

気候変動を踏まえた適応策検討を進めるにあたって

- はじめに
- 一連の検討で可能となること(パラダイムシフト)
- 気候変動適応策検討の流れ
- d4PDFについて

はじめに

- 過去のこれまでの気候及び今後予測される気候に係る大量アンサンブルデータ(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5kmまでダウンスケール(DS)することにより、信頼性と安定性を格段に高めた水害のリスク分析と評価、さらにこれに基づくハード・ソフトの適応策の検討が可能となった
- 世界的にも最先端かつ最新の研究と技術により、過去の気候及び今後予測される気候に係る大量アンサンブルデータ(d4PDF)を5kmまでDSするとともに、その信頼性や安定性を「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29年度)で検証

※一連の検討は、既に「国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第50回補助機関会合(SB50)」(2019年6月20日 ドイツ・ボンにて開催)の報告書においても紹介されており、その中では、「大量アンサンブルデータは、数学的にも物理的にも裏打ちされている」と記載されている。 <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RD11SummaryReport.pdf>

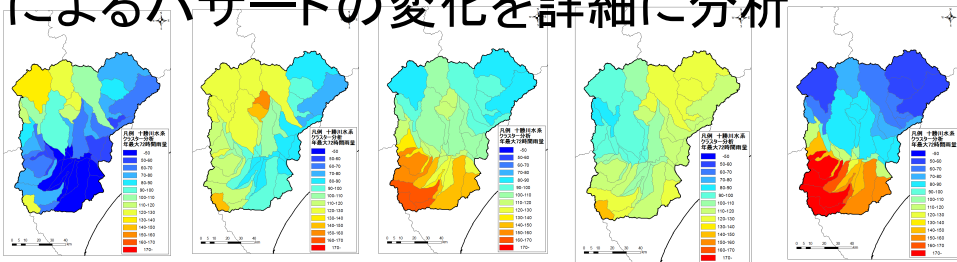
- この大量アンサンブルデータにより、①災害対策の検討の基本となる気候、特に降雨の規模や時空間分布に関する現象に関し、従来は過去の降雨実績によっていたが、これに加え、過去及び将来の気候において、物理的に発生する可能性のある現象を新たに把握できるようになった。これは、これまで見えなかったものが見えるようになってきたと言え、さらに、②気候変動の影響に起因する気象現象が何時起きてもおかしくない現状である、ということがわかってきた
- 水防災意識社会の構築と強化に向け、今後発生する可能性のある最大規模のシナリオである4℃上昇をもとに気候変動に伴う水害リスクの評価や適応策等の検討を行い、当面のハード整備等の適応策の検討に当たっては、その整備を段階的に行うとの観点から、2℃上昇時のハザードやリスクに対応して行うものとする。なお、2℃上昇時の状況は、既に差し迫った近未来であり、適応策の速やかな社会実装が求められる。
- 詳細なリスク評価を実施し、地域に発生し得る水害の具体的な状況を明らかにし、地域で共有

一連の検討で可能となること(パラダイムシフト)

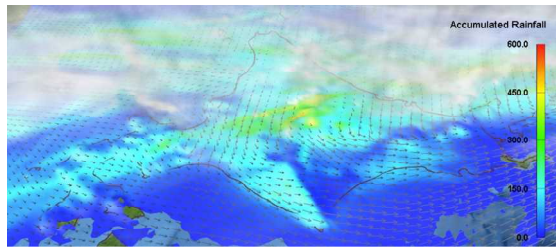
大量アンサンブルデータ(地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースd4PDF)といった**最新かつ信頼性のある科学的データ**を計画に持ち込み、リスク評価や適応策等の検討につなげる。

＜一連の検討により可能となること＞

○降雨量や降雨の時空間分布等、気候変動によるハザードの変化を詳細に分析



～過去の実績では見えなかった危険な降雨パターンが初めて予測可能に

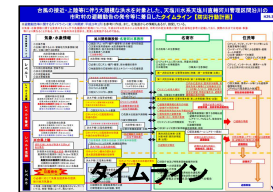


○詳細なリスク評価を実施、地域で共有



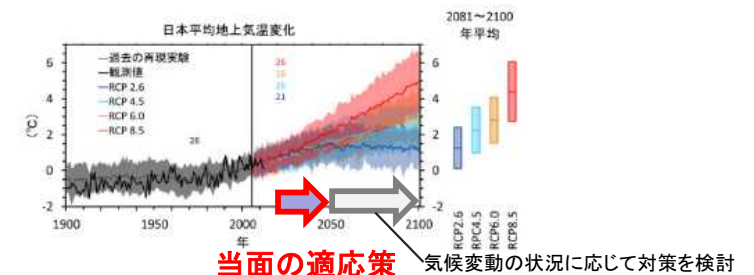
～4℃上昇時の浸水頻度などのリスク情報が明確に

○こうしたリスク評価をもとにハード・ソフト様々な適応策を検討



～真に地域を守るためには何が必要なのかを検討し(ストーリーの導入)、対策を検討。

○気候変動の予測の不確実性を考慮して当面对策を実施すべき期限を設定



～社会・経済シナリオ、気候モデルによって差異が小さいことから、2050年頃を目標として設定

気候変動適応策検討の流れ

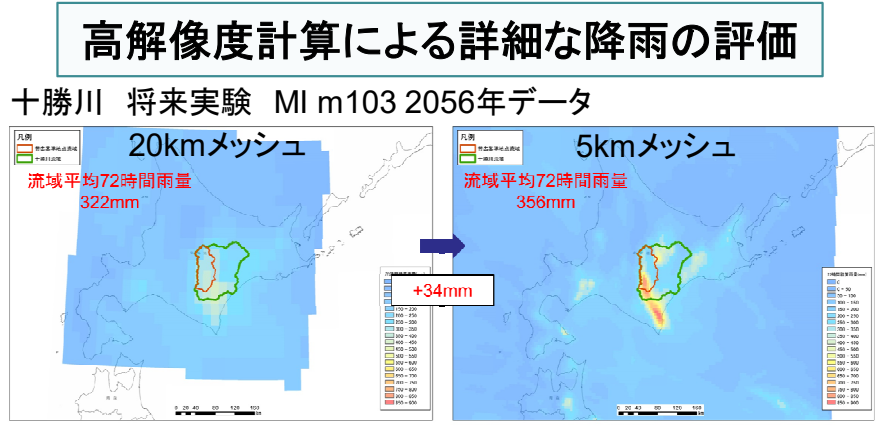
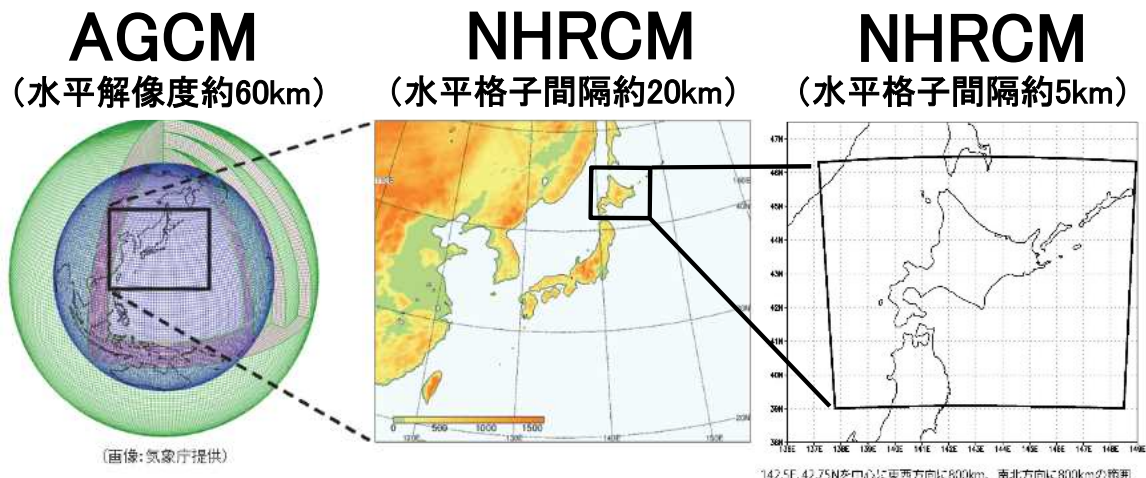
■ 気候予測アンサンブルデータを活用したリスク評価等を行うとともに、それに基づいた気候変動の適応策等の検討行う。

気候変動適応策検討までのフロー	検討事項
ハザードの変化を分析	・d4PDF及びd2PDFを用いて降雨や流量の時空間分布の変化を分析 ・基準点、主要な地点での計画規模降雨量(十勝川の場合: 1/150)の変化 ・基準点、主要な地点での計画規模降雨(十勝川の場合: 1/150)での流量の変化 ・クラスター分析による降雨パターンの分類、各クラスター毎の流量変化の分析
リスクの変化を評価 (リスクベースアプローチ)	・d4PDF及びd2PDFのアンサンブルデータを活用して氾濫計算を実施 ・4℃上昇時のリスクを基本に地域の被災状況等を具体的に評価 ・特に人命に係る安全の確保や社会・経済的な拠点の機能等に関して、重点的な評価・検討を行う ・社会的リスクの高い箇所(人的被害大、地域社会や地域経済に大きな影響を及ぼすことが想定される地域等)を抽出
適応策の検討	・こうしたリスク評価に基づき、可能な限りの適応策を検討 →①ハード整備(河道掘削、貯留施設 等)、②流域対策(二線堤、霞堤、土地利用、構造物対策等)、③ソフト対策 ・d4PDFのアンサンブルデータを活用して適応策の効果検証を実施
← 当面の適応策の期間を設定	・気候変動の各シナリオの差異による手戻りが極力少なくなるよう、当面の適応策として想定する期間を概ね30年と設定
当面の適応策の検討	・流域の被害をどのように軽減するのか、減災ストーリーの検討 ・4℃上昇時のリスクを基本に地域での安全性の確保方策等を検討、ハード整備については、段階的に整備を行うという観点から、2℃上昇時のリスクに対して、現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度を確保するとともに、社会的リスクの高い箇所の被害を軽減できるよう当面の治水適応策を検討 ・具体には、①d2PDFを用いて設定した目標流量に対する治水適応策に加えて②社会的リスクの高い箇所に対する治水適応策を組み合わせ検討
①d2pdfを用いて設定した目標流量に対する治水適応策 + ②社会的リスクの高い箇所に対する治水適応策	【①】確率規模降雨の信頼区間にある降雨を抽出、基準点や主要な地点において過去実験と将来実験(d2PDF)の充足率が概ね変わらない流量を設定 【②】他の本支川と比較してカバー率が極端に低い支川や、リスクベースアプローチで抽出された社会的リスクの高い箇所への治水適応策を検討
整備計画での社会実装、減災対策協議会におけるリスク共有等	・実現性の高い、流域対策、ソフト対策の提示(地域でリスクへの対応を選択) ・d2PDFのアンサンブルデータを活用して当面の適応策による効果検証を実施 4

北海道地方におけるd4PDFを活用したリスク評価、適応策の検討

- 海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて、過去及び将来の降水量予測を実施した。
- 具体的には、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、極端降雨や流域の地形特性を十分に表現できる解像度(5kmメッシュ)にNHRCM(気象庁の地域気候モデル)を用いてダウンスケーリング(DS)した。
- これにより、過去実験3000年分※、将来実験5400年分※(4℃上昇)・3240年分(2℃上昇)※のデータを用いた降雨量の予測、地形等の影響を踏まえた降雨特性の変化、浸水確率の変化等の把握により、詳細なリスク評価、それによるハード・ソフトの一体的な適応策の検討が可能となった。
- 雨量観測所のデータに加え、近年、X-RAIN等の観測技術の向上もあり、DS技術や計算精度向上に必要な降雨の詳細な物理現象(風の3次元分布、反射強度の鉛直分布等)の把握が可能となっており、最新の科学的な知見をこうした検討に活用する状況が整いつつある。

※60年×50摂動=3000年 60年×6SST×15摂動=5400年 60年×6SST×9摂動=3240年

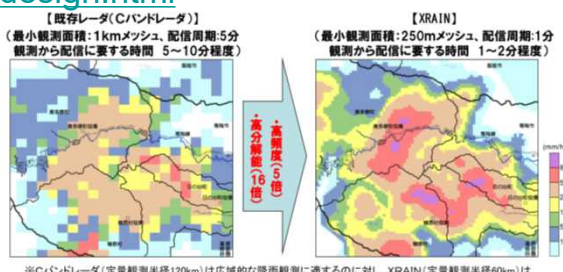


※出典: 文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12
<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html>

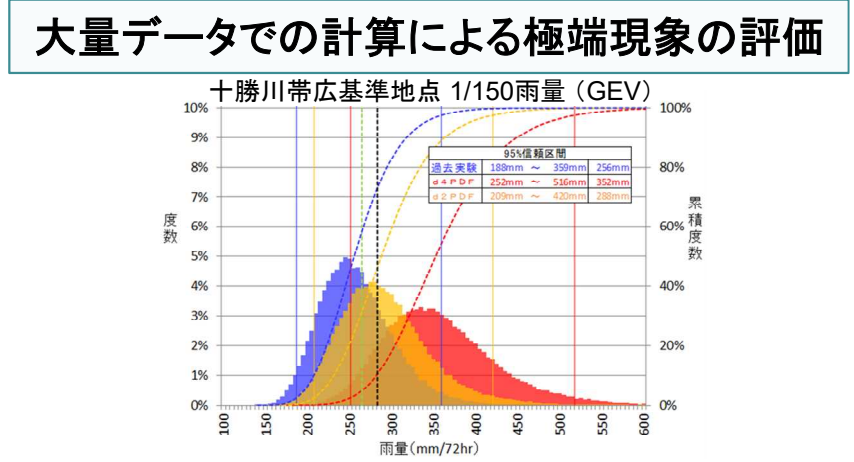
■ 地球シミュレータ



※出典: 国立開発研究法人 海洋研究開発機構(JAMSTEC)
システム概要: 地球シミュレータ

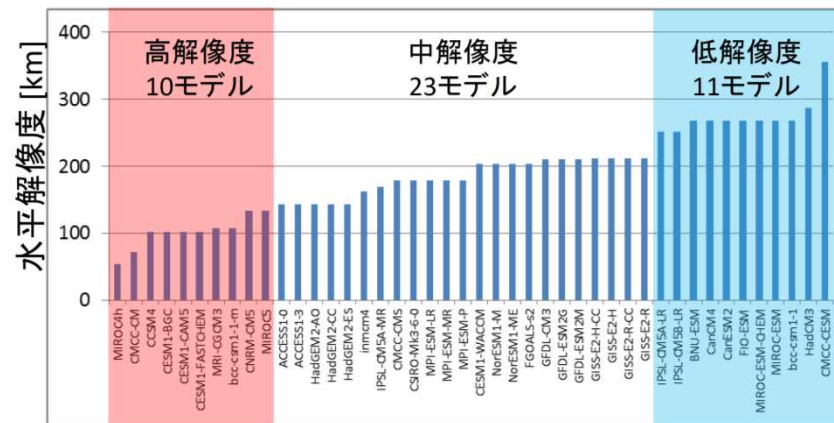


X-RAINによる観測精度の向上



d4PDFを用いた検討の先進性について

- CMIP5における各国の気候モデルの水平解像度が100～300km程度であるのに対し、d4PDFの全球モデルAGCMの解像度は60km(全球気候モデル)と高解像度であることに加え、20kmにDSしたものを、地形性降雨を再現できるよう更に5kmにDSしている。
- d4PDFは、高解像度かつ大量のアンサンブルからなる世界的に見ても最先端の気候予測データである。
- 具体的には、北海道地方における検討で5kmまでDSして地形性の降雨まで物理的に再現しており、世界でも類を見ない非常に精緻な計算を実施し、これをハード・ソフトの一体的な適応策検討に導入。
- また、d4PDFのアンサンブル数は5400(4度上昇)、3000(過去実験)と精度確保に十分な数を確保している。
→ 過去実験3000ケースの場合、概ね約1000以上あれば95%信頼区間の幅が安定することが確認されている。

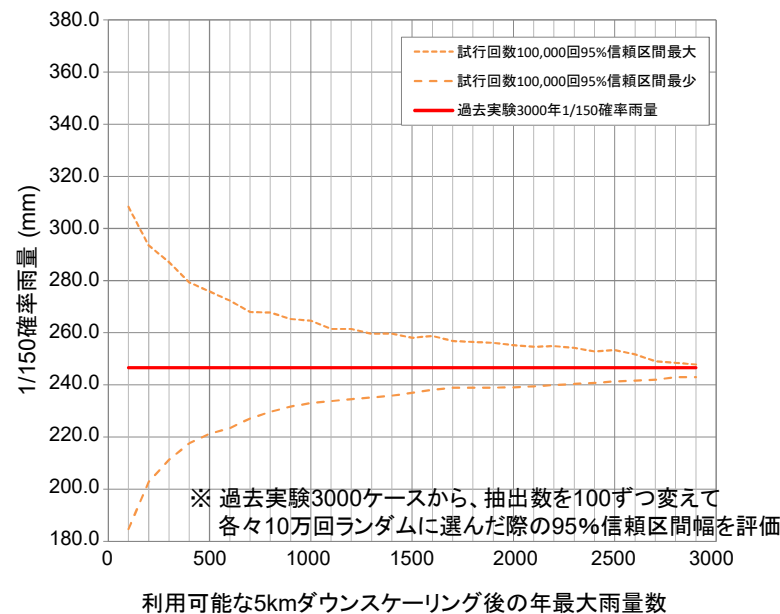


CMIP5における各国の気候モデルの水平解像度

※CMIP5とは

世界各国の様々な気象モデルの比較実験(第5期結合モデル相互比較計画)であり、IPCC主導ではなく世界気候研究計画(WCRP)の結合モデル作業部会(WGCM)により企画・実行された。IPCC第5次評価報告書AR5の気候変化予測の主たる情報源となっており、日本からも参加している。

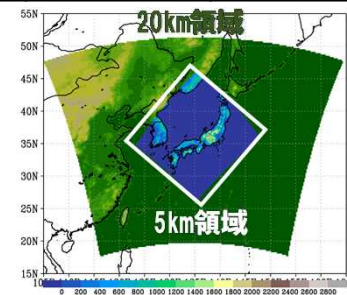
全球気候モデルからダウンスケーリングした領域気候モデルの水平解像度においても、イギリス12km、オランダ11km、ドイツ10km、アメリカ・カナダ50kmであり、d4PDF(5km, Yamada)は世界的に見ても非常に高解像度。



確率評価に必要な5kmDS数の感度分析
(d4PDF(5km, Yamada)過去実験、十勝川帯広地点)

d4PDF 5kmDSにおけるアンサンブル数比較

	d4PDF (5km, Ya mada) 【北海道】	d4PDF (5km, SI- CAT) 【全国】
過去 実験	3000年分 (60年× 50パ ターン)	372年分 (31年× 12パター ン)
将来 実験	5400年分 (60年× 6SST× 15摂動)	372年分 (31年× 6SST× 2摂動)



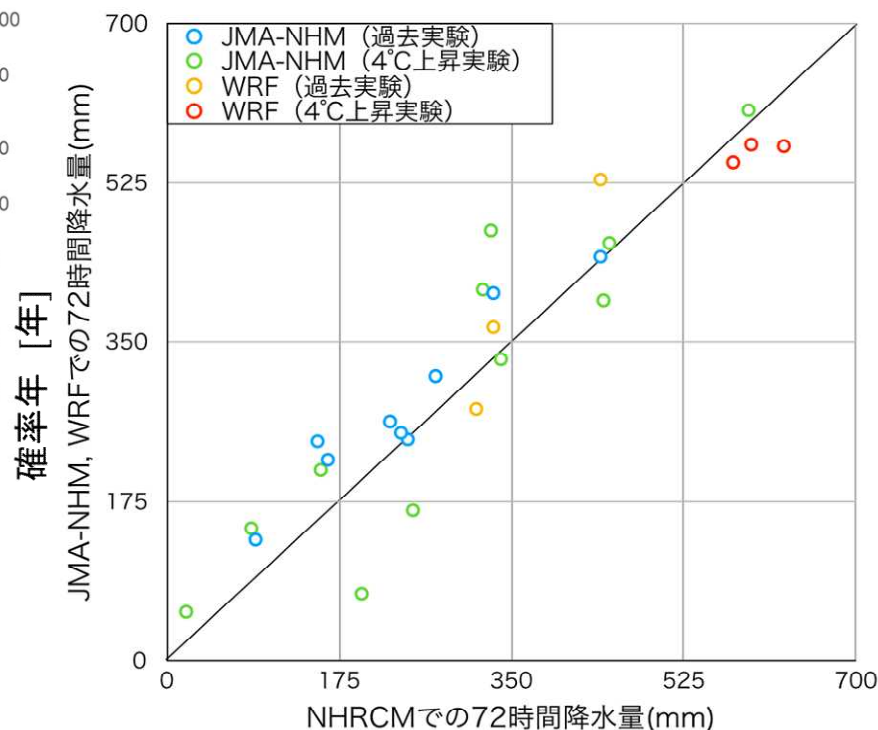
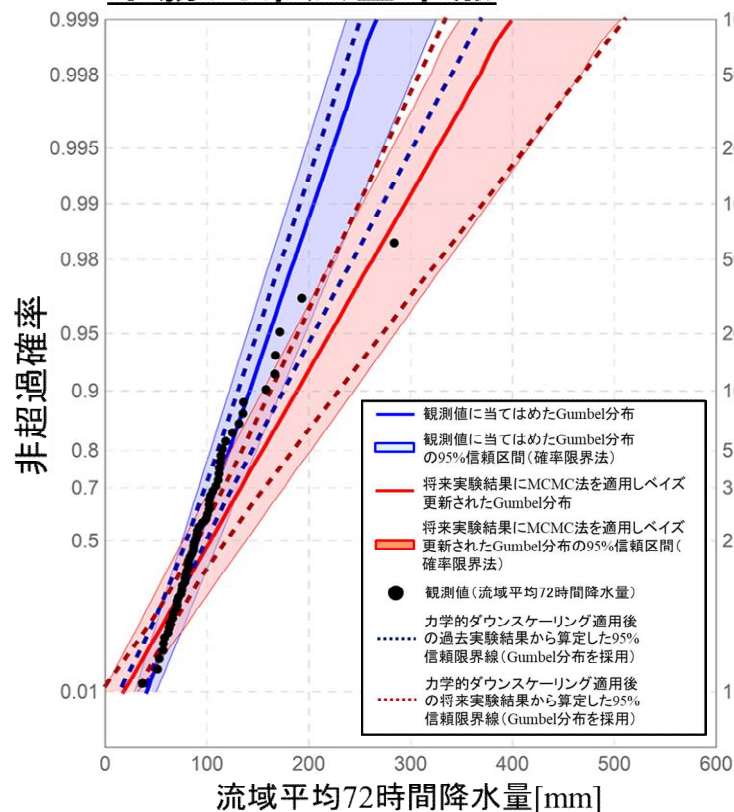
d4PDF
(5km, SI-CAT, 全国)

気候予測アンサンブルデータ(d4PDF)の妥当性について

北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性-①

- d4PDF(5km,Yamada)の過去実験の95%信頼区間は、実際の観測値(極値統計理論により95%信頼区間を設定)と概ね一致している。
- d4PDF(5km,Yamada)は、世界で最も利用されているWRF等の他のモデルとの比較においても高い相関を示しており妥当性を確認済み。
- これらは、偏西風や気圧配置等の大規模な気象場に支配されていることに加え、日高山脈といった地形性降雨が卓越していることもあり、DSの信頼性が高いといえる。
- 「国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第50回補助機関会合(SB50)」(2019年6月20日 ドイツ・ボン)においても、IPCC事務局長Abdalah Mokssit氏から『数学的理論と物理計算が一致していることは高い信頼性を有している。こうした科学的成果を基にして適応策の検討が進められていることは素晴らしい。』とのコメントを受けた。

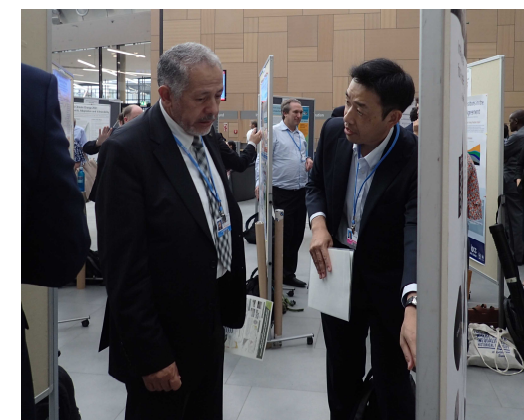
十勝川帯広基準点



別の領域気象モデルによる力学的DSでも同等の雨量となる

JMA-NHM: 気象庁の非静力学モデル

WRF: 米国大気研究センター(NCAR)と米国環境予測センター(NCEP)等による共同プロジェクト(WRFプロジェクト)によって開発されたオープンソースの領域気候モデル

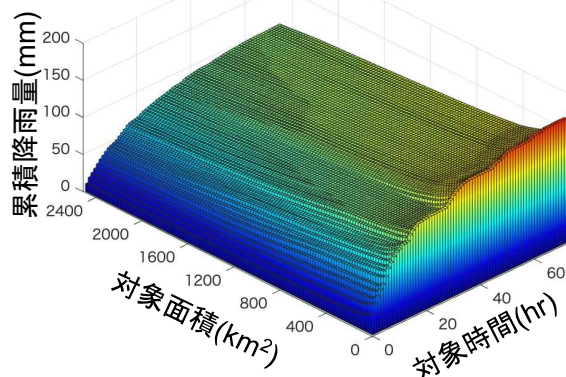


IPCC事務局長Abdalah Mokssit氏コメント
『数学的理論と物理計算が一致していることは高い信頼性を有している。こうした科学的成果を基にして適応策の検討が進められていることは素晴らしい。』

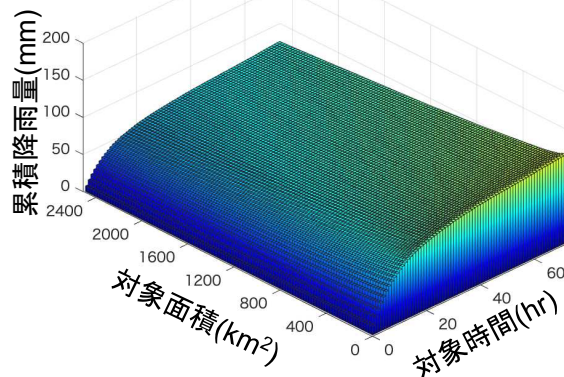
北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性- ②

■ 5kmのDSにより、局地的、短時間に集中する降雨を表現することが可能となっていることに加え、1時間降雨強度の頻度・傾向は過去実験と実際の観測結果が概ね合致している。

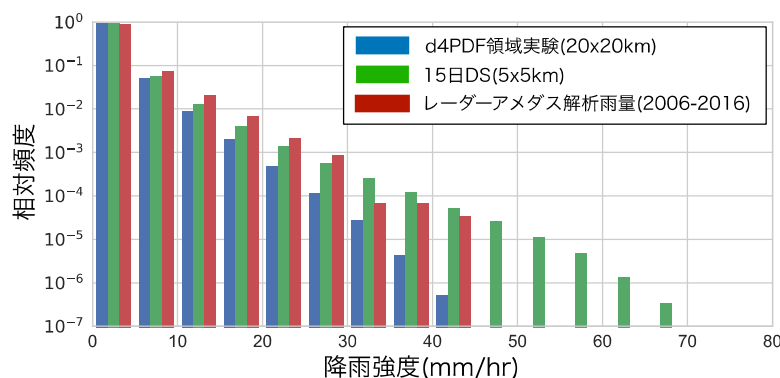
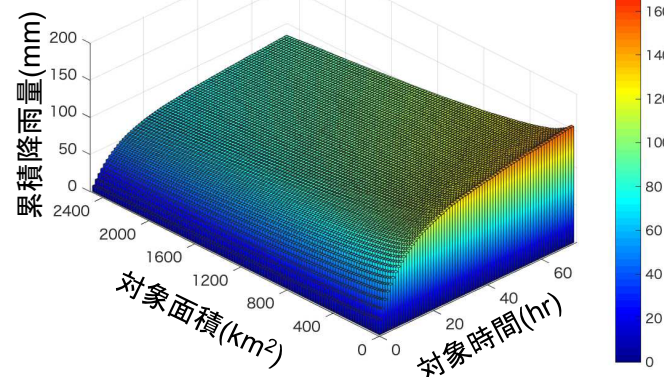
・レーダーアメダス解析雨量
(2006-2016の中央値)



・d4PDF領域実験(20x20km)
(過去実験3000事例の中央値)



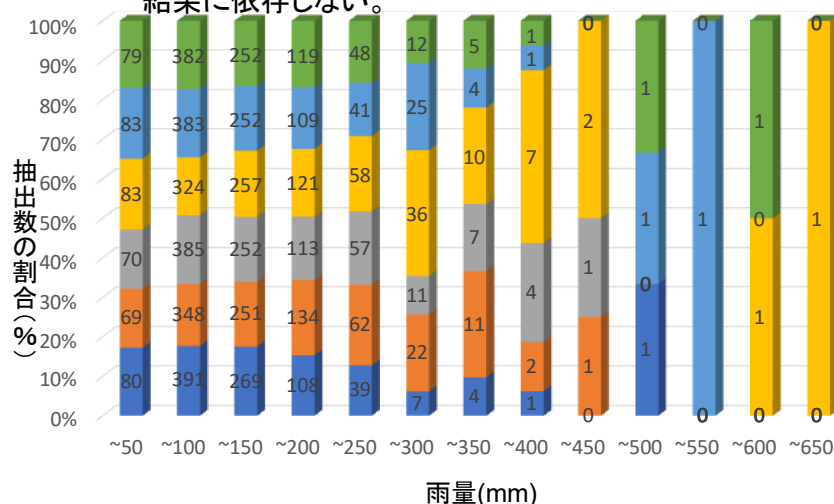
・5kmDS(5x5km)
(過去実験3000事例の中央値)



ダウンスケーリング前後の1時間降雨強度の違い

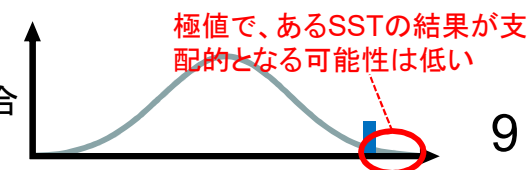
➤ SST(海表面水温)の空間分布による降雨量への依存性が低く、降雨量極値において限られたSSTの

結果に依存しない。



d4PDF (5km,Yamada)の降雨のうち各SSTが占める割合
(十勝川帯広基準地点 72時間降雨量)

実験各略称	SSTメンバ	200mm以上の降雨の出現率
MR	MRI-CGCM3	15.7%
MP	MPI-ESM-MR	15.3%
MI	MIROC5	19.8%
HA	HadGEM2-AO	16.2%
GF	GFDL-CM3	19.5%
CC	CCSM4	13.4%



大量アンサンブルデータによる治水計画のパラダイムシフト

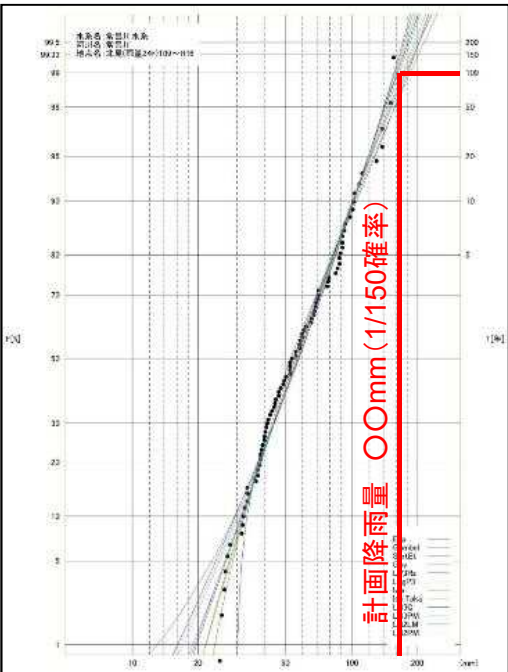
現在の治水計画策定の流れ

- 現在の治水計画では、実績降雨を確率処理して計画降雨量を設定している。
- 現在の治水計画では、実績降雨分布のデータが少ないことから、実績降雨分布の時間雨量を計画降雨量まで引き伸ばして流出計算を実施している。

現在の治水計画策定の流れ

①計画降雨量の設定

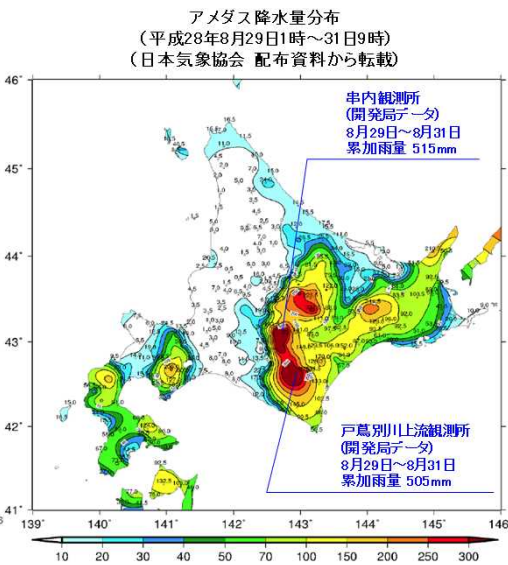
過去の実績年最大雨量を標本(N=数十年程度)とした確率評価により、対象とする確率規模の計画降雨量を設定



確率評価イメージ

②降雨パターンの抽出

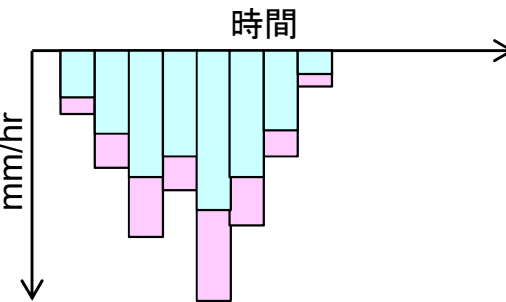
著名な実績洪水時の降雨パターンを抽出(S50出水、S56出水等)



H28.8出水降雨パターン

③降雨の引き伸ばし

各降雨パターンの総雨量が計画降雨量となるよう、時間雨量を引き伸ばし



□ : 実績雨量 (R①)
□ : 引き伸ばし雨量 (R②)
引き伸ばし率 = $\Sigma R② / \Sigma R①$

降雨の引き伸ばしイメージ

④基本高水流量の決定

引き伸ばした各降雨パターンを用いて流出計算を実施。最大となる流量を基本高水流量とする。

基準地点: ○○
計画降雨量: ○○mm

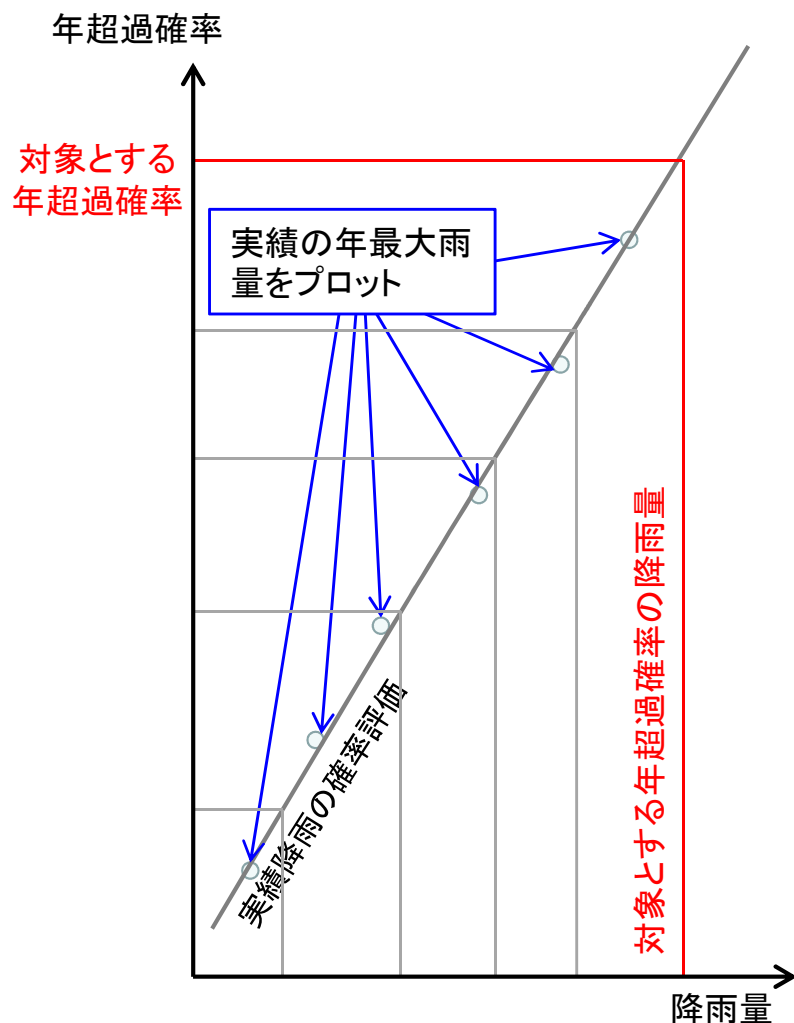
降雨パターン	ピーク流量 (m³/s)
SOO年O月型	2,000
SOO年O月型	2,300
SOO年O月型	1,500
SOO年O月型	1,800
SOO年O月型	1,000

流出計算結果整理イメージ

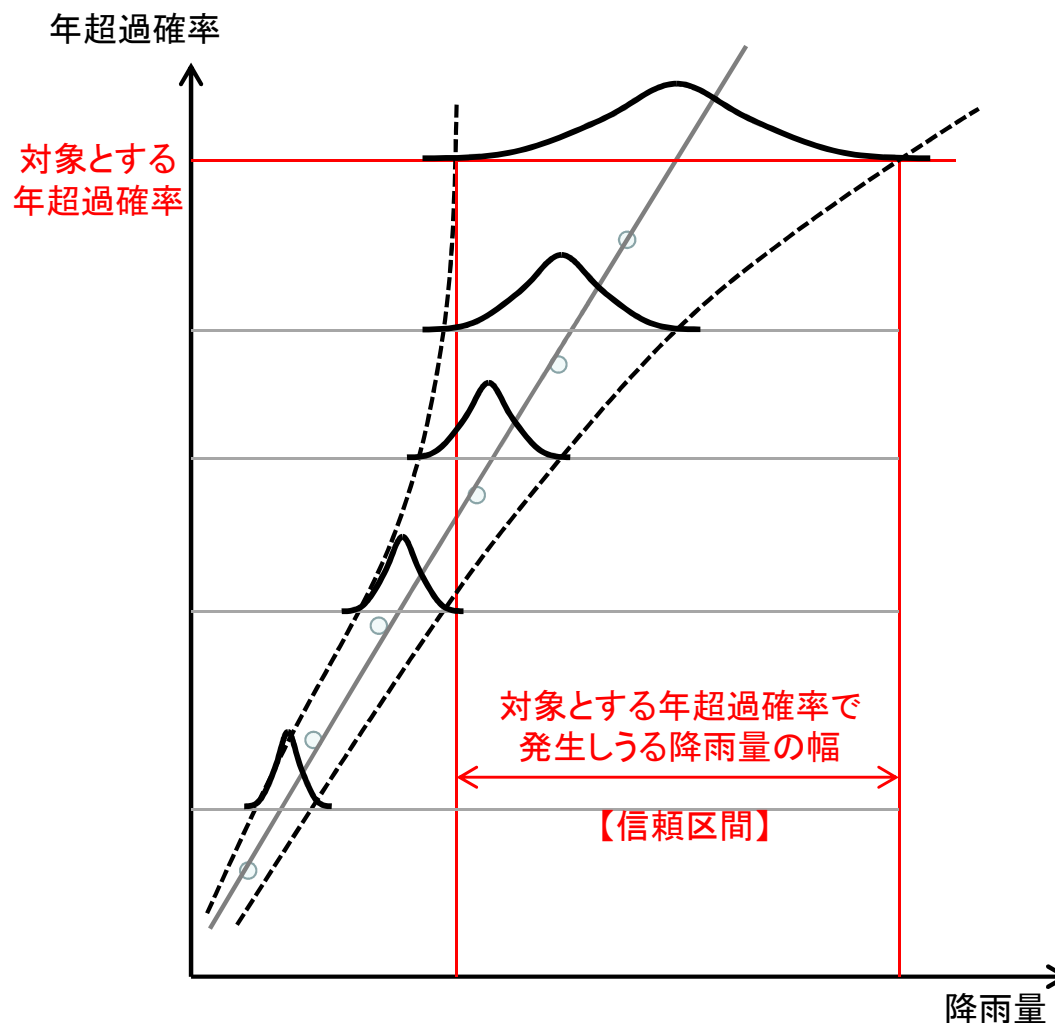
アンサンブルデータによる治水計画のパラダイムシフト(降雨量)

- これまでの治水計画では、実際に経験した過去数十年程度の雨量データから、確率処理によって確率雨量を算定してきた。そのため、ある確率で発生する雨量は一つの値となる。
- アンサンブルデータの導入により、ある確率で発生する雨量の幅を得ることができる。また、気候変動後のみならず、現在気候下においてもこれまでに経験していない雨量を用いた確率評価が可能となる。

これまでの降雨の評価のイメージ

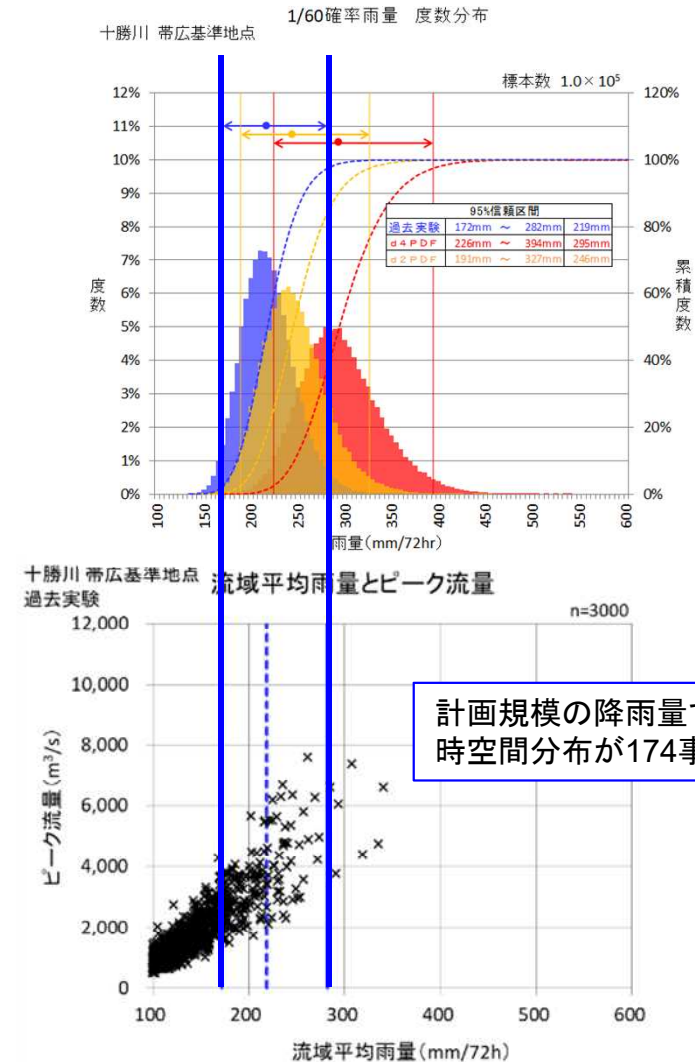
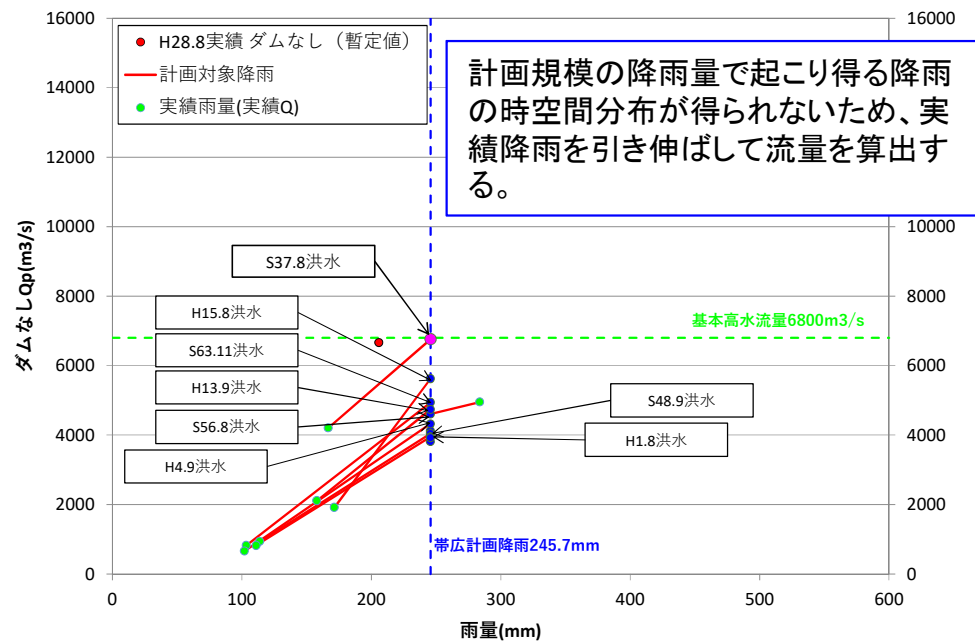


大量アンサンブルデータを用いた降雨の評価のイメージ

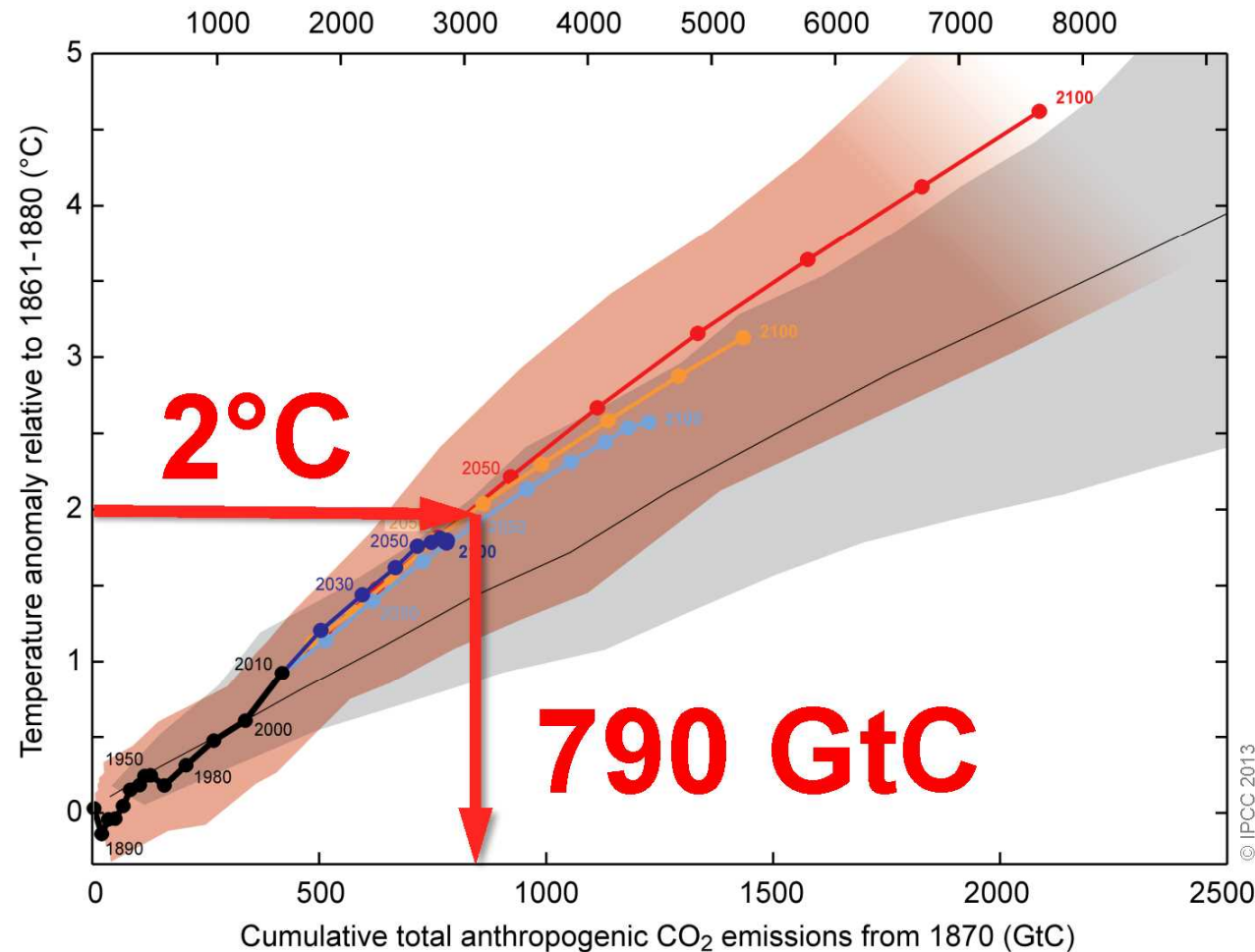


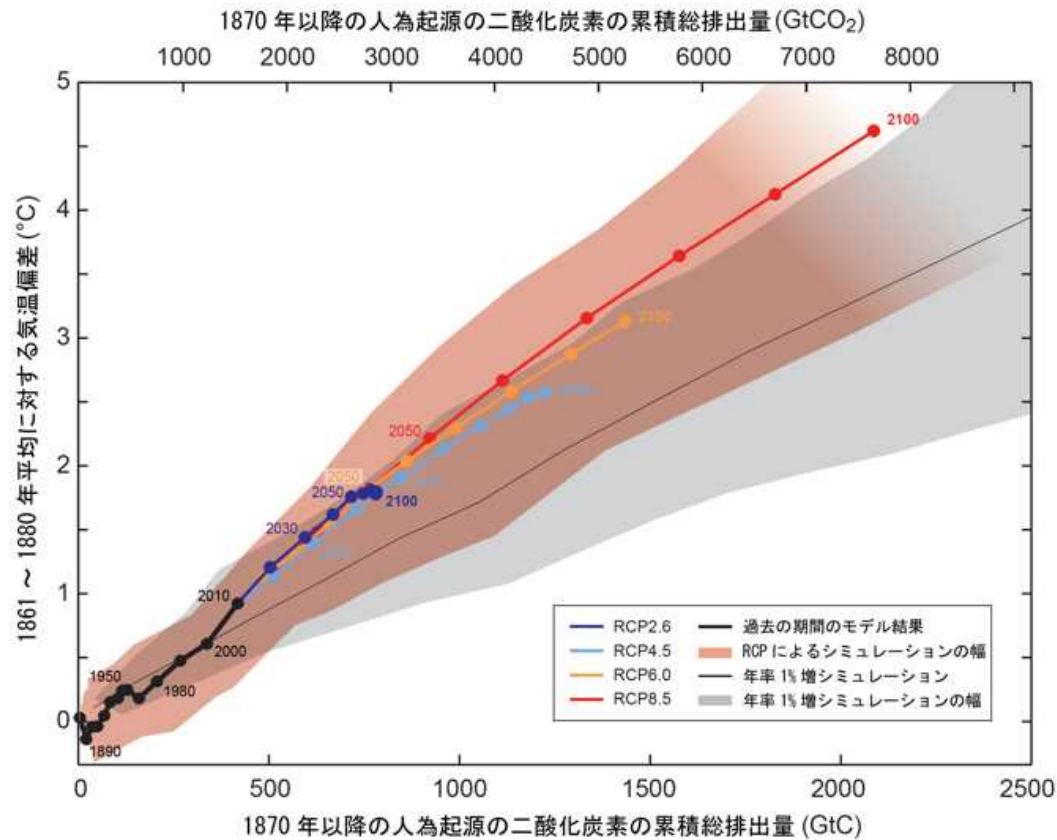
アンサンプルデータによる治水計画のパラダイムシフト(降雨の時空間分布)

- これまでの治水計画では、実際に経験したある程度大きな出水時に発生した降雨の時空間分布のみが用いられていた。その数は10~20事例程度と少なく、計画の対象とする確率規模の降雨量となった際の降雨の時空間分布が得られることは稀である。そのため、引き伸ばしによって作られた降雨の時空間分布を用いて、計画流量を推定している。
- 大量アンサンプルデータの導入によって、科学的根拠に基づいた物理モデルによって算出される降雨の時空間分布を、治水計画に大量に用いることにより、従来用いてきた既往の実績降雨に加え、物理的に発生する可能性のある降雨を合わせて分析・評価することが可能になった。これにより、従来の方式より降雨に関する信頼性と安定性の高い適応策の検討が可能になった。



To limit **anthropogenic warming** to *likely* $< 2^{\circ}\text{C}$,
cumulative CO_2 emissions must be limited to about **790 GtC**.





気候変動を抑制するには、温室効果ガス排出量の大幅かつ持続的な削減が必要であろう。

Budget for the 2°C target:

790 Bill. t C

CO₂ emitted until 2011:

-515 Bill. t C

Remaining emissions:

275 Bill. t C

CO₂ emissions 2012:

9.7 Bill. t C/yr