

気候変動を踏まえた下水道による浸水対策等の考え方について

# 1. 気候変動を踏まえた下水道計画における外力の設定の考え方について

# IPCC第5次評価報告書による将来の気候変動シナリオ

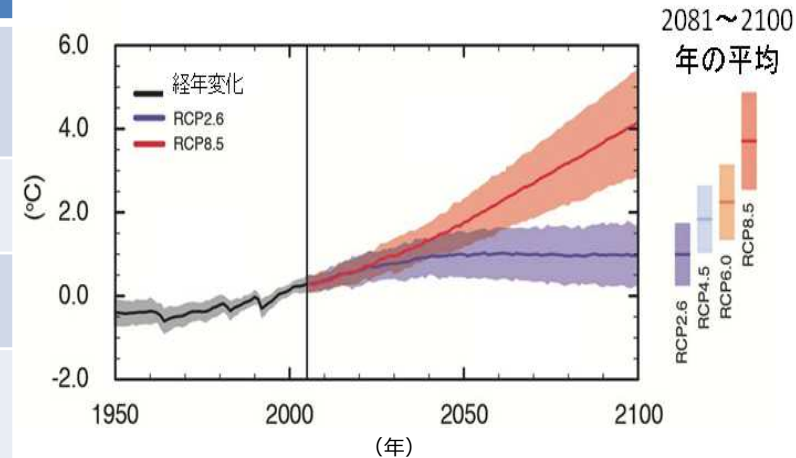
- IPCC第5次評価報告書では、温室効果ガス濃度の推移の違いによる4つのRCPシナリオが用意されている。
- 具体的には、パリ協定における将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという目標に相当する排出量の最も低いRCP2.6や最大排出量に相当するRCP8.5、それら中間に値するRCP4.5、RCP6.0が用意されている。

## < RCPシナリオの概要 >

## < 将来予測 >

## < 世界平均地上気温変化 >

略称	シナリオ (予測) のタイプ	世界平均地上気温 (可能性が高い予測幅)	世界平均海面水位 (可能性が高い予測幅)	日本の大雨による 降水量の変化
 RCP 2.6	低位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 2.6W/m <sup>2</sup> ) 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	+0.3~1.7℃	+0.26~0.55m	+7.9~14.5%
 RCP 4.5	中位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 4.5W/m <sup>2</sup> )	+1.1~2.6℃	+0.32~0.63m	+8.0~16.0%
 RCP 6.0	高位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 6.0W/m <sup>2</sup> )	+1.4~3.1℃	+0.33~0.63m	+14.8~18.2%
 RCP 8.5	高位参照シナリオ (世紀末の放射強制力 8.5W/m <sup>2</sup> ) 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	+2.6~4.8℃	+0.45~0.82m	+18.8~35.8%



※RCPシナリオ: 代表濃度経路シナリオ (Representative Concentration Pathways)

※放射強制力: 何らかの要因 (例えばCO<sub>2</sub>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<sup>-2</sup>)。正のときに温暖化の傾向となる。

※世界平均地上気温と世界平均海面水位は、1986~2005年の平均に対する2081~2100年の偏差

※日本の大雨による降水量の変化は、全国における上位5%の降水イベントによる日降水量の1984~2004年平均に対する2080~2100年平均の変化率

※出典: JCCCA, IPCC第5次評価報告書特設ページ, 2014, <http://www.jccca.org/ipcc/ar5/rcp.html>

文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省, IPCC第5次評価報告書 第1次作業部会報告書 (自然科学的根拠) の公表について, 2015.3,

<http://www.env.go.jp/press/files/jp/23096.pdf>

気象庁・環境省, 日本国内における気象変動予測の不確実性を考慮した結果について (お知らせ), 2014.12,

<https://www.env.go.jp/press/19034.html>

# 現在、公表されている将来の降雨の予測データ

名称		気候変動シナリオ	領域モデル解像度	ダウンスケージング手法	領域モデル	対象期間	計算パターン及び公表状況
約20年の計算	NHRCM20 21世紀末における日本の気候 【環境省・気象庁】	RCP2.6/8.5	20km	力学的	NHRCM20	現在(1984-2004) 将来(2080-2100)	現在：3パターン 将来：3パターン(RCP2.6)、9パターン(RCP8.5)
	NHRCM02 統合プログラム 【文科省】	RCP2.6	5km/2km	力学的	NHRCM02	現在(1980-1999) 将来(2076-2095)	現在：4パターン 将来：4パターン
	NHRCM05 創生プログラム 【文科省】	RCP8.5	5km/2km	力学的	NHRCM05	現在(1980-1999) 将来(2076-2095)	現在：4パターン 将来：4パターン
膨大なアンサンブル計算	d4PDF(20km) 創生プログラム 【文科省】	RCP8.5相当 (4℃上昇)	20km	力学的	NHRCM20	現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在：50パターン 将来：90パターン(6SST×15摂動)
	d4PDF(5km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5相当 (4℃上昇)	5km	力学的	NHRCM05	現在(1980-2011) 将来(2080-2111)	現在：12パターン 将来：12パターン(6SST×2摂動)
	d4PDF(5km,yamada) SI-CAT【文科省】	RCP8.5相当 (4℃上昇)	5km	力学的	NHRCM05	現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在：50パターン 将来：90パターン
	d2PDF(20km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5相当 (2℃上昇)	20km	力学的	NHRCM20	現在(1951-2010) 将来(2031-2090)	現在：50パターン 将来：54パターン(6SST×9摂動)

※一部、公開手続き中のものを含む。

※NHRCM02については、複数パターンの計算が行われており、そのうち一部が公開されている（今後、順次公開予定）

※現在、d2PDF(20km)の解像度5kmへのダウンスケージング計算（d2PDF(5km)）が実施中。

# 整備・公表が進む将来降雨の予測モデル

	約20年の計算		長期アンサンブル計算	
公表年	RCP2.6	RCP8.5	RCP8.5(2℃上昇)	RCP8.5(4℃上昇)
H27年	21世紀末における日本の気候 【環境省・気象庁】 解像度：20km ※RCP4.5、RCP6.0も計算			d4PDFデータ
H28年				気候変動リスク情報 創生プログラム 【文科省】 解像度：20km
H29年		気候変動リスク情報 創生プログラム 【文科省】 解像度：5km、2km		↓ ダウン スケーリング
H30年	統合的気候モデル 高度化研究プログラム 【文科省】 解像度：5km、2km		d2PDFデータ 気候変動適応技術 社会実装プログラム(SI-CAT) 【文科省】 解像度：20km	気候変動適応技術 社会実装プログラム(SI-CAT) 【文科省】 (北海道大学) 解像度：5km 北海道・九州地方 (JAMSTEC等) 解像度：5km 北海道・沖縄地方を除く全国
今後 公表予定			↓ ダウン スケーリング 気候変動適応技術 社会実装プログラム(SI-CAT) 【文科省】 (北海道大学) 解像度：5km (気象研等) 解像度：5km	

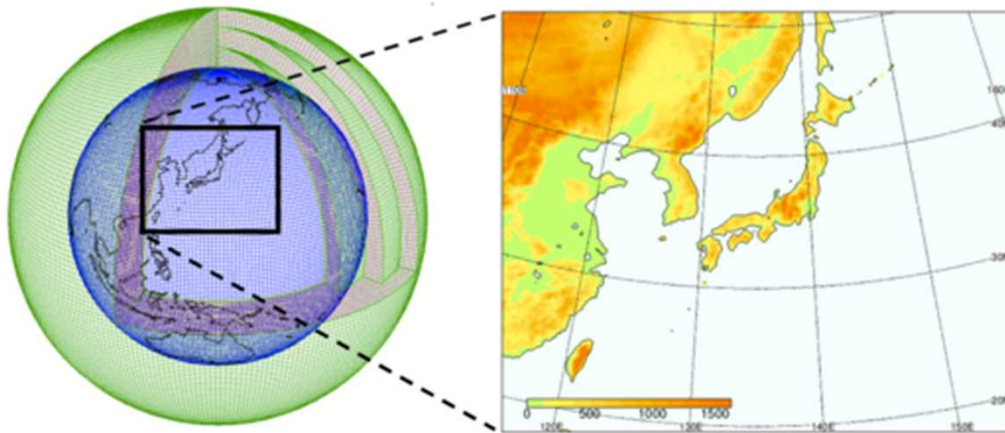
# 気候変動予測結果を活用した降雨量変化の試算

- 気候変動予測モデルによる、RCP8.5（4℃上昇相当）における気候変動予測結果※1を基に、将来の降雨量変化の試算を実施。
- 全世界を対象とした予測結果を基に、日本付近を対象にした高解像度（5kmメッシュ）の解析結果※2を活用することで、地形性の表現が向上するとともに、治水計画で対象とする台風や前線性降雨、集中豪雨等の再現が可能に。
- また、気候変動予測モデルでは、数千年分の大量データによる気候予測計算※3を実施しており、初めて、災害をもたらすような極端現象の評価が可能に。

## 気候変動予測モデル

全世界を対象としたモデル（60kmメッシュ）

日本付近を対象としたモデル（20kmメッシュ）

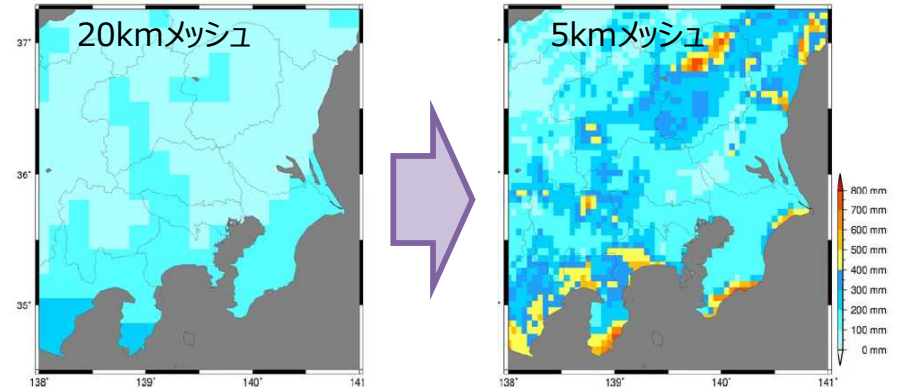


（画像：気象庁提供）

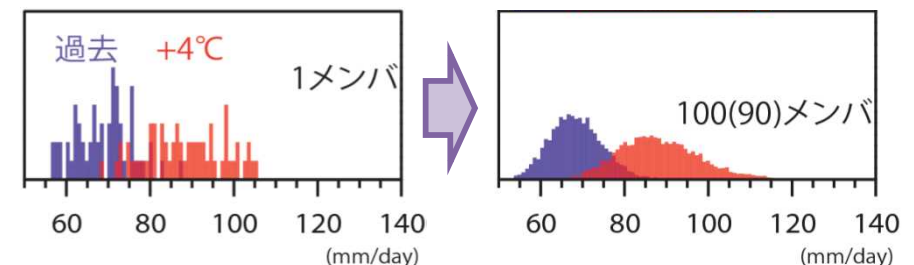
※「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」HPより抜粋

- ※1：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）のこと。d4PDFとは、database for policy decision making for future climate changeの略。d4PDFは、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよびJAMSTEC・地球シミュレータ特別推進課題において作成。
- ※2：d4PDF（5km）は、東北から九州のエリアはJAMSTECにより、北海道及び九州のエリアは北海道大学により整備された。
- ※3：将来気候の計算では、4℃上昇した世界をシミュレーションしており、60年間を計算対象期間とし、6種類の将来予測海面水温パターンと、それぞれに15種類の摂動を考慮。

## 高解像度計算による詳細な降雨の評価



## 大量データでの計算による極端現象の評価



# d4PDF(20km)の特徴

## 【d4PDFの特徴】

○気象研究所全球大気モデルMRI-AGCMを用いた全球モデル実験と日本域をカバーする気象研究所領域気候モデルNHRCMを用いた領域モデル実験で構成されている。

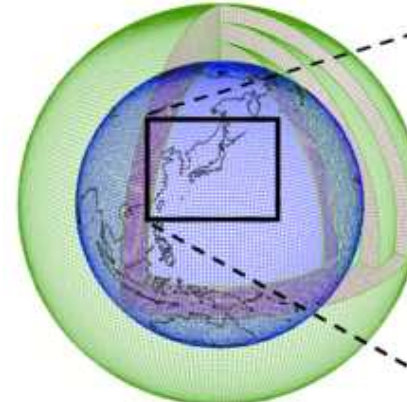
○領域モデル実験は、全球モデル実験の結果を用いて、水平格子間隔20kmにダウンスケーリングを行ったものである。

○産業革命(1850年)以前に比べて全球平均温度が4℃上昇した世界をシミュレーションした将来気候のデータと観測された海面水温等のデータを与えた現在気候のデータが存在する。

## 全球モデル実験

AGCM

(水平解像度約60km)

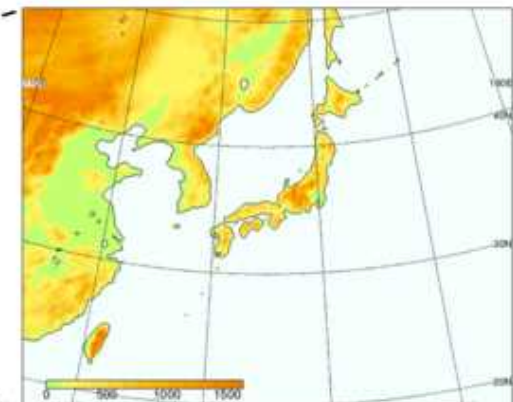


(画像:気象庁提供)

## 領域モデル実験

NHRCM

(水平格子間隔20km)



※「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」HPより抜粋

将来気候：5400パターン

60年間の  
時間変動

※2051~2110年

6種類の海面水温の  
将来変化パターン

※CMIP5のRCP8.5実験に基づいている

観測不確実性を  
表す15摂動

現在気候：3000パターン

60年間の  
時間変動

※1951~2010年

観測不確実性を  
表す50摂動

※摂動の与え方について

○60年分の月平均海面水温データに、海面水温解析の推定誤差と同等の摂動を与え、海面水温の摂動に整合するように、他の入力データを調節して計算を行っている。

○現在気候では50種類、将来気候では6種類の海面水温の将来変化パターンそれぞれについて15種類の摂動を与えている。

# d4PDFの計算条件(海面水温モデルと摂動)

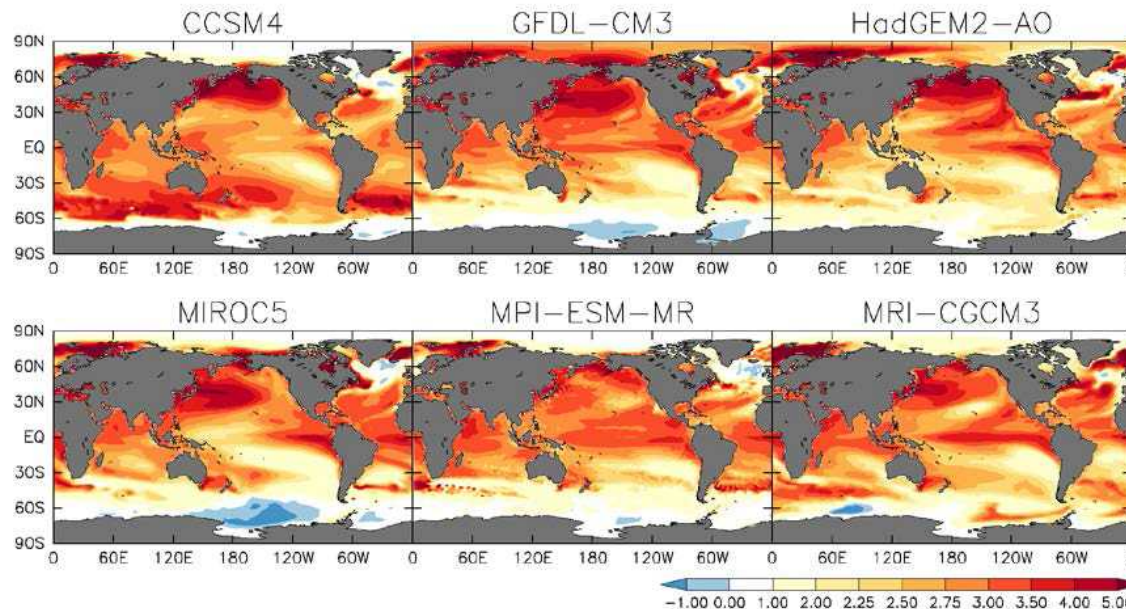
- 過去実験では、観測されたSST(海面水温) データに50の摂動を与えることにより、アンサンブルメンバを作成。
- 将来実験では、6つのSST (海面水温) メンバ及び15の摂動によりアンサンブルメンバを作成。

## ◆ 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

- 過去実験において、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。
- 過去実験では、全球モデル(60kmメッシュ)において作成した海面水温摂動100個のうち、日本域モデル(20kmメッシュ)では50個を使用
- 将来実験には、その中から任意に選んだ15個を使用した。

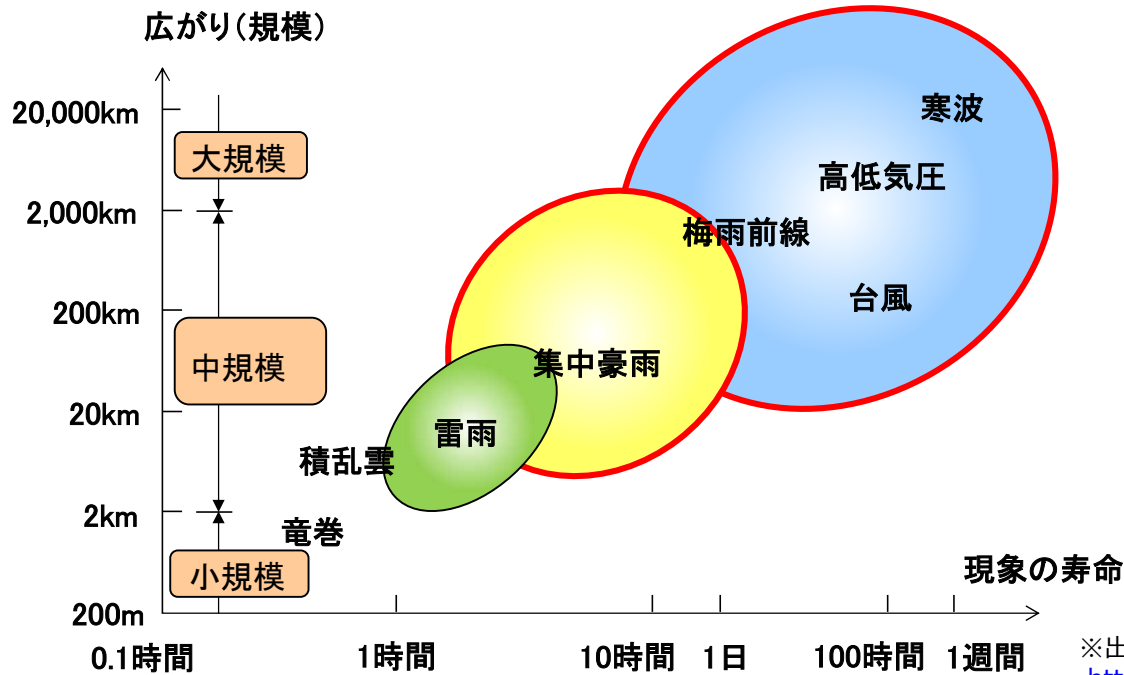


←使用したCMIP5結合モデル毎の、与えた海面水温変化パターン[K]。すべての月、すべての年、すべてのメンバーを平均したもの。

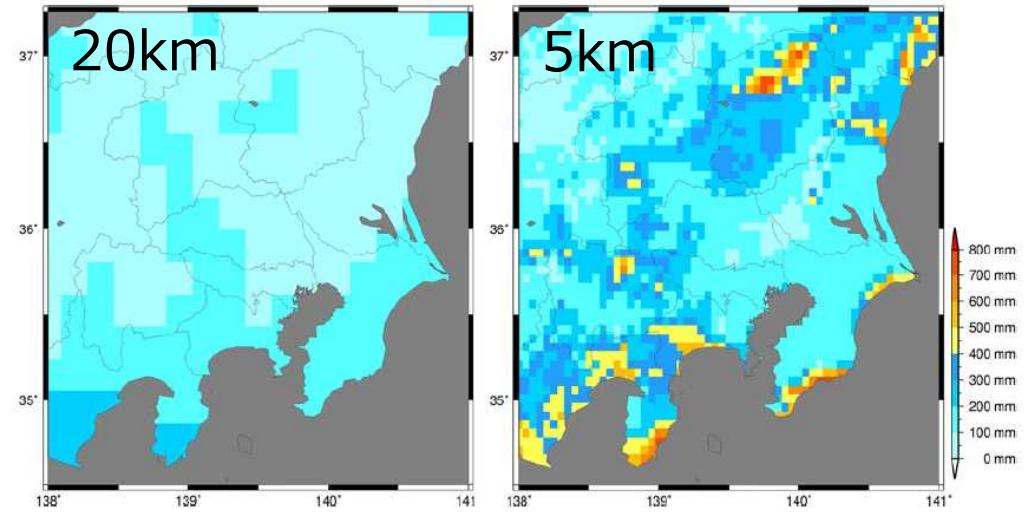


# 数値予測モデルの格子間隔による再現性の違い

- 日本において災害をもたらす、前線や台風、集中豪雨の規模にはその広がりや現象の寿命が異なる。
- 予測モデルによって評価できる現象が異なることから、予測モデルの活用範囲を考慮することが必要。
- 台風や前線性の降雨、集中豪雨を評価するためには、少なくとも5kmの領域解像度が必要。



○ 解像度20kmと5kmの違い



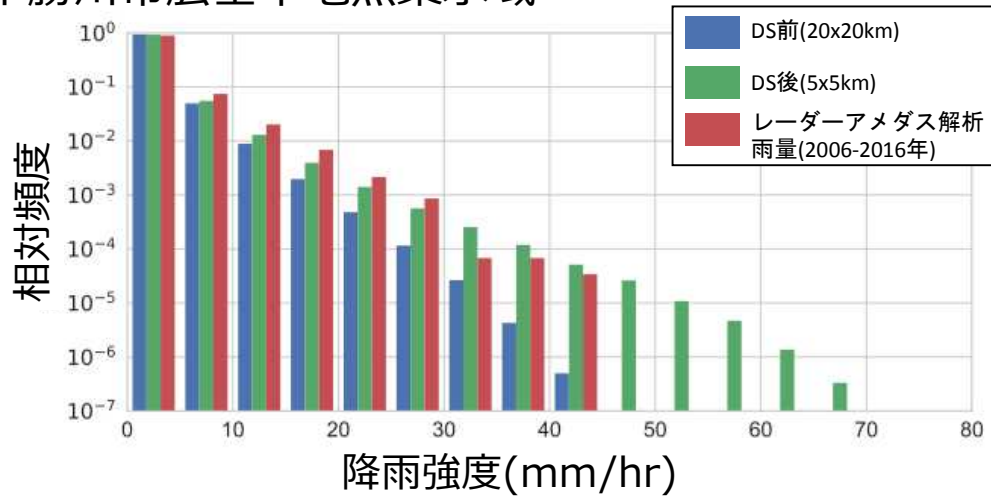
※出典：気象庁, 数値予報モデルの種類,  
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/whitep/1-3-4.html>

領域解像度	2km	5km	20km
領域モデル	NHRCM02	NHRCM05	NHRCM20
再現性の高い降雨時間	時間降水量～	時間降水量～	日降水量
再現性の高い気象現象	局地的な降雨 集中豪雨 前線性の降雨 台風規模の降雨	集中豪雨 前線性の降雨 台風規模の降雨	台風規模の降雨

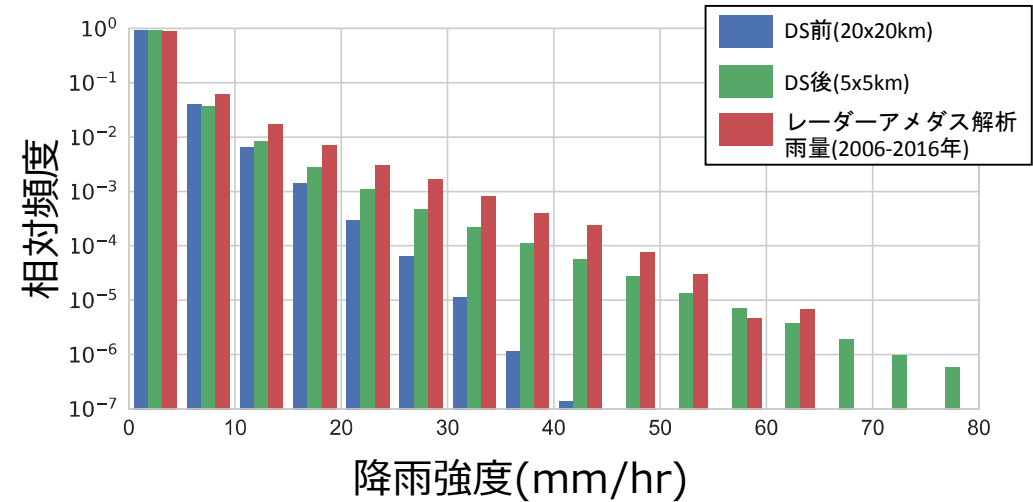
# d4PDF(5km,yamada)の再現性(DS前後の比較)

- 20kmモデルは、降雨強度が強くなるにしたがって、実際の観測よりも過小評価する傾向にある。
- 5kmのD Sモデルは、観測値に近い再現が可能。

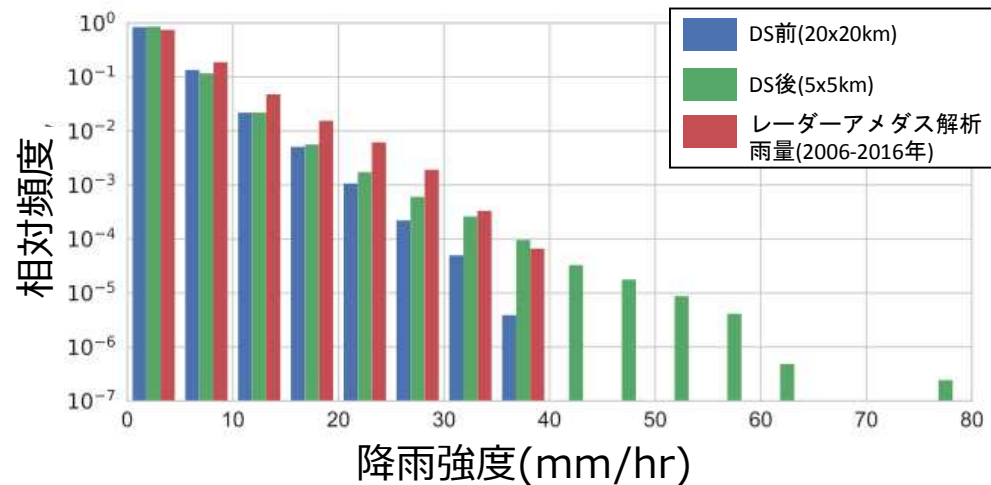
十勝川帯広基準地点集水域



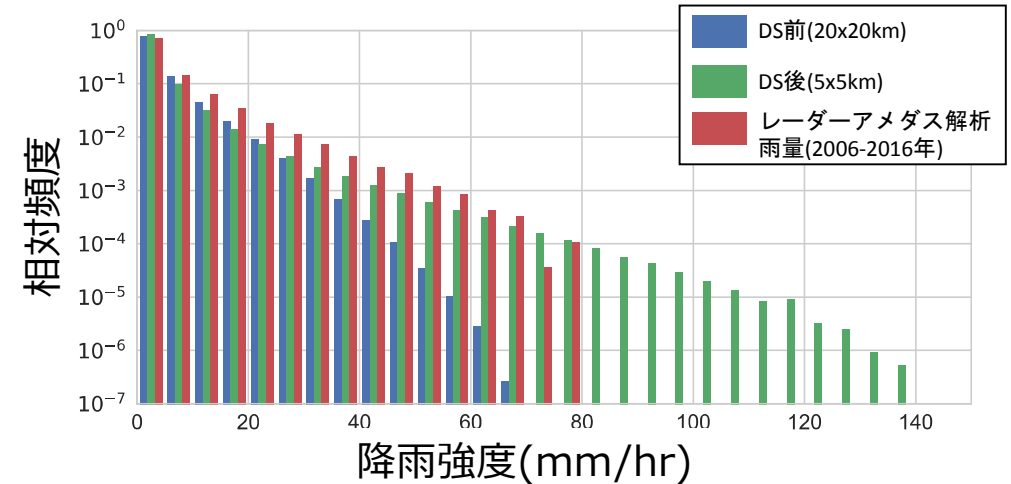
石狩川石狩大橋基準地点集水域



常呂川北見基準地点集水域



筑後川荒瀬基準地点集水域

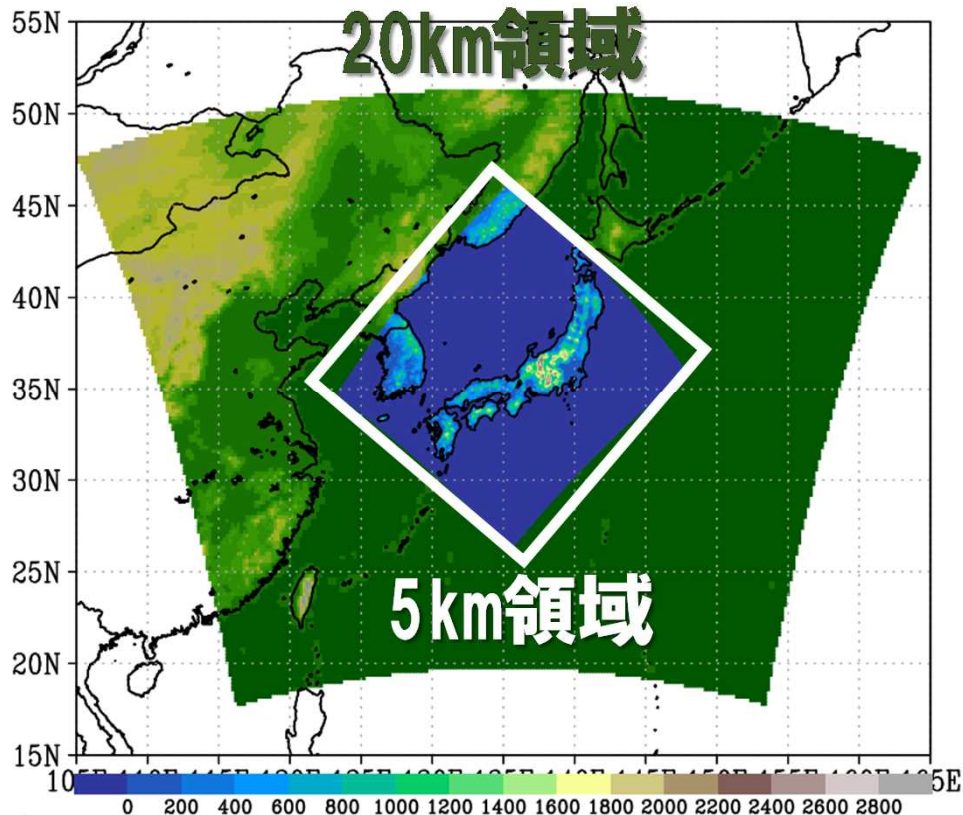


※レーダーアメダス解析雨量は、北海道エリアでは50mm/h以上、筑後川流域では70mm/h以上の強度の降雨が計算されていない。

# d4PDF (5km,SI-CAT)の特徴

- SI-CATにおいて、d4PDF (20km) を解像度5kmへ力学的ダウンスケーリング。
- ダウンスケーリングを行うことで、地域スケールの気候変動による影響を評価することが可能。

## ■ 解像度20kmを5kmへダウンスケーリング



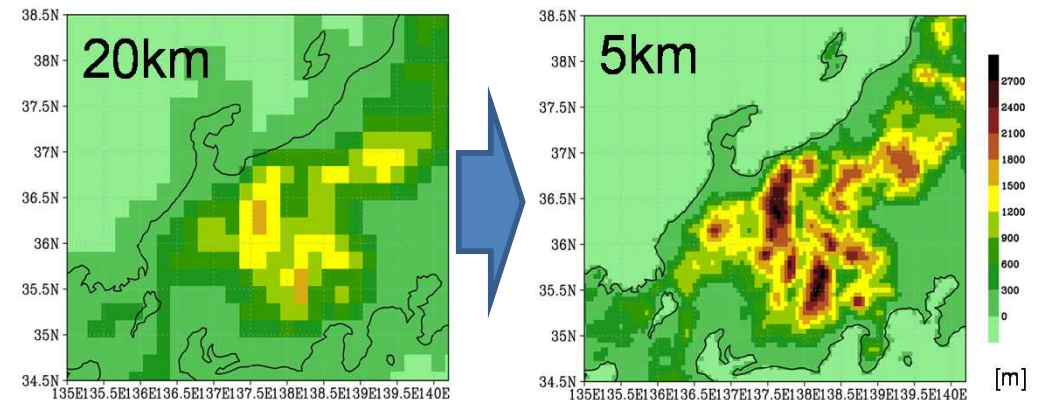
出典：佐々井崇博（東北大学），「SI-CATプロジェクトにおける力学DSデータセットの構築」をもとに作成

## ■ ダウンスケーリングの条件

モデル	非静力学地域気候モデル(JMA-NHRCM)
水平格子間隔	5km
初期値・側面境界値	d4PDF20kmRCM
初期時刻	7月24日～翌年8月30日
過去実験年数	372年分（31年×12パターン）
将来実験年数	372年分（31年×6SST×2摂動）

※今回の解析で使用したのは、過去実験・将来実験ともに360年分

## ■ 地形の再現性



# d4PDF (5km,yamada) の特徴

地形や流域の形状をより忠実に反映するため、領域モデル実験(20x20km)をベースに5x5kmへの力学的ダウンスケーリングを実施した。

## 計算モデル

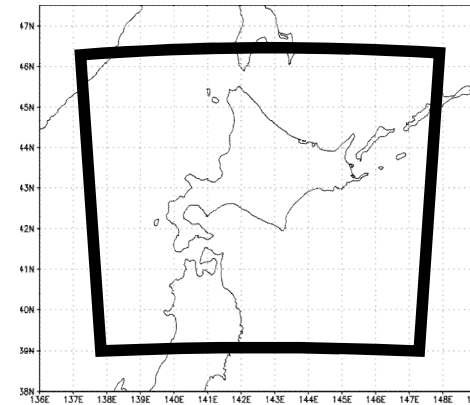
気象研究所非静力学地域気候モデル  
(Nonhydrostatic Regional Climate Model (NHRCM))

## 計算領域

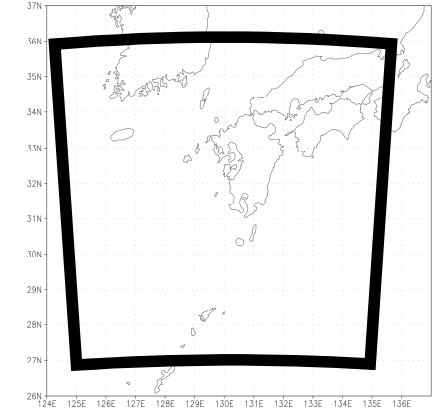
水平解像度：5x5km

- 計算領域1：142.5E, 42.75Nを中心に東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲（北海道）
- 計算領域2：130.0E, 31.5Nを中心に東西方向に1000km、南北方向に1000kmの範囲（中国, 四国, 九州）

計算領域1(北海道)



計算領域2(中国, 四国, 九州)



## 対象期間

※本検討で使用

### 15日間のダウンスケーリング(15日DS)

領域モデル実験において6月1日から12月1日の間で流域平均降水量が最大となる期間を含む15日間

対象流域： 十勝川、常呂川、石狩川（計算領域1）  
筑後川（計算領域2）

※ 過去実験3000イベント、2℃上昇実験3240イベント、4℃上昇実験5400イベントの計算を完了済み

### 1年間を通したダウンスケーリング(通年DS)

7月24日から翌年8月31日までの約1年間

※ 演算量が膨大となるため、領域モデル実験において十勝川帯広基準地点集水域および筑後川荒瀬基準地点集水域での年最大流域平均降水量の大きい事例で計算を実施

計算領域1：過去実験 782年分、4℃上昇実験 869年分  
計算領域2：過去実験 610年分、4℃上昇実験 812年分

# 将来降雨の予測モデルを活用した気候変動の検討項目

## d4PDF(5km)による変化倍率の条件整理

### 解析エリアの検証

- ・想定最大規模降雨の地域分類
- ・地域ブロックと流域の違い

### S S T 毎の評価

- ・CC
- ・GF
- ・HA
- ・GF
- ・MP
- ・MR

### 予測モデルの違いの検証

- ・d4PDF(5km,SI-CAT)
- ・d4PDF(5km,yamada)

## 調査研究結果等

- ・飽和水蒸気量の変化
- ・近年の気候変動の現象

## RCP8.5の地域区分毎の評価

- ・降雨継続時間、流域面積毎の値と平均値の算出

・RCP8.5からRCP2.6への換算係数の設定

## RCP2.6へ換算（地域区分毎）

- ・降雨継続時間、流域面積毎の値と平均値の算出

## 経年変化の評価

- ・計画規模降水量の発生割合の推移
- ・現在気候の評価

## 検討項目

- ・降雨量の変化倍率の算出
- ・気候変動影響の地域偏在の評価
- ・現在、近未来気候の評価

# 降雨特性の類似する地域分類

- 降雨量変化倍率の算出にあたり、降雨特性の類似する地域に分類
- 想定最大規模降雨を設定した際に流域界で分割した地域区分を採用
- 想定最大規模降雨の算出にあたって、日本の降雨特性の類似性から区分した15地域区分に分割

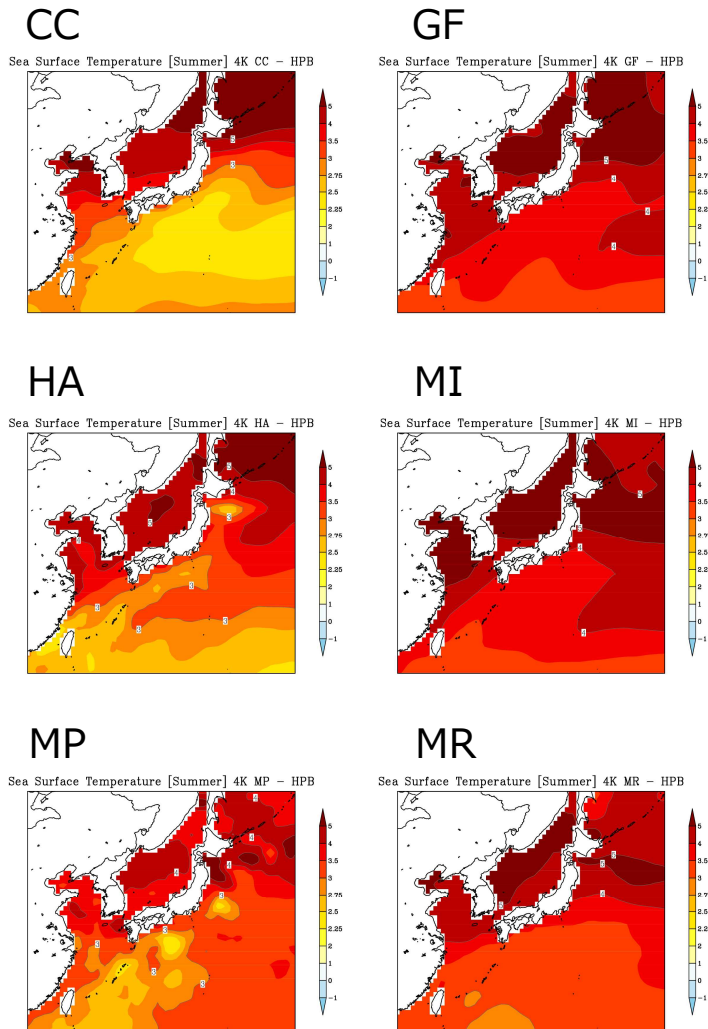
## 地域区分①：想定最大規模降雨に関する地域区分



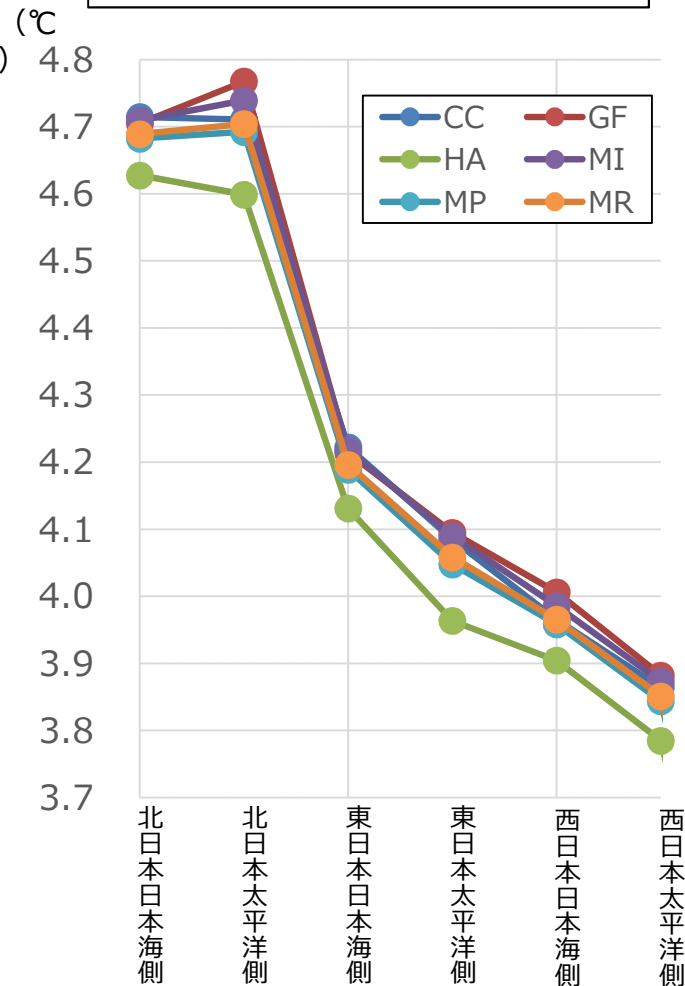
# 海面水温 (SST) パターンにおける気温の変化と降雨量倍率の変化

○ SSTパターンによって日本近海の海面水温の上昇度合いは異なり、気温や降雨量の変化も異なる。  
 ○ 異なるSSTパターンによる結果をまとめて一つの集合と捉えると、河川計画に用いるような極端現象の評価にあたっては特定のモデルに依存することとなるため、今回は、SSTごとに評価を行うことを基本とした。

## SST パターン

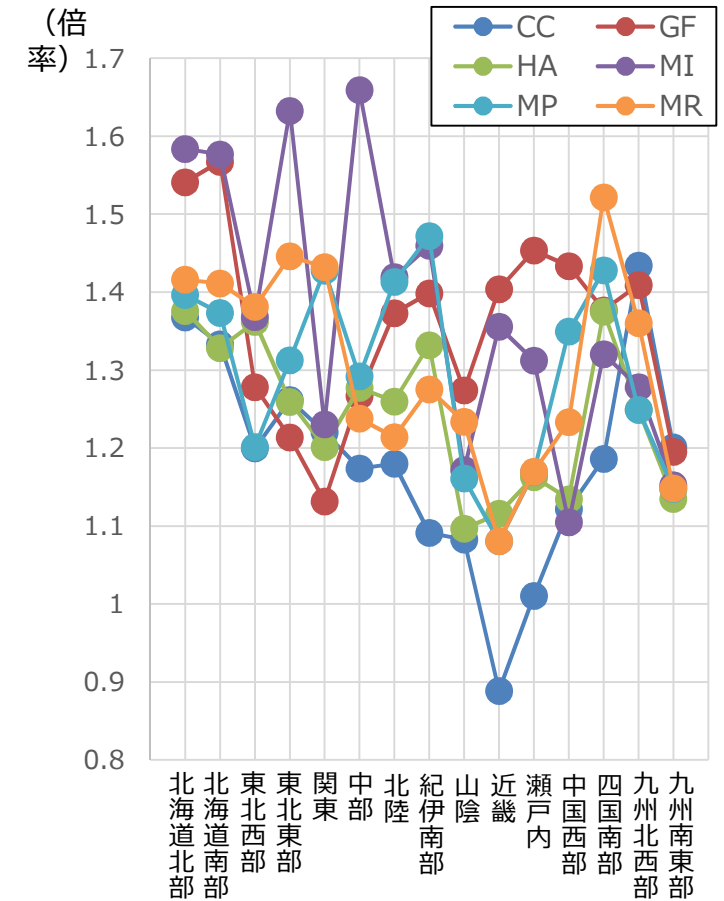


## SSTごとの気温変化



6～11月の気温変化量の平均値

## SSTごとの降雨量変化

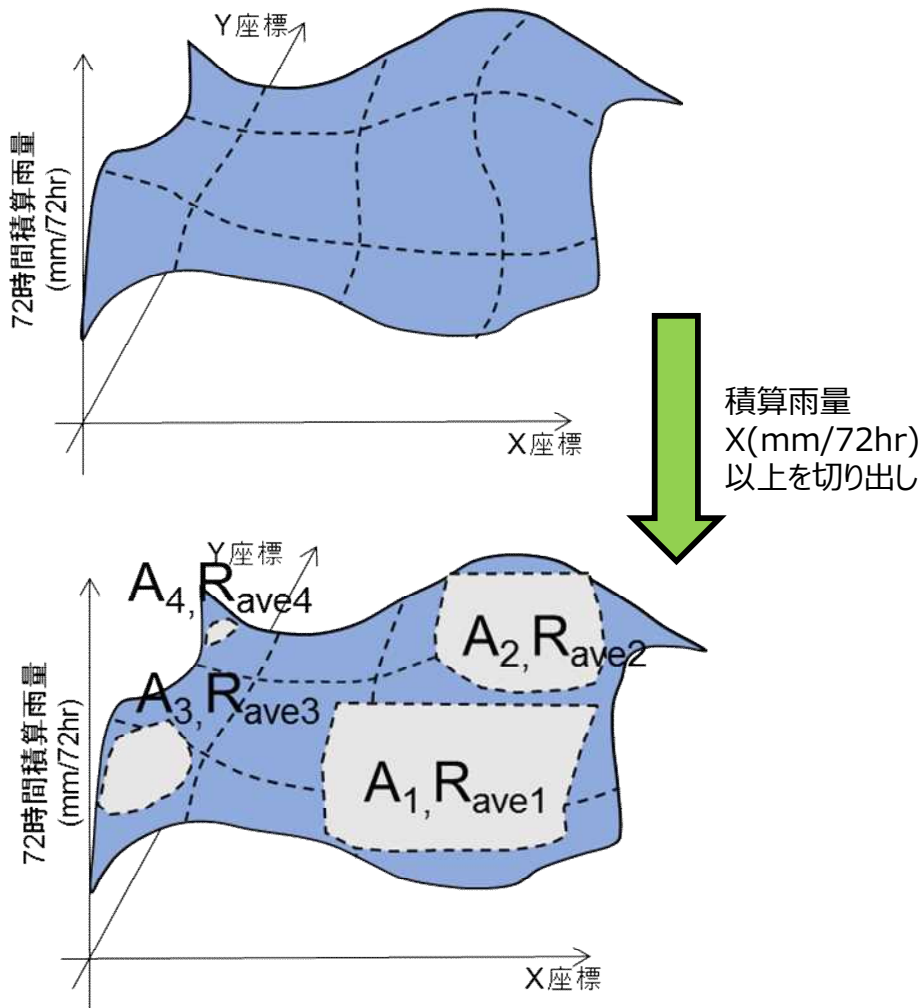


降雨継続時間：12時間 雨域面積：400 km<sup>2</sup>

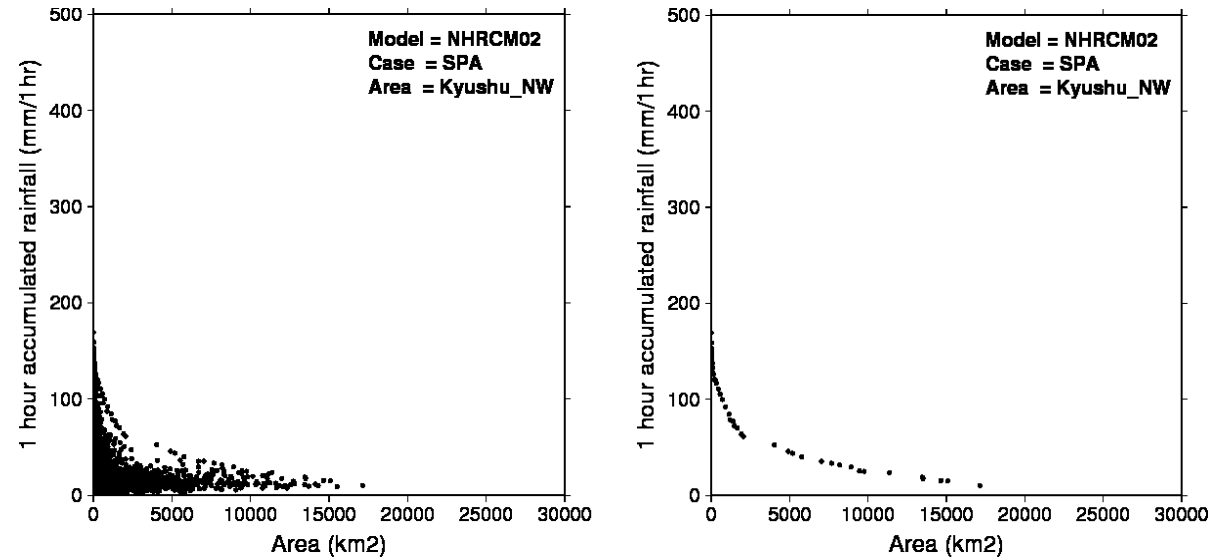
# DAD解析の概要

- 現在気候および将来気候における降雨の時空間分布の変化を整理するため、積算雨量D(Depth)、雨域面積A(Area)、降雨継続時間D(Duration)の関係を整理する (DAD解析)。
- 面積雨量はFRM法 (雨量固定法) を用いて、降雨継続時間ごとに、抽出した雨域の面積及び雨域の平均雨量を算出。
- 降雨継続時間ごとに多数の積算雨量と雨域面積のデータサンプリングを行い、任意の面積ごとに最大雨量を算出。

## (例)ある72時間の積算雨量分布



## 【解析結果イメージ】



多数の積算雨量と雨域面積のデータサンプリングを行い、雨域面積が大きくなるにつれて積算雨量が少なくなるようにデータを包絡し、任意の雨域面積に対応した積算雨量の最大値を抽出した。



# d4PDF(4°C上昇)による降雨量の変化倍率の計算方法

○現在気候360年分、将来気候360年分の降雨量データ※を用いて、地域区分毎に任意の降雨継続時間および雨域面積における年最大雨量を、現在気候及び将来気候について算出した。

○地域区分毎に、現在気候及び将来気候について、Gumbel分布を踏まえて100年確率雨量を算出し、降雨量の変化倍率を算出した。

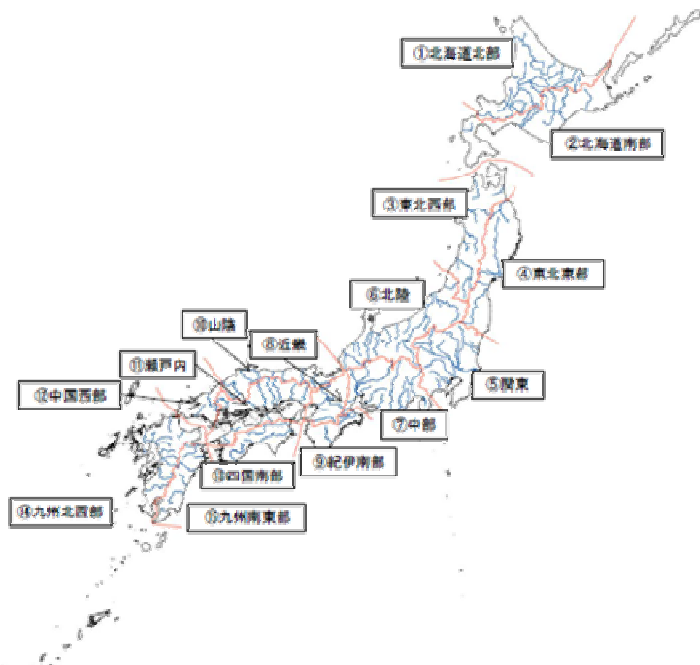
※北海道のみ現在気候3000年分、将来気候5400年分の降雨量データを用いた

## ①年最大雨量データの作成

現在気候及び将来気候について、地域区分毎に任意の降雨継続時間および雨域面積における年最大雨量を算出

※地域区分は想定最大規模降雨に関する地域区分を用いた

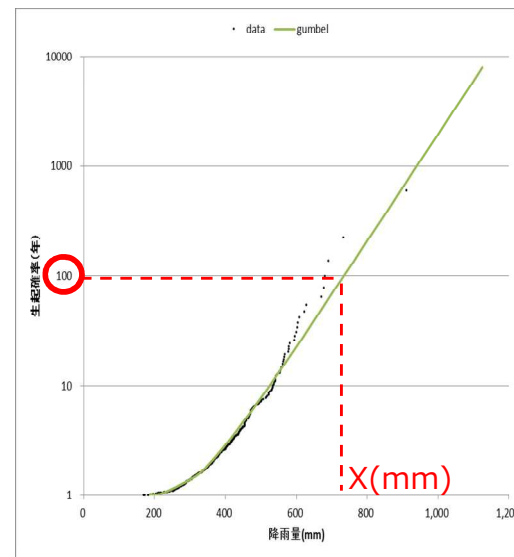
＜想定最大規模降雨に関する地域区分＞



## ②降雨量の変化倍率の算出

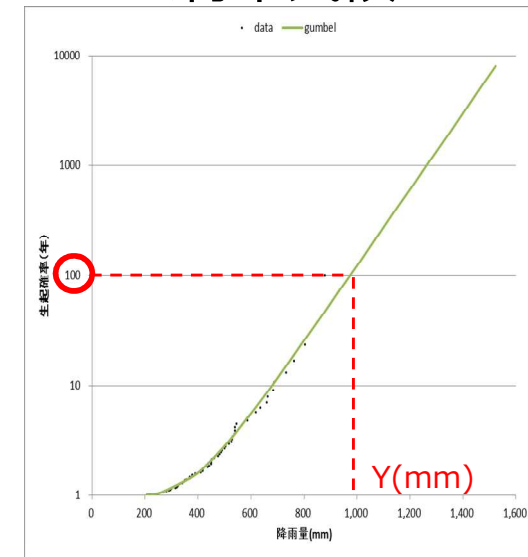
①で計算した年最大雨量を、Gumbel分布の確率密度関数を当てはめることで、100年確率雨量を現在気候及び将来気候について算出し、降雨量変化倍率を算出した。  
(下図の場合：降雨量変化倍率=Y/X)

＜現在気候＞



現在気候の100年  
確率規模の降雨量

＜将来気候＞



将来気候の100年  
確率規模の降雨量

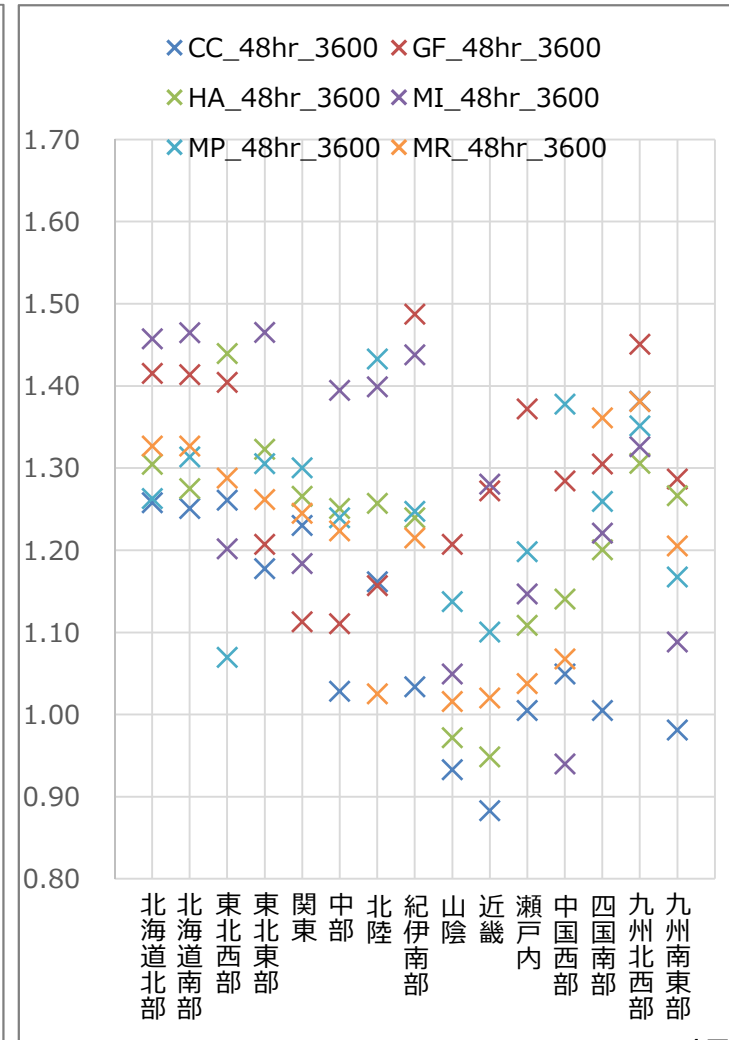
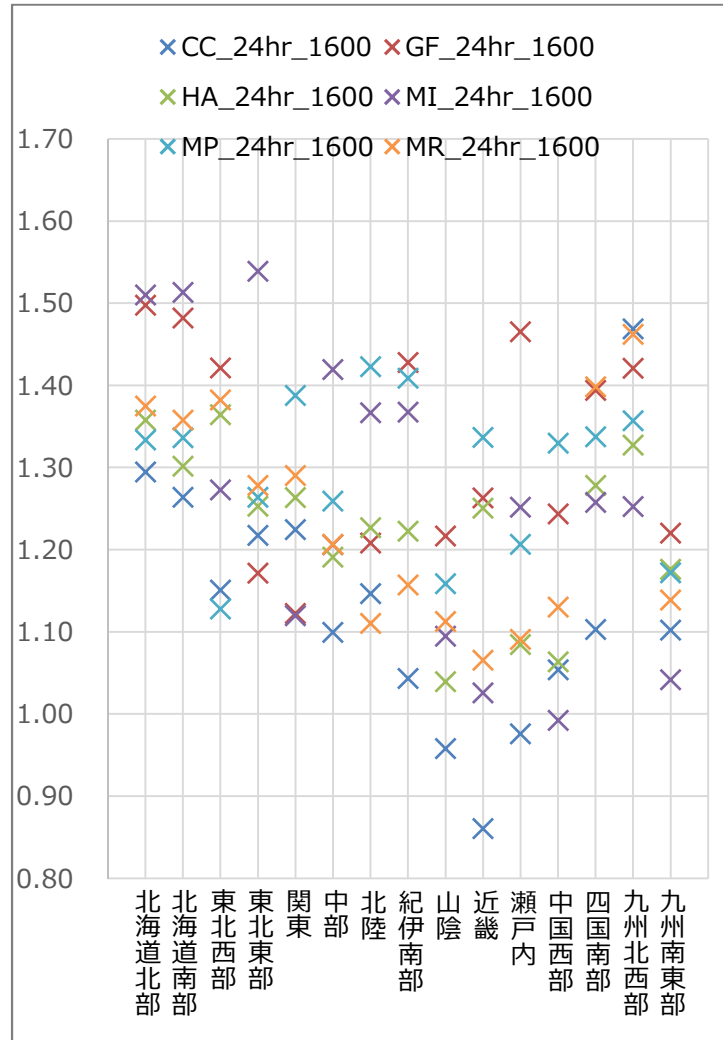
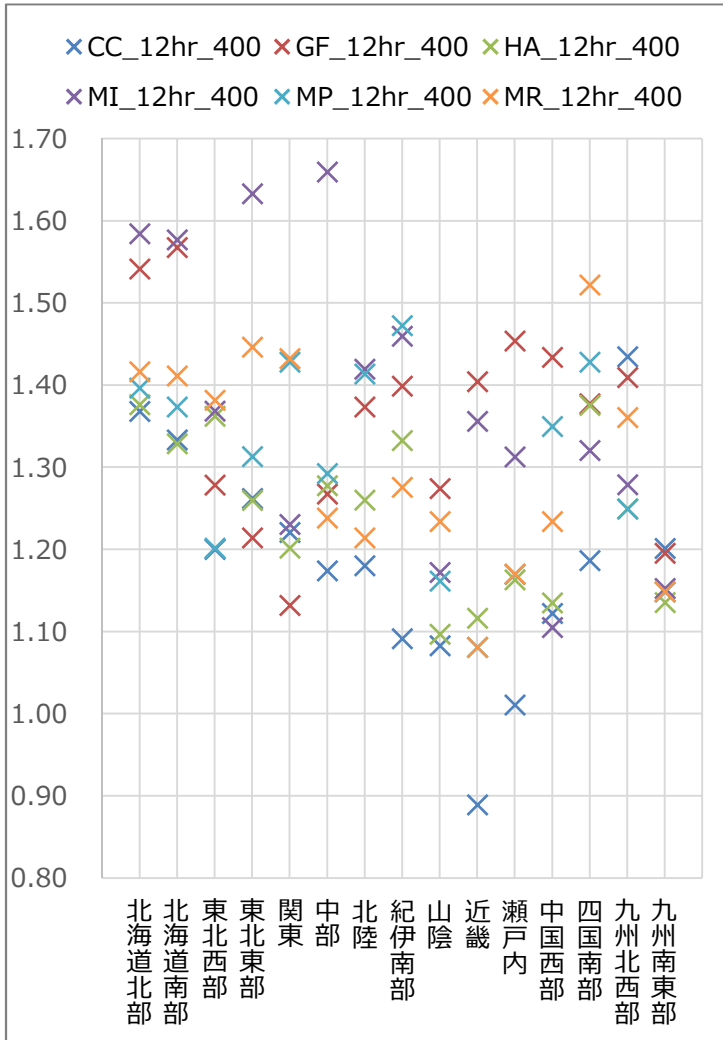
# 各地域区分における海面水温モデル毎の降雨量変化倍率

○d4PDF(5km)の100年確率雨量の変化倍率を、6つの海面水温モデルと15の地域特性により検証した  
 ○北海道北部、北海道南部等は他の地域に比べ高い傾向を示しており、海面水温モデルによる変化倍率の幅も地域差がみられる。

降雨継続時間：12時間  
 雨域面積：400 km<sup>2</sup>

降雨継続時間：24時間  
 雨域面積：1600 km<sup>2</sup>

降雨継続時間：48時間  
 雨域面積：3600 km<sup>2</sup>

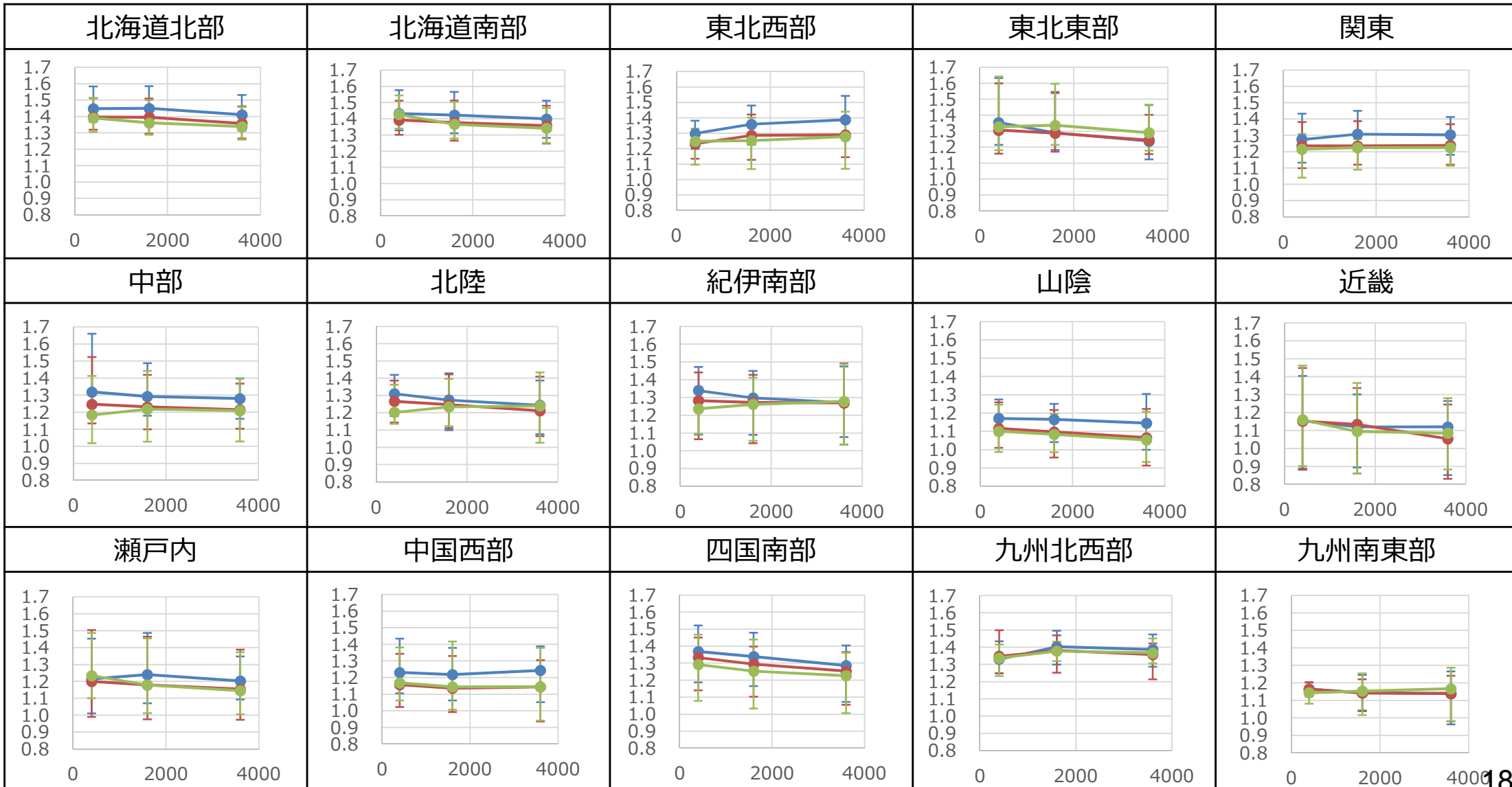


※ d4PDF(5km, SI-CAT)、d4PDF(5km, yamada)は将来気候のSST6パターンによる結果の幅と平均値を示した。

# 地域区分毎の流域面積と降雨量変化倍率の関係性

○ 各地域区分のRCP8.5の降雨量変化倍率の平均値は、概ね1.5～1.0倍の範囲となった。

—●— 12hr —●— 24hr —●— 48hr

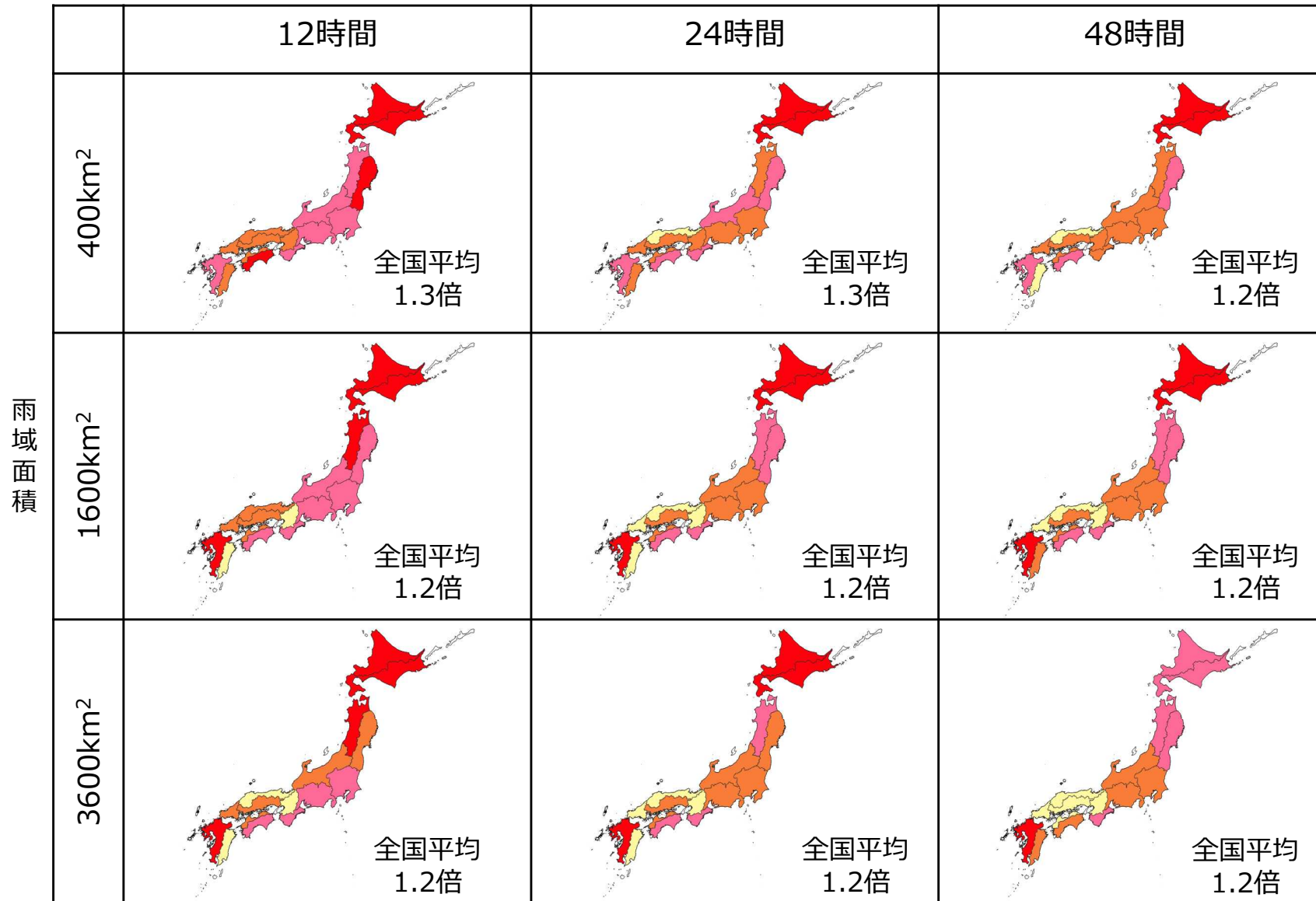


※北海道はd4PDF(5km、yamada)、その他の地域はd4PDF(5km、SI-CAT)の100年確率雨量を用いた。

# 気候変動による降雨量変化倍率の試算結果

○温室効果ガスの排出量が、最大排出量に相当するRCP8.5（4℃上昇相当）において、21世紀末の降雨量が、20世紀末と比べて全国平均で1.2～1.3倍になる（降雨継続時間や雨域面積により変化倍率は異なる）

降雨継続時間



凡例



※現在気候実験結果に対する将来気候実験結果の100年確率雨量の変化倍率

# 地域区分ごとの降雨量変化倍率の設定の考え方

4℃上昇	計算結果			決定値	考え方
	平均値	中央値	6SST		
北海道 北部	1.39	1.36	1.31~1.52	1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値1.39は、全国平均値1.25と比較すると高い傾向にある。また、全国平均値1.25は6 SST毎の値の幅にも収まっていないため、同様に高い傾向にある九州北西部の3地域の平均的な値として1.4とする。</li> <li>●北海道地域は平均気温が低いが、気候変動による気温上昇が大きく、飽和水蒸気量の増加率が高くなるため、降雨量の増加率が高いと考えられる。</li> </ul>
北海道 南部	1.39	1.36	1.29~1.52	1.4	
東北西部	1.29	1.31	1.15~1.41	1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値1.29は、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると高い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6 SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。</li> <li>●北海道ほどではないものの、東北地方も平均気温が低いが、気候変動による気温上昇が大きく、飽和水蒸気量の増加率が高くなるため、降雨量の増加率が高いことと同様であると考えられる。</li> </ul>
東北東部	1.29	1.26	1.18~1.54	1.2	
関東	1.25	1.25	1.12~1.37	1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値は1.24~1.28であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると高い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6 SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。</li> </ul>
中部	1.24	1.23	1.10~1.46	1.2	
北陸	1.25	1.22	1.11~1.40	1.2	
紀伊南部	1.28	1.29	1.07~1.45	1.2	
山陰	1.11	1.11	0.99~1.24	1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値は1.11~1.19であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると低い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6 SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。</li> </ul>
近畿	1.12	1.09	0.87~1.35	1.2	
瀬戸内	1.19	1.16	1.03~1.36	1.2	
中国西部	1.18	1.15	1.02~1.37	1.2	
四国南部	1.29	1.31	1.09~1.49	1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値は1.29であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると高い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6 SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。</li> </ul>
九州 北西部	1.37	1.37	1.27~1.45	1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値は1.37であり、全国平均値1.25と比較すると高い傾向にある。また、全国平均値1.25は6 SST毎の値の幅にも収まっていないため、同様に高い傾向にある北海道北部・北海道南部の3地域の平均的な値として1.4とする。</li> <li>●これは、九州北西部は付近の海面水温が高く、水蒸気量が豊富に供給されるとともに、偏西風が九州を南北に走る九州山地に当たることで西側に雨が降りやすくなることに寄与している。</li> </ul>
九州 南東部	1.15	1.17	1.04~1.23	1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計算結果の平均値は1.15であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると低い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6 SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。</li> </ul>

# 将来降雨の予測データを活用した変化倍率の算出（換算値の検討）

○これまでにd4PDF（5km）により求めたRCP8.5（4℃上昇相当）に基づく地域区分毎の降雨量変化倍率を、2℃上昇相当のRCP2.6へ変換するため、「21世紀末における日本の気候（環境省・気象庁）」の年上位5%降水イベントの日降水量の変化率を用いて換算値を算出する。

## ○年上位5%の降水イベントによる日降水量の変化率

表 上位5%の降水イベントによる日降水量の変化

	全国	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側
RCP2.6	10.3 (7.9~14.5)	7.8 (5.2~9.4)	11.3 (9.2~12.8)	8.5 (7.4~10.6)	10.9 (7.4~14.6)	7.5 (3.5~14.6)	12.4 (7.3~18.9)
RCP4.5	13.2 (8.0~16.0)	13.0 (9.0~15.5)	16.4 (6.8~24.5)	11.1 (8.8~14.4)	12.7 (8.1~15.3)	12.6 (7.6~16.9)	12.7 (8.6~15.9)
RCP6.0	16.0 (14.8~18.2)	18.1 (16.5~19.0)	18.2 (16.7~19.5)	19.0 (15.7~22.4)	14.7 (13.0~16.2)	13.2 (9.2~18.6)	16.5 (14.1~19.0)
RCP8.5	25.5 (18.8~35.8)	28.9 (18.0~38.9)	25.7 (13.6~37.5)	29.9 (23.8~38.3)	22.4 (15.3~36.0)	24.0 (16.7~30.3)	27.2 (18.8~38.6)

※RCP2.6、4.6、6.0（3ケース）、RCP8.5（9ケース）における将来気候の予測（2080～2100年平均）と現在気候（1984～2004年平均）の変化率を示す

※各シナリオにおける全ケースの平均値、括弧内に平均値が最小のケースと最大のケース（年々変動等を含めた不確実性の幅ではない）を示す

出典：日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について（お知らせ）【環境省、気象庁】

（<http://www.env.go.jp/press/19034.html>）より

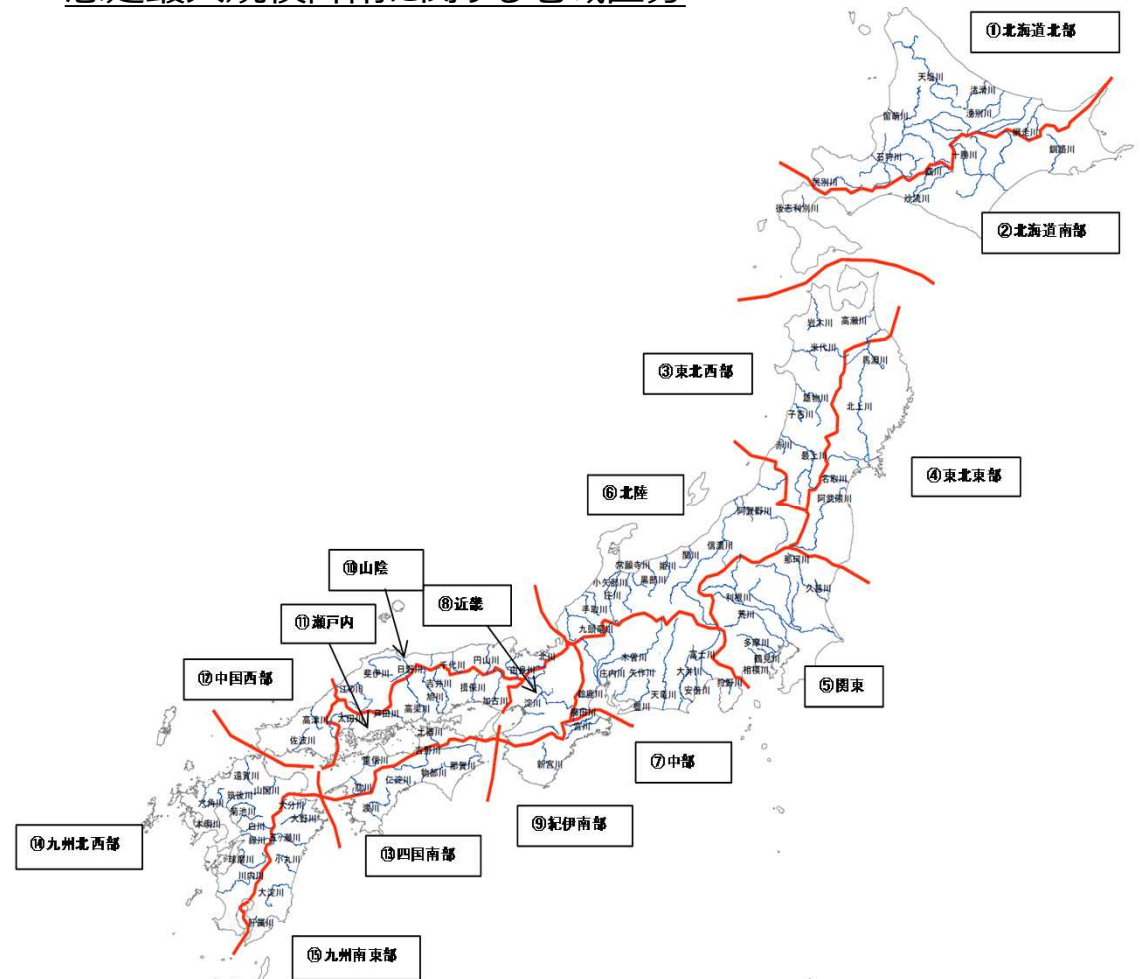
# 将来降雨の予測データを活用した変化倍率の算出(換算値の検討)

○「21世紀末における日本の気候(環境省・気象庁)」は地方季節予報の予報区分を使用しているため、面積比率により、換算値を補正する。

気象庁・地方季節予報の予報区分



想定最大規模降雨に関する地域区分



# 将来降雨の予測データを活用した変化倍率の算出(換算値の検討)

○「21世紀末における日本の気候(環境省・気象庁)」は地方季節予報の予報区分を使用しているため、面積比率により、換算値を補正する。

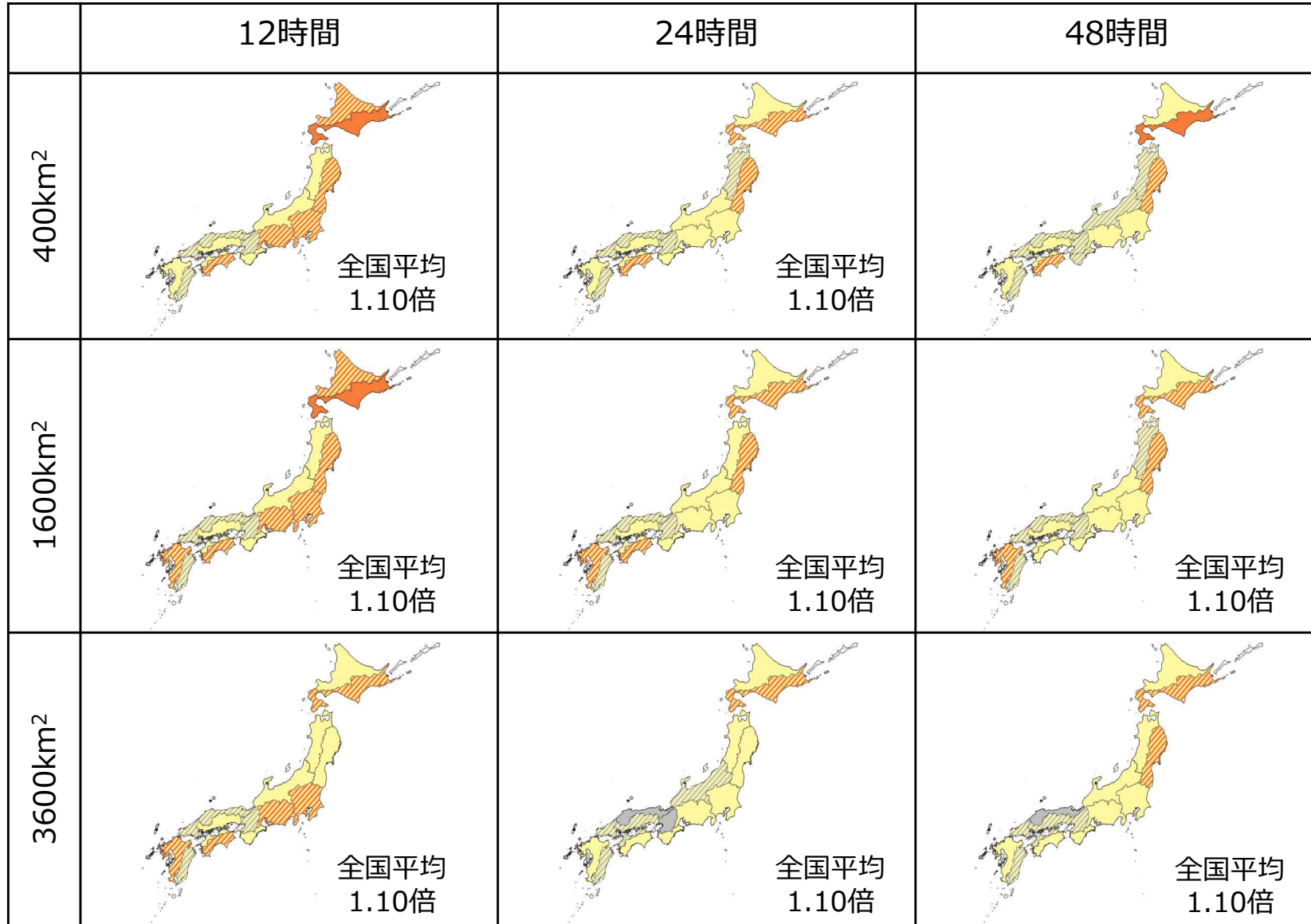
	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側	地域別 換算値
換算値	0.25	0.45	0.3	0.5	0.3	0.45	
①北海道北部	74%	26%					0.30
②北海道南部	13%	87%					0.42
③東北西部	87%	13%					0.28
④東北東部		100%					0.45
⑤関東		1%		99%			0.50
⑥北陸	15%		58%	27%			0.35
⑦中部				100%			0.50
⑧近畿			5%	19%	75%		0.34
⑨紀伊南部			38%		62%		0.30
⑩山陰					76%	18%	0.31
⑪瀬戸内					1%	99%	0.45
⑫中国西部					88%	1%	0.27
⑬四国南部						100%	0.45
⑭九州北西部					78%	22%	0.33
⑮九州南東部					28%	72%	0.41



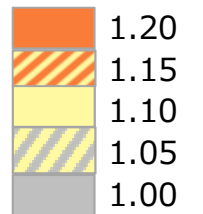
# 気候変動による降雨量変化倍率の試算結果(2℃上昇相当)

○ 4℃上昇相当時の降雨量変化倍率の試算結果をもとに、最も温暖化を抑えたRCP2.6(2℃上昇相当)に換算した値を試算すると、21世紀末の降雨量が、20世紀末と比べて全国平均で1.10倍になる。

降雨継続時間



凡例



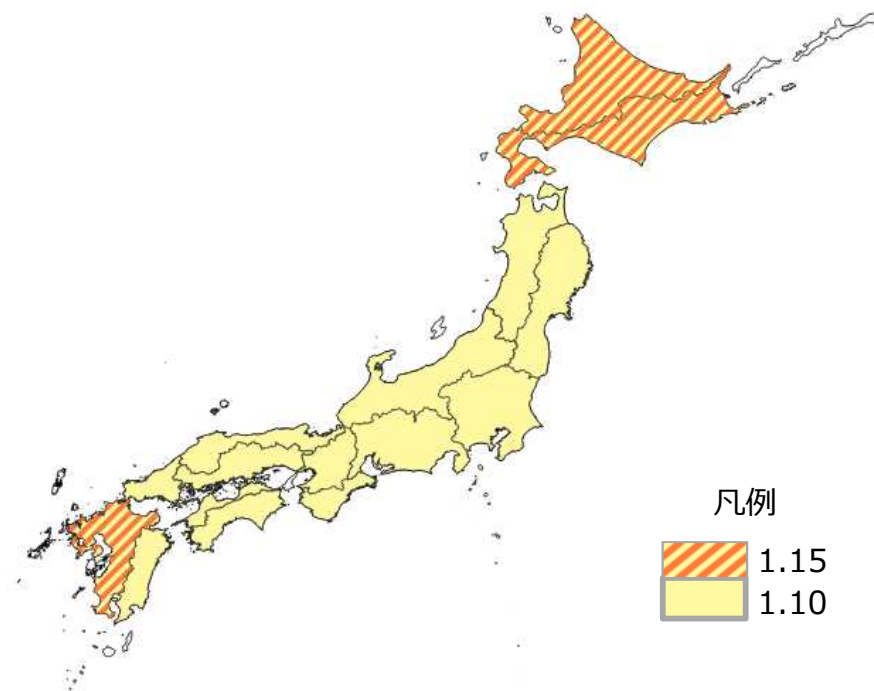
※現在気候実験結果に対する将来気候実験結果の100年確率雨量の変化倍率

## 2℃上昇相当時の降雨量変化倍率の算出方法

○ 4℃上昇相当時の降雨量変化倍率に換算値を乗じて、地域区分ごとに2℃上昇相当時の降雨量変化倍率を算出。

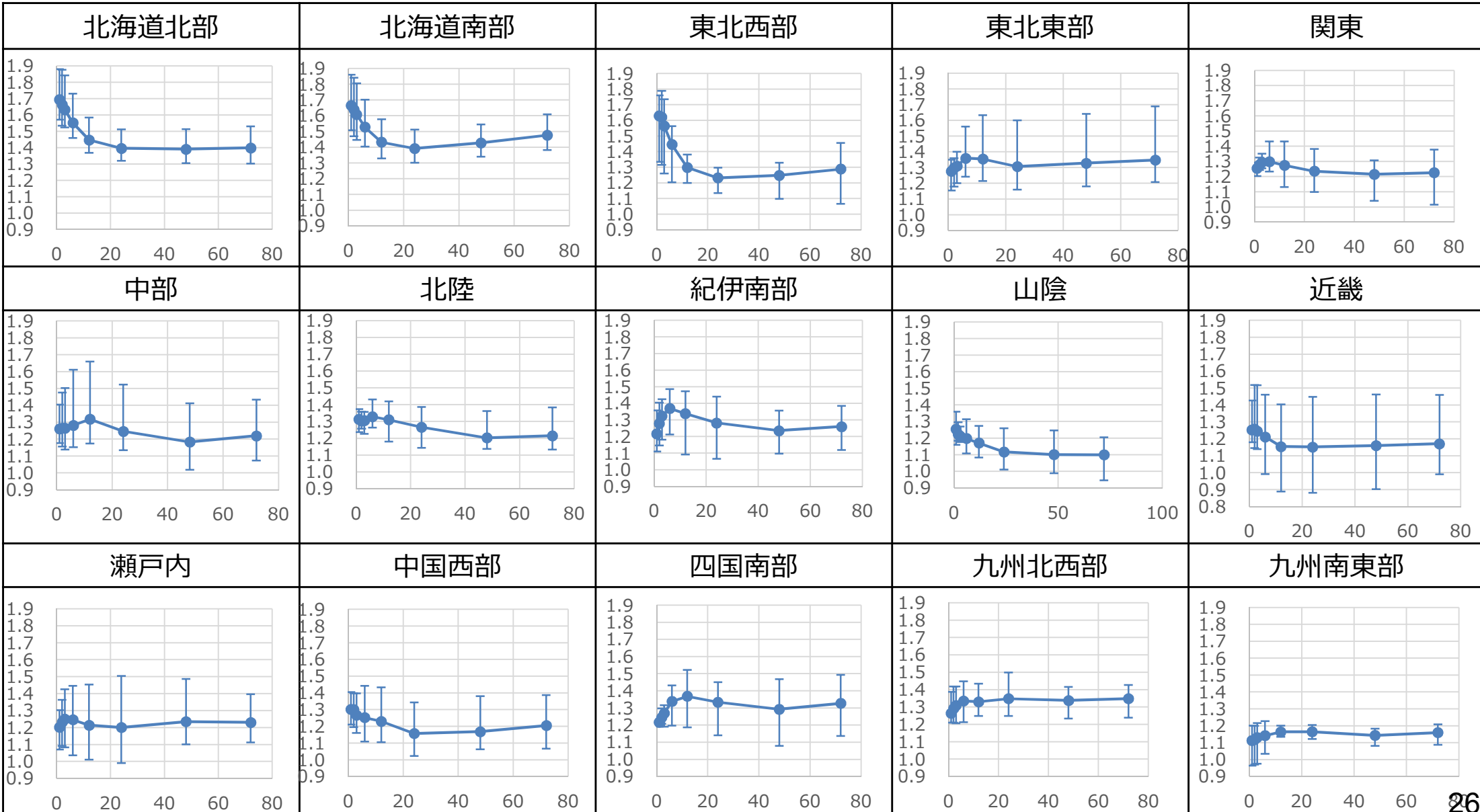
○ 2℃上昇と4℃上昇による影響の程度は違っても同じ傾向を示すと想定し、4℃上昇相当時の降雨量変化倍率が同じ地域区分ごとに2℃上昇時の変化倍率を設定。

2℃上昇換算値	計算結果		決定値
	平均値	6SST	
北海道北部	1.12	1.09~1.16	1.15
北海道南部	1.17	1.12~1.22	1.15
東北西部	1.08	1.04~1.11	1.1
東北東部	1.13	1.08~1.24	1.1
関東	1.12	1.06~1.18	1.1
中部	1.12	1.05~1.23	1.1
北陸	1.09	1.04~1.14	1.1
紀伊南部	1.08	1.02~1.13	1.1
山陰	1.03	1.00~1.07	1.1
近畿	1.04	0.96~1.12	1.1
瀬戸内	1.09	1.01~1.16	1.1
中国西部	1.05	1.01~1.11	1.1
四国南部	1.13	1.04~1.22	1.1
九州北西部	1.12	1.09~1.15	1.15
九州南東部	1.06	1.02~1.10	1.1



# 小流域・短時間降雨の評価

○各地域における降雨継続時間毎（1h,2h,3h,6h,12h,24h,48h,72h）、雨域面積400km<sup>2</sup>の100年確率雨量の変化倍率を算出。 ※北海道はd4PDF(5km, yamada)、その他の地域はd4PDF(5km, SI-CAT) を用いた。海面水温6パターンの平均値を点で示し、幅はエラーバーで示す。

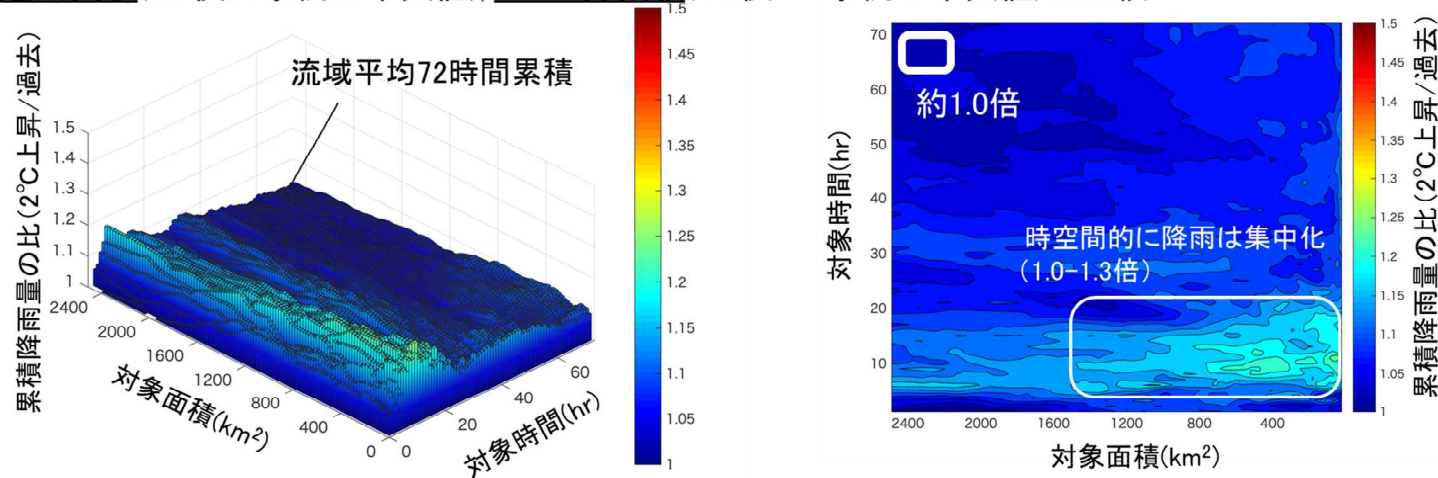


# 小流域・短時間降雨の評価

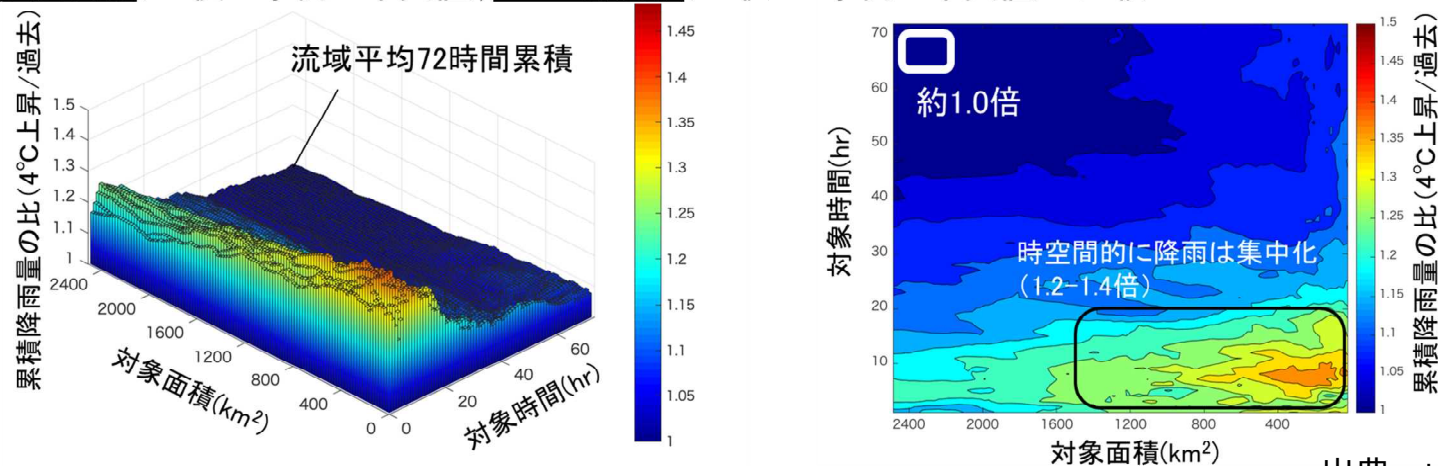
- 十勝川を対象とした研究によると、小流域・短時間降雨の変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時は4℃上昇時ほど顕著には生じないとされている。
- そのため、2℃上昇時には小流域・短時間降雨の変化倍率の上乗せは行わない。

## 十勝川帯広基準地点集水域(200~250mm/72hrのみを対象)

・過去実験(DS後71事例の中央値), 2℃上昇実験(DS後110事例の中央値)の比較



・過去実験(DS後71事例の中央値), 4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)の比較

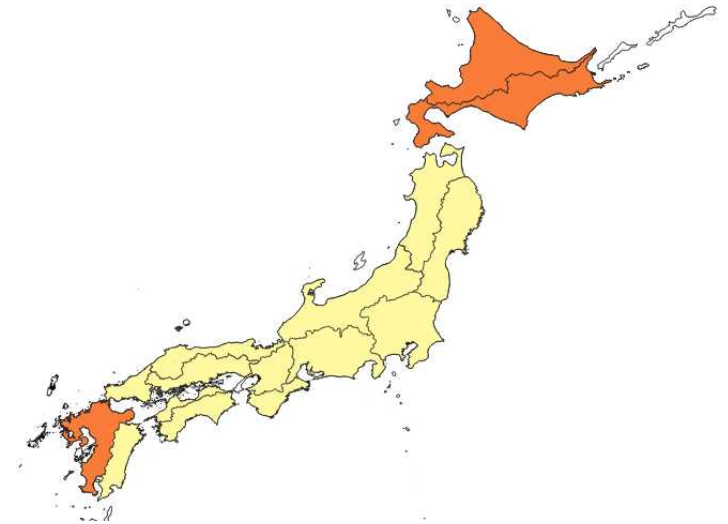


# 気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化

- 2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、3地域で1.15倍、その他12地域で1.1倍、4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は3地域で1.4倍、その他12地域で1.2倍と試算。
- 4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

## <地域区分毎の降雨量変化倍率>

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



※ 4℃上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満のこと

## <参考> 降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
RCP2.6 (2℃上昇相当)	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
RCP8.5 (4℃上昇相当)	(約1.3倍)	(約1.4倍)	(約4倍)

※ 降雨量変化倍率は、20世紀末(過去実験)に対する21世紀末(将来実験)時点の、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100~1/200)の降雨量の変化倍率の平均値

※ RCP8.5(4℃上昇相当)時の降雨量変化倍率は、産業革命以前に比べて全球平均温度が4℃上昇した世界をシミュレーションしたd4PDFデータを活用して試算

※ 流量変化倍率は、降雨量変化倍率を乗じた降雨より算出した、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100~1/200)の流量の変化倍率の平均値

※ 洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100~1/200)の降雨の、現在と将来の発生頻度の変化倍率の平均値

(例えば、ある降雨量の発生頻度が現在は1/100として、将来ではその発生頻度が1/50となる場合は、洪水発生頻度の変化倍率は2倍となる)

# 「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」を受けた下水道計画における外力の設定の考え方

## 気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言

○過去実験と将来実験で算出された年超過確率1/100の降雨量を比較することにより設定。

○雨域面積400km<sup>2</sup>における降雨継続時間毎の降雨量変化倍率は、多くの地域において3時間及び6時間の短時間で他の時間よりも大きくなる傾向にあるが、1時間及び2時間では地域によって傾向が異なる。  
○既存の研究では、短時間の変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時は4℃上昇時ほど顕著には生じないとされていることから、4℃上昇時のみにのみ考慮することとし、2℃上昇時に関する降雨量変化倍率は、より小流域やより短時間の降雨に流用することが可能。

○想定最大規模降雨の降雨量設定において用いた降雨特性の類似性から分類した15地域区分を適用。

## 気候変動を踏まえた下水道計画における外力の設定の考え方

○下水道の施設計画の対象降雨である1/5や1/10の降雨量を活用した場合の降雨量変化倍率の検討が必要。

○小流域（400km<sup>2</sup>）、短時間の降雨継続時間（3時間など）の条件において、提言と同様に、2℃上昇時の降雨量変化倍率を設定し、下水道の雨水計画に反映させて良いか。

○提言と同様に15地域区分を適用することで良いか。

※H19の社会資本整備審議会答申では、下水道整備の目標水準を重点地区で概ね10年間に1回発生する降雨、一般地区で概ね5年間に1回発生する降雨に対する安全度の確保を基本としつつ、事業の継続性・実現性等を勘案して設定することになっているが、近年の社会動向等を踏まえ、下水道整備の目標水準を見直す必要があるか。

※「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」で検討される平均海面の上昇量、高潮等の影響を踏まえ、今後雨水排除の内容を適切に見直すこととする。

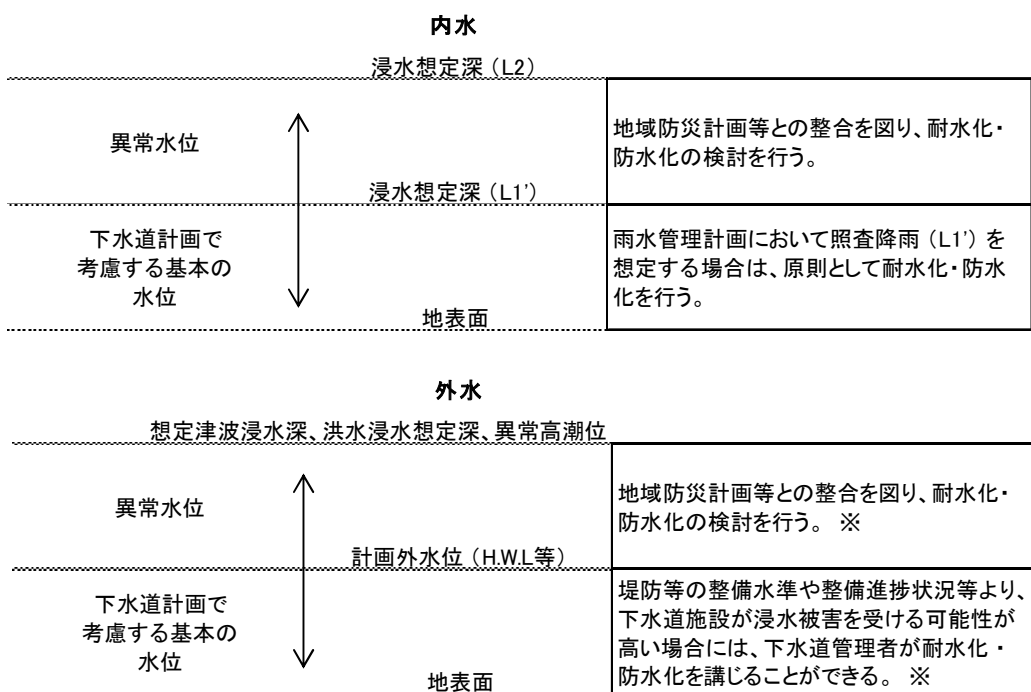
## 2. 下水道施設の耐水化の考え方について

# 論点① 対象外力

- 今回の被災等を踏まえ、対象外力の考え方を整理するべきではないか。

## 対象外力の考え方のポイント

- 激甚化する浸水被害等を踏まえたハード、ソフト両面からのリスク対策。
- 災害時の機能確保を踏まえたハード対策の対象外力。
- 河川や海岸等のインフラ整備の状況や対策の経済性等。



※放流きよ等、外水対策の対象となる施設については、放流先の管理者と協議し対応の検討を行う。

内水・外水に対する水位と対策のイメージ  
(下水道施設計画・設計指針と解説 2019年版より)

施設種別	管路施設	ポンプ場	処理場	処理場	処理場
要求機能	逆流防止機能	揚水機能	揚水機能 消毒施設	沈殿機能 脱水機能	左記以外
耐津波性能	必ず確保			迅速に復旧	早期に復旧
	リスク回避 ※やむをえない場合は「リスク低減」			リスク低減	リスク保有
対応策	浸水しない構造 (浸水高さ以上に設置又は防護壁により防護) ※やむを得ない場合は「強固な防水構造」			強固な防水構造 (防水扉又は設備等の防水化)	浸水を許容
凡例					

下水道施設における耐津波対策の考え方



## 論点② 効率的・効果的な対策手法

- 未対策の施設が多く残る中、整備の進捗を図るため、効率的・効果的に対策をすすめるための整備の考え方を示すべきではないか。

### 効率的・効果的な対策手法のポイント

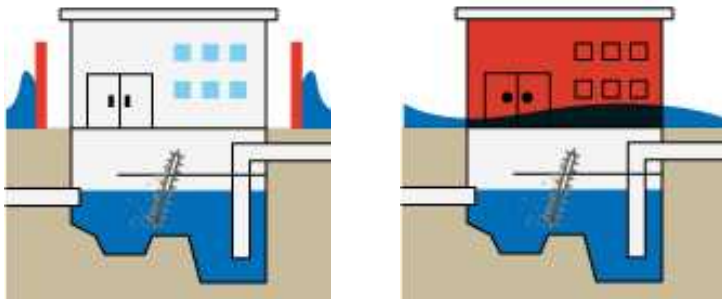
- 被災時の影響の大きさ（影響人口等）や応急対応の容易さ（ポンプ能力、設置場所の確保可能性等）等のリスクを踏まえた対策箇所の優先順位。
- 対策箇所の特性（想定浸水深、対象設備、建屋の構造等）に応じた対策方法。

#### 耐水化の対象範囲の考え方

##### 施設全体を防護

防水壁

施設全体の防水化



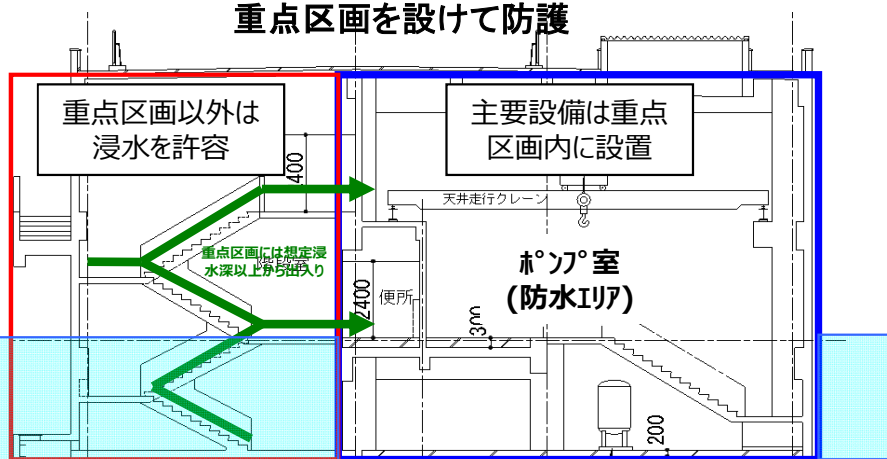
##### 重点区画を設けて防護

重点区画以外は  
浸水を許容

主要設備は重点  
区画内に設置

重点区画には想定浸  
水深以上から溢入り

ポンプ室  
(防水エリア)



#### 各種対策手法



防水壁の設置



主要設備の高上げ



設備機器の防水化  
(耐水型モーター)



開口部の閉塞



防水扉の設置

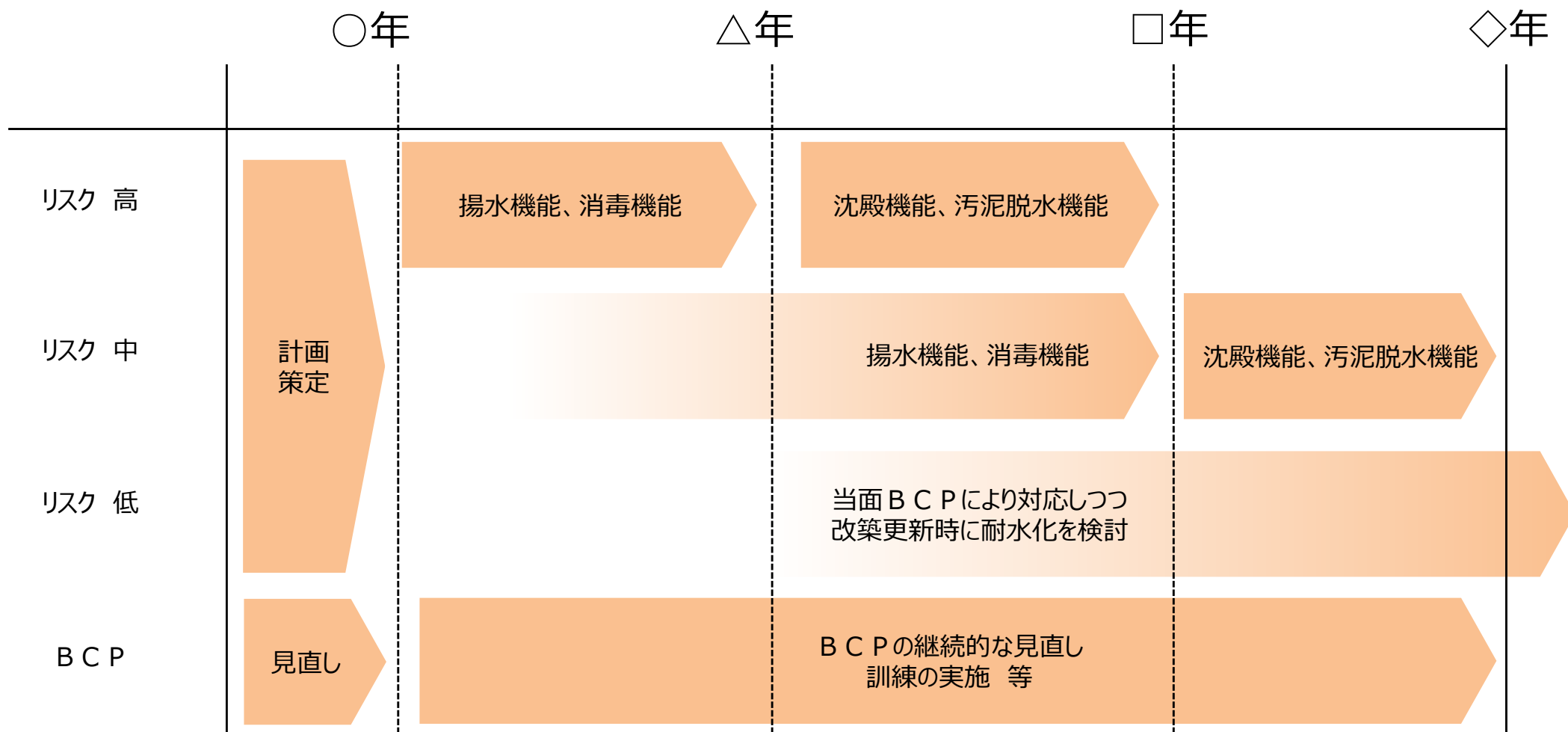
# 論点③ 整備目標

- 未対策の施設の着実な整備を図るため、短期、中期の整備目標を提示するべきではないか。

## 整備目標設定のポイント

- 10年程度の間目標年次を明らかにしたロードマップを作成。

### ロードマップのイメージ



# (参考) 指針等における「耐水化」にかかる規定

## 下水道施設計画・設計指針と解説 2019年版

### ○リスク対策

浸水に対しては、内水と外水を考慮し耐水化、防水化を検討する。

内水に対しては、雨水管理計画において照査降雨 L 1' を想定する場合は、原則として、施設が立地する想定浸水深（照査降雨 L 1'）に対応する耐水化、防水化を行う。

外水に対しては、堤防等の整備水準や整備進捗状況等により、下水道施設が計画外水位による浸水被害を受ける可能性が高い場合には、BCPや地域防災計画に位置付ける等により、下水道管理者が耐水化、防水化の検討を行う。

耐水化や防水化のみでの対応が困難な場合は、機能維持のために建物内で浸水から守るべき範囲である重点化範囲（区画）と建物内で浸水する範囲を設定し、重点化範囲ではハード対策（耐水化・防水化）を行い、重点化範囲外では主にソフト対策により対応を行う。

## 下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版 における主な記載

### ○ポンプ場計画

・ポンプ場は、降雨時に浸水してその機能が停止することがないような配慮が必要であり、外水及び内水による浸水の対策として、地盤のレベルの設定を上げること、若しくは、対応できる構造とする。

・また、沈砂地等からのいっ（溢）水に配慮し、特に電気関係の機器は絶対に浸水しないよう高位置に設置する必要がある。

### ○ポンプ場の位置及び安全対策等

・構内地盤を周辺地盤より高くする。

・ポンプ室、電気室、監視制御室など重要設備室の外部開口部、貫通穴等は、構内地盤より高くするか、扉等の水密化、角落しの設置等により防護できる構造とする。

・揚排水機能の確保に必要な設備に対しては、浸水防止対策を施す。

## 下水道施設の耐震対策指針と解説 – 2014年版 –

### ○ 耐津波対策の基本的な考え方

処理場・ポンプ場施設の耐津波対策は、最大クラスの津波である「津波浸水想定」に対し、「人命を守る（避難機能の確保）」及び「下水道機能の確保」を目的として、対策を検討することを基本とする。

「下水道機能の確保」においては、津波の浸入による支障を防ぐために、耐水化や防水化による対策を行う。なお、耐水化と防水化の検討にあたっては、機能維持のために建物内で浸水から守るべき範囲である重点化範囲（区画）を設定し、対策を講じる。

## 水道施設設計指針 2012年版

### 1.3.3 水道施設の安全性の確保

#### 1) 水道施設の位置と構造

地震や風水害等の自然災害に対する施設の安全性を確保するため、取水施設、貯水施設、浄水施設、配水施設及び重要な幹線管路等の位置の選定に当たっては、地形や地質のほか過去の災害記録等を調査する。その上で、できるだけ安全性の高い位置を選ぶとともに、各施設の設計においては、これらの災害に備えた十分安全な構造とする。

#### 5.1.9 安全対策

#### 3) 豪雨時の排水

水はけの良くない所では、場内の地盤高を周囲より一段高くすることや、浸水対策用の塀等を設置することなどによって浸水の防止を図るほか、浄水場内に雨水の遊水池や排水ポンプを設置するなどの排水対策を講じる。特に外水氾濫のおそれがある場合には浸水水位が高くなることを想定し、開口部が閉鎖できるようにするなどの対策が有効である。

#### 8.1.4 機器管理

1) 水害対策として、特に電気、計装設備は、豪雨または沈殿池及びろ過池等や各種配管からの漏水時等に浸水被害を受ける可能性のない場所に設置する。しかし、計測機器等でやむを得ず浸水被害のおそれのある場所に設置する場合は、必要に応じて防水等の措置を施す。

## 大規模災害発生時における地方公共団体の業務継続の手引き (平成28年2月 内閣府(防災担当))

### ○ 対策の参考

・浸水のおそれがある場合、非常用発電機や受電・配電設備を上層階や水密区画に設置しないし移設するとともに、施設内の電気系統を浸水区画とそれ以外の区画を分離することにより、施設内の停電範囲を最小限にとどめられるような対策も検討

## 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン (平成30年5月 国土交通省(住宅局))

- ・建築設備を想定される浸水深より高い位置や、浸水に耐えられる区画に設置する。
- ・建築設備自体を浸水に耐えられる構造とする。
- ・浸水部分の建築設備の障害が他の部分に波及せず、他の部分は切り離して運用できる構成とする。
- ・外部からの仮設的な供給のためのルート、接続方法を確保する（電力、上水等）。