

気候変動を踏まえた治水計画の前提となる 外力の設定にかかる予測モデルの評価

- (1) IPCCの気候変動シナリオ
- (2) 公表されている将来気候の予測モデル

IPCC第5次評価報告書による将来の気候変動シナリオ

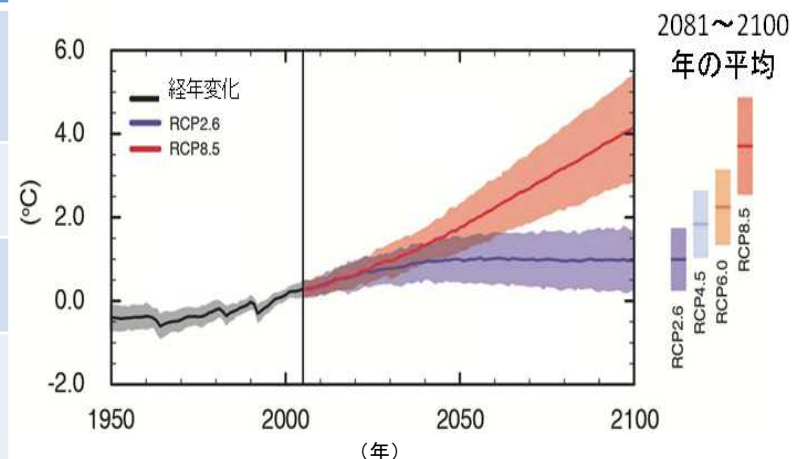
- IPCC第5次評価報告書(AR5)では、温室効果ガス濃度の推移の違いによる4つのRCPシナリオが用意されている。
- 具体的には、パリ協定における将来の気温上昇を2°C以下に抑えるという目標に相当する排出量の最も低いRCP2.6や最大排出量に相当するRCP8.5、それら中間に値するRCP4.5、RCP6.0が用意されている。

< 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 ²) 将来の気温上昇を 2°C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°C	+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 ²)	+1.1~2.6°C	+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 ²)	+1.4~3.1°C	+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 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	+2.6~4.8°C	+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。

※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°C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°C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°C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°C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)

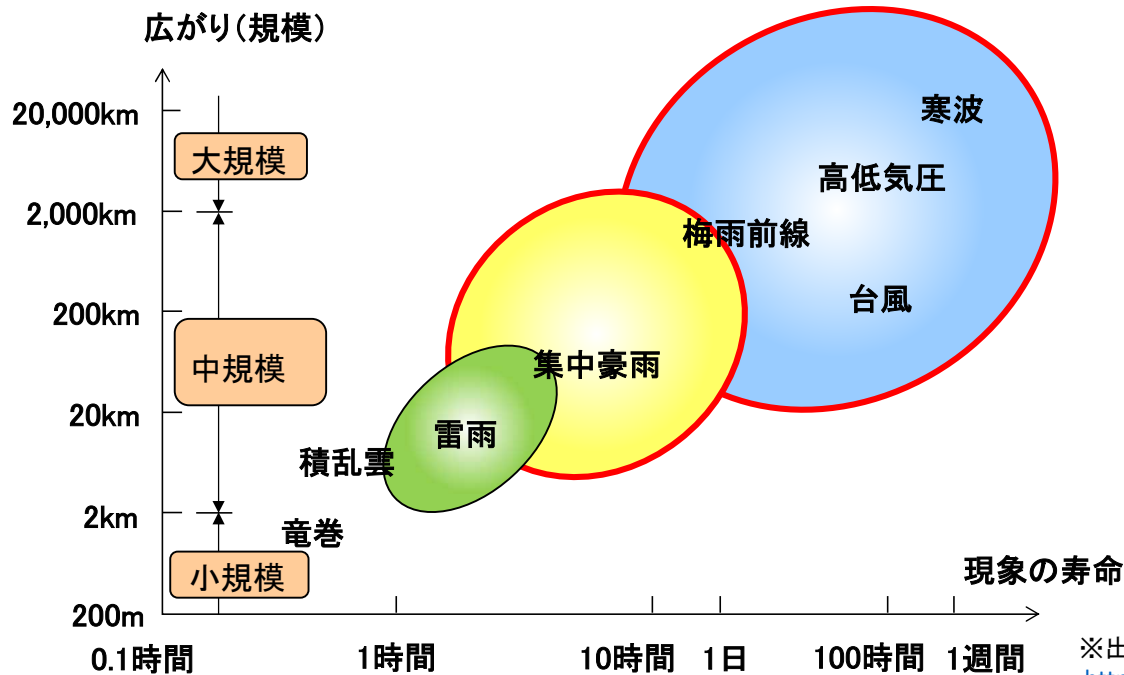
※一部、公開手続き中のものを含む。

※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)

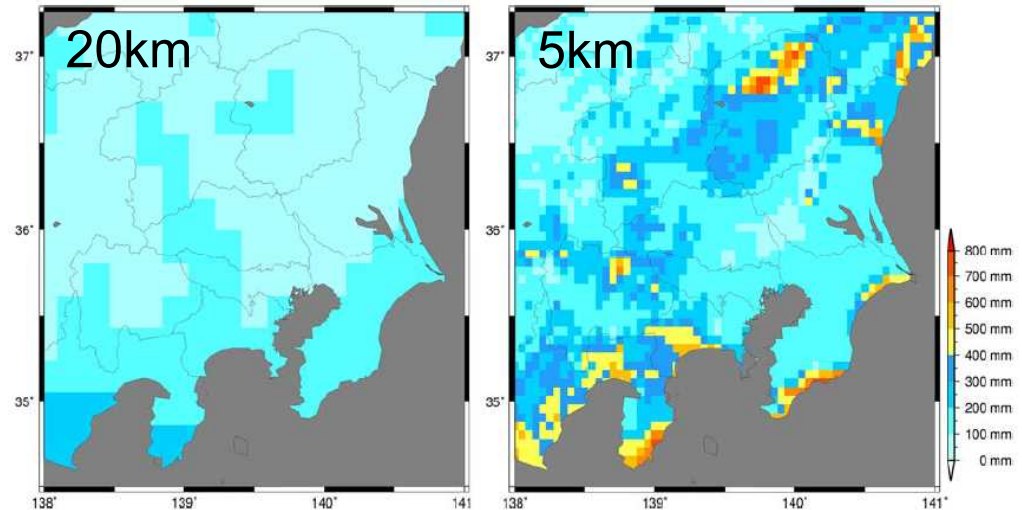
※現在、d2PDF(20km)の解像度5kmへのダウンスケージング計算(d2PDF(5km))が実施中。

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/known/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 前線の降雨 台風規模の降雨	集中豪雨 前線の降雨 台風規模の降雨	台風規模の降雨

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。

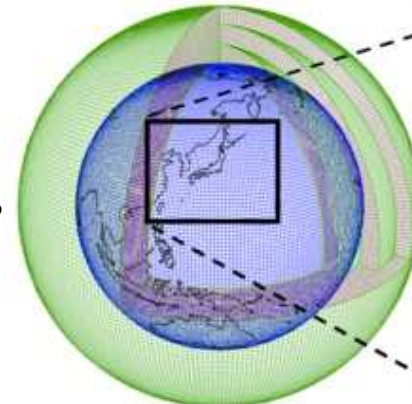
○領域モデル実験は、全球モデル実験の結果を用いて、水平格子間隔20kmにダウンスケーリングを行ったものである。

○産業革命(1850年)以前に比べて全球平均温度が4°C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)

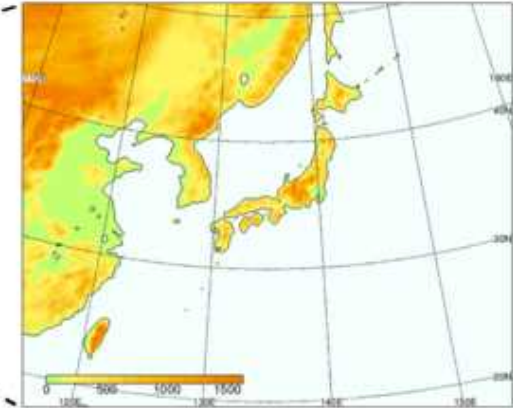


(画像:気象庁提供)

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)

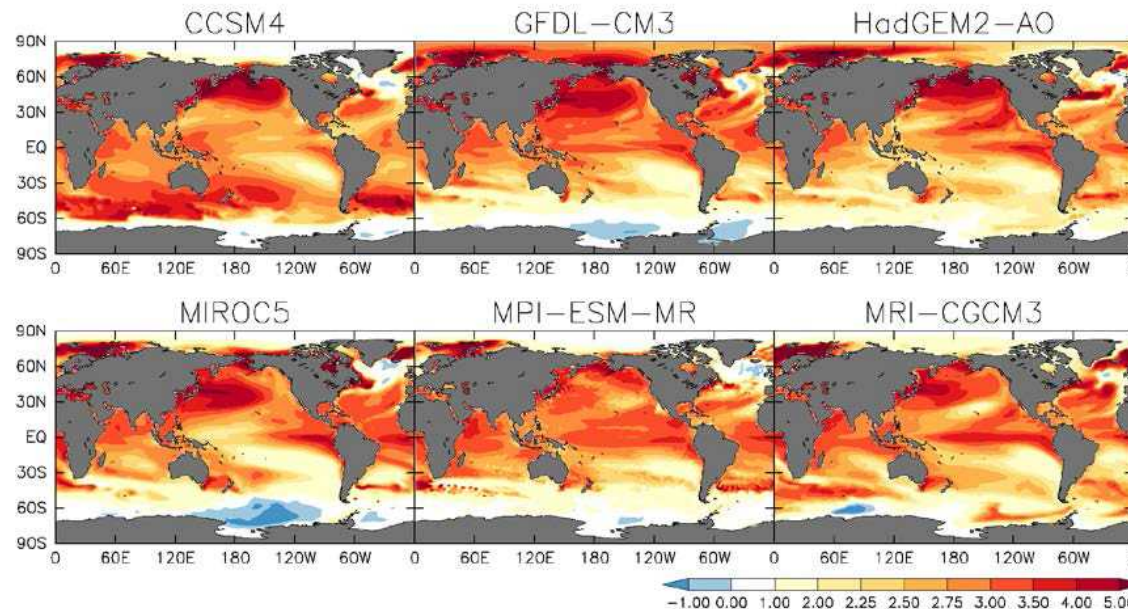
- 過去実験では、観測されたSST(海面水温)データに50の摂動を与えることにより、アンサンブルメンバを作成。
- 将来実験では、6つのSST(海面水温)メンバ及び15の摂動によりアンサンブルメンバを作成。

◆ 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。

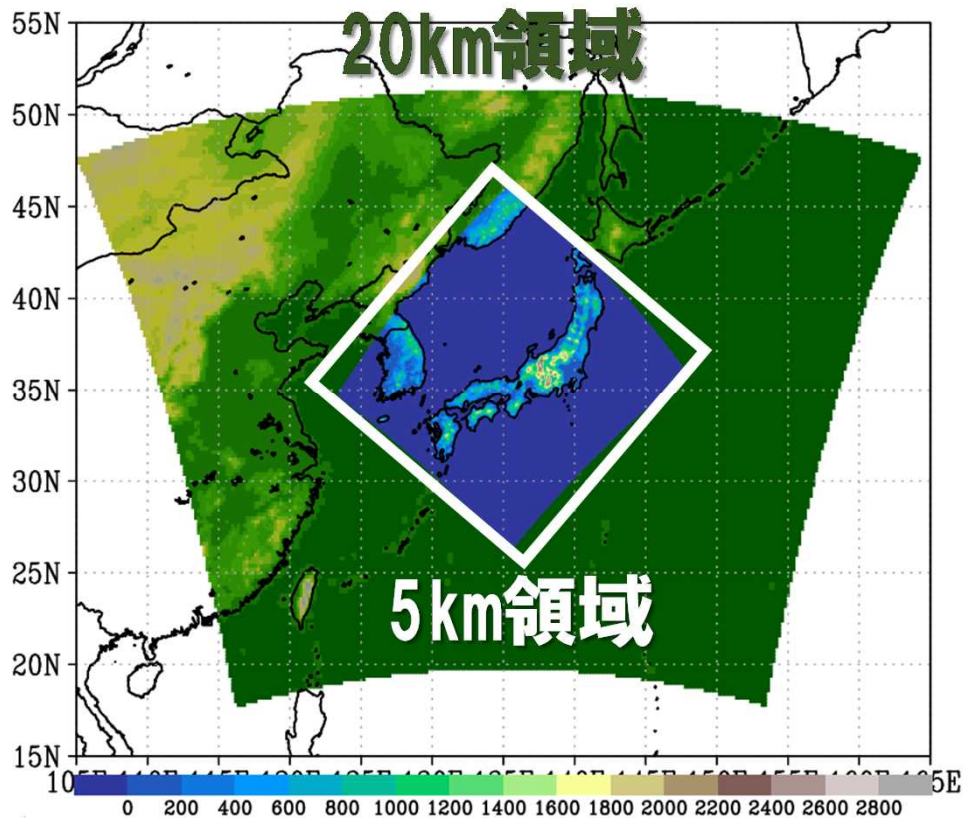


←使用したCMIP5結合モデル毎の、与えた海面水温変化パターン[K]。すべての月、すべての年、すべてのメンバーを平均したもの。

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

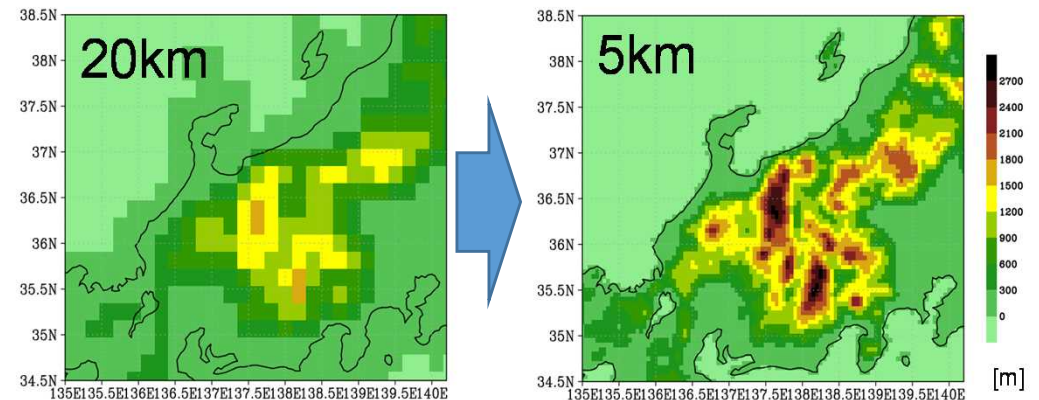


出典: 佐々井崇博(東北大学), 「SI-CATプロジェクトにおける力学DSデータセットの構築」をもとに作成

■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-NHRM)
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)

■地形の再現性



d4PDF(5km,yamada)の特徴

第3回気候変動を踏まえた治水計画に係る
技術検討会山田委員資料を一部加工

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

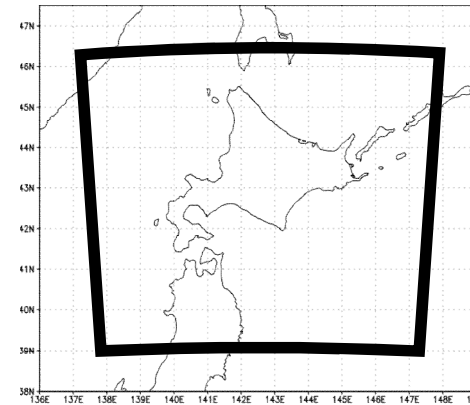
(Nonhydrostatic Regional Climate Model (NHRCM))

計算領域

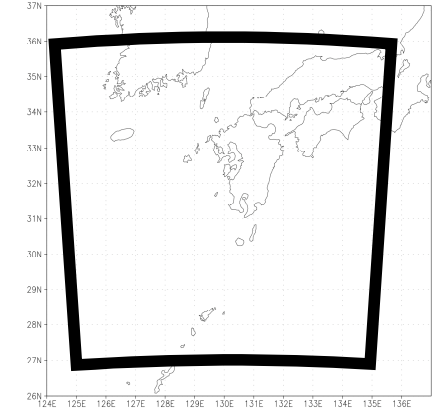
水平解像度：5x5km

- 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°C上昇実験3240イベント、
4°C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°C上昇実験 869年分
計算領域2: 過去実験 610年分、4°C上昇実験 812年分

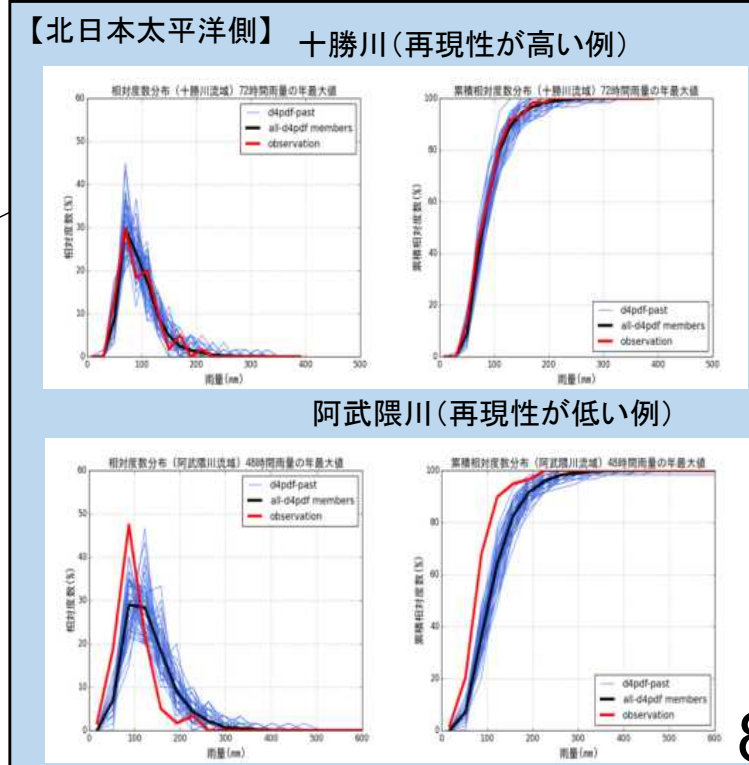
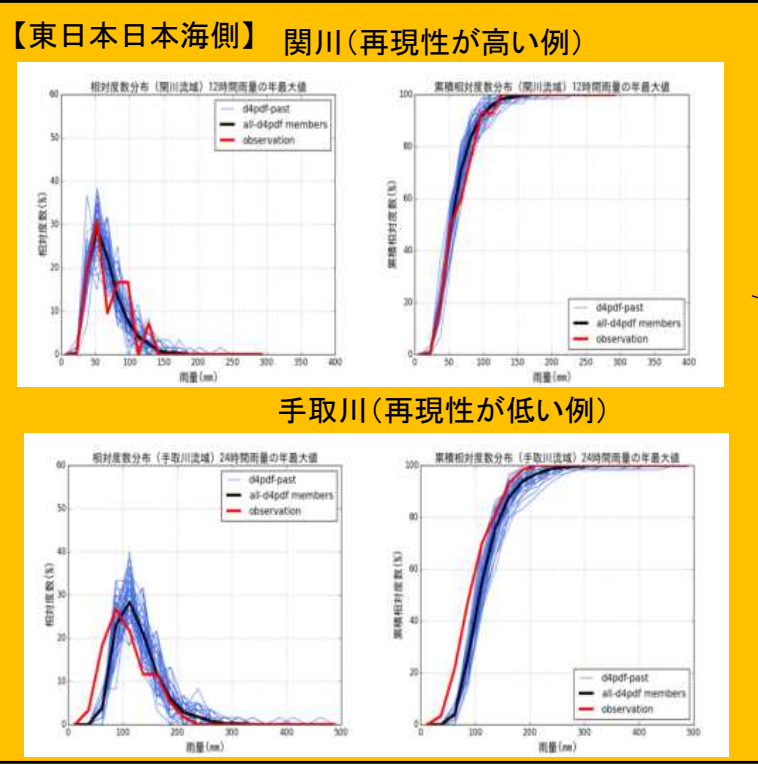
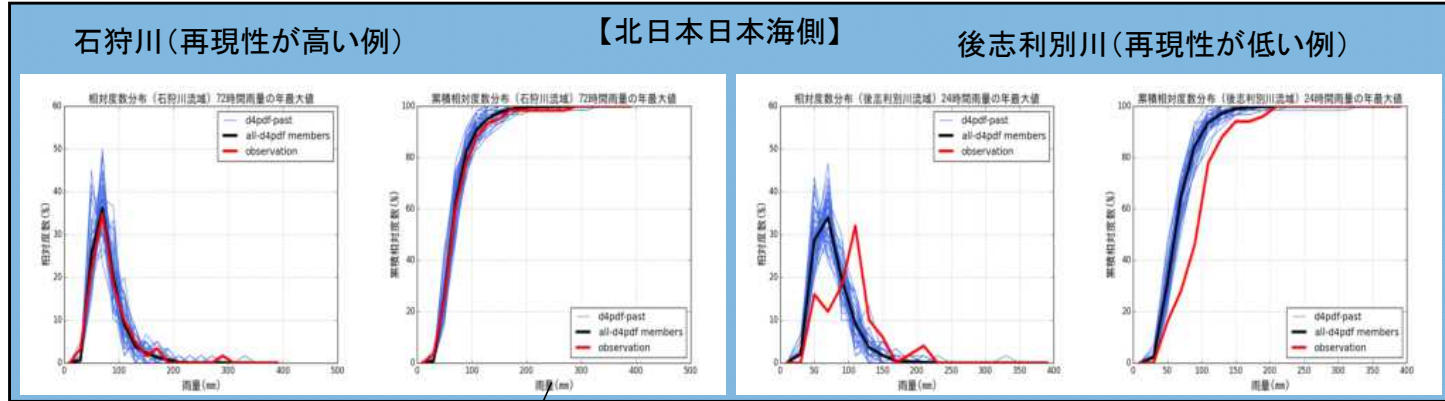
d4PDF(20km)の再現性(現在気候の計算値と観測値の比較①)

○年最大流域平均雨量の相対度数分布図及び累積相対度数分布により、降雨量に関する、d4PDFデータによる現在気候の計算値と観測値を比較。

○どの地域においても概ね再現性は確保できているものの、再現性の高い流域と低い流域が存在。後志利別川流域では過小評価に、阿武隈川流域では過大評価になっている。

※ 各地域において、比較的再現性が高いと思われる流域と再現性が低いと思われる流域をピックアップした。

左図: 年最大流域平均雨量の相対度数分布図
右図: 年最大流域平均雨量の累積相対度数分布図



d4PDF(20km)の再現性(現在気候の計算値と観測値の比較②)

○どの流域においても概ね再現性は確保されているものの、再現性の高い流域と低い流域が存在。吉野川流域や筑後川流域では過小評価に、大井川流域では過大評価になっている。

※ 各地域において、比較的再現性が高いと思われる流域と再現性が低いと思われる流域をピックアップした。

左図: 年最大流域平均雨量の
相対度数分布図
右図: 年最大流域平均雨量の
累積相対度数分布図

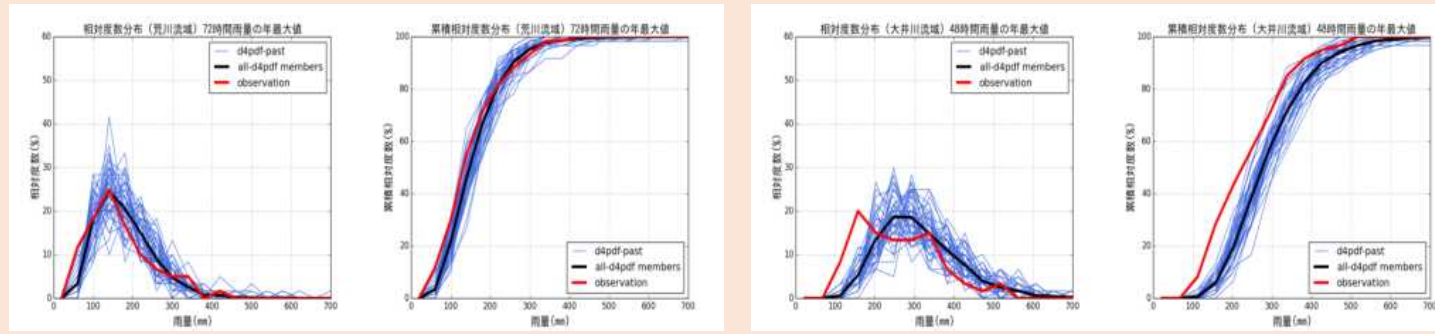
図の凡例

- d4PDF(60年分)
- d4PDF(3000年分)
- 観測値

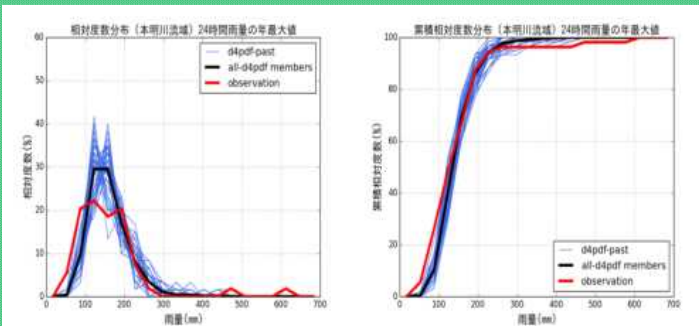
荒川(再現性が高い例)

【東日本太平洋側】

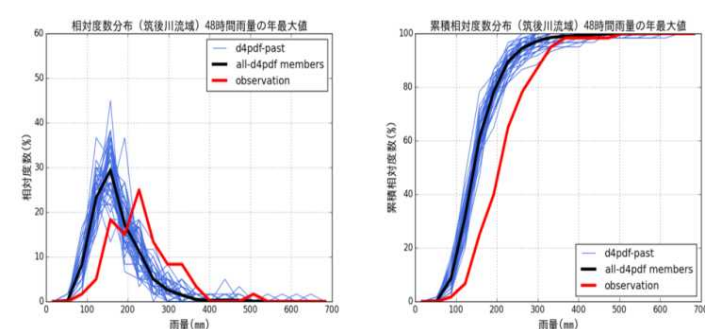
大井川(再現性が低い例)



【西日本日本海側】 本明川(再現性が高い例)

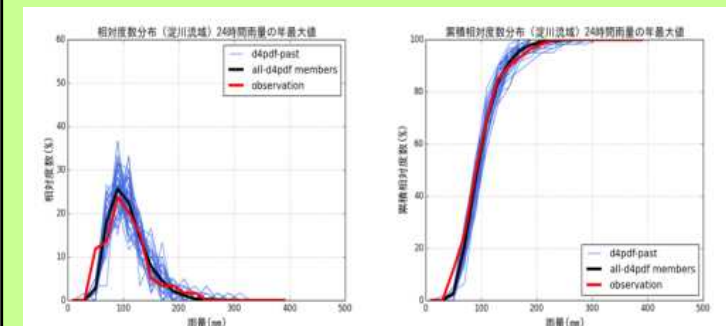


筑後川(再現性が低い例)

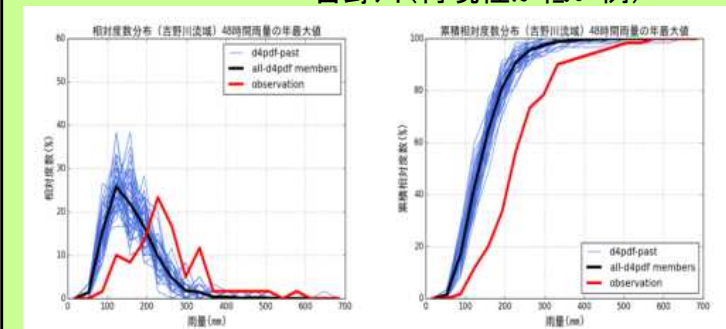


【西日本太平洋側】

淀川(再現性が高い例)

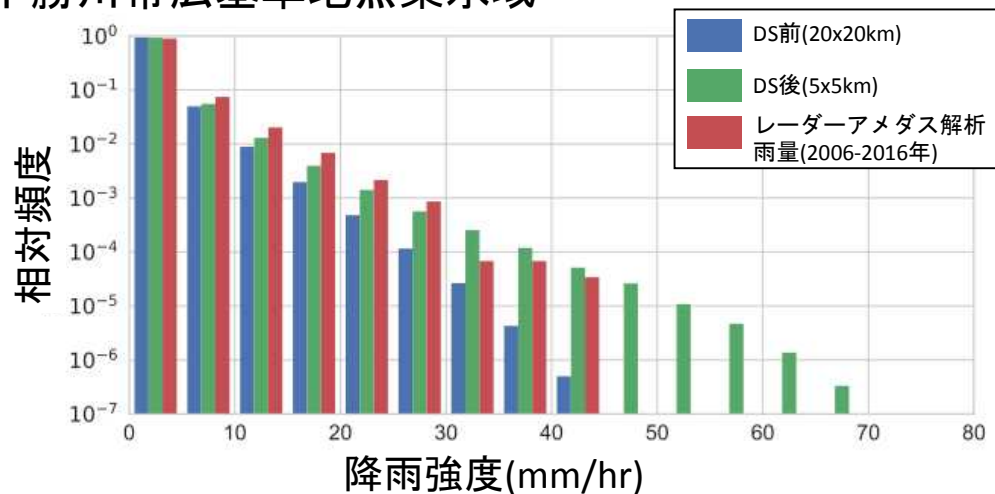


吉野川(再現性が低い例)

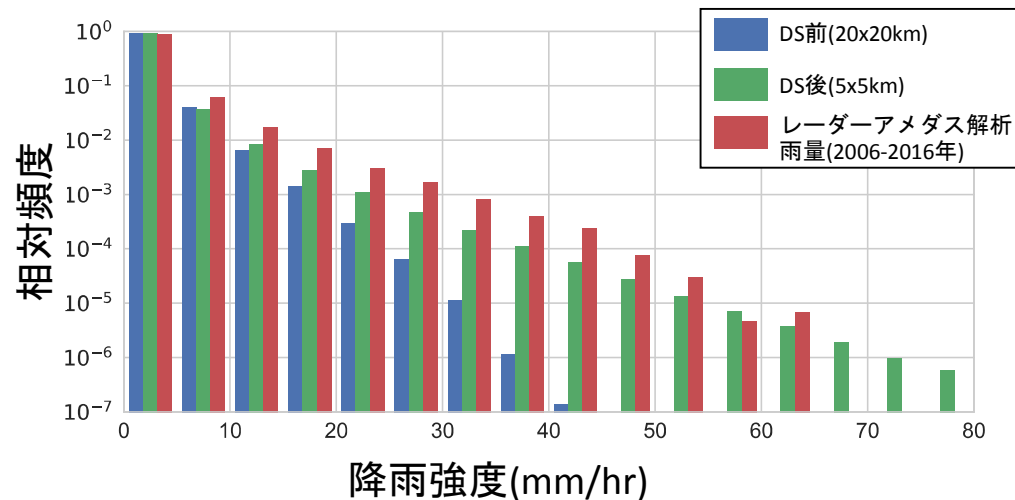


○20kmモデルは、降雨強度が強くなるにしたがって、実際の観測よりも過小評価する傾向にある。
 ○5kmのDSモデルは、観測値に近い再現が可能。

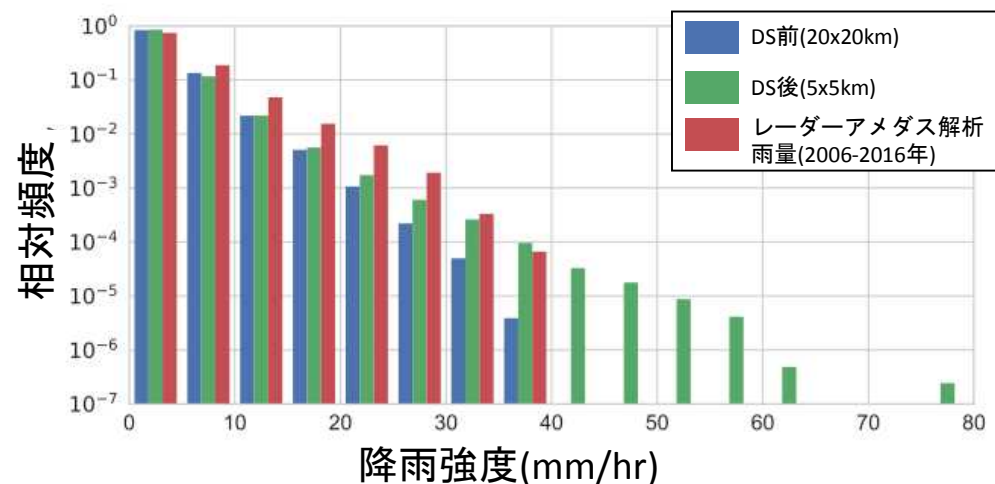
十勝川帯広基準地点集水域



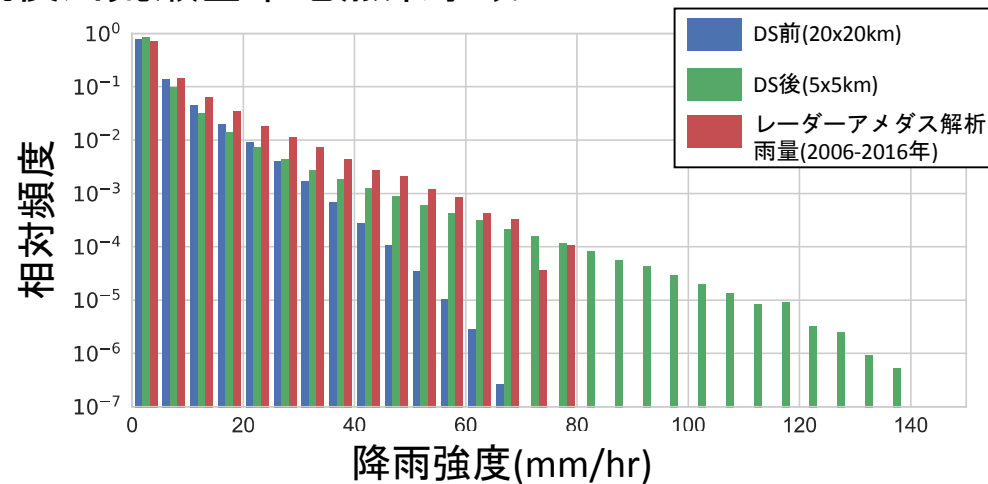
石狩川石狩大橋基準地点集水域



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。

将来降雨の予測モデルの活用の方向性

- 気候変動に関する様々な将来降雨の予測モデルが開発されているが、1/100規模降雨現象等の極端現象を扱う治水計画を検討するには、大量のアンサンブル計算が必要。
- また、治水計画に大きな影響を与える集中豪雨や台風、梅雨前線等の降雨現象を再現するには、少なくとも解像度が5km以下の精度が必要。
- よって、解像度が5km以下で、大量アンサンブル計算を行っているd4PDF(5km)の2つの予測モデルを活用。
- なお、RCP2.6を前提に解像度5kmでアンサンブル計算を行ったデータは整備されておらず、d2PDF(5km)も公表されていないため、NHRCM20のRCP8.5とRCP2.6の変化倍率を用いて換算値を算出する。

RCP2.6とRCP8.5の比較(検証)

	降雨パターン数	解像度	北海道		本州・四国		九州(筑後川)	
			RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
NHRCM20 (21世紀末における日本の気候)	現:60 将:60,180	20km (400km ²)	○ ← → ○		○ ← → ○		○ ← → ○	
NHRCM02 (統合プログラム)	現:80 将:80	2km (4km ²)		○		○		○
d4PDF (創生プログラム)	現:3000 将:5400	20km (400km ²)		○		○		○
d4PDF(5km、yamada) (SI-CAT)	現:3000 将:5400	5km (25km ²)	★ 換算値	○	—	—		○
d4PDF(5km、SI-CAT) (SI-CAT)	現:372 将:372	5km (25km ²)	—	—	★ 換算値	○	★ 換算値	○

全国を15地域ブロックに分けた傾向分析が可能

各モデルの相関関係分析