

# 過去気候・4°C上昇時を対象とした 力学的ダウンスケール結果の概要

北海道大学大学院工学研究院

山田朋人・星野剛

(tomohito@eng.hokudai.ac.jp)

第2回 北海道における気候変動予測（水分野）技術検討委員会

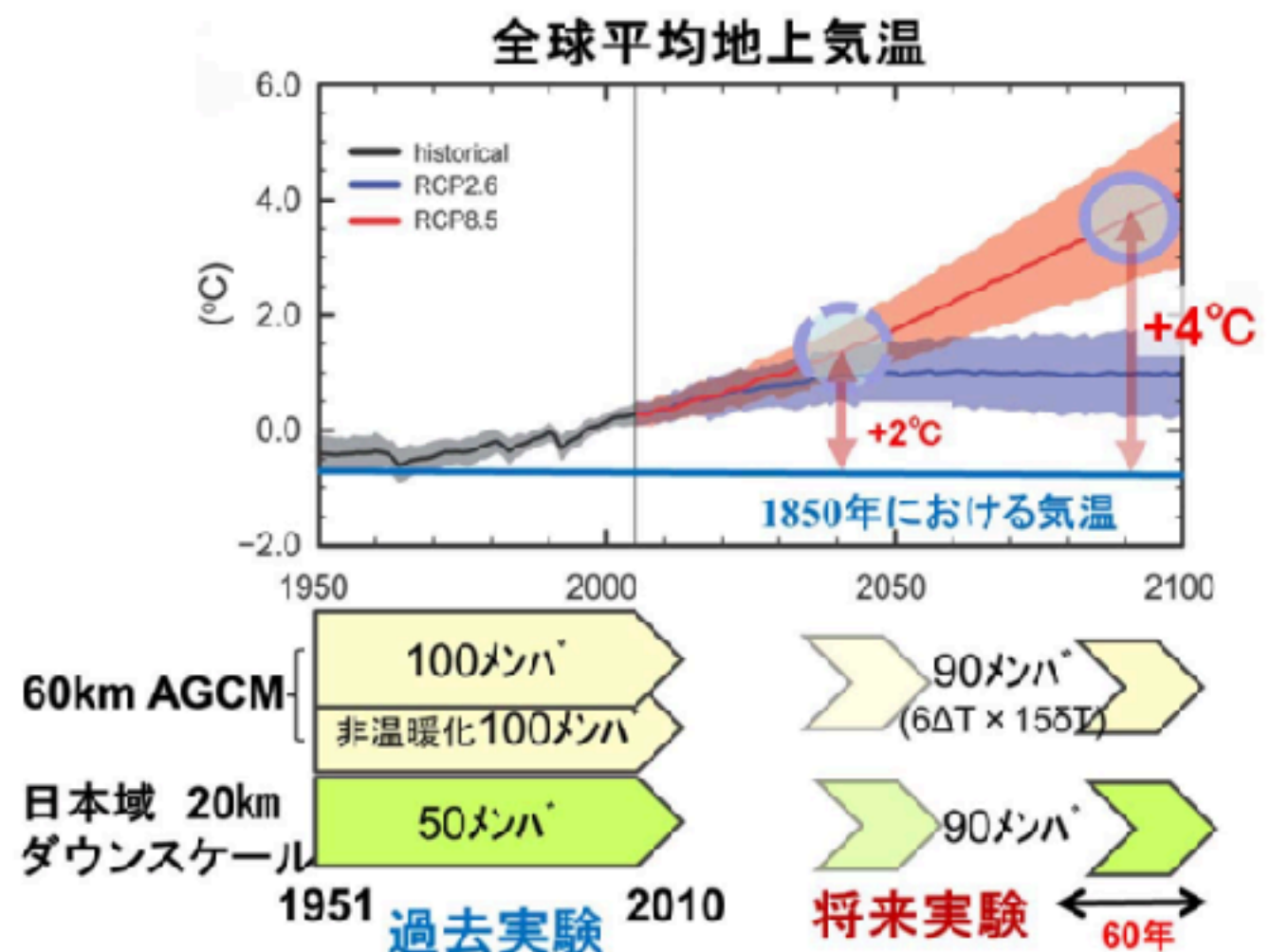
2017年11月21日

平成29年度地球シミュレータ特別推進課題（成果創出加速），文科省SI-CATの支援により実施  
力学的ダウンスケーリングの実施にあたり，気象研究所の皆様，JAMSTECの皆様，  
北海道大学稲津教授，佐藤准教授のご協力をいただきました。

# 将来気候における降雨の分析-d4PDFデータの概要

- d4PDF(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)は、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)を用いた気候変動アンサンブル実験データである。
- 将来実験については、60年(2051~2110年)×90メンバ(5400年分)、過去実験は60年(1951年~2010年)の50メンバ(3000年分)のデータとなっている。

## d4PDFにおける利用可能データ



全球モデル(AGCM)と領域モデル(NHRCM)の解像度と計算領域

- アンサンブルメンバの作成方法について
  - ・ 過去実験...観測されたSST(海面水温)データに摂動を与えることにより、50メンバを作成。
  - ・ 将来実験では、6つのSST(海面水温)及び15の摂動により90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 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 東京大学海洋研究所、 国立環境研究所 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

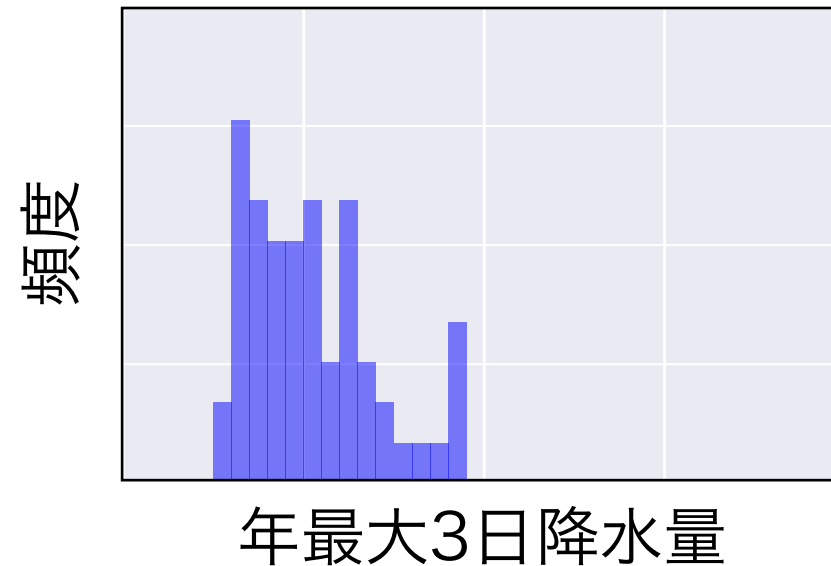
地球温暖化対策に資する  
 アンサンブル気候予測データベース  
 database for Policy Decision making for  
 Future climate change (d4PDF)

※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>

# アンサンブル間での年最大 降水量のばらつき

# 大量アンサンブルの利点

## 観測データに基づく年最大降水量の頻度分布

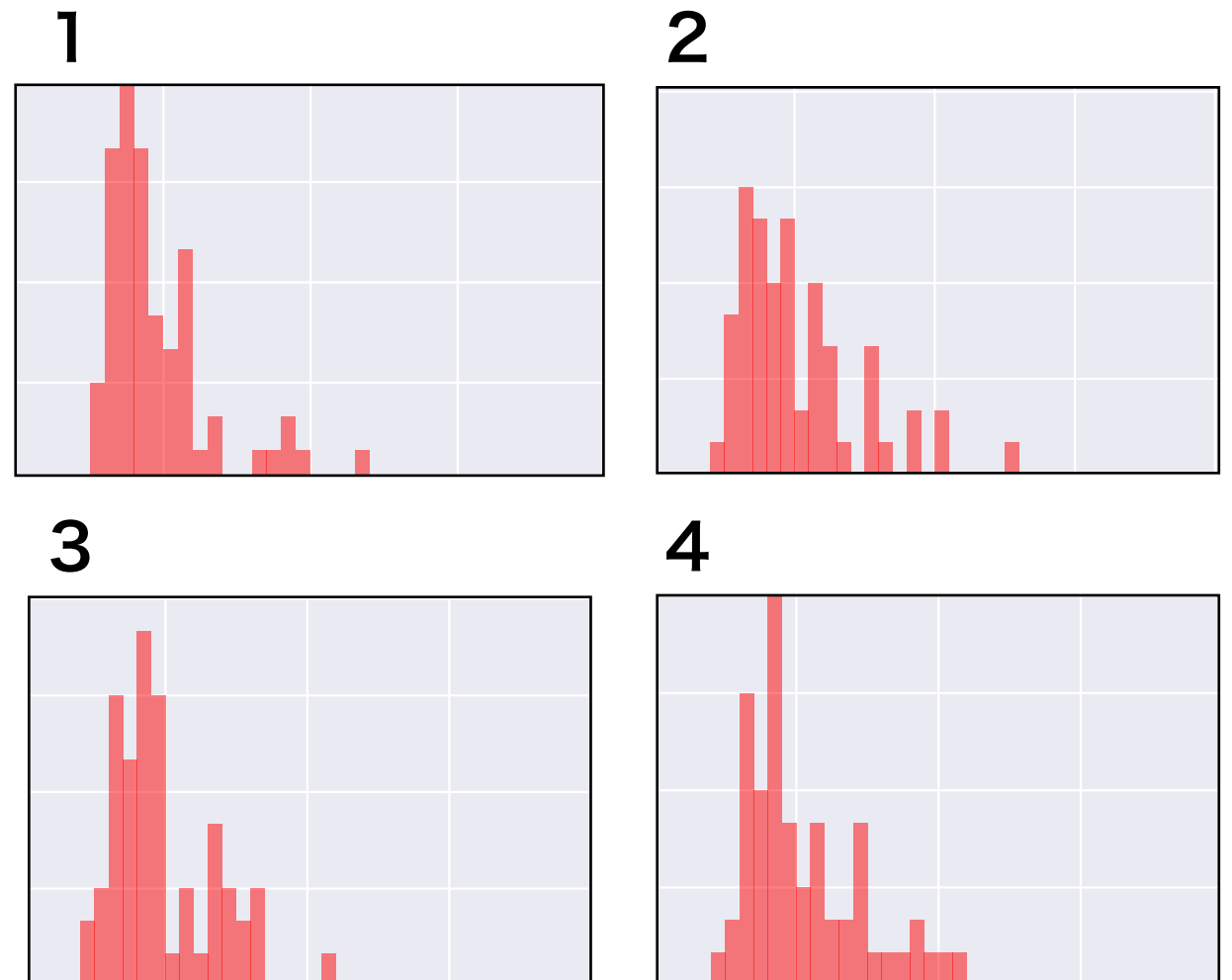
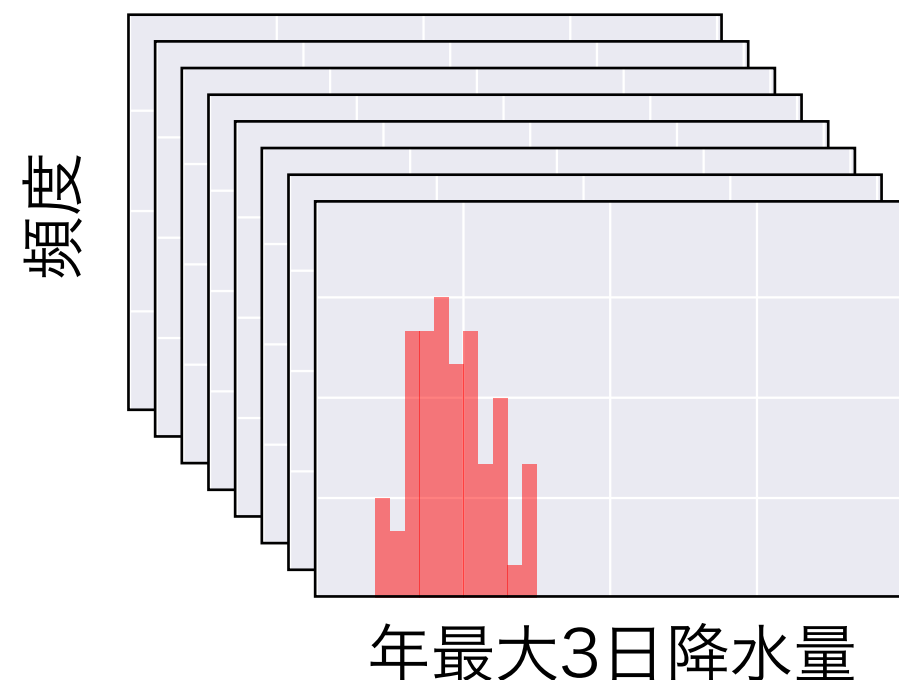


- 現実の観測値からでは一つしか作成できない年最大降水量のヒストグラムを複数作成可能
- 60年間の観測情報が存在した場合に60年間の最大値、90%ile値、中央値がどの程度の振れ幅を有するかを109水系で分析

## d4PDFから得られる年最大降水量

過去実験:50アンサンブル

4°C上昇実験:90アンサンブル

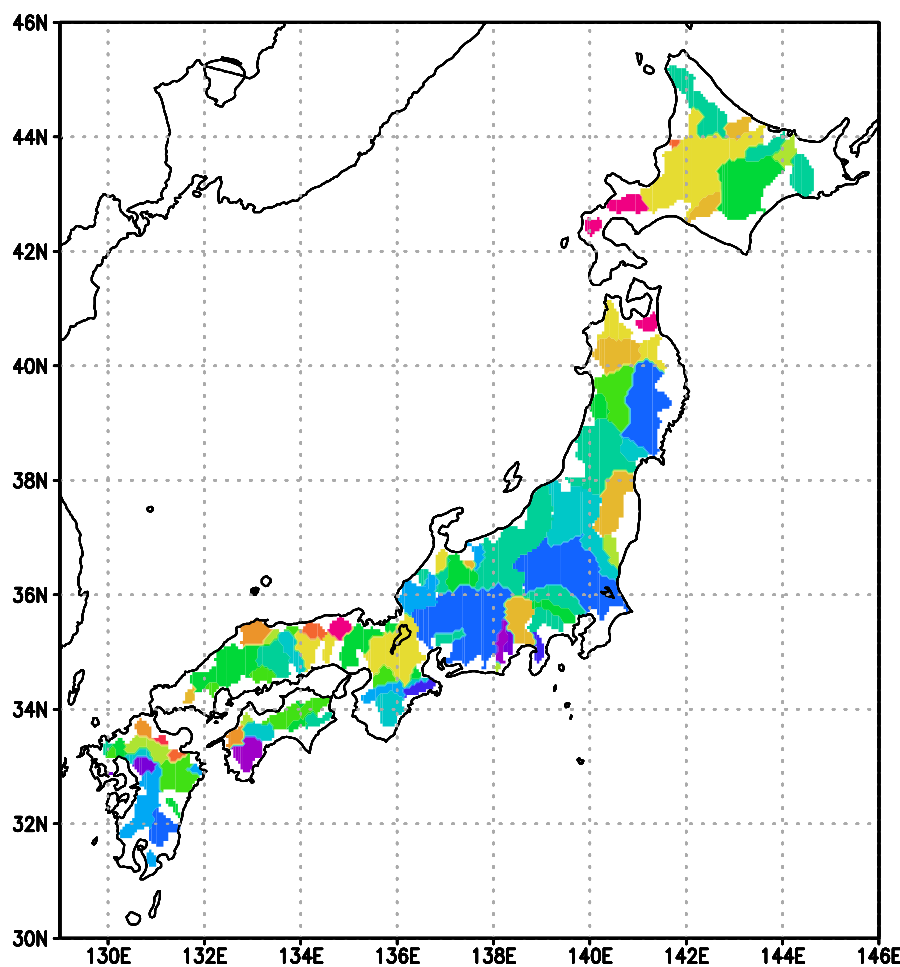


# 降水量の認識の振れ幅の分析

アンサンブル間での振れ幅を60年間の中央値（アンサンブル間での中央値）で除した相対的な振れ幅を算出

50アンサンブルメンバー間での  
最大3日降水量の相対的な振れ幅

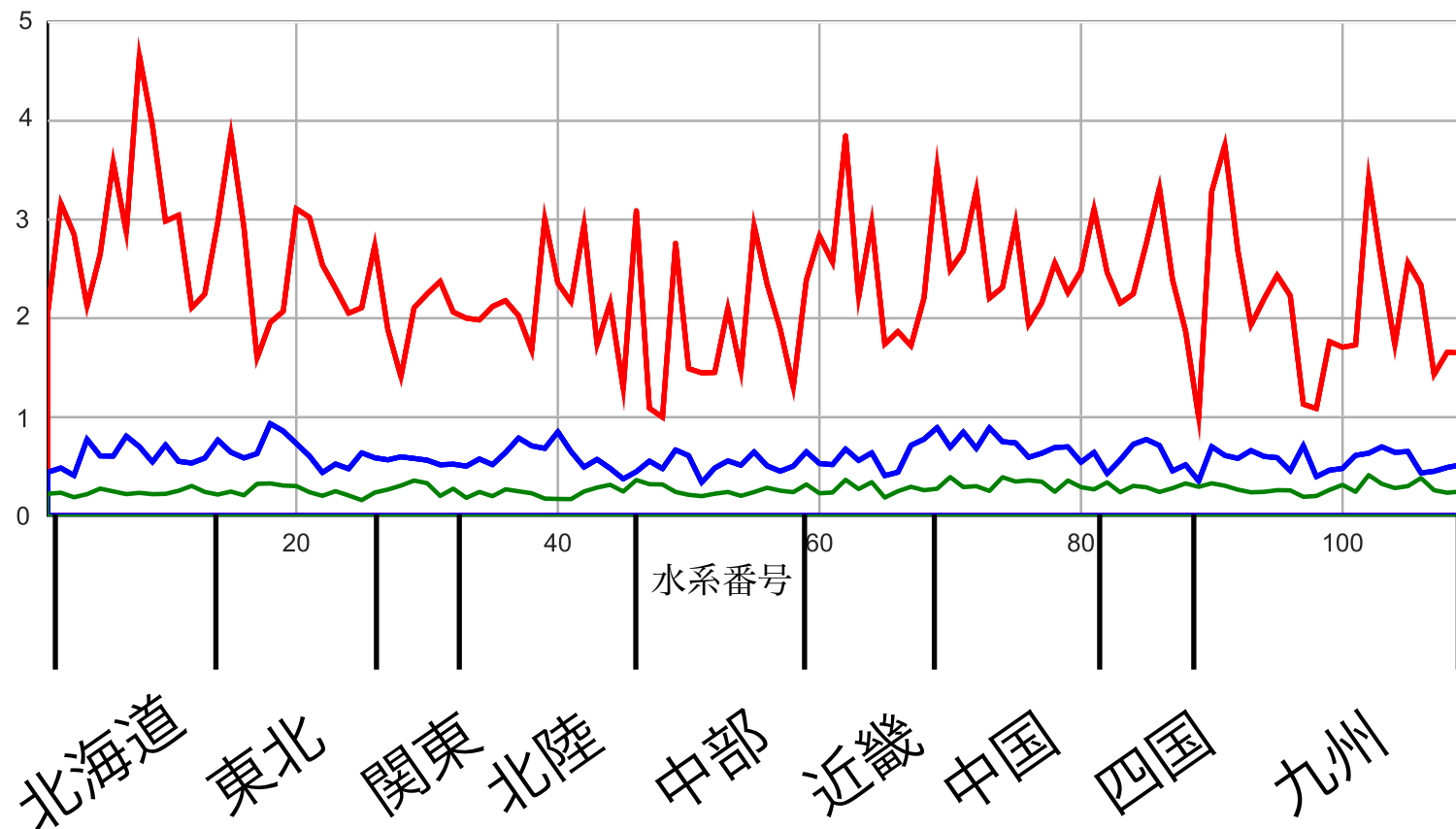
赤：60年間での最大値  
青：60年間での90%ile値  
緑：60年間での中央値



アンサンブル間での降水量の振れ幅/中央値



アンサンブル間での降水量の振れ幅/中央値



- 相対的な振れ幅の大きさは北海道や近畿、中国地方でやや高い傾向
- 60年間の観測値が有する相対的な振れ幅は全国的に同程度存在

# 実験設定

# ダウンスケーリングの対象期間の設定

過去実験 (60年x50アンサンブル=3000年)

4°C上昇実験 (60年x90アンサンブル=5400年)

8400年それぞれにおいて下記の方法で対象期間を設定

## 十勝川

十勝川帯広基準地点の集水域において6月1日00時(UTC)から12月1日00時(UTC)の間で流域内での72時間降水量が最大となる期間を選定

同期間の初日から10日前を計算開始日とし、15日間をダウンスケーリングの対象期間に設定

## 常呂川

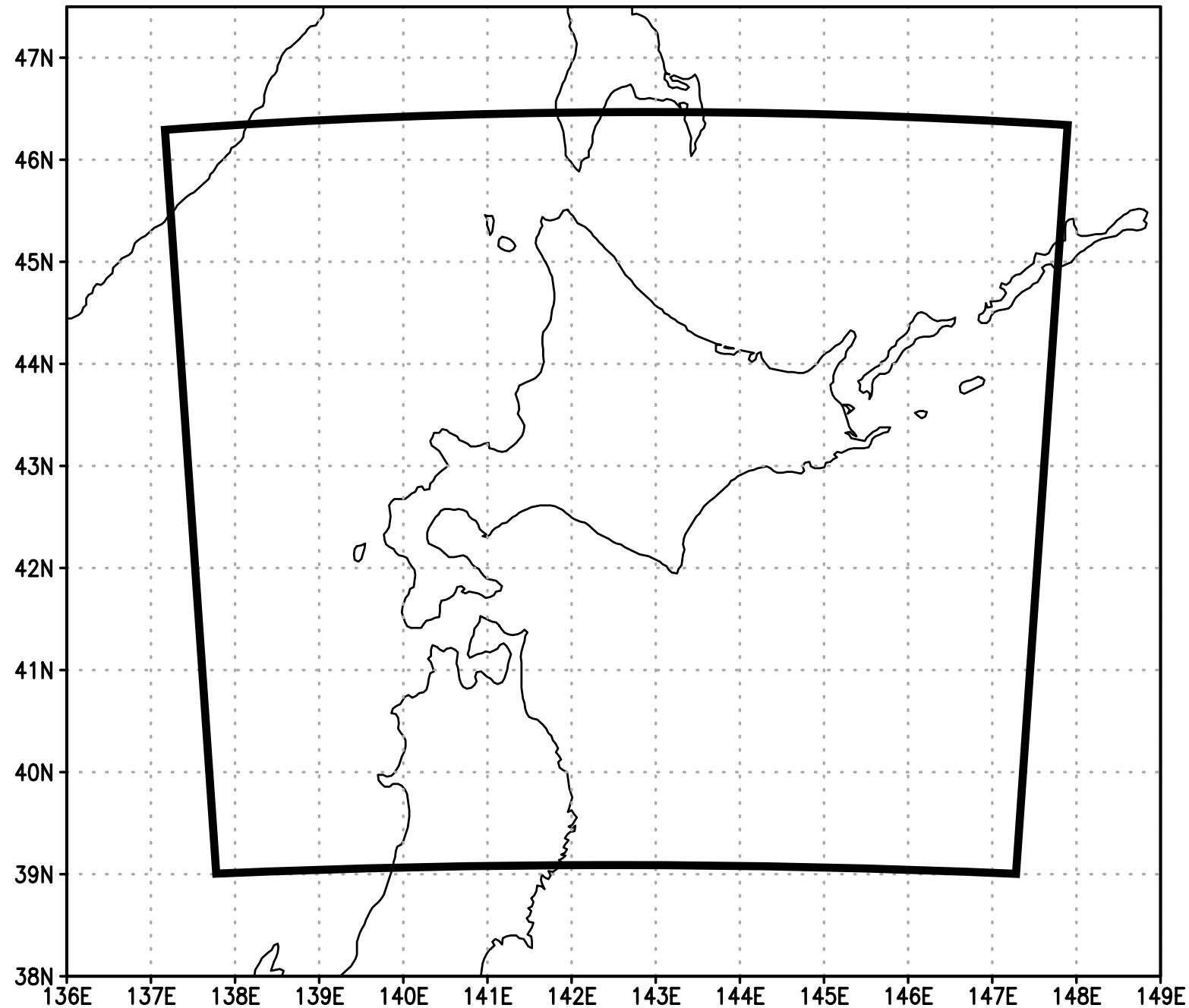
常呂川北見基準地点の集水域において6月1日00時から12月1日00時の間で流域内での24時間降水量が最大となる期間を選定

同期間の初日から10日前を計算開始日とし、15日間をダウンスケーリングの対象期間に設定

ただし、対象となる大雨の発生時刻が十勝川と常呂川で48時間以内であれば、十勝川を対象としたダウンスケールの結果を使用

# 計算領域の設定

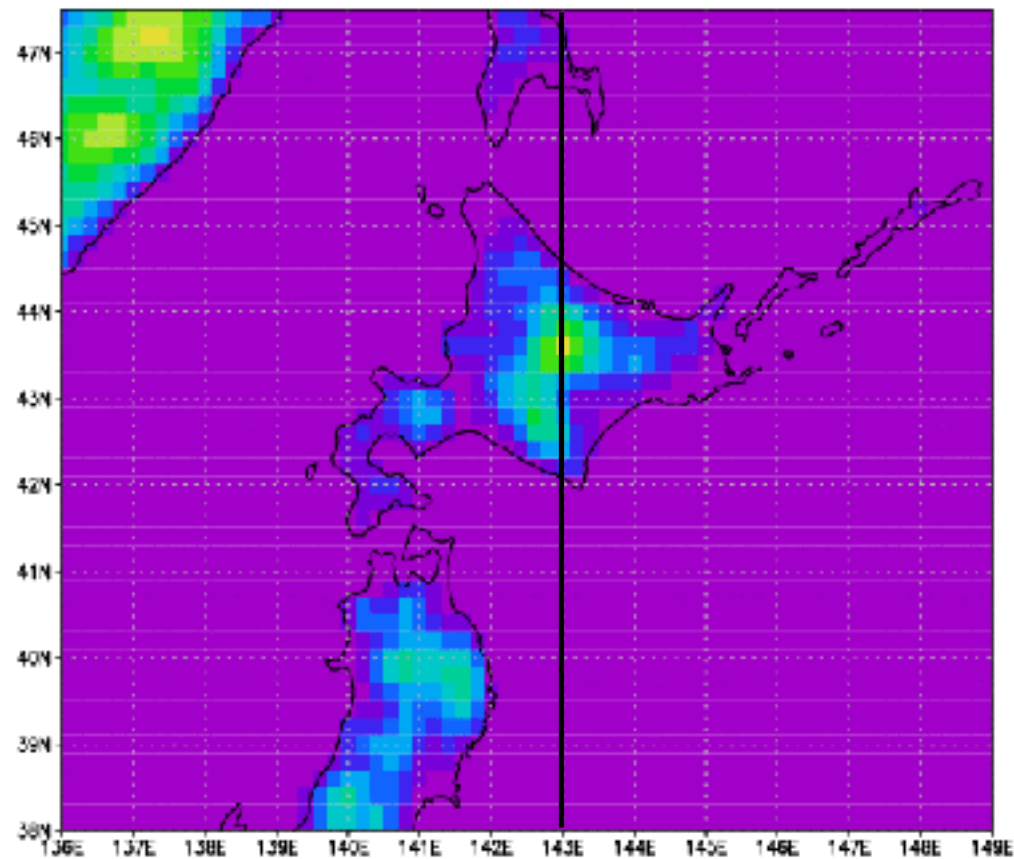
142.5E, 42.75Nを中心に東西方向に800km, 南北方向に800kmの範囲を計算領域として設定し, 20km解像度から5km解像度にダウンスケーリングを実施





# 20kmと5kmでの地形の違い

## d4PDF領域実験(20x20km)



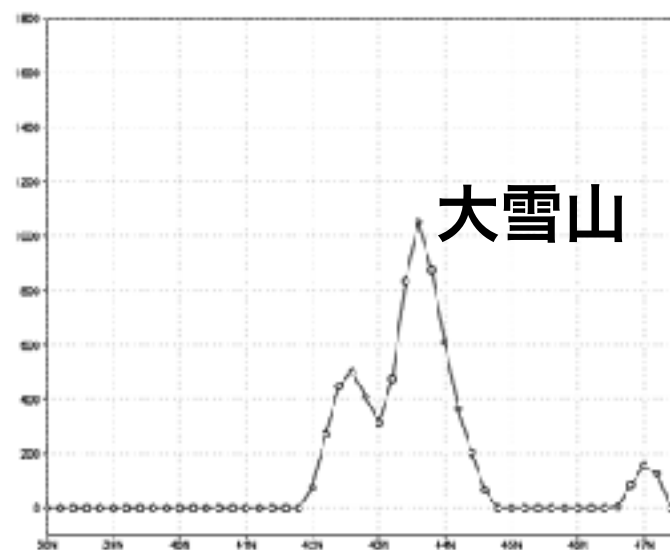
標高(m)



計算で用いられた標高を緯度・経度0.2°で補間後の標高を表示

1600m

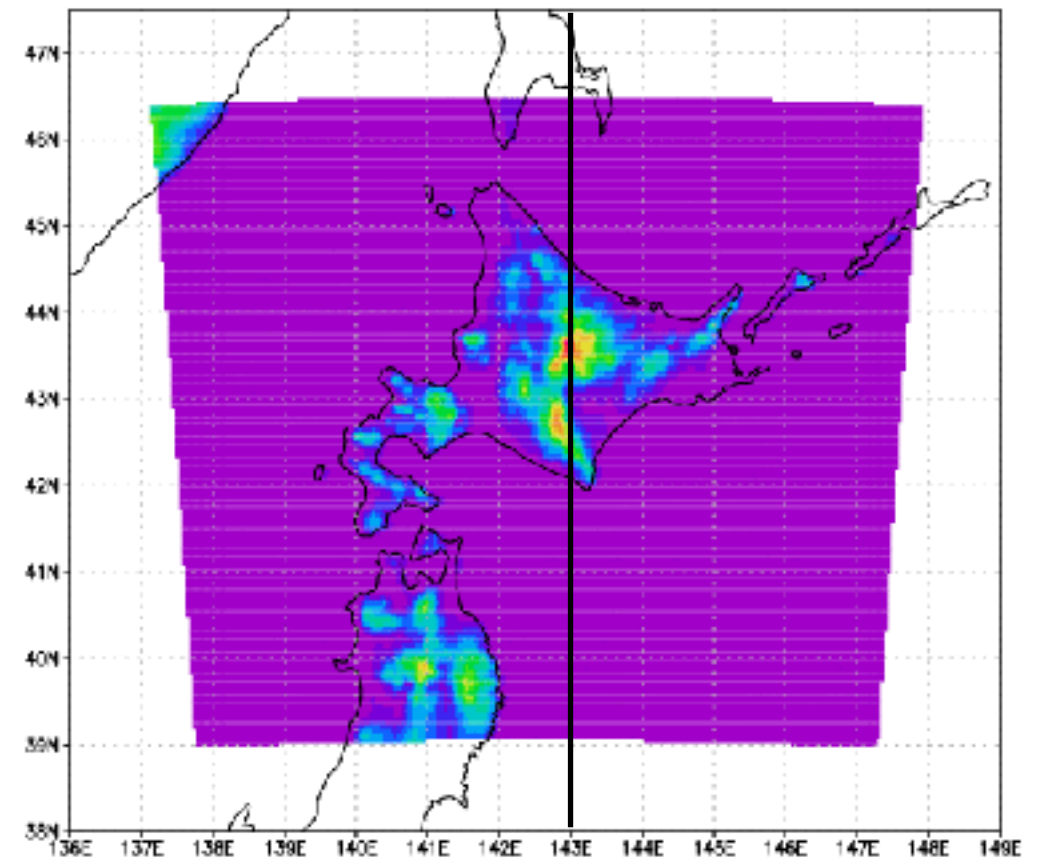
1000m



南

北

## ダウンスケーリング(5x5km)



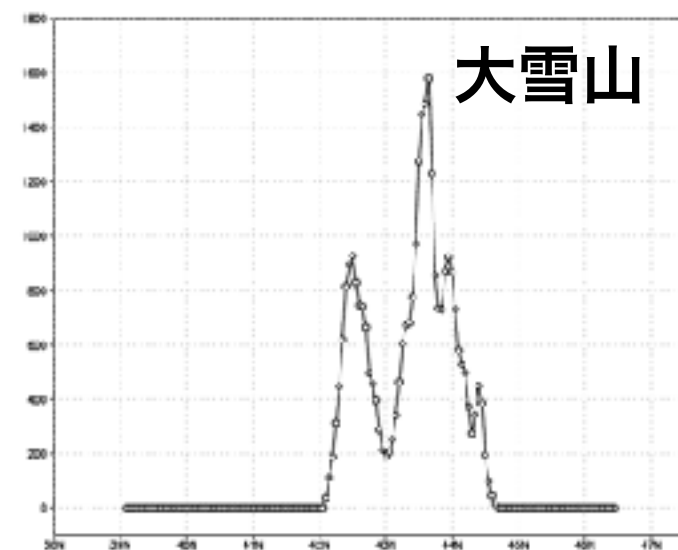
標高(m)



計算で用いられた標高を緯度・経度0.05°で補間後の標高を表示

1600m

1000m



南

北

# ダウンスケーリング前後の 降水量の特徴

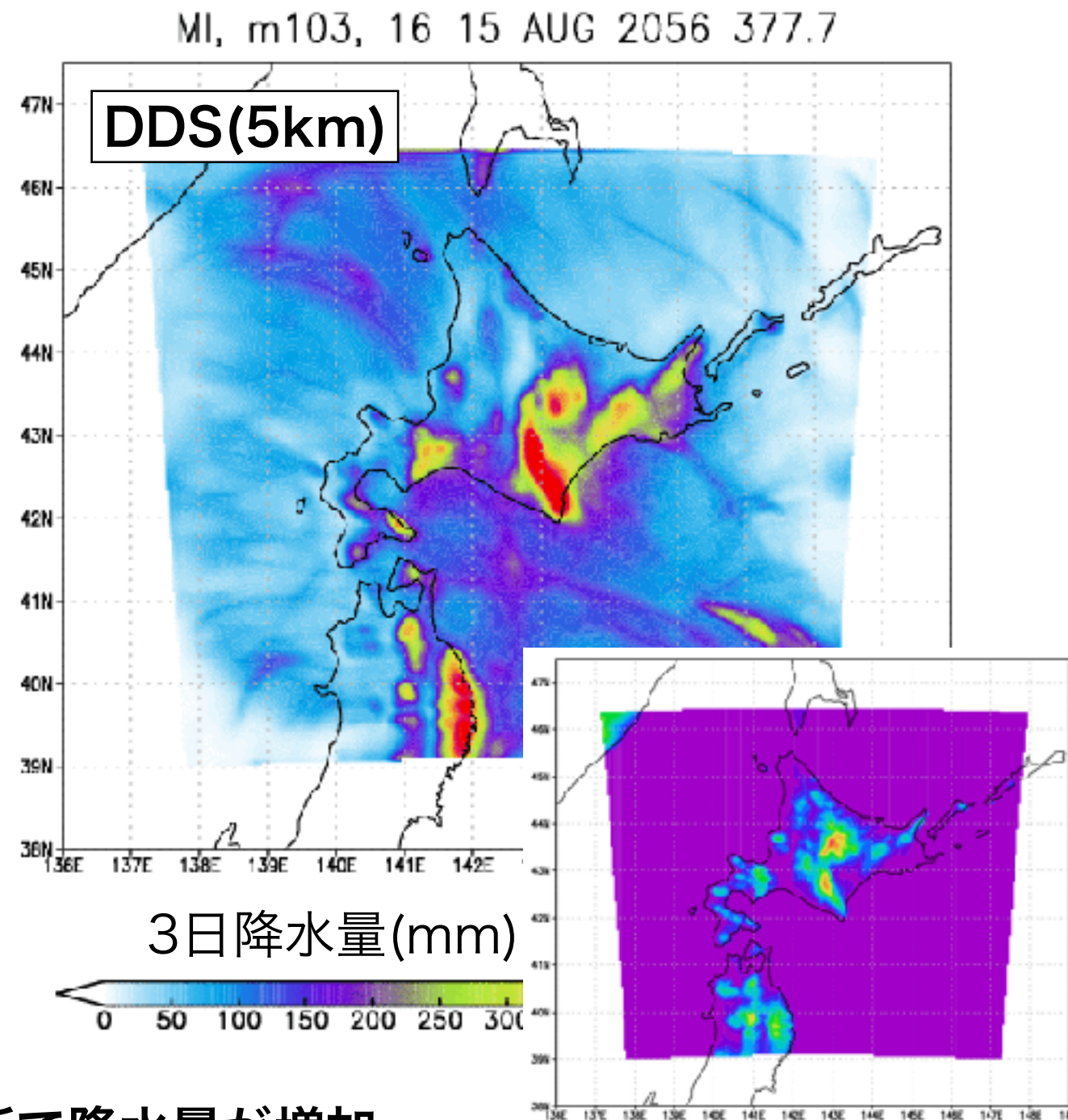
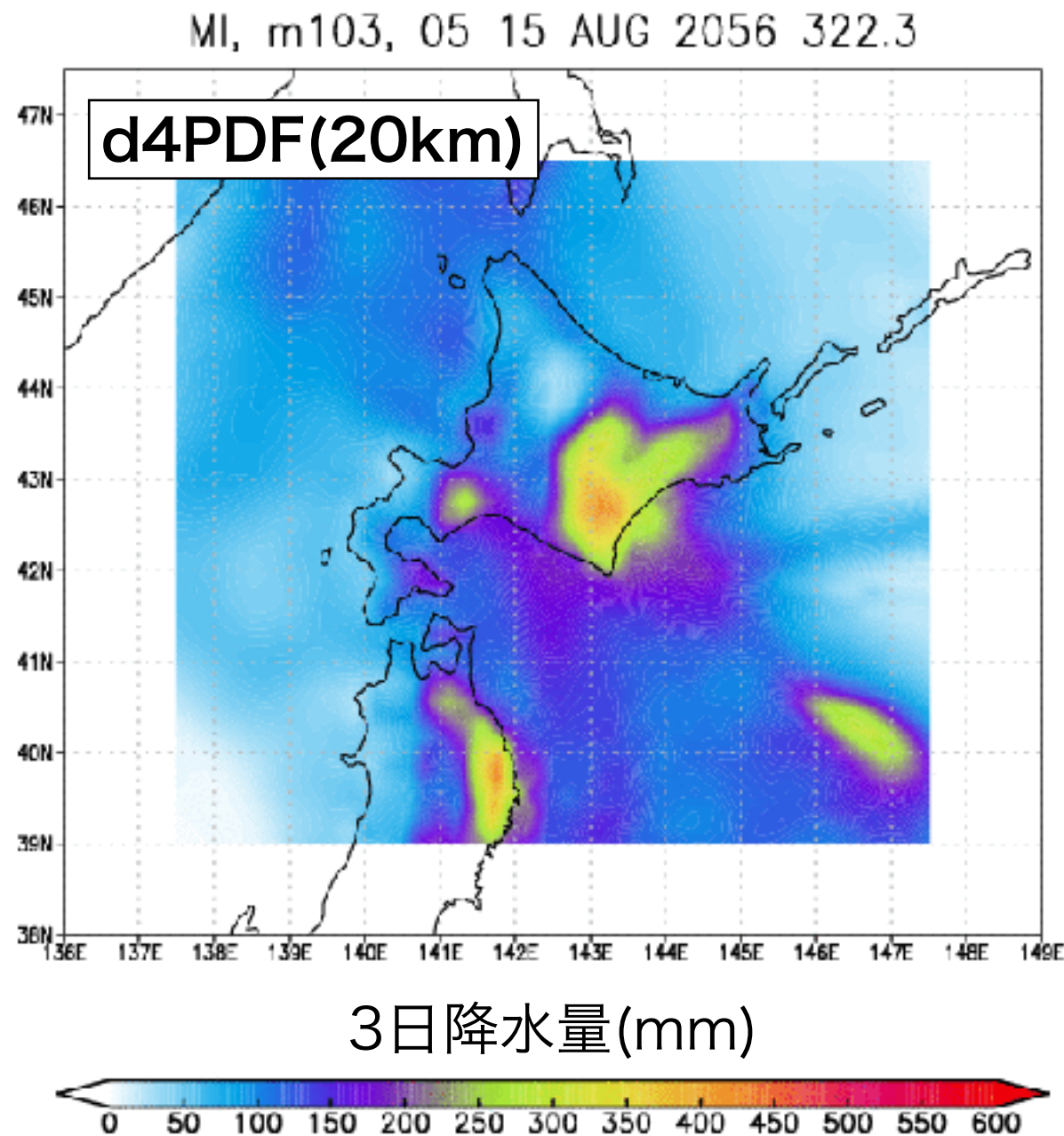
# ダウンスケーリング前後での累積降水量の比較

台風由来の事例

・ダウンスケーリング前 (20km)

・ダウンスケーリング後 (5km)

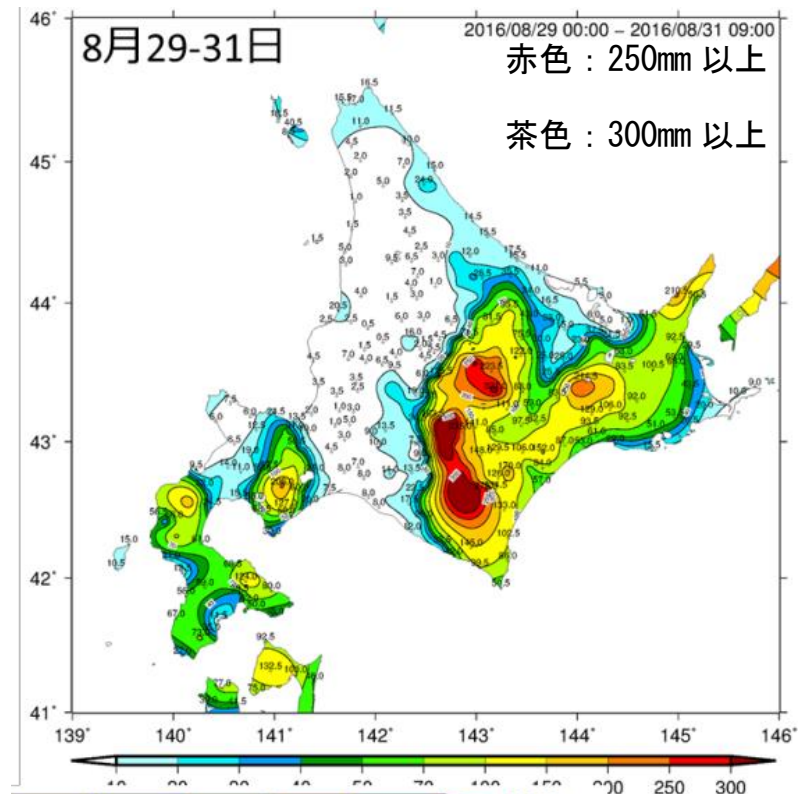
十勝川帯広基準地点での流域平均3日降水量：322.3(mm)→377.7(mm)



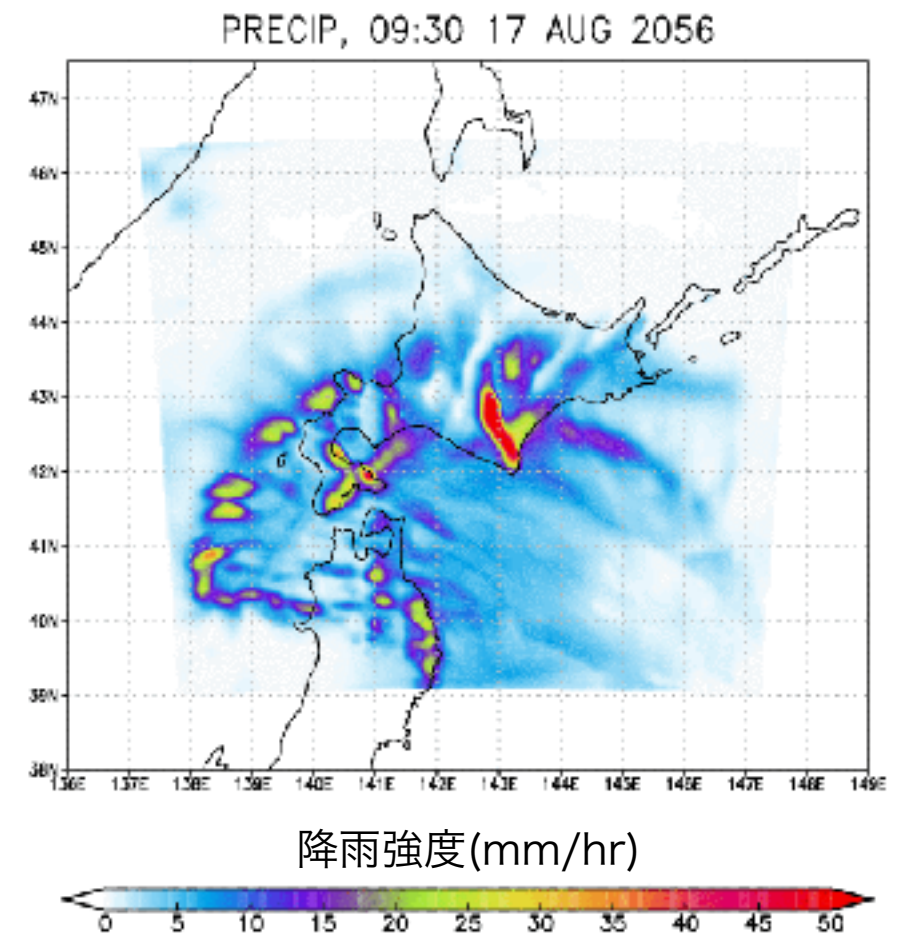
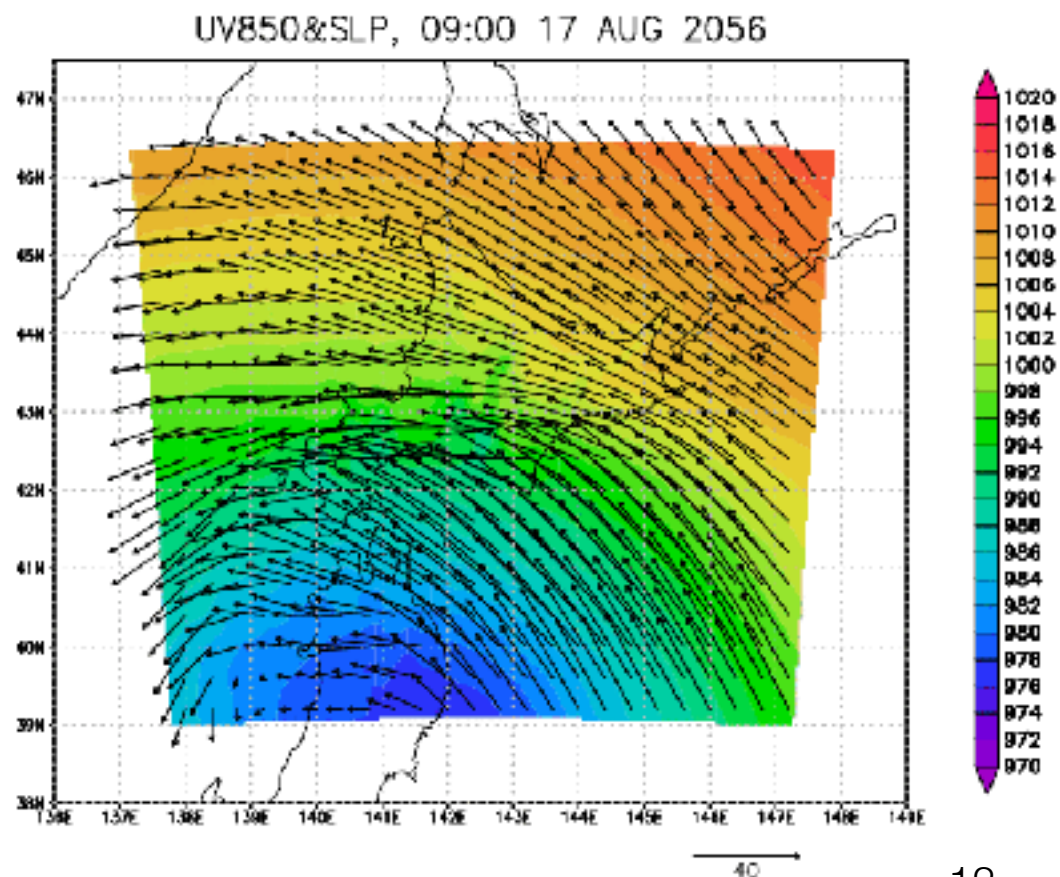
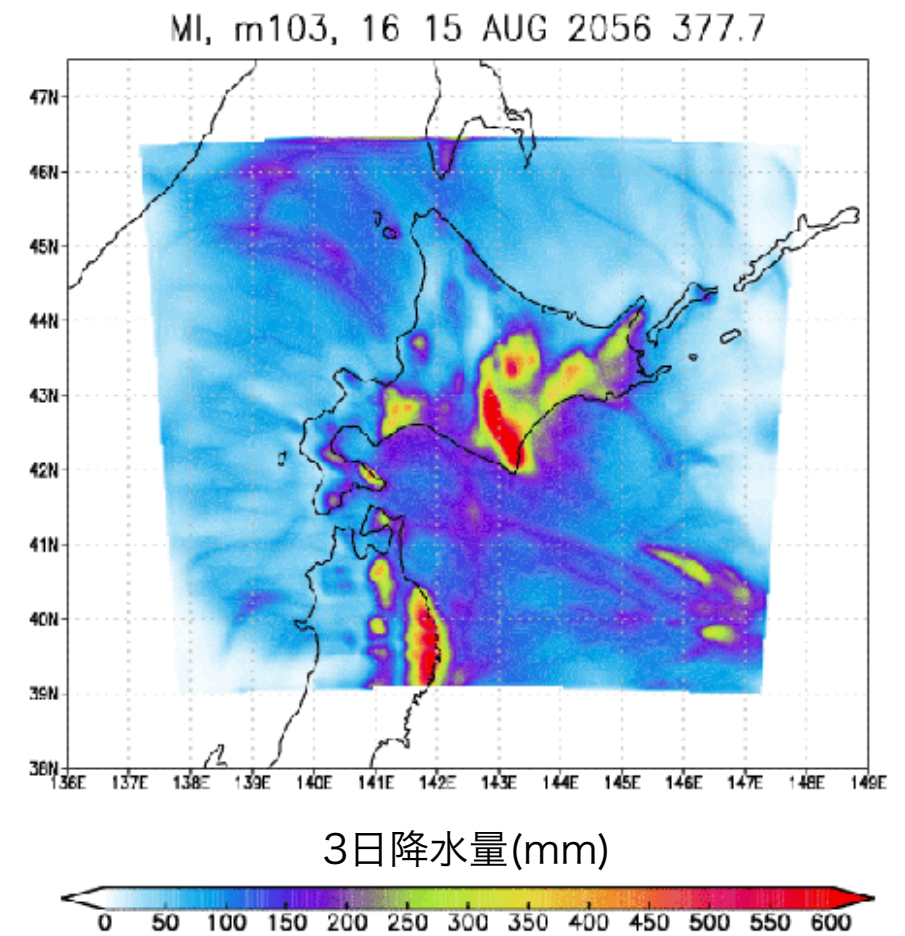
標高の高い所で降水量が増加



# 2016年8/29-8/31の累積降雨量（参考）



2016 年 8 月北海道豪雨災害 調査団報告書より



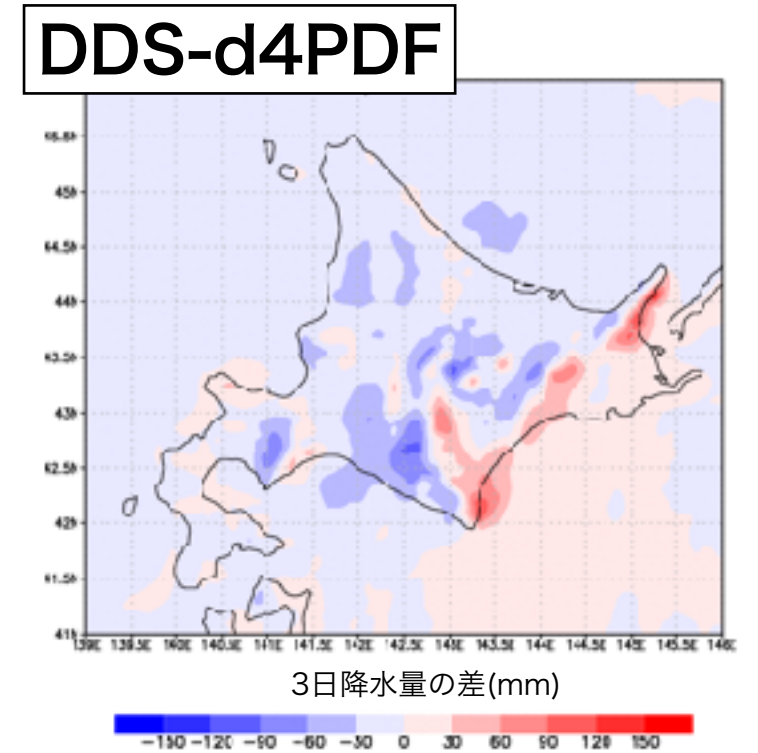
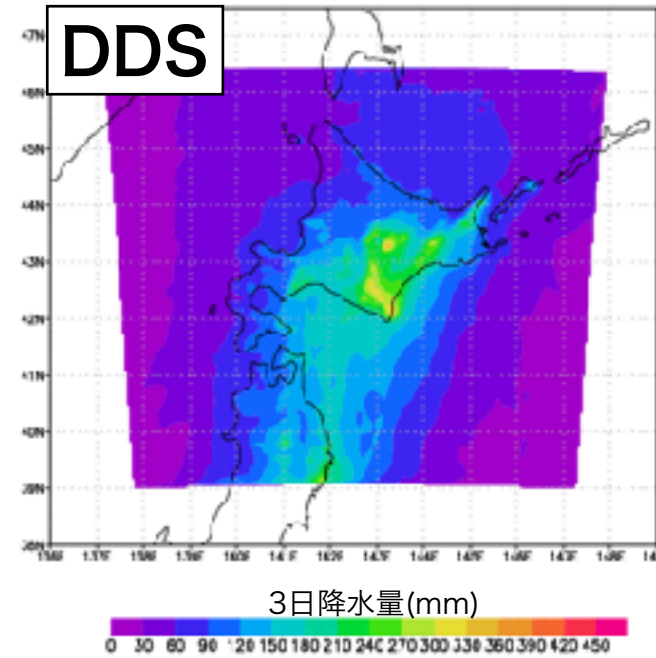
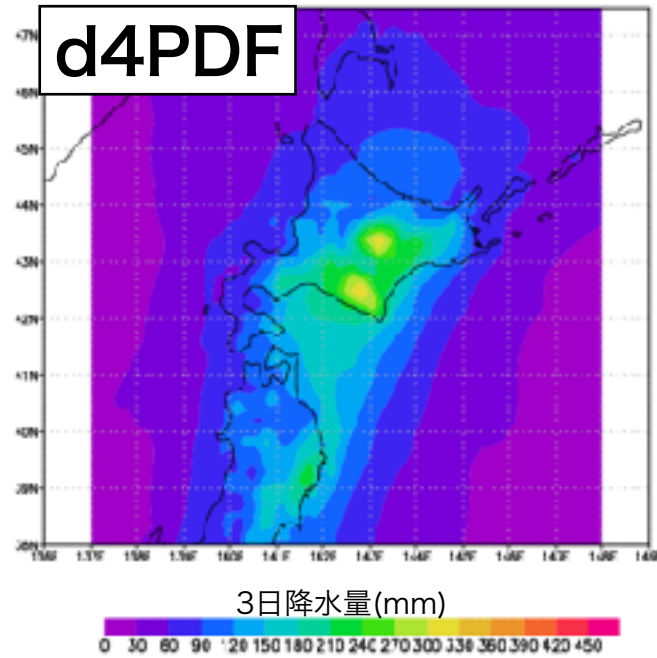


# 降雨の空間分布の変化（ダウンスケーリングによる変化）

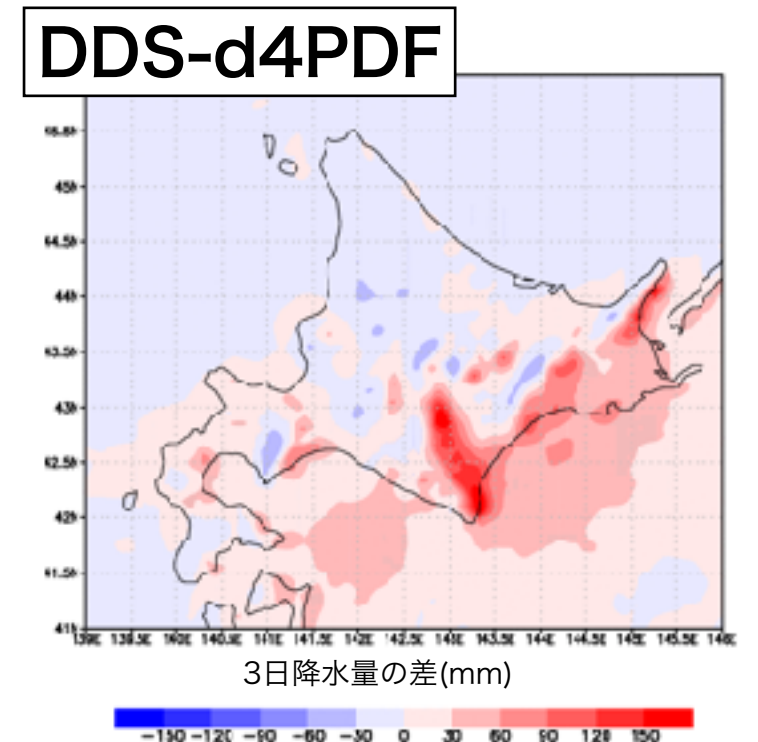
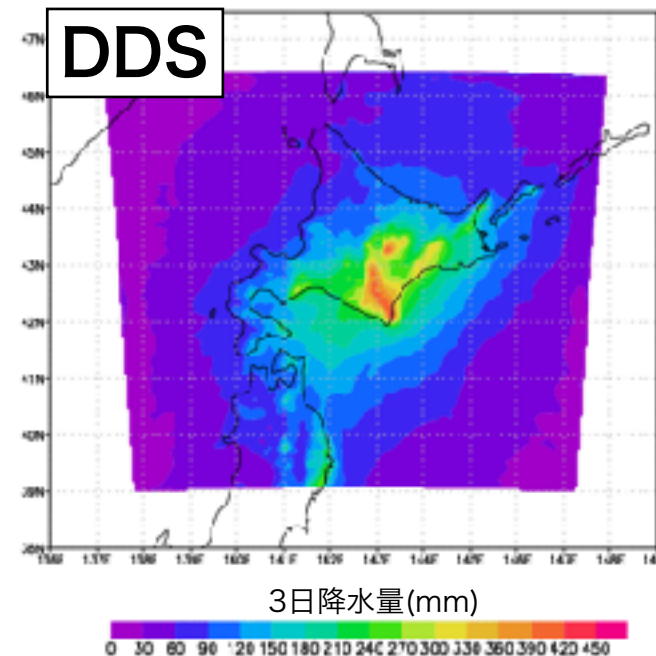
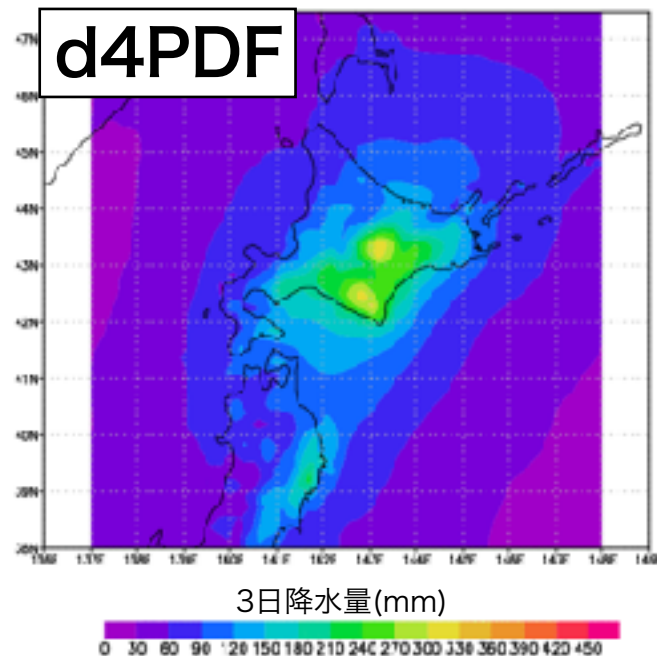
十勝川帯広基準地点においてd4PDF領域実験(20x20km)での3日降水量  
量が200mmを超える事例で平均

山岳域での降水量の強化が見られる。

## 過去実験（33/3000事例）



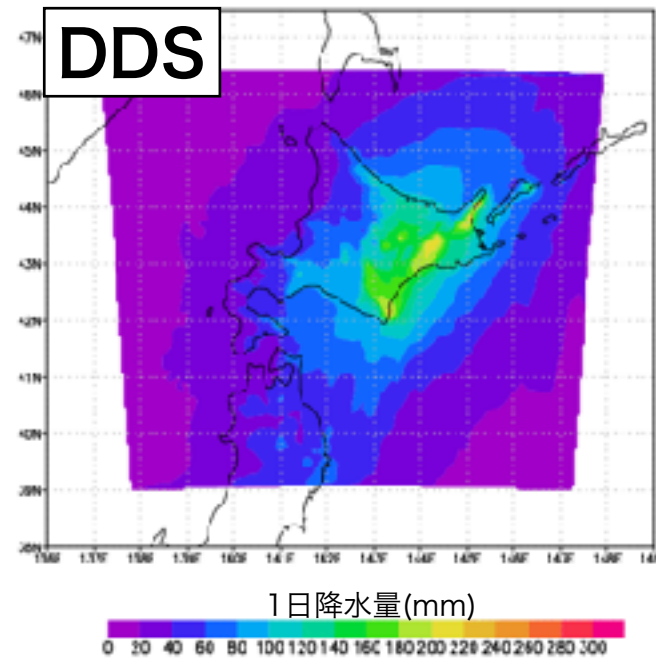
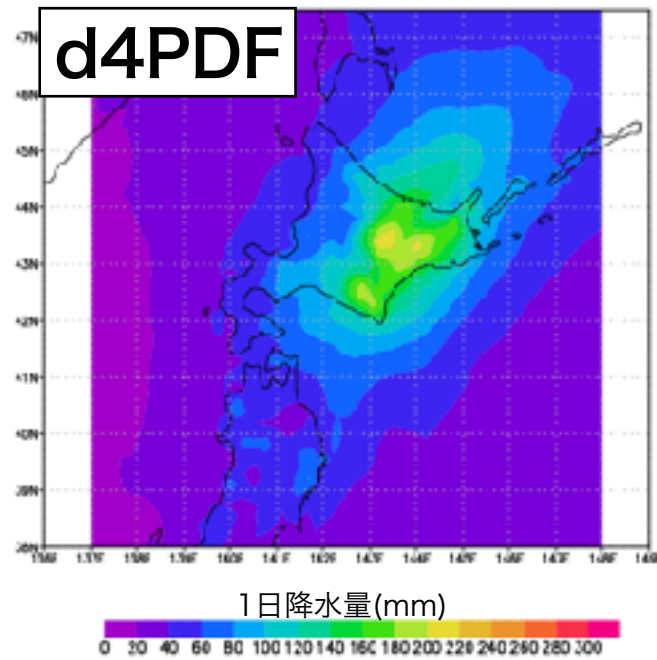
## 4℃上昇実験（258/5400事例）



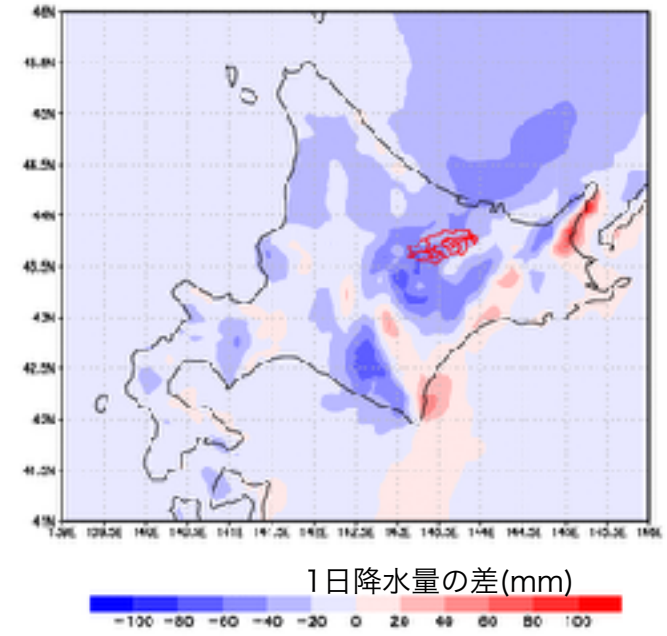
# 降雨の空間分布の変化（ダウンスケーリングによる変化）

常呂川北見基準地点においてd4PDF領域実験(20x20km)での1日降水量  
量が150mmを超える事例で平均

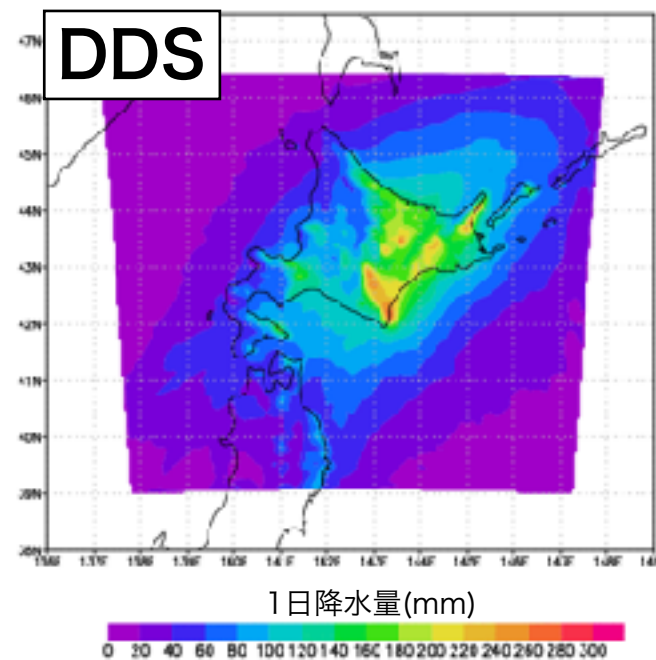
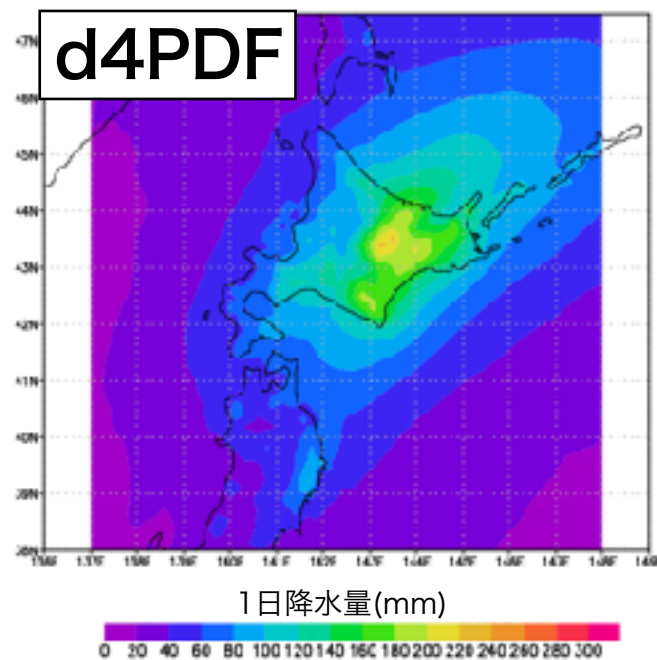
## 過去実験（42/3000事例）



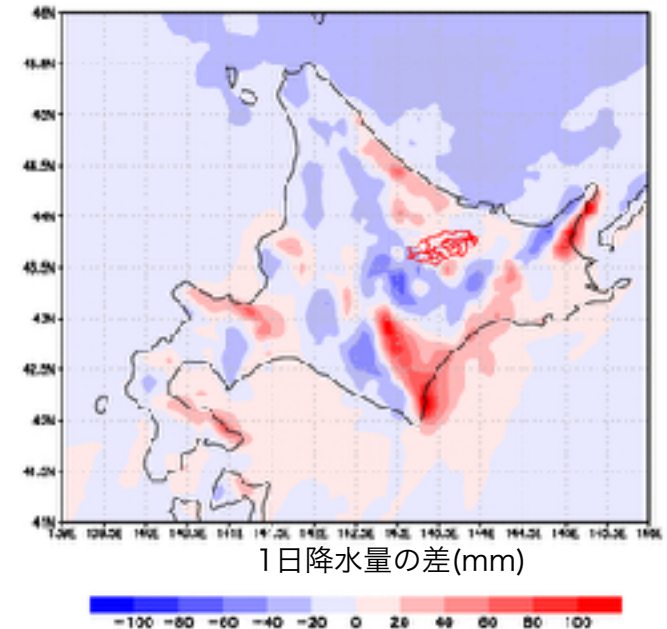
## DDS-d4PDF



## 4℃上昇実験（323/5400事例）

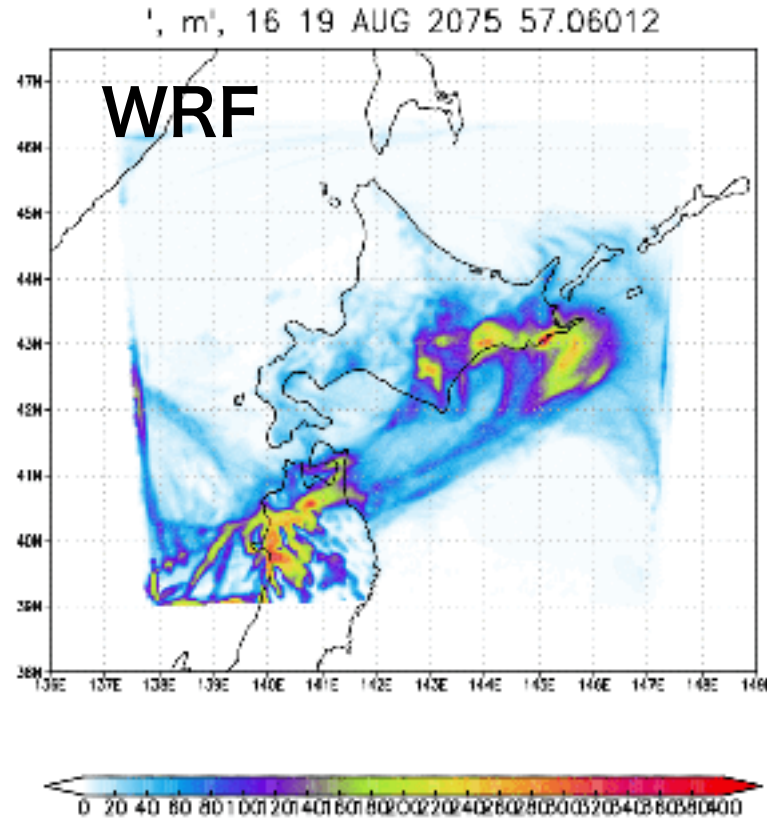
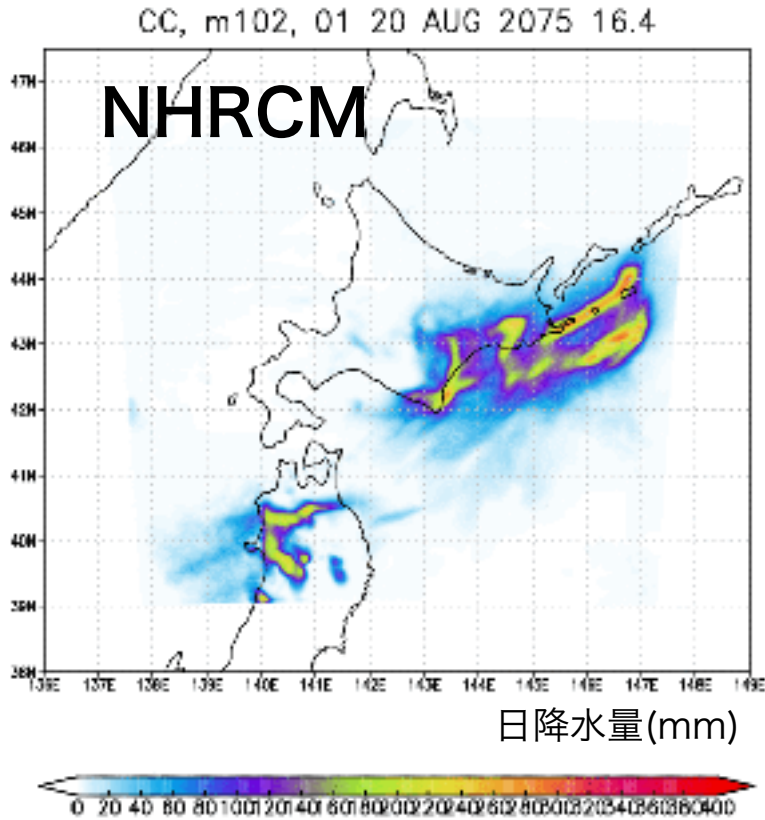
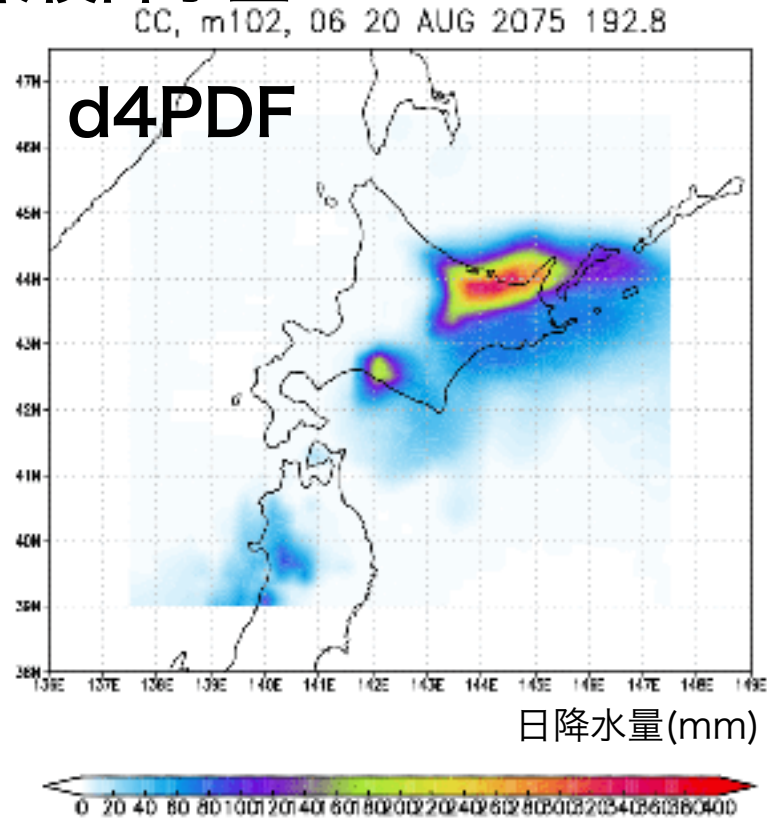


## DDS-d4PDF

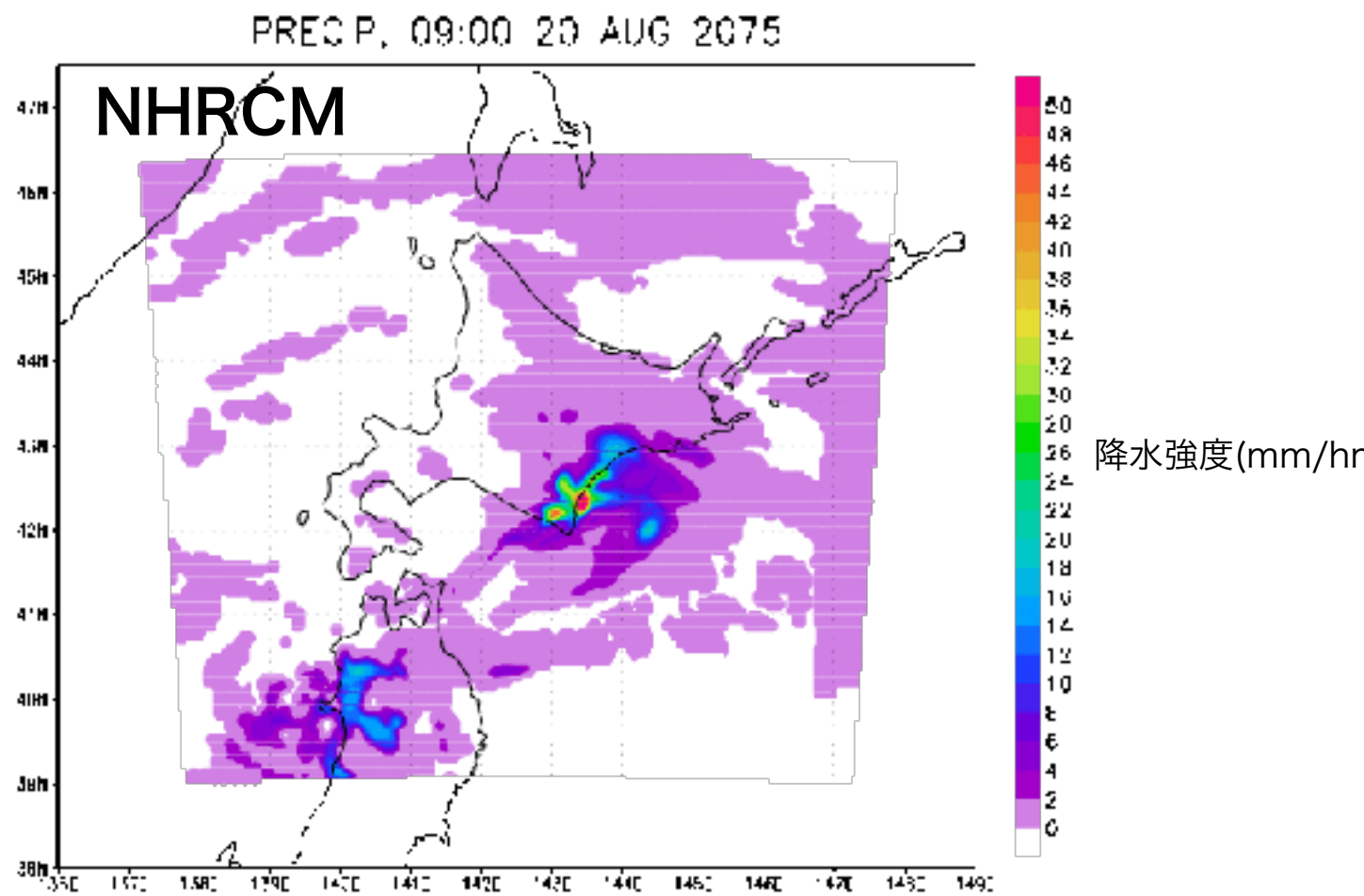
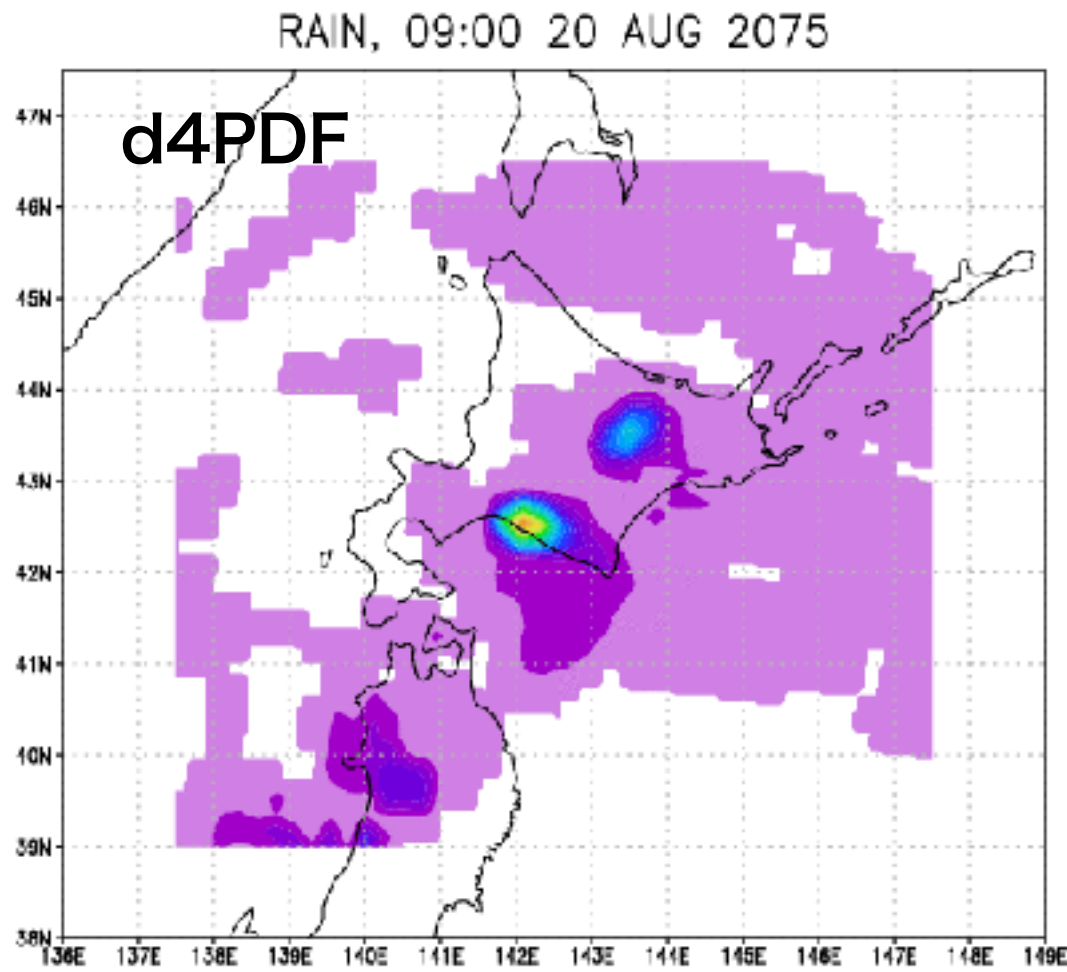




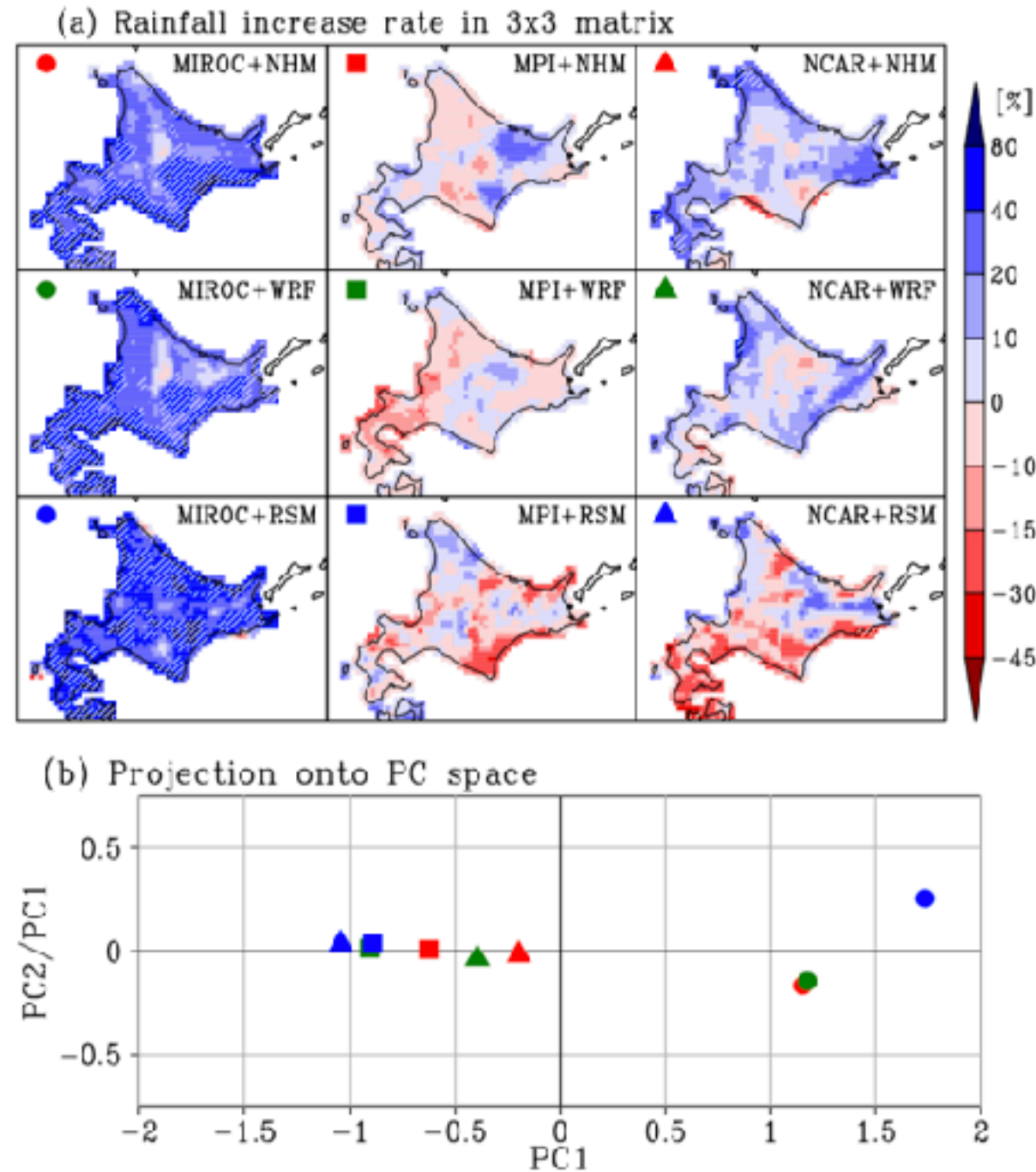
累積降水量



降水強度



# 力学的ダウンスケールによる降水量のモデル依存性



**Figure 4.** (a) The increase rate in precipitation by global warming (%) for the DDS with three-GCM by three-RAM experiments. The hatches denote areas exceeding a significant level at 10%. (b) Same as Figure 3(b), but for the horizontal distribution of the increase rate in precipitation.

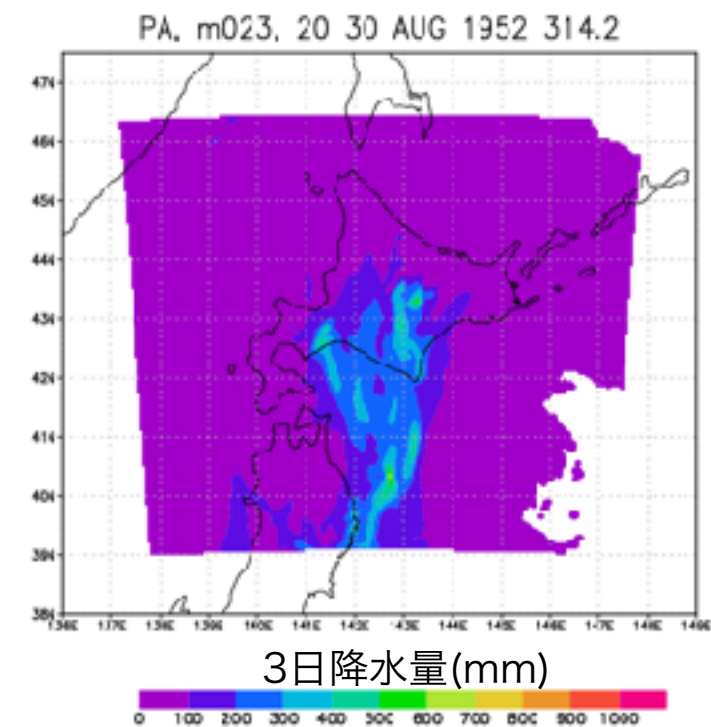
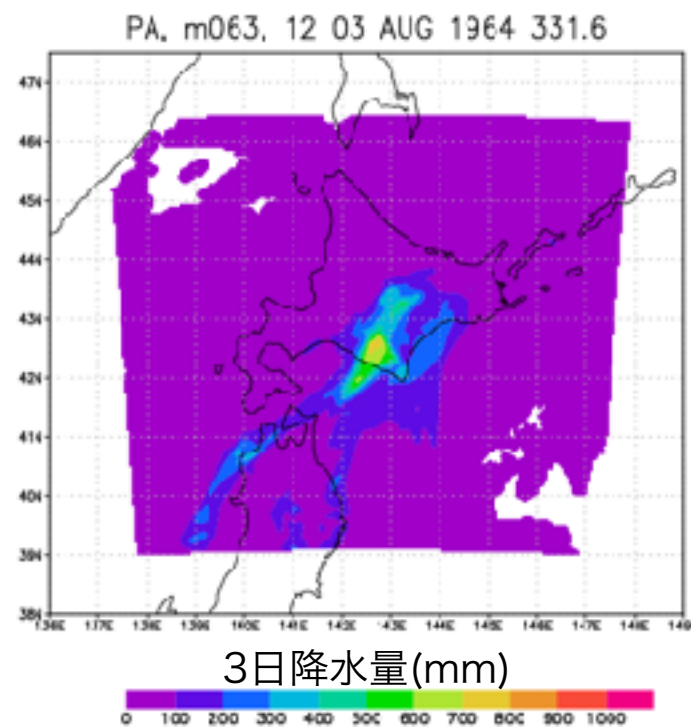
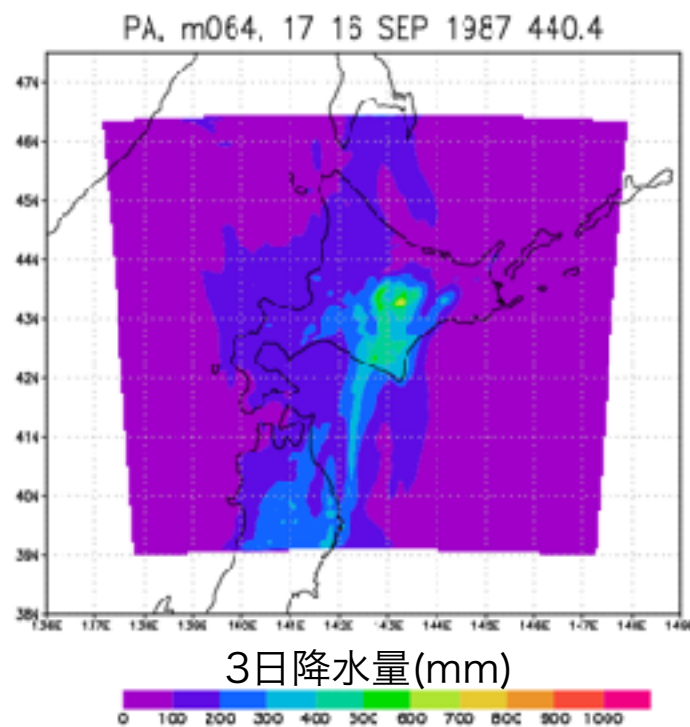
温暖化に伴う降水量変化は地域気候モデルよりも全球気候モデルに大きく依存する。



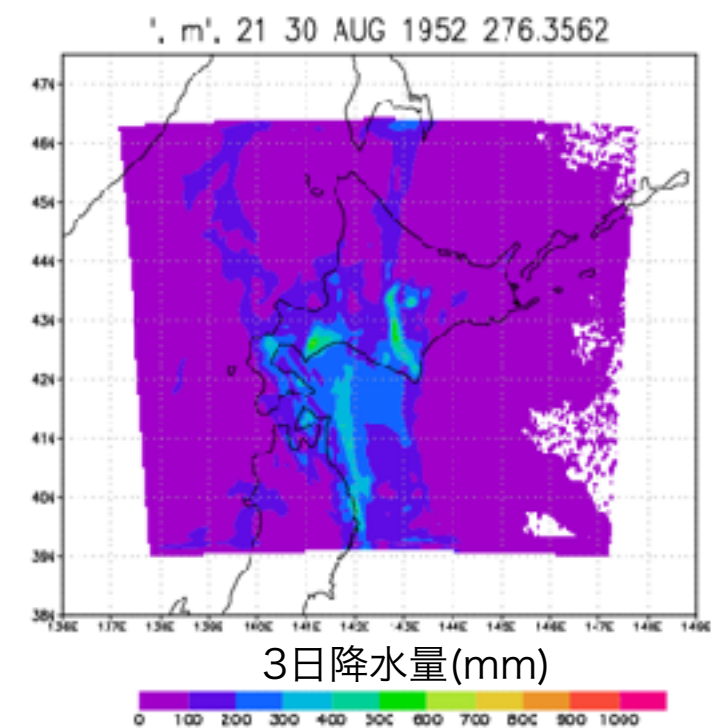
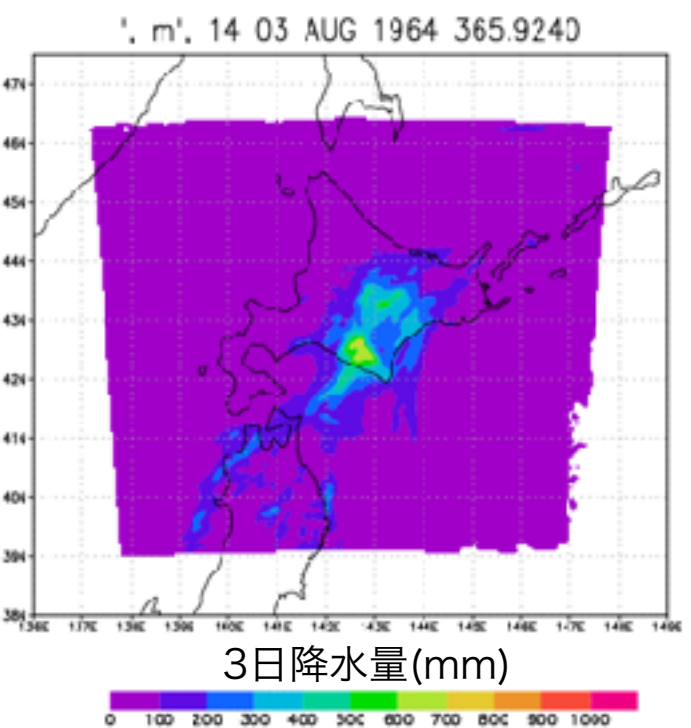
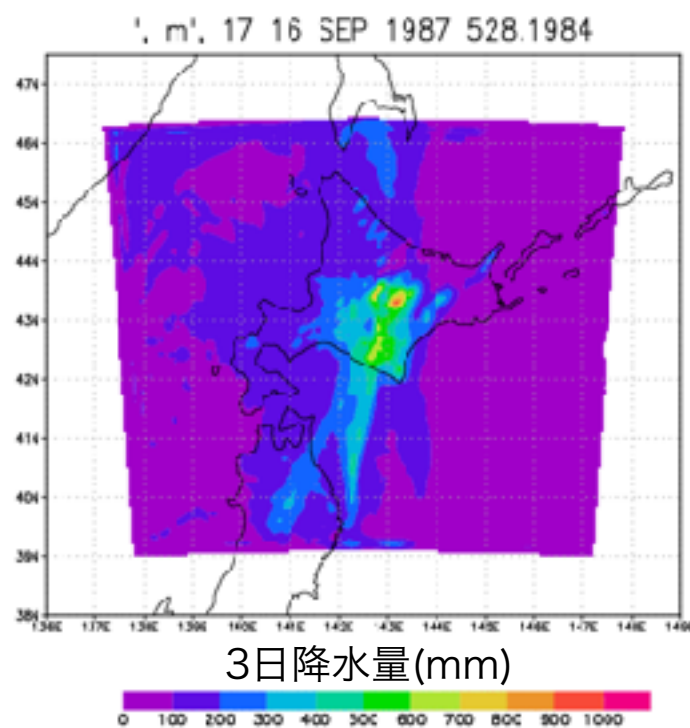
# 異なる地域気候モデル(WRF)との再現性の比較 (過去実験3事例)

異なる地域気候モデルを用いても降水分布は概ね同様

## NHRCM



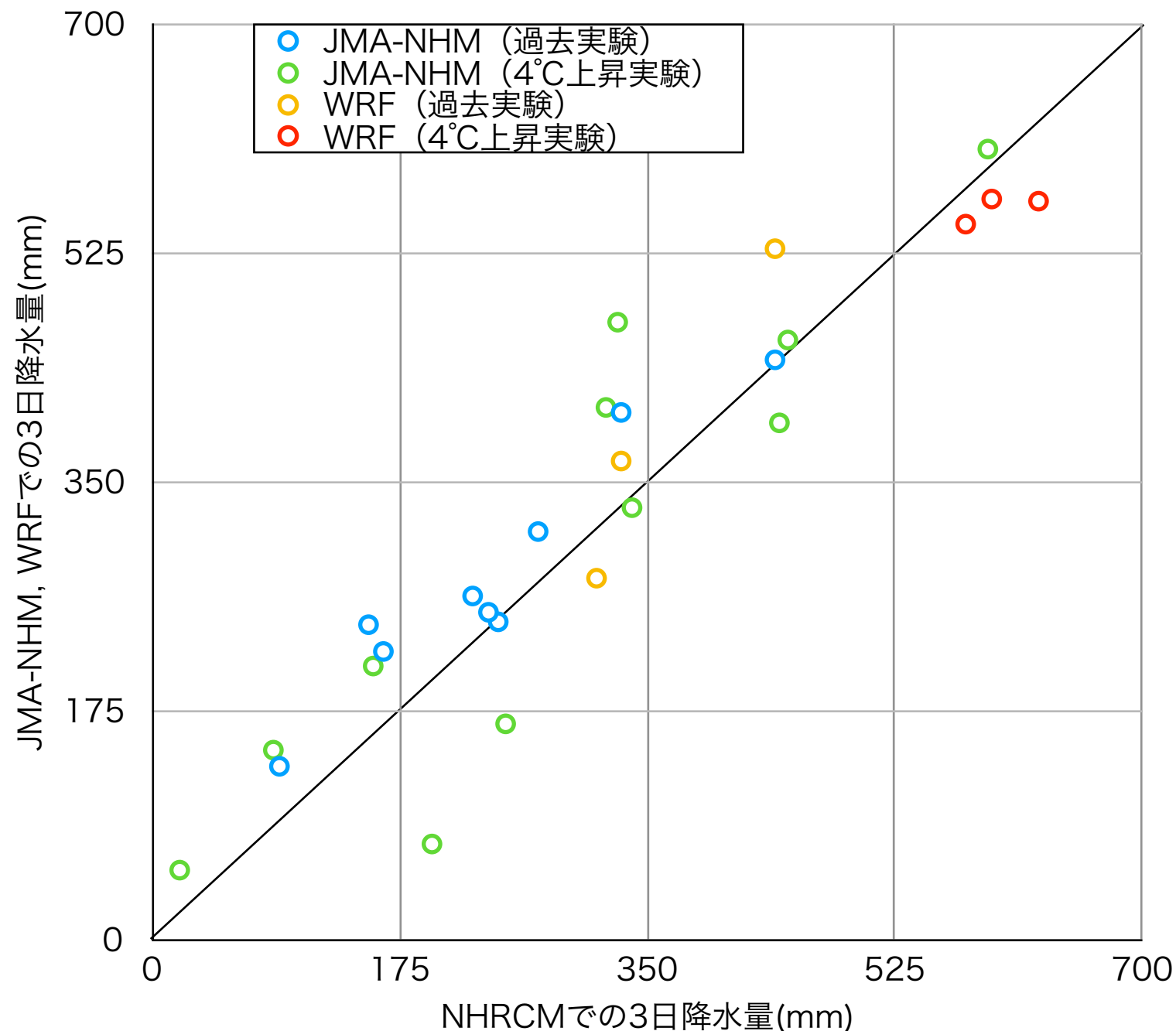
## WRF



# 力学的ダウンスケールに使用した地域気候モデルによる降水量の違い

十勝川流域帯広基準地点を下流端とする範囲

過去実験・4°C上昇実験ともに降水量の多い事例を対象

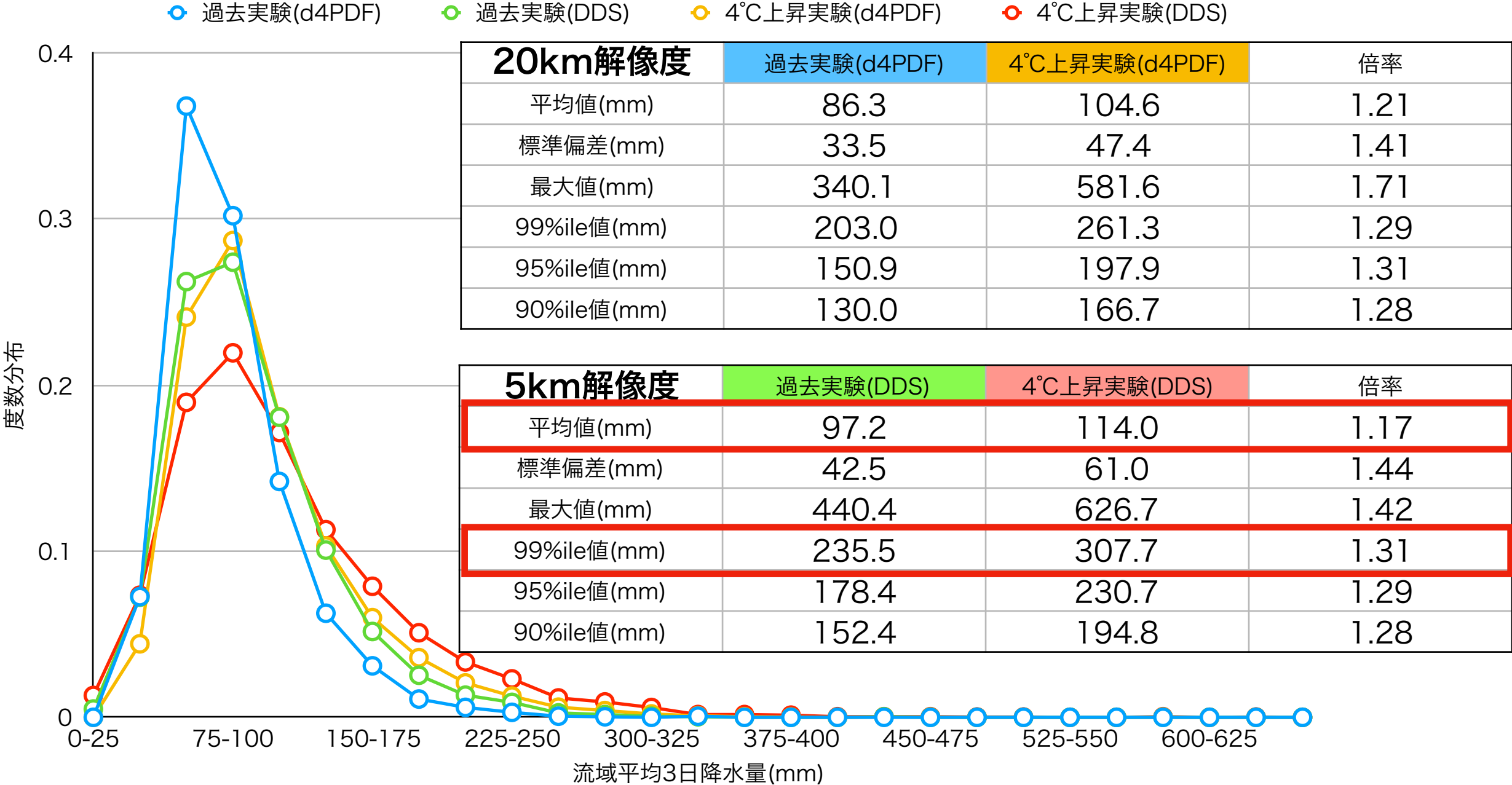


異なる地域気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングを行なっても降水量は同程度である。

# 過去実験と4°C上昇実験における 降水量の違い

# ダウンスケーリング前後，過去実験・4℃上昇実験の降水量の違い

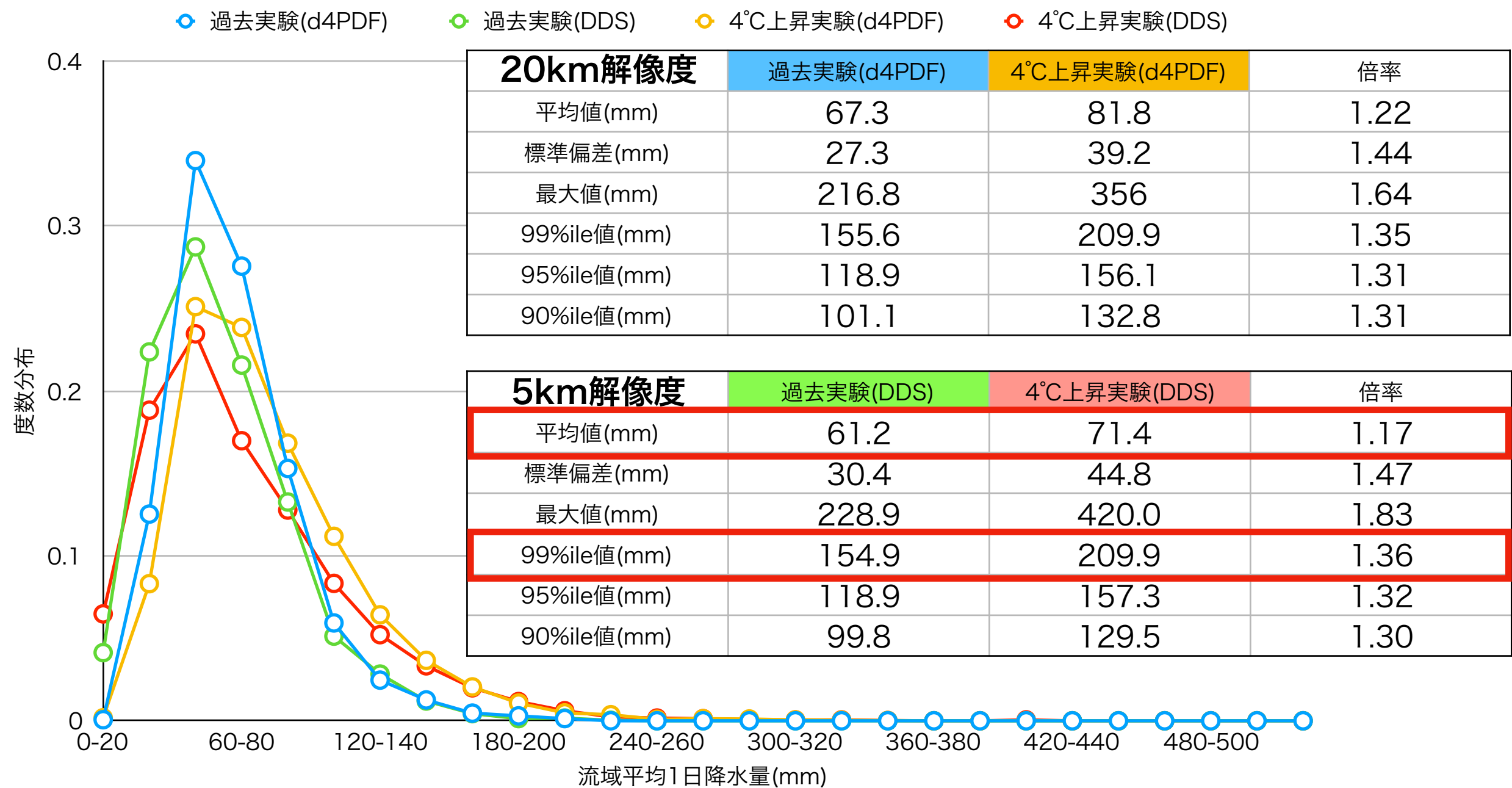
## 十勝川帯広基準地点



4℃上昇実験では年最大降水量は1.2倍程度増加する。  
計画規模に相当する99%ile値では1.3倍程度増加する。

# ダウンスケーリング前後，過去実験・4℃上昇実験の降水量の違い

## 常呂川北見基準地点



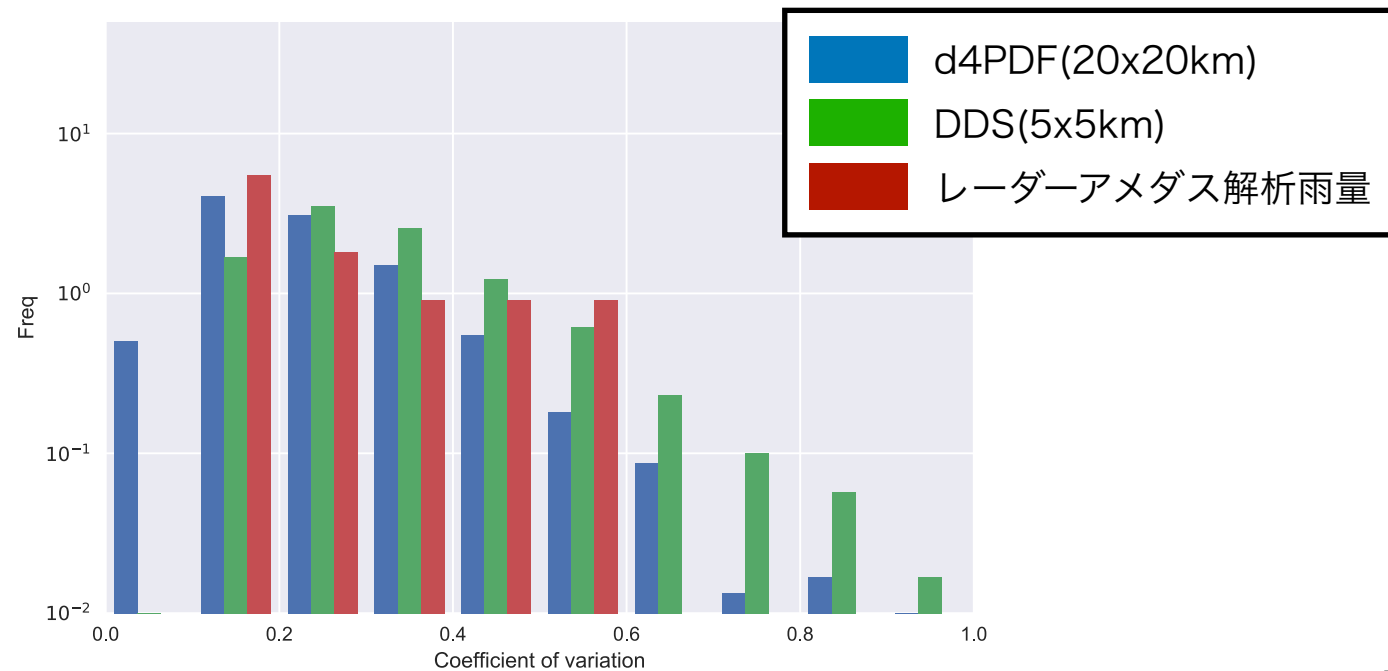
4℃上昇実験では年最大降水量は1.2倍程度増加する。  
計画規模に相当する99%ile値では1.4倍程度増加する。

# 降水量の空間分布・時間分布特性



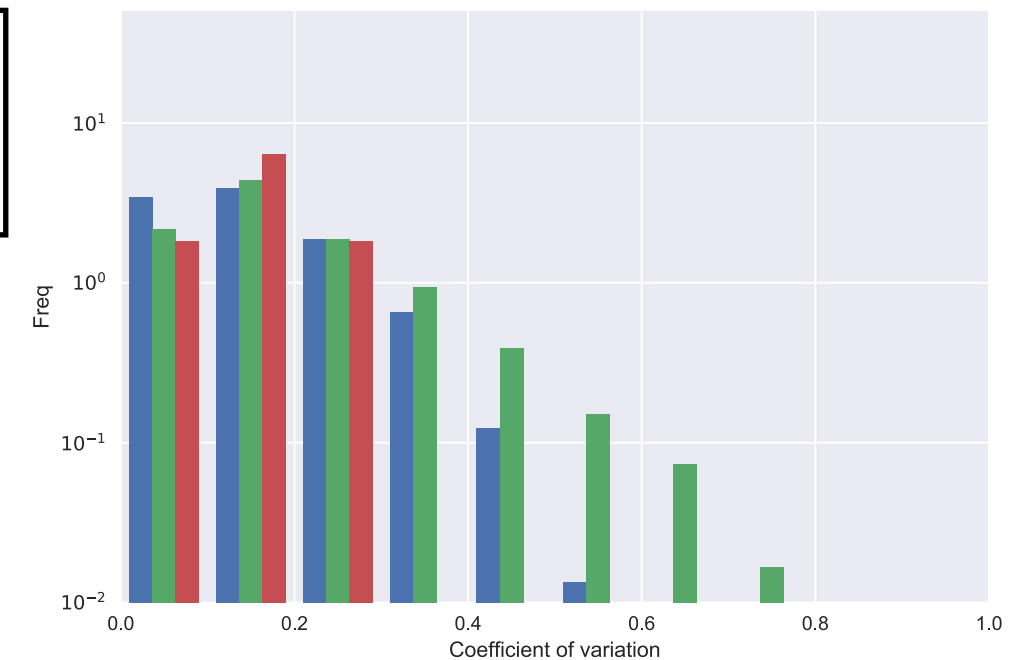
# 降水量の空間的なばらつき（観測値との比較）

## 十勝川帯広基準地点



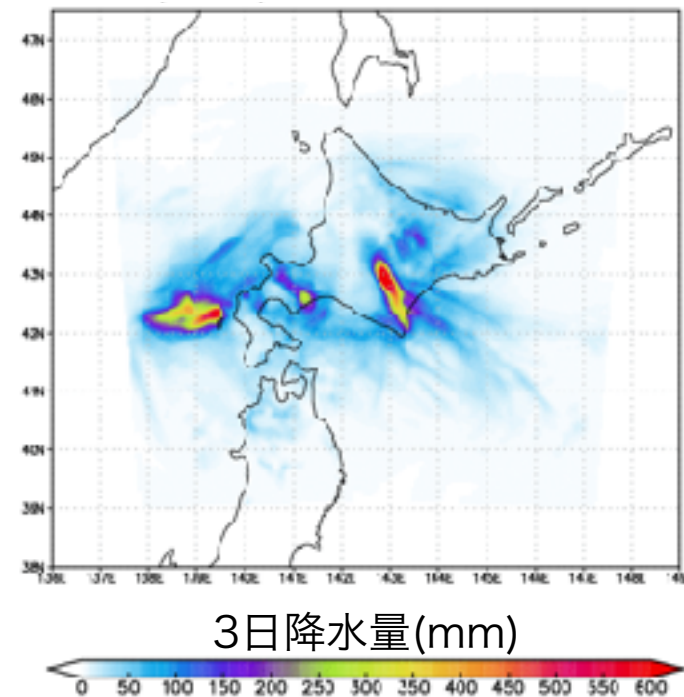
小さい（広域的）流域内の降水量のばらつき 大きい（局所的）

## 常呂川北見基準地点

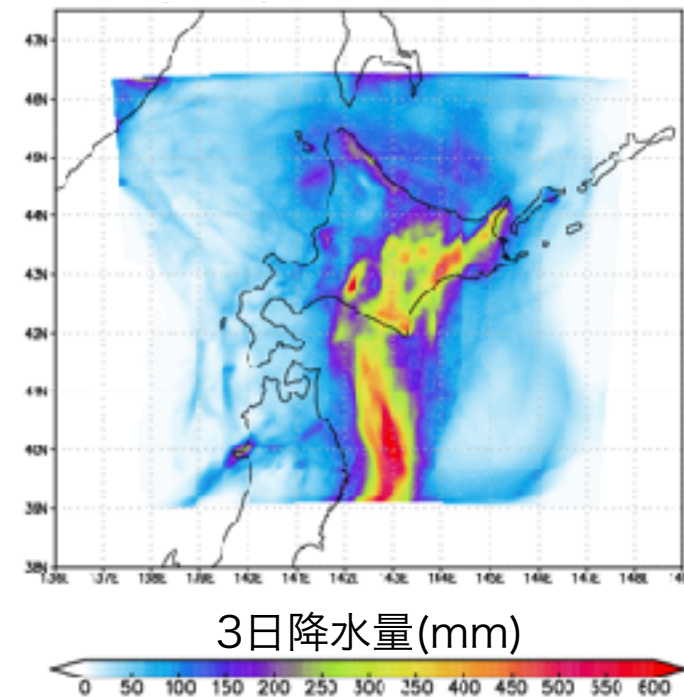


小さい（広域的）流域内の降水量のばらつき 大きい（局所的）

変動係数の大きい事例(変動係数0.91)



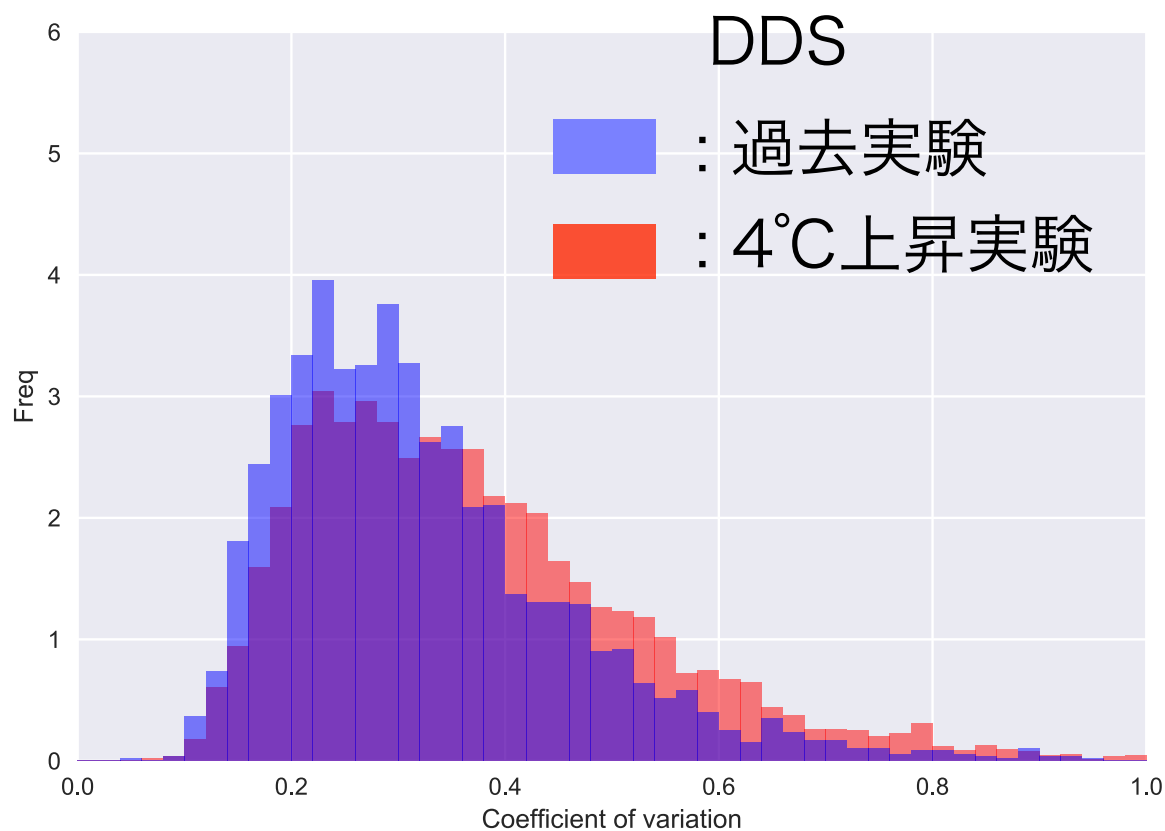
変動係数の小さい事例(変動係数0.12)



- 力学的ダウンスケールを実施することによって，流域内の降水量の空間スケールは観測値に近づく。

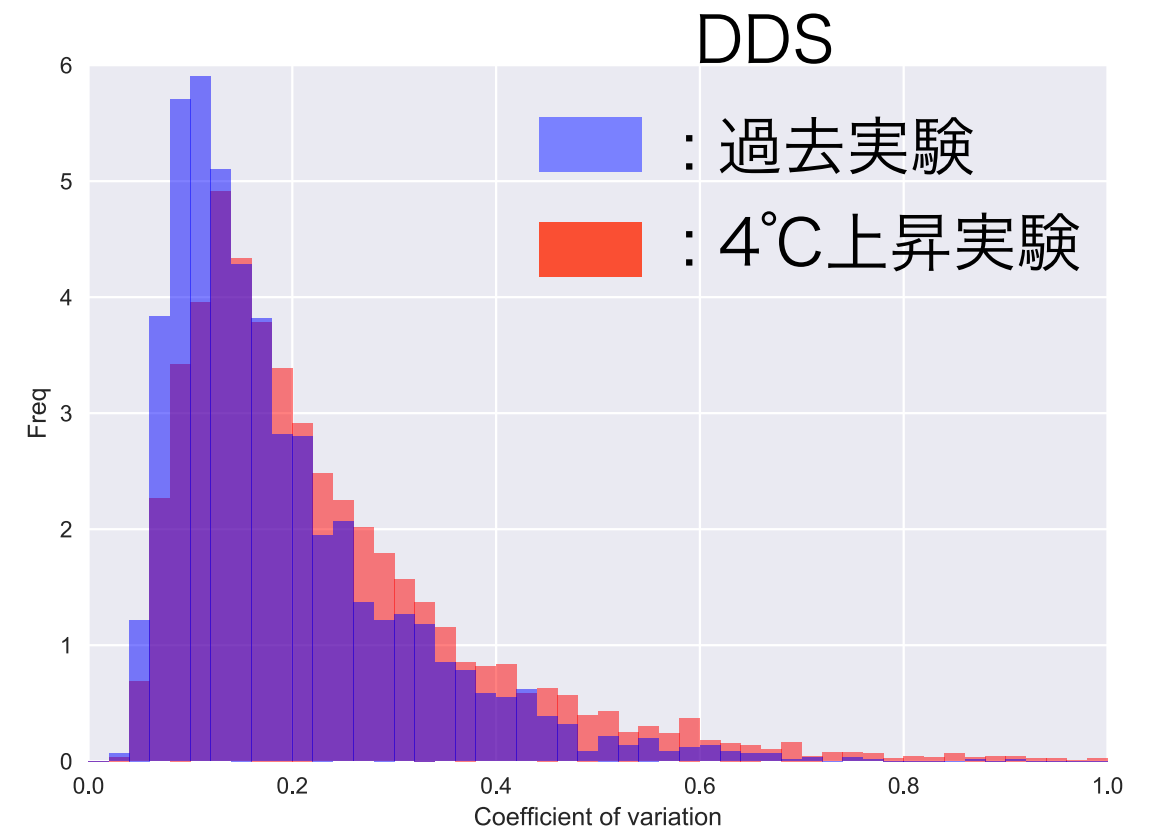
# 降水量の空間的なばらつき

## 十勝川帯広基準地点



小さい（広域的）流域内の降水量のばらつき 大きい（局所的）

## 常呂川北見基準地点



小さい（広域的）流域内の降水量のばらつき 大きい（局所的）

72(十勝川), 24(常呂川)時間累積降水量をグリッドごとに算出し、その変動係数を算出

- 両流域ともに気候変動下の将来気候（4°C上昇実験）では、計画規模の大雨イベントは、より局所性を有する。

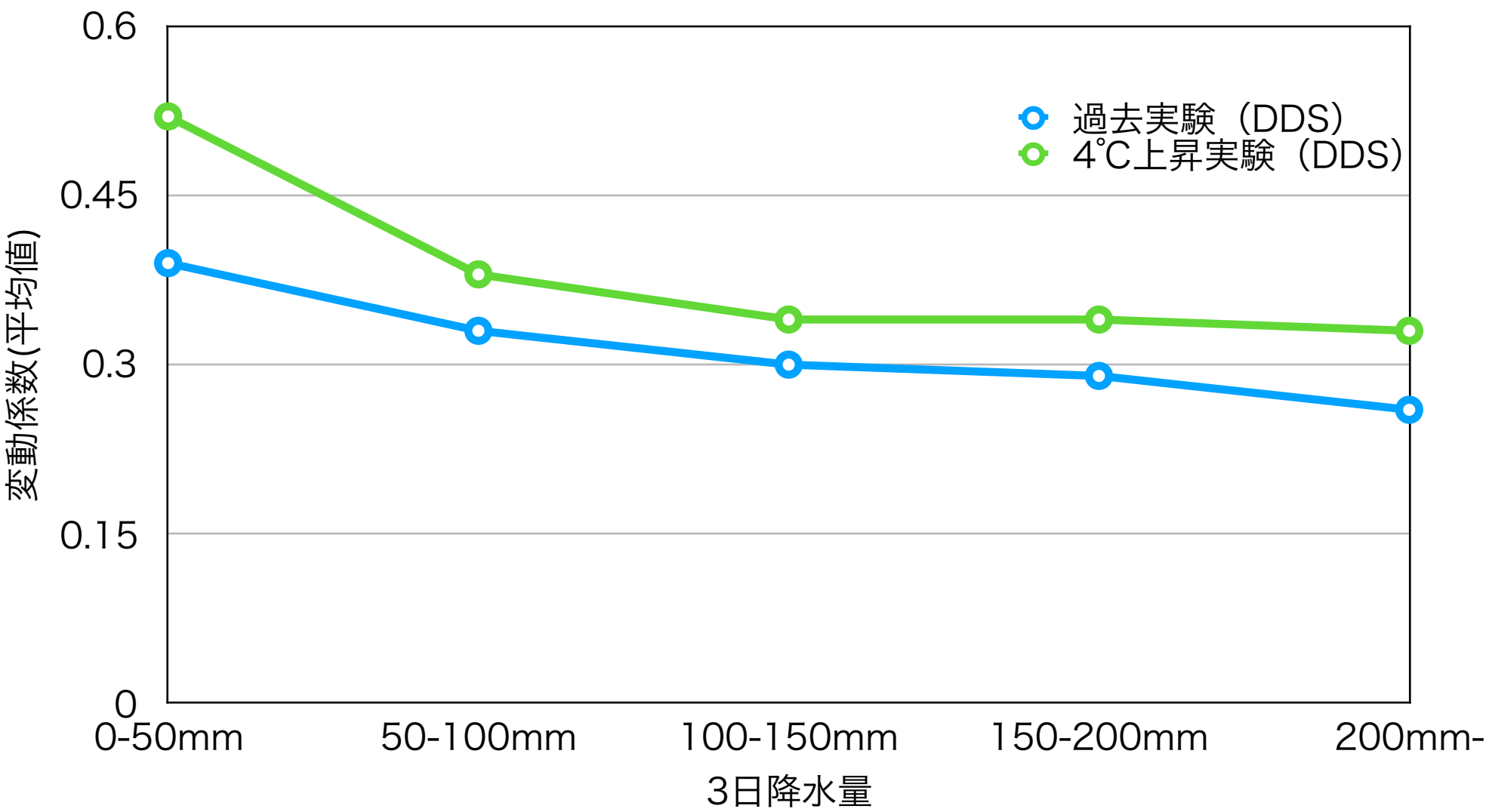


# 降水量の空間的なばらつきは将来気候において増大

## 十勝川帯広基準地点

変動係数を3日降水量の大きさで区分

局所的



広域的

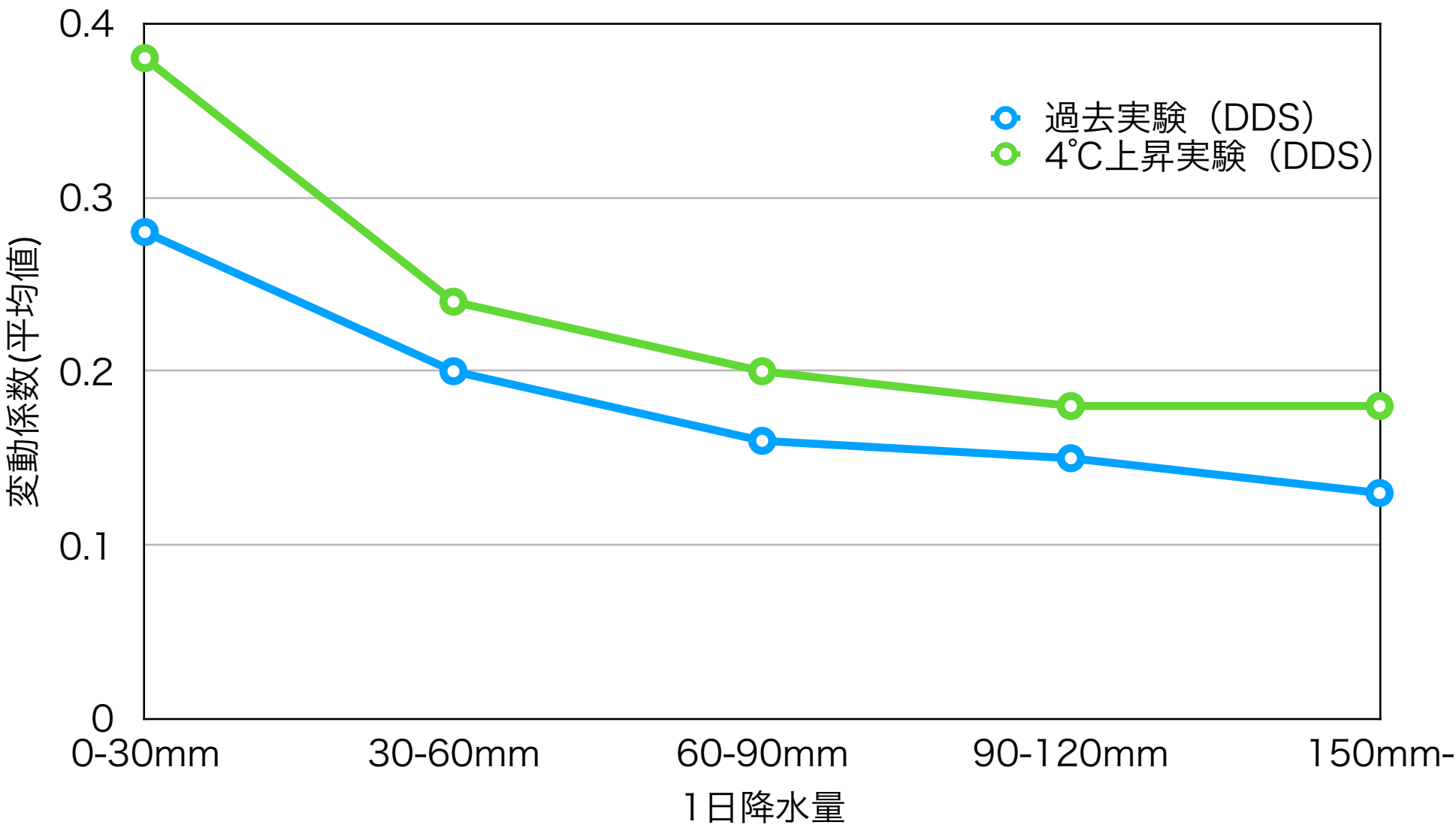
- 気候変動下の将来気候では、流域全体では同一規模の降水量であっても降雨の空間分布はより局所的になるとの結果となった。

# 降水量の空間的なばらつきは将来気候において増大

## 常呂川北見基準地点

変動係数を1日降水量の大きさで区分

局所的



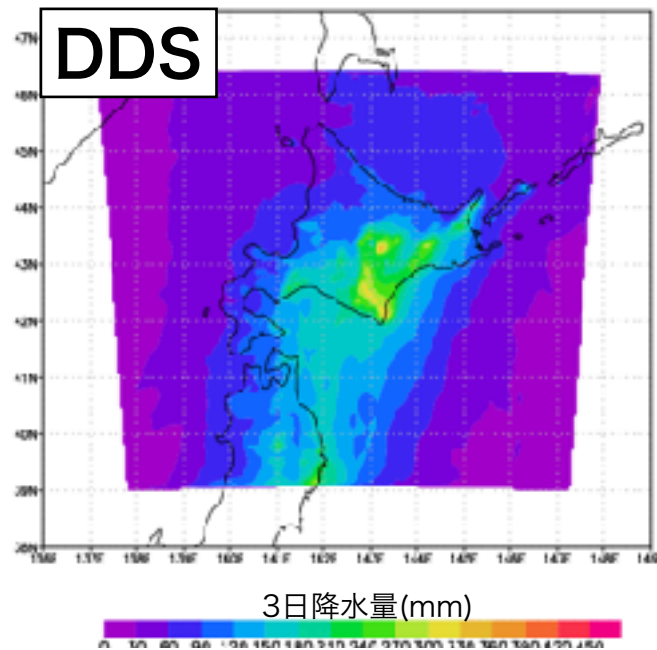
広域的

- 気候変動下の将来気候では、流域全体では同一規模の降水量であっても降雨の空間分布はより局所的になるとの結果となった。

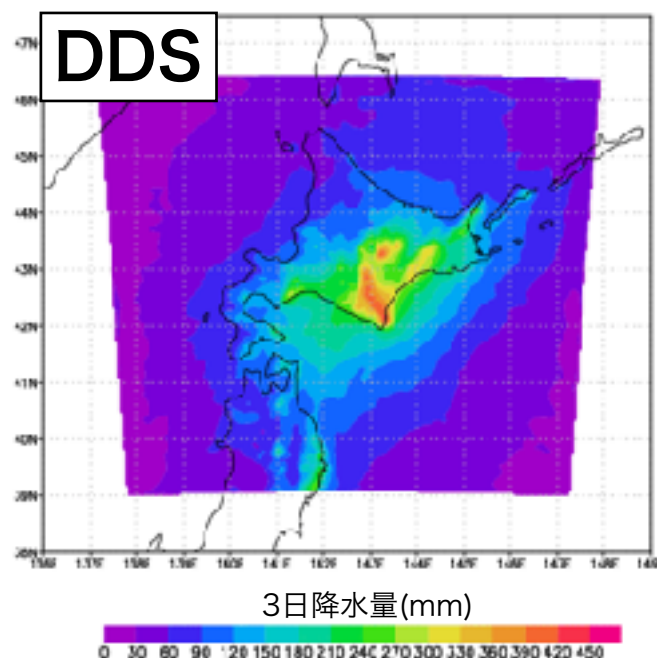
# 降雨の空間分布の変化（温暖化による変化）

十勝川帯広基準地点においてd4PDF領域実験(20x20km)での3日降水量が200mmを超える事例で平均

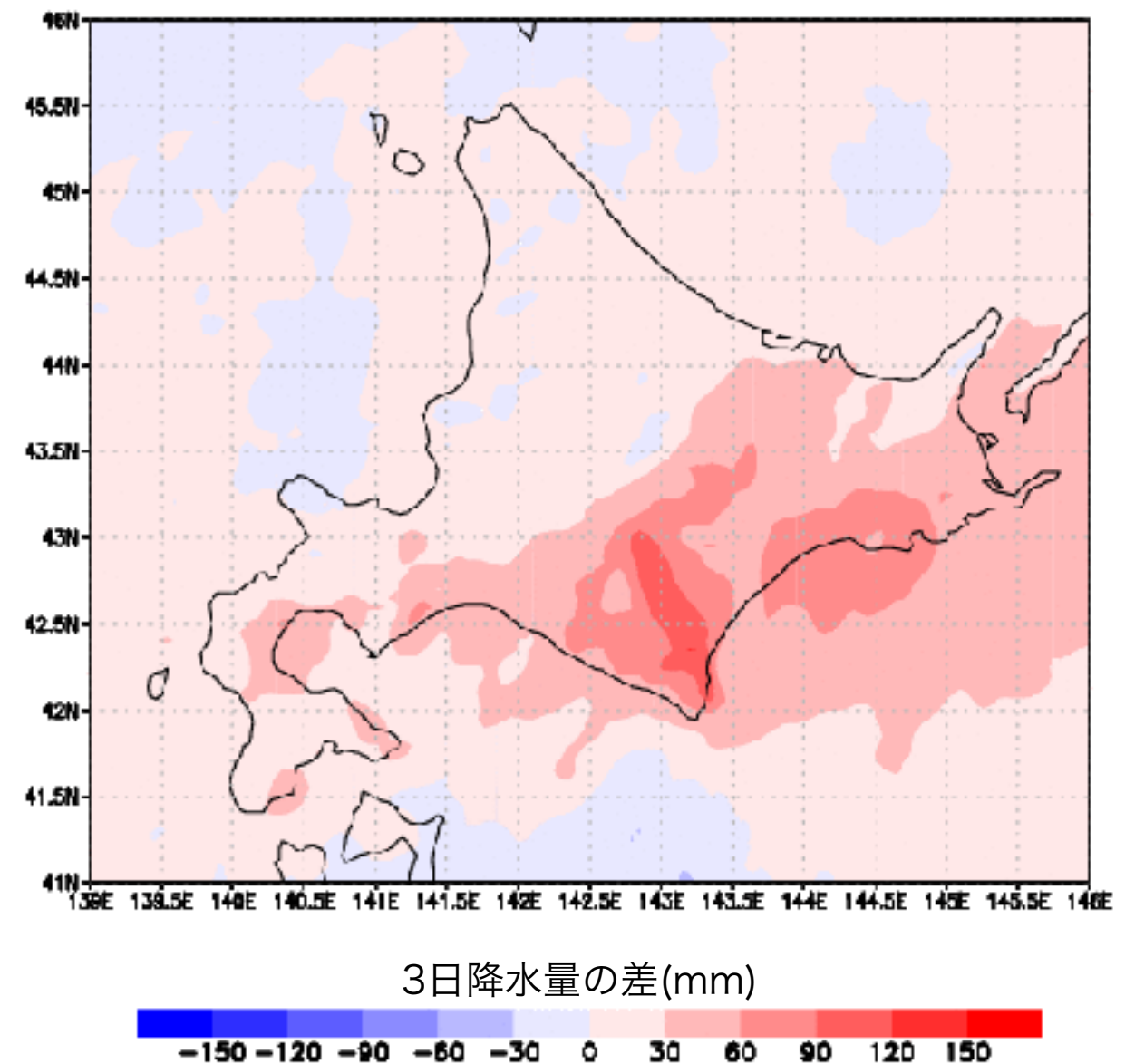
## 過去実験（33事例）



## 4°C上昇実験（258事例）



## 4°C上昇実験と過去実験との差(DDS)

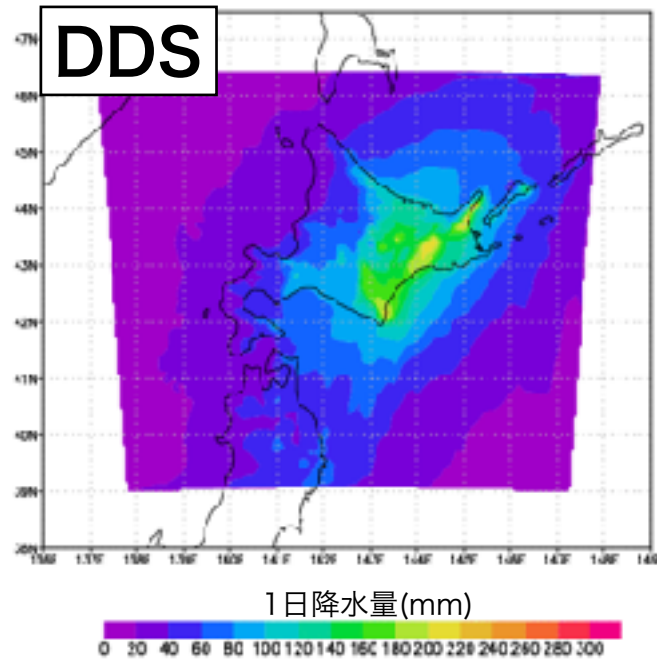


日高山脈周辺において降水量の増加が顕著である。

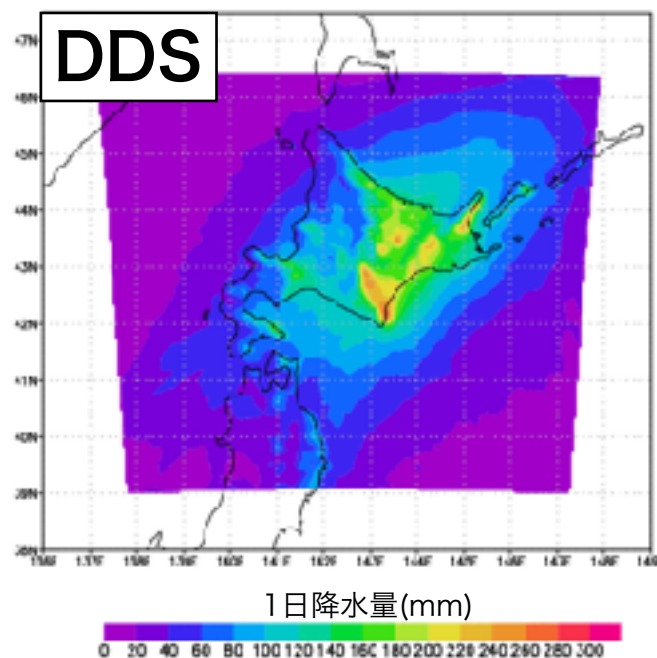
# 降雨の空間分布の変化（温暖化による変化）

常呂川北見基準地点においてd4PDF領域実験(20x20km)での1日降水量が  
150mmを超える事例で平均

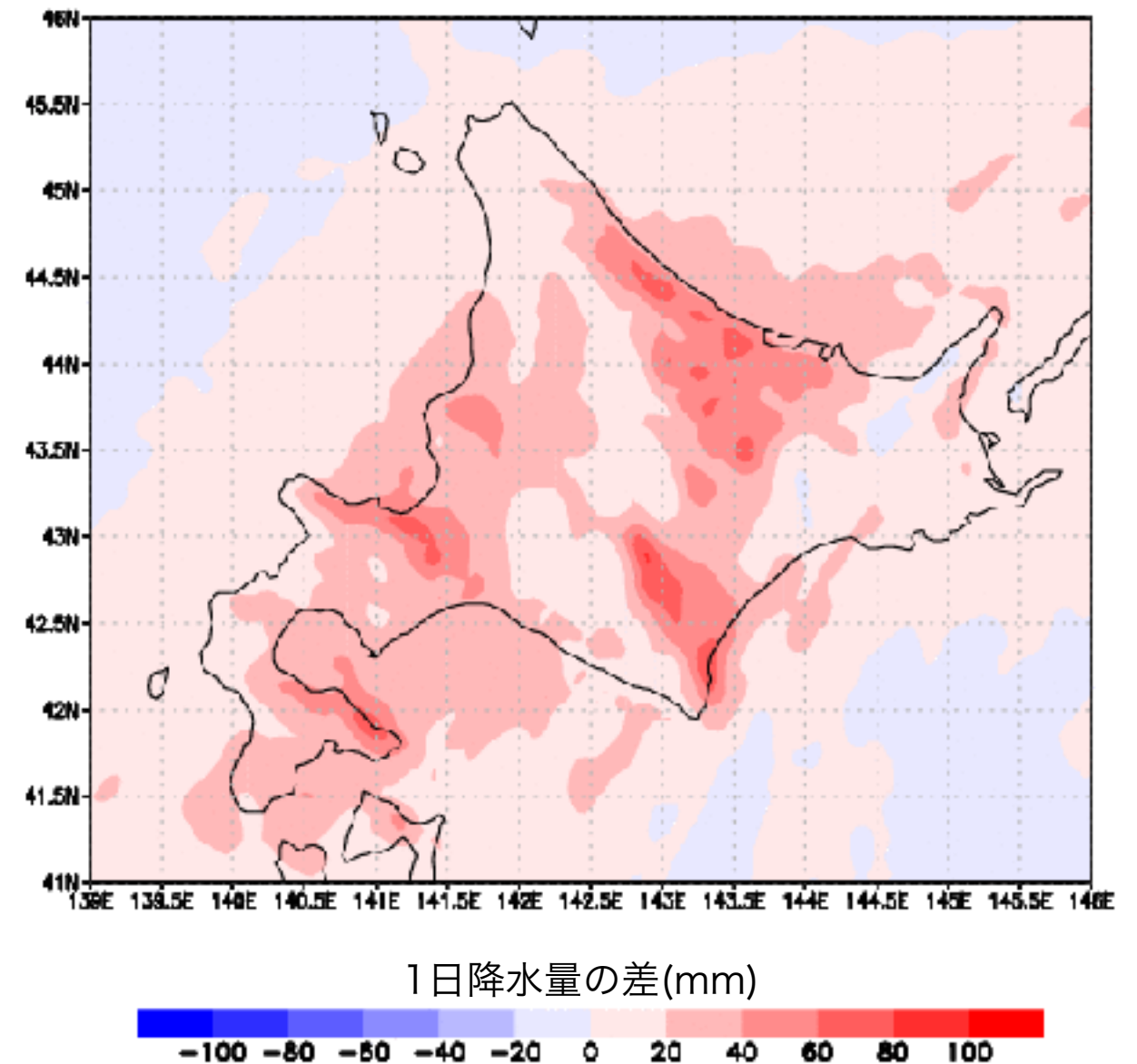
## 過去実験（42事例）



## 4°C上昇実験（323事例）



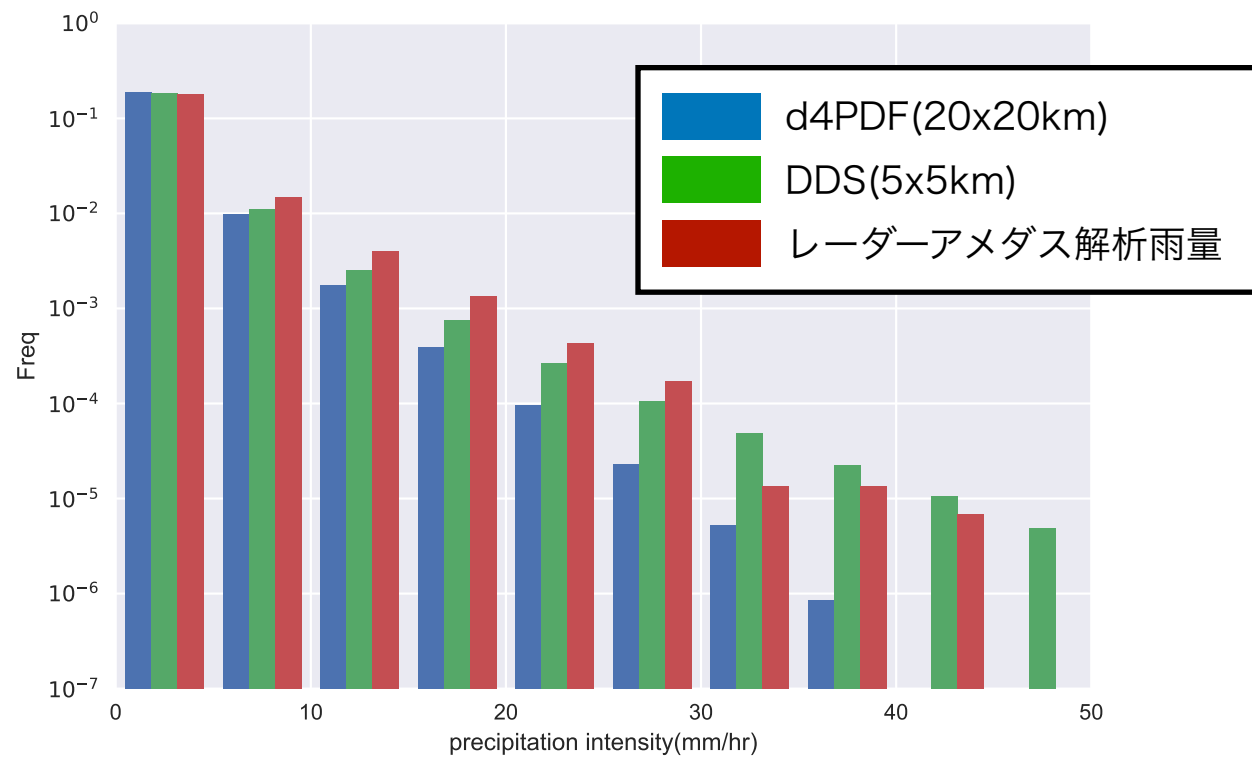
## 4°C上昇実験と過去実験との差(DDS)



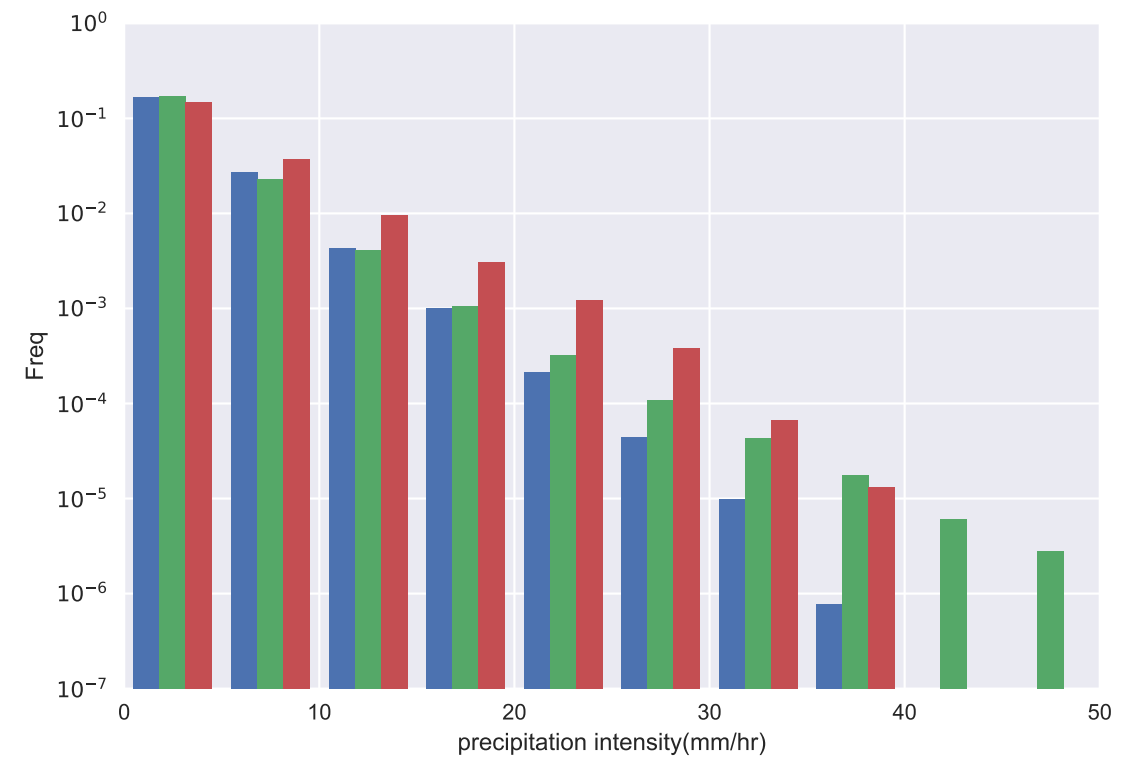
流域全体で均等に降水量が増加

# 1 時間降水強度の特徴（観測値との比較）

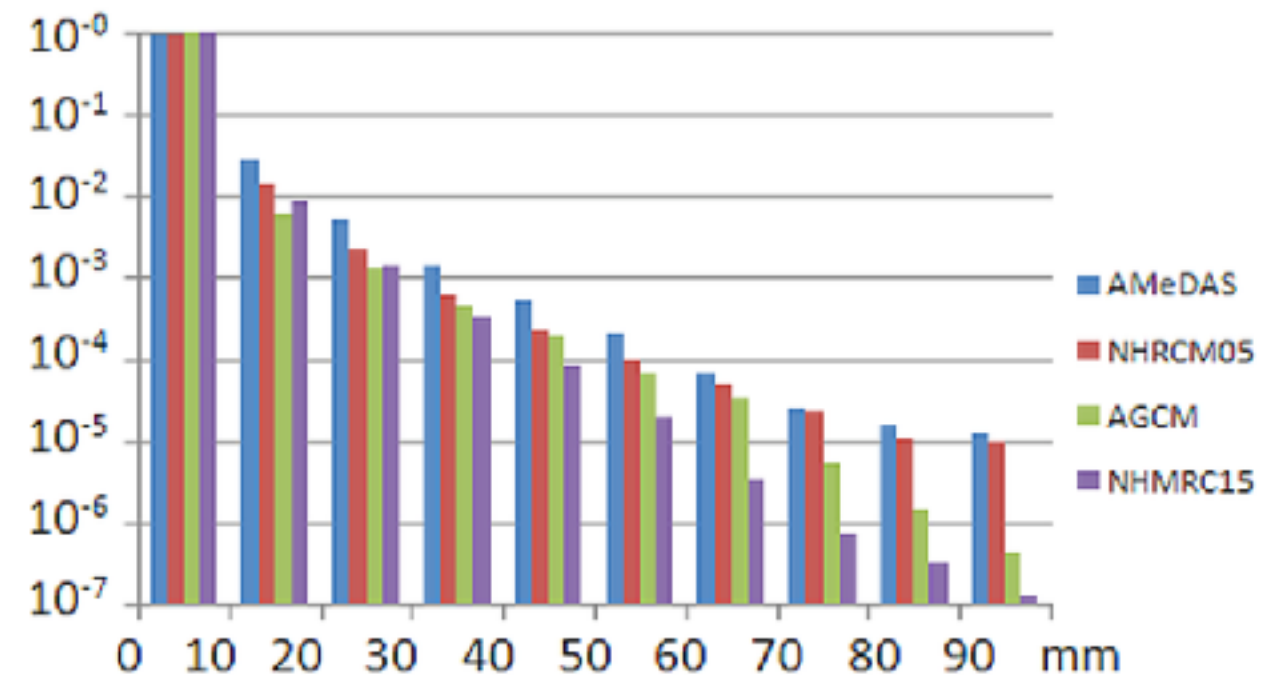
十勝川帯広基準地点



常呂川北見基準地点



- 力学的ダウンスケーリングによる5km解像度の方が20km解像度のものより観測値に近い値を有する。
- 将来気候では，豪雨の規模は増大し，かつ局所化・短時間化する  
(次のページの結果を踏まえ)

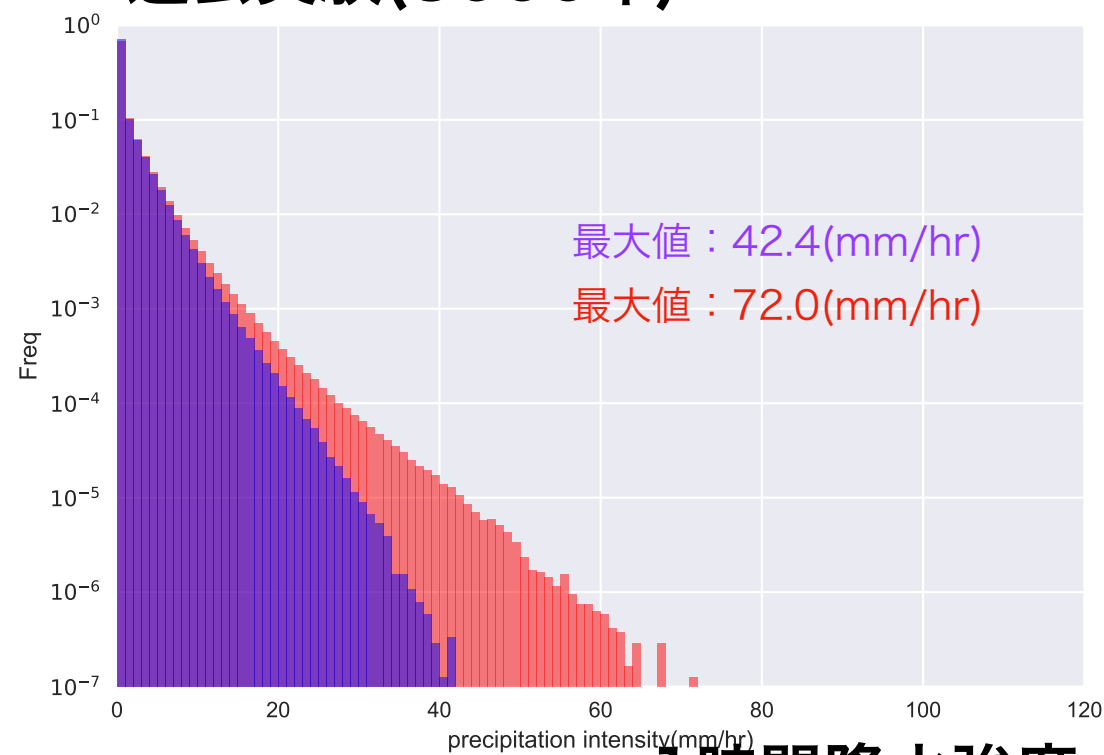




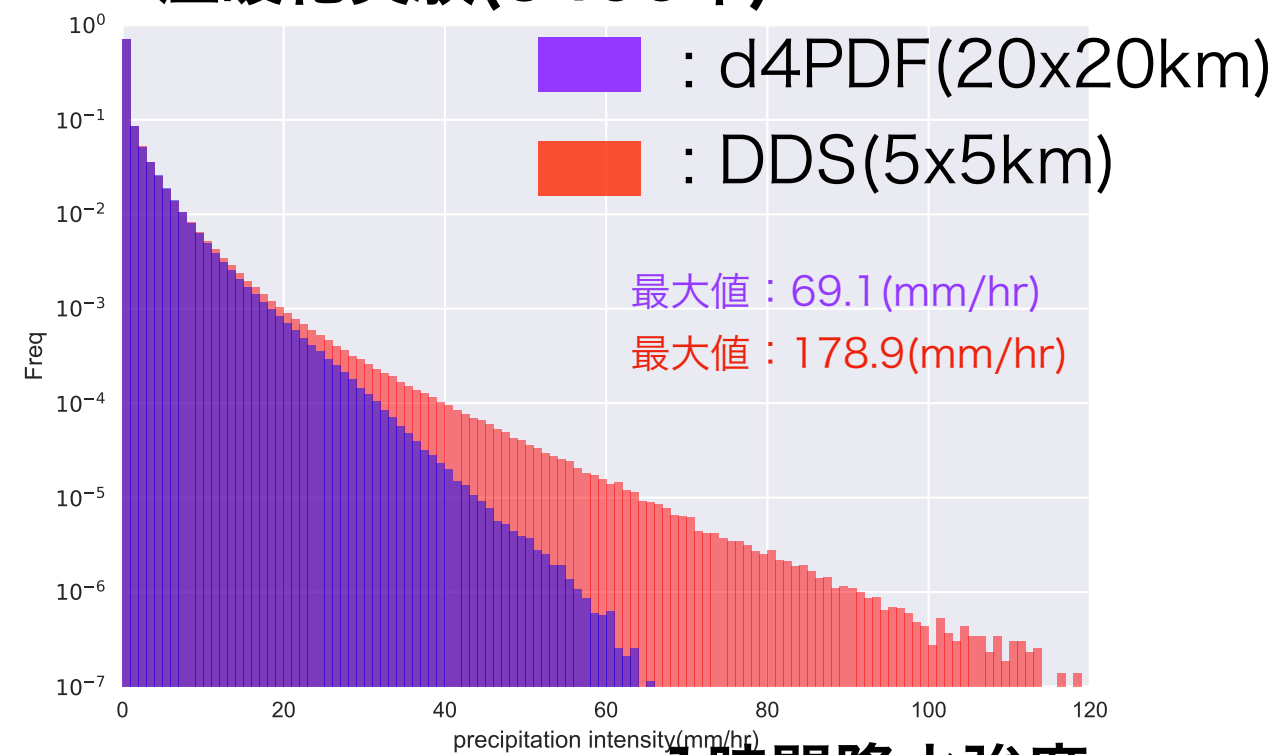
# 1時間降水強度は将来強まる

## 十勝川帯広基準地点

過去実験(3000年)

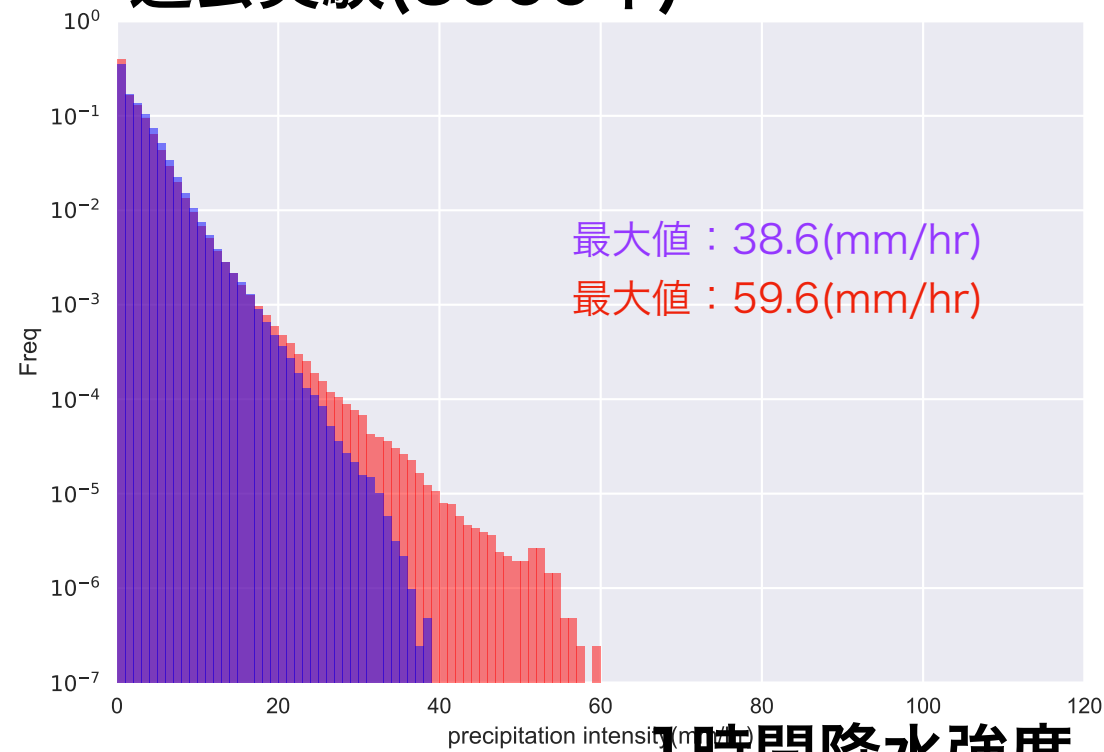


温暖化実験(5400年)

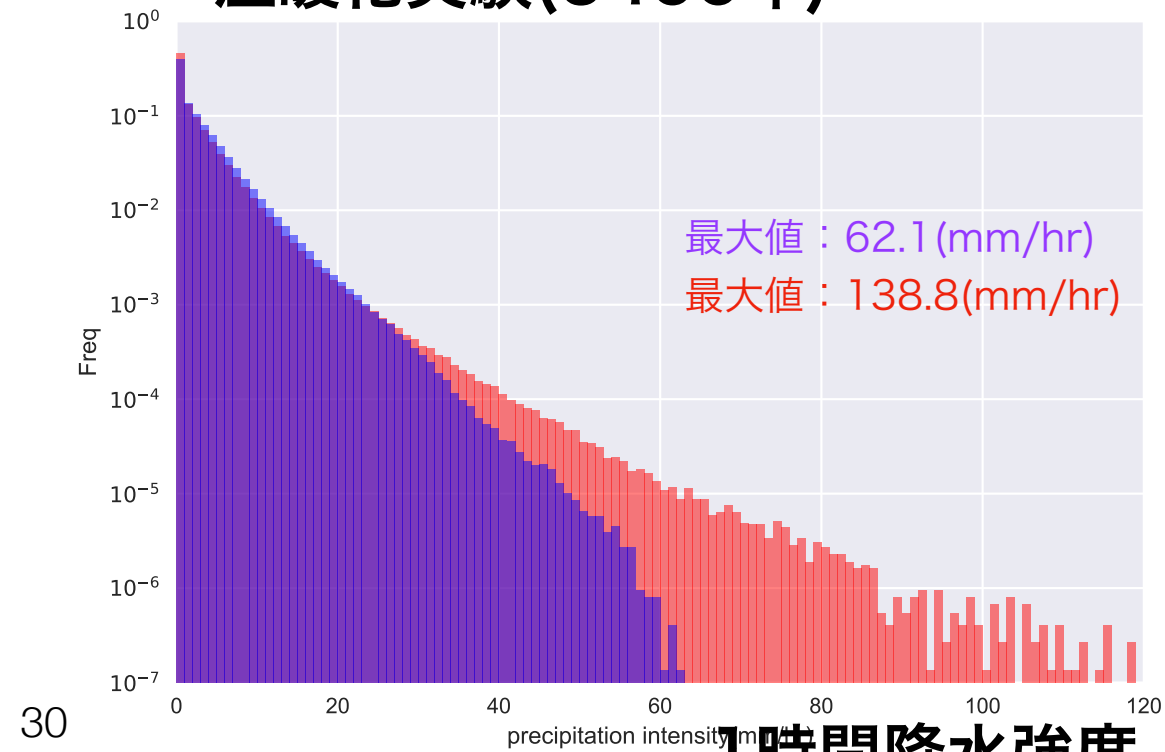


## 常呂川北見基準地点

過去実験(3000年)



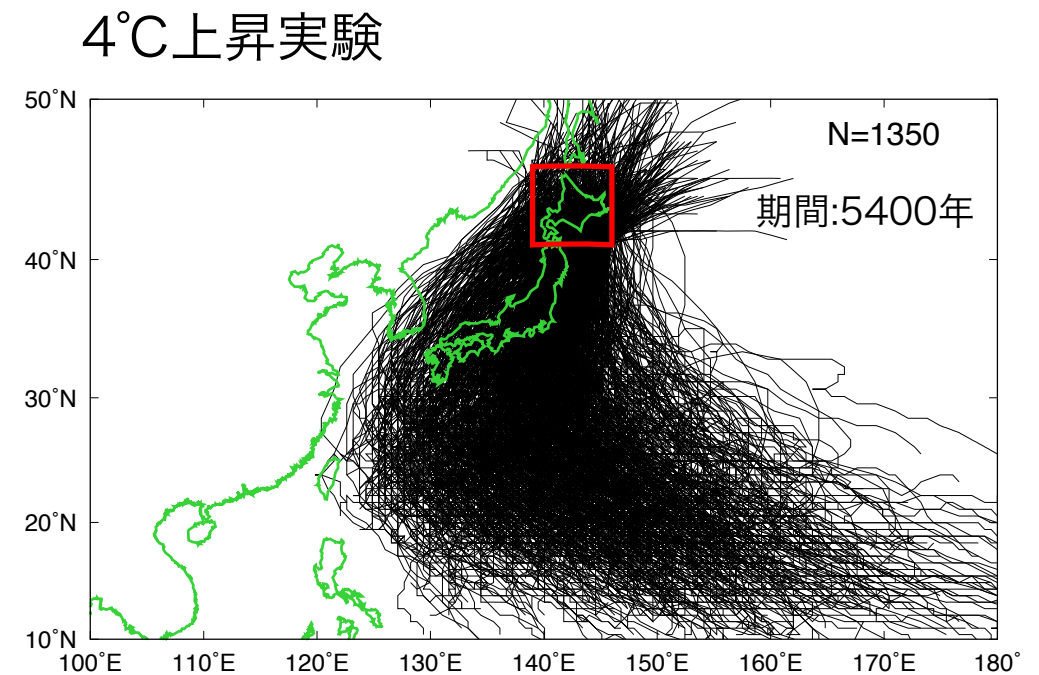
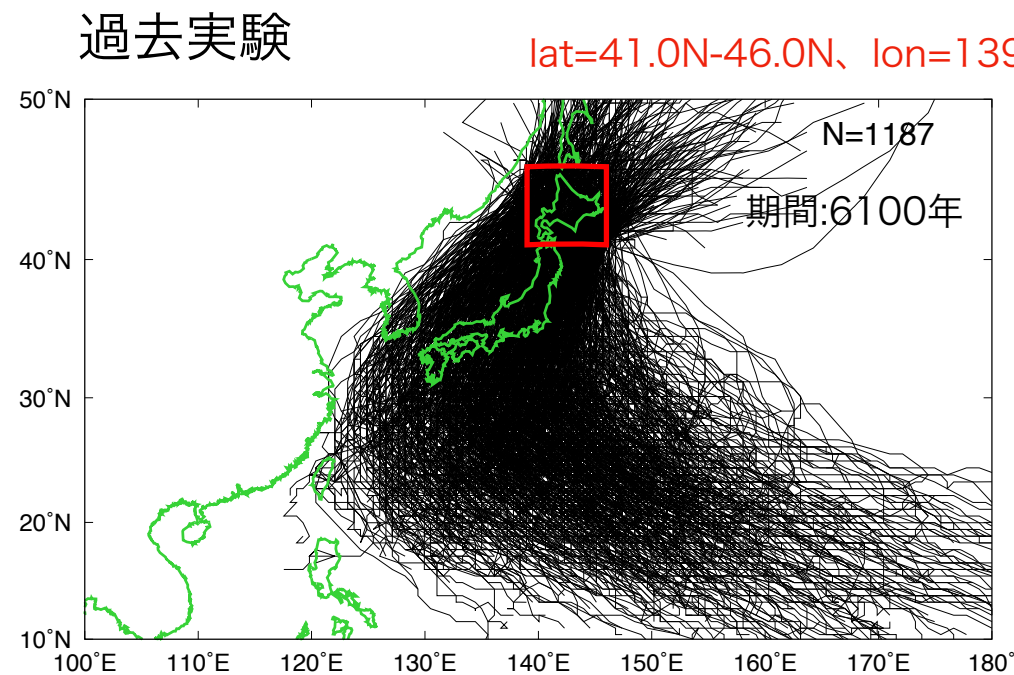
温暖化実験(5400年)



# 台風に起因する大雨

# 台風由来の大雨の抽出

## 北海道の周辺を通過する台風の経路



北海道周辺を通過する台風を抽出  
(GCM(60x60km)から算出)

年最大降水量の発生時期から前後72時間  
以内に台風が北海道に接近したものを台  
風由来の大雨と定義

### 台風の選別条件 (H. Murakami et al. 2012)

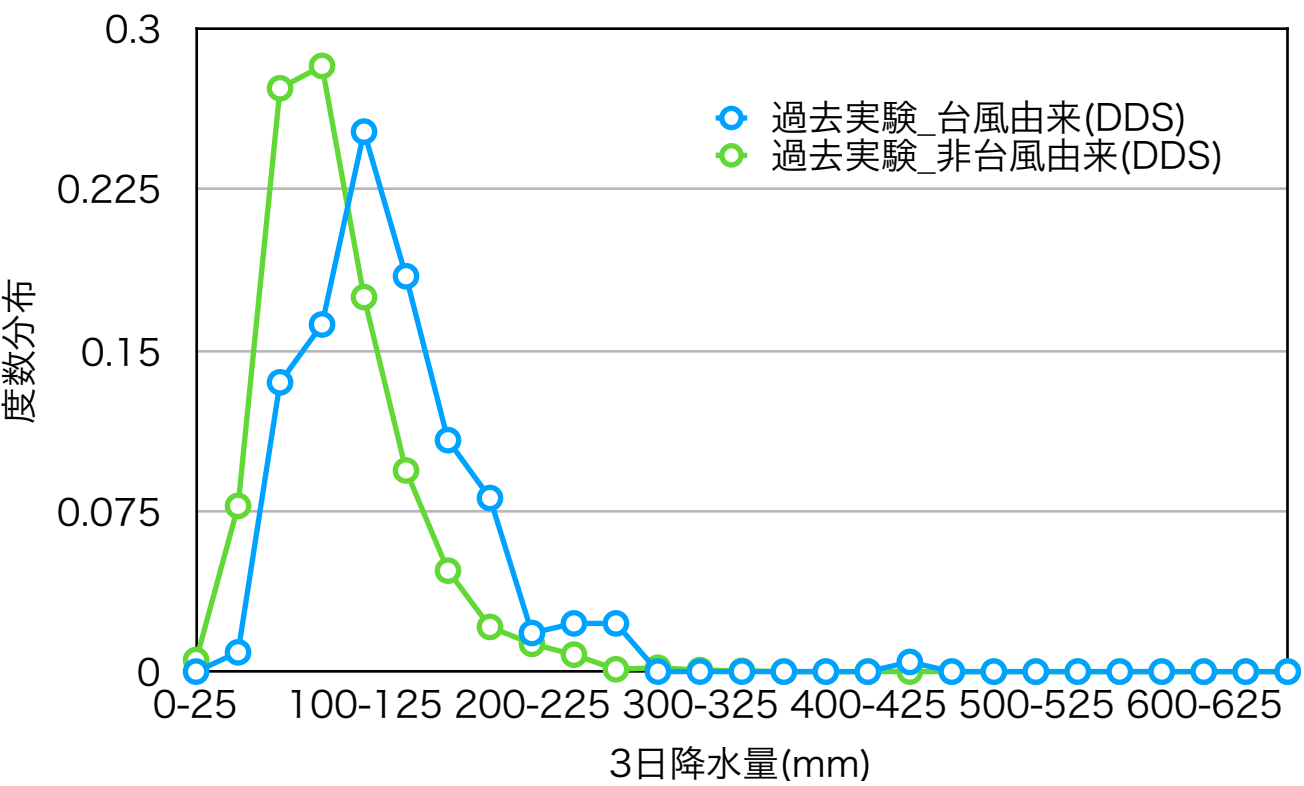
- (1) 850hPa最大相対渦度:  $8.0 \times 10^{-5}/s$ 以上
- (2) 850hPa最大風速: 13 m/s以上
- (3) 850hPaの最大風速 > 300hPaの最大風速
- (4) 300, 500, 700hPaの気温偏差の合計値が0.8K以上
- (5) 継続時間が36時間以上



十勝川帯広基準地点：過去実験(3000年)

3000事例のうち222事例が台風由来(7.4%)

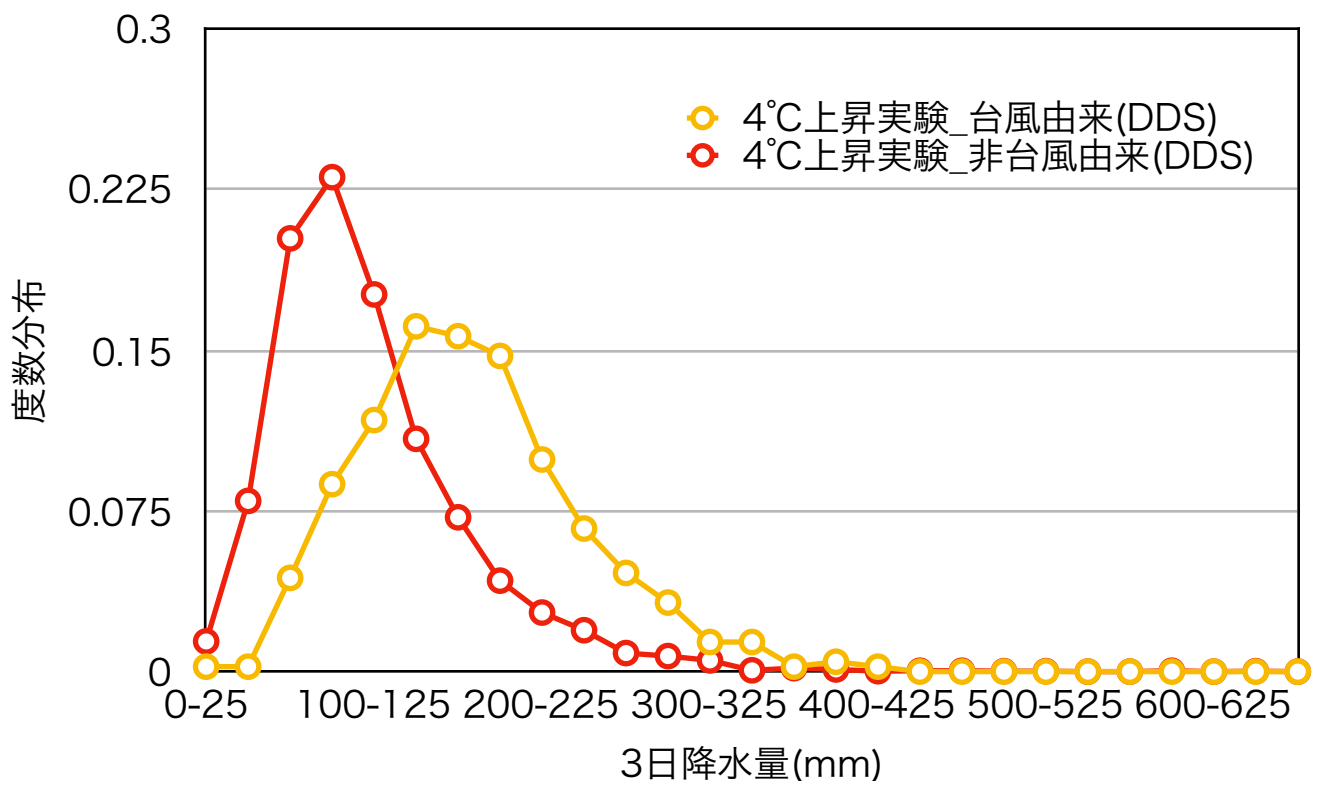
十勝川帯広基準地点での降水量



	過去実験_台風由来	過去実験_非台風由来
平均値(mm)	127.0	94.8
標準偏差(mm)	51.3	40.8

十勝川帯広基準地点：4℃上昇実験(5400年)

5400事例のうち434事例が台風由来(8.0%)



	4℃上昇実験_台風由来	4℃上昇実験_非台風由来
平均値(mm)	170.4	109.1
標準偏差(mm)	65.3	58.1

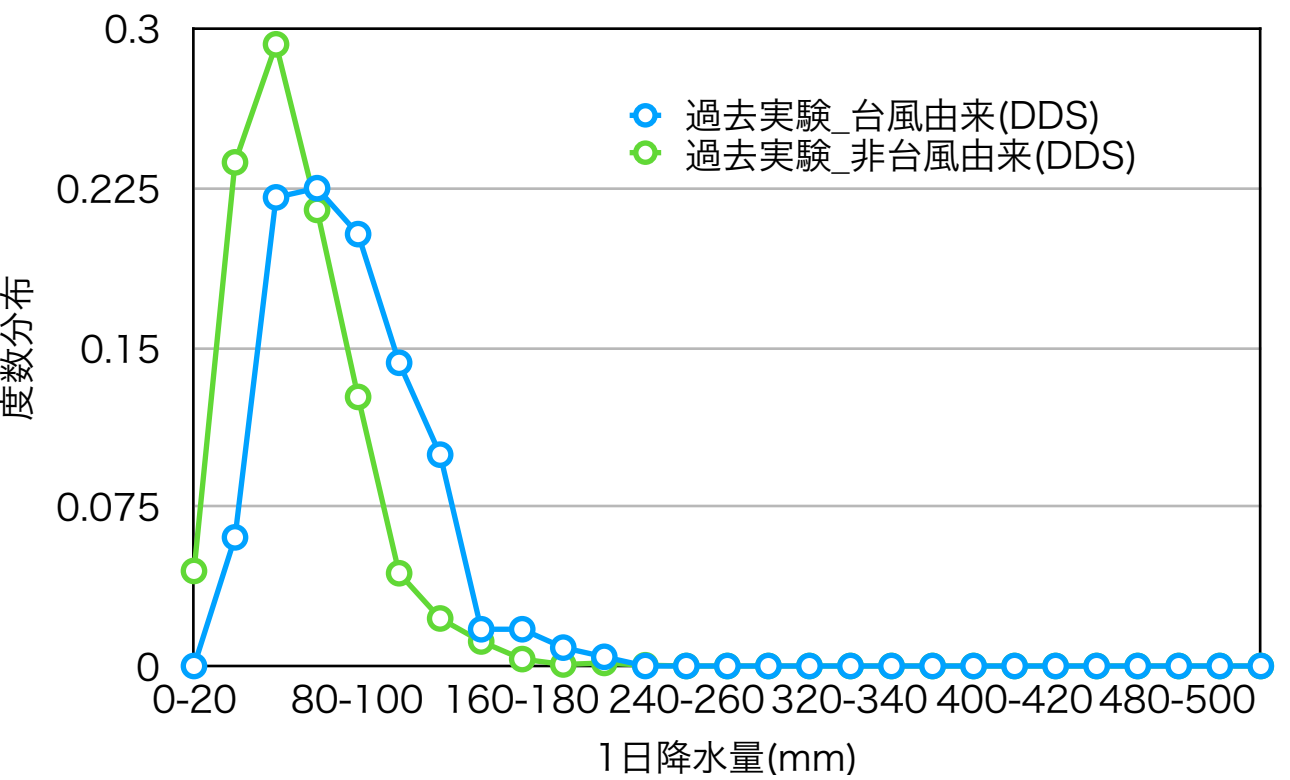
	変化率 (4℃上昇実験/過去実験)
台風由来 (平均値)	1.34
非台風由来 (平均値)	1.15
台風由来(標準偏差)	1.27
非台風由来 (標準偏差)	1.42

- 台風由来による年最大の大雨の発生率は7.4%から8.0%に変化
- 温暖化による降水量の変化率は非台風由来よりも台風由来で大きい(1.15倍と1.34倍)

常呂川北見基準地点：過去実験(3000年)

3000事例のうち231事例が台風由来(7.7%)

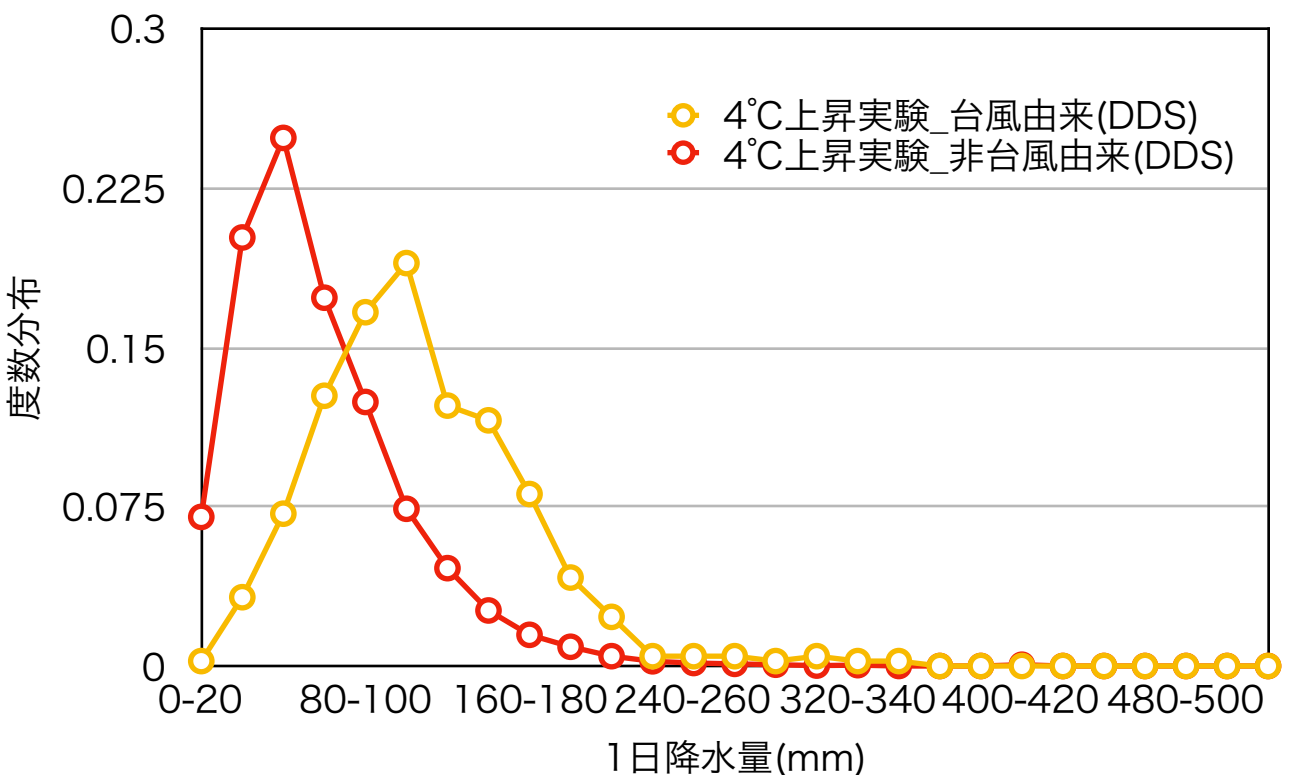
常呂川北見基準地点での降水量



	過去実験_台風由来	過去実験_非台風由来
平均値(mm)	83.3	59.3
標準偏差(mm)	33.7	29.3

常呂川北見基準地点：4℃上昇実験(5400年)

5400事例のうち432事例が台風由来(8.0%)



	4℃上昇実験_台風由来	4℃上昇実験_非台風由来
平均値(mm)	116.0	67.6
標準偏差(mm)	49.8	42.2

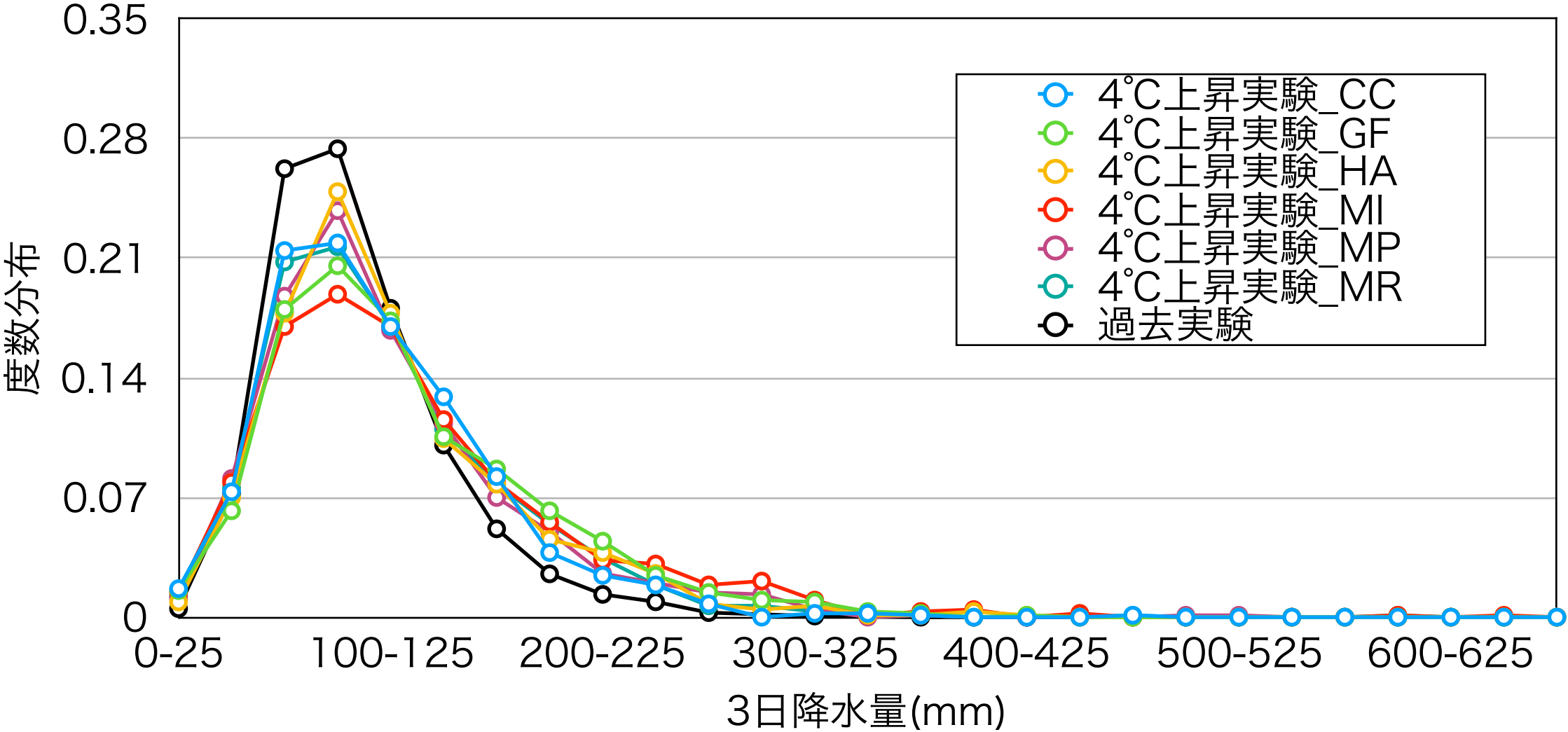
	変化率 (4℃上昇実験/過去実験)
台風由来 (平均値)	1.39
非台風由来 (平均値)	1.14
台風由来(標準偏差)	1.48
非台風由来 (標準偏差)	1.44

- 台風由来による年最大の大雨の発生率は7.7%から8.0%に変化
- 温暖化による降水量の変化率は非台風由来よりも台風由来で大きい(1.14倍と1.39倍)

# 海面水温(SST)による降水量の違い

DDS

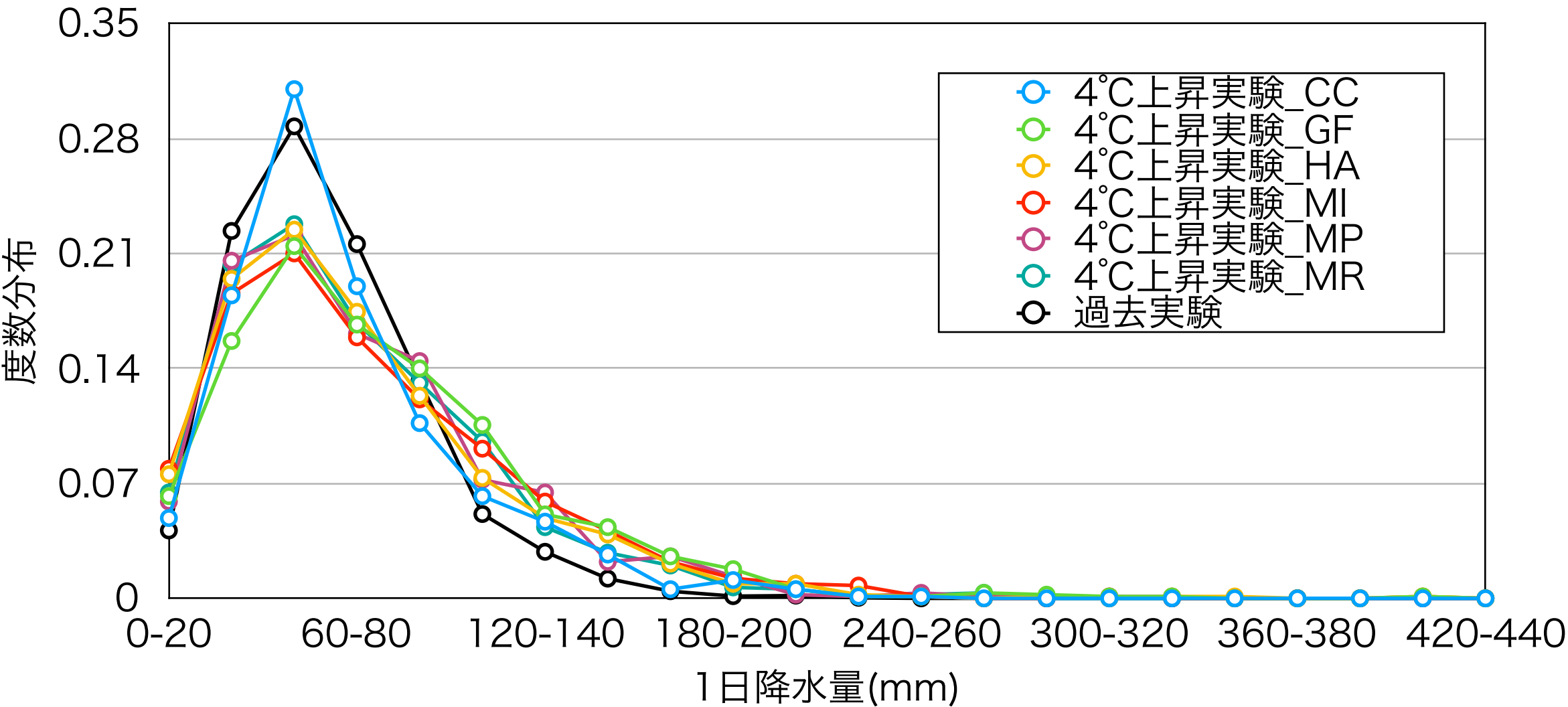
異なるSSTにおいても4℃上昇実験は過去実験よりも降水量を増大させる。



	過去実験	CC	GF	HA	MI	MP	MR
平均値(mm)	97.2	106.9	118.8	113.0	122.5	112.0	110.9
標準偏差(mm)	42.5	52.5	61.9	58.4	72.4	59.6	58.5
最大値(mm)	440.4	450.3	414.8	422.0	626.7	505.1	593.6
99%ile値(mm)	235.5	263.8	318.0	306.4	364.9	289.0	294.4
95%ile値(mm)	178.4	203.7	235.7	225.5	270.7	231.4	216.1
90%ile値(mm)	152.4	172.6	201.8	195.1	219.9	190.3	188.5

DDS

異なるSSTにおいても4℃上昇実験は過去実験よりも降水量を増大させる。



	過去実験	CC	GF	HA	MI	MP	MR
平均値(mm)	61.2	65.6	77.5	70.8	73.5	71.6	69.5
標準偏差(mm)	30.4	37.7	48.5	46.4	47.5	44.9	42.4
最大値(mm)	228.9	257.8	420.0	410.3	403.7	335.5	271.0
99%ile値(mm)	154.9	192.1	226.0	207.2	224.0	215.4	205.7
95%ile値(mm)	118.9	140.3	165.2	158.4	161.4	158.4	151.3
90%ile値(mm)	99.8	118.6	140.9	131.6	134.9	129.2	124.3

# 力学的ダウンスケーリングに よる検討結果のまとめ

- 十勝川流域と常呂川流域を対象に年最大の大雨事例について力学的ダウンスケーリング(8400事例)を完了した.
- 力学的ダウンスケーリングにより, 降雨の空間分布(局所性)や降水強度が実績値に近づくことを確認した.
- 4°C上昇実験では年最大降水量は1.2倍程度増加, 計画規模に相当する99%ile値では1.3-1.4倍程度増加することを確認した.
- 4°C上昇実験では降雨の局所化と1時間降水強度の増大が示されていることがわかった.
- 異なる地域気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングにおいても, NHRCMと同程度の降水量が得られた.
- 将来の降水量の増加は台風の影響を強く受ける.  
(過去気候と比較して非台風由来: 1.14倍; 台風由来: 1.39倍)
- 現在, 1年間の連続的なダウンスケーリングを実施中.