

参考資料 1

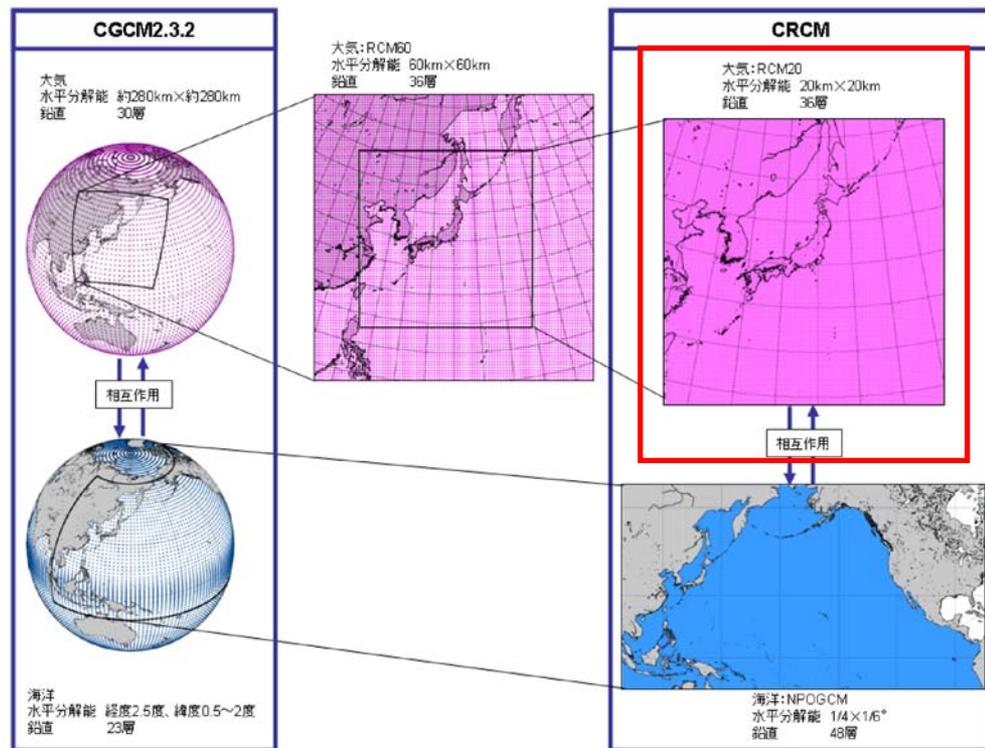
気候予測モデルの概要

- 気象要素は気象研究所により開発されたGCM 20、RCM 20を用いた。

地域気候モデル	CGCM2.3.2	GCM20	RCM20	CRCM
開発グループ	気象研究所	気象研究所	気象研究所	気象研究所
計算領域	全球 (大気+海洋)	全球 (大気)	日本周辺 (大気)	日本周辺 (大気+海洋)
水平解像度	約280km	約20km	約20km	約20km
境界	不要	不要 ^{注1)}	RCM60 ^{注2)}	大気:RCM20 海洋:NPOGCM
鉛直層数	大気:30層 海洋:23層	大気:60層	大気:36層	大気:36層 海洋:48層
排出シナリオ	A2,B2	A1B	A2	A1B,B1
計算期間	~2100年	1980年-1999年 2080年-2099年	1981年-2000年 2031年-2050年 2081年-2100年	1981年-2000年 2081年-2100年
時間単位	毎時	毎時	3時間	毎時 (暖候期の提供困難)
参考文献	地球温暖化情報 第5巻(気象 庁:2003)		地球温暖化情報 第6巻(気象 庁:2005)	地球温暖化情報 第7巻(気象 庁:2008)

注1)海面水温は、再現:期間平均観測値、将来:期間平均観測値+CGCM2.3.2

注2)海面水温はCGCM2.3.2



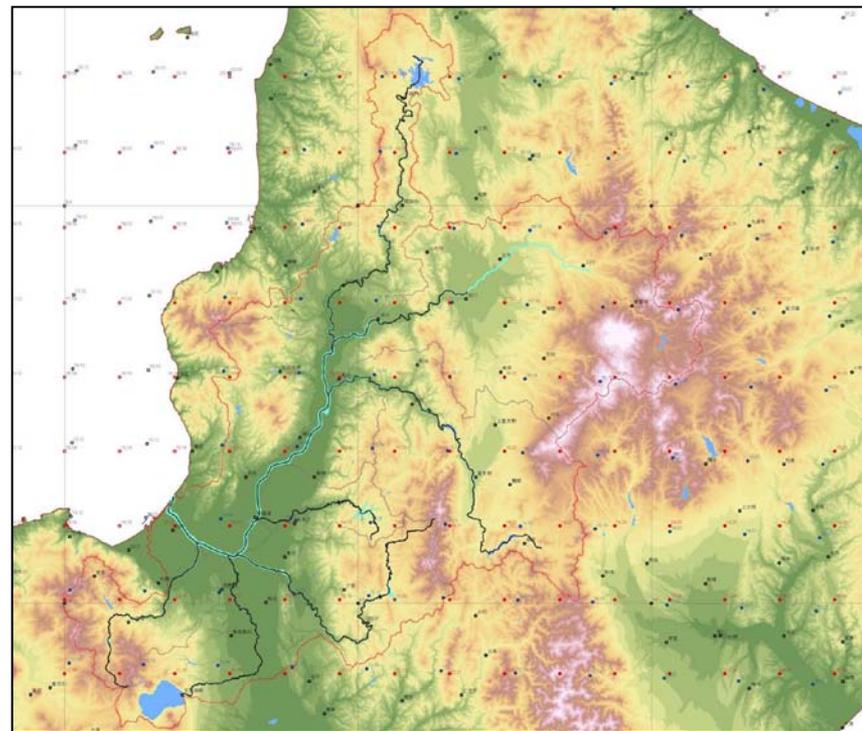
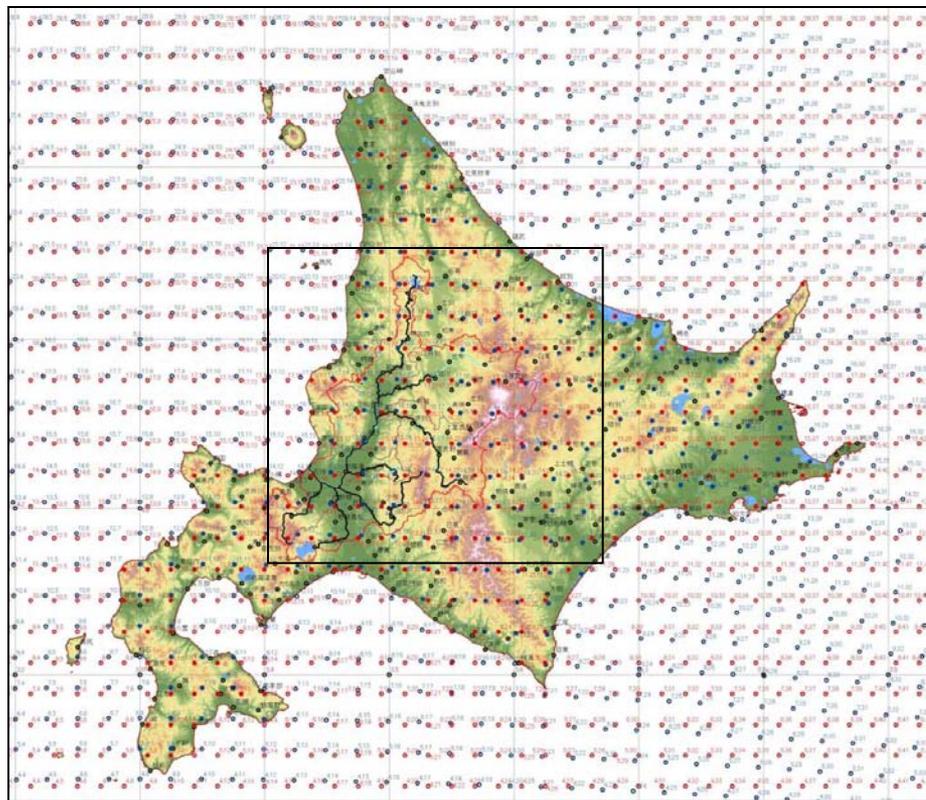
図A1.1 CRCMによる予測実験の概念図

GCM20
(AGCM:全球気候モデル)
水平分解能 約20km
鉛直 60層

メッシュ格子点図

➤ 石狩川流域内に含まれる全ての格子点を検討対象としている。

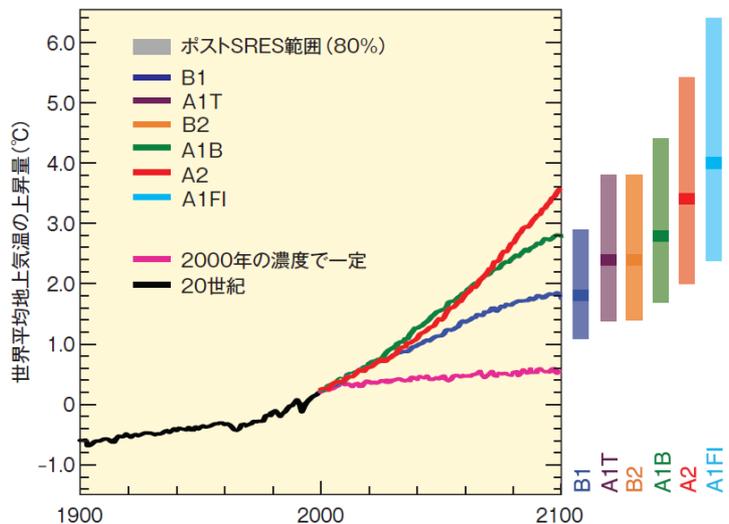
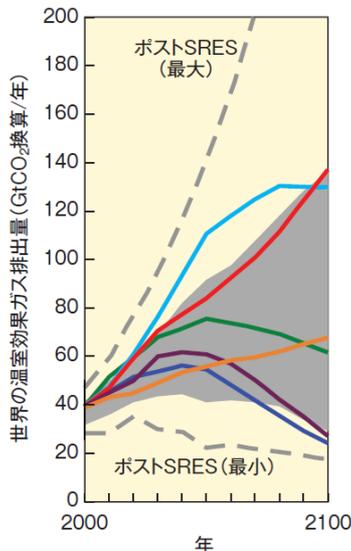
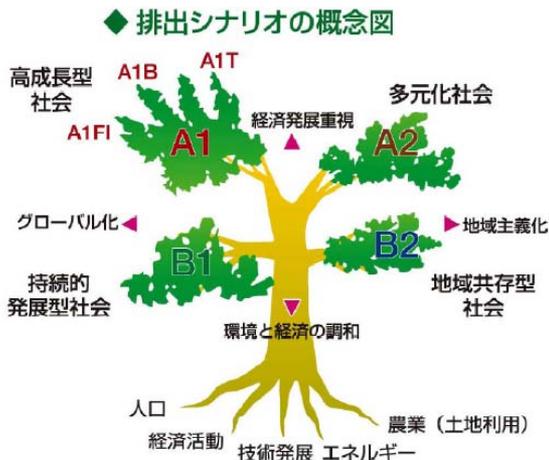
- RCM20(北海道190格子点、石狩川流域32格子点)
- GCM20(北海道247格子点、石狩川流域46格子点)



温室効果ガス排出シナリオ

➤ A2シナリオは温室効果ガス排出量が多めとなるシナリオ、A1Bシナリオは中間程度。

2000～2100年の温室効果ガス排出シナリオ（追加的な気候政策を含まない）及び地上気温の予測



IPCC第4次報告書（統合報告書 政策決定者向要約）

- A1. 「高成長型社会シナリオ」
 A1FI: 化石エネルギー源を重視
 A1T: 非化石エネルギー源を重視
 A1B: 各エネルギー源のバランスを重視
- A2. 「多元化社会シナリオ」
 B1. 「持続的発展型社会シナリオ」
 B2. 「地域共存型地域シナリオ」

(出典) IPCC第4次報告書統合報告書
 概要(公式版)
 2007年12月17日 version

シナリオ名 指標	GCM20 A1 (高成長社会)		RCM20 A2 (多元化社会)	B1 (循環型社会)	B2 (地域共存型社会)
	A1B (バランス型)	A1T (高度技術型)			
人口増加	低い*	低い*	高い	低い	中
経済成長	非常に高い	非常に高い	中	高い	中
エネルギー需要	非常に高い	高い	高い	低い	中
土地利用変化	低い	低い	中/高	高い	中
資源の利用	中	中	低い	低い	中
技術変化の速さ	速い	速い	遅い	中	中
技術変化の方向性	バランス	非化石燃料	地域的	効率性および脱物質	通常のダイナミクス

*高度経済成長が続き、世界の人口が21世紀半ばにピークに達した後に減少する。

気候予測モデルが提供する主な気象要素

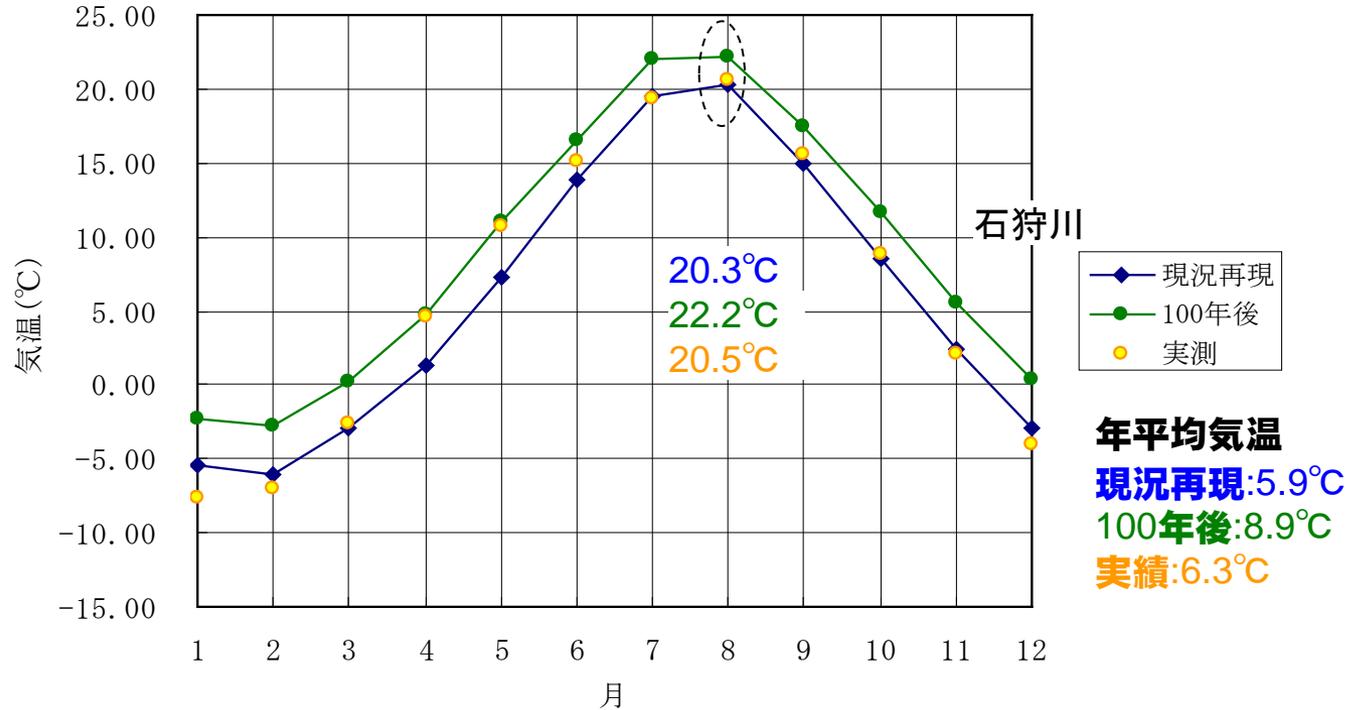
- 洪水：GCM20モデルの予測結果を用いる。（A1Bシナリオ）
- 渇水：RCM20モデルの予測結果を用いる。（A2シナリオ）

気候モデル (温室効果ガス 排出シナリオ)	計算期間	空間・時間	1時間	6時間	1日	1ヶ月
GCM20 (A1B)	<現況再現> 1980年-1999年	地上 約20km	降水量	—	気温 降水量	気温 降水量 降雪量 積雪量
	<100年後> 2080年-2099年	大気 約120km	—	風速 気温 気圧 比湿 (地上1000hpa)	—	風速 気温 比湿 (地上～1000hpa まで24分割)
RCM20 (A2)	<現況再現> 1981年-2000年	地上・大気 約20km	—	—	気温 降水量 降雪量 積雪量	—
	<50年後> 2031年-2050年				風速 気圧 比湿	
	<100年後> 2081年-2100年				(地上～850hpa まで4分割)	

石狩川流域の気温変化 (RCM20)

➤ 月平均気温は、すべての月で上昇している。

月別平均気温（石狩川流域）

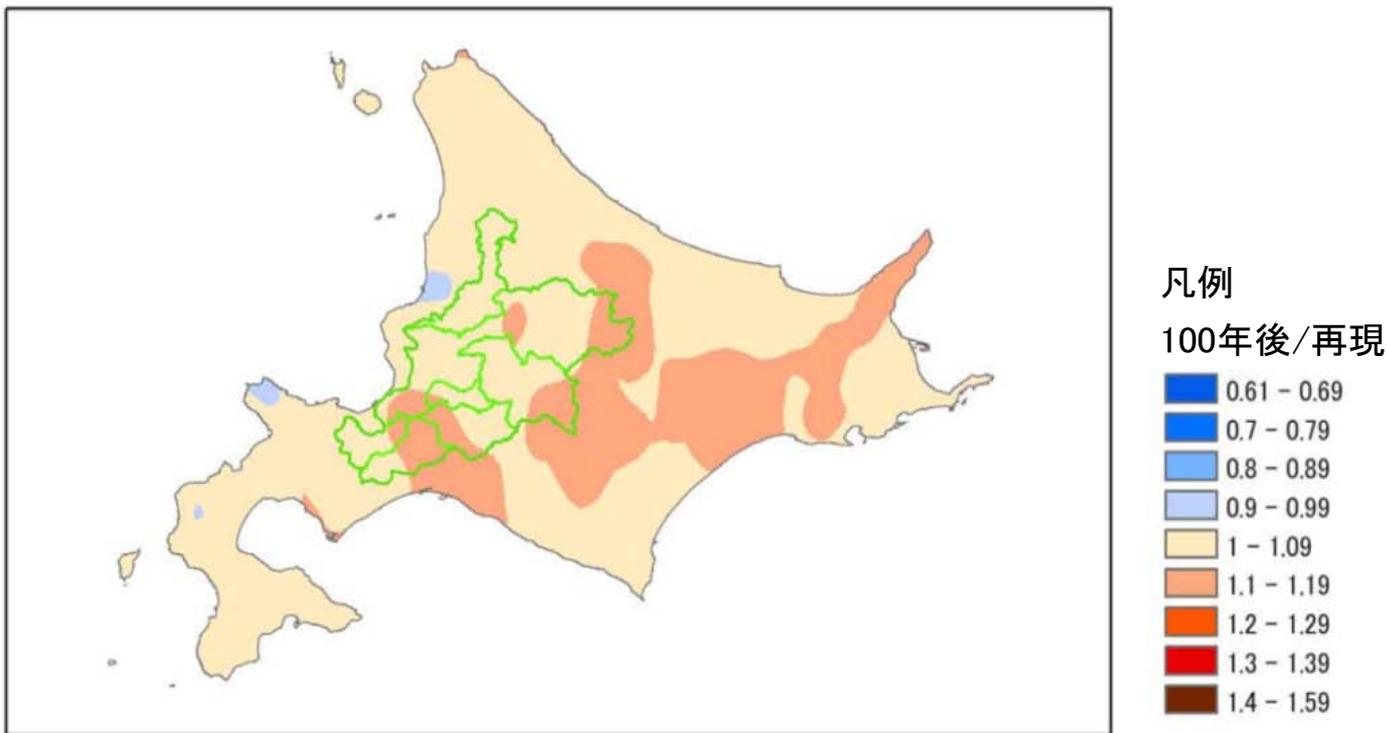


月別平均気温 = $\frac{\text{石狩川流域内の格子点(観測所)毎に、日平均気温を月毎に集計した値を20年間で合計した値}}{\text{石狩川流域の格子点(観測所)数} \cdot \text{月毎の日数} \cdot \text{20年間}}$

現況再現 = 1981年から2000年 100年後 = 2081年から2100年 実測(28地点) = 1981年から2000年

北海道全域の年降水量変化 (RCM20)

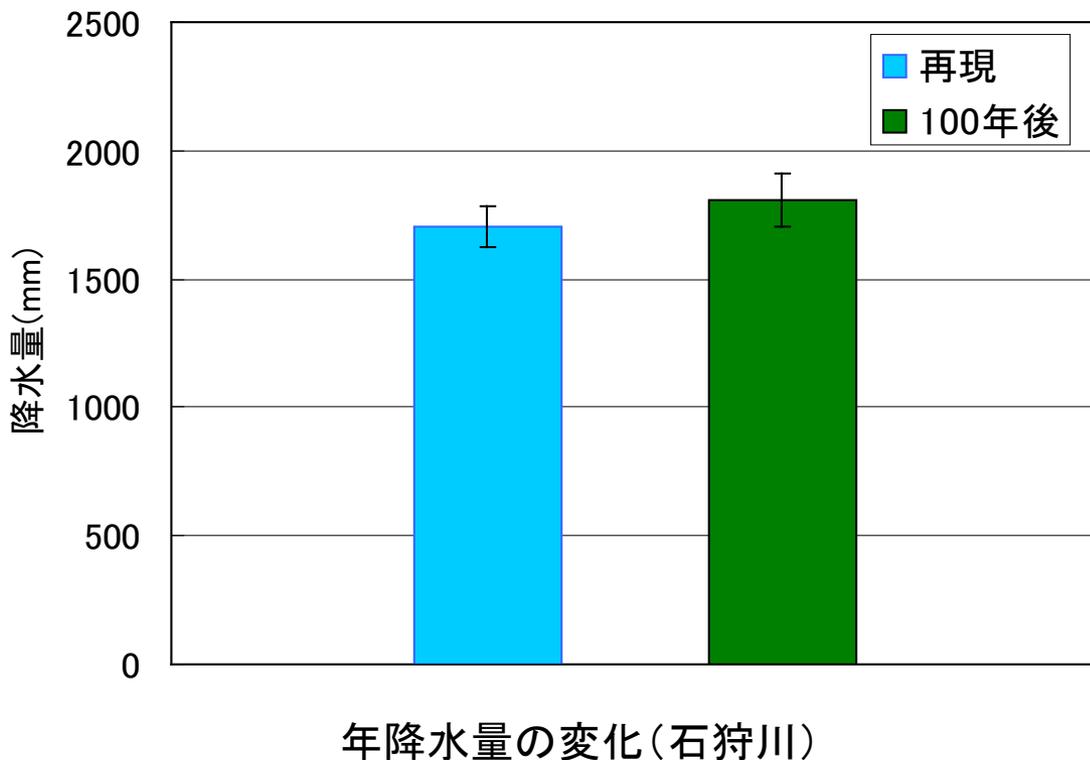
- 年降水量は概ね1.0～1.1倍程度の微増となっており、地域差は少ない。



年降水量の変化 =
$$\frac{\text{2081年から2100年までの各格子点の年降水量(日平均降水量の1年間の合計)の20年平均値}}{\text{1981年から2000年までの各格子点の年降水量(日平均降水量の1年間の合計)の20年平均値}}$$

石狩川流域の年降水量変化 (RCM20)

- 石狩川流域の年降水量は、100年後、1.06倍に増加する。



年降水量の変化 = $\frac{\text{石狩川流域内の格子点毎に、日降水量を365日分集計した値を20年間で合計した値}}{\text{石狩川流域の格子点数} \cdot 20\text{年間}}$

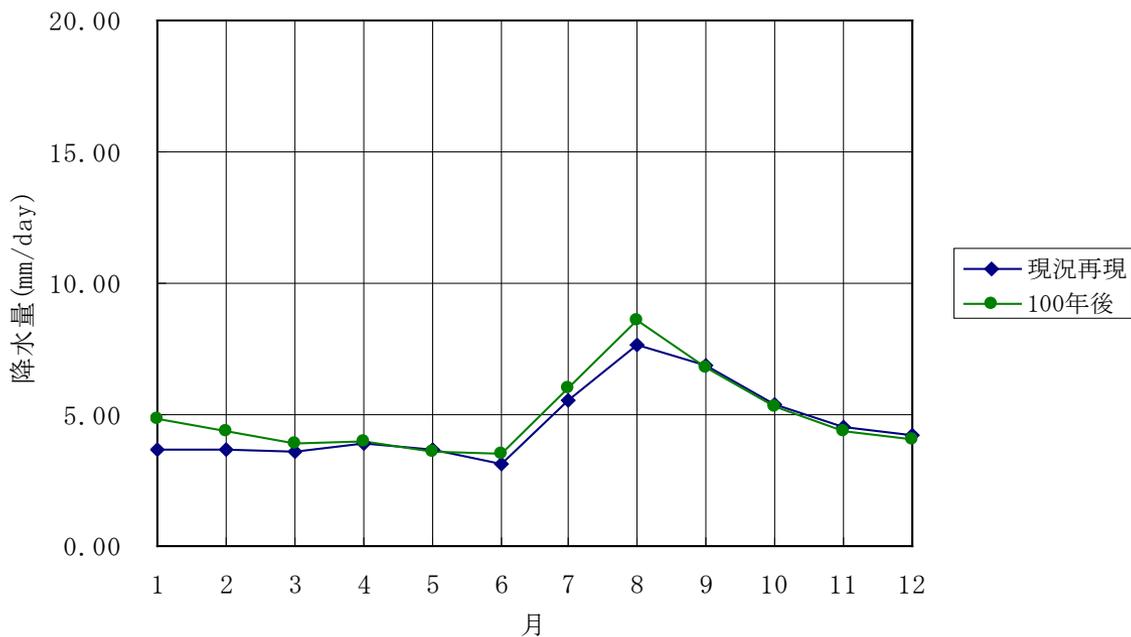
再現 = 1981年から2000年

100年後 = 2081年から2100年

石狩川流域の月別日平均降水量変化 (RCM20)

- 月別日平均降水量は、厳冬期（1月・2月）と夏期（8月）に増加する。

月別平均降水量（石狩川流域）



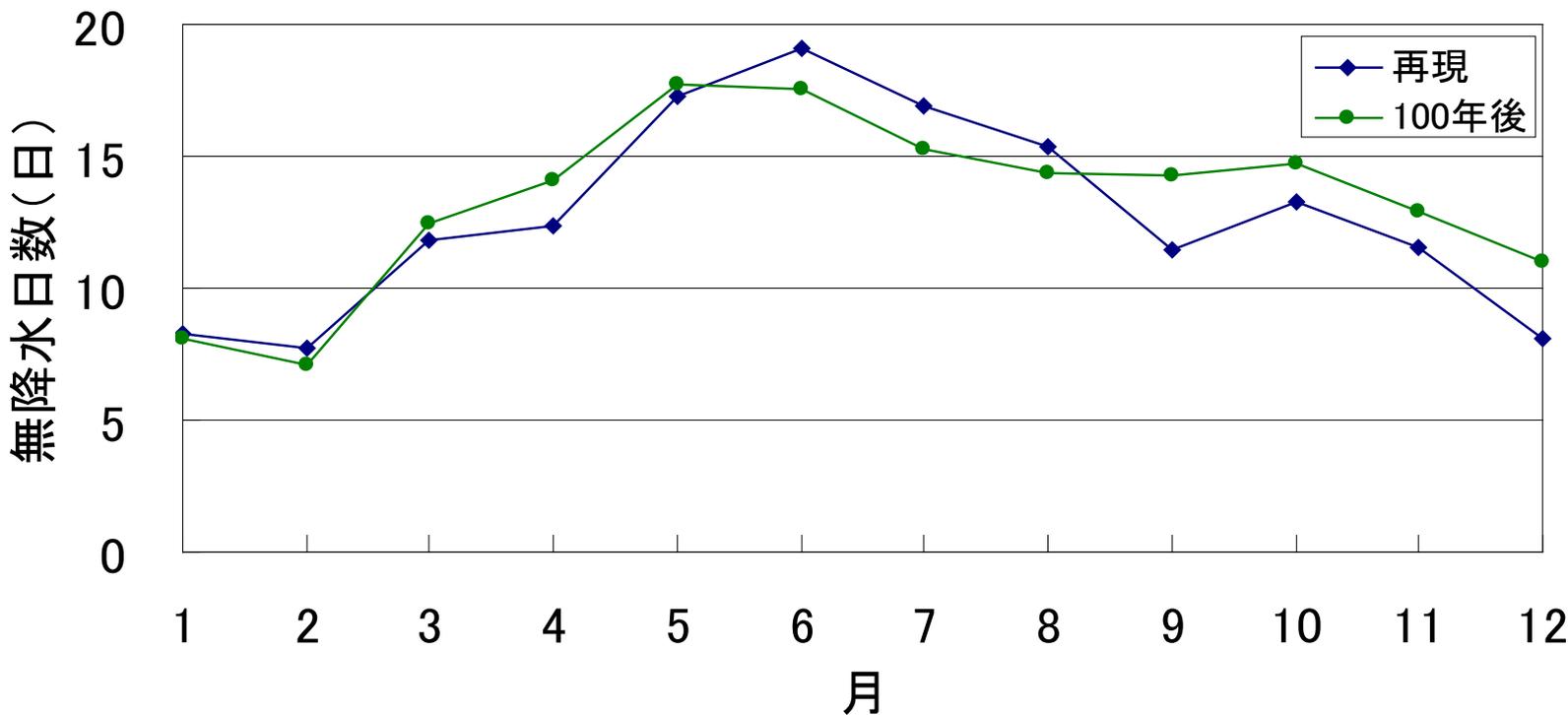
$$\text{月別日平均降水量} = \frac{\text{石狩川流域内の格子点毎に、日降水量を月毎に集計した値を20年間で合計した値}}{\text{石狩川流域の格子点数} \cdot \text{月毎の日数} \cdot \text{20年間}}$$

現況再現 = 1981年から2000年 100年後 = 2081年から2100年

石狩川流域の無降水日数変化 (RCM20)

- 無降水日数は、4月、9月から12月で増加する。

無降水日数(20年間の平均値)

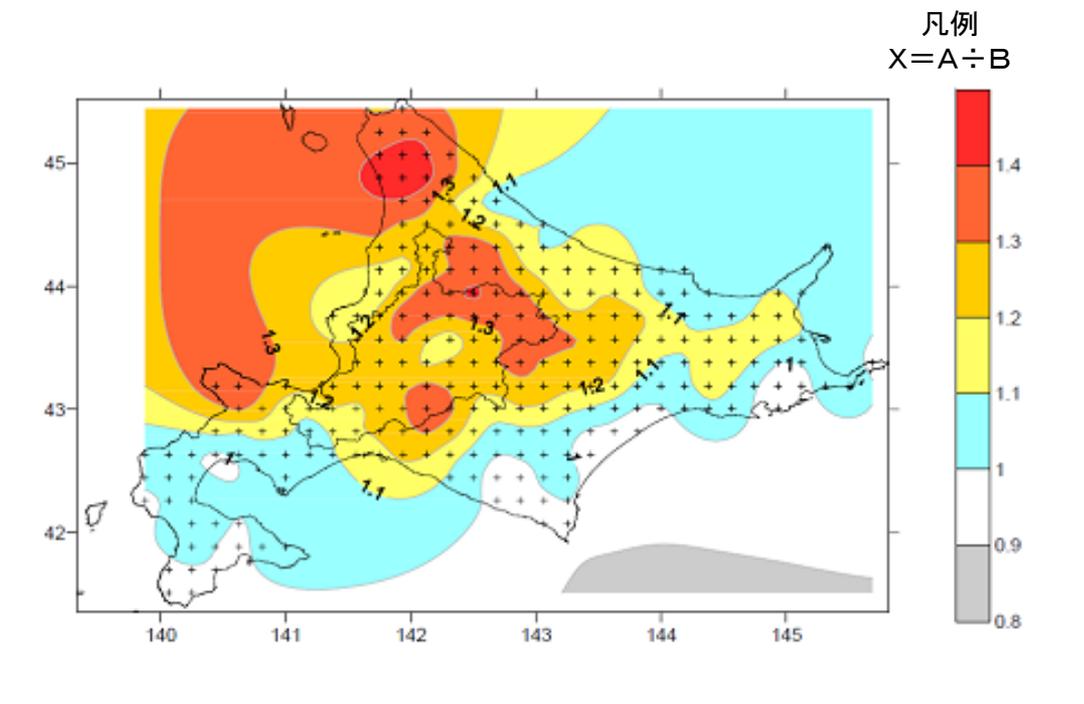


無降水日数 = $\frac{\text{石狩川流域内の格子点毎の日降水量を単純平均した値が1mm未満となる日数を月毎に集計した値を20年間で合計した値}}{20年間}$

現況再現 = 1981年から2000年 100年後 = 2081年から2100年

北海道全域の年最大日雨量の変化 (GCM20)

➤ 北海道内に含まれる格子点の年最大日雨量の変化量

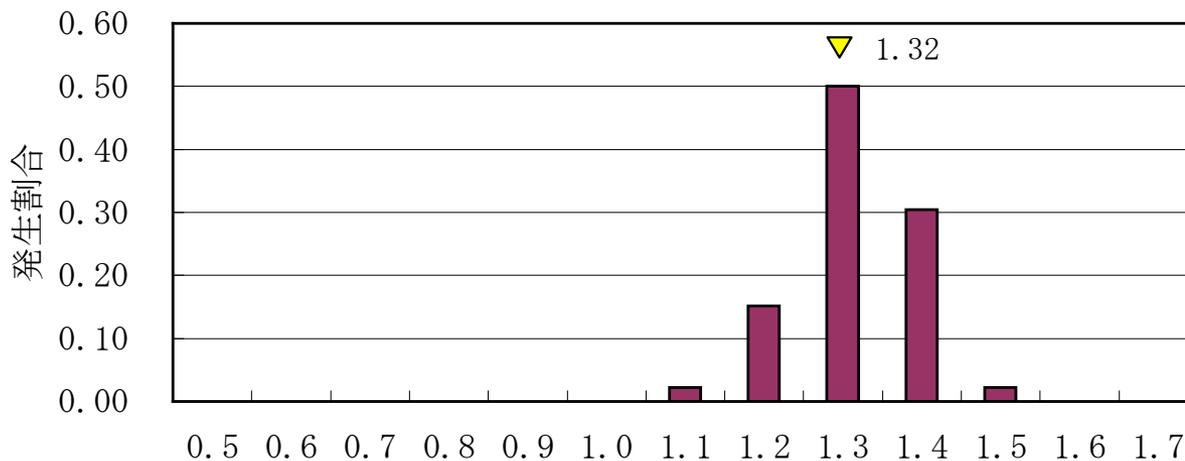


$$\text{格子点の年最大降水量の変化}(X) = \frac{\text{2080年から2099年までの年最大日雨量の20年平均値}(A)}{\text{1980年から1999年までの年最大日雨量の20年平均値}(B)}$$

石狩川流域の年最大日降水量の変化 (GCM20)

- 年最大日雨量は1.32倍に増加する。

年最大日雨量の100年後予測 (石狩川)

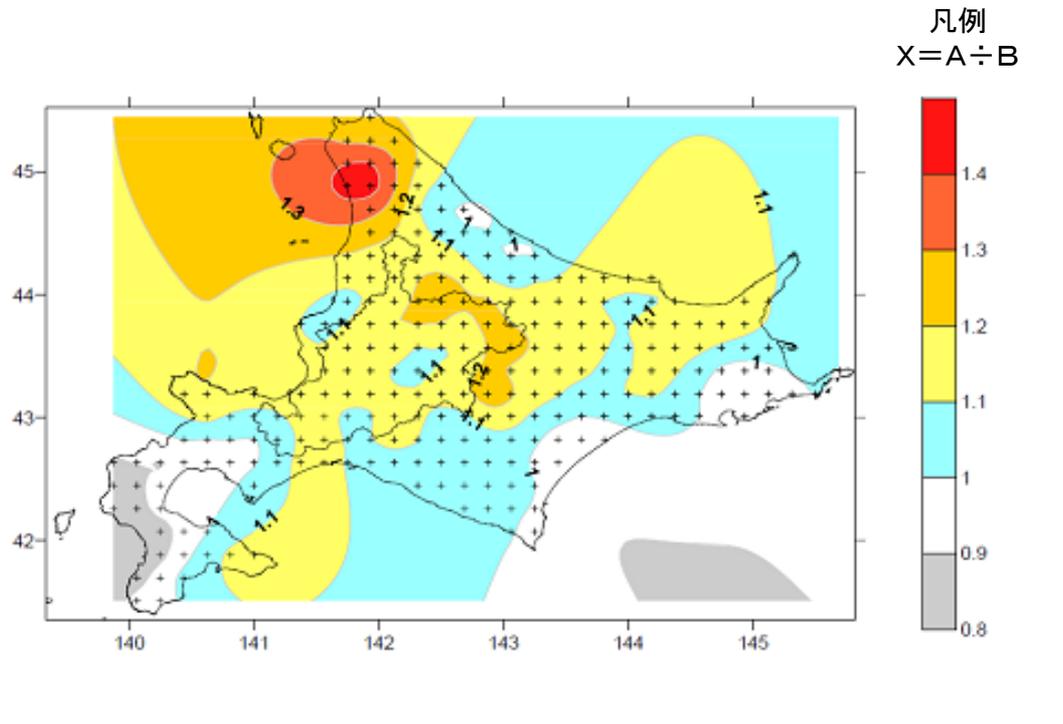


100年後の20年平均値 / 再現の20年平均値

$$\text{石狩川流域の変化量} = \sum_{i=1}^n \left\{ \text{変化量}(X_{i=1,2,\dots,n}) \times \frac{\text{変化量}(X_{i=1,2,\dots,n}) \text{の格子点数}}{\text{石狩川流域の全体の格子点数}(46 \text{地点})} \right\}$$

北海道全域の年最大3日雨量の変化 (GCM20)

➤ 北海道内に含まれる格子点の年最大3日雨量の変化量

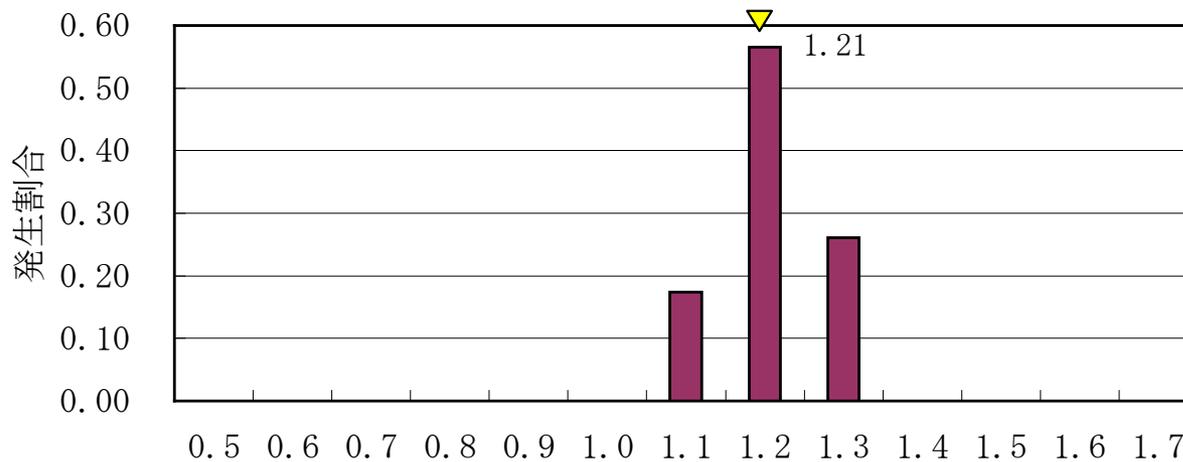


$$\text{格子点の年最大降水量の変化}(X) = \frac{\text{2080年から2099年までの年最大3日雨量の20年平均値}(A)}{\text{1980年から1999年までの年最大3日雨量の20年平均値}(B)}$$

石狩川流域の年最大3日雨量の変化 (GCM20)

- 年最大3日雨量は1.21倍に増加する

年最大3日雨量の100年後予測 (石狩川)

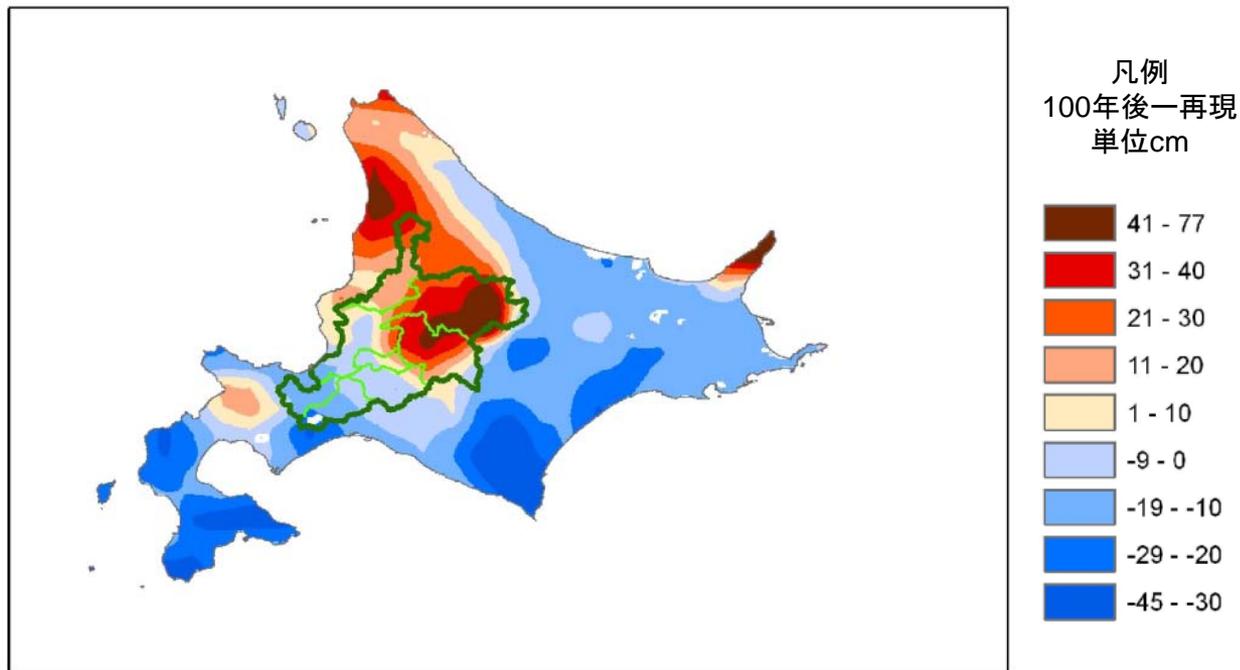


100年後の20年平均値 / 再現の20年平均値

$$\text{石狩川流域の変化量} = \sum_{i=1}^n \left\{ \text{変化量}(X_{i=1,2,\dots,n}) \times \frac{\text{変化量}(X_{i=1,2,\dots,n}) \text{の格子点数}}{\text{石狩川流域の全体の格子点数}(46 \text{地点})} \right\}$$

北海道全域の厳冬期降雪量の変化 (RCM20)

- 厳冬期（1月・2月）の降雪量の増加が著しいのは、石狩川上流、雨竜川、空知川流域。



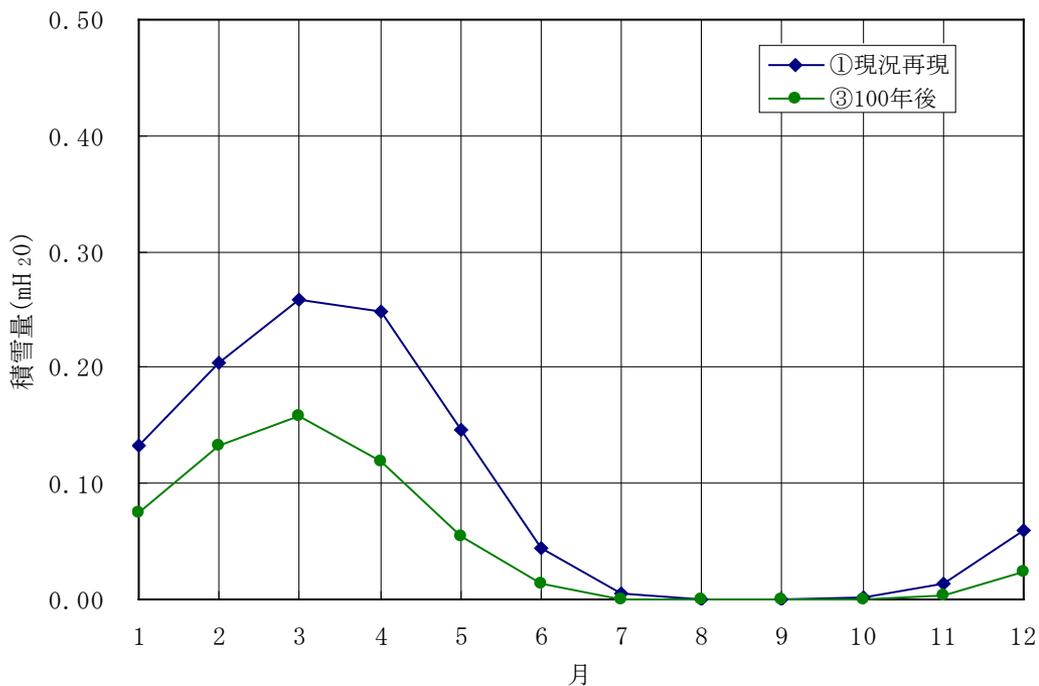
降雪量の変化＝

2081年から2100年までの各格子点の1月と2月の日降雪量の集計値

－（マイナス） 1981年から2000年までの各格子点の1月と2月の日降雪量の集計値

石狩川流域の月別積雪量変化 (RCM20)

➤ 積雪量は減少する。



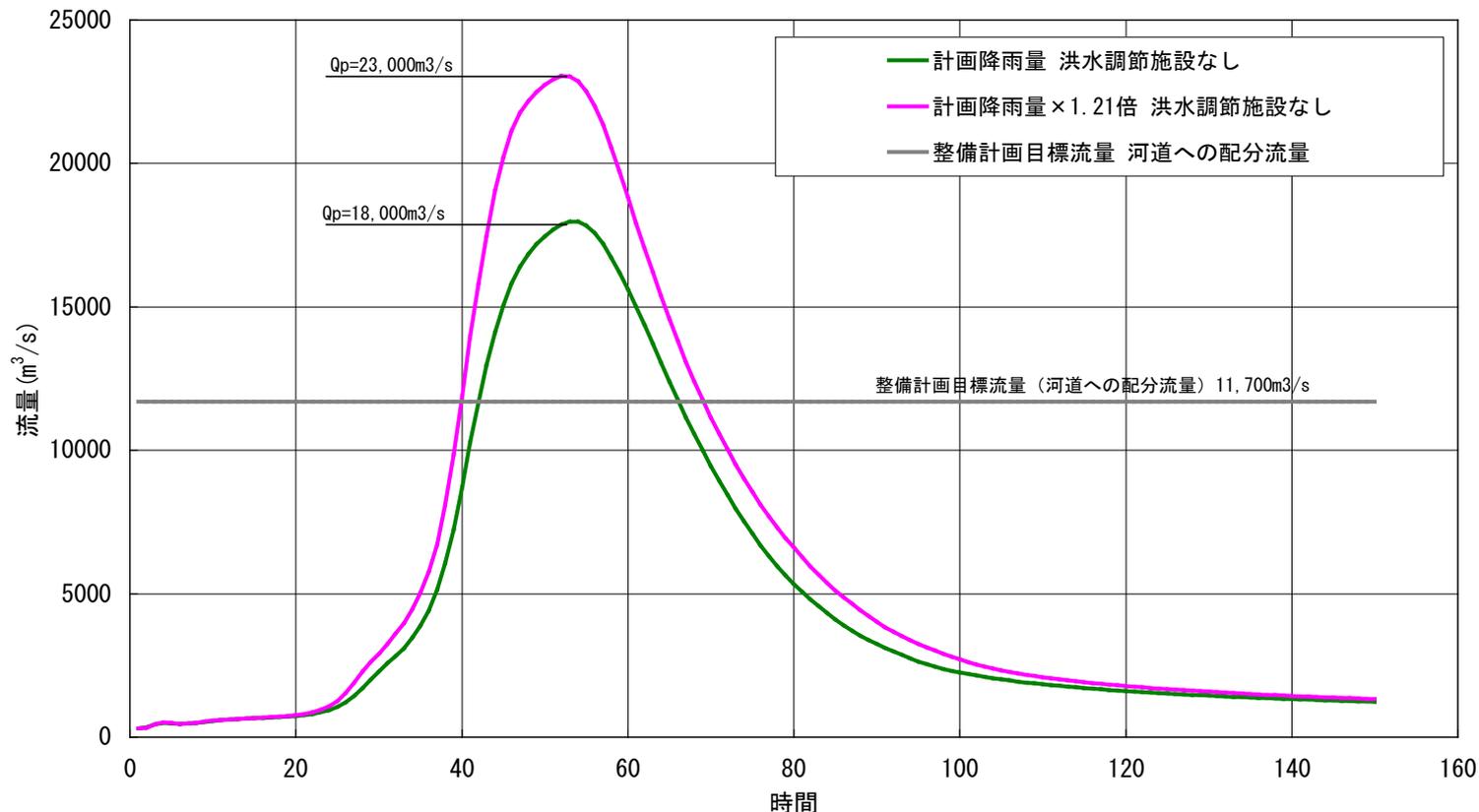
月別平均積雪量 (石狩川)

$$\text{月別日積雪量} = \frac{\text{石狩川流域内の格子点毎に、日積雪量を月毎に集計した値を20年間で合計した値}}{\text{石狩川流域の格子点数} \cdot \text{月毎の日数} \cdot \text{20年間}}$$

現況再現 = 1981年から2000年 100年後 = 2081年から2100年

基本高水流量ハイドログラフ (石狩川石狩大橋地点)

- ピーク流量が23000m³/sとなり、既定計画ピーク流量(18000m³/s)以上になる



流量ハイドログラフ (石狩大橋地点)

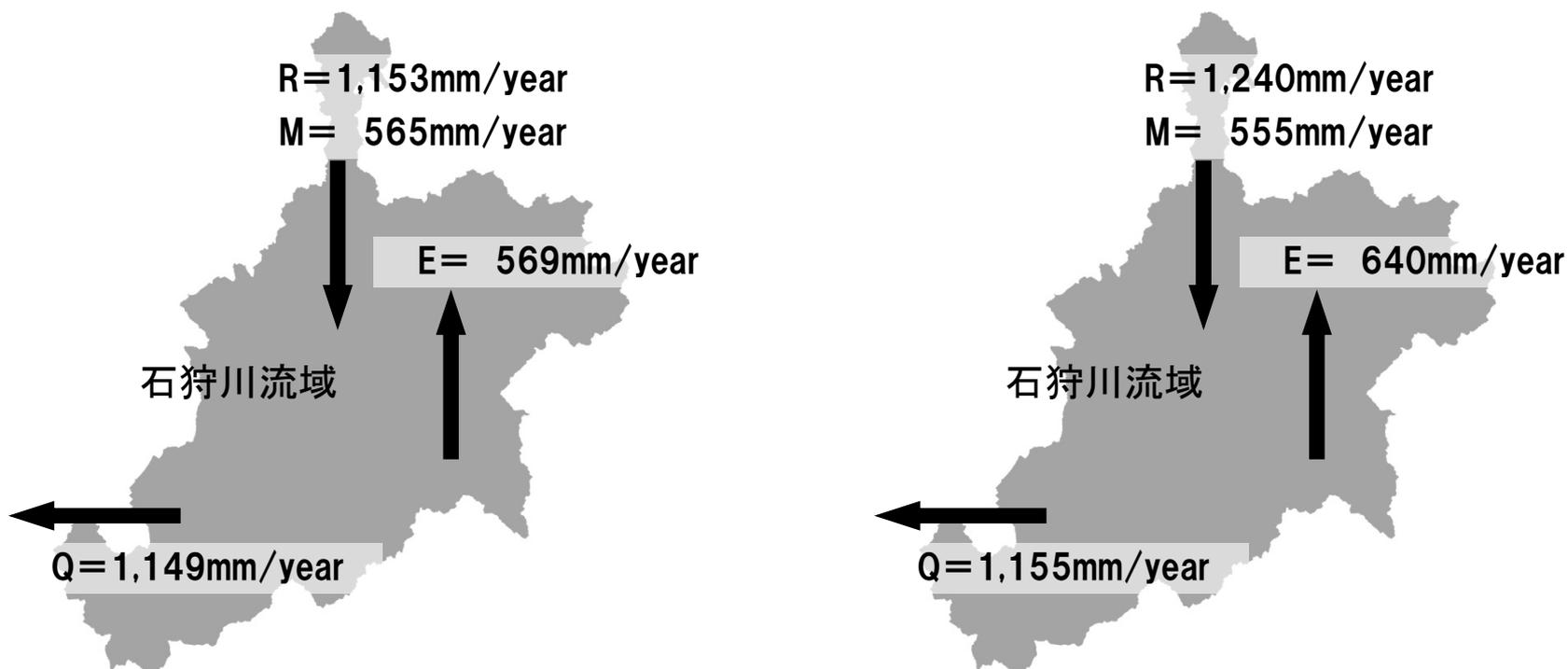
石狩大橋地点の流量ハイドログラフは、石狩川水系河川整備基本方針で基本高水を定めた流出計算モデル(貯留関数法)を用いて、石狩大橋基準地点の流域平均雨量260mm/3日(規定計画、計画規模1/150)が、温暖化による降雨量の増加(規定計画の1.21倍=315mm/3日)になるように引き伸ばした雨を用いて、流出計算を行ったものである。

石狩川流域の水収支変化

- 年間流出量は概ね変化しない。

現況再現) 1996年～2000年

100年後) 2096年～2100年



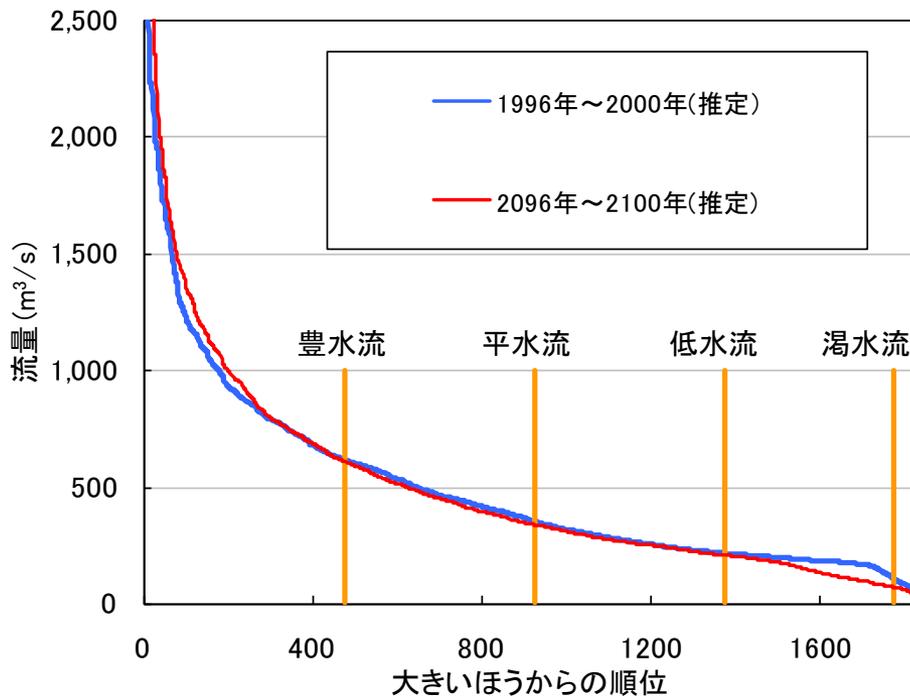
(※R:雨量, M:融雪量, E:蒸発散量, Q:流出高. Qは(R+M)-Eで算出)

石狩川流域全体の水収支は、長期熱・水収支モデル(1kmメッシュ)を用いて試算している。各メッシュの気象要素は、RCM20モデルの20kmメッシュの値をそのまま用いることとしたが、RCM20で提供されていない日射量、湿度は、雲量や比湿から推定した。

石狩大橋地点の流況変化

➤ 豊水流量は概ね変化しないが、渇水流量は現状の5割程度に減少する。

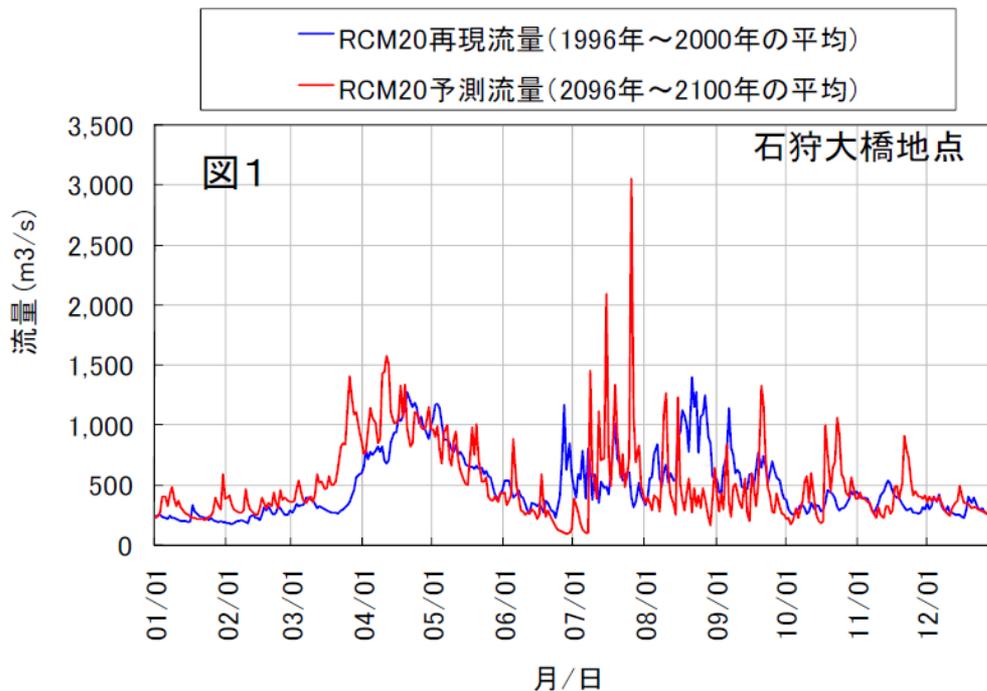
	豊水流量	平水流量	低水流量	渇水流量	単位: m ³ /s
①現在	615.40	350.61	220.82	131.47	
②100年後	623.20	339.08	206.02	69.83	
②÷①	1.01	0.97	0.93	0.53	



流出量は、タンクモデルにより得られた斜面流出量をkinematic wave法で河道追跡を行い算出した。計算期間は再現期間(5年間)、100年後(5年間)とし、それぞれ5年間の日流量を多い方から並び変えを行い、95/365%を豊水流、185/365%を平水流、275/325%を低水流、355/365%を渇水流とした。

石狩大橋地点の流量変化

- 融雪期が早期化する。
- 夏期出水が増加する。
- 春、秋～初冬の出水量が増加する



$$\text{再現・予測流量} = \frac{\text{計算期間内の同じ月日の日流量を5ヶ年分集計した値}}{5\text{ヶ年}}$$

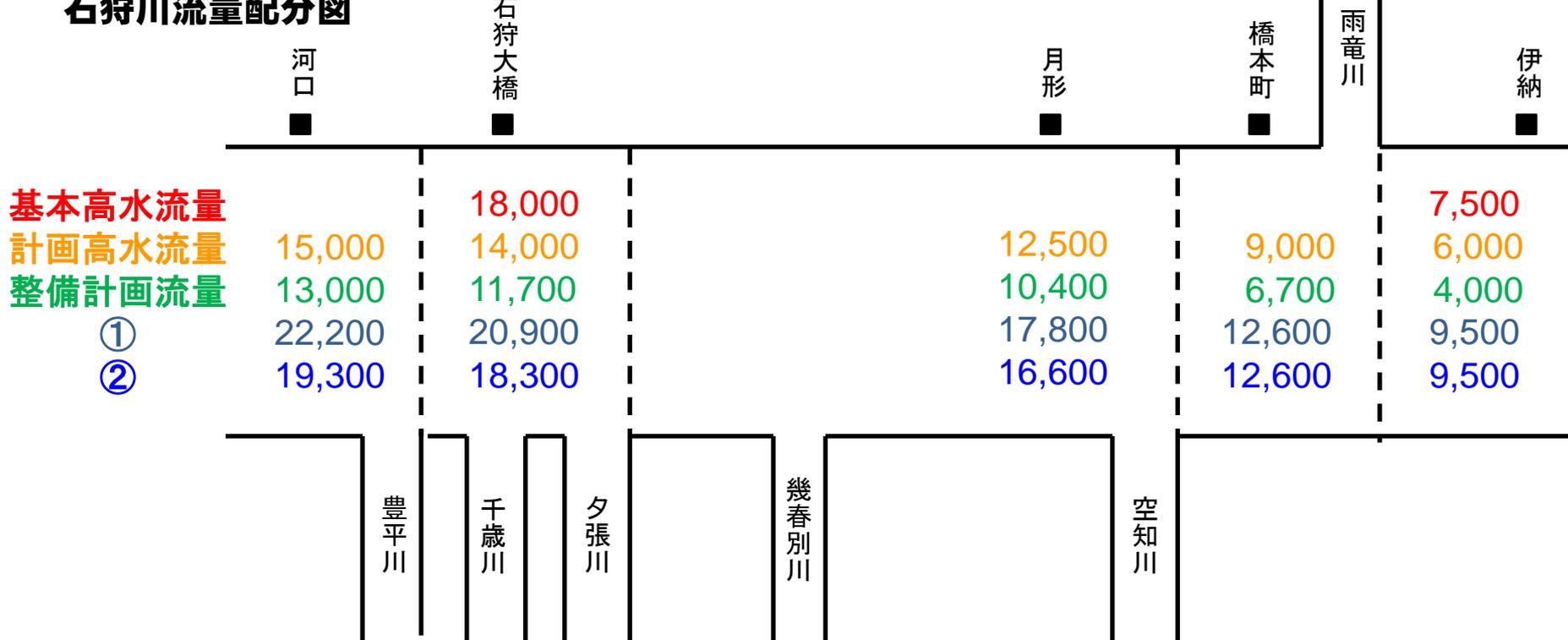
再現期間: 1996年から2000年までの5年間

予測期間: 2096年から2100年までの5年間

ピーク流量が増加した場合の治水観点の懸念①

- ピーク流量の増加によって、治水事業の効果が相殺されてしまう。(現状のダム・遊水地で洪水調節を行った場合、気候変動後のピーク流量は20,900m³/sとなり、既定計画の基本高水流量を上回る。また、整備計画で整備を予定しているダム・遊水地完成しても、石狩大橋地点のピーク流量を既定計画の基本高水流量以下にはできない)

石狩川流量配分図



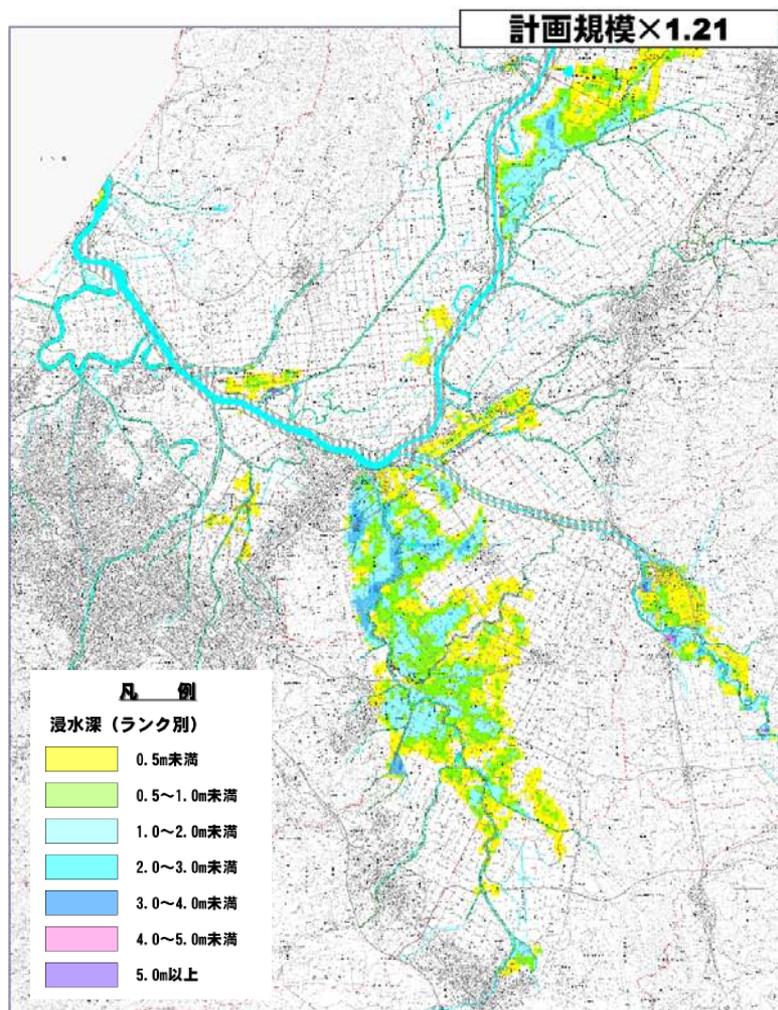
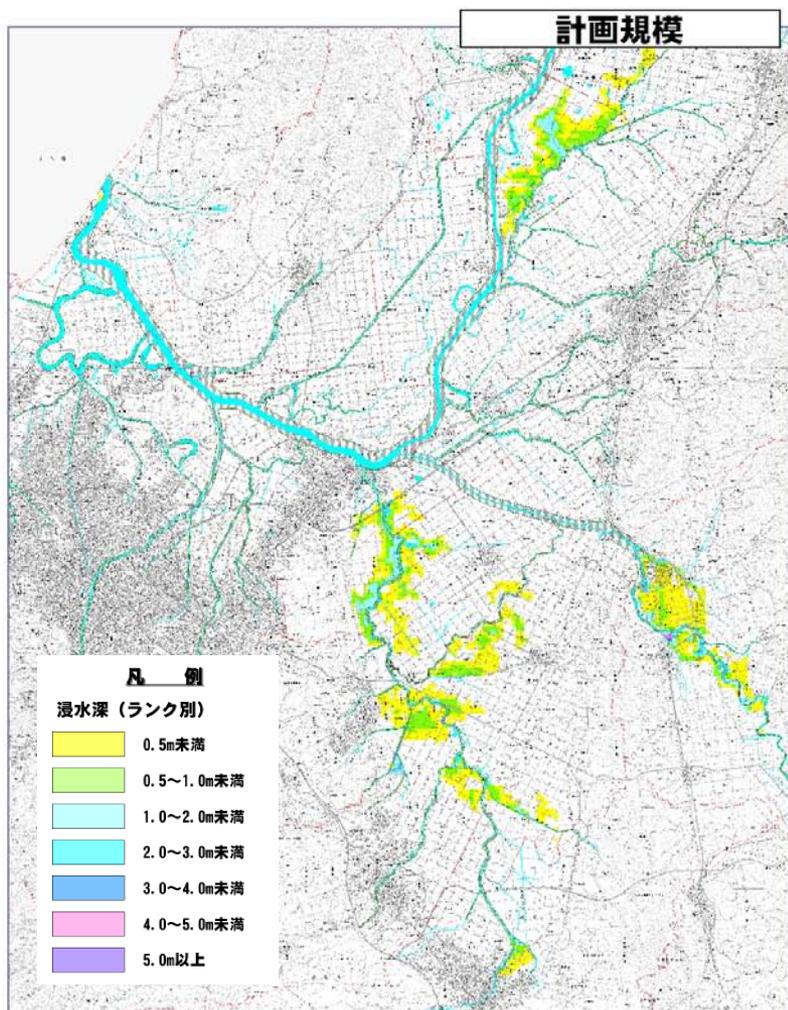
- ①1/150降雨×1.21倍 洪水調節施設は現状
- ②1/150降雨×1.21倍 洪水調節施設は整備計画完了時

※洪水調節施設

現状 : 大雪ダム、忠別ダム、金山ダム、滝里ダム、桂沢ダム、漁川ダム、豊平峡ダム、定山溪ダム、砂川遊水地
 整備計画完了時 : 上記+夕張シューパロダム、新桂沢ダム、三笠ぽんべつダム、石狩川中流遊水地、千歳川遊水地群

ピーク流量が増加した場合の治水観点の懸念②-1

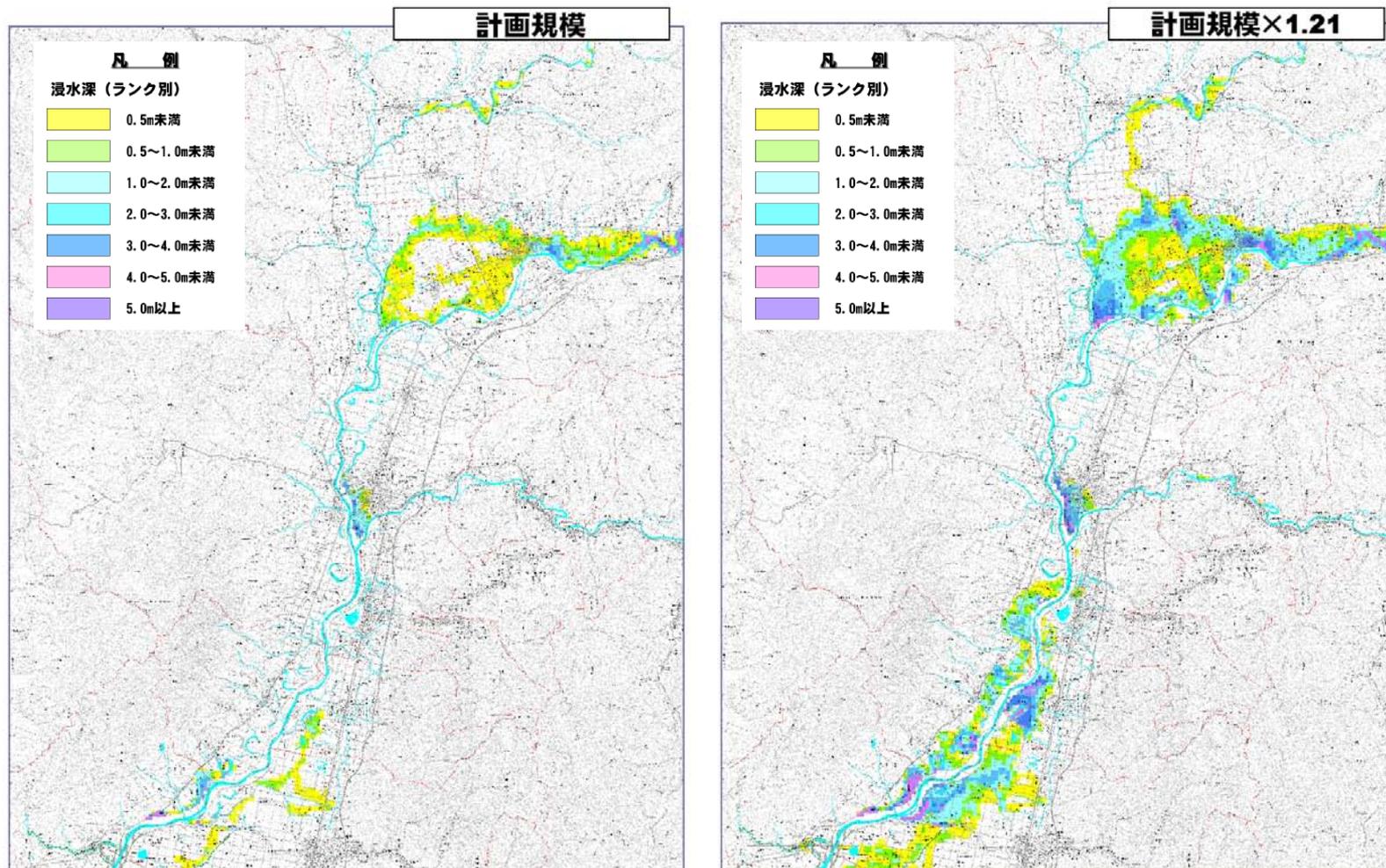
➤ 気候変動後（計画規模×1.21倍）では、越水氾濫区域が増加する。（破堤の危険性増大）



《最大浸水深図》 石狩川 【石狩大橋基準： $W=1/150$ 昭和50年8月型、河道：現況】

ピーク流量が増加した場合の治水観点の懸念②-2

- 気候変動後（計画規模×1.21倍）では、越水氾濫区域が増加する。（破堤の危険性増大）



《最大浸水深図》 石狩川 【石狩大橋基準： $W=1/150$ 昭和50年8月型、河道：現況】

ピーク流量が増加した場合の治水観点の懸念②-3

- 計画対象降雨が1.21倍に増加すると、越水箇所は約2倍に増加する。また、河川の水位が計画高水位を超える（破堤の危険）区間は、約1.2倍に増加する。

氾濫計算時の河川水位が現況堤防高を超える地点（下段は全地点数に占める割合）

河川名	石狩川	豊平川	千歳川	夕張川	幾春別川	空知川	雨竜川	合計
計画規模	48 9%	0 0%	43 10%	45 13%	5 1%	2 1%	44 8%	187 7%
計画規模×1.21倍	112 20%	0 0%	92 21%	66 19%	5 1%	11 5%	65 12%	351 13%
全地点数(左右岸)	552	208	440	346	362	226	538	2672

※地点は籽標杭地点を左右岸別に2地点として評価している。石狩川の籽標杭は概ね500mに1地点、その他河川は概ね200mに1地点に設置されている。

氾濫計算時の河川水位が計画高水位を超える地点（下段は全地点数に占める割合）

河川名	石狩川	豊平川	千歳川	夕張川	幾春別川	空知川	雨竜川	合計
計画規模	274 99%	50 48%	214 97%	141 82%	35 19%	10 9%	142 53%	866 65%
計画規模×1.21倍	274 99%	65 63%	216 98%	165 95%	84 46%	44 39%	192 71%	1040 78%
全地点数	276	104	220	173	181	113	269	1336

※地点は籽標杭地点を左右岸で1地点として評価している。石狩川の籽標杭は概ね500mに1地点、その他河川は概ね200mに1地点に設置されている。

渇水流量が減少した場合の利水観点の懸念

- 渇水時の流量の減少により、塩水遡上距離の増大や塩淡水界面の上昇により、北生振揚水機場や王子製紙、上江別浄水場等で取水停止頻度の増加が懸念される。

■計算条件

<河口潮位>

・現状期望平均満潮位: 0.38mと仮定

<河道流量>

現状: 100m³/s (石狩大橋正常流量)

将来: 渇水流量が53%となることを想定し、以下2ケース確認

(1) 75%に減少を想定: 75m³/s

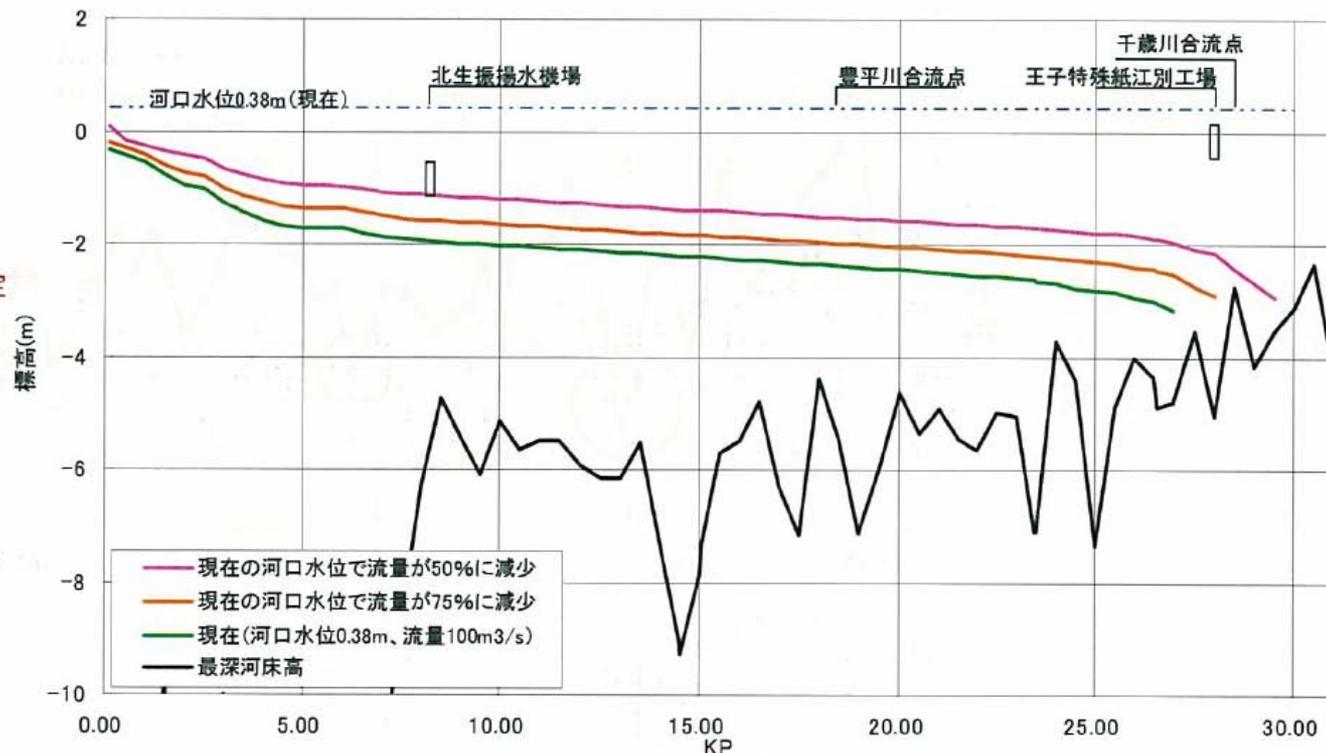
(2) 50%に減少を想定: 50m³/s

<計算モデル>

弱混合型1次元二層流モデル(内部摩擦抵抗係数: $f_i = 0.4\Psi^{-2/3}$)

<河道データ>

H15年測量断面(低水路のみ)

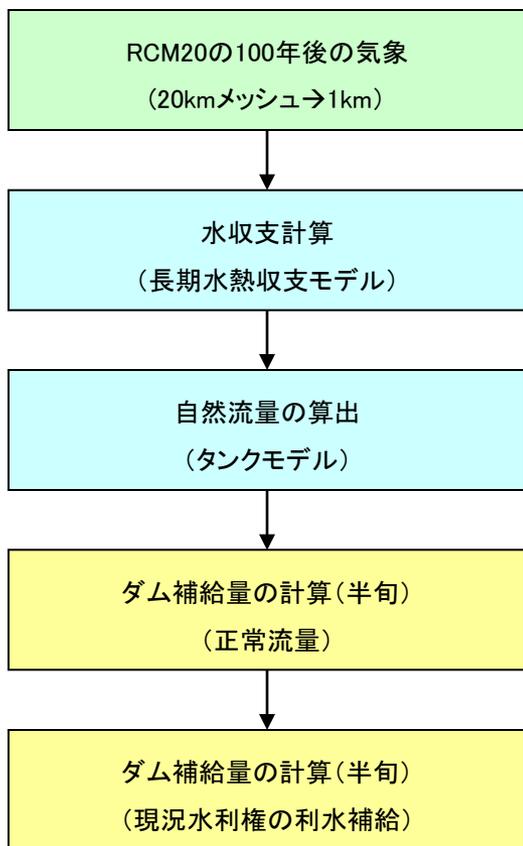


石狩川塩淡水界面縦断面図(渇水流量の減少)

融雪出水が早期化した場合の利水観点の懸念

- 現計画の利水容量では、100年後の20ヶ年のうち17ヶ年が4月から6月にかけて補給が困難になると示唆された。

夕張川流域(夕張スーパーパロダム)補給量計算の流れ



確保容量計算結果(水利権取水:2081年~2100年)

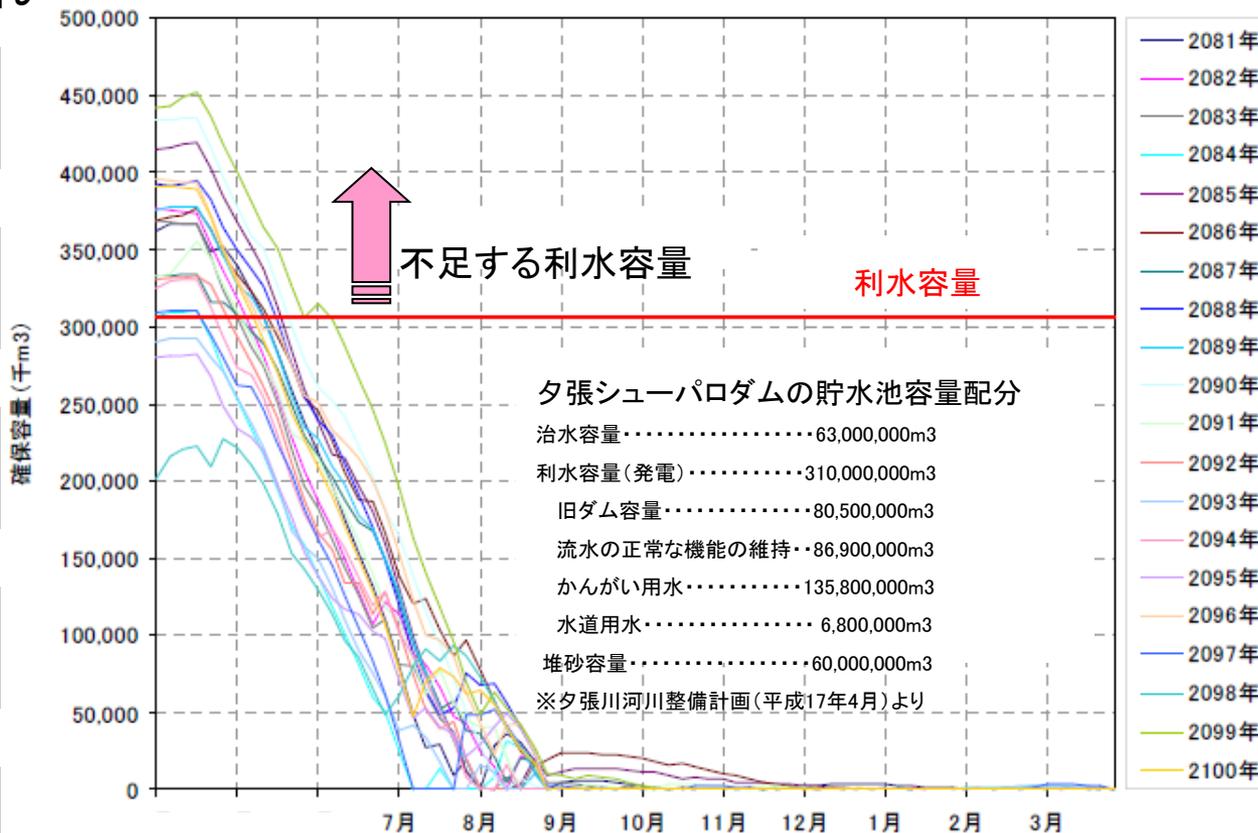
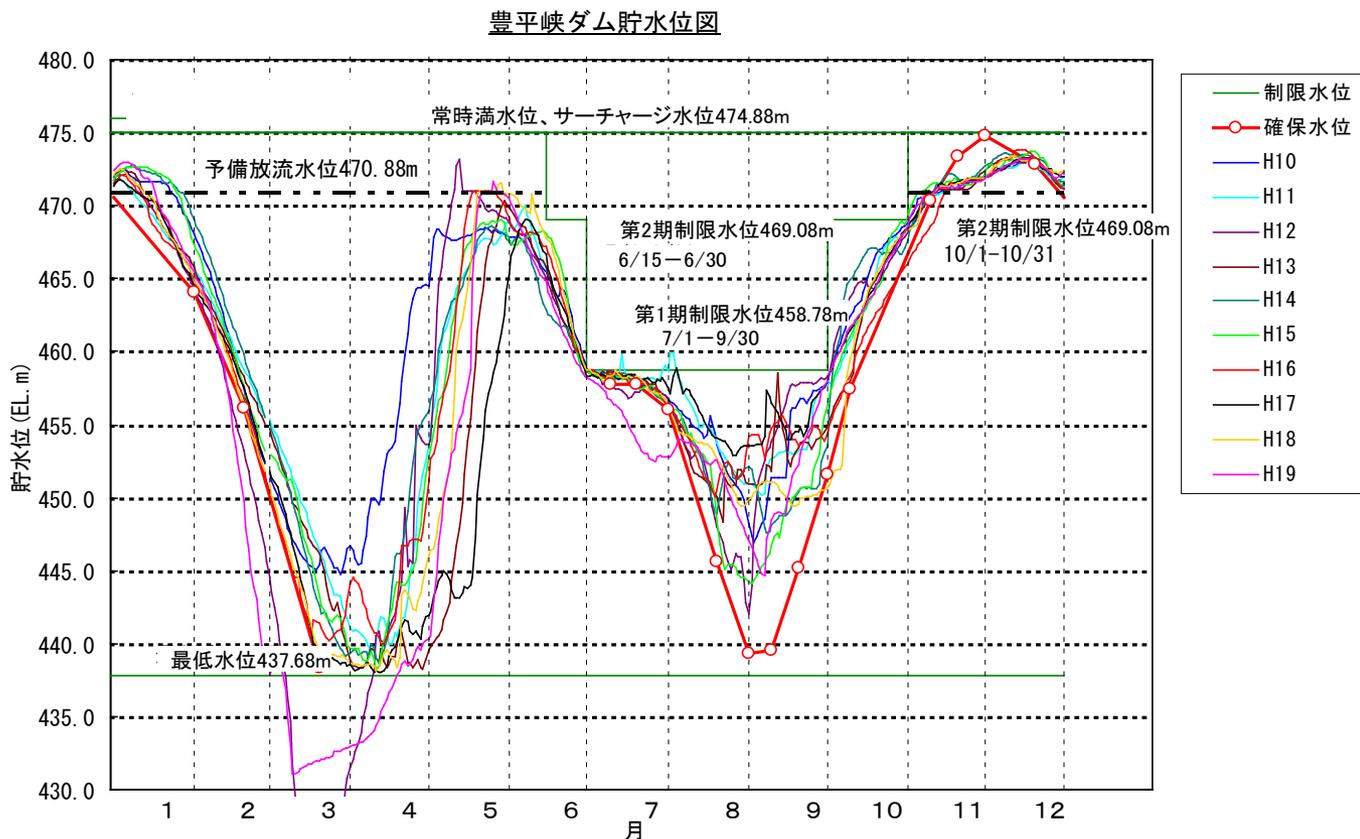


図 5-1-41 夕張スーパーパロダム確保容量図(水利権量満度取水:概ね100年後)

融雪期、秋から初冬に洪水が発生した場合の懸念

- ダムの貯水位が常時満水位程度になっているため、洪水調節容量が少ないダムで操作が困難になる。



※平成10年から平成19年までの貯水池運用実績

土砂災害の危険度予測の概要 (国土交通省と気象庁の連携手法)

- 60分積算雨量、土壌雨量指数、CL等に基づき予測する手法
- 60分積算雨量には、気象レーダーによる解析雨量および予測降雨を用いる

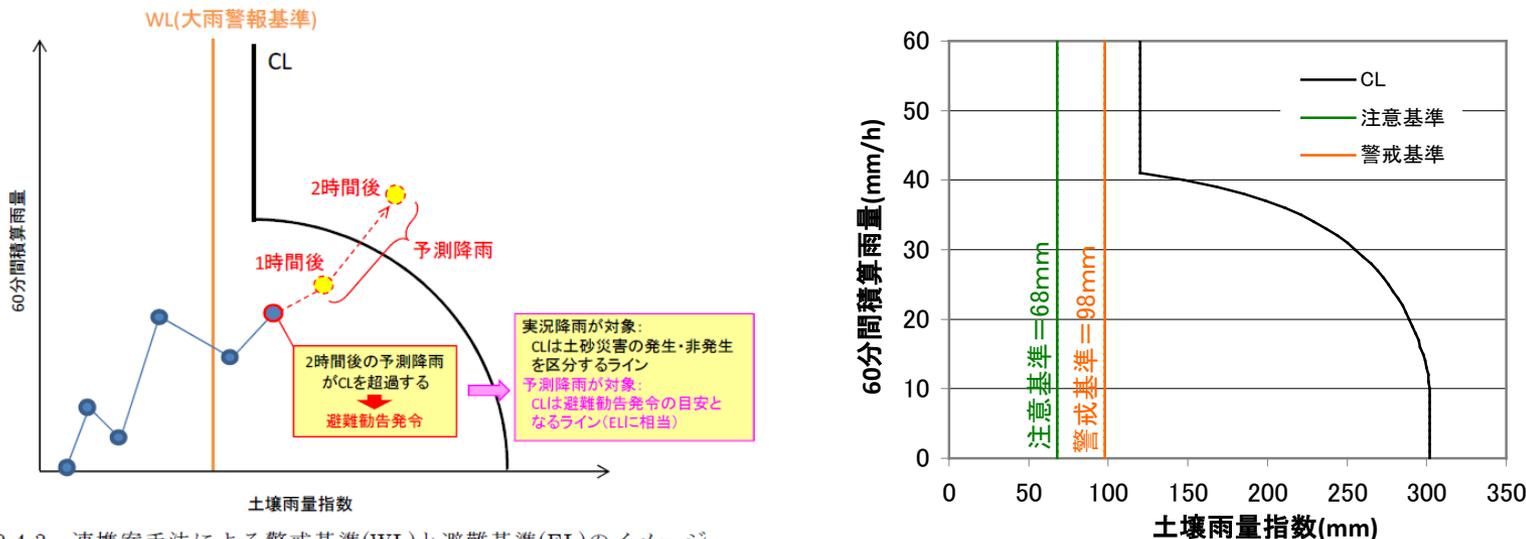


図 2.4.3 連携案手法による警戒基準(WL)と避難基準(EL)のイメージ

連携案手法による警戒基準(WL)と避難基準(EL)のイメージ

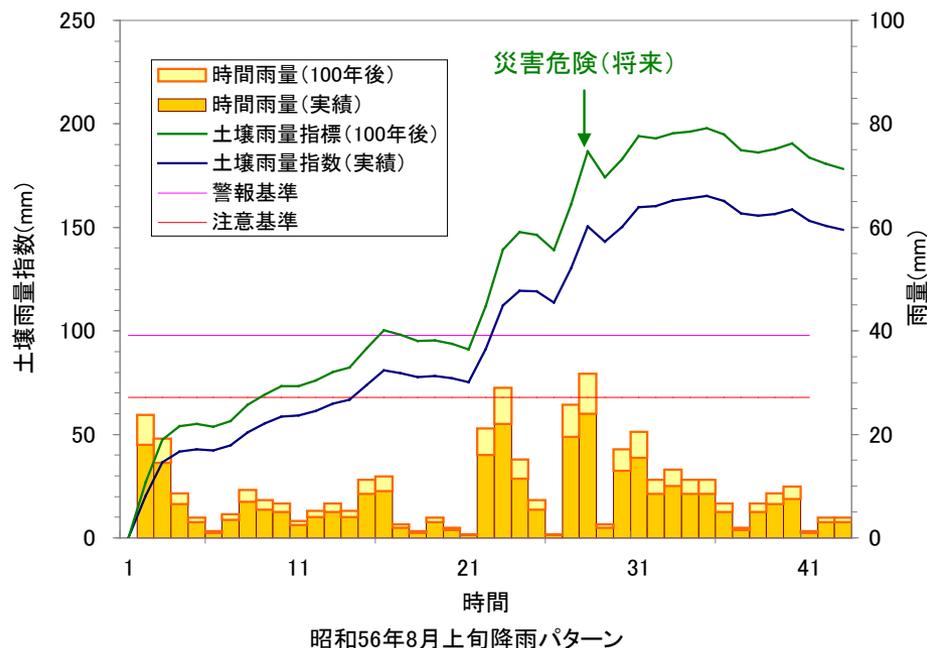
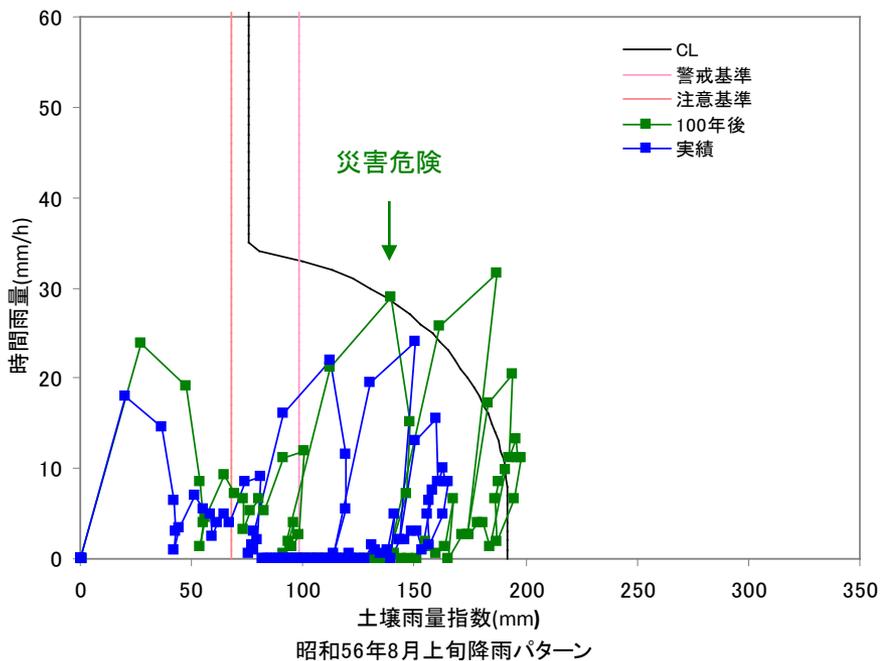
連携案手法によるCLと警戒基準、注意基準

連携案手法による警戒基準と避難基準(EL)

基準	発表指標	備考
注意基準	土壌雨量指数 68mm or 1時間雨量 30mm/h or 3時間雨量 50mm/3h	札幌市の大雨注意報基準
警戒基準	土壌雨量指数 98mm or 1時間雨量 50mm/h	札幌市の大雨警報基準 ※1時間雨量は平坦地以外の基準
避難基準	2時間後にスネークラインがCLを超過すると 予測される時	関係機関への連絡や避難のリードタイム を確保するため、予測降雨を利用し、

日雨量や短時間雨量が増加した場合の懸念

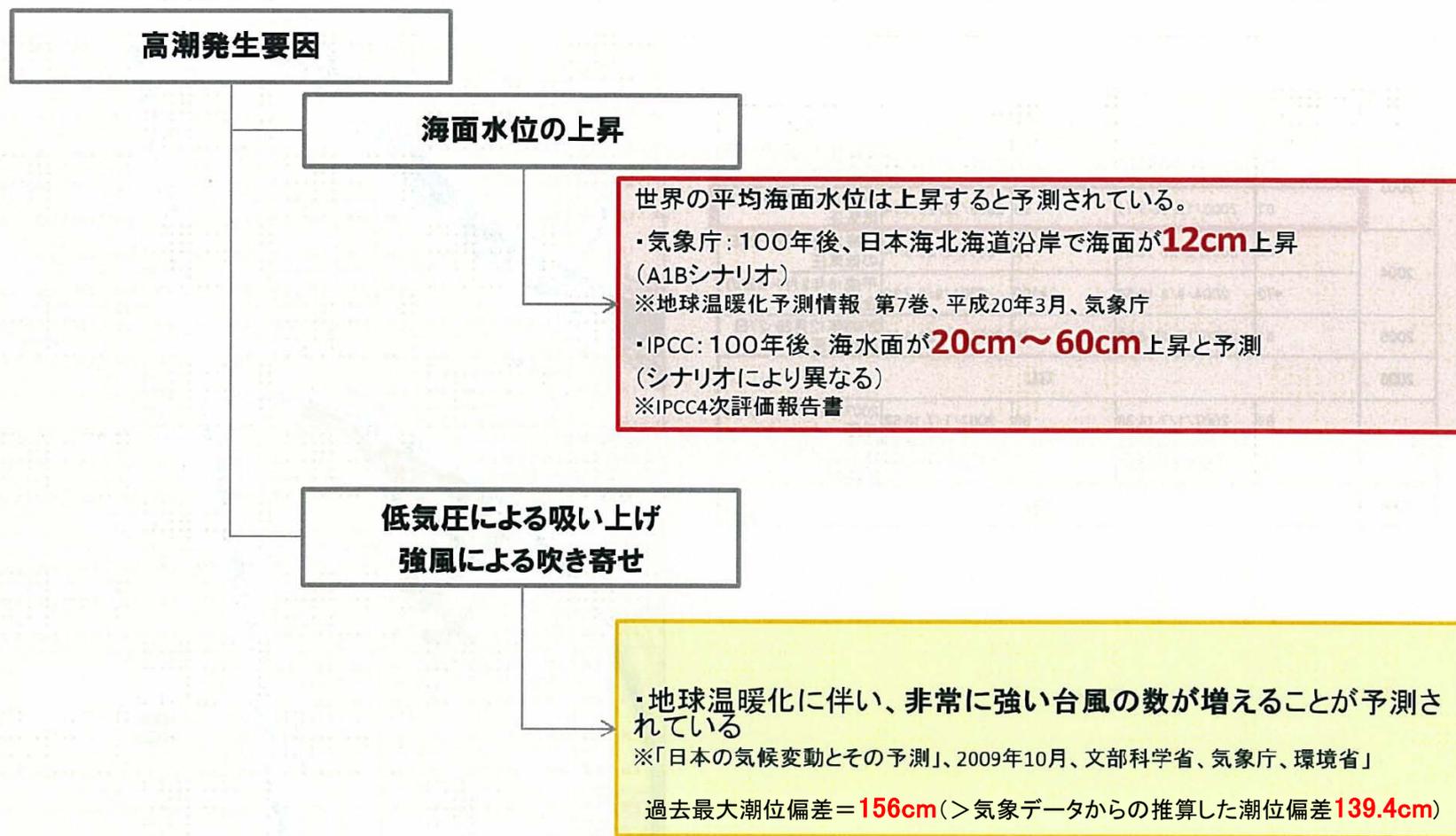
➤ 土砂災害の危険性が增大する。



国土交通省と気象庁の連携による手法を用いて、昭和56年8月上旬の実績降雨及び気候変動によって日雨量が1.32倍に増加した100年後の予測降雨が降った場合について、土砂災害の危険性を評価する。

海面水位が上昇した場合の懸念①

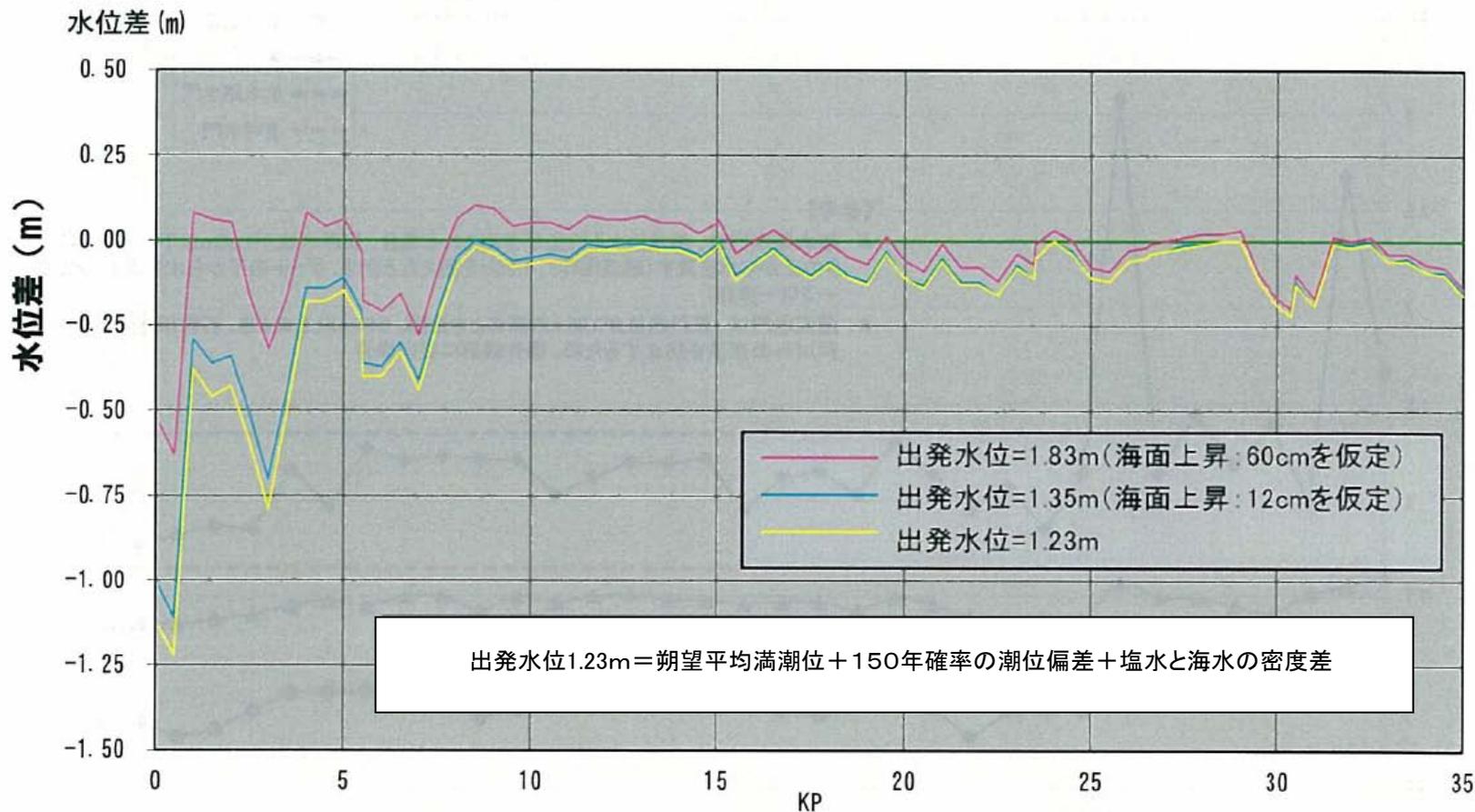
- 高潮の発生要因には、平均海面水位の上昇（12cm～60cm）、低気圧による吸い上げ・強風による吹き寄せがある。



海面水位が上昇した場合の懸念②

- 海面水位の上昇量が12cmの場合、計算水位はHWLを超えない（外水氾濫には至らない）

※水位差 = 計算水位 - 計画高水位



石狩川 計画高水位からの水位差図 基本方針河道 計画高水流量時

海面水位が上昇した場合の懸念③

- 石狩川の水位が上昇することにより、石狩川本川の逆流や内水氾濫制御のため、水門・樋門や排水ポンプなどの操作頻度、操作時間が増大する。

【潮位推算仮定】

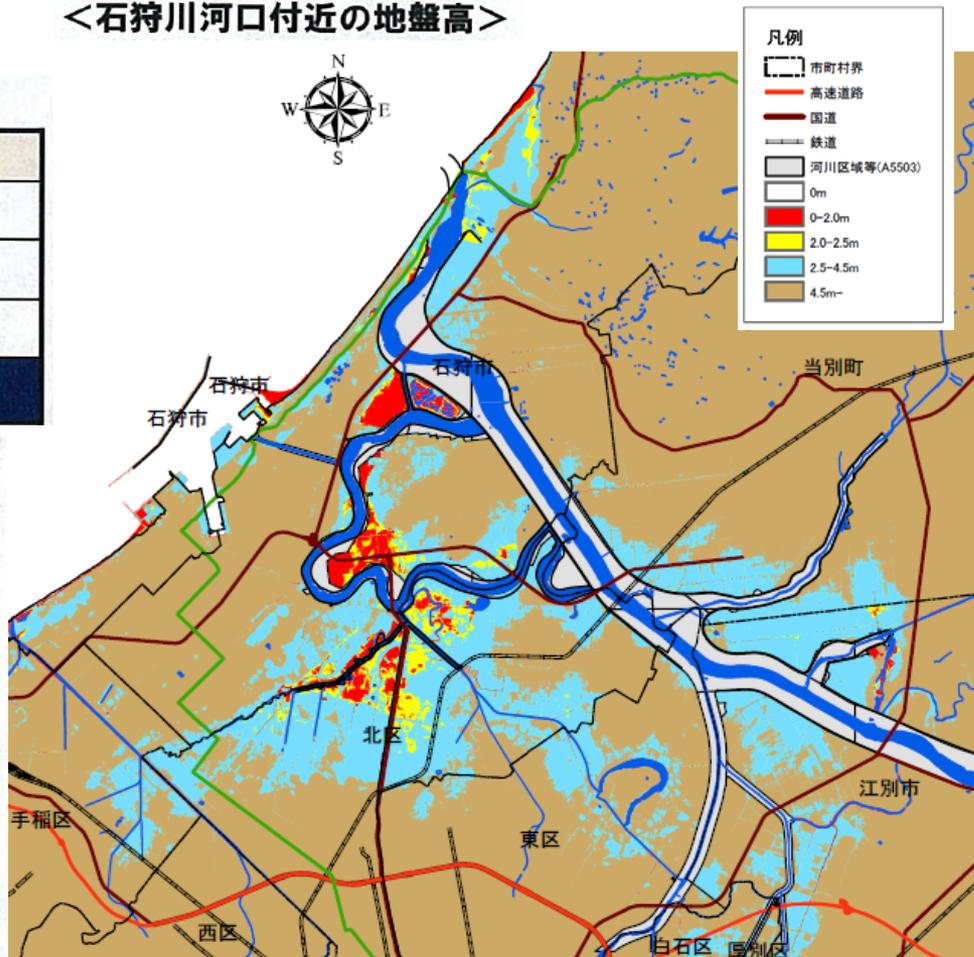
	IPCC	気象庁
朔望平均満潮位	38cm	38cm
海面水位上昇量	60cm(最大)	12cm
最大潮位偏差	156cm	156cm
高潮時の潮位	254cm	206cm

高潮時の潮位と地盤高を比較

◆参考：石狩川の堤防高（右図黒太実線）

- ・KP1.0-KP2.0 : 4.37(m)
- ・KP2.0~ : 4.37(m)から一定勾配(1/2167)
- ※運河水門付近(KP5.5) : 5.93(m)
- ※茨戸川全川 : 3.22(m)

<石狩川河口付近の地盤高>



※ 国土地理院基盤地図情報 5mメッシュ標高(2009年5月)