



## 講義 6

# 豪雨災害に関する気候変動予測と適応

京都大学防災研究所  
中北 英一

国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター  
令和2年度気候変動適応研修(中級コース)  
2021年1月29日(金)



2021年 1月29日

国環研 令和2年度 地域気候変動適応計画研修（中級コース）

# 豪雨災害に関する 気候変動予測と適応

**中北 英一**

**京都大学防災研究所 教授**

**気候変動リスク予測・適応研究 連携研究ユニット長**

**文部科学省 統合プログラム 領域テーマD代表**

# 近年における水害・土砂災害の発生状況

【2012年7月九州北部豪雨】



①白川における浸水被害  
(熊本県熊本市)

【2013年9月台風18号】



②由良川の浸水状況  
(京都府福知山市)

【2014年8月19日から大雨】



③土砂災害の状況  
(広島県広島市)

【2015年9月 月関東・東北豪雨】



④鬼怒川の堤防決壊による浸水被害  
(茨城県常総市)

【2016年8月台風10号】



⑤小本川の氾濫による浸水被害  
(岩手県岩泉町)

【2017年7月九州北部豪雨】



⑥桂川における浸水被害  
(福岡県朝倉市)

【2018年7月豪雨】



⑦小田川における浸水被害  
(岡山県倉敷市)

【2018年台風第21号】



⑧神戸港六甲アイランドに  
おける浸水被害  
(兵庫県神戸市)

【2019年台風第19号】



⑨北陸新幹線車両基地  
(長野県長野市)

【2020年7月豪雨】



⑩球磨川における浸水被害  
(熊本県人吉市)



国土交通省(2019)に中北が追加



# 最近の災害から思うこと

- 地球温暖化の影響が出だしているのではないか？
- 今までの常識が通用しない。
  - 豪雨:より頻繁に、より強力に、初めての地域に=>未経験
  - 西日本豪雨:強力ではないが、広域で長期間
- 後悔しない、地球温暖化への適応
  - 科学的な気候変動将来予測を軸にした適応
  - 治水の基礎体力の増強
  - 危機管理の深化
  - 自助・共助としての防災力の増強
  - とともに時間がかかる。じわじわでも温暖化進行の方が早い。=>後悔しない早い目そして計画的な対応が必要！
- では、何を？どの優先順に適応するか？
  - 将来予測の共有
  - 災害からの教訓
- 水工学・土木工学・気象学”研究”として抜けているものはないか？



中国地方整備局



九州地方整備局



- **どのような気候予測データセットがあるか**
  - GCM、RCMと豪雨災害予測
  - メガアンサンブルとその意味
  - 力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール
- **どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか**
- **最大クラス予測とは**
- **豪雨災害に対する気候変動適応とは？**



SOUSEI



KAKUSHIN

# 文部科学省 共生～統合プログラム

- **Kyousei(共生)Project:2002-2006** 「人・自然・地球共生プロジェクト」
  - 地球シミュレータ用の温暖化予測モデルを開発
  - 20km日本域出力(日雨量)
- **Kakushin(革新)Program:2007-2011** 「21世紀気候変動予測革新プログラム」
  - 20km全球出力, 5,2km日本域出力(時間雨量)
  - 自然災害への影響評価が可能に
- **Sousei(創生)Program:2012-2016** 「気候変動リスク情報創生プログラム」
  - 最大クラス外力による影響評価も
  - 自然災害、水資源、生物・生態系
  - 適応に向けたリスク評価
- **Tougou(統合)Program:2017-2021** 「統合的気候モデル高度化研究プログラム」
  - 気候モデル～ハザードモデルの統合と高度化
  - 後悔しない適応・評価



SOUSEI





# 文部科学省・統合的気候モデル高度化研究プログラム

## 4つの研究領域テーマを連携させた統合的な研究体制の構築

### 全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発

気候変動予測を可能とする「**全球気候モデル**」を構築し、他の研究・予測へと活用。



### 統合的気候変動予測

**日本周辺**を中心とした「**領域気候モデル**」を構築し、適応策検討に活用できるよう、高精度な予測情報を創出。



### 統合的ハザード予測

温暖化により激甚化が想定される**高潮・洪水等のハザード**の予測。



### 炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明

炭素・窒素の循環も含む「**地球システムモデル**」を構築。**気候感度(\*)**や**ティッピングエレメント(\*\*)**等を解明。



\* 気候感度: 大気中のCO2濃度が2倍になった時の気温上昇量。

\*\* ティッピング・エレメント: 気候変動があるレベルを超えたとき、気候システムにしばしば不可逆性を伴うような激変が生じる現象。

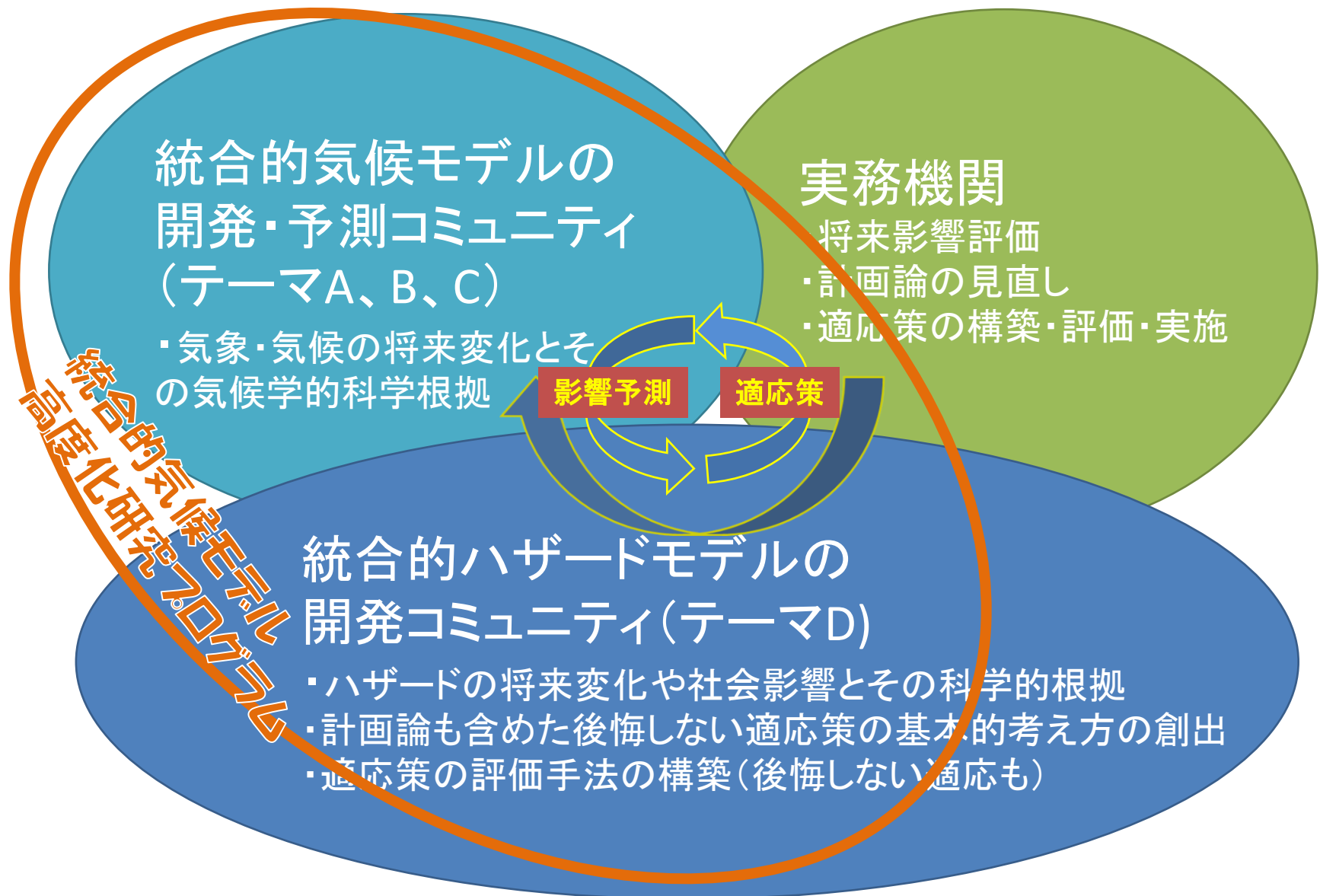
○前身事業以降開発している**わが国独自の気候モデルの利用数は、世界でもトップクラス。**

○創出された**気候変動予測情報は、気候変動の影響評価の基盤として活用。**



**TOUGOU**  
Integrated Research Program  
for Advancing Climate Models

# テーマDの実施内容と テーマA,B,C及び実務機関との関係





01 Sep 208X 00 UTC

# 地球温暖化で地球はどうなるだろう

## 気候モデルによる科学ベースの将来予測

気候学・コンピューターサイエンス・地球工学の融合

文部科学省・統合的気候予測モデル高度化プログラム

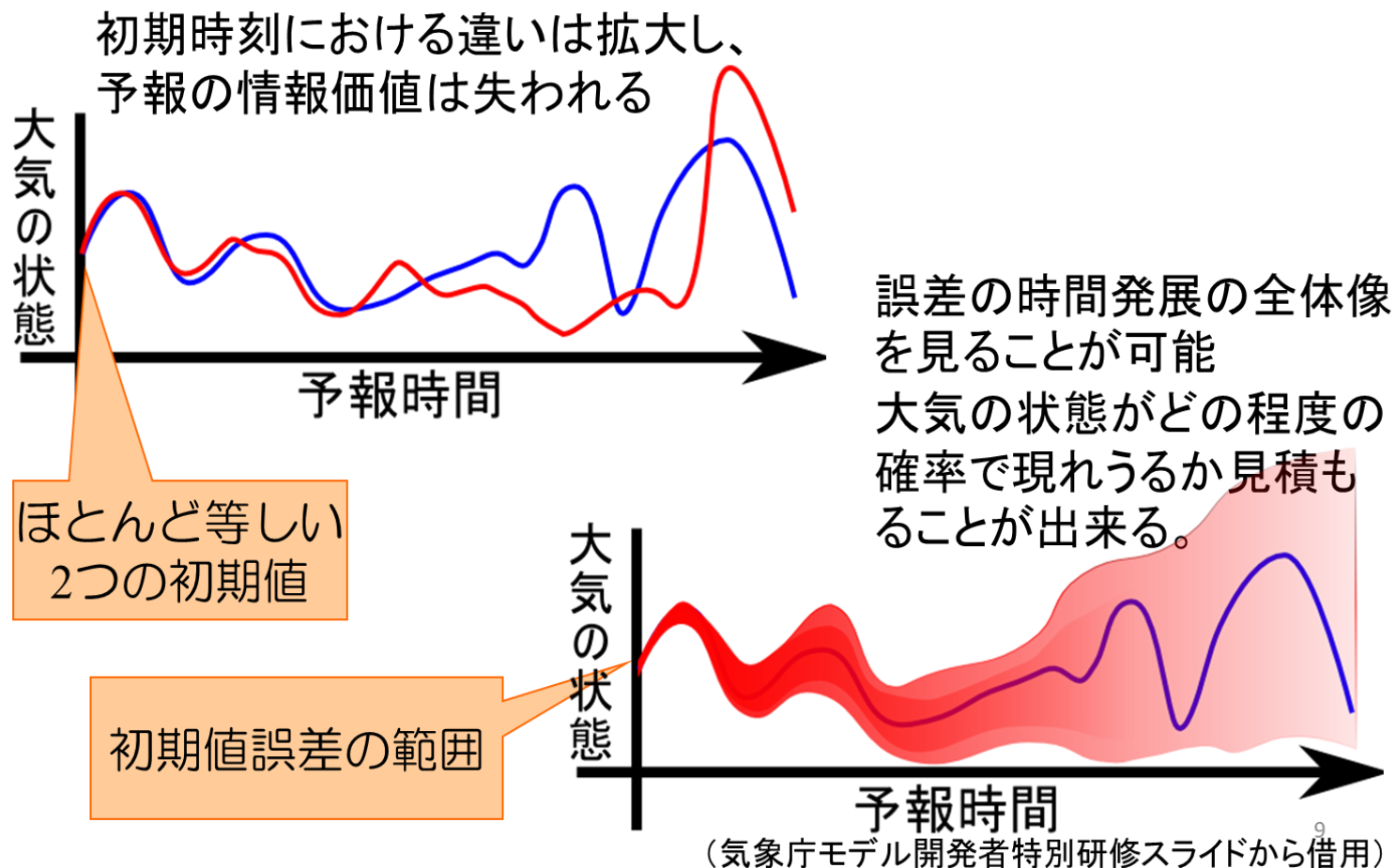
©MRI,JMA,JAMSTEC,MEXT



SOUSEI



# 初期の情報を忘れる気候予測





# 内容

- **どのような気候予測データセットがあるか**
  - **GCM、RCMと豪雨災害予測**
  - **メガアンサンブルとその意味**
  - **力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール**
- **どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか**
- **最大クラス予測とは**
- **豪雨災害に対する気候変動適応とは？**

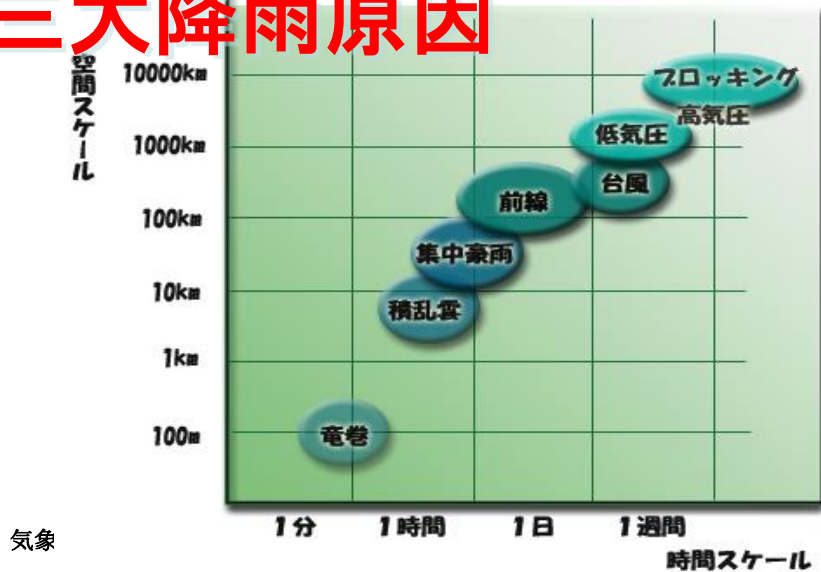


SOUSEI



KAKUSHIN

# 日本で災害をもたらす 三大降雨原因



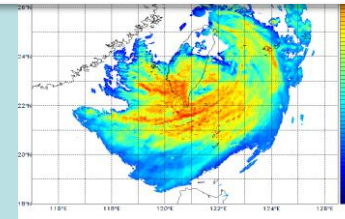
## 台風

範囲: 1000km

期間: 1日～数日

大河川での洪水、大規模水害、土砂災害  
2009/08/08 in 台湾

20/60km格子モデル(AGCM20/60)



台湾中央気象局提供、及川康氏提供

## 局地豪雨(梅雨、秋雨前線)

範囲: 100km

期間: 6時間～半日

中・小河川での洪水、内水氾濫、土砂災害  
2014/8/20 in 広島 2017/7/05 in 九州北部

5km格子モデル(NHRCM05)



## 局所的豪雨(ゲリラ豪雨)

範囲: 10km

期間: 30分から1時間

小河川や下水道内での鉄砲水、都市内水氾濫  
2008/07/28 at 都賀川

2km格子モデル(NHRCM02)



増水時

都賀川モニタリング映像

平常時

提供: 神戸市



5km Regional Model

2km Regional Model

# 地球温暖化で地球はどうなるだろう

## 気候モデルによる科学ベースの将来予測

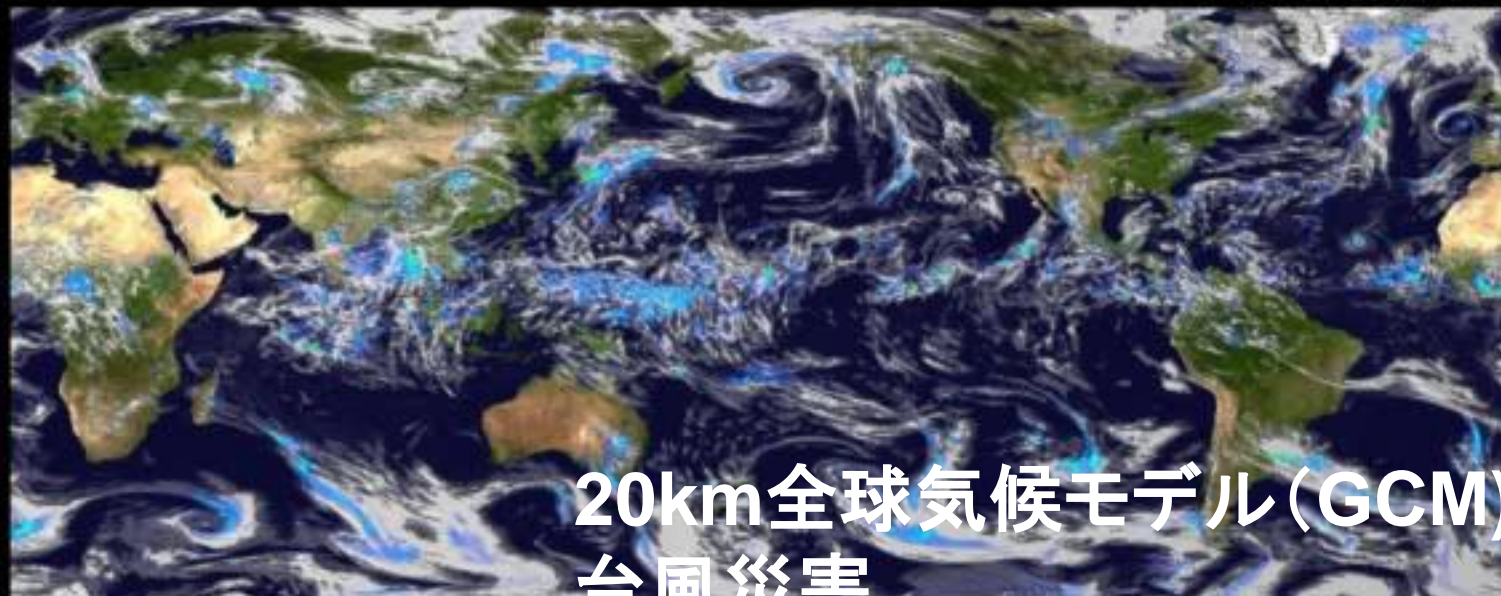
### (全球気候モデルと領域気候モデル)

5km領域気候モデル(RCM)  
梅雨豪雨災害

2km領域気候モデル  
梅雨豪雨・ゲリラ豪雨災害

05 Sep  
208X  
00 UTC

32  
24  
16  
8  
0  
mm/hour



20km全球気候モデル(GCM)  
台風災害

# 内容

- **どのような気候予測データセットがあるか**
  - GCM、RCMと豪雨災害予測
  - **メガアンサンブルとその意味**
  - 力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール
- **どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか**
- **最大クラス予測とは**
- **豪雨災害に対する気候変動適応とは？**



SOUSEI

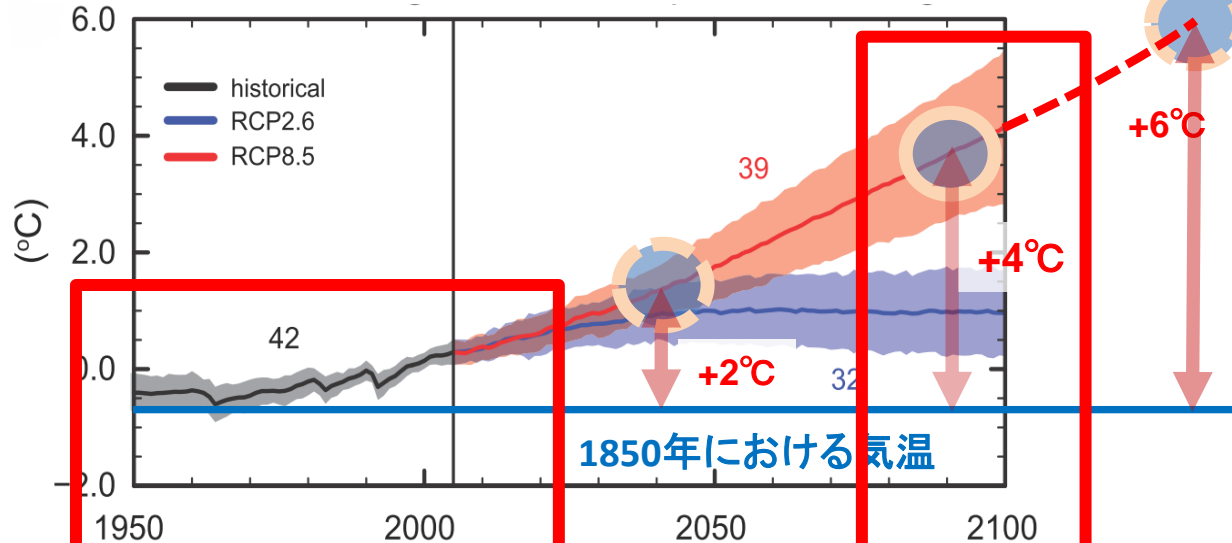


KAKUSHIN

# 大アンサンブル実験デザイン d4PDF d2PDF



全球平均地上気温



60km AGCM

100メンバ  
非温暖化100メンバ

日本域 20km  
ダウンスケール

50メンバ

1951 過去実験 2010

※気象庁AGCM,  
NHRCMを使用

90メンバ  
( $6\Delta T \times 15\delta T$ )

90メンバ

60年

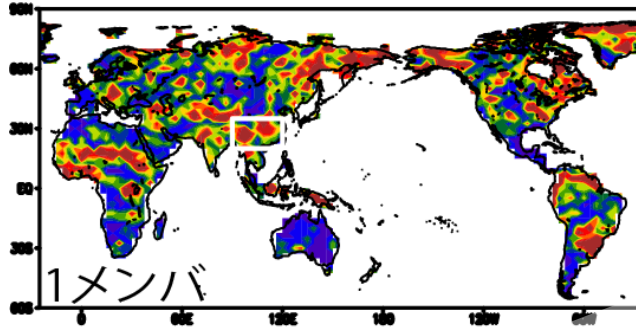
将来実験

$\Delta T$ : 温暖化時SSTパターン  
 $\delta T$ : 初期値+SST摂動

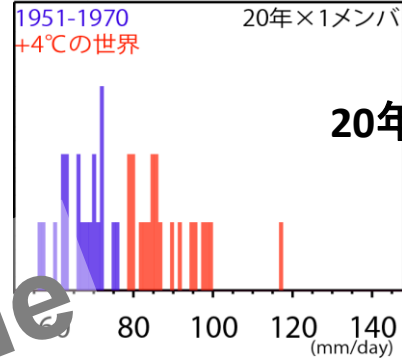


過去に20年に1度だった「年最大日降水量」を+4度の世界では20年に何回経験するか

## ES 100x100実験結果の解析

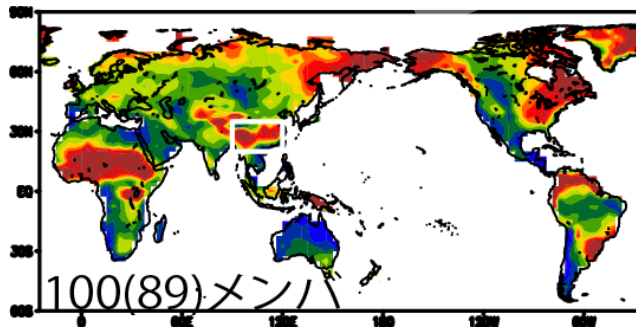


中国南部で平均した「年最大日降水量」の頻度分布

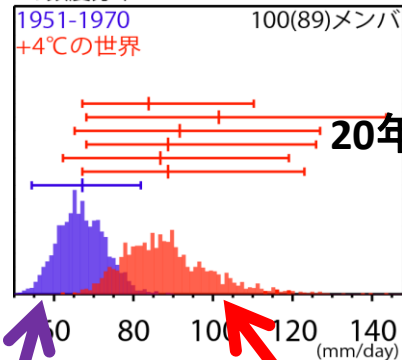


20年×1メンバー

アンサンブル  
メンバー数の  
増加



中国南部で平均した「年最大日降水量」の頻度分布



20年×100メンバー

1951~1970

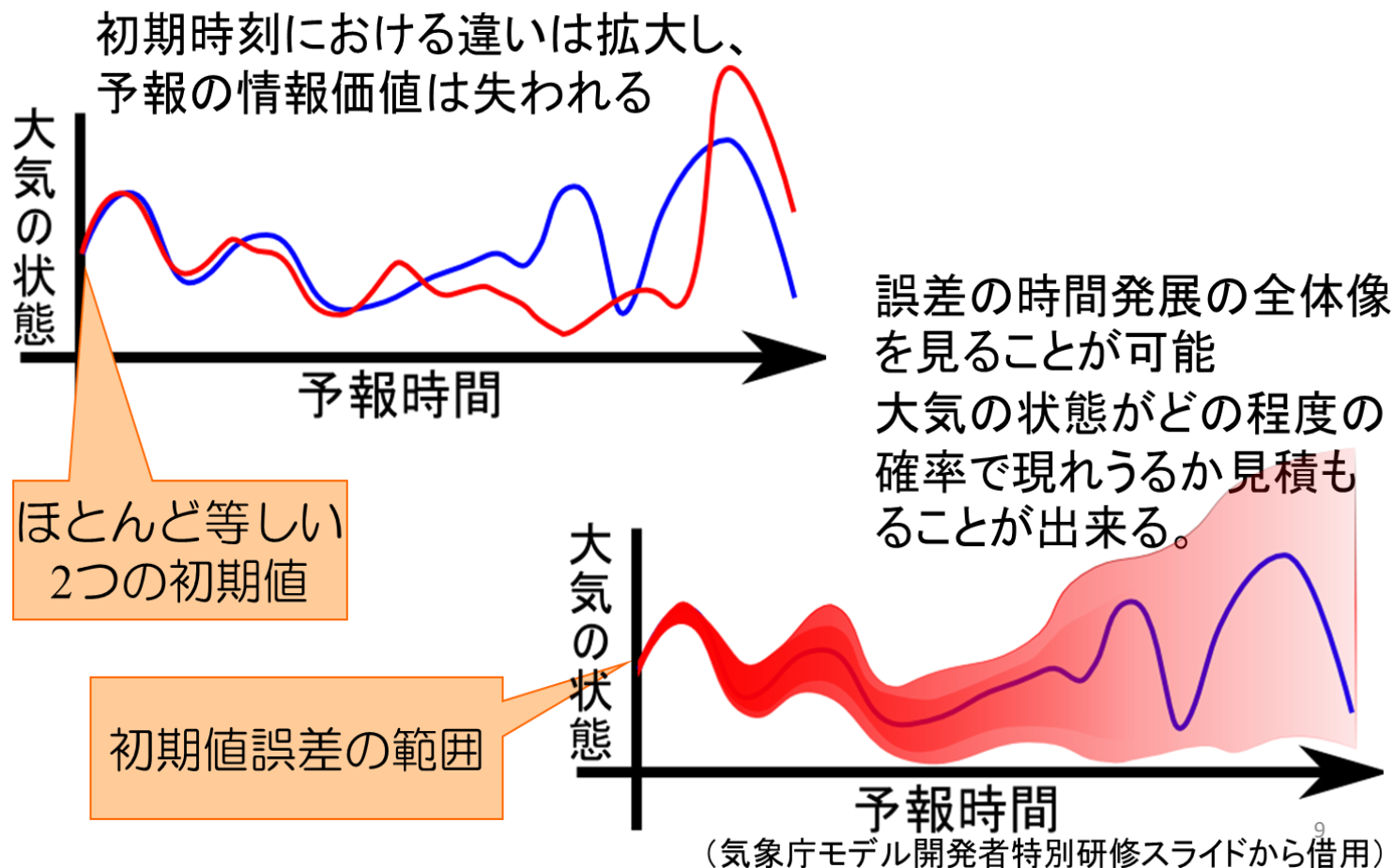
+4°Cの世界

塩竈(2015)

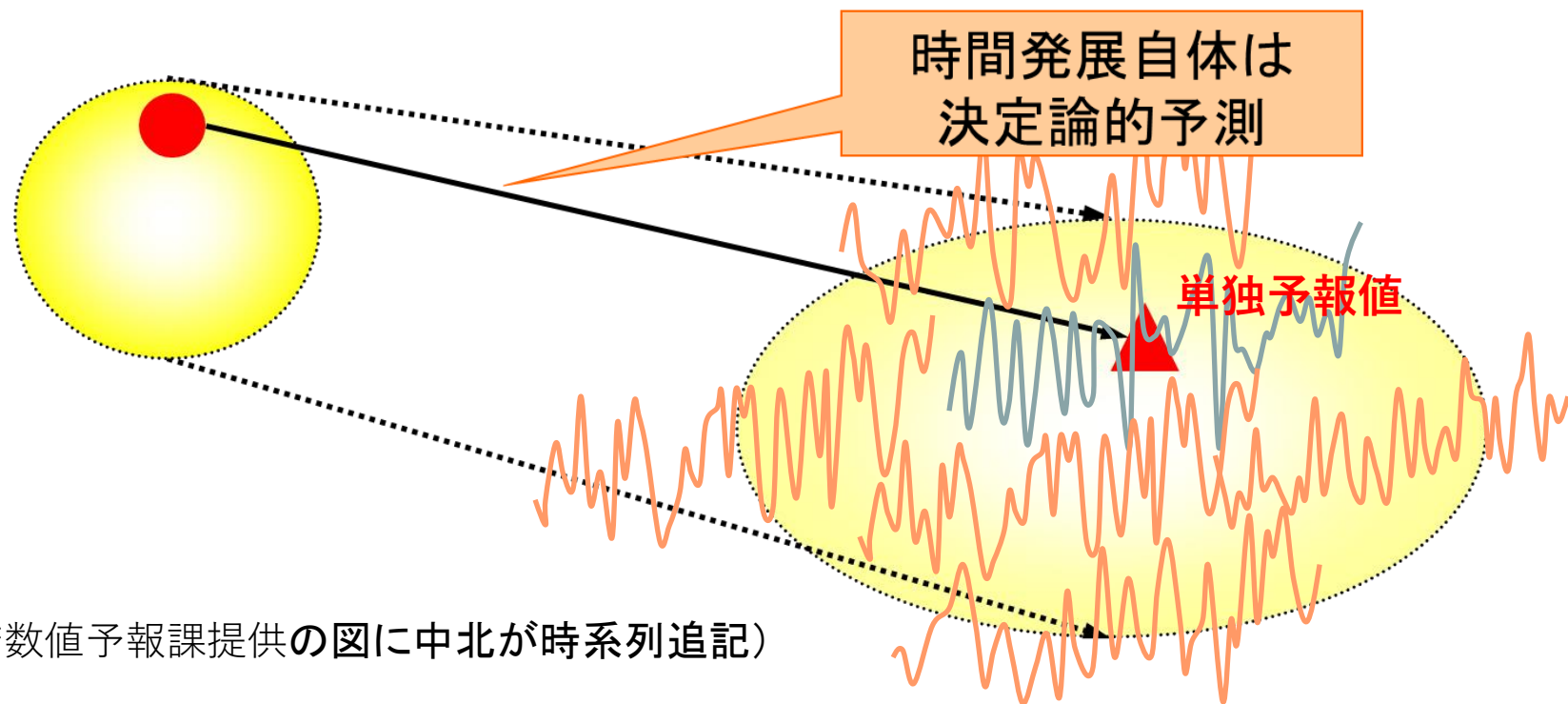




# アンサンブル情報の持つ意味(2)



# アンサンブル情報の持つ意味(2)



# 創生と統合 Program D (2012-2022)

## 適応策創出の哲学・考え方の構築

大きな不確定性下での意思決定法の構築  
最悪シナリオなどの確率のわからない状況下での意思決定法の構築  
生態系の経済指標など新しい価値観の創出

Ultimate Goal

## より精度の高い確率の推定

粗いモデルによるアンサンブル情報により確率密度関数を推定する。

GCM20やRCMを用いて、粗い時・空間解像度での値を、領域スケールでの値にコンバート

Post Sousei  
ポスト創生

創生

Sousei (2012-2016)

Kakushin (2007-2011)

革新

モデル精度  
アンサンブル誤差

最大クラス外力の  
想定—生存の縁  
最大クラス台風  
複合災害  
社会シナリオ  
の想定

対象:  
自然災害、水資源、  
生態系・生物多様性

For adaptation decision making  
Deterministic, Probabilistic and Beyond

中北 (2012, 2015)

SOUSEI



# 内容

- **どのような気候予測データセットがあるか**
  - GCM、RCMと豪雨災害予測
  - メガアンサンブルとその意味
  - **力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール**
- **どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか**
- **最大クラス予測とは**
- **豪雨災害に対する気候変動適応とは？**



SOUSEI

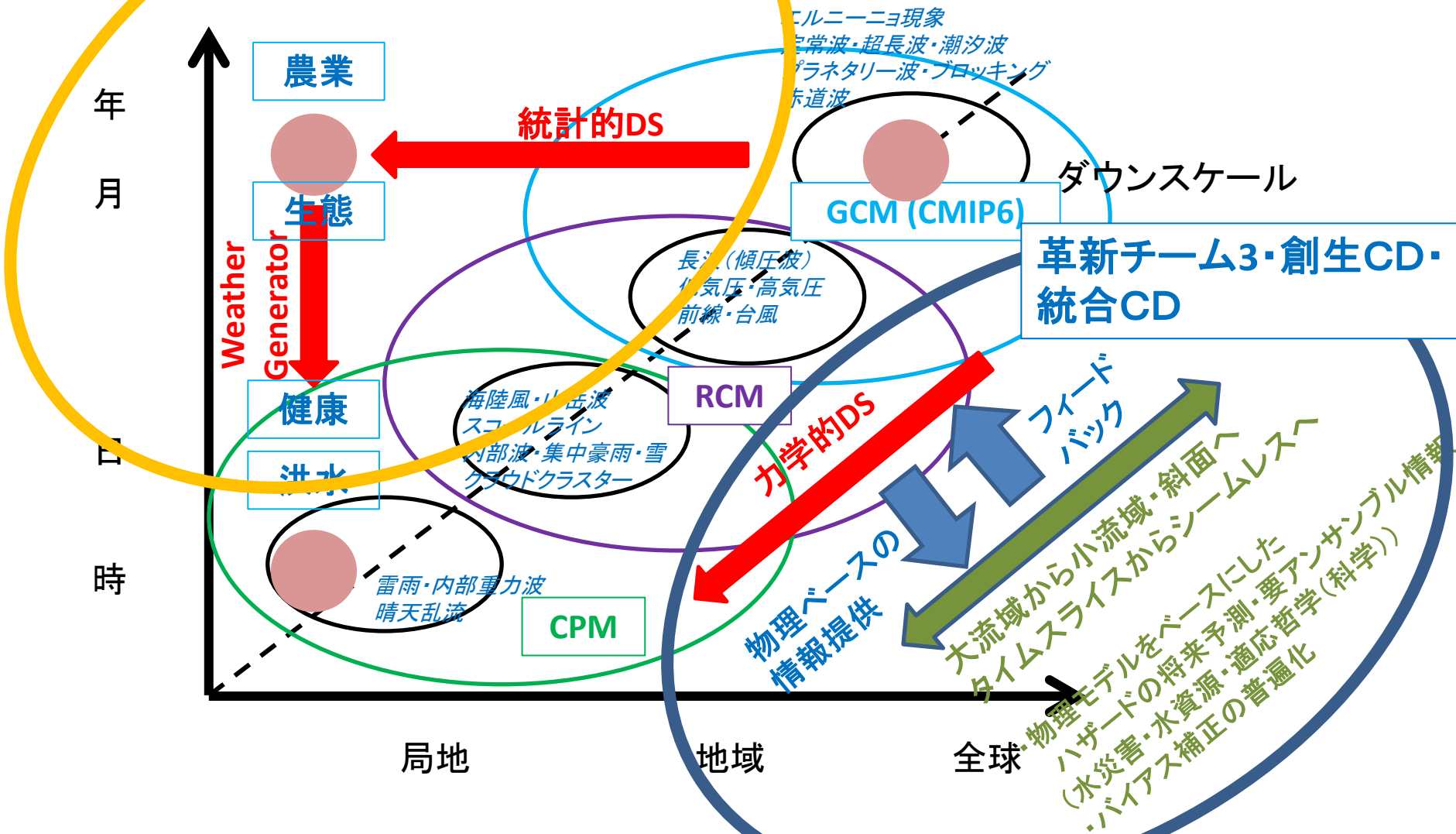


KAKUSHIN



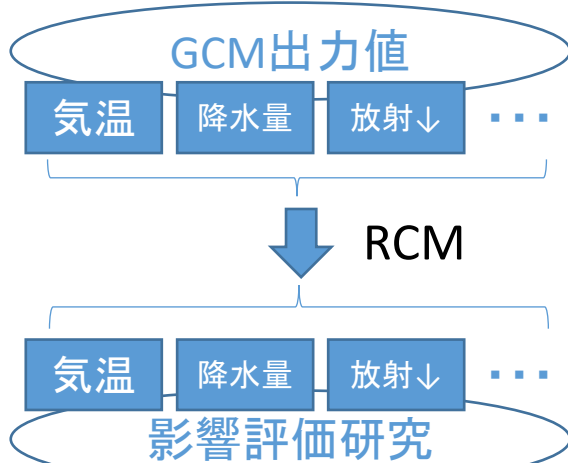
# 力学的・統計的DSの関連

温暖化予測へのモデル解像度の寄与 (contribution of the resolution)



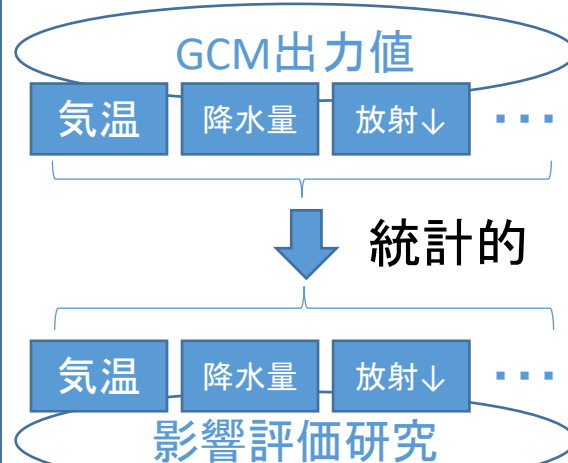
高薮(2019)に中北が「革新・創生・統合」「環境省系プログラム」を追記

## 力学的ダウンスケーリング(DD)



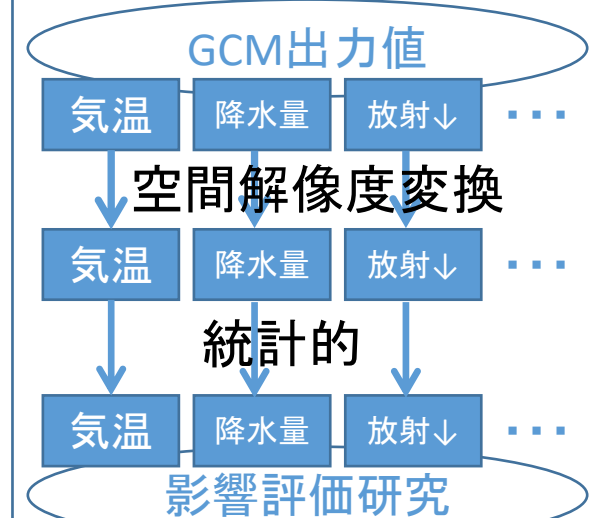
- ◎ 物理的
- × 開発, 計算コスト
- 結果にバイアスが残る

## 統計的ダウンスケーリング(SD)



- 変数間の関係
- × 詳細な観測値が必要
- 広域への適用が難しい

## バイアス補正(BC)

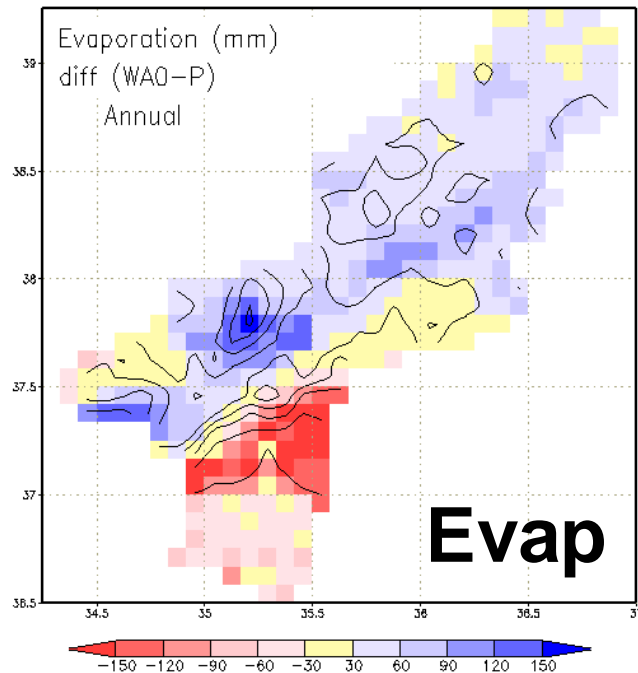


- × 変数間の関係
- 開発, 計算コスト

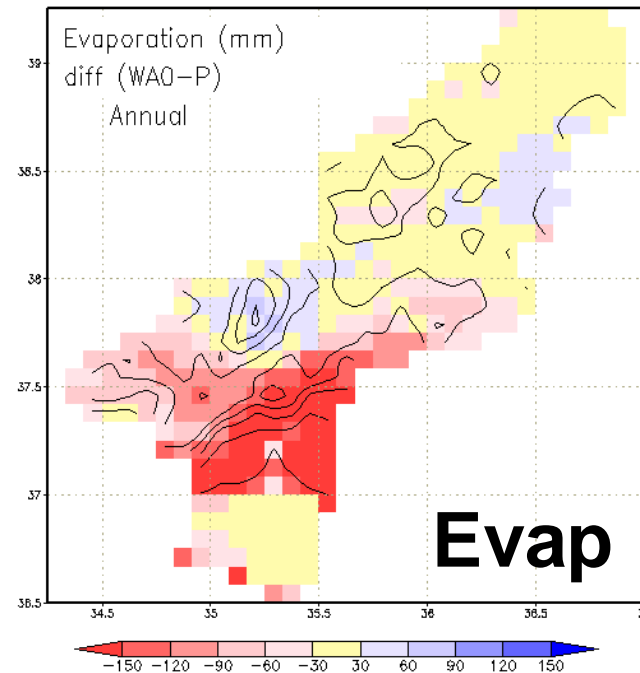
- 領域スケールでは(DD+BC)の研究が多い
  - 但し、DDを行うGCMの数に限りがある
- SDの研究は盛んだが、影響評価への応用例は(DD+BC)ほど多くない
  - SDよりもBCの方が良い (Themeßl et al., 2010)
- BCの長所は簡易、かつGCMを直接利用可能できる
  - 複数のGCM、アンサンブルの利用可能

# 気候変動影響評価におけるバイアス補正の効果 (from ICCAP)

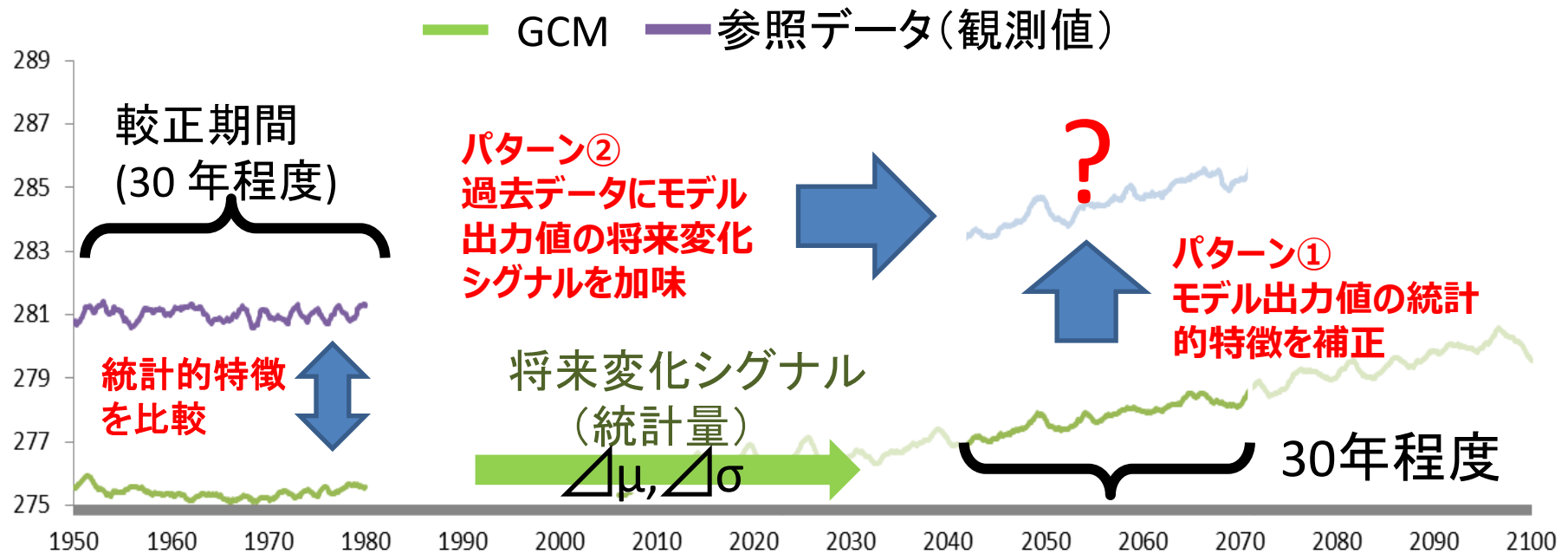
## No correction



## Bias corrected



元の領域気候モデルに大きなバイアスがある場合、補正後に正負が逆転する場合がある。したがって、気候変動影響評価においてバイアス補正は大切である。 京大防災研究所田中賢治准教授(2016)



- 気候モデル出力値と観測値（参照データ）との間の統計的な差を比較し修正する
    - 両者の個々の出力（同一日時）を比較できない点に注意が必要
  - 広義ではダウンスケールの一つとして扱われている
    - 複数の変数を使う（→統計的DS）か、否か（→BC）で区別する
  - 変換関数型（パターン①）とデルタ型（パターン②）に大別される
- 渡部哲史(2017)



# 力学的ダウンスケーリング

	空間 解像度	シナリオ	計算期間	バイア ス補正	公開年	帰属・プロジェク ト等
21世紀末におけ る日本の気候	20km	RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5	現在気候 21世紀末	あり	2015	環境省・気象庁
温暖化予測情報 第9巻	5km	RCP8.5	現在気候 21世紀末	観測地 点のみ	2017	気象庁 (SOUSEI)
気象研究所2km 力学的DSデータ	2km	RCP2.6, 8.5	現在気候 21世紀末	準備中	2018	SOUSEI, TOUGOU
d4PDF (4°C上昇)	20km		4°C上昇	作成中	2016	SOUSEI
d2PDF +2K	20km		2°C上昇	なし	2019	SI-CAT
D1.5PDF	20km		1.5°C上 昇	なし	2019	TOUGOU
100年以上シーム レス	20km	RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5	1951-21 世紀末	なし	2021予定	TOUGOU

# 統計的ダウンスケーリング

	空間 解像度	シナリオ	計算期間	手法	公開 年	帰属・プロ ジェクト等
S-8共通（第二版）	1km	RCP2.6, 4.5, 8.5	現在気候 21世紀中頃 21世紀末	線形内挿・ス ケーリング法	2013	S-8
日本全国1kmメッ シュ統計的	1km	RCP2.6, 8.5	現在気候か ら21世紀末	BCSD法	2019	防災科研、 SI-CAT
日本全国1km地域気 候予測シナリオデー タセット	1km	RCP2.6, 8.5	現在気候か ら21世紀末	スケーリング 法	2019	農研機構、 SI-CAT
CMIP5をベースにし たCDFDM手法による 日本域バイアス補正 気候シナリオデータ （NIES2019）	1km	RCP2.6, 8.5	20世紀初め から21世紀 末	CDFDM法	2019	国立環境研 究所
CMIP6をベースにし たCDFDM手法による 日本域バイアス補正 気候シナリオデータ （NIES2020）	1km	3種の SSP-RCP を提供予 定	20世紀初め から21世紀 末	CDFDM法	2021 予定	国立環境研 究所

- どのような気候予測データセットがあるか
  - GCM、RCMと豪雨災害予測
  - メガアンサンブルとその意味
  - 力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール
- どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか
- 最大クラス予測とは
- 豪雨災害に対する気候変動適応とは？



SOUSEI



KAKUSHIN

# 温暖化による日本への影響推測

## • 台風：

- 日本への到来回数は減る
- スーパー台風の危険性は高まる

## • 梅雨：

- 7月上旬の日100mm以上の割合や集中豪雨の生起回数が増える。
- 日本海側の豪雨も増えるだろう

## • ゲリラ豪雨：

- 都市化や下層水蒸気の流入増があり増えるだろう



TOUGOU  
Integrated Research Program  
for Advancing Climate Models

SOUSEI



KAKUSHIN



# 極端現象に伴う災害発生変動評価

斜面系

山岳系

河道

都市・低平地

沿岸域

領域C  
GCM・RCM  
出力

降雨・気温・水蒸気・風速・放射・気圧系列（現在気候、近未来、世紀末 各25～30年）  
（領域C：GCM60, GCM20, RC5, RCM2（アンサンブル実験結果を含む）、やCMIP5）

領域気候モデル（気象研5km, 2km-RCM, 独自ラン with WARF等）（物理的ダウンスケール）

陸面過程モデル

台風モデル

温暖化出力  
翻訳

主要物理量の確率時空間モデル・極値確率分布モデル（確率的ダウンスケール）

土砂生産モデル

ダム操作ルールモデル

Hazard  
モデル  
（長期計算も  
含む）

土砂流出モデル

河道の土砂体積・輸送モデル

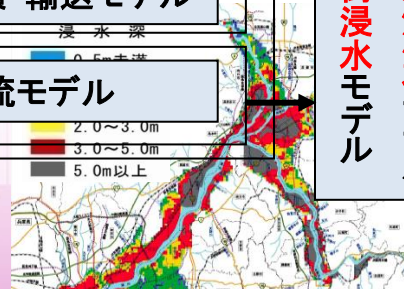
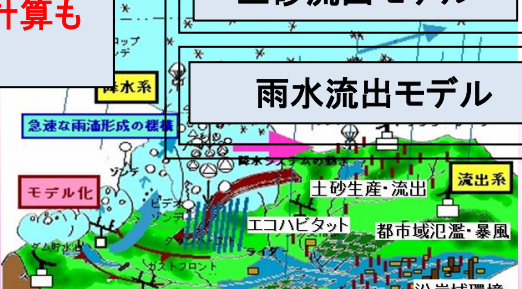
雨水流出モデル

河道の水流モデル

洪水氾濫浸水モデル  
地下街浸水モデル

強風による建物被害モデル

高潮・高波モデル



災害発生  
変動評価

斜面崩壊、土石流、洪水流出、洪水氾濫（都市域氾濫・地下街浸水など）、高潮・高波氾濫、強風・突風により、発生頻度に応じた各ハザードの巨大化や災害としての治水施設（ダムオペレーションも）、堤防、防波堤護岸の安全率の低下や建物被害率の増大 ⇒ 新たな気候変動評価指標の創出

# 水災害・水資源に関し、我が国で おおよそ何が推測されているか？



TOUGOU  
Integrated Research Program  
for Advancing Climate Models

SOUSEI



KAKUSHIN

- 100年に一度起こる規模の河川最大流量が全国で増大する
- 10年に一度の少ない規模で起こる河川流量が北日本と中部山岳地帯を除く多くの流域で悪化し、融雪水を利用している地域では、融雪ピークの減少やそれが早期化する
- ダム操作の有効性が変化する（洪水時も、渇水時も）
- 西日本太平洋側を中心に、表層崩壊や、深層崩壊という数10mの深さでかつ水平規模の大きい斜面崩壊の危険性が増大すること
- 100年に一度の規模で起こる高潮・高波が主要湾で悪化すること
- 降雪、積雪状況の変化により、水ストレスが増加すること

# 九州北部豪雨（梅雨豪雨）災害



写真提供：室蘭工業大学 中津川教授







# 5km解像度RCM05からの梅雨豪雨の抽出

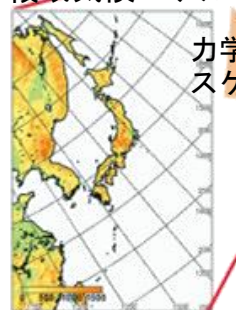
## 気候モデルNHRCM05

### MRI-NHRCM05

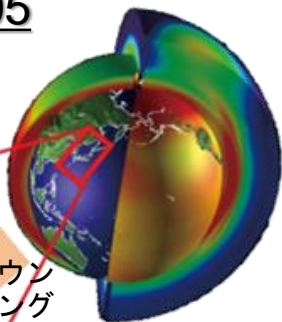
(Sasaki et al. 2011)

5km解像度

領域気候モデル



力学的ダウンスケーリング



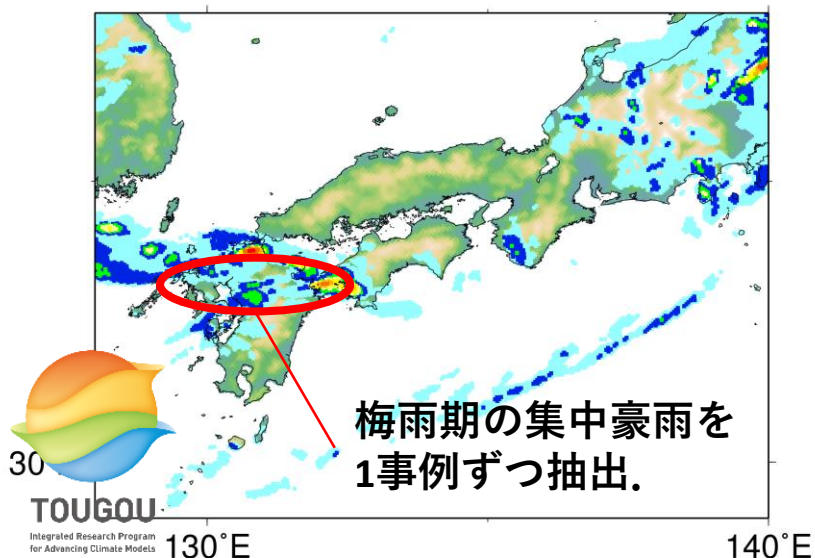
### MRI-AGCM-3.2S

(Mizuta et al. 2009)

20km解像度

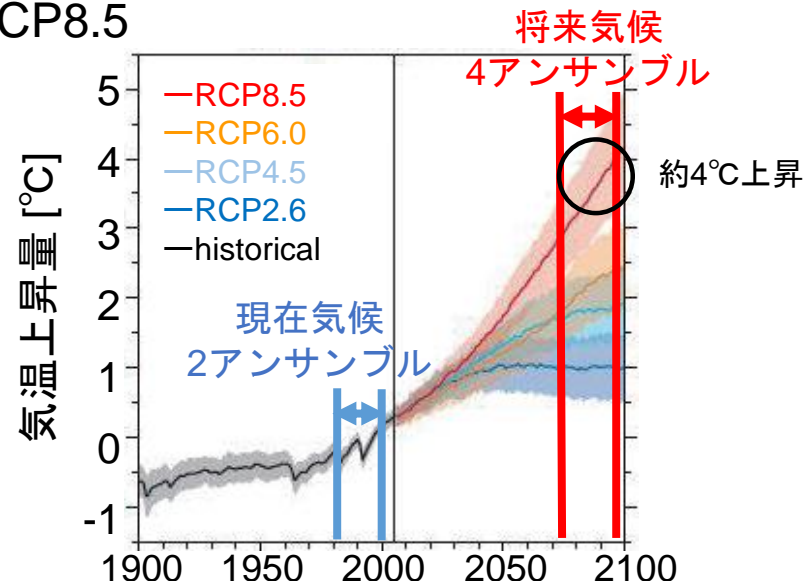
全球気候モデル

## NHRCM05で再現される降雨

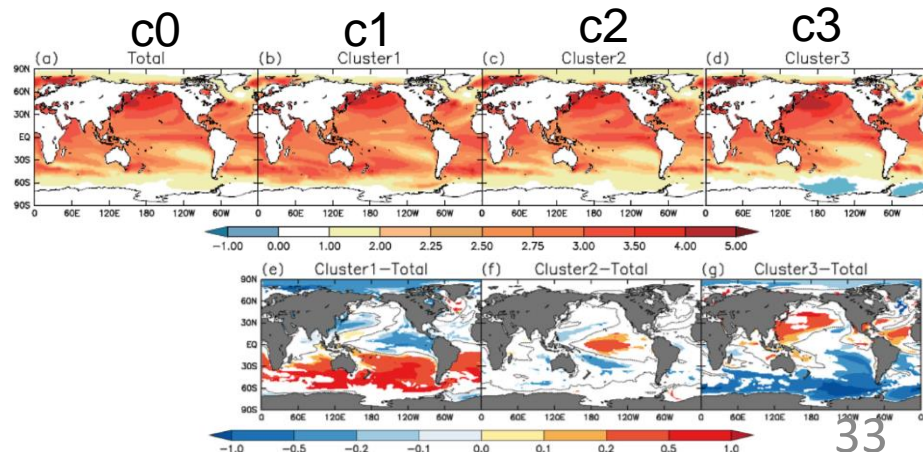


## 将来気候

✓ RCP8.5

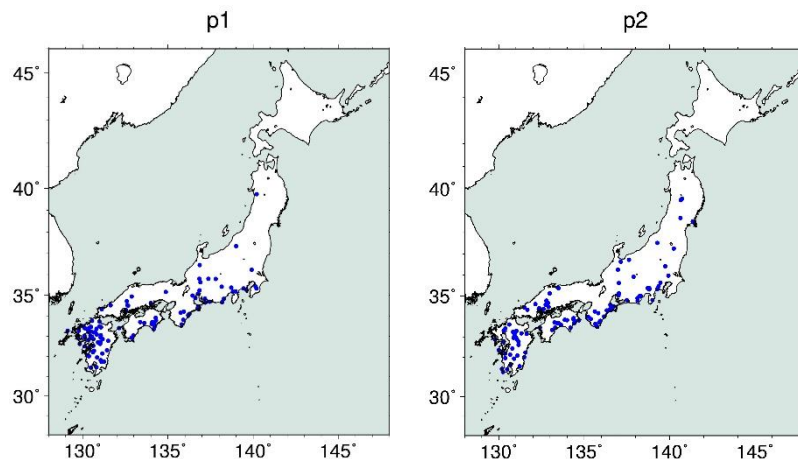


✓ 海面水温分布による4つのアンサンブル

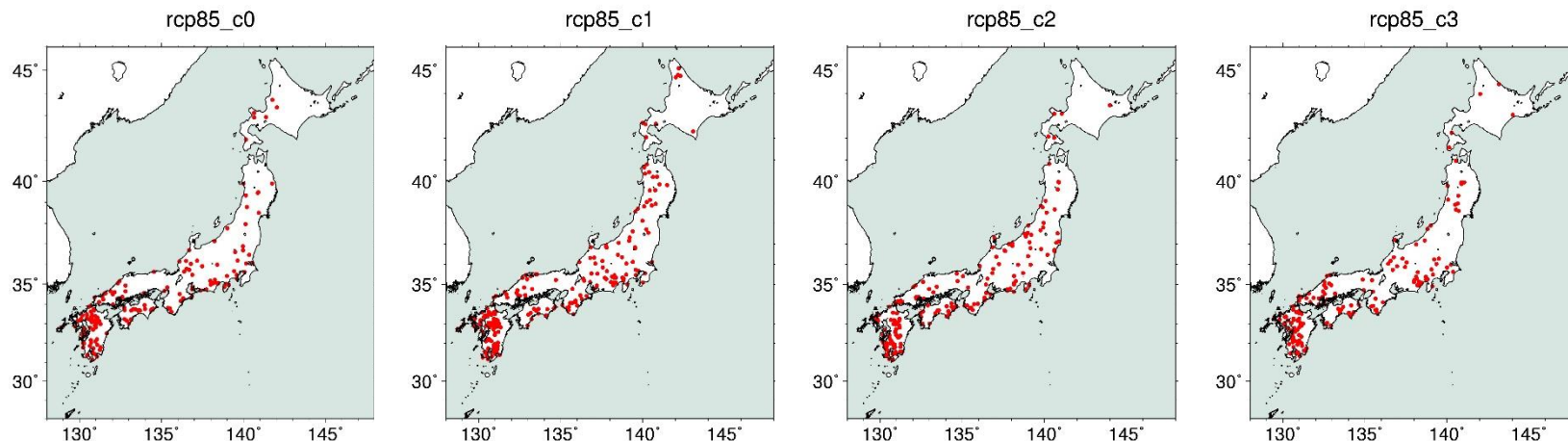




# 梅雨豪雨の発生場所の将来変化(20年間)の数値実験例



現在気候における数値実験結果(2候補)



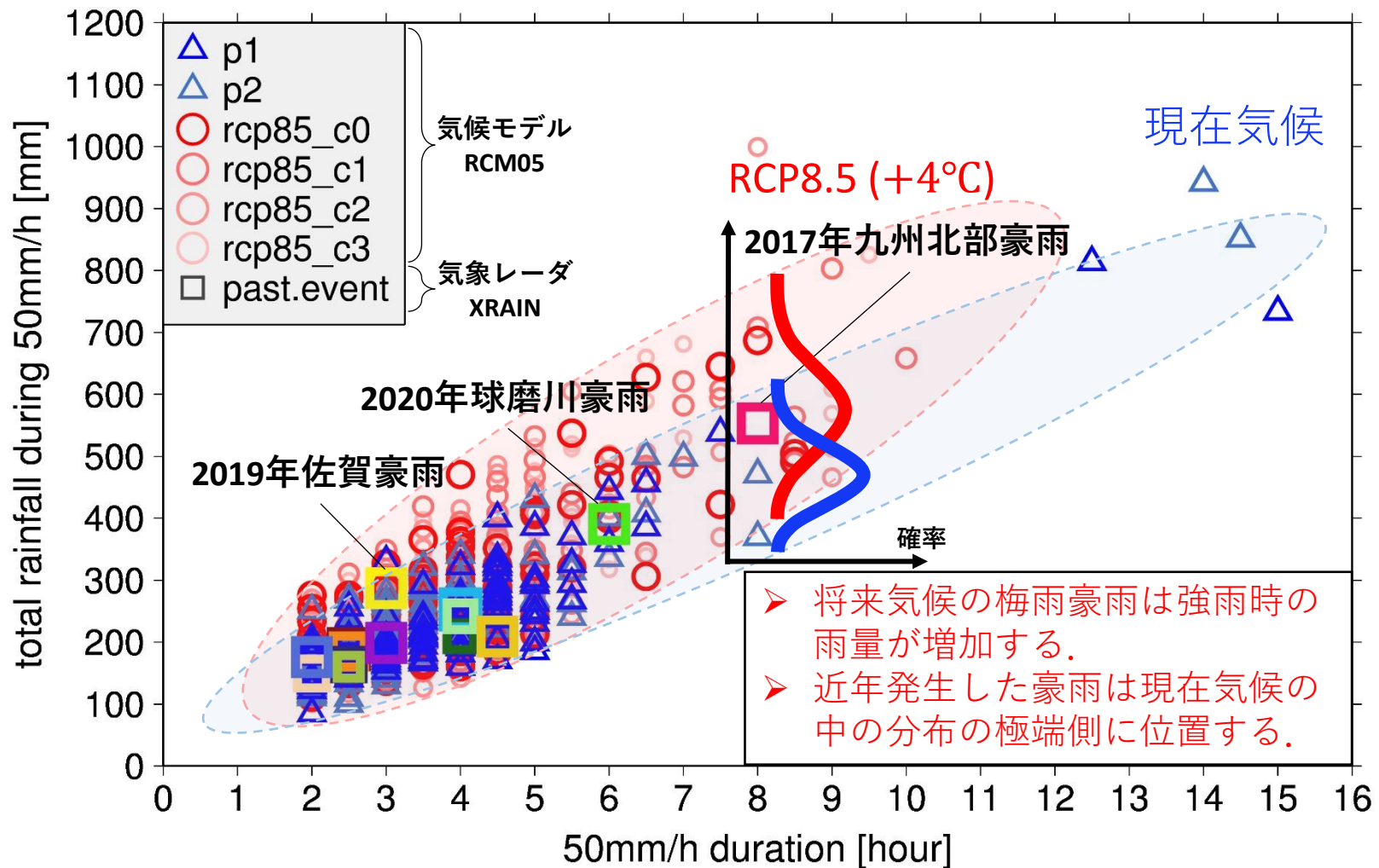
RCP8.5世界での将来数値実験結果(4候補)

- ・日本全体で増える。 梅雨豪雨のない北海道で起こる。

Osakada and Nakakita (2018)

# 線状降水帯の将来変化

50mm/h以上の強雨継続時間と総雨量の将来変化

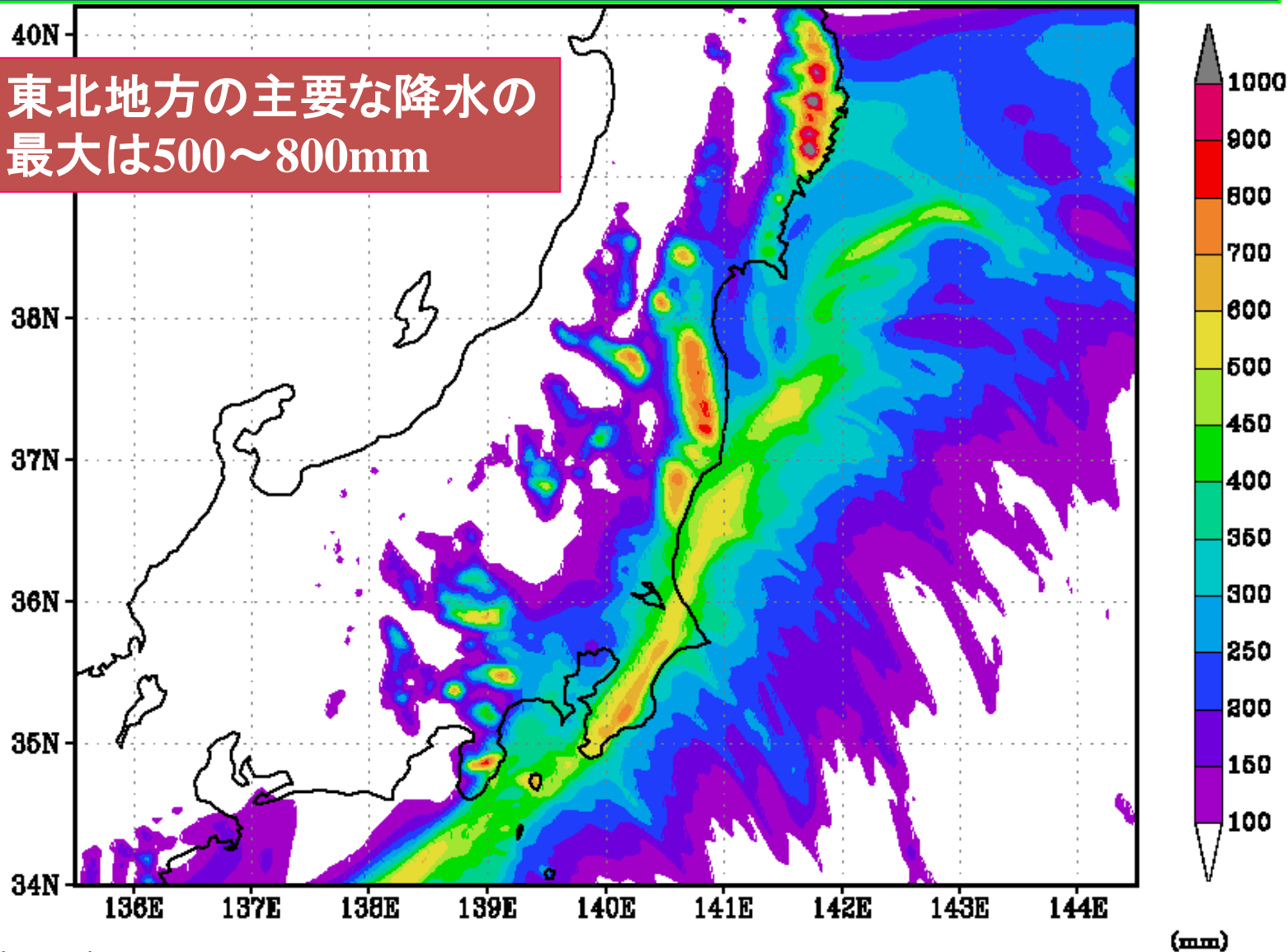




KAKUSHIN

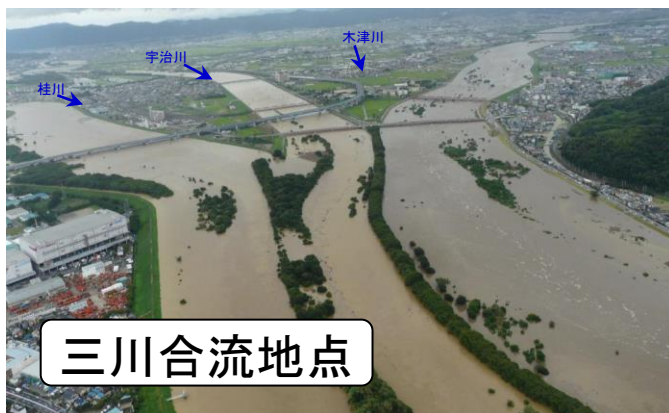
# GCM温暖化気候の台風のCReSS実験: 台風SF0508による総降水量(mm)

東北地方の主要な降水の  
最大は500～800mm



坪木ら(2009)

# 淀川水系のダム群全体で洪水調整



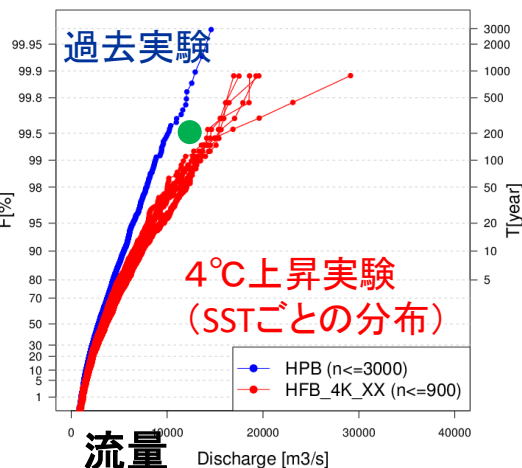


# d4PDFを用いた淀川、庄内川および荒川の 年最大時間流量の確率分布

淀川流域(枚方)

Qpeak\_All

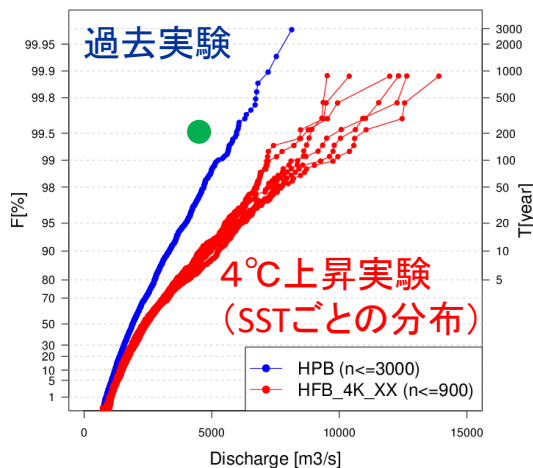
非超過確率



- 基本高水(1/200確率)  
17,500 m³/sec
- 計画高水流量(1/200確率)  
12,000m³/sec
- 過去実験(1/200超過確率)  
10,100m³/sec
- 将来実験(1/200超過確率)  
15,200m³/sec

庄内川流域(枇杷島)

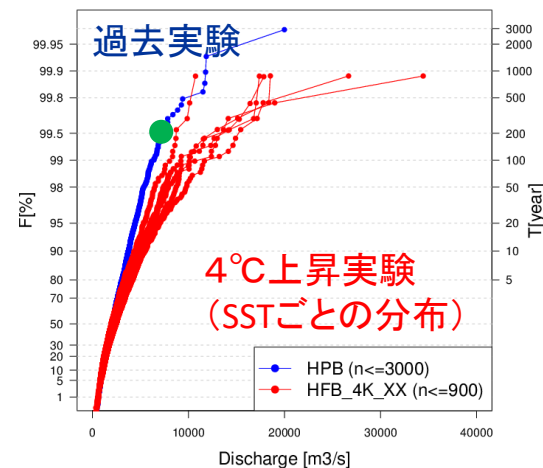
Qpeak\_All



- 基本高水(1/200確率)  
4,700 m³/sec
- 計画高水流量(1/200確率)  
4,400m³/sec
- 過去実験(1/200超過確率)  
6,000m³/sec
- 将来実験(1/200超過確率)  
9,500m³/sec

荒川流域(岩淵)

Qpeak\_All



- 基本高水(1/200確率)  
14,800 m³/sec
- 計画高水流量(1/200確率)  
7,000m³/sec
- 過去実験(1/200超過確率)  
7,600m³/sec
- 将来実験(1/200超過確率)  
12,800m³/sec

■青色の折れ線: d4PDF(過去実験)を用いた流量計算による年最大時間流量の頻度分布。3000個のデータ(60年×50アンサンブル)を用いて非超過確率(ワイブル公式)と年最大時間時間流量を表示した。

■赤色の折れ線: d4PDF(4°C上昇実験)を用いた流量計算による年最大時間流量の頻度分布。SSTごとに900個のデータ(60年×15アンサンブル)を用いて非超過確率(ワイブル公式)と年最大時間流量を表示した。

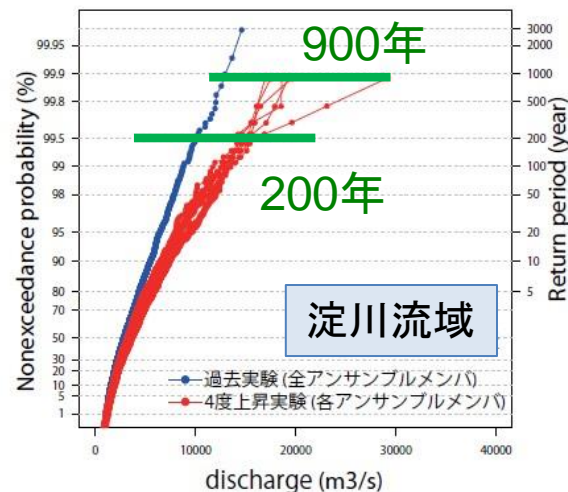
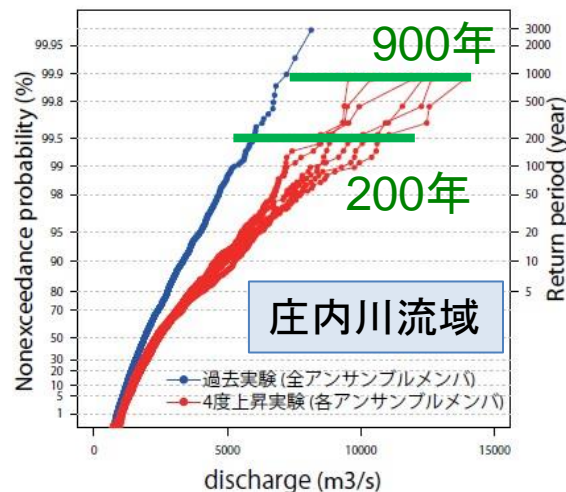
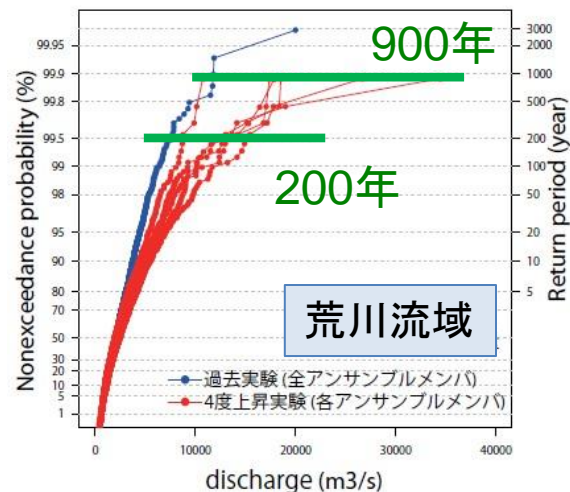
■緑点: 計画高水流量

立川ら(2016)



# d4PDFを用いた109河川流量極値の変化

年最大時間流量の確率プロット。青線：過去実験、赤線：4度上昇実験（SST設定ごとの確率プロット）



流域		年最大流量 (m³/sec)			
		再現期間200年		再現期間900年	
		過去実験	4度上昇実験* <sup>1</sup>	過去実験	4度上昇実験* <sup>2</sup>
荒川(岩淵)		7,611	12,801	11,780	20,934
庄内川(枇杷島)		5,975	9,525	7,240	11,794
淀川	ダムあり	10,100	15,165	12,987	20,168
(枚方)	ダムなし	12,307	18,328	15,723	23,191

1.5 – 1.7 倍増加

1.1 – 1.3 倍増加

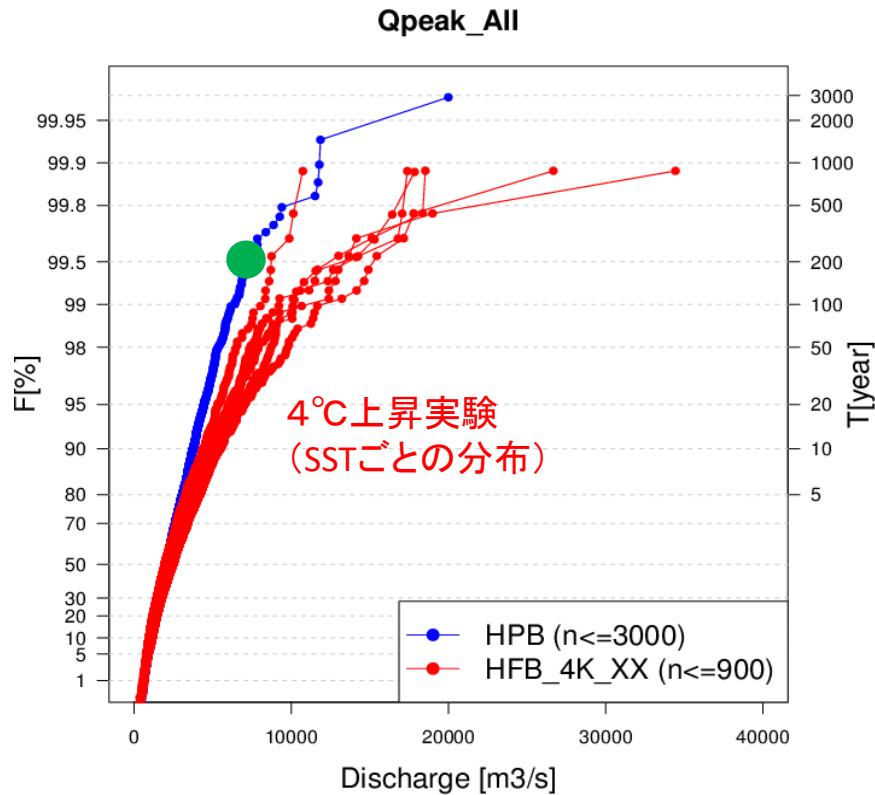
立川ら 2018



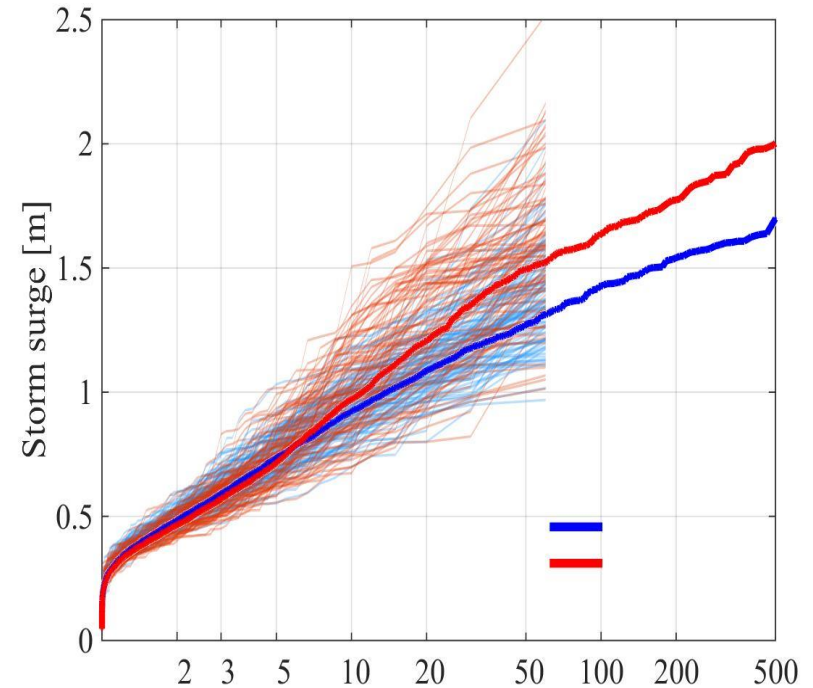
\*1: SSTごとに4度上昇実験アンサンブルデータを同じ母集団からの標本とみなして200年確率値を得て、異なるSSTのそれらを平均した値。

\*2: SSTごとに4度上昇実験アンサンブルデータを同じ母集団からの標本とみなした場合の最大値を得て、異なるSSTのそれらを平均した値。

# メガアンサンブルの利用例

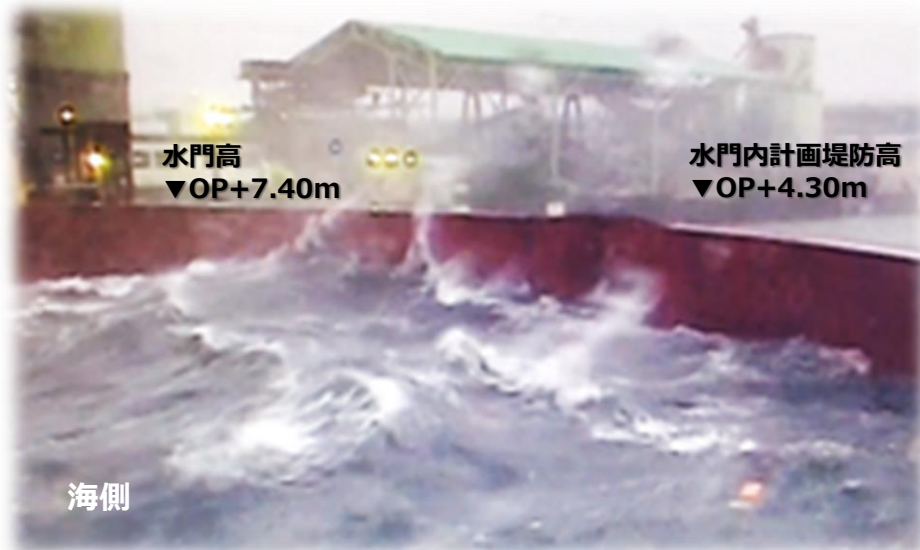


900年系列からの年最大流量推定  
(立川ら2016)



5400年系列からの年最大高潮偏差推定  
(森ら2016)

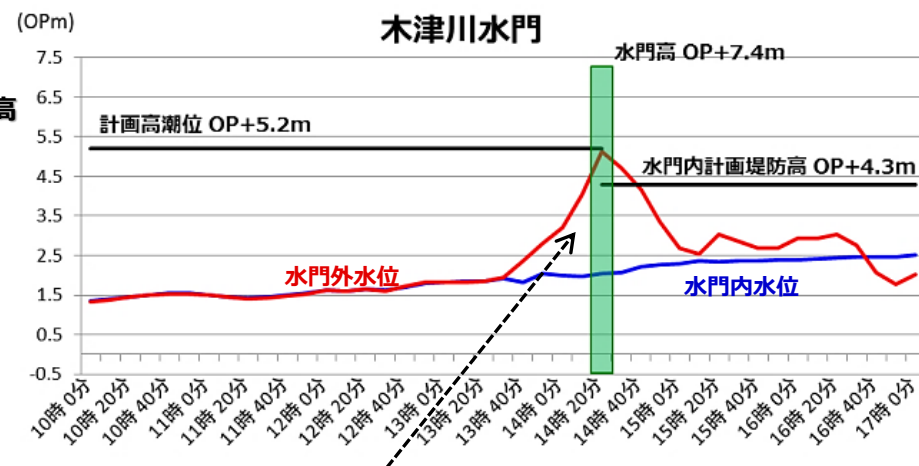
## 防潮水門方式



安治川水門の閉鎖状況



木津川水門の閉鎖状況

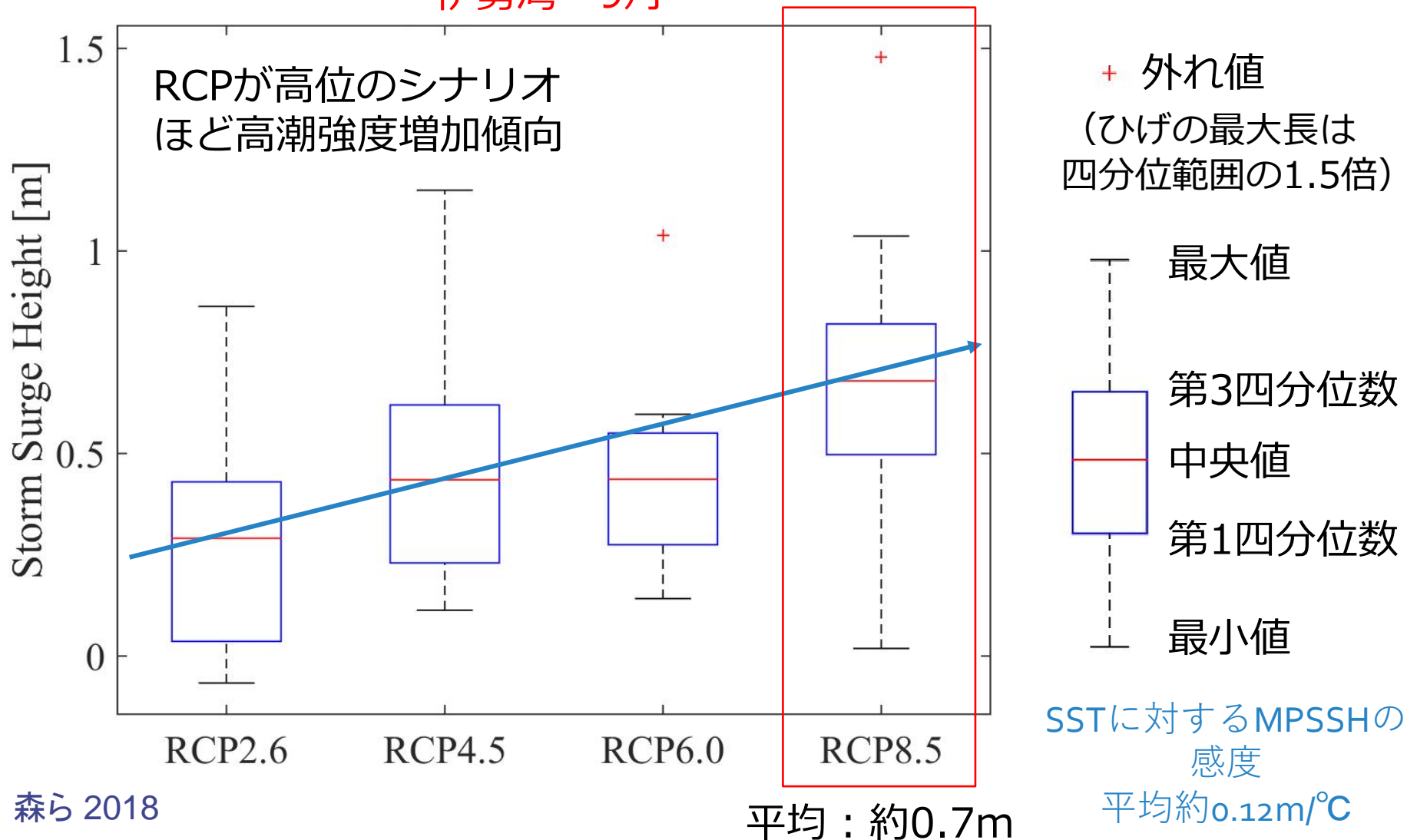


水門の内外で最大約3.0mの水位差が発生

# 可能最大高潮予測モデル開発

## CMIP5:(2075-2099)-(1979-2003)

伊勢湾・9月





- どのような気候予測データセットがあるか
  - GCM、RCMと豪雨災害予測
  - メガアンサンブルとその意味
  - 力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール
- どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか
- **最大クラス予測とは**
- 豪雨災害に対する気候変動適応とは？



SOUSEI



KAKUSHIN



# 最大クラスの気候変動予測とその重要性

## 減災 (Mitigation) と 危機管理 (Crisis Management)



## 防ぐ・防災 (Prevention)



河川流量、  
高潮・高波高

設計値 (Design value)  
(平均何年に一度  
(Return period))

SOUSEI



革新

# 適応に向けて

最悪シナリオ  
(最大外力)  
サバイバビリティ・クリティカル (生  
存の淵、土俵際) から、しなやかによ  
り戻せる足 (社会システム) が、より  
重要となる

減災の対象となる範囲  
= 大規模災害の場合もふくむ

世紀末のデザイン値

将来気候下での推測デザイン  
値には不確定性がある

現気候下での  
デザイン値

河川の流量  
高潮の水位

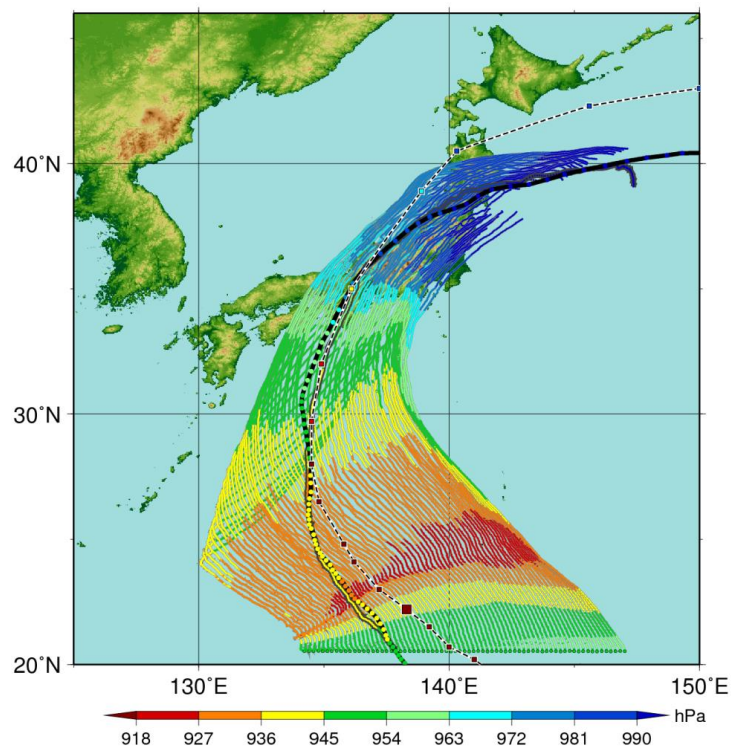
既  
整  
備

気候変動による影響評価では  
= 同じ頻度に対応するデザイン値  
は上昇する。  
= でも、どこまで上昇するかにはあ  
いまいさがある。

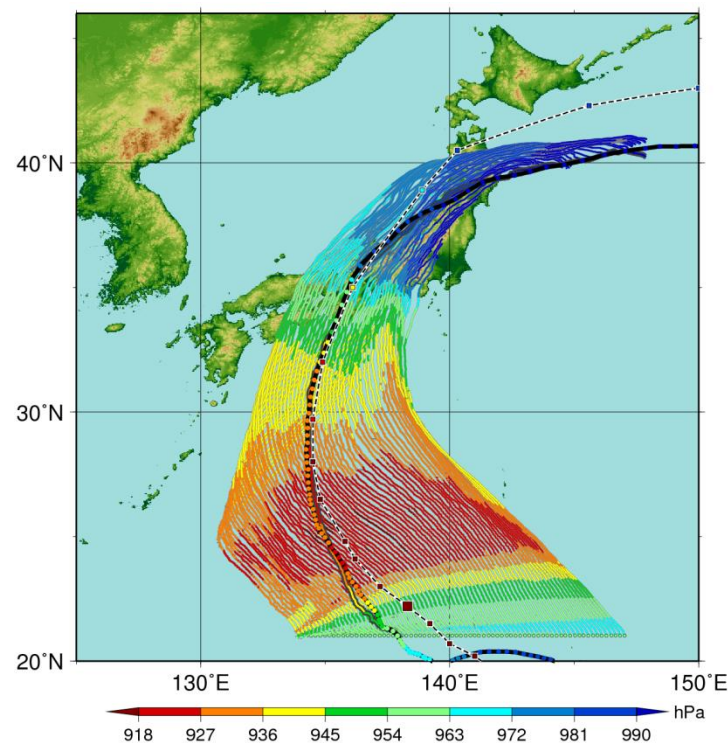
基幹インフラによる防災の対象  
となる範囲  
= 堤防から水は溢れさせない。  
防波堤から水は越えさせない。

# コースシフトと疑似温暖化による最悪シナリオ (伊勢湾台風)

## 実際のコースとコースシフト



## 疑似温暖化後

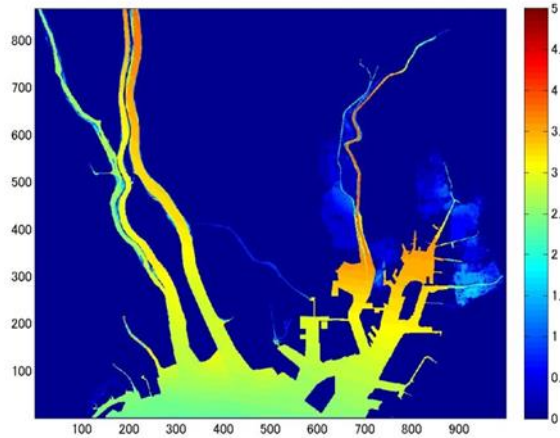


Max. wind	Reproduced	PGW	difference
Ise Bay	35.7(m/s)	41.1(m/s)	+5.4(m/s)
Osaka Bay	32.3	36.3	+4.0

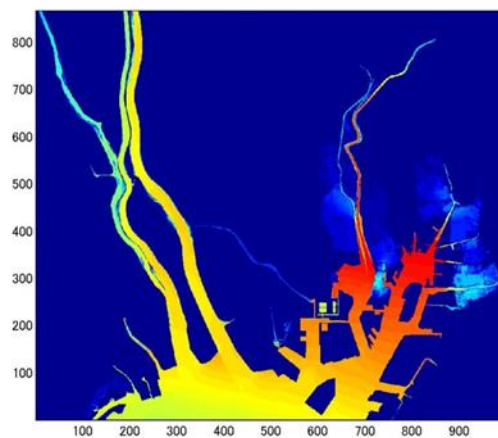
(DPRI : Oku, Takemi, Ishikawa)

# Projected maximum storm surge height with inundation –typhoon Vera at Ise Bay–

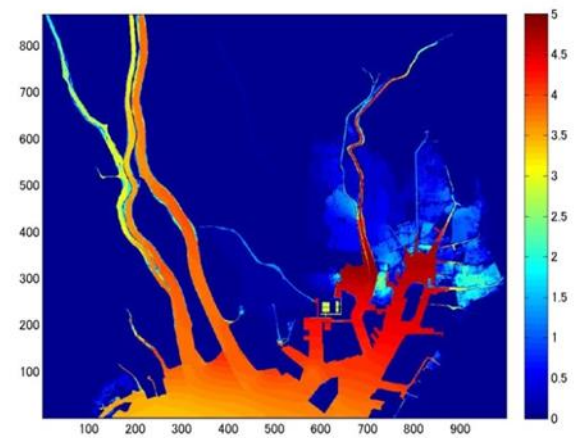
Typhoon Vera  
(historical run)



Extreme typhoon Vera  
(future climate)



Extreme and shifted typhoon Vera  
(future climate+ worst course)



## Multiple flooding disaster (river and storm surge flooding)

- Worst scenario is different between storm surge and river flooding
- Storm surge
  - Key factors: central pressure and track of the typhoon, astronomical tide
- River flooding
  - Key factors: intensity and duration of precipitation



- **どのような気候予測データセットがあるか**
  - GCM、RCMと豪雨災害予測
  - メガアンサンブルとその意味
  - 力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケール
- **どのように豪雨災害予測に使うか、どのようなことが予測されているか**
- **最大クラス予測とは**
- **豪雨災害に対する気候変動適応とは？**



SOUSEI



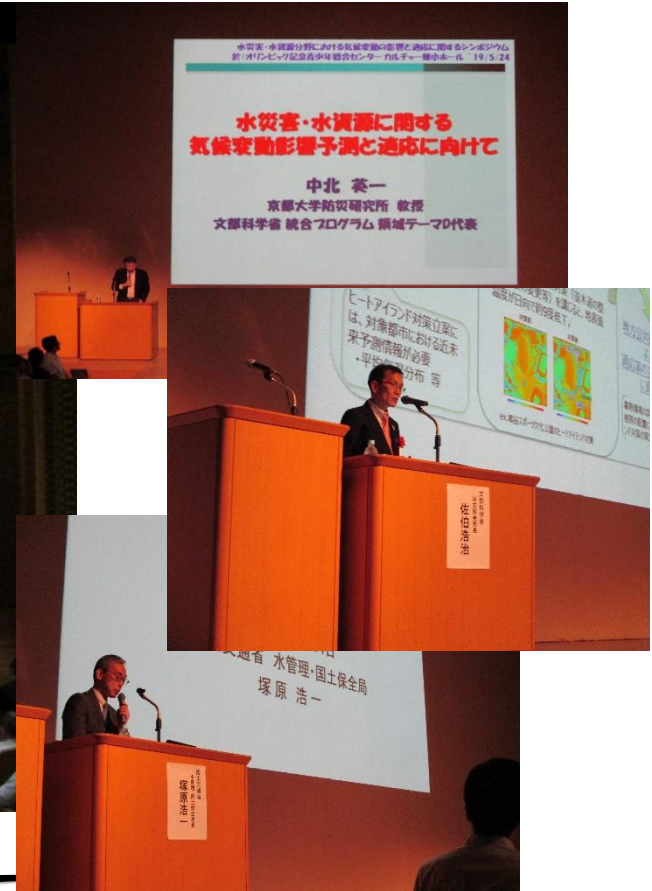
KAKUSHIN



# 気候研究コミュニティ,防災減災研究コミュニティ,実務機関 協働の重要性



# 実務省庁との 研究連絡会やシンポジウムでの協働

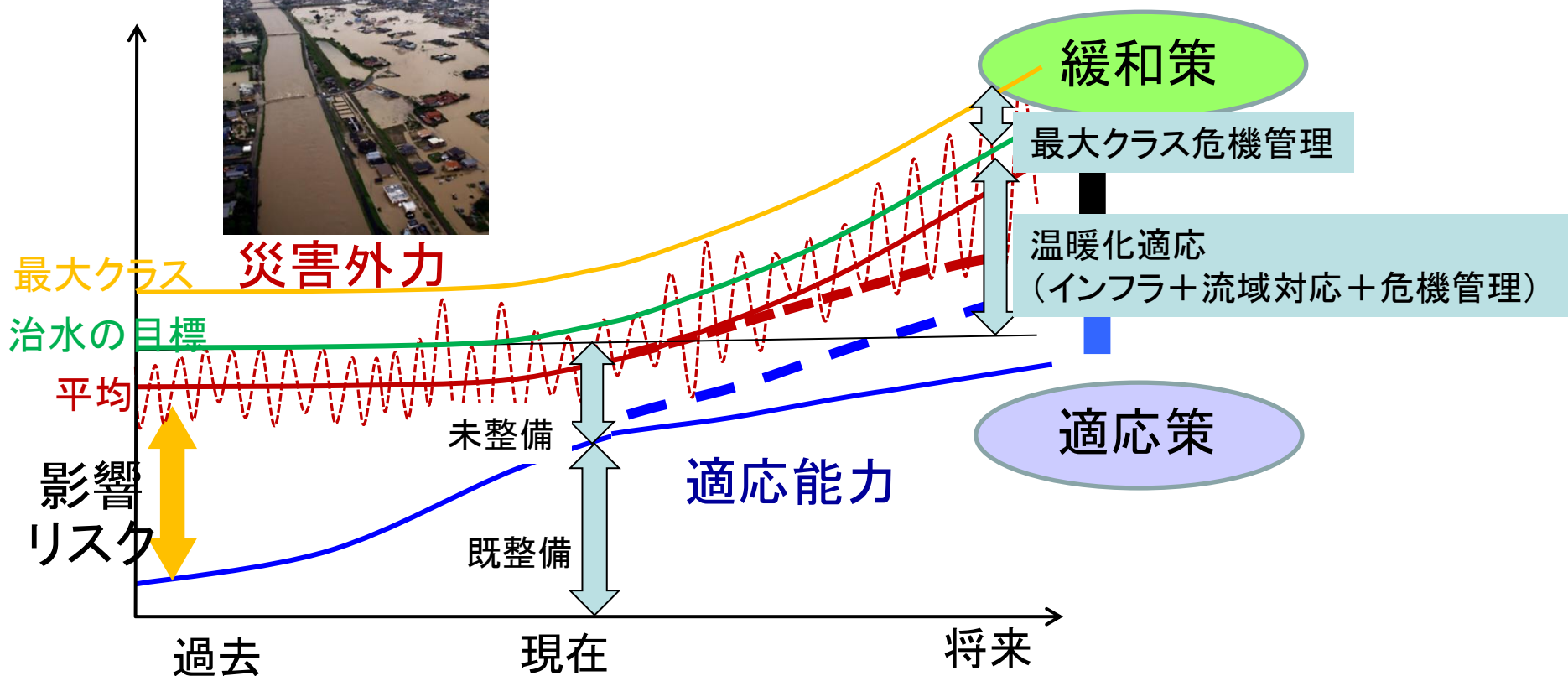


**2019年5月24日 国立オリンピック記念青少年総合センター**

**主催 文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム/文部科学省研究開発局  
/国土交通省 水管理・国土保全局**

**後援 農林水産省農村振興局、環境省地球環境局、京都大学IPCCウィークス、土木学会水工学委員会、  
地球環境委員会、海岸工学委員会、地盤工学委員会、計画学委員会、水文・水資源学会、  
地盤工学会、日本自然災害学会**

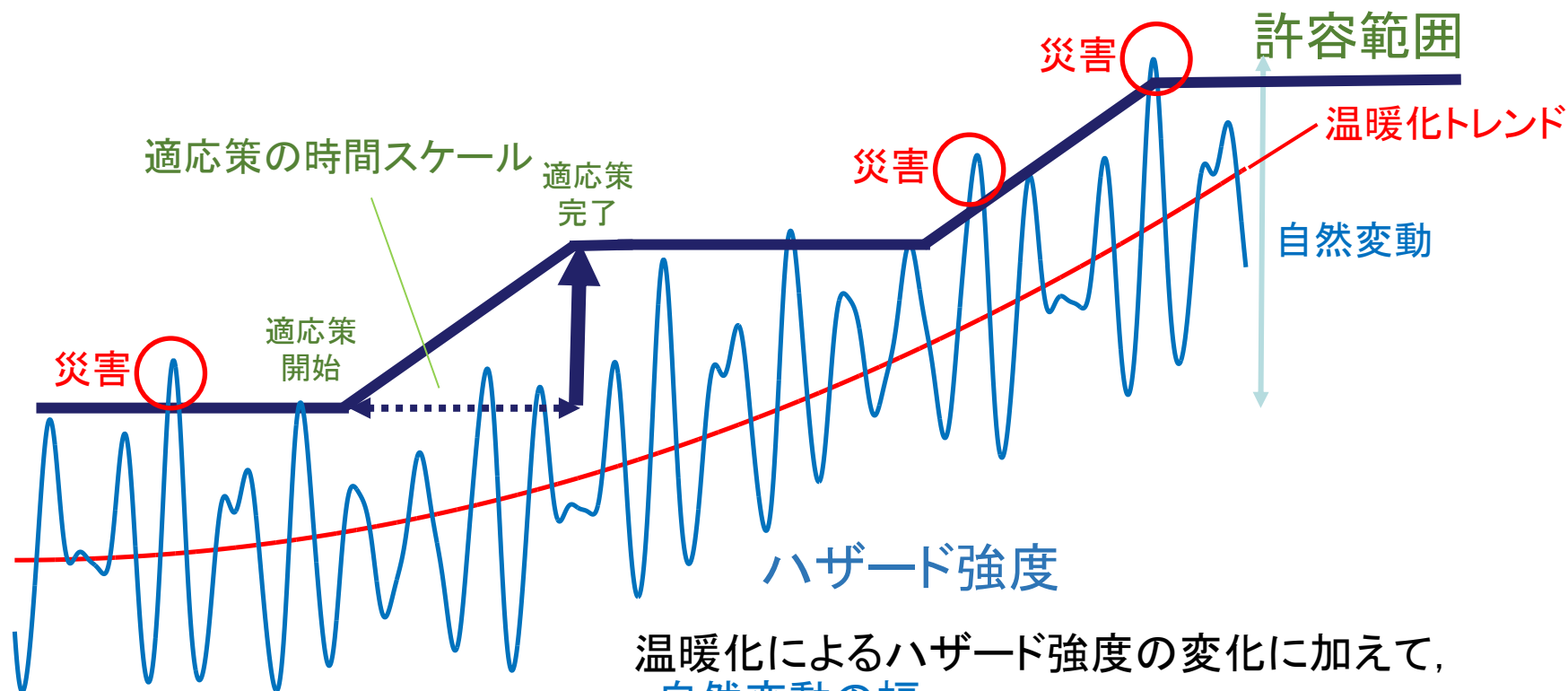
# 適応策の役割



小松(九大、2012)、三村(茨城大、2014)に中北が追加(2019)

# 温暖化に対する順応的適応策の考え方

## 手戻りのない適応・後悔しない適応とは

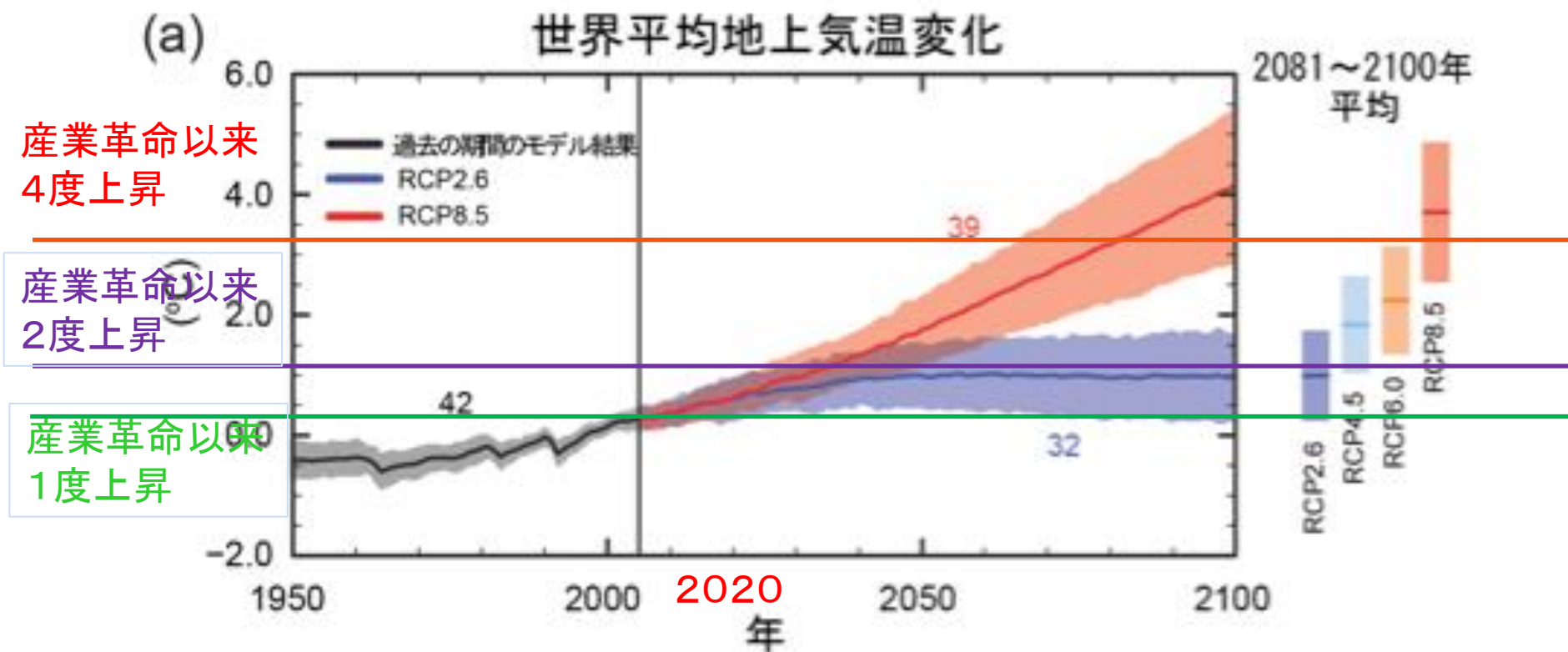


温暖化によるハザード強度の変化に加えて、

- ・自然変動の幅
- ・温暖化影響の時間スケール
- ・適応策の時間スケール
- ・費用対効果

を知ることが重要

# 今世紀末までの世界平均気温変化予測： RCP2.6でも2度上昇は世紀末ではありません



IPCC AR5

IPCC 第5次影響評価報告書



# 温暖化影響予測と適応(1)

- ・ 温暖化の影響が出だしており，後悔しない適応が重要である．科学的将来予測を元にした適応計画を構築し今すぐ実行に移すことが重要である
- ・ 温暖化は時間的にだけではなく東へ北へと地域的にもじわじわと進行する。したがって気候区分の境目での影響も大きい。また、計画降雨を超えるばかりかそれに近い雨量も増加するので未整備のところが目立つようになる。19号台風災害ではこの視点も重要である。どのように温暖化の影響が出だしてきているのかを，継続的に検証し明確化してゆくことも，温暖化適応を促進してゆく上で極めて大事なことである
- ・ 治水としての適応には長い時間を要する。そのことからすれば地球温暖化の進行は速い。今すぐに適応をスタートすること，すなわち，今すぐ，科学的将来予測をもベースに先を見越して考え，新たな考え方ですどう適応するかを決め（計画），そして実行に移してゆくこと（適応）が，「後悔しない適応」である。時間が限られている。

# 温暖化影響予測と適応(2)

- ・ 気候モデルによる時間毎の出力値により、我が国のハザード・水資源の気候変動影響予測が可能となっている。
- ・ 世紀末にかけて、極端現象はよりシリアスになると推測されている。
- ・ 「どれくらい？」が不確定だからといって適応を遅らせていると将来の適応が不可能あるいは困難になる危険性がある。
  - － 今すぐ始める！＝>後悔しない適応
- ・ 実践を通しての気候変動適応もボトムアップとしてひとつひとつ進める。
  - － まずこの認識を持つことが大事
  - － 現在進行している対策も大切な温暖化適応である
  - － 現気候下でも気づいていない脆弱性の発掘(災害調査等の重要性)
- ・ 科学的将来予測をベースに進める(基幹インフラの計画)
  - － Step by step の適応 を計画する。手戻りのない適応。
- ・ 最悪の事態も推測した適応(危機管理)を考える。
  - － 気候変動下の最悪の状況をどう適応に組み込んで行くかが重要
- ・ 地域・街・町・都市づくりによる適応



# 適応に向けての大切なこと

1. 対象とする河川流量などの設計値を見直す。
2. 気候変動下での最悪ケース群を想定する。
3. 高い不確実性の中で後悔しない意志決定。
4. 普段の「しんどい管理」の「じわじわ」とした高頻度化、これが今後、現場のしんどさ・疲労増大に結びついてリアルタイム防御システムの安全度を低下させる、そのようなことがないように対応して行く。
5. ギリギリ守ることができた事例も蓄積
6. ダム再生、豪雨・流量予測能力の向上と安心できる操作規則
7. 猛暑や水不足など、普段の場のじわじわ変化への適応
8. 治水の基礎力(基幹インフラ)、危機管理能力、自助共助により防災・減災力の向上
9. 可道内と外(堤外と堤内)を一体化した治水
10. シリアスに早期に逃げること。やばいと感じること。
11. 危険な場所には住まないこと。



SOUSEI



KAKUSHIN

# 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言の概要(国土交通省)

## I 顕在化している気候変動の状況

- ・IPCCのレポートでは「気候システムの温暖化には疑い余地はない」とされ、実際の気象現象でも気候変動の影響が顕在化

### <顕在化する気候変動の影響>

	既に発生していること	今後、予測されること
気温	・世界の平均気温が1850～1900年と2003～2012年を比較し <b>0.78℃上昇</b>	・21世紀末の世界の平均気温は更に <b>0.3～4.8.℃上昇</b>
降雨	・豪雨の発生件数が約30年前の <b>約1.4倍に増加</b> ・平成30年7月豪雨の陸域の総降水量は約 <b>6.5%増</b>	・21世紀末の豪雨の発生件数が <b>約2倍以上に増加</b> ・短時間豪雨の発生回数と降水量がともに増加 ・ <b>流入水蒸気量の増加</b> により、総降水量が増加
台風	・H28年8月に北海道へ <b>3つの台風が上陸</b>	・日本周辺の <b>猛烈な台風の出現頻度が増加</b> ・ <b>通過経路が北上</b>

## II 将来降雨の変化

### <将来降雨の予測データの評価>

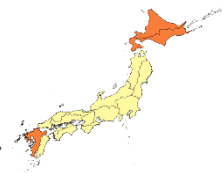
- ・気候変動予測に関する技術開発の進展により、地形条件をより的確に表現し、治水計画の立案で対象とする台風・梅雨前線等の気象現象をシミュレーションし、災害をもたらすような極端現象の評価ができる大量データによる気候変動予測計算結果が整備

### <将来の降雨量の変化倍率> <暫定値>

- ・RCP2.6(2℃上昇相当)を想定した、将来の降雨量の変化倍率は全国平均約1.1倍

<地域区分ごとの変化倍率\*>

地域区分	RCP2.6 (2℃上昇)	RCP8.5 (4℃上昇)
北海道北部、北海道南部、九州北西部	1.15倍	1.4倍
その他12地域	1.1倍	1.2倍
全国平均	1.1倍	1.3倍



※IPCC等において、定期的に予測結果が見直されることから、必要に応じて見直す必要がある。  
※沖縄や奄美大島などの島しょ部は、モデルの再現性に課題があり、検討から除いている

## III 水害対策の考え方

水防災意識社会の再構築する取り組みをさらに強化するため

- ・気候変動により増大する将来の水害リスクを徹底的に分析し、分かりやすく地域社会と共有し、社会全体で水害リスクを低減する取組を強化
- ・**河川整備のハード整備を充実し、早期に目標とする治水安全度の達成**を目指すとともに、災害リスクを考慮した土地利用や、流域が一体となった治水対策等を組合せ

## IV 治水計画の考え方

- ・気候変動の予測精度等の不確実性が存在するが、現在の科学的知見を最大限活用したできる限り定量的な影響の評価を用いて、治水計画の立案にあたり、実績の降雨を活用した手法から、**気候変動により予測される将来の降雨を活用する方法に転換**
- ・ただし、解像度5kmで2℃上昇相当のd2PDF(5km)が近々公表されることから、河川整備基本方針や施設設計への降雨量変化倍率の反映は、この結果を踏まえて、改めて年度内に設定

### <治水計画の見直し>

- ・パリ協定の目標と整合する**RCP2.6(2℃上昇に相当)を前提に、治水計画の目標流量に反映し、整備メニューを充実**。将来、更なる温度上昇により降雨量が増加する可能性があることも考慮。
- ・気候変動による水害リスクが顕在化する中でも、目標とする治水安全度を確保するため、**河川整備の速度を加速化**

### <河川整備メニューの見直し>

- ・気候変動による更なる外力の変化も想定した、**手戻りの少ない河川整備メニュー**を検討
- ・施設能力や目標を上回る洪水に対し、**地域の水害リスクを低減する減災対策**を検討
- ・雨の降り方(時間的、空間的)や、土砂や流木の流出、内水や高潮と洪水の同時発生など、**複合災害にも効果的な対策**を検討

### <合わせて実施すべき事項>

- ・外力の増大を想定して、**施設の設計や将来の改造を考慮した設計**や、**河川管理施設の危機管理的な運用等**も考慮しつつ、検討を行うこと。
- ・施設能力を上回る洪水が発生した場合でも、被害を軽減する危機管理型ハード対策などの構造の工夫を実施すること。

## V 今後の検討事項

- 気候変動による、**気象要因の分析や降雨の時空間分布の変化、土砂・流木の流出形態、洪水と高潮の同時発生等**の定量的な評価やメカニズムの分析
- 社会全体で取り組む防災・減災対策の更なる強化と、効率的な治水対策の進め方の充実**



# 「流域治水」の施策のイメージ

- 気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、河川の流域のあらゆる関係者が協働して流域全体で行う治水対策、「流域治水」へ転換。
- 治水計画を「気候変動による降雨量の増加などを考慮したもの」に見直し、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、地域の特性に応じ、①氾濫をできるだけ防ぐ、減らす対策、②被害対象を減少させるための対策、③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策をハード・ソフト一体で多層的に進める。

## ① 氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策

### 雨水貯留機能の拡大

[国・市・企業、住民]

雨水貯留浸透施設の整備、  
ため池等の治水利用

集水域

### 流水の貯留

[国・県・市・利水者]

治水ダムの建設・再生、  
利水ダム等において貯留水を  
事前に放流し洪水調節に活用

河川区域

[国・県・市]

土地利用と一体となった遊水  
機能の向上

### 持続可能な河道の流下能力の維持・向上

[国・県・市]

河床掘削、引堤、砂防堰堤、  
雨水排水施設等の整備

### 氾濫水を減らす

[国・県]

「粘り強い堤防」を目指した  
堤防強化等

## ② 被害対象を減少させるための対策

### リスクの低いエリアへ誘導／

### 住まい方の工夫

[国・市・企業、住民]

土地利用規制、誘導、移転促進、  
不動産取引時の水害リスク情報提供、  
金融による誘導の検討

### 氾濫域

### 浸水範囲を減らす

[国・県・市]

二線堤の整備、  
自然堤防の保全



## ③ 被害の軽減、早期復旧・復興のための対策

### 土地のリスク情報の充実

### 氾濫域

[国・県]

水害リスク情報の空白地帯解消、  
多段型水害リスク情報を発信

### 避難体制を強化する

[国・県・市]

長期予測の技術開発、  
リアルタイム浸水・決壊把握

### 経済被害の最小化

[企業、住民]

工場や建築物の浸水対策、  
BCPの策定

### 住まい方の工夫

[企業、住民]

不動産取引時の水害リスク情報  
提供、金融商品を通じた浸水対  
策の促進

### 被災自治体の支援体制充実

[国・企業]

官民連携によるTEC-FORCEの  
体制強化

### 氾濫水を早く排除する

[国・県・市等]

排水門等の整備、排水強化

# そもそも欠けている考え方はないか？

- 災害の形態が変わるのではないか？
  - そもそも、自然ベースの流域・河川・沿岸の姿が変わるのではないか？
  - どういった早さで？
  - これらを科学的に予測する科学技術が重要！
  - それに私達はどう適応して行くのか？（社会、考え方の変化も含め）一ひとつひとつの適応の総体が地域の適応となる！—
  - 誰をハッピーにするのか？ 流域住民である！
- を益々深めてゆかねばならない！



# ご静聴ありがとうございました

影響評価・  
適応策創出  
の仲間です。

写真：宇治川、塔の島





©国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター  
令和2年度気候変動適応研修（中級コース）  
2021年1月29日（金）