常呂川における
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（常呂川の場合：1/100）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	・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
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	

9. 常呂川流域の概要

常呂川の流域および河川の概要

■常呂川は、北海道北東部を流れ、北見市街地で支川無加川が合流しオホーツク海に注ぐ、流域面積：1,930km²、幹川流路延長：120kmの一級河川である。その流域は、北見市、訓子府町、置戸町の1市2町からなり、オホーツク圏における社会・経済・文化の中核をなしている。
■流域の土地利用は、約8割を森林が占め、中流域及び下流域の河川沿いに市街地や農地が分布している。
■流域の産業は、北見市を中心とした商業のほか、農業、水産業が盛んであり、たまねぎやてんさい、ホタテの全国有数の産地となっている。

流域及び氾濫域の諸元

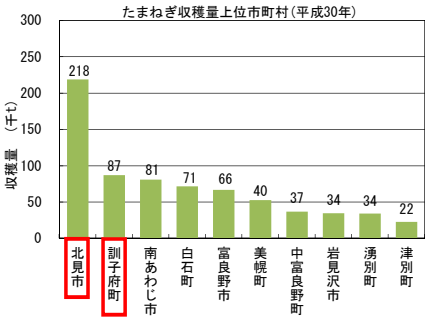
【常呂川流域】
流域面積　　：1,930km²（全国32位/109水系）
幹川流路延長　：120km　（全国38位/109水系）
（内、直轄管理区間87.6km）
流域内人口　　：約14万人
想定氾濫区域面積：116.8km2
想定氾濫区域内人口：約6万人
想定氾濫区域内資産：1兆529億円
関係市町村　　：1市2町（北見市、訓子府町、置戸町）

【うち、無加川流域】
流域面積　　：536.1km²
幹川流路延長　：74.6km
（内、直轄管理区間7.2km）

産業

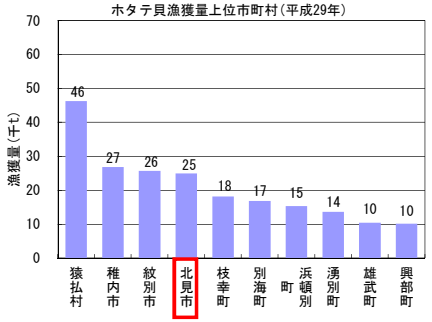
■ 中下流部は農地として明治初期からひらけ、たまねぎやてんさいの生産が盛んなほか、河口沿岸ではホタテ養殖等の漁業が行われている。
■ 特にたまねぎは、常呂川流域市町(北見市、訓子府町)での収穫量が、全国シェアの約30%(平成30年度調査)を占めている。


たまねぎ畑



出典：平成30年　作物統計調査　（農林水産省）


ホタテ漁



出典：平成29年　海面漁業生産統計調査　（農林水産省）

流域の土地利用

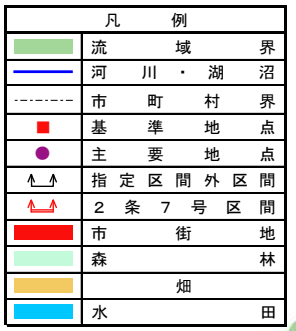
■ 流域の土地利用は、森林が82%、畑や水田などの農地が17%、宅地などの市街地が2%となっている。

（平成22年9月撮影）



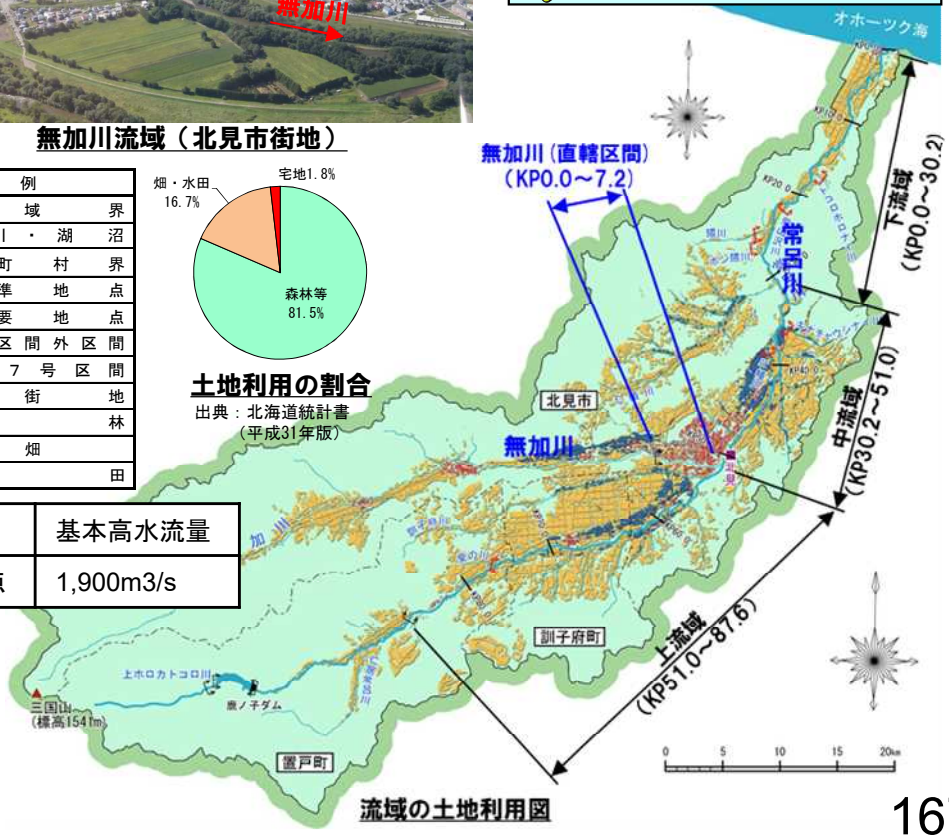


無加川流域（北見市街地）



土地利用の割合
出典：北海道統計書
（平成31年版）

	基本高水流量
北見基準点	1,900m3/s



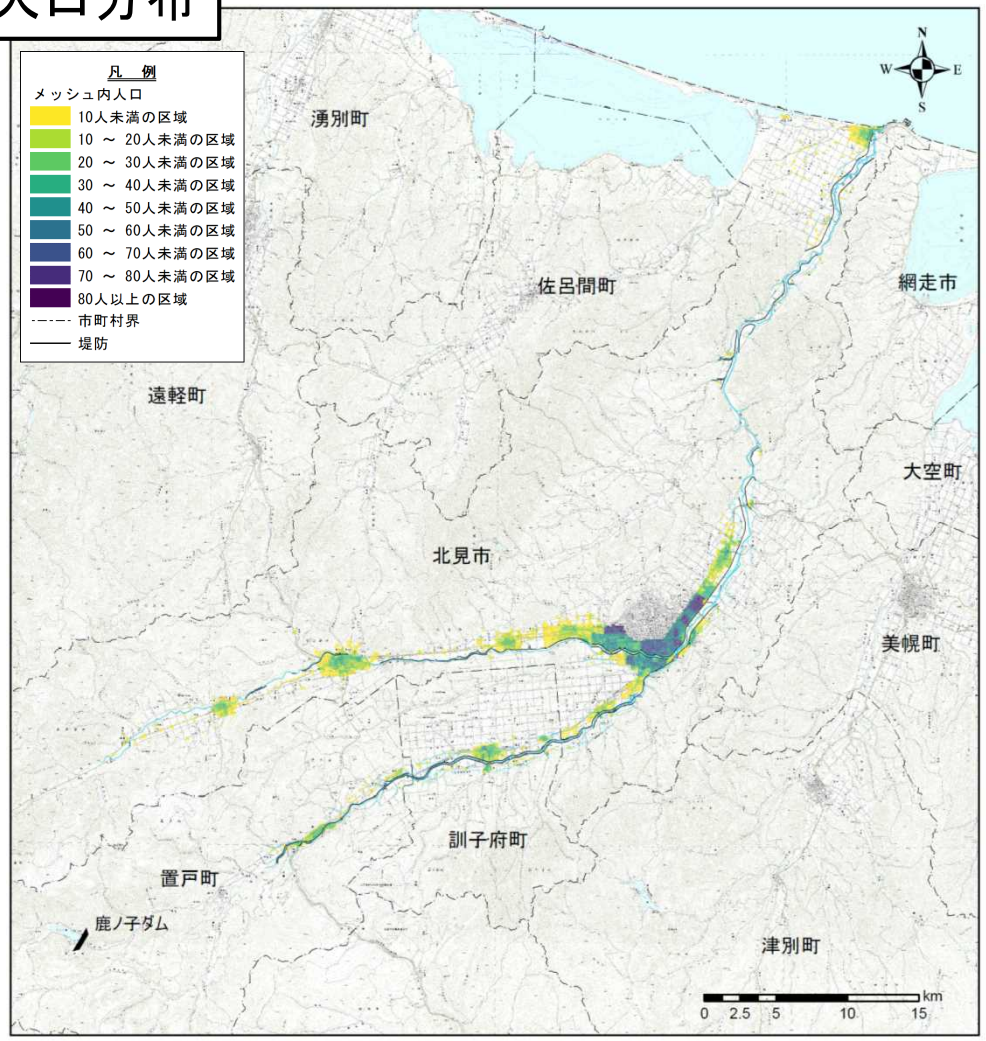
流域の土地利用図

（参考）常呂川水系の人口・資産分布について

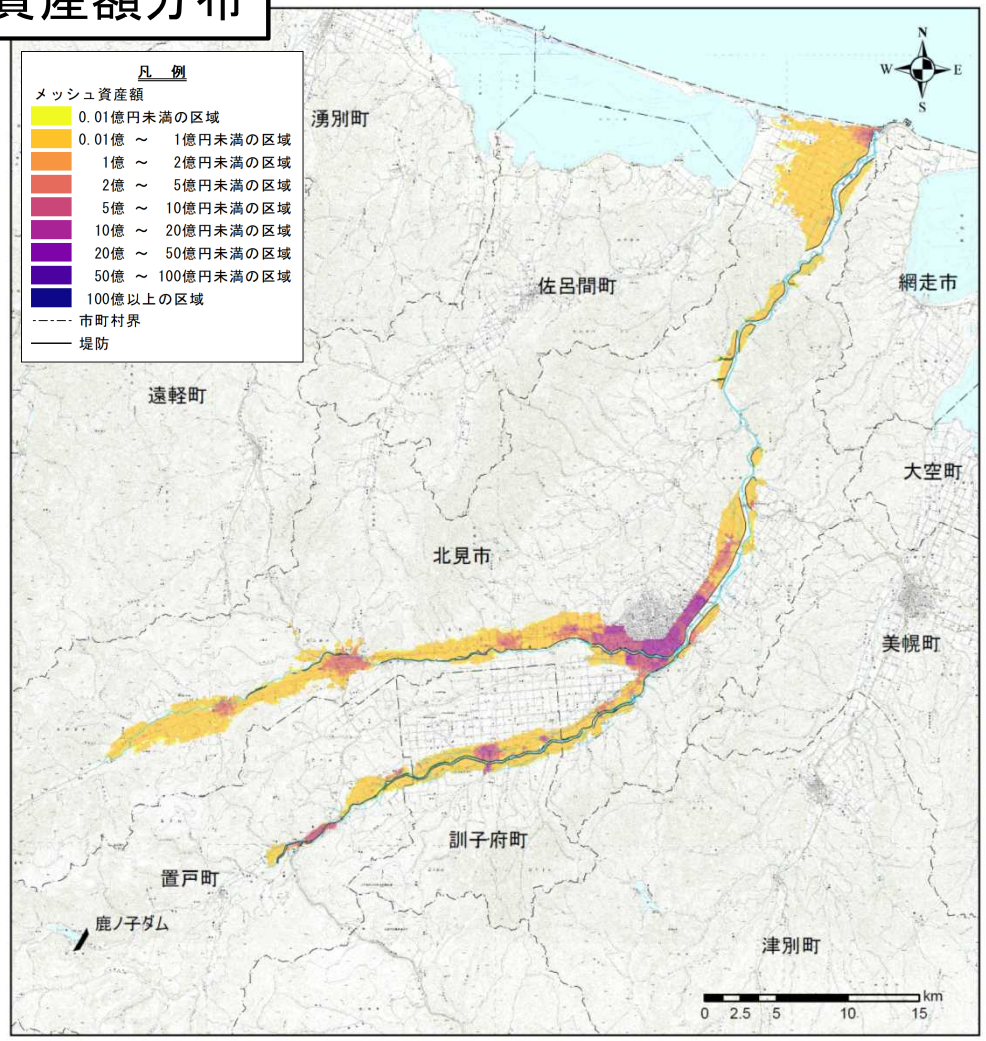
■ 常呂川流域は、北見市をはじめとする1市2町からなる。中流部に北見市が所在し、オホーツク地域の経済・産業・文化の拠点となっている。特に、北見市を中心とした北見圏は、近年、常呂川や無加川と平行する国道沿いに市街地が拡大している。

■ 下流部の常呂自治区、中流部の端野自治区や北見自治区、上流部の訓子府町や置戸町、無加川沿いの留辺藥自治区など、常呂川流域において人口・資産が集積する市街地が分散している。

人口分布



資産額分布



10. 降雨の設定

10－1. 気候予測アンサンブルデータ

10－2. 流域平均雨量について

10－3. ダウンスケーリングについて

10－4. バイアス補正について

10－5. 確率評価の考え方について

10－6. リサンプリングについて

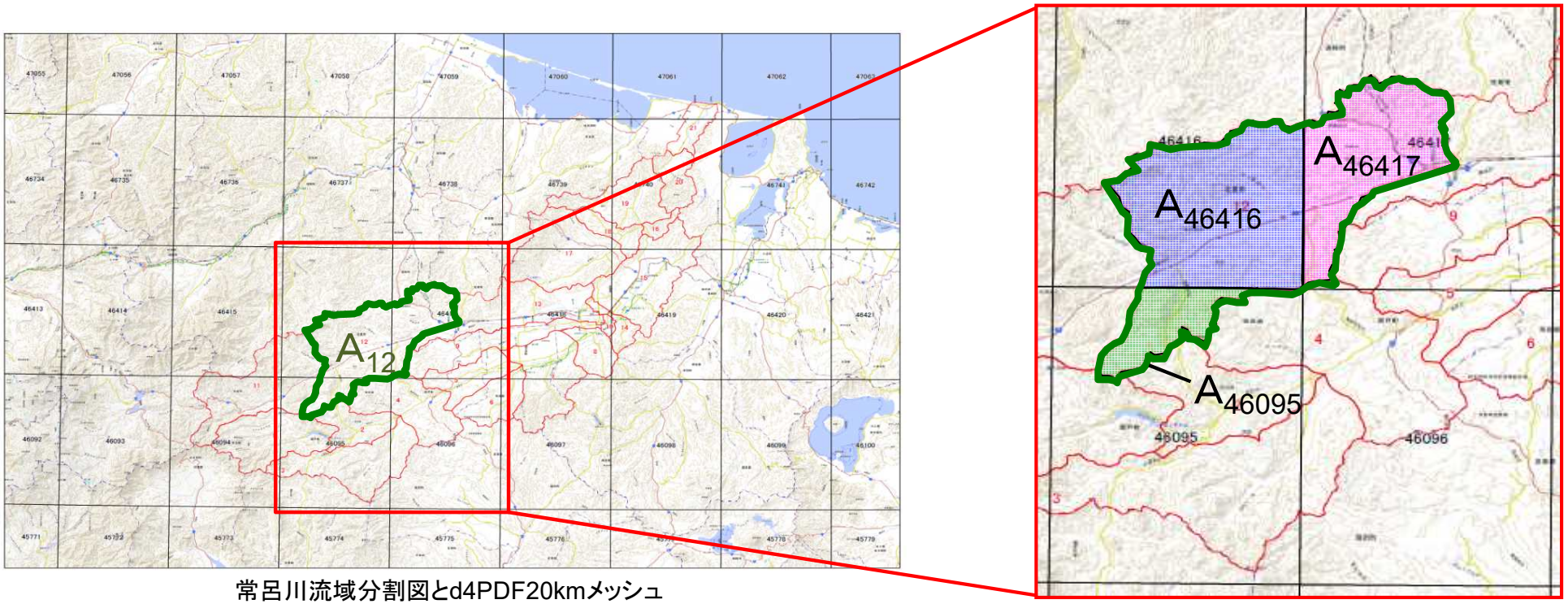
10－2. 流域平均雨量について

10－1. 気候予測アンサンブルデータ
↓
10－2. 流域平均雨量について
↓
10－3. ダウンスケーリングについて
↓
10－4. バイアス補正について
↓
10－5. 確率評価の考え方について
↓
10－6. リサンプリングについて

※十勝川における検討と同様となるため、以下では常呂川における検討結果に絞って記載した。詳細については十勝川における検討内容を参照されたい。

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と常呂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。



常呂川流域分割図とd4PDF20kmメッシュ

常呂川12番流域の例

時間雨量算定式

$$R_{12番流域}=(R_{46416}\times A_{46416}+R_{46417}\times A_{46417}+R_{46095}\times A_{46095})/A_{12番流域}$$

R　：時間雨量

添字：d4pdfメッシュ番号　or　常呂川流域番号

10−3. ダウンスケーリングについて

10−1. 気候予測アンサンブルデータ

↓

10−2. 流域平均雨量について

↓

10−3. ダウンスケーリングについて

↓

10−4. バイアス補正について

↓

10−5. 確率評価の考え方について

↓

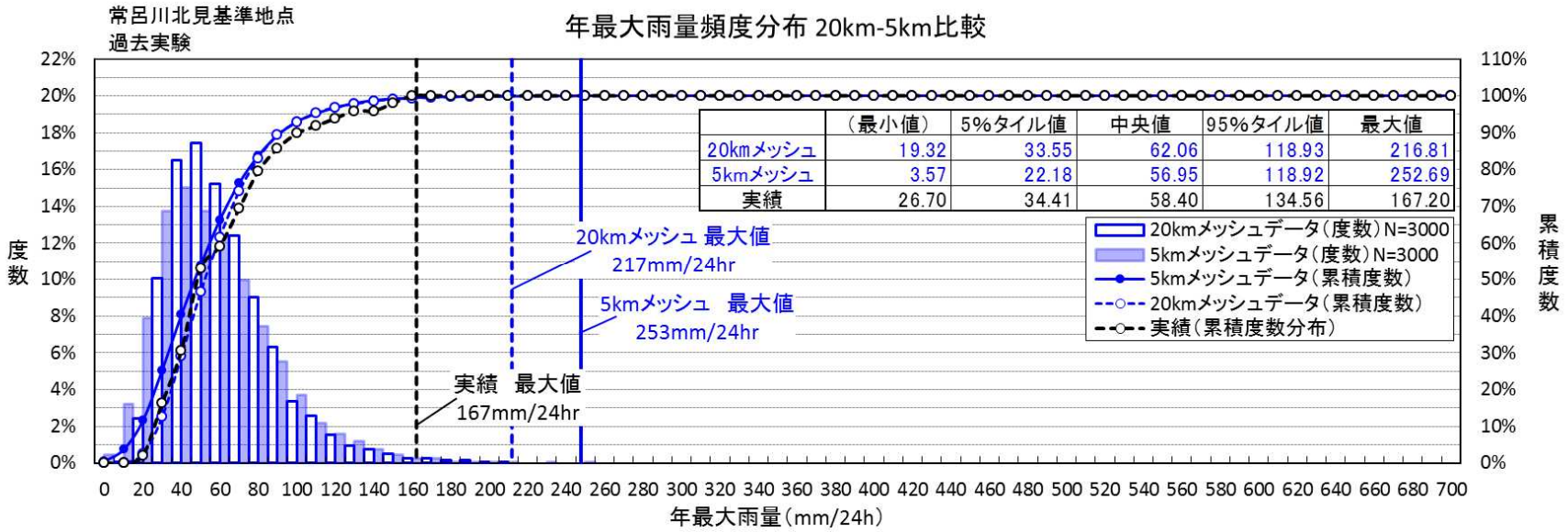
10−6. リサンプリングについて

※十勝川における検討と同様となるため、以下では常呂川における検討結果に絞って記載した。詳細については十勝川における検討内容を参照されたい。

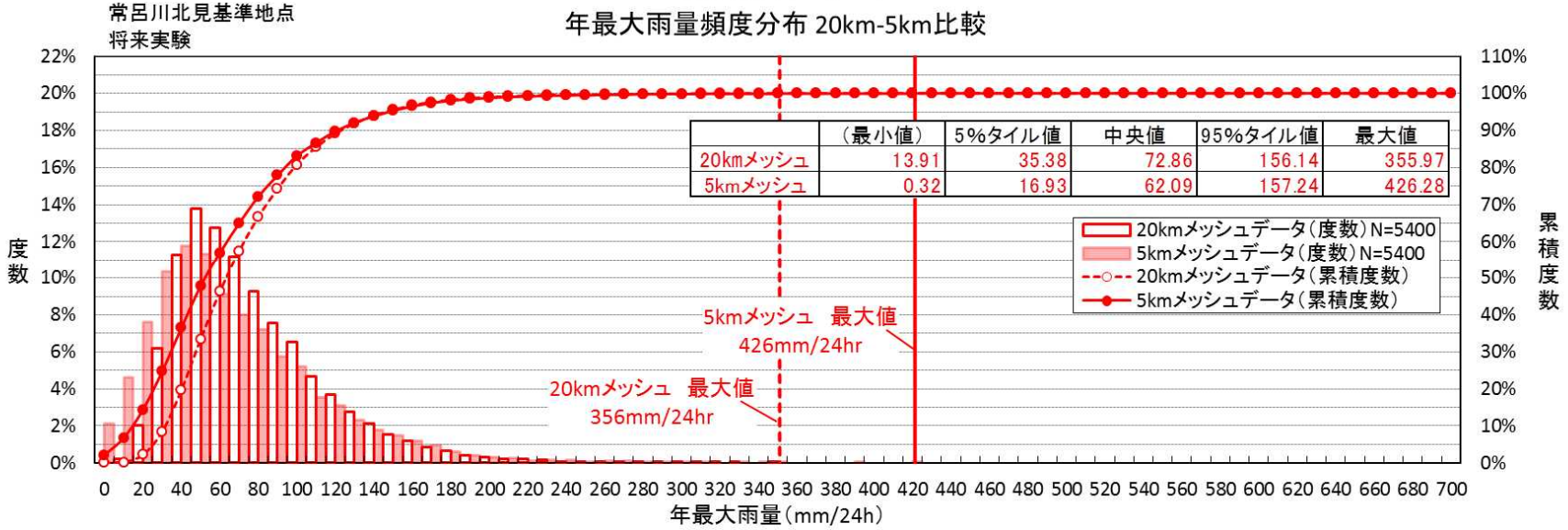
ダウンスケーリング結果報告（常呂川）①ー20kmデータと5kmデータの比較

- 常呂川北見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24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24時間雨量の中央値が小さくなり、規模の小さな降雨が増加する傾向となった。

常呂川
北見基準地点



	（最小値）	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
20kmメッシュ	19.32	33.55	62.06	118.93	216.81
5kmメッシュ	3.57	22.18	56.95	118.92	252.69
実績	26.70	34.41	58.40	134.56	167.20



	（最小値）	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
20kmメッシュ	13.91	35.38	72.86	156.14	355.97
5kmメッシュ	0.32	16.93	62.09	157.24	426.28

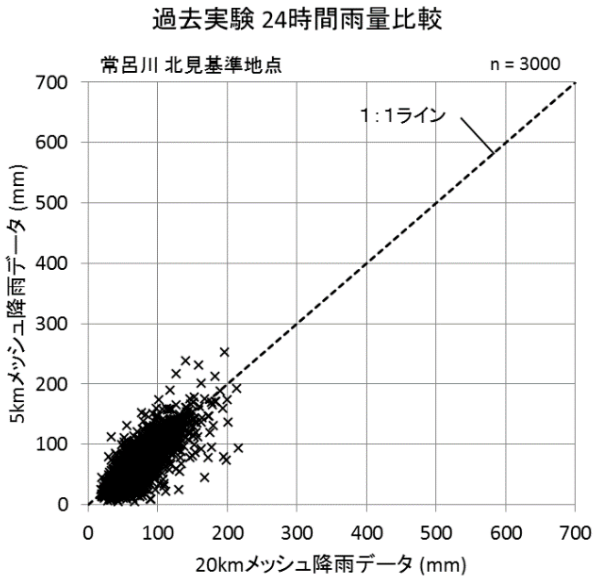
ダウンスケーリング結果報告（常呂川）②−20kmデータと5kmデータの比較

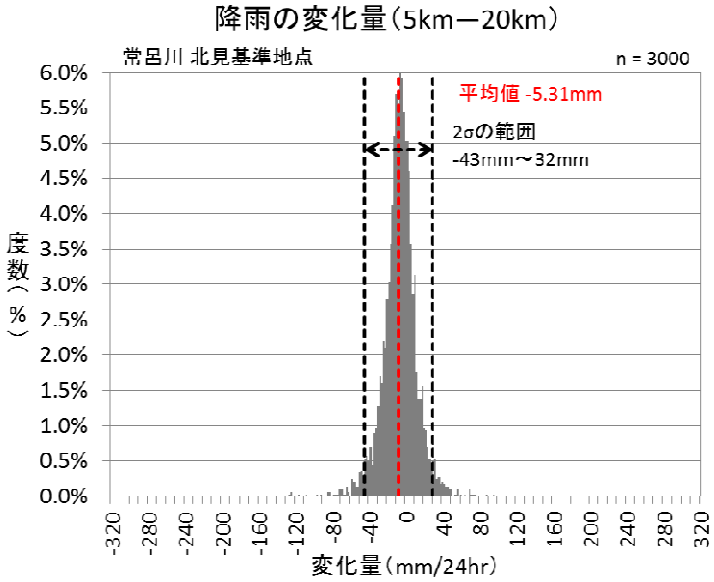
■ ダウンスケーリング前（20kmメッシュ）の流域平均24時間雨量とダウンスケーリング後（5kmメッシュ）の流域平均24時間雨量の変化量を整理した。
■ 常呂川北見基準点では、ダウンスケーリング後に24時間雨量が減少したケースが多く、変化量の平均値は過去実験で-5.3mm、将来実験で-9.7mmであった。

常呂川 北見基準地点

過去実験

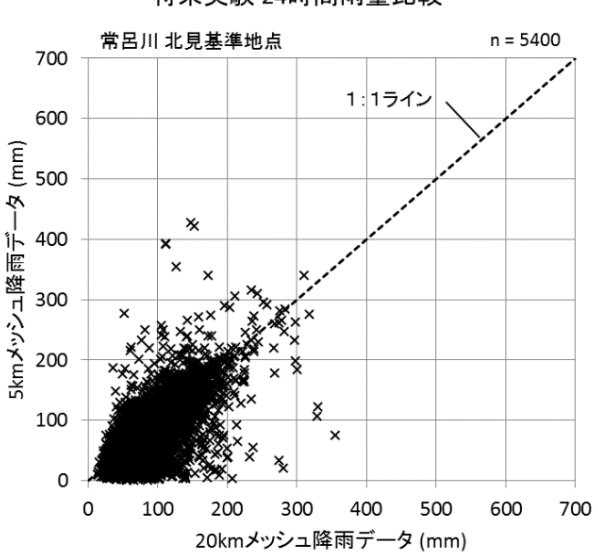
➢ 降雨の変化量
2σの幅：**-43mm～32mm**
平均値：**-5.31mm**

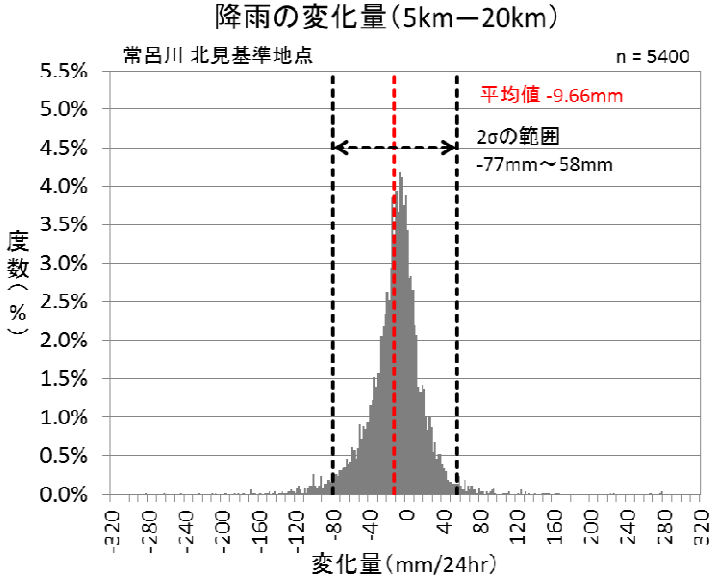




将来実験

➢ 降雨の変化量
2σの幅：**-77mm～58mm**
平均値：**-9.66mm**

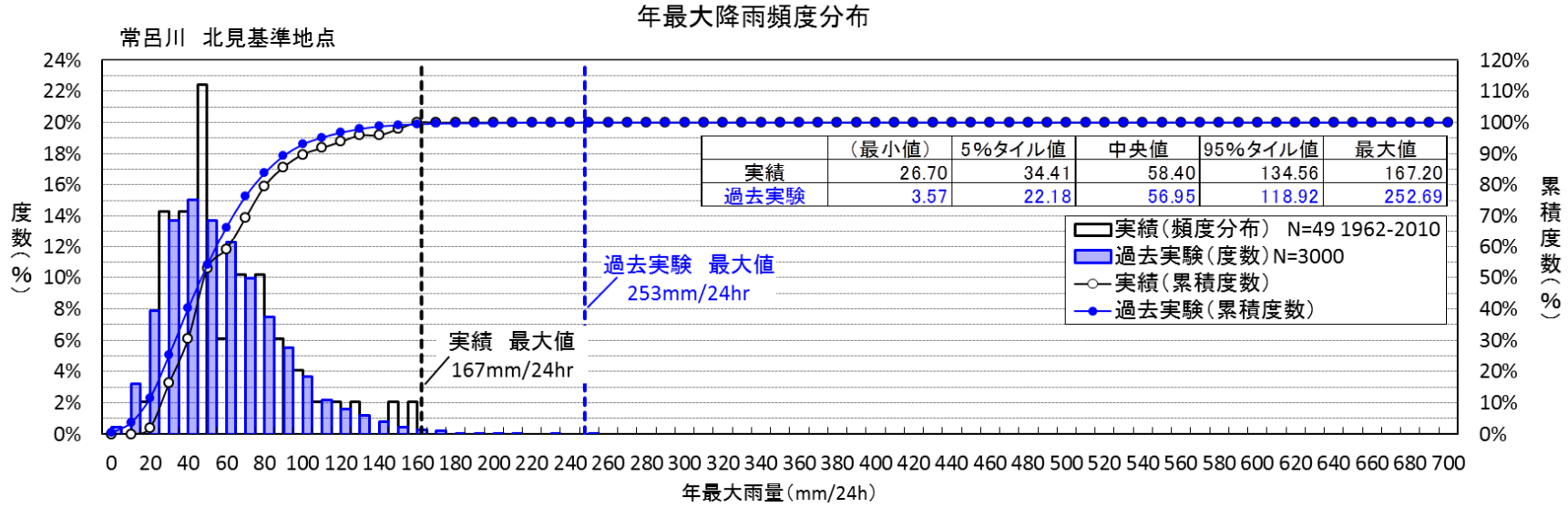


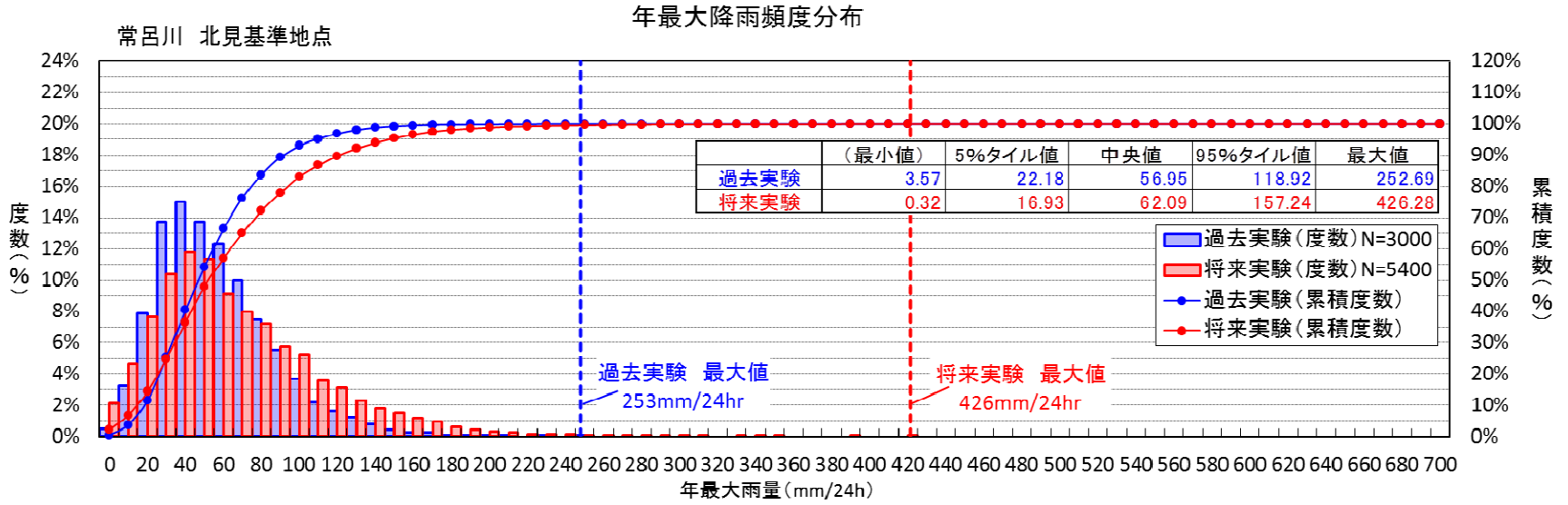


ダウンスケーリング結果報告（常呂川）③ー実績値及び5kmデータ間の比較

■ 常呂川北見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58mmに対して過去実験降雨の中央値は57mmとなり中央値ではほぼ一致しているが、各クオンタイル値では実績降雨と比較して過去実験降雨は小さい傾向がみられた。
■ 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57mmに対して将来実験降雨の中央値は62mmとなり、気候変動後には降雨量が増加傾向になる。

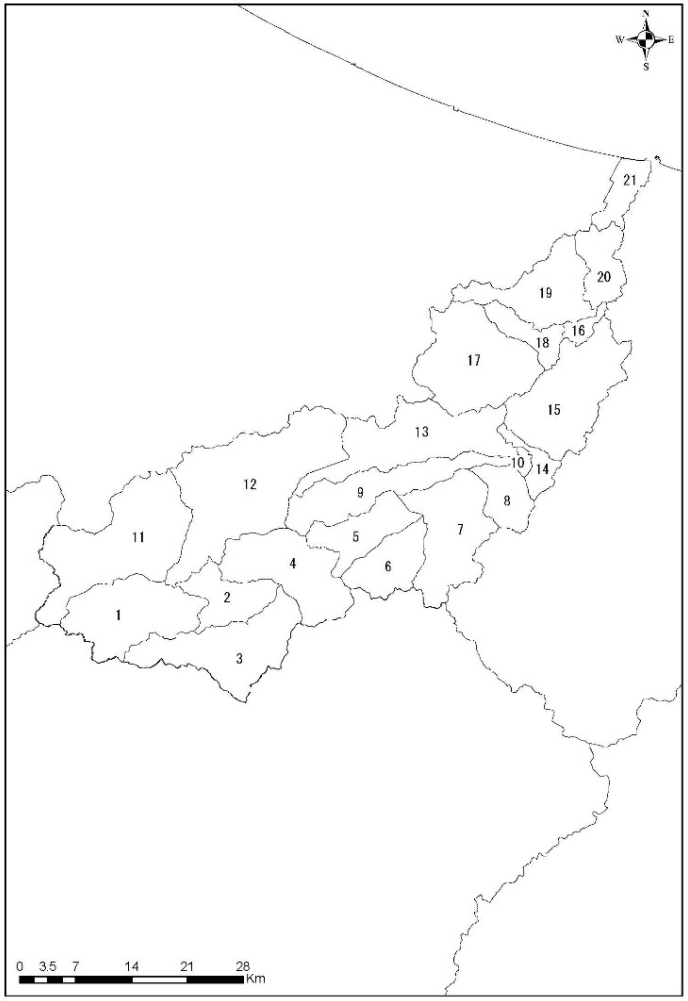
常呂川
北見基準地点



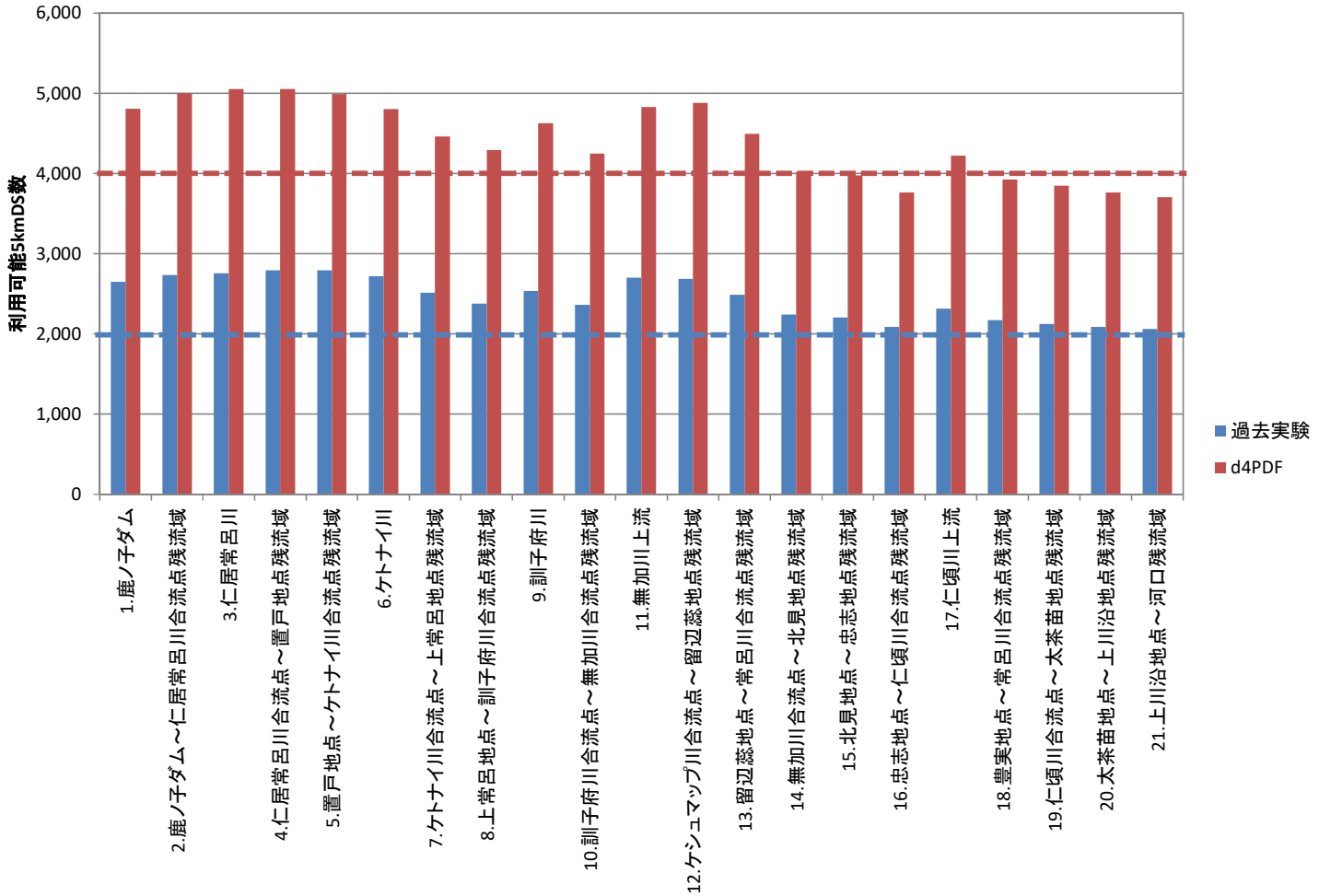


常呂川水系において使用可能な5kmダウンスケーリング数

- 常呂川流域の各小流域において、d4PDF20kmデータから年最大雨量発生期間を抽出し、常呂川北見地点流域平均の年最大雨量発生期間を対象に実施した5kmダウンスケーリング計算の期間と比較した。
- 各小流域ともに、過去実験2000年分、将来実験4000年分程度のd4PDF5kmダウンスケーリングデータを使用可能である。



常呂川流域分割図



10－4. バイアス補正について

10－1. 気候予測アンサンブルデータ
↓
10－2. 流域平均雨量について
↓
10－3. ダウンスケーリングについて
↓
10－4. バイアス補正について
↓
10－5. 確率評価の考え方について
↓
10－6. リサンプリングについて

※十勝川における検討と同様となるため、以下では常呂川における検討結果に絞って記載した。詳細については十勝川における検討内容を参照されたい。

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。

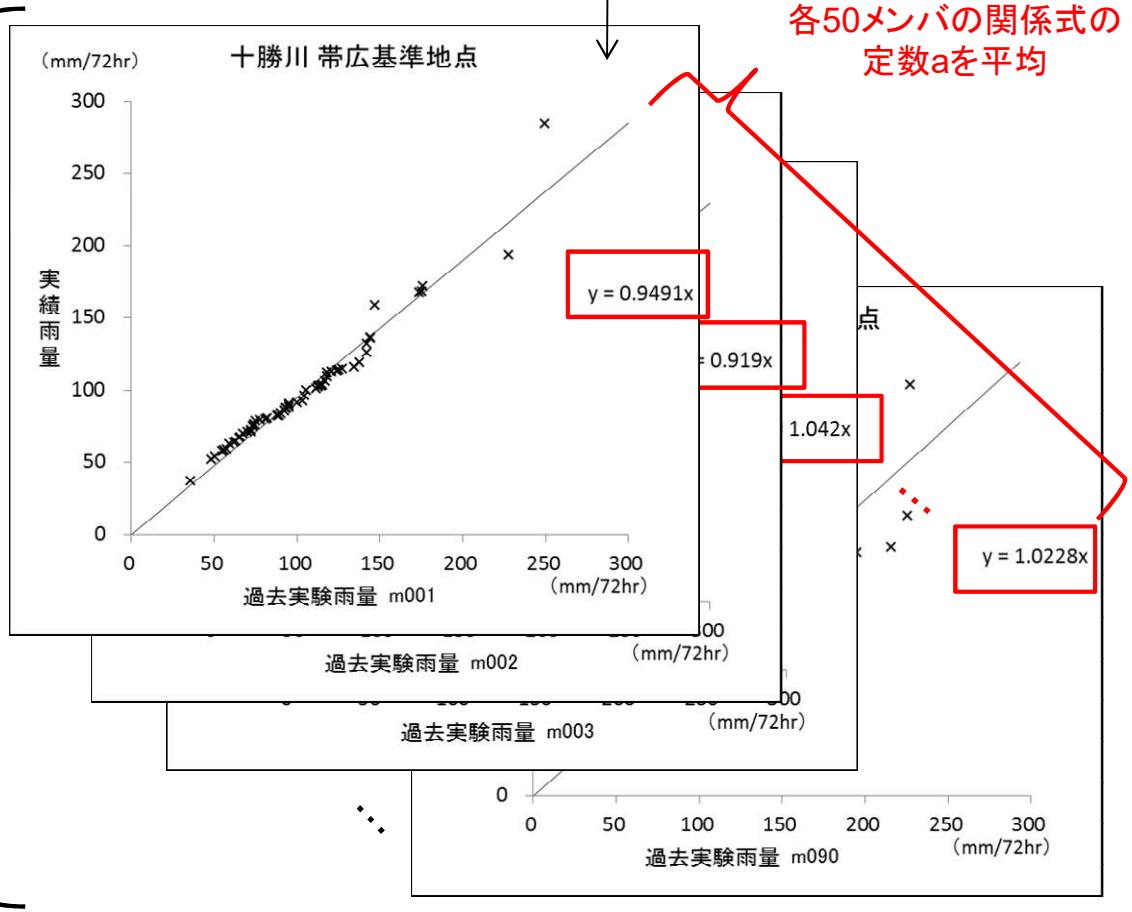
関係式の作成方法

➢ 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。

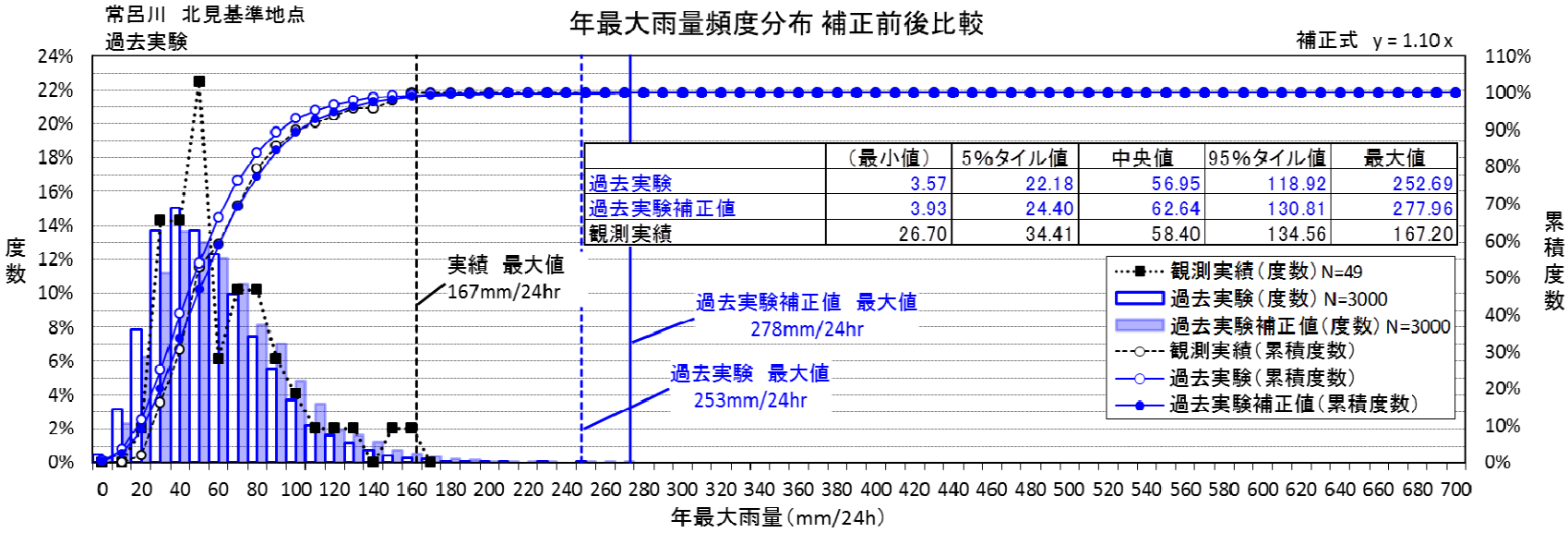
バイアス補正結果【常呂川 北見基準地点】

■ 常呂川北見基準点については、流域平均24時間年最大雨量を対象に、バイアス補正係数a=1.10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1.09倍、95%タイル値は1.32倍に降雨量が増加する。

常呂川 北見基準地点

過去実験

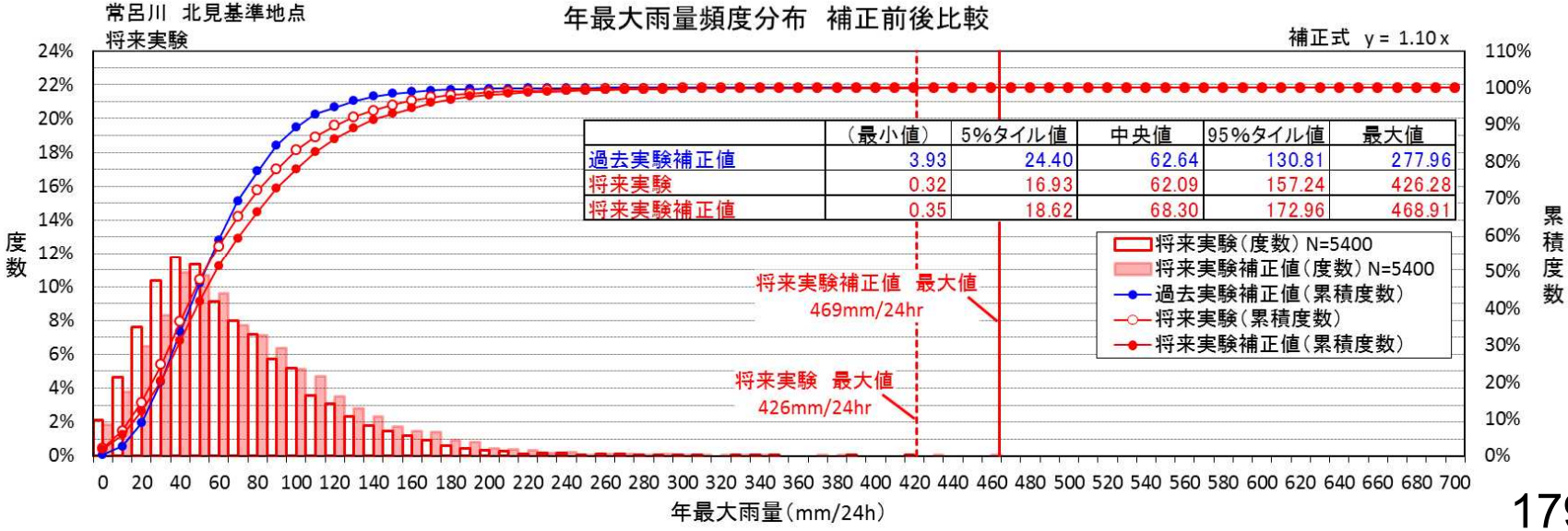
➢ 補正後の降雨量
中央値・・・**63**mm
95%タイル値・・・**131**mm



	（最小値）	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
過去実験	3.57	22.18	56.95	118.92	252.69
過去実験補正値	3.93	24.40	62.64	130.81	277.96
観測実績	26.70	34.41	58.40	134.56	167.20

将来実験

➢ 補正後の降雨量
中央値・・・**68**mm
※過去実験の1.09倍
95%タイル値・・・**173**mm
※過去実験の1.32倍



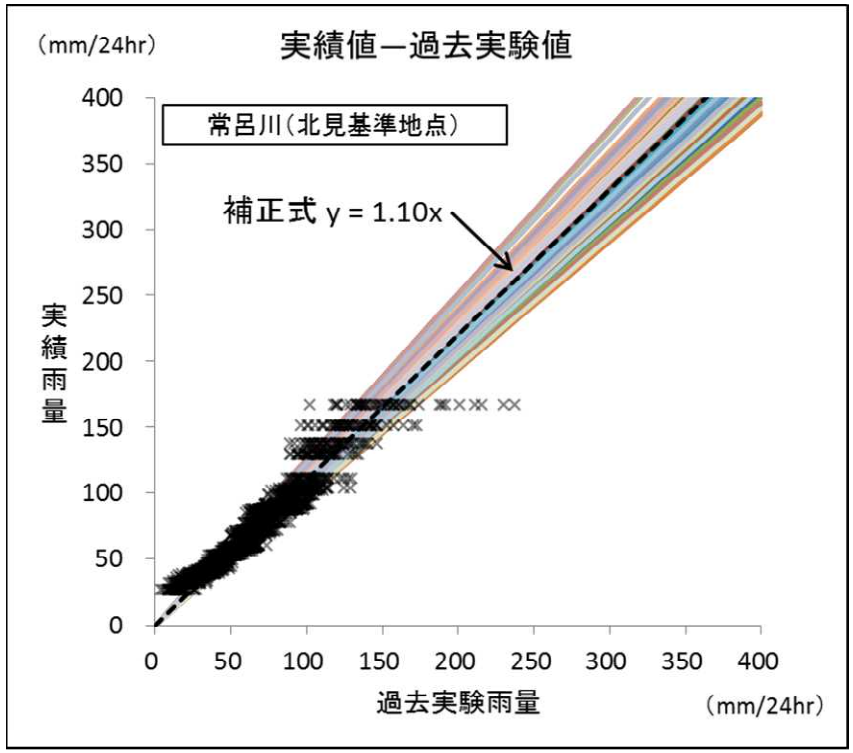
	（最小値）	5%タイル値	中央値	95%タイル値	最大値
過去実験補正値	3.93	24.40	62.64	130.81	277.96
将来実験	0.32	16.93	62.09	157.24	426.28
将来実験補正値	0.35	18.62	68.30	172.96	468.91

設定したバイアス補正式

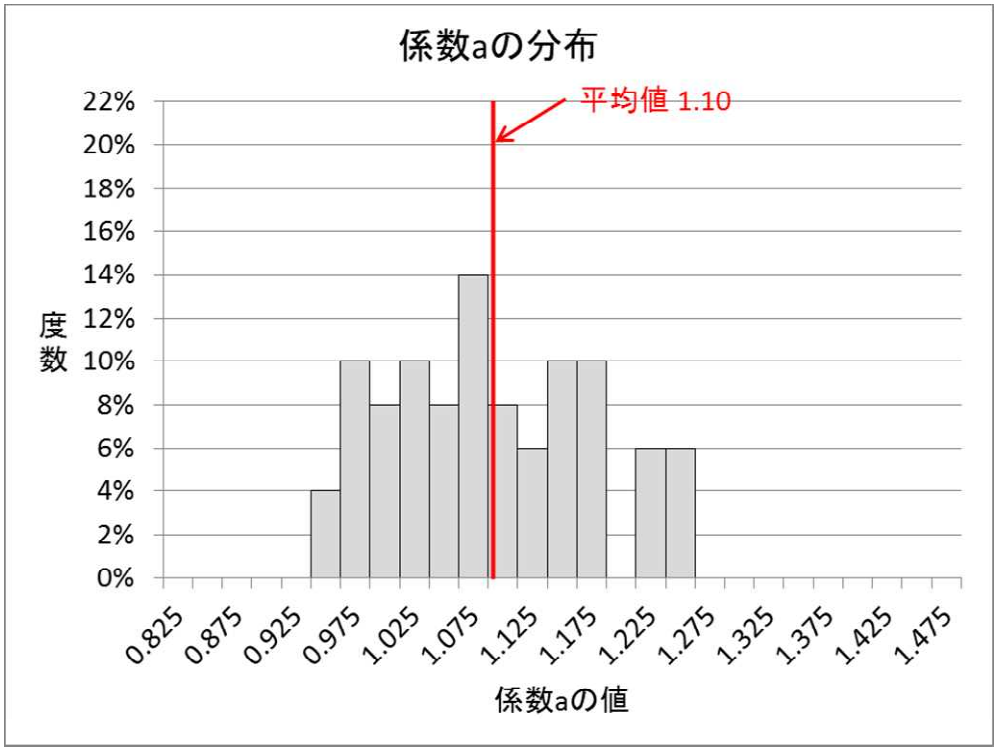
■ 補正式の作成において、50メンバ毎に作成した補正式の係数aの平均値を用いるにあたり、メンバ毎の係数aの分布を確認した。
■ 係数aの平均値は、常呂川北見基準地点で1.10となっており、中央値と一致している。

常呂川 北見基準地点

➢50メンバ×49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



※常呂川については、観測実績と同期間(1962年～2010年の49年分)の過去実験値を使用した。

係数aの最小値は**0.97**、
最大値は**1.26**。
中央値は**1.10**。

10−6. リサンプリングについて

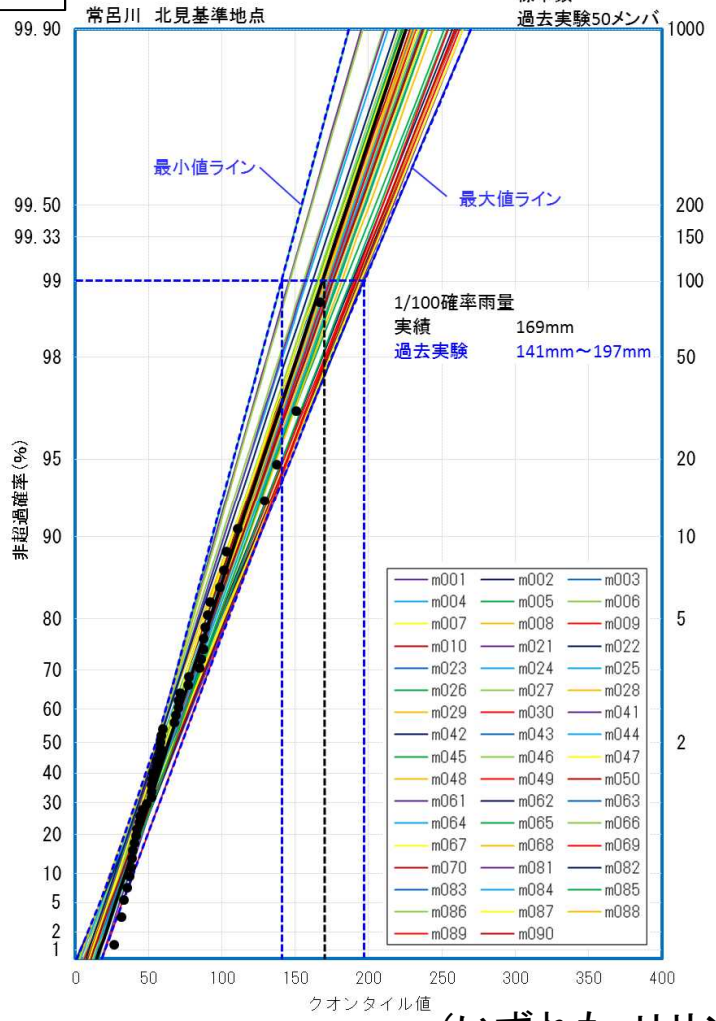
10−1. 気候予測アンサンブルデータ
↓
10−2. 流域平均雨量について
↓
10−3. ダウンスケーリングについて
↓
10−4. バイアス補正について
↓
10−5. 確率評価の考え方について
↓
10−6. リサンプリングについて

※十勝川における検討と同様となるため、以下では常呂川における検討結果に絞って記載した。詳細については十勝川における検討内容を参照されたい。

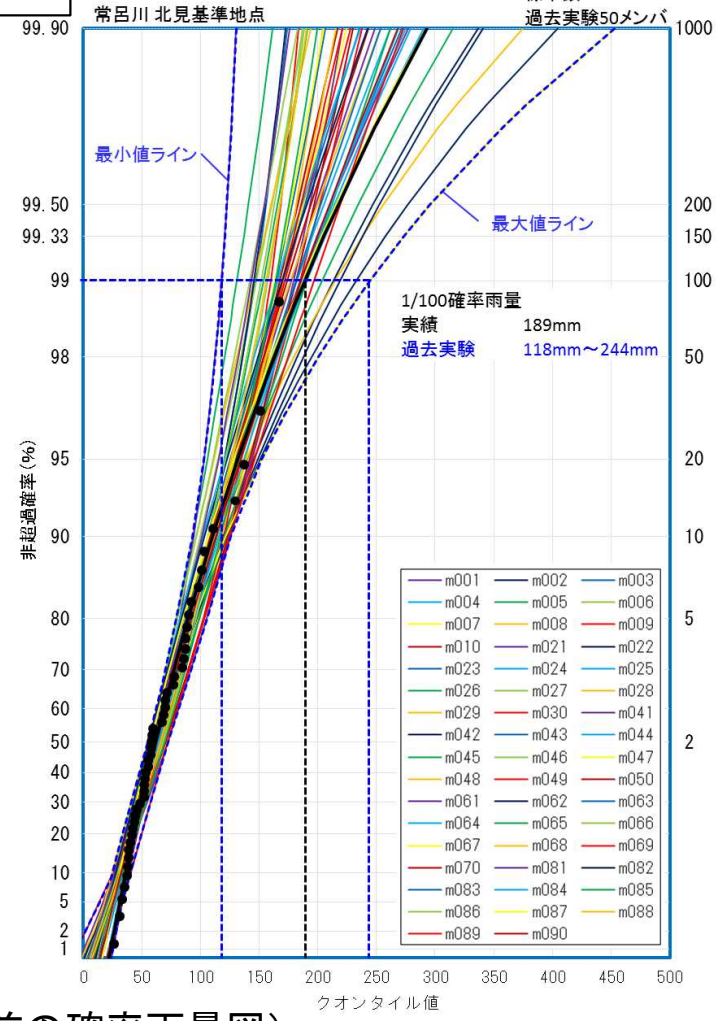
実績降雨および過去実験降雨の確率評価（常呂川）

- 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、常呂川北見基準地点の実績降雨（1962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1/100確率雨量を比較すると、実績降雨が169mm、過去実験が149mm～210mmとなった。
- GEV分布では、計画規模である1/100確率雨量を比較すると、実績降雨が189mm、過去実験が118mm～244mmとなった。
- SLSCについては、Gumbel分布で0.028、GEV分布で0.022となり、どちらの分布についても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



GEV分布



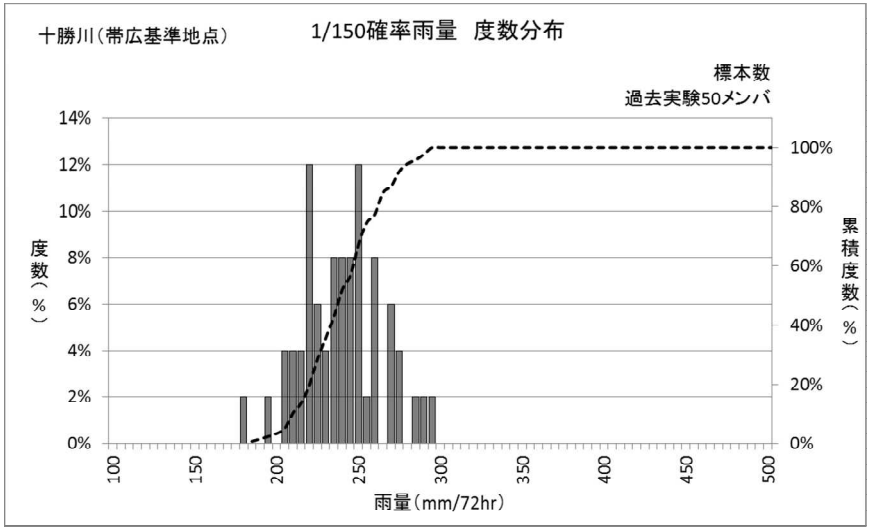
（いずれも、リサンプリング前の確率雨量図）

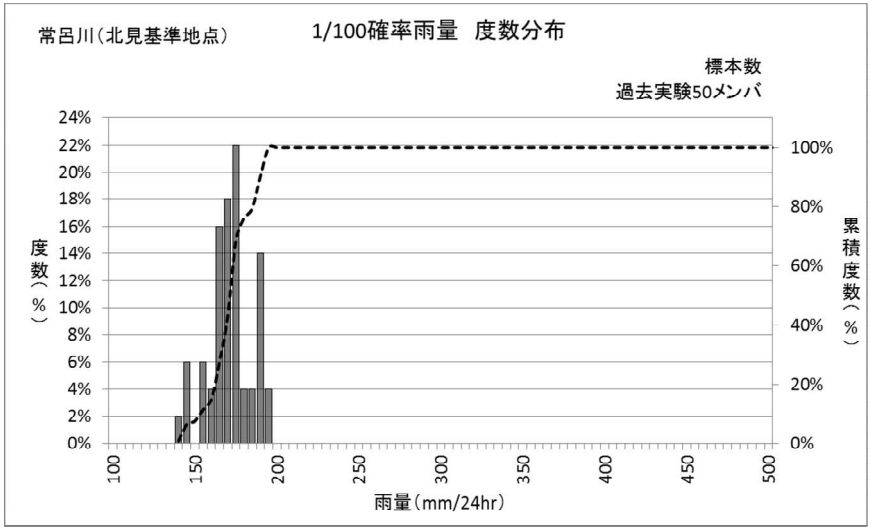
リサンプリングの必要性

■ 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。

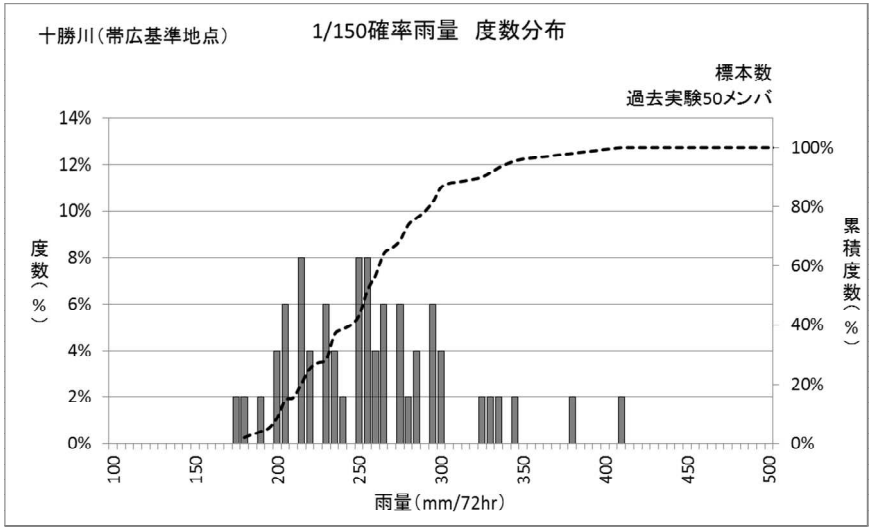
■ 50メンバの標本数でも中央値や95%信頼区間を把握することは可能である。しかし、近年の計算機の進歩によってリサンプリングの実施が容易になったことから、本検討ではリサンプリングによって分布の波形を描くこととした。

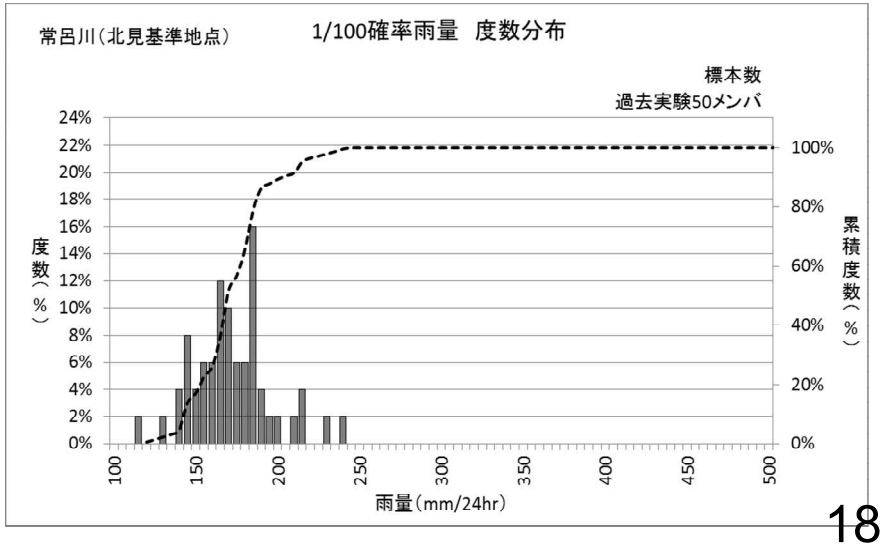
Gumbel分布





GEV分布

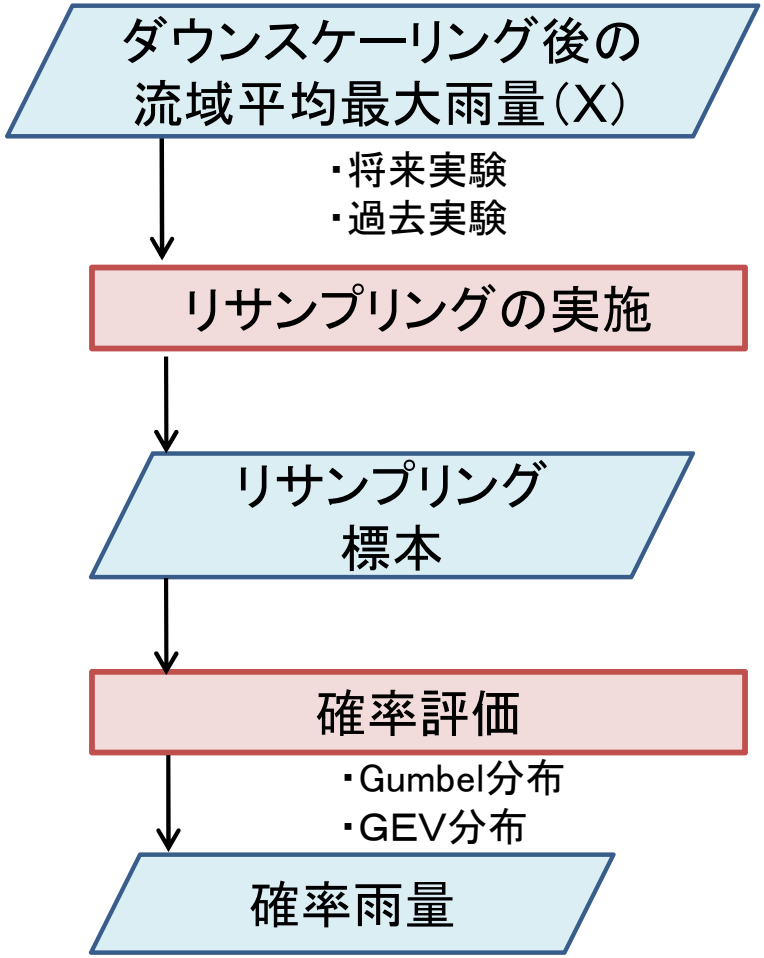




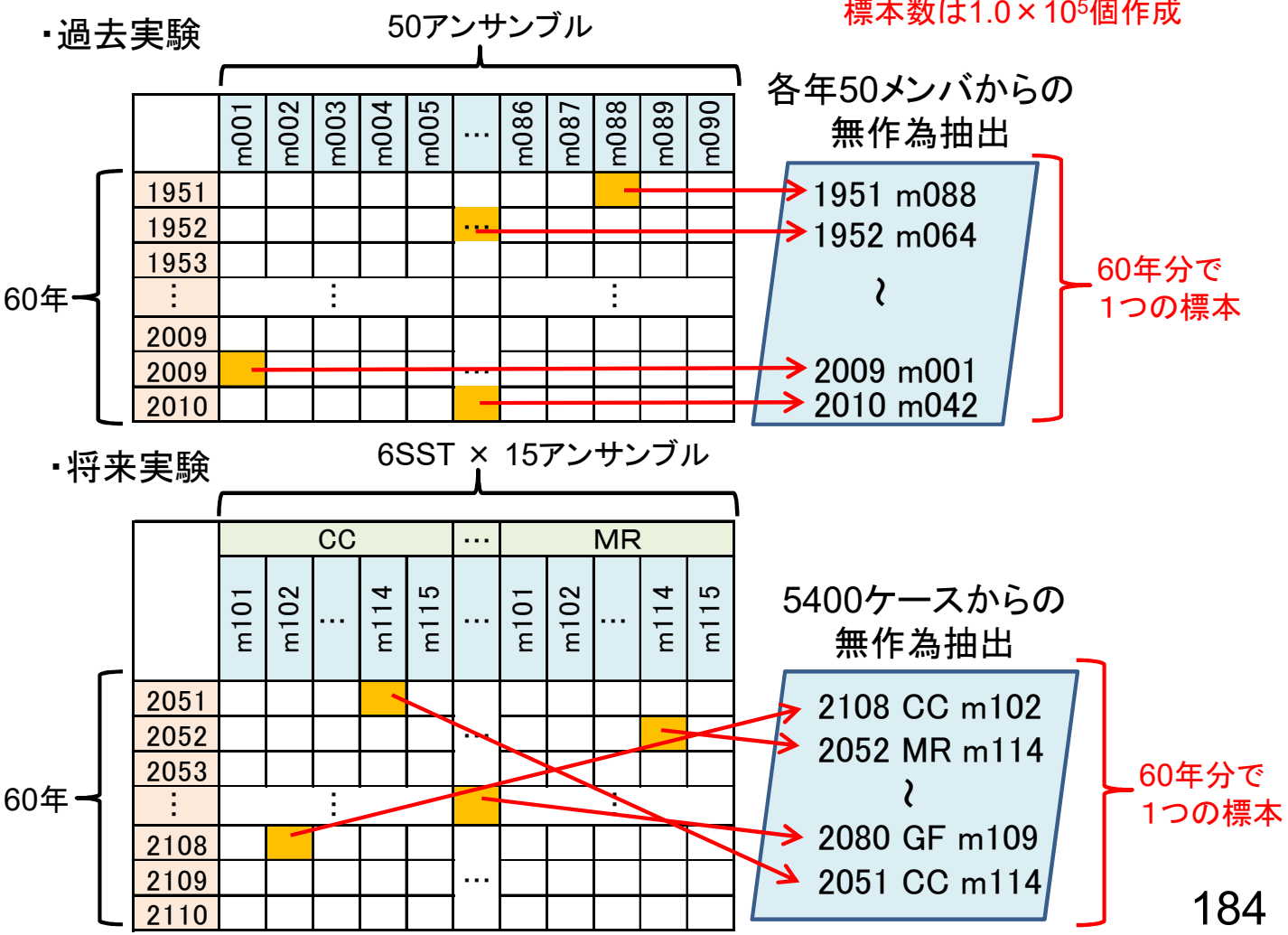
リサンプリング方法

- 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



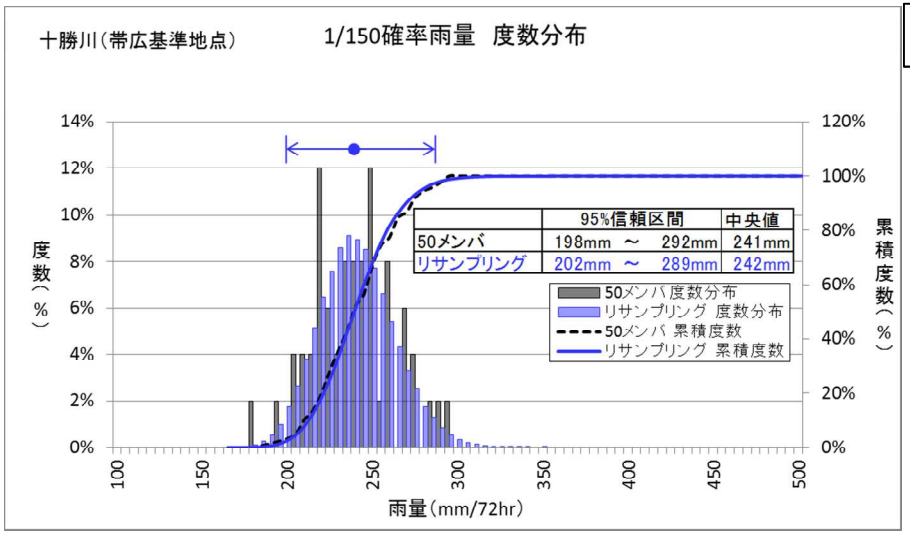
リサンプリング標本作成方法

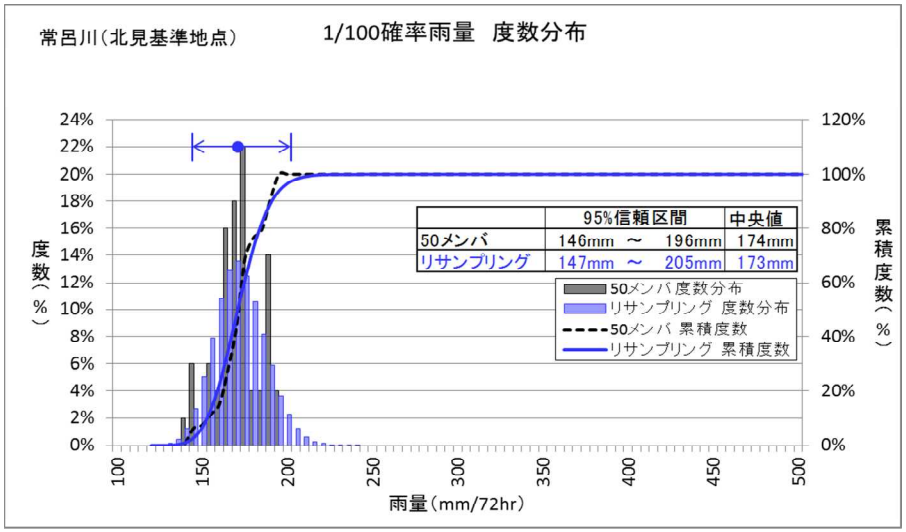


リサンプリング結果

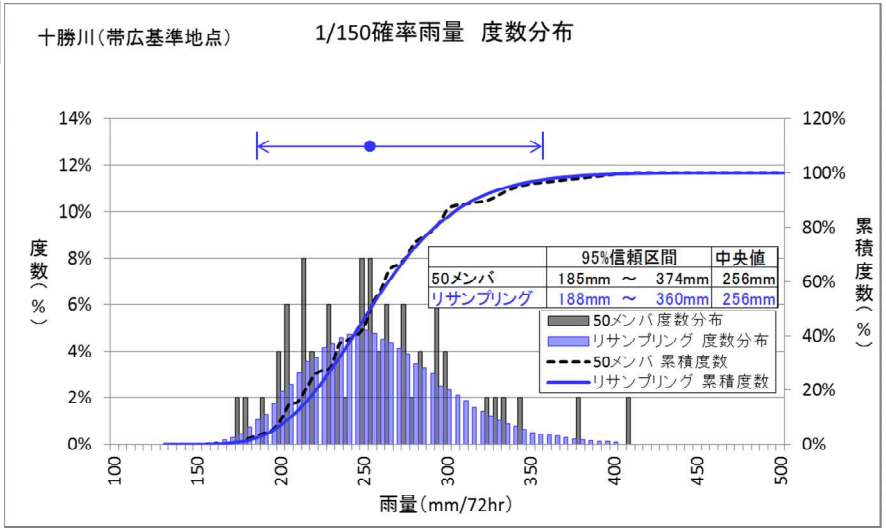
■ リサンプリング前後を比較すると、いずれの地点、分布形においても95%信頼区間の幅は概ね一致している。
■ リサンプリングによりデータが増えたことで、分布の波形を描くことができた。

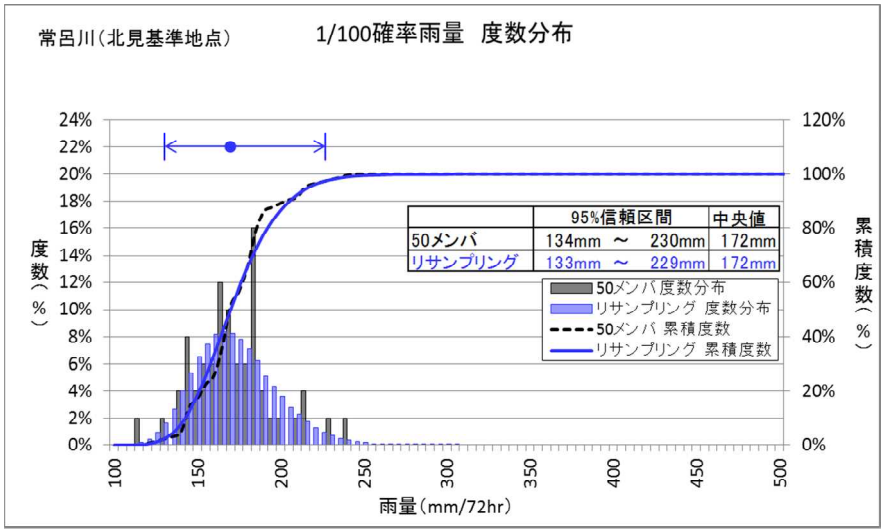
Gumbel分布





GEV分布





11. 常呂川流域のリスク評価について

11－1. 気候変動による降雨の変化

↓

11－2. 気候変動による流量の変化

↓

11－3. 気候変動によるリスクの変化

11－1. 気候変動による降雨の変化

11－1. 気候変動による降雨の変化

↓

11－2. 気候変動による流量の変化

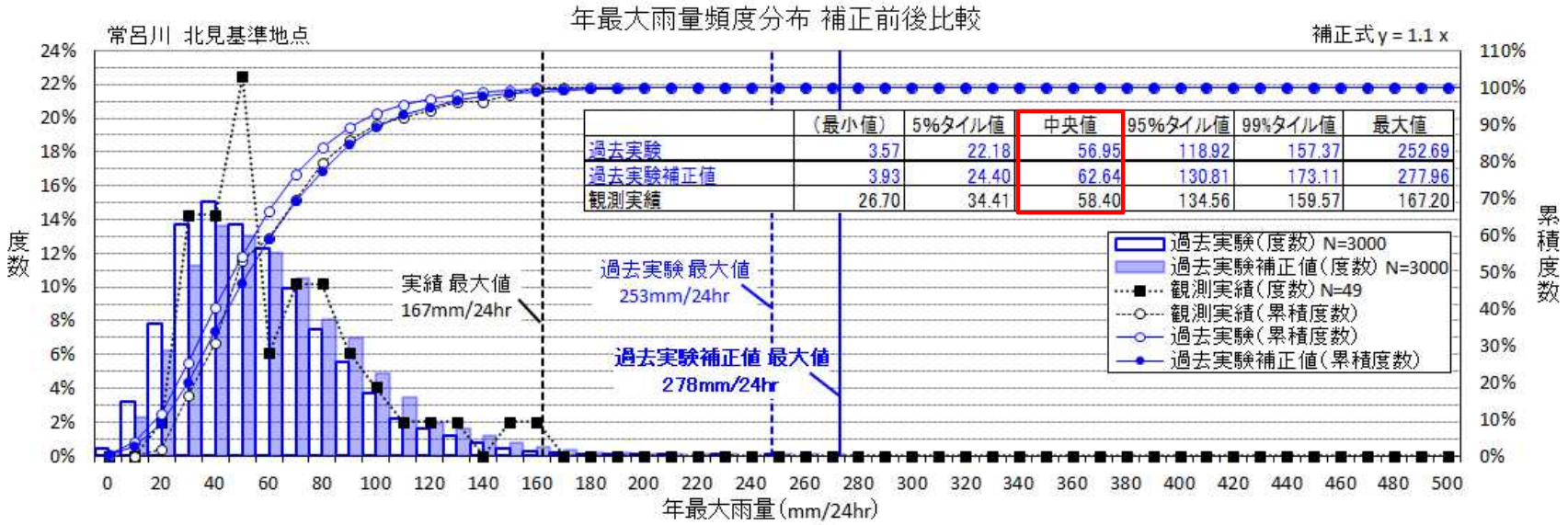
↓

11－3. 気候変動によるリスクの変化

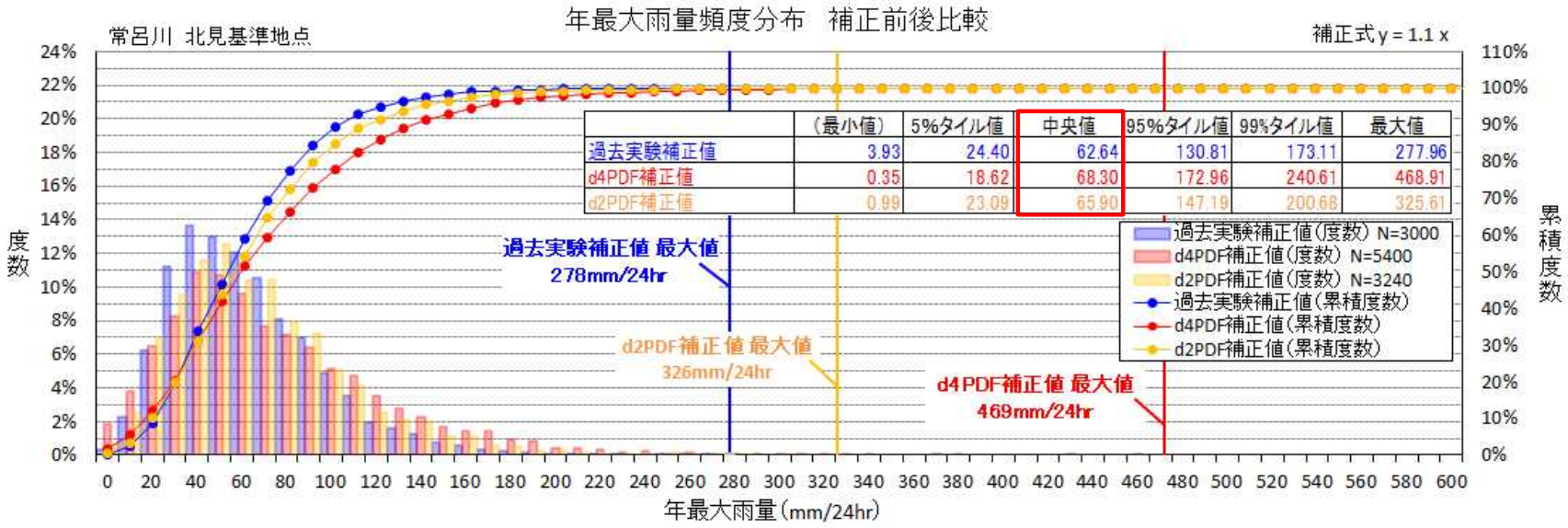
北見地点の年最大雨量の頻度分布

■ 常呂川北見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58mmに対して過去実験の中央値は63mm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と将来実験（d4PDF/d2PDF)を比較すると、過去実験の中央値63mmに対してd4PDFは68mm、d2PDFは66mmとなった。

過去実験



将来実験

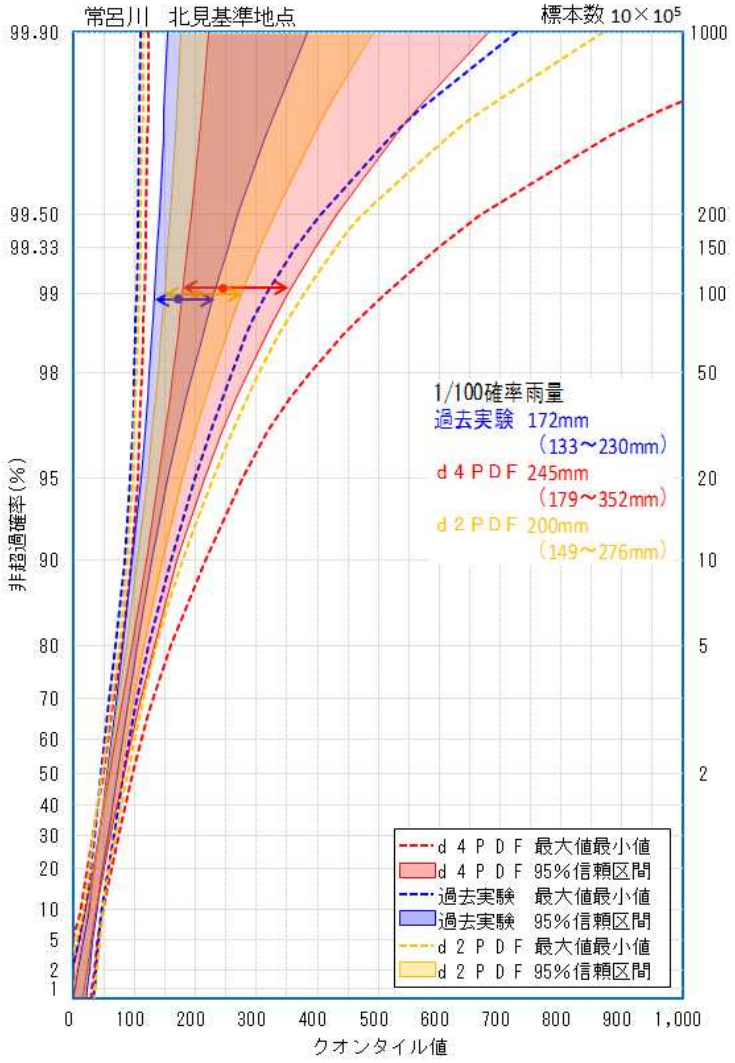


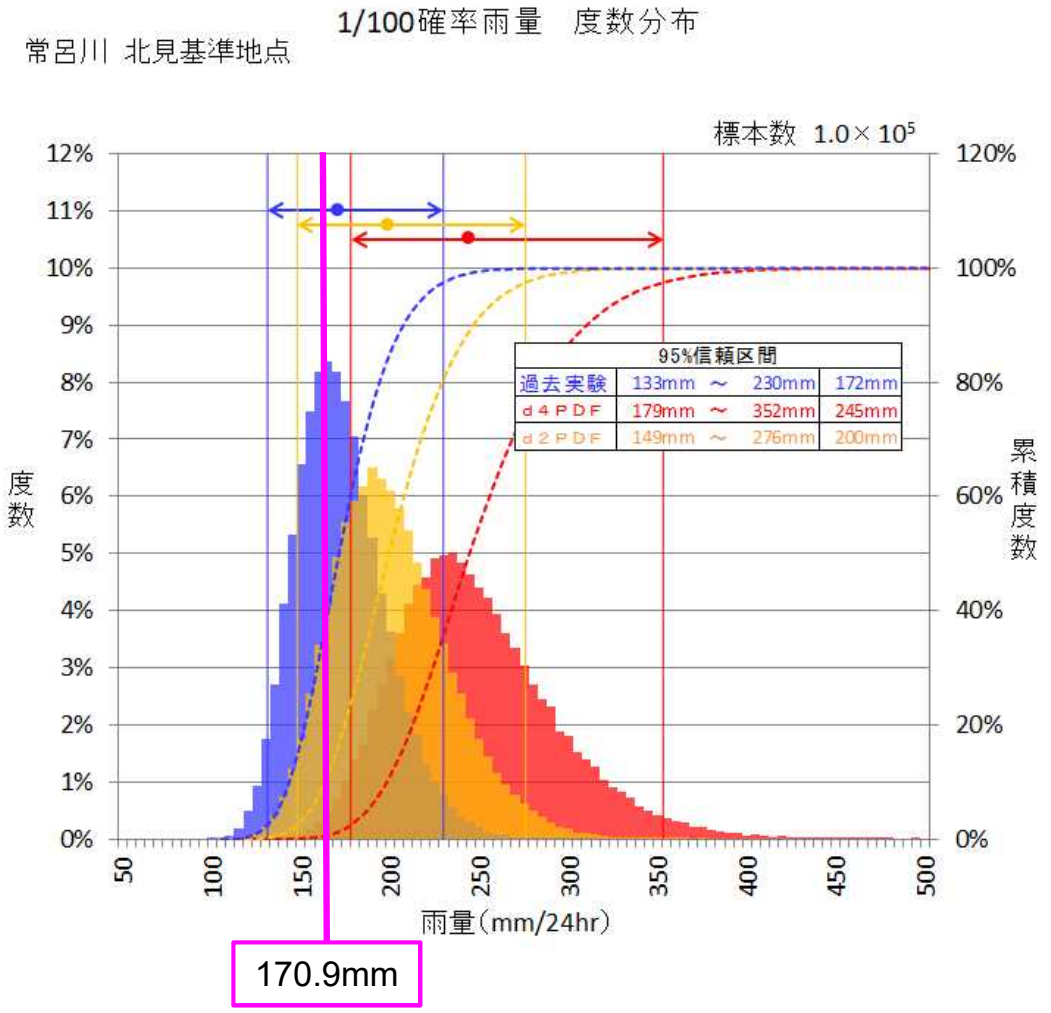
北見地点における1/100規模となる降雨量の変化

■ GEV分布では、1/100確率降雨量の過去実験の95%信頼区間は133mm～230mmとなった。一方、将来実験（d4PDF）の95%信頼区間は179mm～352mmとなった。
■ 北見基準地点における1/100確率降雨量の中央値は、過去実験172mm、d2PDFが200mm、d4PDFが245mmとなった。
すなわち、1/100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1.16倍、4℃上昇することで1.42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

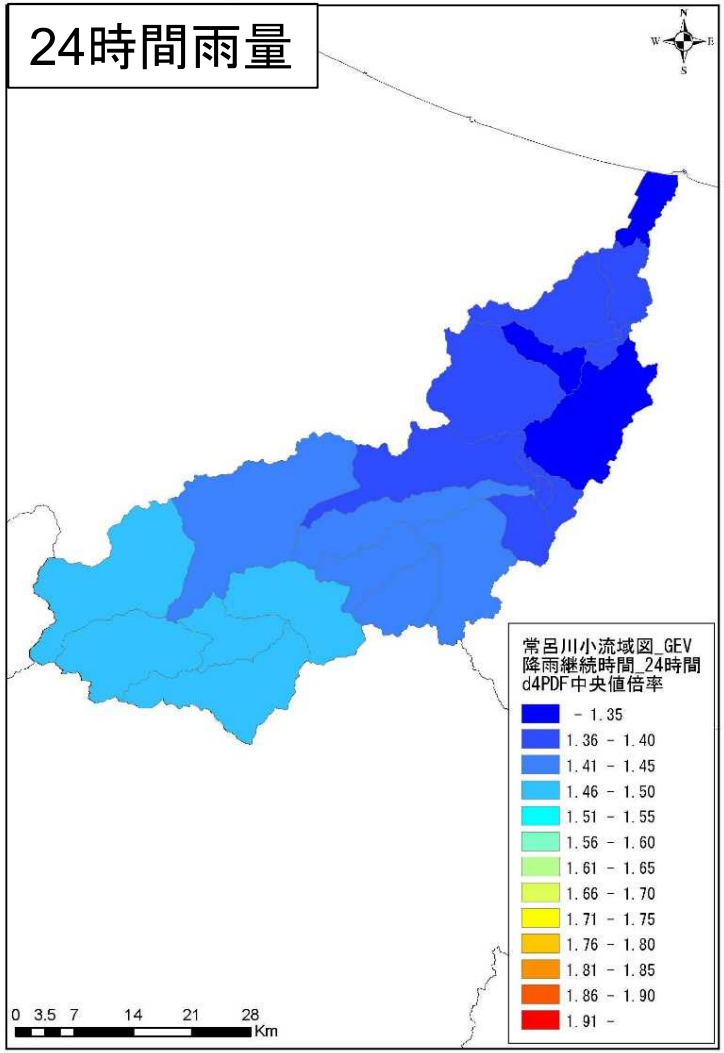


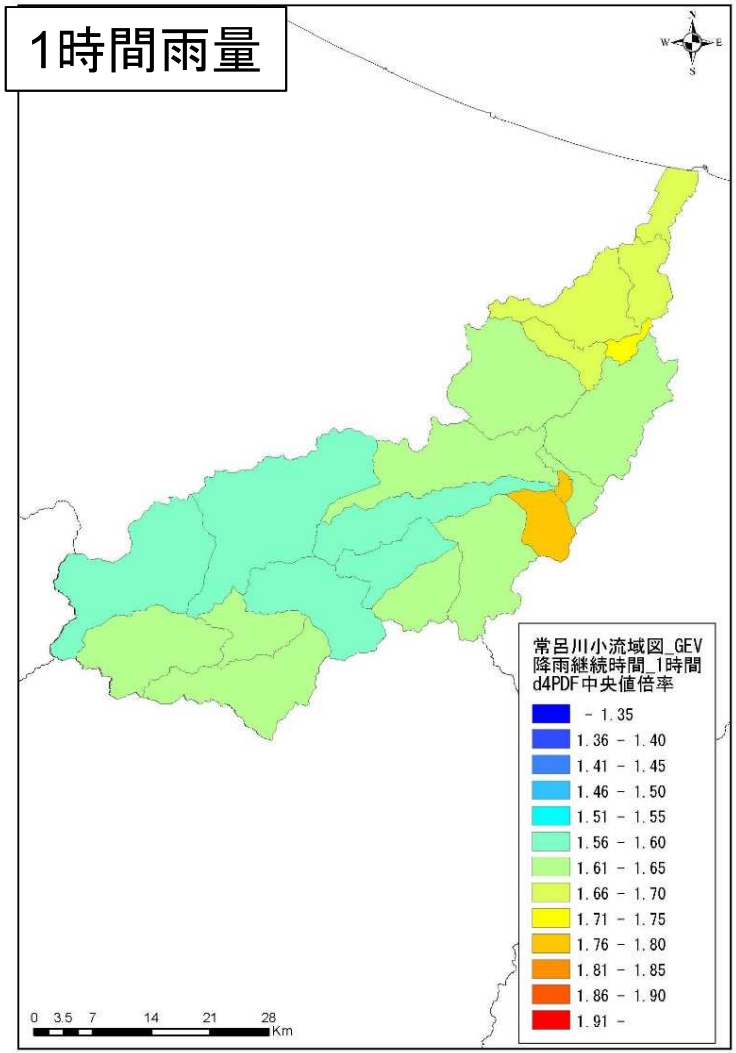


※補正係数は、過去実験5kmメッシュデータから算出された、a = 1.10

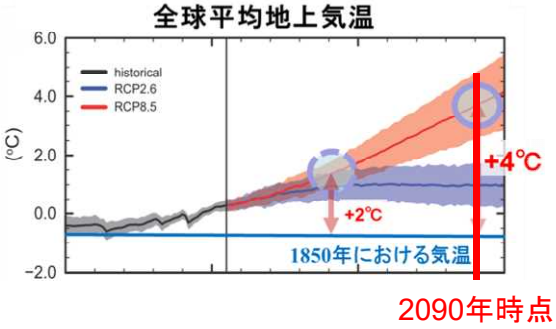
常呂川流域における気候変動に伴う降雨量の変化

■ 常呂川流域の各小流域において、計画規模（1/100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。
■ 気候変動後の降雨量の変化倍率は、24時間雨量では流域の南西部ほど大きな値をとるものが多い。また、24時間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1/100雨量中央値の降雨量の変化倍率（バイアス補正無し）



2090年時点

※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1/100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。

11－2. 気候変動による流量の変化

11－1. 気候変動による降雨の変化

↓

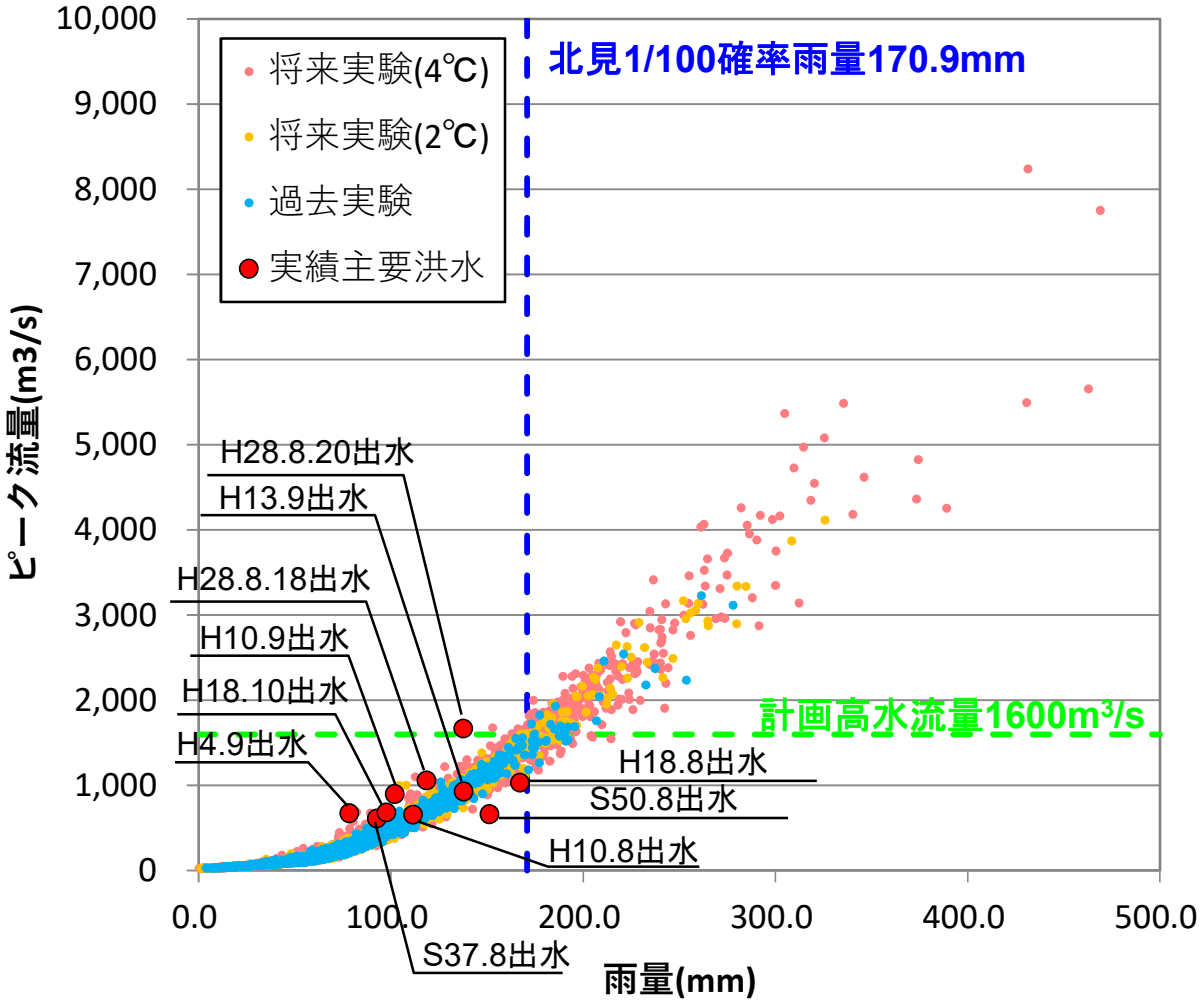
11－2. 気候変動による流量の変化

↓

11－3. 気候変動によるリスクの変化

常呂川流域における将来実験と過去実験の比較

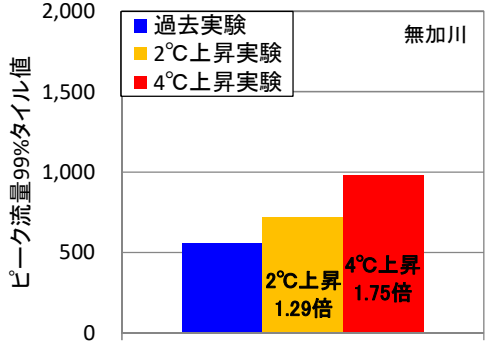
- 北見地点において、気候変動による降雨量とピーク流量の関係を整理した。
- 過去実験と比較して将来実験における雨量とピーク流量が増加する傾向が見られる。また、これまでの主要な洪水における実績と比較すれば、将来実験においては、これまで経験したことのないような雨量とピーク流量が生じる可能性があることを示している。
- 北見地点においては、1/100確率雨量である170.9mm以下において、過去実験ではピーク流量が計画高水流量1,600m³/sを超過するケースは見られなかったが、将来実験では同ケースが散見された。なお、H28出水では、1/100確率雨量以下にもかかわらず計画高水流量を超過する流量が発生している。

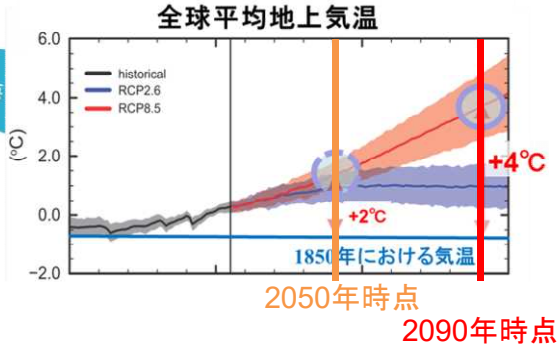


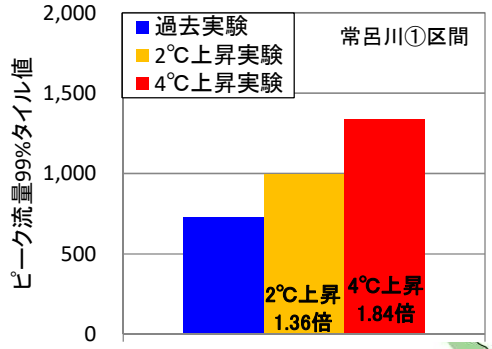
気候変動によるピーク流量の変化

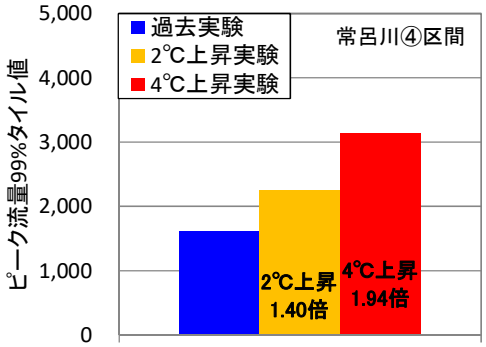
■ 各地点におけるピーク流量（99%タイル値）を、過去実験および将来実験を用いて算出した。
■ 将来実験において流量が増加する傾向があり、各地点ともに過去実験に対して将来実験（d4PDF）は約1.7～1.9倍程度となる。

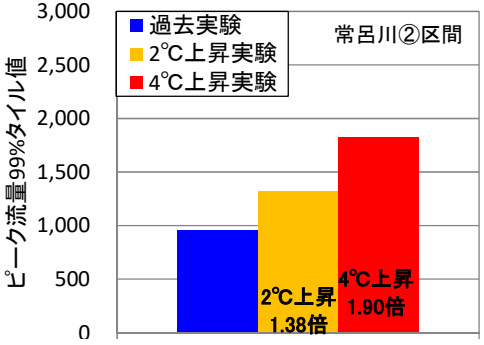
※気候変動による流量の傾向を把握するため、各地点における流量の99%タイル値を算出したものである。
すなわち、計画規模としての流量とは算出の考え方が異なる。

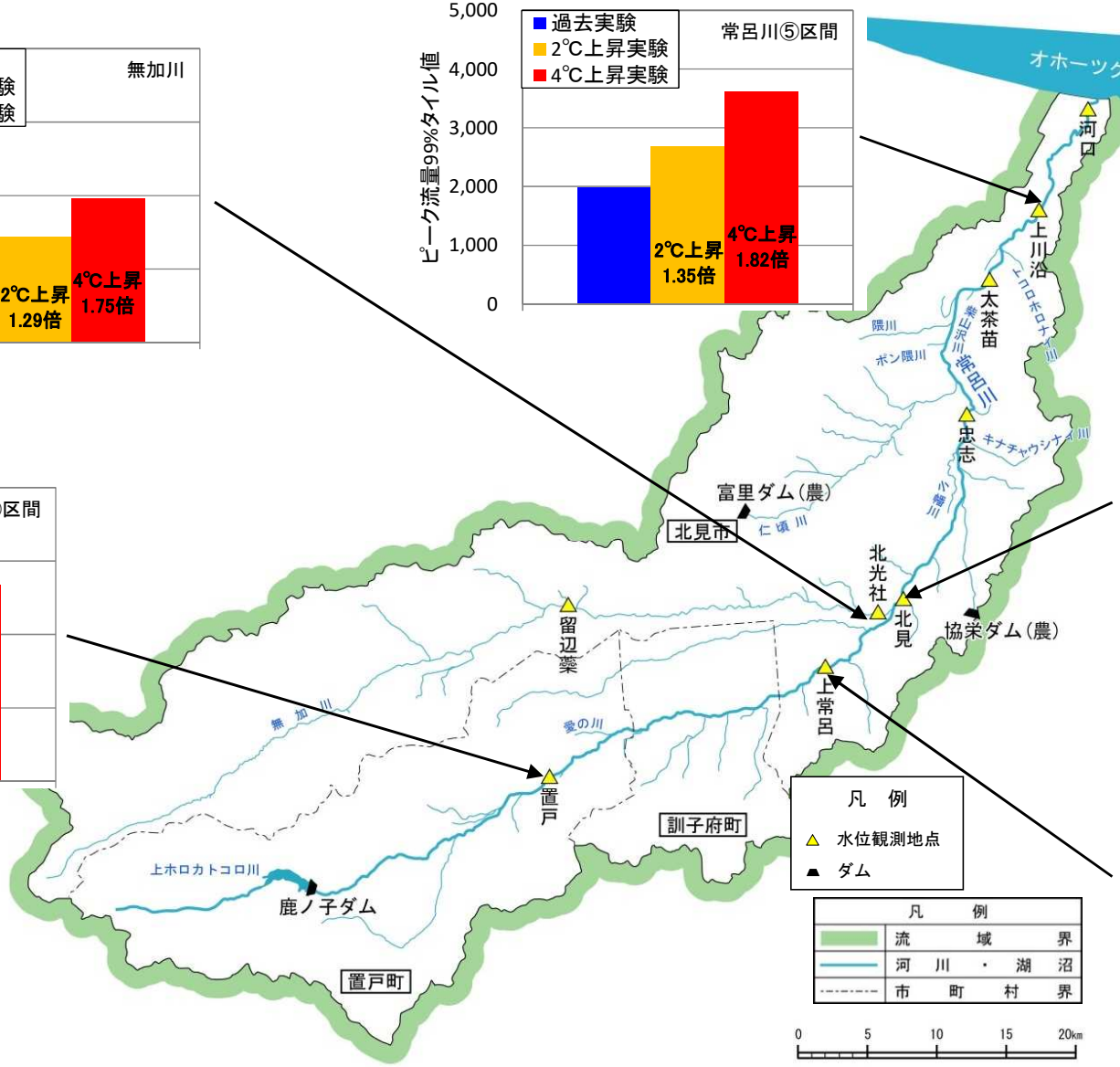








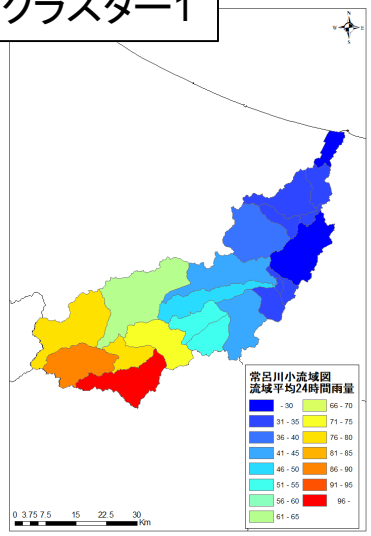




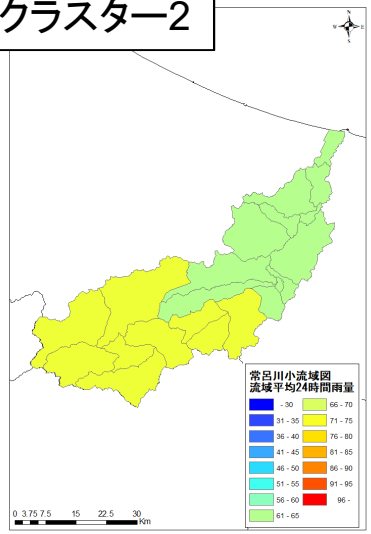
降雨パターンの分類について

■ 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、常呂川北見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3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が多い傾向にある。一方、将来実験では過去実験と比較して、流域北東部に降雨が集中するクラスター3の発生割合が増加する傾向にもある。

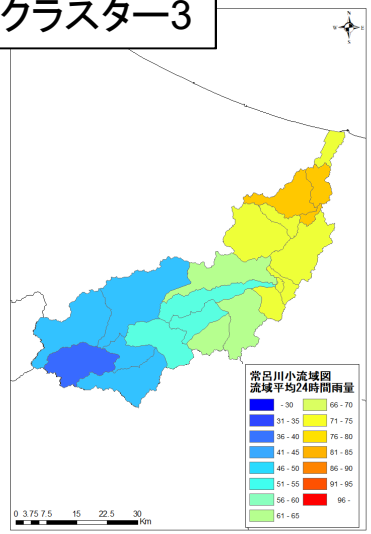
クラスター1



クラスター2



クラスター3

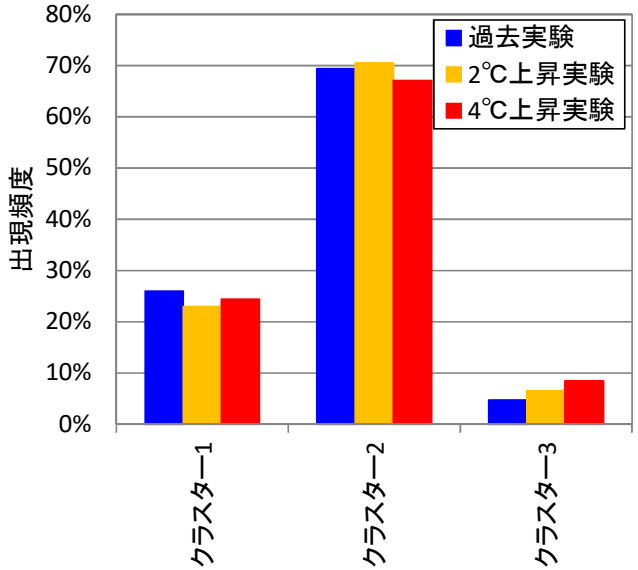


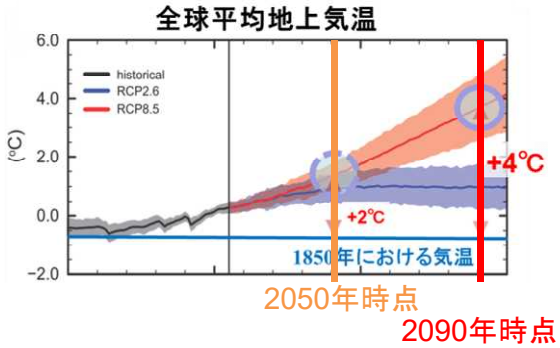
分類方法の概要

・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

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

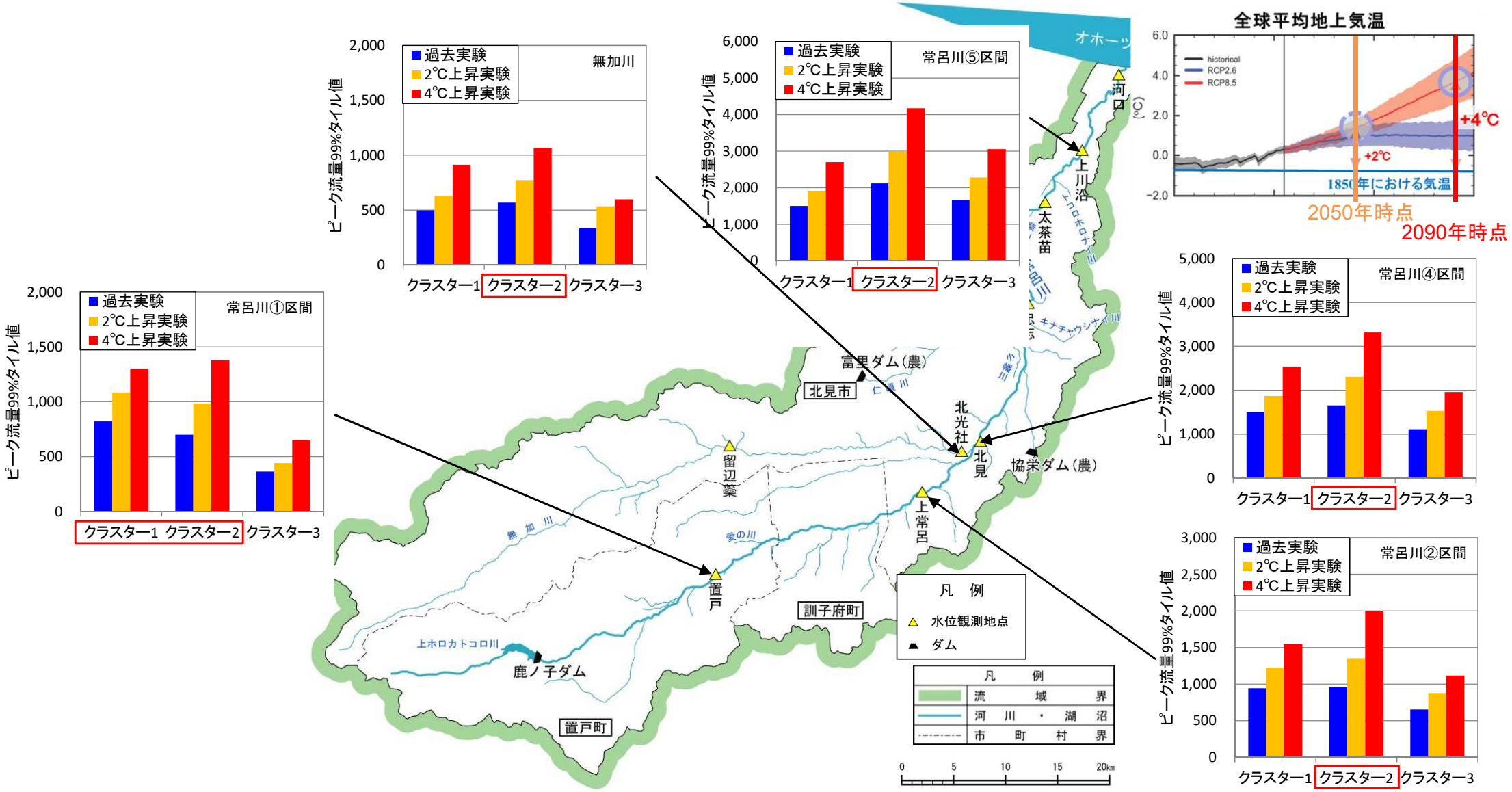
ここに，x：流域総雨量に対する寄与率，R：流域平均3日雨量(mm)，A：流域面積(km^2)，添字i：流域番号，n：小流域数(42流域)





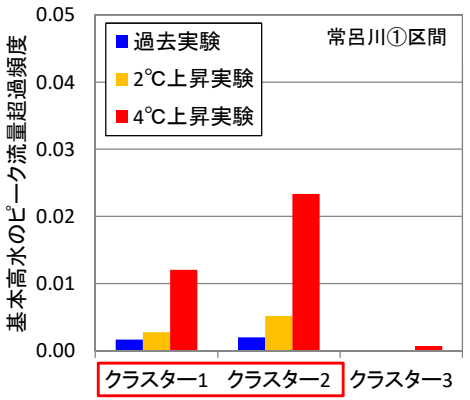
降雨パターン毎の流量変化

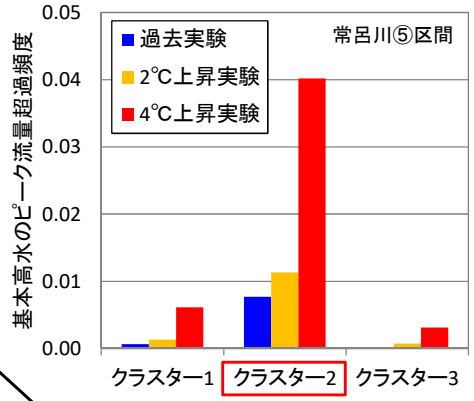
■ 各地点におけるクラスター毎のピーク流量（99%タイル値）を、過去実験および将来実験を用いて算出した。
■ 常呂川流域では、主にクラスター2でピーク流量が大きくなる。
※気候変動による流量の傾向を把握するため、各地点における流量の99%タイル値を算出したものである。すなわち、計画規模としての流量とは算出の考え方が異なる。

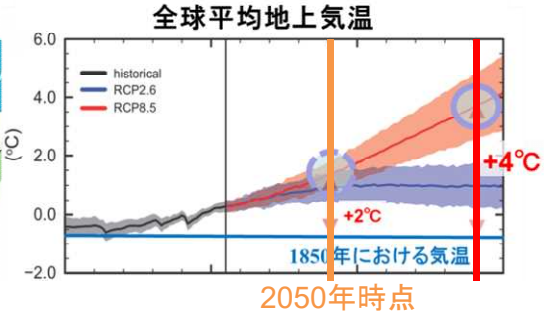


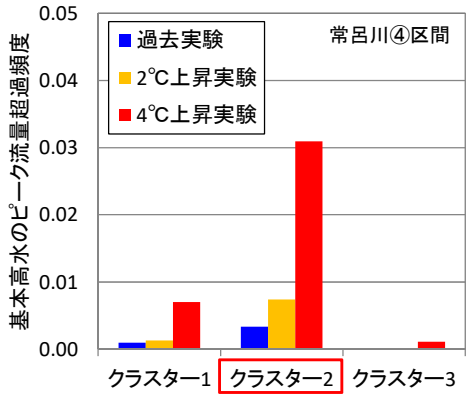
基本高水を超過する頻度について

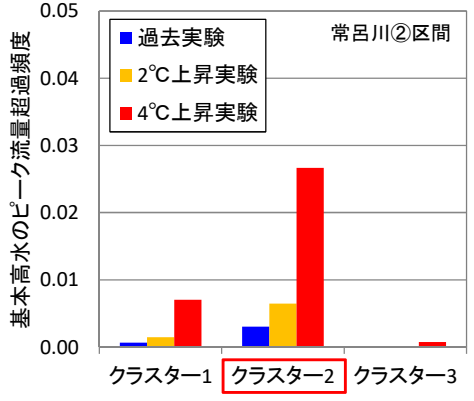
■ 過去実験・将来実験のピーク流量が現行計画の基本高水のピーク流量を超過する頻度を比較した。気候変動後は、特にクラスター2の降雨パターンにおいて、基本高水のピーク流量を超過する頻度が相対的に高まる。

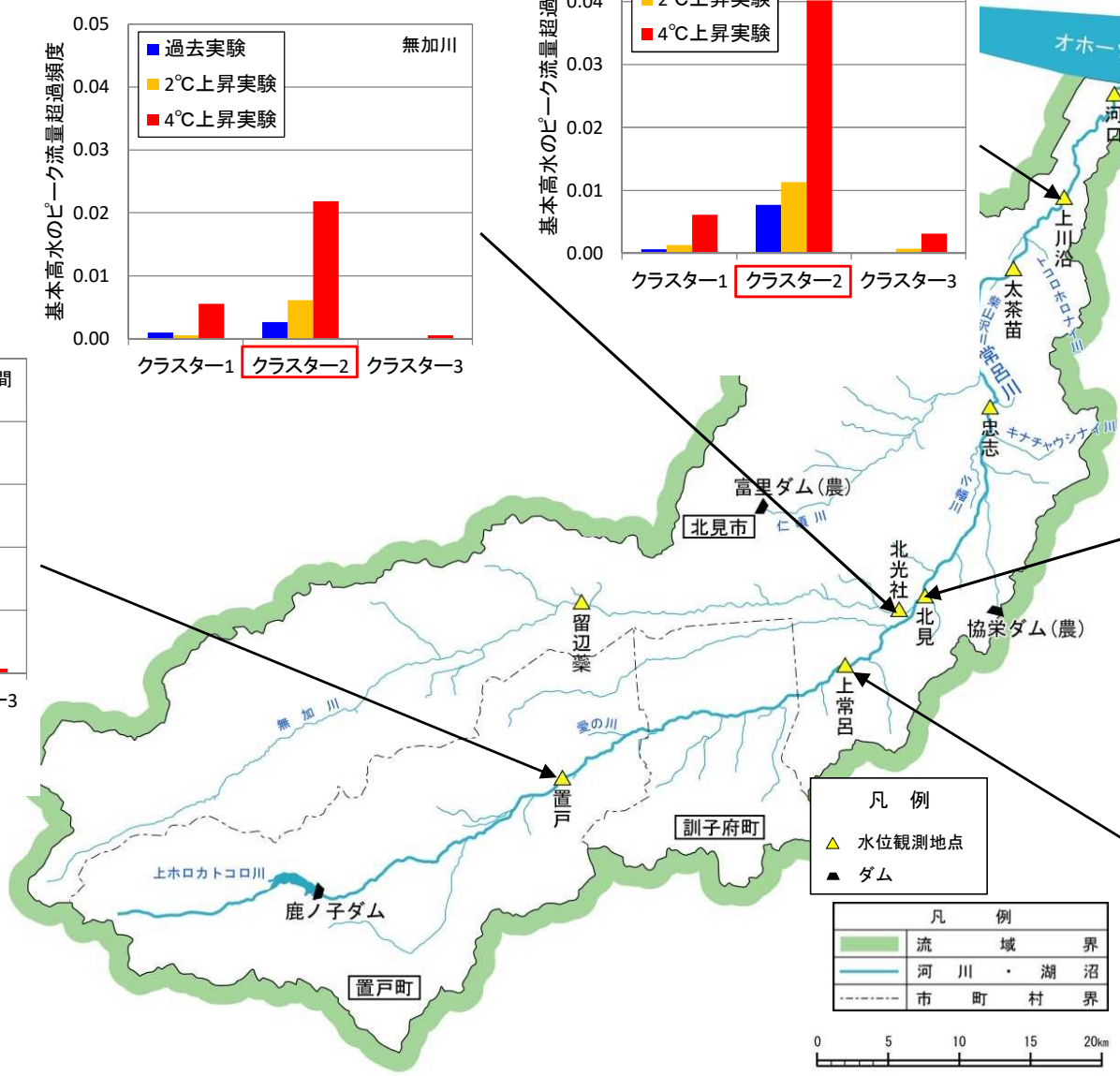












11－3. 気候変動によるリスクの変化

11－1. 気候変動による降雨の変化

11－2. 気候変動による流量の変化

11－3. 気候変動によるリスクの変化

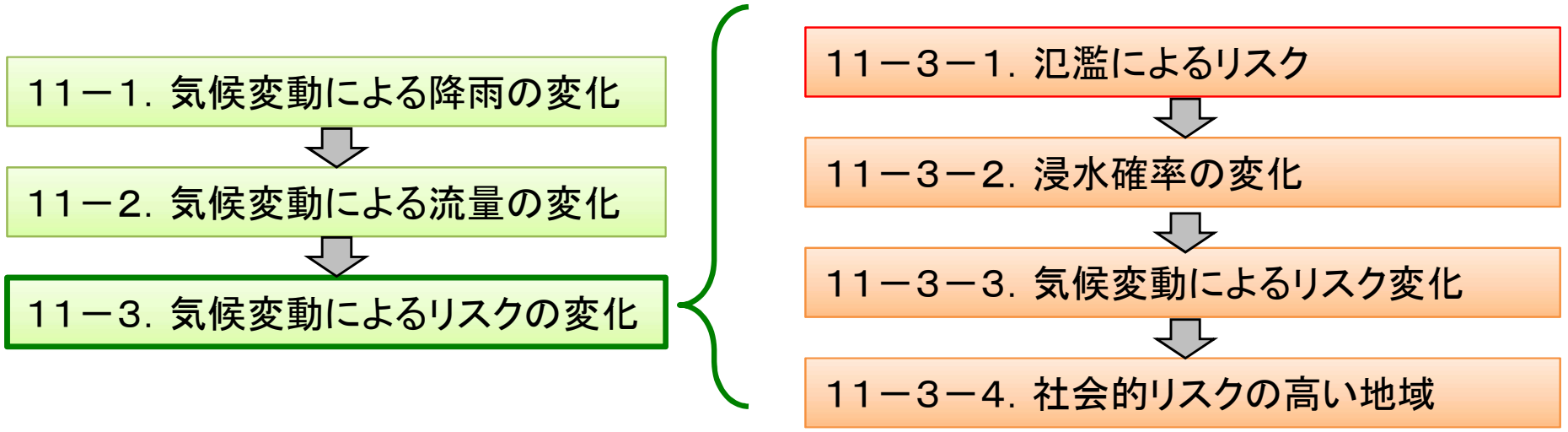
6－3－1. 氾濫によるリスク

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

11－3－1. 氾濫によるリスク



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

11－3－2. 浸水確率の変化

11－1. 気候変動による降雨の変化
↓
11－2. 気候変動による流量の変化
↓
11－3. 気候変動によるリスクの変化

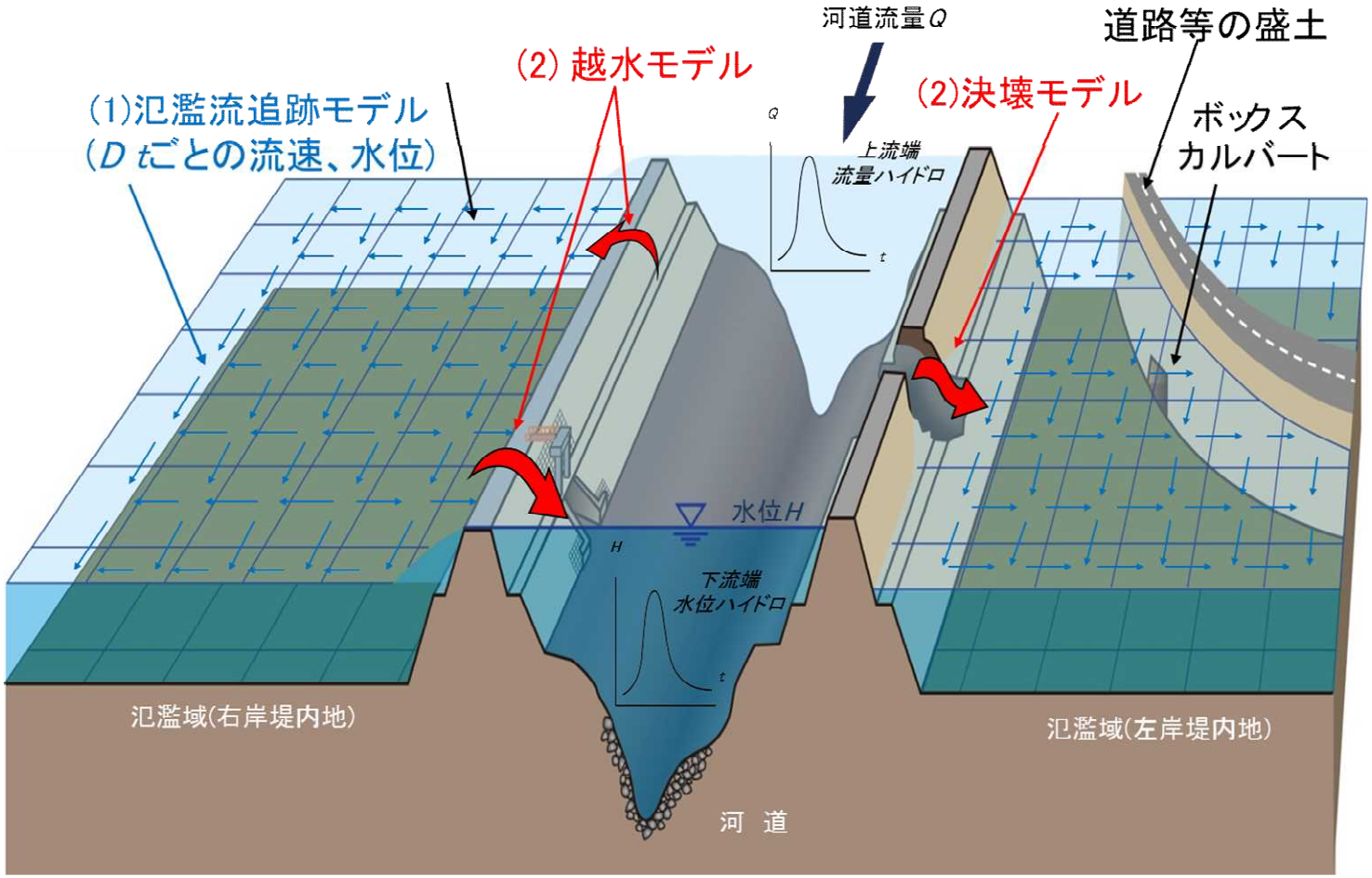
11－3－1. 氾濫によるリスク
↓
11－3－2. 浸水確率の変化
↓
11－3－3. 気候変動によるリスク変化
↓
11－3－4. 社会的リスクの高い地域

氾濫シミュレーションについて

■ 大量アンサンブル降雨データから算出した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

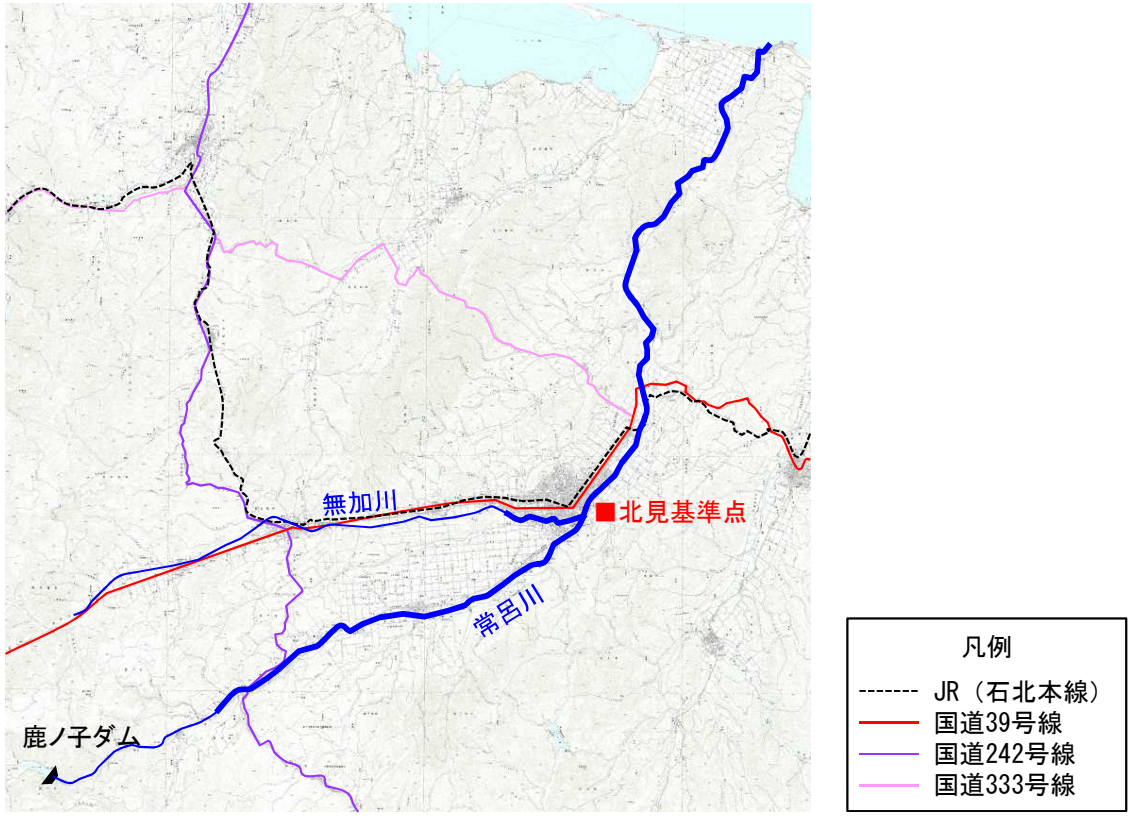
(2)決壊・越水モデル
　越流公式(河道⇒氾濫原：栗城等の式、氾濫原⇒河道：本間の式)



※施設状態は現況を想定した

氾濫シミュレーション条件について

■ 以下の条件のもと、氾濫シミュレーションを実施した。

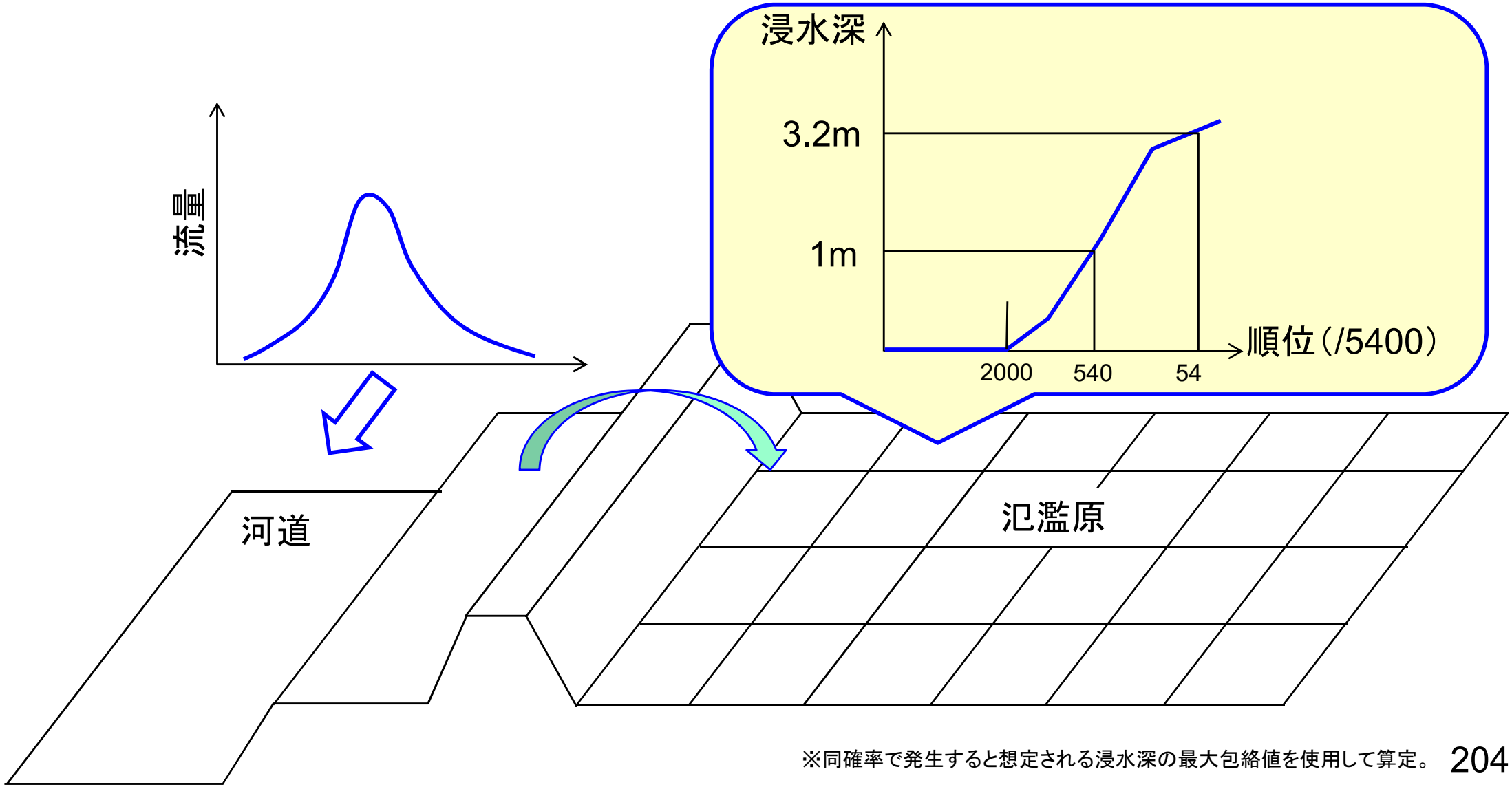


●主な氾濫シミュレーション条件

項目	内容
計算メッシュサイズ　・地盤標高	125m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28年河道
洪水調節施設	現況施設（鹿ノ子ダム）
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。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（4℃上昇5400ケース、2℃上昇3240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。

常呂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、常呂川および無加川沿いに広がっている。
- 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。

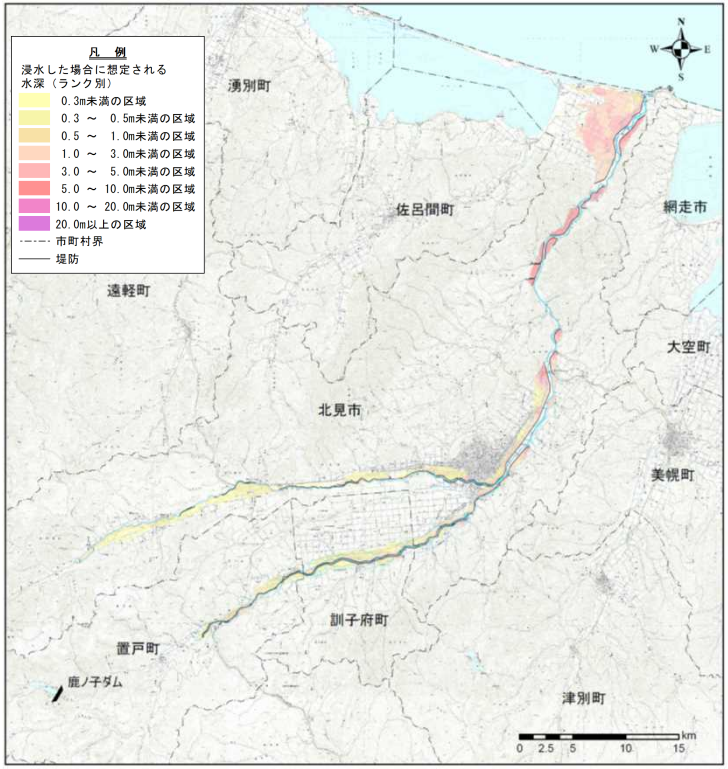
過去実験

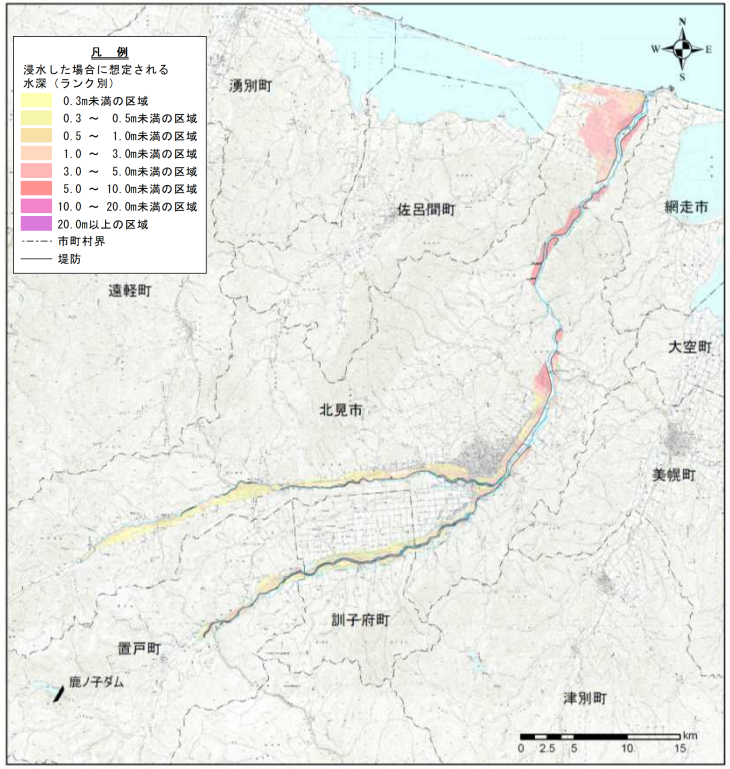
2℃上昇実験

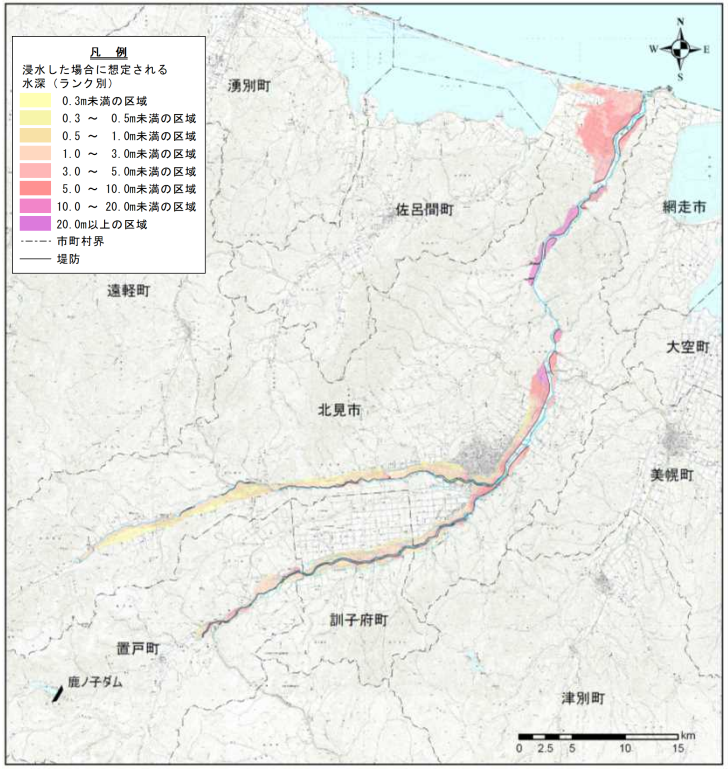
（RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）

4℃上昇実験

（RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）





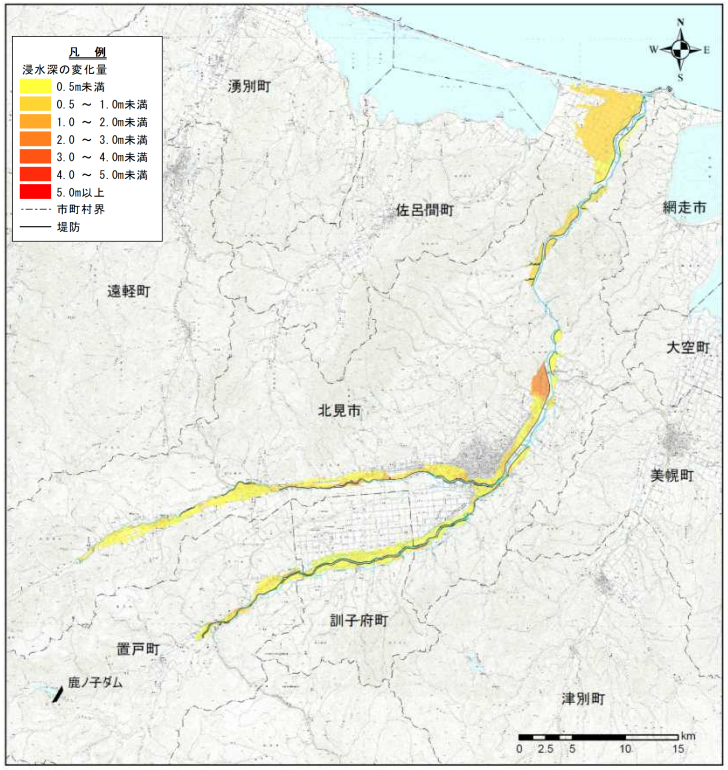


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

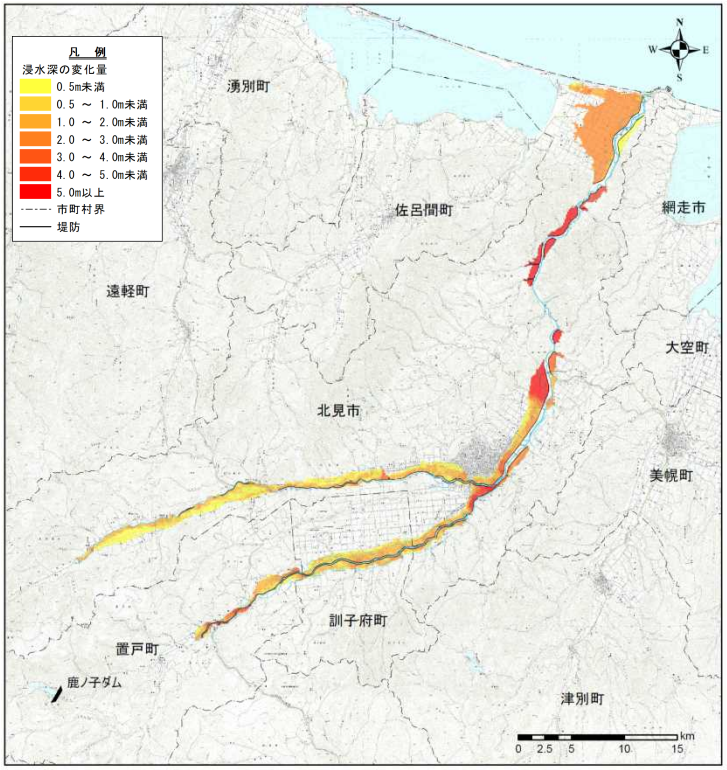
常呂川流域における気候変動による氾濫の変化（最大浸水深の変化量）

■ 過去実験から2 ℃上昇時点の最大浸水深の変化量を見ると、常呂川の下流山間部や中流部など、常呂川流域の広範囲で変化量が大きくなる。
■ さらに、2 ℃上昇時から4 ℃上昇時にかけて、流域全般に浸水深が増加。特に常呂川下流の山間部など、2 ℃上昇時で変化量が大きかった地域において、さらに浸水深が大きく増加する傾向が見られる。

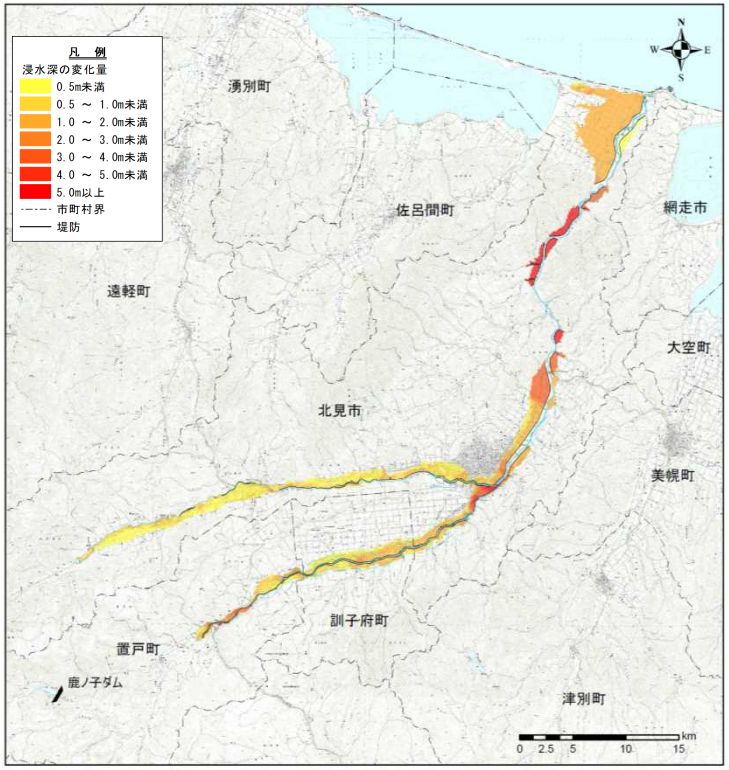
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



常呂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）

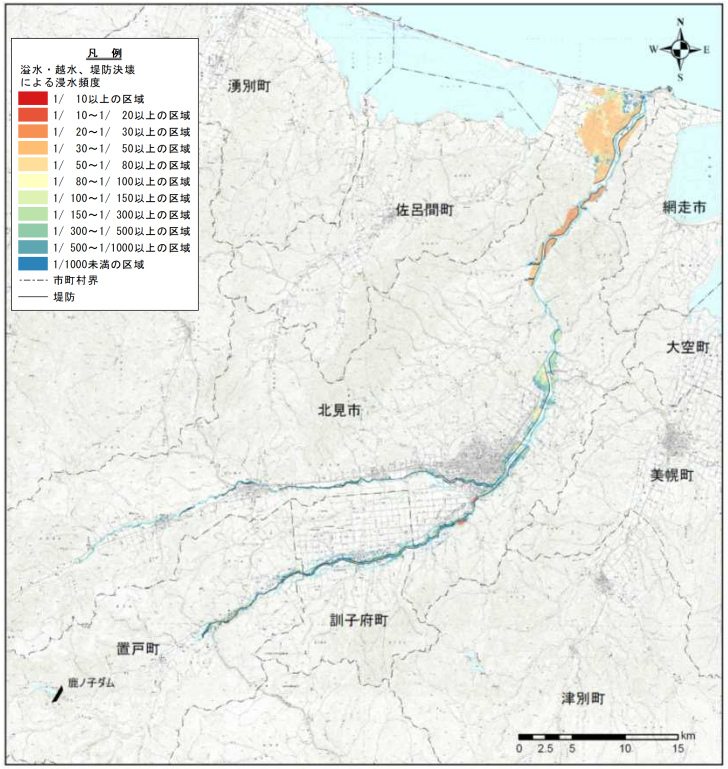
■ 4℃上昇が想定される2090年時点では、同一地点であっても浸水確率が増大する傾向にある。

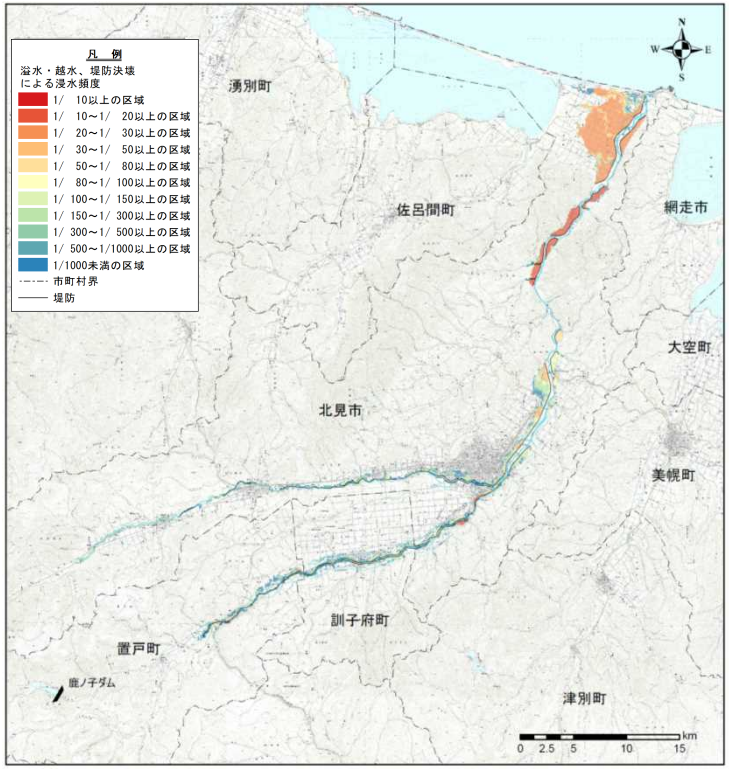
床上から50cm程度の浸水深となる確率（浸水深1m)

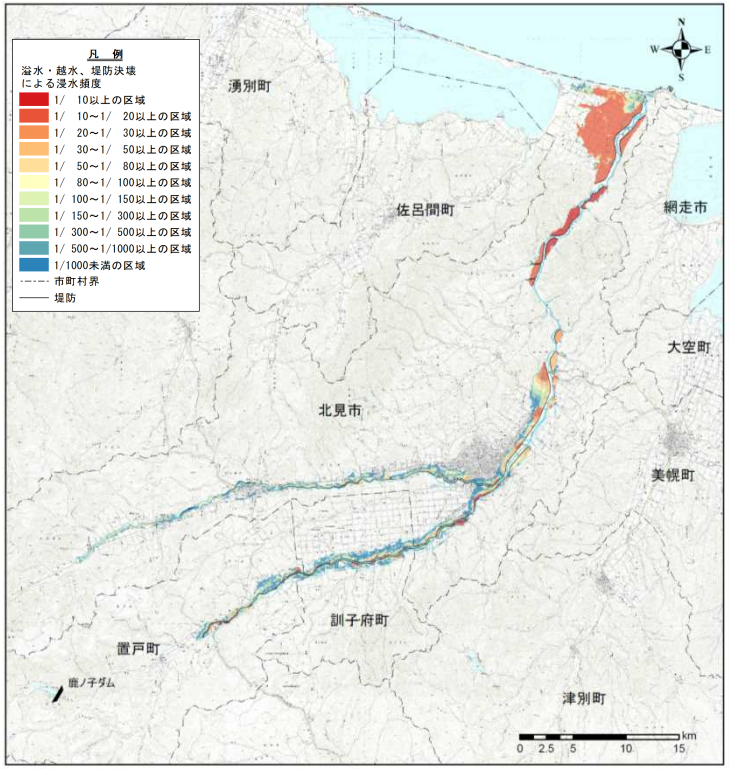
過去実験

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）







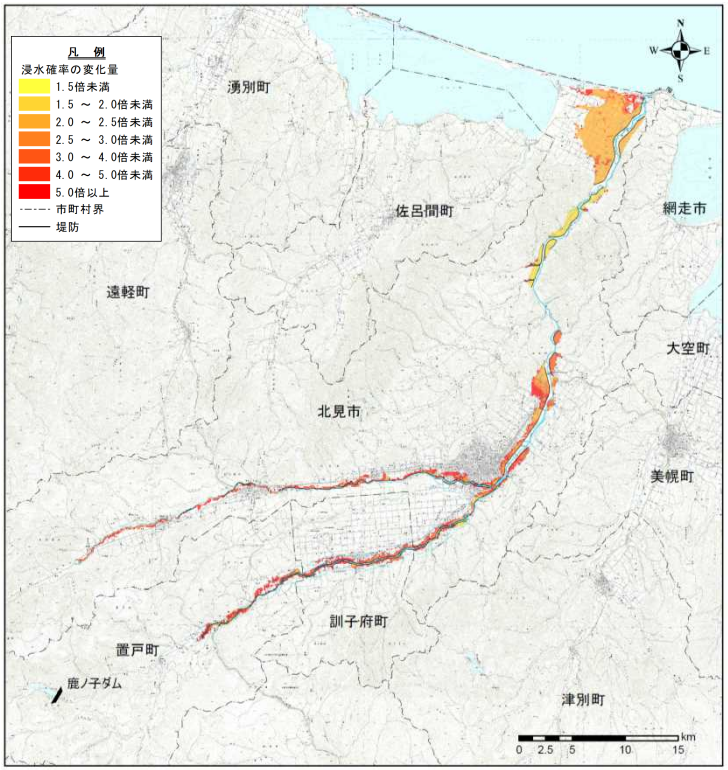
※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの氾濫計算を実施し、各メッシュで浸水深1mを超える頻度を表示。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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）

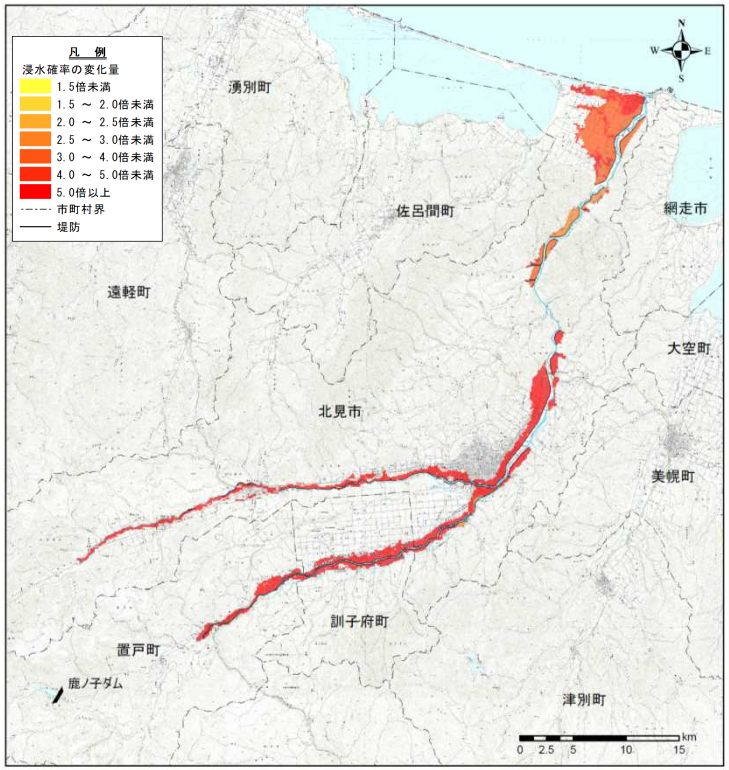
■ 浸水深1mとなる浸水確率について、各時点による変化倍率を示す。
■ 過去実験から2 ℃上昇実験では、流域全体で変化倍率が大きく、また、2 ℃上昇実験から4 ℃上昇実験では、常呂川の上流部や中流部、無加川などにおいて、変化倍率が特に大きくなる傾向が見られた。

床上から50cm程度の浸水深（浸水深1m)確率の変化倍率

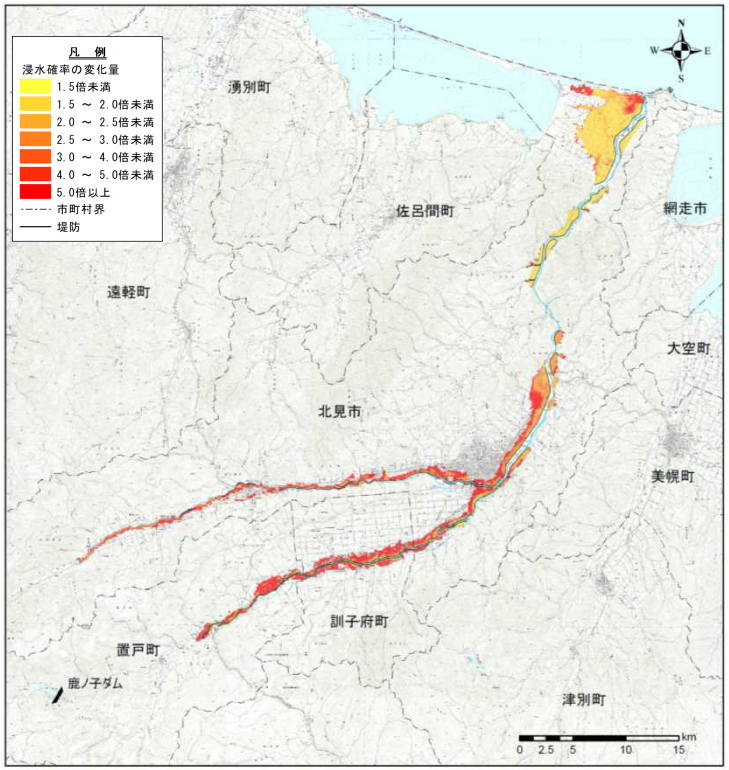
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



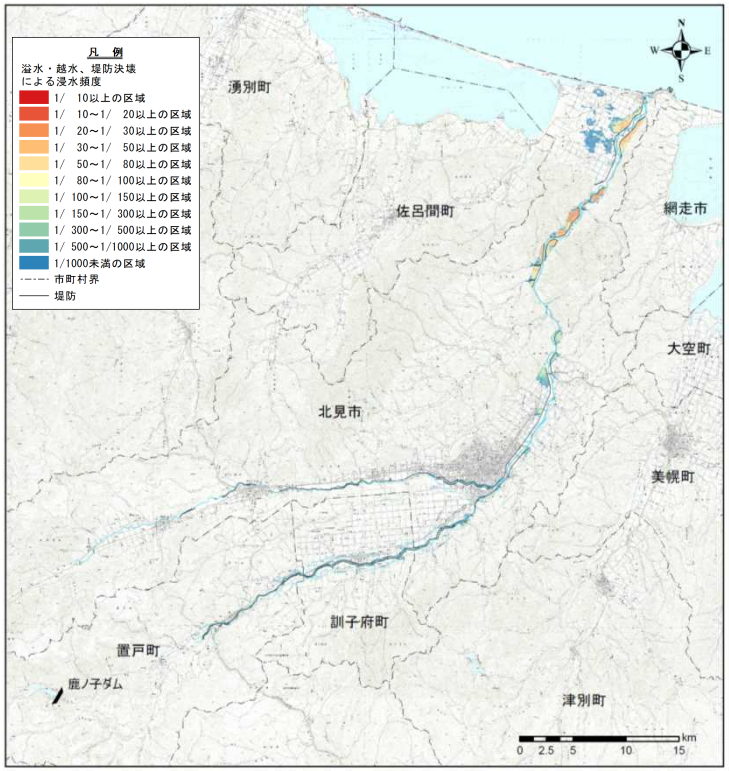
※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの氾濫計算を実施し、各メッシュで浸水深1mを超える頻度を表示。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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。

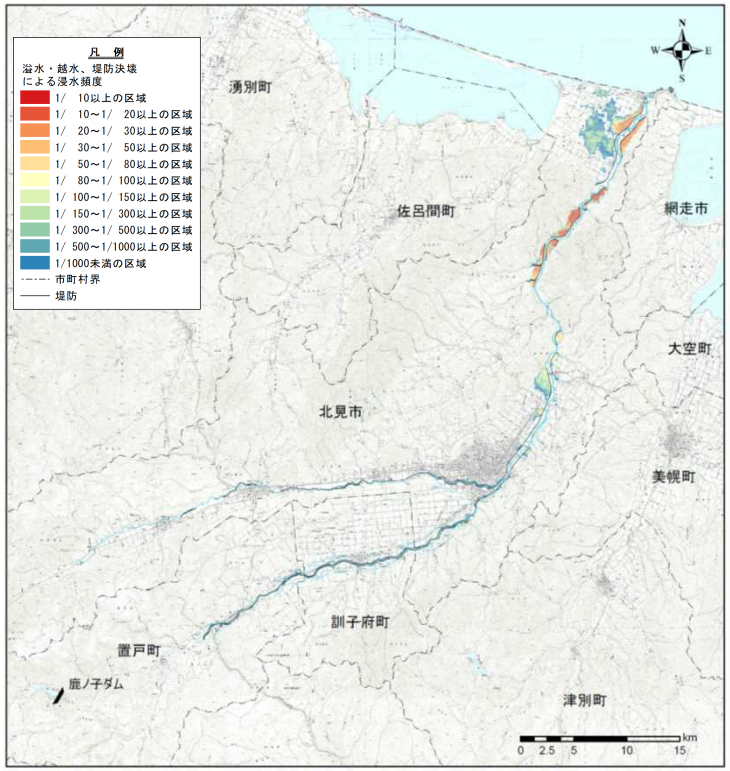
1階が水没する程度となる浸水深となる確率（浸水深3.2m）

過去実験



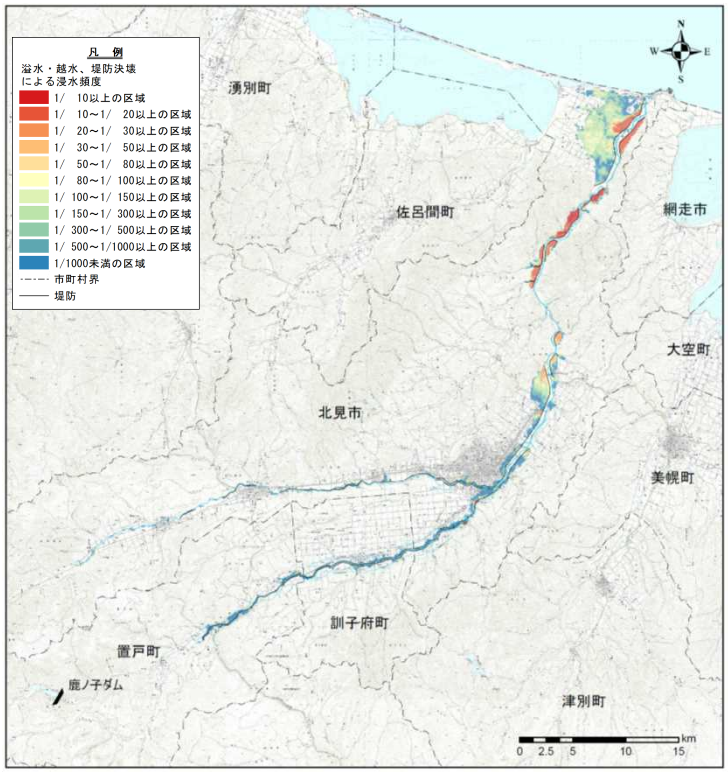
2℃上昇実験

（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）



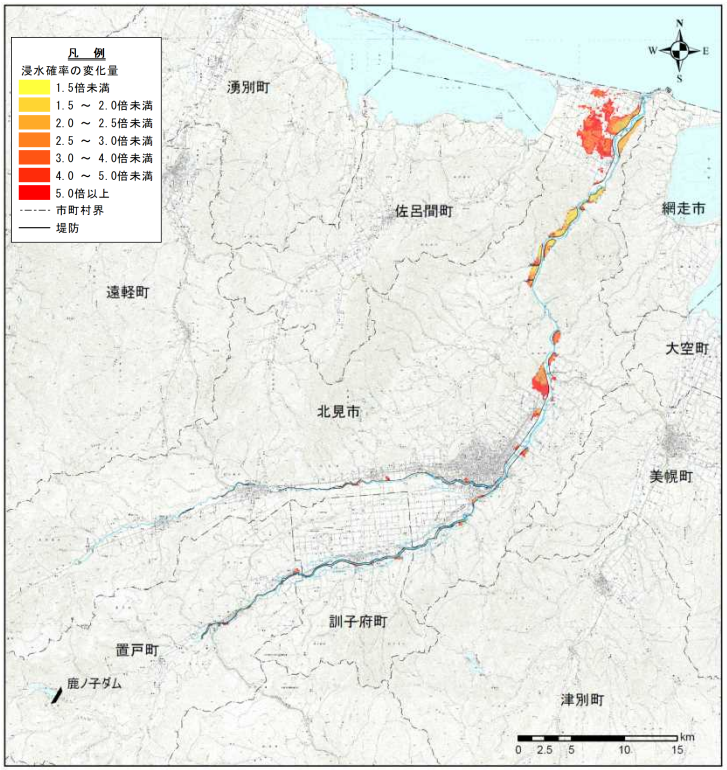
※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの氾濫計算を実施し、各メッシュで浸水深3.2mを超える頻度を表示。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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）

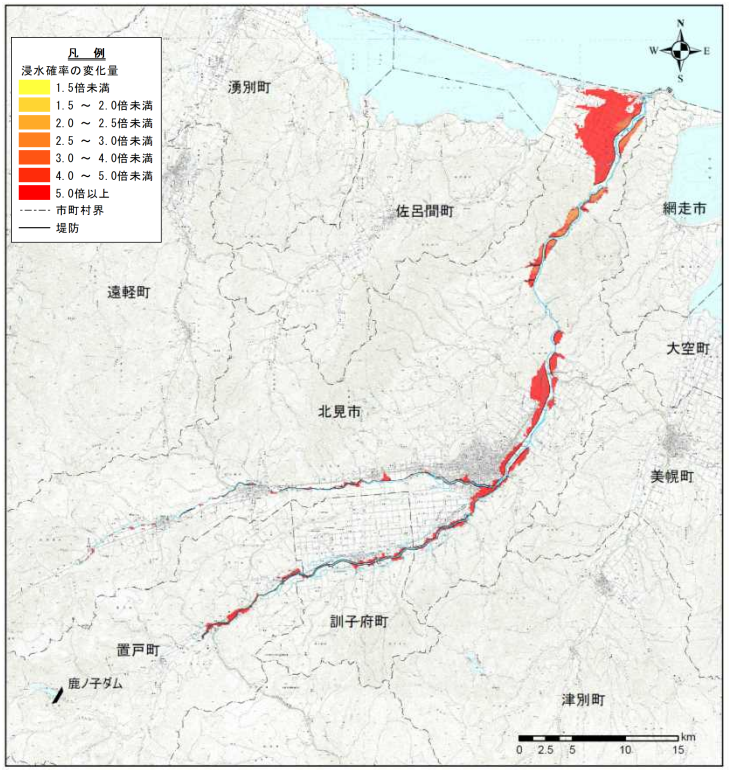
■ 浸水深3.2mとなる浸水確率について、各時点による変化倍率を示す。
■ 過去実験から2 ℃上昇実験では下流部を中心に変化倍率が大きく、2 ℃上昇から4 ℃上昇実験では常呂川の広い範囲で変化倍率が大きくなる傾向が見られた。

1階が水没する程度となる浸水深(3.2m)確率の変化倍率

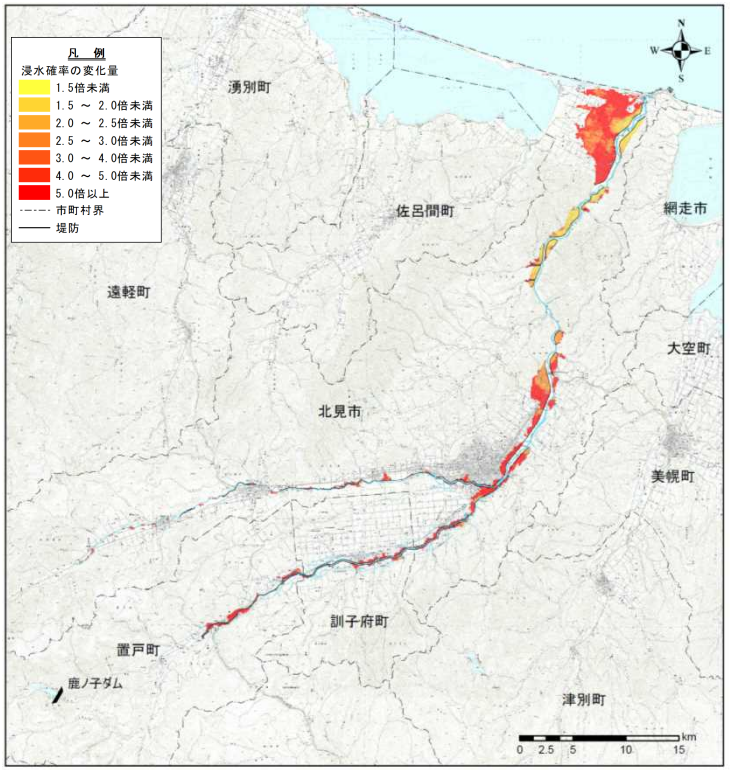
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



※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（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

11－3－3. 気候変動によるリスク変化

11－1. 気候変動による降雨の変化
↓
11－2. 気候変動による流量の変化
↓
11－3. 気候変動によるリスクの変化

11－3－1. 氾濫によるリスク
↓
11－3－2. 浸水確率の変化
↓
11－3－3. 気候変動によるリスク変化
↓
11－3－4. 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）

■ オランダにおいては、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　$v < 2m/s$ 、　$d \geq 2.1m$　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　$v < 2m/s$ 、　$d \geq 2.1m$　かつ　$0.5m/hr \leq w < 4m/hr$

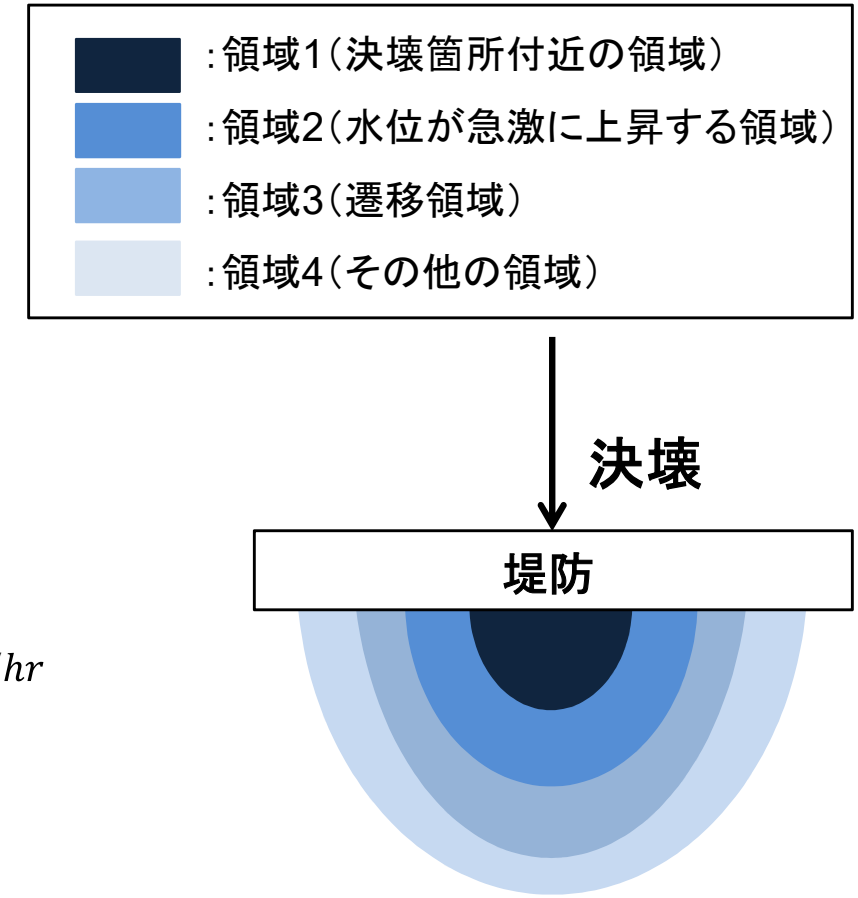
$$F_D = F_{D,Remain} + (w - 0.5)\frac{F_{D,Rise} - F_{D,Remain}}{3.5}$$

【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　（$d \cdot v < 7m^2/s$　かつ　$v < 2m/s$）

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

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



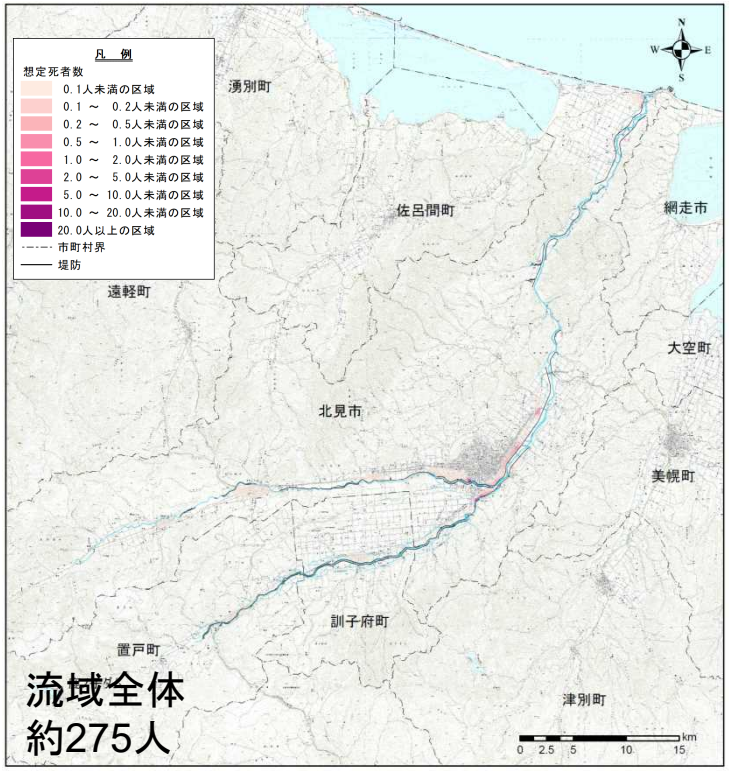
また、本検討においては、上述の領域1～3にあたる地域については、水位上昇が早く避難が困難になると想定されることから、これらの領域にあたる可能性のある地域を避難困難地域と定義することにより、以下の検討を進めた。

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

常呂川流域における気候変動による最大想定死者数の変化

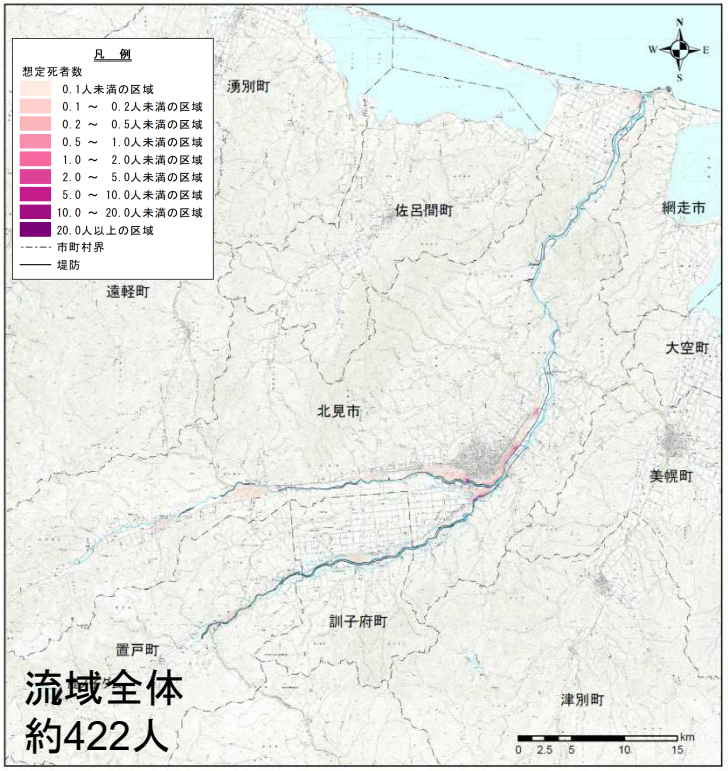
■ 流域における125mメッシュごとに、Florisモデルを用いて最大想定死者数を算出した。
■ 過去実験では、流域全体の最大想定死者数は275人であった。4℃上昇実験では最大想定死者数は約3,422人となった。
すなわち、気候変動により気温が4 ℃上昇すると、洪水による最大想定死者数は約12.4倍に増加する結果となった。

過去実験



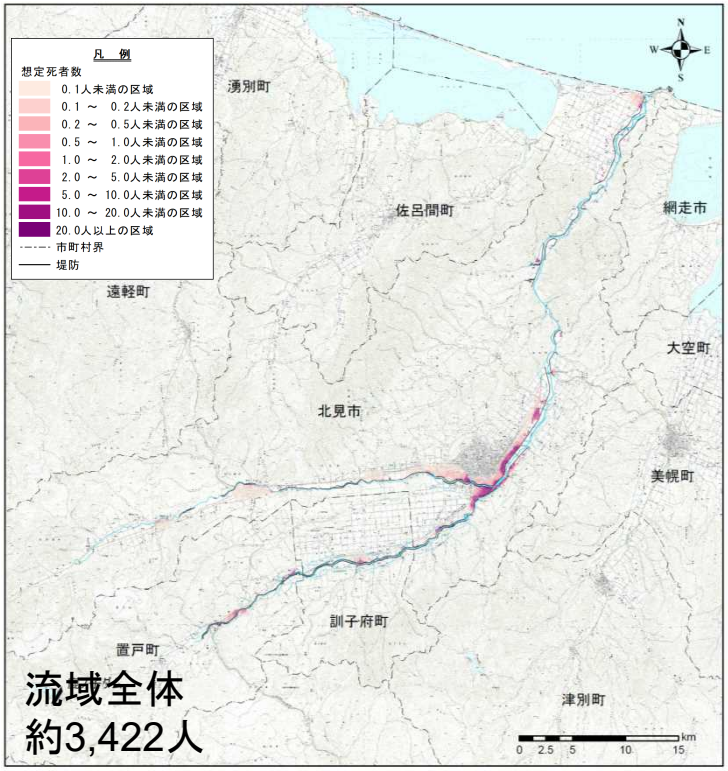
2℃上昇実験

（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）

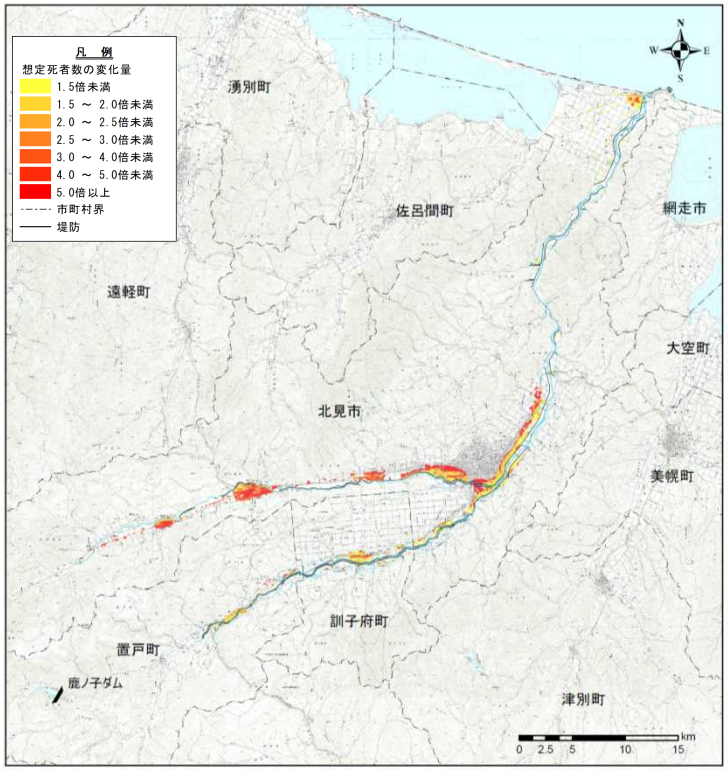


※過去実験3000ケース、2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を計算し、このうち全ケースで最大となるものを各メッシュごとで試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

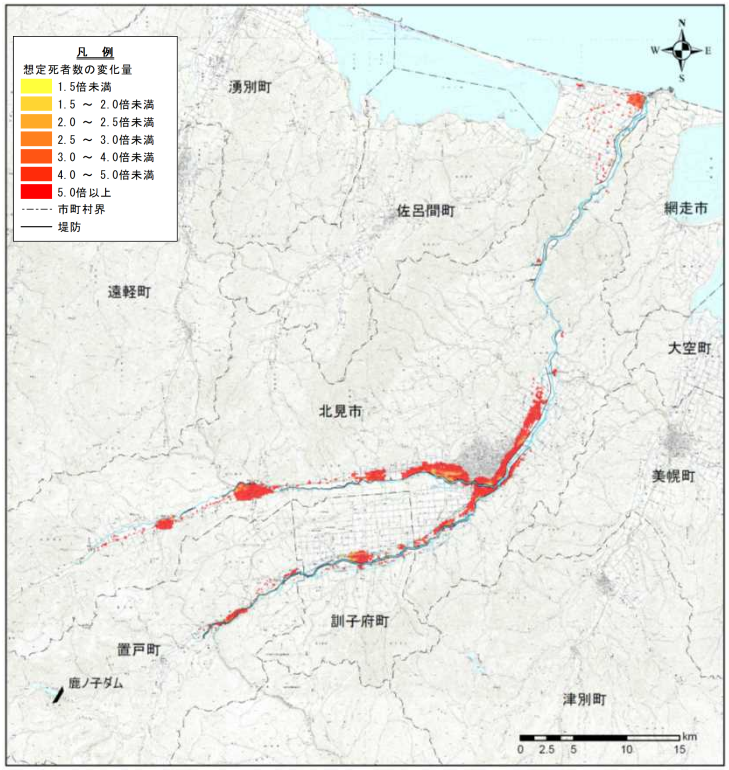
常呂川流域における気候変動による最大想定死者数の変化（変化倍率）

■ 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。

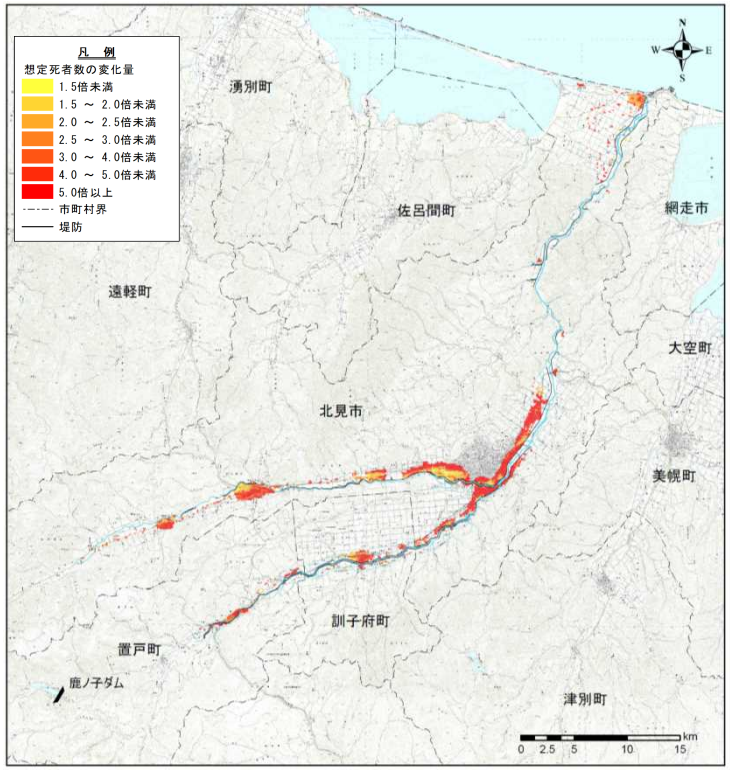
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



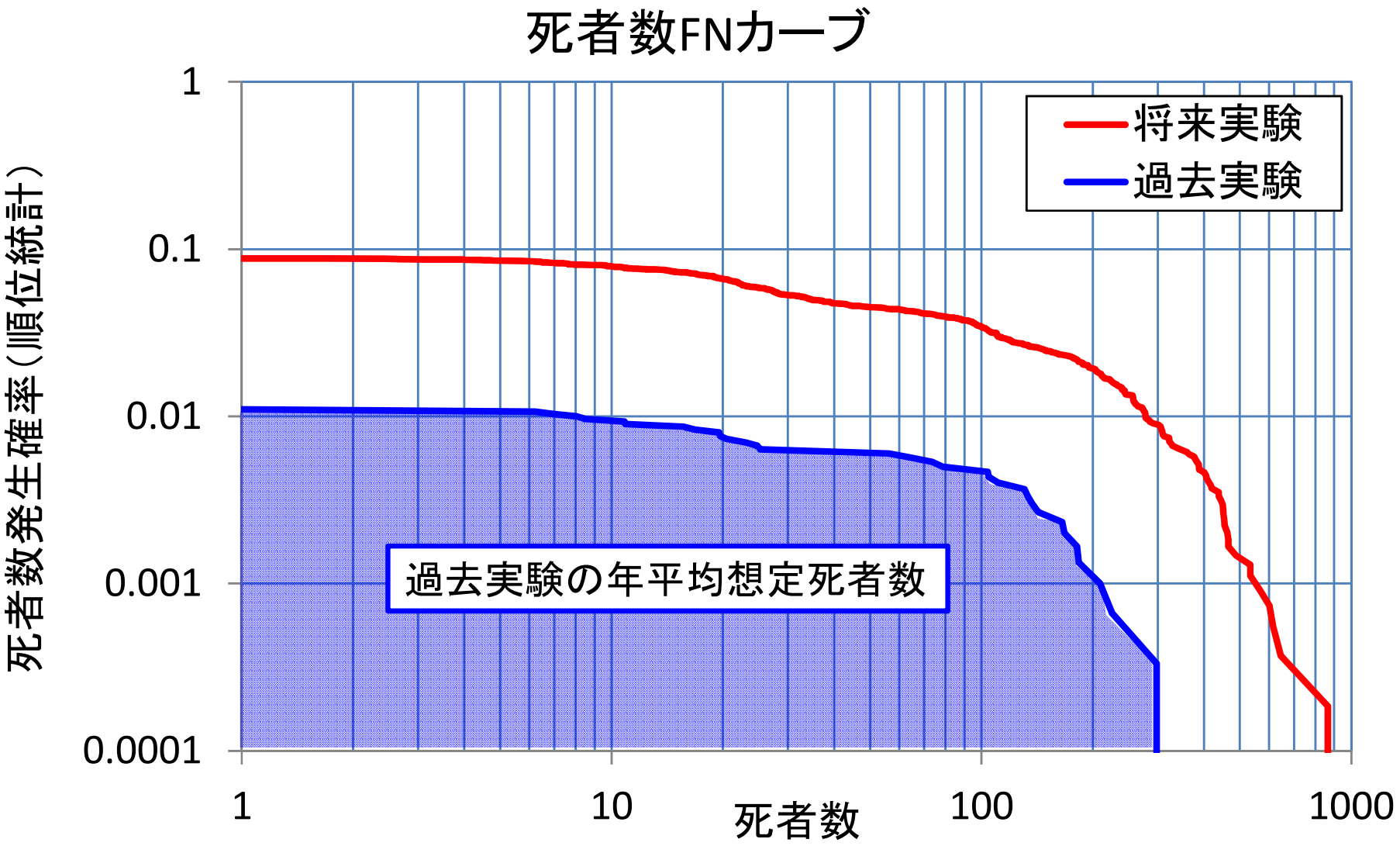
2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験



※過去実験3000ケース、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（無加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。

常呂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

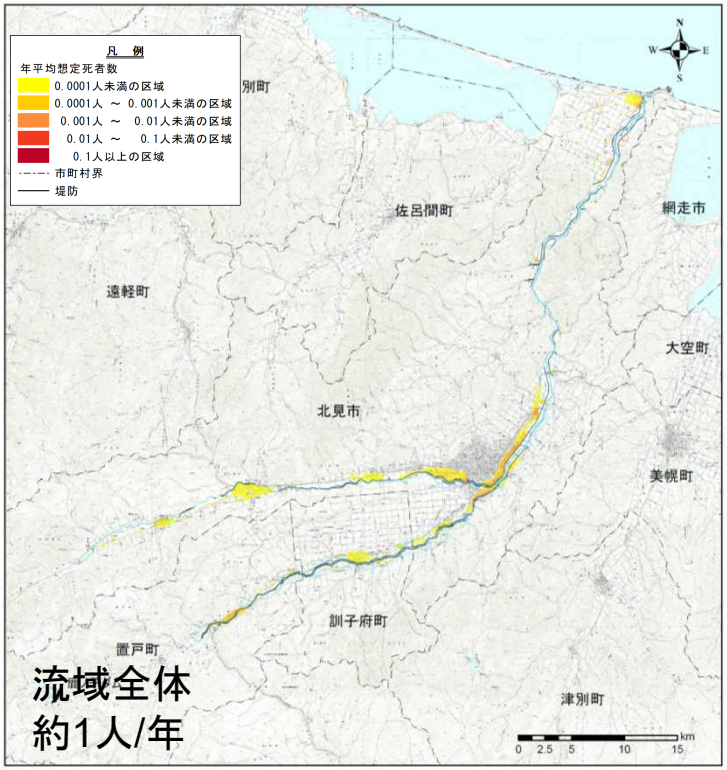
■ 過去実験における流域全体の年平均想定死者数は約1人/年であった。一方、4℃上昇実験における年平均想定死者数は約9人/年となった。すなわち、気候変動により気温が4℃上昇すると、洪水による年平均想定死者数は約9倍に増加する結果となった。

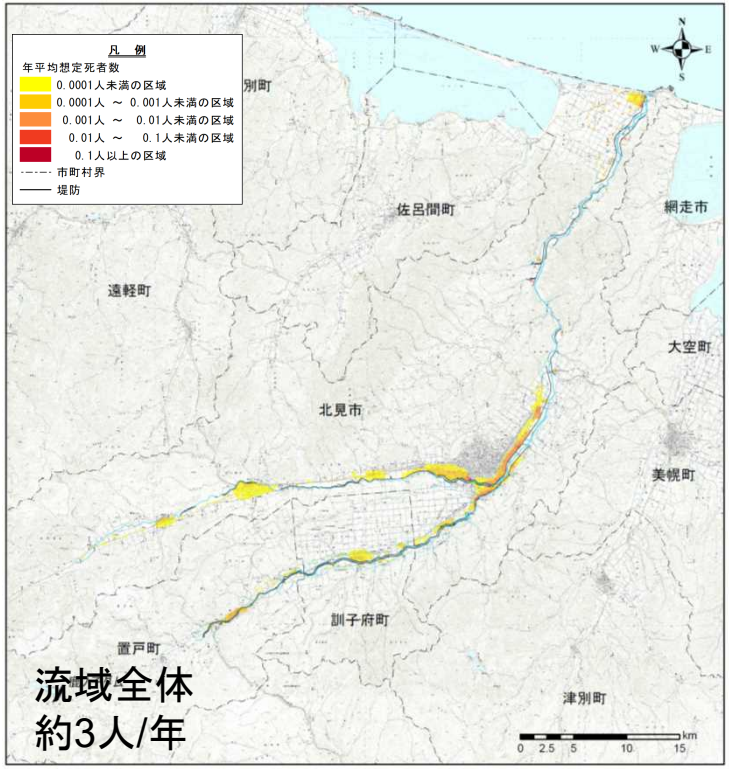
■ 年平均想定死者数は、流域中流部の北見市街地のほか、常呂川および無加川沿いに位置する市街地においても集中する傾向にある。

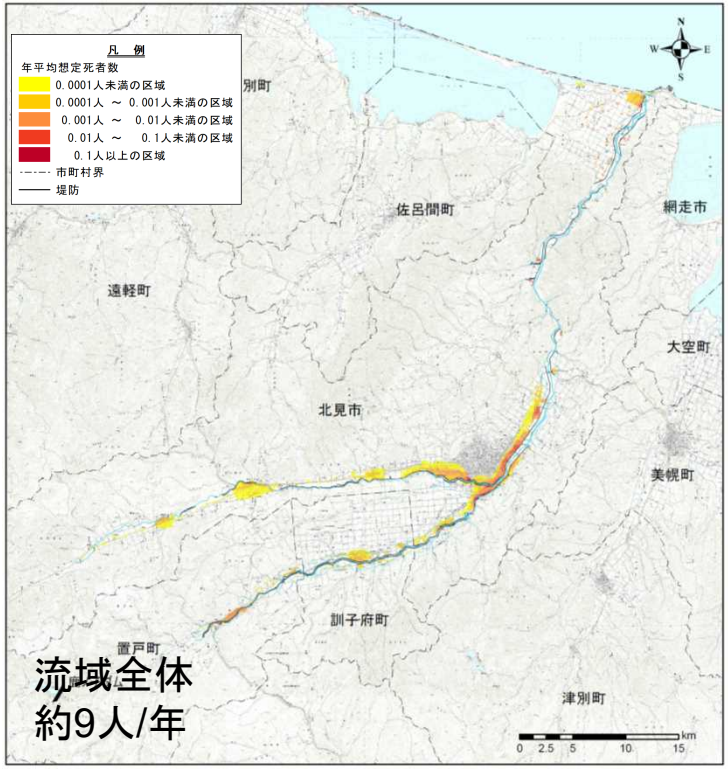
過去実験

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）





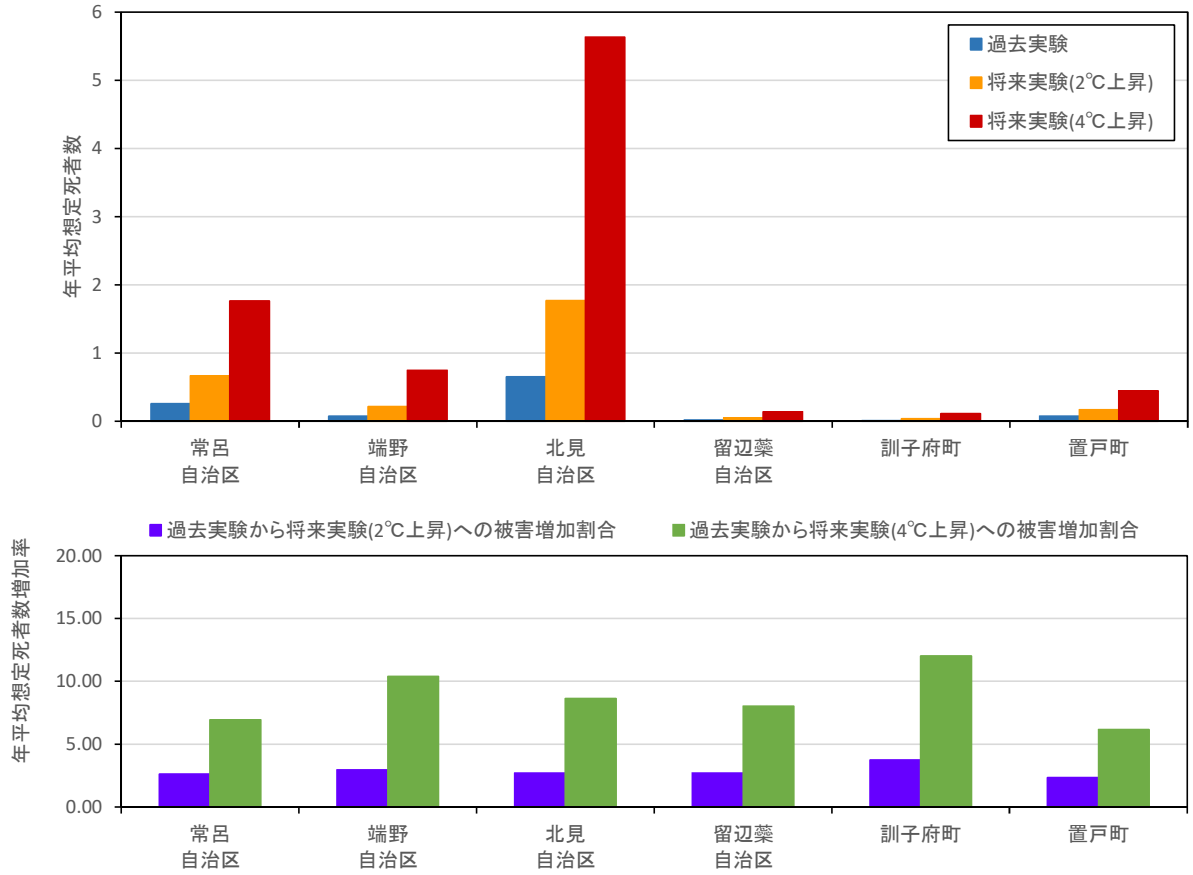


※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

常呂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（自治体毎）

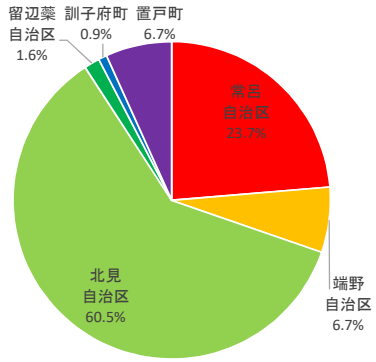
■ 年平均想定死者数を市町村別にみると、常呂川中流部の北見自治区に集中しているほか、下流部では常呂自治区で多くなっている。
■ 流域全体の年平均想定死者数に占める北見市（常呂自治区、端野自治区、北見自治区、留辺蘂自治区）の割合は、過去実験で約93%、4℃上昇実験で94%となっている。

市区町村別年平均想定死者数

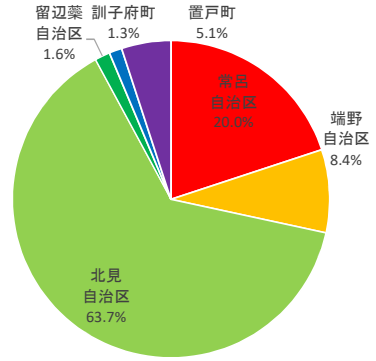


流域全体の年平均想定死者数に占める各市区町村の割合

過去実験



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、試算したものである。

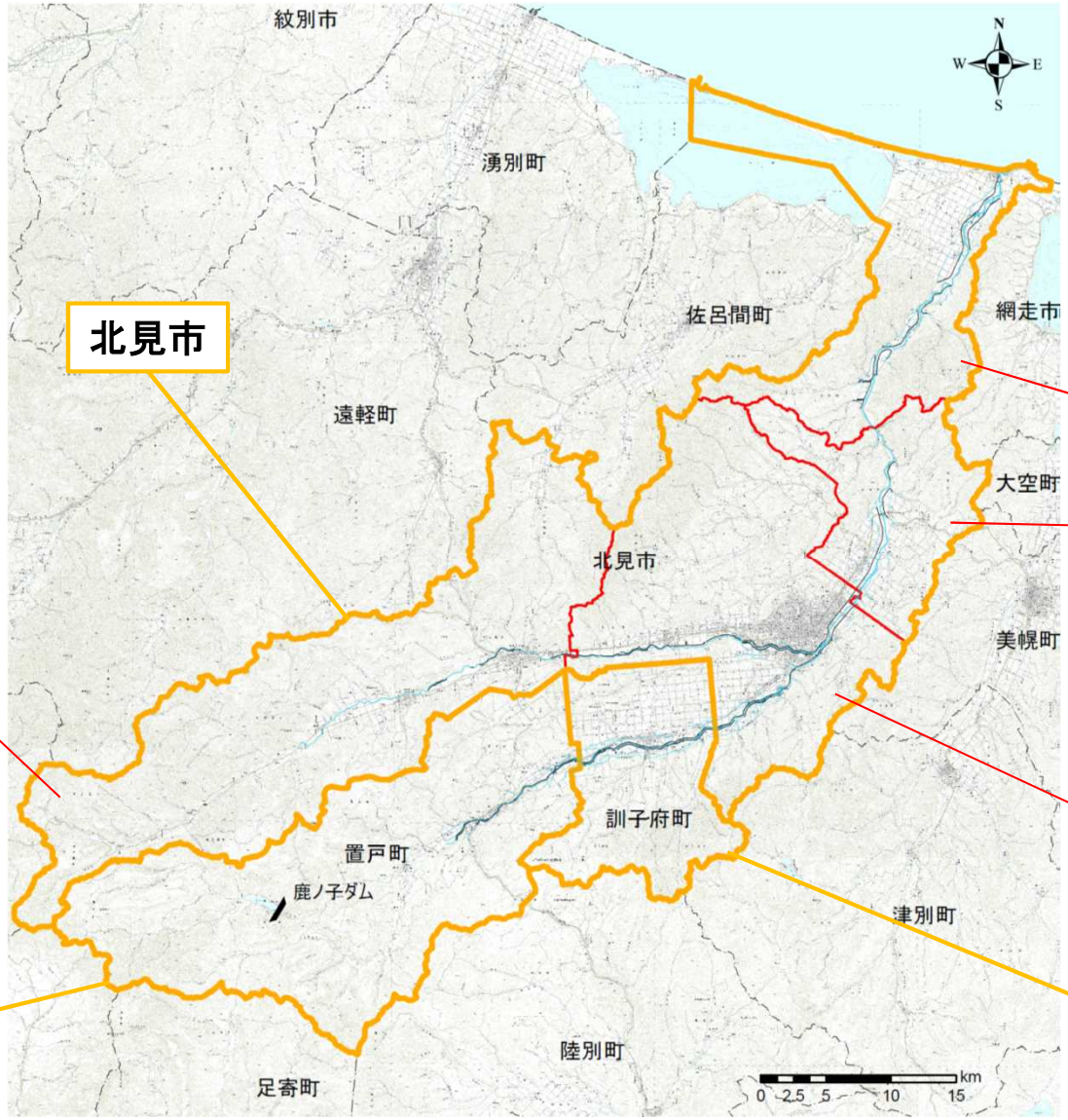
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

※避難率は0%として試算した。

（参考）常呂川流域の自治体区域

- 常呂川流域は北見市、訓子府町、置戸町の1市2町からなる。
- 北見市は平成18年に常呂町、端野町、北見市、留辺藥町と合併し、現在は「常呂自治区」「端野自治区」「北見自治区」「留辺藥自治区」としてエリア分けされている。
- 本検討において想定死者数や浸水施設数を自治体毎に算出する際は、北見市は自治区毎に分けて算出した。

常呂川流域の自治体区域



北見市
常呂自治区
端野自治区
留辺藥自治区
北見自治区
置戸町
訓子府町

常呂川流域における気候変動による避難困難地域の変化

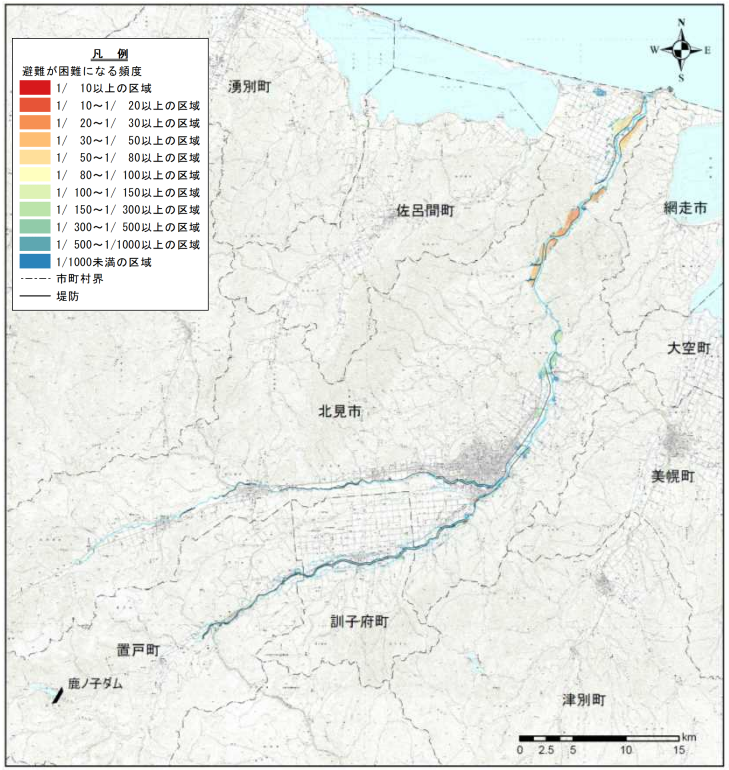
■ 4℃上昇時点においては、常呂市街地を中心としたエリア、下流山間部を中心としたエリア、訓子府市街地など上流部を中心としたエリアなどで避難困難区域※が広がっており、浸水時の水位上昇が早いことが想定される。

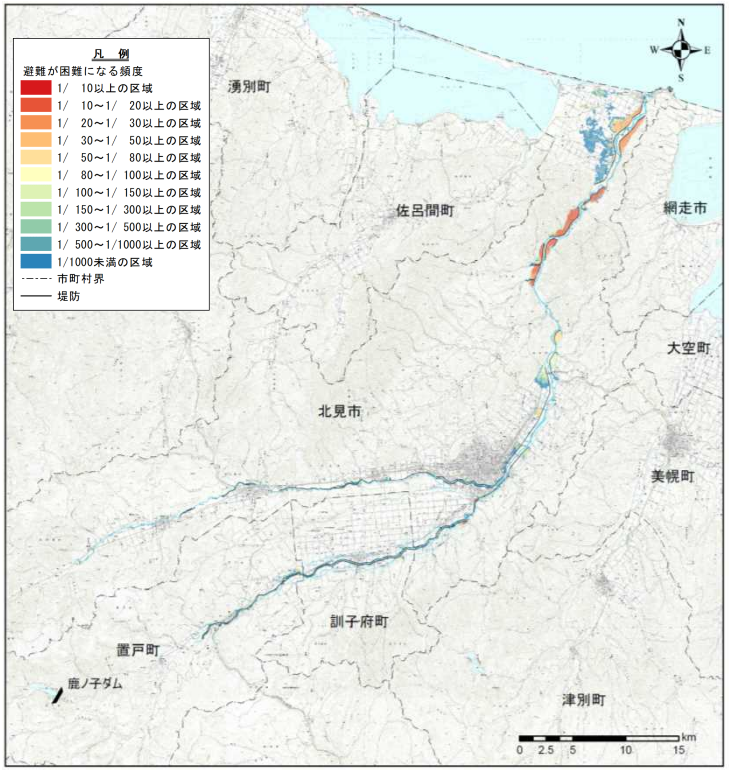
※想定死者数の算定において、領域1～3にあたる地域については水位上昇が早く避難が困難になると想定されることから、これらの領域にあたる可能性のある地域を避難困難地域と定義している。

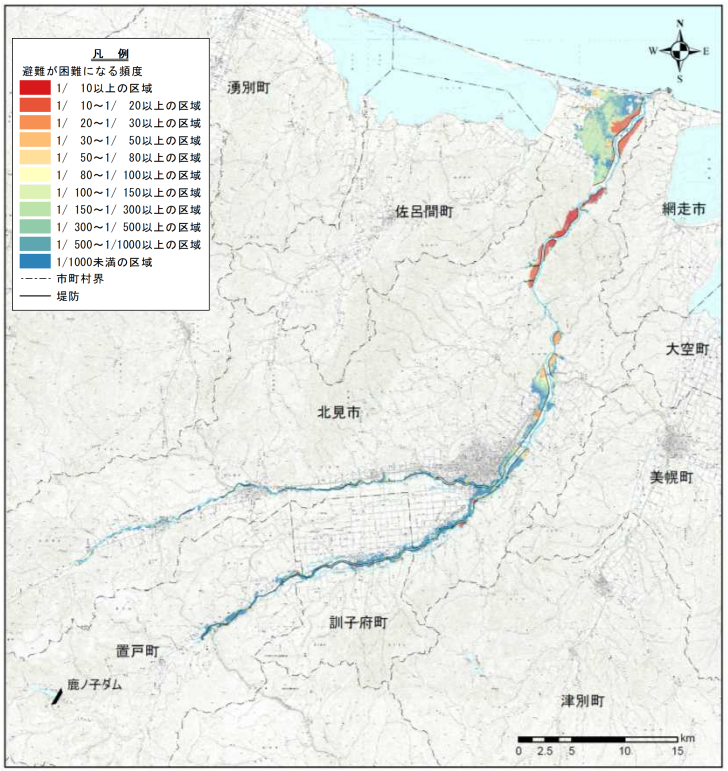
過去実験

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）





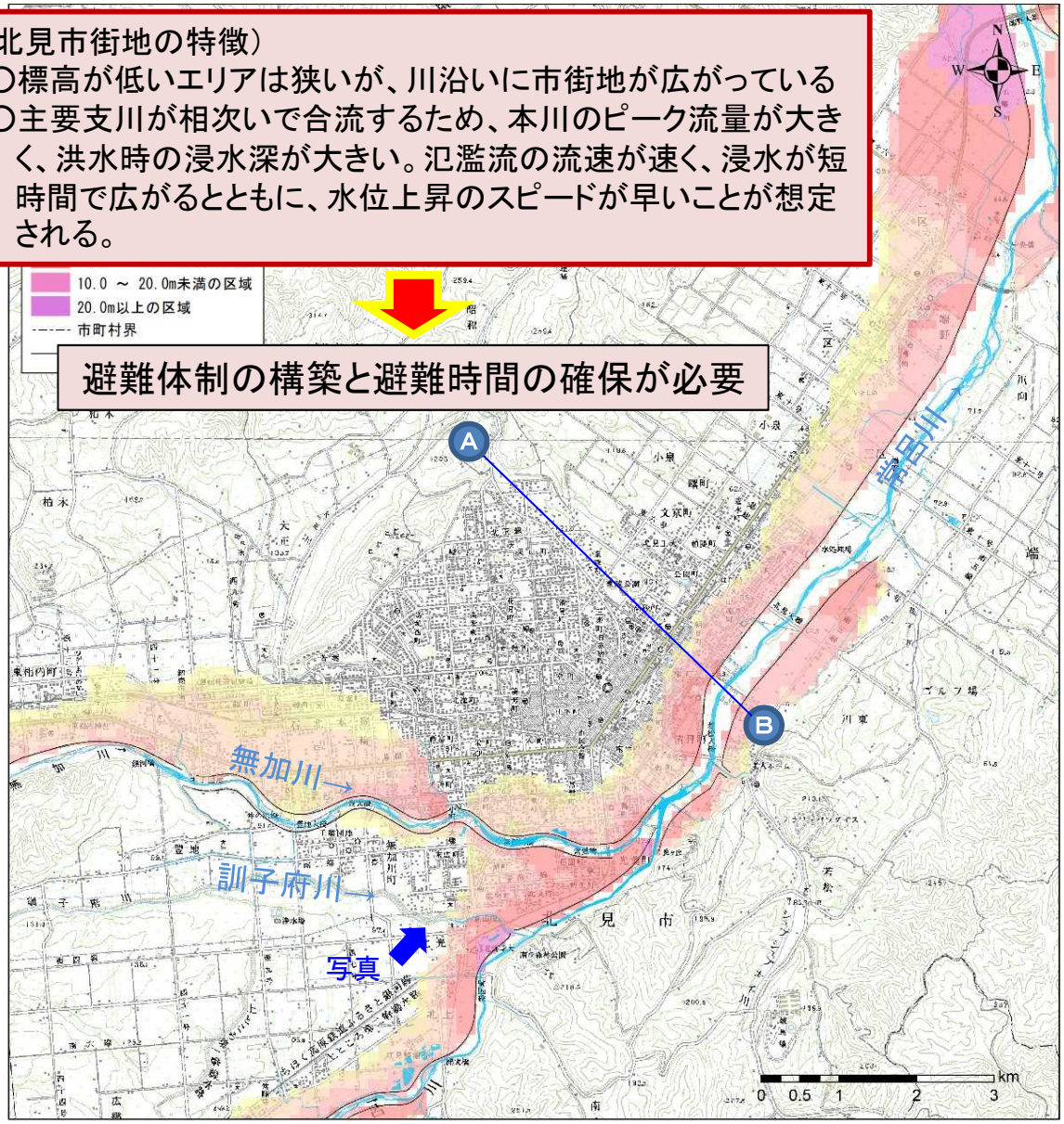


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

（参考）北見市街地の断面図

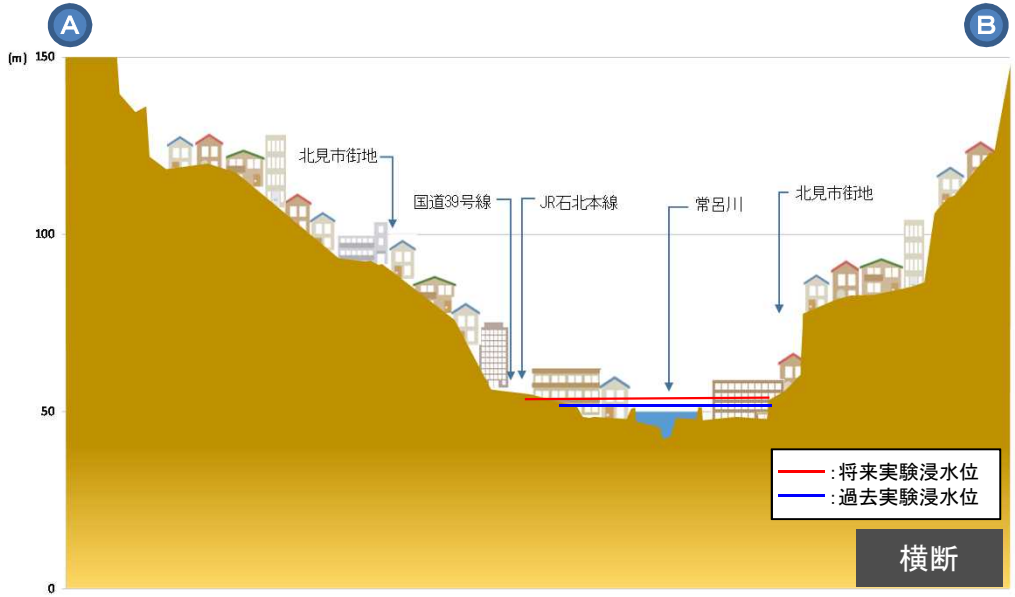
最大浸水域（4℃上昇実験）

（北見市街地の特徴）
〇標高が低いエリアは狭いが、川沿いに市街地が広がっている
〇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。



写真





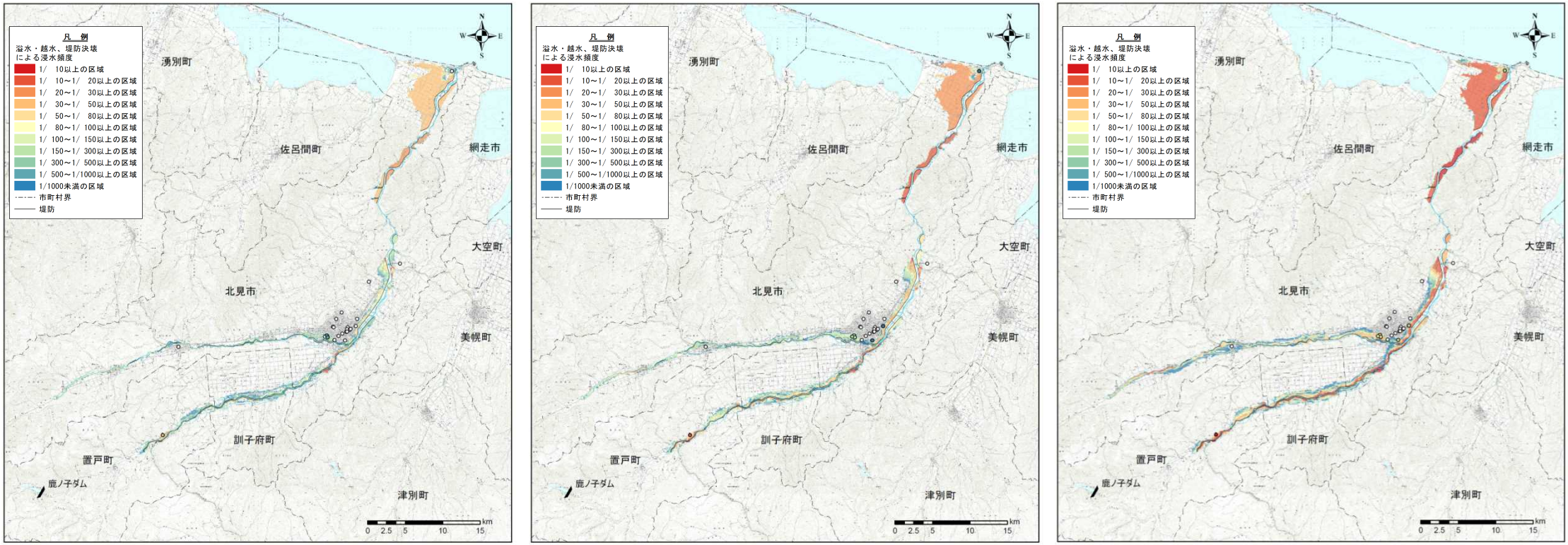
常呂川流域における気候変動によるリスク変化：病院（入院可能な施設）

■ 常呂川流域には、入院が可能である病院が24施設存在しており、このうち約8割となる19施設が北見自治区に位置している。
■ 一部の病院では、過去実験における浸水確率は1/500以下であったが、4℃上昇実験では1/60～1/70の浸水確率となる状況が見られる。

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）

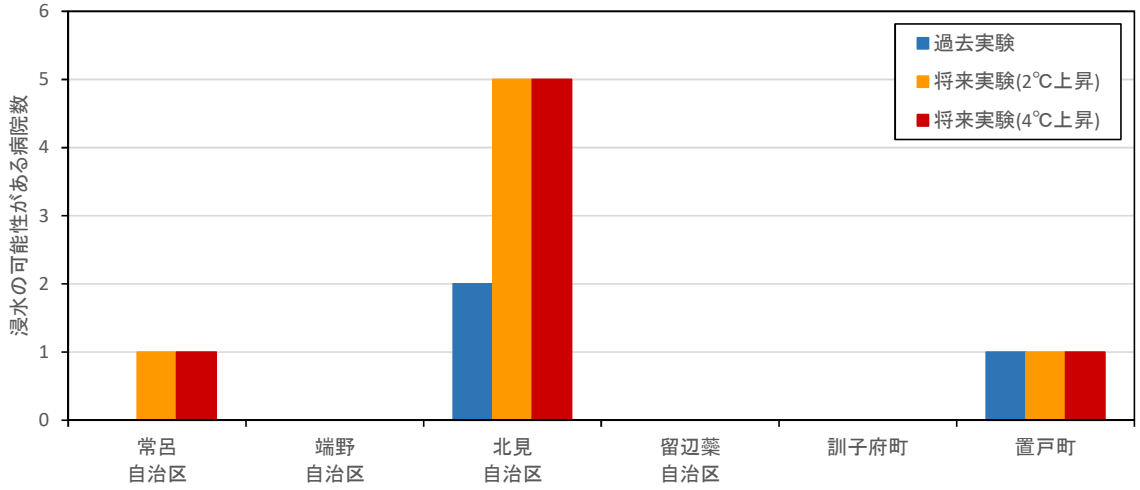


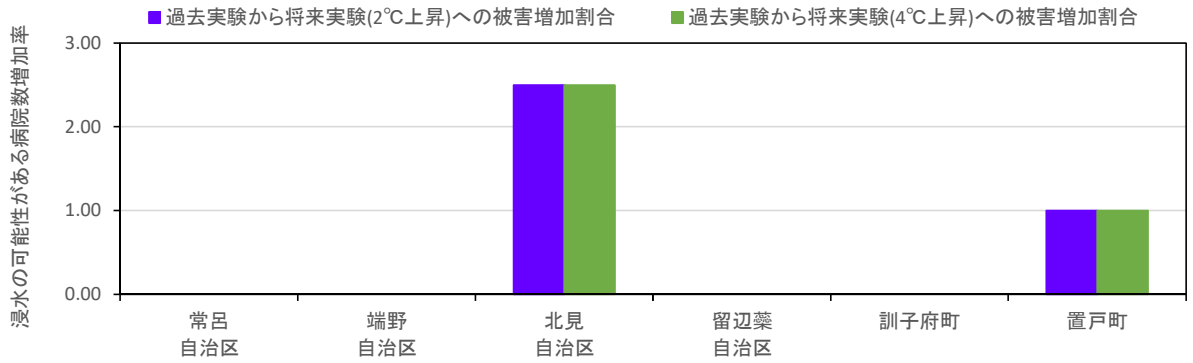
※国土数値情報から取得した病院のうち、病床数1以上の病院を抽出。
※自動車の走行困難、災害時要援護者の避難が困難な水位（30cm）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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）

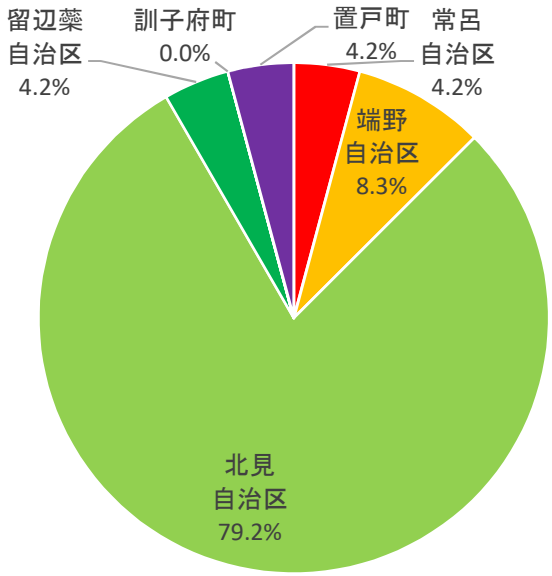
- 浸水の可能性のある病院（入院可能な施設）は、過去実験で3施設（うち北見自治区2施設）、4℃上昇実験で7施設（うち北見自治区5施設）となっており、北見自治区内に集中している。
- 気候変動により気温が4 ℃上昇すると、浸水の可能性のある病院数は約2.3倍に増加する結果となった。

市区町村別浸水の可能性がある病院数





流域全体の病院に占める各市区町村の割合

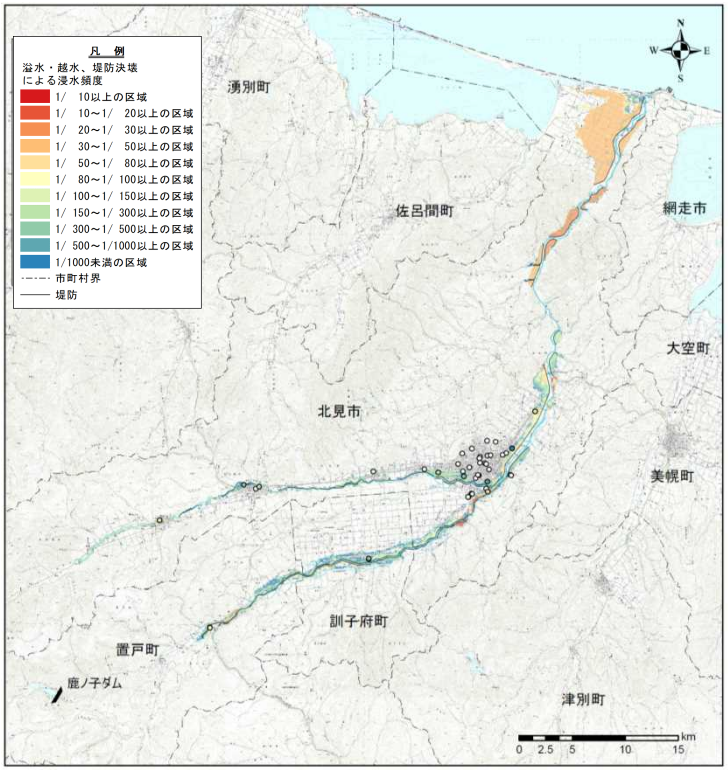


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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

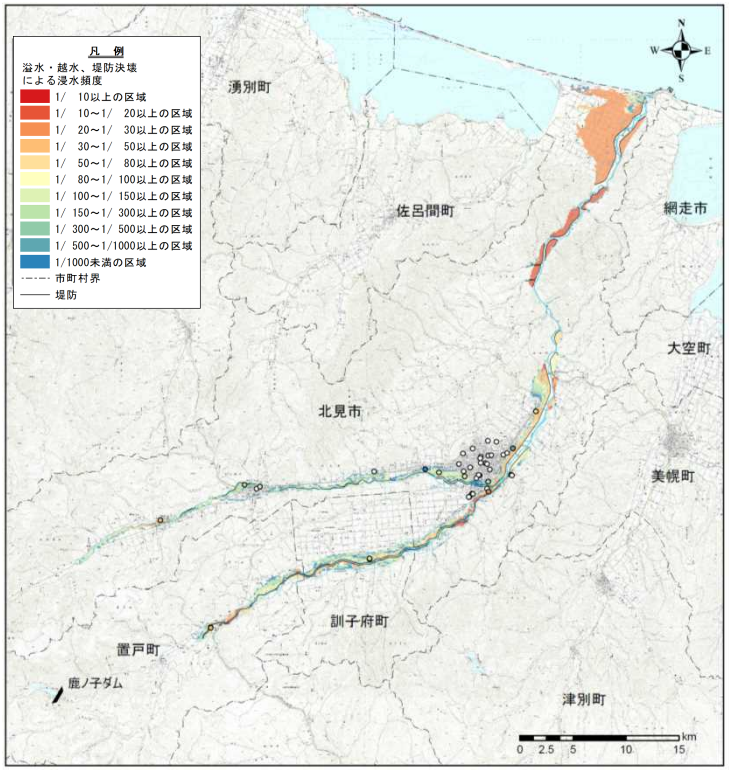
■ 常呂川流域には、老人福祉施設が44施設存在しており、そのうち35施設が北見自治区に位置している。多くの老人福祉施設が河川沿いに位置している。
■ 一部の施設では、過去実験における浸水確率が1/100以下であったが、4℃上昇実験では1/20程度の浸水確率となる状況がみられる。

過去実験



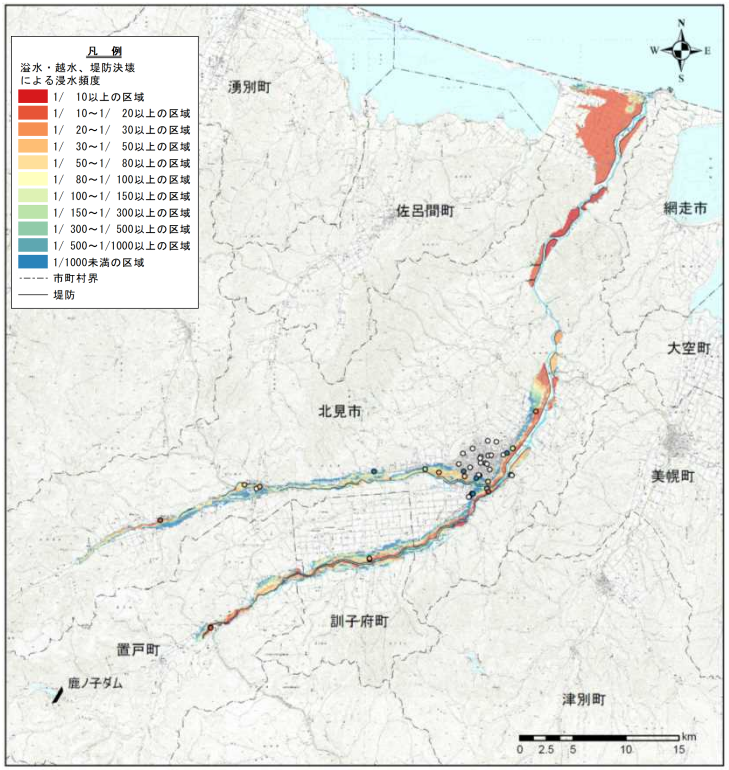
2℃上昇実験

（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）

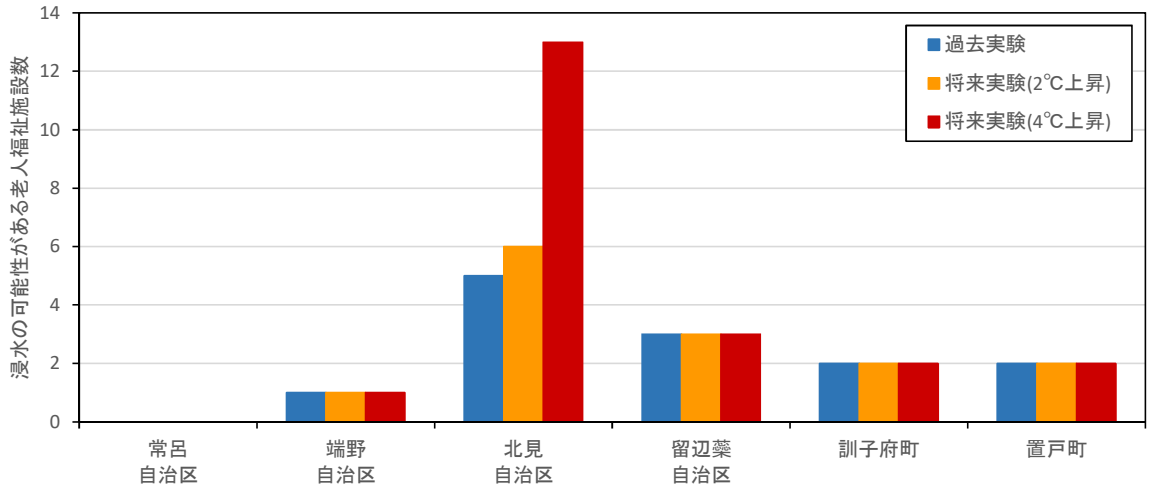


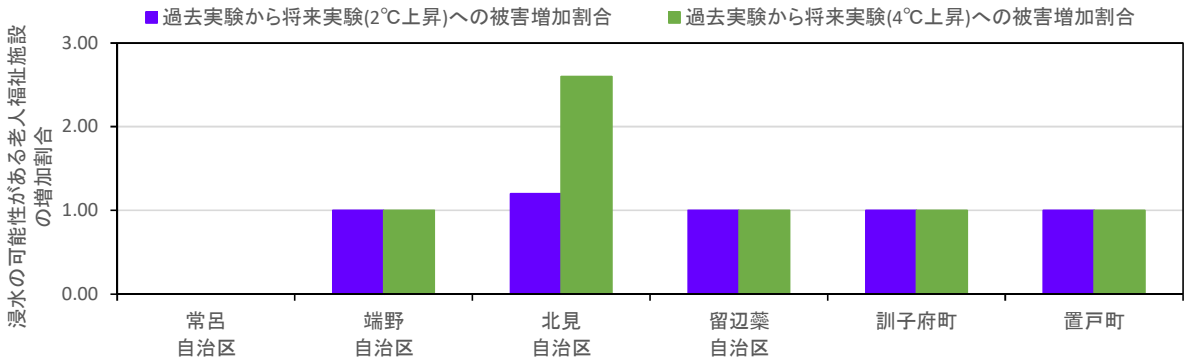
※老人福祉施設：国土数値情報から取得した老人福祉施設。養護老人ホーム（一般）・特別養護老人ホーム・老人福祉センター（特 A型）・老人福祉センター（ A型）・軽費老人ホーム（ケアハウス）・軽費老人ホーム（A型）・有料老人ホームが含まれる。
※自動車の走行困難、災害時要援護者の避難が困難な水位（30cm）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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

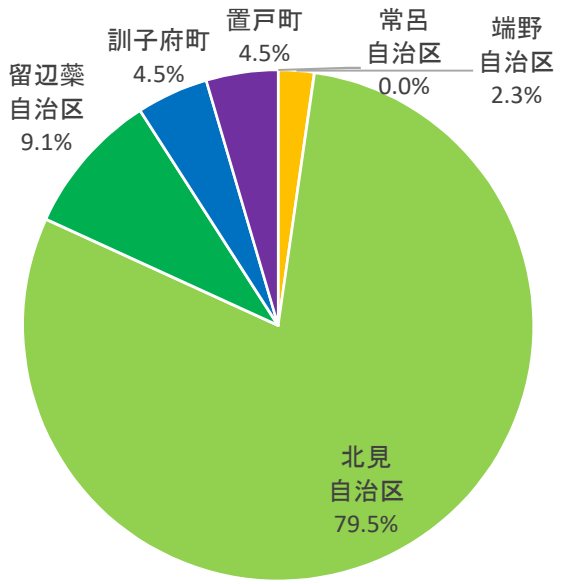
■ 浸水の可能性のある老人福祉施設は、過去実験で13施設（うち北見自治区5施設）、4℃上昇実験で21施設（うち北見自治区13施設）となっており、北見自治区に集中している。
■ 気候変動により気温が4 ℃上昇すると、浸水の可能性のある老人福祉施設数は約1.6倍に増加する結果となった。

市区町村別浸水の可能性がある老人福祉施設数





流域全体の老人福祉施設に占める各市区町村の割合

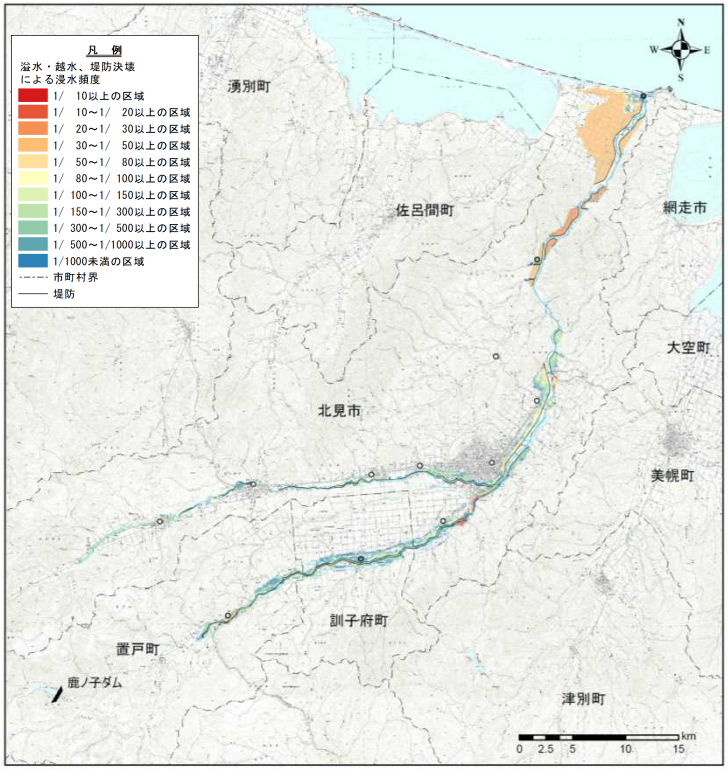


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂川流域における気候変動によるリスク変化　：役場等

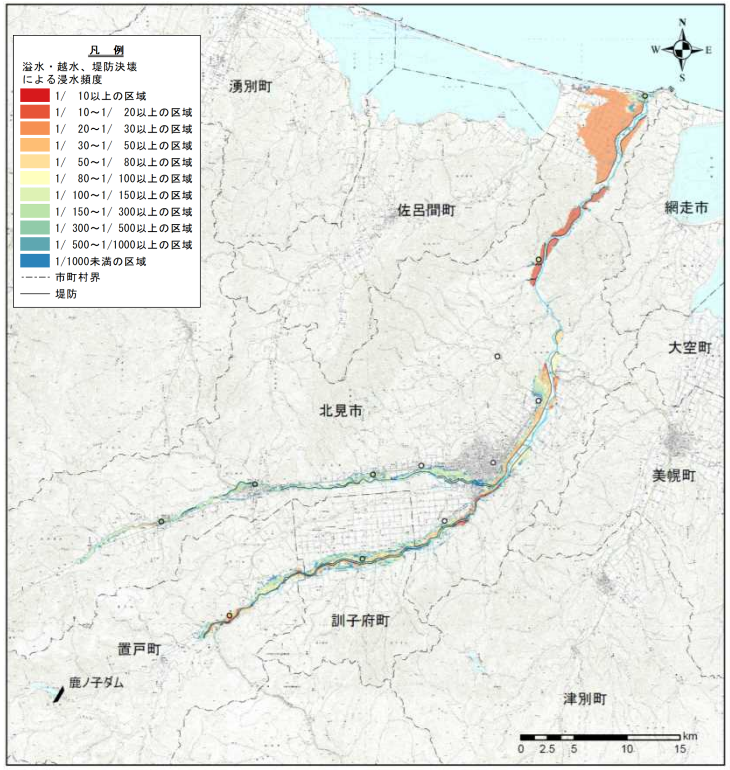
■ 全国の過去の災害において、役場等が被災することにより、自治体における防災上の機能が十分に発揮されない事例が見られる。
■ 過去実験においては、常呂自治区、訓子府町、置戸町で役場等が浸水することが想定されている。一方、4℃上昇実験においては、上述の自治体に加えて、端野自治区、留辺蘂自治区においても役場等の浸水が想定される。

過去実験



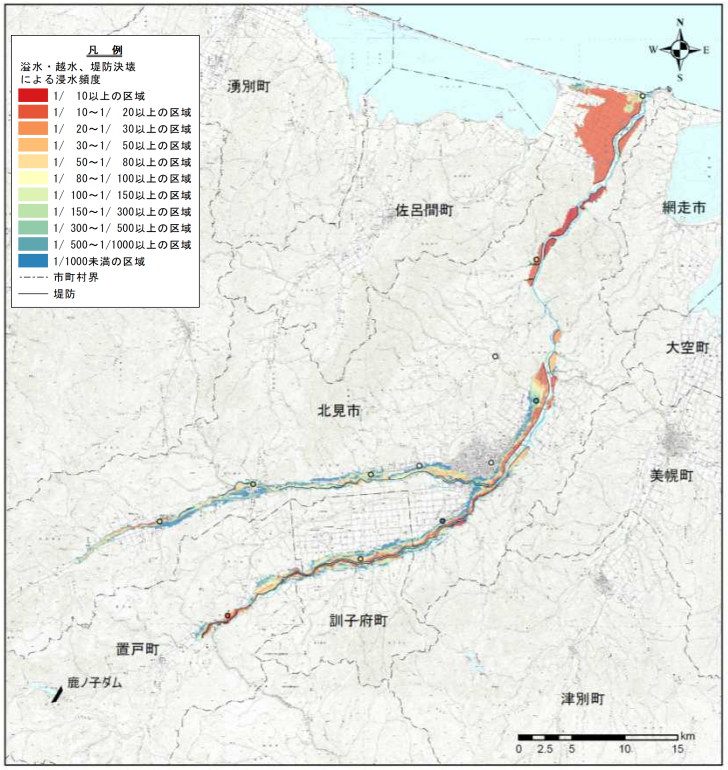
2℃上昇実験

（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（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

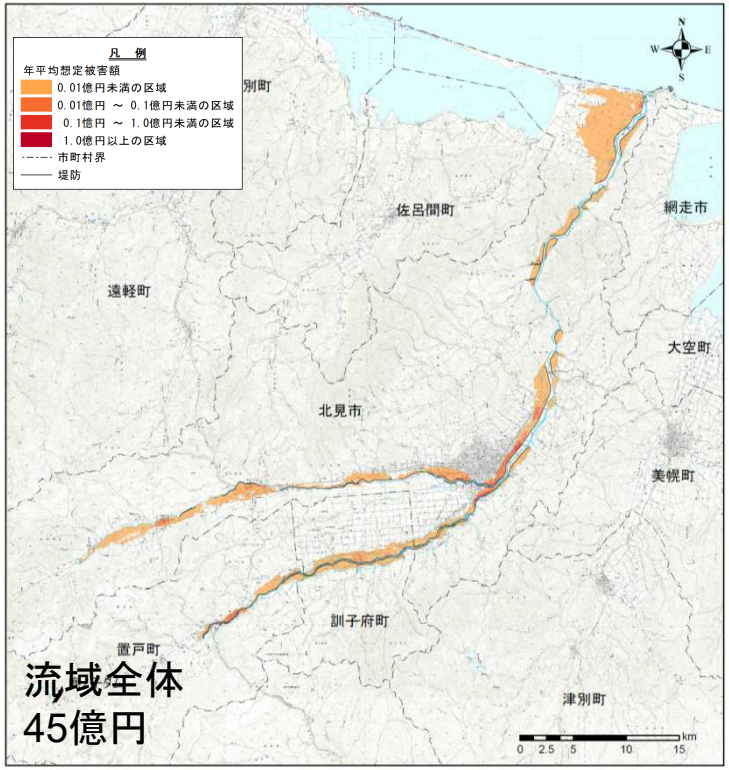
常呂川流域における気候変動によるリスク変化　：年平均想定被害額

- 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3240ケース、4℃上昇実験5,400ケース）での浸水深から想定被害額を計算し、各メッシュごとの想定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、想定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、流域全体の年平均想定被害額は約45億円であった。4℃上昇実験では流域全体の年平均想定被害額は約268億円となった。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6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。

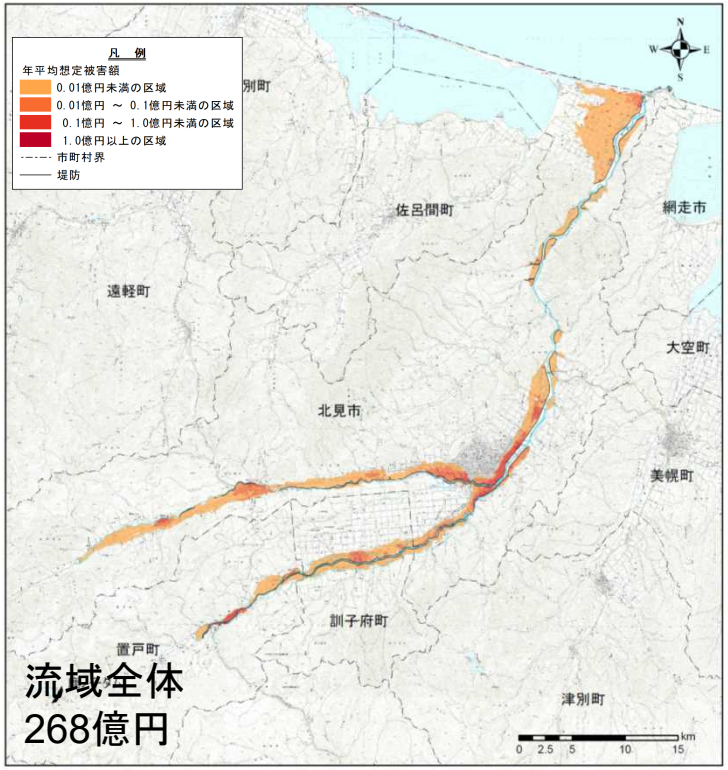
過去実験

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）





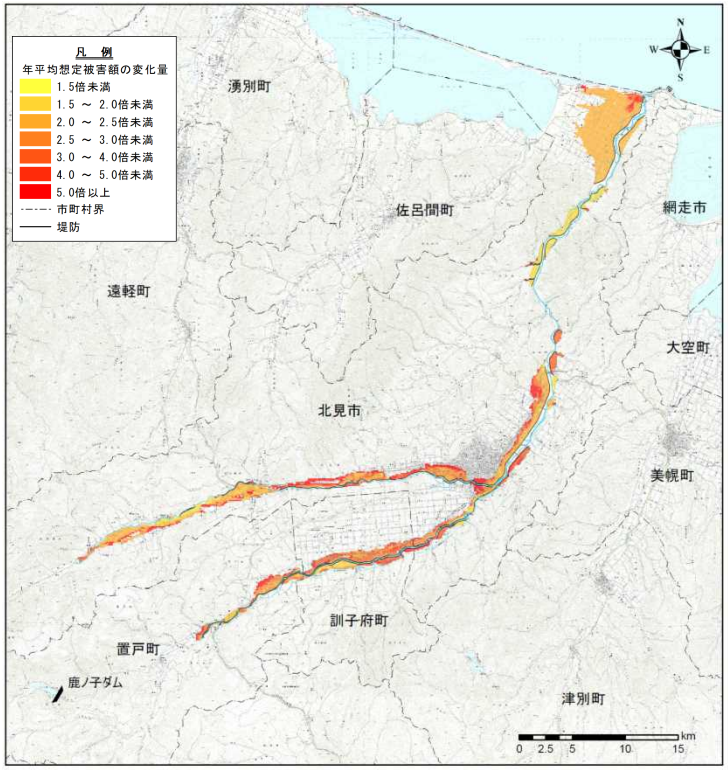


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

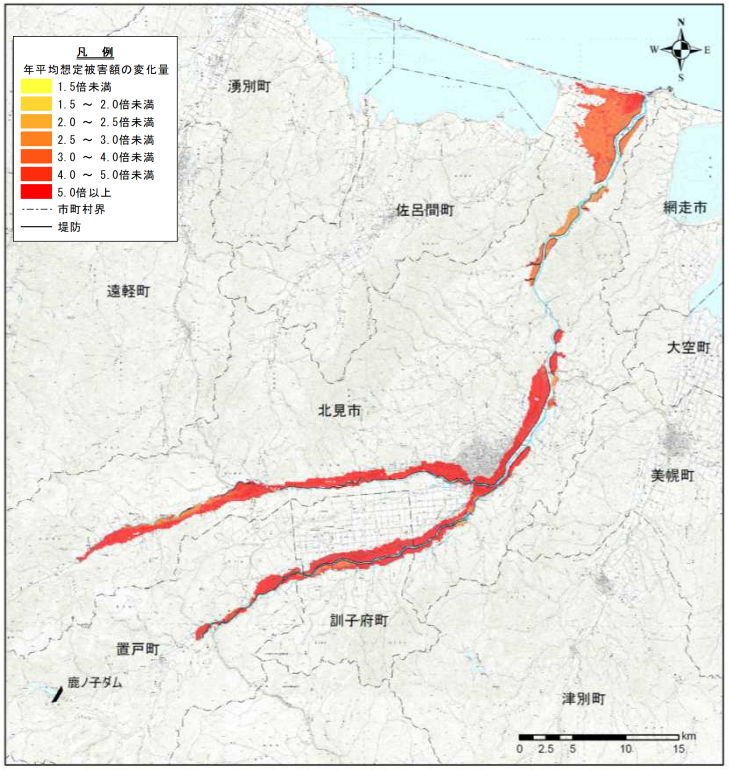
常呂川流域における気候変動によるリスク変化：年平均想定被害額（変化倍率）

- 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、特に上流部や中流部などにおいて、変化倍率が大きくなっている。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。

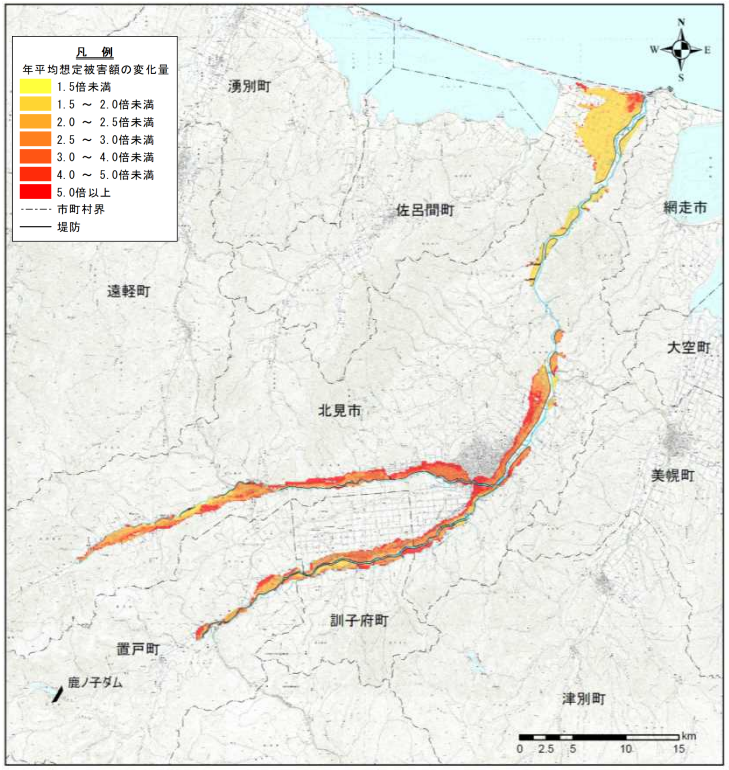
過去実験⇒2 ℃上昇実験



過去実験⇒4 ℃上昇実験



2℃上昇実験⇒4 ℃上昇実験

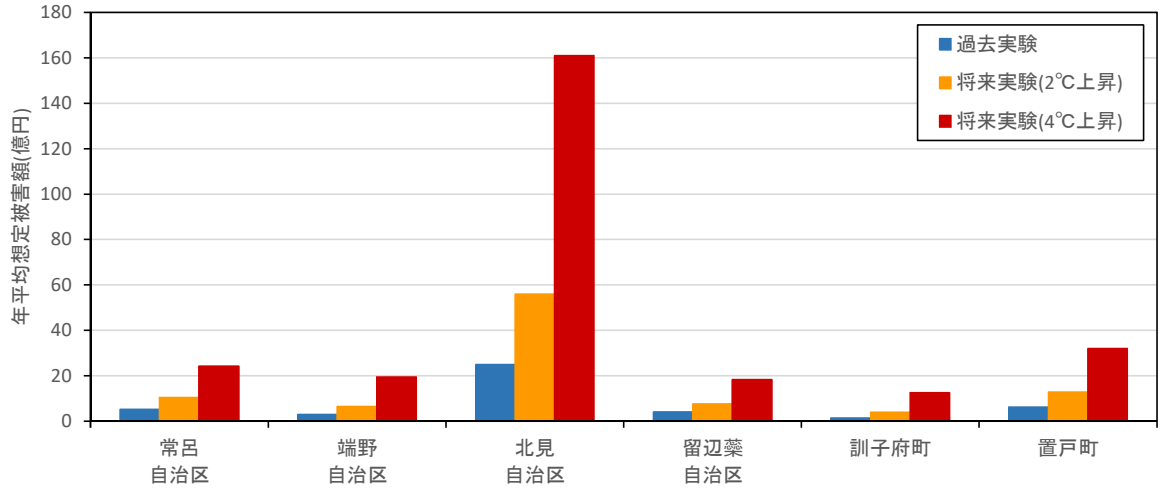


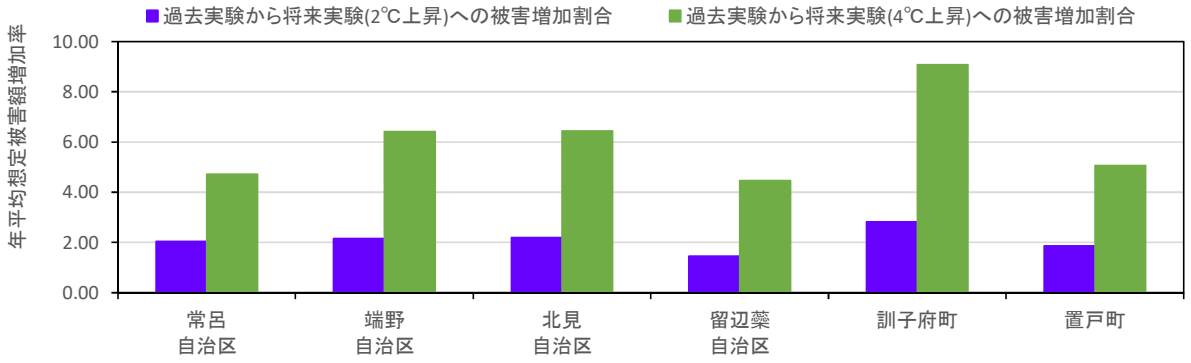
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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

■ 常呂川流域の年平均想定被害額は、中流部の北見自治区に集中しており、流域全体の年平均想定被害額に占める割合は、過去実験で約56%、4℃上昇実験で60%となっている。
■ このほか、下流部の常呂自治区、上流部の置戸町における年平均想定被害額が大きい傾向にある。

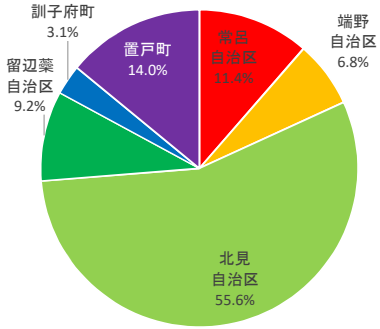
市区町村別年平均想定被害額



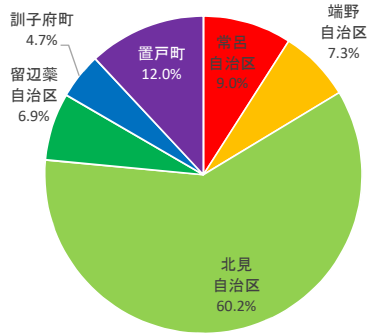


流域全体の年平均想定被害額に占める各市区町村の割合

過去実験



4℃上昇実験



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

浸水が常呂川流域の農業へ与える影響について

■ 常呂川流域では、畑作を中心とした生産性の高い農業が営まれ、また、これらを加工する食料品製造業が盛んである。
■ 一方、平成28年の水害は、日本有数の食料供給地である北見市を含めた常呂川流域を直撃し、農地が広範囲に浸水し肥沃な耕作土の流亡や土砂の堆積被害が発生した。
■ 平成28年の水害による農業被害を通して、気候変動がもたらす農業分野における影響について整理した。

【農地が浸水することによる影響】
○畑作物は水に浸かることに非常に弱い。農地への浸水は作物の減産、不作に繋がる。
○農地の土壌には、微生物や有機物などに加えて、保水性と排水性の両方が重要。
土づくり（特に表層30cm程度）には長い年月を要し、洪水による流出は影響大。
○浸水被害が2年連続で発生した場合には、農家への経済的な損失は大きなものとなり、廃業へと繋がりかねない可能性がある。

【農作物の集出荷施設や食品加工工場が浸水することによる影響】
○農作物の集出荷施設の浸水により、集積施設としての機能が停止することで、その地域全体の農作物の集荷・選別・加工等、流通の全行程に影響が及ぶ可能性がある。
○玉ねぎなどを貯蔵する集出荷施設は、作物の温度・湿度管理が重要。
浸水により電気系統の損害を受けた場合には、貯蔵中で浸水被害を受けなかった作物にも影響が及ぶ可能性。

【地域経済への波及的影響】
○農業の直接的な被害が、全国の食品加工業や外食産業などに間接的な経済被害を及ぼす。

浸水が常呂川流域の農業に与える影響を踏まえ、気候変動による「浸水の頻度」、「農作物の集出荷施設における浸水リスク」、「経済への波及的な影響」等について分析を進めた。


農地の浸水被害（H28年8月南富良野町）


食品加工工場の浸水被害
（H28年8月南富良野町）

※農業に関連する研究機関からの聞き取りによる。

常呂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

■ 過去実験では、北見自治区および端野自治区、留辺蘂自治区等において1/10以上の確率で浸水する農地が存在する。4℃上昇実験では、上記に加えて常呂自治区、訓子府町、置戸町においても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、常呂川流域の広い範囲で、農地の浸水確率がかなり高くなる。

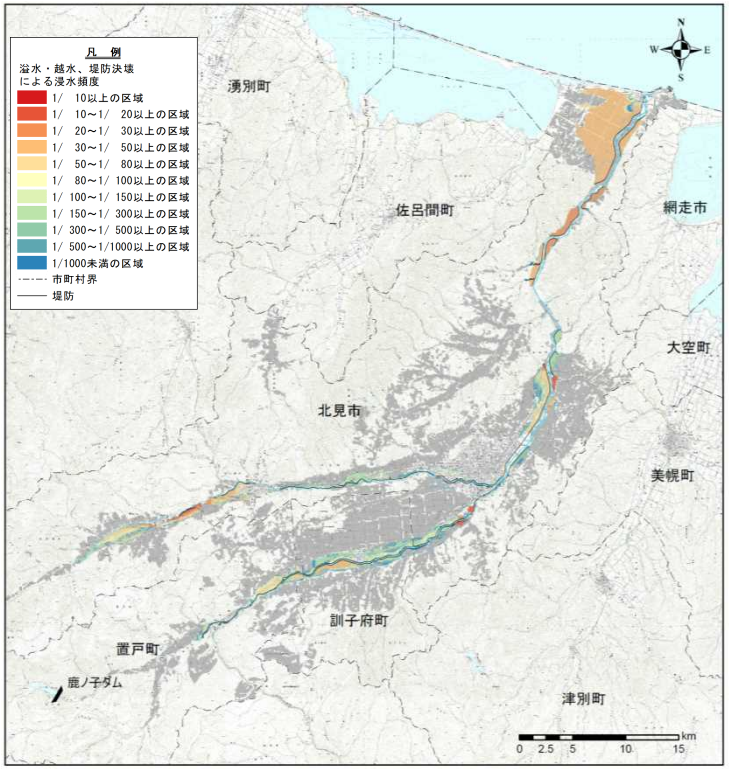
過去実験

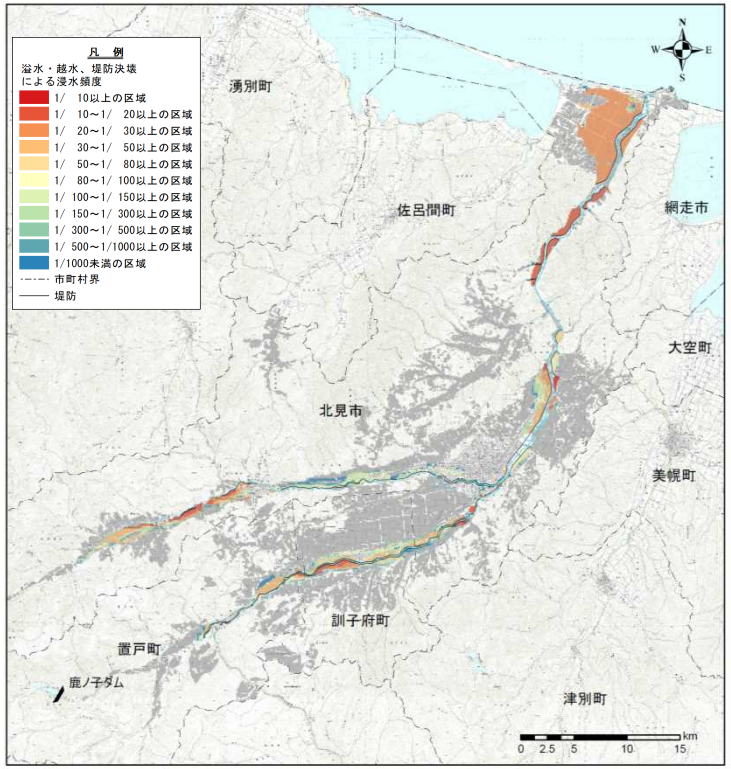
2℃上昇実験

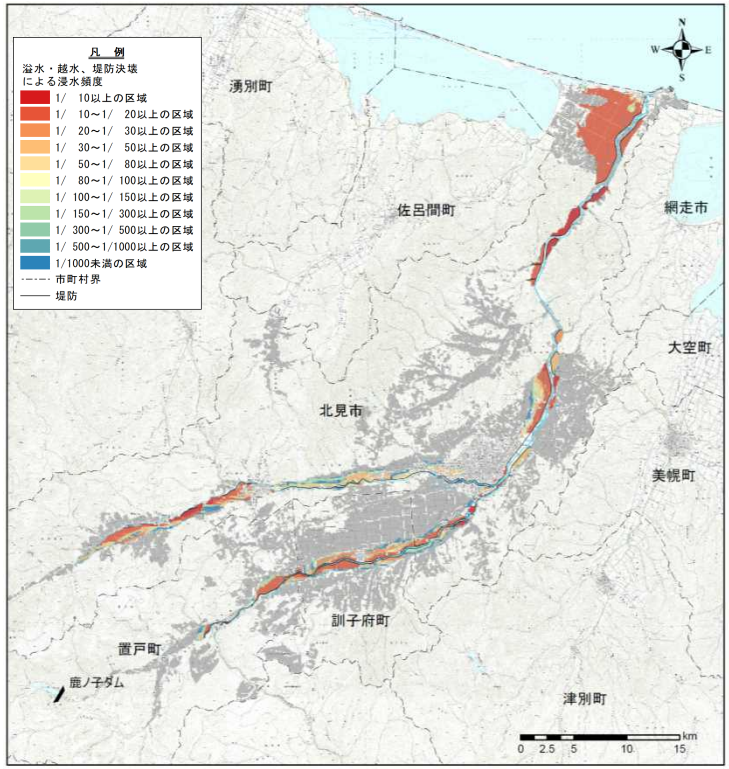
（ RCP8.5シナリオで想定される2050年時点）

4℃上昇実験

（ RCP8.5シナリオで想定される2090年時点）







※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（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

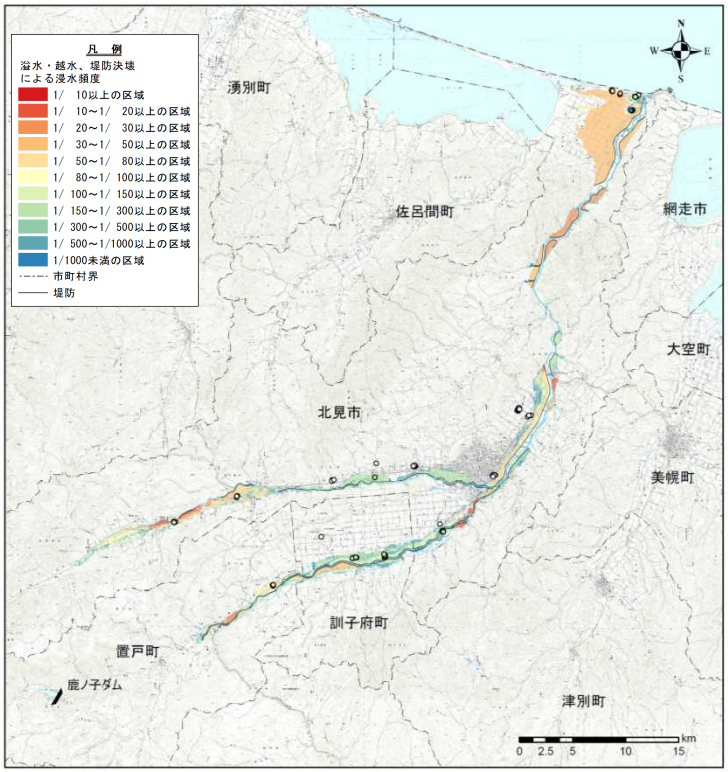
常呂川流域における気候変動によるリスク変化　：農作物の集積施設

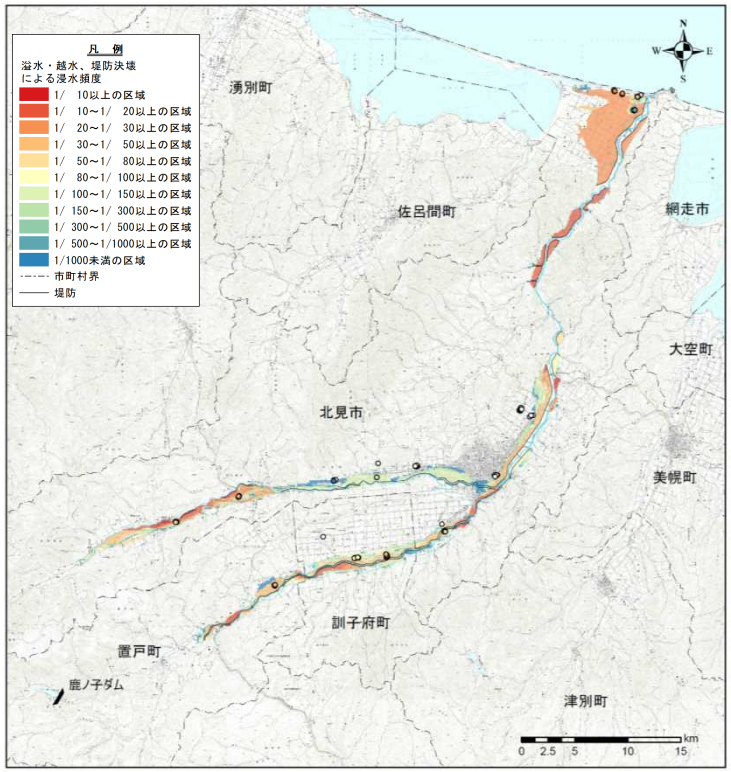
- 農作物の集積施設は、その多くが河川沿いに位置している。
- 過去実験では、北見自治区、常呂自治区、留辺蘂自治区、訓子府町、置戸町などにおける農作物の集積施設の浸水が想定された。4℃上昇実験では、上記に加えて端野自治区や北見自治区、常呂自治区の他の集積施設においても浸水が想定された。
- 農作物の集積施設が浸水することにより、浸水被害を免れた農地も集荷・選別・加工等、流通の全工程に影響し、結果的に地域全体に影響が広がる可能性がある。

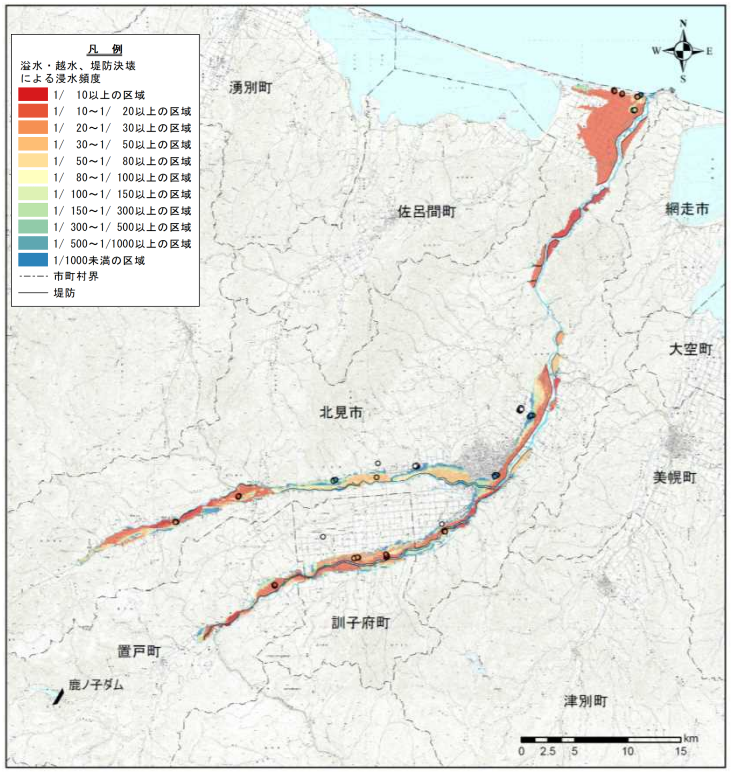
過去実験

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）





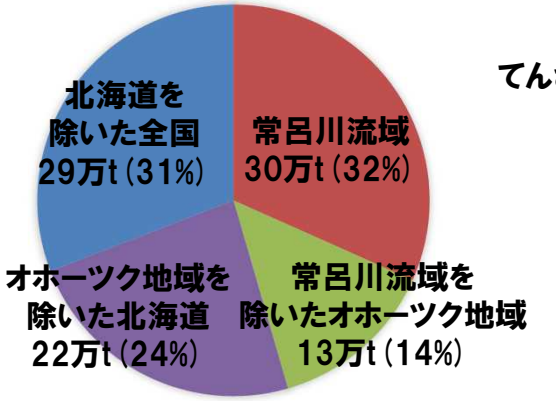


※施設位置はJAところ及びJAきたみらいへの聞き取りによる
※浸水する可能性のある水位（0cm以上）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂川流域の農業 ー 玉ねぎを例に

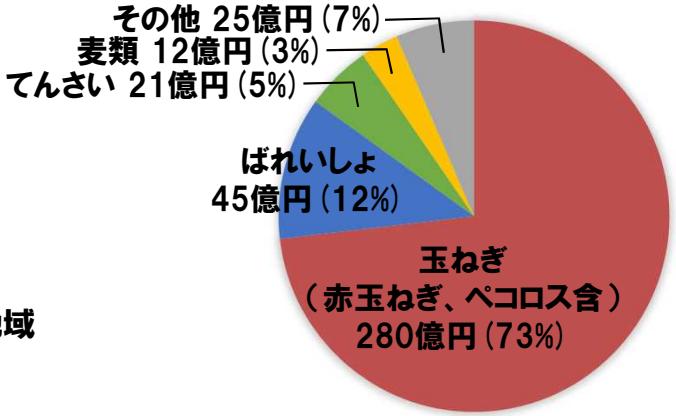
■ オホーツク地域の玉ねぎは46%の国内シェアを誇り、常呂川流域で国内の32%を出荷している。※1
■ JAきたみらいの畑作物総生産額のうち70%以上が玉ねぎであり、国内だけなく海外にも輸出されている。※2※3
■ 常呂川流域（JAきたみらい及びJAところ）における平成28年災害による作物被害面積を見ると、玉ねぎの割合が最も高い。

平成30年産玉ねぎ出荷量の内訳



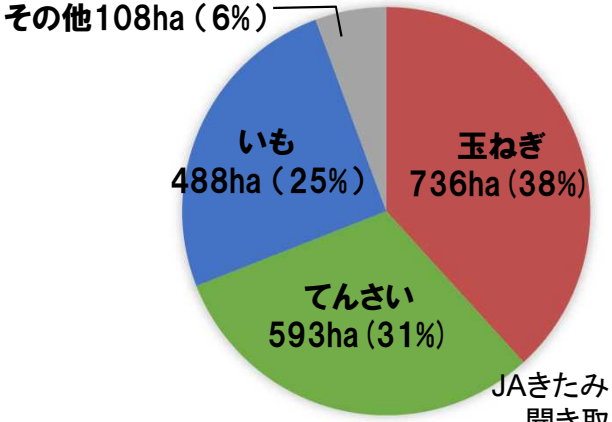
参考資料※1をもとに作成

JAきたみらいにおける
平成30年産地域農業総生産実績の内訳



参考資料※2をもとに作成

常呂川地域における
平成28年災害による作物被害面積の内訳



JAきたみらい及びJAところ
聞き取り情報もとに作成



左：黄玉ねぎ、右：ペコロス（JAきたみらいHPより）



流出した玉ねぎ（北見市）※4



冠水した玉ねぎ畑（北見市）※4

出典：
※1 農林水産省 生産流通消費統計課,作物統計調査 / 市町村別データ 平成30年産市町村別データ.
※2 JAきたみらい提供資料「平成30年産 地域農業総生産実績」
※3 JAきたみらい, CSRレポート2019：特集1 力強い農業のために, https://www.jakitamirai.or.jp/wp/wp-content/uploads/2019/08/csr2019_2-2.pdf
※4 農林水産省, 平成28年度 食料・農業・農村白書（平成29年5月23日公表）, 平成28年度 食料・農業・農村の動向, 第1部食料・農業・農村の動向, 第4章 大規模災害からの復旧・復興, 第1節 平成28年度に発生した自然災害（熊本地震等）からの復旧・復興: (2)台風,2017.5, https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h28/h28_h/trend/part1/chap4/c4_1_02.html

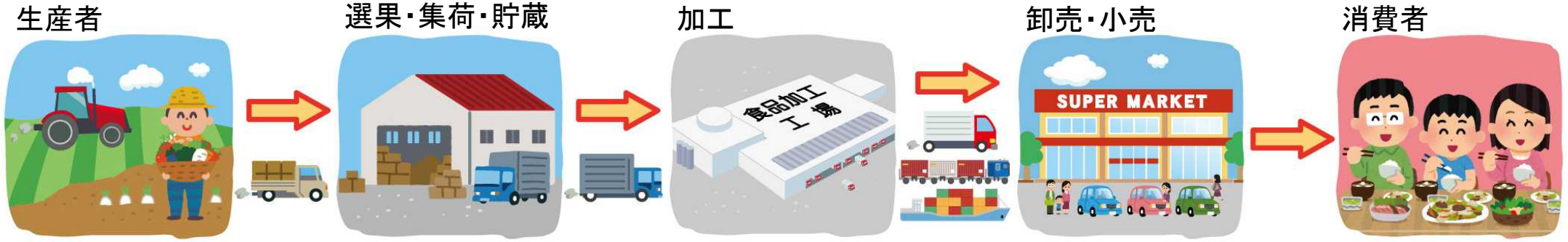
常呂川流域の農業 ― 玉ねぎを例に

■ JAきたみらいの玉ねぎは生育期間が異なる3種類(極早生・早生・中晩生)が生産されており、それぞれの特徴を生かして安定的に全国へ出荷されており、台湾やロシアを中心として海外にも輸出されている。※1※2

常呂川流域の玉ねぎの流通イメージ(参考資料※1※3をもとに作成)

常呂川流域で生産された玉ねぎが集積

	生産	選果・集荷・貯蔵	取り扱い	卸売・小売	消費者
玉ねぎ	生産者 →	JA →	全国市場 →	卸売・小売業者 →	消費者
玉ねぎ加工品	生産者 →	JA →	加工工場 →	全国市場 →	卸売・小売業者 →	消費者



出典:
※1 JAきたみらい, JAきたみらいの野菜: 玉ねぎ 玉ねぎが届くまで, https://www.jakitamirai.or.jp/nousantop/onion/onion1/
※2 JAきたみらい, CSRレポート2019: 特集1 力強い農業のために, https://www.jakitamirai.or.jp/wp/wp-content/uploads/2019/08/csr2019_2-2.pdf
※3 農畜産業振興機構 札幌事務所, [特集]加工・業務用野菜の生産拡大に向けた取り組み 北海道のたまねぎ産地における通年加工への対応～株式会社グリーンズ北見の取り組み～, pp24, 2017.12, https://www.alic.go.jp/content/000143864.pdf

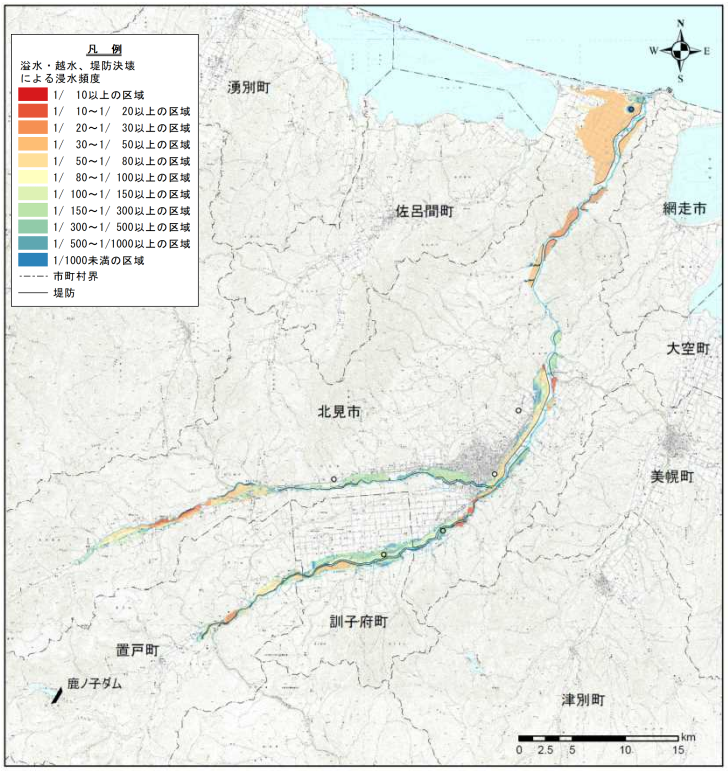
常呂川流域における気候変動によるリスク変化　：玉ねぎの集出荷施設

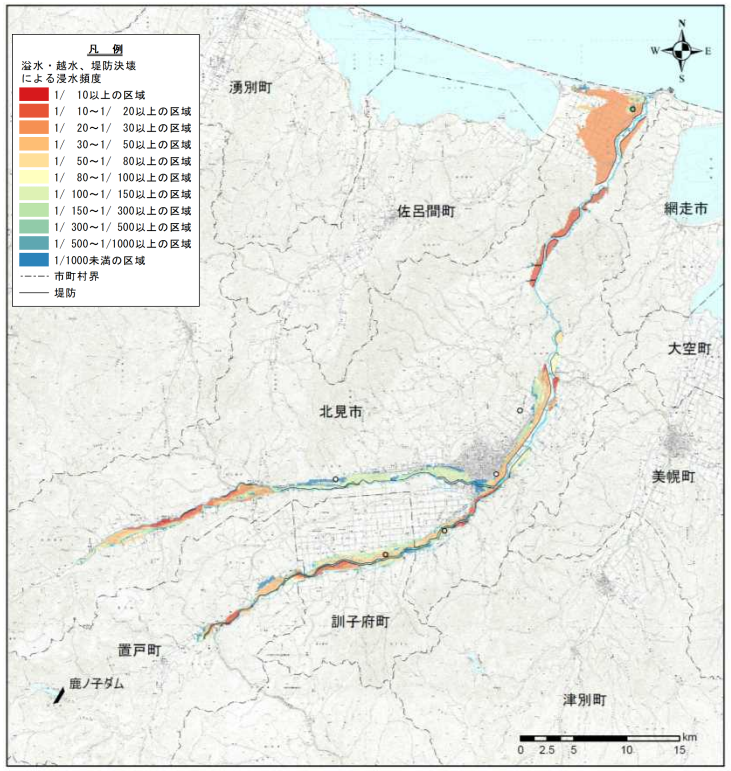
- 玉ねぎの集出荷施設は、その多くが河川沿いに位置している。
- 過去実験では、北見自治区、常呂自治区、訓子府町などにおける玉ねぎの集出荷施設の浸水が想定された。4℃上昇実験では、上記に加えて北見自治区の他の集出荷施設においても浸水が想定された。
- 玉ねぎの集出荷施設が浸水することにより、浸水被害を免れた農地も集荷・選別・加工等、流通の全工程に影響し、結果的に地域全体に影響が広がる可能性がある。

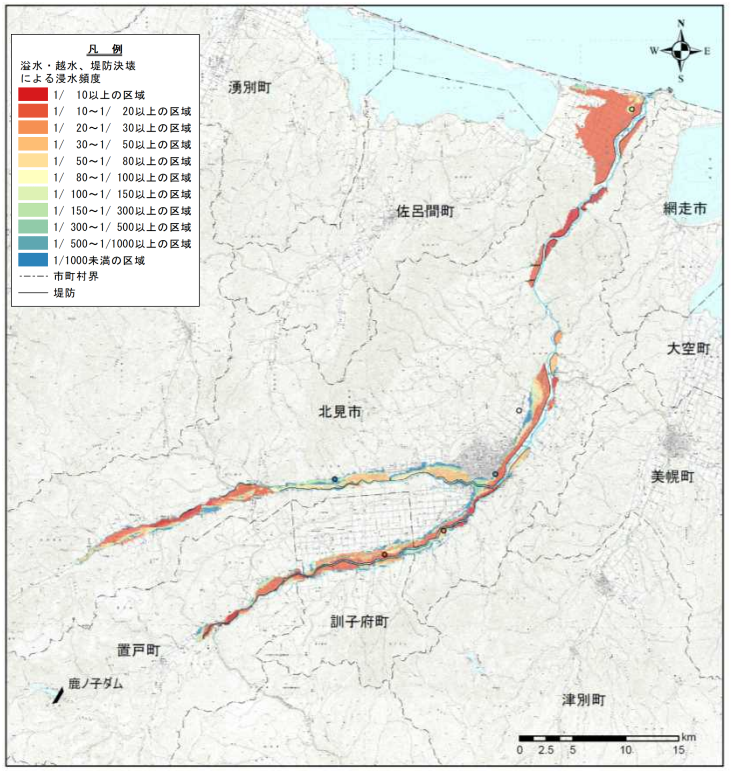
過去実験

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）

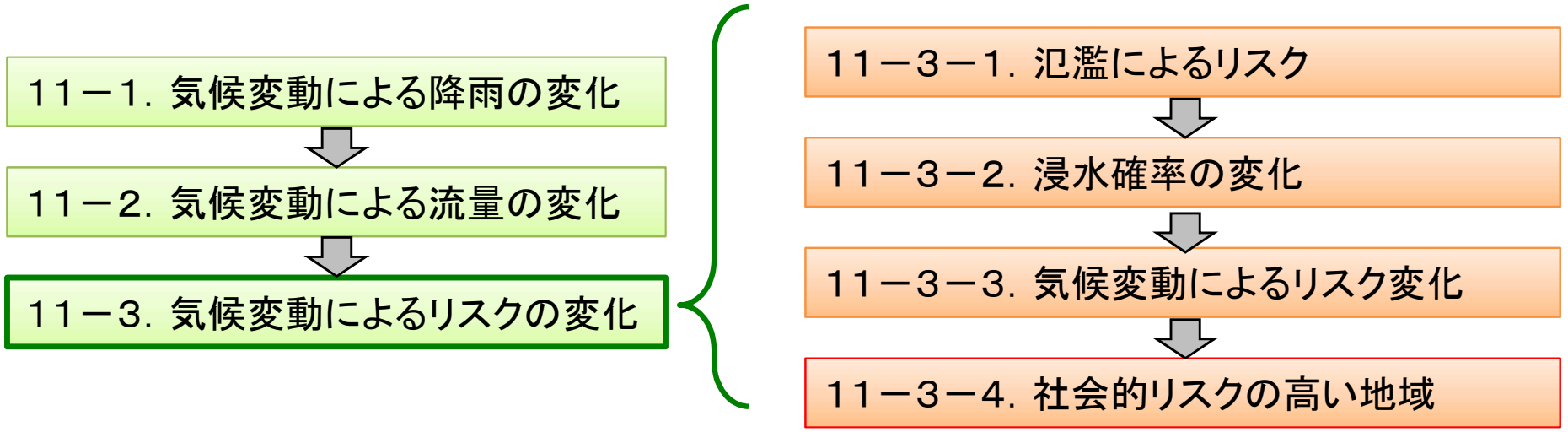






※施設位置はJAところ及びJAきたみらいへの聞き取りによる。
※浸水する可能性のある水位（0cm以上）に達する可能性のある施設は浸水確率を表示。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

11－3－5. 社会的リスクの高い地域



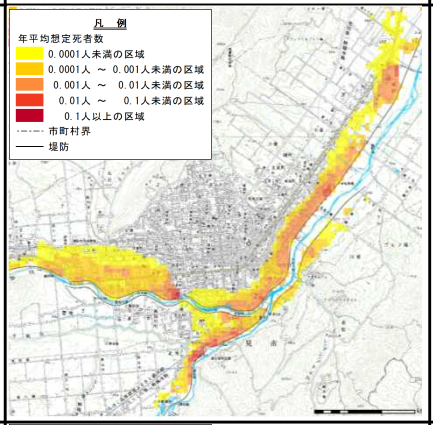
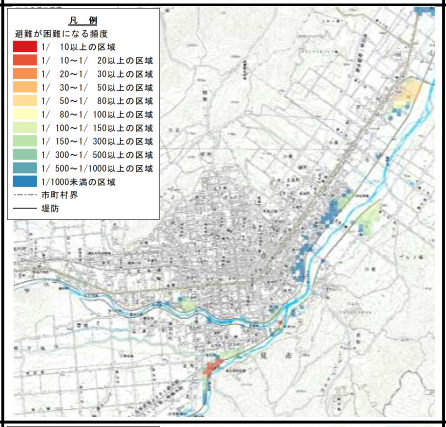
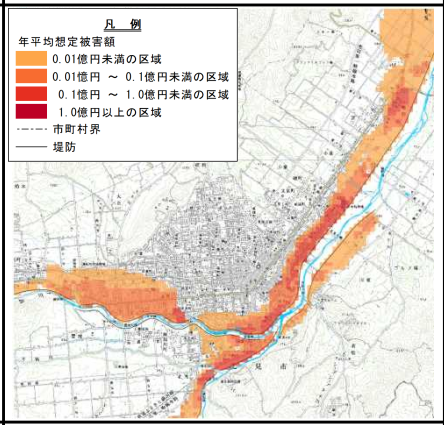
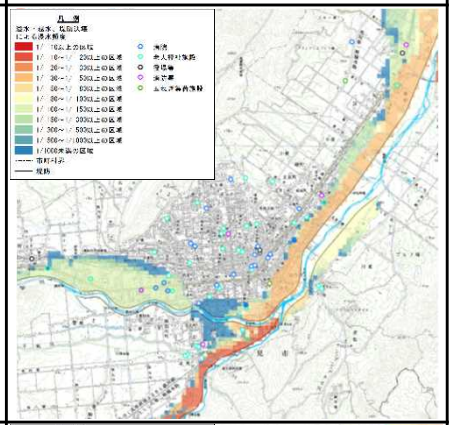
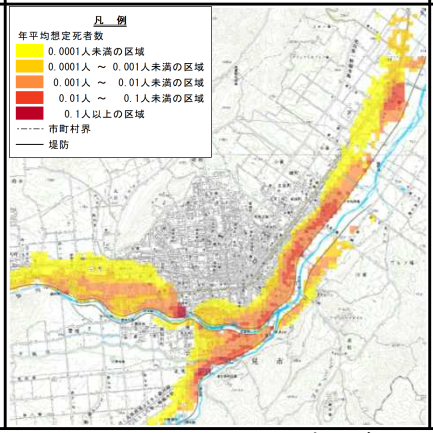
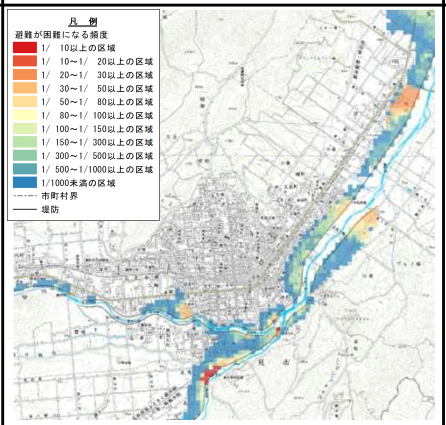
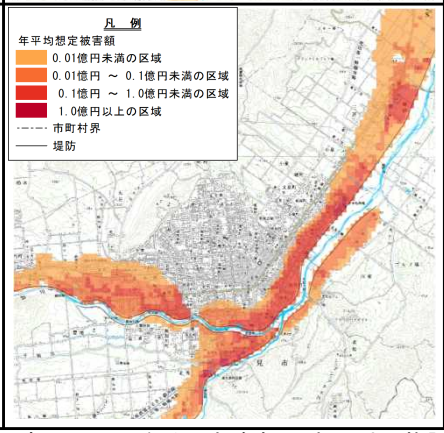
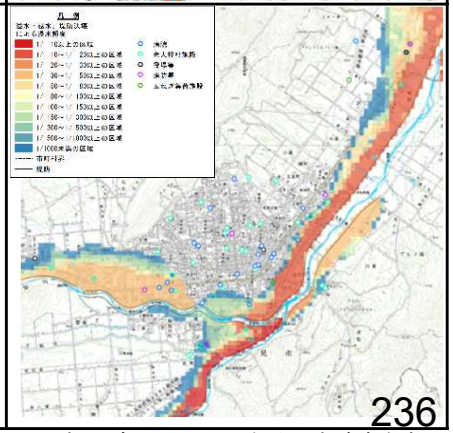
社会的リスクの高い地域（北見市街地エリア）

■ 常呂川流域における社会的リスクの高い地域として、「北見市街地エリア」が挙げられる。常呂川中流部に位置するオホーツク最大の市街地であり、オホーツクの中心となるエリアである。氾濫水が流下するエリアであり、縦断方向に浸水エリアが広がる。

■ 氾濫が発生すると、川沿いを中心に想定死者数が大きくなり、流域内の想定死者数の大半を北見市街地が占めることが想定されている。このほか、病院・役場等、流域の重要施設も多くが北見市街地に立地していることから、北見市街地は、流域における社会的リスクが高い地域にあたる。

■ 浸水時の人的被害に加えて、経済被害や「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、玉ねぎ集荷施設は浸水深が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

12. 常呂川流域における適応策について

12－1. 想定される適応策の抽出

↓

12－2. 適応策の効果検証

↓

12－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

12－1. 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

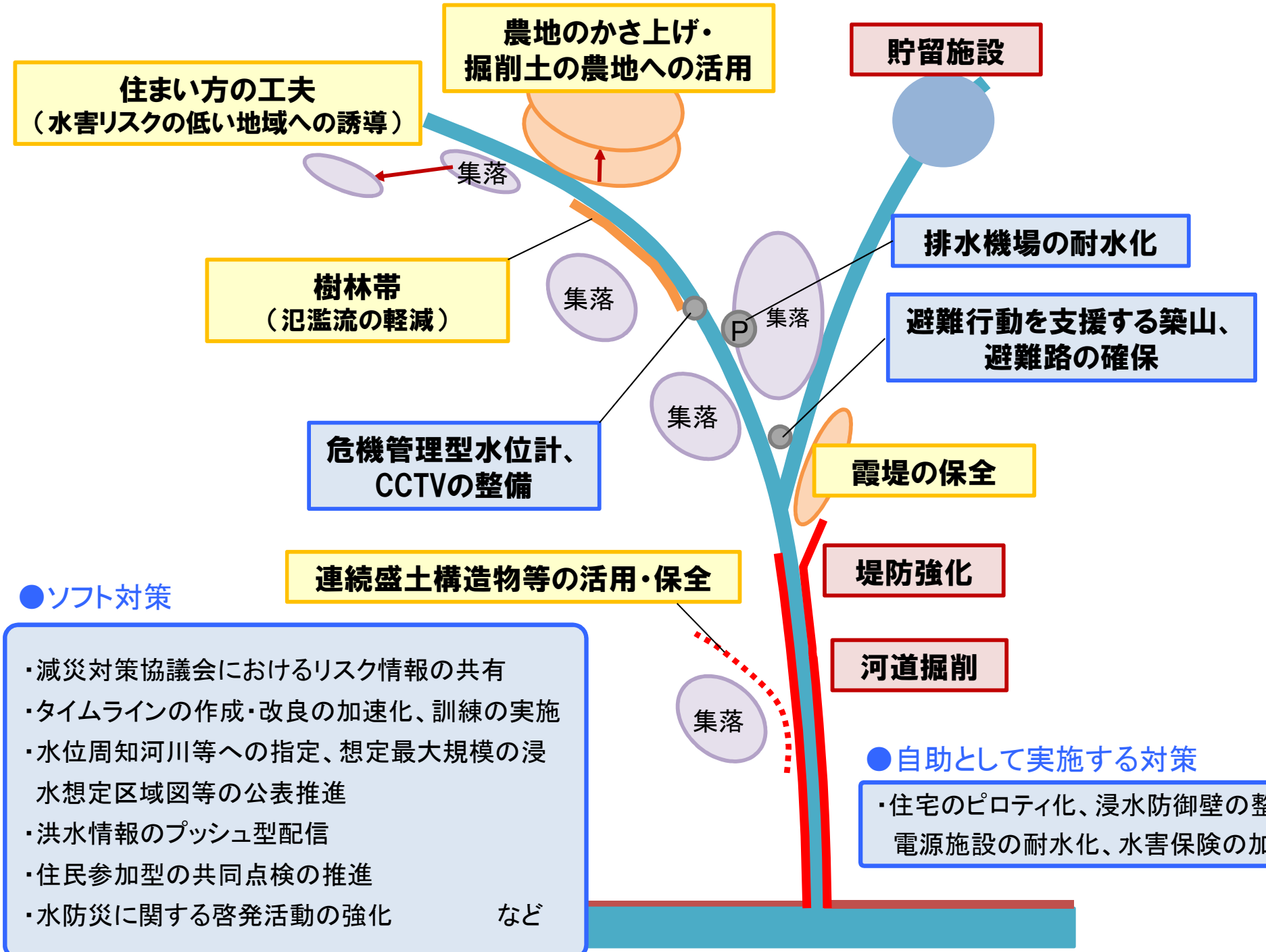
（土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策）
・霞堤や二線堤の保全・整備
・道路等の連続盛土構造物等の活用・保全
・樹林帯（氾濫流の軽減）
・農地のかさ上げ・掘削土の農地への活用
・住まい方の工夫（水害リスクの低い地域への誘導）
など

（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

常呂川流域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。
■常呂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

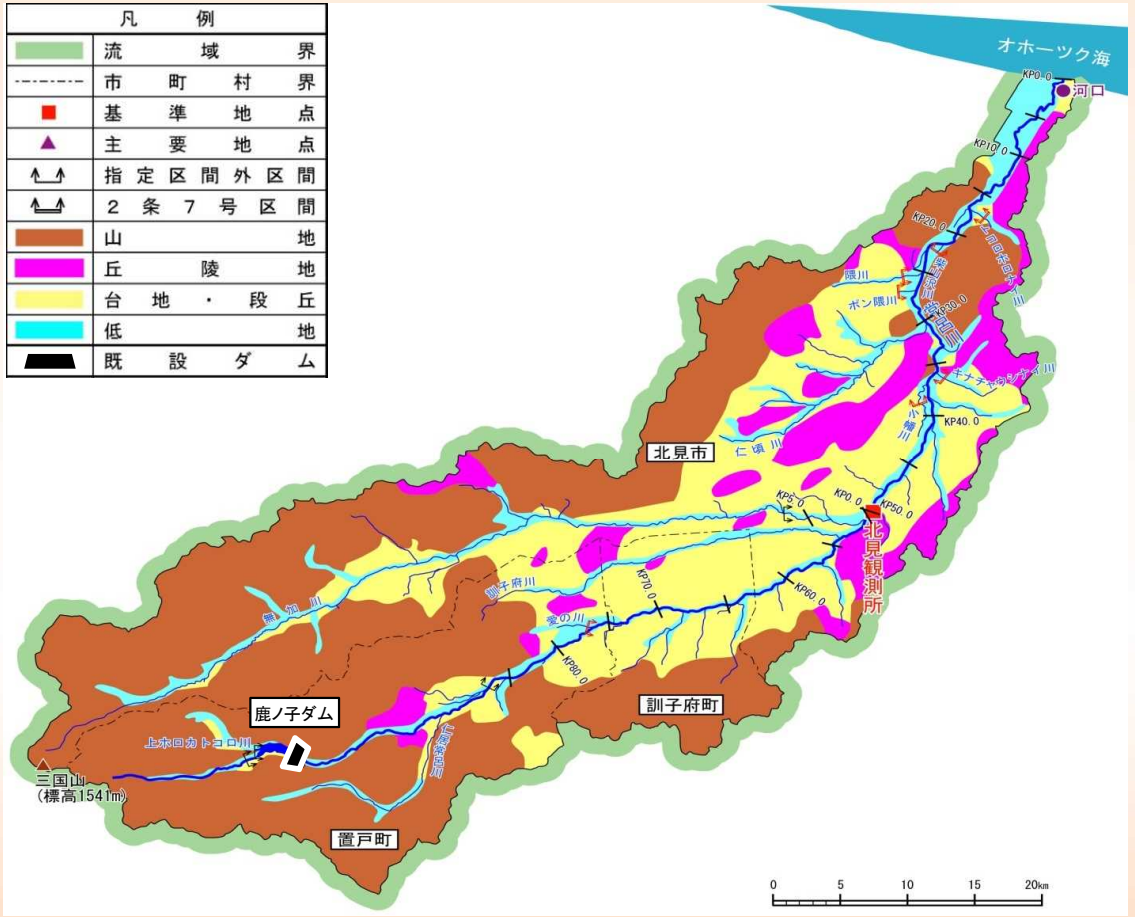
河川整備基本方針に基づく河道掘削を検討する。

堤防強化

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、常呂川流域は、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。



常呂川流域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

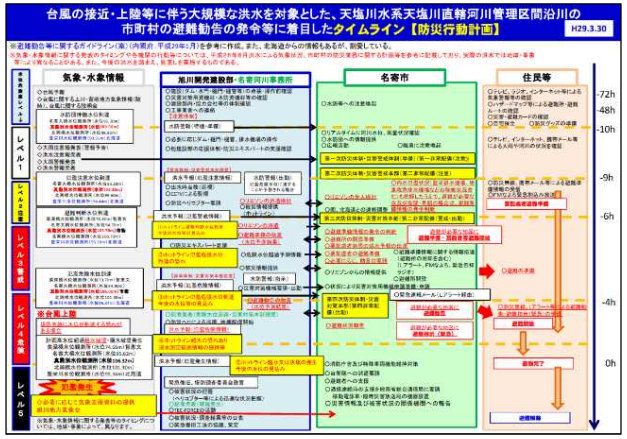


常呂川減災対策協議会

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

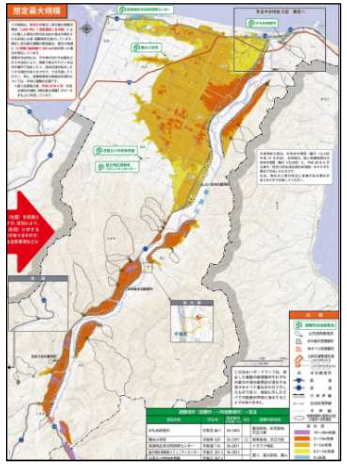
早期の避難勧告等の発令に資するため、避難勧告等の発令に着目したタイムラインの作成・改良を進め 、これを活用した訓練を実施。

常呂川流域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

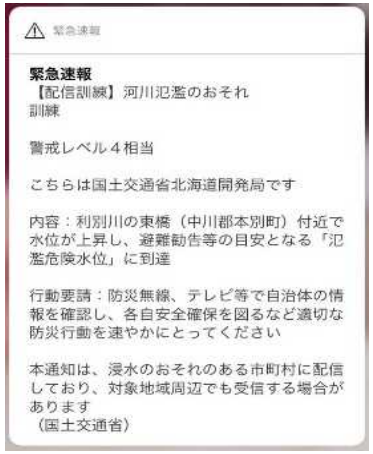


ハザードマップ

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

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

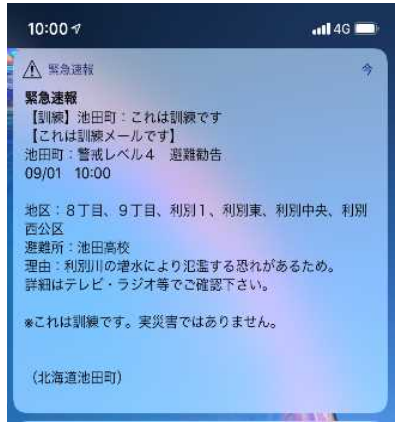
こちらは国土交通省北海道開発局です

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）



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。

常呂川流域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



自治会を主体とした防災訓練






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。

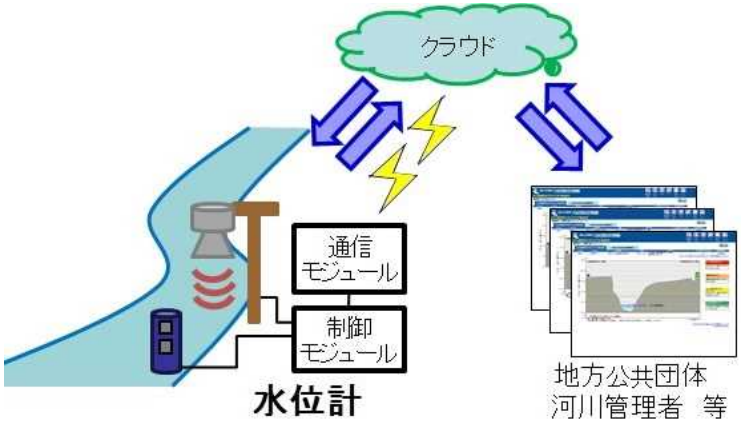
常呂川流域で想定される適応策（ソフト対策を支援するための対応）

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。

避難所・避難経路の整備等

盛土地の造成及び避難所の移設、平屋から2階建以上への改築、避難に使用する道路の嵩上げ、避難路となる道路を通行止めにするタイミングの調整等により、避難体制を整備する。

常呂川流域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。

常呂川流域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。

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。

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。

常呂川流域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）

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。



常呂川流域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）

常呂川流域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）

防災施設の移設

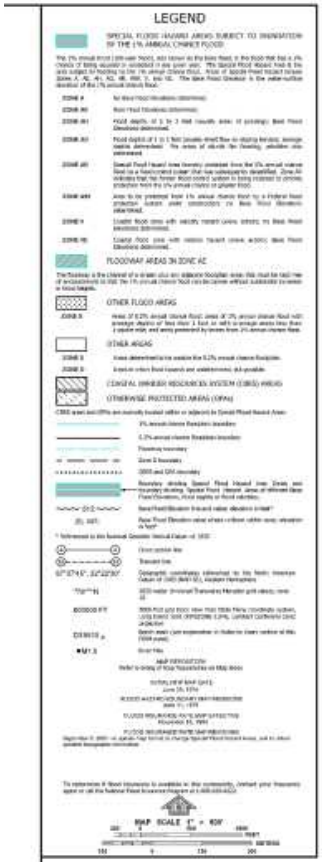
消防署等、防災活動を行う組織の施設を移転する。



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）

12－2. 適応策の効果検証

12－1. 想定される適応策の抽出

↓

12－2. 適応策の効果検証

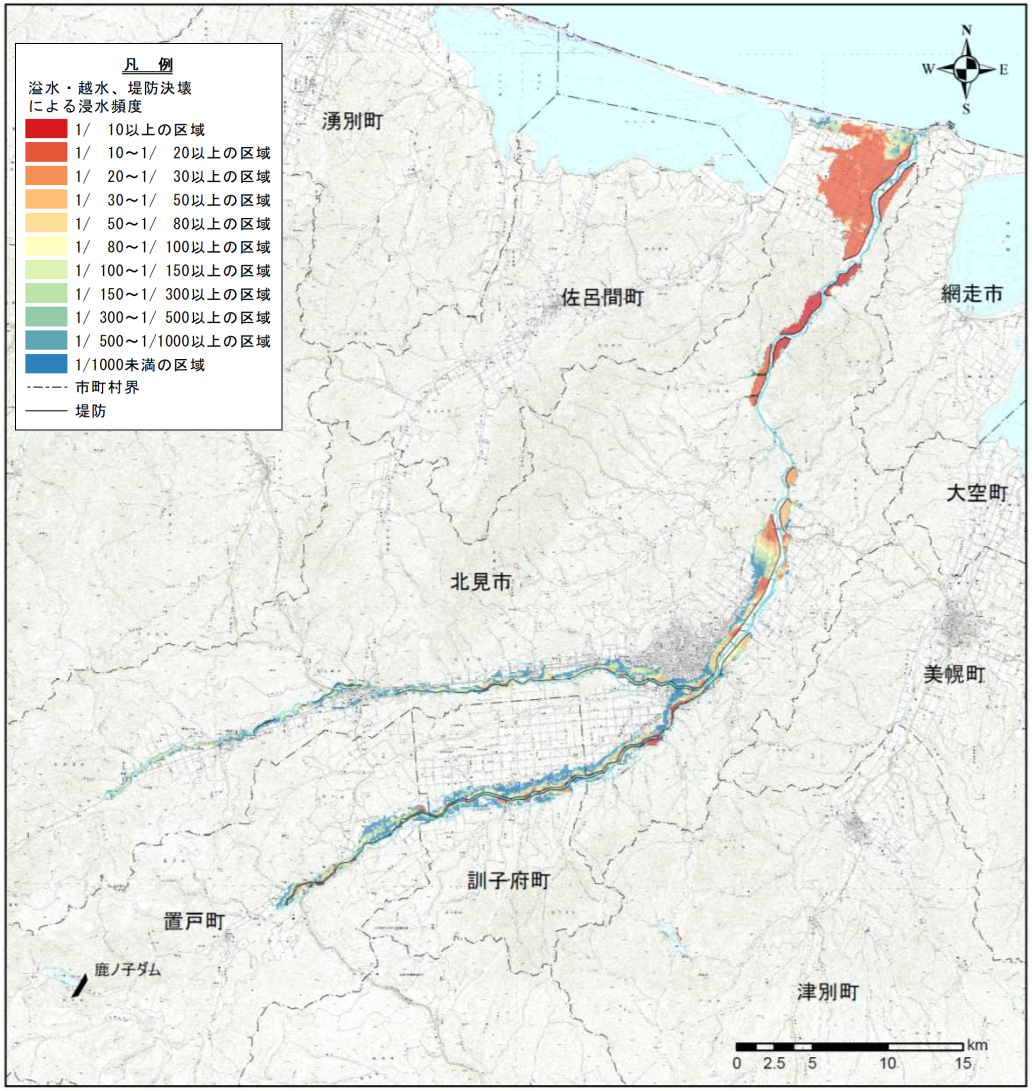
↓

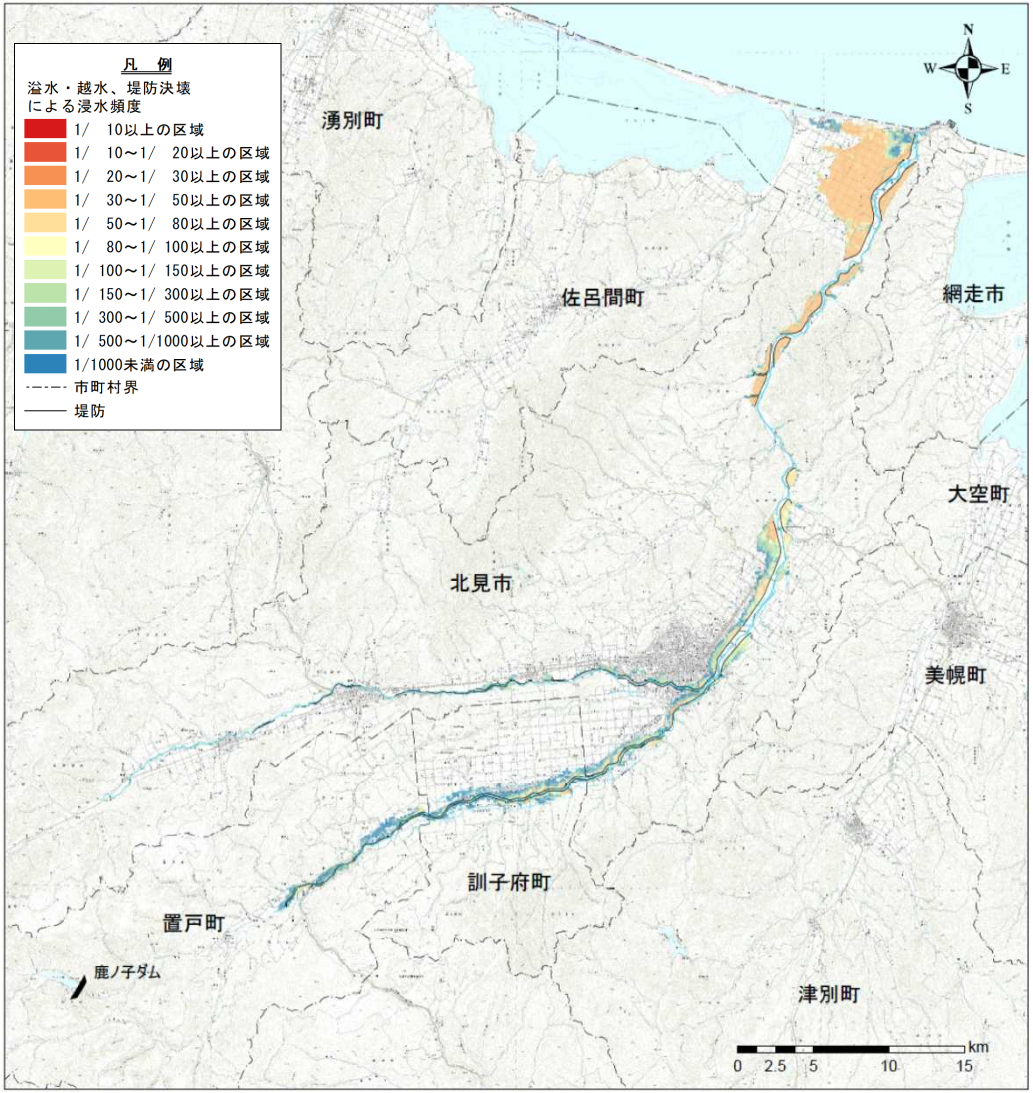
12－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

常呂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



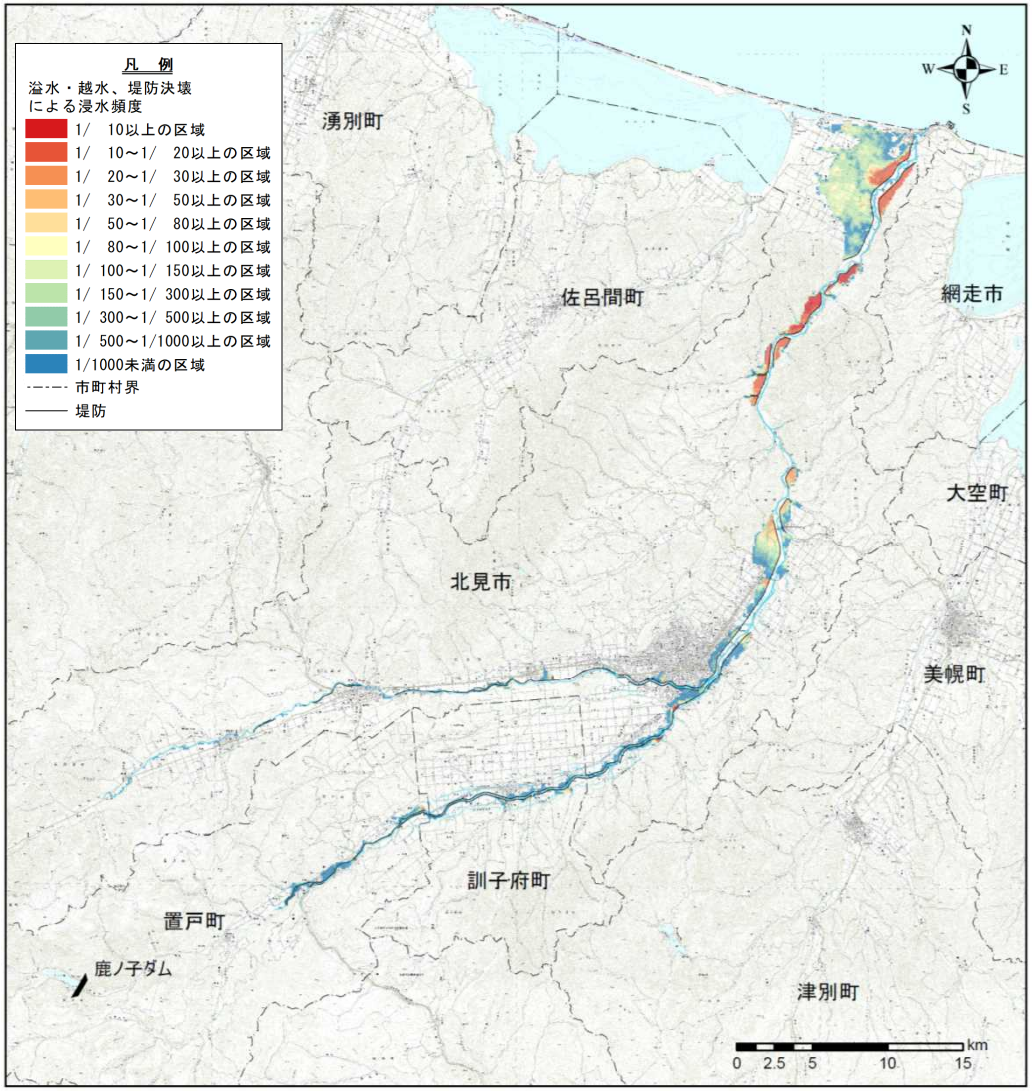


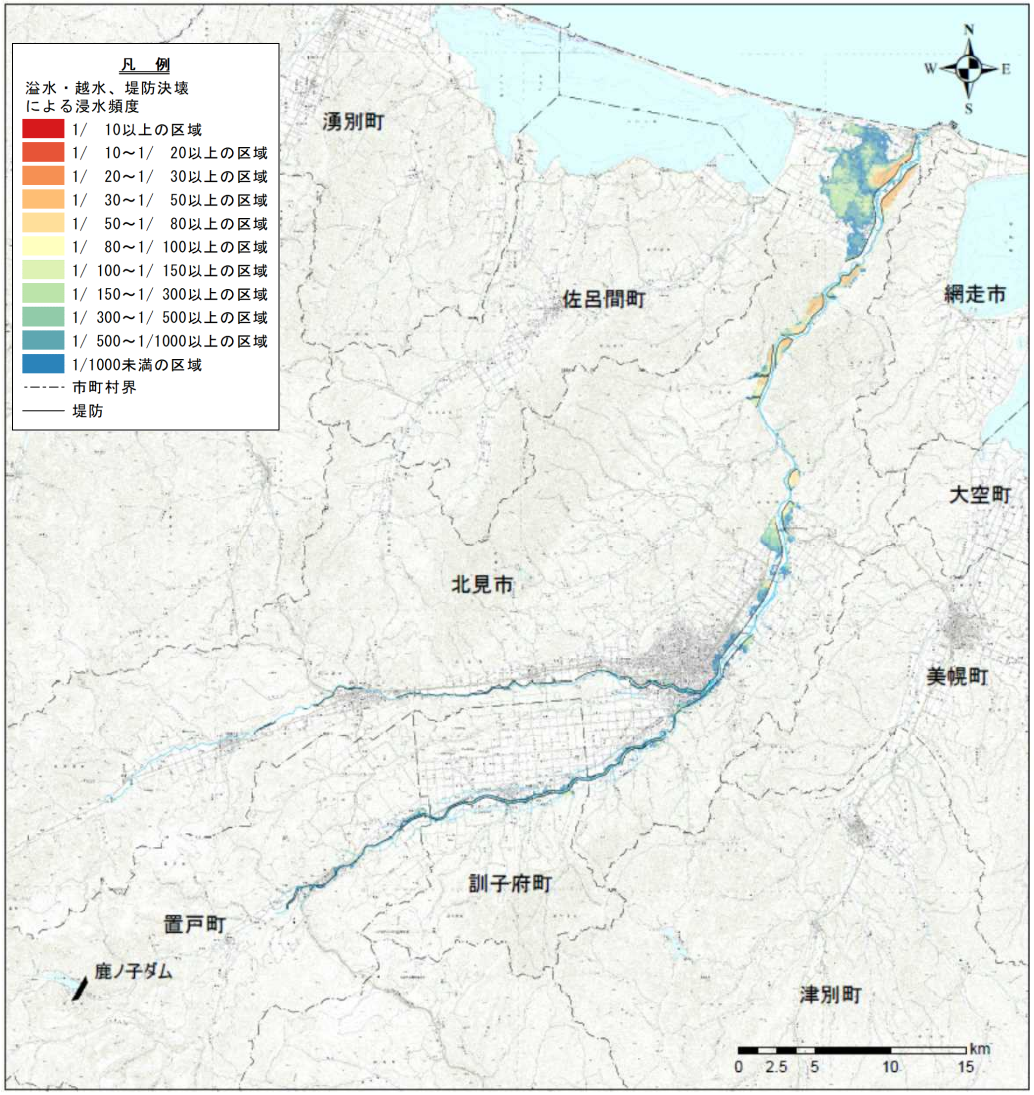
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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



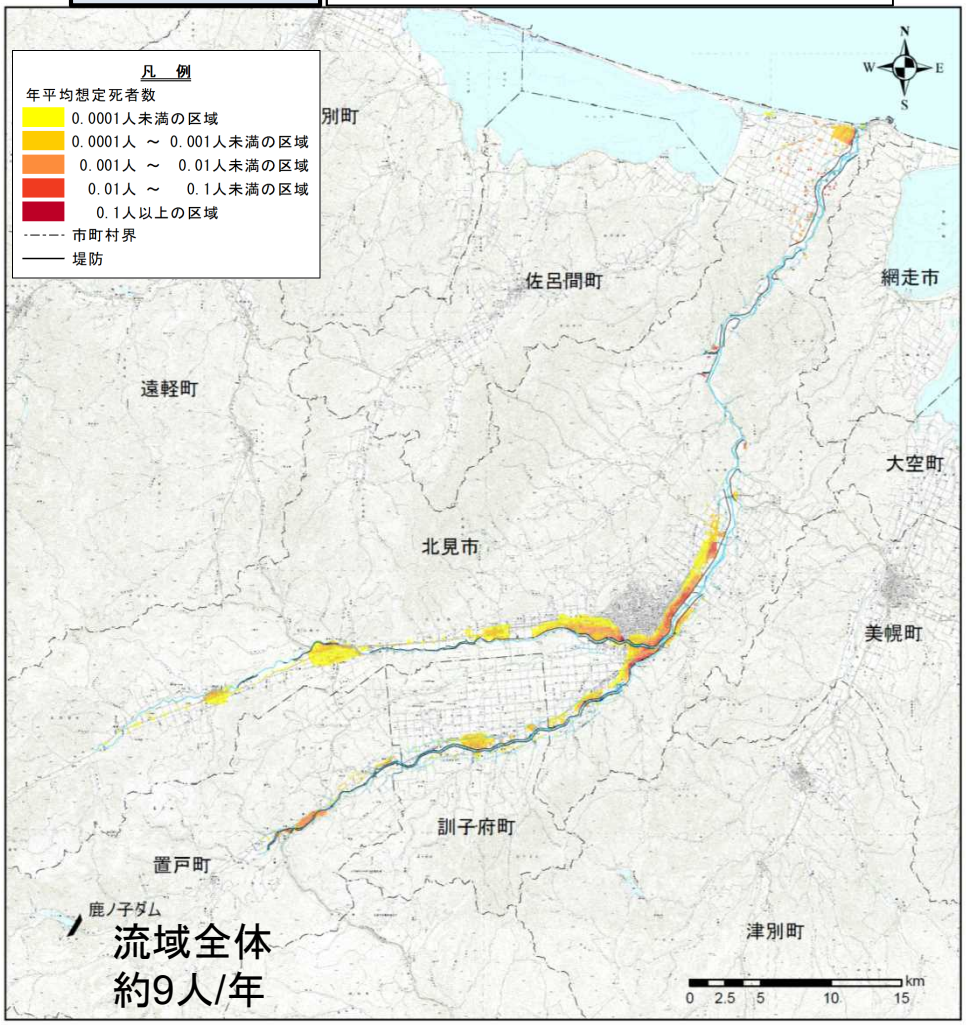


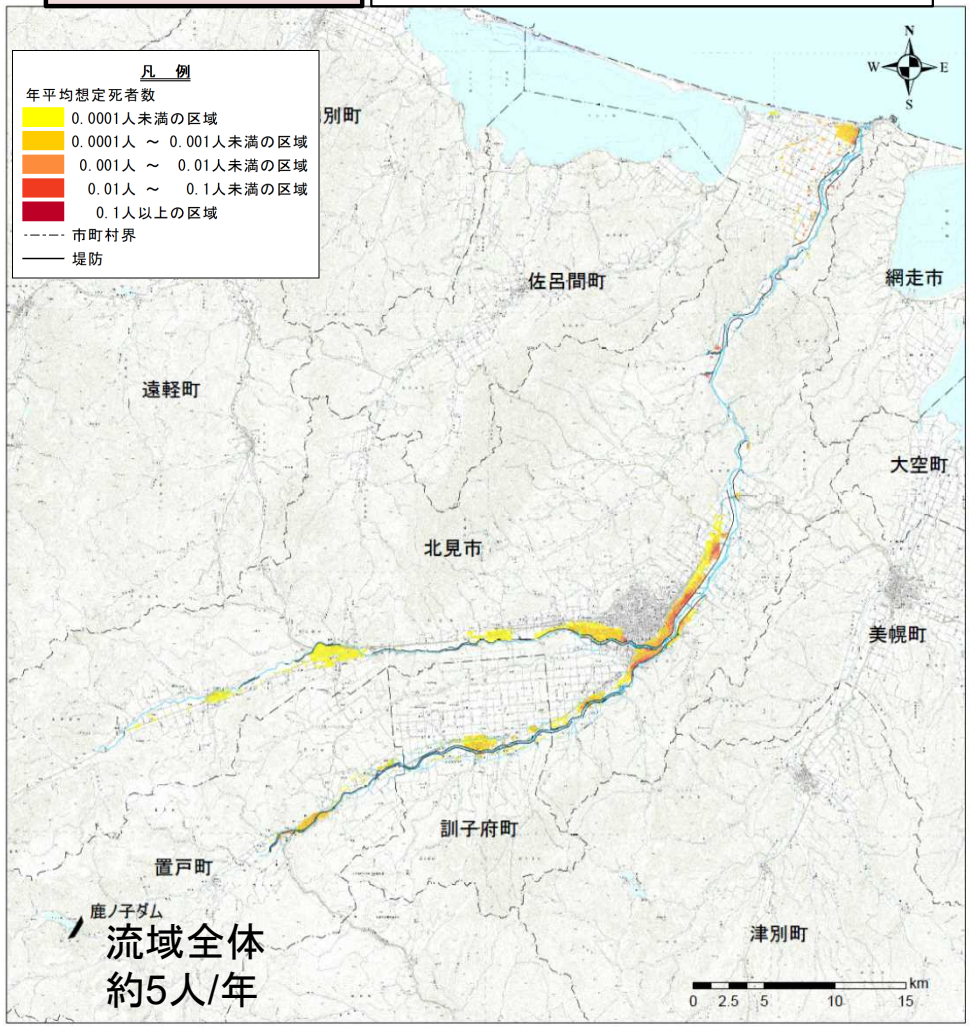
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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

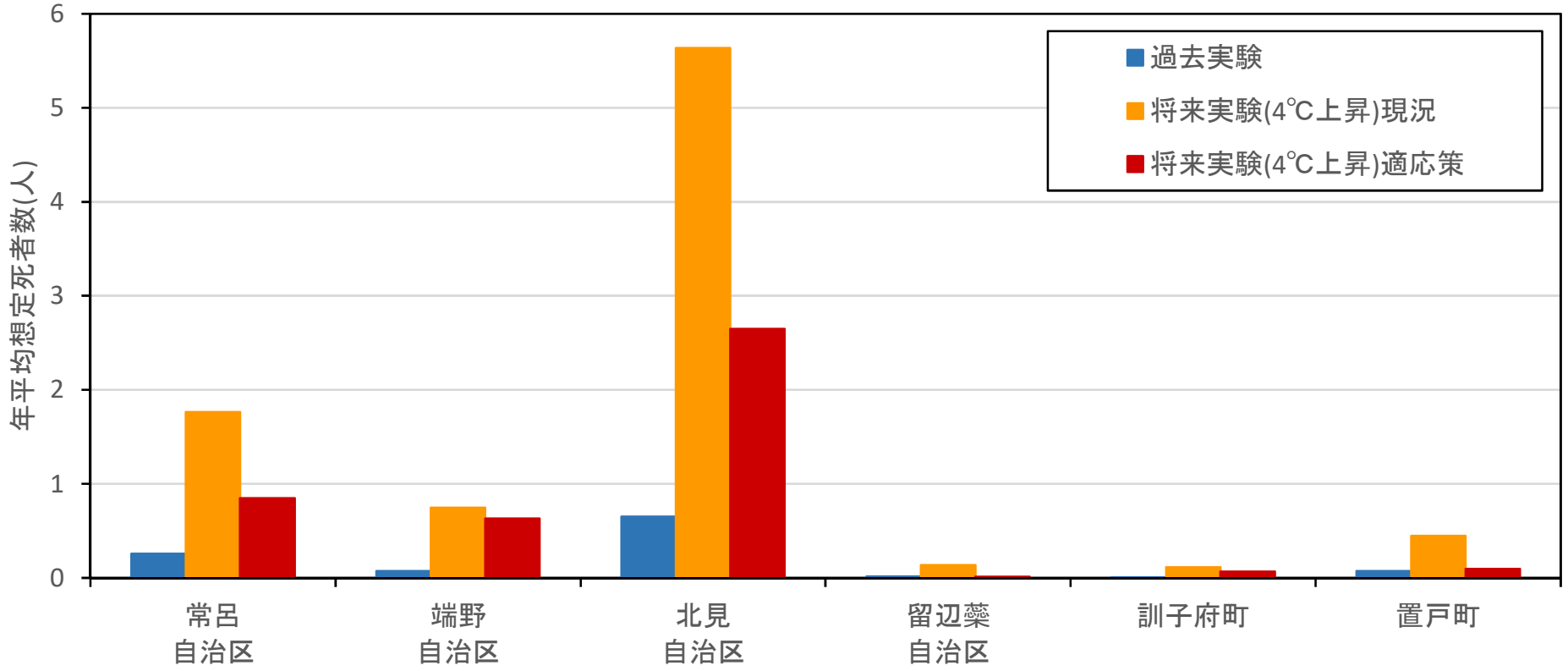




※4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

常呂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、年平均想定死者数を低下させる試算結果となった。一方、ハード対策のみでは、過去実験と同等程度まで安全度を低下させることが難しい可能性があるため、流域においては、ソフト対策等も合わせて実施していく必要性が高い。

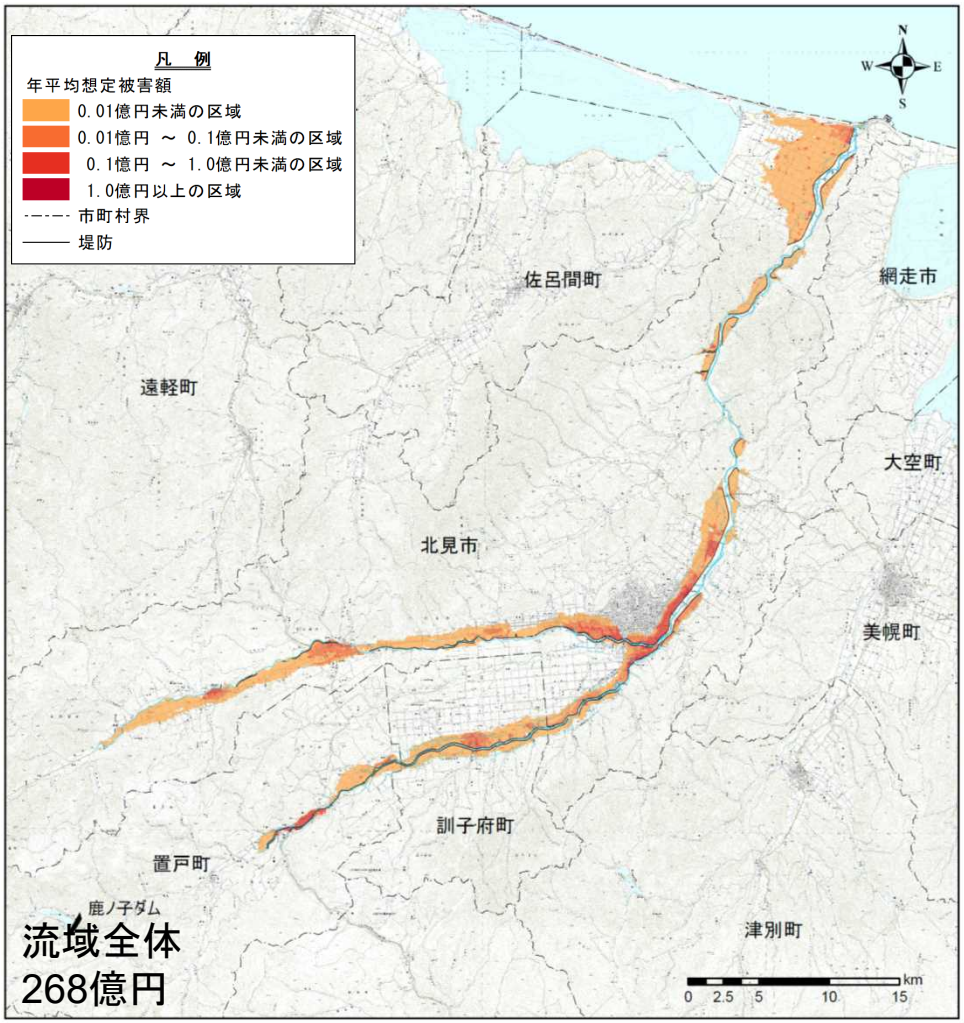


※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

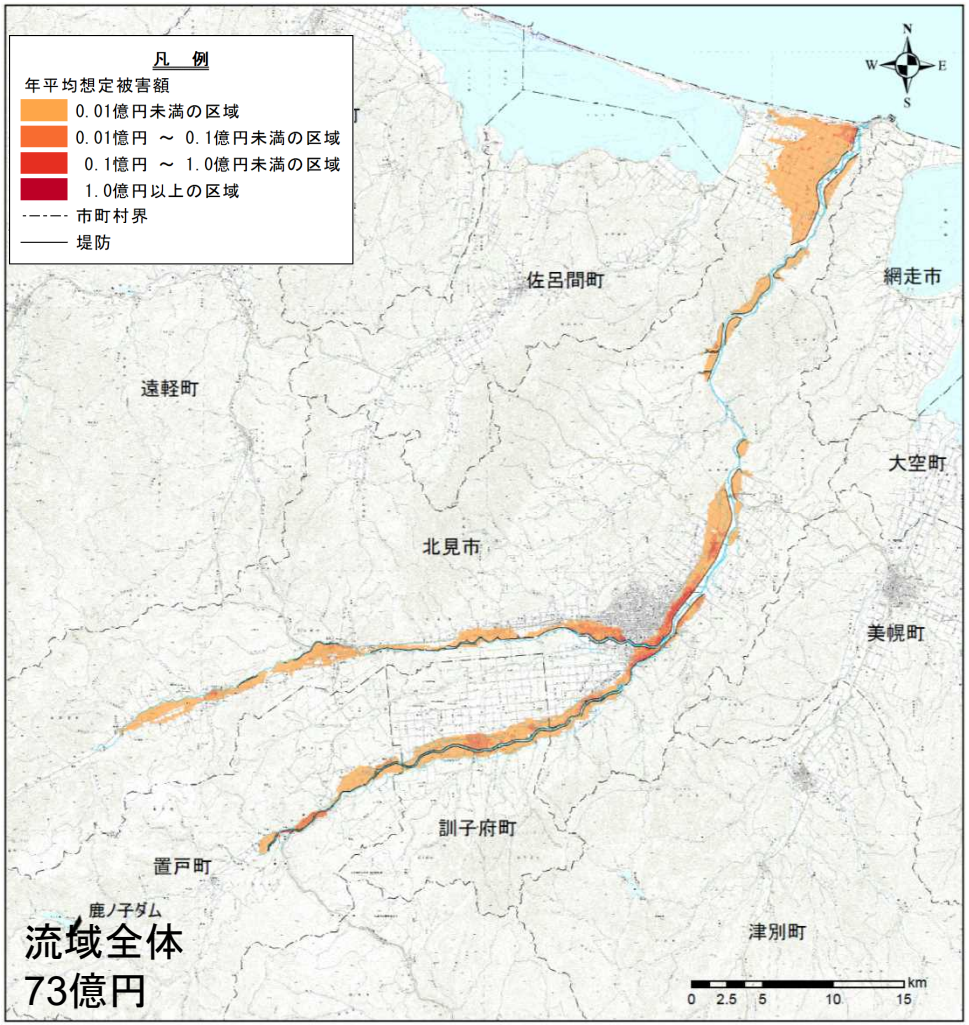
常呂川流域における適応策によるリスクの変化（4℃上昇実験）：年平均想定被害額

■ 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



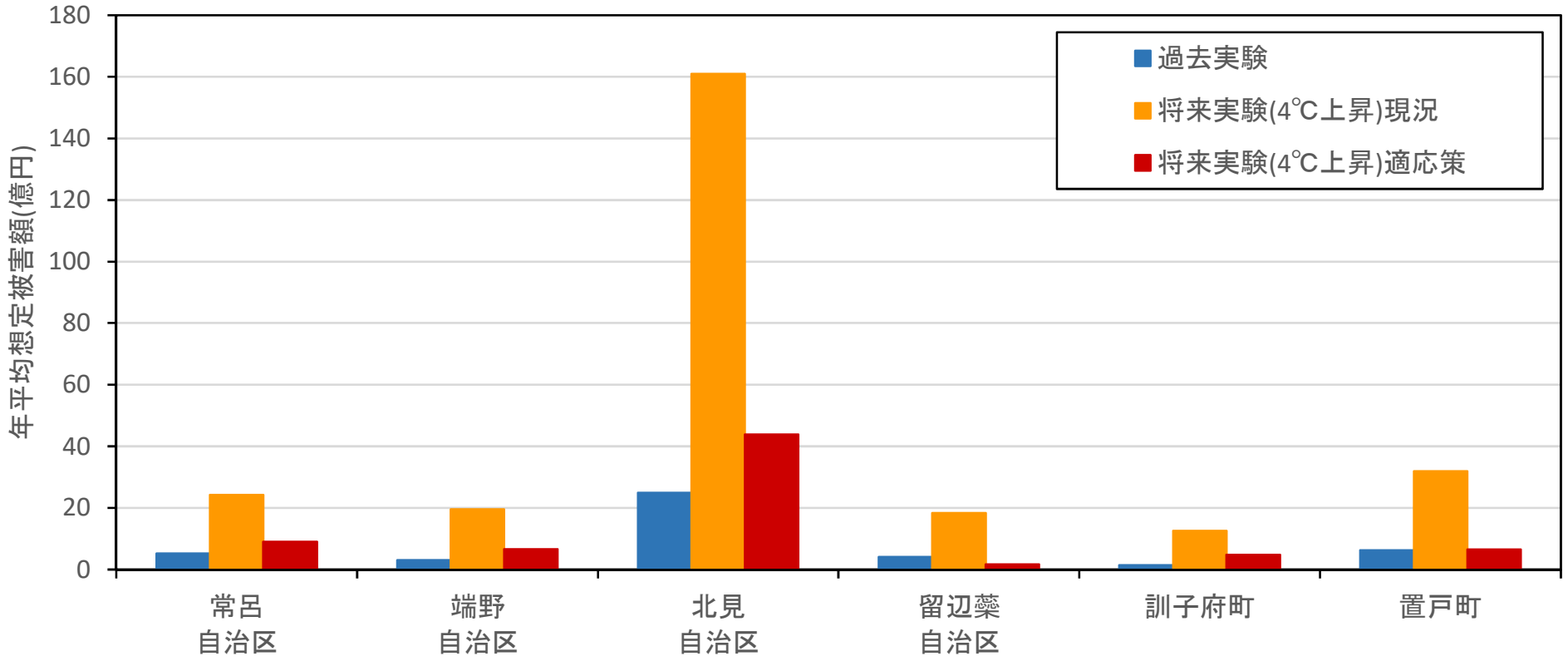
適応策の実施を想定	4℃上昇した際に想定される年平均想定被害額



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

常呂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、年平均想定被害額を低下させる試算結果となった。一方、ハード対策のみでは、過去実験と同等程度まで安全度を低下させることが難しい可能性があるため、流域においては、ソフト対策等も合わせて実施していく必要性が高い。

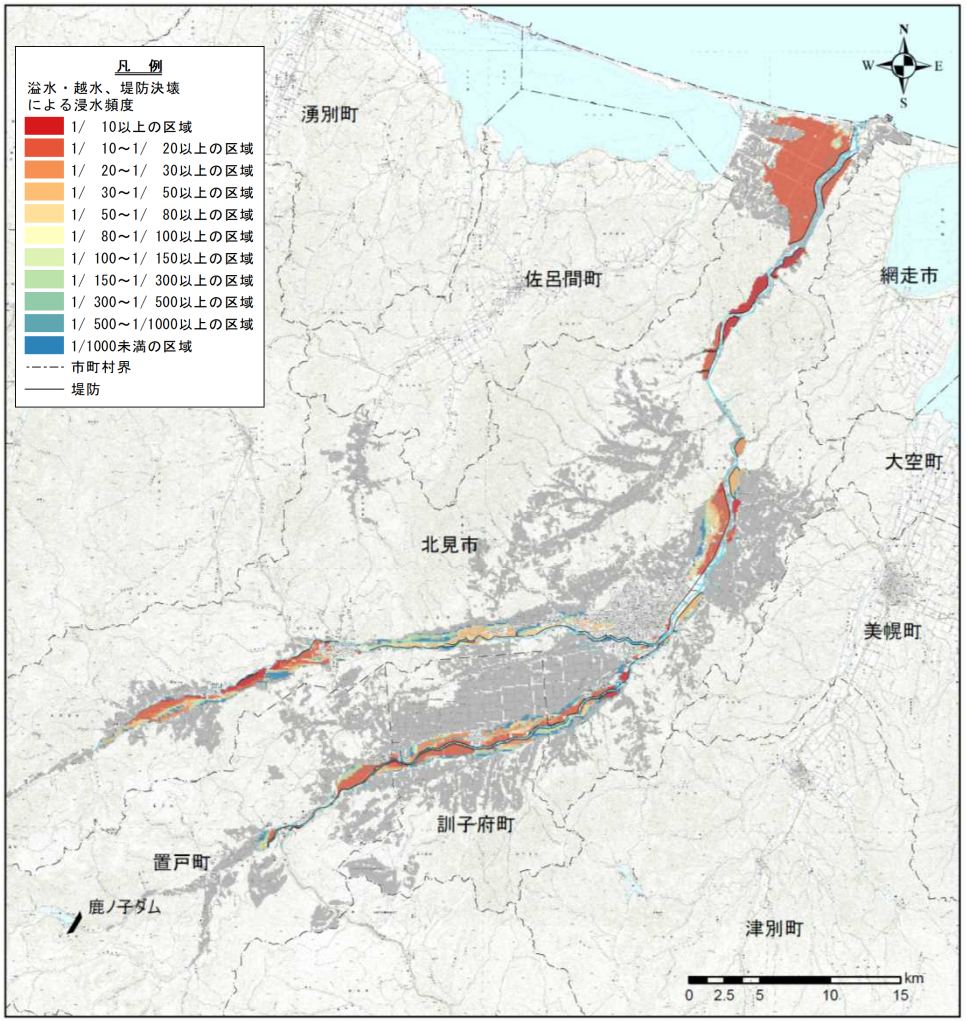


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

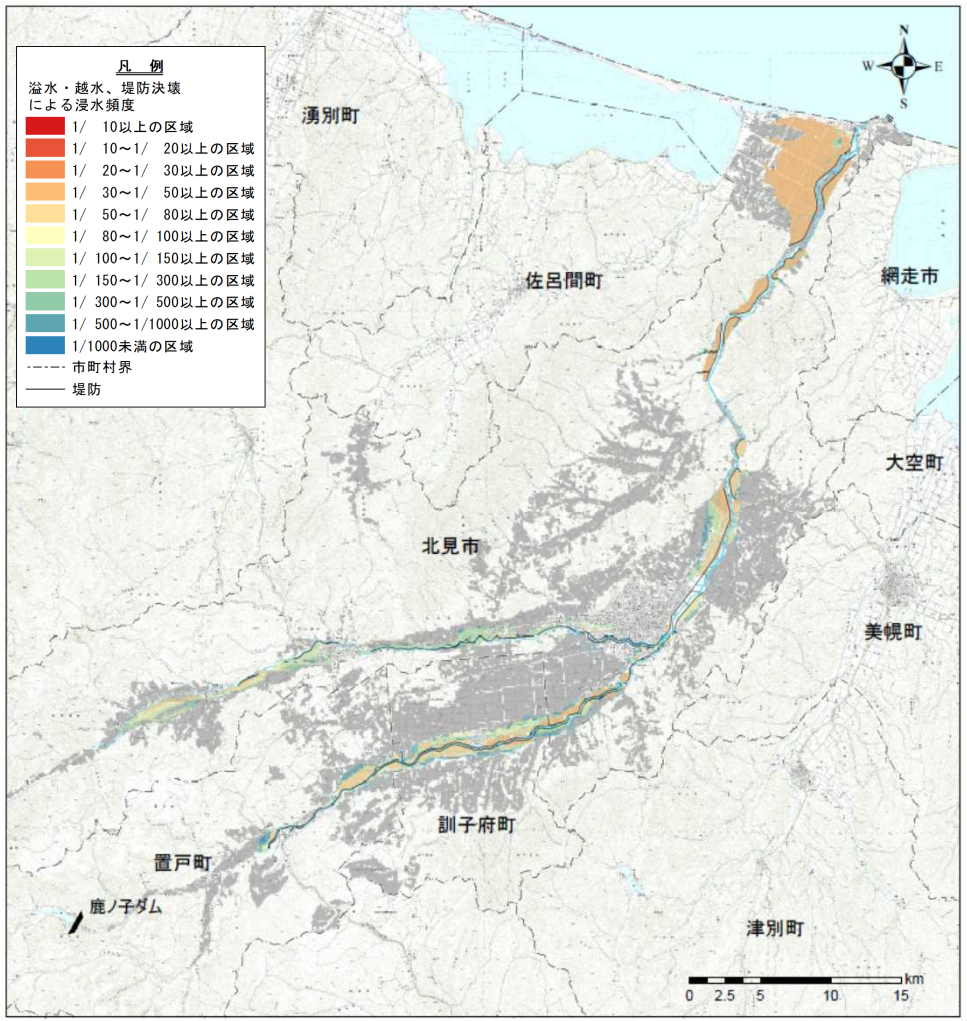
常呂川流域における適応策によるリスクの変化（4℃上昇実験）：農地の浸水確率

■ 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（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

12－3. 社会的リスクの高い地域における適応策の効果検証

12－1. 想定される適応策の抽出

↓

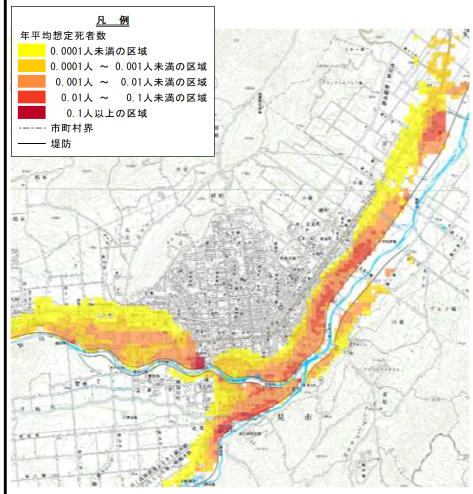
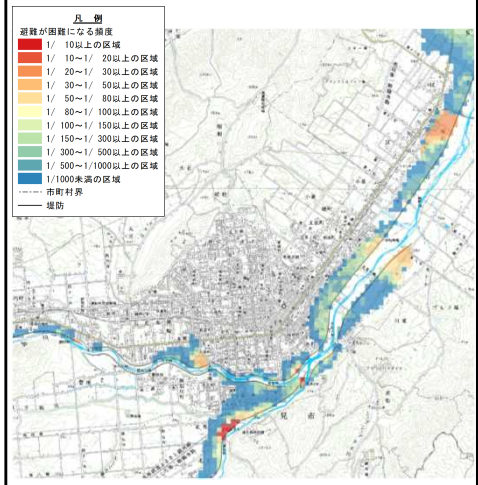
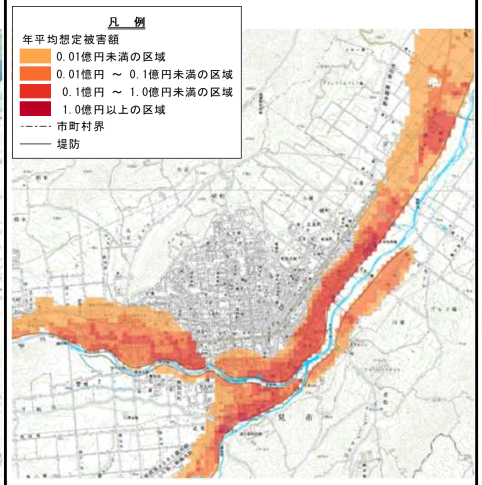
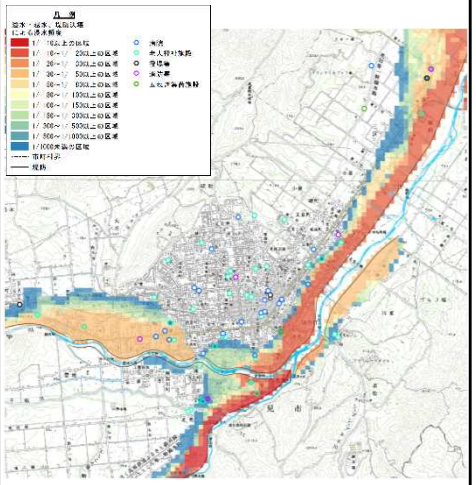
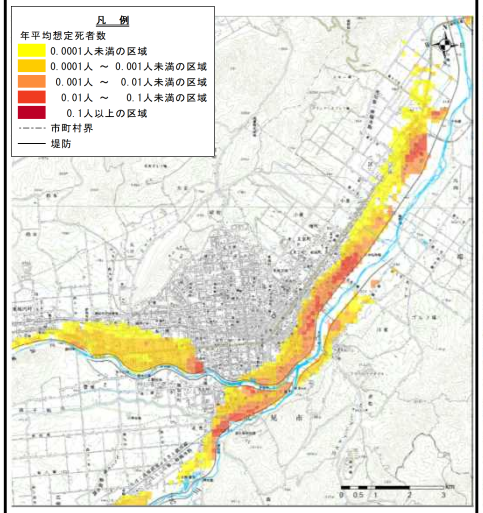
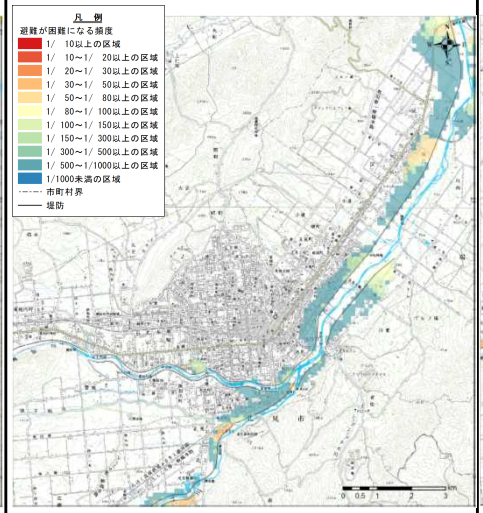
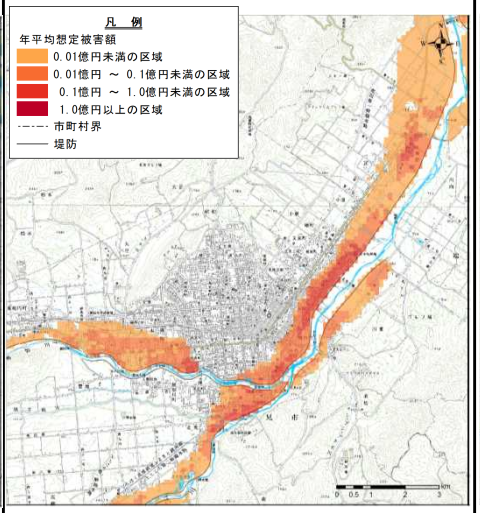
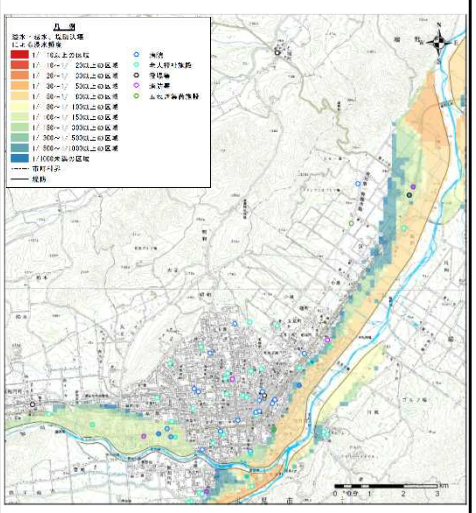
12－2. 適応策の効果検証

↓

12－3. 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:（北見自治区エリア）

■ 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）				

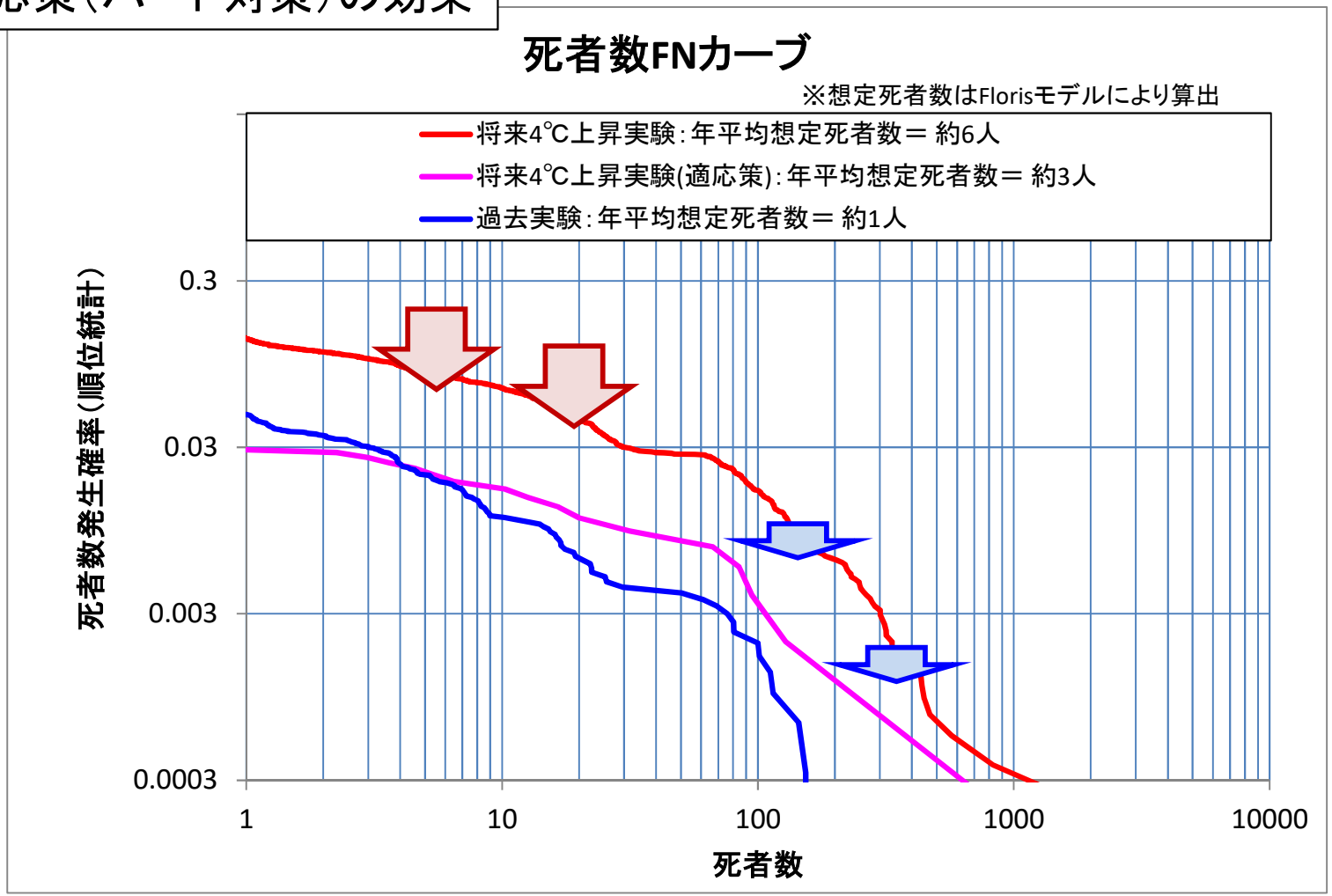
※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、玉ねぎ集荷施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域4℃上昇実験:(北見自治区エリア)

■ 社会的リスクの大きい北見自治区エリアにおいて、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

〔北見自治区〕



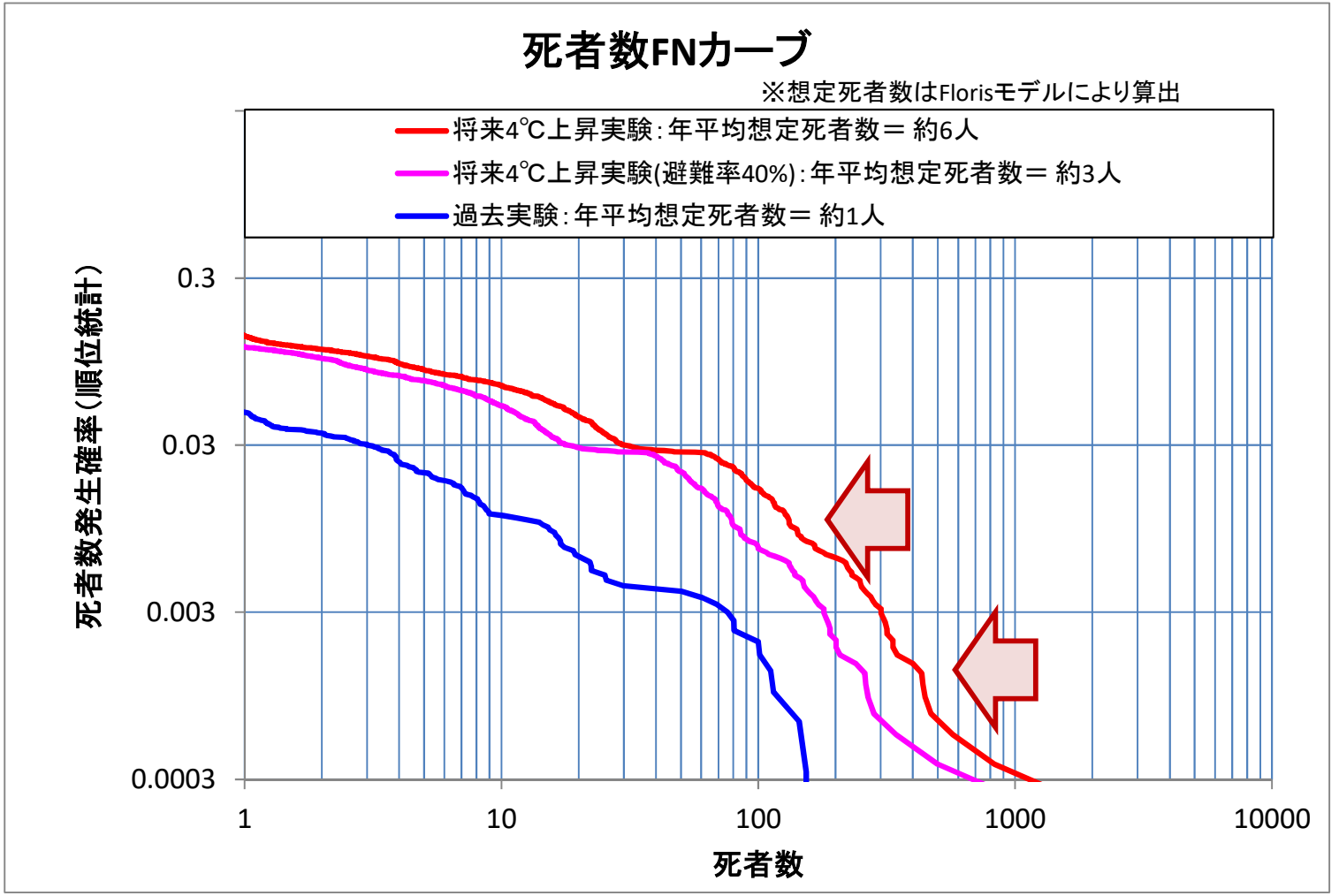
社会的リスクの高い地域4℃上昇実験:(北見自治区エリア)

- 北見自治区エリアにおいては、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

〔北見自治区〕

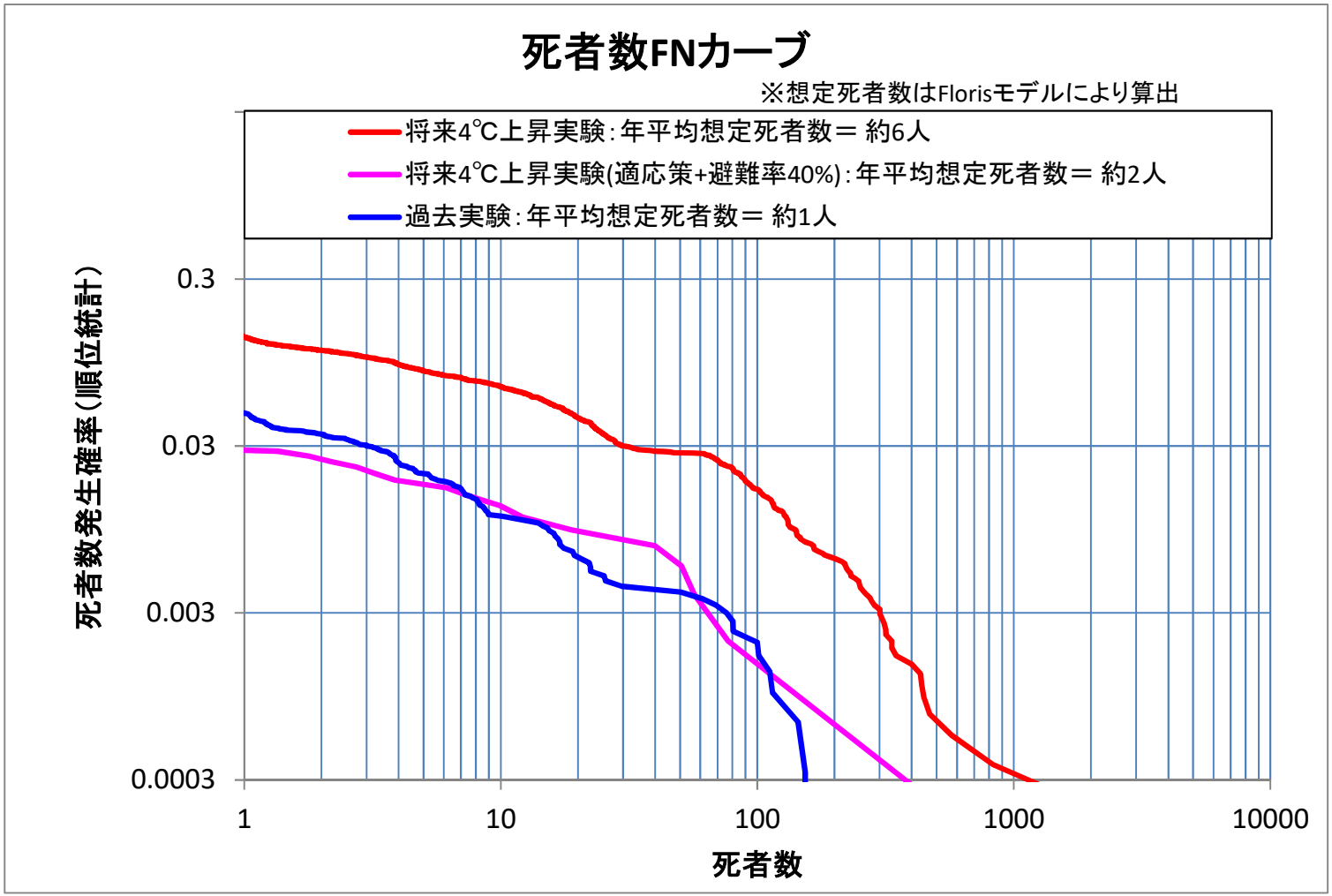


社会的リスクの高い地域4℃上昇実験:(北見自治区エリア)

■ 北見自治区エリアにおいては、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カーブを大幅に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

〔北見自治区〕



13. 常呂川流域における当面の適応策について

13－1. 想定される当面の適応策の抽出

↓

13－2. 当面の適応策の効果検証

↓

13－3. 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

13－1. 想定される当面の適応策の抽出

13－1. 想定される当面の適応策の抽出
↓
13－2. 当面の適応策の効果検証
↓
13－3. 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

13－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）
↓
13－1－2. 社会的リスクの高い箇所における当面の適応策

13－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）

13－1. 想定される当面の適応策の抽出
↓
13－2. 当面の適応策の効果検証
↓
13－3. 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

13－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）
↓
13－1－2. 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（常呂川流域の減災ストーリー）

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

〔北見市街地〕

○オホーツク地域における経済・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存在。
○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。

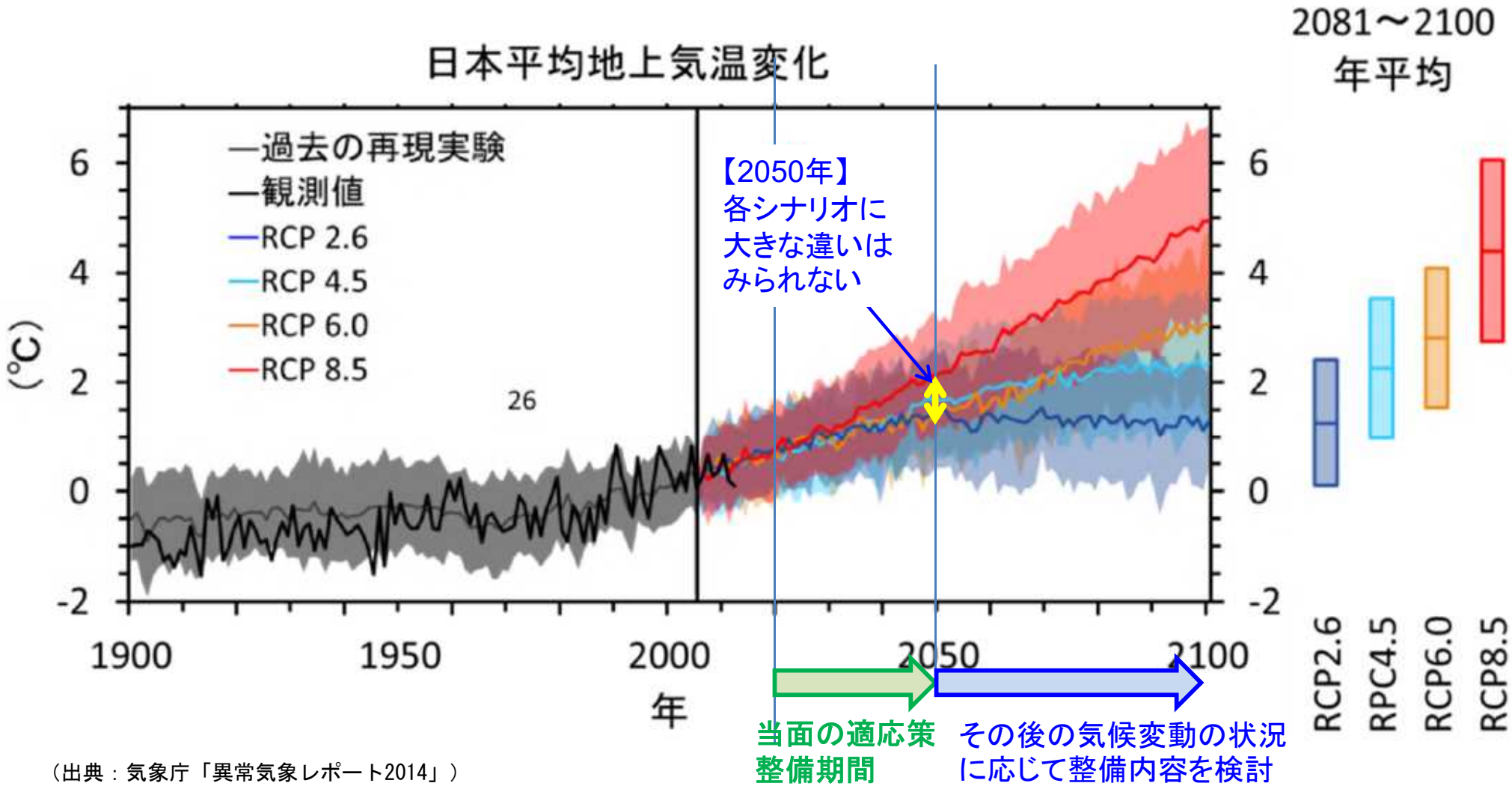
→ 危機管理型ハード対策により、決壊までの時間を引き延ばし、避難に要するリードタイムを可能な限り確保する。

→ 貯留施設などにより、社会的リスクの高い地域における安全性を向上させる。

※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。

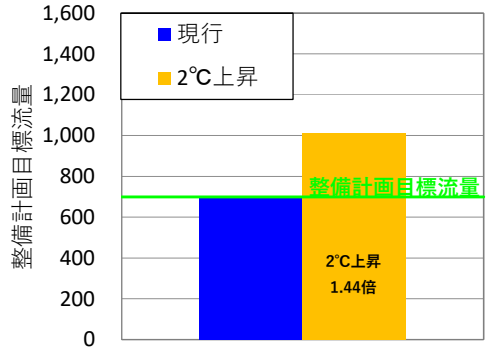
【当面の治水適応策（河道掘削等）として目標とする外力の考え方】

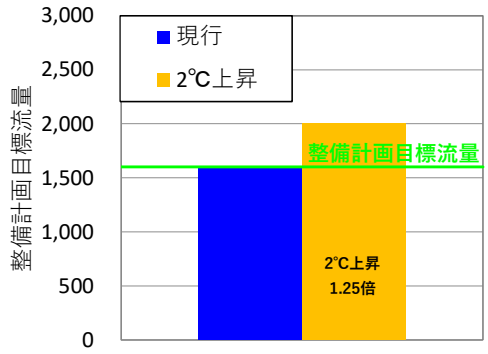
	d2PDFの降雨量を用いる方法	現在目標としている降雨量に係数をかけることにより新たな目標設定を行う方法	H28出水など、既往最大の降雨量を用いる方法
方法の概要	・大量アンサンブルデータから、2℃上昇時の時空間分布の変化等も踏まえ、かつ、現在の河川整備計画と同じ安全度を確保できるように目標設定を行う。	・S37.8実績降雨およびS56.8実績降雨等の河川整備計画対象降雨に対して、将来の気候変動を考慮し、適切な係数※をかけることにより、目標設定を行う。	・H28出水など、既往最大の降雨量を用いることにより、目標設定を行う。
	採用		

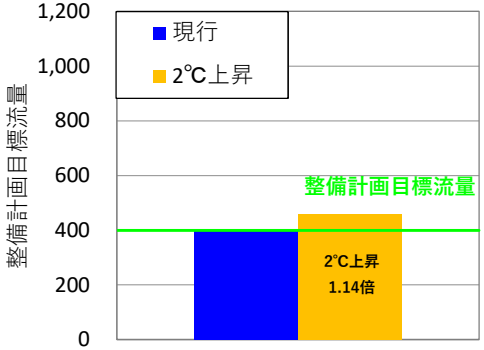
※ 2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道北部、北海道南部ともに1.15倍と試算。
（ 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言・令和元年10月より）

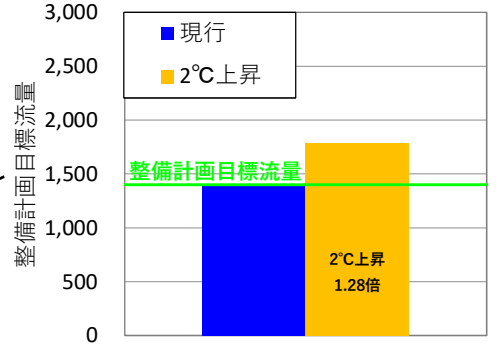
常呂川流域における気候変動を考慮した場合の目標流量

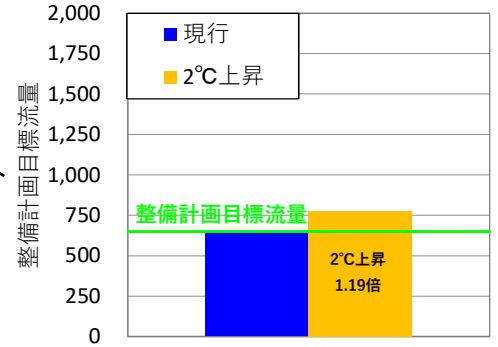
■ 2℃上昇時の外力に対して、現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度を確保できるように、目標流量を検討した。
■ 全川において目標流量が現在より上昇し、とりわけ、下流部において、上昇の倍率が大きくなる結果となった。

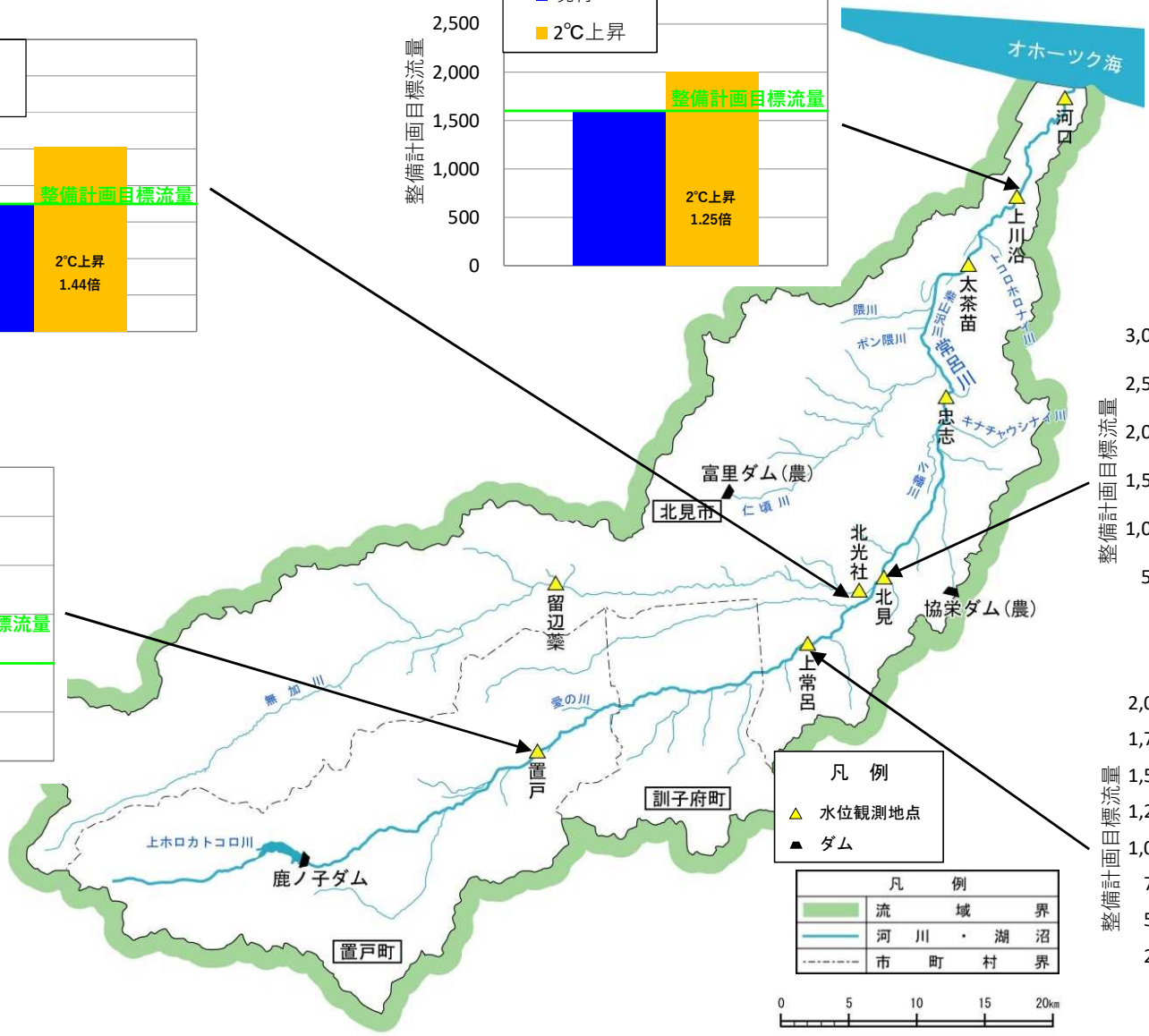












※河道分担流量については、河道における掘削の限界等の観点も踏まえながら決定するものとする

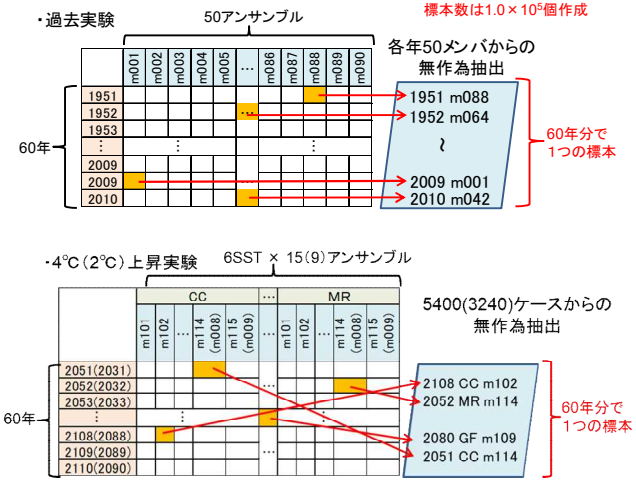
気候変動を考慮した場合の目標流量について（設定の流れ）

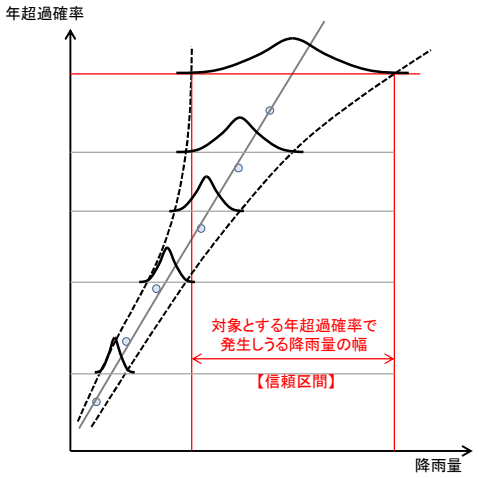
（流量群の算定）

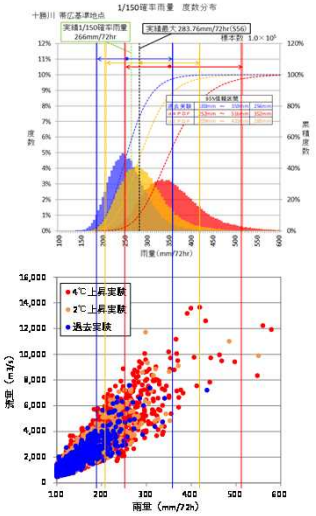
①過去実験、2℃上昇実験毎に、リサンプリングにより10万標本を作成。

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。

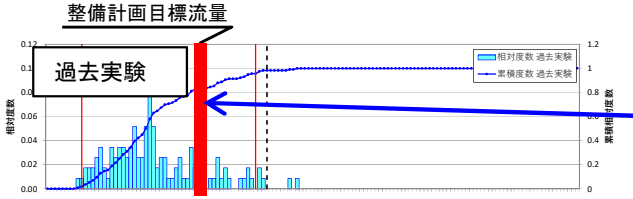






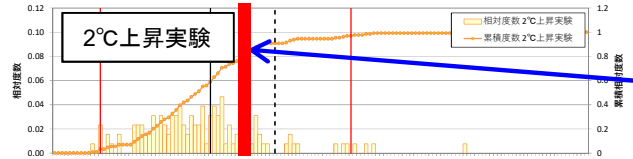
（気候変動を考慮した目標流量の算定）※基準点および主要地点ごとで検討を行う。

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%）

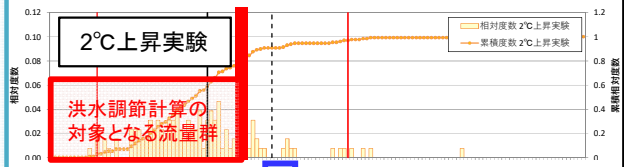
⑤気候変動後の流量群に対して、過去実験における充足率と同等となる流量を、気候変動を考慮した目標流量として検討。



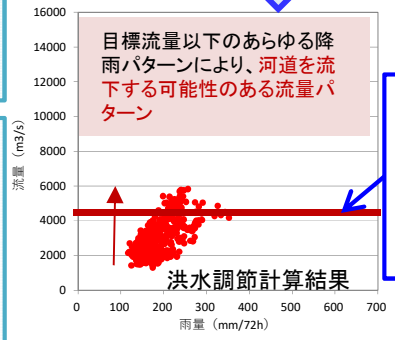
気候変動後の計画規模の流量群に対して、過去実験と同様の充足率（a%）となる値を、
気候変動を考慮した目標流量として設定

（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。



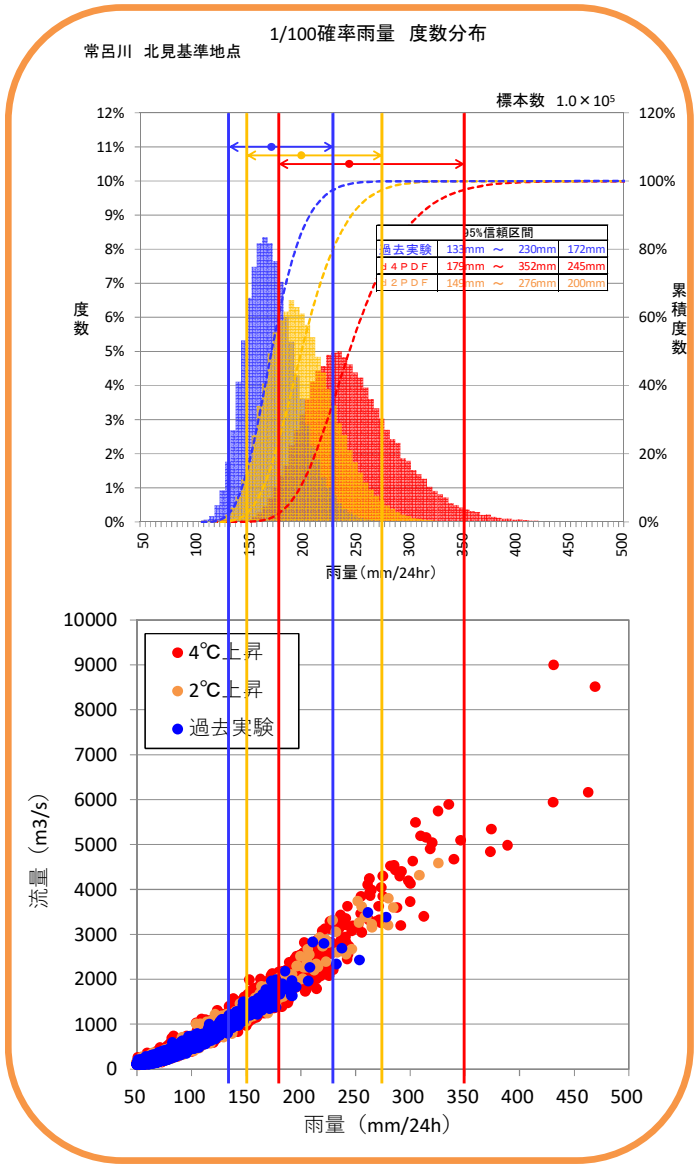
⑦河道を流下しうる流量の幅のうち、河道掘削による限界等を考慮したうえで、河道配分流量として検討。

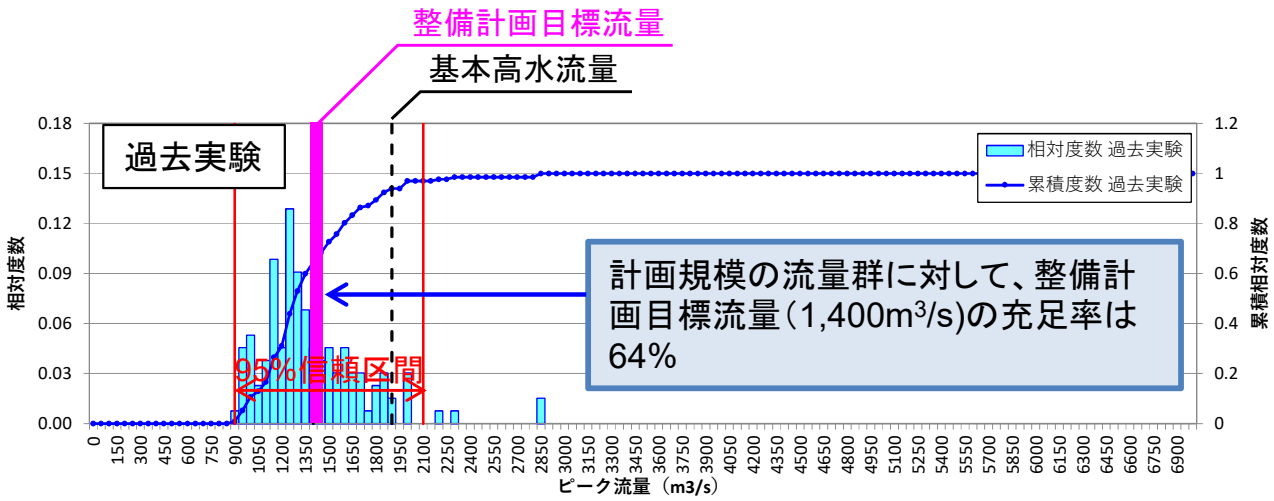


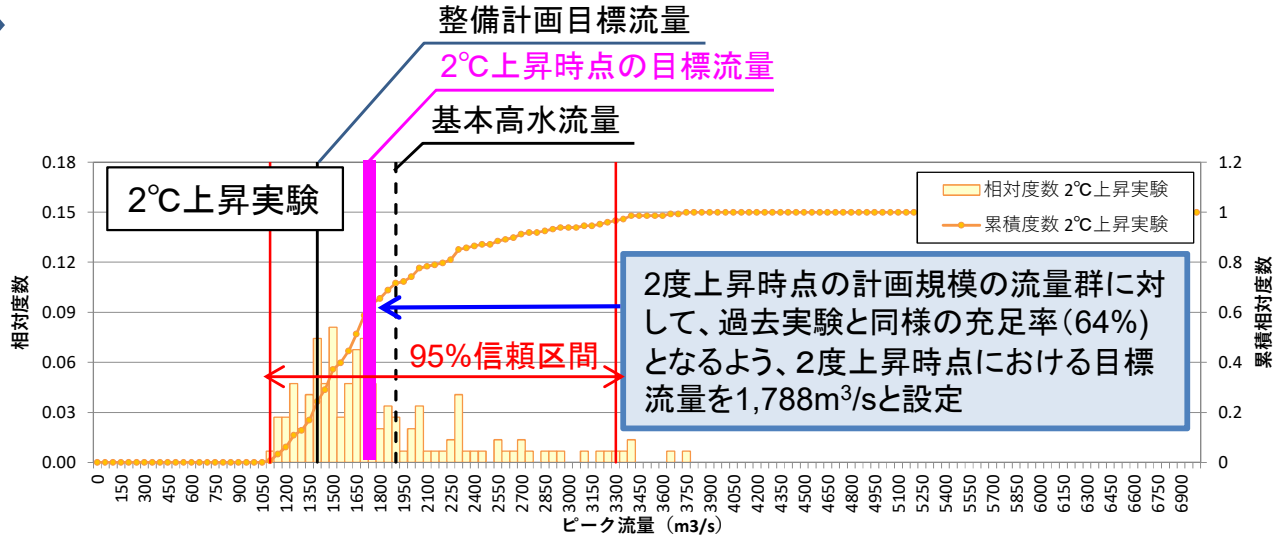
河道掘削による限界等も考慮したうえで、河道配分流量を決定。

（参考）気候変動を考慮した場合の目標流量について（北見地点における事例）

■ 北見地点における計画規模（1/100)で発生しうる降雨量の幅は現在気候（過去実験）において133mm～230mm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（1,400m³/s）による充足率は過去実験では64%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度上昇時点の目標流量は1,788m³/s となる。







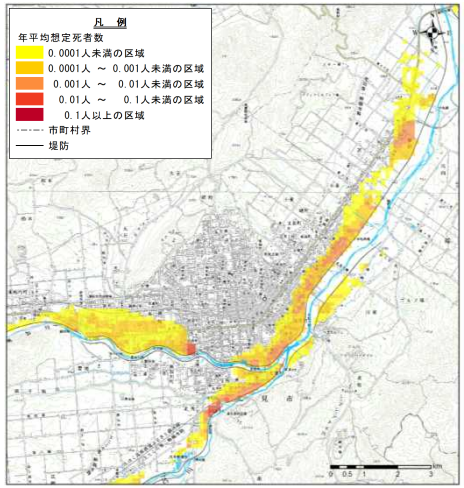
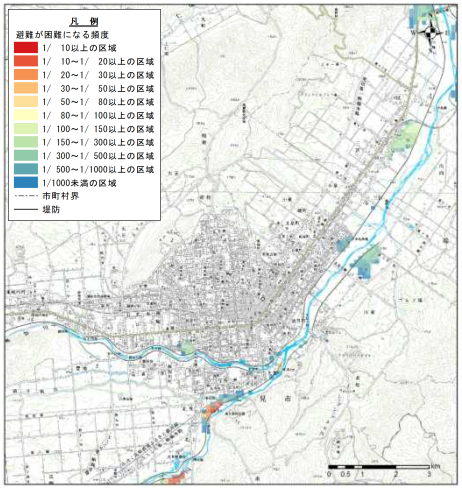
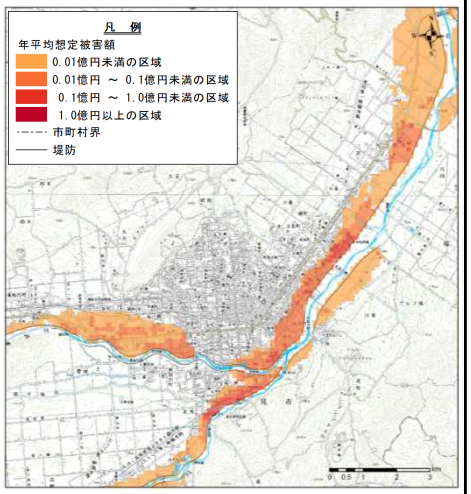
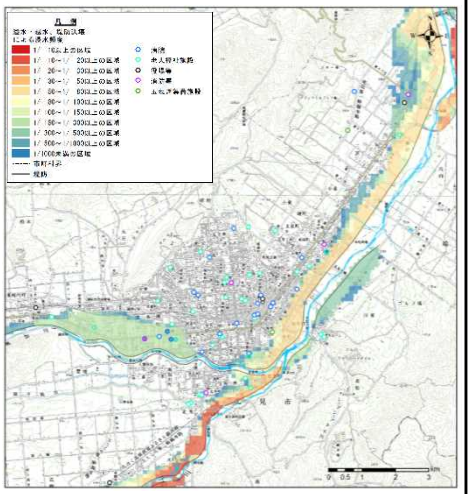
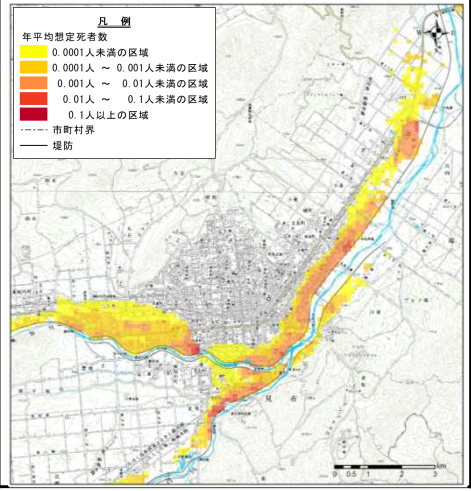
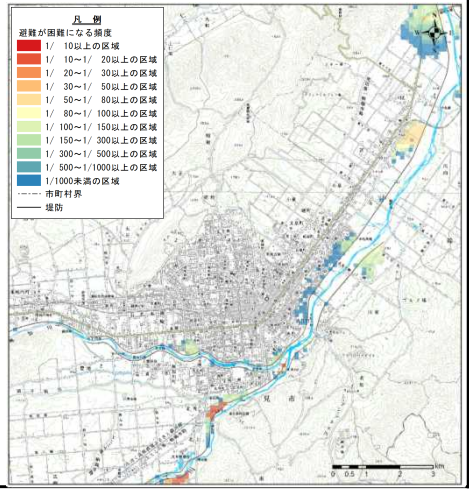
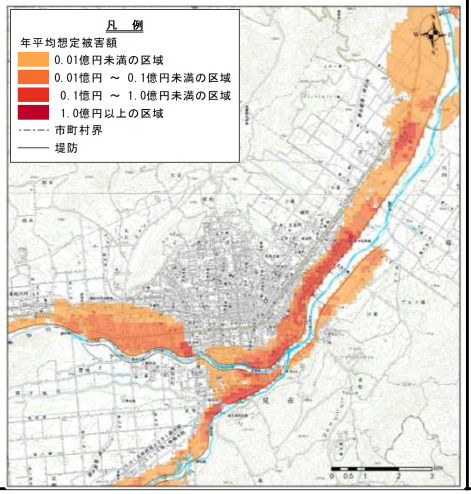
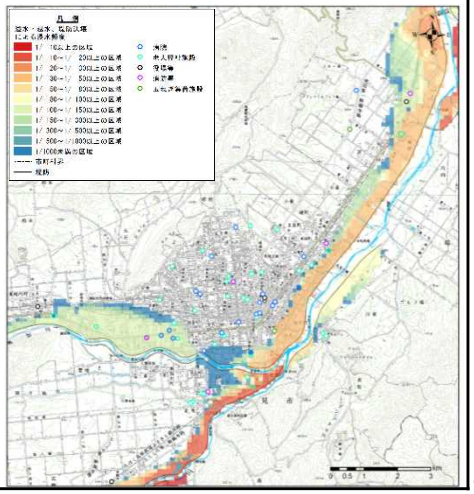
13－1－2. 社会的リスクの高い箇所における当面の適応策

13－1. 想定される当面の適応策の抽出
⇩
13－2. 当面の適応策の効果検証
⇩
13－3. 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

13－1－1. 当面の適応策の基本的な考え方（防御ストーリー）
⇩
13－1－2. 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（北見市街地エリア）

北見市街地エリア
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、玉ねぎ集荷施設は浸水深が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（北見市街地）

■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）
・河道掘削
・堤防強化対策
危機管理型ハード対策
・貯留施設

（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避難所・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

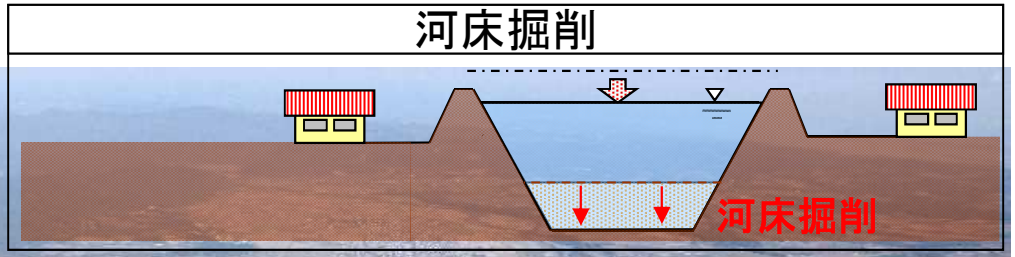
※実現の可能性や経済性などの観点を勘案して、今後検討を進める。

当面の治水適応策（対策メニュー案）

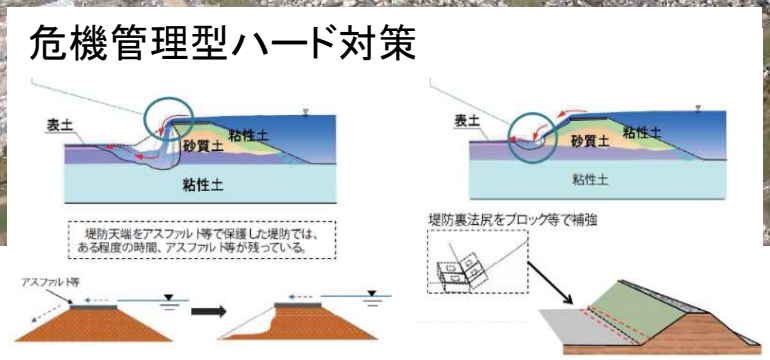
■ 河道掘削を実施するとともに、危機管理型ハード対策により決壊までの時間を引き延ばし、避難に要するリードタイムを可能な限り確保する。また、洪水調節機能の強化などにより、社会的リスクの高い地域における安全性を向上させる。

（北見市街地の特徴）
〇標高が低いエリアは狭いが、川沿いに市街地が広がっている
〇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。

（対策メニュー案）
・河道掘削
・堤防強化対策
危機管理型ハード対策
・貯留施設









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）

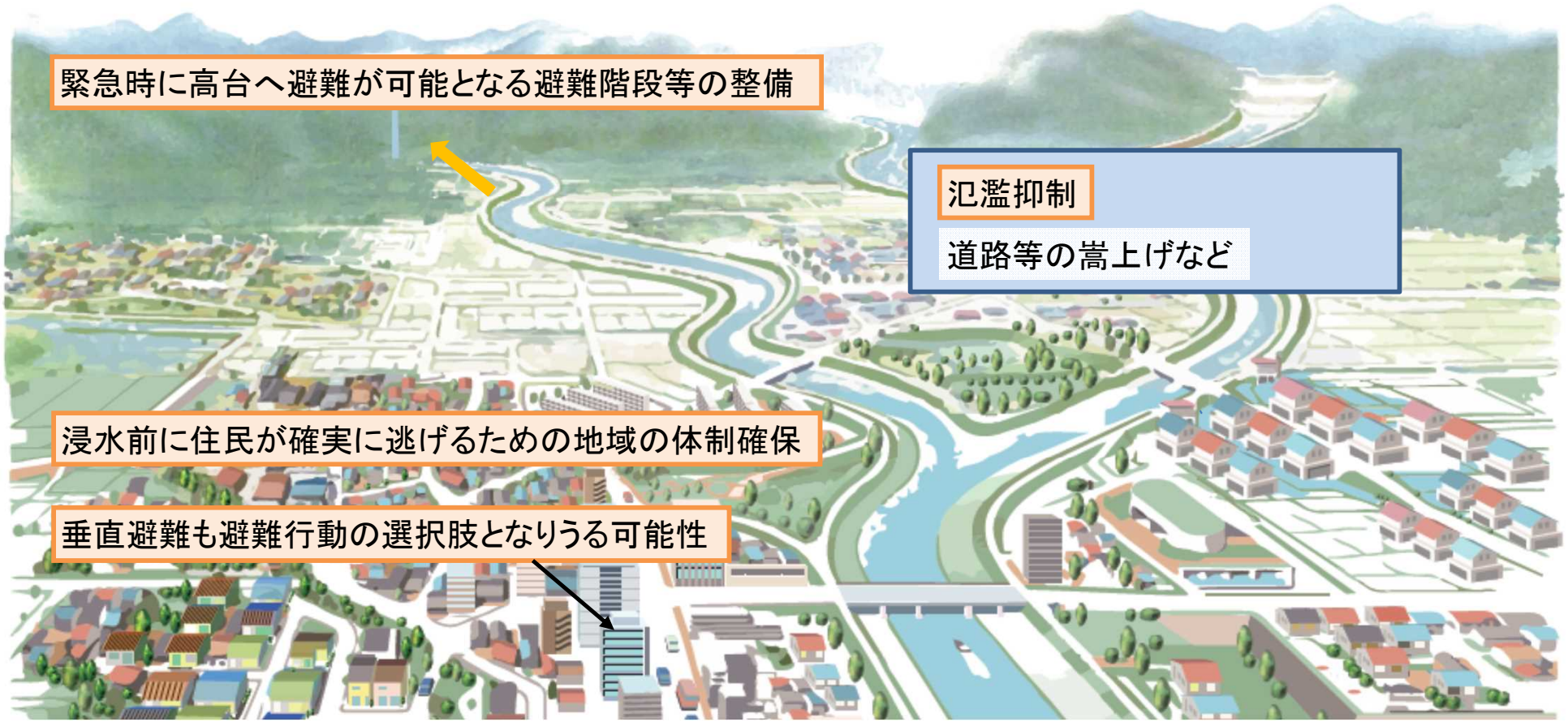
■ 常呂川流域の中流の北見市街地では、人口・資産が高度に集中しているなか、気候変動により浸水リスクの増加が想定される地域である。

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、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。

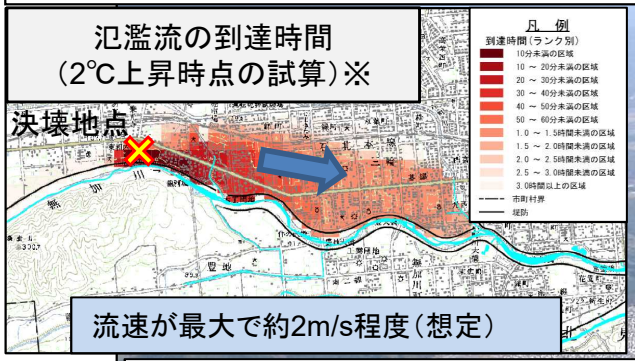
〇道路等のかさ上げによる、氾濫流の軽減により、避難が可能となる時間を引き延ばす可能性がある。



気候変動のリスクを踏まえたソフト対策等（北見市街地）

■ 常呂川本川に訓子府川や無加川が合流する北見市街地では、平成28年8月洪水では外水氾濫は発生しなかったが、近傍の北見観測所では計画高水流量を超過しており、堤防決壊時には甚大な被害が発生したことが想定される。
■ 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。
■ 想定される浸水域は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）により避難のリードタイムを少しでも確保するとともに、水害タイムラインの策定等により、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。

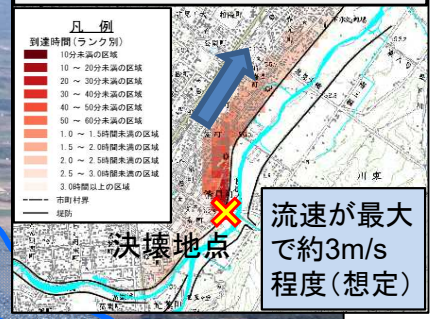
氾濫流の到達時間
（2℃上昇時点の試算）※



流速が最大で約2m/s程度（想定）

・基本的に浸水区域外の高台へ避難
・間に合わない場合は想定浸水深3.2m未満で2階以上に垂直避難可能な所へ避難

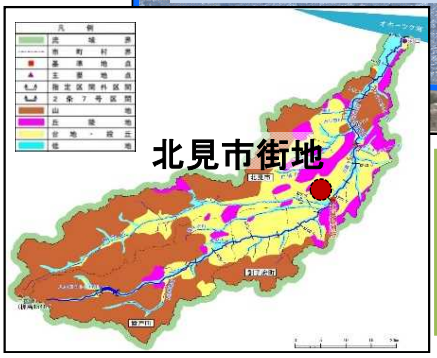
氾濫流の到達時間
（2℃上昇時点の試算）※



流速が最大で約3m/s程度（想定）

● :北見市洪水ハザードマップに示されている主な避難所
▭ :現況施設・河道状態における4℃上昇時の想定最大浸水域

中学校
芸術文化ホール
常呂川
北見市街地
市民会館
小学校
浸水深が最大で約5m以上（想定）
無加川



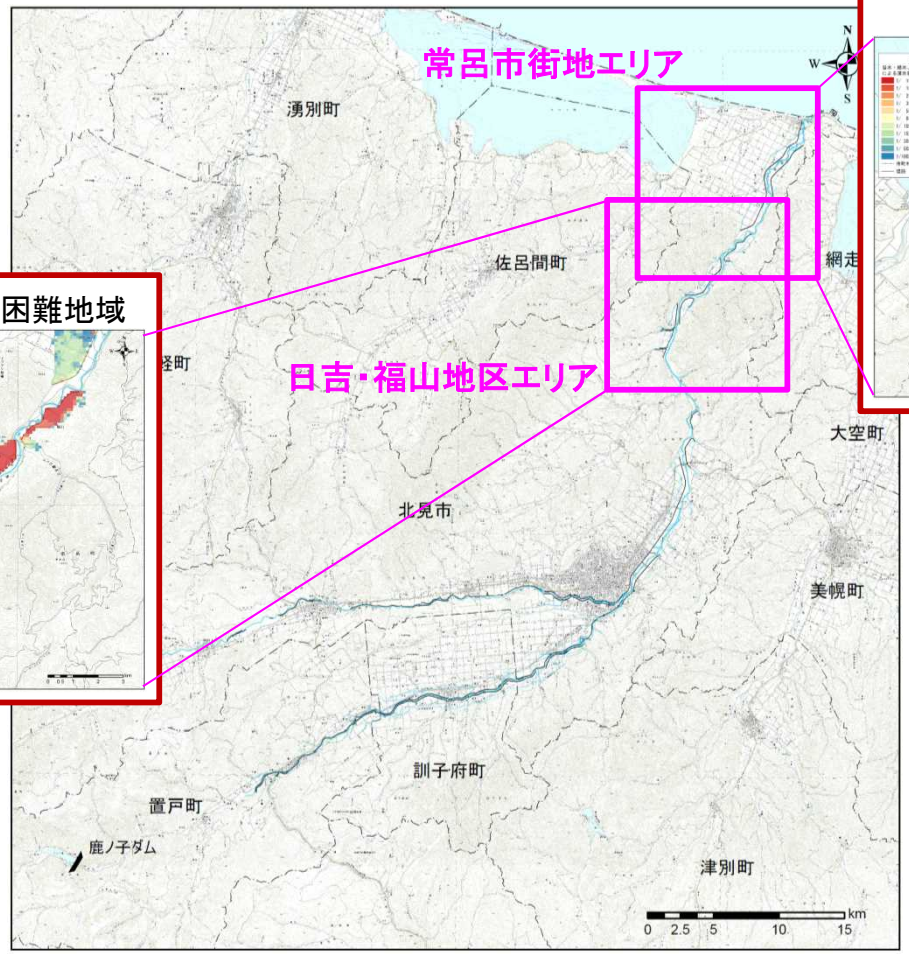
※氾濫流の到達時間：将来実験（2℃上昇時点：3240ケース）のうち流域内の想定死者数が最多となるケースにおいて、図中で示す箇所が決壊した場合の氾濫流の到達時間を試算
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

・決壊時には河川沿いに氾濫流が流下し、流速が早く、浸水深も深くなると想定
・住民が浸水域内の避難所に避難してしまうことが懸念される

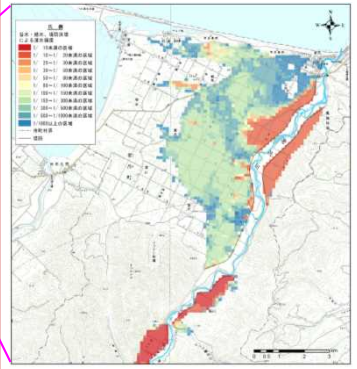
【今後の課題】
・避難時間を少しでも確保するための危機管理型ハード対策や、住民の確実な避難にむけた水害タイムラインの検討が必要
・浸水域とならない高台方面へ避難するような日頃からの啓蒙が必要

避難が困難となる地域における対策（事例）

- 大規模な洪水により、市街地やその周辺などが広く浸水することが想定されるエリアや、避難経路の限られる山間地域においては、避難時間の確保やタイミング、避難場所の位置が重要となる。
- 大量アンサンブルデータを活用することにより、避難が困難となる地域やその特性について、一定程度、定量的に表現することが可能となった。こうした情報も活かしながら、常呂川における避難が困難となる地域において、ソフト対策等について提案する。

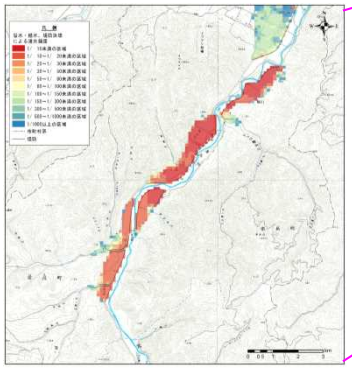


避難困難地域



常呂市街地
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、農業関連や漁業関連の施設が存在。市街地が浸水域に囲まれることから避難が困難となる状況が想定される。

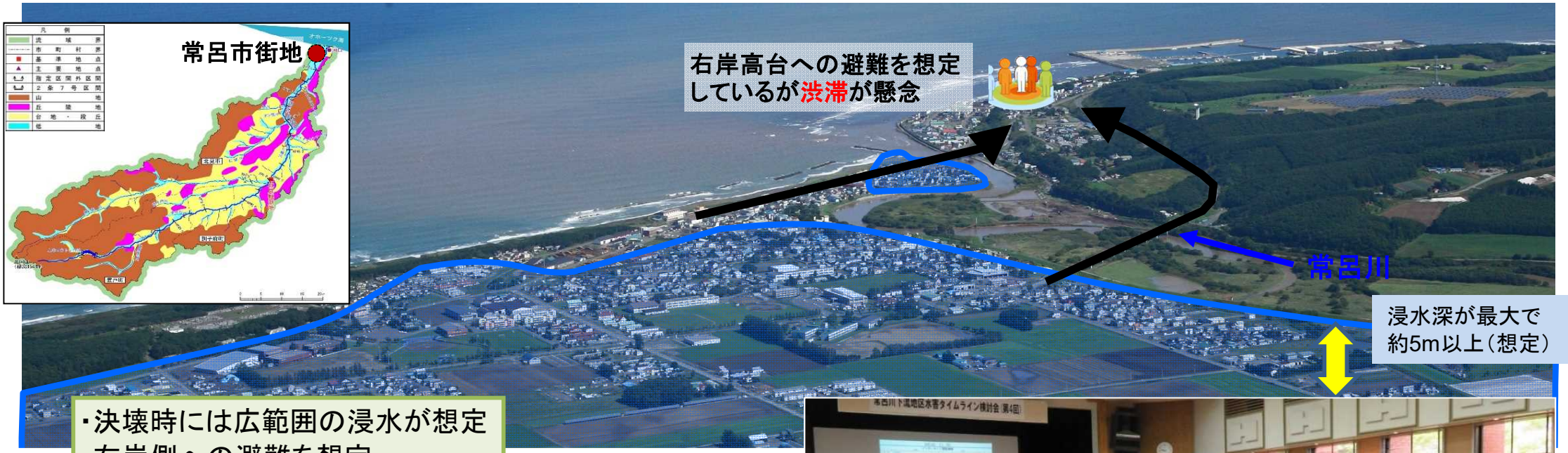
避難困難地域



下流山間部
（北見市日吉・福山地区）
平成28年8月洪水では、避難経路として想定していた道道7号が冠水するなどして、避難途中での一時孤立が発生した地域。避難が困難となる状況が想定される。

平成28年洪水を踏まえたソフト対策の事例等（北見市　常呂市街地）

- 常呂川下流部の常呂市街地は、低平地で拡散型の氾濫形態を有している。平成28年8月洪水では、常呂川の越水による氾濫被害は発生しなかったが、近傍の上川沿観測所では計画高水位を超過しており、堤防が決壊した場合には、市街地や農地に甚大な被害が発生したと想定される。
- リスク評価の結果、最大浸水深が3.0m以上になる区域が想定され、市街地の周辺においては最大浸水深が5.0m以上になる区域も存在する。また、一部の地域は避難が困難となる区域となることが想定されていることから、確実な避難が重要となる。
- この状況を踏まえ、北見市常呂自治区では平成30年に防災関係機関等が連携・協働して水害タイムラインを策定し、住民避難をより実効性・確実性のあるものにするための取り組みが行われている。
- 常呂市街地では右岸側の高台に逃げることを想定しているが、橋が2橋のため、渋滞発生への対策を考える必要がある。



・決壊時には広範囲の浸水が想定
・右岸側への避難を想定

【取り組み事例、今後の課題】
・住民の確実な避難にむけた水害タイムラインを策定
・避難時の渋滞対策や避難所の整備が必要

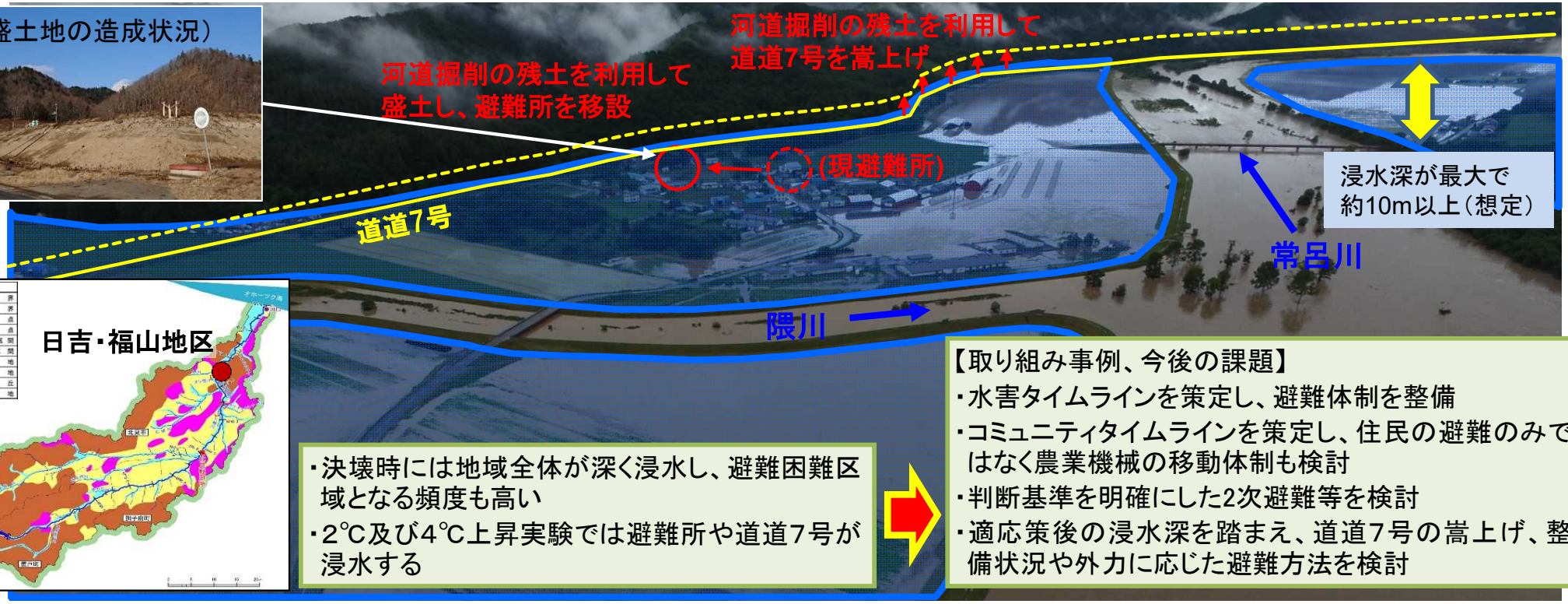


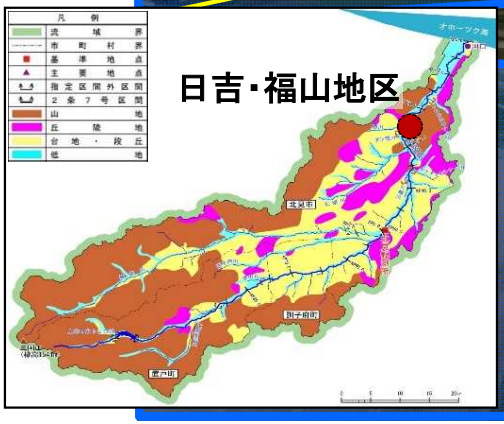
常呂川下流地区水害タイムライン検討会　検証訓練の様子

平成28年洪水等を踏まえたソフト対策の事例等（下流山間部：北見市日吉・福山地区）

■ 北見市日吉・福山地区は、常呂川が山間部を流下する位置にあたり、狭窄部となっている。平成28年8月洪水では堤防決壊や越水等により、農地が浸水するとともに、多くの住民が避難困難となる状況が発生した。
■ リスク評価の結果、最大浸水深が10m以上になる区域があり、地域唯一の避難路である道道7号線も浸水することが想定されている。一部の地域は避難が困難となる区域となることが想定されていることから、確実な避難が重要となる。
■ この地域においては、平成28年8月洪水等を踏まえて、①道道7号線の通行止めの手順を含めた水害タイムラインの策定、②住民自身の避難や営農に重要な農業機械等の移動体制を含むコミュニティタイムラインの策定、③河道掘削土を活用した盛土造成により想定最大規模の浸水想定に対応した避難所機能を有する公共施設の整備が進められている。
■ 気候変動により、避難所や道道7号線が浸水するリスクが示されており、道道7号線の嵩上げ、嵩上げした避難所への避難、山側への避難などの流域対策・ソフト対策を重層的に組み合わせることが重要である。
■ 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。







・決壊時には地域全体が深く浸水し、避難困難区域となる頻度も高い
・2℃及び4℃上昇実験では避難所や道道7号が浸水する

【取り組み事例、今後の課題】
・水害タイムラインを策定し、避難体制を整備
・コミュニティタイムラインを策定し、住民の避難のみではなく農業機械の移動体制も検討
・判断基準を明確にした2次避難等を検討
・適応策後の浸水深を踏まえ、道道7号の嵩上げ、整備状況や外力に応じた避難方法を検討

ソフト対策等を地域が選択できる仕組みづくり

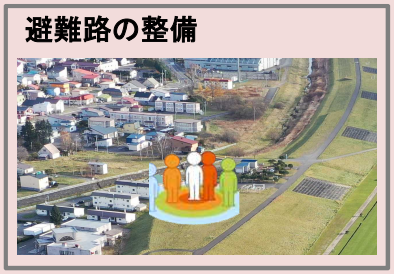
■ソフト対策等については、社会的リスクの高い地域はもちろん、社会的リスクの程度に関わらず、地域においてしっかりと議論し、リスクに応じた対策を地域が選択できるような仕組みとすることが重要となる。
■このため、流域委員会や減災対策協議会等の場を活用して、地域の将来の水災害リスクをわかりやすく情報発信しながら議論を深めるとともに、地域の様々な主体とも連携することにより、地域のソフト対策等を着実に社会実装していくことが重要となる。





ソフト対策等のメニュー案





河川管理者
関係自治体
水防管理者
流域委員会や減災対策協議会等
地域の協力団体
水防団・消防機関
地域の将来の水災害リスクをわかりやすく情報発信
（最新の科学的な知見を共有）
民間企業
有識者
地域住民

地域で取り得る対策を選択、社会実装

13－2. 当面の適応策の効果検証

13－1. 想定される当面の適応策の抽出

↓

13－2. 当面の適応策の効果検証

↓

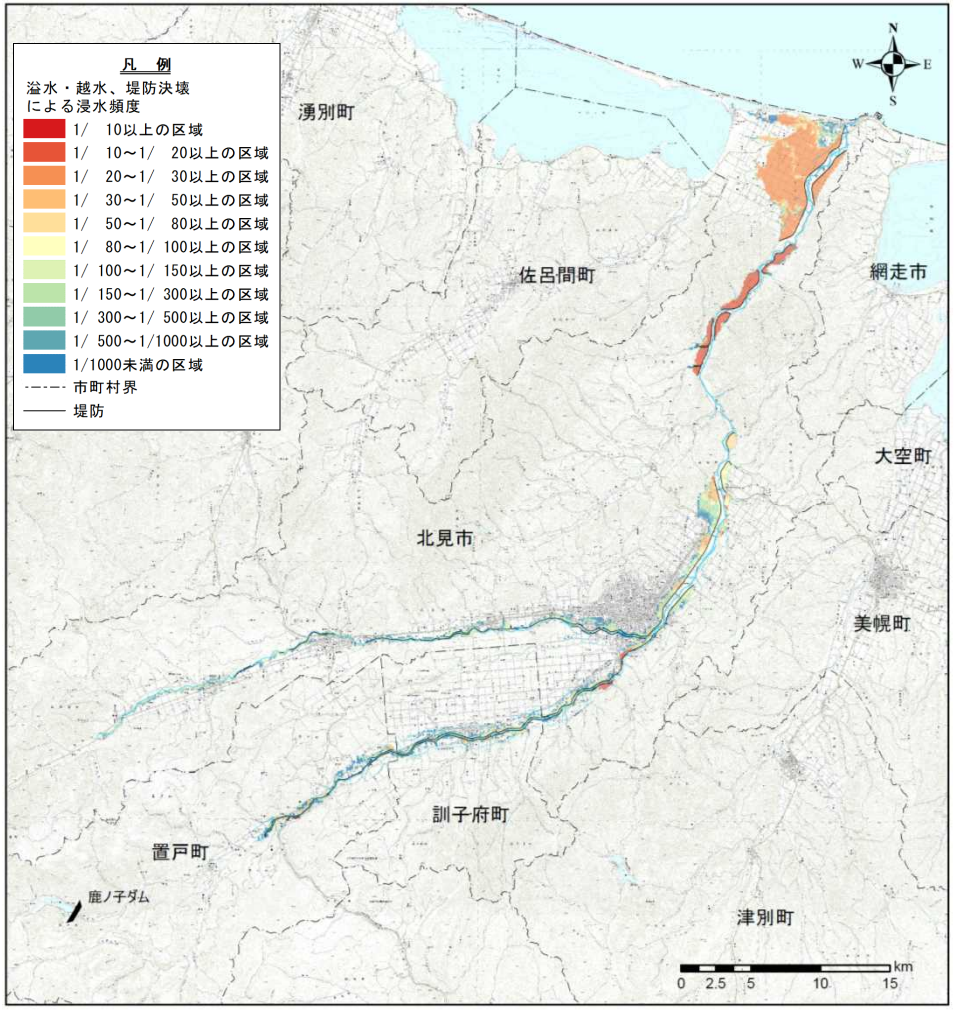
13－3. 社会的リスクの高い地域における当面の適応策の効果検証

常呂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。

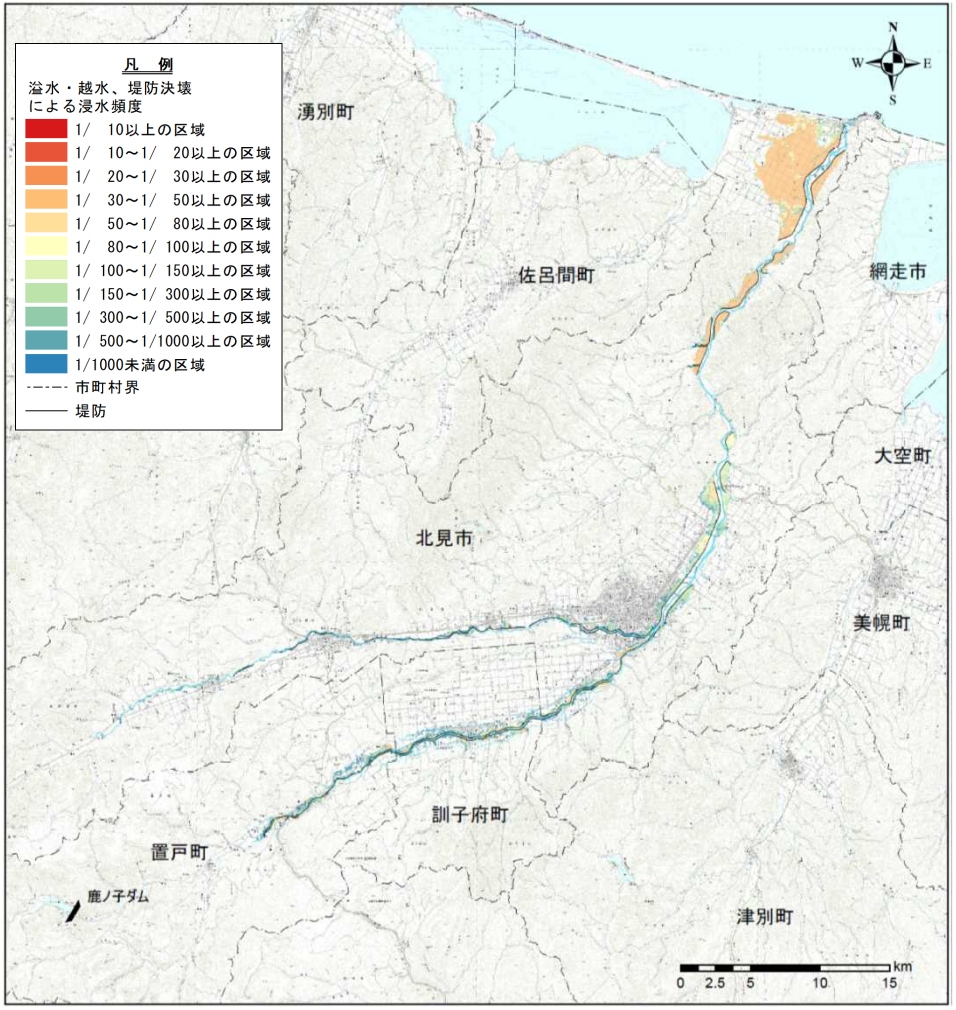
現況施設状態

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



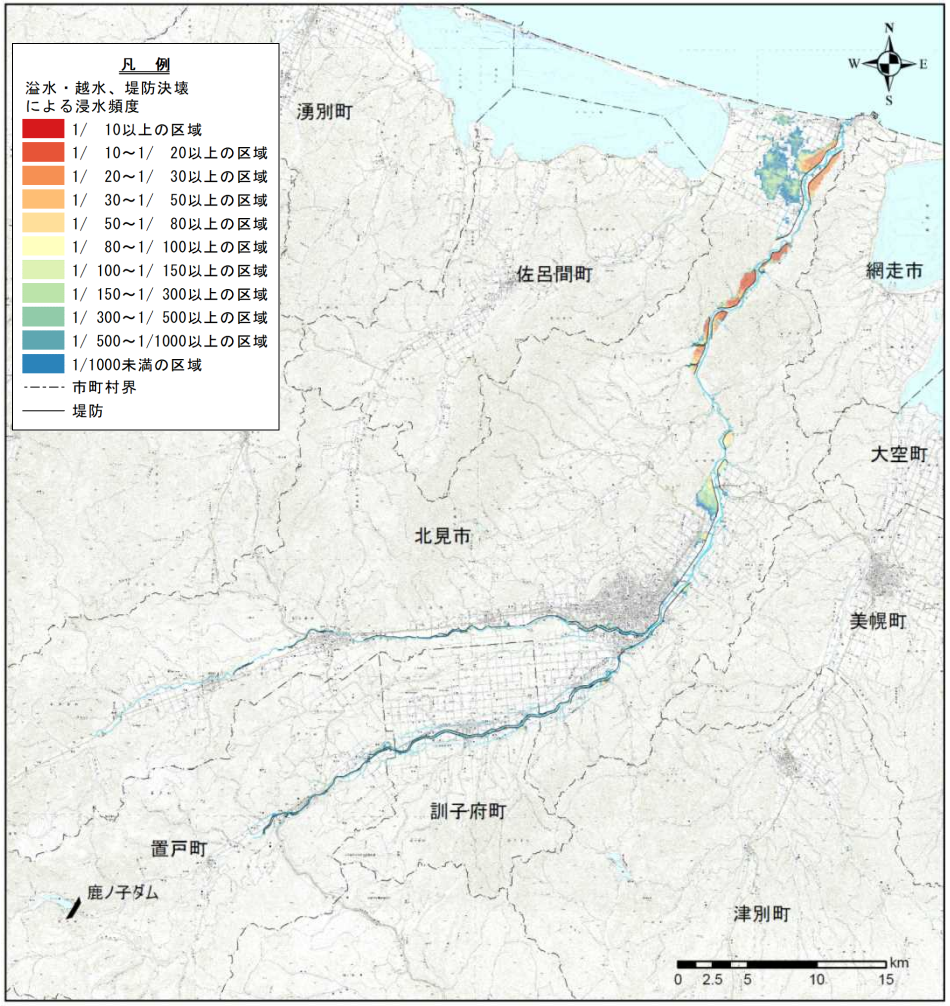
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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。

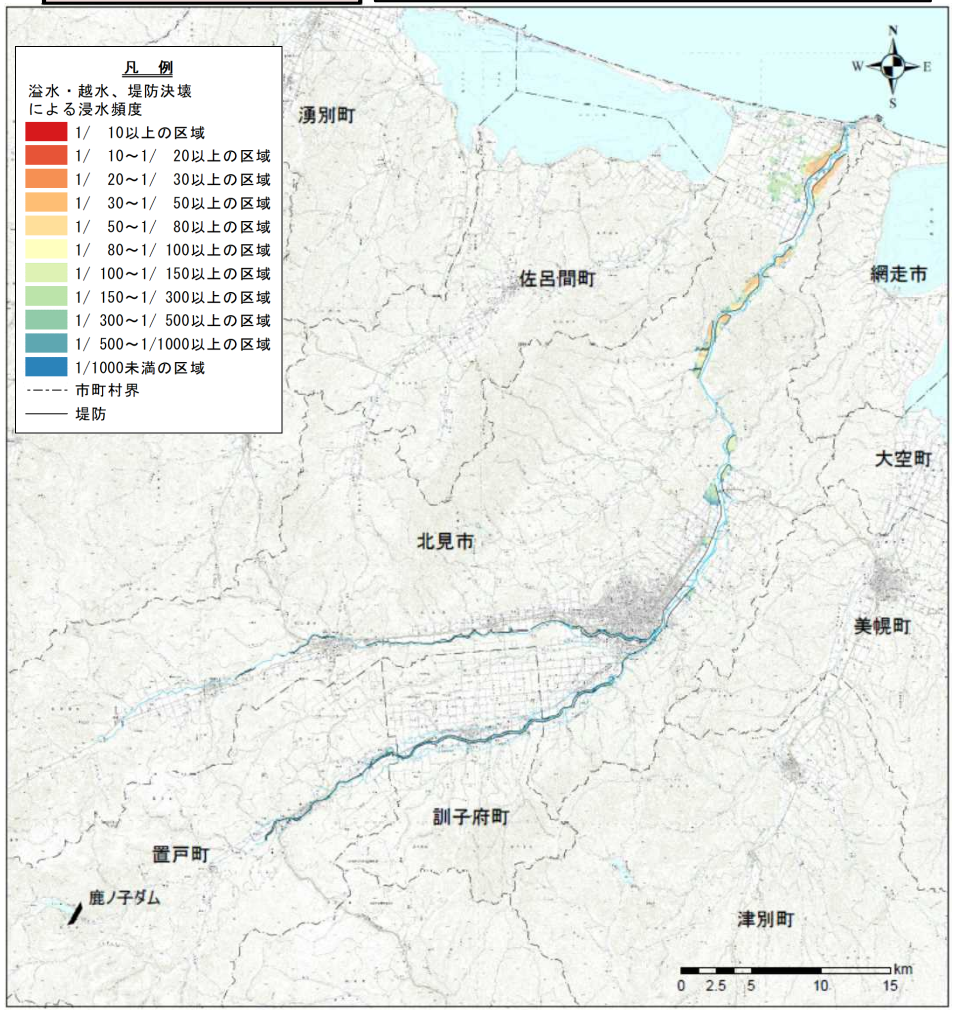
現況施設状態

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

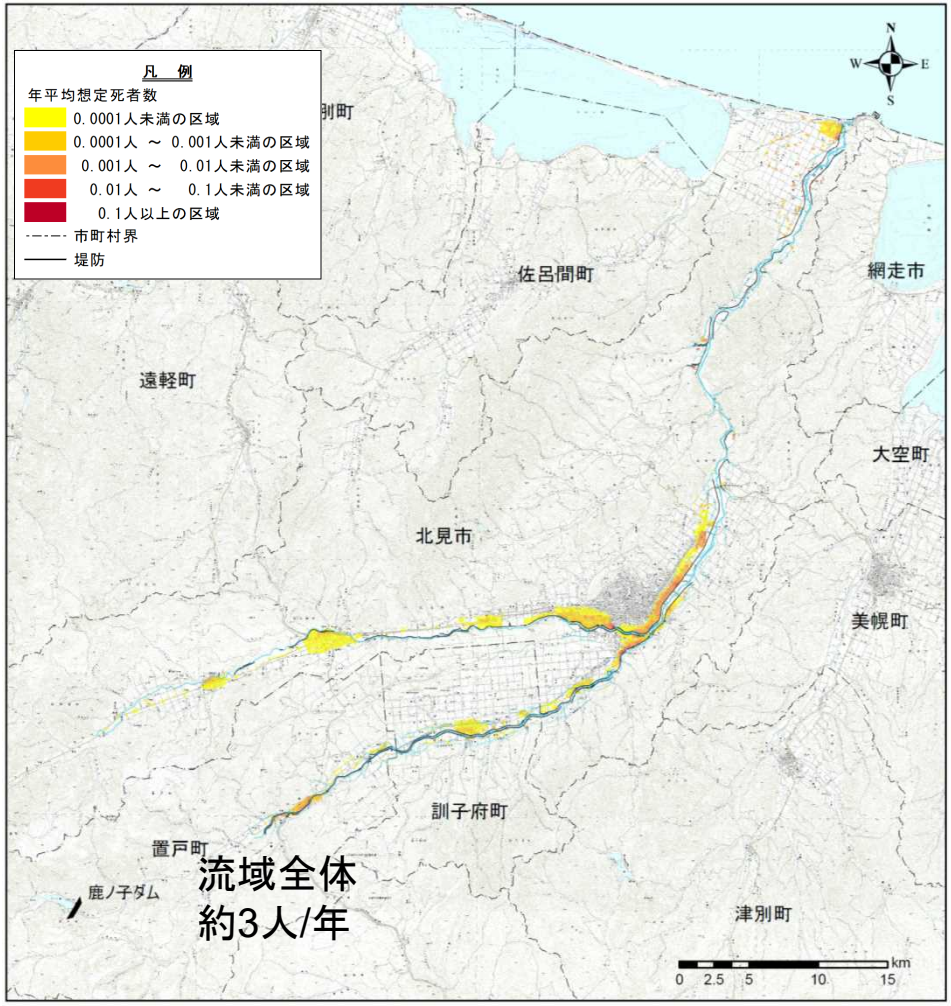


※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

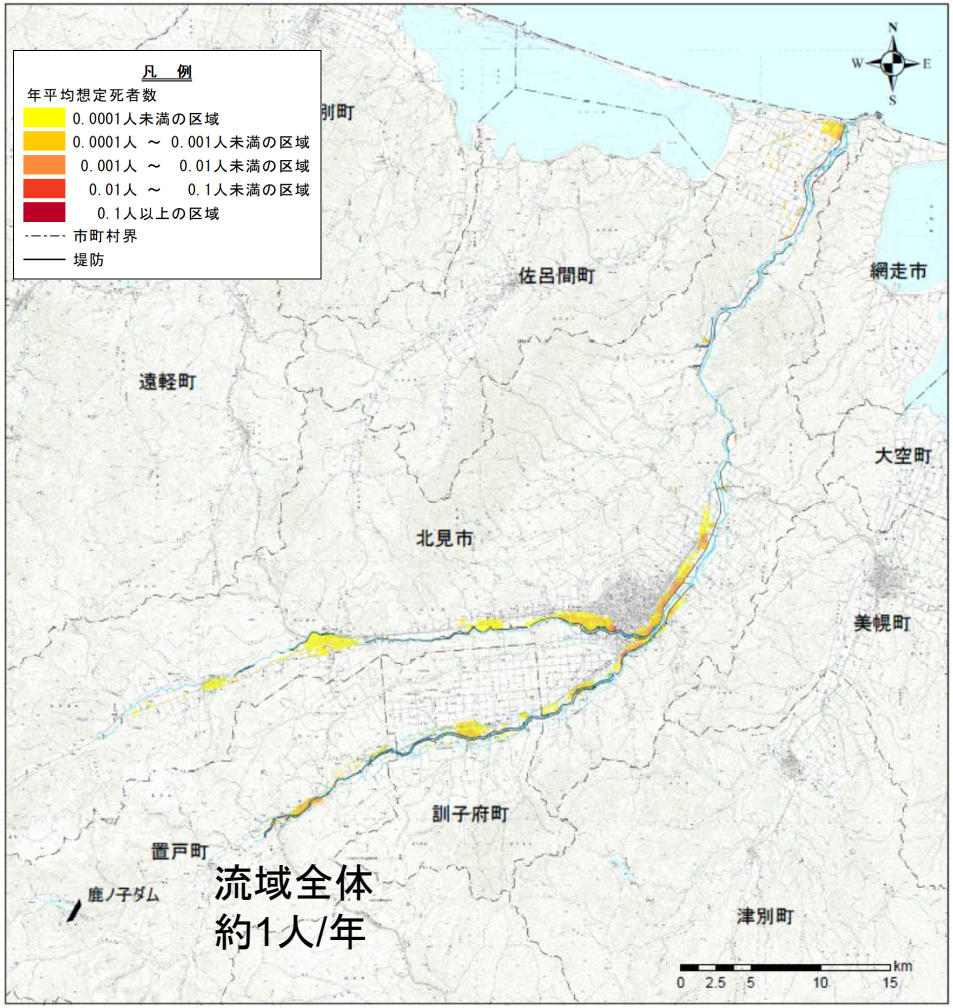
常呂川流域における当面の適応策による年平均想定死者数の変化（2℃上昇実験）

■ 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



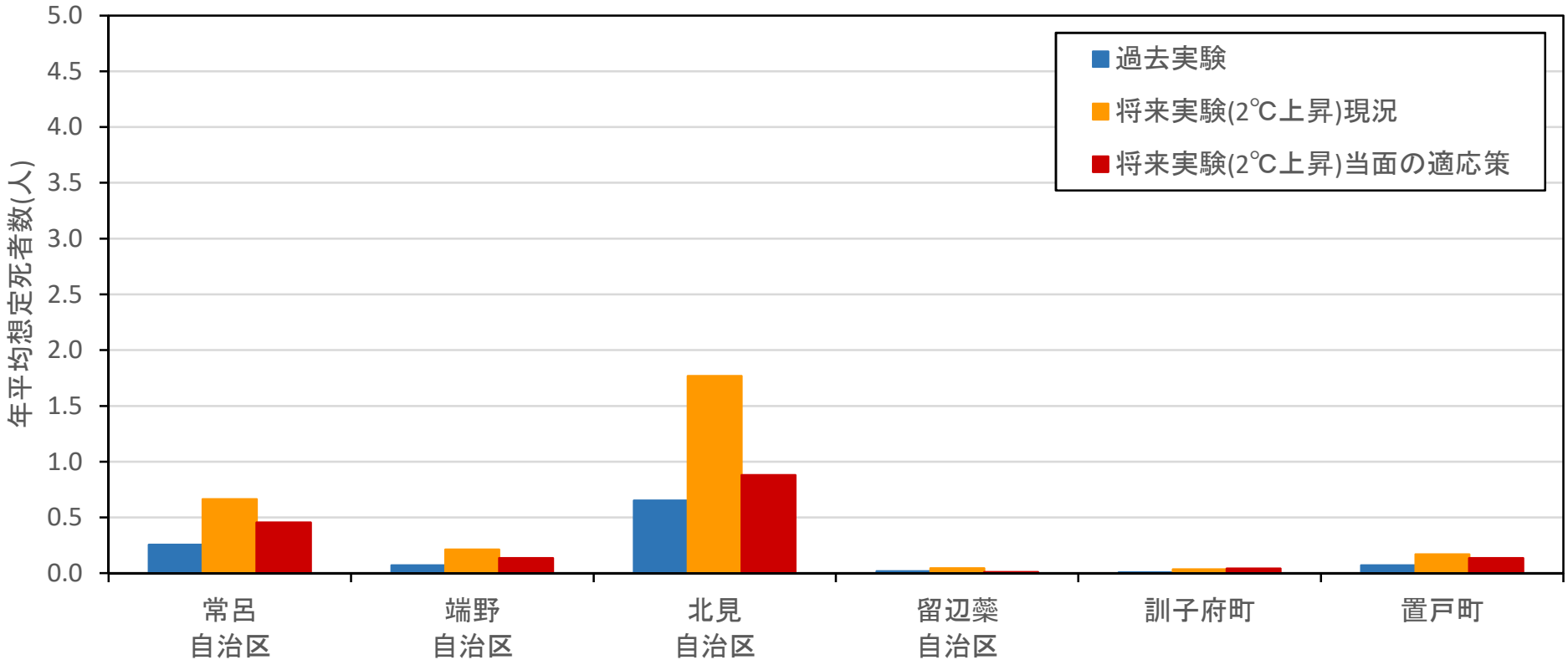
当面の適応策実施を想定	2℃上昇した際に想定される年平均想定死者数



※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（無加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。

常呂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。一方、ハード対策のみでは、過去実験と同等程度まで安全度を低下させることが難しい可能性があるため、流域においては、ソフト対策等も合わせて実施していく必要性が高い。

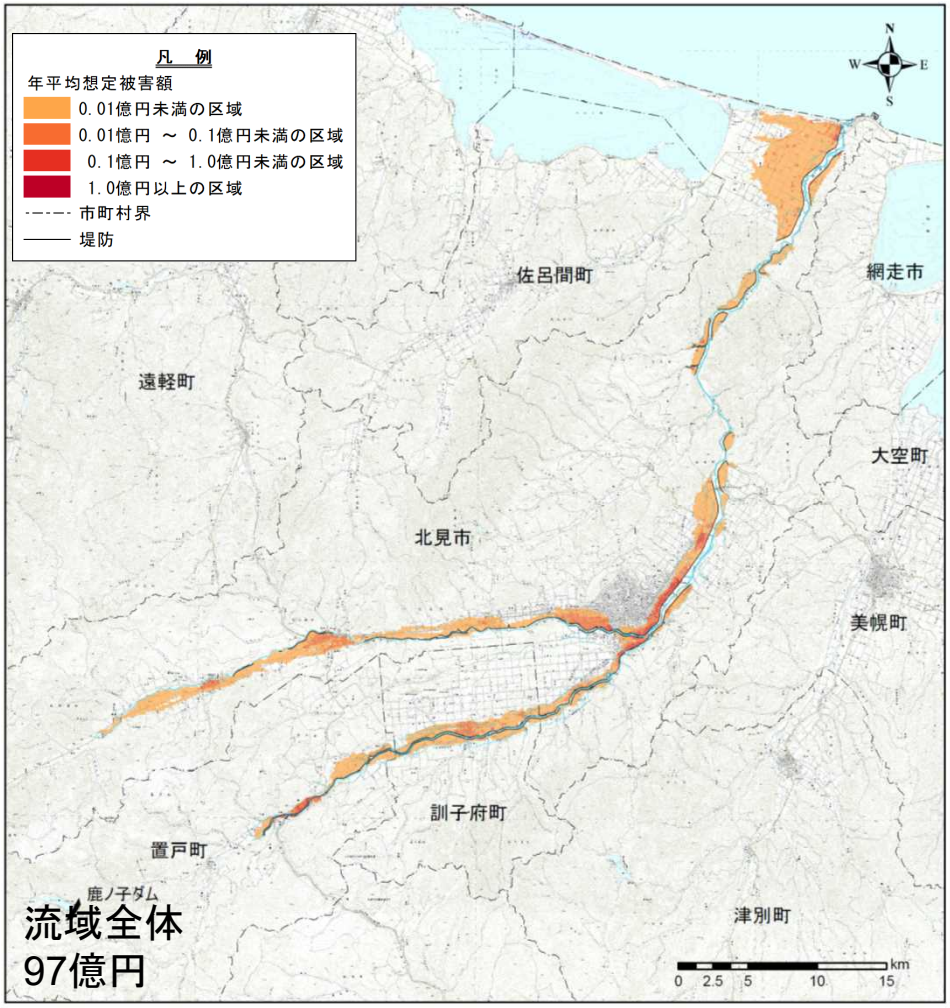


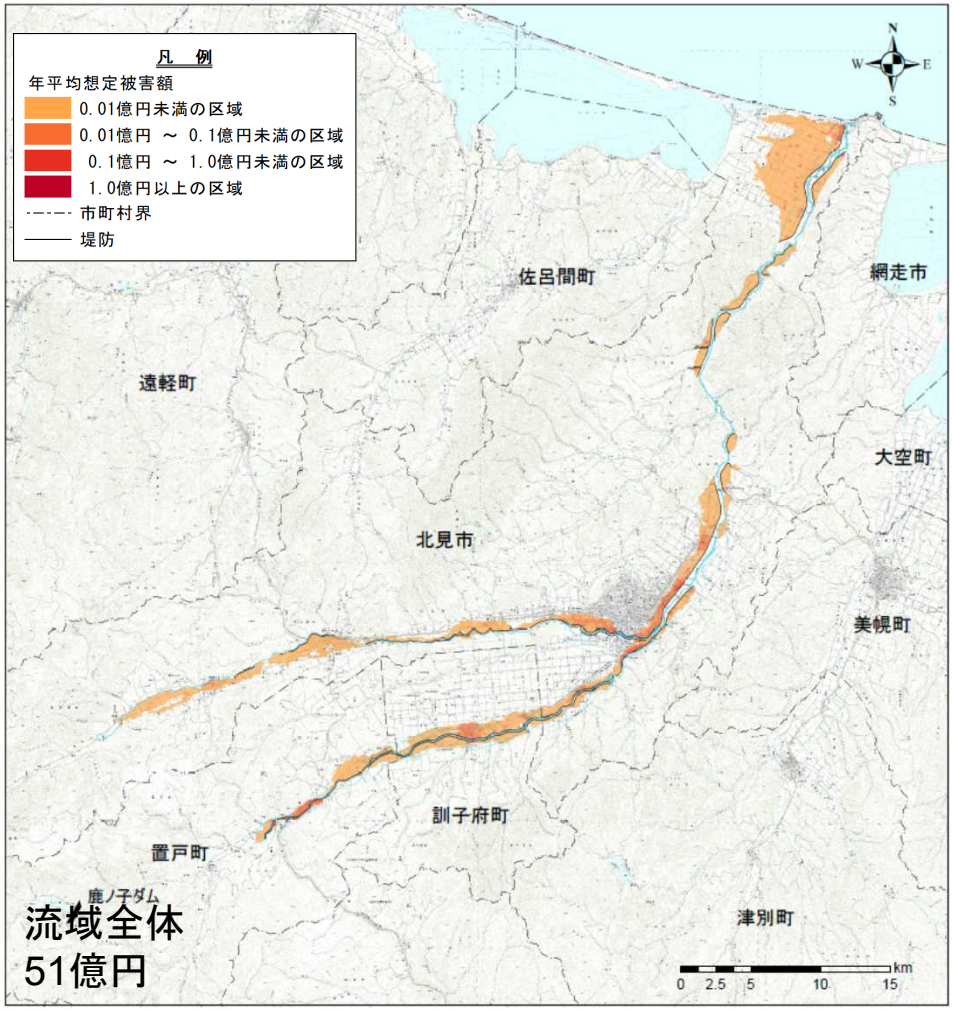
※過去実験3000ケースおよび2℃上昇実験3240ケース、4℃上昇実験5400ケースの全破堤地点での氾濫計算結果をもとに、「Florisモデル」を用いて想定死者数を算定したうえで、「年平均想定死者数の算出」の考え方に基づき、各メッシュ毎で試算したものである。
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。
※避難率は0%として試算した。

常呂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

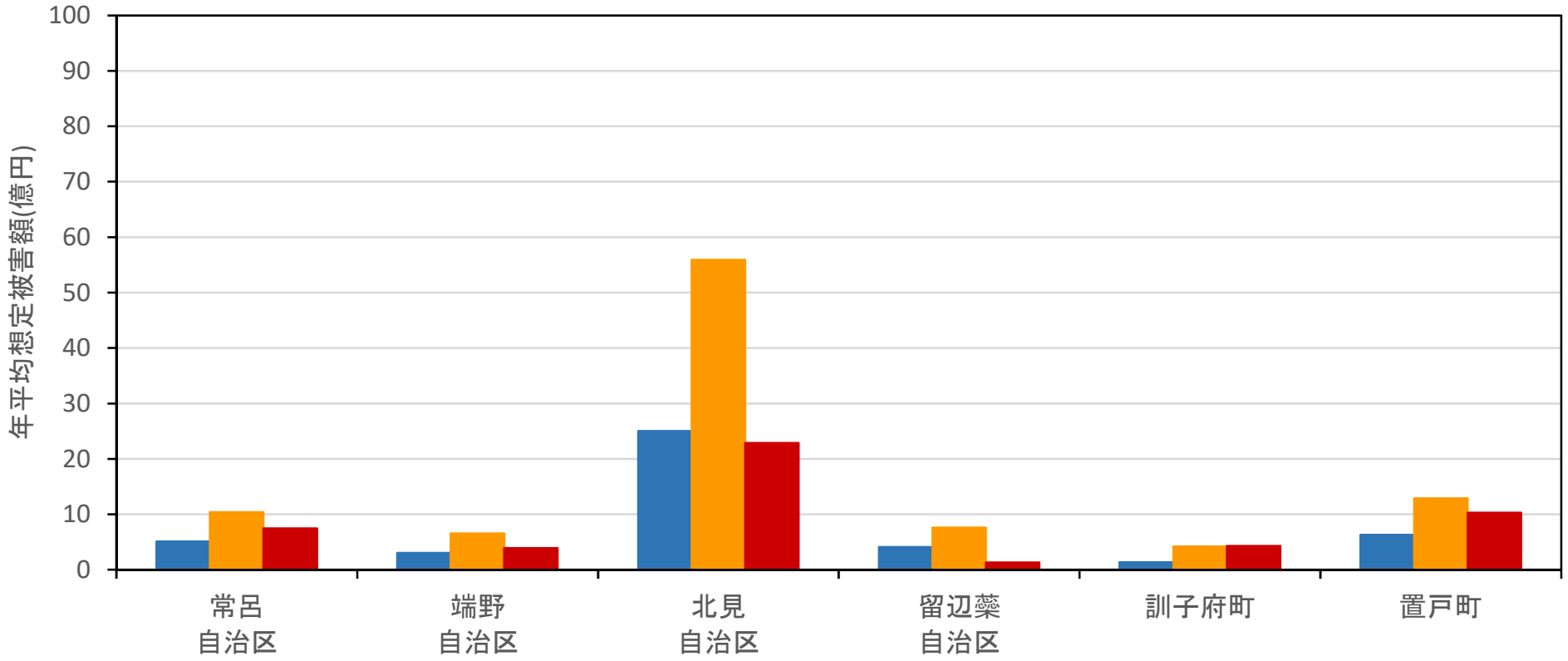




※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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、年平均想定被害額を低下させる試算結果となった。一方、ハード対策のみでは、過去実験と同等程度まで安全度を低下させることが難しい可能性があるため、流域においては、ソフト対策等も合わせて実施していく必要性が高い。



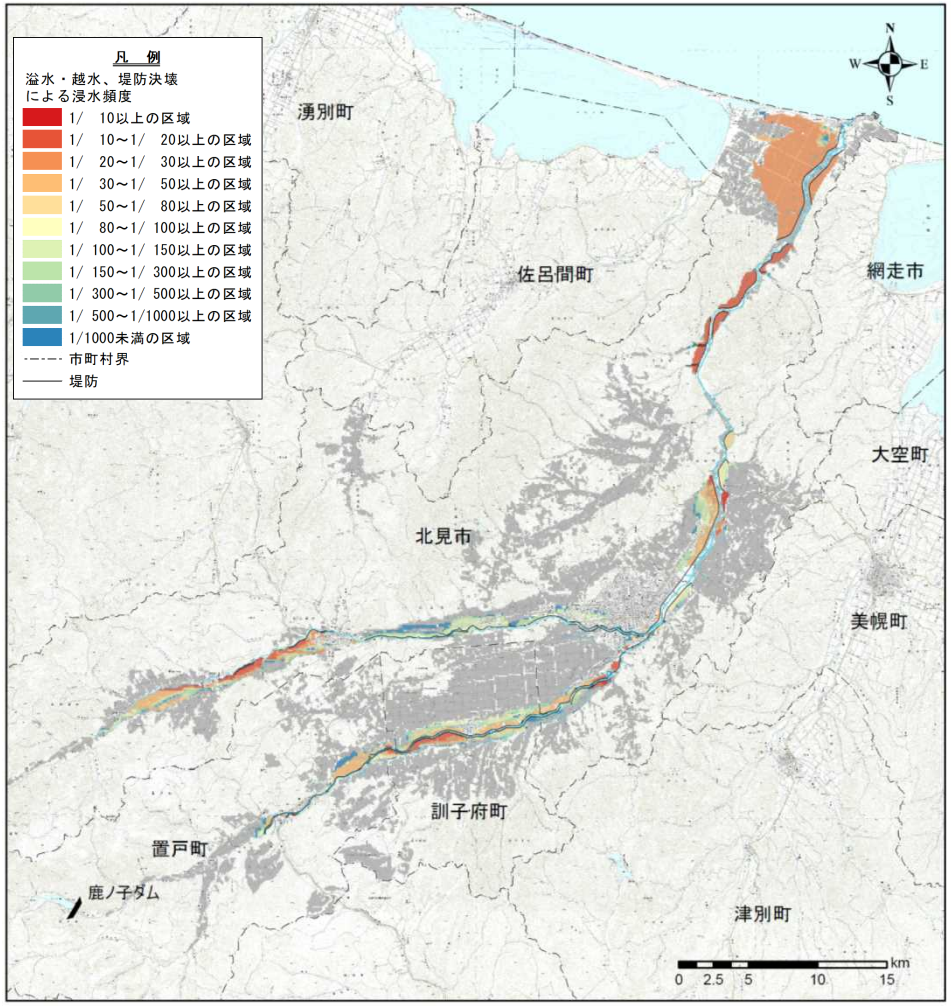
※北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

常呂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。

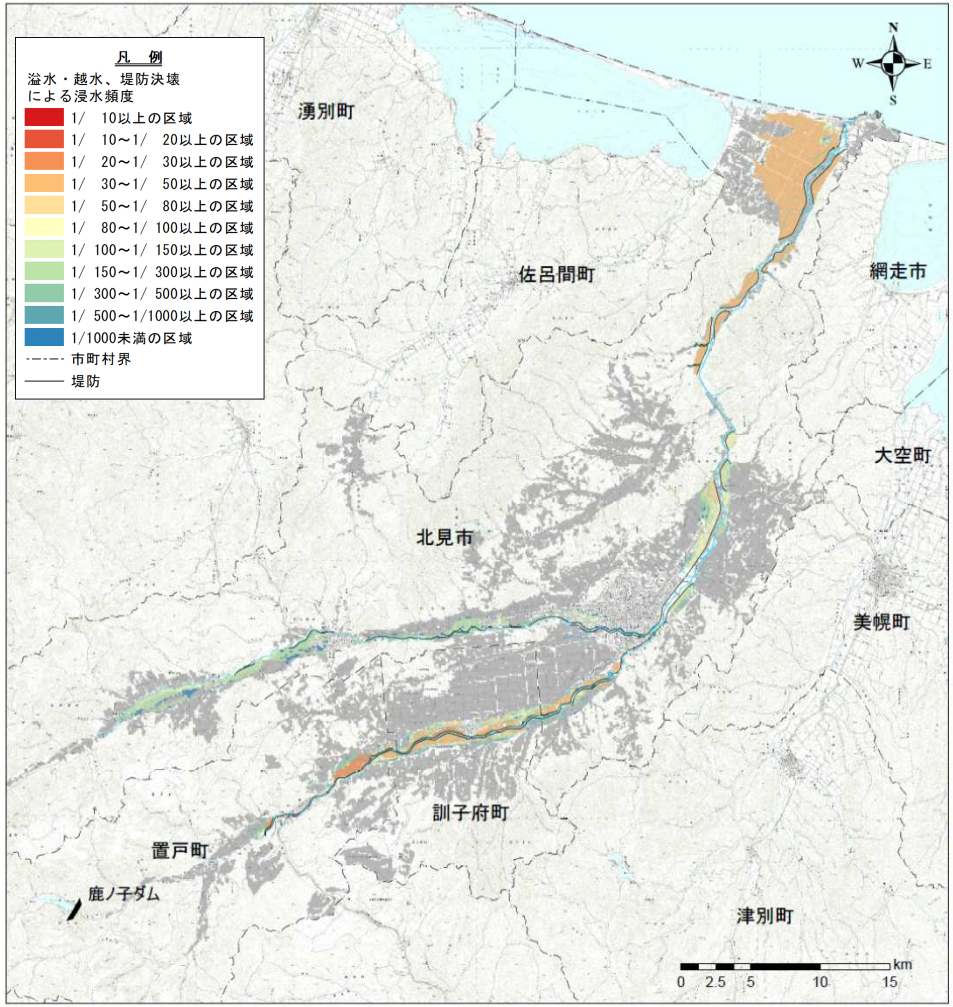
現況施設状態

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（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない。

13－3. 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

13－1. 想定される当面の適応策の抽出

↓

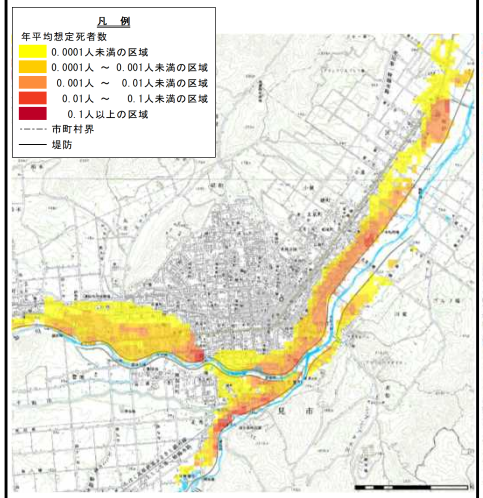
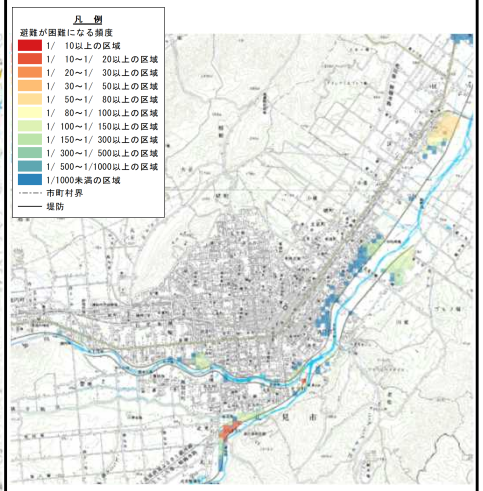
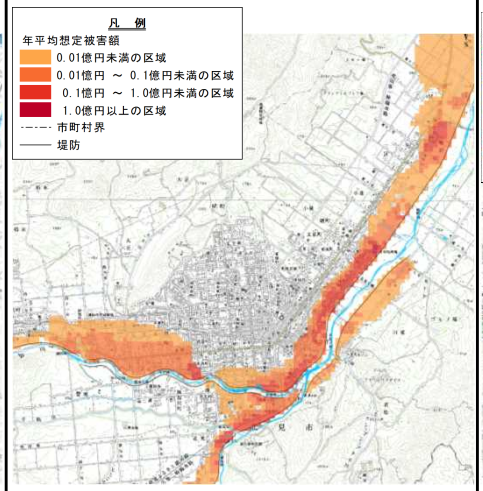
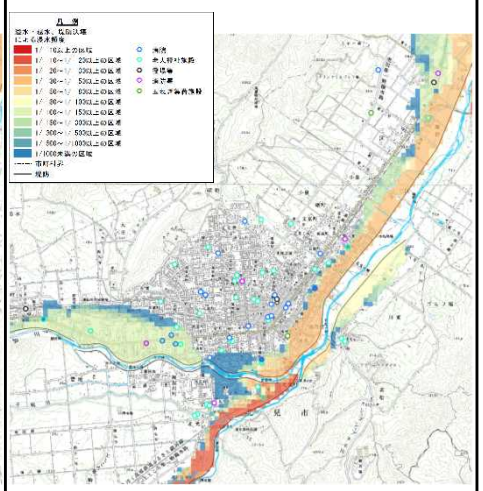
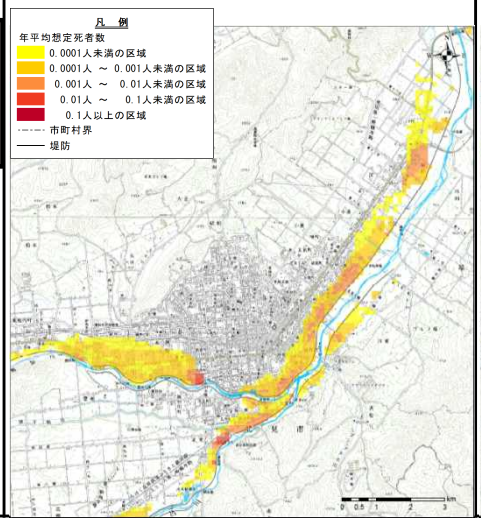
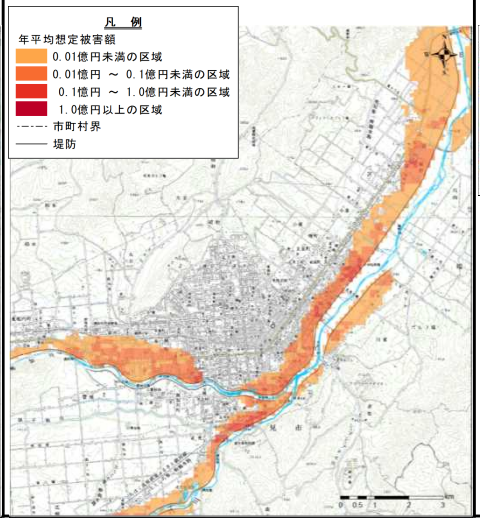
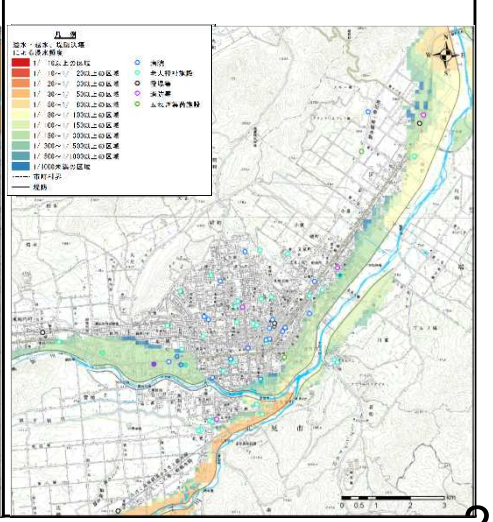
13－2. 当面の適応策の効果検証

↓

13－3. 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：北見自治区エリア（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）				

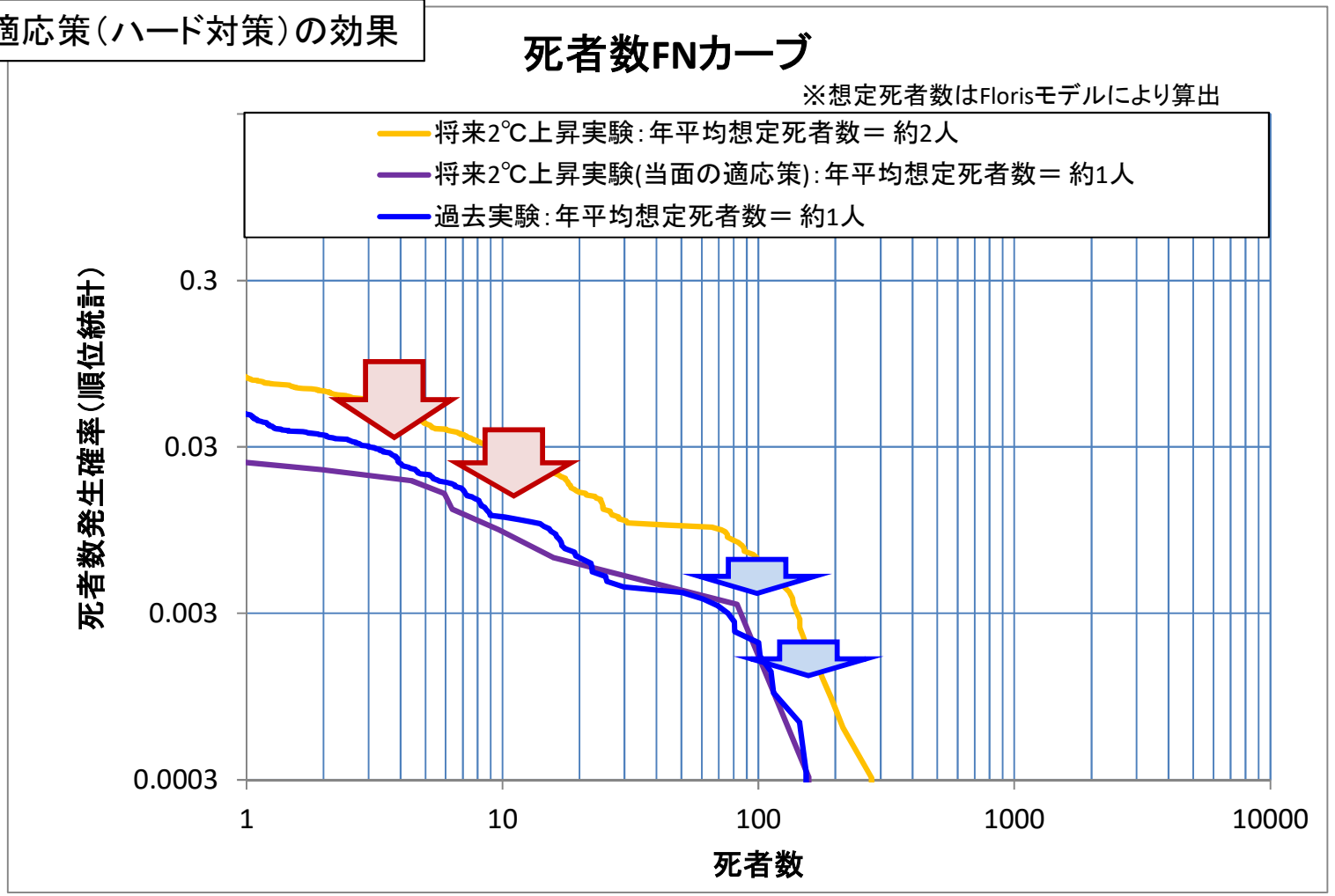
※図は浸水深が0cm以上となる浸水確率、玉ねぎ集荷施設は浸水深が0cm以上となる浸水確率、それ以外の施設は浸水深が30cm以上となる浸水確率を表示

社会的リスクの高い地域2℃上昇実験：北見自治区エリア

■ 社会的リスクの大きい北見自治区エリアにおいて、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。

〔北見自治区〕

当面の治水適応策（ハード対策）の効果



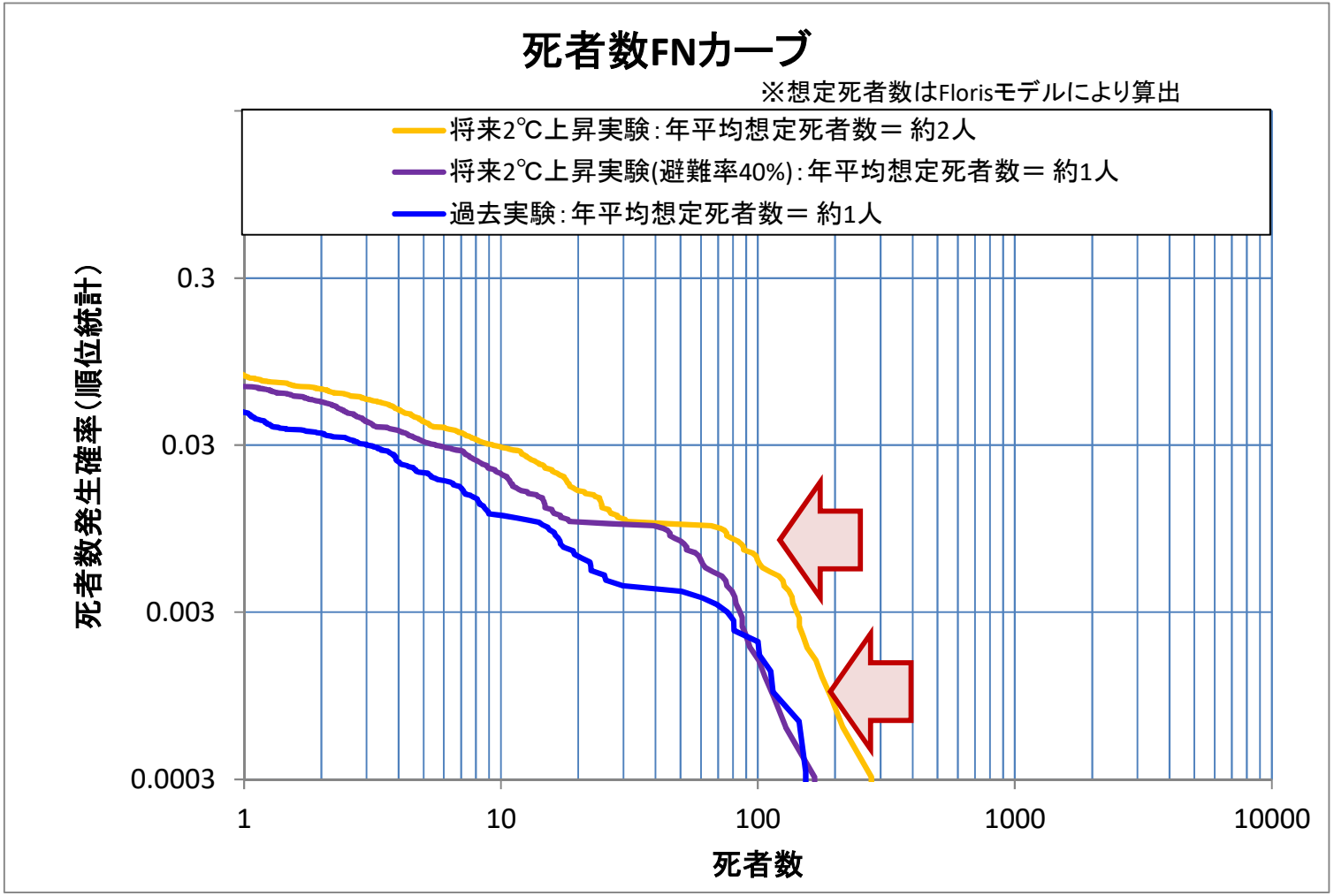
社会的リスクの高い地域2℃上昇実験：北見自治区エリア

■ 北見自治区エリアにおいては、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。

避難率40%の効果

〔北見自治区〕



社会的リスクの高い地域2℃上昇実験：北見自治区エリア

■ 北見自治区エリアにおいては、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

〔北見自治区〕

