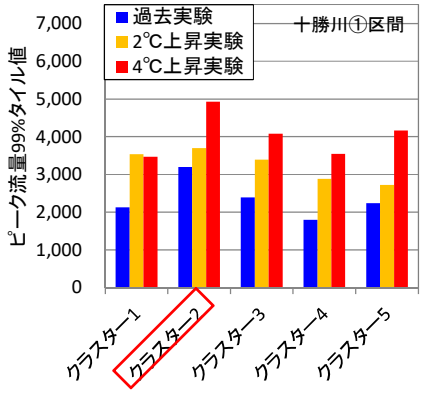


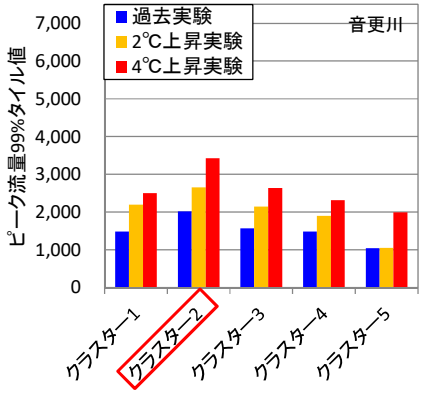


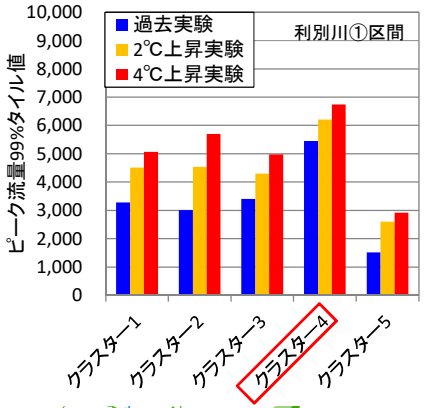
降雨パターン毎の流量変化

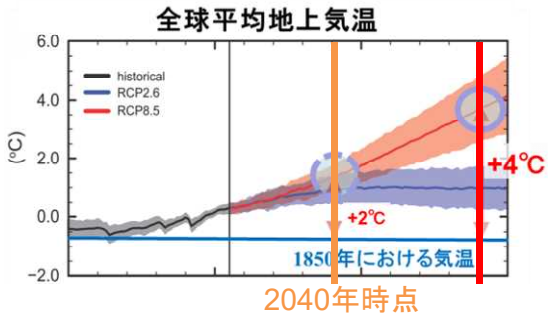
■ 降雨パターンの分類結果に基づき、クラスター毎のピーク流量（99%タイル値）を、過去実験・将来実験のそれぞれで算出した。
■ 各支川において、ピーク流量が大きくなるクラスターは異なり、十勝川上流域および音更川ではクラスター2、札内川ではクラスター3および5、利別川ではクラスター4でピーク流量が大きくなる。また、本川下流域ではクラスター2～5で流量が大きくなる。

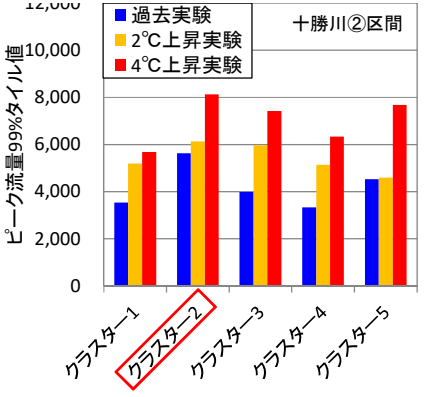
※気候変動による流量の傾向を把握するため、各地点における流量の99%タイル値を算出したものである。すなわち、計画規模としての流量とは算出の考え方が異なる。

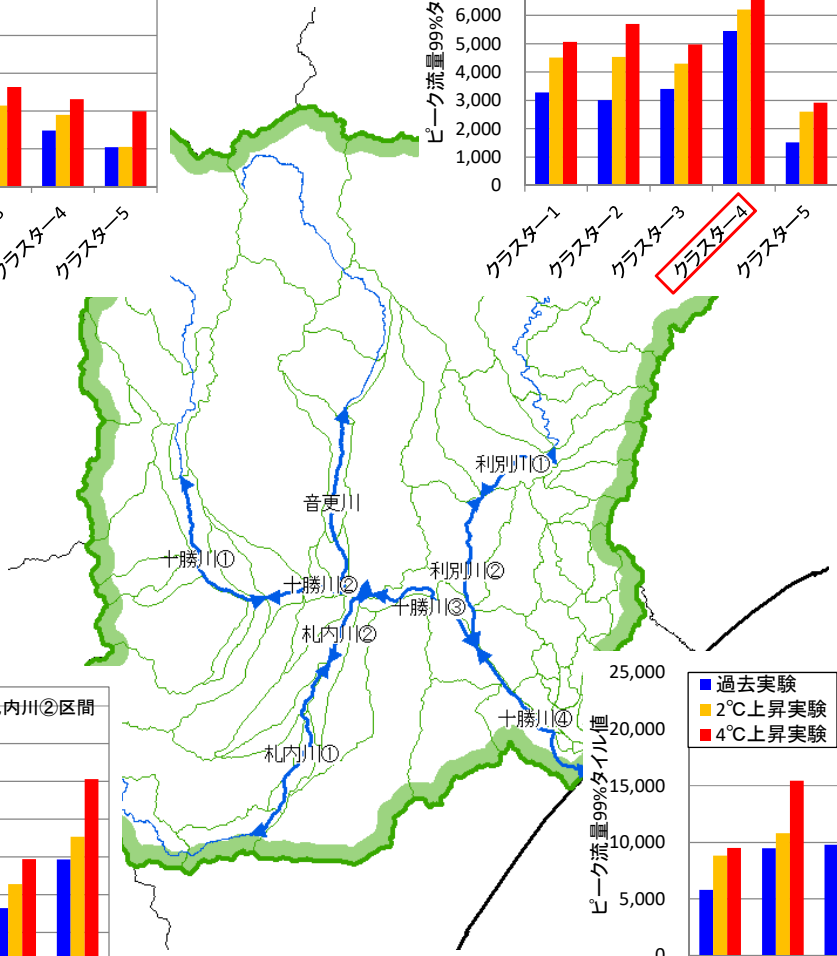


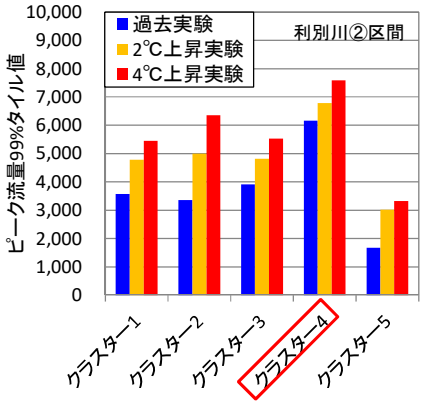


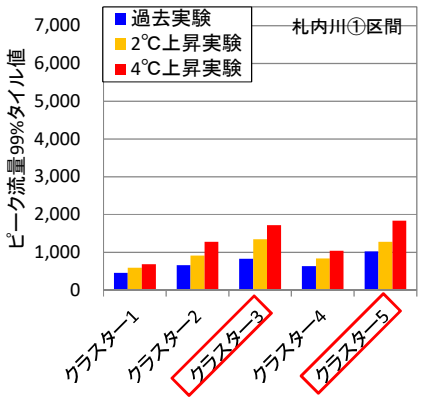


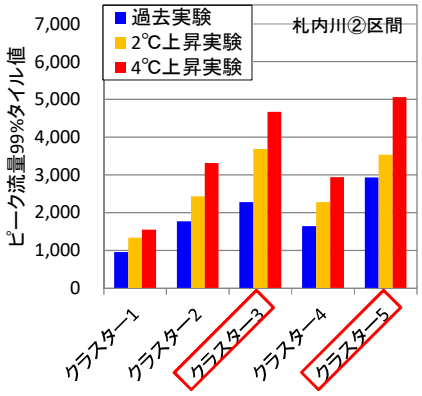


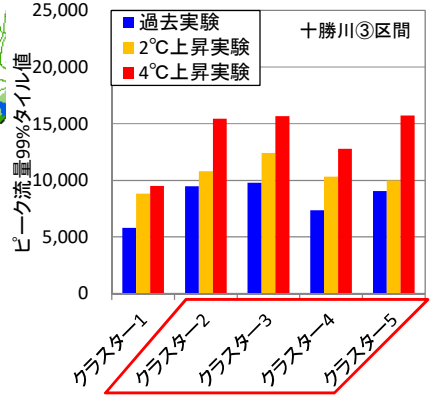


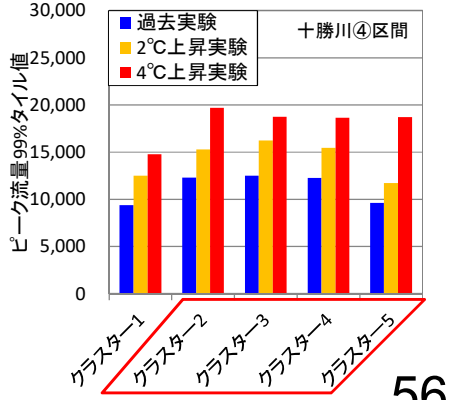






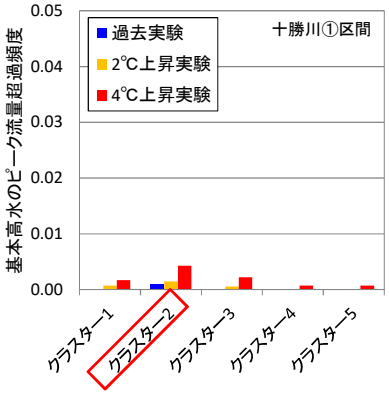


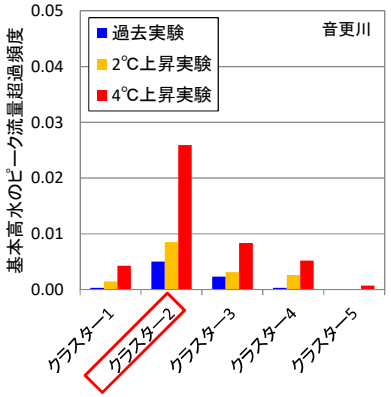


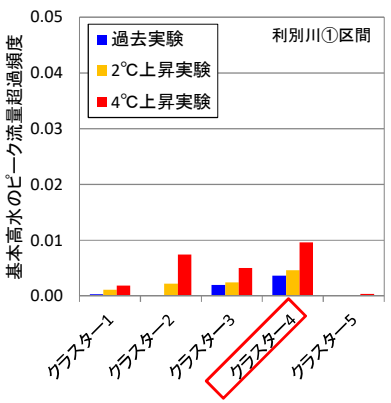


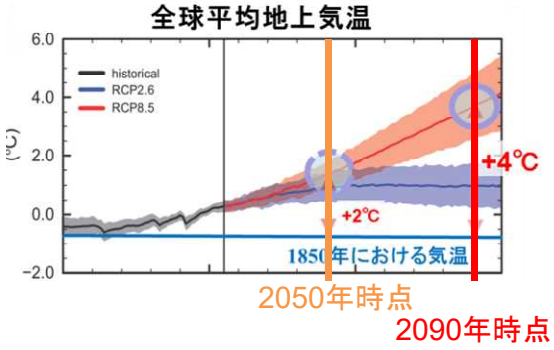
基本高水を超過する頻度について

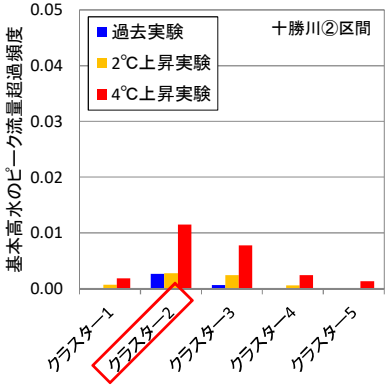
■ 降雨パターンの分類結果に基づき、過去実験・将来実験のピーク流量が現行計画の基本高水のピーク流量を超過する頻度を比較した。気候変動後は、特に、音更川におけるクラスター2の降雨パターンにおいて、基本高水のピーク流量を超過する頻度が相対的に高まる。

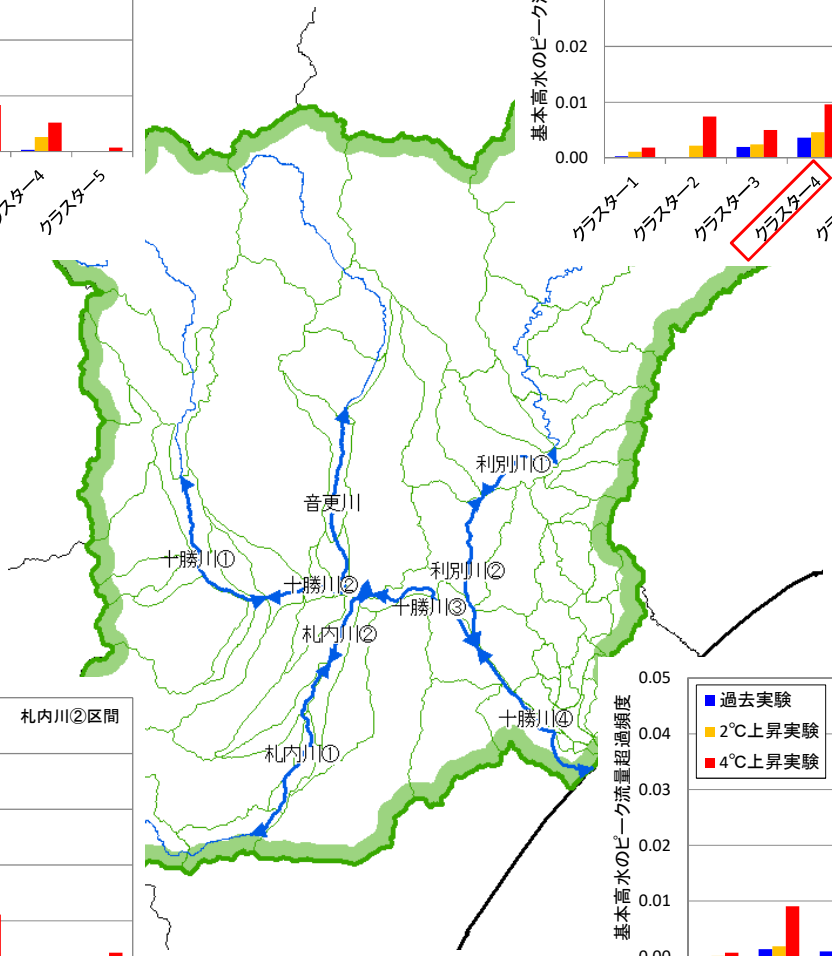


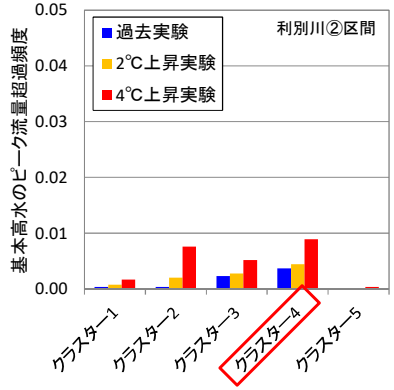


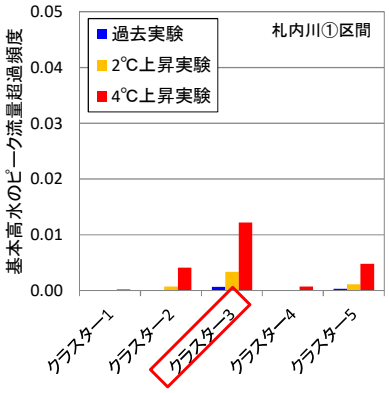


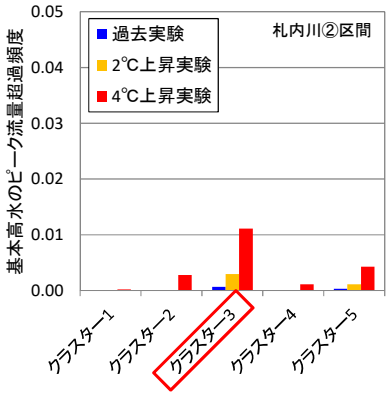


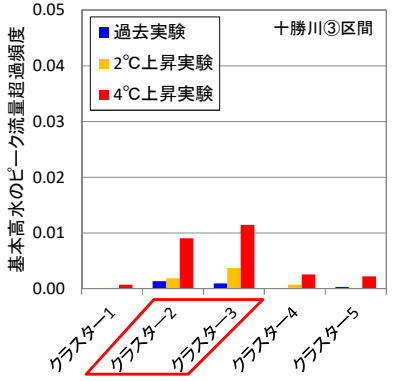


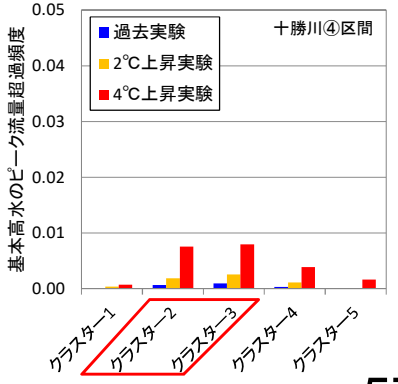






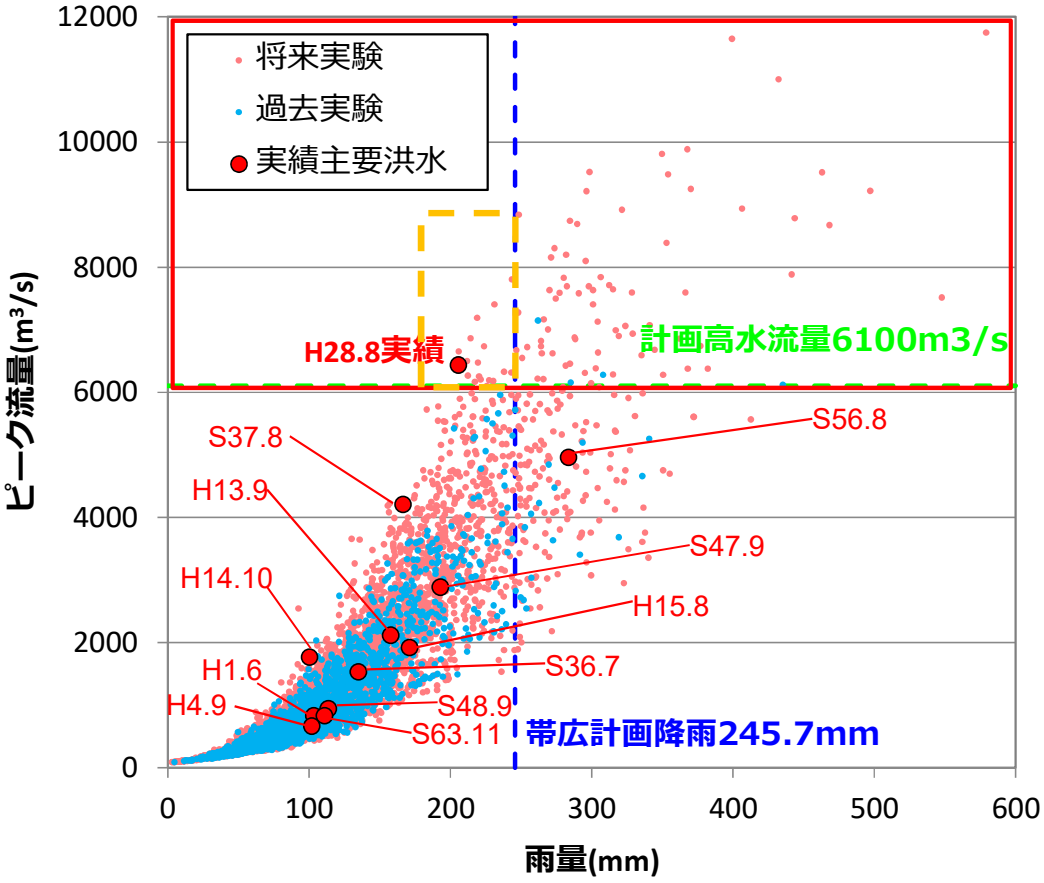




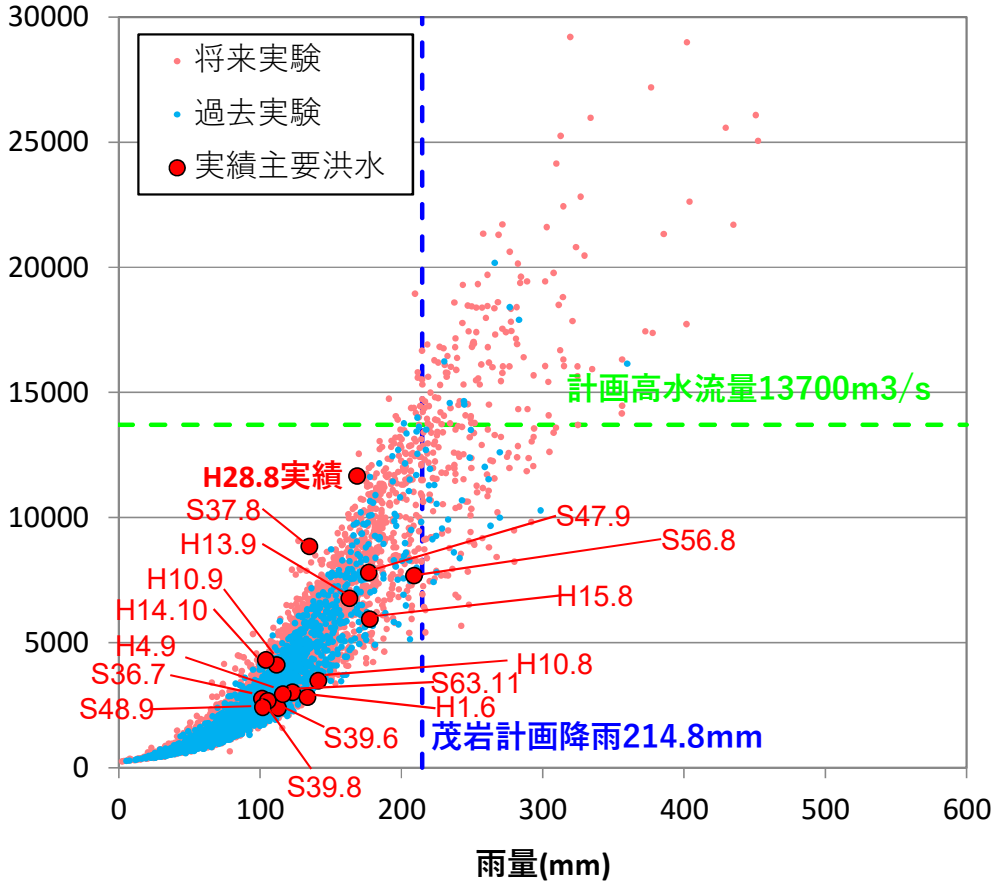


十勝川流域における将来実験と過去実験との比較

■ 帯広地点および茂岩地点において、過去実験および将来実験の降雨量とピーク流量※の関係を整理した。
■ 帯広地点、茂岩地点ともに、過去実験と比較して将来実験における雨量とピーク流量が増加する傾向が見られる。また、これまでの主要な洪水における実績と比較すれば、将来実験においては、これまで経験したことのないような雨量とピーク流量が生じる可能性があることを示している。
■ 帯広地点においては、現行計画の計画降雨量の245.7mm/3日以下において、過去実験ではピーク流量が計画高水流量の6,100m^3/sを超過するケースは見られなかったが、将来実験では同ケースが散見された。なお、H28出水では、帯広地点において計画降雨量以下の降雨量にもかかわらず計画高水流量を超過する流量が発生している。



十勝川　帯広地点



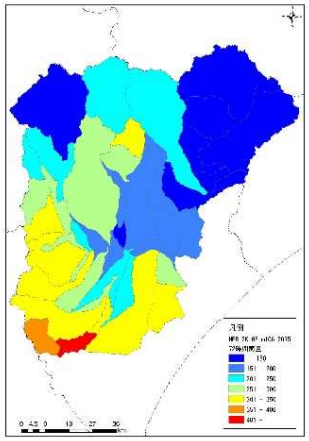
十勝川　茂岩地点

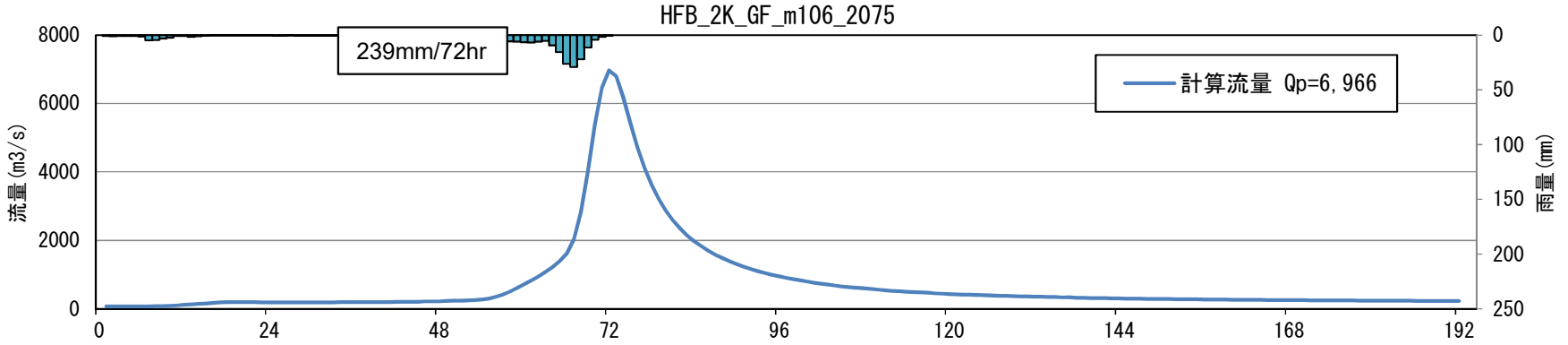
※木村の貯留関数法により算定。以降、本資料では特に断りがない限りは同手法で流量を算定している。

計画降雨量以下にも関わらず計画高水流量を超過するパターン（帯広地点）

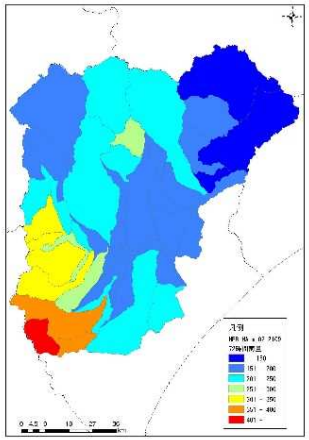
■計画降雨量以下で計画高水流量を超過するパターンのうち、ピーク流量が最大となるパターンについて、雨量分布図とハイドログラフを示した。

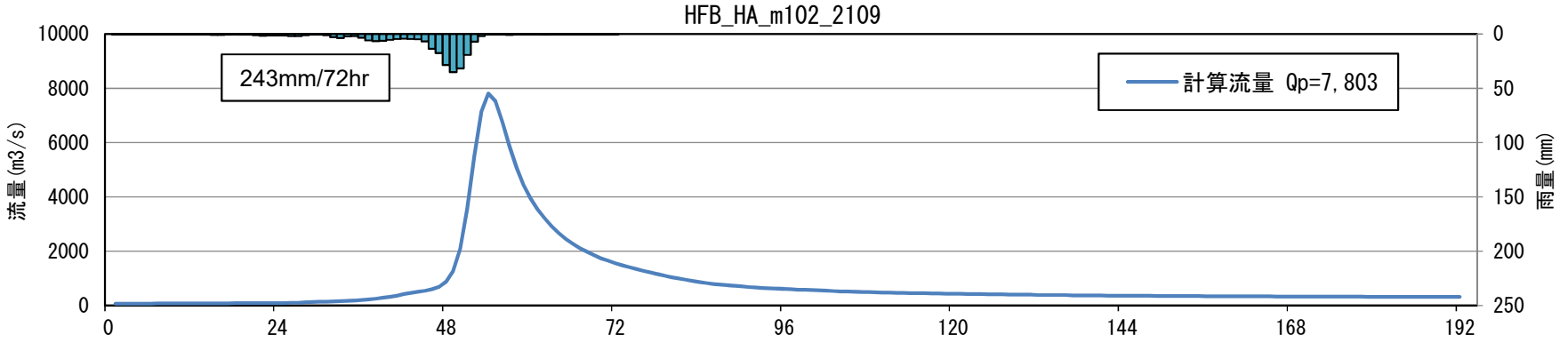
2℃上昇実験





4℃上昇実験

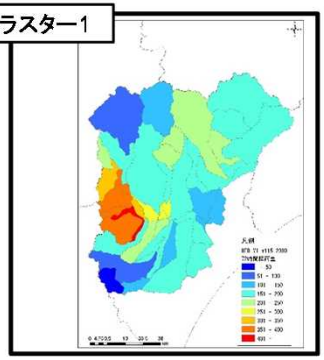




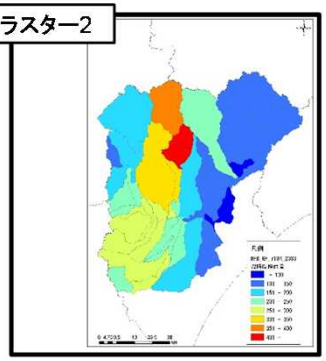
（参考）計画降雨量以下にも関わらず計画高水流量を超過するパターン（d4PDF、帯広地点）

■計画降雨量以下で計画高水流量を超過するパターンのうち、ピーク流量が最大となるパターンについて、雨量分布図とハイドログラフを示した。
■計画降雨量以下で計画高水流量を超過するパターンは、平成28年洪水において発現したような降雨パターンのほかにも、様々な気象パターンにおいて起こりえる可能性が、気候予測アンサンブルデータを用いることによって示された。

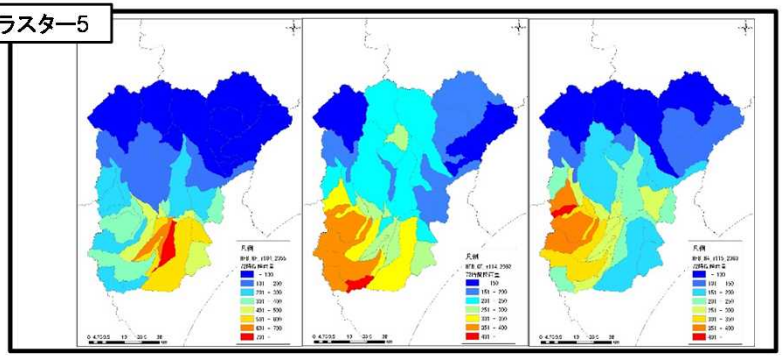
クラスター1



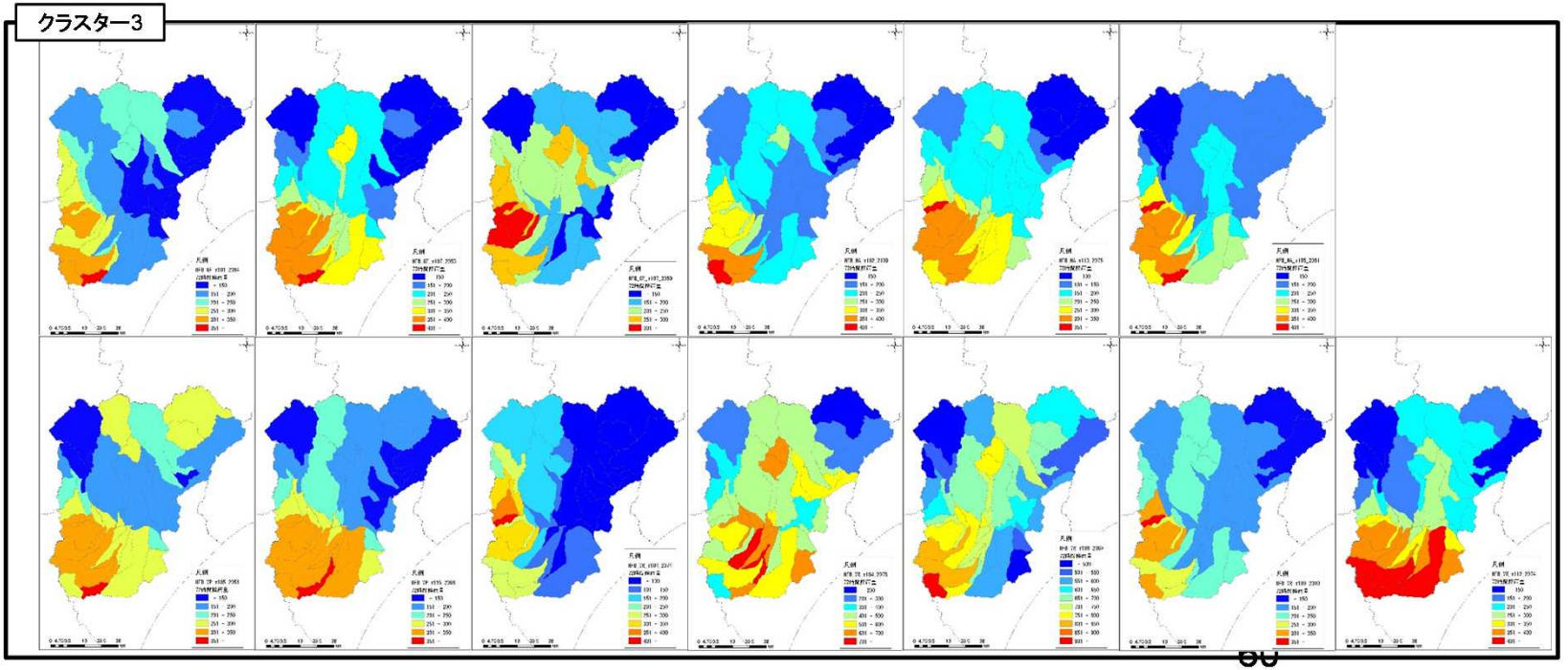
クラスター2



クラスター5



クラスター3



6－3. 気候変動によるリスクの変化

- 6－1. 気候変動による降雨の変化
- 6－2. 気候変動による流量の変化
- 6－3. 気候変動によるリスクの変化
  - 6－3－1. 氾濫によるリスク
  - 6－3－2. 浸水確率の変化
  - 6－3－3. 気候変動によるリスク変化
  - 6－3－4. 社会的リスクの高い地域

6－3－1. 氾濫によるリスク

6－1. 気候変動による降雨の変化
↓
6－2. 気候変動による流量の変化
↓
6－3. 気候変動によるリスクの変化

6－3－1. 氾濫によるリスク
↓
6－3－2. 浸水確率の変化
↓
6－3－3. 気候変動によるリスク変化
↓
6－3－4. 社会的リスクの高い地域

河川の氾濫による被害の特徴

■令和元年の台風第19号、平成30年の西日本豪雨、平成28年の北海道や東北地方における台風被害をはじめとし、これまで、河川の氾濫により様々な被害が生じてきた。

①人的被害

・平成30年西日本豪雨による死者及び行方不明者数　221人

・平成28年台風第7号、第11号、第9号、第10号および前線による大雨・暴風による死者及び行方不明者数　29人

②病院等への被害

主要病院の1階もしくは地下に設置された非常用電源が浸水し、心肺維持装置等が使用できなくなった。（ハリケーン・カトリーナ）

大規模な氾濫に見舞われた病院においては、避難してきた近隣住民も合わせて約300人が孤立状態に陥った。（平成30年西日本豪雨・倉敷市真備町）

老人福祉施設が浸水。
（平成28年・岩手県岩泉町）


平成28年岩手県岩泉町

③防災対応を行う施設への被害

町役場の1階に設置された受電設備と非常用発電機が浸水し停電。
電話交換機が使用出来なくなった。
（平成12年東海豪雨水害）

市役所周辺が浸水。
（平成27年関東東北豪雨・茨城県常総市）


平成27年茨城県常総市

④経済への被害

直接被害を受けた工場のほか、部品工場の被災や主要道路の通行止めによりサプライチェーンが寸断し、多くの工場で操業停止が発生。（平成30年西日本豪雨）

⑤農業への被害

農業の被害面積は約4万ha。被害金額は543億円。
農地が浸水することにより、農作物が「収穫できない・収穫が遅れる」などの被害や、畑地の土壌流出が発生。農作物の価格が高騰し、全国的に影響が及んだ。（平成28年北海道）


平成28年北海道南富良野町


食品加工工場の浸水
平成28年北海道南富良野町

検討の対象とするリスク

■ 河川の氾濫により、これまでに流域で様々な被害が生じてきたところ。気候変動の影響により降雨量がさらに増大し、頻発・激甚化することが懸念される水害に対して、リスクの変化を把握する。

リスク種別	評価項目	評価方法
人的被害	年平均想定死者数 避難困難地域	年平均想定死者数の地域ごとの確率を評価 浸水時の水位上昇が早い状況となる確率を計算したうえで、避難困難地域として評価
病院等へのリスク	病院（入院可能な施設） 老人福祉施設	浸水の可能性がある地域に所在する左記の施設を評価
防災対応を行う施設へのリスク	役場等	浸水の可能性がある地域に所在する左記の施設を評価
経済へのリスク	年平均想定被害額	年平均想定被害額を地域ごとに評価
農業へのリスク	農地の浸水確率 農業施設の被災 食品加工工場の被災	各地域の農地の浸水確率を評価 浸水の可能性がある地域に所在する左記の施設を評価

6－3－2. 浸水確率の変化

6－1. 気候変動による降雨の変化
↓
6－2. 気候変動による流量の変化
↓
6－3. 気候変動によるリスクの変化

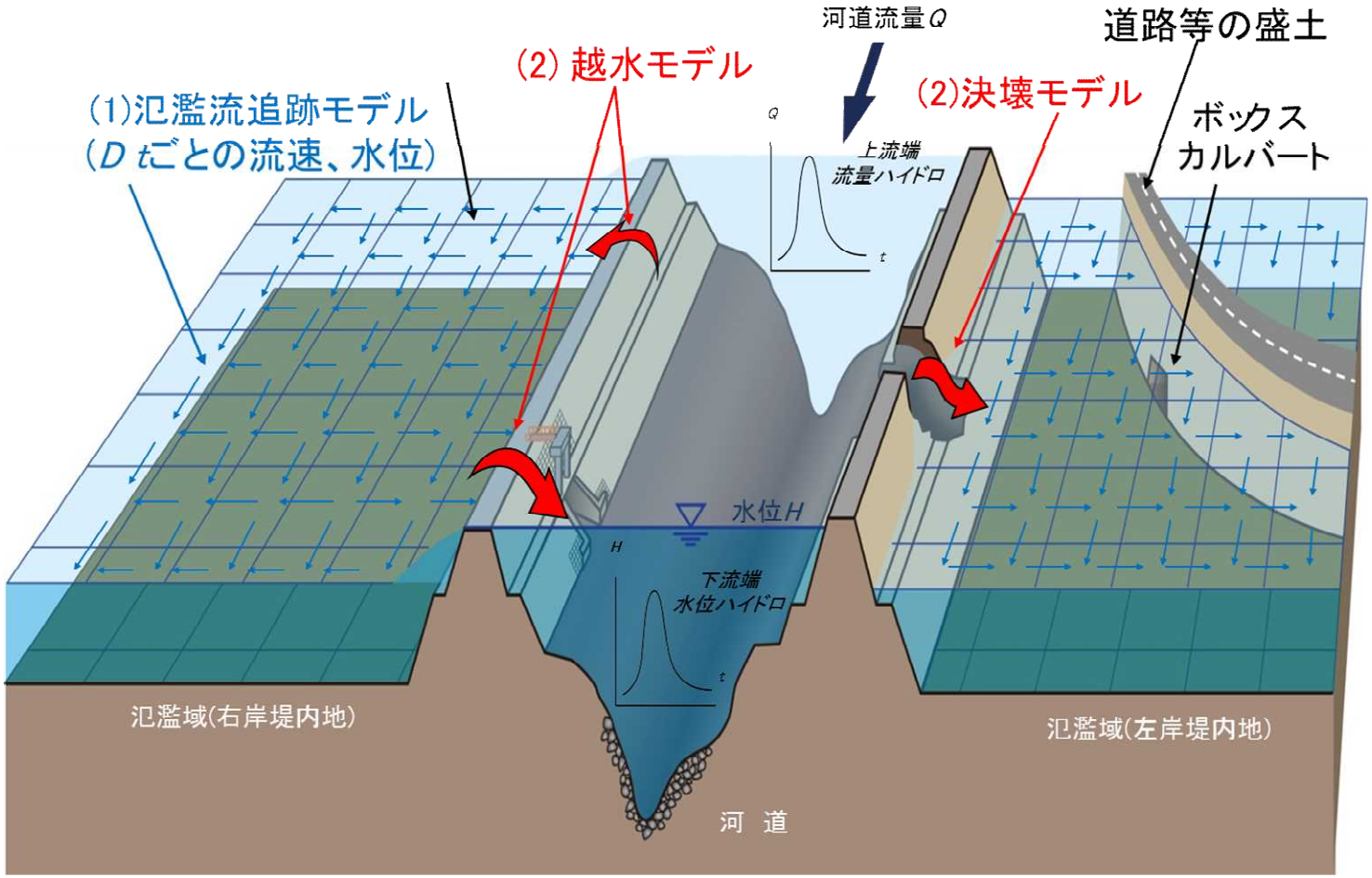
6－3－1. 氾濫によるリスク
↓
6－3－2. 浸水確率の変化
↓
6－3－3. 気候変動によるリスク変化
↓
6－3－4. 社会的リスクの高い地域

気候変動による氾濫リスクの変化

■ 前項までに算出した大量アンサンブルの流量データを用いて気候変動前後における氾濫シミュレーションを実施した。
■ 大量アンサンブルデータを用いることにより、評価する浸水深に応じた浸水確率をメッシュ毎に算出することが可能となる。
■ 氾濫シミュレーションモデルは、平面二次元不定流計算を組み込んだ、以下のモデルを用いる。

(1)氾濫流追跡モデル
　透過率・空隙率を考慮した平面二次元不定流計算

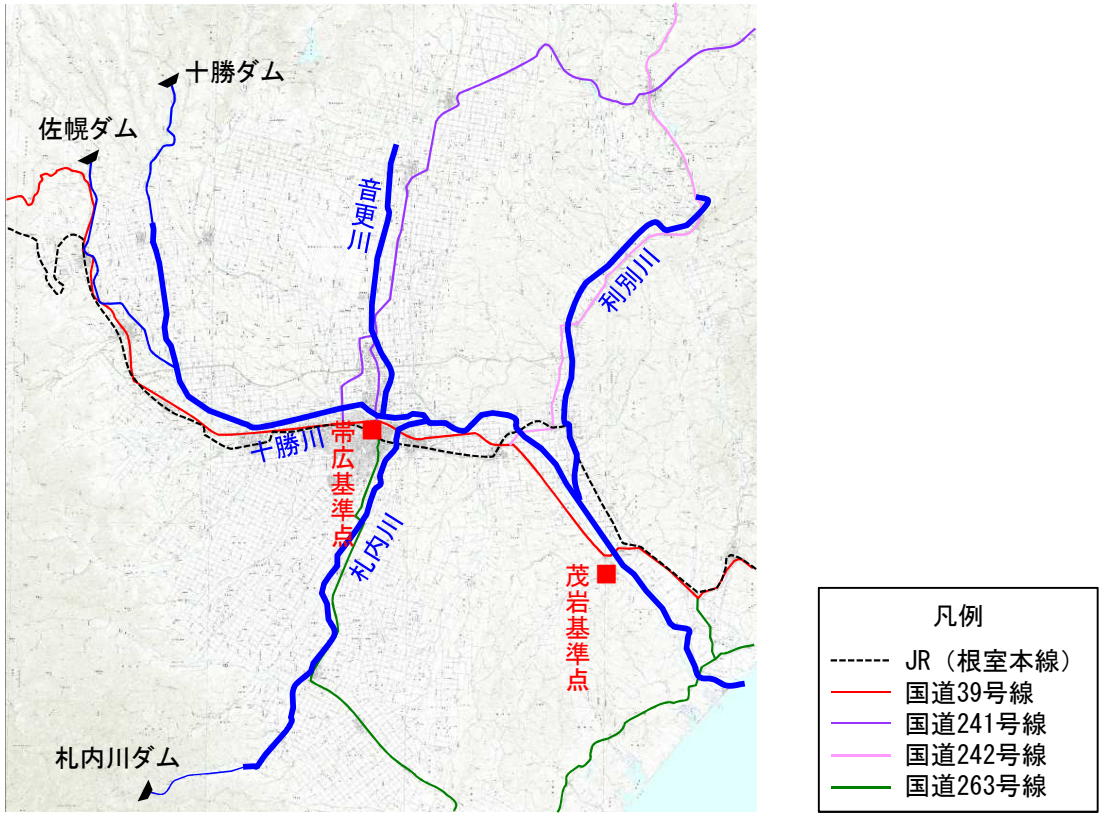
(2)決壊・越水モデル
　越流公式(河道⇒氾濫原：栗城等の式、氾濫原⇒河道：本間の式)



※施設状態は現況を想定した

氾濫シミュレーションモデルについて

■ 主なシミュレーション条件は、現況河道、現況治水施設状態とした。

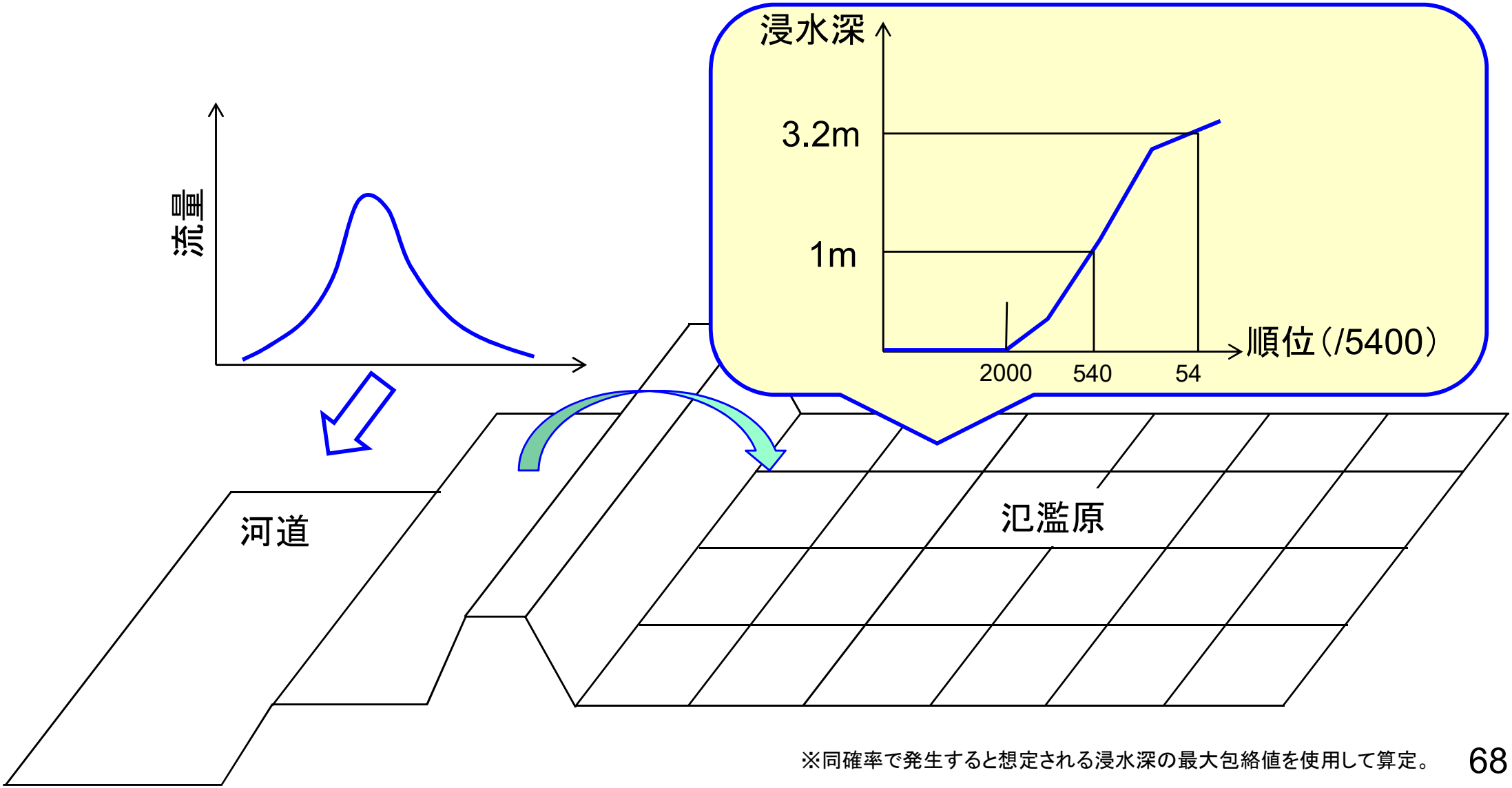


●主な氾濫計算条件

項目	内容
計算メッシュサイズ　・地盤標高	100mメッシュ（メッシュ地盤高は最新のLPデータより作成）
河道状態	平成30年河道
洪水調節施設	現況施設（十勝ダム、札内川ダム、佐幌ダム）
破堤地点	破堤の可能性のある地点（破堤開始水位を超過）全ての地点で氾濫計算を実施し、最大となる浸水深を算定。
破堤条件	破堤開始水位（HWLを基本とする）を河道水位が超過した時
破堤地点上流の氾濫による流量低減	水位が堤防高や地盤高を上回る場合には氾濫による河道流量を低減

浸水確率について

■ リスク表示方法の一つとして、過去実験（3000ケース）、将来実験（2℃上昇3240ケース、4℃上昇5400ケース）を対象に氾濫計算を実施し、地先の浸水確率を算出した。
■ 氾濫計算は、水位がHWLに達した時点で破堤するものと仮定し、各計算メッシュの過去実験、将来実験の浸水深を用いて、順位統計によって浸水深ごとの超過確率を算定した。

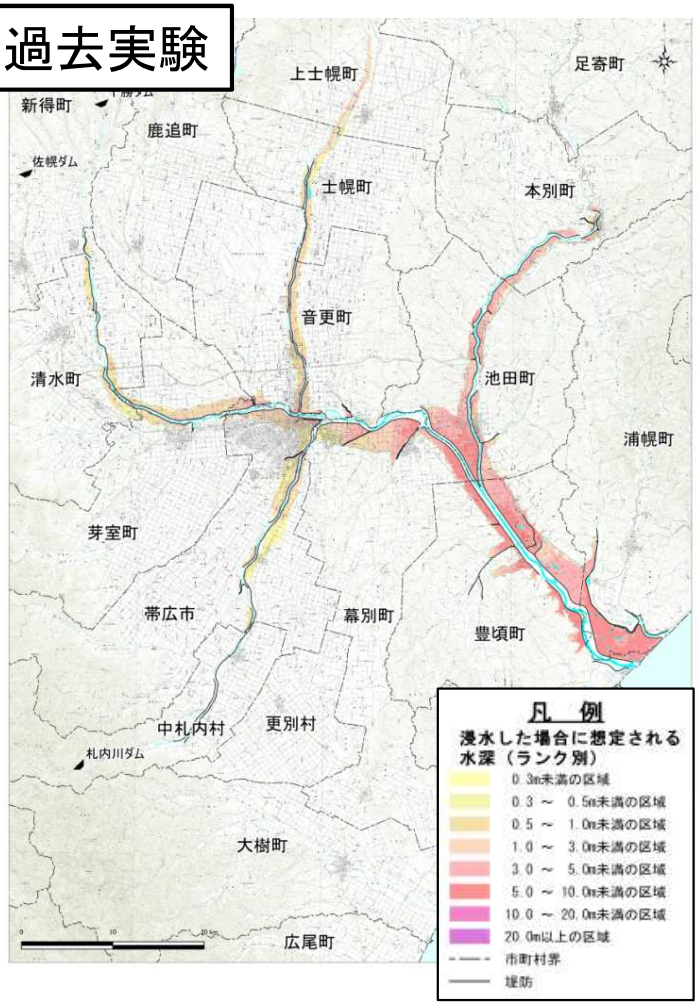


※同確率で発生すると想定される浸水深の最大包絡値を使用して算定。

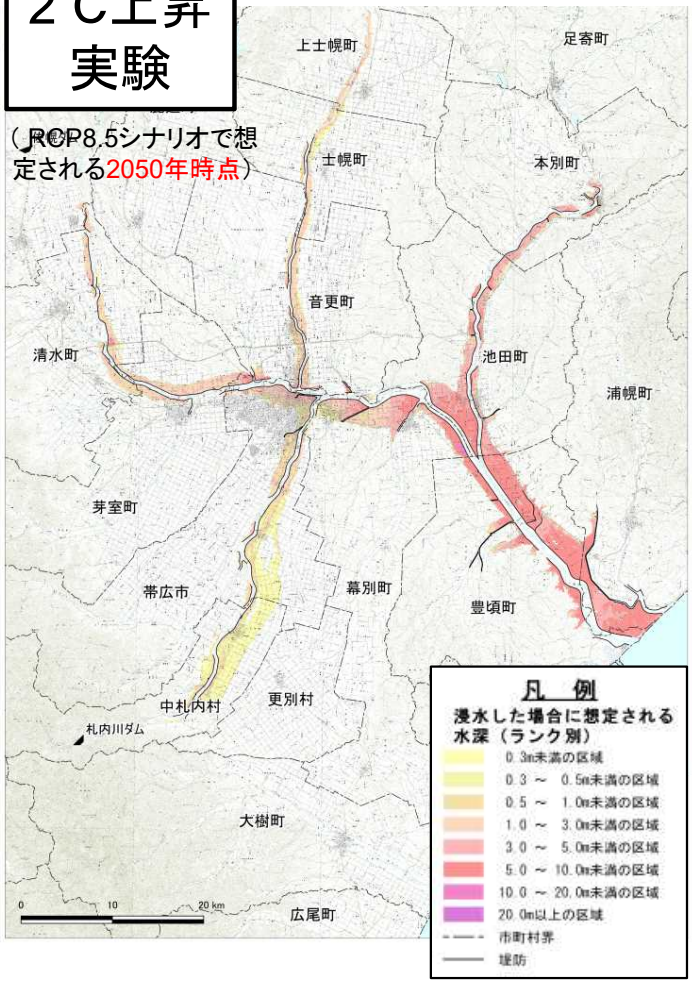
十勝川流域における気候変動による最大浸水域の変化

■ 堤防の決壊が想定される全ての地点で氾濫シミュレーションを実施し、最大包絡の浸水域及び浸水深を算定した。
■ 過去実験3000ケースの最大浸水域は、十勝川および音更川、札内川、利別川沿い等に広がっている。
■ RCP8.5シナリオで4℃上昇が想定される2090年時点では、浸水面積が増加するほか、同一地点の浸水深が増大する傾向にある。

過去実験



2℃上昇実験
（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験
（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）



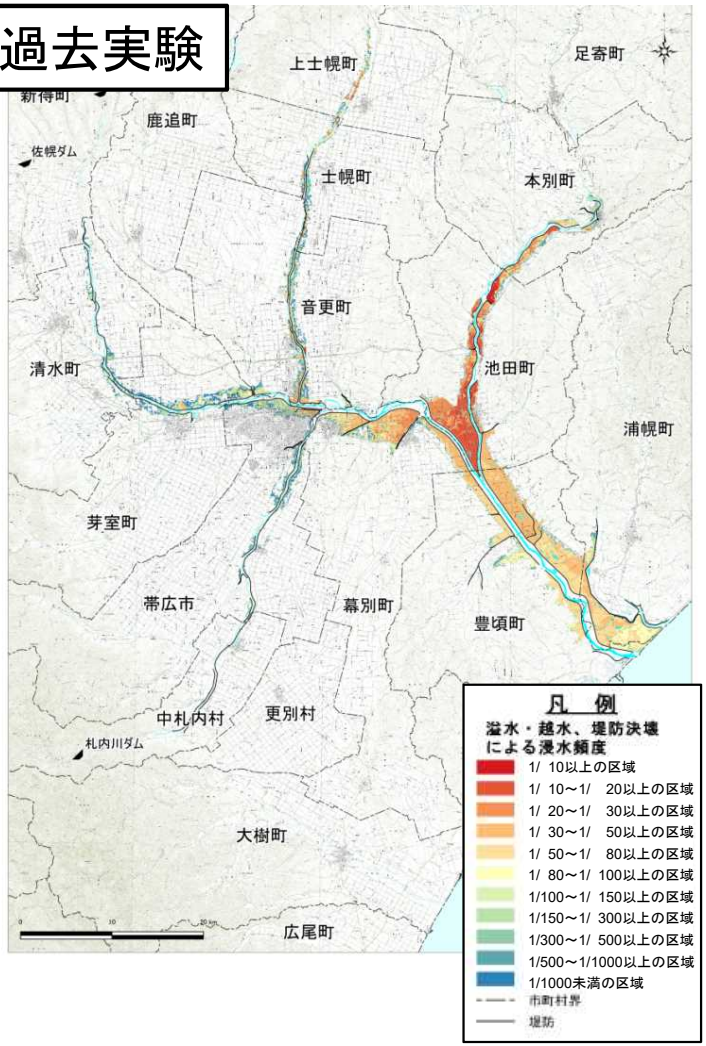
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動による浸水確率の変化（浸水深1m）

■ 4℃上昇が想定される2090年時点では、同一地点であっても浸水確率が増大する傾向にある。

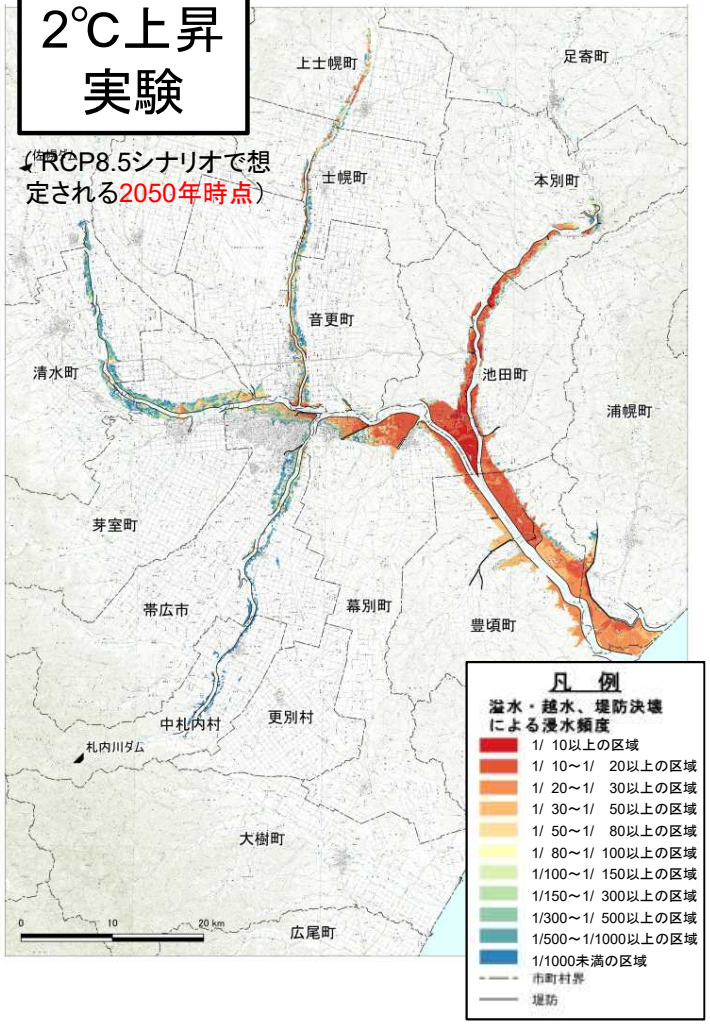
床上から50cm程度の浸水深となる確率（浸水深1m)

過去実験



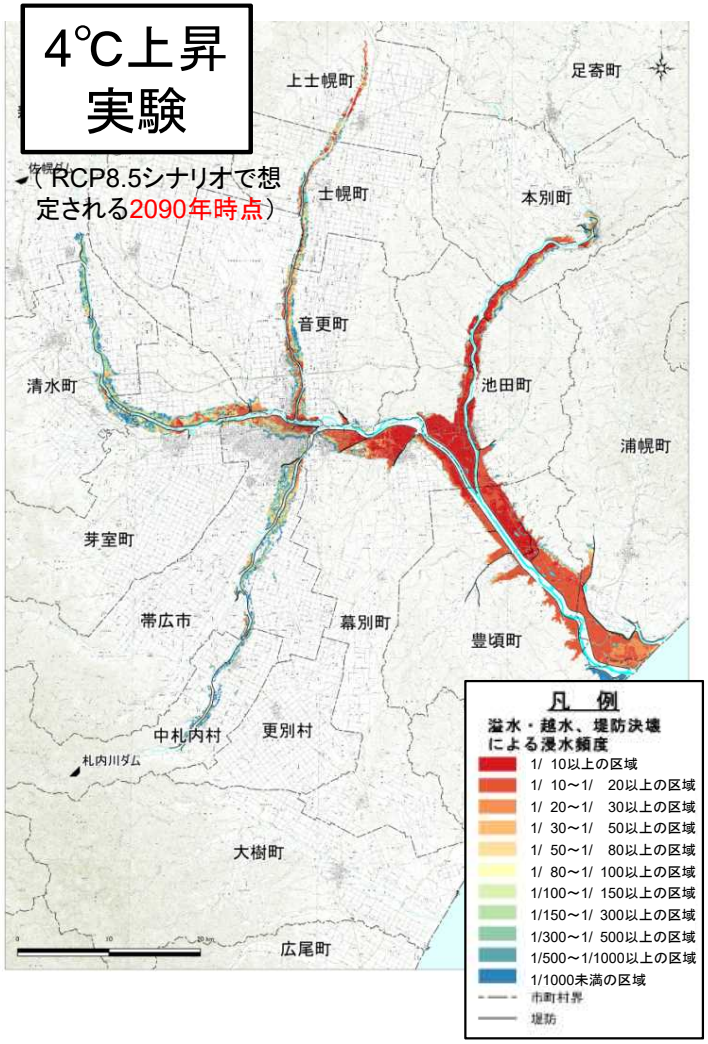
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）



※過去実験3000ケース及び4℃上昇実験5400ケースの氾濫計算を実施し、各メッシュで浸水深1mを超える頻度を表示

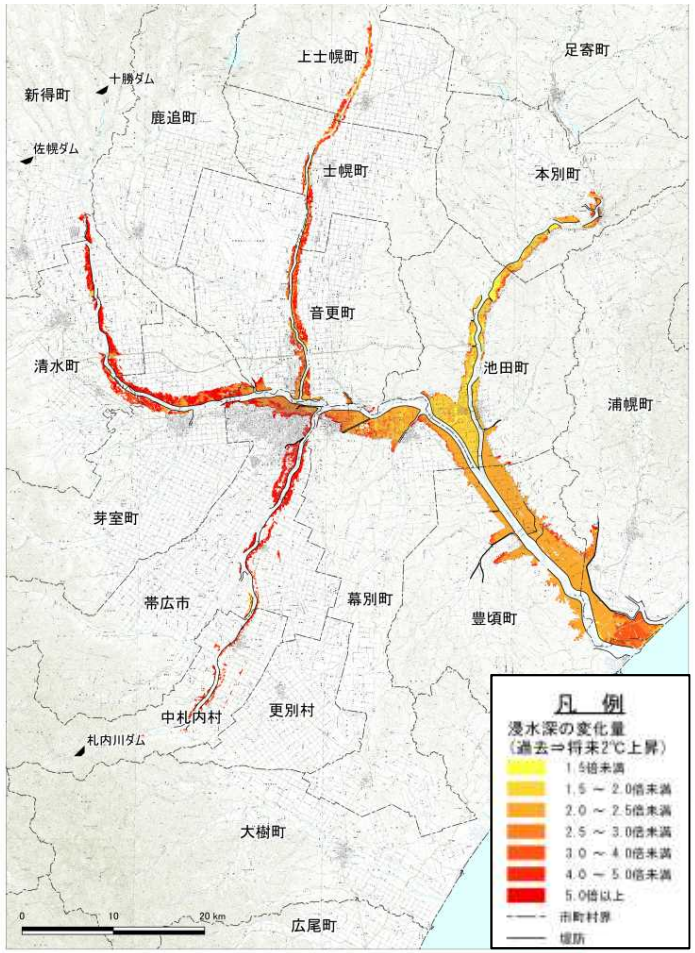
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動による浸水確率の変化（浸水深1m・変化倍率）

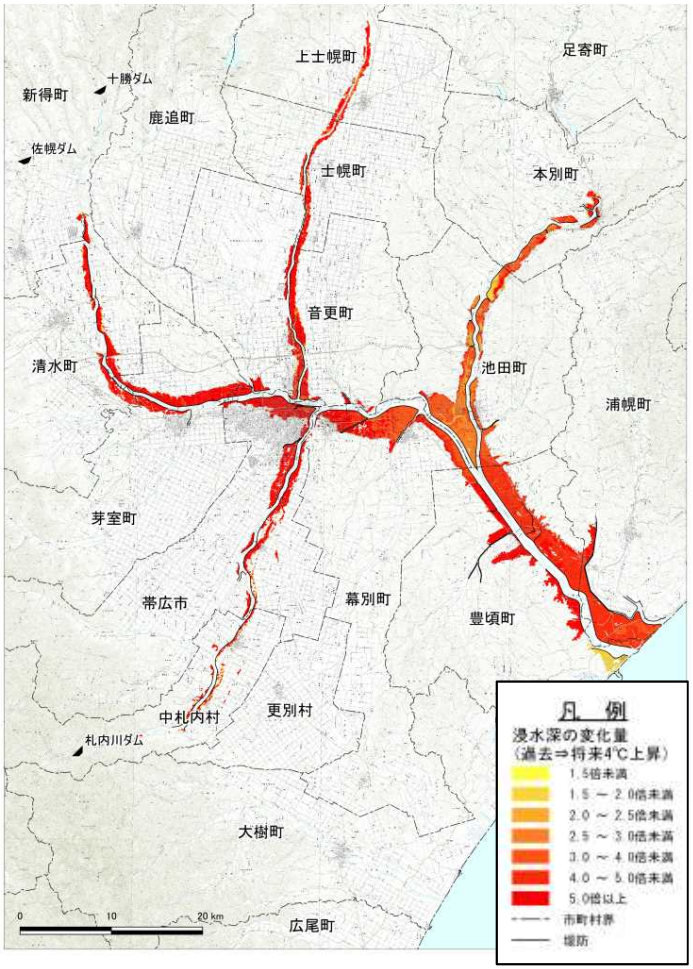
■ 浸水深1mとなる浸水確率について、各時点による変化倍率を示す。
■ 過去実験から2 ℃上昇実験、2 ℃上昇から4 ℃上昇実験ともに、十勝川上流部、音更川、札内川など、流域の上流部において変化倍率が特に大きくなる傾向が見られた。

床上から50cm程度の浸水深（浸水深1m)確率の変化倍率

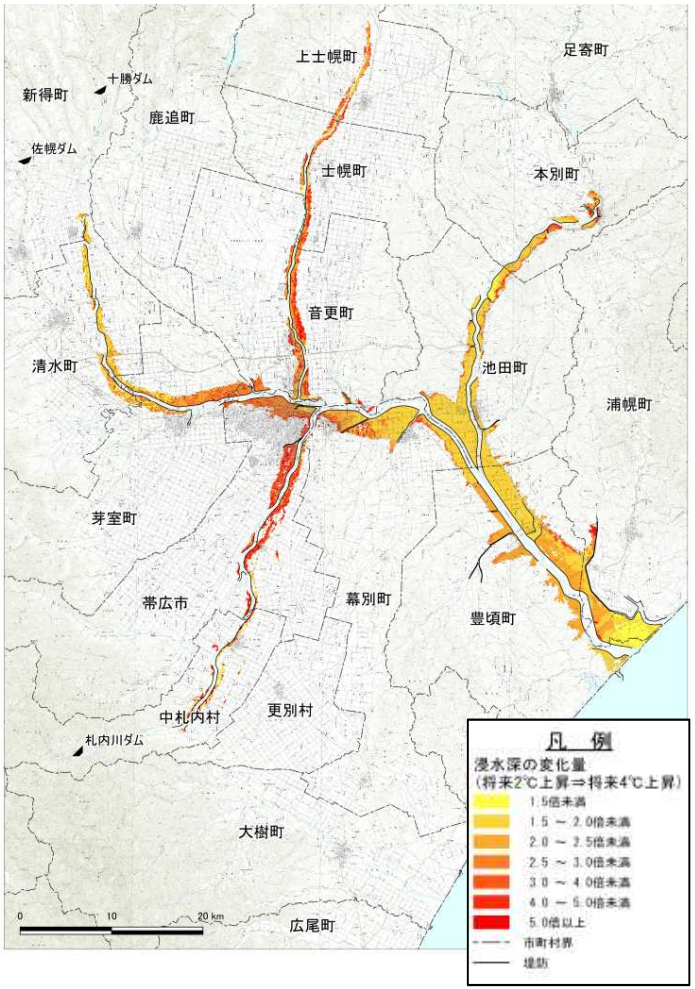
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



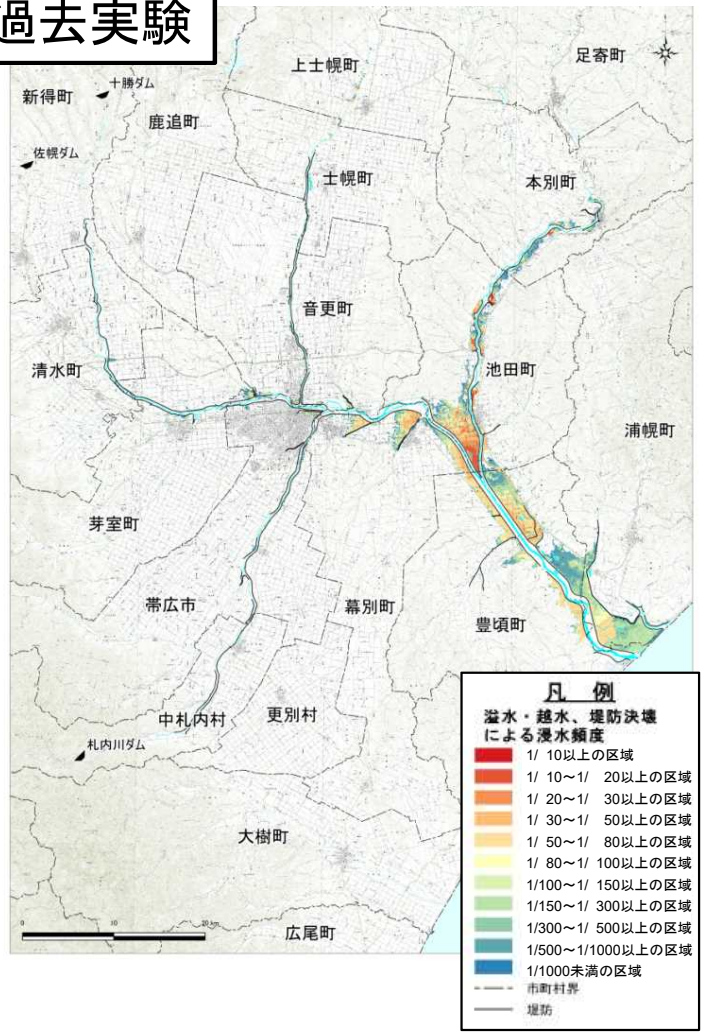
※過去実験3000ケース及び4℃上昇実験5400ケースの氾濫計算を実施し、各メッシュで浸水深1mを超える頻度を表示
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動による浸水確率の変化（浸水深3.2m）

■ 4℃上昇が想定される2090年時点では、同一地点であっても浸水確率が増大する傾向にある。

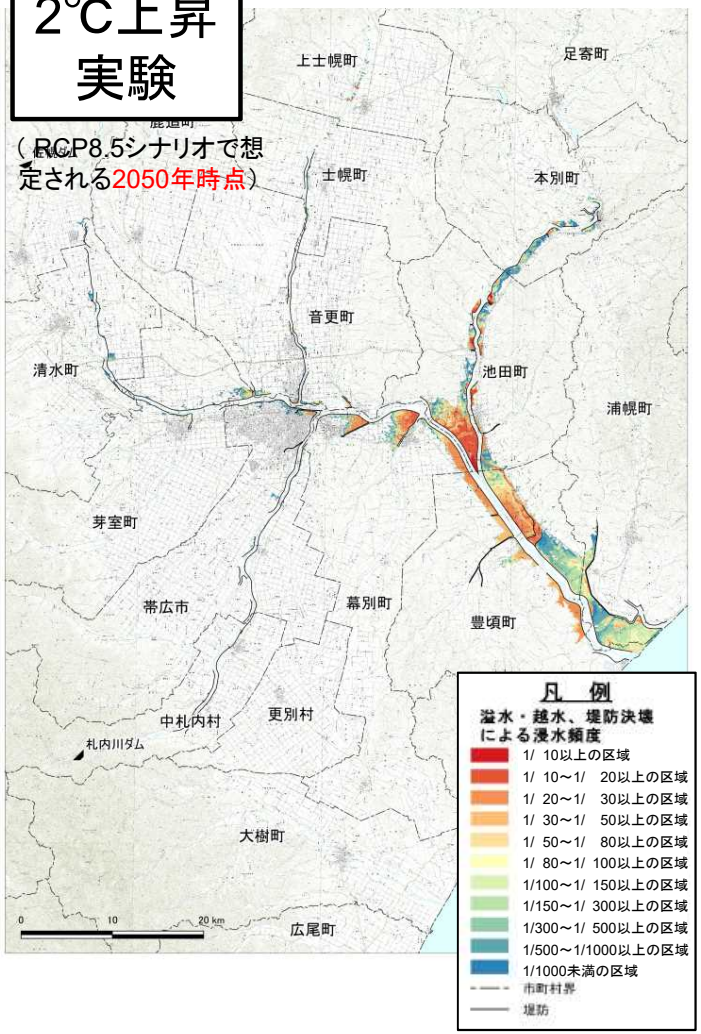
1階が水没する程度となる浸水深となる確率（浸水深3.2m）

過去実験



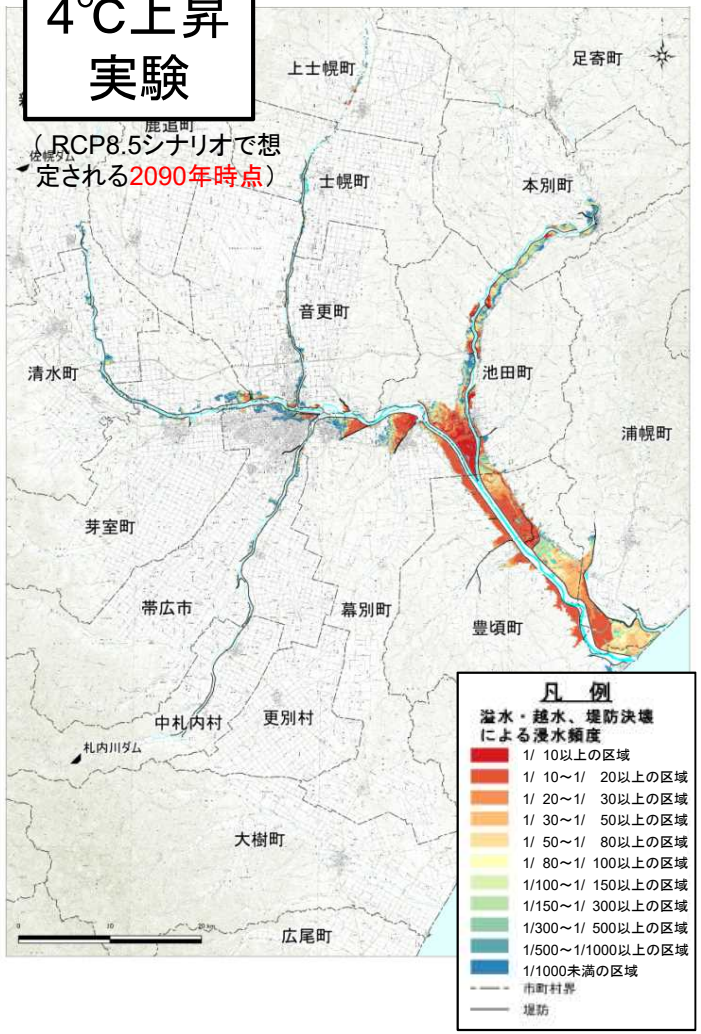
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）



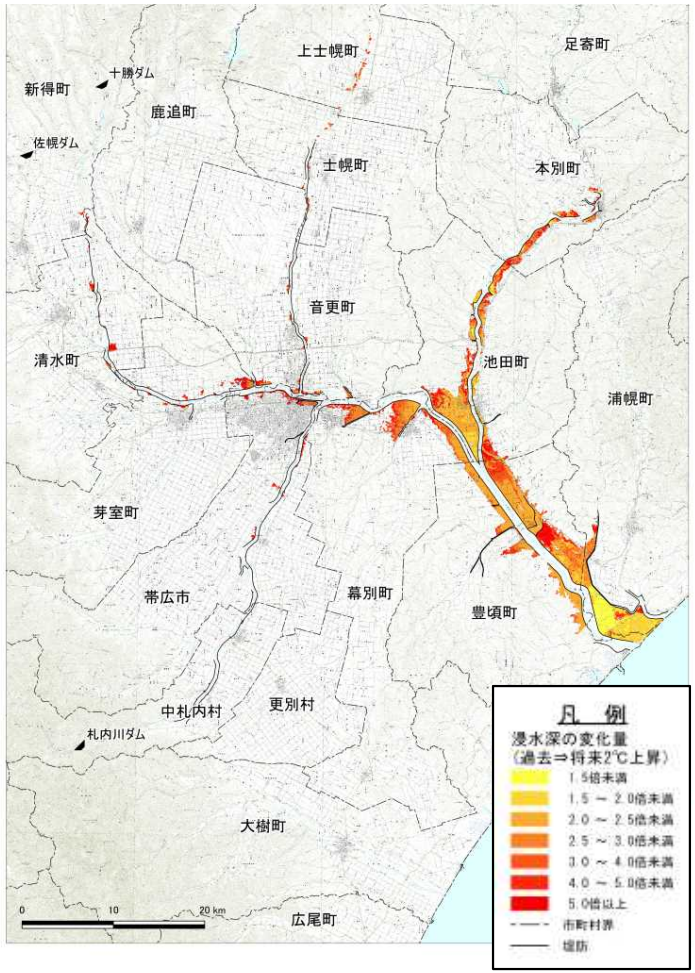
※過去実験3000ケース及び4℃上昇実験5400ケースの氾濫計算を実施し、各メッシュで浸水深3.2mを超える頻度を表示
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動による浸水確率の変化（浸水深3.2m・変化倍率）

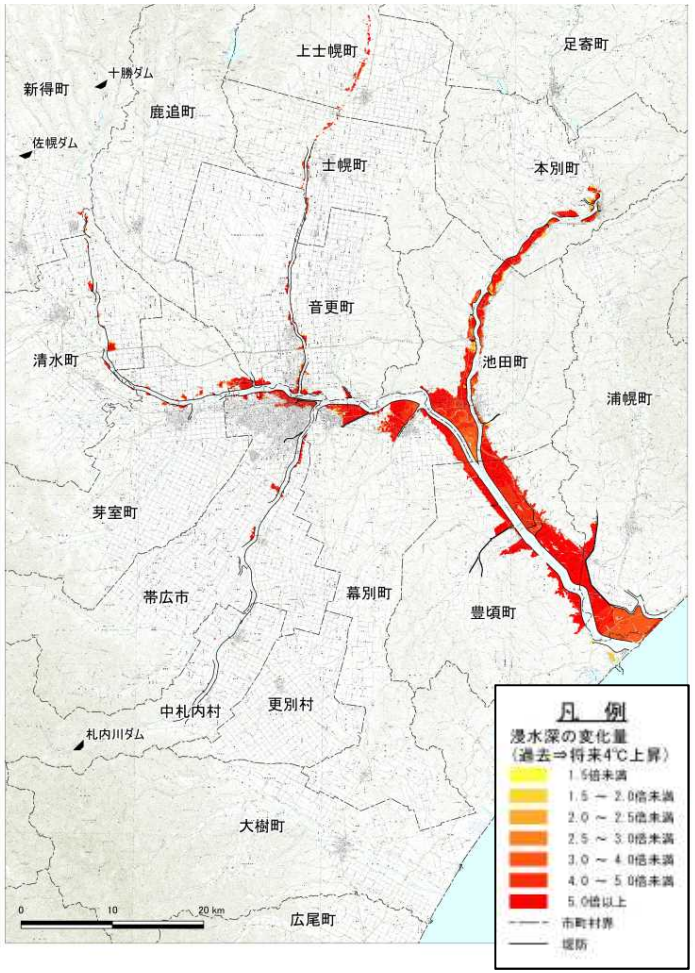
■ 浸水深3.2mとなる浸水確率について、各時点による変化倍率を示す。
■ 過去実験から2 ℃上昇実験、2 ℃上昇から4 ℃上昇実験ともに、①十勝川下流部や利別川などの流域の下流部、②本川と支川に挟まれる地域、③帯広市を含めた市街地の一部などにおいて、変化倍率が大きくなる傾向が見られた。

1階が水没する程度となる浸水深(3.2m)確率の変化倍率

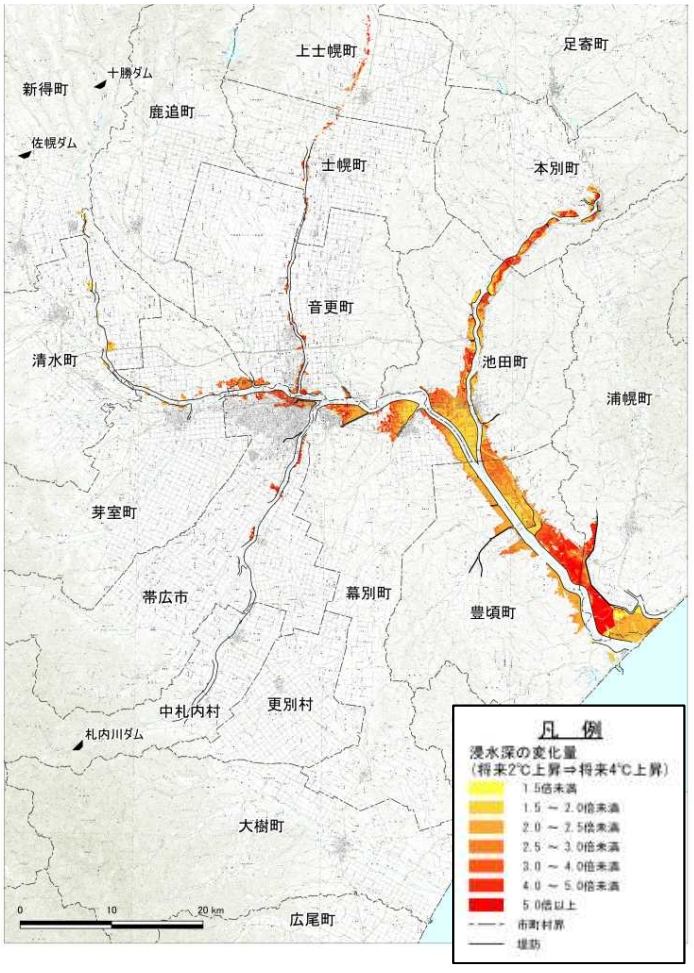
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

6－3－3．気候変動によるリスク変化

6－1．気候変動による降雨の変化
↓
6－2．気候変動による流量の変化
↓
6－3．気候変動によるリスクの変化

6－3－1．氾濫によるリスク
↓
6－3－2．浸水確率の変化
↓
6－3－3．気候変動によるリスク変化
↓
6－3－4．社会的リスクの高い地域

本検討における想定死者数の算定手法（Florisモデル）

■ Florisモデルにおいては、浸水深に加えて流速や水位上昇率の観点も含めることで想定死者数を算定している。
■ この手法では、浸水深さ・流速・水位上昇率の観点から浸水域を4つの領域に分割し、それぞれの領域における死亡率を与えることにより、想定死者数を算定する。
■ 本検討においては、Florisモデルを用いて想定死者数を算出することを仮定したうえで、人的被害のリスクを試算した。

＜4つの領域＞

d: 浸水深さ(m)、v: 流速(m/s)、
w: 水位上昇率(m/hr)、F_D:死亡率

【領域1（決壊箇所付近の領域）】

$d \cdot v \geq 7m^2/s$　かつ　$v \geq 2m/s$

$$F_{D,B} = 1$$

【領域2（水位が急激に上昇する領域）】

（$d \cdot v < 7m^2/s$　または　$v < 2m/s$）　かつ　（$d \geq 2.1m$　かつ　$w \geq 4m/hr$）

$$F_{D,Rise}(d) = \Phi_N\left(\frac{\ln(d)-\mu_N}{\sigma_N}\right)$$

$\mu_N = 1.46,\ \sigma_N = 0.28$

【領域3（遷移領域）】

（$d \cdot v < 7m^2/s$　または　$v < 2m/s$）　かつ　（$d \geq 2.1m$　かつ　$0.5m/hr \leq w < 4m/hr$）

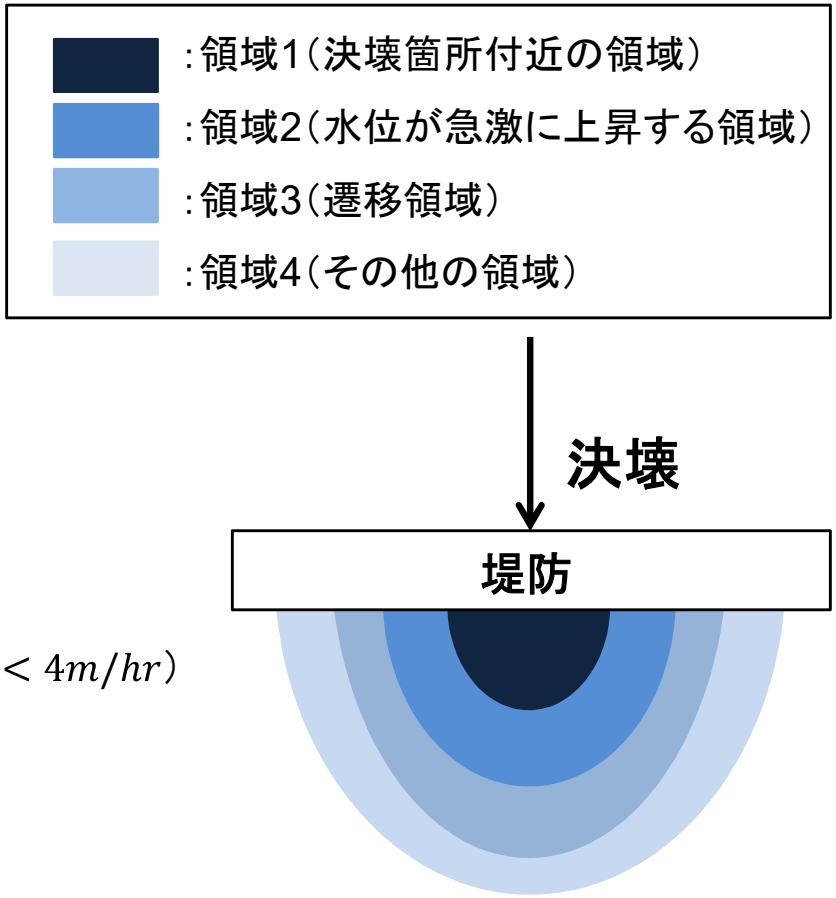
$$F_D = F_{D,Remain} + (w - 0.5)\frac{F_{D,Rise} - F_{D,Remain}}{3.5}$$

【領域4（その他の領域）】

（$w < 0.5m/hr$　または　（$w \geq 0.5m/hr$　かつ　$d < 2.1m$））　かつ　（$d \cdot v < 7m^2/s$　または　$v < 2m/s$）

$$F_{D,Remain}(d) = \Phi_N\left(\frac{\ln(d)-\mu_N}{\sigma_N}\right)$$

$\mu_N = 7.60,\ \sigma_N = 2.75$



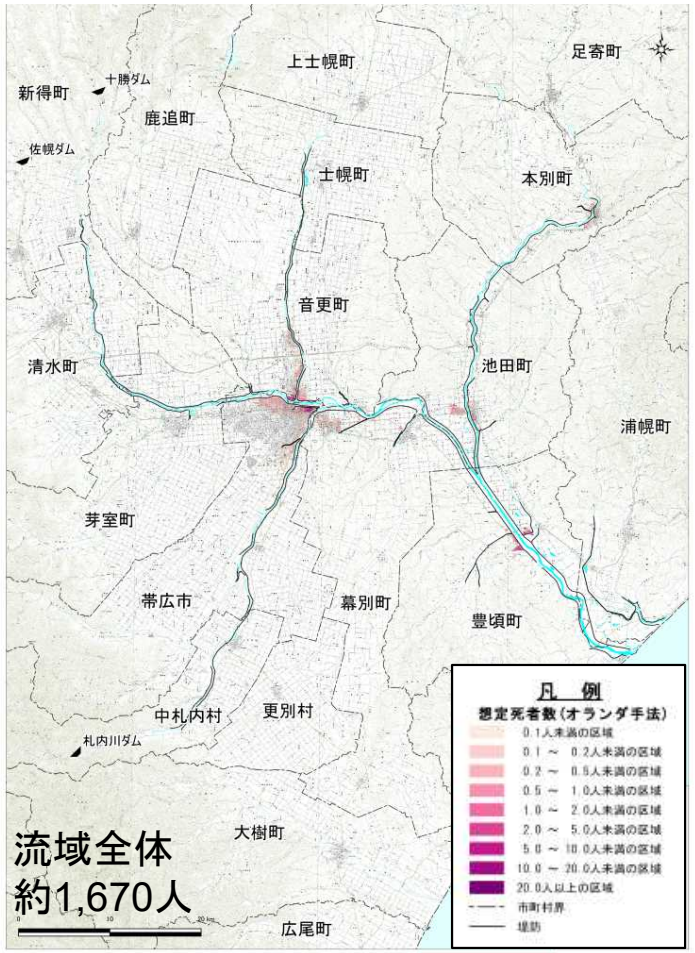
また、本検討においては、上述の領域1～3にあたる地域については、水位上昇が早く避難が困難になると想定されることから、これらの領域にあたる可能性のある地域を避難困難地域と定義することにより、以下の検討を進めた。

出典：※ B.Maaskant et al., Analyse slachtofferaantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties, 2009.1, pp4-43~4-44.
※ 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

十勝川流域における気候変動による最大想定死者数の変化

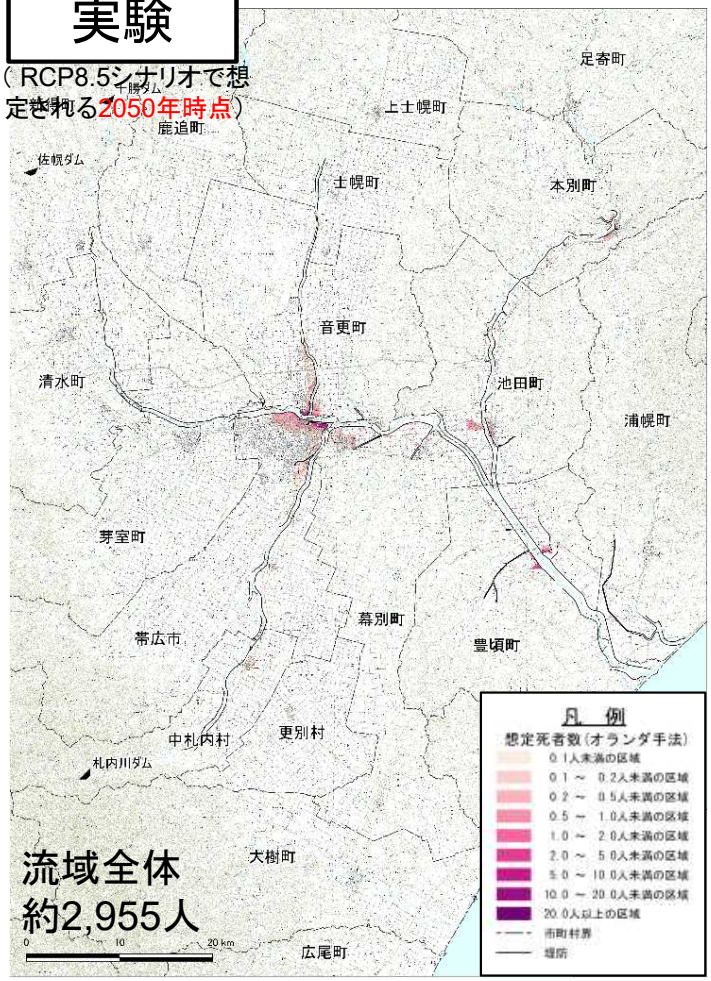
■ 流域における100mメッシュごとに、Florisモデルを用いて最大想定死者数を算出した。
■ 過去実験では、流域全体の最大想定死者数は1,670人であった。4℃上昇実験では最大想定死者数は約4,326人となった。
すなわち、気候変動により気温が4 ℃上昇すると、洪水による最大想定死者数は約2.6倍に増加する結果となった。

過去実験



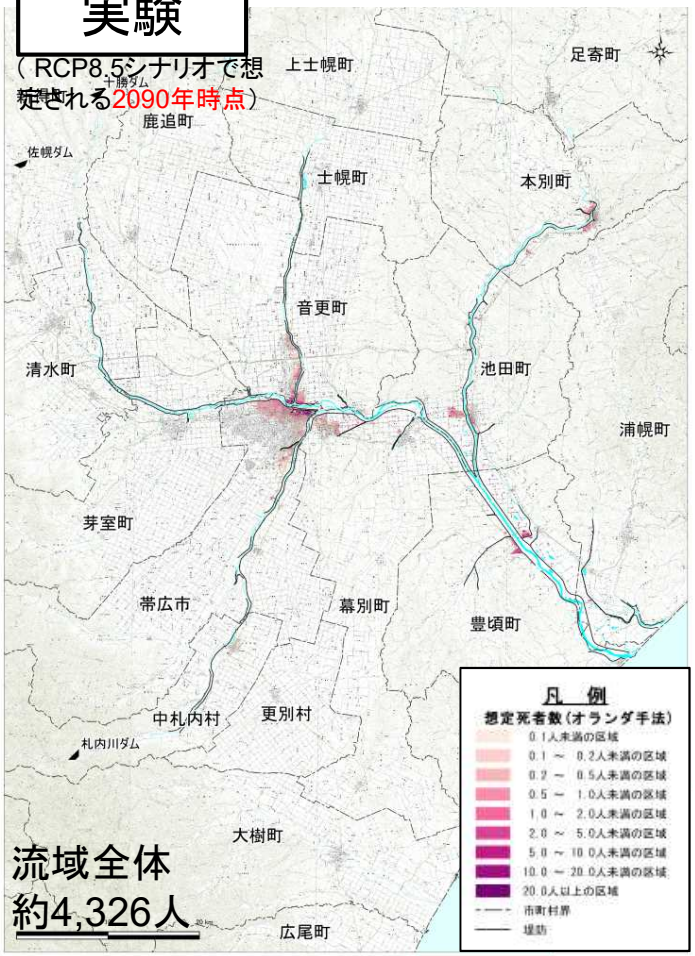
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）

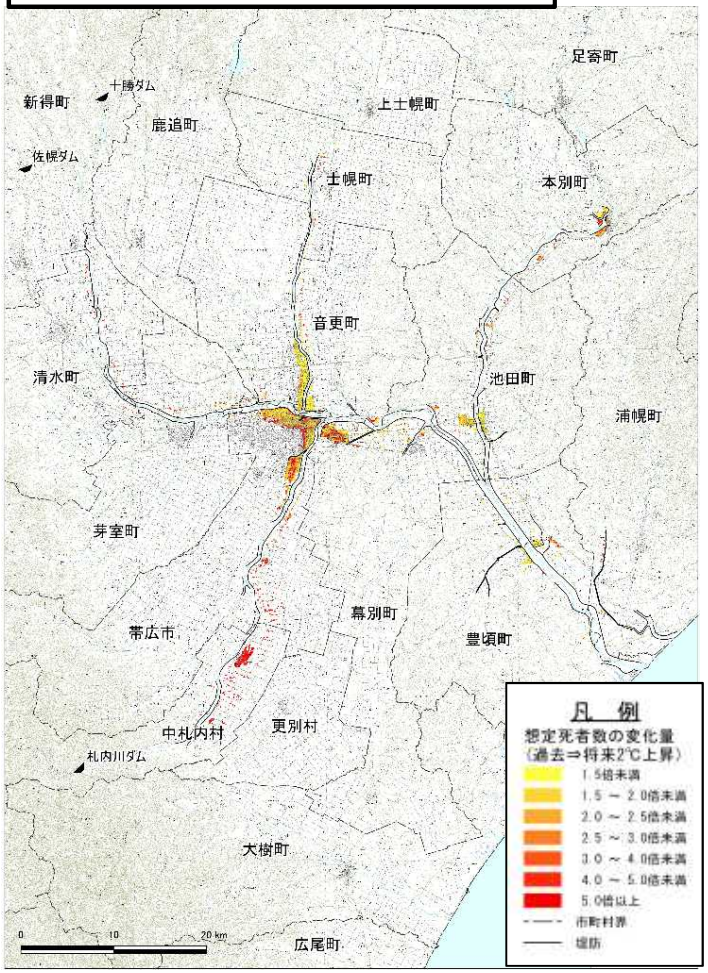


※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を計算し、このうち全ケースで最大となるものを各メッシュごとで試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

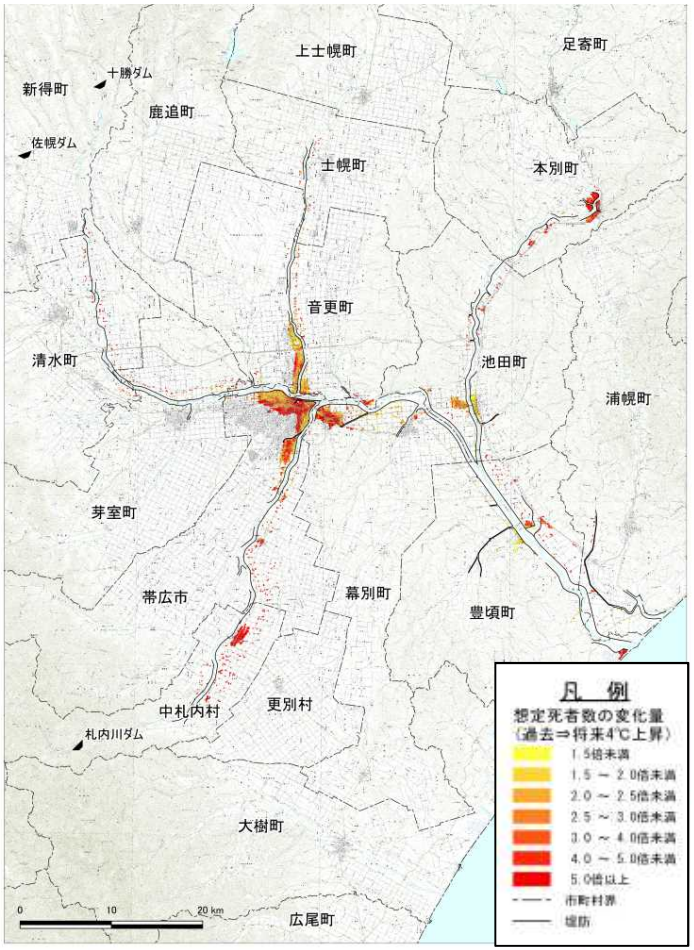
十勝川流域における気候変動による最大想定死者数の変化（変化倍率）

■ 最大想定死者数について、各時点による変化倍率を示す。
■ 過去実験から2 ℃上昇実験においては、浸水域の周辺部など、新たに浸水被害が生じる地域などで変化倍率が大きい傾向にある。過去実験から4 ℃上昇実験においては、この傾向に加えて、すでに浸水被害が生じていた地域においても変化倍率が大きくなる傾向にある。

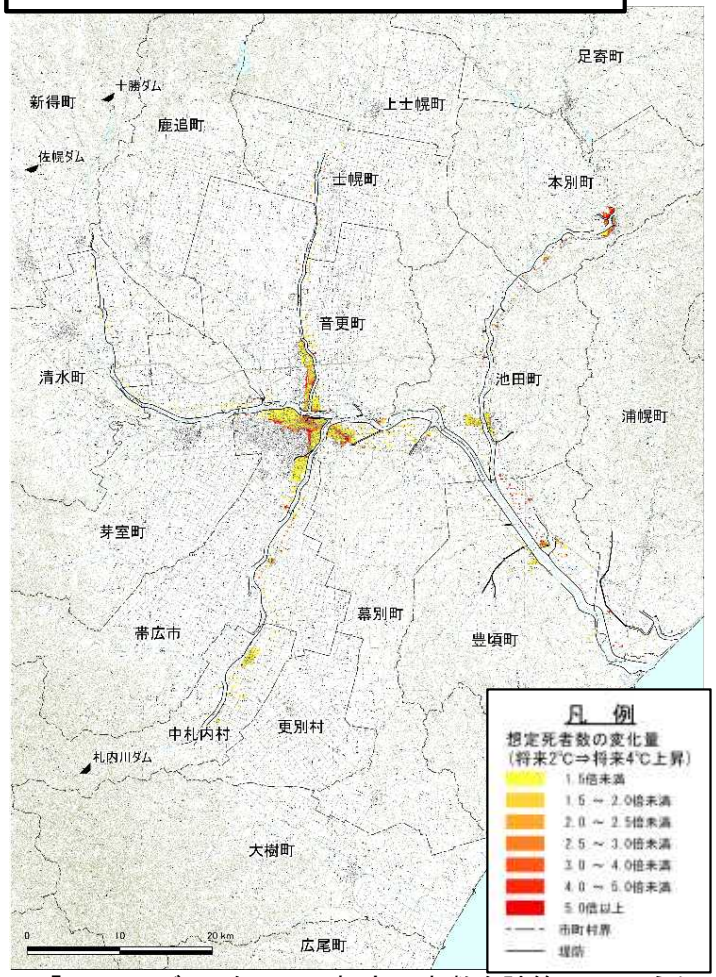
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



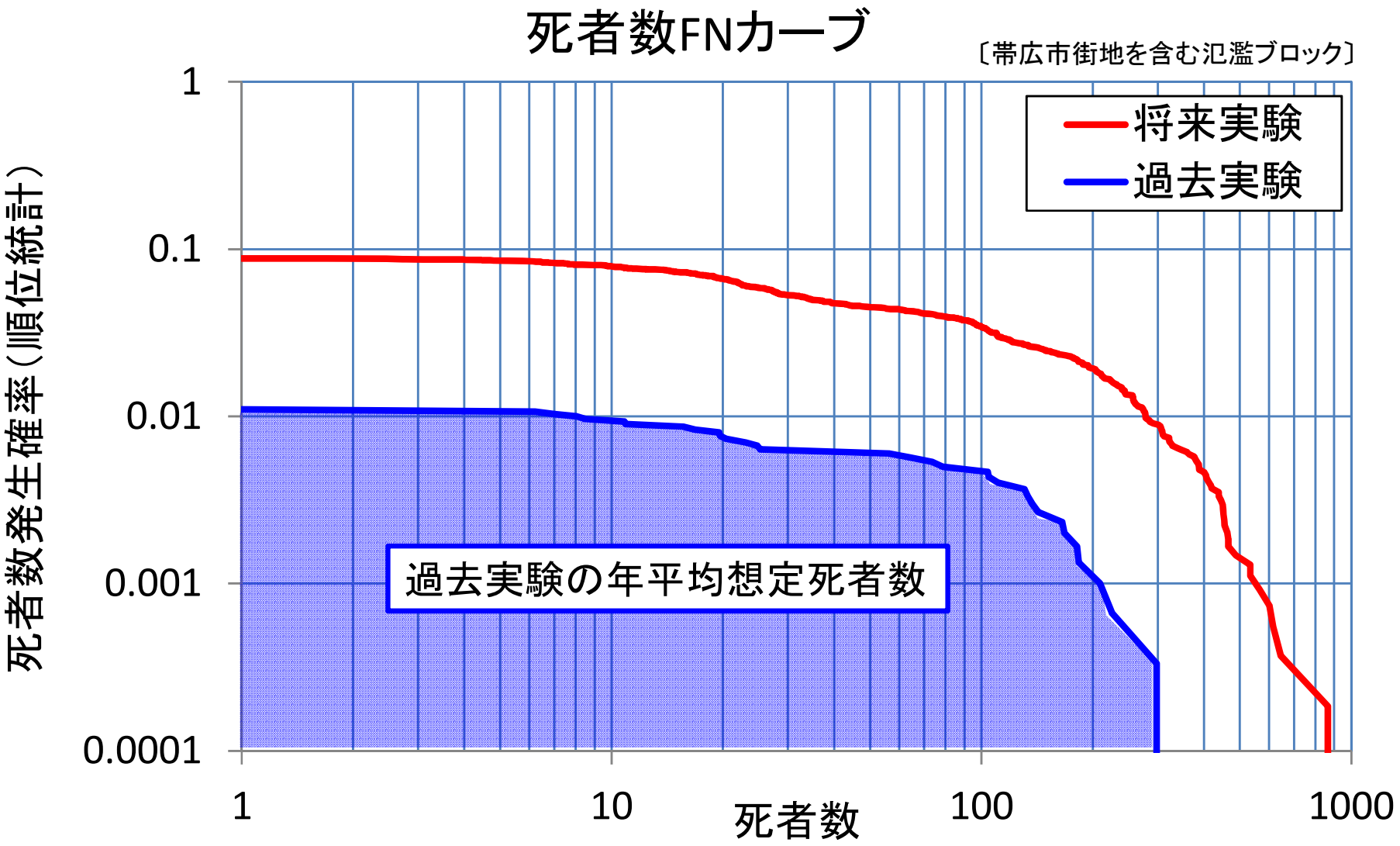
2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を計算し、このうち全ケースで最大となるものを各メッシュごとで試算した。本頁においては、過去実験と将来実験等の間における変化倍率を示している。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

年平均想定死者数の算出

■ 流域における125mメッシュ毎で、各シナリオ（過去実験3,000ケース、2℃上昇実験3,240ケース、4℃上昇実験5,400ケース）での死者数を計算したうえで、各メッシュごとの死者数と発生確率の関係性を順位統計により整理した。
■ 死者数とその発生確率の関係から、これを積分することにより、年平均想定死者数を試算した。



※ 避難率は0%として試算した。

※順位統計とは、各実験（合計Nケース）の各ケースにおける想定死者数を数が少ないほうから並べていき、例えば死者数が0となるものがM個あったとすれば、死者数が0となる確率は（M番目/Nケース）となる。

十勝川流域における気候変動による年平均想定死者数の変化

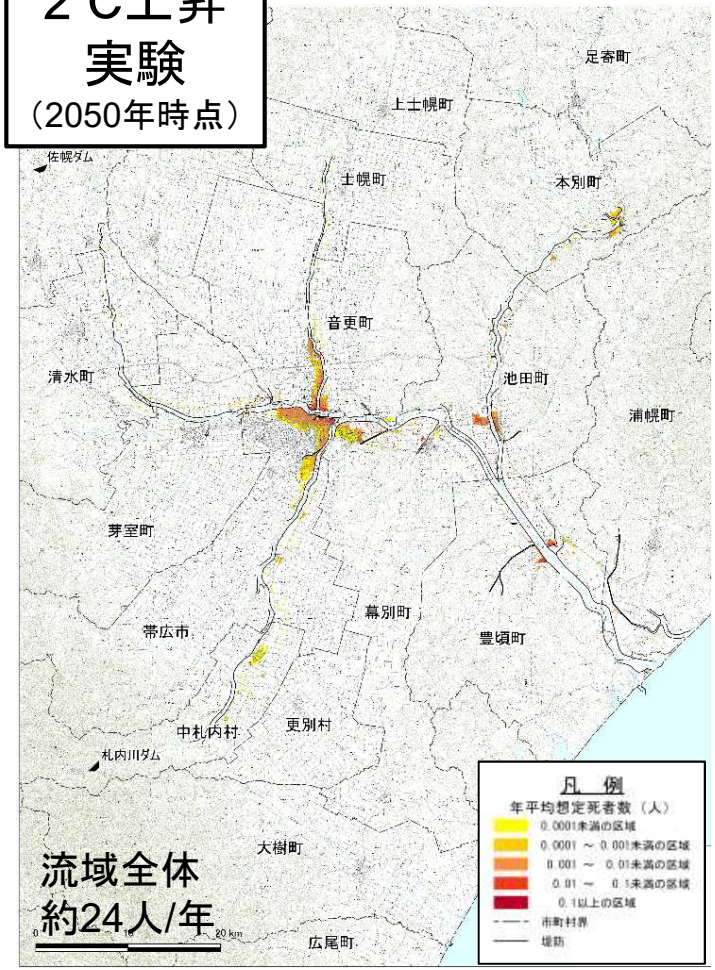
■ 過去実験における流域全体の年平均想定死者数は約9人/年であった。一方、4℃上昇実験における年平均想定死者数は約58人/年となった。すなわち、気候変動により気温が4℃上昇すると、洪水による年平均想定死者数は約6.4倍に増加する結果となった。

■ 年平均想定死者数は、流域中流部の帯広圏のほか、下流部に位置する池田町や豊頃町などの市街地において集中する傾向にある。

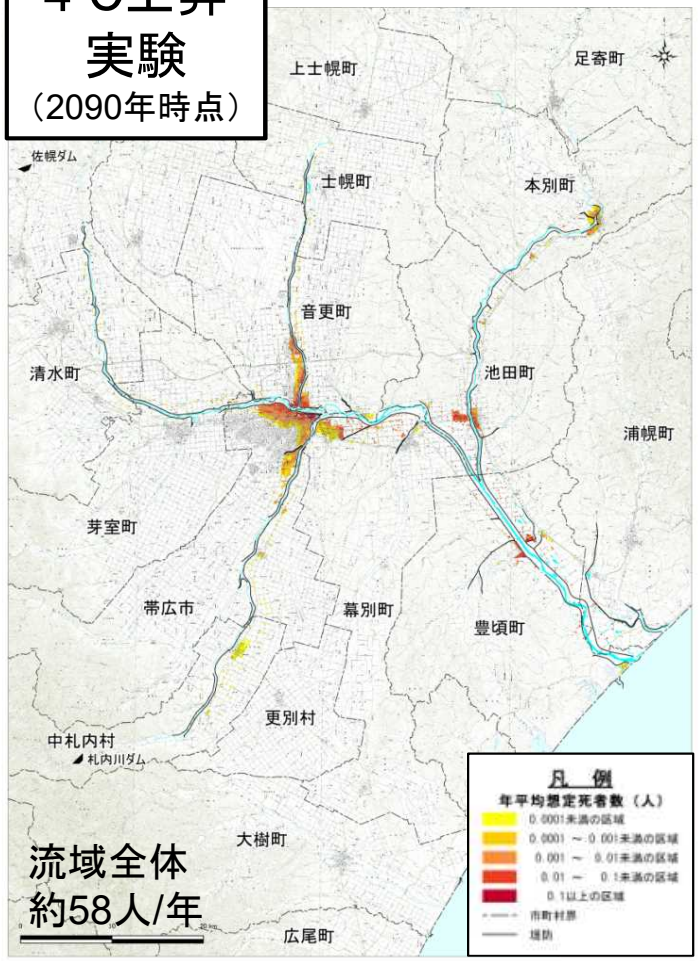
過去実験



2℃上昇実験（2050年時点）



4℃上昇実験（2090年時点）

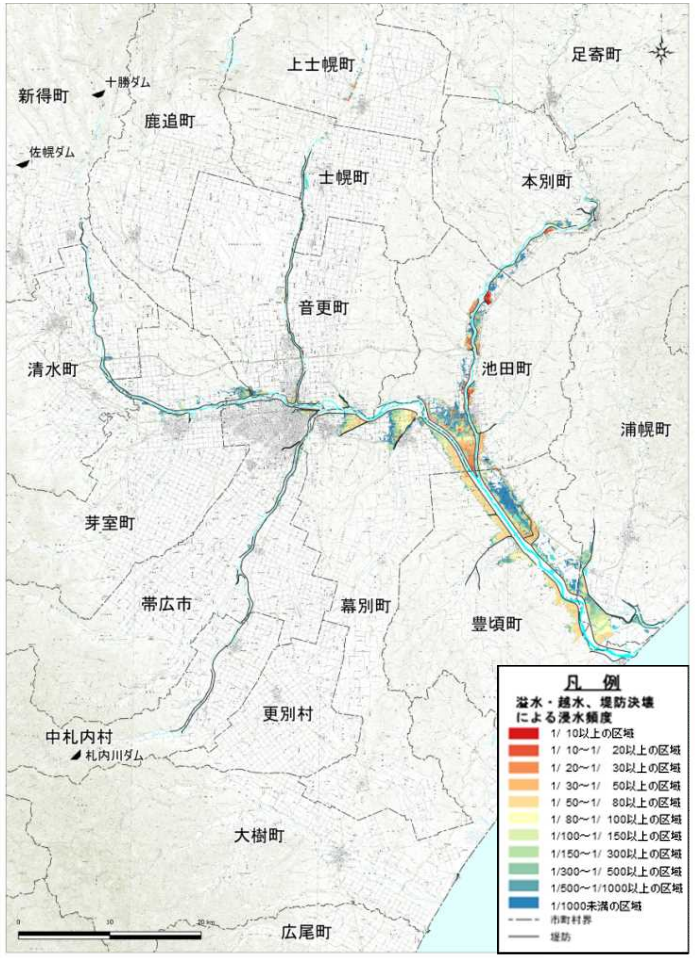


※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

十勝川流域における気候変動による避難困難地域の変化

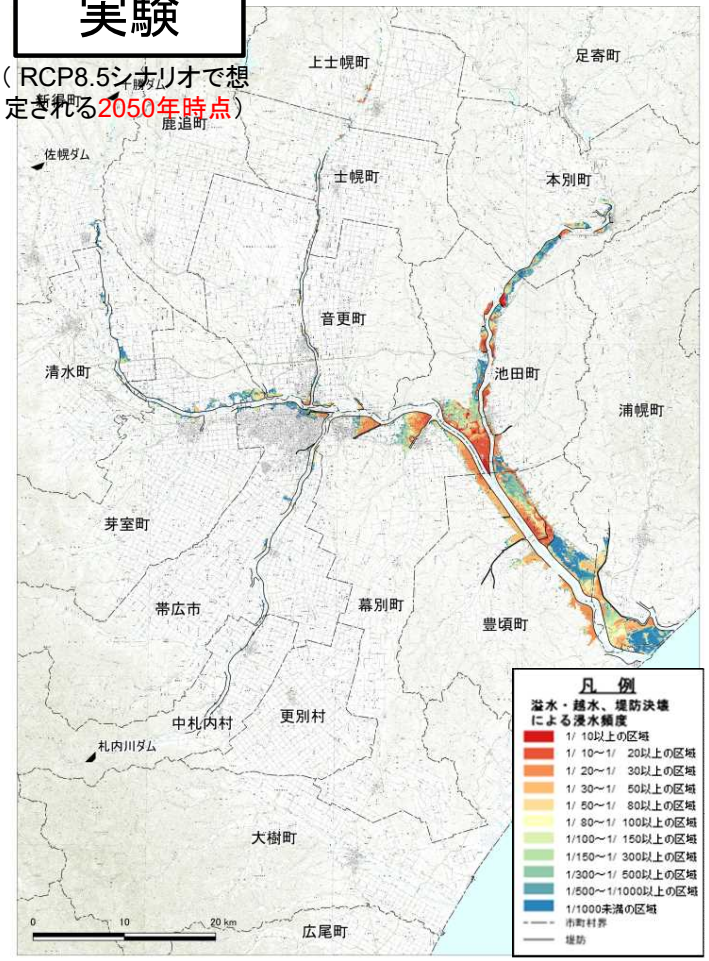
■ 下流部を中心に避難困難区域※が広がっており、浸水時の水位上昇が早いことが想定される。また、帯広圏の市街地でも避難困難区域となる地域がある。
■ とりわけ、本川と支川で挟まれた地域では、避難困難地域となりやすい傾向がみられた。
※想定死者数の算定において、領域1～3にあたる地域については水位上昇が早く避難が困難になると想定されることから、これらの領域にあたる可能性のある地域を避難困難地域と定義している。

過去実験



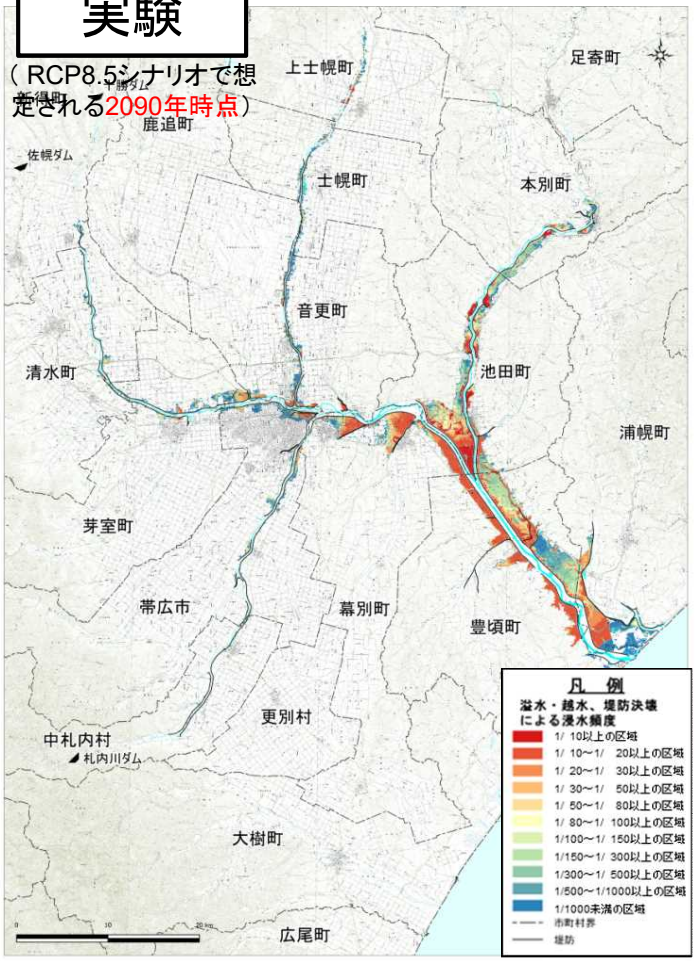
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）

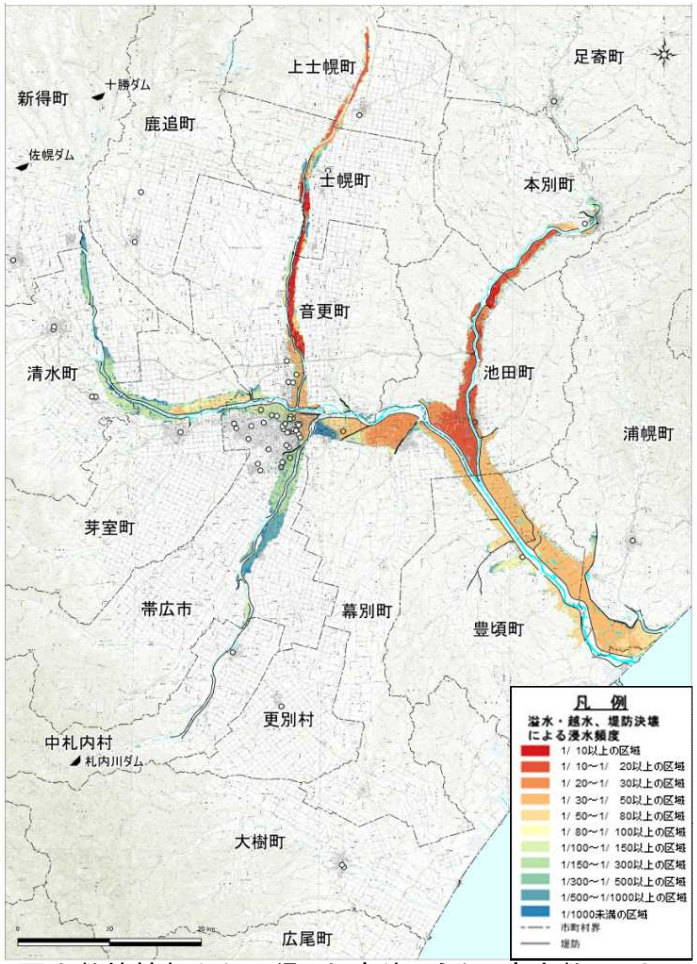


※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：病院（入院可能な施設）

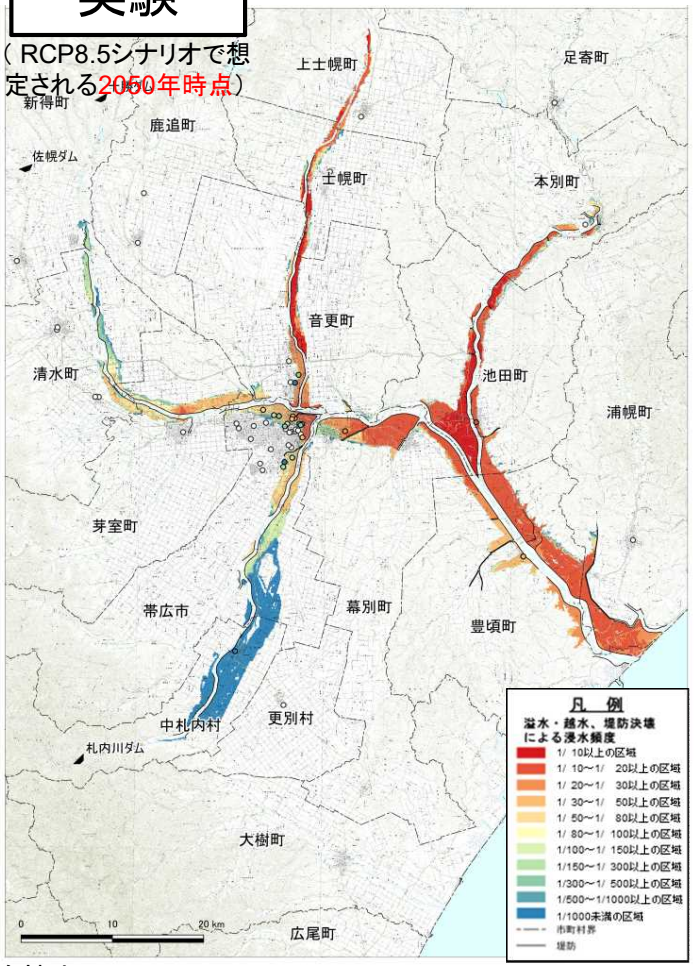
■ 十勝川流域には、入院が可能である病院が50施設存在しており、このうち半数以上となる32施設が帯広市に位置している。
■ 帯広市や音更町にある一部の病院では、過去実験における浸水確率は1/100以下であったが、4℃上昇実験では1/10～1/20の浸水確率となる状況がみられる。

過去実験



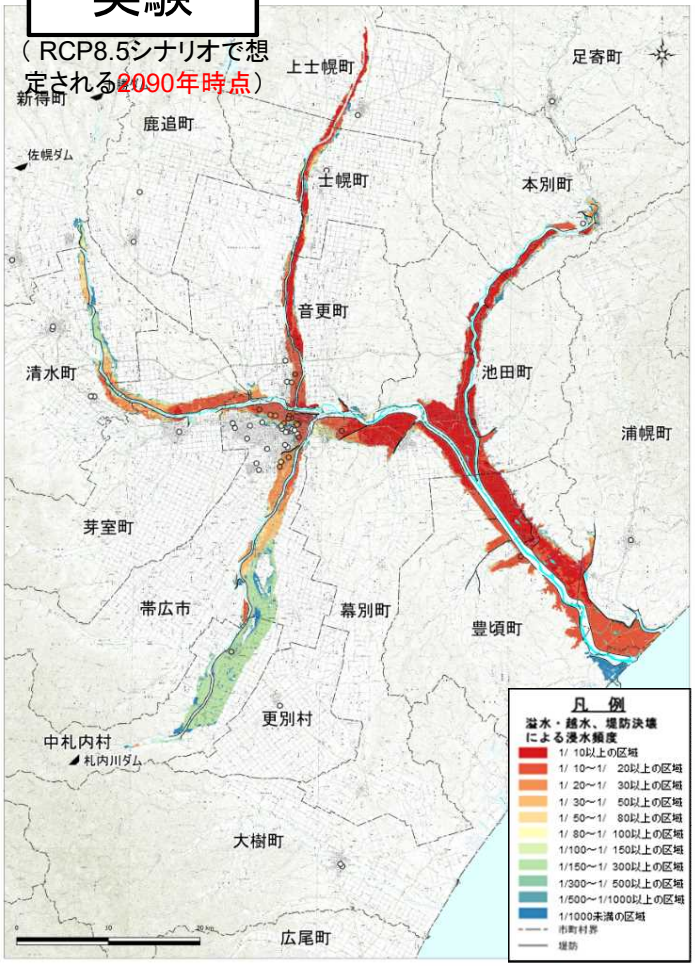
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）

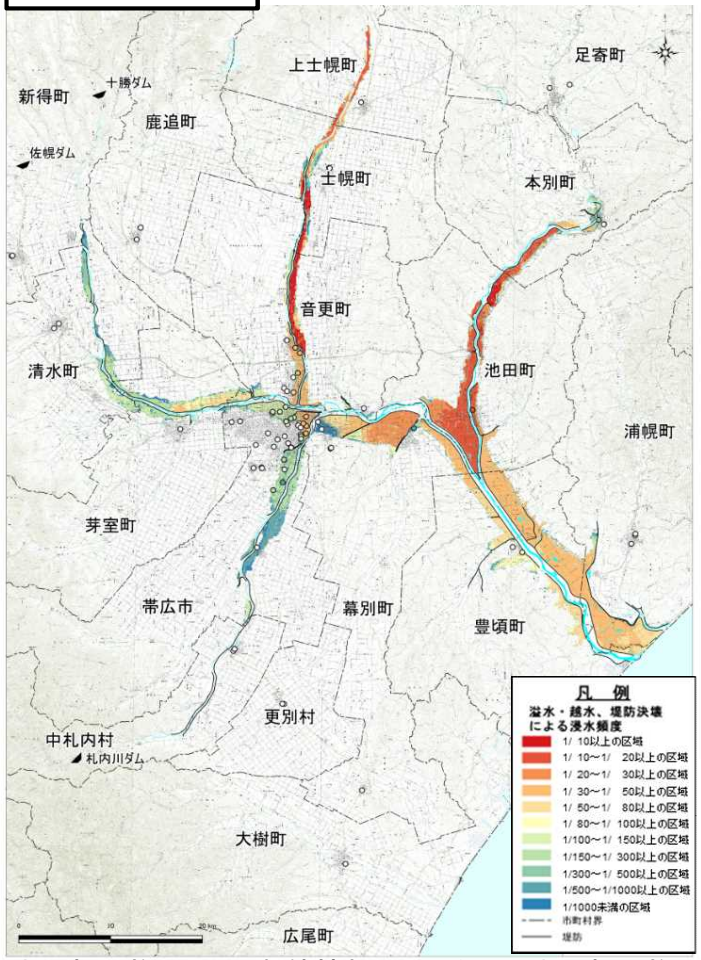


※国土数値情報から取得した病院のうち、病床数1以上の病院を抽出。
※自動車の走行困難、災害時要援護者の避難が困難な水位（30cm）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：老人福祉施設

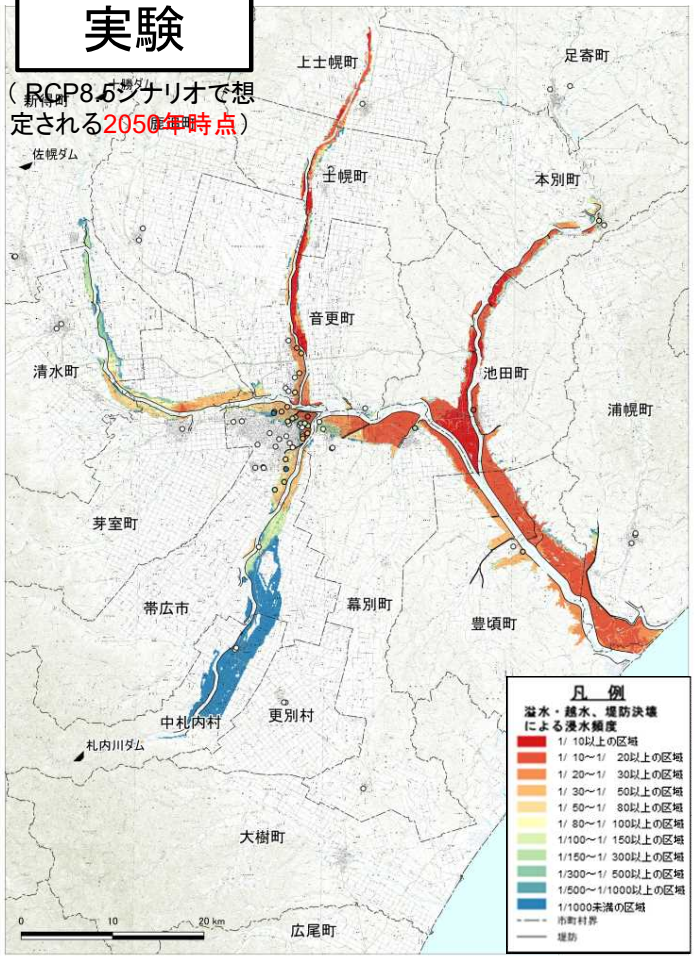
■ 十勝川流域には、老人福祉施設が83施設存在しており、そのうち60施設が帯広市・音更町・幕別町に位置している。多くの老人福祉施設が河川沿いに位置している。
■ 一部の施設では、過去実験における浸水確率が1/10～1/20であったが、4℃上昇実験では1/10以上の浸水確率となる状況がみられる。

過去実験



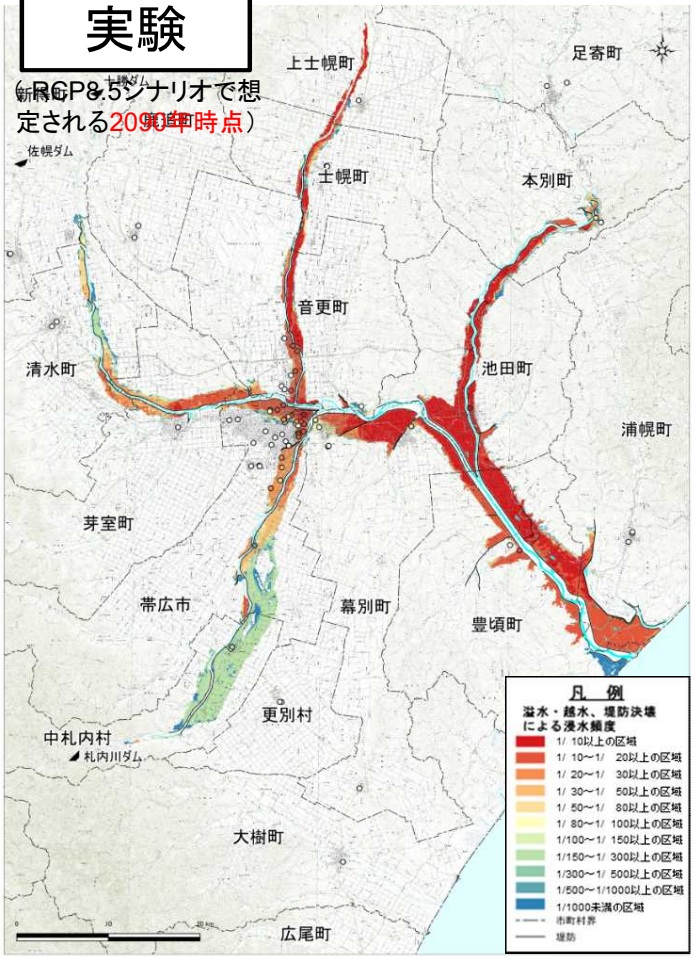
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）

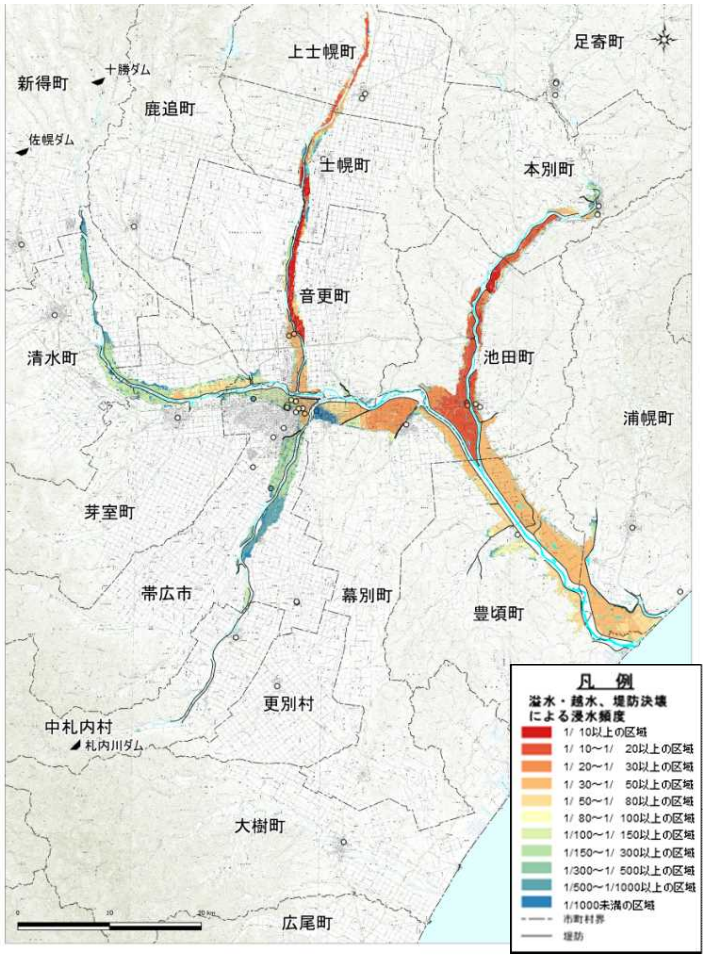


※老人福祉施設：国土数値情報から取得した老人福祉施設。養護老人ホーム（一般）・特別養護老人ホーム・老人福祉センター（特 A型）・老人福祉センター（ A型）・軽費老人ホーム（ケアハウス）・軽費老人ホーム（A型）・有料老人ホームが含まれる。
※自動車の走行困難、災害時要援護者の避難が困難な水位（30cm）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：役場等

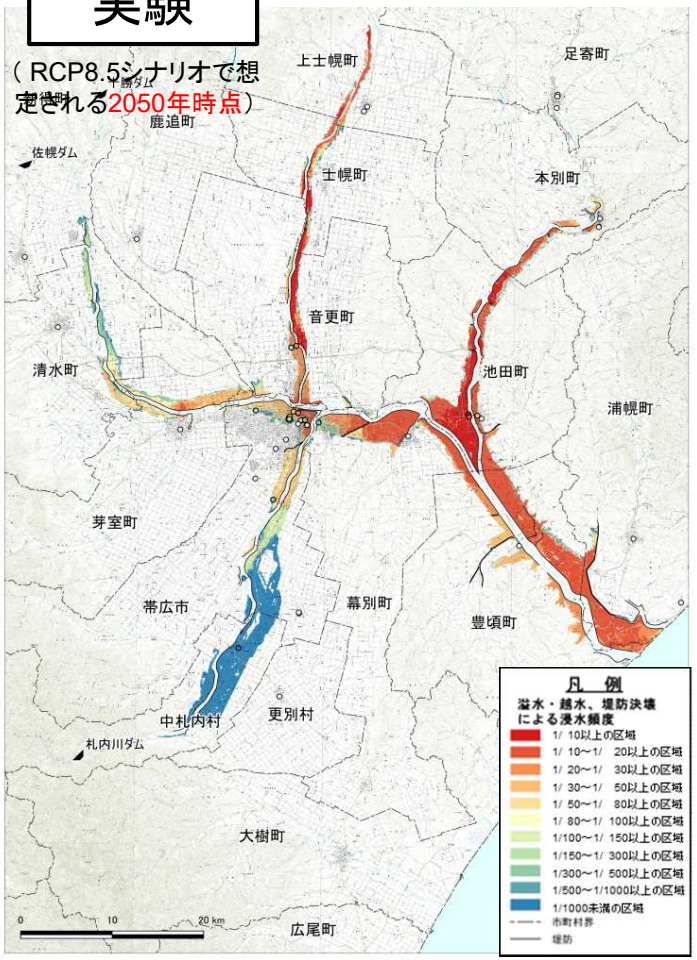
■ 全国の過去の災害において、役場等が被災することにより、自治体における防災上の機能が十分に発揮されない事例が見られる。
■ 過去実験においては、帯広市、音更町、池田町で役場等が浸水することが想定されている。一方、4℃上昇実験においては、上述の自治体に加えて、中札内村、本別町においても役場等の浸水が想定される。

過去実験



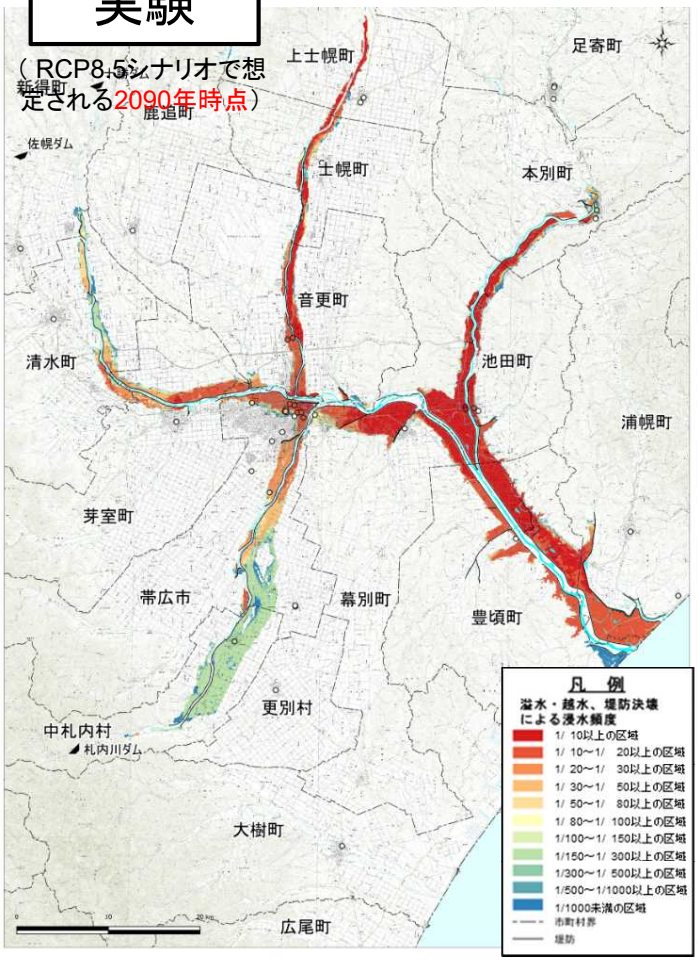
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）

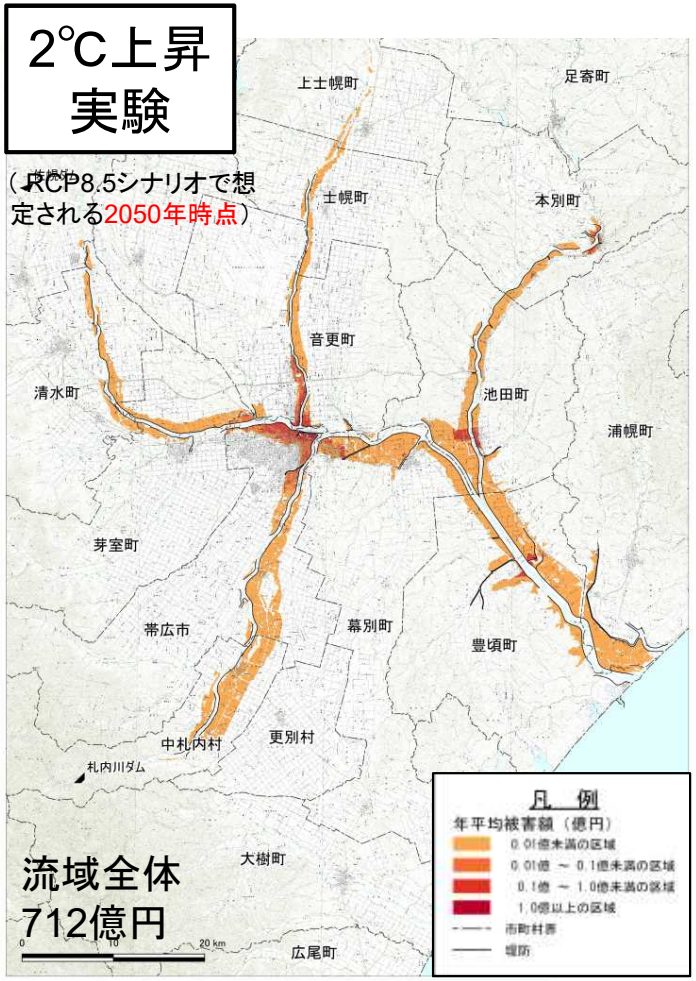


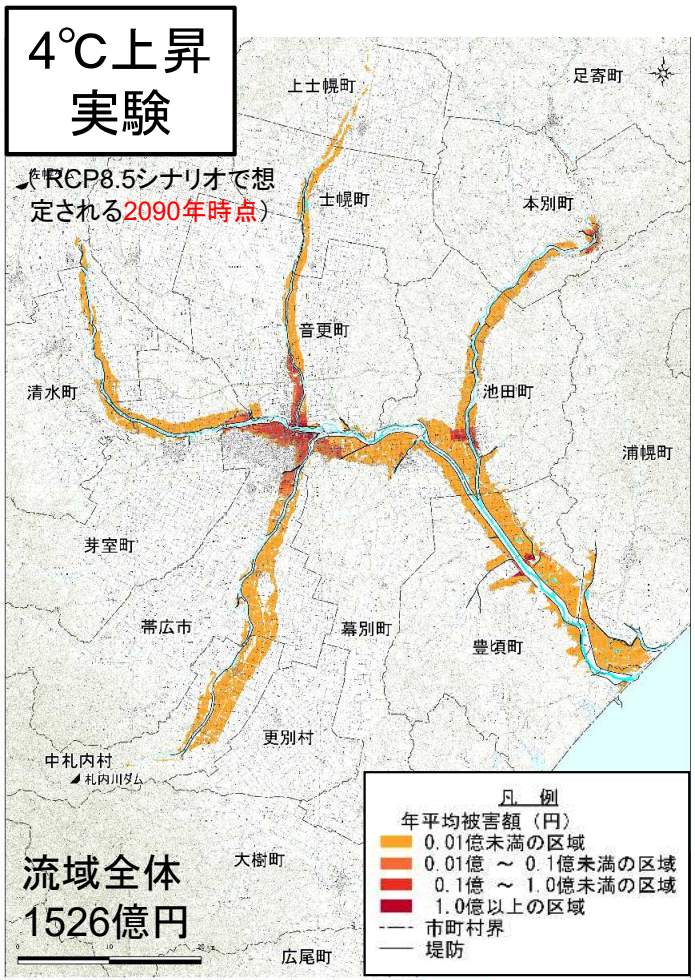
※自動車が走行困難な水位（30cm）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化：年平均想定被害額

- 流域における100mメッシュ毎で、各シナリオ（過去実験3,000ケース、4℃上昇実験5,400ケース）での浸水深から被害額を計算し、各メッシュごとの被害額とその発生確率の関係性を順位統計により整理した。また、被害額とその発生確率の関係から、これを積分することにより、年平均想定被害額を算出した。
- 過去実験では、流域全体の年平均被害額は約300億円であった。4℃上昇実験では流域全体の年平均想定被害額は約1,530億円となった。すなわち、気候変動により気温が4 ℃上昇すると、年平均想定被害額は約5.1倍に増加する結果となった。
- 年平均想定被害額は市街地に集中する傾向にあるほか、河川沿いも農地被害による年平均想定被害額が広がっている。





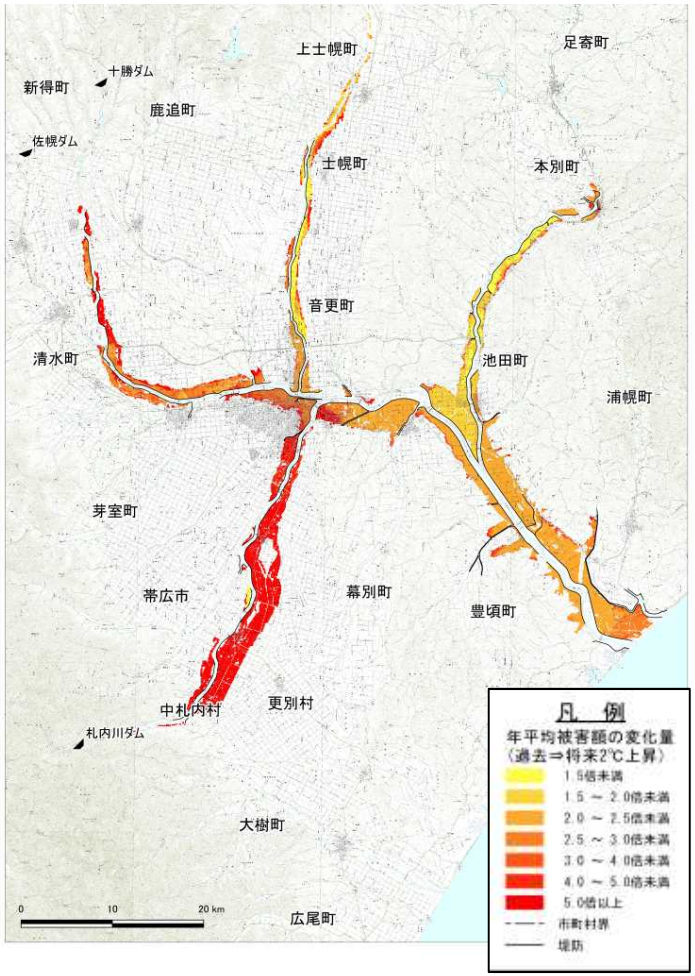


※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

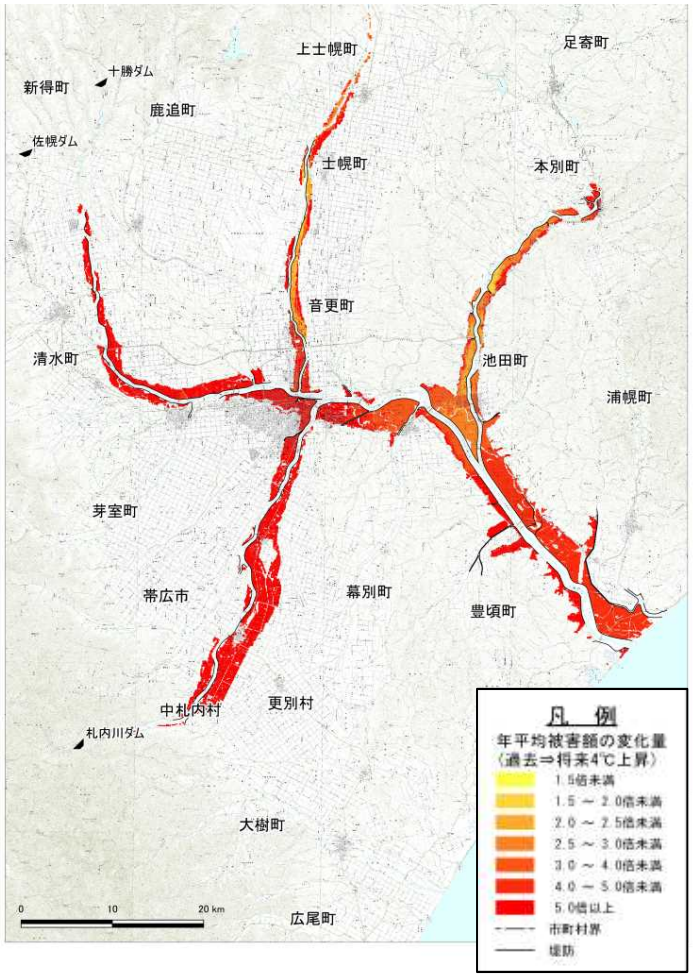
十勝川流域における気候変動によるリスク変化：年平均想定被害額（変化倍率）

■ 年平均想定被害額について、各時点による変化倍率を示す。
■ 過去実験から2 ℃上昇実験においては、全域にわたって年平均想定被害額の増加が見られ、特に札内川などにおいて、変化倍率が大きくなっている。また、2 ℃上昇実験から4 ℃上昇実験においても、同様の傾向が見られる。

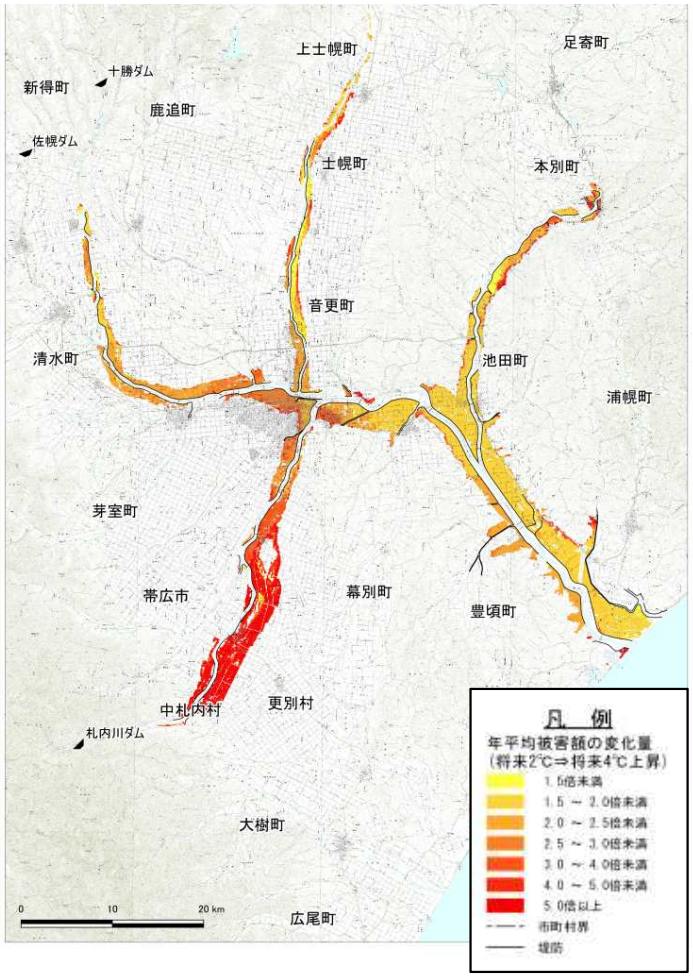
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験

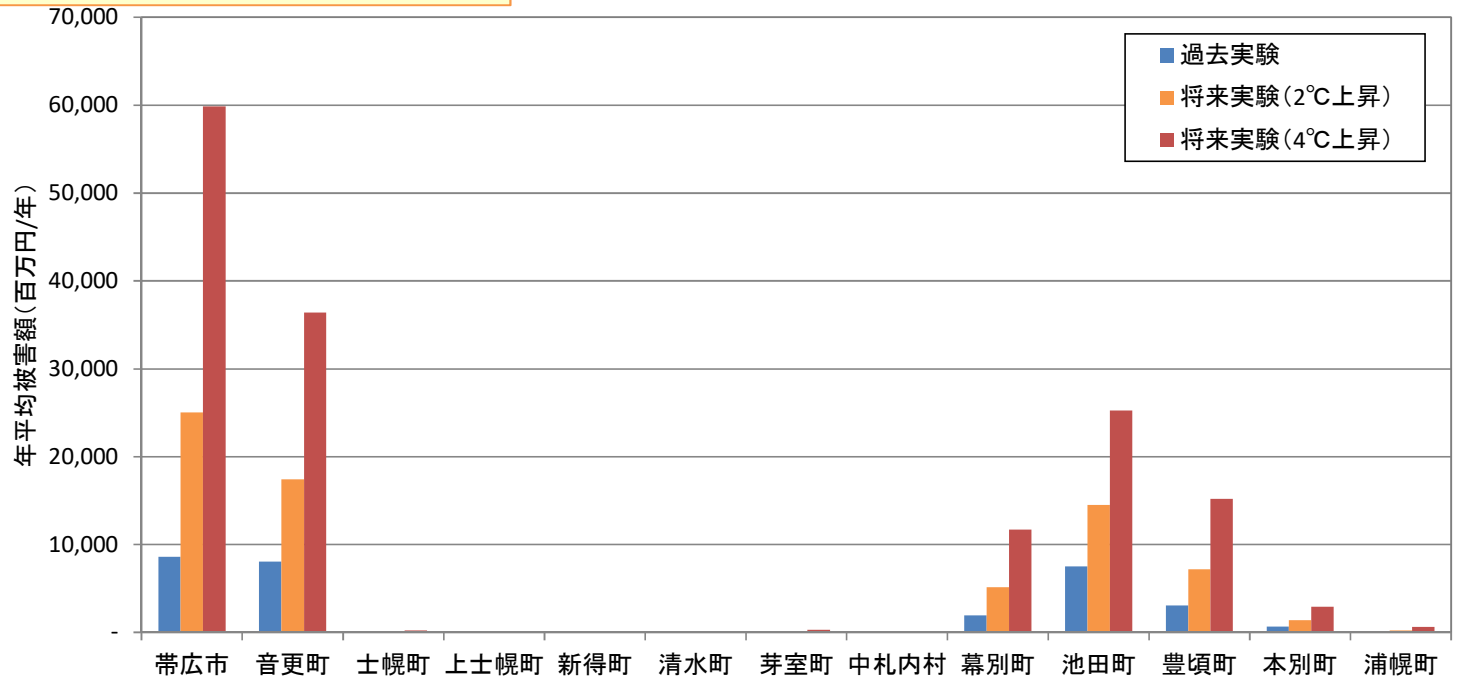


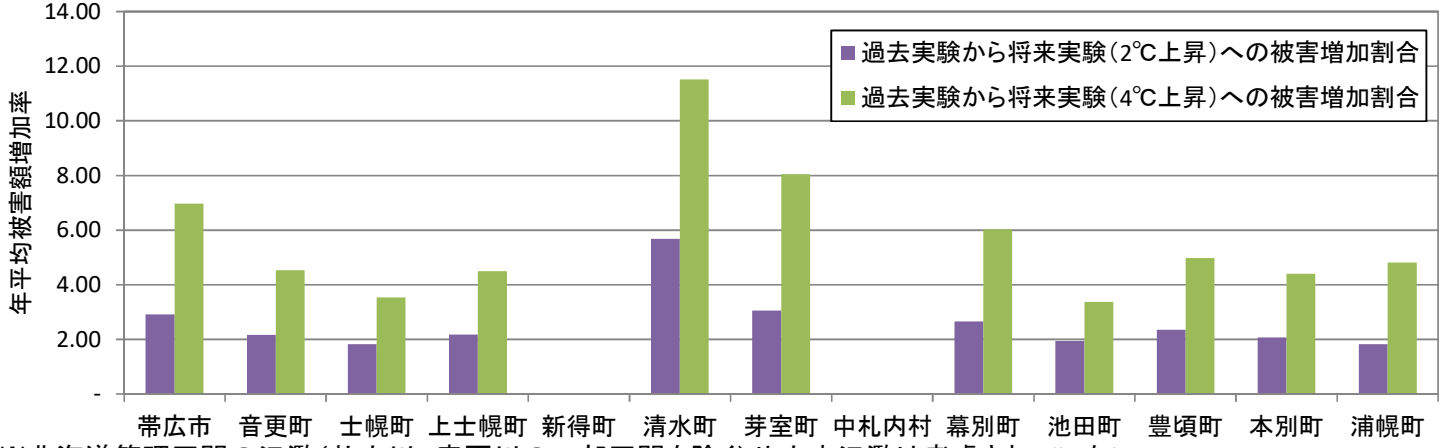
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：年平均想定被害額

■ 十勝川流域の年平均想定被害額は、中流部では帯広市・音更町・幕別町に集中しており、流域全体の年平均想定被害額に占める3市町村の割合は、過去実験で約62%、4℃上昇実験で71%となっている。
■ このほか、下流部では、特に池田町や豊頃町における平均想定被害額が大きい傾向にある。

市町村別年平均想定被害額

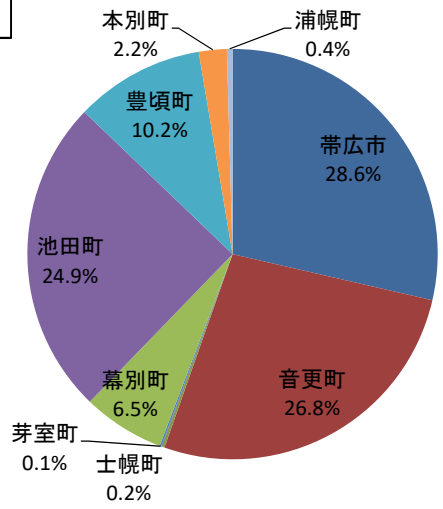




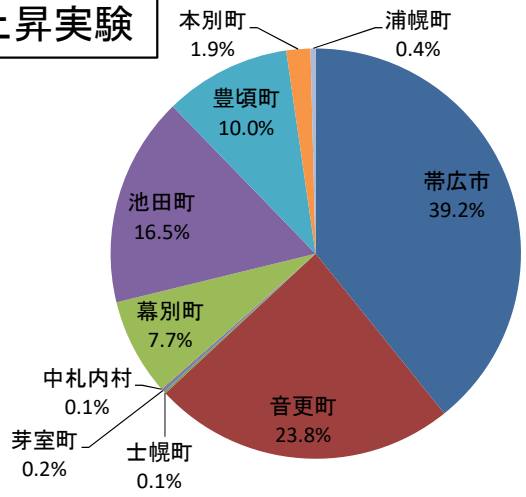
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

流域全体の年平均想定被害額に占める各市町村の割合

過去実験



4℃上昇実験

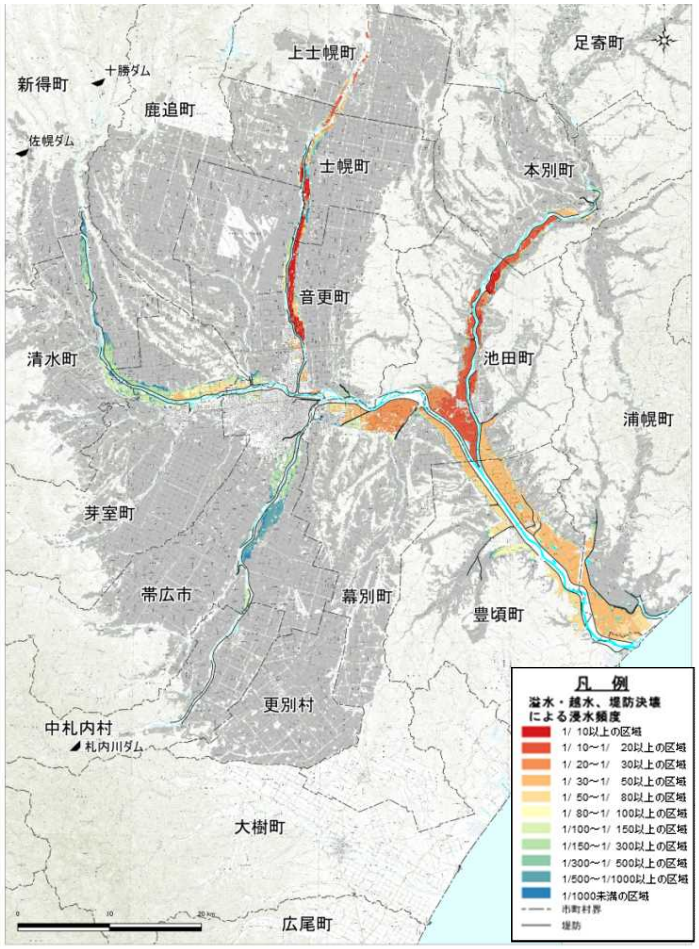


十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：農地の浸水確率

■ 過去実験においても、音更町および士幌町、池田町等において1/10以上の確率で浸水する農地が存在する。4℃上昇実験においては、上記に加えて上士幌町、芽室町、幕別町、豊頃町、本別町、浦幌町においても1/10以上の確率で浸水する農地が存在する。

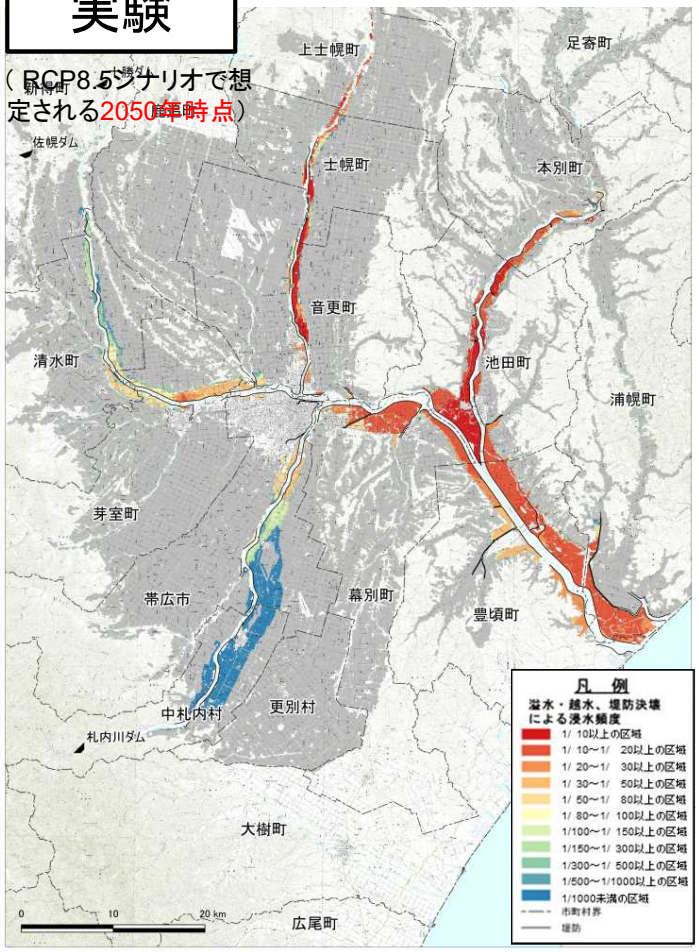
■ すなわち、気候変動により気温が4 ℃上昇すると、特に下流部を中心に十勝川流域の広い範囲で、農地の浸水確率がかなり高くなる。

過去実験



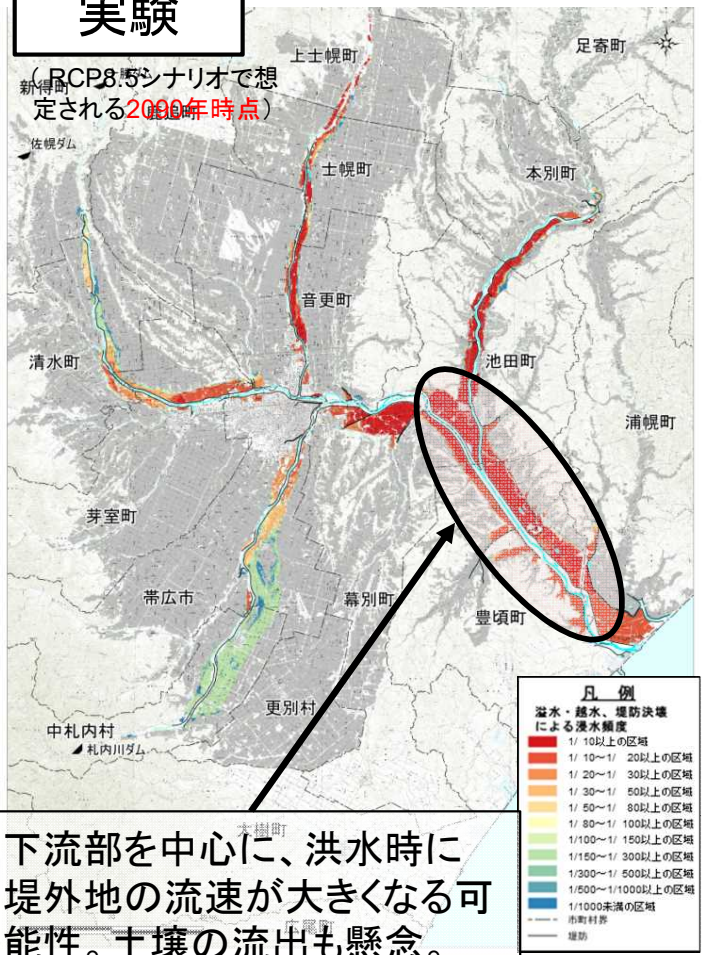
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）



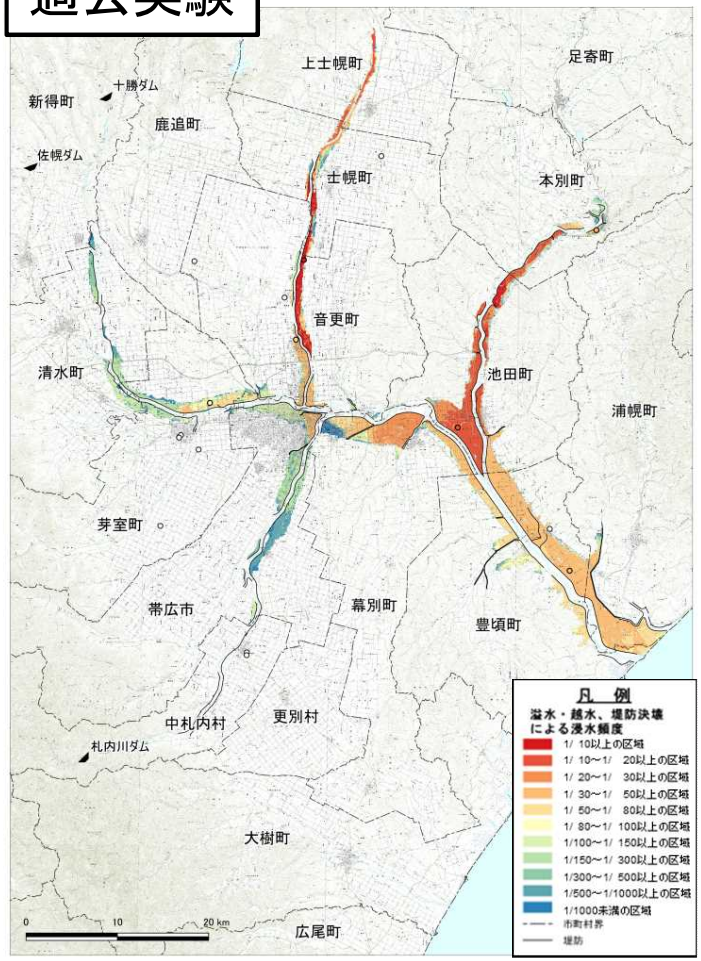
下流部を中心に、洪水時に堤外地の流速が大きくなる可能性。土壌の流出も懸念。

※作物が浸水する水位（0cm以上）に達する浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：農作物の集積施設

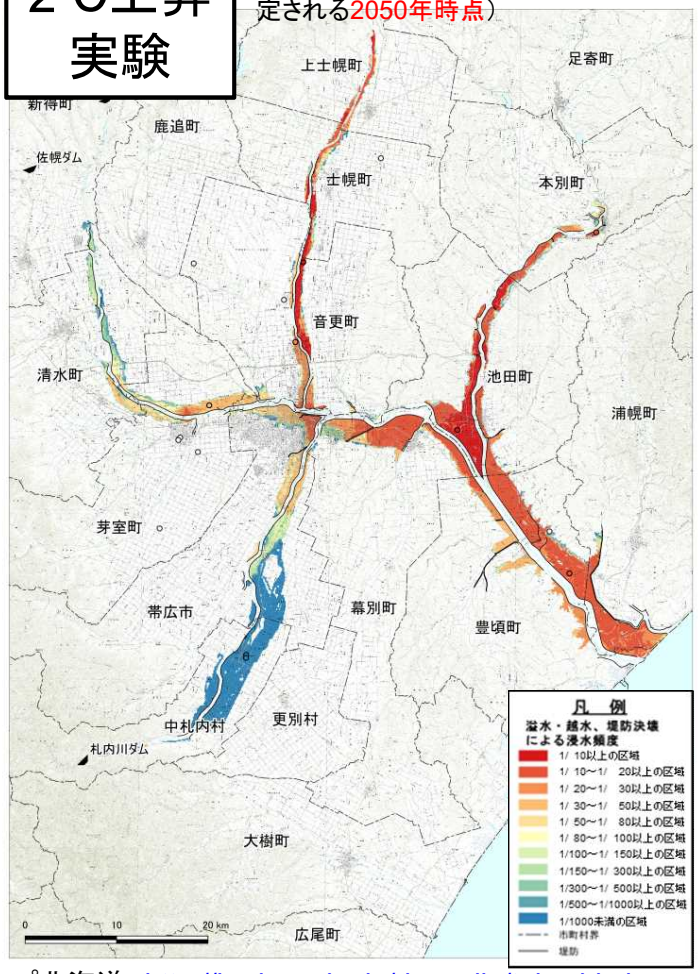
■ 農作物の集積地は、その多くが河川沿いに位置している。
■ 過去実験では、池田町・音更町・芽室町・豊頃町などにおける農作物の集積施設の浸水が想定された。4℃上昇実験では、上記に加えて中札内村においても、農作物の集積施設の浸水が想定された。
■ 農作物の集積施設が浸水することにより、浸水被害を免れた農地も集荷・選別・加工等、流通の全工程に影響し、結果的に地域全体に影響が広がる可能性がある。

過去実験



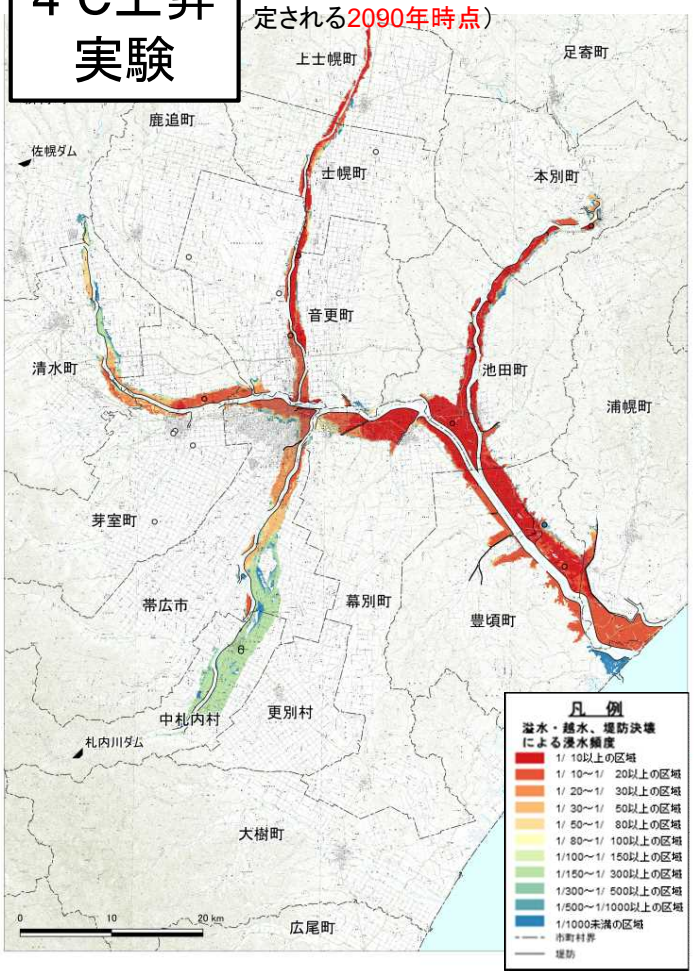
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）

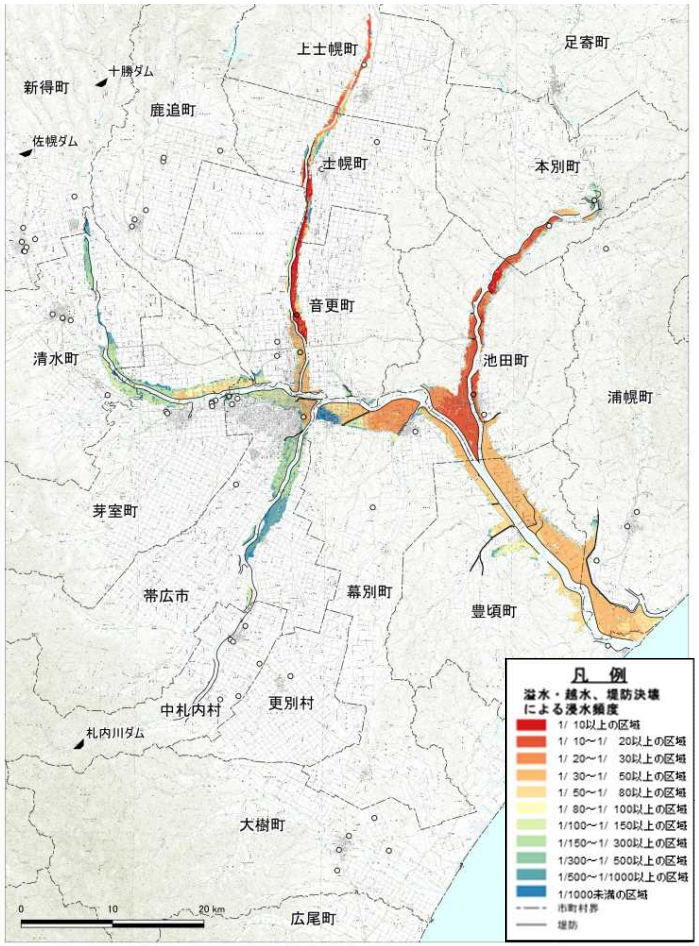


※　十勝管内各JAのHPに記載されている施設を抽出　JAグループ北海道　http://ja-dosanko.jp/dounaija/tokachi.php
※　浸水する可能性のある水位（0cm以上）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における気候変動によるリスク変化　：食品加工工場

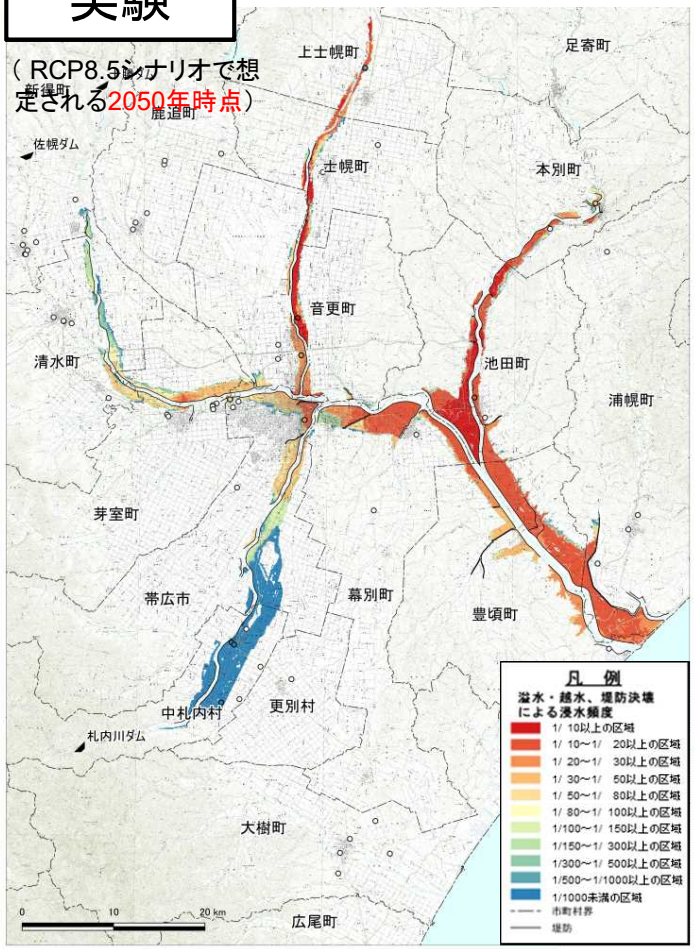
■ 帯広市や音更町などに立地する食品加工工場では浸水する可能性があり、4℃上昇実験では浸水確率が1/10年～1/20年程度となる。
■ 食品加工工場が浸水することにより、農作物の生産農家や外食産業に影響が広がる可能性がある。

過去実験



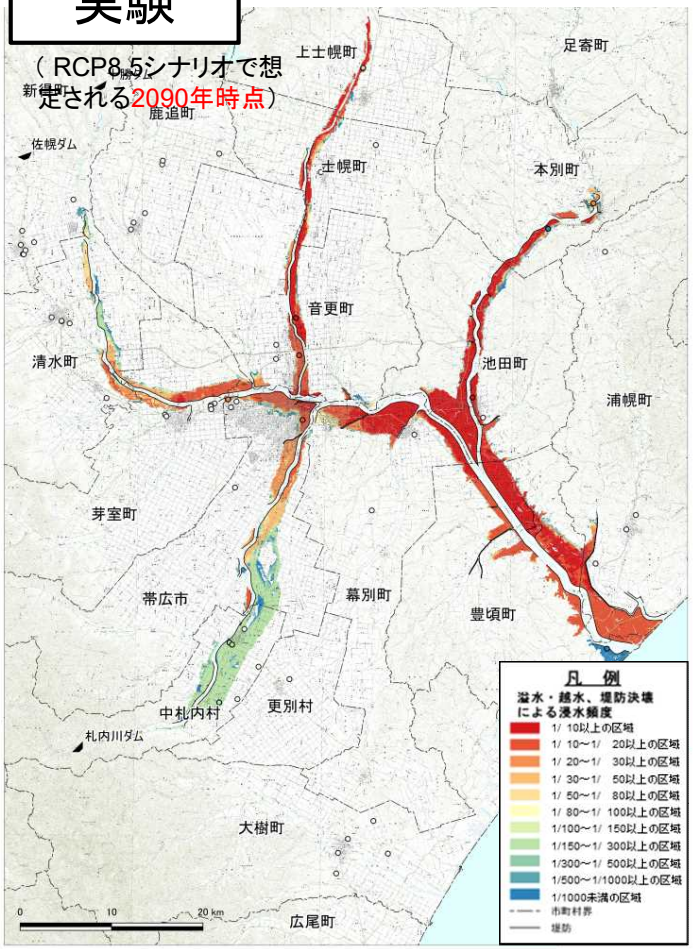
2℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）



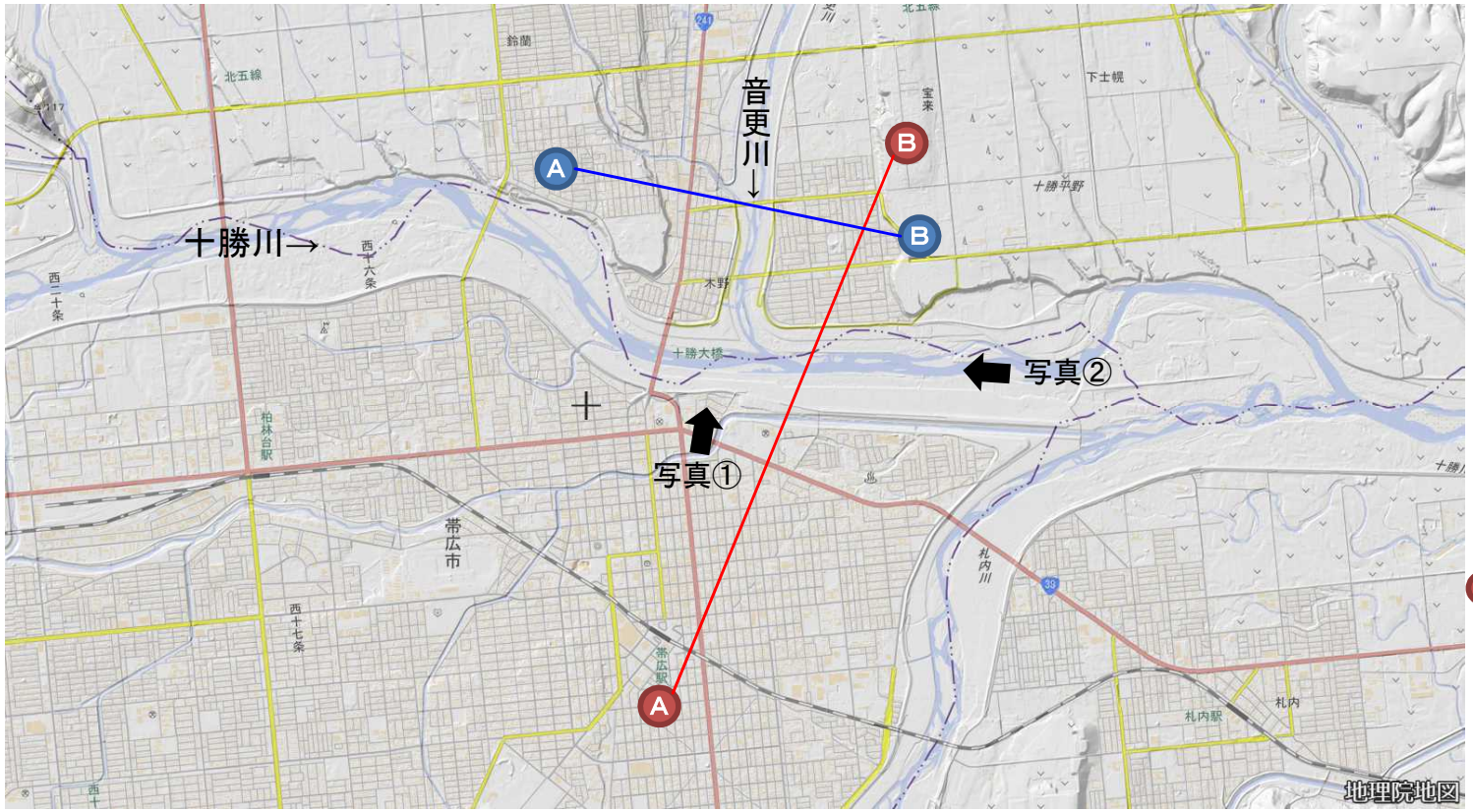
4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）



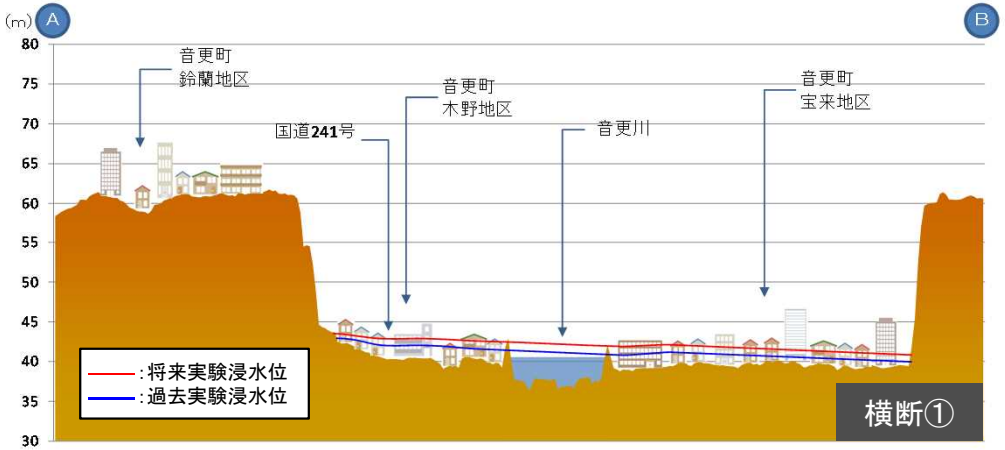
※　十勝総合振興局　十勝の工業　主な工場一覧より抽出　https://search.yahoo.co.jp/search?b=1&n=10&ei=UTF-8&fr=ie8sc&p=%E5%8D%81%E5%8B%9D%E3%81%AE%E5%B7%A5%E6%A5%AD
※　浸水する可能性のある水位（0cm以上）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

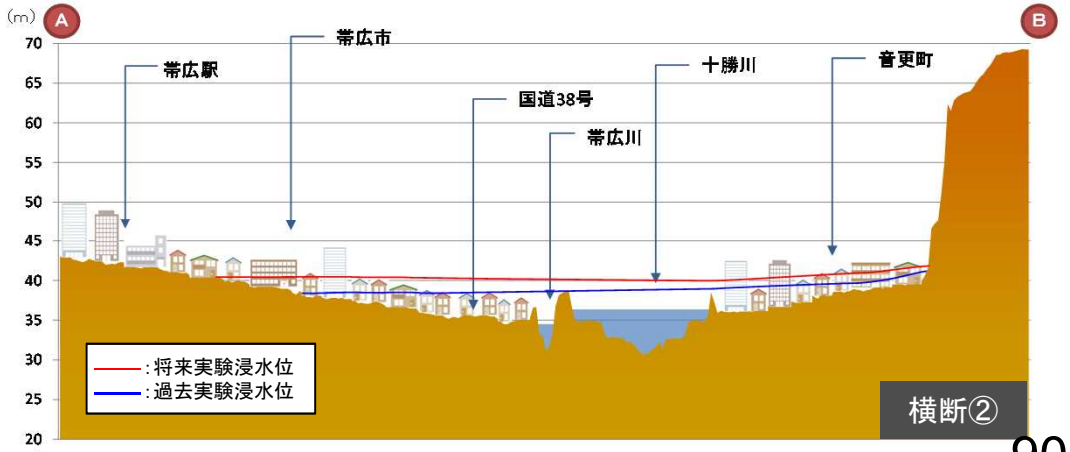
（ご参考）流域の概要について：帯広市・音更町市街地付近の標高











6－3－4. 社会的リスクの高い地域

6－1. 気候変動による降雨の変化

↓

6－2. 気候変動による流量の変化

↓

6－3. 気候変動によるリスクの変化

6－3－1. 氾濫によるリスク

↓

6－3－2. 浸水確率の変化

↓

6－3－3. 気候変動によるリスク変化

↓

6－3－4. 社会的リスクの高い地域

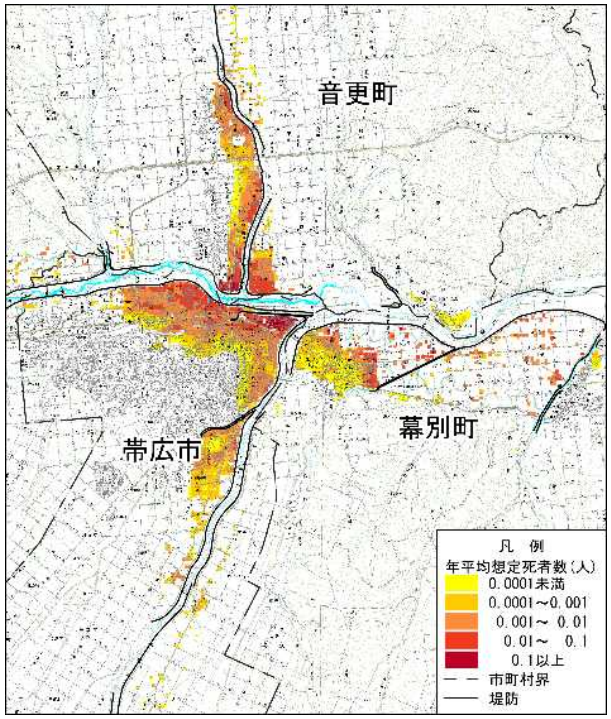
社会的リスクについて

■大規模な洪水が発生すると、人命はもちろんのこと、市役所等の防災・行政拠点、ライフライン関係施設、地域の主要産業を支える施設や、地域の社会経済活動に影響を与える可能性がある幹線道路、主要鉄道など、「地域社会を支える重要施設」へも大きな影響を及ぼす。

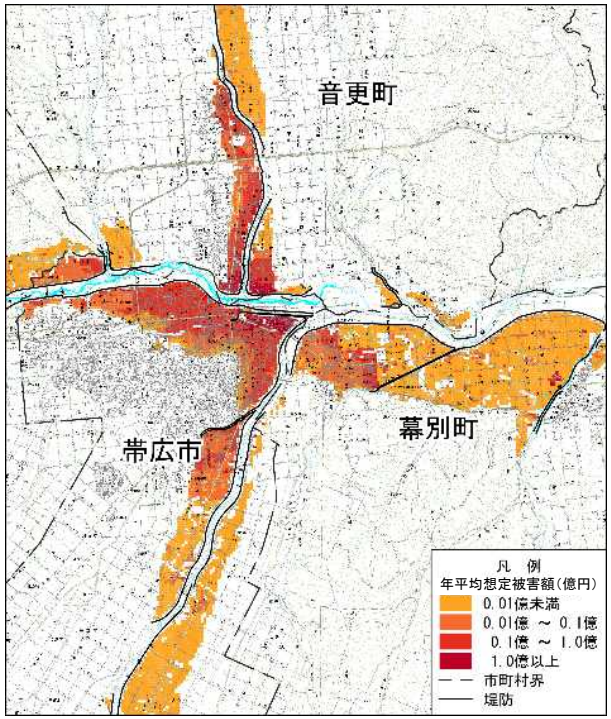
■大量アンサンブルデータを活用することにより、地域に対して洪水時にどのようなリスクが現れるかを定量的に表現することが可能となった。本検討ではこうしたリスクを総合的に勘案して、流域内における洪水時の人的被害や経済被害に加えて、地域社会や地域経済に大きな影響を及ぼすことが想定される地域を『社会的リスクの高い地域』として定義した。

■社会的リスクの高い地域に対しては、ハード対策・ソフト対策を総動員することにより、特に社会全体で被害軽減を図っていく必要があるため、その方策について検討を行うものとする。

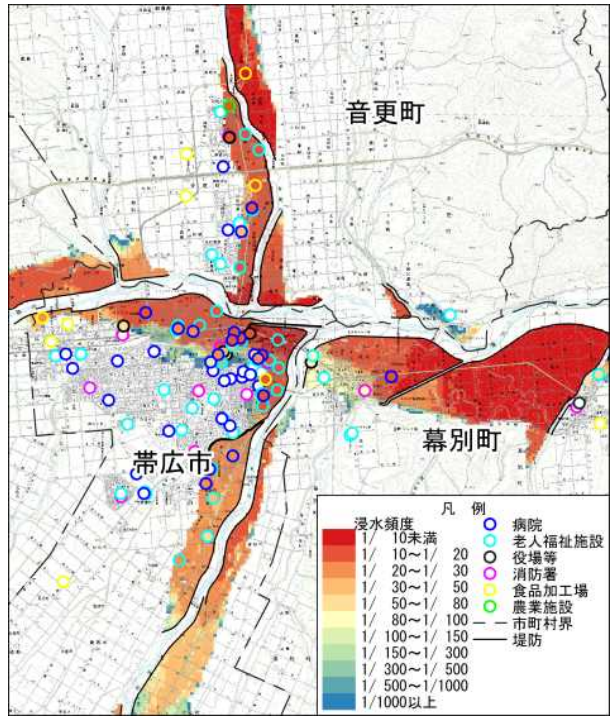
年平均想定死者数



年平均想定被害額



洪水により被災する施設※

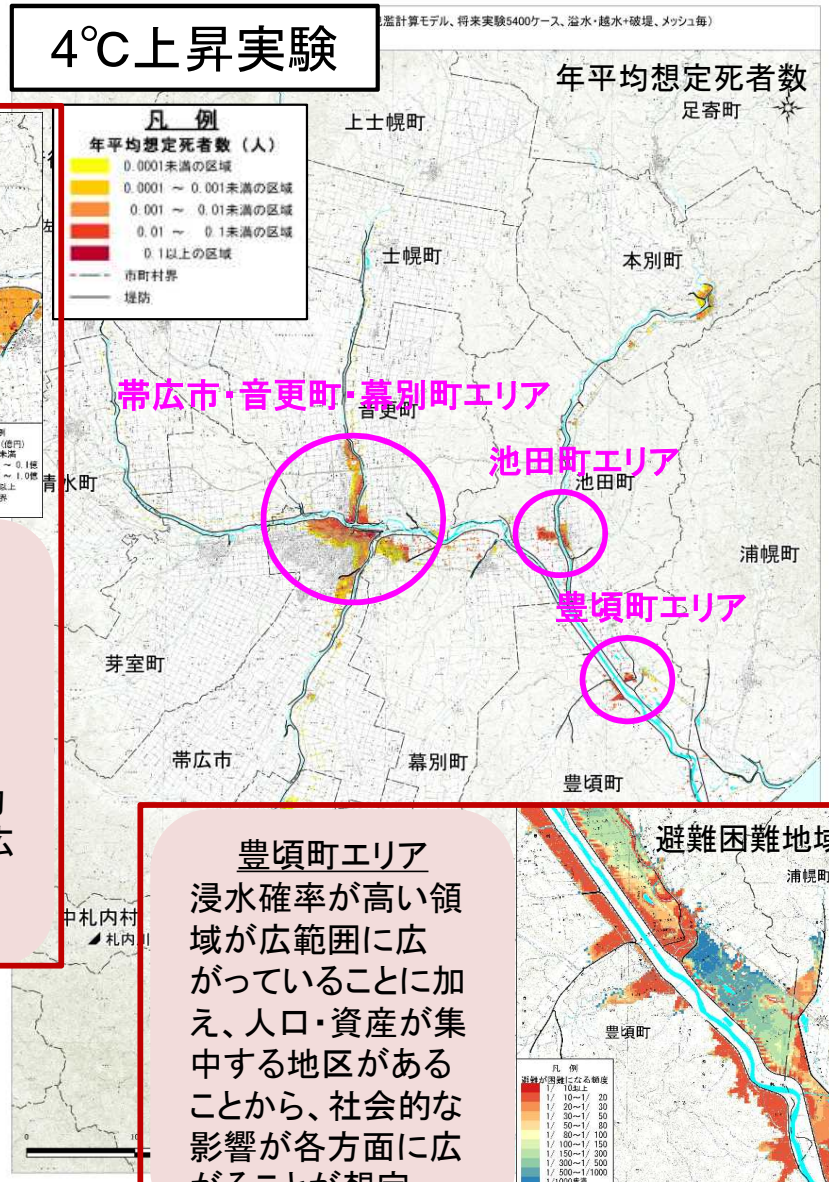


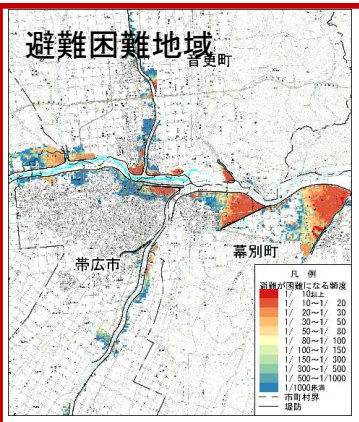
※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

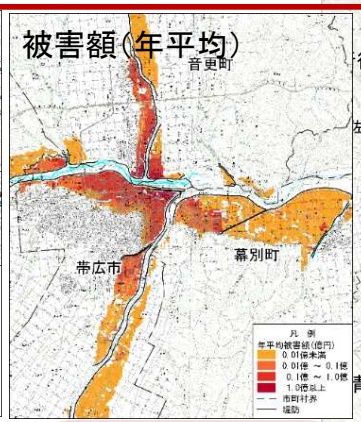
社会的リスクの高い地域の評価

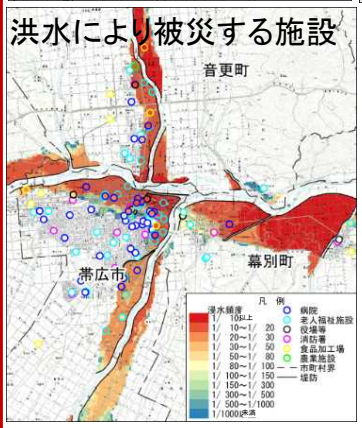
■社会的リスクの高い地域として、相対的にリスクの高い地域である「帯広市・音更町・幕別町エリア」「豊頃町エリア」「池田町エリア」が挙げられる。

4℃上昇実験







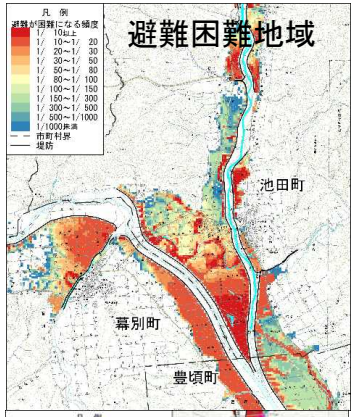


帯広市・音更町・幕別エリア

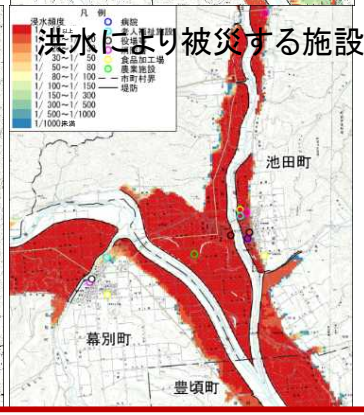
人口・資産が流域内で最も集中する地域。
被災による社会的影響が各方面に広がることが想定。

池田町エリア

浸水確率が高い領域が広範囲に広がっていることに加え、人口・資産が集中する地区があることから、社会的な影響が各方面に広がることが想定。

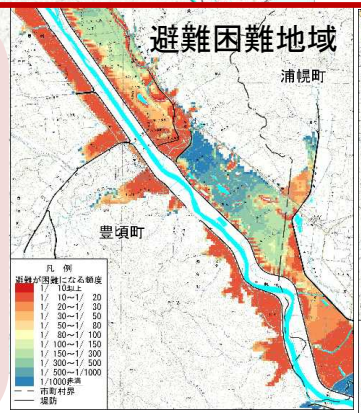


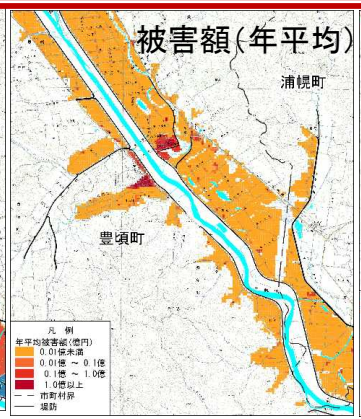


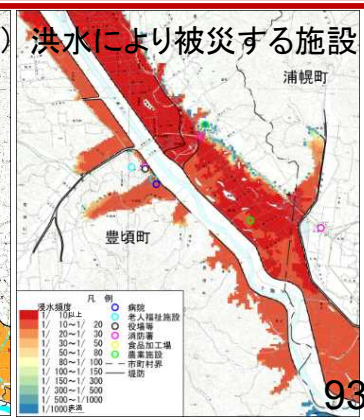


豊頃町エリア

浸水確率が高い領域が広範囲に広がっていることに加え、人口・資産が集中する地区があることから、社会的な影響が各方面に広がることが想定。



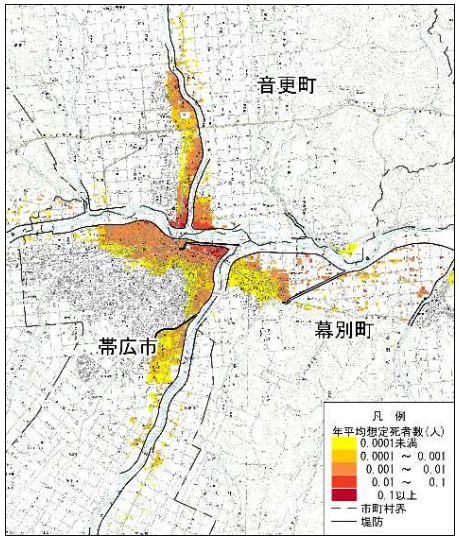
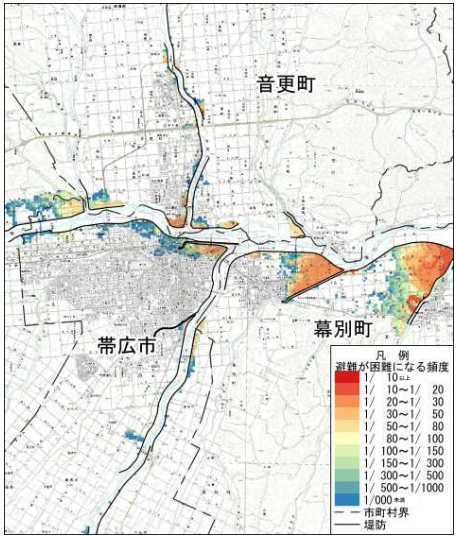
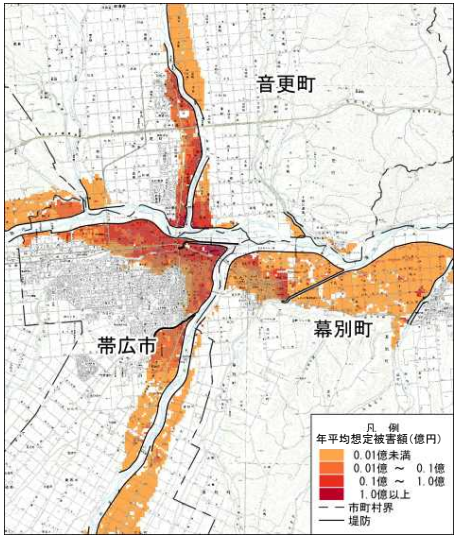
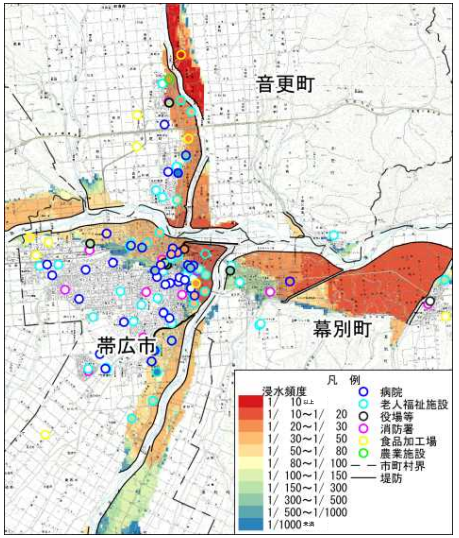
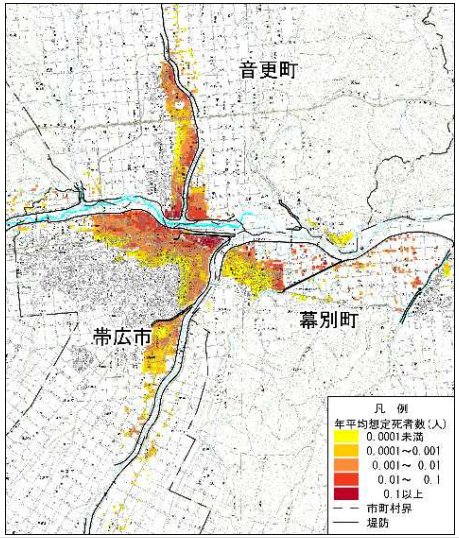
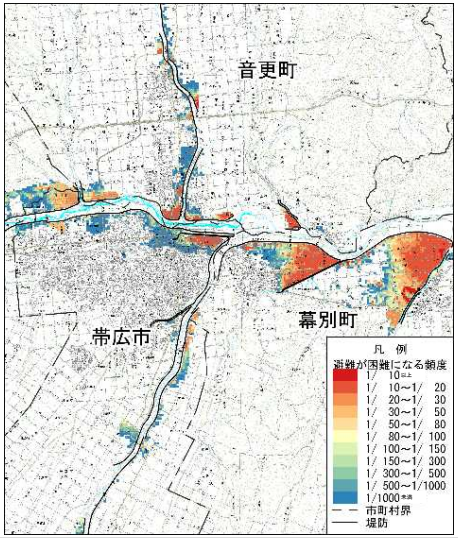
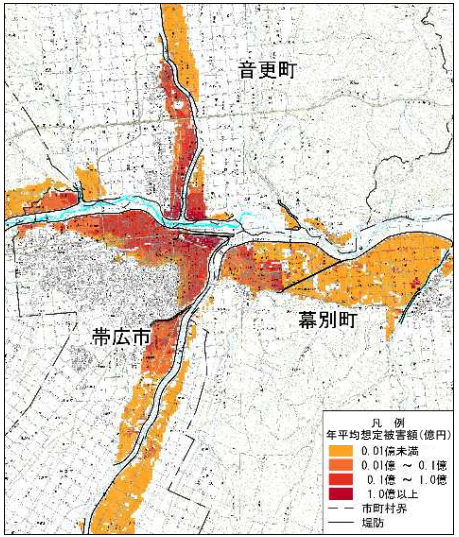
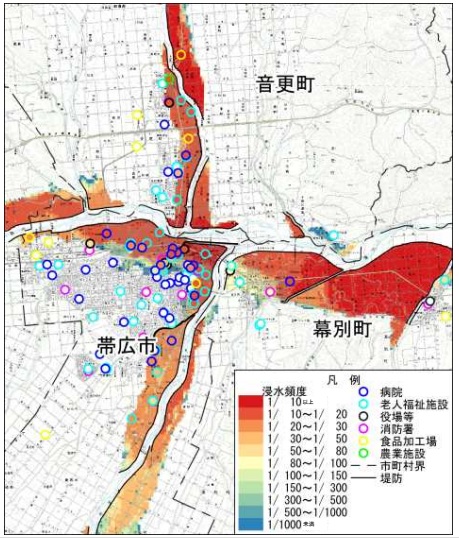




社会的リスクの高い地域（帯広市、音更町、幕別町エリア）

■ 十勝川中流部に位置する帯広市・音更町・幕別町のエリアは、年平均想定死者数および年平均想定被害額が最も集中しており、工場などの施設が被災する可能性のある地域である。また、市街地でも避難困難区域となる地域が想定される。

■ 浸水時の人的被害や経済被害に加えて、地域社会を支える重要施設の浸水による被害が想定される。社会的リスクの高い地域であることから、ハード対策・ソフト対策を総動員することにより、社会全体で被害軽減を図っていく必要がある。

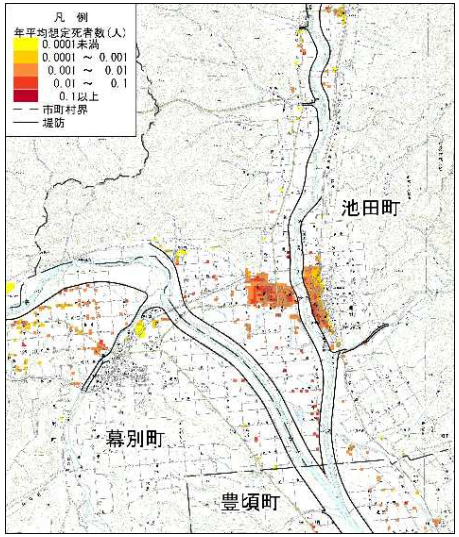
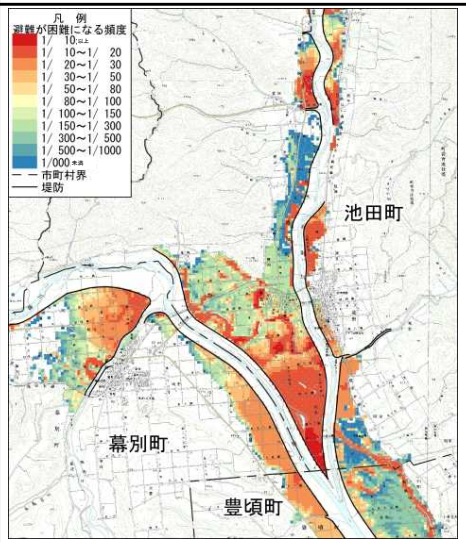
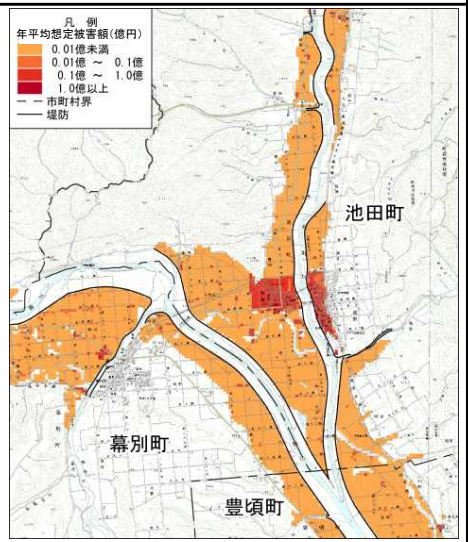
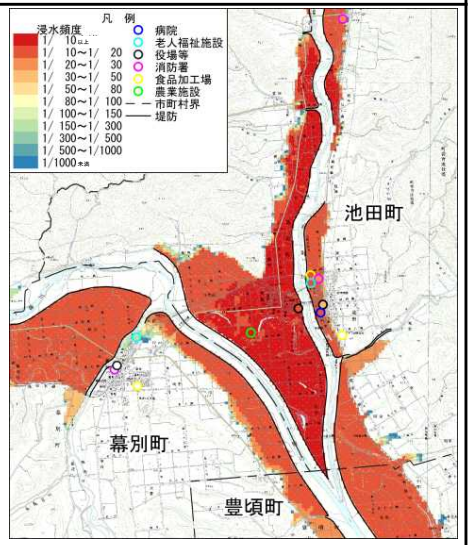
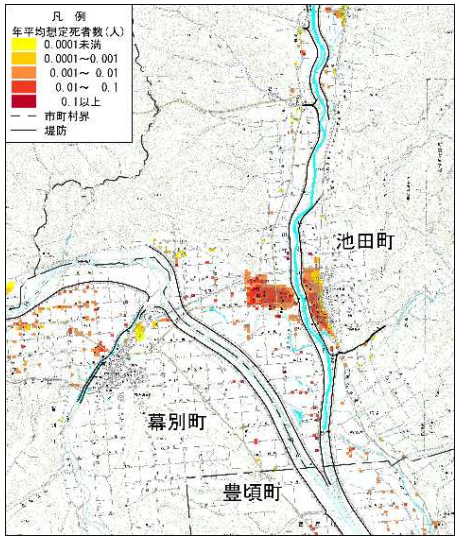
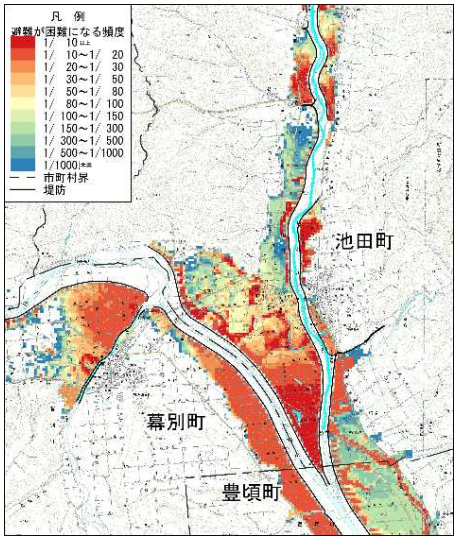
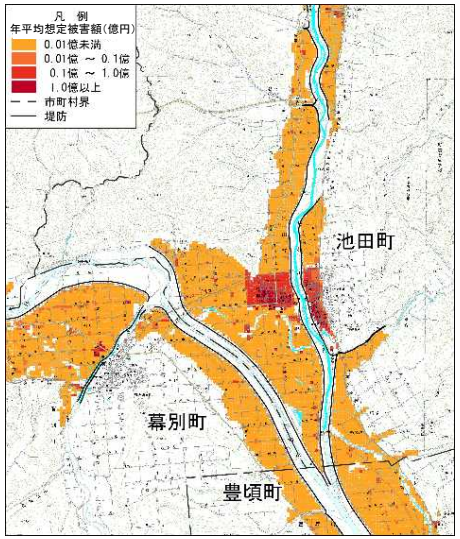
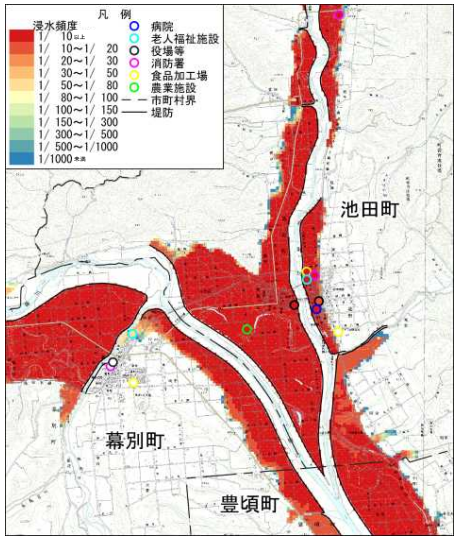
	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
2℃上昇実験				
4℃上昇実験				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域（池田町エリア）

■ 十勝川と利別川の合流点付近に位置する池田町のエリアは、年平均想定死者数および年平均想定被害額が集中する地域のひとつである。町役場や病院などの重要施設の浸水が想定されるほか、十勝川と利別川で挟まれた地域など、広い範囲が避難困難区域となると想定されている。

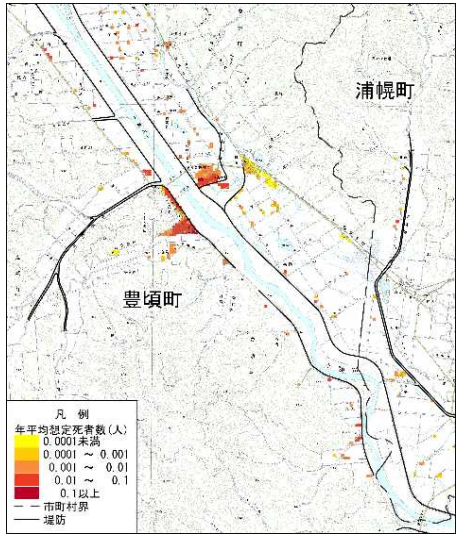
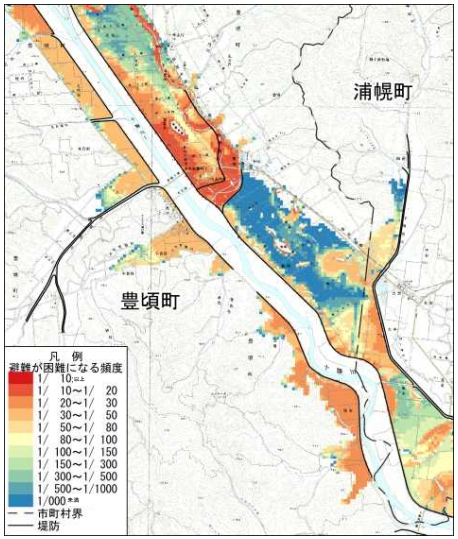
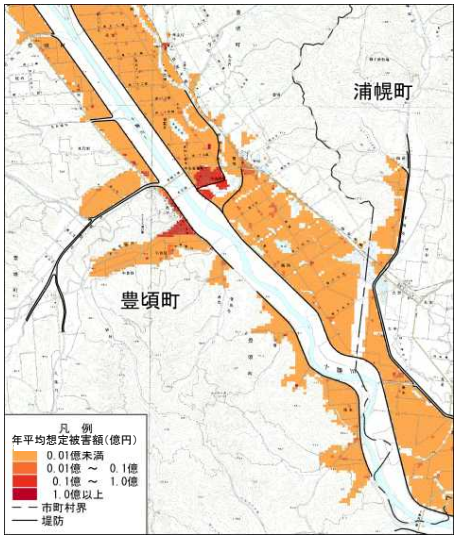
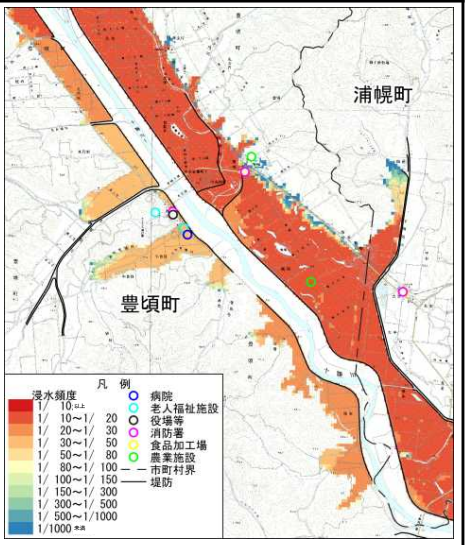
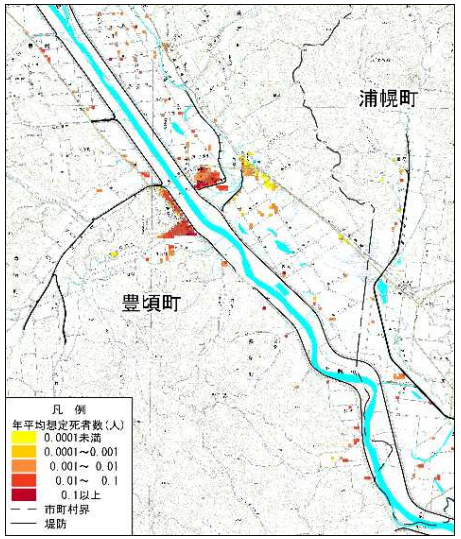
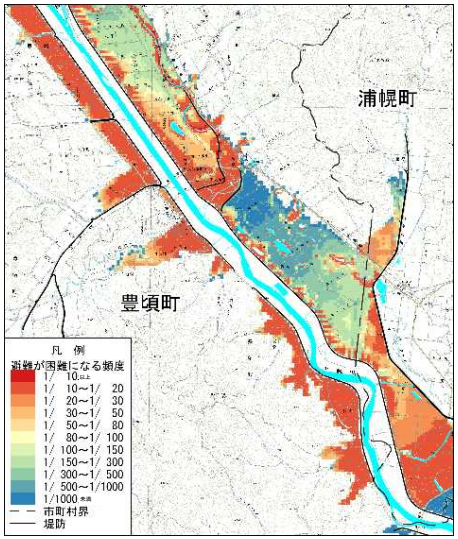
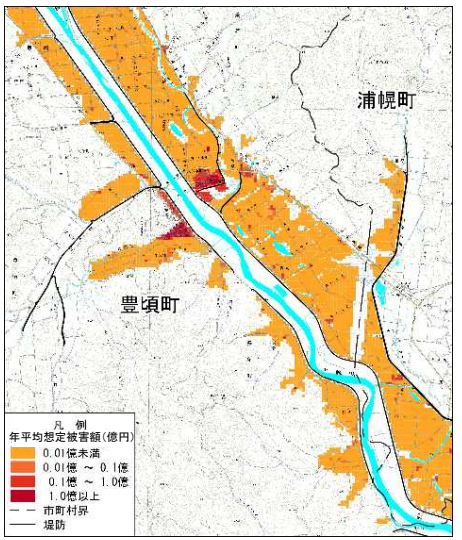
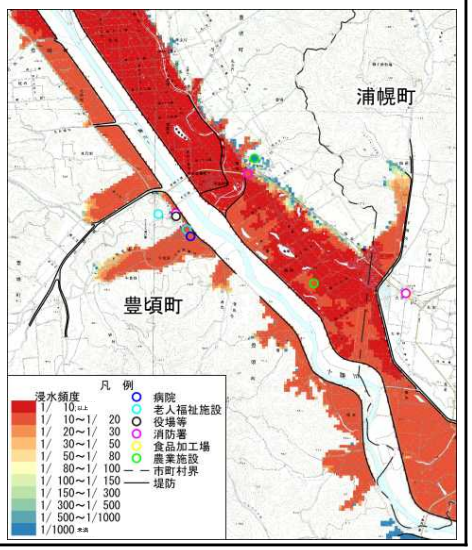
■浸水時の人的被害や経済被害に加えて、地域社会を支える重要施設の浸水による被害が想定される。社会的リスクの高い地域であることから、ハード対策・ソフト対策を総動員することにより、社会全体で被害軽減を図っていく必要がある。

	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
2℃上昇実験				
4℃上昇実験				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域（豊頃町エリア）

■ 十勝川下流部に位置する豊頃町のエリアは、年平均想定死者数および年平均想定被害額が集中する地域のひとつであり、農作物の集積施設など重要施設の浸水が想定されるほか、堤防周辺の広い範囲が避難困難区域になると想定されている。
■ 浸水時の人的被害や経済被害に加えて、地域社会を支える重要施設の浸水による被害が想定される。社会的リスクの高い地域であることから、ハード対策・ソフト対策を総動員することにより、社会全体で被害軽減を図っていく必要がある。

	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
2℃上昇実験				
4℃上昇実験				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

7. 十勝川流域における適応策について

7－1. 想定される適応策の抽出

↓

7－2. 適応策の効果検証

↓

7－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

7－1. 想定される適応策の抽出

7－1. 想定される適応策の抽出

↓

7－2. 適応策の効果検証

↓

7－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

適応策の検討

■気候変動により、施設の能力を上回る洪水の発生頻度が高まることが予想されることを踏まえると、河川管理者をはじめとする行政や住民等の各主体が、「施設の能力には限界があり、施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」へと意識を変革し、社会全体で洪水氾濫に備える必要がある。
■気候変動後の外力に対して、被害の軽減を図るため、可能な限りの適応策を検討し、提案する。

適応策として考えられるメニュー案

（ハード対策）
・河道掘削
・堤防強化
・貯留施設　　など

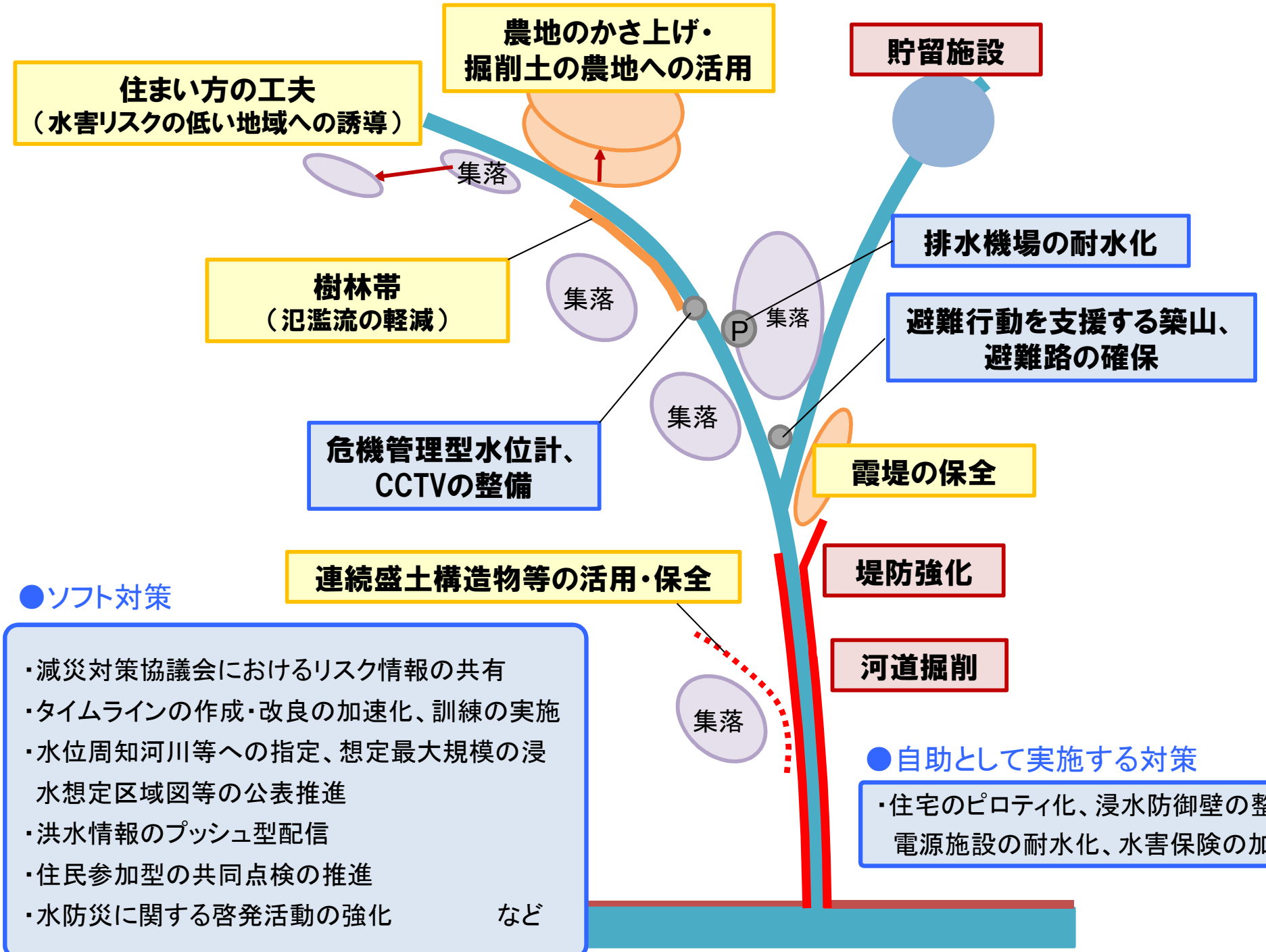
（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策）
・霞堤や二線堤の保全・整備
・道路等の連続盛土構造物等の活用・保全
・樹林帯（氾濫流の軽減）
・農地のかさ上げ・掘削土の農地への活用
・住まい方の工夫（水害リスクの低い地域への誘導）
など

（自助として実施する対策）
・住宅のピロティ化、浸水防御壁の整備、電源施設の耐水化、水害保険の加入　　など

（ソフト対策）
・減災対策協議会におけるリスク情報の共有
・タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施
・水位周知河川等への指定、想定最大規模の洪水浸水想定区域図等の公表推進
・洪水情報のプッシュ型配信
・住民参加型の共同点検の推進
・水防災に関する啓発活動の強化
など

（ソフト対策を支援するための対応）
・避難行動を支援する築山、避難路の確保
・危機管理型水位計、CCTVの整備
・浸水深が大きい地区における排水機場の耐水化、アクセス路の確保　　など

適応策として考えられるメニュー



●ソフト対策

・減災対策協議会におけるリスク情報の共有
・タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施
・水位周知河川等への指定、想定最大規模の浸水想定区域図等の公表推進
・洪水情報のプッシュ型配信
・住民参加型の共同点検の推進
・水防災に関する啓発活動の強化　　など

●自助として実施する対策

・住宅のピロティ化、浸水防御壁の整備、電源施設の耐水化、水害保険の加入　　など

十勝川で想定される適応策（ハード対策のメニュー案）

■ 気候変動後の外力に対して、被害の軽減を図るため、可能な限りの適応策を検討。
■ 十勝川流域における適応策のうち、ハード対策のメニュー案について、以下の考え方に基づき検討し、提案する。

河道掘削

河川整備基本方針に基づく河道掘削を検討する。

堤防強化

耐浸透機能や耐侵食機能などの観点から、堤防を強化させる対策を検討する。あわせて、堤防天端の舗装や裏法尻の補強などの危機管理型ハード対策について検討する。

貯留施設

河道内における貯留施設について検討を行う。なお、十勝川流域は、基幹産業である畑地が広がっており、地域の生産空間を守る観点から、堤内地においては遊水地は設定しない。また、既設ダムの活用などについても検討する。



十勝川で想定される適応策（ソフト対策のメニュー案）

減災対策協議会におけるリスク情報の共有

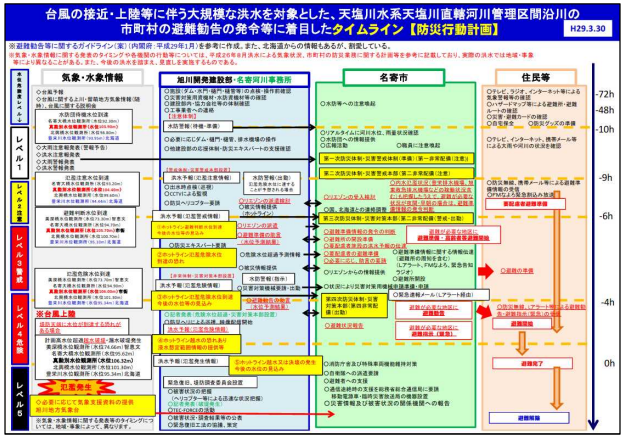


減災対策協議会

大量アンサンブルデータにより明らかになった、危険な気象パターンや浸水頻度などのリスク情報などについても、減災対策協議会を通じて共有。

各減災対策協議会において、各構成機関が概ね5年間で実施する減災のための取組を「基本方針」としてとりまとめるとともに、避難情報の確実な伝承や的確な避難誘導、住民の水防災に対する意識向上が特に重要との考えにたって、各種の取組を推進。

タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施



避難勧告に着目したタイムライン



想定最大規模の氾濫を想定した防災訓練

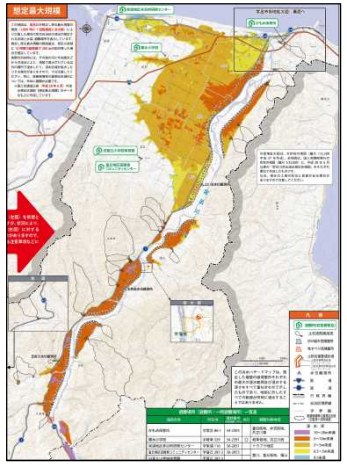
早期の避難勧告等の発令に資するため、避難勧告等の発令に着目したタイムラインの作成・改良を進め 、これを活用した訓練を実施。

十勝川で想定される適応策（ソフト対策のメニュー案）

水位周知河川等への指定、想定最大規模の洪水浸水想定区域図等の公表推進



想定最大規模の洪水に対する
洪水浸水想定区域図

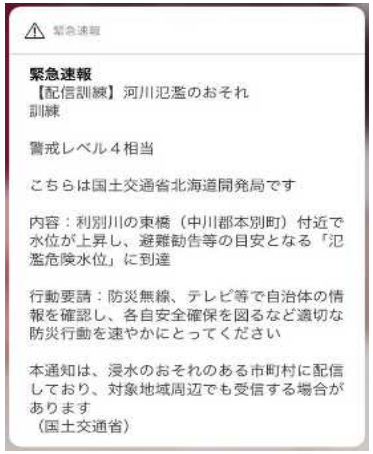


ハザードマップ

避難勧告等の対象範囲の設定や避難誘導を適切に実施できるよう、水位周知河川等への指定に加え、想定最大規模の洪水に対する浸水想定区域図・ハザードマップの公表を推進。

洪水情報のプッシュ型配信




緊急速報
【配信訓練】河川氾濫のおそれ
訓練

警戒レベル４相当

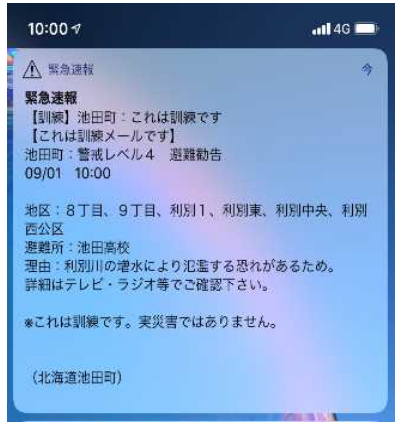
こちらは国土交通省北海道開発局です

内容：利別川の東橋（中川郡本別町）付近で水位が上昇し、避難勧告等の目安となる「氾濫危険水位」に到達

行動要請：防災無線、テレビ等で自治体の情報を確認し、各自安全確保を図るなど適切な防災行動を速やかにとってください

本通知は、浸水のおそれのある市町村に配信しており、対象地域周辺でも受信する場合があります
（国土交通省）

国土交通省緊急速報メール（訓練）


10:00
緊急速報
緊急速報
【訓練】池田町：これは訓練です
【これは訓練メールです】
池田町：警戒レベル４　避難勧告
09/01　10:00

地区：８丁目、９丁目、利別１、利別東、利別中央、利別西公区
避難所：池田高校
理由：利別川の増水により氾濫する恐れがあるため。
詳細はテレビ・ラジオ等でご確認下さい。

※これは訓練です。実災害ではありません。

（北海道池田町）

池田町エリアメール（訓練）

住民に加えて、人気観光地であり広域分散型の地域構造を有する北海道の特徴も踏まえ、土地勘の無い旅行客に対しても、迅速な情報提供を行い、主体的な避難を促す。

十勝川で想定される適応策（ソフト対策のメニュー案）

住民参加型の共同点検の推進



水害リスクの高い箇所の共同点検

水害リスクについての情報共有を図るため、洪水に対しリスクが高い区間において、自治体・水防団・地域住民等との共同点検を推進。

水防災に関する啓発活動の強化



市町村における水害対応演習









防災授業の状況

防災授業や講習会等を通じて、水防災に関する啓発活動を一層強化。

十勝川で想定される適応策（ソフト対策を支援するための対応）

避難行動を支援する築山



浸水時には築山へ緊急的に避難

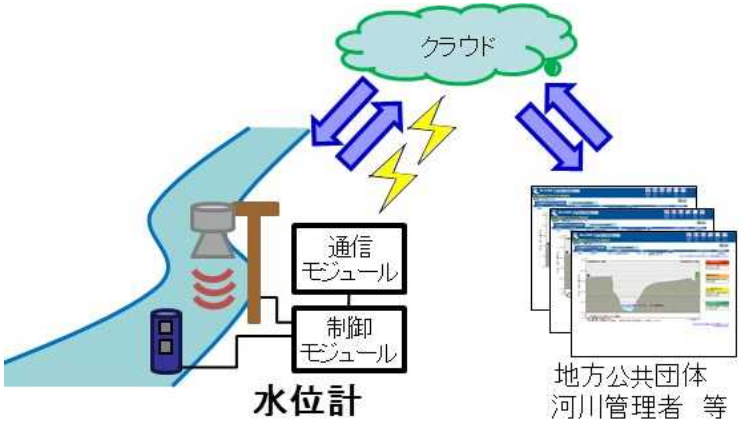
周辺に高台がない地域においては、築山が周辺住民の一時避難箇所として有効に活用される可能性がある。

危機管理型水位計、CCTVの整備





危機管理型水位計



洪水時の水位観測に特化した低コストな水位計や簡易型河川管理カメラを設置することにより、これまで監視が行われていなかった河川や地先レベルでのきめ細やかな状況把握が可能。

十勝川で想定される適応策（ソフト対策を支援するための対応）

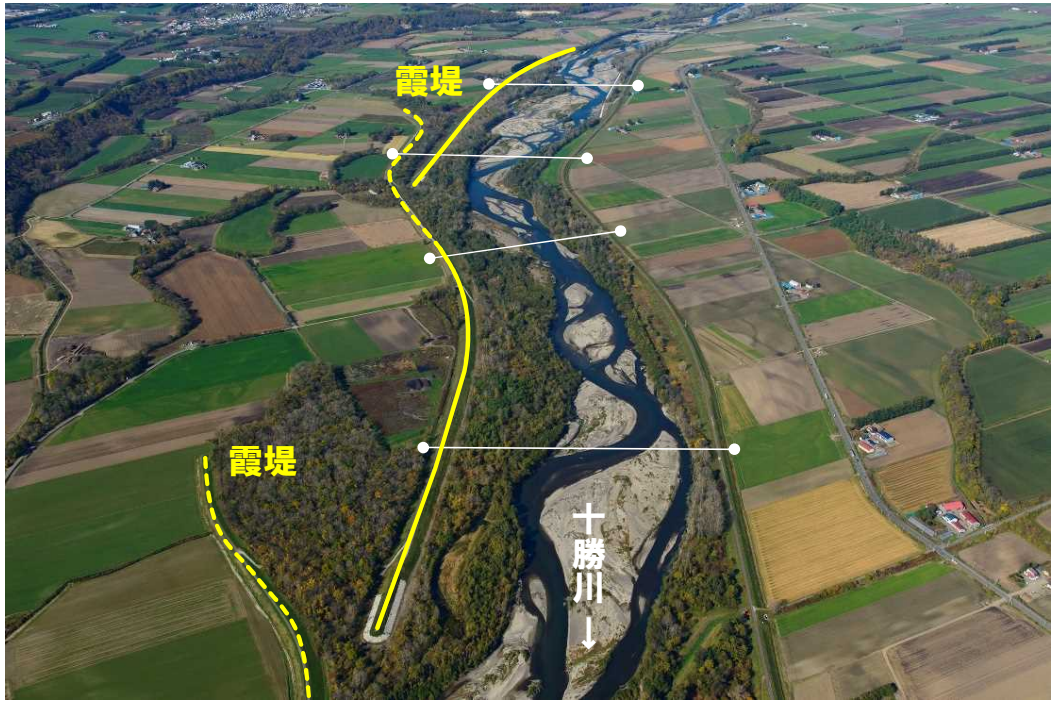
【排水機場へのアクセス確保】

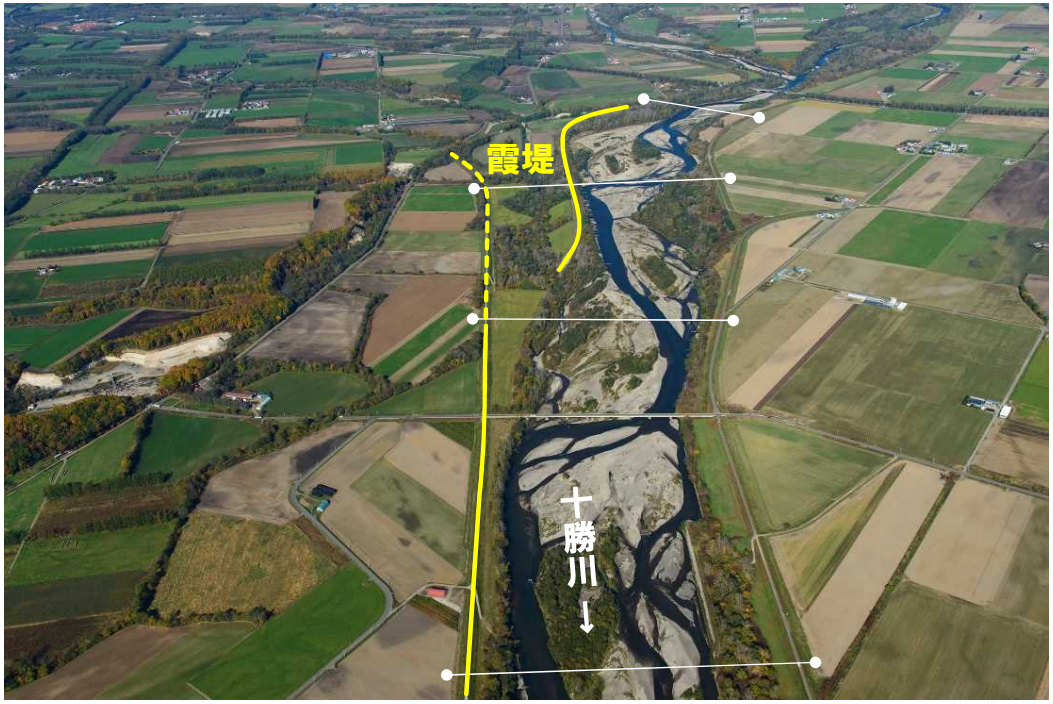


内水・外水の機場排水は、洪水中やその後の迅速な湛水解消に重要な役割を果たす。稼働時間が長期になるため、燃料の補給や修理作業員のアクセス確保が重要となる。

十勝川で想定される適応策（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策メニュー案）

【霞堤や二線堤の保全・整備】





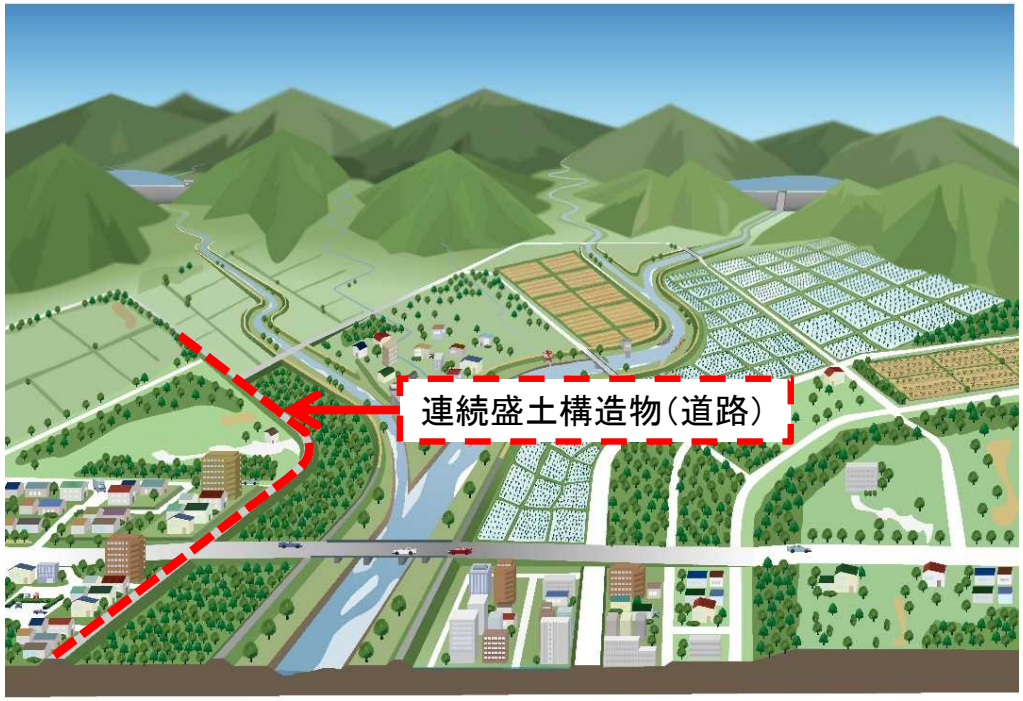
霞堤や二線堤の活用により、地域の意向も踏まえながら、土地利用と一体となった氾濫抑制対策を進める。

霞堤は、堤防のある区間に開口部を設け、その下流側の堤防を堤内地側に延長させて、開口部の上流の堤防と二重になるようにした不連続な堤防。

二線堤は、本堤背後の堤内地に築造される堤防のことを言う。万一、本堤が破堤した場合に、洪水氾濫の拡大を防ぎ被害を最小限にとどめる役割を果たす。

十勝川で想定される適応策（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策メニュー案）

道路等の連続盛土構造物等の活用・保全



連続盛土等の構造物により、浸水被害の拡大が軽減される可能性がある。

河川掘削土による農地のかさ上げ

平成28年の出水においては、浸水したことによる作物や土壌の流出等が発生。農地の早期復旧を支援するため、被災農地へ河川事業による掘削土砂の運搬・提供を行った実績があり、こうした手法も有効である。



十勝川で想定される適応策（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策メニュー案）

樹林帯の整備（治水の杜）

河川沿いの樹林帯整備により、堤防を越水した氾濫流の流速低減、氾濫量の低減を図る。

実施予定地区



実施効果



住まい方の見直し

- 浸水リスクを情報提供することにより、長期的には、住宅や工場の建て替えや住み替えを推奨することで、浸水被害の低減を図る。
- 高リスク箇所から計画的に都市機能を移転することで、浸水被害の低減を図る。

十勝川で想定される適応策（自助によるメニュー案）

住宅のピロティ化

氾濫発生時に、住宅への浸水を防止する効果が期待できる。



杭上建築物（オランダの例）



床面が高くなっている住宅（オランダの例）

浸水防御壁の整備

浸水防御壁を設置することにより、重要施設や区域への浸水を防止する効果が期待できる。



文化財周辺に設置された小堤防（オランダの例）



洪水防御柵（オランダの例）

十勝川で想定される適応策（自助によるメニュー案）

電源施設の耐水化

電源施設を高い位置に設置することにより、氾濫発生時の停電を防ぐ効果が期待できる。



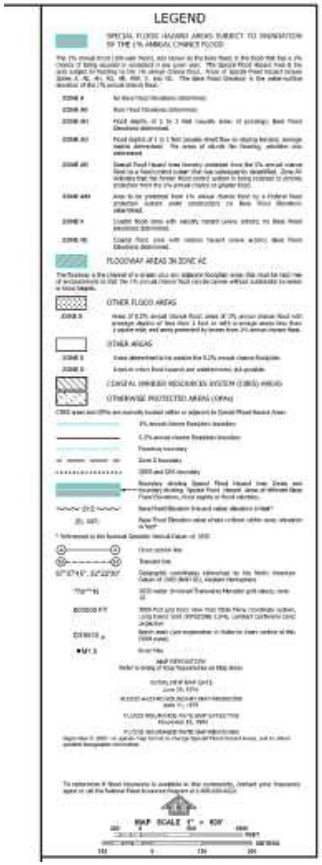


高い位置に設置された電源設備
（オランダの例）

水害保険の加入

水害保険への加入により、被災後の生活再建・復旧の円滑化が期待できる。





洪水保険料に関する地図（アメリカの例）

7－2. 適応策の効果検証

7－1. 想定される適応策の抽出

↓

7－2. 適応策の効果検証

↓

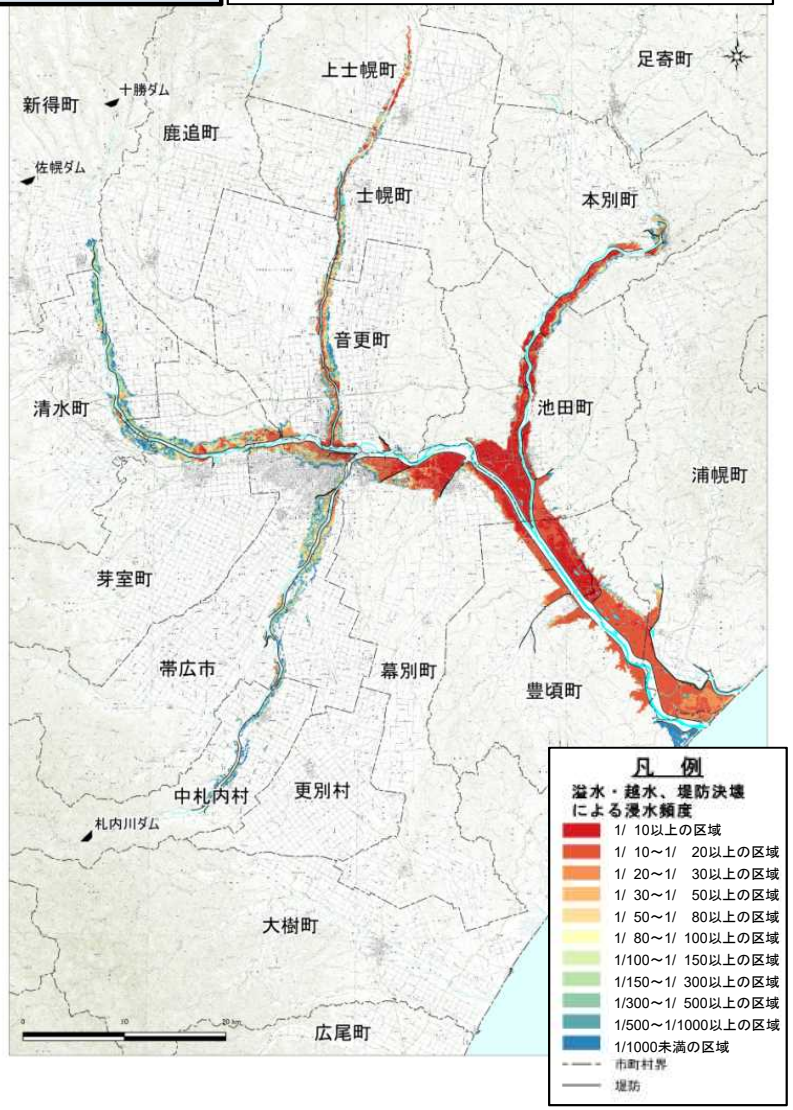
7－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

十勝川流域における適応策による浸水確率の変化（4℃上昇実験）

■ 気候変動により気温が4℃上昇した際の外力において、適応策として想定した内容を実施することで、浸水深が1m以上となる浸水確率を低下させる試算結果となった。

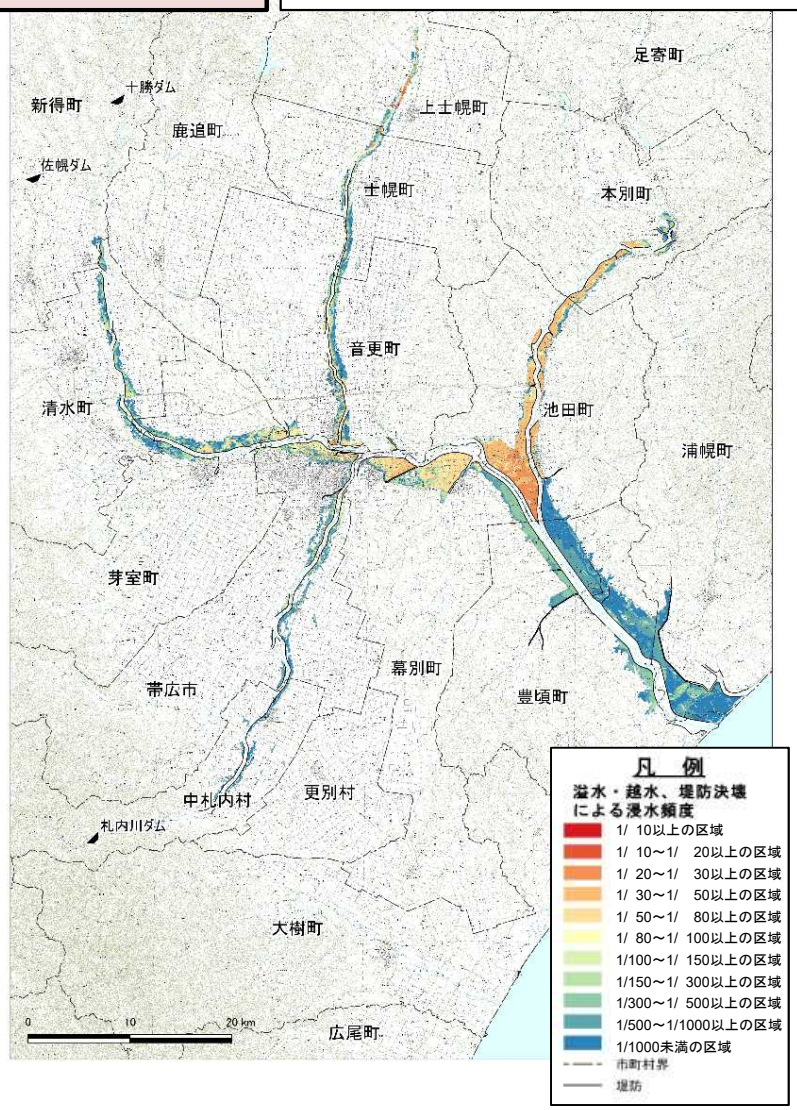
現況施設状態

4℃上昇した際に想定される浸水深が1m以上となる確率



適応策の実施を想定

4℃上昇した際に想定される浸水深が1m以上となる確率

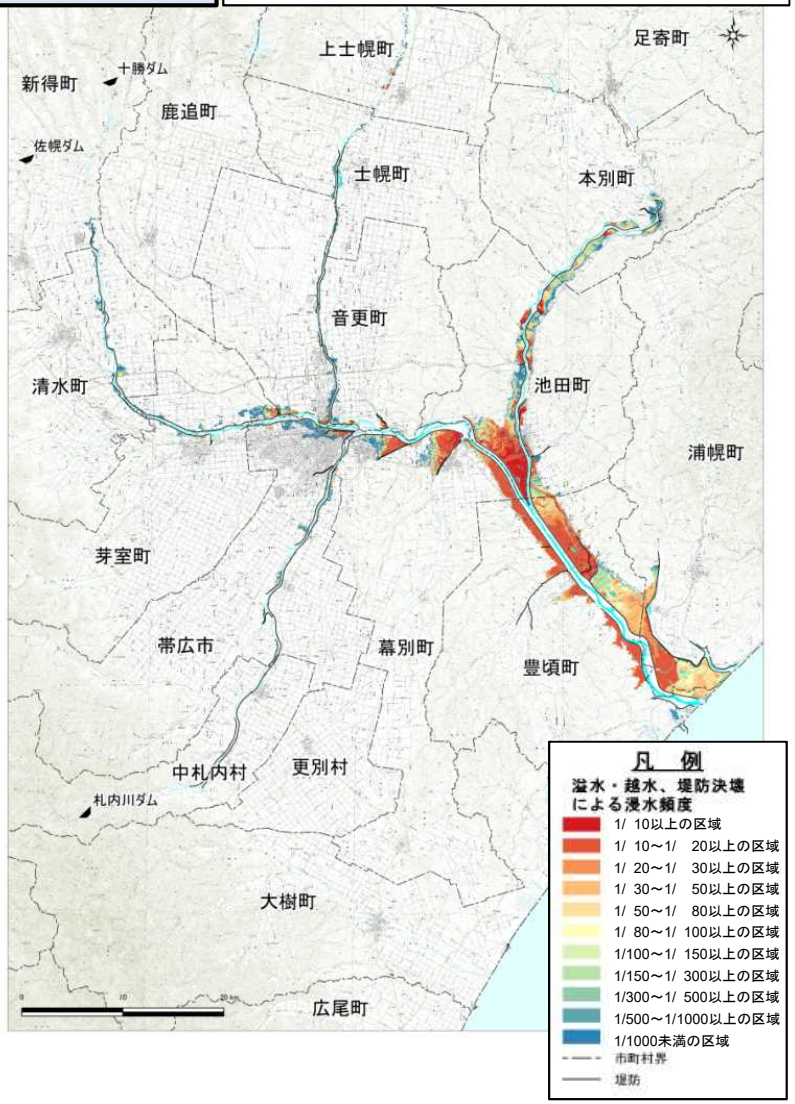


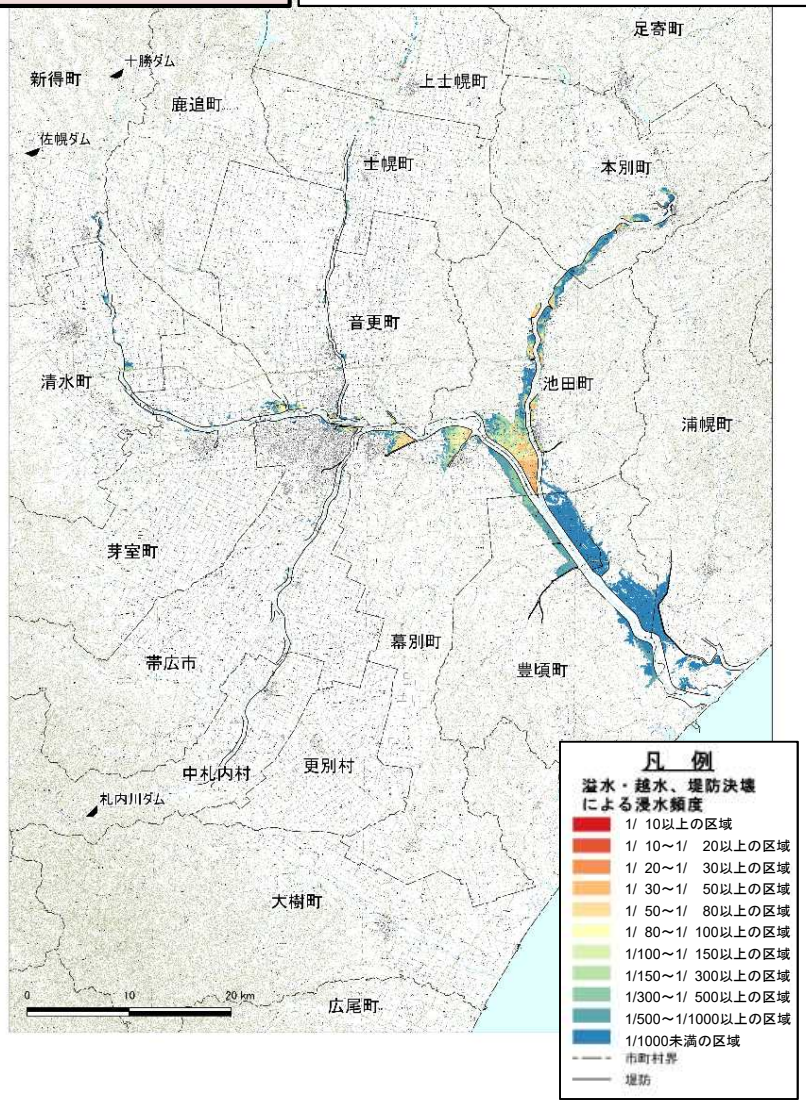
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における適応策による浸水確率の変化（4℃上昇実験）

■ 気候変動により気温が4℃上昇した際の外力において、適応策として想定した内容を実施することで、浸水深が3.2m以上となる浸水確率を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	4℃上昇した際に想定される浸水深が3.2m以上となる確率	適応策の実施を想定	4℃上昇した際に想定される浸水深が3.2m以上となる確率



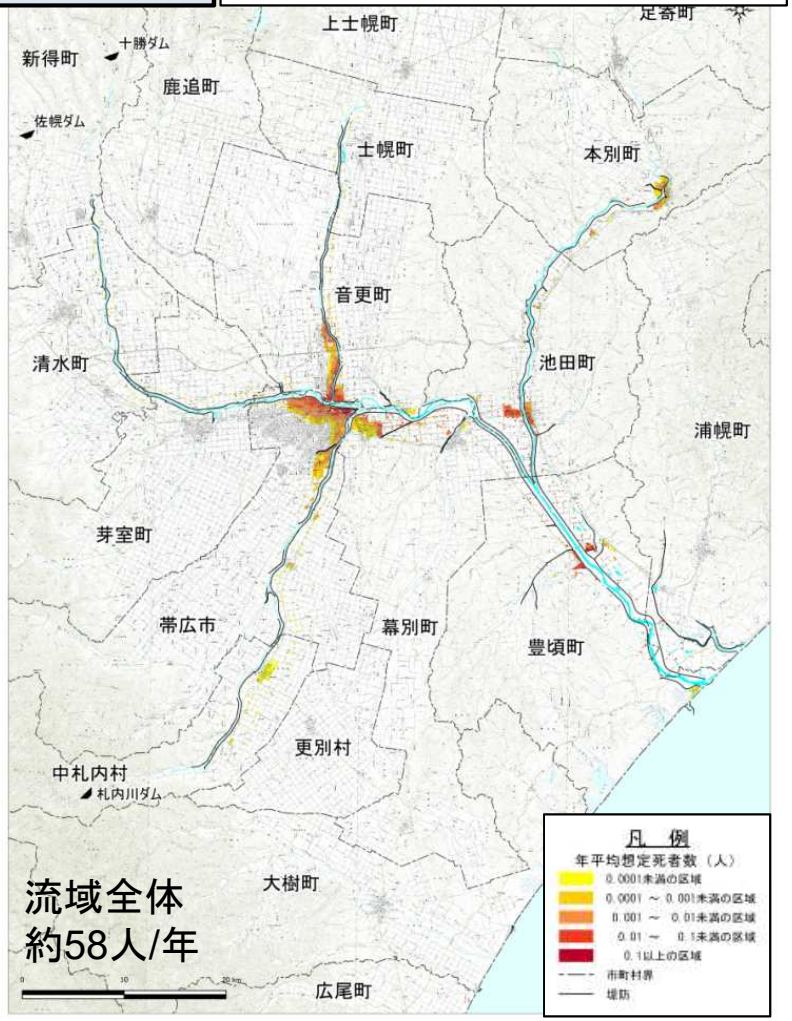


※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

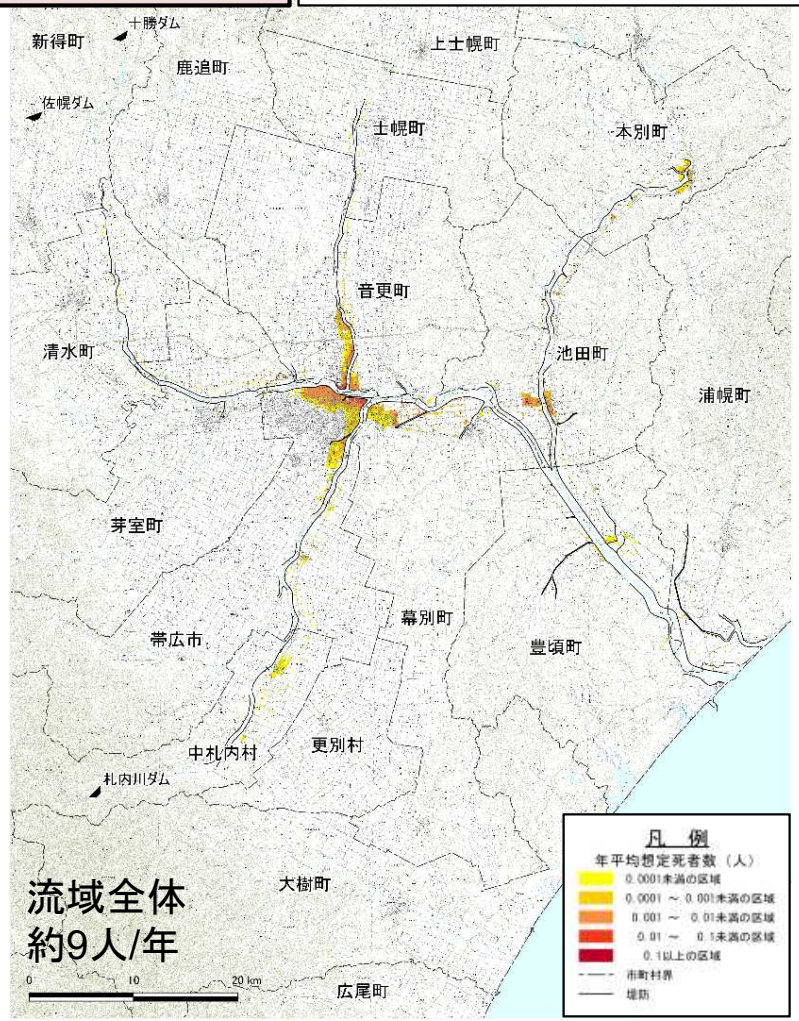
十勝川流域における適応策による年平均想定死者数の変化（4℃上昇実験）

■ 気候変動により気温が4℃上昇した際の外力において、適応策として想定した内容を実施することで、年平均想定死者数を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	4℃上昇した際に想定される年平均想定死者数



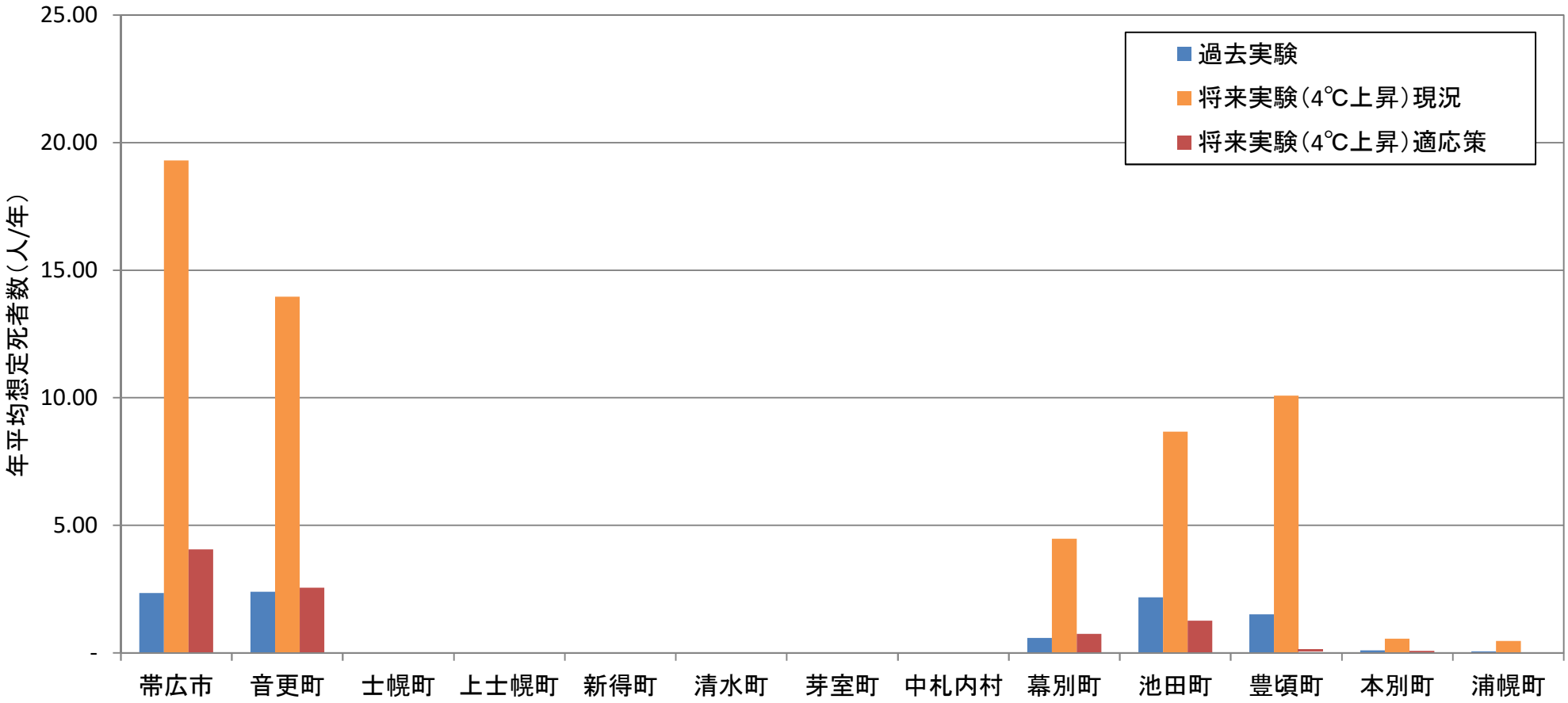
適応策の実施を想定	4℃上昇した際に想定される年平均想定死者数



※4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

十勝川流域における適応策による年平均想定死者数の変化（4℃上昇実験）

■ 各市町村ともに、4℃上昇時には年平均想定死者数の大幅な増加が見込まれていたが、適応策として想定した内容を実施することで、過去実験と同程度まで年平均想定死者数を低下させる試算結果となった。

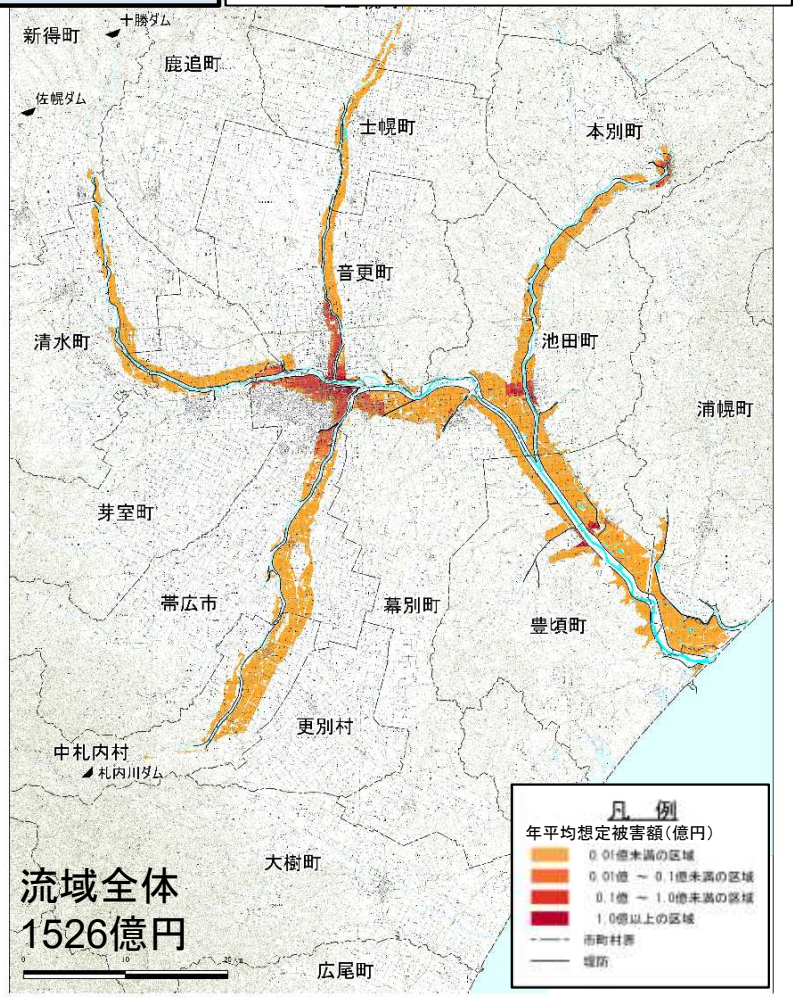


※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

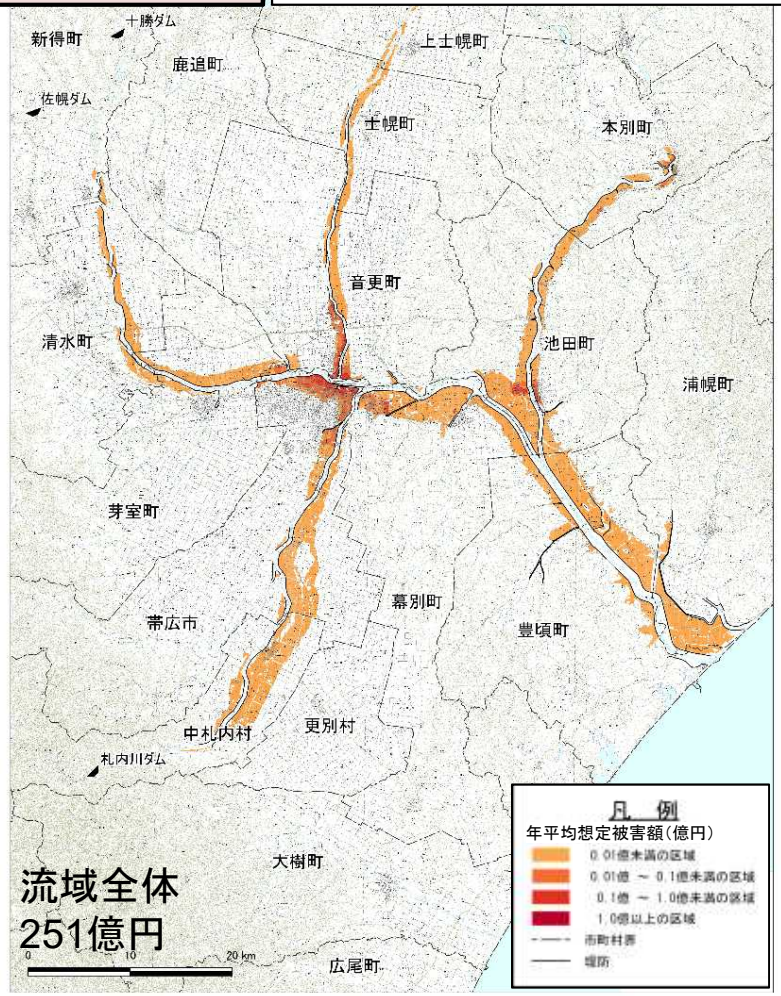
十勝川流域における適応策によるリスクの変化（4℃上昇実験）：年平均想定被害額

■ 気候変動により気温が4℃上昇した際の外力において、適応策として想定した内容を実施することで、年平均想定被害額を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	4℃上昇した際に想定される年平均想定被害額



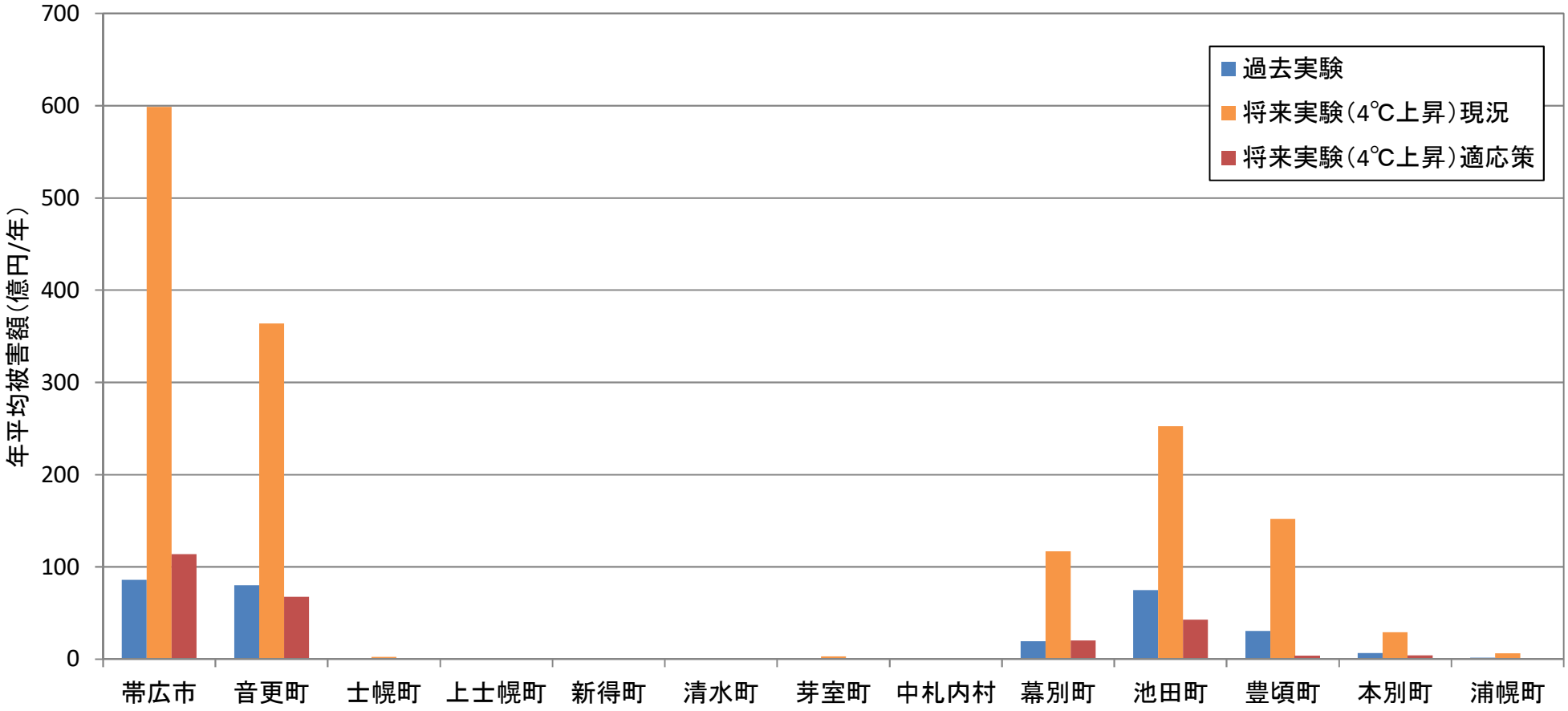
適応策の実施を想定	4℃上昇した際に想定される年平均想定被害額



※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における適応策によるリスクの変化（4℃上昇実験）：年平均想定被害額

■ 各市町村ともに、4℃上昇時には年平均想定被害額の大幅な増加が見込まれていたが、適応策として想定した内容を実施することで、過去実験と同程度まで年平均想定被害額を低下させる試算結果となった。

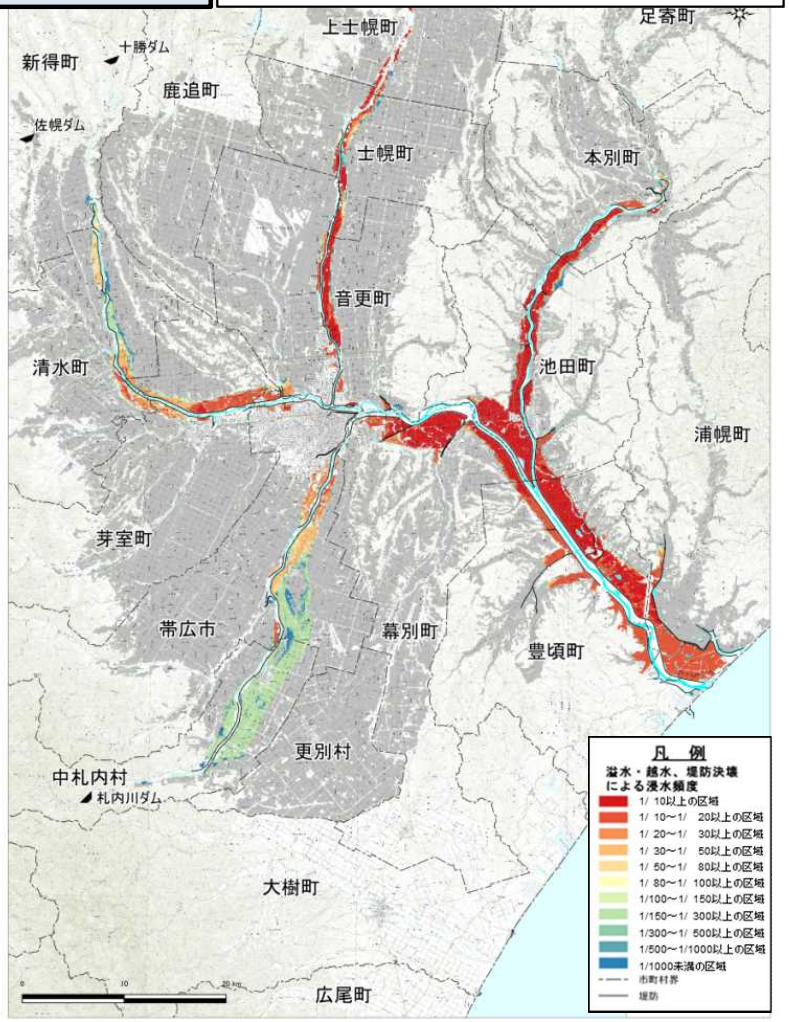


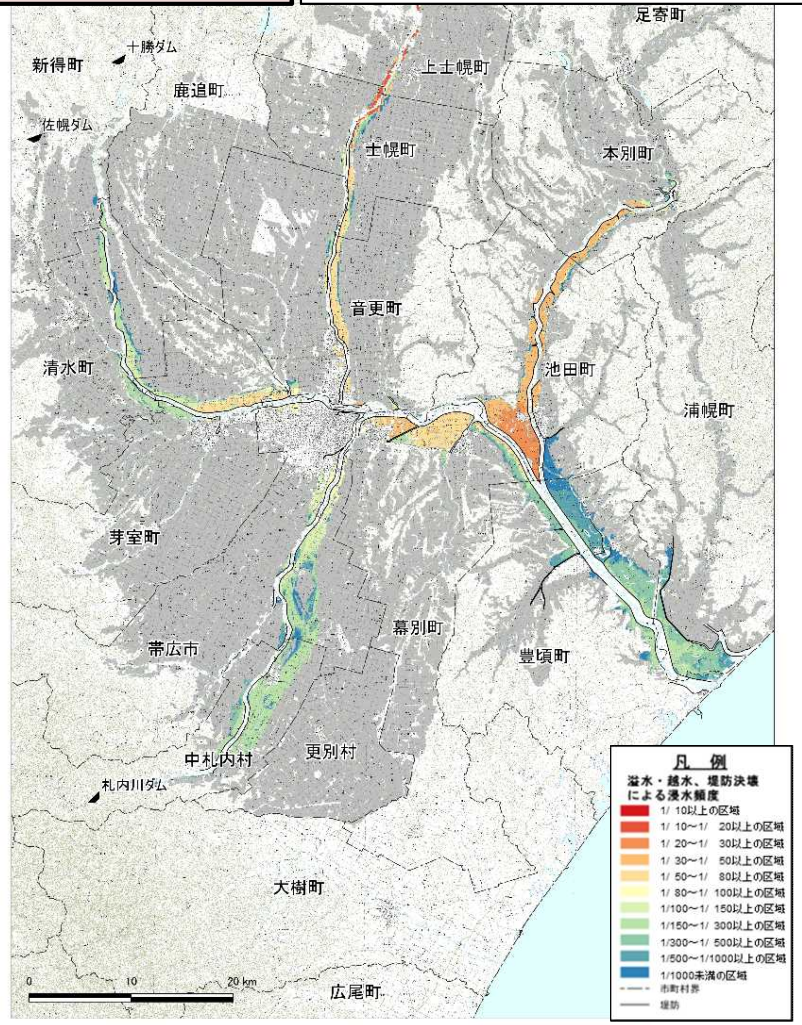
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における適応策によるリスクの変化（4℃上昇実験）：農地の浸水確率

■ 気候変動により気温が4℃上昇した際の外力において、適応策として想定した内容を実施することにより、農地の浸水確率を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	4℃上昇した際に農地が浸水する確率	適応策の実施を想定	4℃上昇した際に農地が浸水する確率





※作物が浸水する水位（0cm以上）に達する浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

7－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

7－1. 想定される適応策の抽出

↓

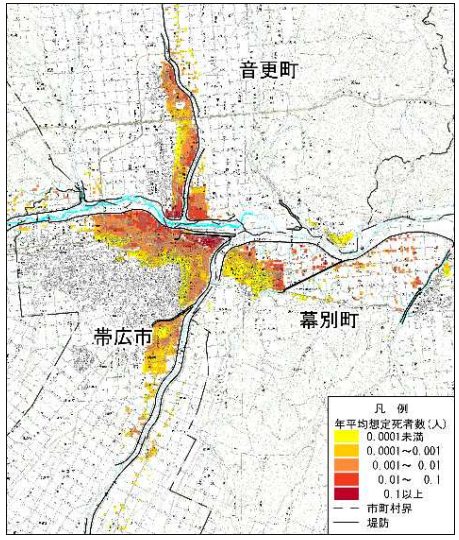
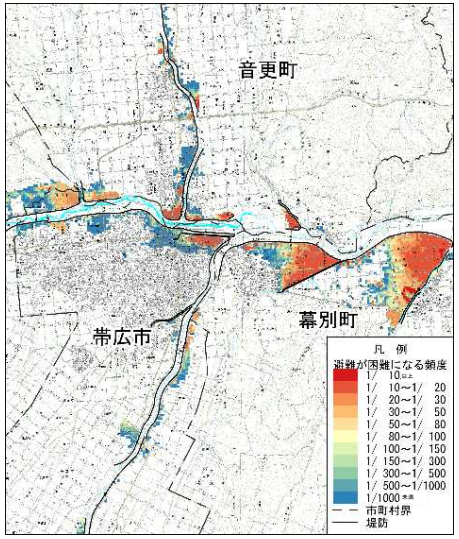
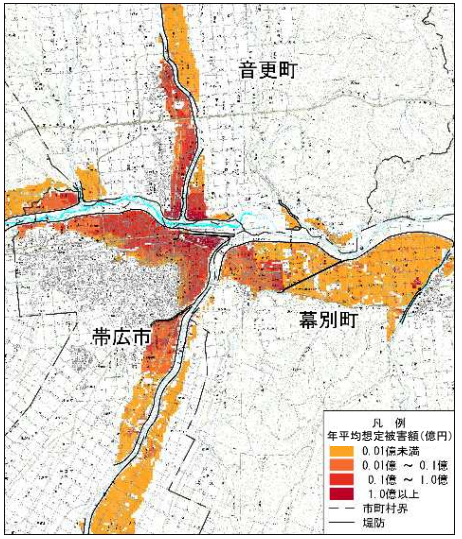
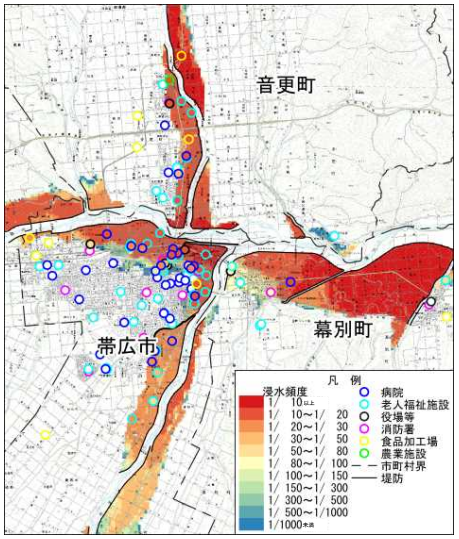
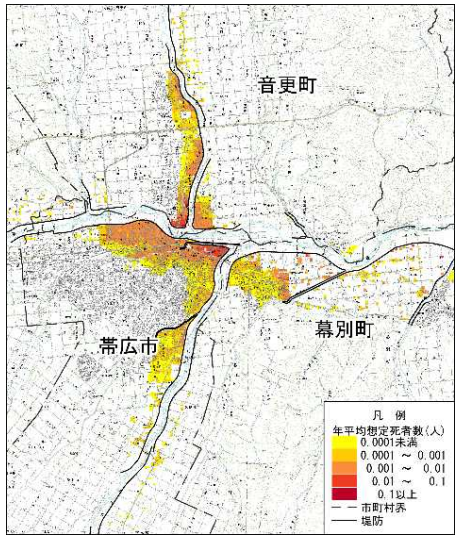
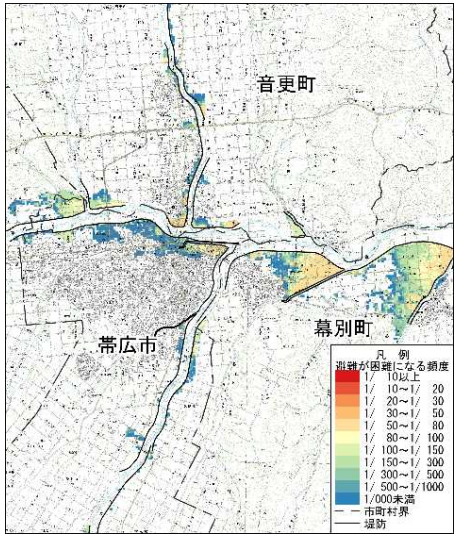
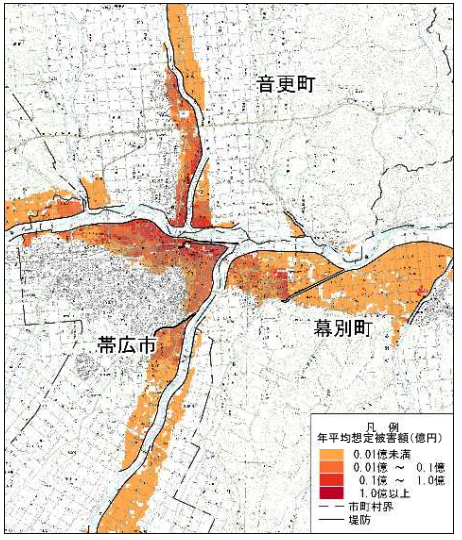
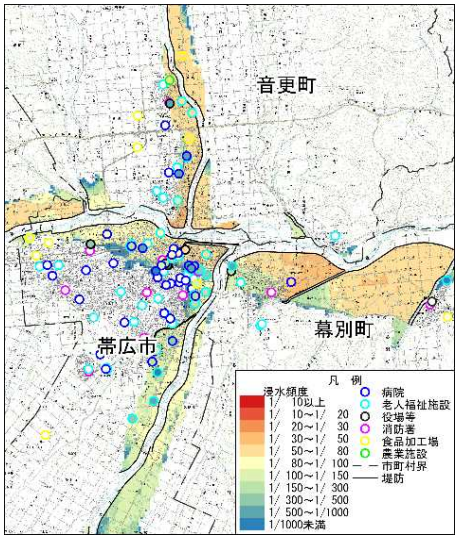
7－2. 適応策の効果検証

↓

7－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

社会的リスクの高い地域（4℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 社会的リスクの高いエリアにおいても、気候変動により気温が4℃上昇した際の外力に対して、適応策として想定した内容を実施することにより、年平均想定死者数や避難困難地域の分布、年平均想定被害額、被災する施設の浸水確率といった観点から、社会的リスクを低下させる試算結果となった。

	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
現況施設状態（4℃上昇）				
適応策の実施を想定（4℃上昇）				

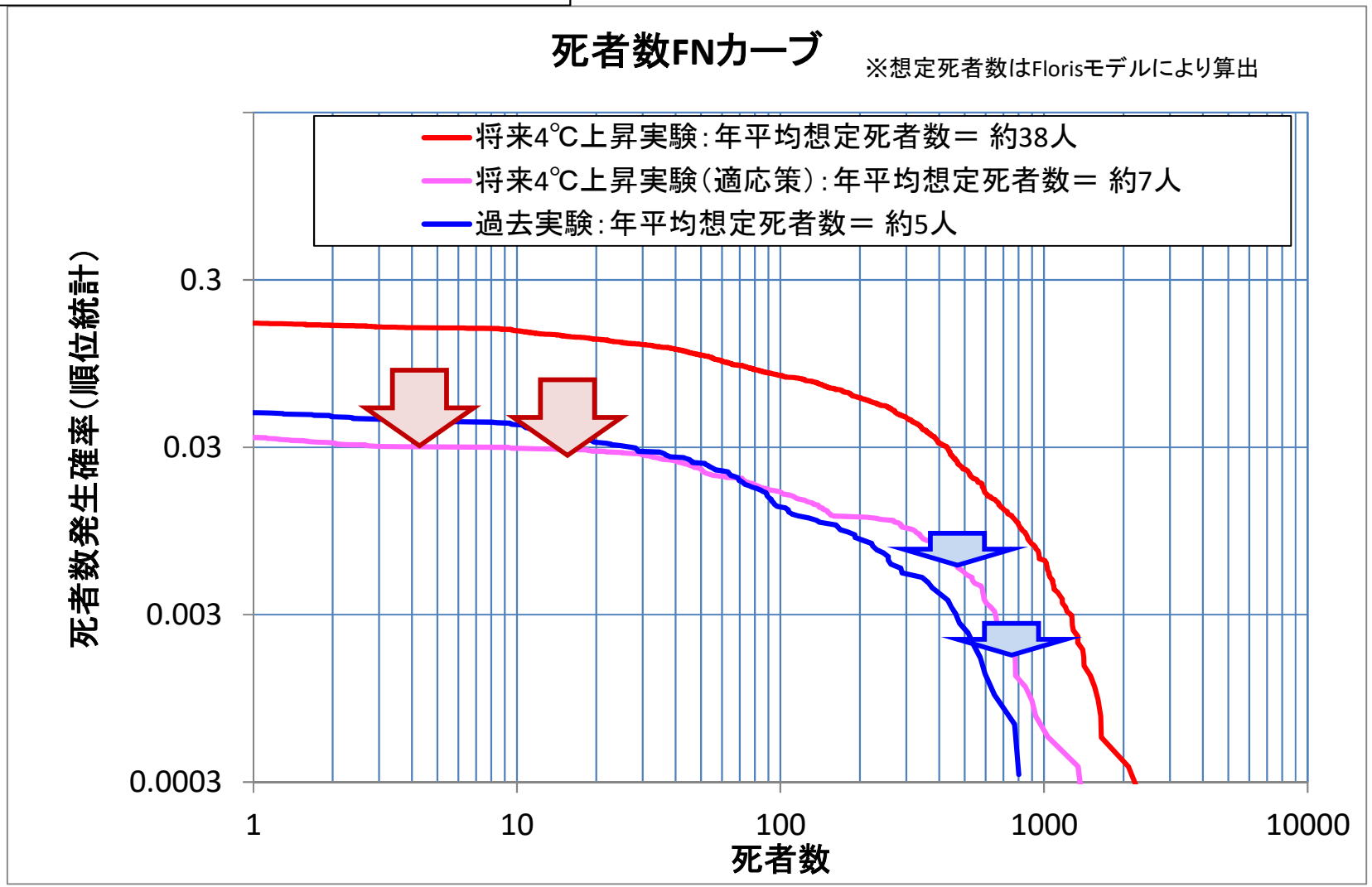
※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域（4℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 社会的リスクの大きい帯広市、音更町、幕別町エリアにおいて、適応策による効果の傾向を把握するために、FNカーブを用いて分析を行った。
■ こうしたところ、上述エリアにおいては、気候変動により気温が4℃上昇した際の外力に対して、治水適応策（ハード対策）として想定した内容を実施することにより、同一の想定死者数が生ずる確率は、洪水の発生頻度が高い洪水ほど低減される傾向にある。他方、洪水の発生頻度が低い大洪水となると、同一の想定死者数が生ずる確率の低減効果は小さくなる傾向にある。

治水適応策（ハード対策）の効果

〔帯広市、音更町、幕別町合計〕



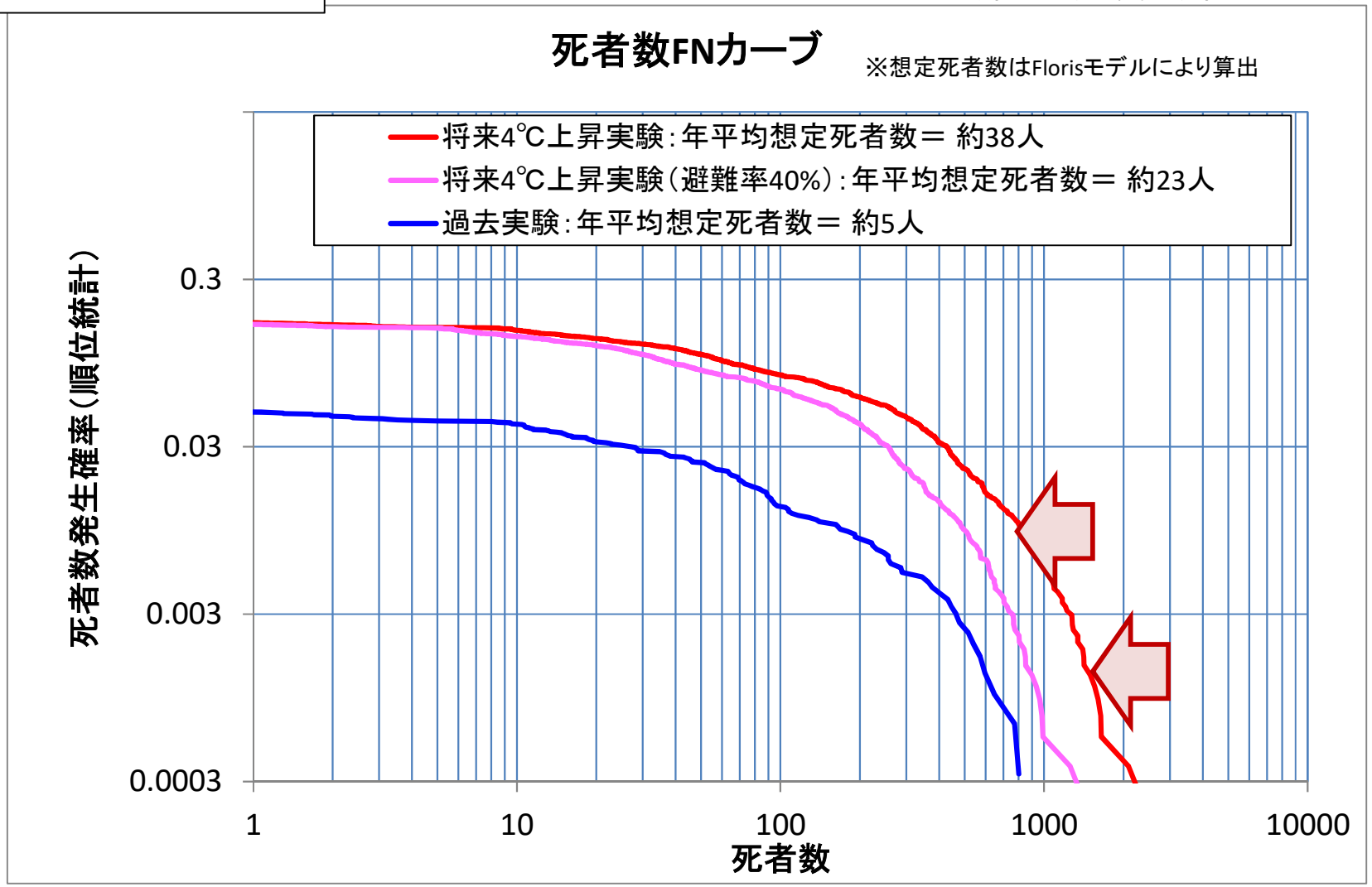
社会的リスクの高い地域（4℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 帯広市、音更町、幕別町エリアにおいては、気候変動により気温が4℃上昇した際の外力に対して、避難率を例えば40%※に引き上げた場合には、特に大洪水に対して、同一確率で発生する洪水に対する想定死者数の低減効果が大きくなる。
■ 避難による効果は不確実性を伴うものであるが、FNカーブを用いることによって、避難による効果を一定程度、検証できる可能性がある。

※「水害の被害指標分析の手引き（H25試行版）」では検討ケースとして避難率0%、40%、80%が示されている。

避難率40%の効果

〔帯広市、音更町、幕別町合計〕

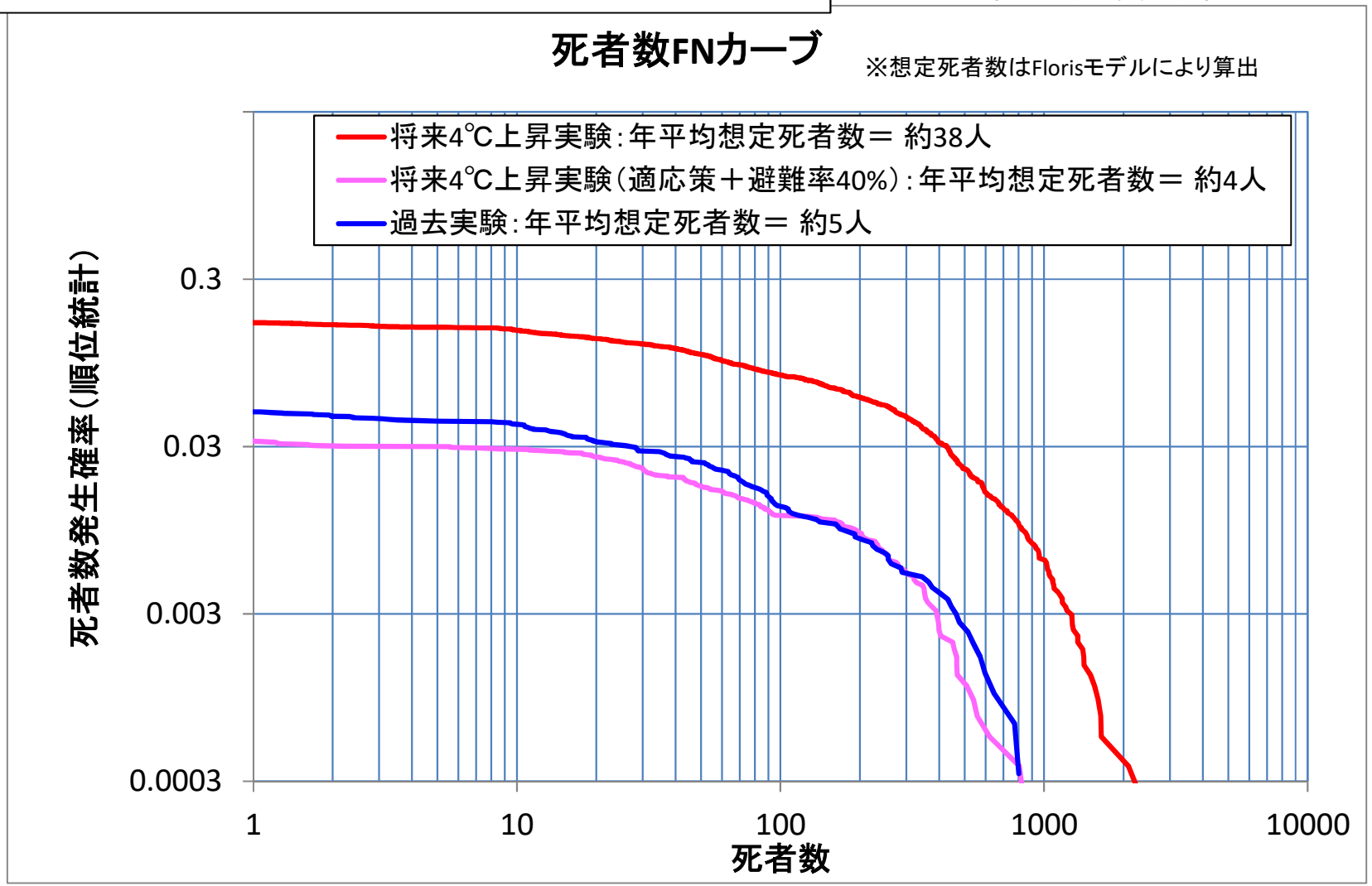


社会的リスクの高い地域（4℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 帯広市、音更町、幕別町エリアにおいては、気候変動により気温が4℃上昇した際の外力に対して、治水適応策（ハード対策）として想定した内容に加えて避難も考慮することによって、FNカーブを現状程度にまで低減させることができる可能性が示された。

治水適応策（ハード対策）＋避難率40%の効果

〔帯広市、音更町、幕別町合計〕



8. 十勝川流域における当面の適応策について

8－1. 想定される当面の適応策の抽出

↓

8－2. 当面の適応策の効果検証

↓

8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

8－1. 想定される当面の適応策の抽出

8－1. 想定される当面の適応策の抽出

8－2. 当面の適応策の効果検証

8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

8－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）

8－1－2. 社会的リスクの高い箇所における当面の適応策

8－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）

8－1. 想定される当面の適応策の抽出
↓
8－2. 当面の適応策の効果検証
↓
8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

8－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）
↓
8－1－2. 社会的リスクの高い箇所における当面の適応策

当面の適応策の基本的な考え方（十勝川の減災ストーリー）

①＜着実に治水安全度を向上させるための当面の適応策＞

ハード対策（河道掘削） ＋ 流域対策 ＋ ソフト対策

※リスクの特性を踏まえた流域対策については後述

※リスクの特性を踏まえたソフト対策については後述

②＜4℃上昇時における社会的リスクの高い地域に対して、さらなる対策を検討＞

ハード対策 ＋ 流域対策 ＋ ソフト対策

※リスクの特性を踏まえた流域対策については後述

※リスクの特性を踏まえたソフト対策については後述

〔帯広市・音更町などの流域中流部〕

○道東地域における経済・産業・文化の拠点。人口・資産が集中し、大規模な土地の改変を伴う工事が困難。

○農作物の集荷や加工を行う工場など、地域の主要産業を支える施設が集中。

○急流河川の主要支川が相次いで合流するため、本川のピーク流量が大きく、洪水時の浸水深が大きい。氾濫流の流速が速く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードが早いことが想定される。

→ 河道内における貯留施設や既設ダムの活用などにより、社会的リスクの高い地域における安全性を向上させる。

→ 危機管理型ハード対策により、決壊までの時間を引き延ばし、避難に要するリードタイムを可能な限り確保する。

〔池田町・豊頃町などの流域下流部〕

○低平地に位置しており、水位が高い状態が長時間にわたり継続。浸水が広範囲に及び、洪水時の浸水深が大きい。氾濫流の流速が早く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードが早いことが想定される。

→ 堤防強化対策により、氾濫流に対する被害軽減を図る。

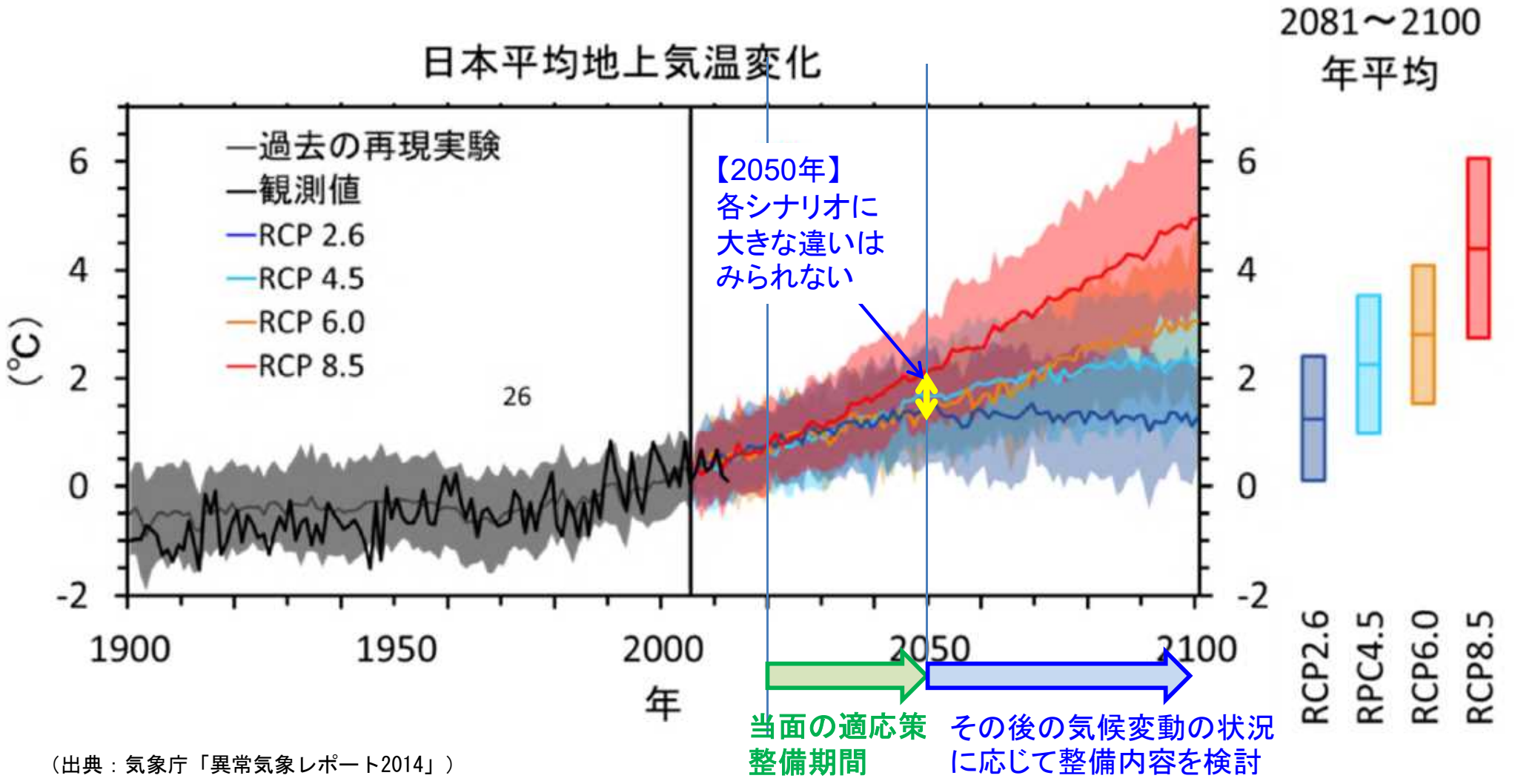
○被災した農地へ掘削土砂を提供する取組の実績がある。

→ 掘削残土を有効活用する観点から、掘削土を農地に搬入し、農地のかさ上げを実施することにより、浸水被害軽減を図る。

※実現の可能性や経済性などの観点を勘案して、今後検討を進める。

当面の適応策の期間設定について

- IPCC第5次報告書では、温室効果ガス濃度の推移の違いによる、4つのシナリオが用意されている。
- これによると、2050年頃までは各シナリオによる気温の変化に大きな違いはみられない。
- このため、当面の治水適応策の計画にあたっては、RCP8.5相当の外力を視野に入れつつも、基本的にはRCP2.6相当の外力を想定して対策を実施していくことから、シナリオの違いによる手戻りを極力少なくするため、概ね30年後の2050年頃を当面の対象期間とする。



（出典：気象庁「異常気象レポート2014」）

当面の治水適応策（河道掘削等）

■ 河道断面が不足している区間について、河道掘削等を実施することにより、治水安全度を確保する。掘削の検討にあたっては、維持管理上の観点や高水敷利用の観点なども踏まえながら行うものとする。







河道掘削等による治水安全度の向上

当面の治水適応策（河道掘削等）について（目標とする外力の考え方）

■当面の治水適応策（河道掘削等）は、将来の世代において治水安全度を低下させないことを基本に検討を進める必要がある。
■当面の治水適応策（河道掘削等）が目標とする外力については、2℃上昇時の外力に対して、現在の河川整備計画の目標と概ね同程度の安全度を確保できるよう、検討を行う。

【当面の治水適応策（河道掘削等）として目標とする外力の考え方】

	d2PDFの降雨量を用いる方法	現在目標としている降雨量に係数をかけることにより新たな目標設定を行う方法	H28出水など、既往最大の降雨量を用いる方法
方法の概要	・大量アンサンブルデータから、2℃上昇時の時空間分布の変化等も踏まえ、かつ、現在の河川整備計画と同じ安全度を確保できるように目標設定を行う。	・S37.8実績降雨およびS56.8実績降雨等の河川整備計画対象降雨に対して、将来の気候変動を考慮し、適切な係数※をかけることにより、目標設定を行う。	・H28出水など、既往最大の降雨量を用いることにより、目標設定を行う。

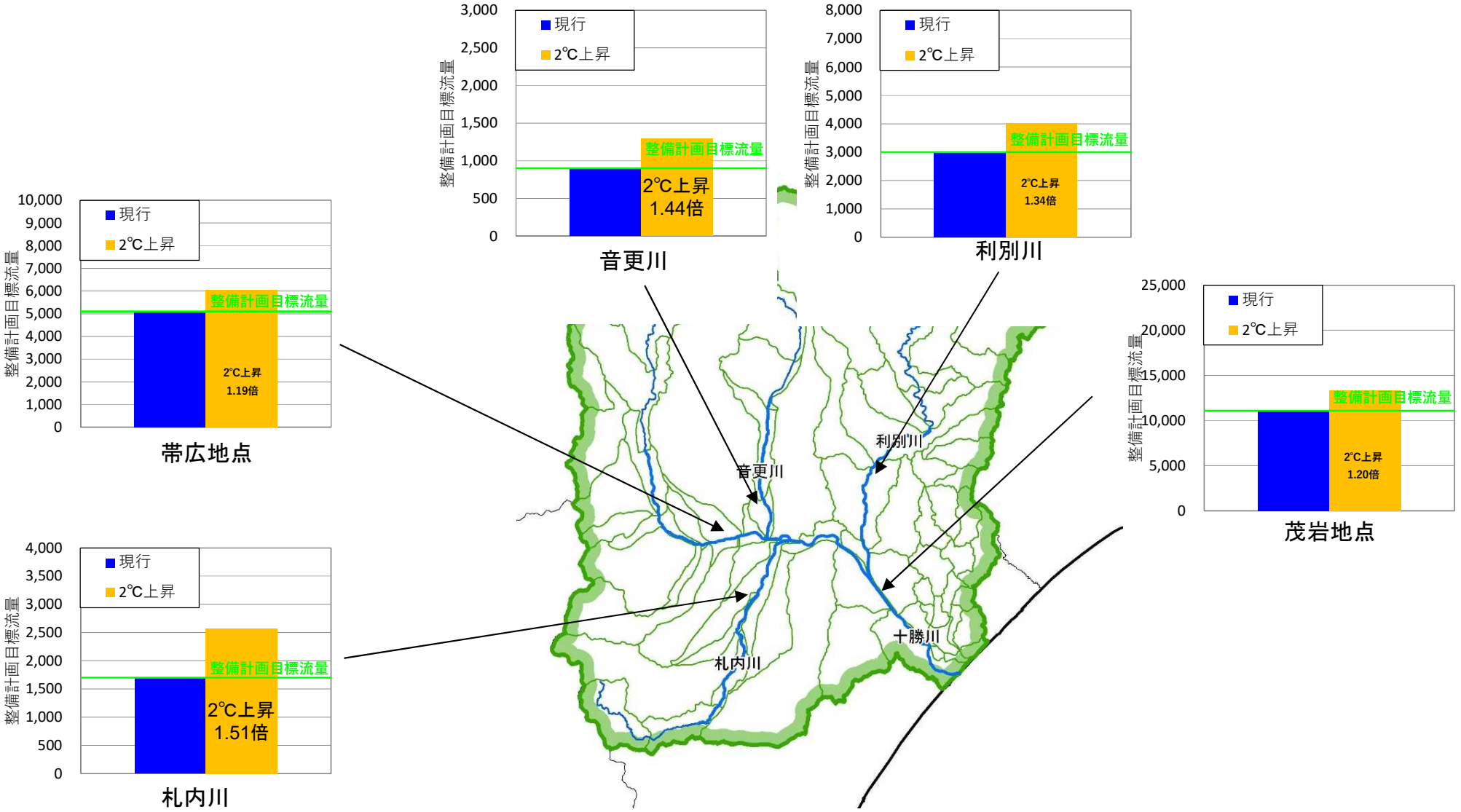
採用

十勝川流域における、当面の治水適応策として目標とする外力としては、流域内の降雨の時空間分布が一様でないことから、本川・支川ごとにd2PDFの降雨量を用いる方法により検討を進める。

※ 2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道北部、北海道南部ともに1.15倍と試算。
（ 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言・令和元年10月より）

十勝川流域における気候変動を考慮した場合の目標流量

■ 2℃上昇時の外力に対して、現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度を確保できるように、目標流量を検討した。
■ 全川において目標流量が現在より上昇し、とりわけ、札内川と音更川などの支川において、上昇の倍率が大きくなる結果となった。



※河道分担流量については、河道における掘削の限界等の観点も踏まえながら決定するものとする。

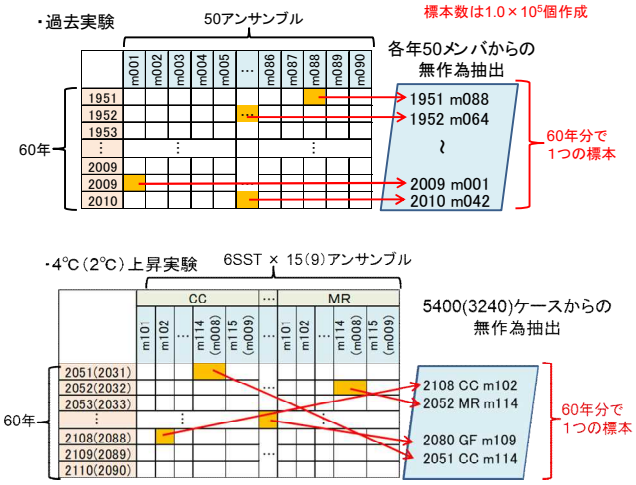
気候変動を考慮した場合の目標流量について（設定の流れ）

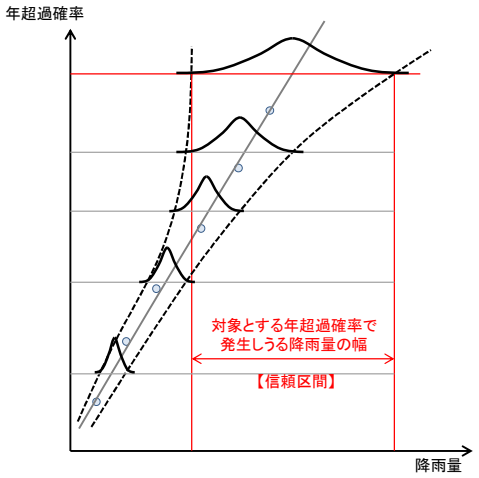
（流量群の算定）

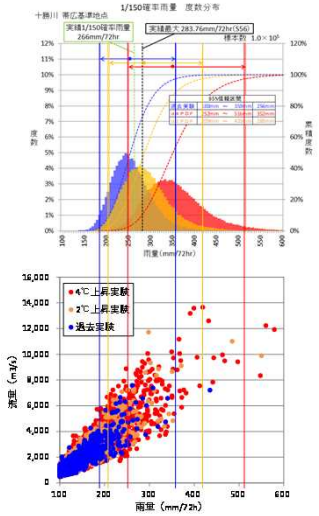
①過去実験、2℃上昇実験毎に、リサンプリングにより10万標本を作成。

②10万標本を確率評価。
計画規模の確率値に相当する降雨量の幅を算出。

③計画規模の幅に含まれる降雨群に対して、流出計算により流量群を作成。

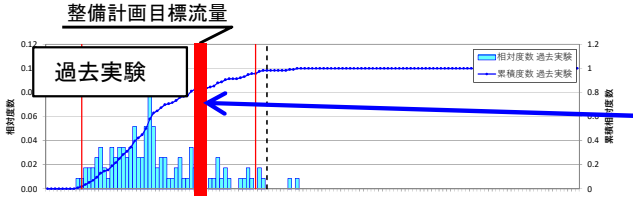






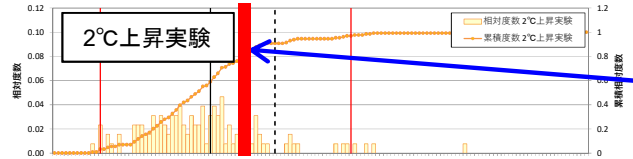
（気候変動を考慮した目標流量の算定）※基準点および主要地点ごとで検討を行う。

④過去実験の計画規模の流量群に対して、現整備計画目標流量により充足される流量群の割合（充足率）を算出。



計画規模の流量群に対して、整備計画目標流量の充足率（a%）

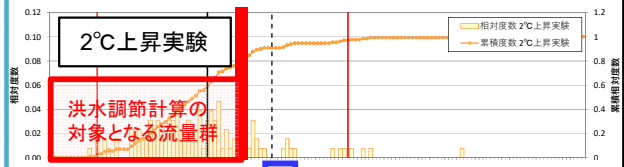
⑤気候変動後の流量群に対して、過去実験における充足率と同等となる流量を、気候変動を考慮した目標流量として検討。



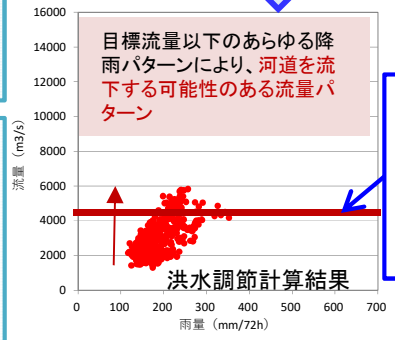
気候変動後の計画規模の流量群に対して、過去実験と同様の充足率（a%）となる値を、気候変動を考慮した目標流量として設定

（河道配分流量の算定）

⑥気候変動を考慮した目標流量以下の流量群に対して、洪水調節計算を実施。これにより、目標流量以下のあらゆる降雨パターンに対して、河道を流下する可能性のある流量が、幅値として表現される。



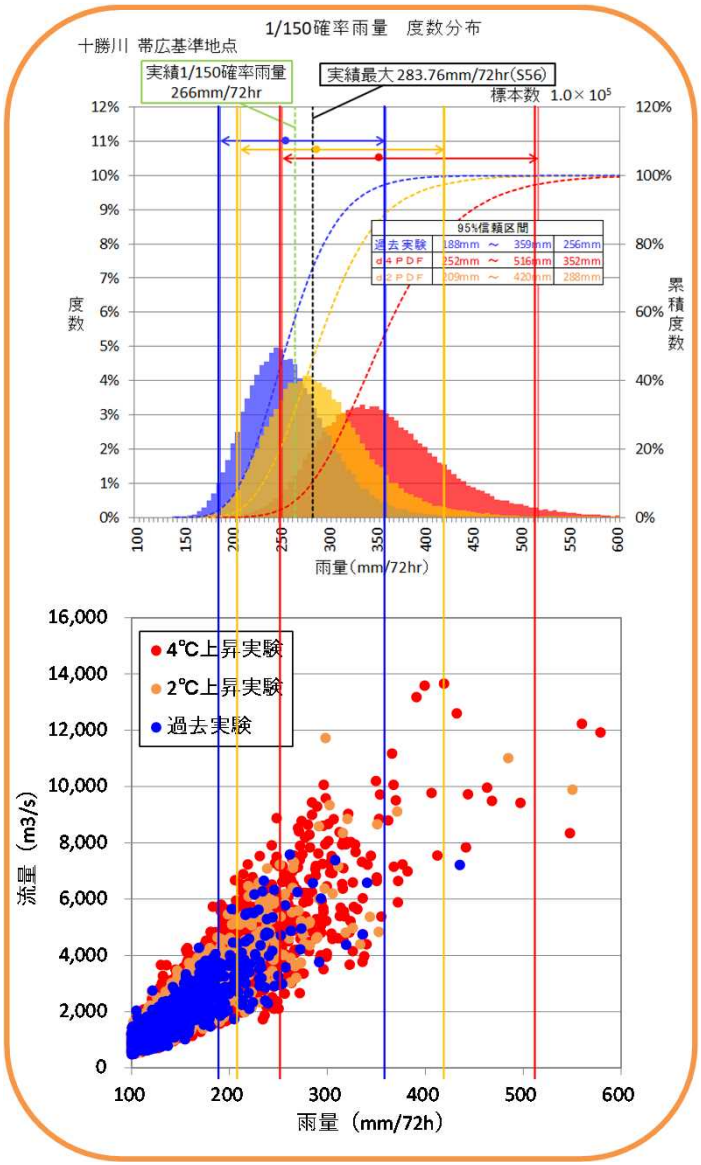
⑦河道を流下しうる流量の幅のうち、河道掘削による限界等を考慮したうえで、河道配分流量として検討。

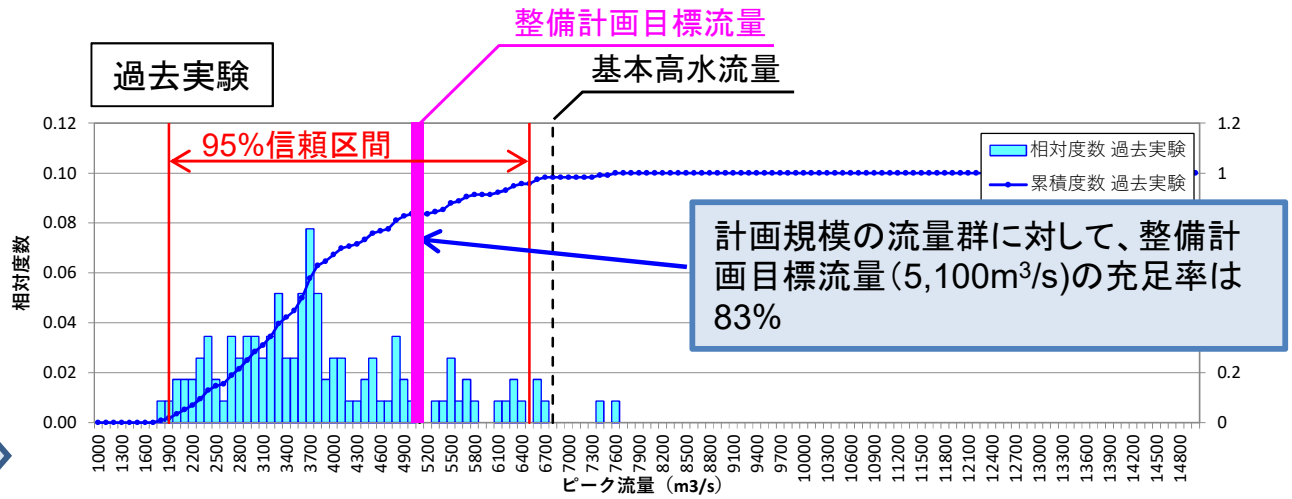


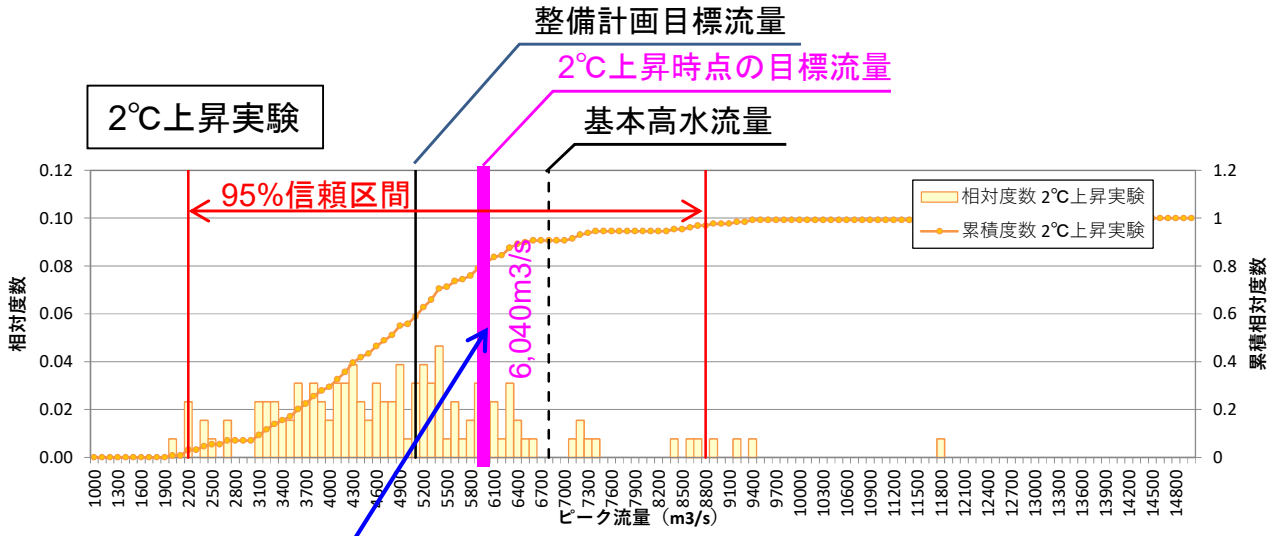
河道掘削による限界等も考慮したうえで、河道配分流量を決定。

（参考）気候変動を考慮した場合の目標流量について（帯広地点における事例）

■ 帯広地点における計画規模（1/150)で発生しうる降雨量の幅は188mm～359mmとなる。
■ 降雨幅に対応する流量群に対し、現在の河川整備計画の目標流量（5,100m³/s）による充足率は過去実験では83%程度であった。これと同様の充足率を2℃上昇時点においても持たせるためには、2℃上昇時点の目標流量は6,040m³/sとなる。







2度上昇時点の計画規模の流量群に対して、過去実験と同様の充足率（83%)となるよう、2度上昇時点における目標流量を6,040m³/sと設定

8－1－2. 社会的リスクの高い箇所における当面の適応策

8－1. 想定される当面の適応策の抽出

8－2. 当面の適応策の効果検証

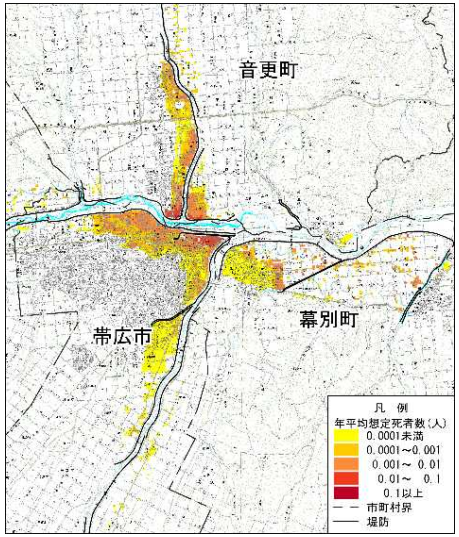
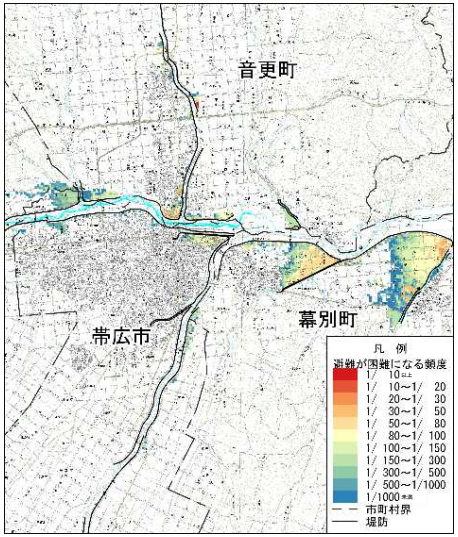
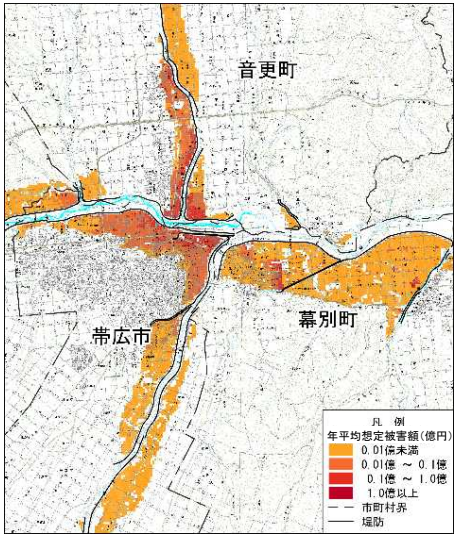
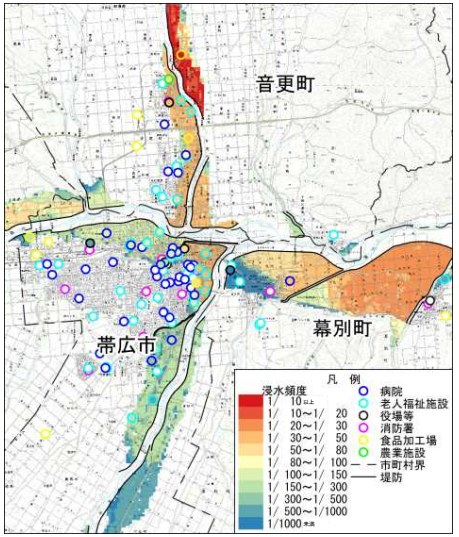
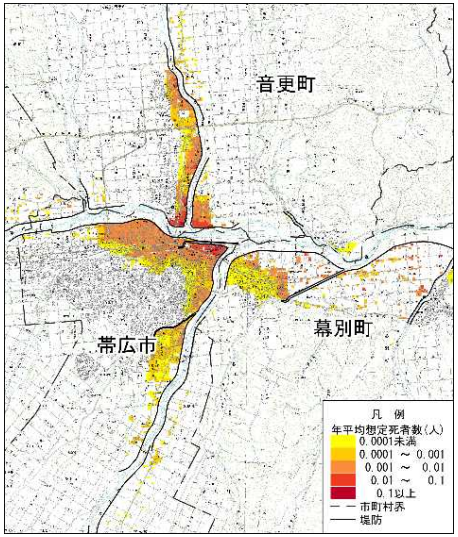
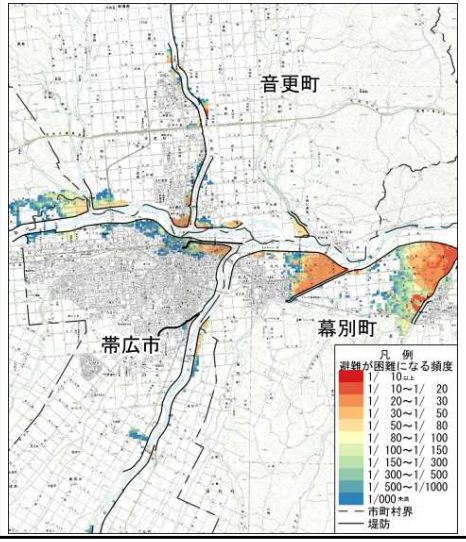
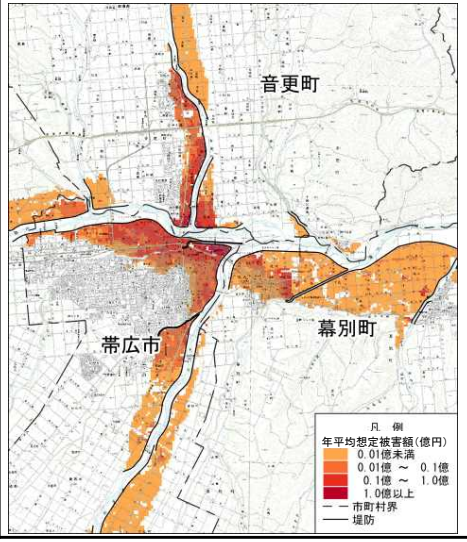
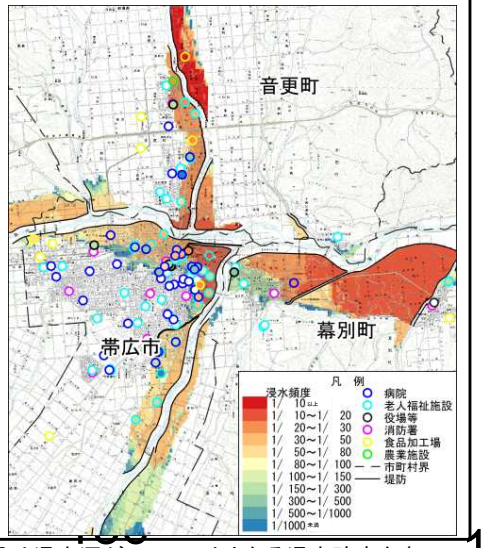
8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

8－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）

8－1－2. 社会的リスクの高い箇所における当面の適応策

社会的リスクの高い地域（帯広市・音更町・幕別町エリア）

帯広市・音更町・幕別町エリア
人口・資産が流域内で最も集中する地域。
被災による社会的影響が各方面に広がることが想定。

	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
過去実験				
2℃上昇実験				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い箇所における当面の適応策（帯広市や音更町など）

■社会的リスクが高い地域では、浸水により地域全体に大きな影響を及ぼす可能性があることから、さらなるハード・ソフト対策を提案し、早期の安全度の向上を目指す。

当面の適応策として考えられるメニュー案

（ハード対策）
・貯留施設
河道内における貯留施設や既設ダムの活用など
・堤防強化対策
危機管理型ハード対策

（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策）
・霞堤や二線堤の保全・整備
・道路等の連続盛土構造物の活用・保全
・樹林帯（氾濫流の軽減）
・農地のかさ上げ等、掘削土の農地への活用
・住まい方の工夫（水害リスクの低い地域への誘導）
など

（自助として実施する対策）
・住宅のピロティ化、浸水防御壁の整備、電源施設の耐水化、水害保険の加入　など

（ソフト対策）
・減災対策協議会におけるリスク情報の共有
・タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施
・水位周知河川等への指定、想定最大規模の洪水浸水想定区域図等の公表推進
・洪水情報のプッシュ型配信
・住民参加型の共同点検の推進
・水防災に関する啓発活動の強化
など

（ソフト対策を支援するための対応）
・避難行動を支援する築山、避難路の確保
・危機管理型水位計、CCTVの整備
・浸水深が大きい地区における排水機場の耐水化、アクセス路の確保　など

※実現の可能性や経済性などの観点を勘案して、今後検討を進める。

当面の治水適応策（対策メニュー案）〔貯留施設〕

■ 社会的リスクの高い地域の上流側において、河道内貯留施設を設置することにより、ピーク流量の低減を図る。
■ 既設ダムを有効活用等することにより、帯広市や音更町などの人口・資産が高度に集積する地域におけるピーク流量を低減させる。

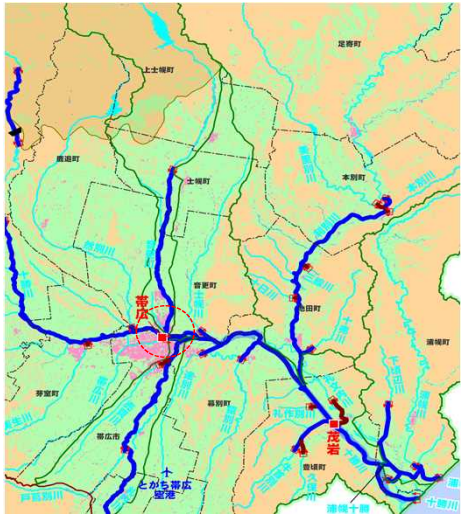




※施設の活用について、今後検討を行うものとする。

（当該箇所の特徴）
〇道東地域における経済・産業・文化の拠点。人口・資産が集中し、大規模な土地の改変を伴う工事が困難。
〇農作物の集荷や加工を行う工場など、地域の主要産業を支える施設が集中。
〇急流河川の主要支川が相次いで合流するため、本川のピーク流量が大きく、洪水時の浸水深が大きい。氾濫流の流速が早く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードが早いことが想定される。

貯留施設により、ピーク流量の低減が図れないか検討。



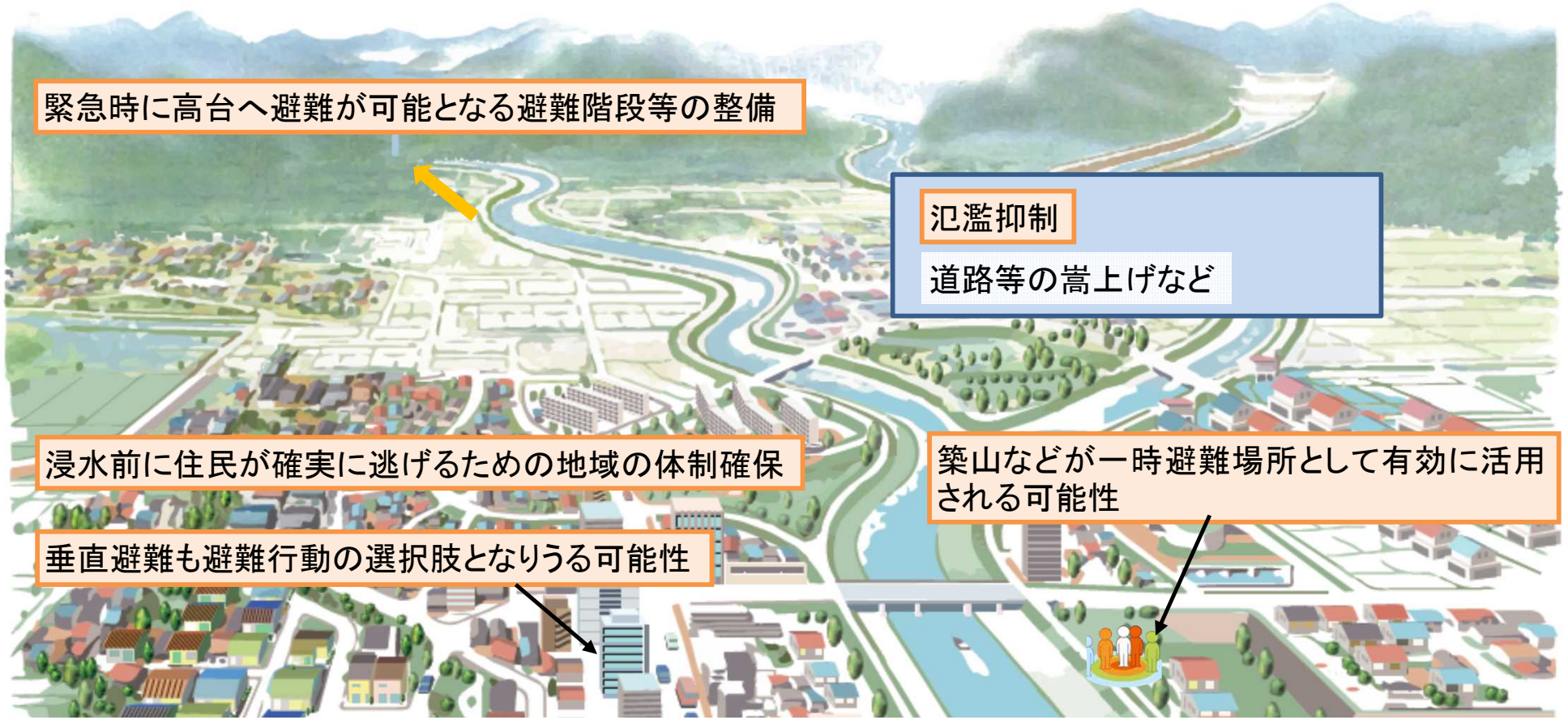
住民避難を実効性あるものとするためのソフト対策等（メニュー案）

■ 十勝川流域の中流部では、人口・資産が高度に集中しているなか、気候変動により浸水リスクの増加が想定される地域である。このため、

〇住民避難を確実に行うための実効的な体制を確保する必要がある。

〇周辺に高台等が多くは存在しない地域においては、築山の整備などによる垂直避難等が、高台等がある場合には避難が可能となる避難路の整備等が、命を守るための緊急的な避難行動に活用される可能性がある。

〇道路等のかさ上げによる、氾濫流の軽減により、避難が可能となる時間を引き延ばす可能性がある。



気候変動のリスクを踏まえたソフト対策等の事例（音更町宝来地区）

- 音更川と十勝川、高台に挟まれた音更町(宝来地区)においては、平成28年8月の出水時に、多くの住民が車両により避難所へ向かい、渋滞が発生した。
- 過去の避難状況を踏まえ、徒歩での避難の呼びかけや、地域の住民が組織的に避難にかかる体制を確保するなどにより、住民の避難をより実効性のあるものにするための取り組みが行われている。
- 音更川は急流河川であり、音更川や十勝川本川のピーク流量が大きく、洪水時の浸水深が大きい。氾濫流の流速が早く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードが早いことが想定される。
- 川や高台に囲まれた地区であり、堤防強化対策（危機管理型ハード対策）により、避難のためのリードタイムを少しでも確保し、住民が確実に高台へ避難できるように支援することが必要。
- 今後、こうした気候変動リスクを踏まえて、確実な避難のために必要な方策を関係者が連携して検討していく必要がある。



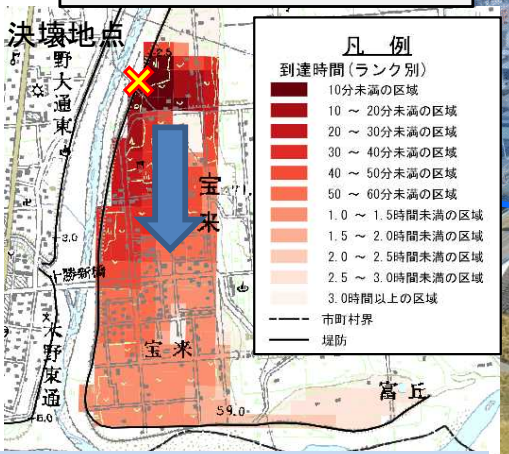
避難所
緑南中学校

臨時避難所
下士幌小学校

臨時避難所
サッカー場

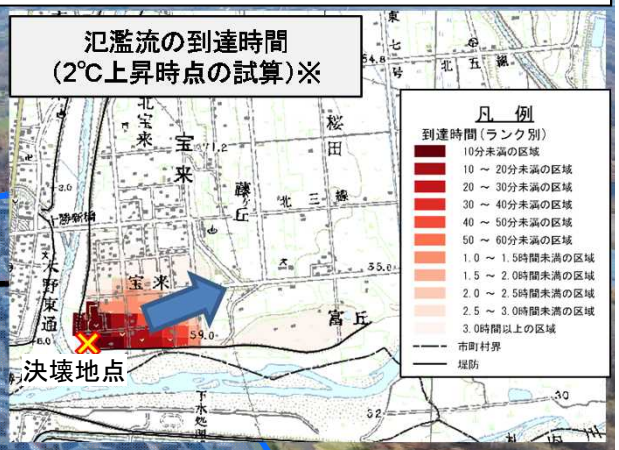
避難所への道路に車両が集中し渋滞が発生

氾濫流の到達時間
（2℃上昇時点の試算）※



流速が最大で約3m/s程度（想定）

氾濫流の到達時間
（2℃上昇時点の試算）※



音更町（宝来地区）

浸水深が最大で約5m程度（想定）

平成28年8月洪水において
避難所への道路が渋滞した状況

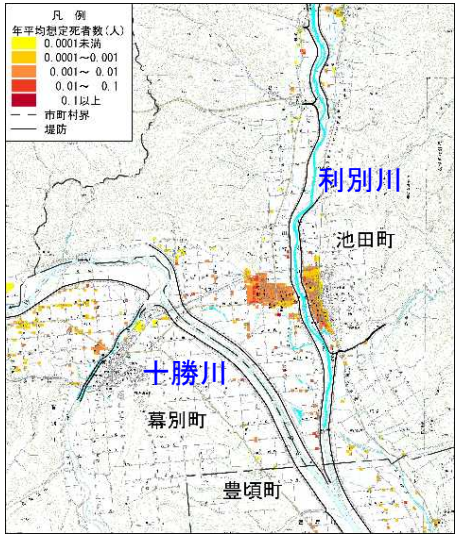
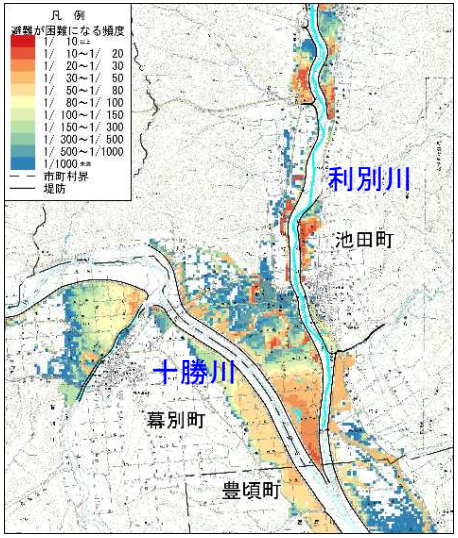
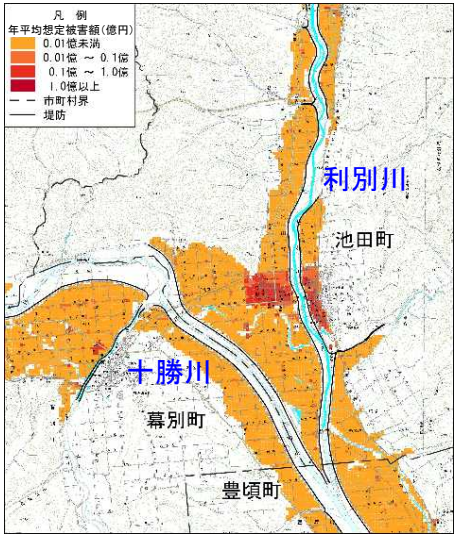
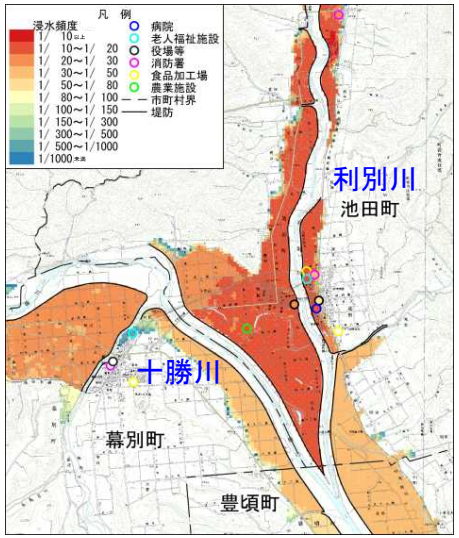
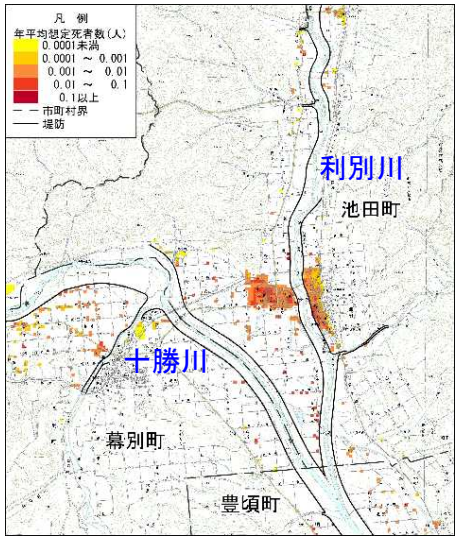
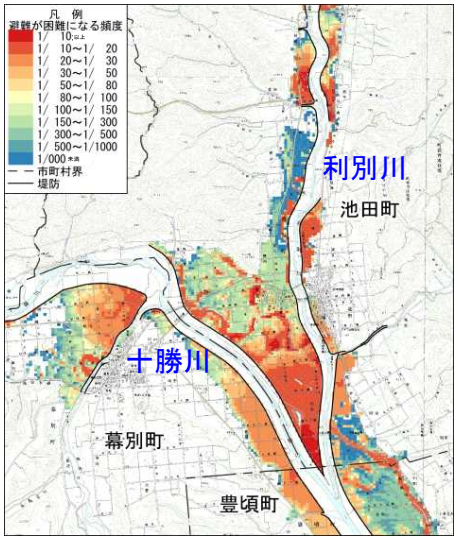
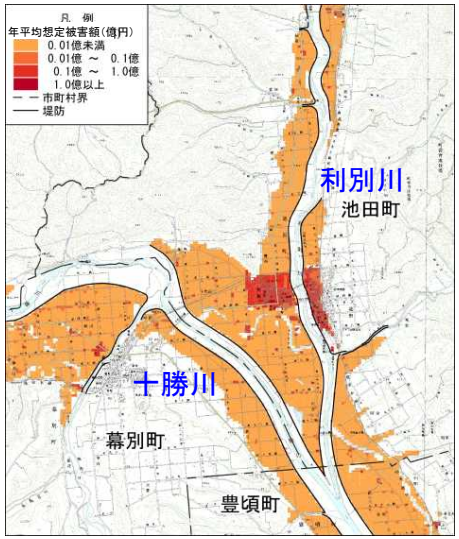
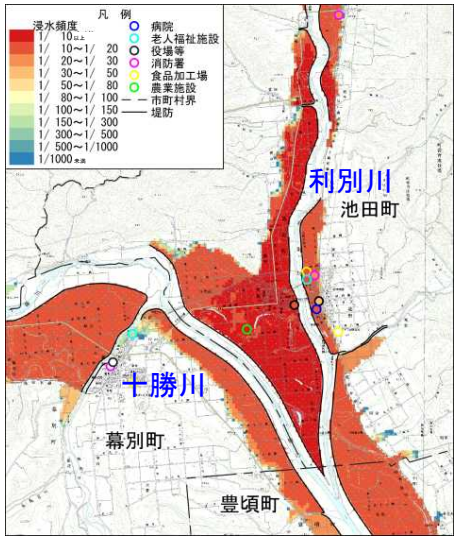
【取り組み事例】
・徒歩による避難訓練実施し、徒歩で避難を呼びかけ
・地域コミュニティの拡充による避難支援者の養成

※氾濫流の到達時間：将来実験（2℃上昇時点：3240ケース）のうち流域内の想定死者数が最多となるケースにおいて、図中で示す箇所が決壊した場合の氾濫流の到達時間を試算。

社会的リスクの高い地域（池田町エリア）

池田町エリア

浸水確率が高い領域が広範囲に広がっていることに加え、人口・資産が集中する地区があることから、社会的な影響が各方面に広がることが想定。

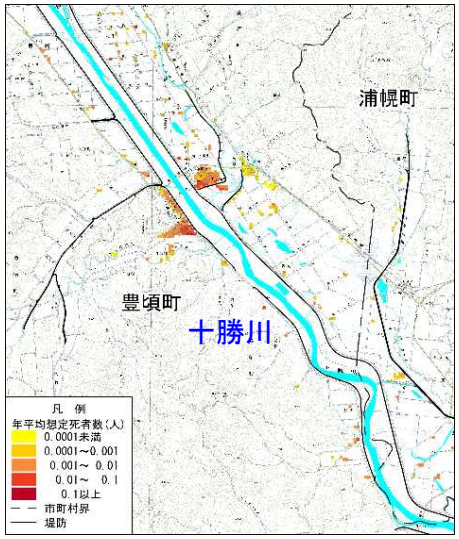
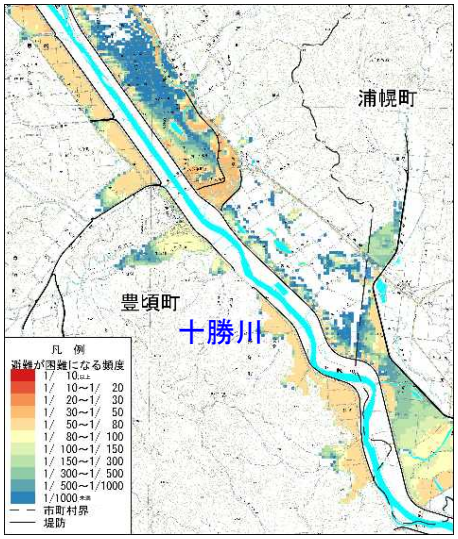
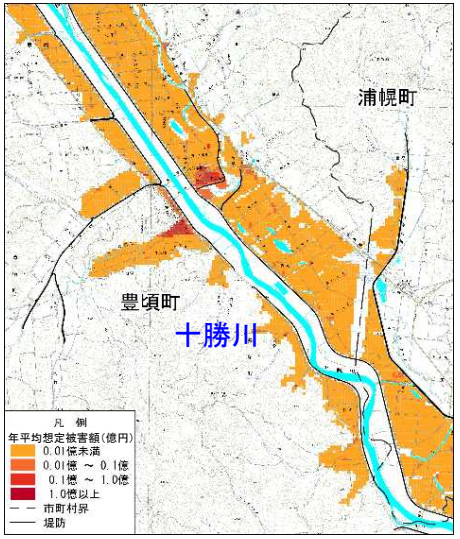
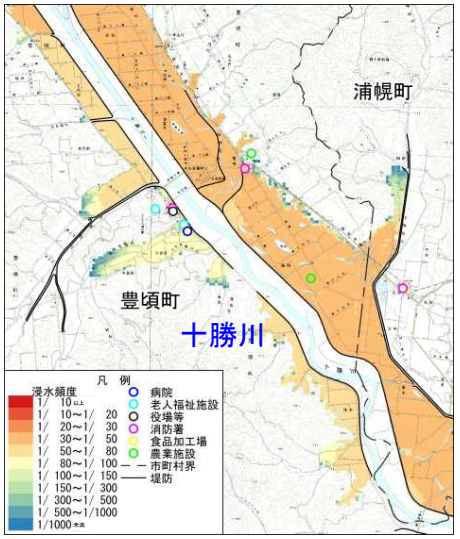
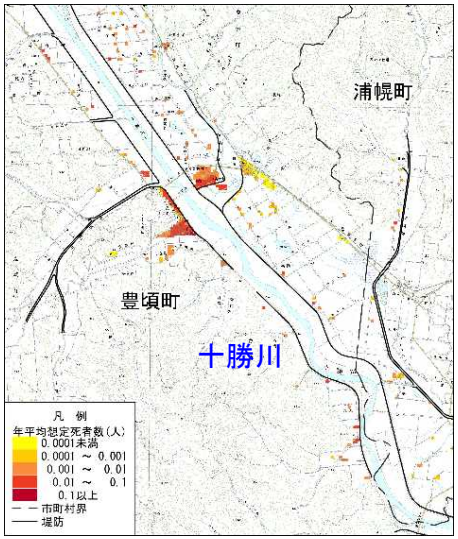
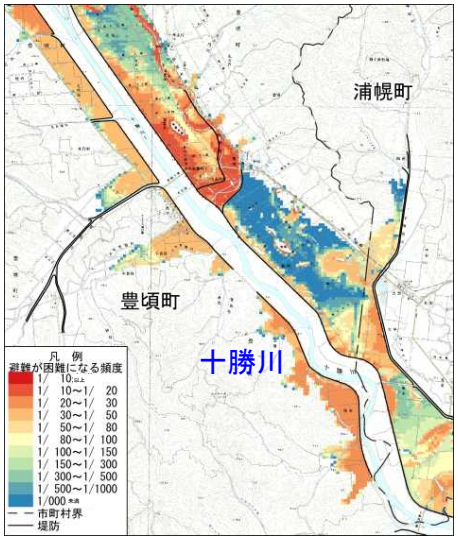
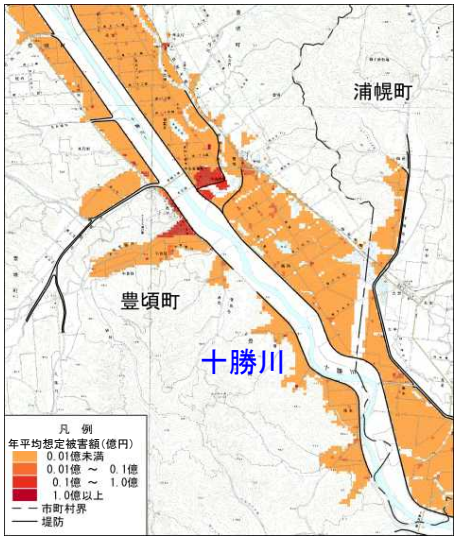
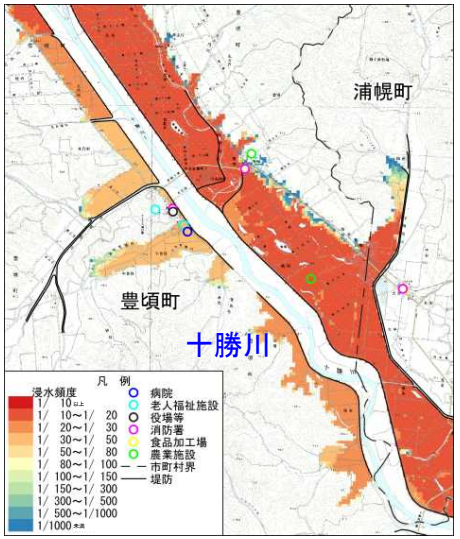
	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
過去実験				
2℃上昇実験				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域（豊頃町エリア）

豊頃町エリア

浸水確率が高い領域が広範囲に広がっていることに加え、人口・資産が集中する地区があることから、社会的な影響が各方面に広がることが想定。

	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
過去実験				
2℃上昇実験				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い箇所における当面の適応策（池田町、豊頃町）

■社会的リスクが高い箇所では、浸水により地域全体に大きな影響を及ぼす可能性があることから、ハード・ソフト対策を提案し、早期の安全度の向上を目指す。

当面の適応策として考えられるメニュー案

（ハード対策）
・堤防強化対策
危機管理型ハード対策や、耐浸透機能などの観点から堤防を強化させる対策

（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策）
・霞堤や二線堤の保全・整備
・道路等の連続盛土構造物等の活用・保全
・樹林帯（氾濫流の軽減）
・農地のかさ上げ等、掘削土の農地への活用
・住まい方の工夫（水害リスクの低い地域への誘導）
など

（自助として実施する対策）
・住宅のピロティ化、浸水防御壁の整備、電源施設の耐水化、水害保険の加入　など

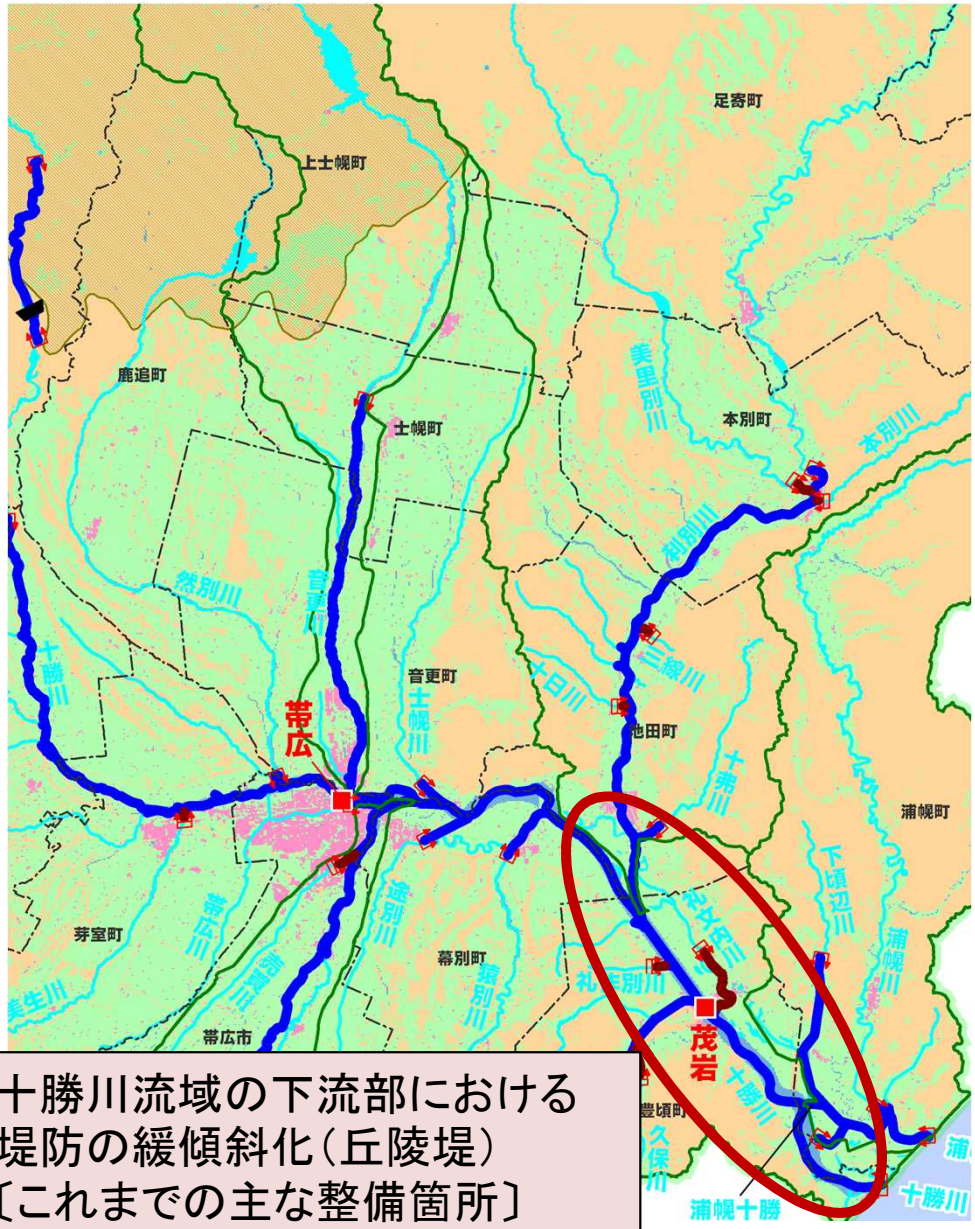
（ソフト対策）
・減災対策協議会におけるリスク情報の共有
・タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施
・水位周知河川等への指定、想定最大規模の洪水浸水想定区域図等の公表推進
・洪水情報のプッシュ型配信
・住民参加型の共同点検の推進
・水防災に関する啓発活動の強化
など

（ソフト対策を支援するための対応）
・避難行動を支援する築山、避難路の確保
・危機管理型水位計、CCTVの整備
・浸水深が大きい地区における排水機場の耐水化、アクセス路の確保　など

※実現の可能性や経済性などの観点を勘案して、今後検討を進める。

当面の治水適応策（対策メニュー案）〔十勝川下流部における丘陵堤による堤防強化〕

■ 十勝川下流部においては、泥炭地盤等への対応として、緩傾斜とした丘陵堤により堤防整備を行っている。
■ 掘削残土の有効活用などとしての堤防の強化によって、氾濫流に対する被害を軽減させる。

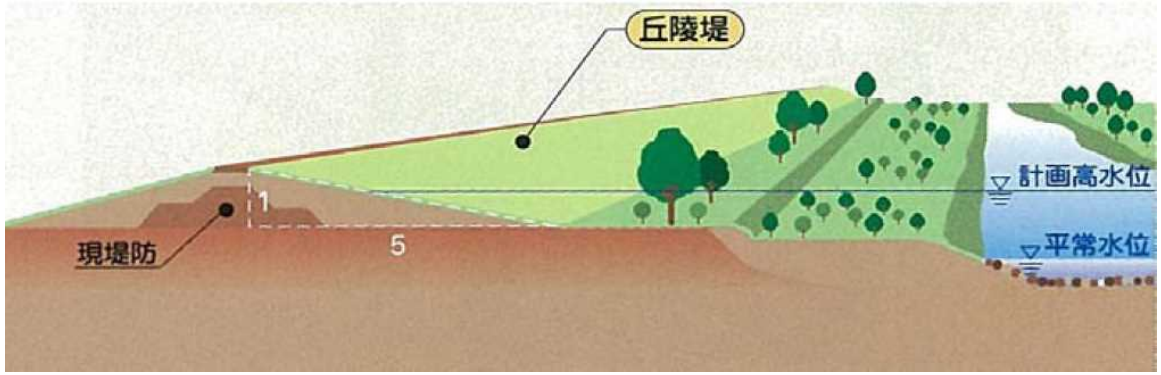


十勝川流域の下流部における堤防の緩傾斜化（丘陵堤）〔これまでの主な整備箇所〕



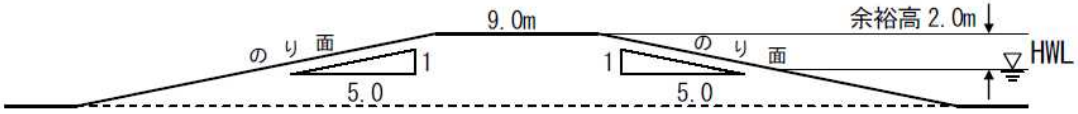
丘陵堤

十勝川下流部及び利別川下流部は、のり勾配を緩傾斜にした丘陵堤の整備をこれまでに実施。



丘陵堤イメージ

十勝川（河口～KP37.6における整備区間）



十勝川丘陵堤区間 標準断面図（整備計画）

当面の治水適応策対策メニュー案）〔掘削残土の活用した農地のかさ上げ〕

■平成28年の洪水においては、被害の大きかった十勝川、常呂川、石狩川において、被災農地へ掘削土砂を提供した。
平成30年7月までに総量約67万m^3を運搬し、早期の農地復旧を支援した実績がある。
■こうしたことから、掘削残土を有効活用する観点から、掘削土を農地に搬入することにより農地をかさ上げし、農地の浸水被害の軽減を図る。

河川事業による被災農地の災害復旧支援



営農が再開できるまで農地が回復（帯広市）



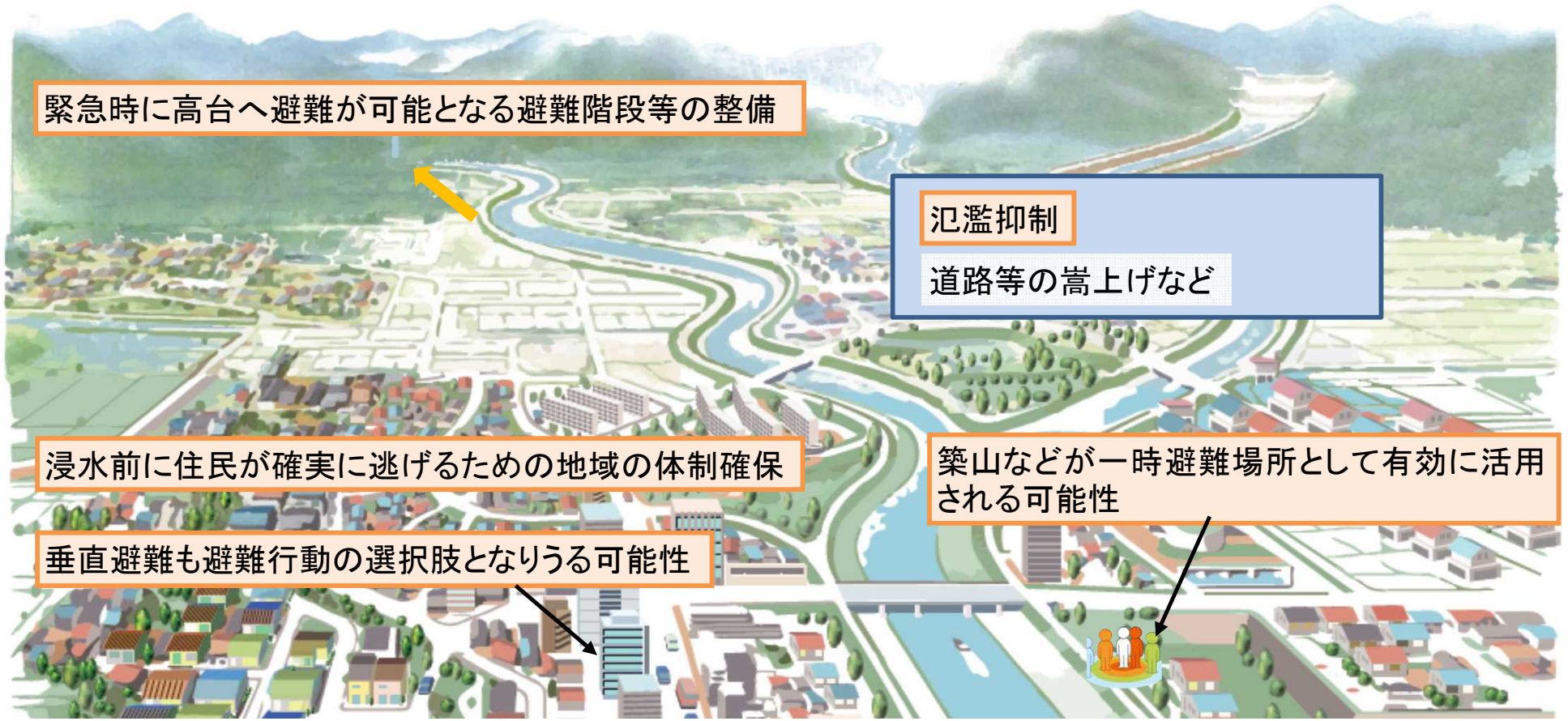
住民避難を実効性あるものとするためのソフト対策等（メニュー案）

■ 十勝川流域の下流部では、人口・資産が点在するなか、気候変動により広範囲にわたり浸水リスクの増加が想定される地域である。このため、

〇住民避難を確実に行うための実効的な体制を確保する必要がある。

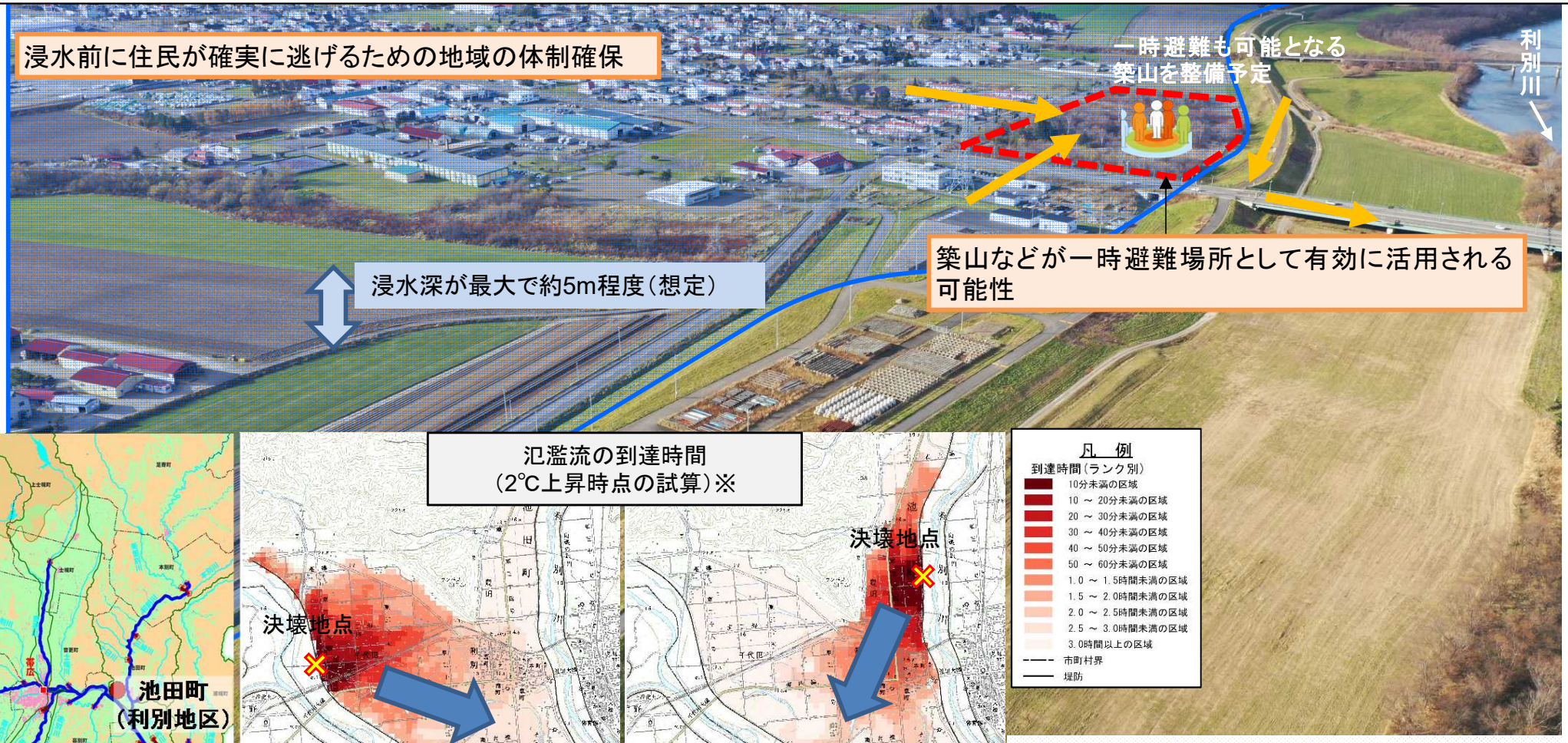
〇周辺に高台等が多くは存在しない地域においては築山の整備などによる垂直避難等が、高台等がある場合には避難が可能となる避難路の整備等が、命を守るための緊急的な避難行動に活用される可能性がある。

〇道路等のかさ上げによる、氾濫流の軽減により、避難が可能となる時間を引き延ばす可能性がある。

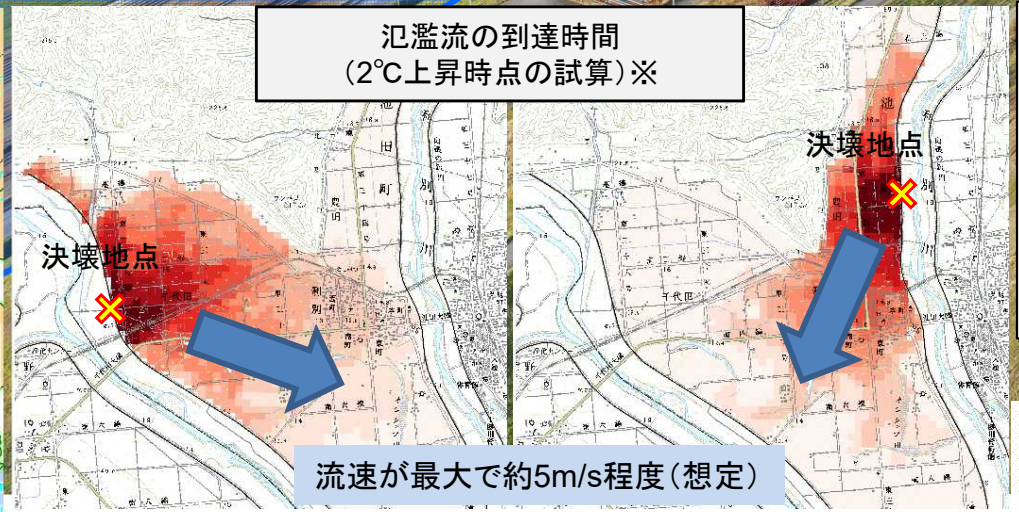


気候変動のリスクを踏まえたソフト対策等の事例（池田町利別地区）

- 池田町（利別地区）は、川と川に挟まれた地域であり、気候変動によって広範囲で浸水することが想定。氾濫流の流速が速く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードも早いことが想定される。
- 堤防強化（危機管理型ハード対策）により、避難のためのリードタイムを少しでも確保する必要がある。また、周辺に高台や垂直避難が可能な建物が多くは存在せず、避難が困難な地区であることから、築山の整備などにより避難場所を確保する必要がある。
- 今後、こうした気候変動リスクを踏まえて、確実な避難のために必要な方策を、関係者が連携して検討していく必要がある。







※氾濫流の到達時間：将来実験（2℃上昇時点：3240ケース）のうち流域内の想定死者数が最多となるケースにおいて、図中で示す箇所が決壊した場合の氾濫流の到達時間を試算。

気候変動のリスクを踏まえたソフト対策等の事例（池田町）

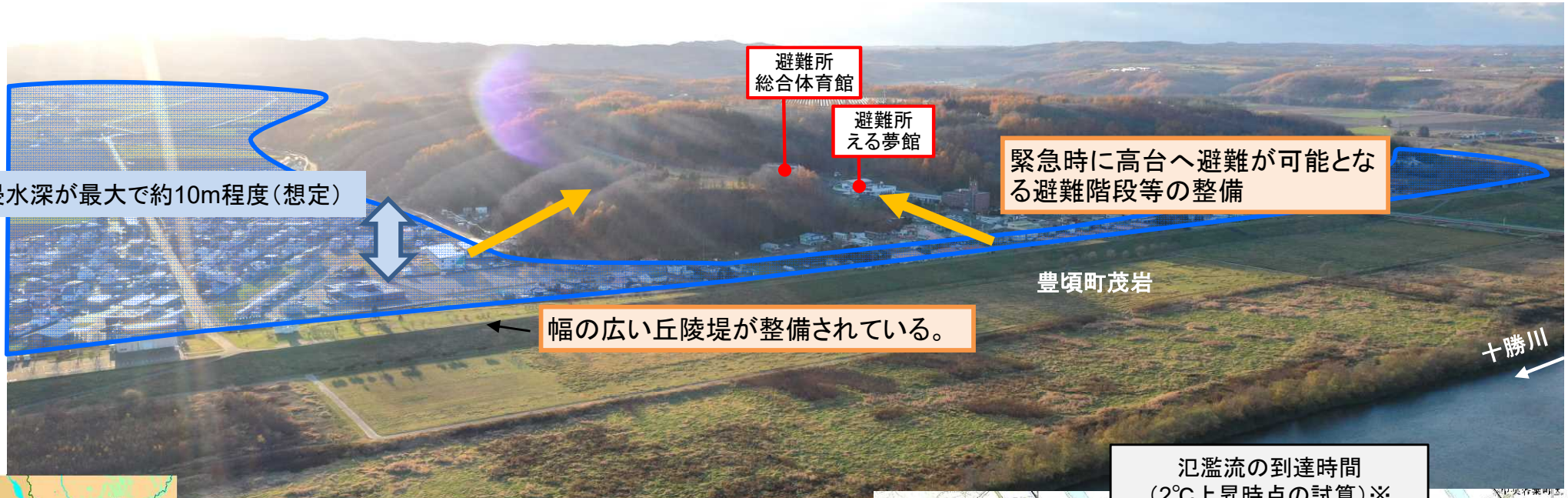
- 利別川に沿って立地する池田町中心部は、気候変動によって広範囲で浸水することが想定。氾濫流の流速が速く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードも早いことが想定される。
- 浸水エリアが河川近傍に限定された形状をしており、周辺には高台や高層の建物もあるため、高台への避難路や垂直避難を進める必要がある。
- 今後、こうした気候変動リスクを踏まえて、確実な避難のために必要な方策を、関係者が連携して検討していく必要がある。

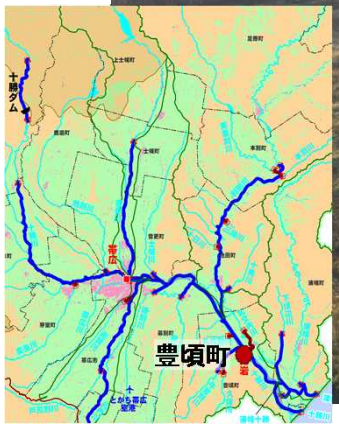


※氾濫流の到達時間：将来実験（2℃上昇時点：3240ケース）のうち流域内の想定死者数が最多となるケースにおいて、図中で示す箇所が決壊した場合の氾濫流の到達時間を試算。

気候変動のリスクを踏まえたソフト対策等の事例（豊頃町）

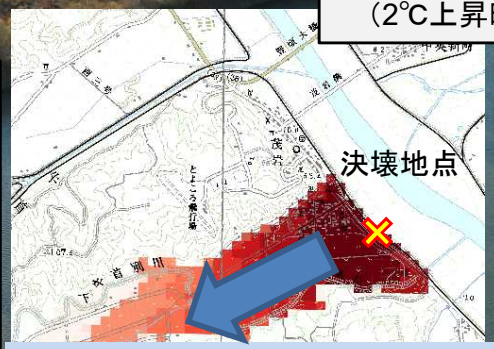
■ 十勝川下流に位置する豊頃町の中心部は、気候変動によって広範囲で浸水することが想定。氾濫流の流速が速く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードも早いことが想定される。
■ 周辺には高台が立地しており、高台への避難路を確保する必要がある。
■ 今後、こうした気候変動リスクを踏まえて、確実な避難のために必要な方策を、関係者が連携して検討していく必要がある。





凡　例
到達時間（ランク別）
10分未満の区域
10 ～ 20分未満の区域
20 ～ 30分未満の区域
30 ～ 40分未満の区域
40 ～ 50分未満の区域
50 ～ 60分未満の区域
1．0 ～ 1．5時間未満の区域
1．5 ～ 2．0時間未満の区域
2．0 ～ 2．5時間未満の区域
2．5 ～ 3．0時間未満の区域
3．0時間以上の区域
市町村界
堤防

氾濫流の到達時間
（2℃上昇時点の試算）※





流速が最大で約5m/s程度（想定）　流速が最大で約3m/s程度（想定）

※氾濫流の到達時間：将来実験（2℃上昇時点：3240ケース）のうち流域内の想定死者数が最多となるケースにおいて、図中で示す箇所が決壊した場合の氾濫流の到達時間を試算。

ソフト対策等を地域が選択できる仕組みづくり

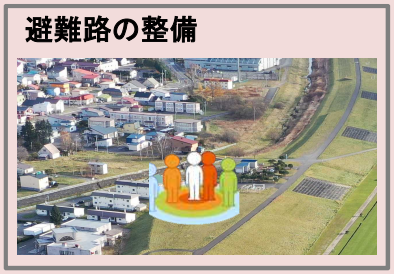
■ソフト対策等については、社会的リスクの高い地域はもちろん、社会的リスクの程度に関わらず、地域においてしっかりと議論し、リスクに応じた対策を地域が選択できるような仕組みとすることが重要となる。
■このため、流域委員会や減災対策協議会等の場を活用して、地域の将来の水災害リスクをわかりやすく情報発信しながら議論を深めるとともに、地域の様々な主体とも連携することにより、地域のソフト対策等を着実に社会実装していくことが重要となる。

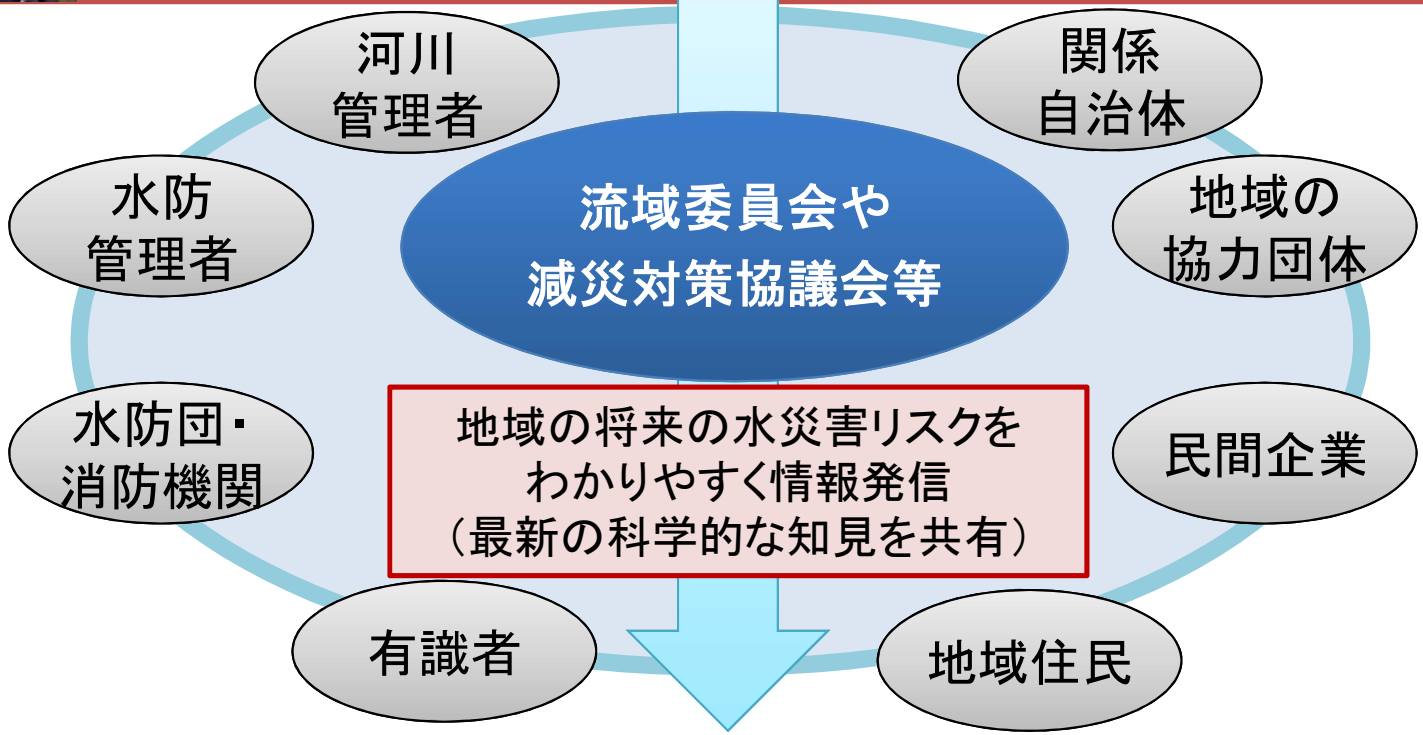




ソフト対策等のメニュー案







地域で取り得る対策を選択、社会実装

8－2. 当面の適応策の効果検証

8－1. 想定される当面の適応策の抽出

↓

8－2. 当面の適応策の効果検証

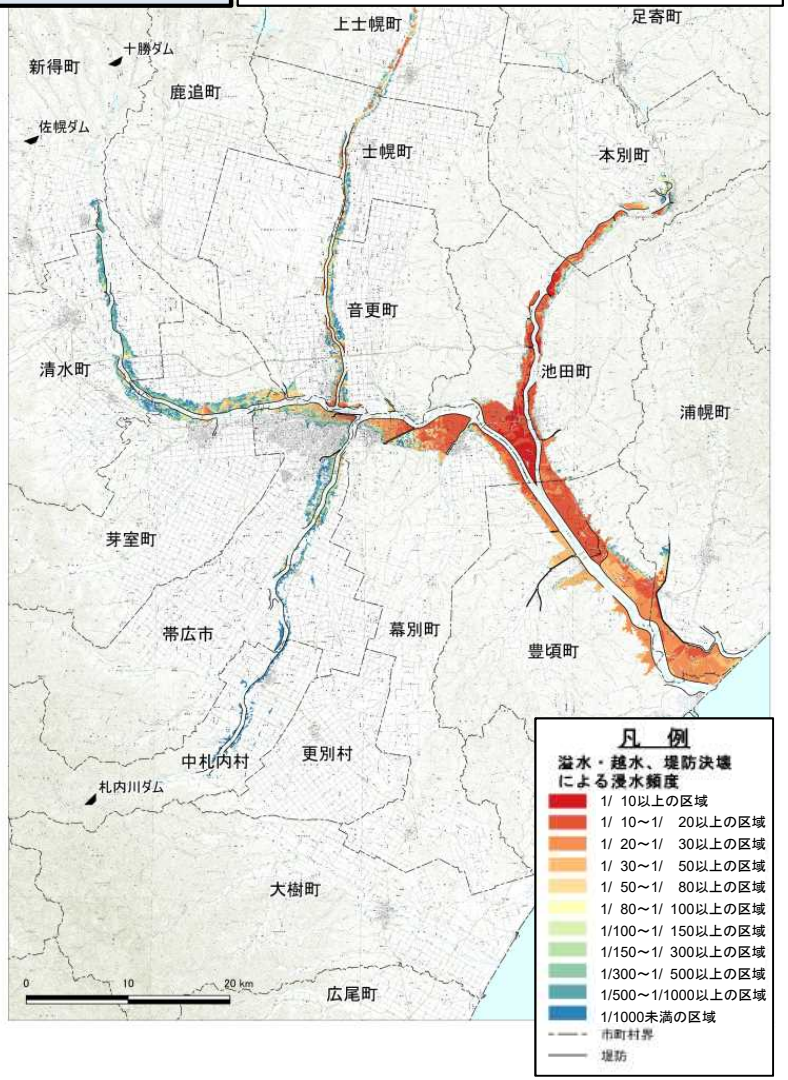
↓

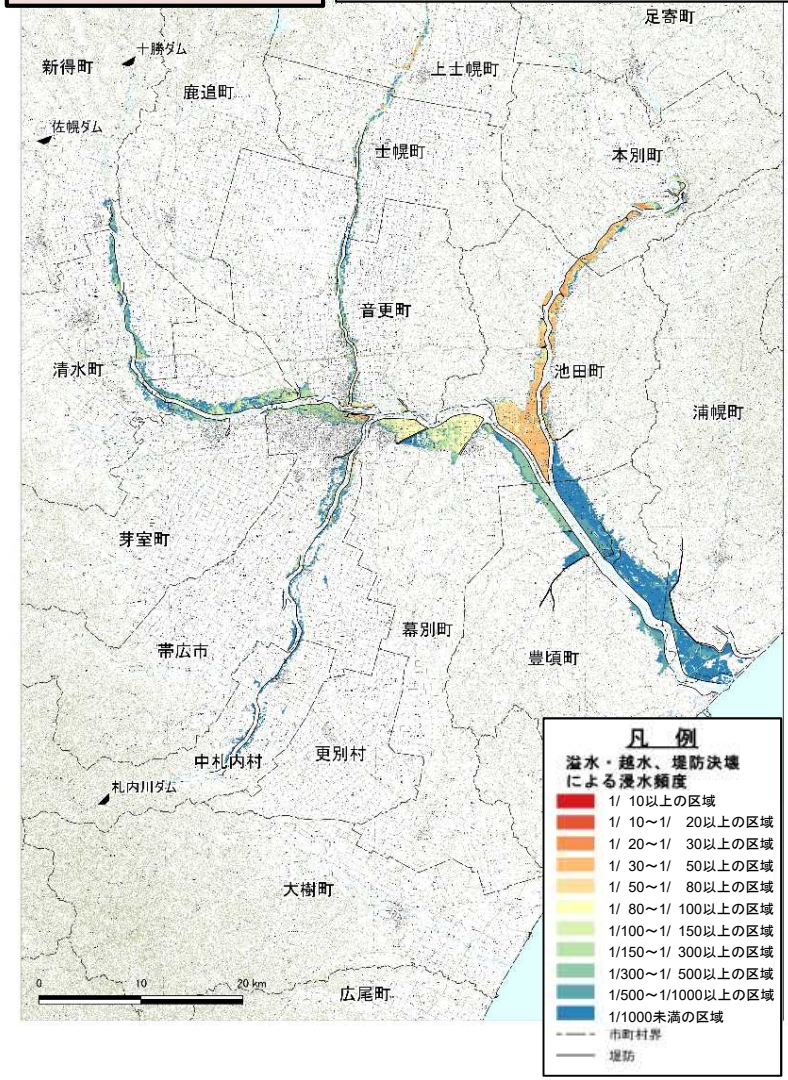
8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

十勝川流域における当面の適応策による浸水確率の変化（2℃上昇実験）

■ 気候変動により気温が2℃上昇した際の外力において、当面の適応策として想定した内容を実施することにより、浸水深が1m以上となる浸水確率を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	2℃上昇した際に想定される浸水深が1m以上となる確率	当面の適応策実施を想定	2℃上昇した際に想定される浸水深が1m以上となる確率



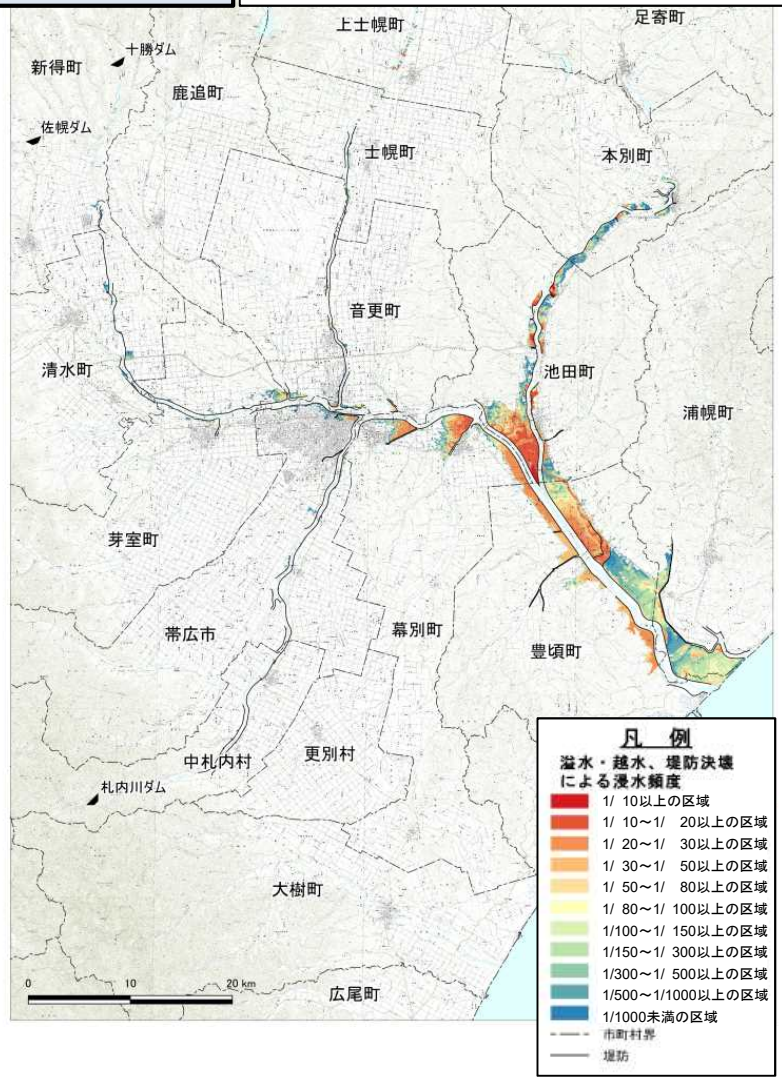


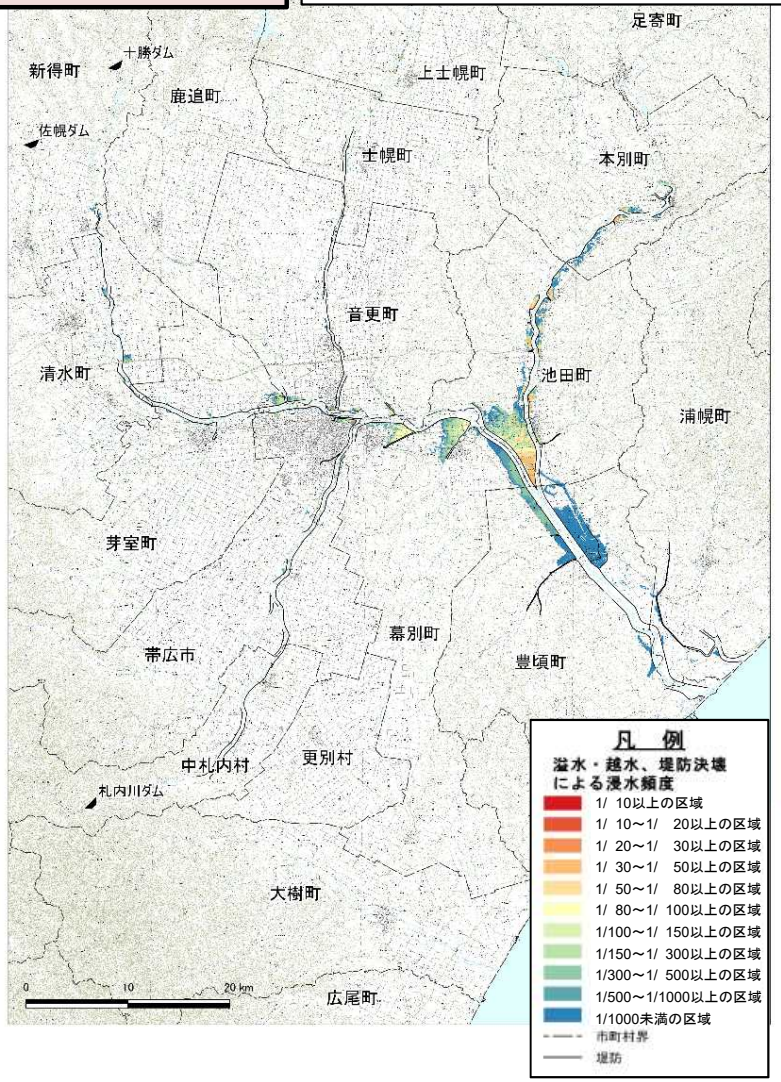
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における当面の適応策による浸水確率の変化（2℃上昇実験）

■ 気候変動により気温が2℃上昇した際の外力において、当面の適応策として想定した内容を実施することにより、浸水深が3.2m以上となる浸水確率を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	2℃上昇した際に想定される浸水深が3.2m以上となる確率	当面の適応策実施を想定	2℃上昇した際に想定される浸水深が3.2m以上となる確率



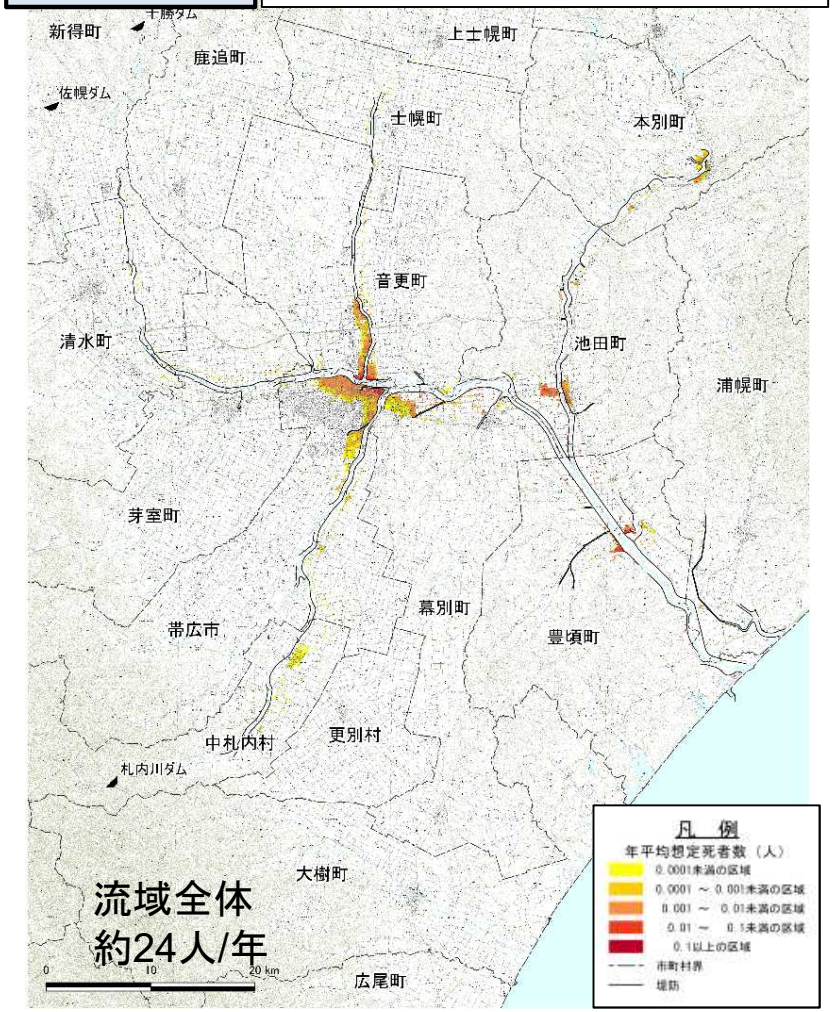


※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

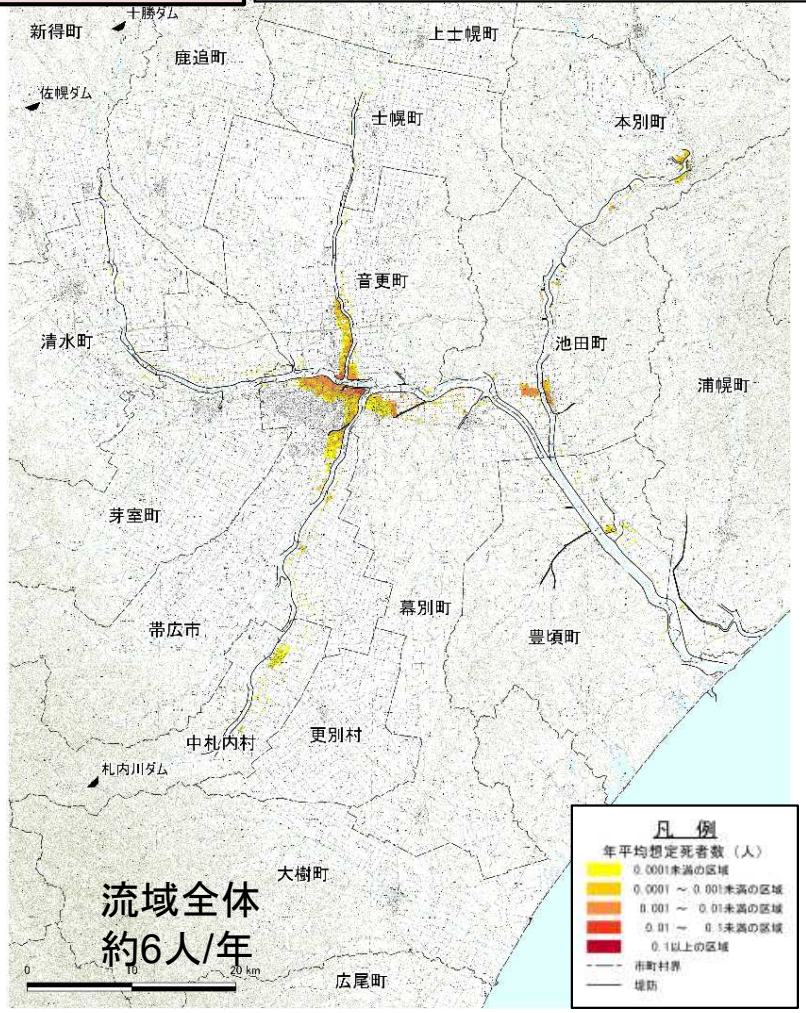
十勝川流域における当面の適応策による年平均想定死者数の変化（2℃上昇実験）

■ 気候変動により気温が2℃上昇した際の外力において、当面の適応策として想定した内容を実施することにより、年平均想定死者数を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	2℃上昇した際に想定される年平均想定死者数



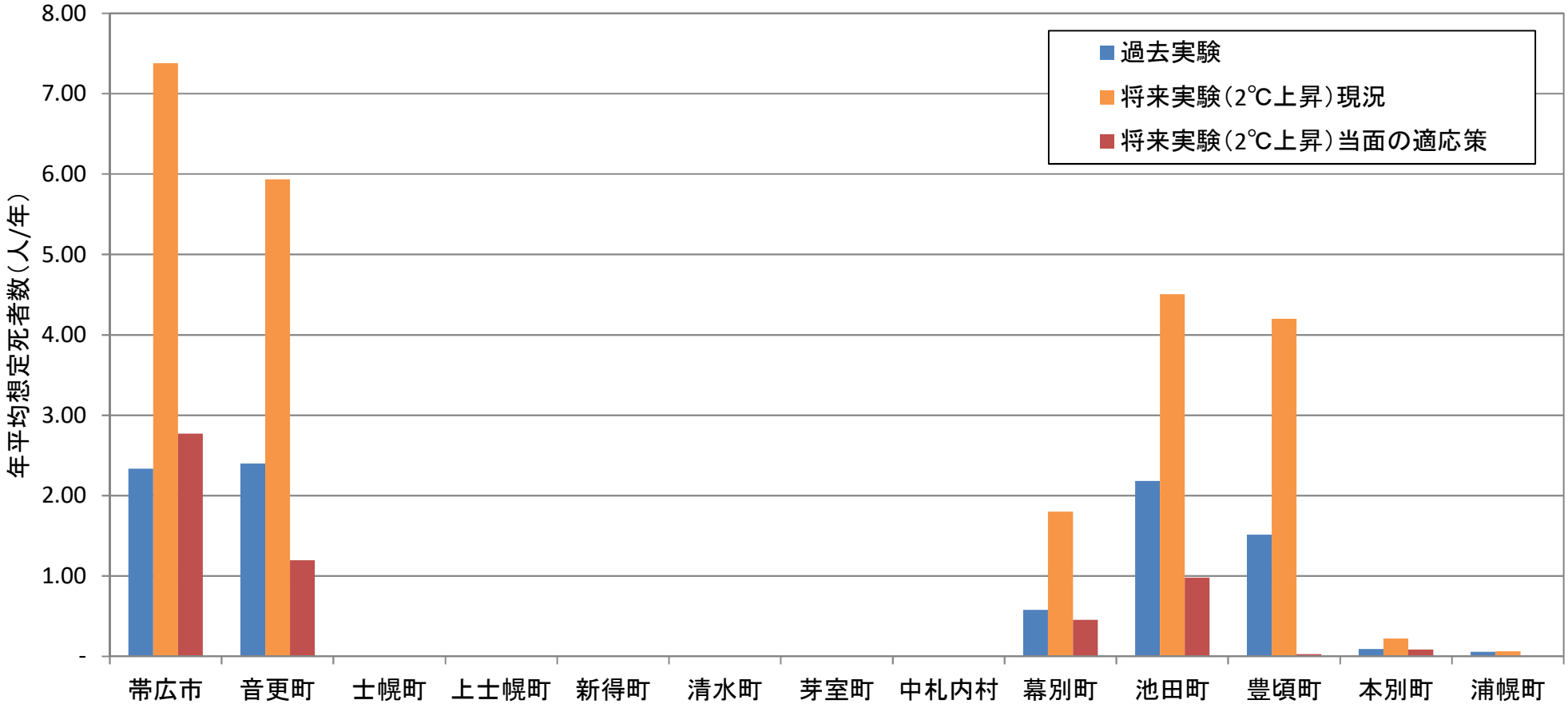
当面の適応策実施を想定	2℃上昇した際に想定される年平均想定死者数



※2℃上昇実験3240ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

十勝川流域における当面の適応策による年平均想定死者数の変化（2℃上昇実験）

■ 各市町村ともに、2℃上昇時には年平均想定死者数の大幅な増加が見込まれていたが、当面の適応策を実施することによって、過去実験と同程度まで年平均想定死者数を低下させる試算結果となった。

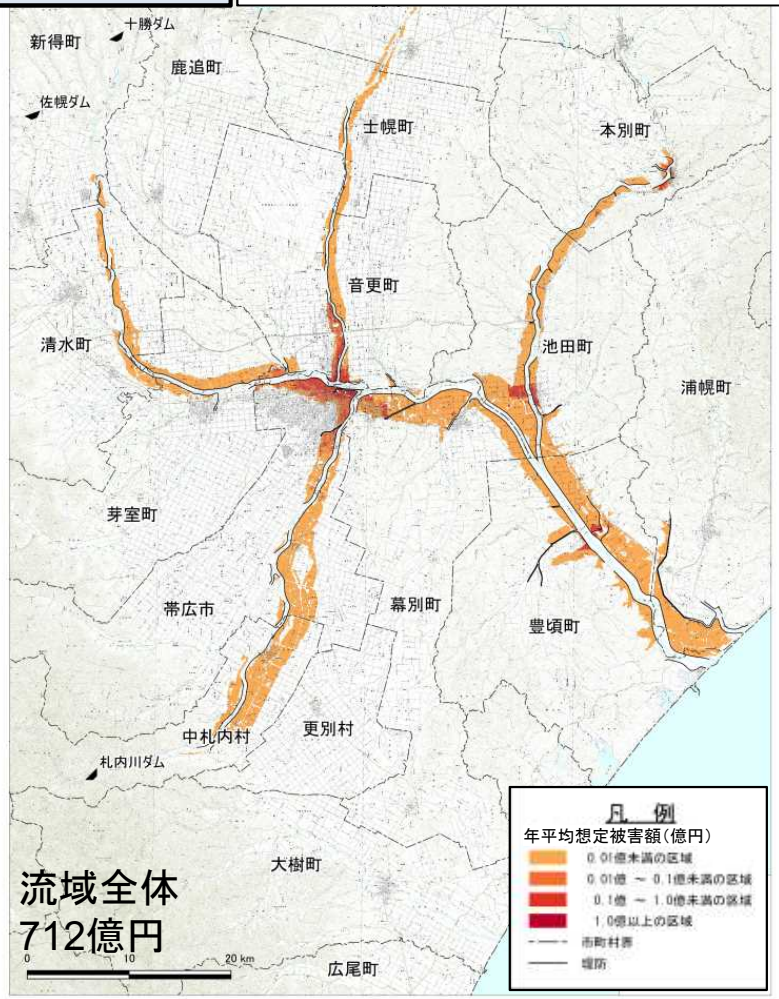


※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

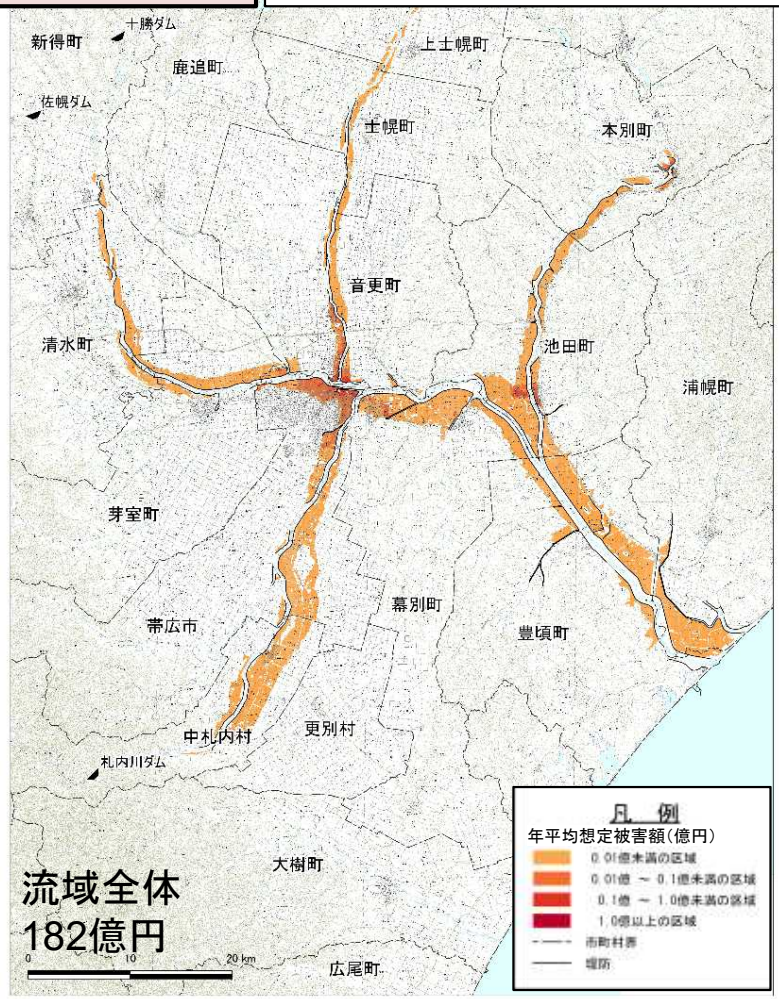
十勝川流域における当面の適応策によるリスクの変化（2℃上昇実験）：年平均想定被害額

■ 気候変動により気温が2℃上昇した際の外力において、当面の適応策として想定した内容を実施することにより、年平均想定被害額を低下させる試算結果となった。

現況施設状態	2℃上昇した際に想定される年平均想定被害額



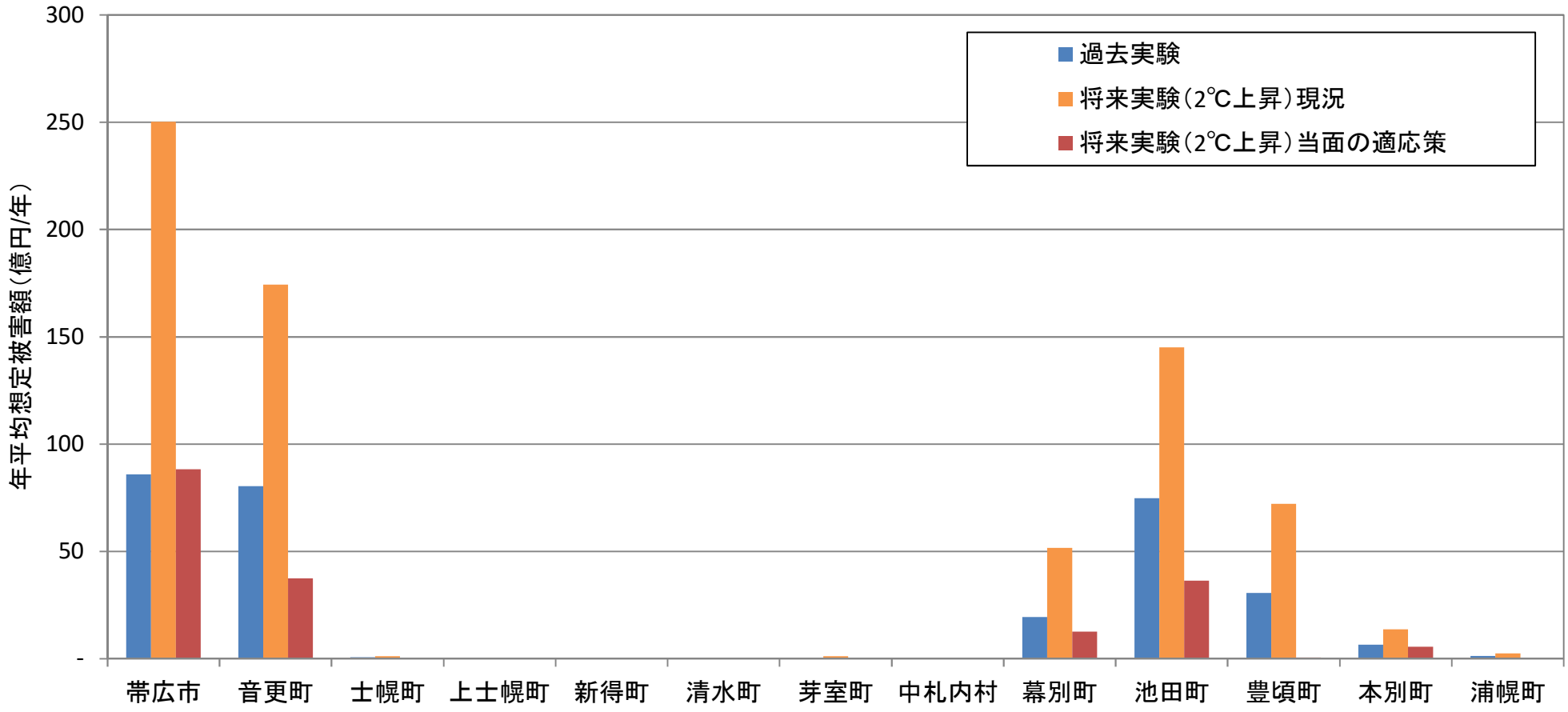
当面の適応策実施を想定	2℃上昇した際に想定される年平均想定被害額



※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における当面の適応策によるリスクの変化（2℃上昇実験）：年平均想定被害額

■ 各市町村ともに、2℃上昇時には年平均想定被害額の大幅な増加が見込まれていたが、当面の適応策として想定した内容を実施することで、過去実験と同程度まで年平均想定被害額を低下させる試算結果となった。



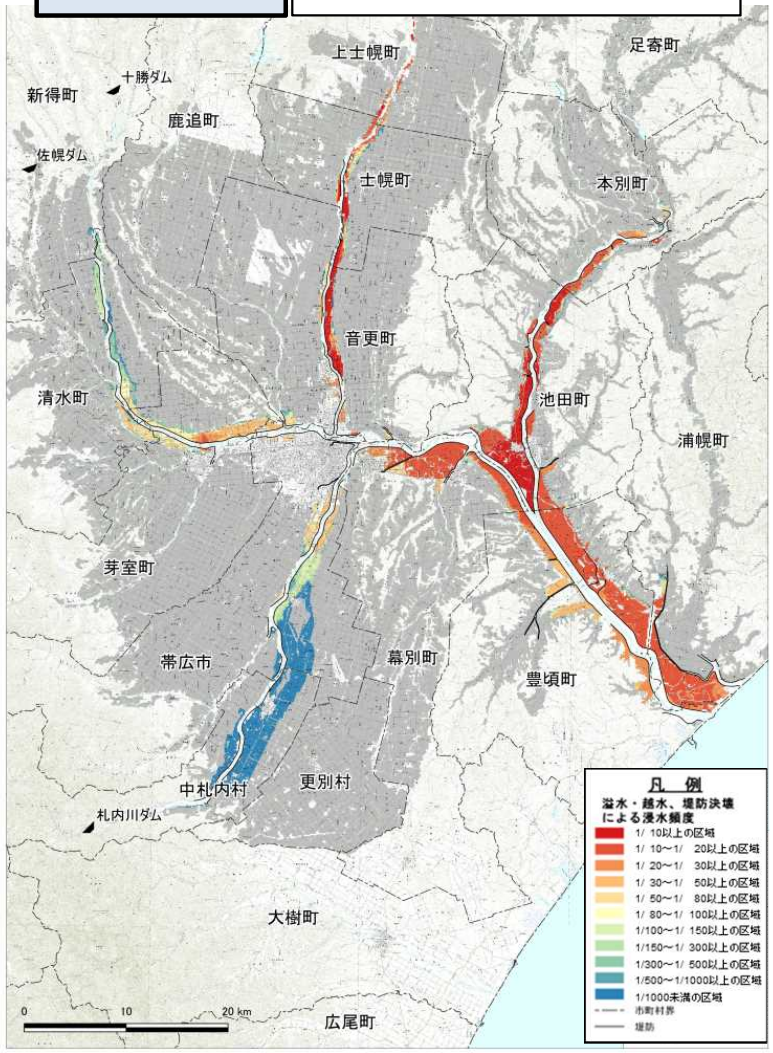
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

十勝川流域における当面の適応策によるリスクの変化（2℃上昇実験）：農地の浸水確率

■ 気候変動により気温が2℃上昇した際の外力において、当面の適応策として想定した内容を実施することにより、農地の浸水確率を低下させる試算結果となった。

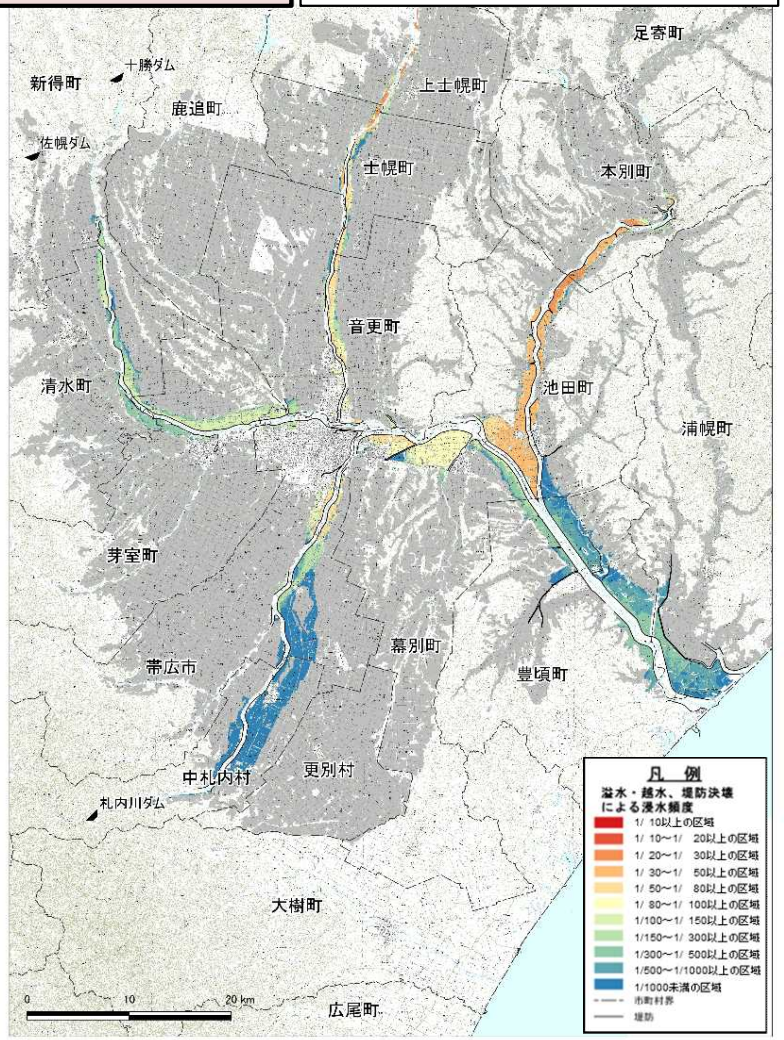
現況施設状態

2℃上昇した際に農地が浸水する確率



当面の適応策実施を想定

2℃上昇した際に農地が浸水する確率



※作物が浸水する水位（0cm以上）に達する浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（札内川、音更川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

8－1. 想定される当面の適応策の抽出

↓

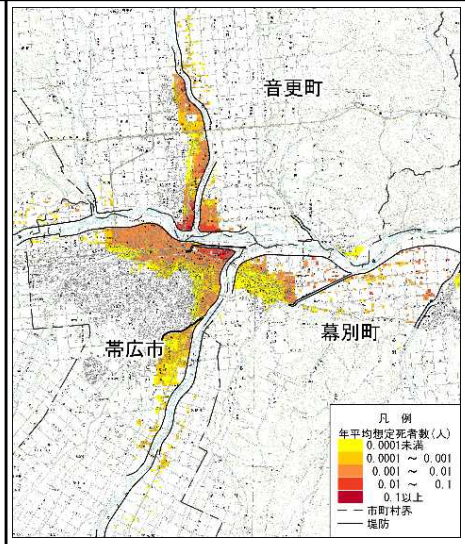
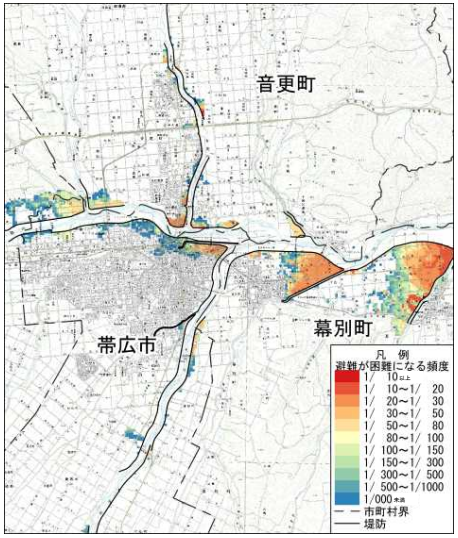
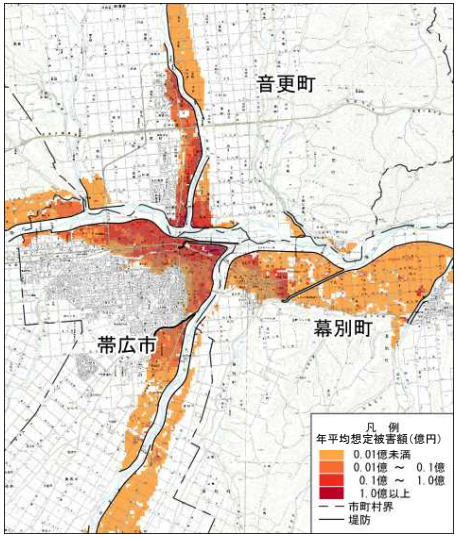
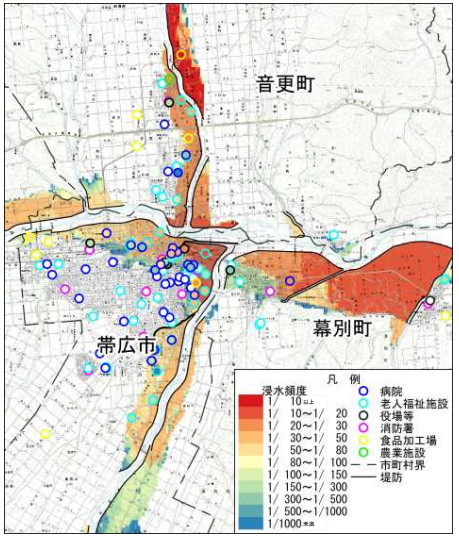
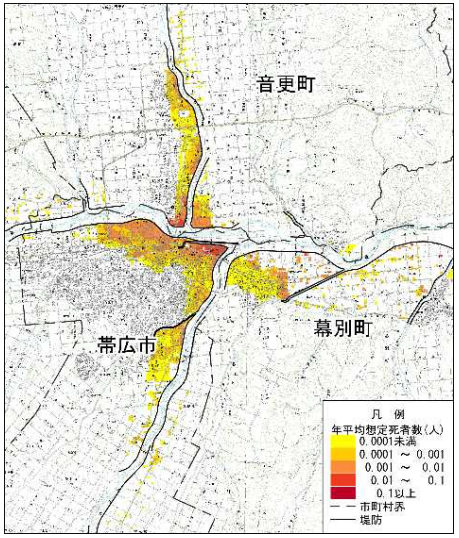
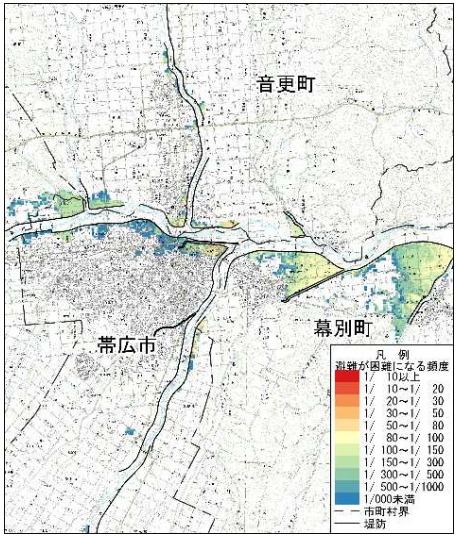
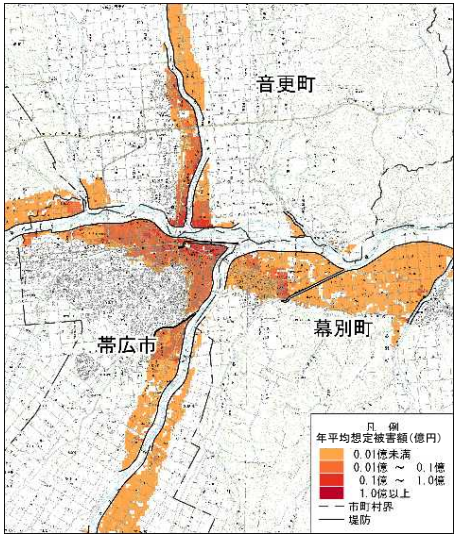
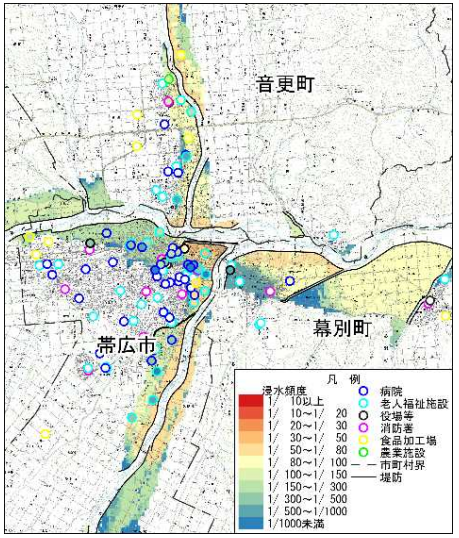
8－2. 当面の適応策の効果検証

↓

8－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

社会的リスクの高い地域（2℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 社会的リスクの高いエリアにおいても、気候変動により気温が2℃上昇した際の外力に対して、当面の適応策として想定した内容を実施することにより、年平均想定死者数や避難困難地域の分布、年平均想定被害額、被災する施設の浸水確率といった観点から、社会的リスクを低下させる試算結果となった。

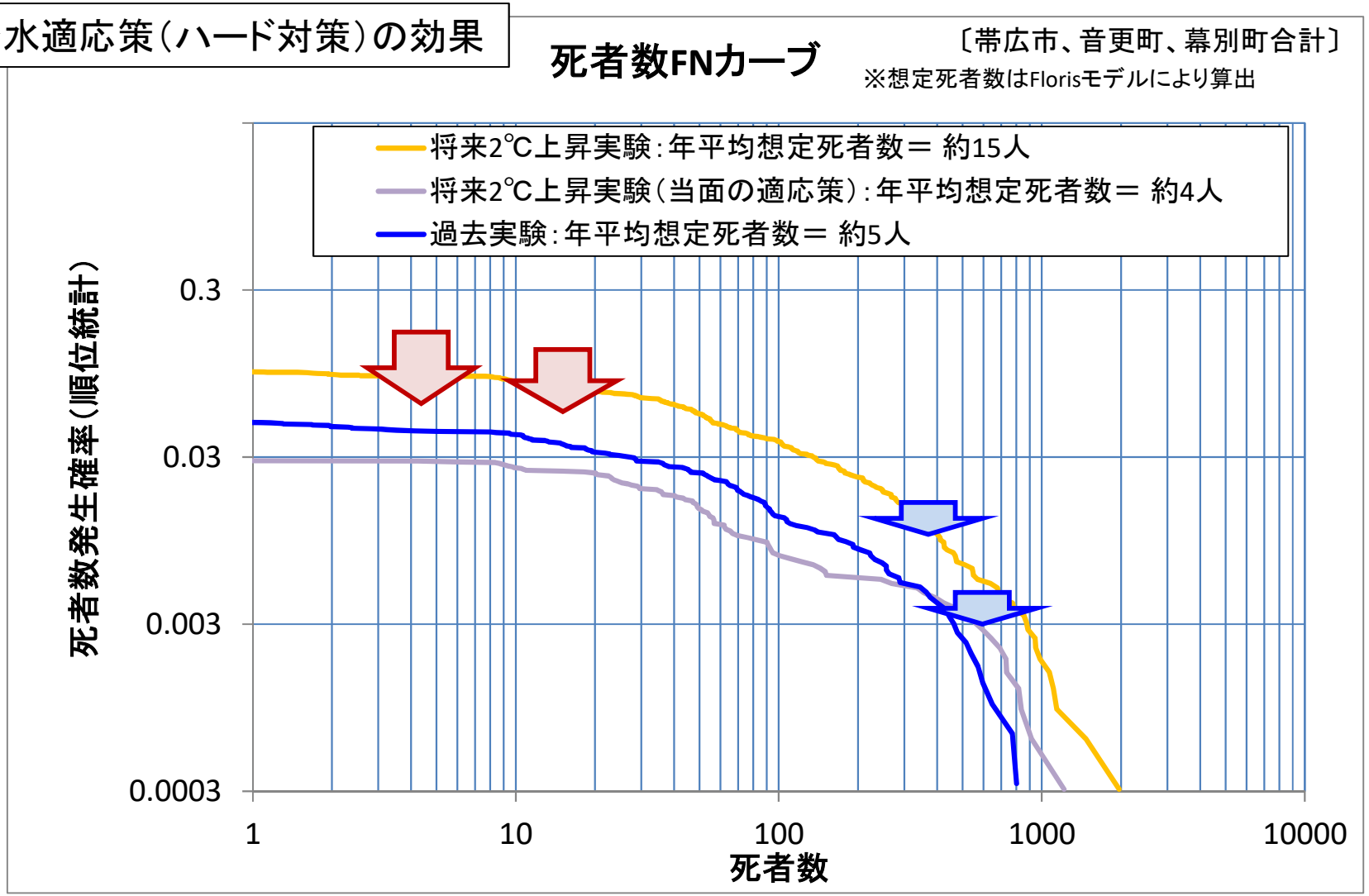
	年平均想定死者数	避難困難地域	年平均想定被害額	被災する施設※
現況施設状態（2℃上昇）				
当面の適応策実施を想定（2℃上昇）				

※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、食品加工場および農業施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域（2℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 社会的リスクの大きい帯広市、音更町、幕別町エリアにおいて、当面の適応策による効果の傾向を把握するために、FNカーブを用いて分析を行った。
■ こうしたところ、上述エリアにおいては、気候変動により気温が2℃上昇した際の外力に対して、当面の治水適応策（ハード対策）として想定した内容を実施することにより、同一の想定死者数が生ずる確率は、洪水の発生頻度が高い洪水ほど低減される傾向にある。他方、洪水の発生頻度が低い大洪水となると、同一の想定死者数が生ずる確率の低減効果は小さくなる傾向にある。

当面の治水適応策（ハード対策）の効果



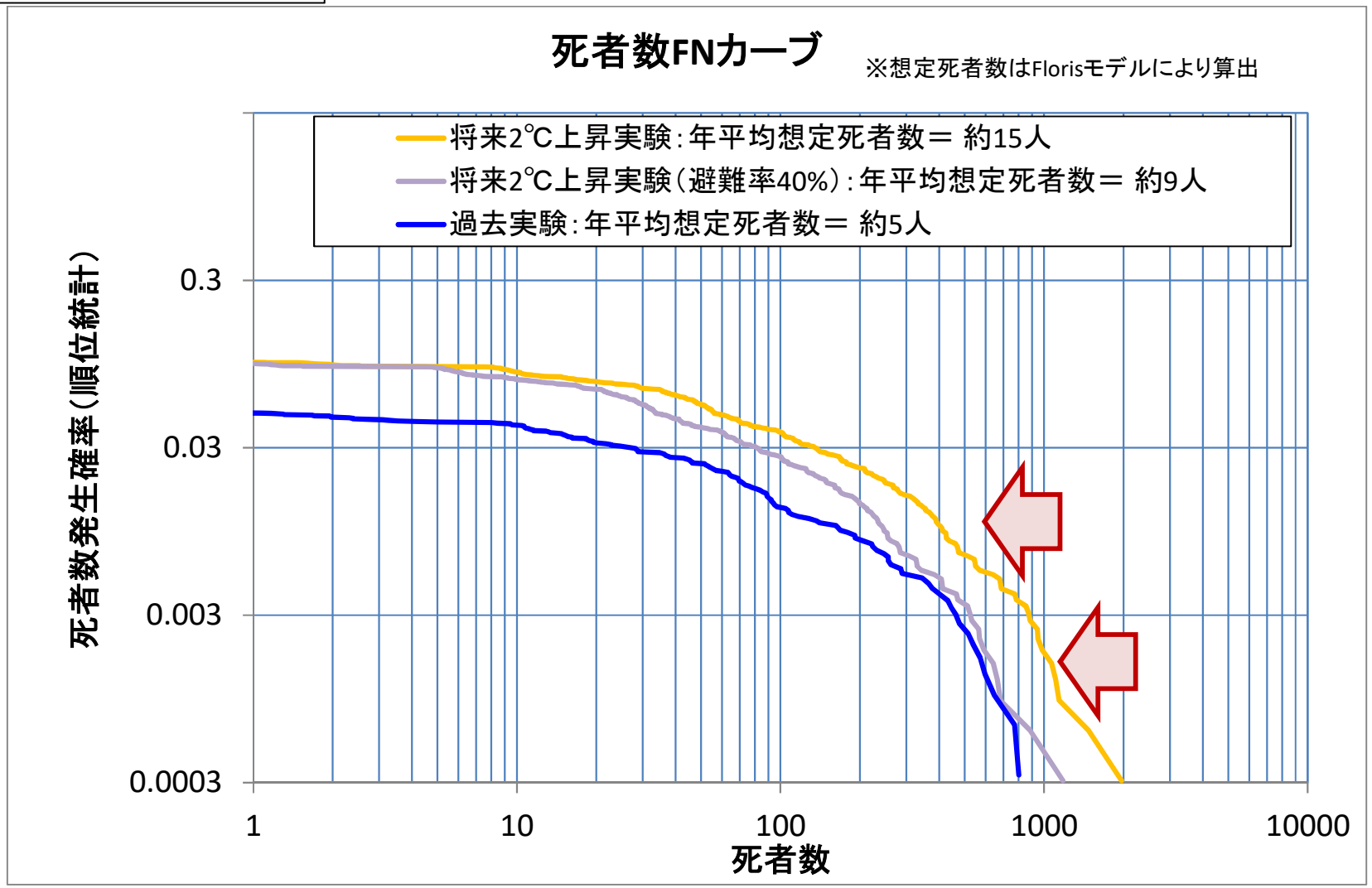
社会的リスクの高い地域（2℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

- 帯広市、音更町、幕別町エリアにおいては、気候変動により気温が2℃上昇した際の外力に対して、避難率を例えば40%※に引き上げた場合には、特に洪水の発生頻度が低い大洪水に対して、同一確率で発生する洪水に対する想定死者数の低減効果が大きくなる。
- 避難による効果は不確実性を伴うものであるが、FNカーブを用いることによって、避難による効果を一定程度、表現できる可能性がある。

※「水害の被害指標分析の手引き（H25試行版）」では検討ケースとして避難率0%、40%、80%が示されている。

〔帯広市、音更町、幕別町合計〕

避難率40%の効果



社会的リスクの高い地域（2℃上昇実験）：帯広市、音更町、幕別町エリア（事例）

■ 帯広市、音更町、幕別町エリアにおいては、気候変動により気温が2℃上昇した際の外力に対して、当面の治水適応策（ハード対策）として想定した内容に加えて避難も考慮することによって、FNカーブを現状と同程度にまで低減させることができる可能性が示された。

当面の治水適応策（ハード対策）＋避難率40%の効果

〔帯広市、音更町、幕別町合計〕

