

北海道地方における気候変動予測について

平成29年7月12日

北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会

- 平成28年8月、観測史上初めて北海道に4つの台風が上陸・接近し、記録的な大雨により全道各地で甚大な被害が発生。今般の災害を踏まえ、今後の水防災対策のあり方を検討するため、国土交通省北海道開発局と北海道は共同で「平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」を設置
- 平成29年3月、同委員会は、「我が国においても気候変動の影響が特に大きいと予測される北海道が、先導的に気候変動の適応策に取り組むべきであり、気候変動による将来の影響を科学的に予測し、具体的なリスク評価をもとに治水対策を講じるべき」と報告書を取りまとめ
- 同報告を踏まえ、新たに、北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会を設置

技術検討委員会のミッション

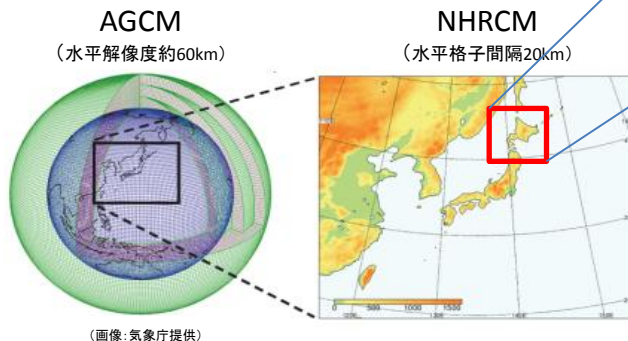
- 北海道地方における気候変動の影響(降雨量、洪水流量の変化)を最新の知見に基づき、科学的に予測する
- 気候変動の影響によるリスクの変化(規模・形態・頻度)の変化等を算定し、社会と共有する

【委員名簿】

- <委員長>
中津川 誠
(室蘭工業大学大学院工学研究科教授)
- <委員>
稲津 将
(北海道大学大学院理学研究院教授)
- 鼎 信次郎
(東京工業大学環境・社会理工学院教授)
- 佐々木 秀孝
(気象庁気象研究所環境・気象応用研究部室長)
- 佐藤 友徳
(北海道大学大学院地球環境科学研究院准教授)
- 関 克己
(京都大学経営管理大学院客員教授)
- 立川 康人
(京都大学大学院工学研究科教授)
- 船木 淳悟
(寒地土木研究所水圏グループ長)
- 山田 朋人
(北海道大学大学院工学研究院准教授)
- ※敬称略 五十音順
- <オブザーバー>
国土交通省水管理・国土保全局、北海道局
気象庁札幌管区气象台
- <アドバイザー>
山田 正 (水防災対策検討委員会委員長)

北海道地方の気候変動の影響予測

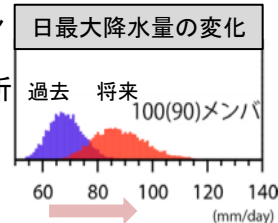
将来気候における降雨の分析



「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」を利用し、北海道領域について数kmメッシュに力学的ダウンスケーリング(4℃上昇モデルから着手)

高解像度かつ大規模アンサンブル実験データに基づき、大雨の発生強度や頻度を分析

- ・極端現象の解説
- ・統計学的な分析

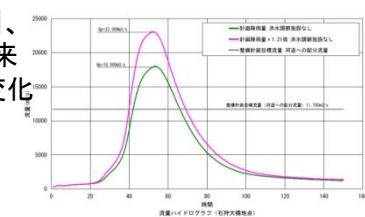


モデル流域における洪水量の変化



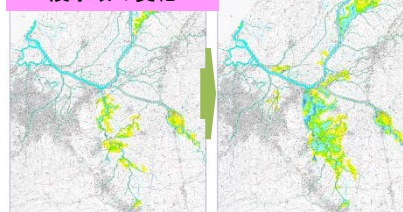
甚大な被害が発生した十勝川、常呂川をモデルケースに、将来気候における洪水流出量の変化を予測

- ・洪水ピーク流量の変化
- ・治水安全度の低下



洪水リスクの共有

浸水域の変化



人的被害の推定



農地の表土流出の推定

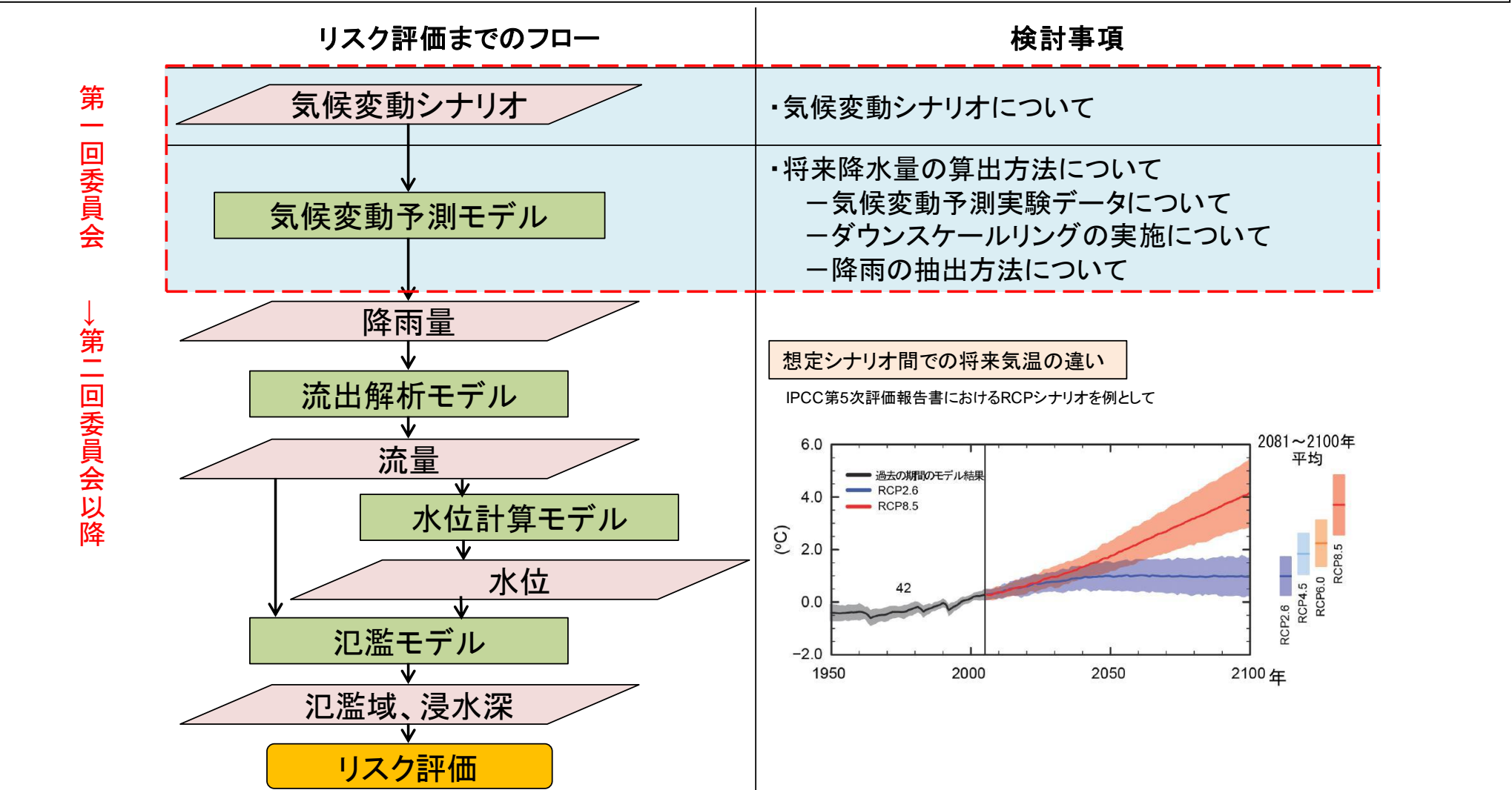


気候変動の影響によるリスクの評価を実施し、社会と共有

- ・浸水域の増加
- ・人的リスクの増加
- ・社会的なリスクの増加
- ・交通事故等の他のリスクとの比較

リスク評価までの手順と検討事項

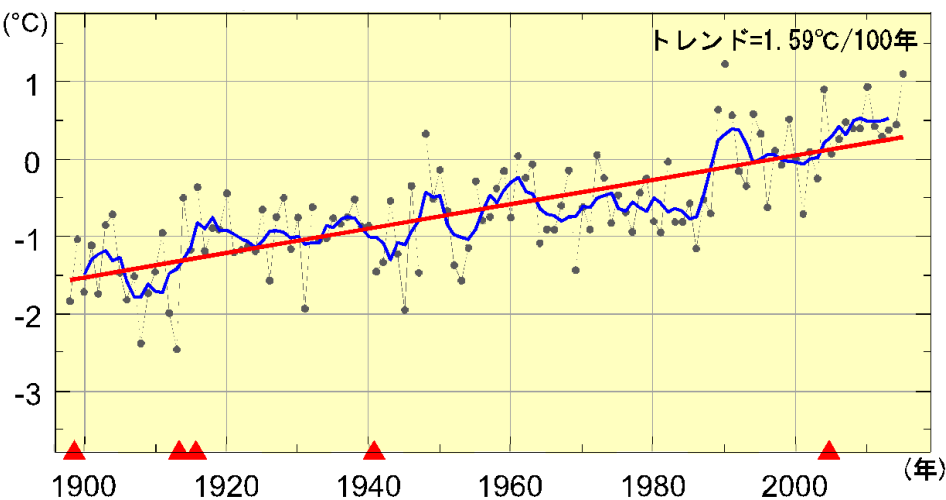
- 本委員会では、気候変動シナリオを設定した上で、将来の降水量・流出量を算出し、気候変動後の氾濫域や浸水深を算定し、その結果に基づき、リスク評価を実施する。
- 第一回委員会では、気候変動シナリオ、将来の降水量の算出方法（使用する気候変動予測実験データ・ダウンスケーリングの実施方法・降雨の抽出方法）について検討及び確認を行う。



気象庁による北海道の気候変化の分析(北海道の気候変化 第2版)

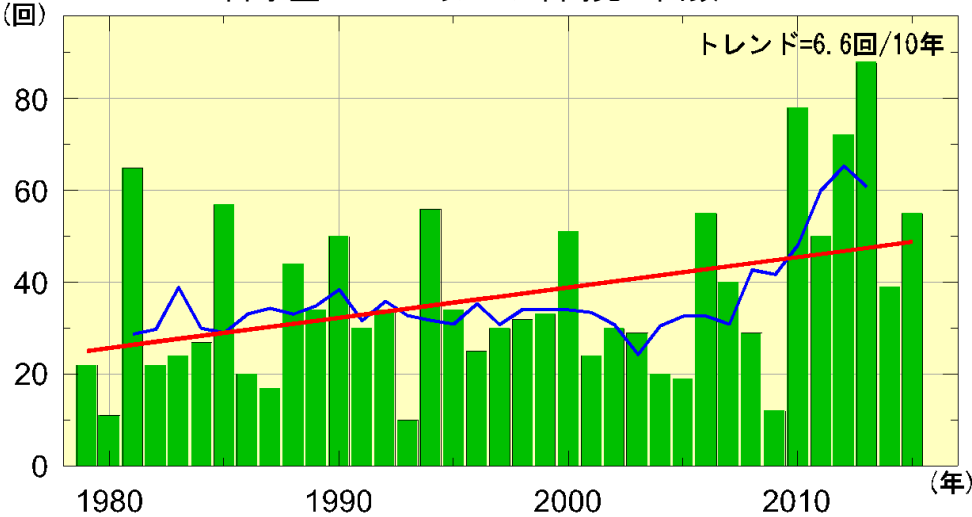
- 北海道内では長期間にわたって均質なデータを確保できる7地点(旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、函館)を平均した年平均気温は、1898年から2015年にわたって100年あたりおよそ1.59℃の割合で上昇している。
- 大雨の発生回数では、30mm/h以上の発生回数には増加傾向がみられるが、50mm/h以上の発生回数には変化傾向がみられない。また、日降水量50mm以上及び100mm以上の年間発生日数にも変化傾向はみられない。

年平均気温偏差(北海道7地点平均)



- - - ● 7地点での年平均気温の基準値からの偏差を平均した値
- 偏差の5年移動平均値
- 長期的な変化傾向
- ※基準値は1981～2010年の30年平均値
- ▲ 7地点のうちいずれかにおいて観測場所の移転があった年

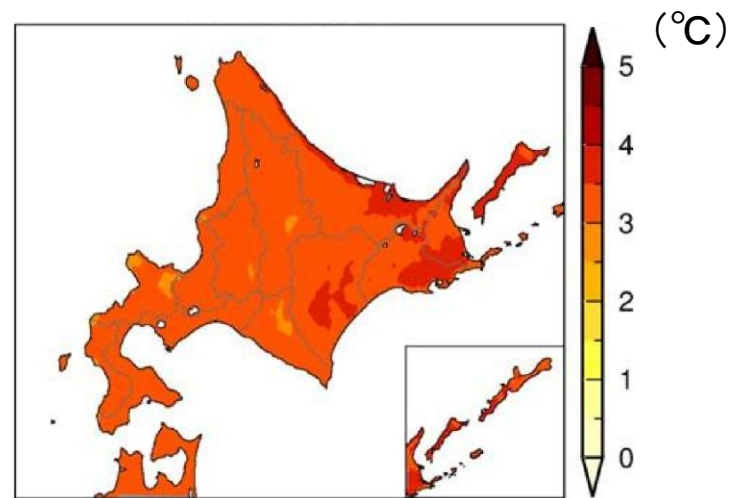
降水量30mm/h以上の年間発生回数



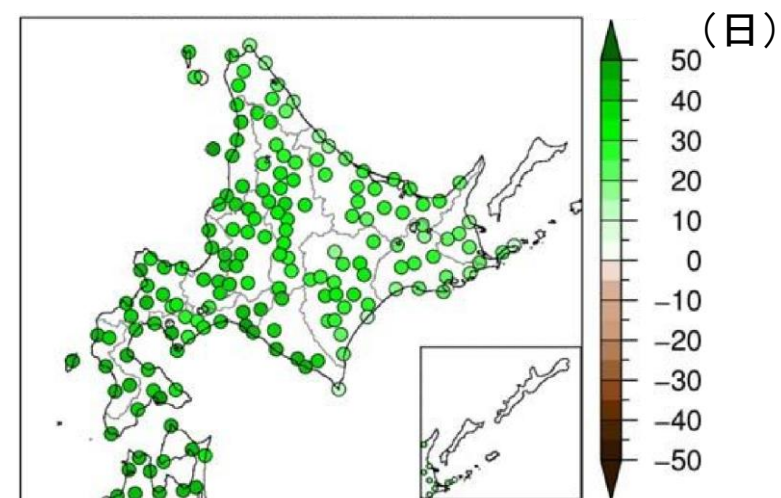
- 5年移動平均
- 期間にわたる変化傾向
- 30mm/h以上の年間発生回数

気象庁による北海道の気候変動予測(北海道の気候変化 第2版)

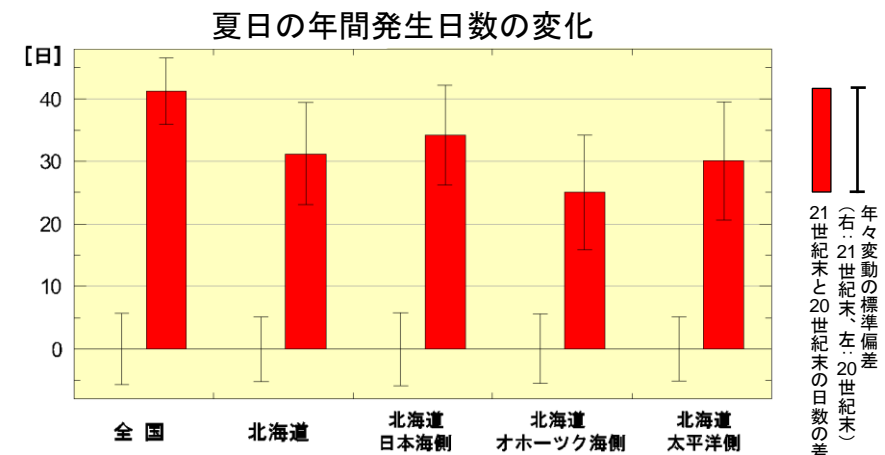
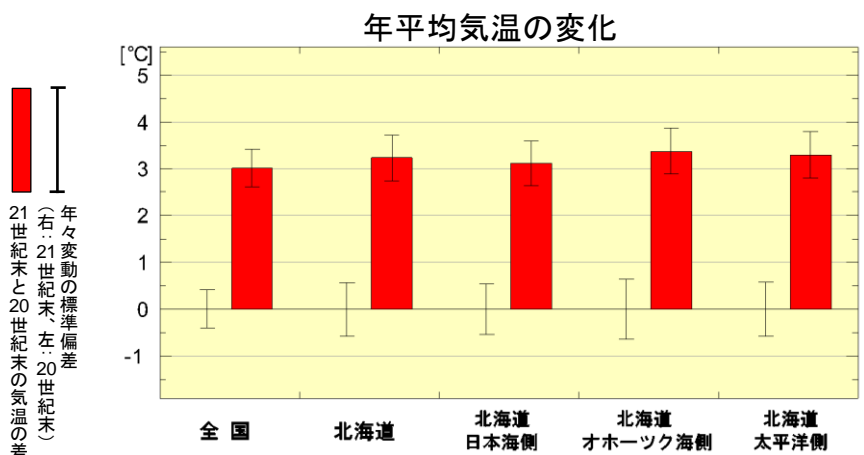
- 21世紀末(2076～2095年)における北海道の平均気温は、20世紀末(1980～1999年)を基準として3℃程度の上昇がみられ、北海道内の他の地域に比べてオホーツク海側の上昇がわずかに大きい。
- 21世紀における北海道の夏日の年間日数は、20世紀に比べて30日程度増加し、日本海側や太平洋側西部ではさらに多く増加することが予測される。また、真夏日の年間日数は10日程度増加し、内陸部でより多く増加することが予測される。



北海道の年平均気温の変化

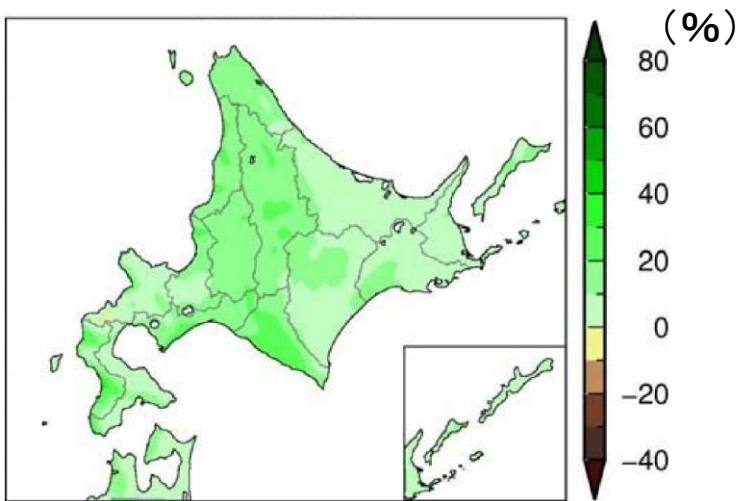


北海道の夏日の日数の変化

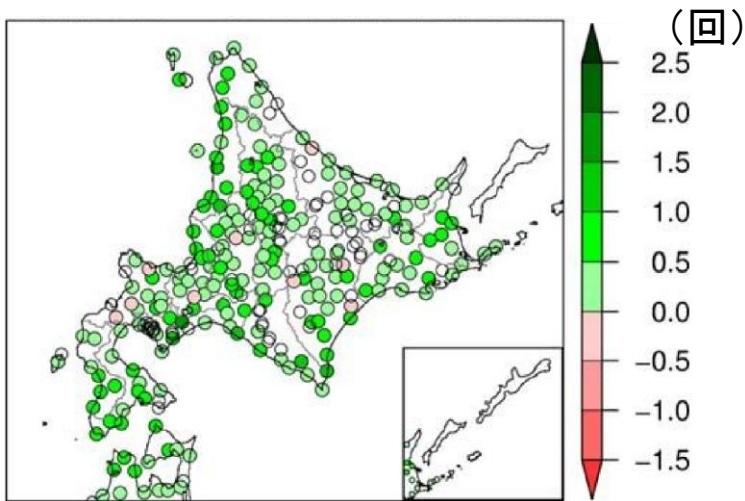


気象庁による北海道の気候変動予測(北海道の気候変化 第2版)

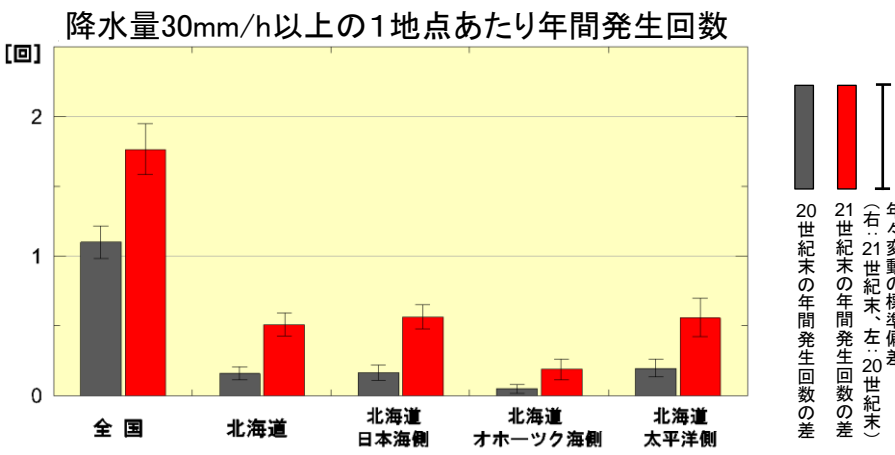
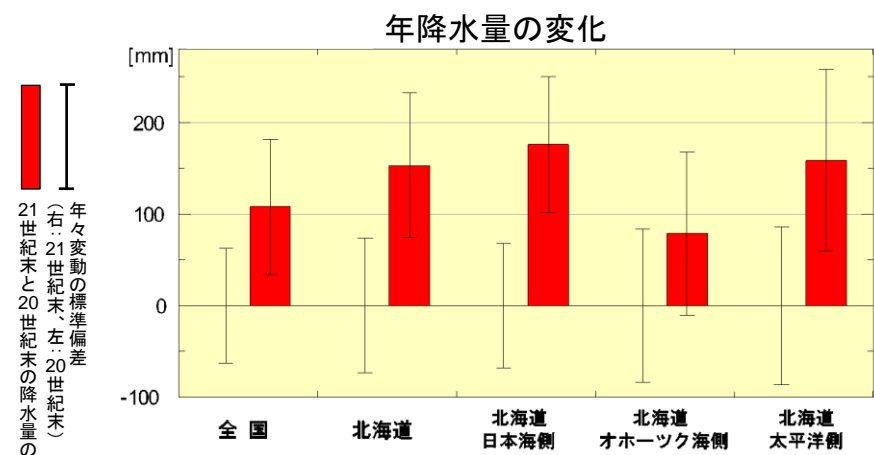
- 北海道の年降水量は21世紀末に概ね10%増加すると予測されるが、地域ごとにみると、日本海側では増加するが、オホーツク側では変化傾向は明瞭ではない。
- 日降水量50mm以上、100mm以上の年間発生日数および30mm/h以上、50mm/h以上の年間発生回数も増加し、地域ごとにみても各地域で増加傾向となり、21世紀末には大雨や短時間強雨の頻度が増加することが予測される。



北海道の年降水量の変化

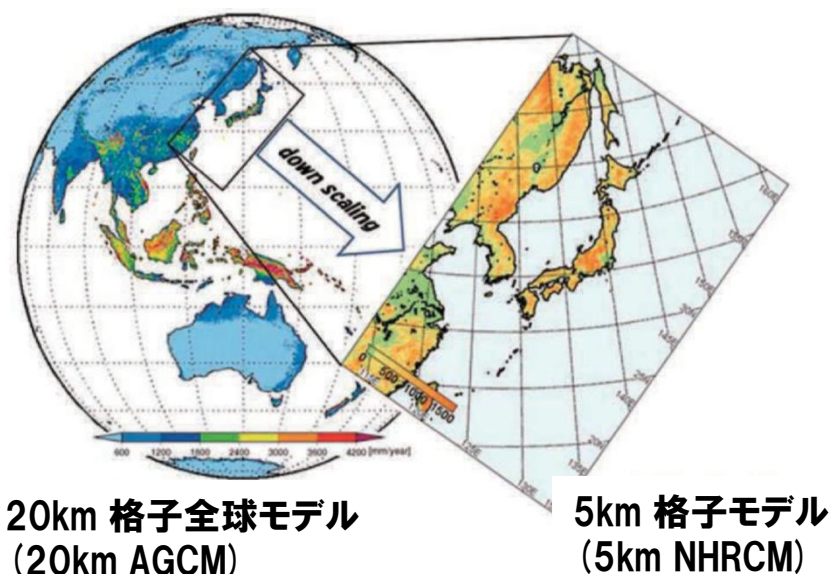


北海道の30mm/h以上年間発生回数の変化



※出典: 札幌管区気象台, 北海道の気候変化 第2版, 2017.3 <http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/kikou/kikohenka/ver2/report.pdf>

- 気象庁気象研究所が開発した全球大気モデル(MRI-AGCM3.2S、水平解像度20km)に境界条件として海面水温・海水被覆データを与え、現在気候(1980～1999年)及び将来気候(2076～2095年)の計算を行った上で、それらの結果を境界条件として、日本周辺を対象とした地域気候モデル(NHRCM05)による計算を実施。
- IPCC第5次評価報告書のRCP8.5シナリオ(4つの想定シナリオのうち、気温の上昇や大雨の頻度の増加が最も大きい)を基に、4種類の海面水温(SST)変化パターンに対して、MRI-AGCM3.2S及びNHRCM05による計算を行い、不確実性について定量的な評価を行っているのが特徴である。



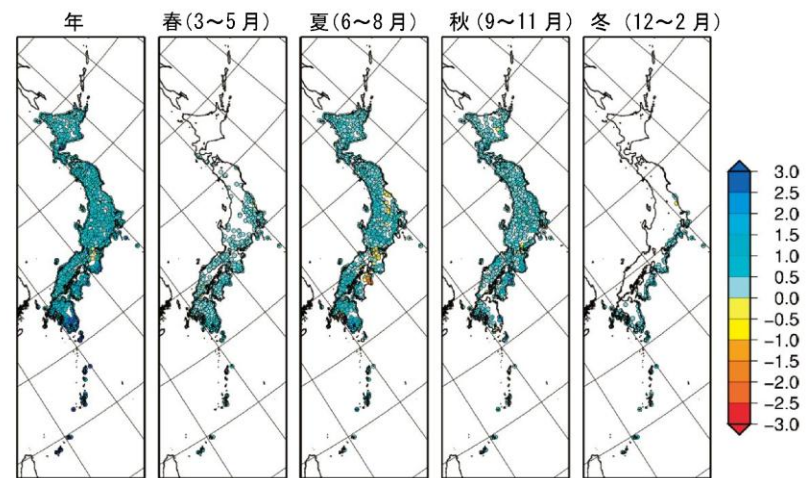
NHRCM05で計算を行った領域
(文部科学省研究開発局 2014より引用)

SST分布の異なる4パターン(将来予測)

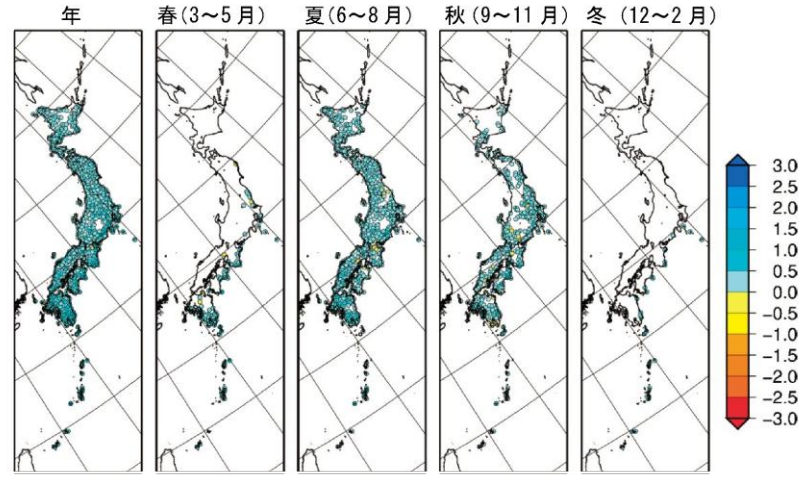
SSTパターン	規格
Total	熱帯太平洋中～東部での昇温が大きく、エルニーニョ的な変化を示す。
Cluster1	熱帯太平洋中～東部での昇温が小さく、南半球間のコントラストも小さい。
Cluster2	Totalよりもさらにエルニーニョ的な変化を示す。
Cluster3	熱帯太平洋中～東部での昇温が小さく、南半球間のコントラストが大きい。

※出典:Mizuta et al.(2014)

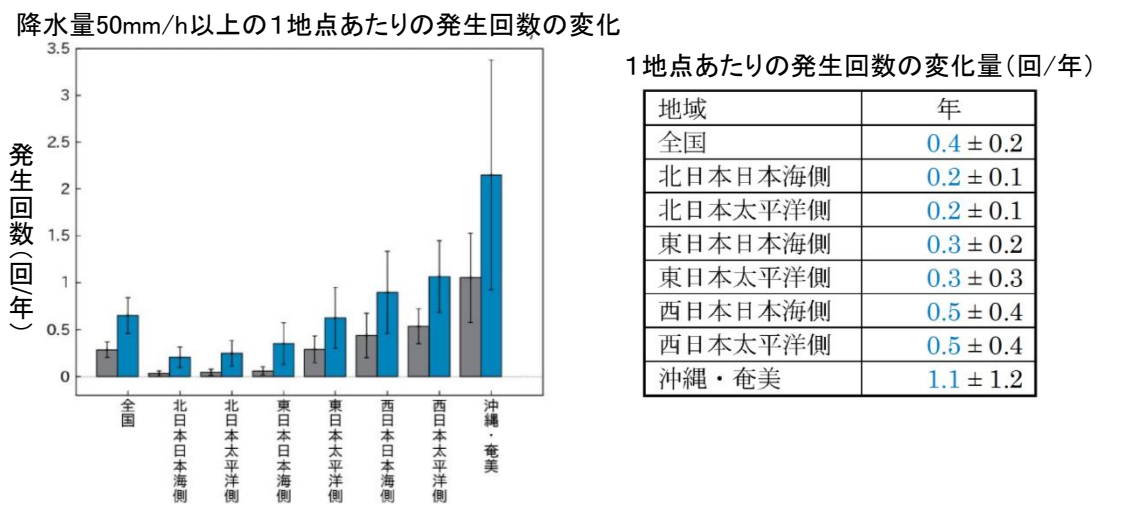
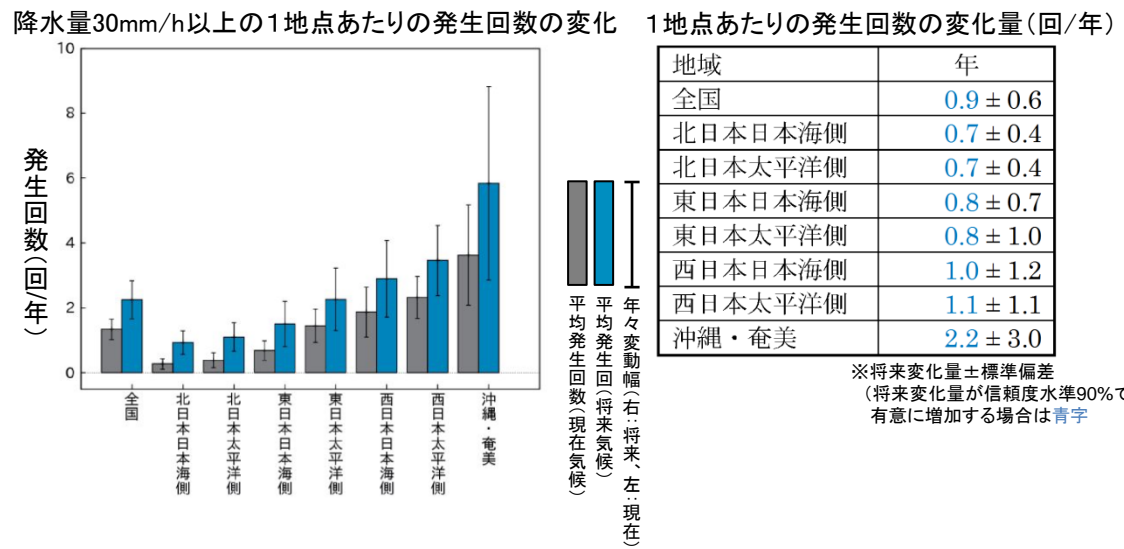
■ 将来気候の短時間降雨(降水量30mm/h以上、50mm/h以上の短時間強雨)の発生頻度は、ほぼすべての地域及び季節で増加し、このうち、滝のように降る雨(50mm/h以上の短時間強雨)の年間発生回数は全国平均で2倍以上となる。



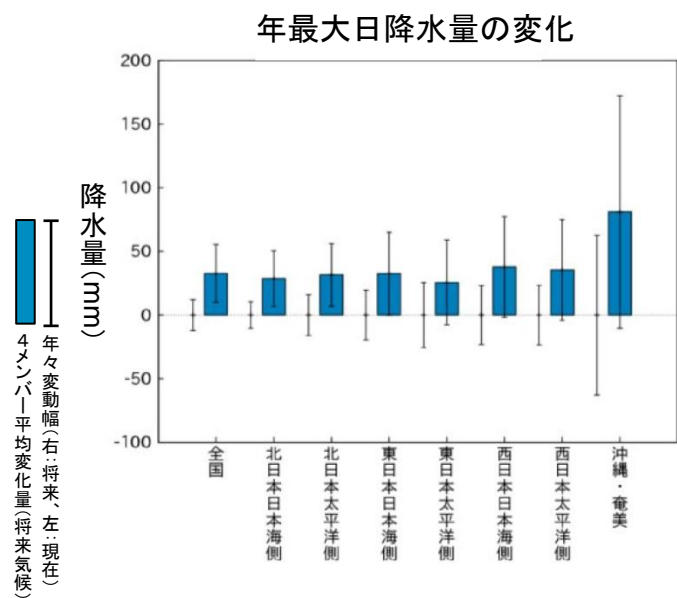
降水量30mm/h以上の発生回数の予測(単位:回)
※将来気候と現在気候との差。変化傾向が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示(現在気候及び将来気候ともに数値が0の場合は表示対象外)



降水量50mm/h以上の発生回数の予測(単位:回)

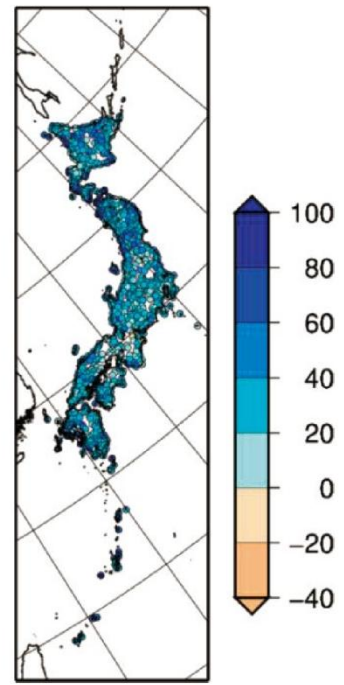


- 将来気候の年最大日降水量(1年間で最も多い日降水量)は全国的に増加し、ほとんどの地域で将来変化量が現在気候の年々変動幅より大きいことから、将来気候では、現在ではほとんど観測されないような年最大降水量が毎年のように出現する。
- 降水量予測に大きく影響する台風などの顕著現象は、気温等にくらべて空間代表性が小さく(狭い地域で集中的に雨が降る等)、また発生頻度が稀であるため、解析に利用できる標本の数に限られ、確からしい系統的な変化の検出が難しくなる場合があるが、降水量については広域的に平均や積算した傾向として把握することで問題を低減できる。
- 年最大日降水量や確率降水量の将来予測の評価は、将来予測のデータ数が多いほど統計的な信頼性が増す。



地域	年
全国	32.8 ± 22.8
北日本日本海側	28.7 ± 21.8
北日本太平洋側	31.6 ± 24.6
東日本日本海側	32.5 ± 32.6
東日本太平洋側	25.6 ± 33.3
西日本日本海側	37.9 ± 39.5
西日本太平洋側	35.6 ± 39.5
沖縄・奄美	81.0 ± 91.4

※将来変化量±標準偏差
(将来変化量が信頼度水準90%で有意に増加する場合は青字)



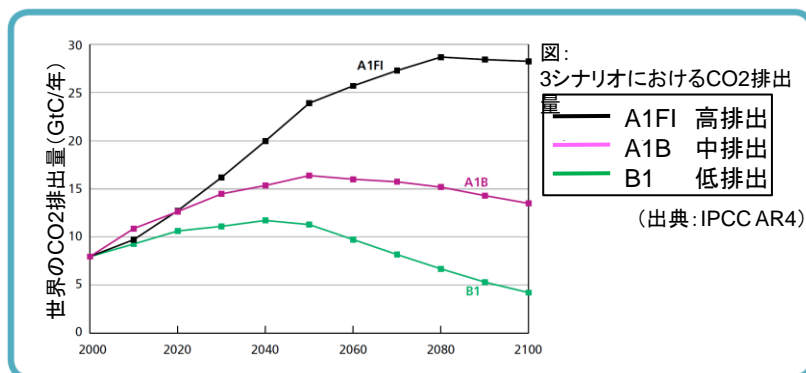
現在気候に対する変化率(単位:%)

※現在気候に対する変化率で示す。変化傾向が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示(現在気候及び将来気候ともに数値が0の場合は表示対象外)

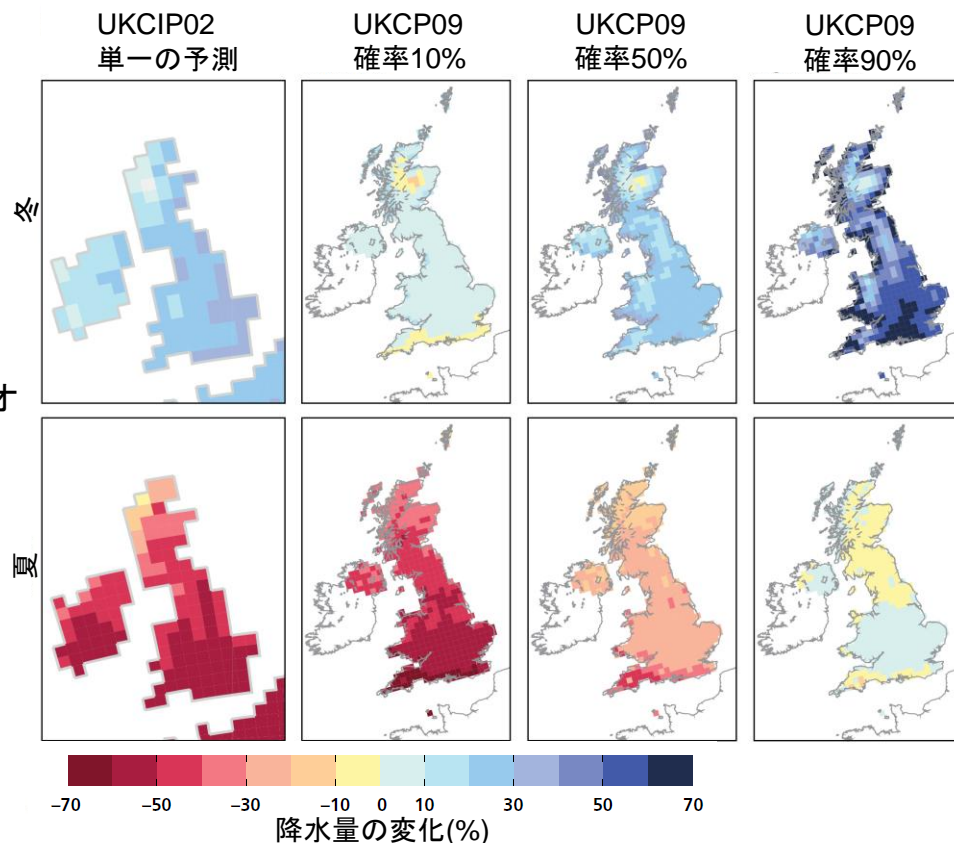
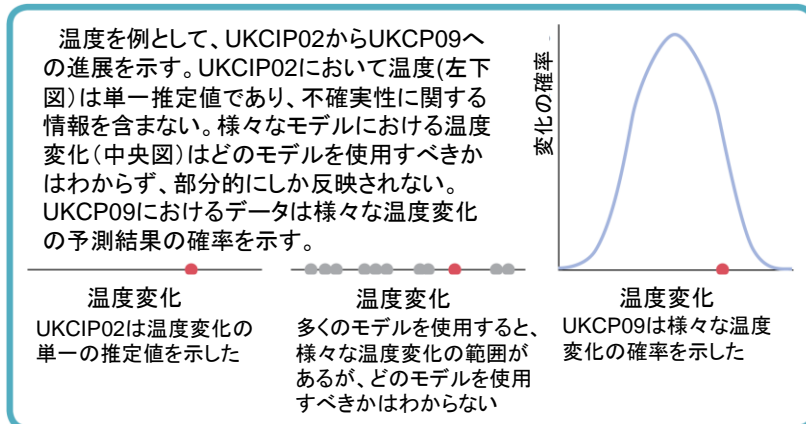
諸外国の気候変動予測

諸外国の気候変動予測①（イギリスの事例）

- 英 気象庁ハドレーセンター（Met Office Hadley Centre）はニューカッスル大らと連携して、IPCC第4次報告書の排出シナリオのうち、A1FI（高排出）、A1B（中排出）、B1（低排出）の3シナリオに基づいて気候変動シミュレーションを実施した。
- 予測結果をUKCP09（UK Climate Projections：英国気候変動予測）としてとりまとめ、予測に関わるデータを無償配布。（現在、後継となるUKCP18を IPCC第5次報告書に基づいて実施中）
- 予測に関わる不確実性（大気-海洋間相互作用や予測モデルに起因）を考慮し、確率論的予測を行っている。
- 予測の上限値（90%）、中央値、下限値（10%）を設定したほか、物理的に起き得る極端事象としてH++シナリオを設定。
- シミュレーションのメッシュサイズは25km。統計的ダウンスケーリングによる5kmメッシュのデータも提供している。



UKCP09において前提としたIPCC第4次報告書の排出シナリオ



UKCP09における確率論的予測のイメージ

UKCP09における降水量変化の予測（過去の予測、下限、中央、上限の比較）

出典：Newcastle University, University of East Anglia, UK Climate Projections : Briefing Report, 2010, Met Office

<http://ukclimateprojections.metoffice.gov.uk/media.jsp?mediaid=87868&filetype=pdf>

諸外国の気候変動予測②（イギリスの事例）

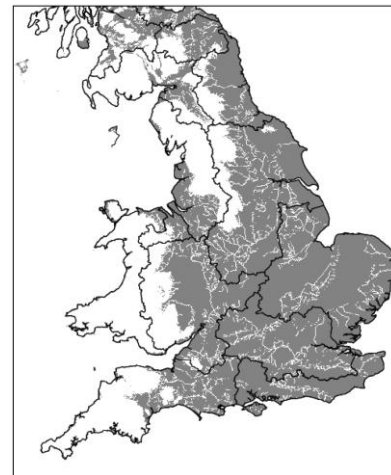
- 英 環境庁 (Environment Agency) は、2011年に「Adapting to Climate Change : Advice for Flood and Coastal Erosion Risk Management Authorities」（気候変動への適応：洪水および沿岸侵食リスク管理当局への助言）を発表。
- 気候変動予測UKCP09の予測結果に基づき、将来の年代別に流域・地域毎の洪水流量、海面水位等の変化量を示した。
- H++シナリオとして、物理的にもっともらしい範囲内で最大級の海面上昇と河川洪水流量増加を推定している。

各河川流域のピーク洪水流量の増加率予測（1961-90基準）

気候変動予測 (パーセンタイル)	2020年代 総ポテンシャル変化 (2015～2039年)	2050年代 総ポテンシャル変化 (2040～2069年)	2080年代 総ポテンシャル変化 (2070～2115年)
Northumbria			
Upper (90 th)	20%	30%	50%
Higher Central (70 th)	15%	20%	25%
Central (50 th)	10%	15%	20%
Lower (10 th)	5%	5%	10%
Humber			
Upper (90 th)	20%	30%	50%
Higher Central (70 th)	15%	20%	30%
Central (50 th)	10%	15%	20%
Lower (10 th)	5%	5%	10%
Anglian			
Upper (90 th)	25%	35%	65%
Higher Central (70 th)	15%	20%	35%
Central (50 th)	10%	15%	25%
Lower (10 th)	0%	0%	5%
SE England			
Upper (90 th)	25%	50%	105%
Higher Central (70 th)	15%	30%	45%
Central (50 th)	10%	20%	35%
Lower (10 th)	-5%	0%	5%
Thames			
Upper (90 th)	25%	35%	70%
Higher Central (70 th)	15%	25%	35%
Central (50 th)	10%	15%	25%
Lower (10 th)	-5%	0%	5%
SW England			
Upper (90 th)	25%	40%	85%
Higher Central (70 th)	20%	30%	40%
Central (50 th)	10%	20%	30%
Lower (10 th)	5%	5%	10%
Severn			

H++シナリオにおける各河川流域の洪水流出量の増加率予測

	2020年代 総ポテンシャル変化 (2015～2039年)	2050年代 総ポテンシャル変化 (2040～2069年)	2080年代 総ポテンシャル変化 (2070～2115年)
Northumbria	20%	35%	65%
Humber	20%	35%	65%
Anglian	25%	40%	80%
Thames	25%	40%	80%
SE England	30%	60%	120%
SW England	25%	50%	105%
Severn	25%	45%	90%
Dee	20%	30%	60%
NW England	25%	45%	95%
Solway	25%	45%	95%
Tweed	20%	35%	75%

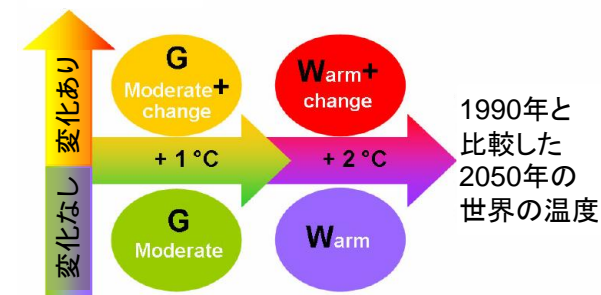


H++シナリオの影響が生じ得る範囲（灰色）

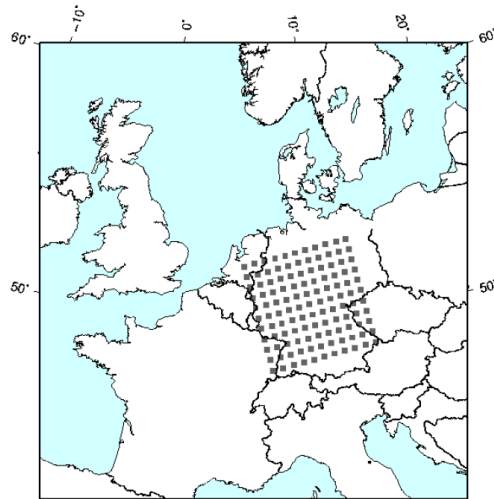
諸外国の気候変動予測③（オランダの事例）

- オランダ王立気象研究所は、IPCC第4次報告書に基づき 独自の4シナリオ（G、G+、W、W+）を想定した気候変動予測を実施。オランダ気象庁（The Royal Netherlands Meteorological Institute）は予測結果をとりまとめ、KNMI' 06を策定した。（2014年に後継となるKNMI' 14 をIPCC第5次報告書に基づいて策定し、4シナリオG_L、G_H、W_L、W_Hとして更新。）

大気循環



KNMI '06 の4つの気候シナリオの概略図



ダウンスケーリングに使用されるRCM格子点
11 × 11 の空間分布。500 × 500km、50kmメッシュ

KNMI' 06における 2050年の気候変動シナリオ（1990年比）

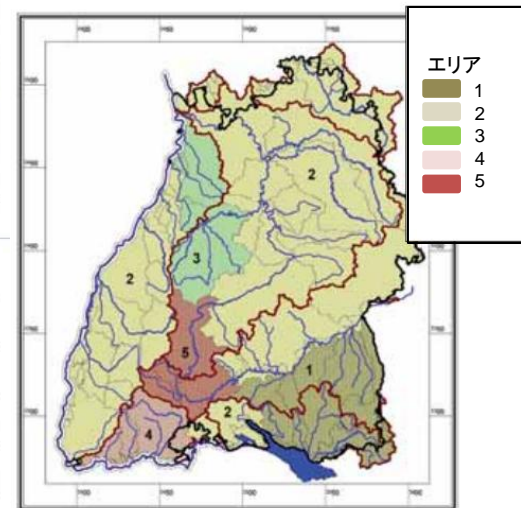
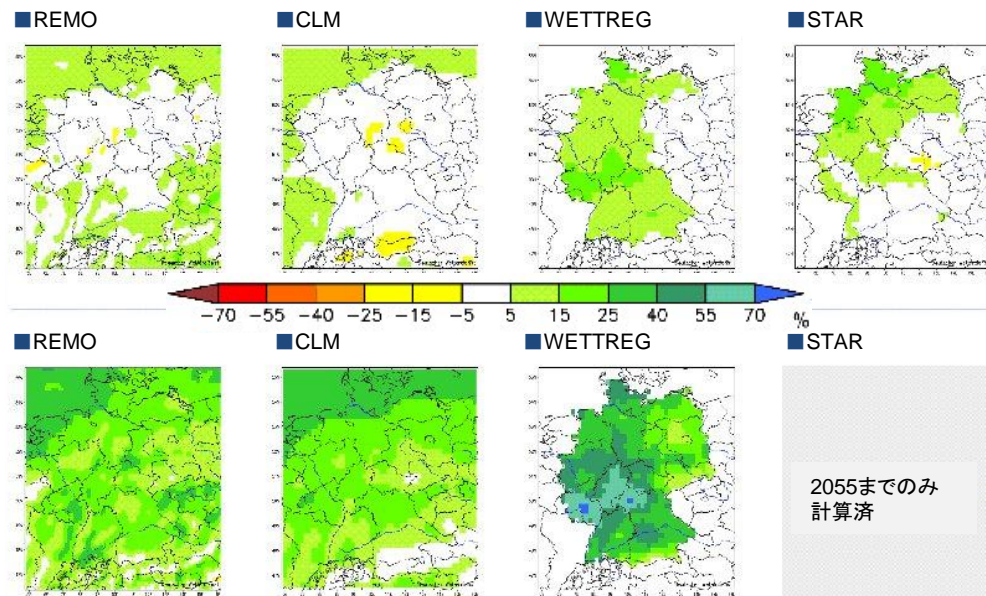
変数	G	G+	W	W+
夏季の値				
平均温度 (K)	+0.9	+1.4	+1.7	+2.8
最も暖かい日 (K)	+1.0	+1.9	+2.1	+3.8
平均降水量 (%)	+2.8	-9.5	+5.5	-19.0
降雨日の頻度 (%)	-1.6	-9.6	-3.3	-19.3
降雨日の降水 (%)	+4.6	+0.1	+9.1	+0.3
1/10年確率の日降水量(%)	+13	+5	+27	+10
降水の蒸発 (%)	+3.4	+7.6	+6.8	+15.2
冬季の値				
平均温度 (K)	+0.9	+1.1	+1.8	+2.3
最も寒い日 (K)	+1.0	+1.5	+2.1	+2.9
平均降水量 (%)	+3.6	+7.0	+7.3	+14.2
降雨日の頻度 (%)	+0.1	+0.9	+0.2	+1.9
降雨日の降水 (%)	+3.6	+6.0	+7.1	+12.1
1/10年確率の日降水量(%)	+4	+6	+8	+12
年間最大平均日風速(%)	0	+2	-1	+4

海面の感受性（気候変動に対して） 年（1990年からの全球温度変化）	低いシナリオ		高いシナリオ	
	2050 (+1 °C)	2100 (+2 °C)	2050 (+2 °C)	2100 (+4 °C)
低い	15	35	20	40
高い	25	60	35	85

（単位：cm）

諸外国の気候変動予測④（ドイツの事例）

- ドイツの洪水対策は地方（州）が主体であり、気候変動適応策は州毎に検討・実施されている。各州では、一般的に100年確率洪水流量を対象として、将来の流量の割り増しを検討し、洪水防御施設等を計画している。
- IPCC第4次報告書のSRESシナリオに基づき、A1B、A2、B1、B2シナリオのいずれかを各州で採用し、影響予測を実施。
- 全球気候モデルは、独マックスプランク研究所(MPI)モデルECHAM5を用い、ダウンスケーリングは複数の力学的・統計的モデルを用いて10kmメッシュで実施している。
- バーデン=ヴュルテンベルグ州においては、カールスルーエ大学の予測に基づき、気候変動による洪水流量の増加を地域毎・生起確率毎に定めた。
- バイエルン州においては、100年確率の流量に一律15%加算した流量を採用している。



		気候変動係数F(T, K)				
T(年)		1	2	3	4	5
2		1,25	1,50	1,75	1,50	1,75
5		1,24	1,45	1,65	1,45	1,67
10		1,23	1,40	1,55	1,43	1,60
20		1,21	1,33	1,42	1,40	1,50
50		1,18	1,23	1,25	1,31	1,35
100		1,15	1,15	1,15	1,25	1,25
200		1,12	1,08	1,07	1,18	1,15
500		1,06	1,03	1,00	1,08	1,05
1000		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

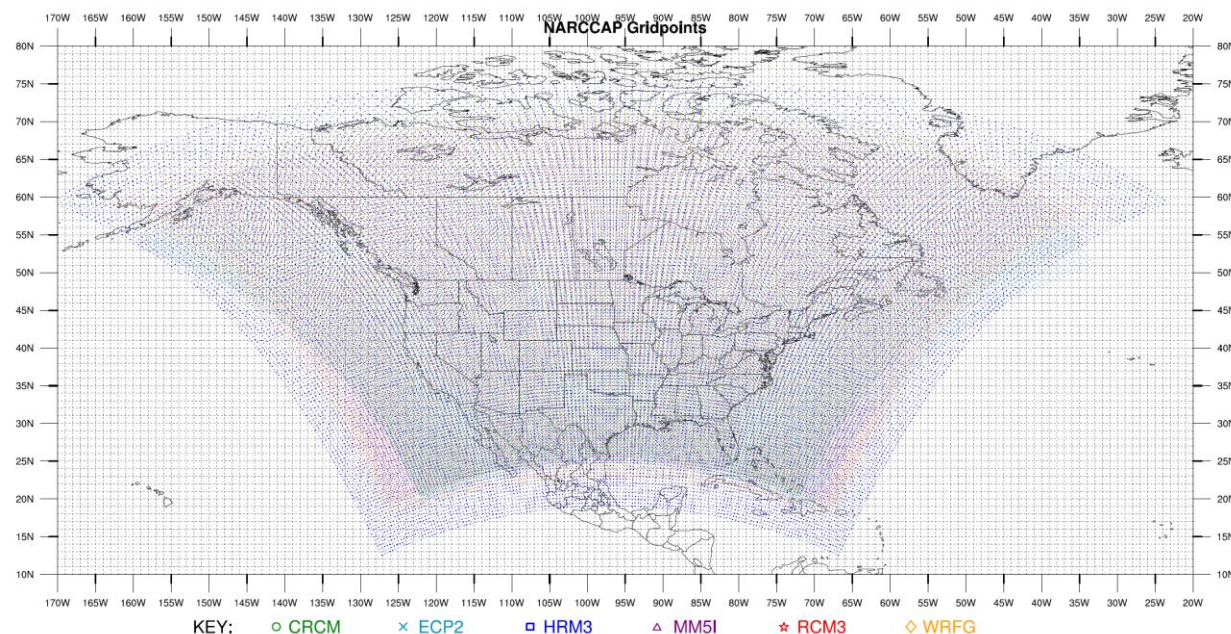
Bemerkung: Für Jährlichkeiten T>1000 a ist der Faktor gleich 1,0

複数の地域気候モデルによる平均冬雨降水量の相対的变化
(上:2021-2050、下:2071-2100、A1B排出シナリオ、1961-1990年基準)

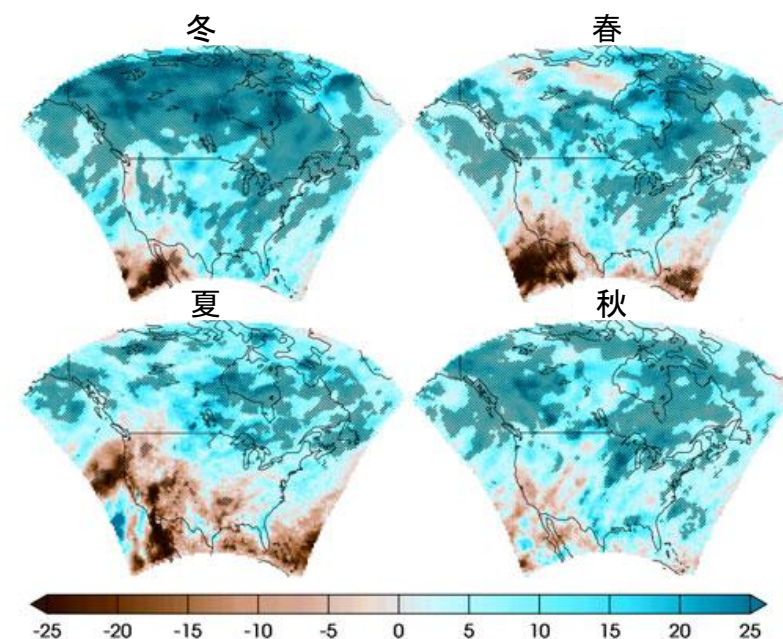
バーデン=ヴュルテンベルグ州における気候変動予測と気候変動係数
出典: Climate Change in Southern Germany Extent – Impact – Adaptation

諸外国の気候変動予測⑤（アメリカの事例）

- アメリカでは、北米地域気候変動評価プログラム(NARCCAP カナダとの国際プログラム)において、国立大気研究センター(NCAR)や複数の大学・研究所が共同して、IPCC第4次報告書のSRES A2シナリオに基づき、複数の気候モデルを用いて気候変動予測を行った。
- 全球気候モデルのメッシュサイズは50km、複数の地域気候モデルを用いて数十kmメッシュ(モデル毎に設定)にダウンスケーリングを実施。
- 季節毎の最大日降水量の変化率を示したほか、予測結果の詳細をNARCCAPのHP上で公表している。
(NARCCAP HP: <http://www.narccap.ucar.edu/index.html>)



複数の地域気候モデルにおける格子点配置



将来(2038-2070)の季節別最大日降水量のパーセント変化率
(1968-1999からの変化率について複数アンサンブル平均)

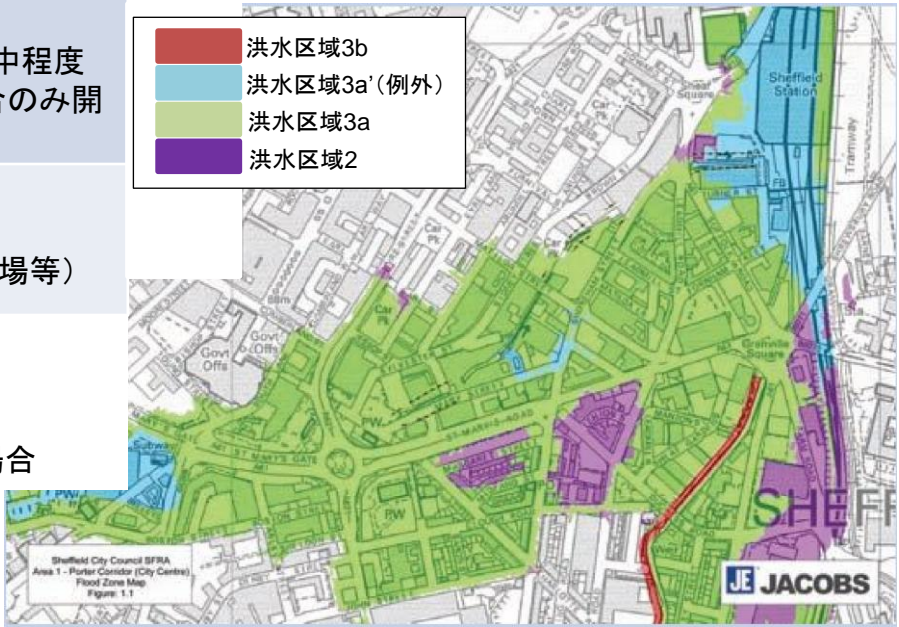
諸外国の洪水リスクとソフト対策①(イギリスの事例)

- 英国は「計画政策書第25号：開発と洪水リスク」（2006年、2010年改定）、後継指針「全国計画政策枠組みの技術指針」（2012年）により洪水リスクの高低に応じた土地開発誘導手法を規定した。
- 洪水区域を設定し土地利用に制約をつけているが、将来の気候変動は考慮できていない。

洪水区域の定義

洪水区域	年超過確率	洪水可能性	土地利用
1	1/1000未満	低	全ての土地利用で開発可能
2	1/100～1/1000	中	緊急対応施設や警察署、消防署等の脆弱性が高い施設は例外テスト※1を通過した場合のみ開発可能
3a	1/100以上	高	脆弱性が高い施設は開発不可 病院、居住型施設などの脆弱性が中程度の施設は例外テストを通過した場合のみ開発可能
3b	1/20以上	機能上の氾濫原	その場所にならなくてはならない インフラ施設等 (洪水制御施設や送水施設・ポンプ場等)

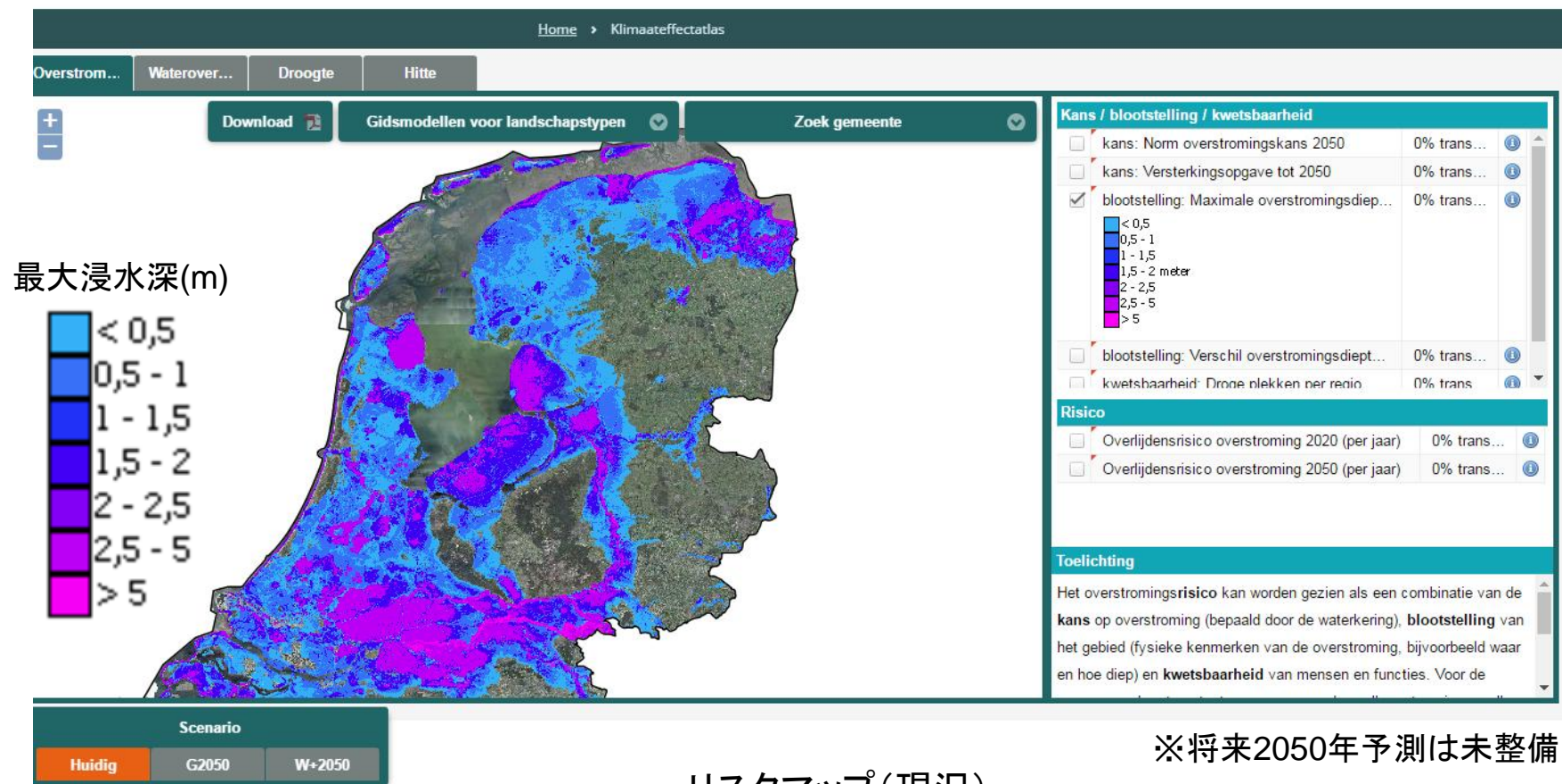
- ※ 脆弱性の高い(脆弱な)ほどリスクの小さい場所に立地すべきとされる。
- ※ 個別の案件ごとに審査を行う。
- ※1 例外テスト: 開発の洪水リスクを上回る便益を得られる場合、開発のための代替場所がない場合、開発が安全であり、他の場所のリスクを増加させない場合



洪水危険地図

諸外国の洪水リスクとソフト対策②(オランダの事例)

- オランダのデルタプログラムでは、2050年における将来の複数シナリオ（G, W+）が考慮されており、2010年以降、毎年更新。デルタプログラムにおいて、3つのタスクを洪水管理、水利用、耐候性設計と定め、国が主導的に推進。
- 同プログラムでは、洪水対策においては危機管理・被害軽減・予防策の3つのレベルで重層的防御の考え方を導入し、洪水・冠水、干ばつ、熱（ヒートアイランドなど）におけるの知識と情報の共有を図るツール（ナレッジポータル）を提供し、リスクマップを公表している。



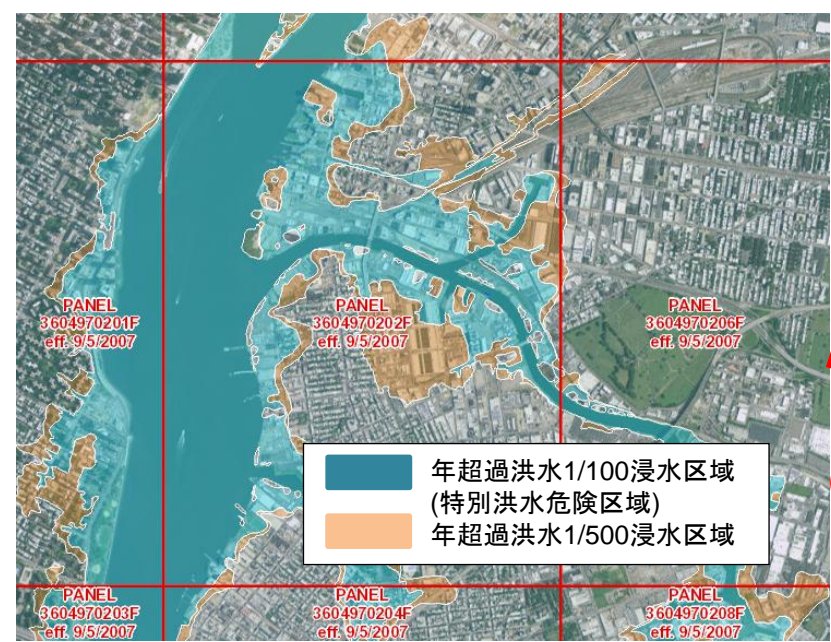
リスクマップ(現況)

※出典: The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2017: Work on the delta,2017
<https://deltaprogramma2017.deltacommissaris.nl/viewer/publication/1/1-delta-programme-#>

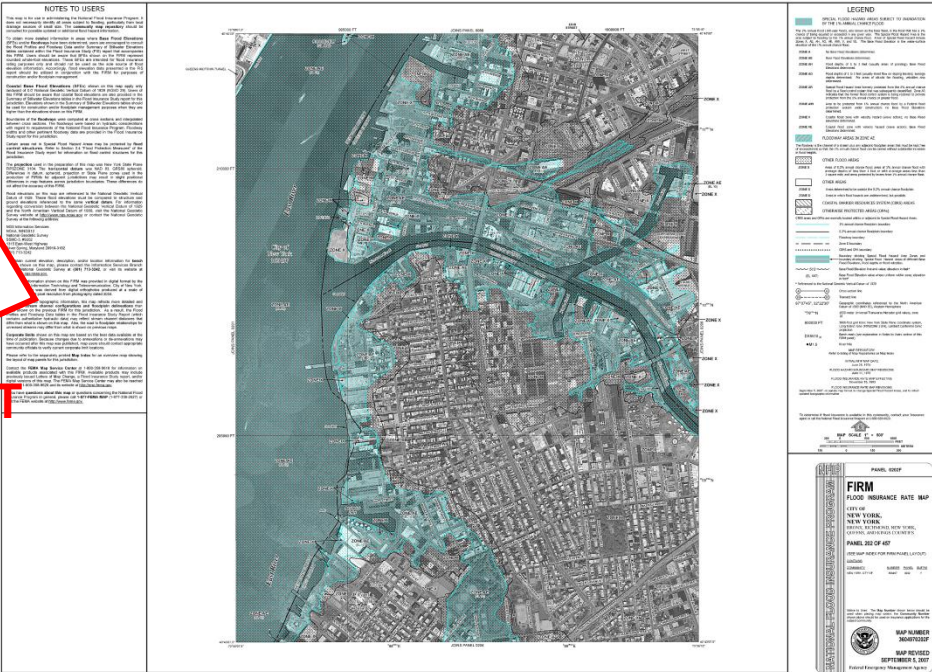
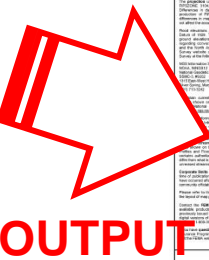
※出典: The Ministry of infrastructure and the Environment,Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie :Klimaat-effectatlas,<http://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>

諸外国の洪水リスクとソフト対策③(アメリカの事例)

- アメリカでは、1977年に洪水リスクを勘案した土地・建物規制が制定された。年超過確率1/500の洪水による氾濫域において重要施設の建設に連邦予算が投じられる場合には、担当連邦機関は代替案の検討や被害想定を行い、被害を最小化することを義務付け。
- 年超過確率1/100の洪水により浸水する区域(特別洪水危険区域)においては、洪水保険への加入が義務付けられている。FEMA(連邦危機管理庁)が洪水危険地図や洪水保険料率地図をweb上で提供。
- 2015年には、上記の規制に気候変動の影響を加える大統領令が制定され、洪水位・洪水危険地域決定の3つの手法(①気候変動における影響評価を含んだ科学的手法、②余裕高手法、③500年確率手法)を定義している。



洪水危険地図



洪水保険料率地図(FIRM)

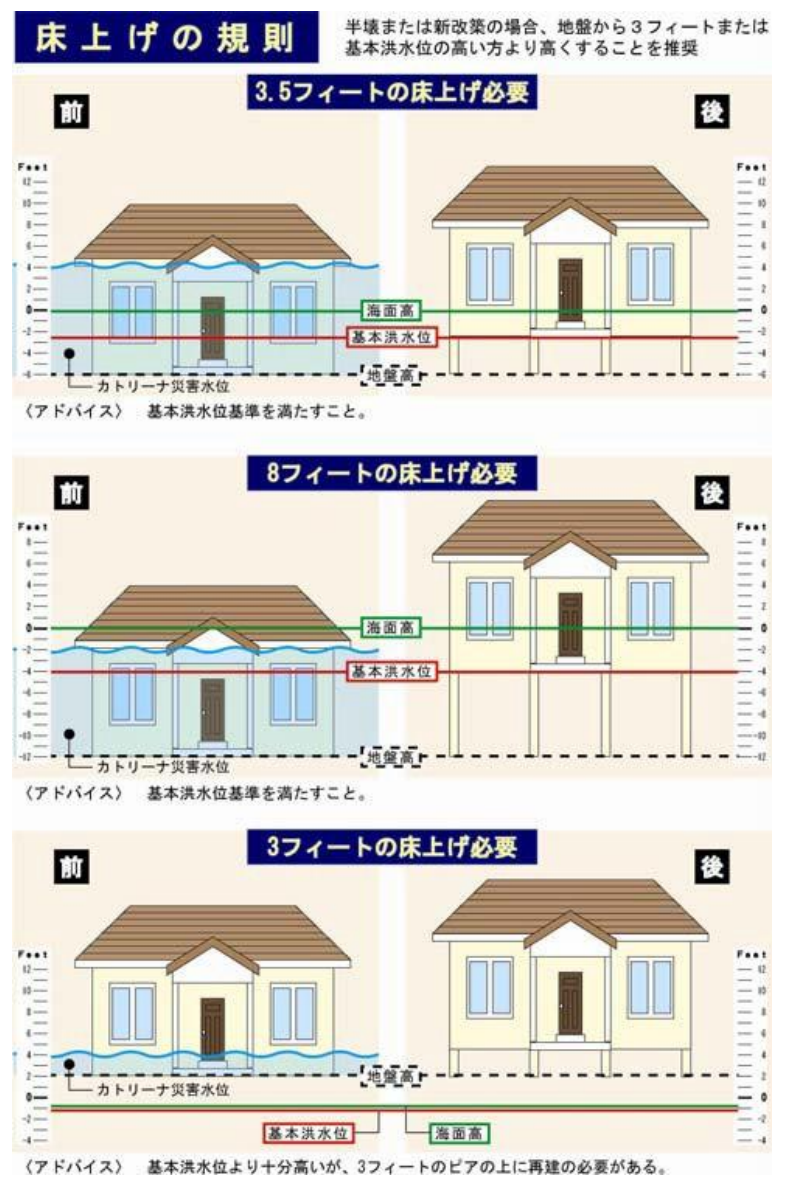
※出典:FEMA:Flood Map Service Center, FEMA's National Flood Hazard Layer (Official),
<https://fema.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=cbe088e7c8704464aa0fc34eb99e7f30>

諸外国の洪水リスクとソフト対策④(アメリカの事例)

- アメリカの建築基準は、FEMAが定義する洪水危険区域内^{注1)}では、氾濫水位に相当する基本洪水位^{注2)}以上の高さに設計洪水位^{注3)}を定め、床高を設計洪水位以上にすることを規定^{1) P300, 2) P37}。
- 設計洪水位は国家洪水保険への加入に合わせて地域ごとに定める³⁾。
- ニューオーリンズ市の洪水危険区域内の設計洪水位は、基本洪水位と宅地面から3フィートの高さのいずれか高い方に設定。また、洪水危険区域外の住宅についても、宅地面から3フィート以上の床高が必要^{4) P9}。
- FEMAは、洪水の危険性が高い地域の保険加入者に対し、嵩上げ費用等が家屋価格の50%以上の場合に最高3万ドルまで補助⁵⁾。

ニューオーリンズ市における床上げ高さの規則⁶⁾→

注1: 100年に1度の生起頻度の洪水により浸水する区域
注2: BFE: Base Flood Elevation
注3: DFE: Design Flood Elevation
1) International Building Codes 2006, International Code Council
2) Flood Resistant Design and Construction, ASCE Standard
3) Christopher P. Jones, PE (2006), Flood Resistance of the Building Envelope (http://www.wbdg.org/design/env_flood.php)
4) Lambert Advisory. Bermello, Ajamil & Partners Inc. Hewitt- Washington (2006): Reconstruction Implications (<http://www.nocitycouncil.com/advisoryBaseFloodElevation.pdf>)
4) FEMA(2006): Increased Cost of Compliance Coverage (<http://www.fema.gov/business/nfip/icc.shtm>)
6) New OrleansNet LLC: Raising Rules (http://www.nola.com/katrina/pdf/raising_rules.pdf)



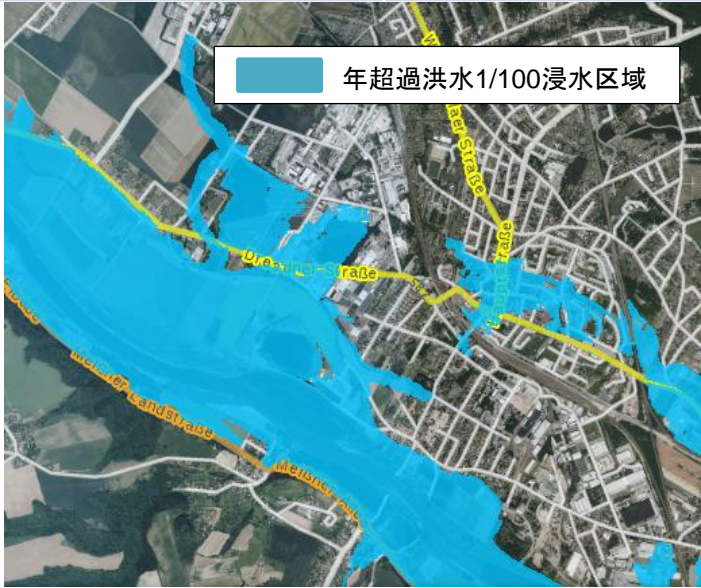
(出典: 第3回大規模水害対策に関する専門調査会)

諸外国の洪水リスクとソフト対策④(ドイツの事例)

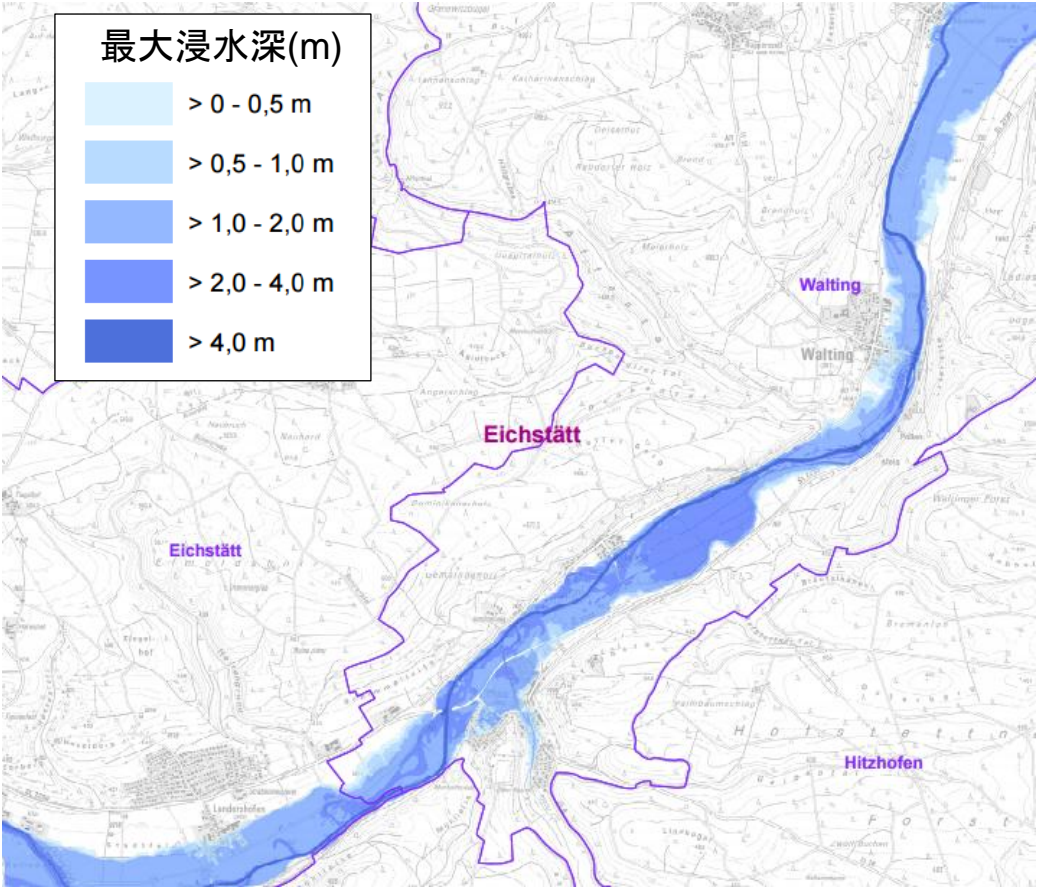
- ドイツでは、水管理法(Wasserhaushaltsgesetz)により、1/100超過確率洪水のハザードマップ作成を義務付け。異常洪水に関しては、各州で定義している。

各州のハザードマップ年超過確率

州	年超過確率
ザクセン州(エルベ川流域)	1/100 , 1/300
バイエルン州(ドナウ川流域)	1/100 , 1/100の1.5倍
ノルトライン・ヴェストファーレン州(ライン川流域)	1/100,1/1000



ザクセン州のハザードマップ(1/100)



バイエルン州のハザードマップ(1/100)

※出典: ザクセン州政府: Sachsen.de , <http://geoportal.sachsen.de/cps/index.html?lang=de&map=edfc73b0-c001-4ed8-ad34-cd66fc2927b6>
バイエルン州環境省: Bayerisches Landesamt für Umwelt , https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_risikomanagement_umsetzung/karten_download/index.htm

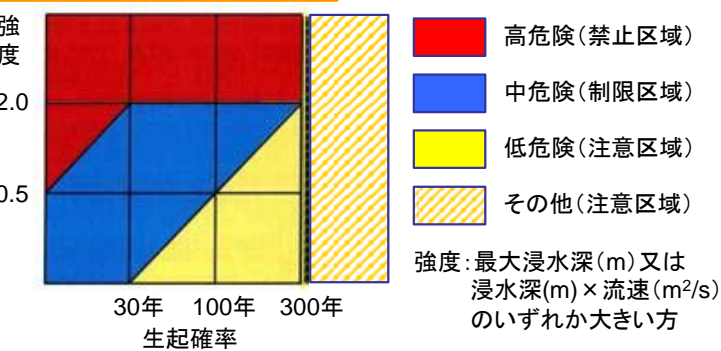
諸外国の洪水リスクとソフト対策⑤(スイスの事例)

- スイスのハザードマップは、危険の程度に応じて3色(赤、青、黄)に分類。さらに、大規模な災害により影響^{注1)}が生じる地域を記載。
- 色分けは災害の強度(最大浸水深、浸水深×流速)と生起確率を指標として分類。ハザードマップは、連邦政府の勧告に従い、地方政府の土地利用計画に反映。
- この方式(Swiss system)は、ドイツ・ザクセン州、ニカラグア、エクアドル、チェコでも採用。

スイスの洪水ハザードマップの事例



危険度の凡例



高危険区域	建物の新築禁止。既存建築物の利用は可能。 (室内においても生命の危険がある)
中危険区域	建物を新築する場合には、自然の作用に対して十分な強度を持つこと。詳細は自治体の建築基準に規程
低危険区域	生命に関する建築物、学校など人が集中する建築物は、自然の作用力に対して十分な強度を持つこと。
その他	土地利用の規制なし。上水道施設、学校、病院など重要施設については、災害が発生した場合の施設の安全性確保や危機管理計画における対応策の整備に努力する。

注1: 標準的な設計の外力を上回るなど (出典: 第4回大規模水害対策に関する専門調査会)

National Plattform Naturgefahren, Hazard Maps Instruments
The Swiss System And its Application Aboard

IPCC報告書	気候変動予測	将来リスクの想定
★検討のポイント★	★予測手法(将来シナリオの設定)★	★予測計算★
★将来リスクの評価★	★予測計算★	
諸外国の検討事例：イギリス(英)、オランダ(蘭)、アメリカ(米)、ドイツ(独)		① 全球気候モデル② ダウンスケーリング手法 ③ メッシュサイズ ④ アンサンブル数
2007年 第4次評価報告書 (AR4) ・SRESシナリオ(6つ) (A1FI,A2,A1B,B2,A1T,B1) ・人口、経済成長、技術などを想定	【英】 ・AR4の3シナリオ(A1FI, A1B, B1) ※物理的に起こり得る最大限のH++シナリオ(A1FIシナリオ以上)も検討 【蘭】 ・AR4の4シナリオ(A2,A1,B2,B1)に基づき、 独自に4シナリオ(W,W+,G,G+) ※Gは2080年に1.5℃上昇、 Wは3.5℃上昇、+は大気循環 ※現在AR5のシナリオで検討中	【英】 ① 複数モデル ② 力学的・統計的ダウンスケーリング ③ 5kmメッシュ ④ 11アンサンブル※摂動は考慮せず 【蘭】 ① 複数モデル ② 力学的ダウンスケーリング ③ 50kmメッシュ ④ 8アンサンブル
2014年 第5次評価報告書 (AR5) ・RCPシナリオ(4つ) (RCP8.5, 6.0, 4.5, 2.6) ・温室効果ガスの代表的濃度経路を仮定	【米】AR4のA2シナリオ 【独】AR4のA1Bシナリオ	【米】 ① 複数モデル ② 力学的・統計的ダウンスケーリング ③ 数十kmメッシュ④ 9アンサンブル 【独】 ① ECHARM5 ② 複数の力学的・統計的ダウンスケーリング ③ 10kmメッシュ ④ 4アンサンブル
諸外国の検討方法	○AR4で複数シナリオで検討 ※一部AR5で検討	○複数のモデルで比較検証しているが、アンサンブル数は少ない
本委員会の検討方法(案)	○AR5のRCP8.5に相当するd4PDF (文科省・気象庁等)で予測 リスク評価のために最悪の場合を想定	○変動幅を持つ将来予想において 最悪の場合も想定してリスク表示 ※被害想定等

北海道地方における気候変動予測の考え方

気候変動後の降雨予測の必要性

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

【観測事実と温暖化の要因】

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

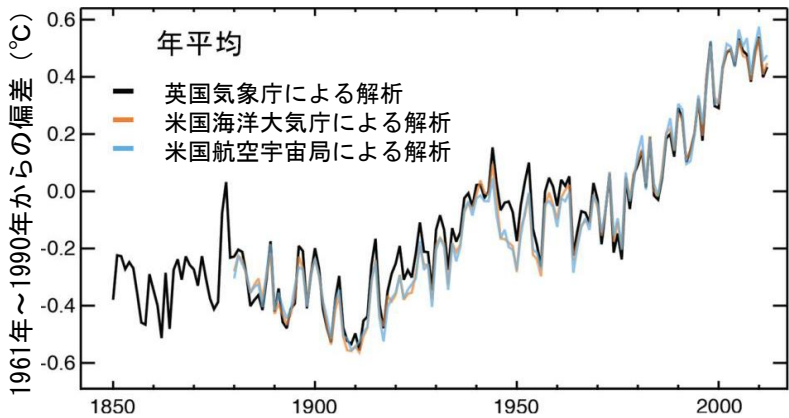
【予測結果】

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

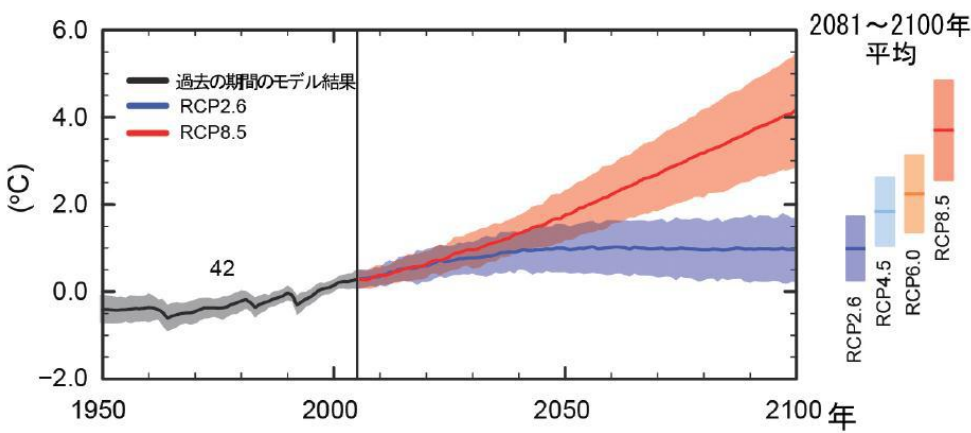
『地球温暖化予測情報 第9巻』(気象庁)より

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

世界の地上気温の経年変化



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



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

■ 北海道地方を対象とした、気候変動予測を実施するにあたり、以下の項目についての検討及び確認が必要となる。

1. 気候変動シナリオについて

2. 将来降水量の算出方法について

2－①. 気候変動予測実験データの活用について

2－②. ダウンスケーリングの実施について

－水平解像度(メッシュサイズ)

－計算領域

2－③. 降雨の抽出方法について

1. 気候変動シナリオについて

- 最新のIPCC第5次報告書(AR5)で採用されたRCPシナリオでは、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。
- 防災などの分野においては、地球温暖化による影響が最も大きく現れる場合の情報が不可欠であるため、本検討においてもRCP8.5シナリオに基づいた検討を行う。

<RCPシナリオについて>

- ◆ RCPシナリオ:代表濃度経路シナリオ (Representative Concentration Pathways)
- ◆ IPCC第5次報告書において、気候の予測や影響評価を行うため用いられた。

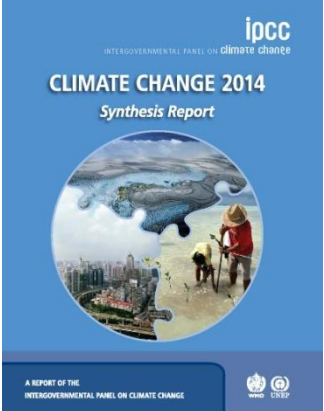
<シナリオの概要>

略称		シナリオ (予測) のタイプ
	RCP 2.6	低位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 2.6W/m ²) 将来の気温上昇を 2℃以下に抑えるという目標のもとに開発された排出量の最も低いシナリオ
	RCP 4.5	中位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 4.5W/m ²)
	RCP 6.0	高位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 6.0W/m ²)
	RCP 8.5	高位参照シナリオ (世紀末の放射強制力 8.5W/m ²) 2100 年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオ

<将来予測>

中程度の確信度

世界平均地上気温	世界平均海面水位
+0.3~1.7℃	+0.26~0.55m
+1.1~2.6℃	+0.32~0.63m
+1.4~3.1℃	+0.33~0.63m
+2.6~4.8℃	+0.45~0.82m



IPCC第5次評価報告書(AR5) Synthesis Report

政策的な緩和策を行わないことを想定し、2100 年以降も放射強制力の上昇が続くシナリオ

放射強制力: 何らかの要因(例えばCO₂濃度の変化、エアロゾル濃度の変化、雲分布の変化等)により地球気候系に変化が起こったときに、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支(放射収支)の変化量(Wm⁻²)。正のときに温暖化の傾向となる。

2-①. 気候変動予測実験データの活用について

- 気候変動予測に使用する実験データの選定にあたり、日本周辺を対象とした主な予測実験の情報を収集した。
- どの予測実験についても、日本周辺での再現性の確認が行われている。
- 本検討では、d4PDFを基にリスク評価を行うこととする。理由は以下の2点あげられる。
 - ・ 最新のIPCC第5次評価報告書(AR5)のRCPシナリオに基づいていること。
 - ・ 大規模アンサンブル実験により、発生頻度の低い極端気象についての統計的な議論が可能となること。

表一 主な気候変動予測実験の概要

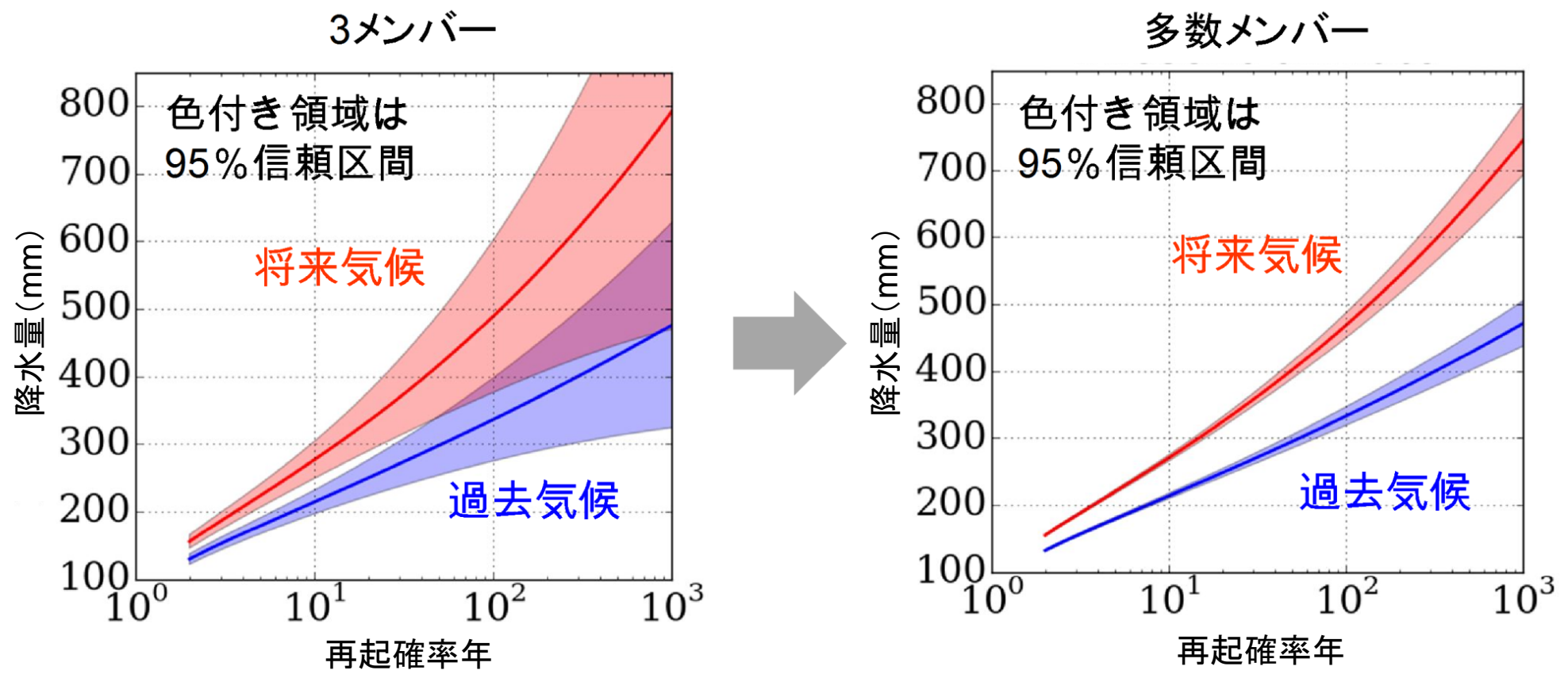
名称	気候変動シナリオ	ダウンスケーリング手法	全球モデル	領域モデル	解像度	メンバ数等	実施機関
『地球温暖化予測情報第7巻』(2008)	SRES A1B/B1	力学的	CGCM	RCM20	20km	20年×2シナリオ ⇒40年分	気象庁
第7巻における予測データに基づき、北海道開発局では石狩川流域における気候変動に適応した治水水対策検討(2010)を実施。							
『地球温暖化予測情報第8巻』(2013)	SRES A1B	力学的	AGCM	NHRCM	5km	20年 ⇒20年分	気象庁
北海道を対象とした力学的ダウンスケーリング計算(2013)	全球平均地上気温2K上昇	力学的	MIROC MPI NCAR	JMA RSM WRF	10km	全球モデル3メンバ×領域モデル3メンバ×10年 ⇒90年分	気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)
全球気候変動予測データ／地域気候変動予測データ(2014)	RCP 2.6/4.5/6.0/8.5	力学的	AGCM	NHRCM	20km	SST(海面水温)3メンバ×積雲対流スキーム3メンバ×20年×4シナリオ ⇒320年分※	環境省 ※一部シナリオは積雲対流スキーム1メンバのみ、また未解析パターンあり
地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)(2015)	RCP8.5	力学的	AGCM	NHRCM	20km	SST(海面水温)6メンバ×摂動15メンバ×60年 ⇒5400年分 大規模アンサンブル実験	文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題
『地球温暖化予測情報第9巻』(2017)	RCP8.5 AR5	力学的	AGCM	NHRCM	5km	SST(海面水温)4メンバ×20年 ⇒80年分	気象庁

SRES (Special Report on Emissions Scenarios) : IPCC第4次評価報告書(AR4)で用いられている温室効果ガス排出シナリオ。
RCP (Representative Concentration Pathway) : IPCC第5次評価報告書(AR5)で用いられている代表濃度経路シナリオ。

2-①. 気候変動予測実験データの活用について-大量アンサンブルのメリット

- 大規模アンサンブルにより、統計的な検討が可能となる。
- 発生頻度の低い極端気象についても、大規模アンサンブル実験により議論が可能となる。

メンバー数の増加によって推定の信頼区間が狭まり、有意な極端降水の評価が可能となる。



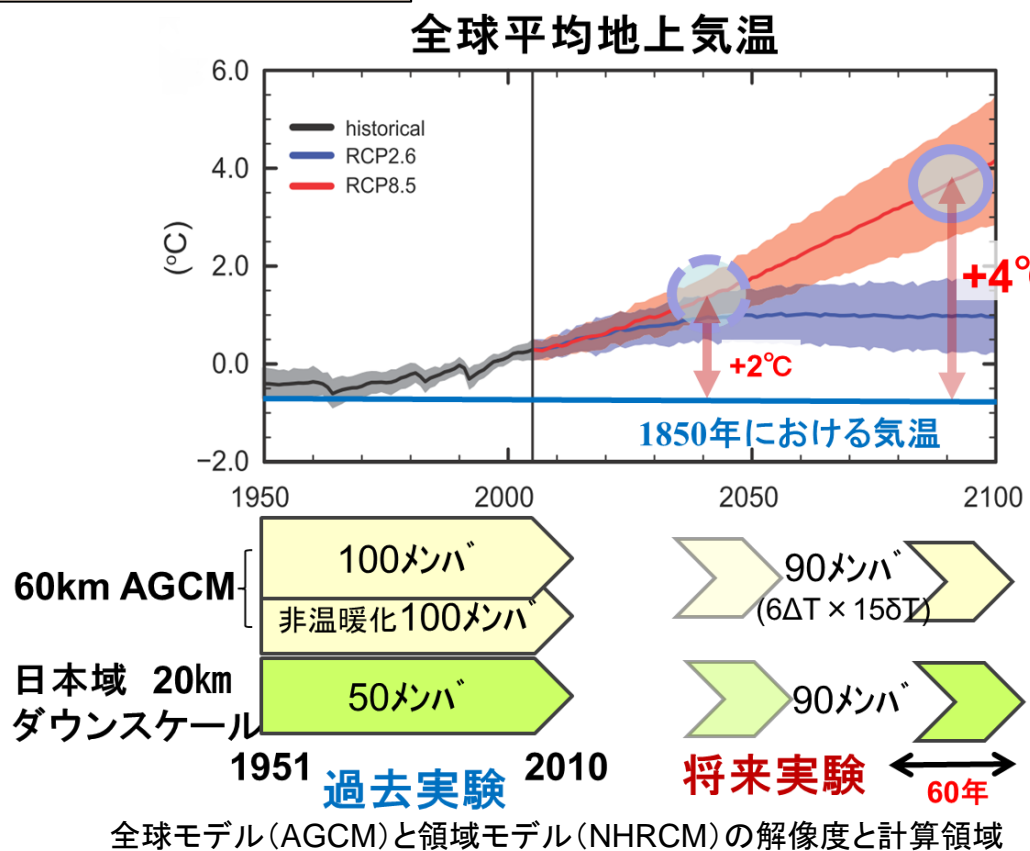
再起確率降水量の評価(東京)
※何年ごとに何mm以上の降水が出現するか

※出典: 村田ら, 多数アンサンブルのダウンスケーリングによる日本の気候の将来予測,
https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/pdf/3_Murata.pdf

2-①. 気候変動予測実験データの活用について-d4PDFについて(1)

- d4PDF は、防災等への研究利用、国・自治体、産業界への影響評価や温暖化対策策定への活用を目的として、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成されたものである。
- 気象庁気象研究所の全球気候モデル(水平解像度60km)と領域気候モデル(日本域20km)を用いた大規模(将来実験90メンバ×60年)な気候変動アンサンブル実験のデータが利用可能である。
- 気候変動予測実験データについては、「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」を活用する。

d4PDFにおける利用可能データ



- ◆d4PDFの利用における限界と注意点
 - ・モデルには系統誤差(バイアス)があり、影響評価等に用いる際には、バイアス補正が必要。
 - ・6種類のSST昇温パターンを用いているが、モデルの不確実性の幅を十分にはカバーできていない。
 - ・モデルの「癖」が強く表れて、偏った予測結果になっている可能性がある。

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

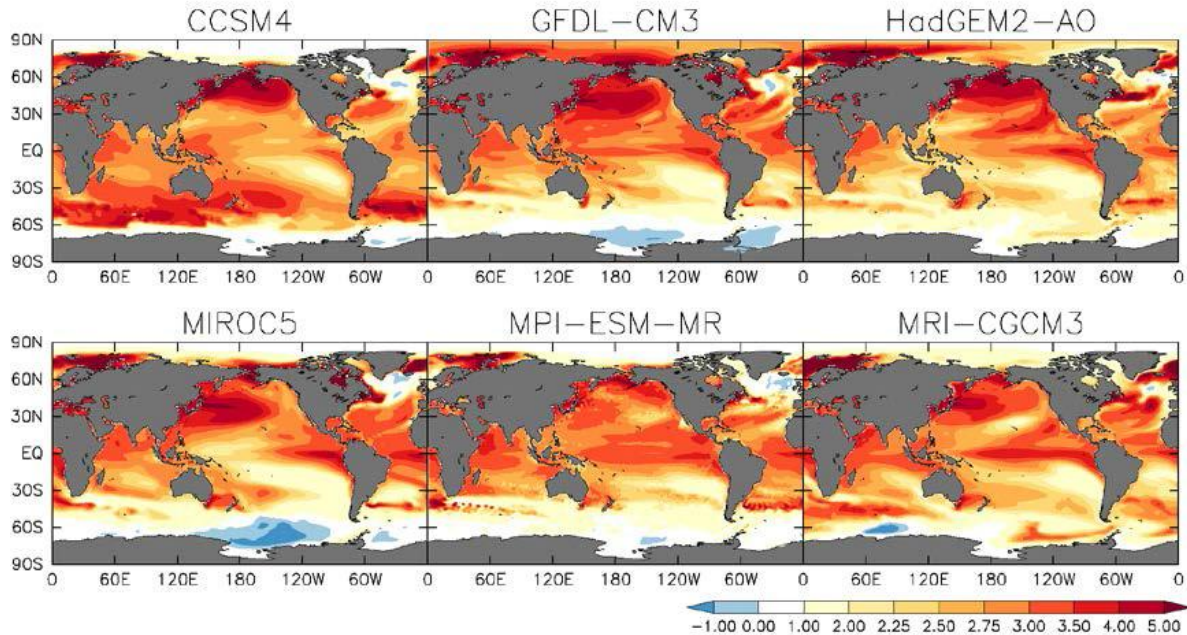
2-①. 気候変動予測実験データの活用について-d4PDFについて(2)

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

◆ 将来実験において使用しているSSTモデル

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

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

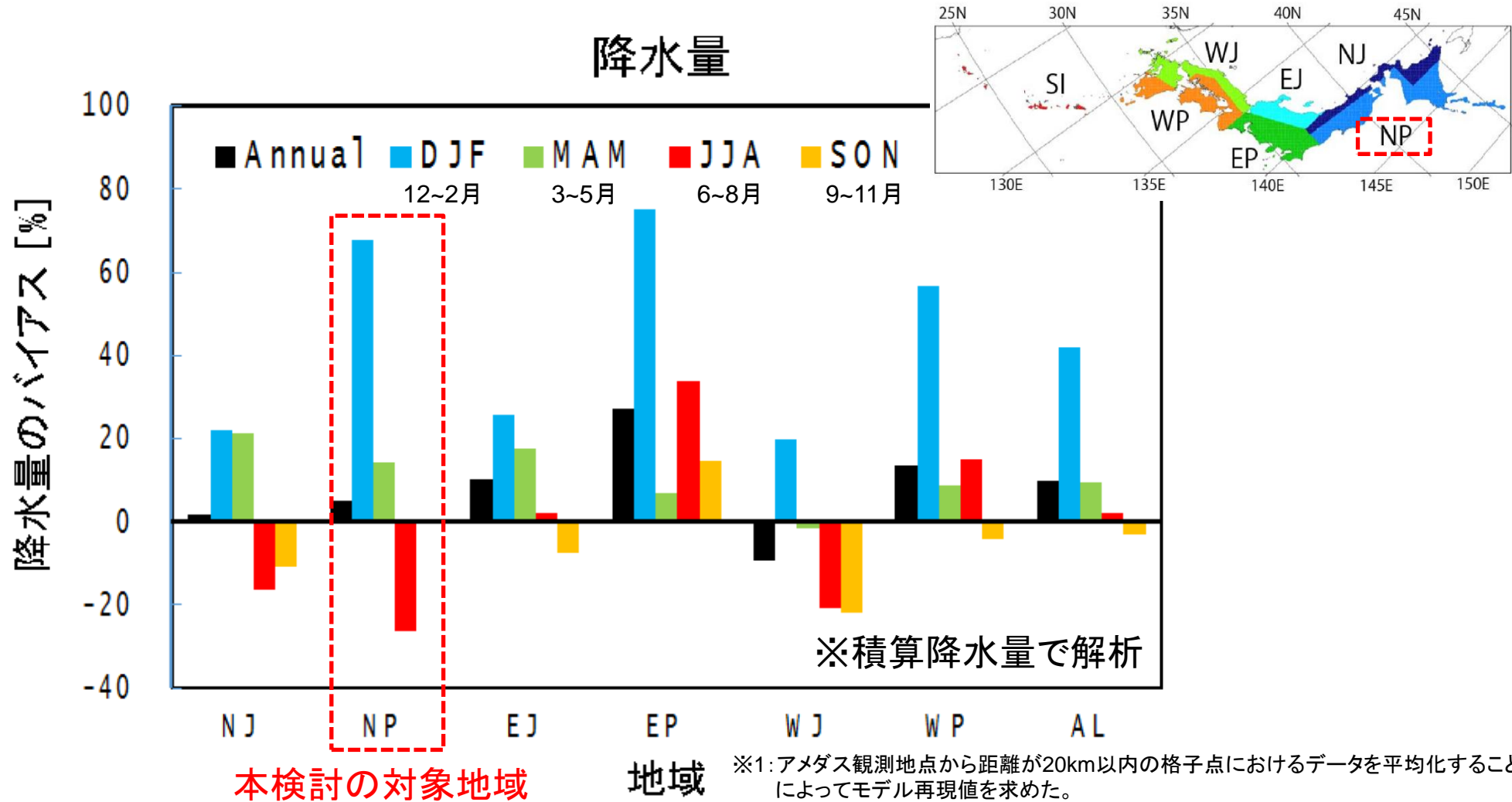


←使用したCMIP5結合モデル毎の、与えた海面水温変化パターン[K]。すべての月、すべての年、すべてのメンバーを平均したもの。

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

2-①. 気候変動予測実験データの活用について-d4PDFについて(3)

- 過去実験のうち、1979年9月から2009年8月までの30年間のデータを用いて、これに対応する気象庁アメダスデータと比較し、再現性を検証※1。
- 冬季を除いて、バイアス※2の大きさはおよそ30%に収まっている。

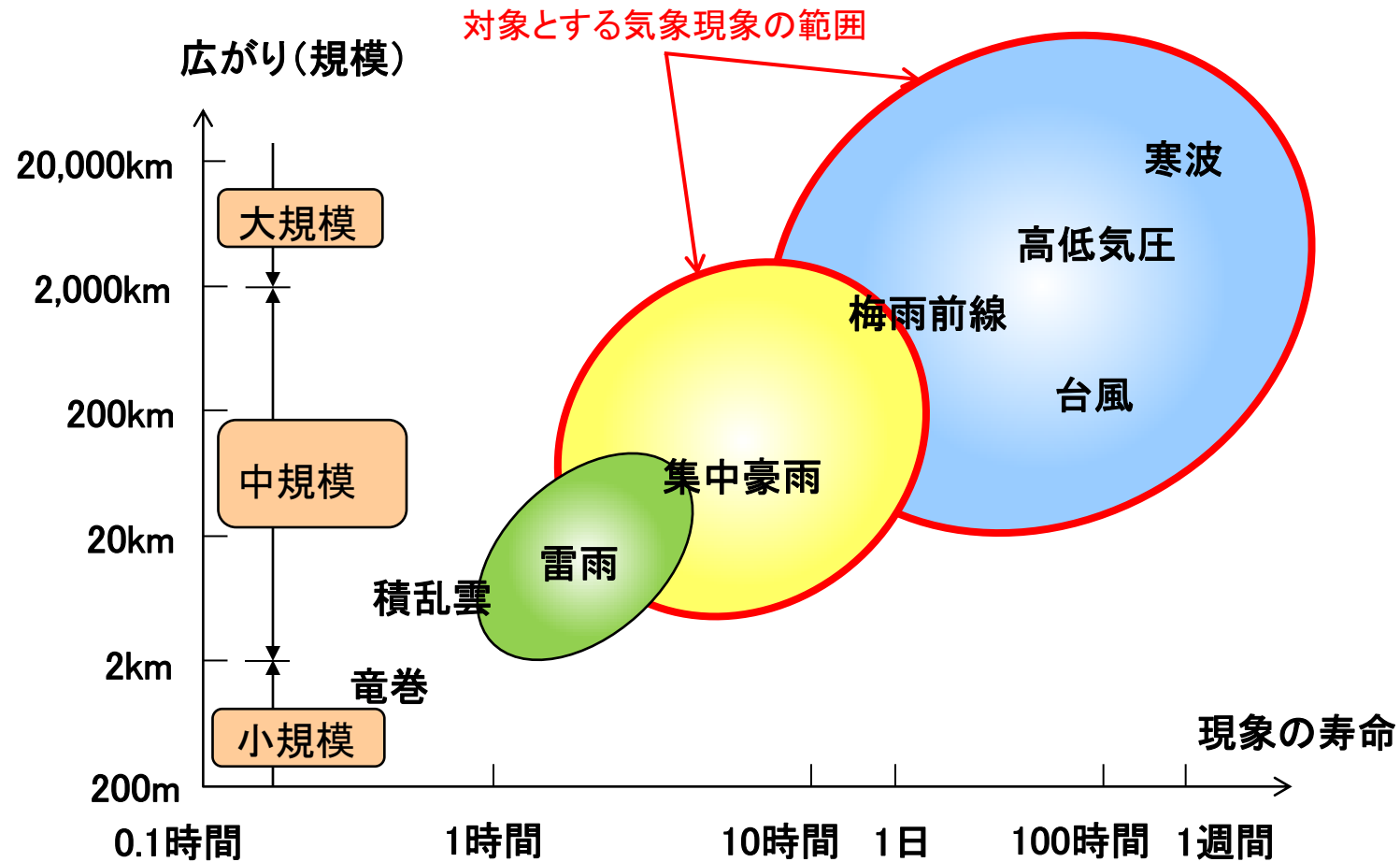


※1: アメダス観測地点から距離が20km以内の格子点におけるデータを平均化することによってモデル再現値を求めた。
※2: $100 \times (b/a - 1)$ 、ここでaは観測値、bはモデル再現値

2-②. ダウンスケーリングの実施についてー対象とする気象現象と水平スケール(1)

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

気象現象の水平及び時間スケール

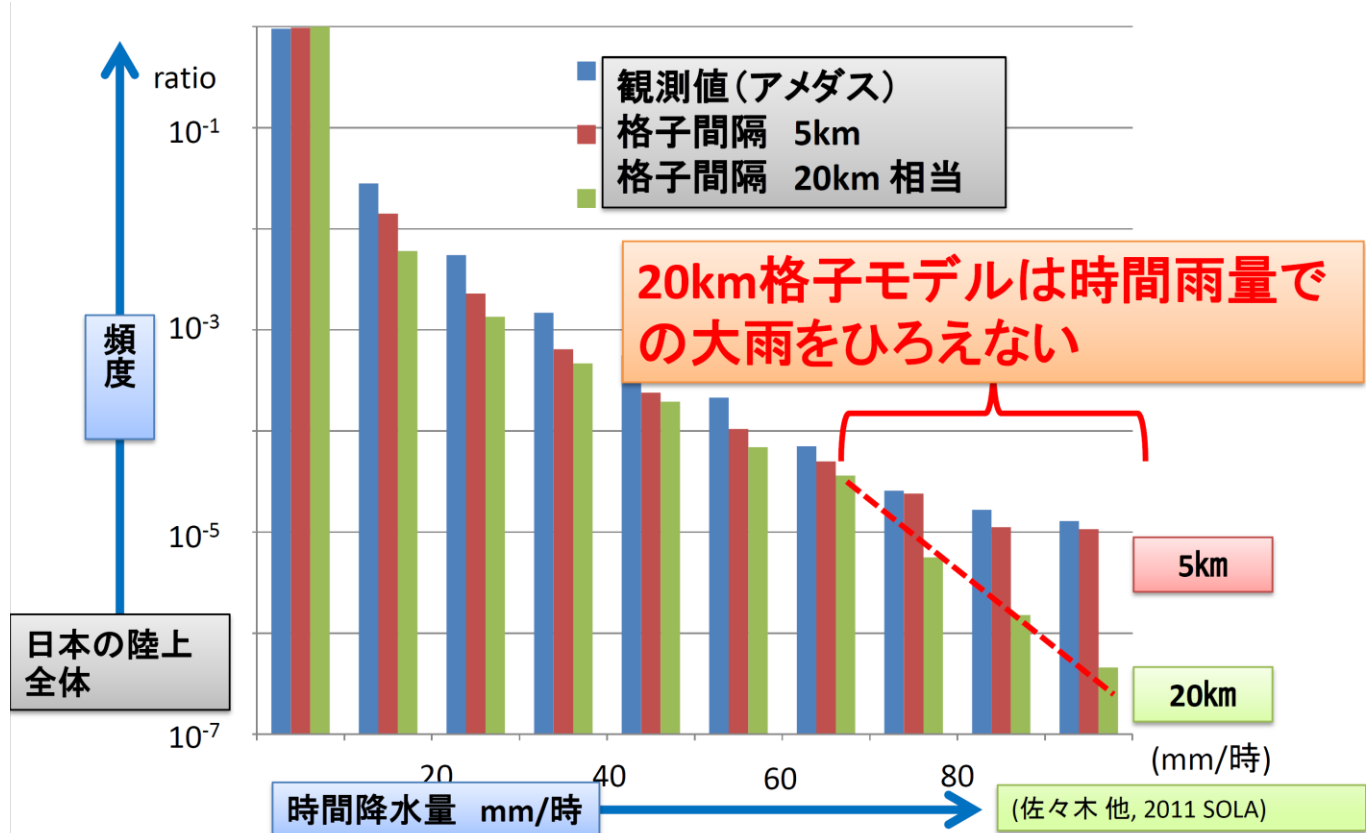


※出典: 気象庁, 数値予報モデルの種類, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-4.html>

2-②. ダウンスケーリングの実施についてー対象とする気象現象と水平スケール(2)

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

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



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

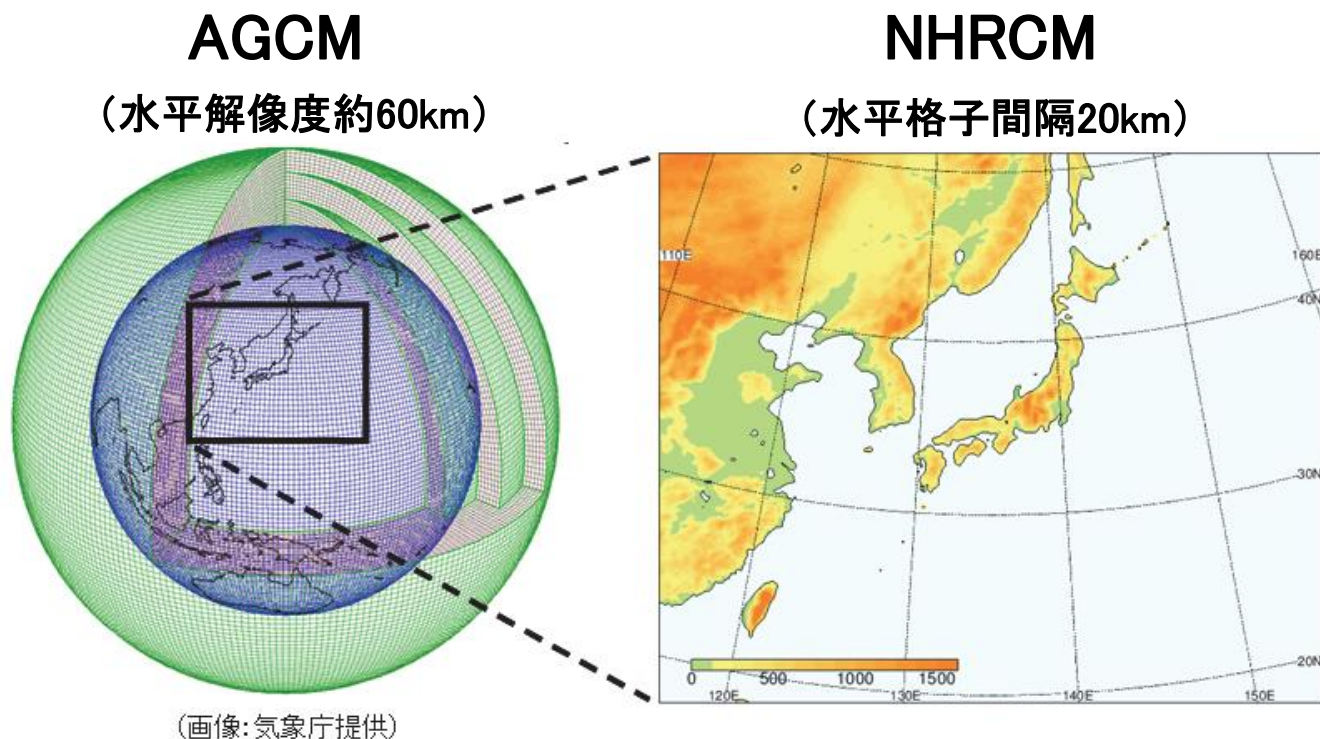
2-②. ダウンスケーリングの実施についてー水平解像度(1)

- 本検討では、大きな洪水流出をもたらす台風や集中豪雨等の数十kmスケールの気象現象を対象とし、極端降雨や流域の地形特性を十分に表現できる解像度が必要となる。
- d4PDFで利用可能な領域モデル実験(水平格子間隔20km)を用いて、ダウンスケーリング計算を実施することとする。

<ダウンスケーリングについて>

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

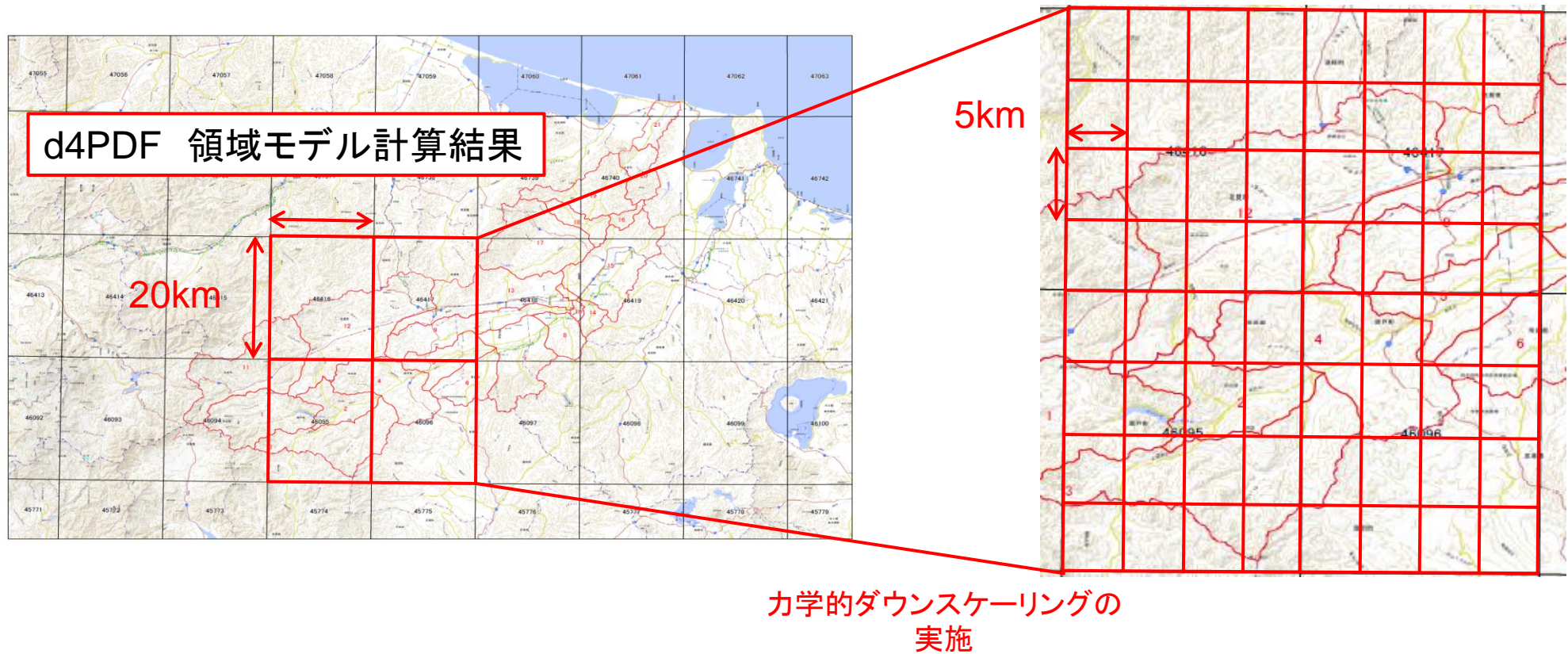
d4PDFで実施しているダウンスケーリング



2-②. ダウンスケーリングの実施についてー水平解像度(2)

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

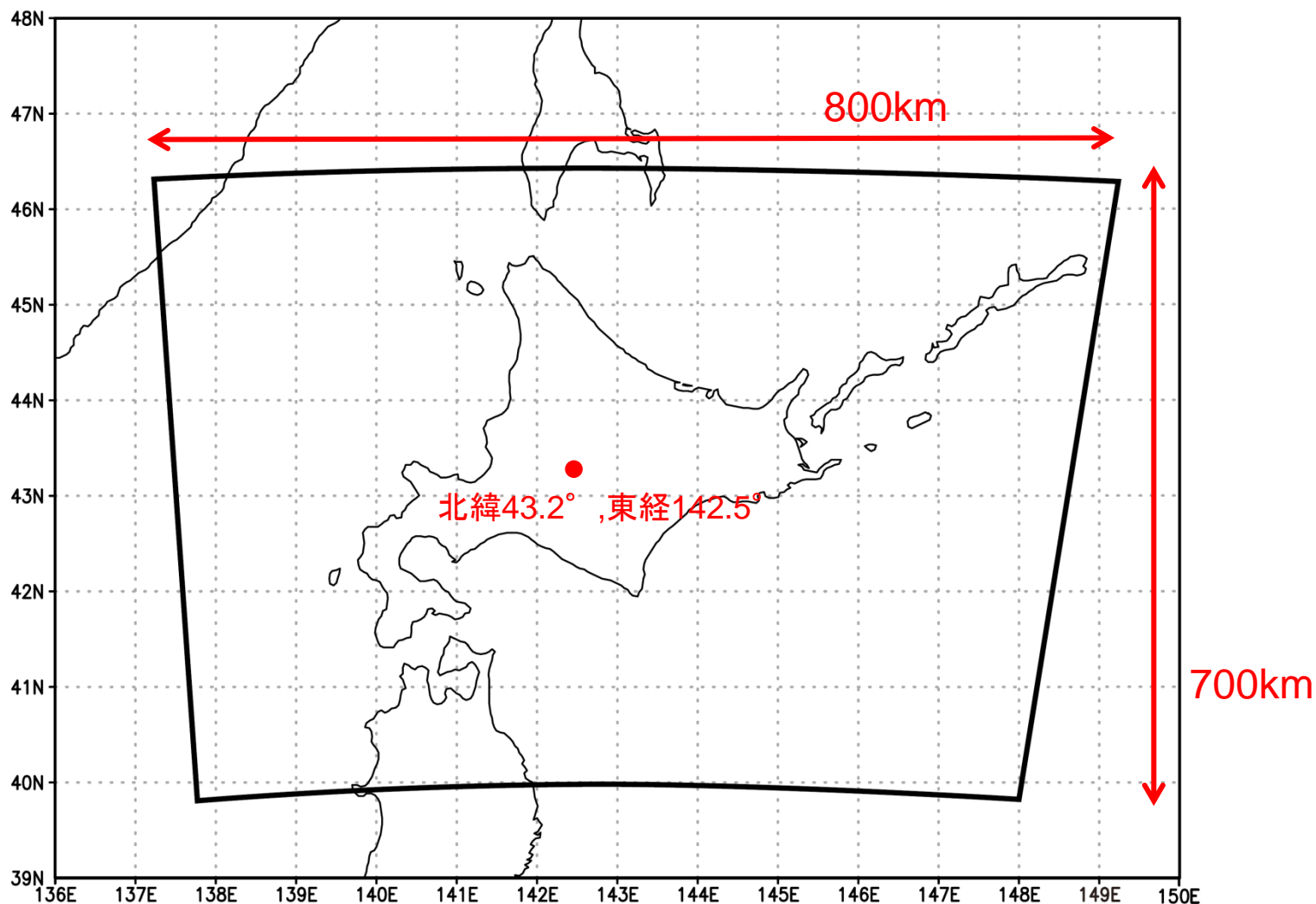
本検討で実施するダウンスケーリング(常呂川流域の例)



2-②. ダウンスケーリングの実施についてー対象とする計算領域

- ダウンスケーリングの実施にあたり、十勝川及び常呂川流域以外の検討も視野にいれ、北海道地方の気候変動予測に必要な計算領域を設定する。
- 計算対象とする領域は、北緯43.2° ,東経142.5° を中心とした東西方向に800km、南北方向に700kmの範囲とした。

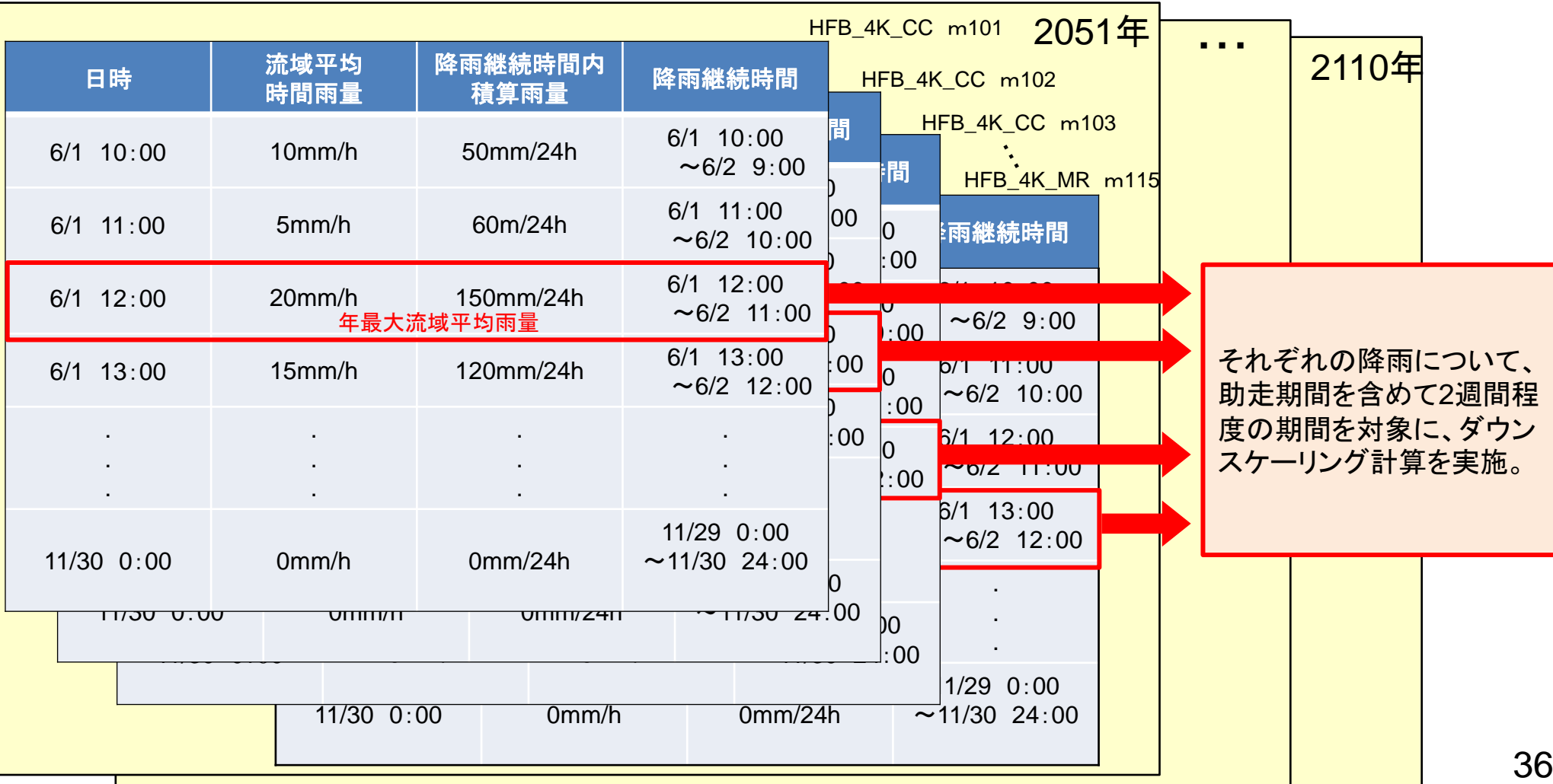
ダウンスケーリングの対象とした計算領域



2-③. 降雨の抽出方法について(1)

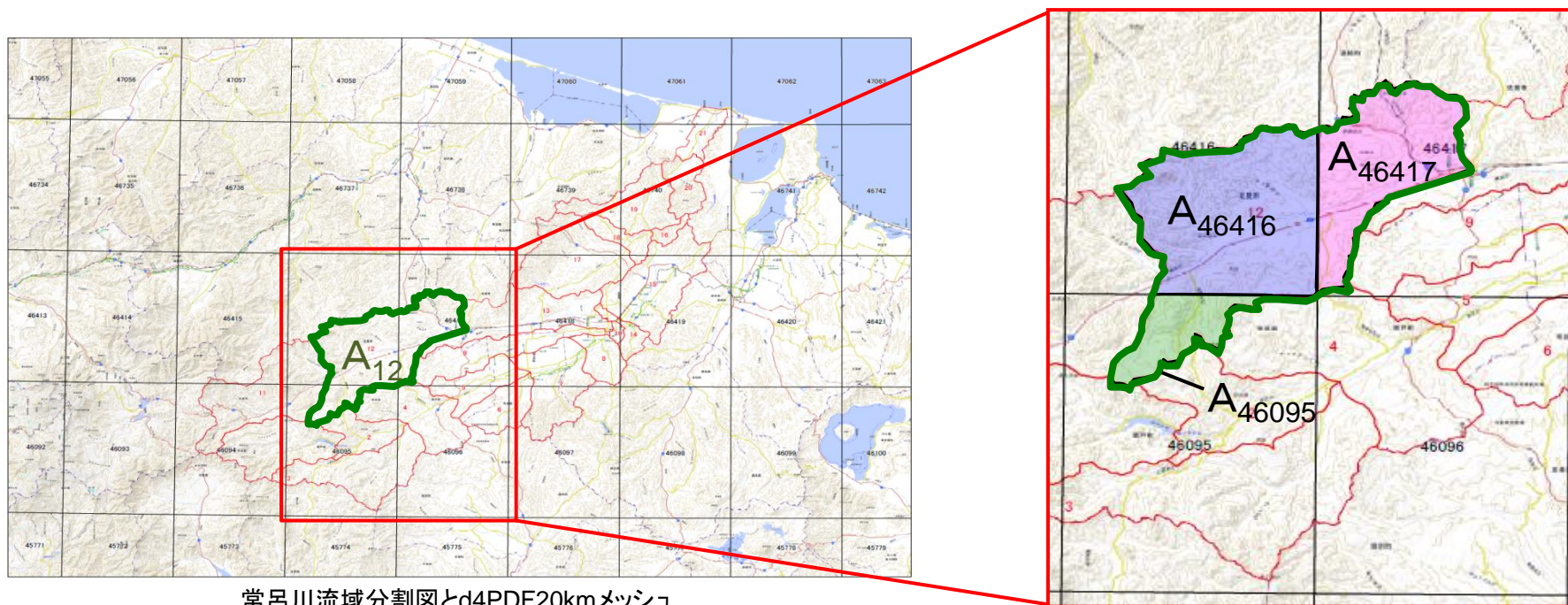
- d4PDFの日本周辺RCM将来予測60年×90メンバの降雨量データから、各流域で年最大流域平均雨量となるイベントを抽出。このときの降雨継続時間は、常呂川24h、十勝川72hとする。
- サンプルとして5メンバ程度の通年ダウンスケーリングを実施し、年最大雨量抽出の妥当性を確認する。
- 降雨の抽出期間は、対象降雨を含む2週間程度とする。

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



2-③. 降雨の抽出方法について(2)

- 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

2-③. 降雨の抽出方法について(3)

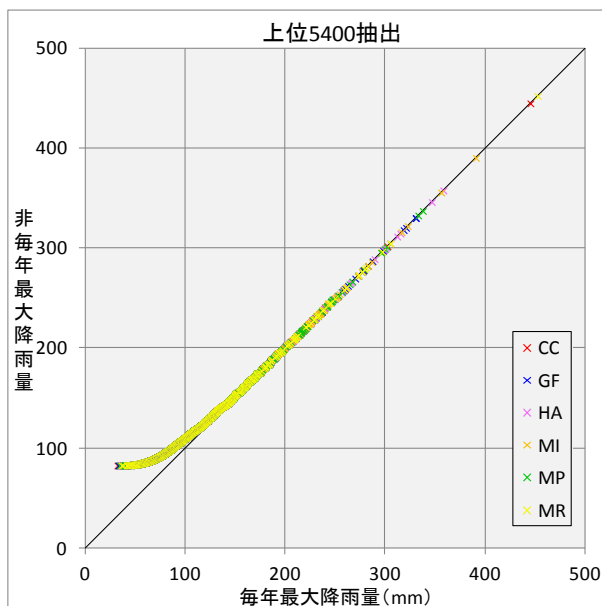
- 毎年最大降雨の抽出では、雨量の大きな降雨が同一年に偏った場合に、流量が最大となる降雨が未抽出となることが考えられる。そこで、非毎年で抽出した降雨との比較を行い、妥当性を検討する。
- 非毎年での降雨抽出を行い、毎年最大降雨量との関係を確認した。
- 抽出された雨量について、上位の雨量に大きな差はみられず、本検討で対象とする極端降雨のような上位の降雨が同様に抽出されていることから、毎年最大雨量による抽出を行うこととする。

・十勝川(帯広基準地点)での72時間雨量を対象に実施

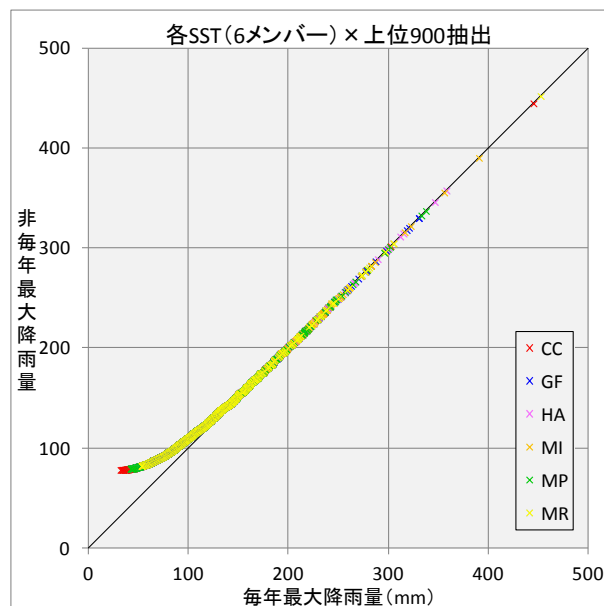
・非毎年降雨は以下の3通りの方法で抽出

- ①全実験から上位5400降雨
- ②各SST(6メンバー)から上位900降雨
- ③各SST(6メンバー)×各摂動(15パターン)から上位60降雨

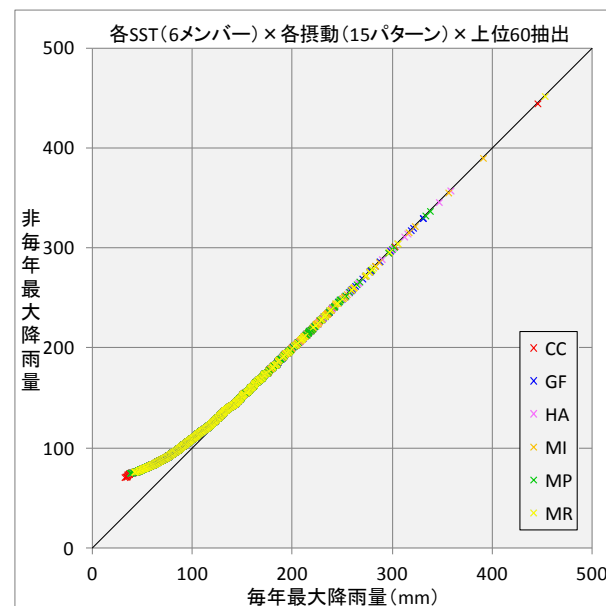
①



②

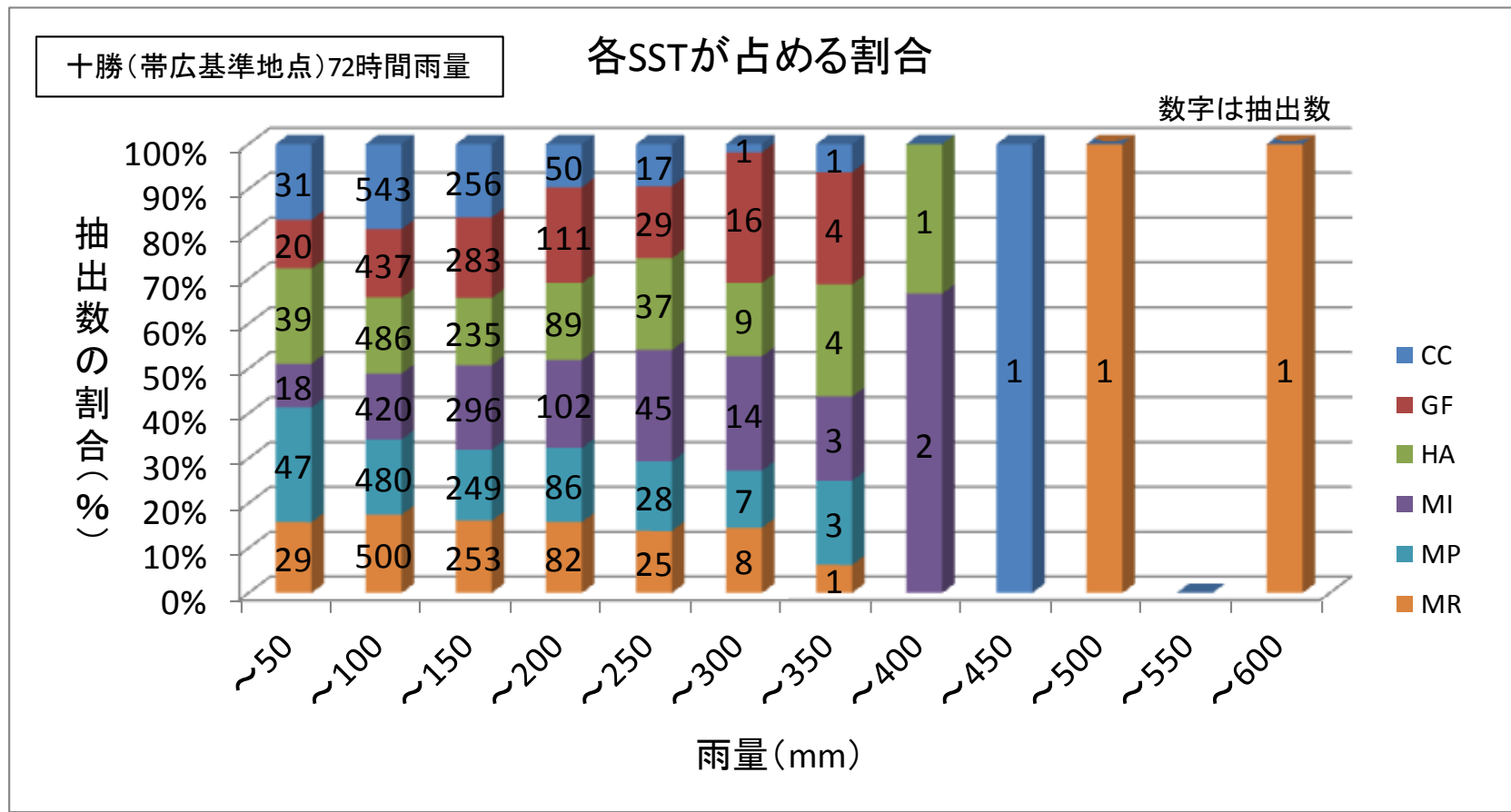


③



2-③. 降雨の抽出方法について(4)

- 抽出された降雨について、雨量別(50mm毎)にカウントし、雨量別の総数に対して各SSTが占める割合として整理した。
- SSTメンバのうちCCでは規模の大きな降雨の割合が小さくなっている。また、MRでは450mmを超えるような降雨が現れている。

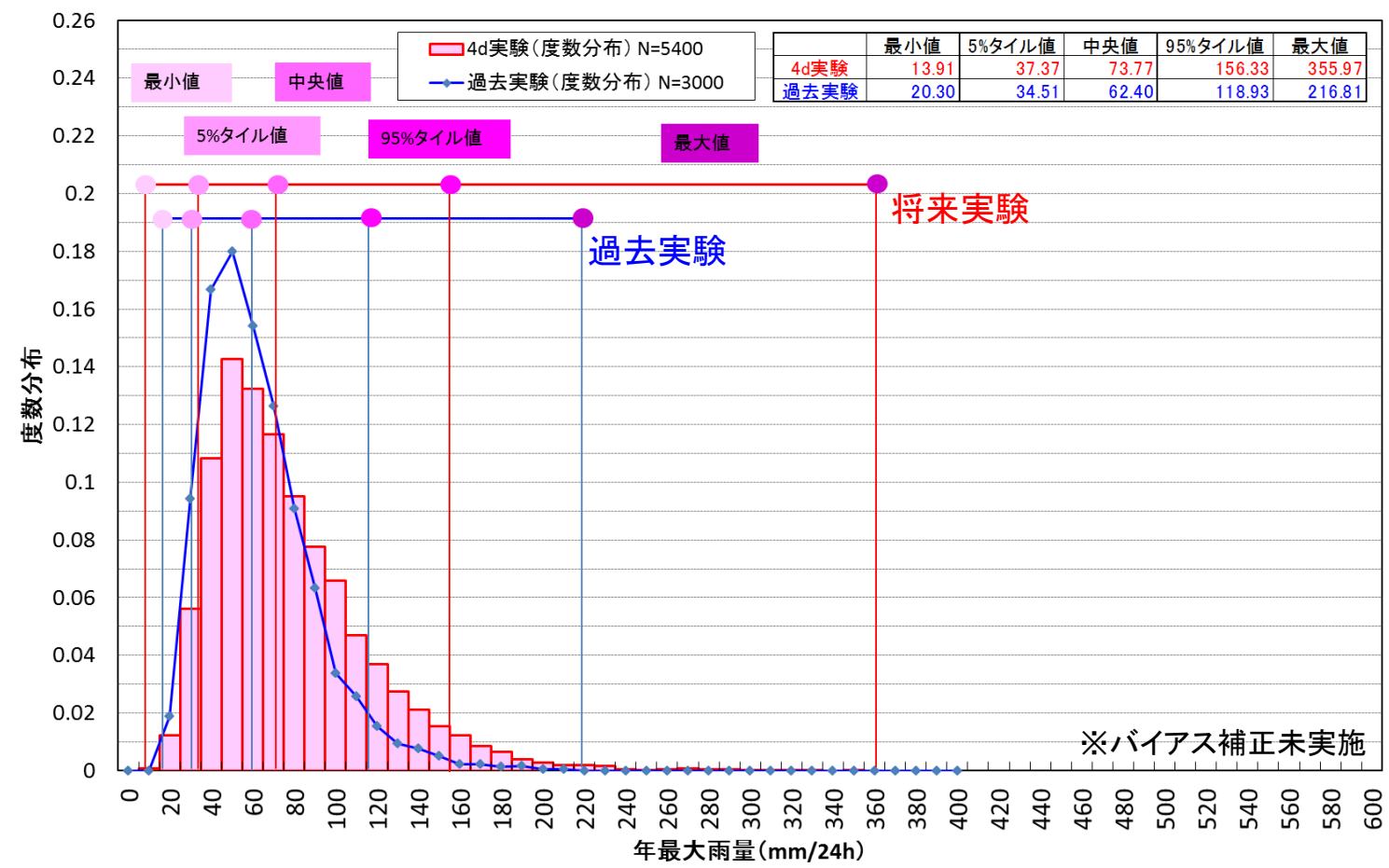


実験各略称	SSTメンバ
CC	CCSM4
GF	GFDL-CM3
HA	HadGEM2-AO
MI	MIROC5
MP	MPI-ESM-MR
MR	MRI-CGCM3

d4PDF領域モデルの過去実験と4℃上昇実験の比較(常呂川)

- 常呂川では、4℃上昇実験(90メンバ)と過去実験(50メンバ)の年最大流域平均雨量の頻度分布を比較すると、最頻値に変化はないが、少雨の頻度が減少し、強雨の頻度が増加する傾向にある。
- 中央値は、4℃上昇実験で73.8mm/24h、過去実験で62.4mm/24hとなっている。また、最大値は、4℃上昇実験で356.0mm/24h、過去実験で216.8mm/24hとなっており、ともに4℃上昇実験で大きな値となっている。

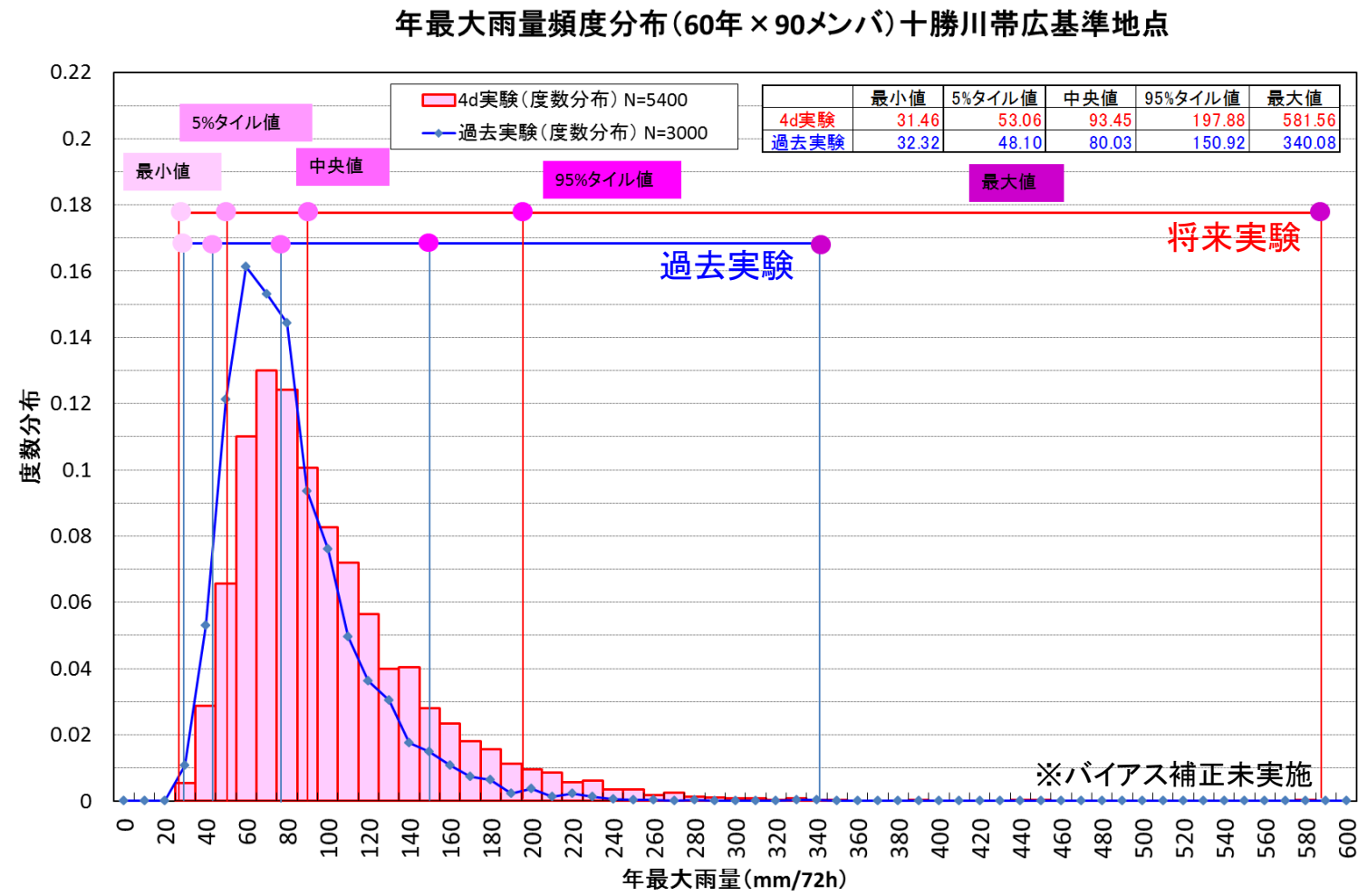
年最大雨量頻度分布(60年×90メンバ)常呂川北見基準地点



d4PDF過去実験と4℃上昇実験の年最大雨量頻度分布の比較(水平解像度20km)

d4PDF領域モデルの過去実験と4℃上昇実験の比較(十勝川)

- 十勝川では、4℃上昇実験(90メンバ)と過去実験(50メンバ)の年最大流域平均雨量の頻度分布を比較すると、最頻値に大きな変化はないが、少雨の頻度が減少し、強雨の頻度が増加する傾向にある。
- 中央値は、4℃上昇実験で93.5mm/72h、過去実験で80.0mm/72hとなっている。また、最大値は、4℃上昇実験で581.6mm/72h、過去実験で340.1mm/72hとなっており、ともに4℃上昇実験で大きな値となっている。



d4PDF過去実験と4℃上昇実験の年最大雨量頻度分布の比較(水平解像度20km)

第1回技術検討委員会での検討事項のまとめ

1. 気候変動シナリオについて

➤IPCC第5次報告書における気候変動シナリオRCP8.5とする。

2. 将来降水量の算出方法について

2-①. 気候変動予測実験データの活用について

➤日本周辺を対象とした気候変動予測実験データのうち、RCP8.5シナリオに基づいた大量アンサンブル実験が行われているd4PDFを活用する。

2-②. ダウンスケーリングの実施について

➤対象とする気象現象の再現性を向上させるため、ダウンスケーリングを実施する。

ー水平解像度(メッシュサイズ)

➤極端降雨の再現が可能とされている5kmメッシュとする。

ー計算領域

➤北海道を中心とした、東西方向に800km、南北方向に700kmの範囲とする。

2-③. 降雨の抽出方法について

➤D4PDF20kmメッシュデータより流域平均時間雨量を算出し、降雨継続時間内積算雨量が年最大となる降雨を抽出する。助走期間を含め、2週間程度の期間を対象に、ダウンスケーリング計算を実施する。