

# 気候変動および観測に起因不確実性を 考慮した検討について

北海道大学大学院工学研究院

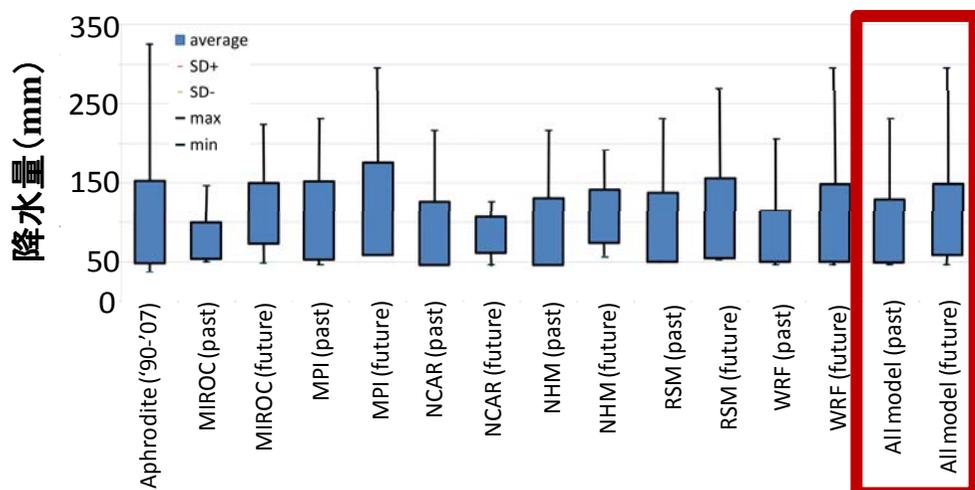
山田朋人

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

2016年12月27日

# 石狩川流域における年最大3日降水量

全球平均気温が2°C上昇した際、  
石狩川流域では年最大降水量は  
**約1.2(1.1~1.4)倍増加する**との結果。



観測

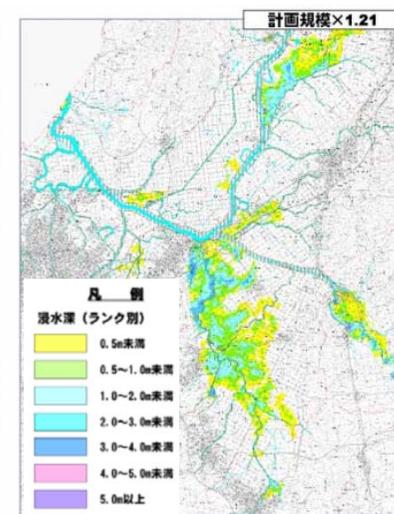
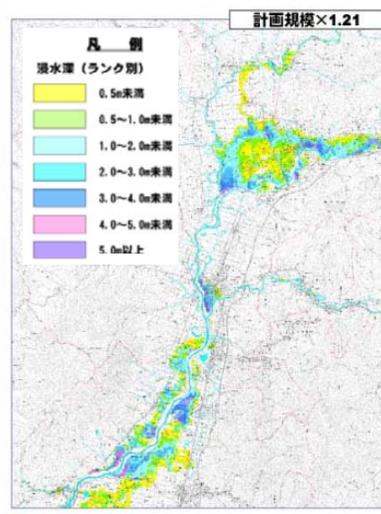
モデル

(過去・将来)

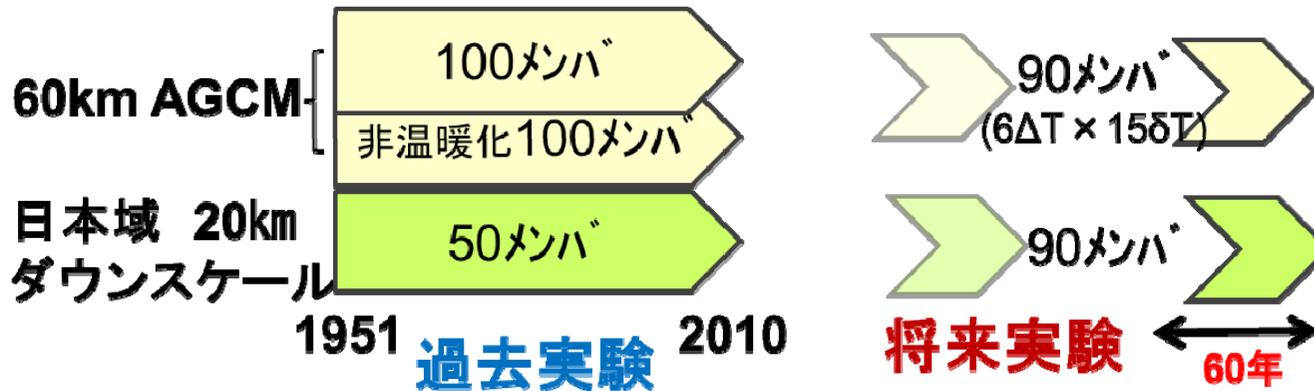
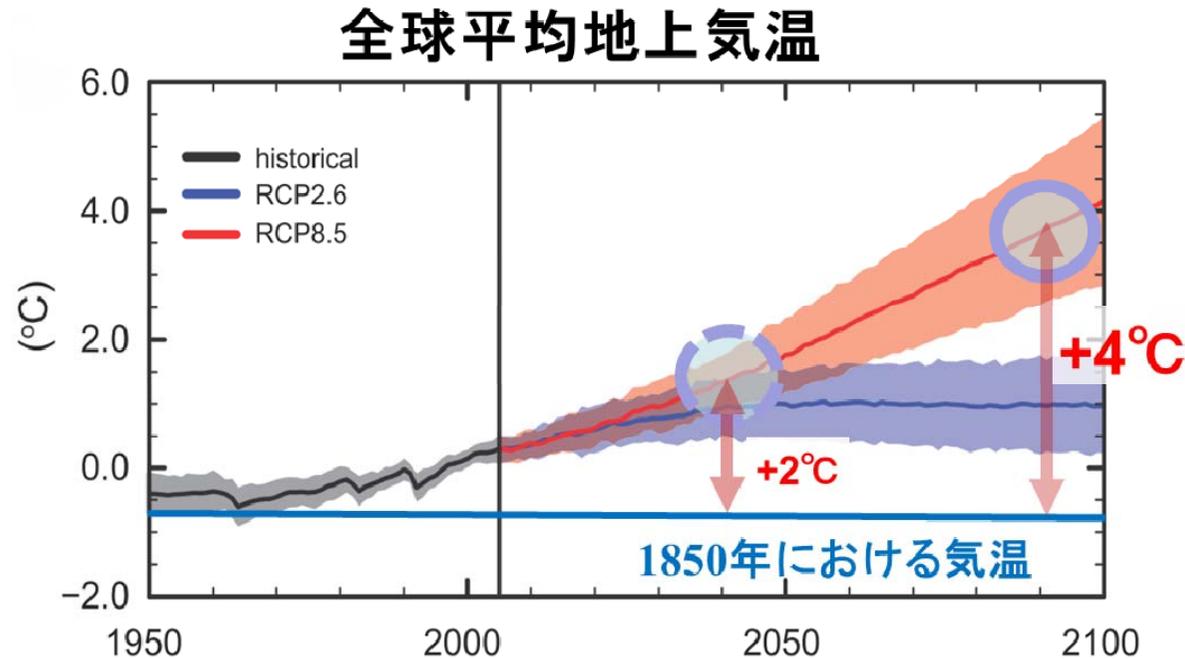
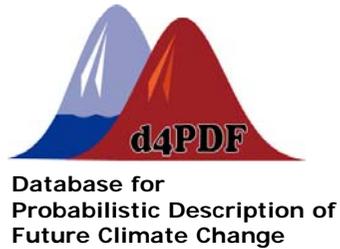
**年最大3日降水量**は釧路川流域, 天塩川流域, 十勝川流域いずれも**1.2倍程度増大(全9通りの予測結果)**するとの結果が得られた。浸水面積は2.2倍。



(年最大3日降水量は1.21倍)



# 将来気候変化を確率的に記述するための データベース(d4PDF) 実験デザイン



\* 過去実験(モデル)は日々の再現ではなく、その気候(平年値)の再現

# 実験設定

大気モデルに外部境界条件として海面水温(SST)・海氷密接度・海氷厚・温室効果気体・オゾン・エアロゾル等を与えて以下の3種の実験が行われている。いずれも実験期間は60年である。

- **過去実験**: 過去の気候を再現する実験(1951-2010年; 100メンバ)
  - 過去実験の海面水温データは、COBE-SST2 (Hirahara et al. 2014) の1951年から2010年までのものを使用。
- **4°C上昇実験**: 全球平均地上気温が産業革命前に比べ4°C上昇した気候を表現する実験(2051-2110年; 90メンバ)
  - 大気モデルに与える海面水温や海氷密度はCMIP5に参加した36個の気候モデルのうち2080-2099年までの将来実験のモデル平均である。
- **非温暖化実験**: 過去実験の期間で地球温暖化が進行しなかった場合を表現する実験

# 大量アンサンブルのメリット

アンサンブル数が多いほど、 $4^{\circ}\text{C}$ 上昇時は強い降水ほど変化は大きい。  
再現性は高い。

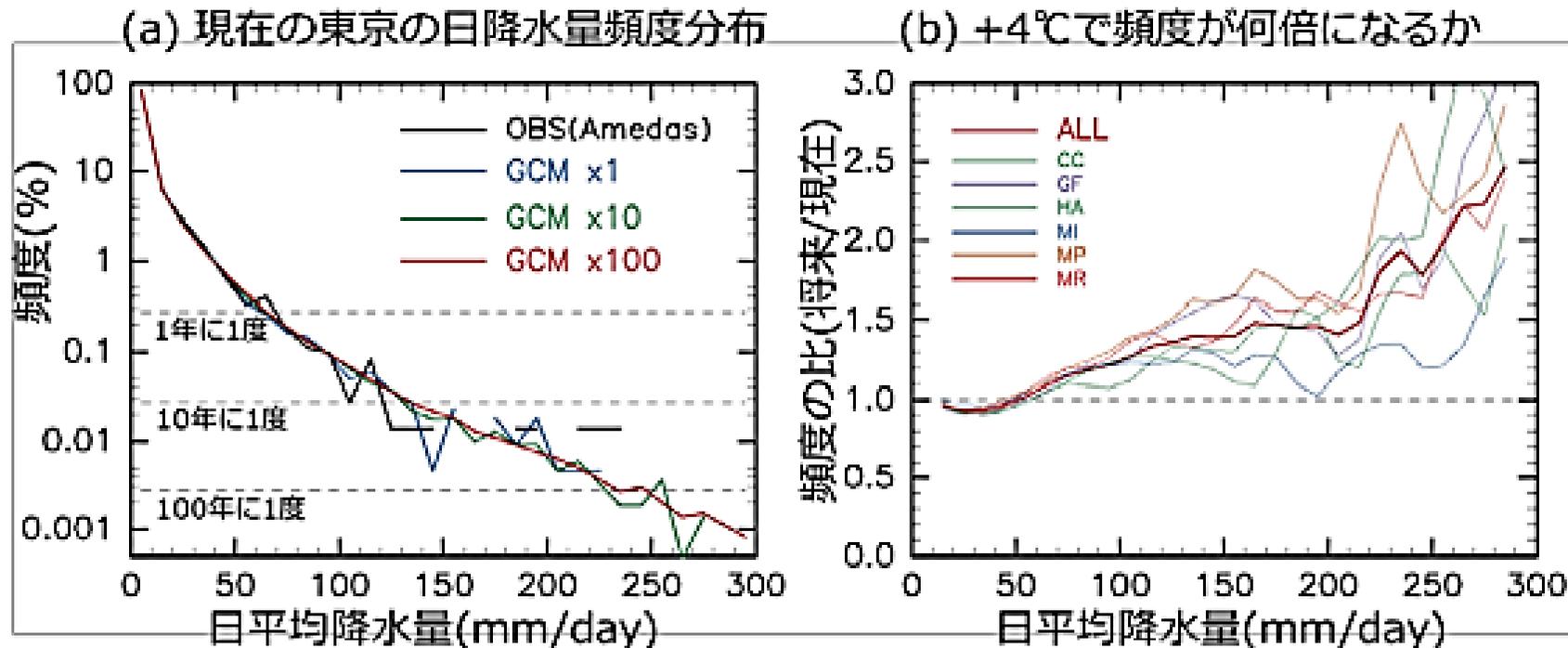


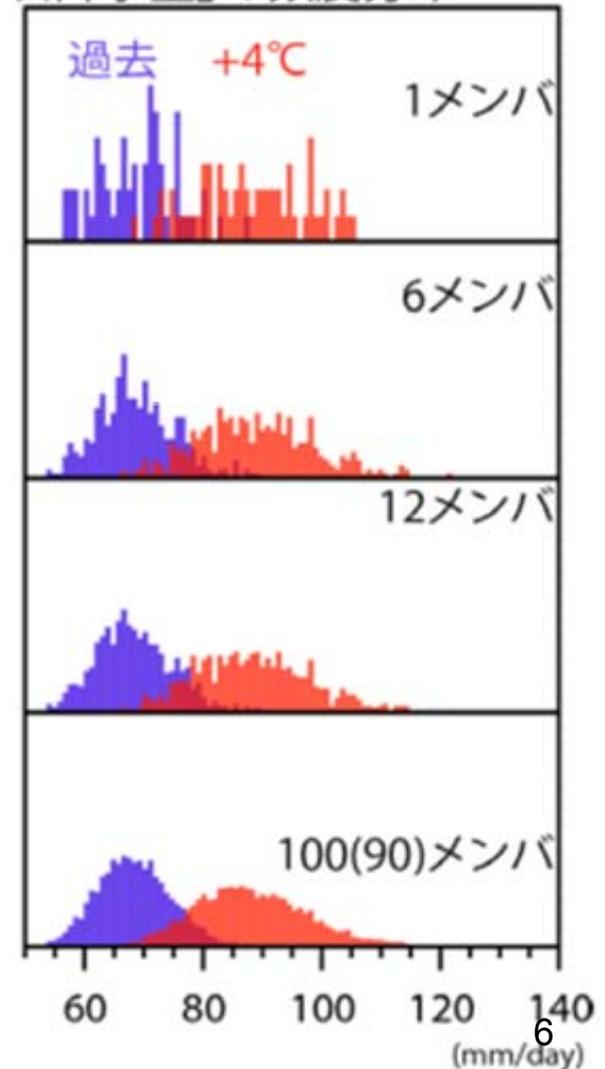
図 2.2.7: 全球モデルの東京での日降水量頻度分布。(a) アメダス観測データとモデルの頻度分布。黒線はアメダスデータによるもの、青線、緑線、赤線はそれぞれ1メンバー、10メンバー、100メンバーアンサンブルの結果。(b)  $4^{\circ}\text{C}$ 上昇実験における頻度分布の変化(将来と現在の比)。太線はすべての実験を合計したもの。細線は特定の海面水温変化パターンを用いた実験のみを合計したもの。

# 大量アンサンブルのメリット

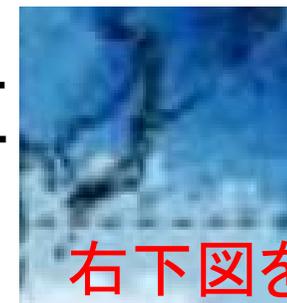
右図は、中国南部で平均した年最大日降水量の頻度分布を示す。アンサンブル数が少ないときは頻度分布ががたがたしているが、多数のアンサンブルを用いることでスムーズな頻度分布が得られる。

このスムーズな頻度分布を用いることで、例えば10年に一度の降水量は過去に比べ将来何倍になるか、あるいは過去に10年に一度だった降水量は将来何年に1度になるか、といった解析が出来る(以下の資料より)。

中国南部で平均した「年最大日降水量」の頻度分布



# 10, 30, 100年に一度の日降水量 過去に対する将来の変化



右下図を  
拡大

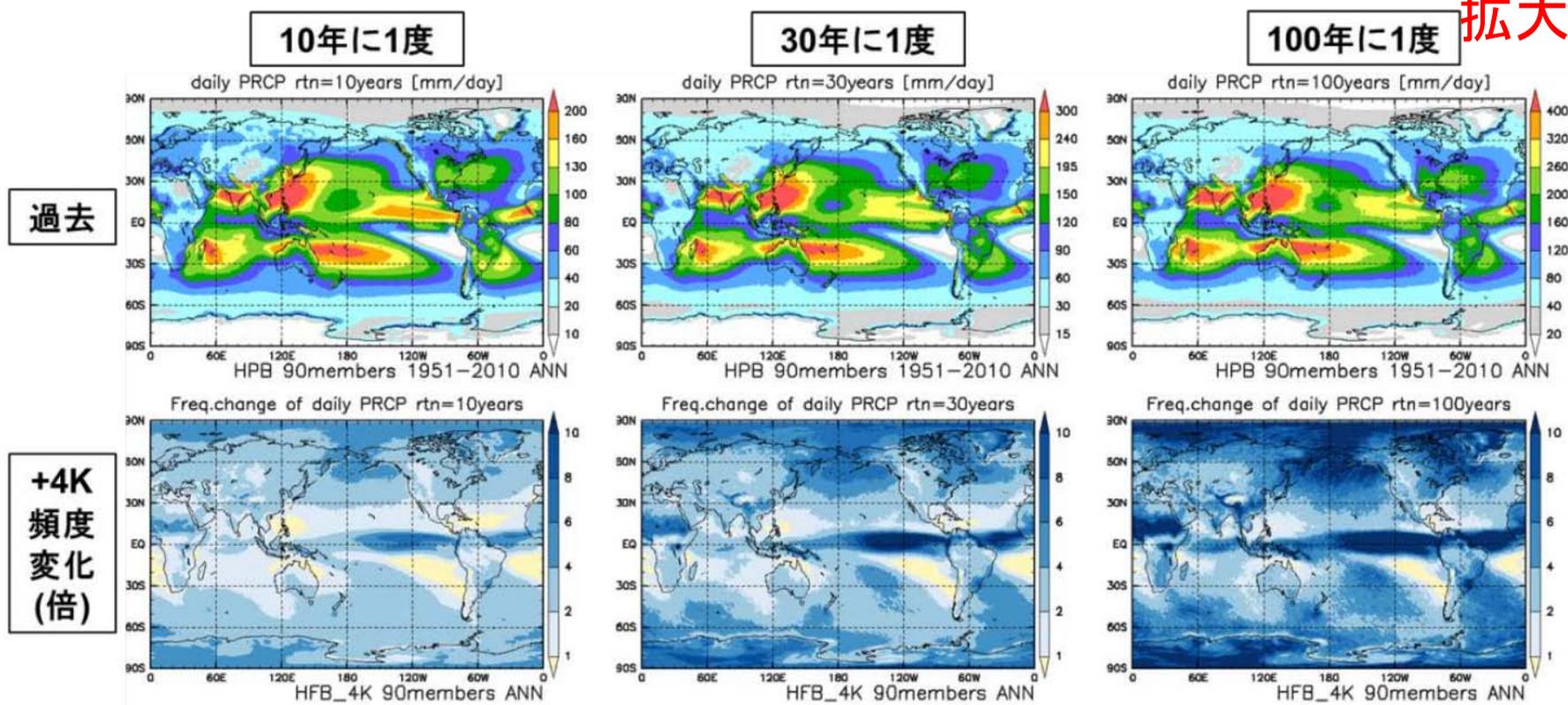
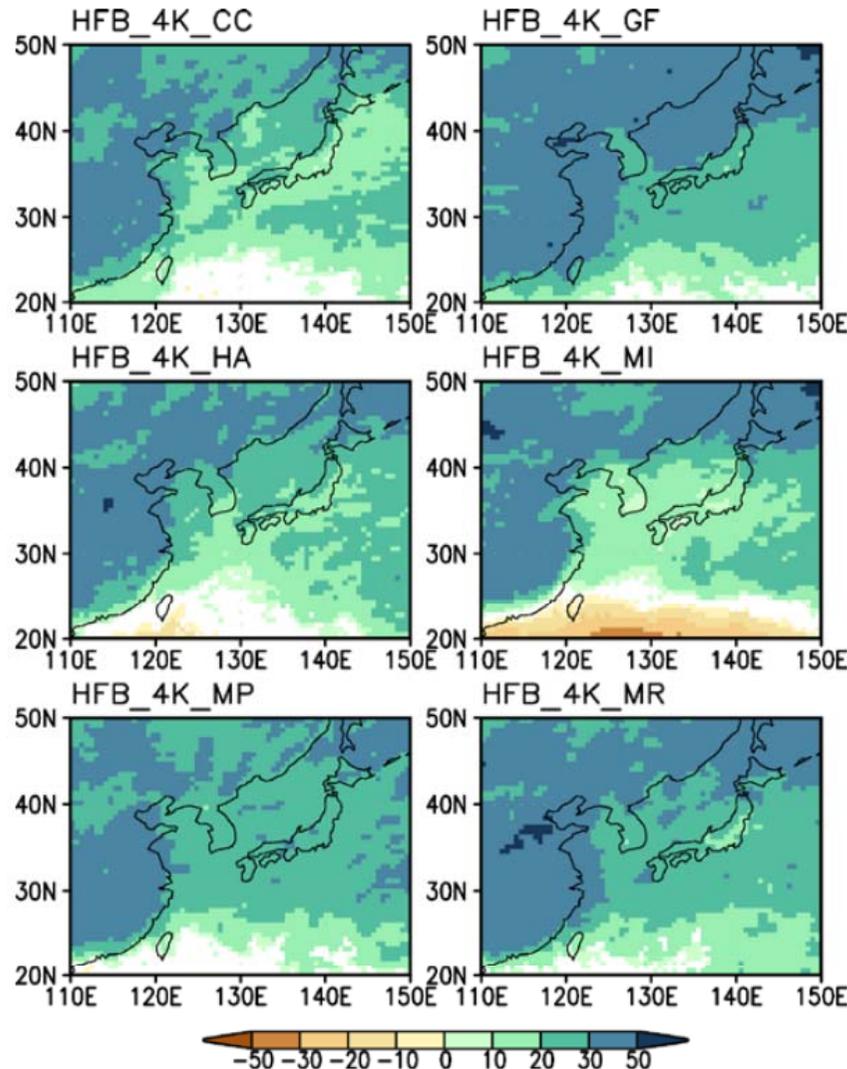


図 2.2.10: 90 メンバー平均の、(左) 10年に一度、(中) 30年に一度、(右) 100年に一度の日降水量の分布。  
(上) 過去実験の結果 [mm/day]、および (下) 4°C 上昇実験において上の日降水量の頻度が何倍になるか。

日本付近では北ほど10, 30, 100年に一度の日降水量は大きくなるとの結果。  
ただし、解像度の粗さから詳細を議論するにはダウンスケーリングが必要。<sup>7</sup>

# 6つの代表的な海面水温別に見る過去実験に対する 4°C上昇時における年最大日降水量の将来変化率



- 日本付近では、高緯度の地域における増加率が大きい。
- 北海道および周辺域では30%以上の増加を予測。
- これは総観規模(天気図スケール)の結果であり、地形性豪雨の検討には高解像度の情報が必要。

図 2.2.15: 年最大日降水量の将来変化率 [%] である以外は図 2.2.14 と同じ。

d4PDF(4°C上昇時)・d2PDF(2°C上昇時; 文科省SI-CATで実施中)を初期・境界条件とした力学的ダウンスケーリング

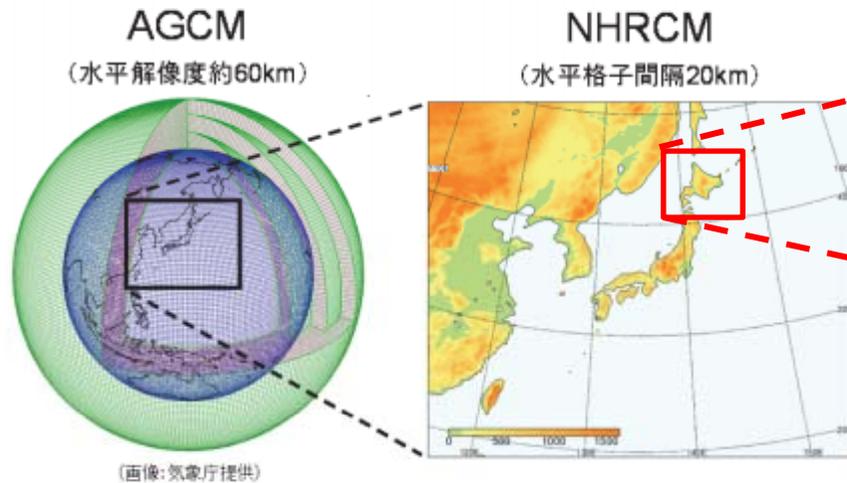


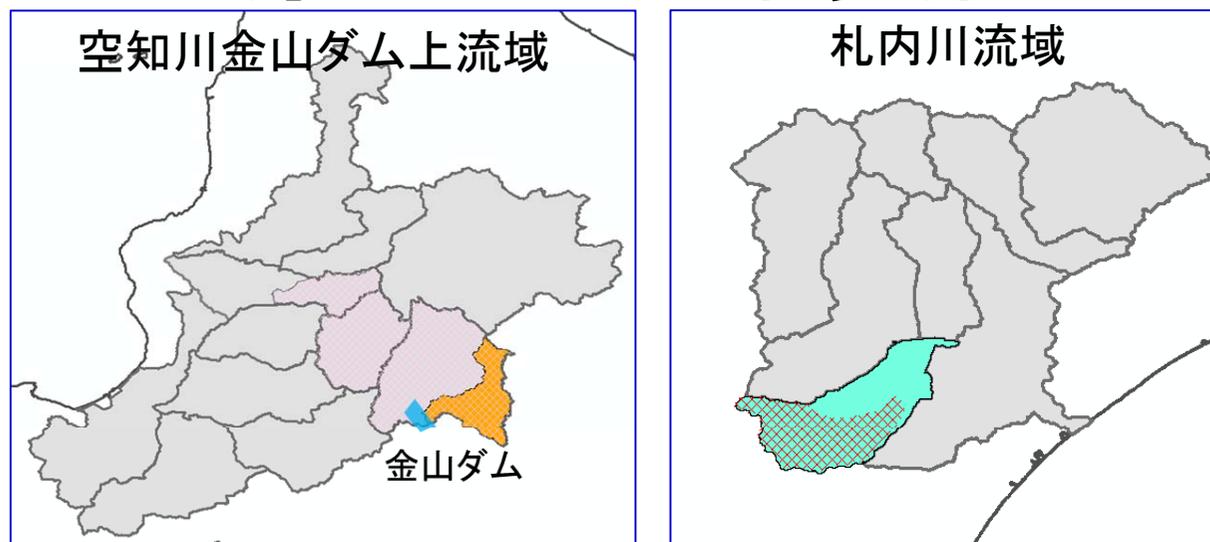
図 1.2.1: 全球モデル(AGCM)と領域モデル(NHRCM)の解像度と計算領域。

数キロ格子での力学的ダウンスケーリング(気象庁モデルを使用)によって地形性降雨の考慮・流域ごとの議論が可能となる

\* 以前, 山田らの検討は全球2°C上昇時を対象とした10km格子でのダウンスケーリング

- 計算するメンバ数および年数の増大(4500年分)によって, サンプル数の少なさに伴う不確実性は減少する.
- 将来想定される代表的に海面水温を用いることで, 様々な将来気候に対応した検討材料となる.

# 観測数・観測場所による計画規模 豪雨の不確実性



金山ダム上流域:  $459\text{km}^2$  (雨量計: 6個)

札内川流域:  $916\text{km}^2$  (雨量計: 15個)

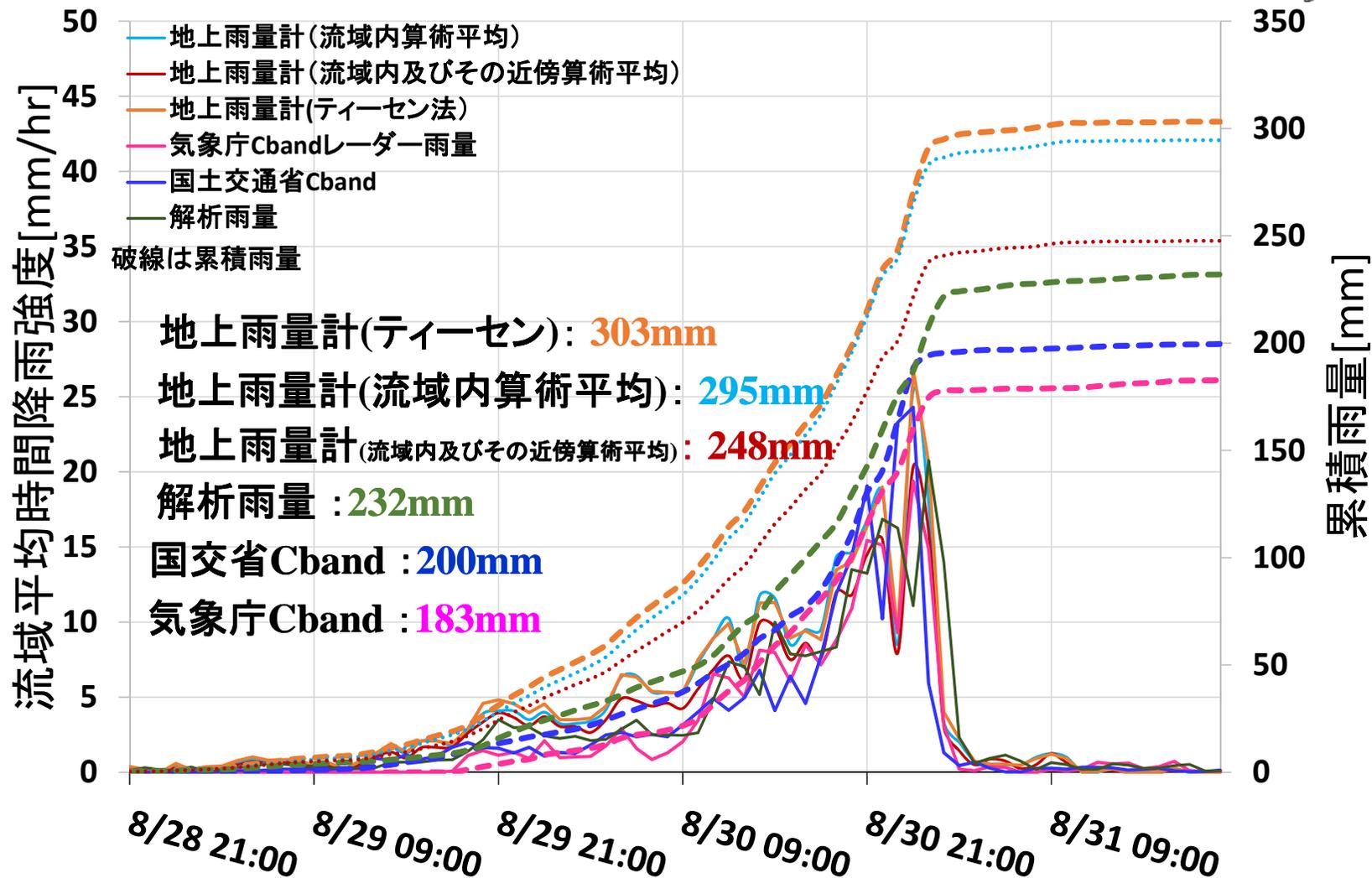
赤メッシュ: 札内川上流域 (戸蔭別川との合流点の上流域)

流域内の雨量計の数に起因する流域平均雨量の代表性は？

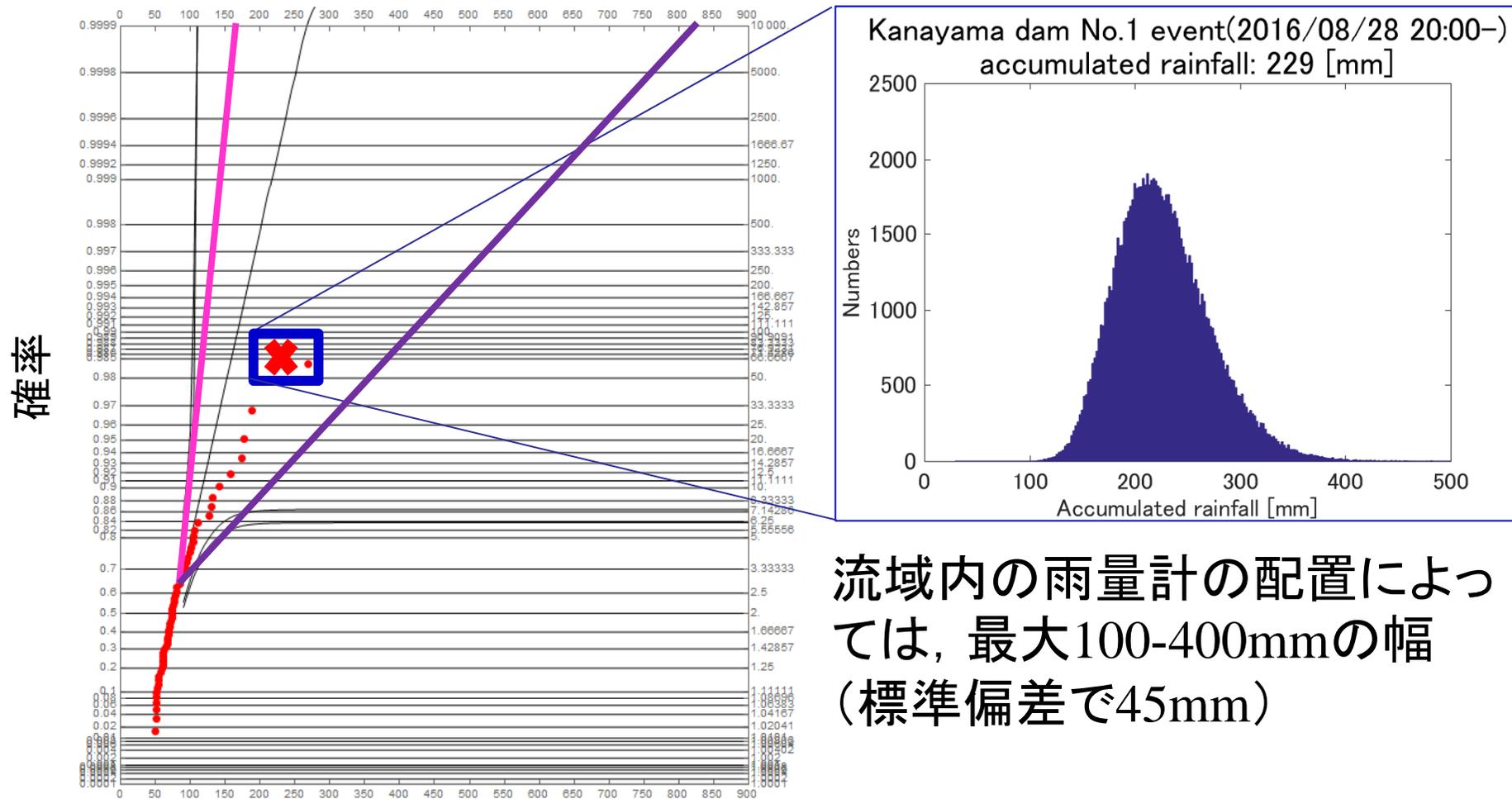
# 空知川上流域(金山ダム上流)における各観測手法による時間降雨強度及び累積雨量の比較



期間: 2016/8/28 21:00-2016/8/31 20:00  
 ……オレンジの流域(金山ダム上流域)における2006-2016年における過去最大3日間累積雨量の記録期間(解析雨量: 229mm)



# 観測数と場所による流域平均雨量の不确实性



年最大3日降雨量(流域平均)

流域内の雨量計の配置によつては、最大100-400mmの幅(標準偏差で45mm)

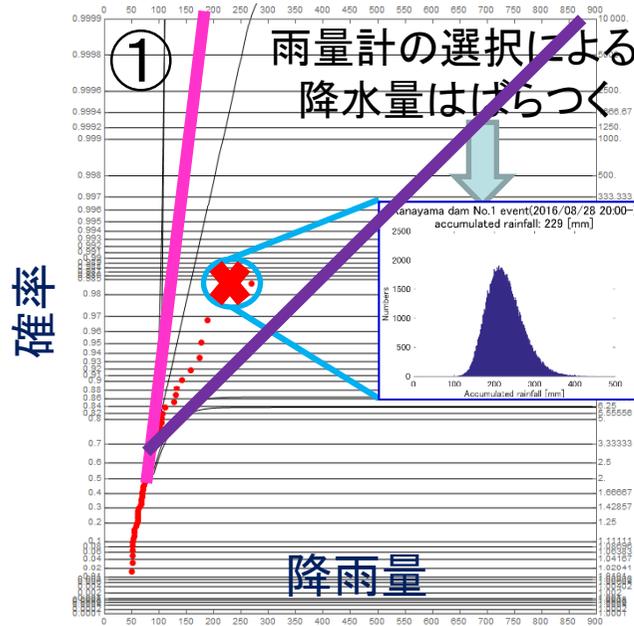
我々が認識・採用している流域平均雨量は、特定のサンプル(雨量計の場所と数)から得られる可能性のひとつの例. サンプルの仕方によつて超過確率は異なる.

\* 過去再現(モデル)は日々の再現ではなく、その気候(平年値)の再現

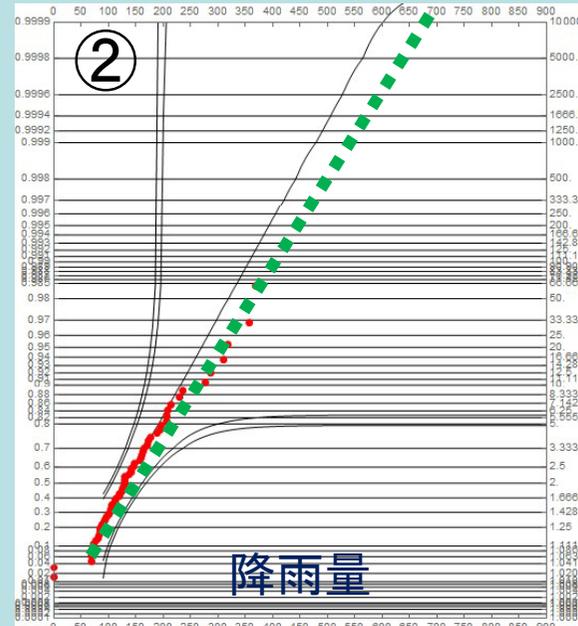
# 超過確率への適用(案)

図はあくまで例

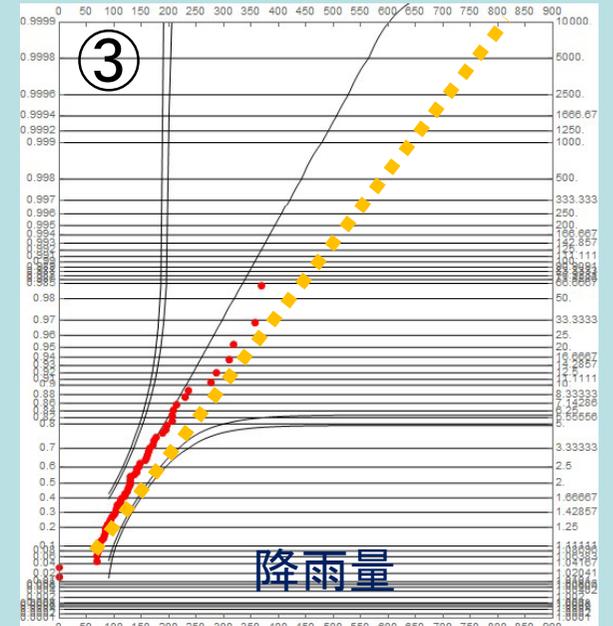
例: 観測値(実績)



例: 過去再現(モデル)



例: 将来予測(モデル)



現在, 超過確率で採用している線は確率的な平均でしかなく, 取り得る幅(予測区間)は広い. 予測区間の中でどのあたりを選択するのか(気候変動を含め)が問題.

①と②が完全一致することはない.

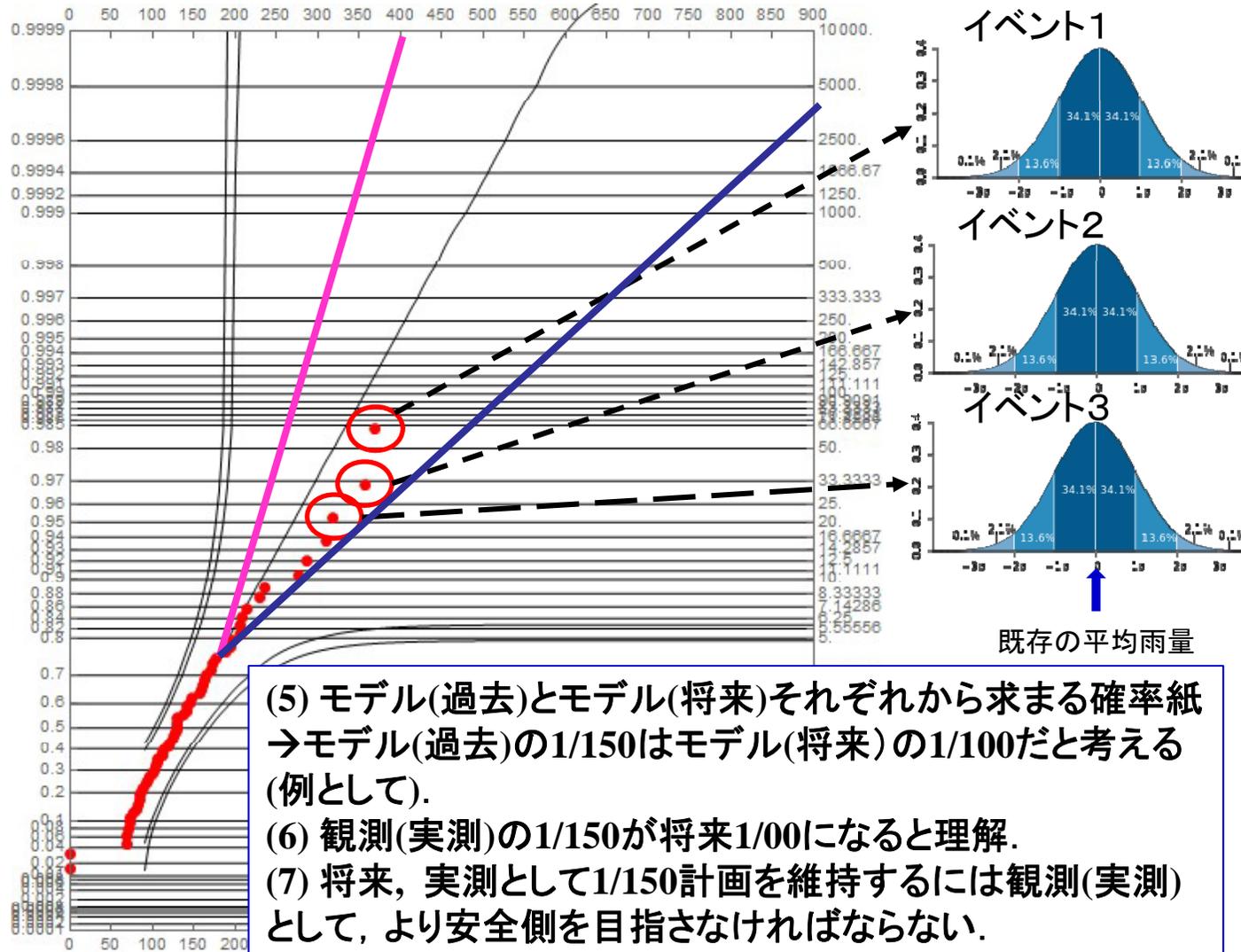
例: ②と③を比較することで確率年の過去と将来の違いが議論可能

過去(①: 実績)の150年確率は将来では100年確率相当と読み替えることが可能.

その範囲が, 過去(実績)の不確実性の幅もしくは予測区間内であれば, 現在でも存在しうる現象と言える.

# 超過確率への適用(案)

図はあくまで例



- (5) モデル(過去)とモデル(将来)それぞれから求まる確率紙  
→モデル(過去)の1/150はモデル(将来)の1/100だと考える  
(例として).
- (6) 観測(実測)の1/150が将来1/100になると理解.
- (7) 将来, 実測として1/150計画を維持するには観測(実測)  
として, より安全側を目指さなければならない.
- (8) その値がピンクと紫の幅の内側であれ観測(実測)でも  
あり得ると考える.

(1) 計画規模の降雨ごとに, 降雨の入れ替え  
によって存在しえた流域  
雨量の分布を作成

(2) 降雨イベントごとに上位・下位それぞれについて線  
を引く(紫・ピンク)

(3) ピンクから紫の線の  
幅の内側は, 過去の大  
雨として存在しえた(観  
測の仕方によって)流域  
雨量から求まる確率分  
布の幅を意味する.

(4) ラツパ状の曲線は数  
理統計的な意味での予  
測区間(理論値)に対して,  
ピンクと紫の幅は実測か  
ら現実により得た幅.

# 気候変動と観測に伴う不確実性を 考慮した検討(まとめ)

- ① 最新の予測(90メンバ×50年)では代表的などの海面水温を与えても北海道は降雨量の増加.
- ② 気候モデルの示す将来と過去の確率年を観測(実測)の超過確率に反映させることは可能.
- ③ 観測に起因する不確実性(場所と数;事前雨量等)×超過確率=リスク(他分野のリスクと相対的な比較可能)
- ④ ②と③から,現在の計画の枠組みに対してどの程度のリスクを選択すべきか検討.
- ⑤ ②と③によるリスクについて,現状施設+ $\alpha$ の効率的運用でリスクの低減幅を求め,ハード・ソフトの配分を決める(適応策).