

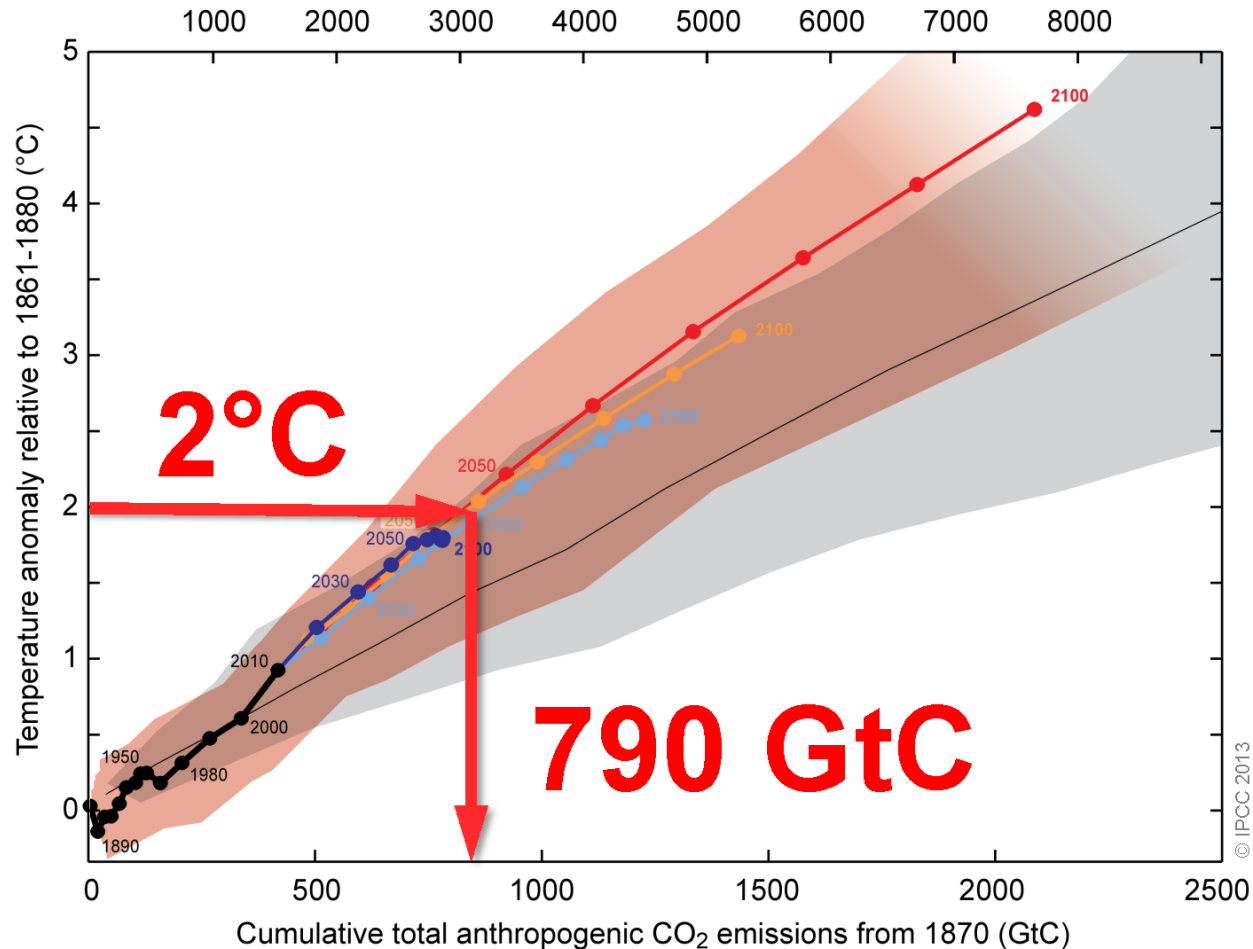
気候変動による 災害環境への影響予測

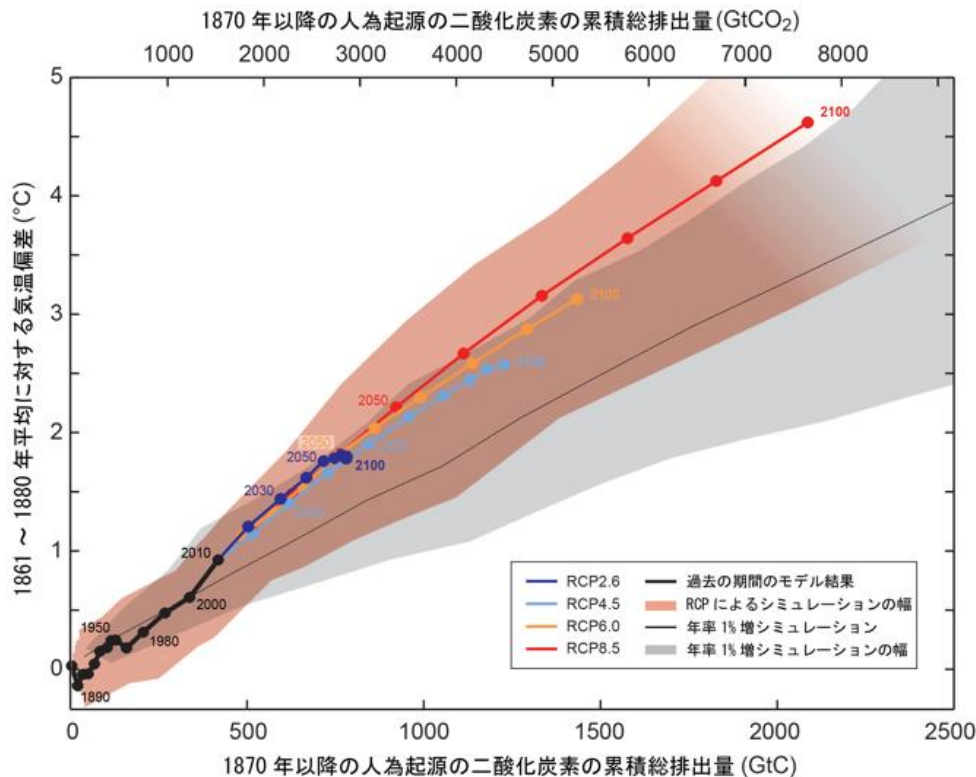
中北 英一

京都大学防災研究所 教授

文部科学省 統合プログラム 領域テーマD代表

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

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

基本的な考え方

統合的気候モデルの
開発・予測コミュニティ
(テーマA、B、C)

・気象・気候の将来変化とその
気候学的科学根拠

実務機関

将来影響評価
・計画論の見直し
・適応策の構築・評価・実施

影響予測

適応策

統合的ハザードモデルの
開発コミュニティ(テーマD)

・ハザードの将来変化や社会影響とその科学的根拠
・計画論も含めた後悔しない適応策の基本的考え方の創出
・適応策の評価手法の構築(後悔しない適応も)

統合的気候モデル
計画論研究プログラム



統合的気候モデル高度化研究プログラム Integrated Research Program for Advancing Climate Models (TOUGOU)



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

(2017-2022)



A 渡部雅浩
(東京大学)

全球規模の気候
変動予測と基盤
的モデル開発

気候モデル
高度化

気候変動予測の不確実
性低減



B 河宮未知生
(JAMSTEC)

炭素循環・気候感
度・ティッピング・
エレメント等の解明

ESMの開発

地球-人間
システム
相互作用

テーマ間
連携支援



C 高数 出
(気象研究所)
(気象業務支援センター)

統合的
気候変動予測

高精度統合型
モデルの開発

汎用シナリオ
整備とメカニ
ズム解明

アジア・太平洋
諸国への展開



D 中北英一
(京都大学)

統合的
ハザード予測

極端現象の
強度と頻度

21世紀末まで
の連続変化

後悔しない
適応戦略

極値評価技術
の開発

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。



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。



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。



* 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。**



KAKUSHIN

革新プログラム「極端現象予測」実験仕様

FY2007-FY2011



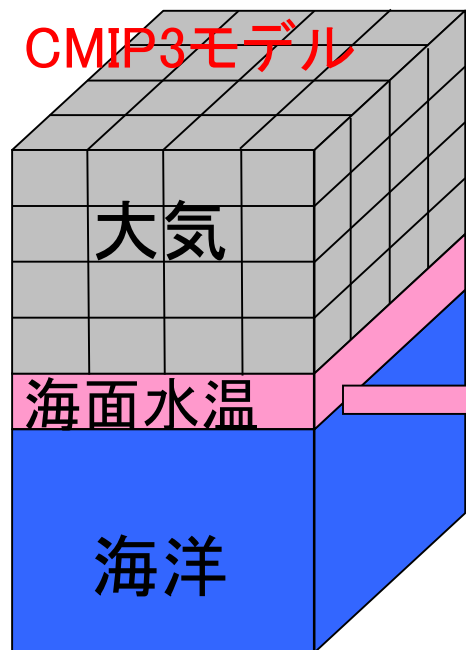
大気海洋結合モデル
による地球温暖化予
測実験

高分解能大気モデルによ
るタイムスライス実験

ネスティングによる領域
タイムスライス実験

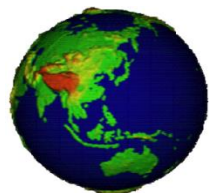
280-120km格子全
球大気モデル

CMIP3モデル



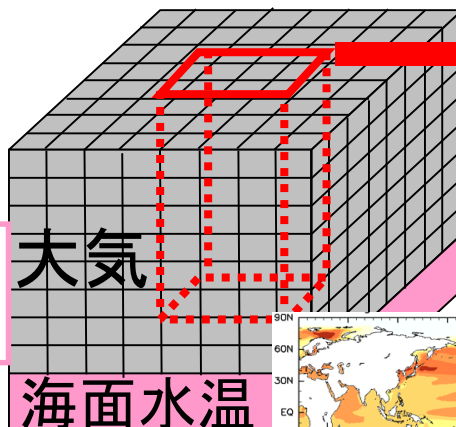
200-50km格子全
球海洋モデル

水平20km格子 全
球大気モデル

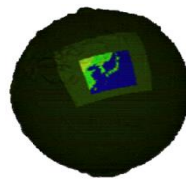


予測した
海面水温

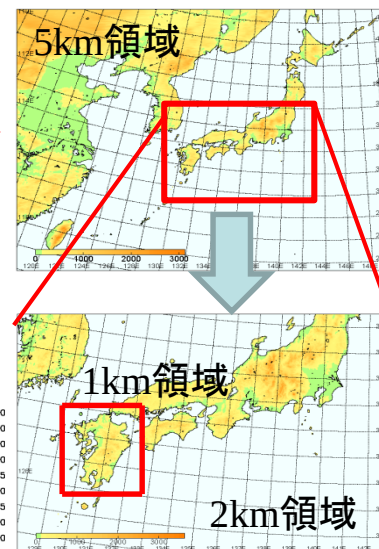
境界条件



水平5km/2km/1km格子雲
解像領域大気モデル



境界条件



海面
水温

現在気候

近未来

21世紀末

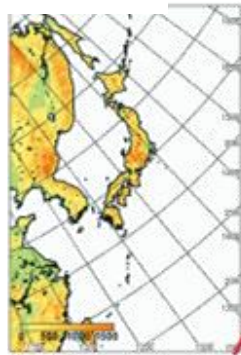
年

1979-2003 2015-2039 2075-2099

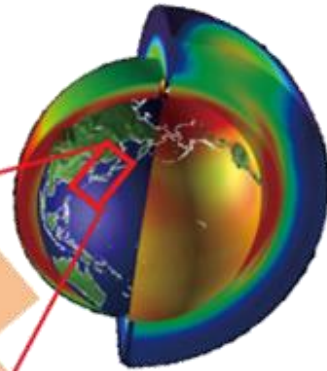
気候モデルを用いた気候変動予測

文部科学省
「気候変動リスク情報
創生プログラム」
(平成24～28年)
**5km解像度
領域気候モデル**

RCM05



(CM
ash)



20km解像度
全球気候モデル
AGCM20

文部科学省: 影響評価のための気候モデルデータの利用(2015)より引用

将来気候

- ・ RCP8.5
- ・ 海面水温(SST)アンサンブル4つ
(アンサンブル平均(c0)
+ 3 クラスタ-c1,c2,c3)

予測の
不確実性を
小さくするため

RCP8.5: 温室効果ガスの
排出量に関して、
特に対策を取らなかった場合の
最悪シナリオ

気候モデルで表現される降雨

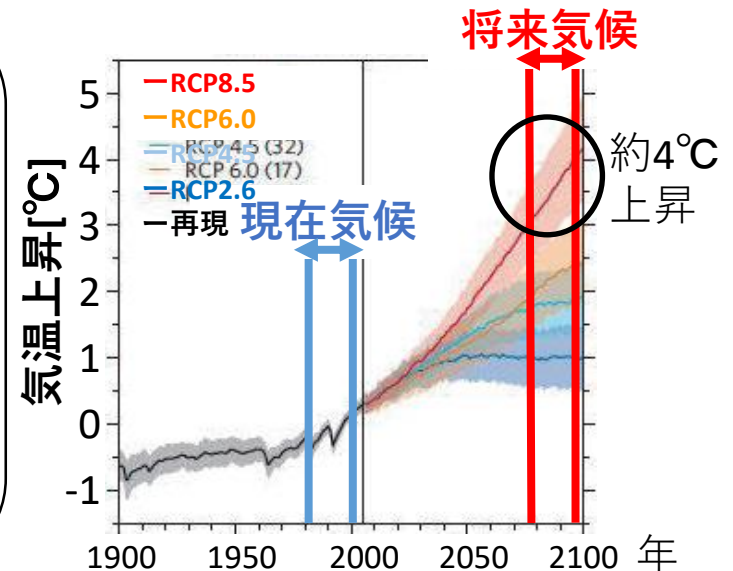
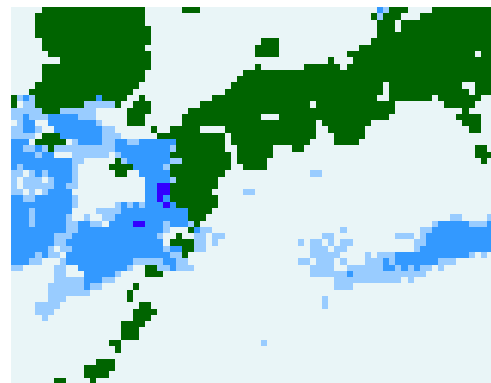
RCM05

(5km領域気候モデル)

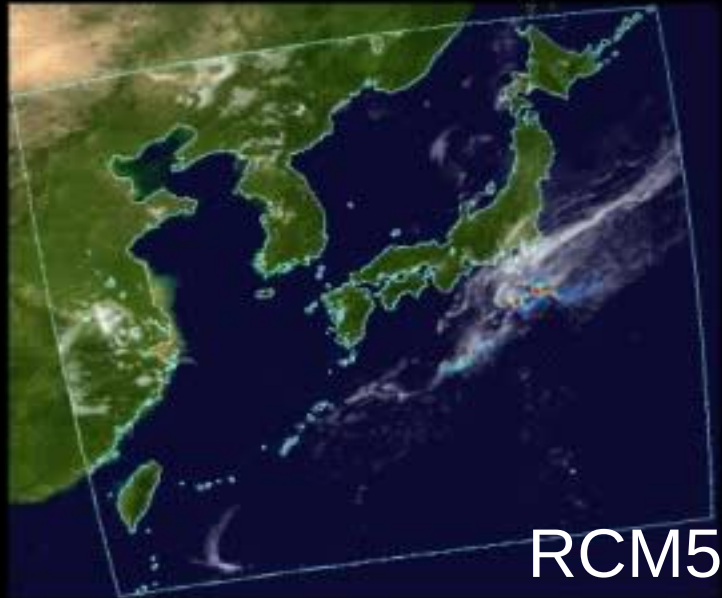


AGCM20

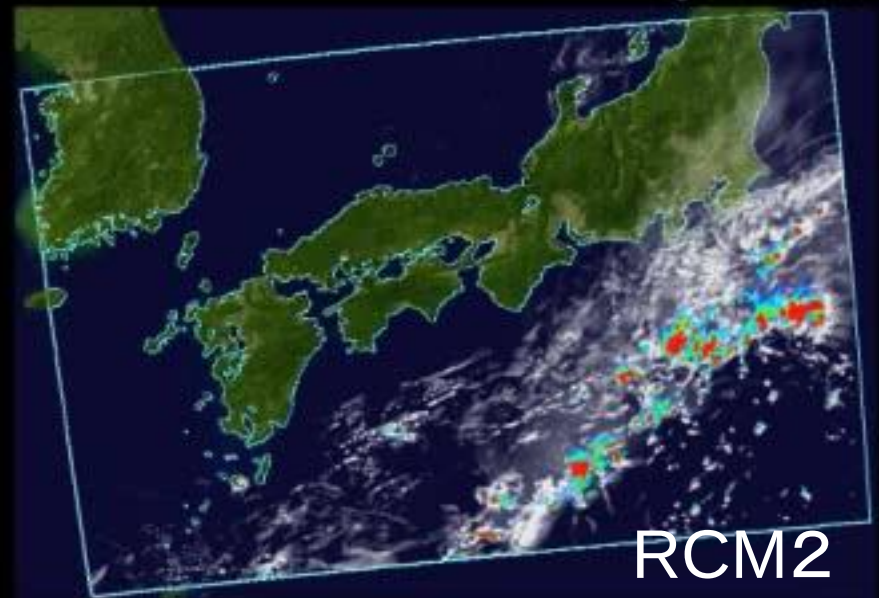
(20km全球気候モデル)



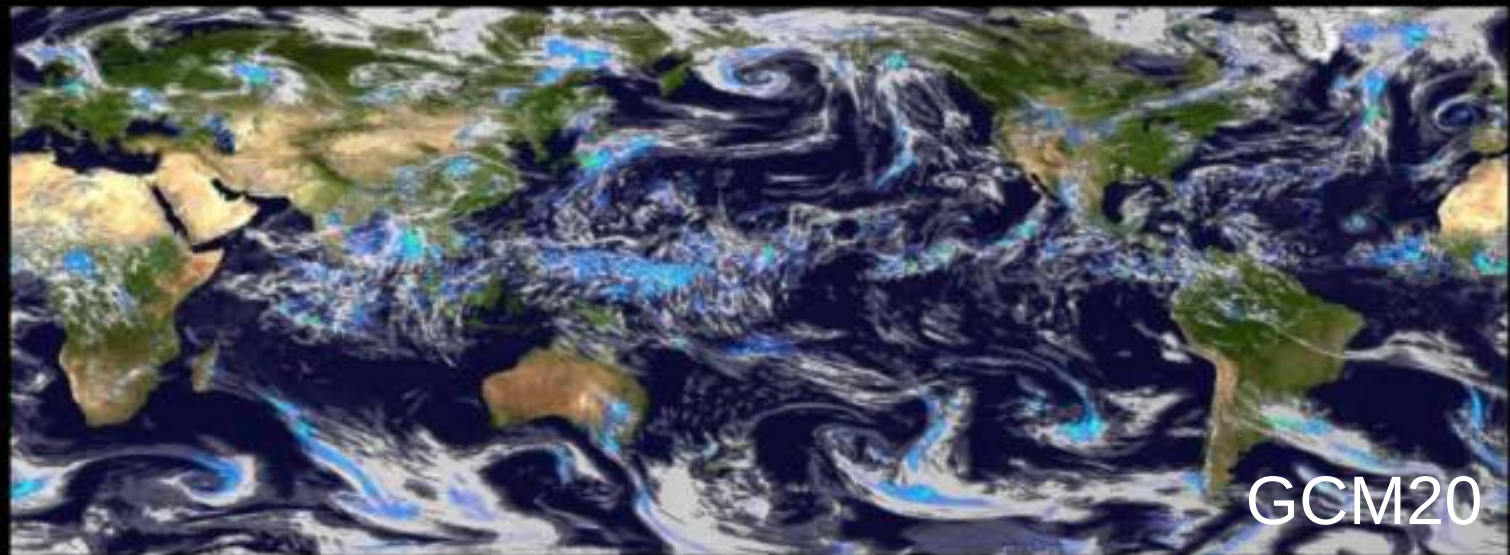
5km Regional Model



2km Regional Model



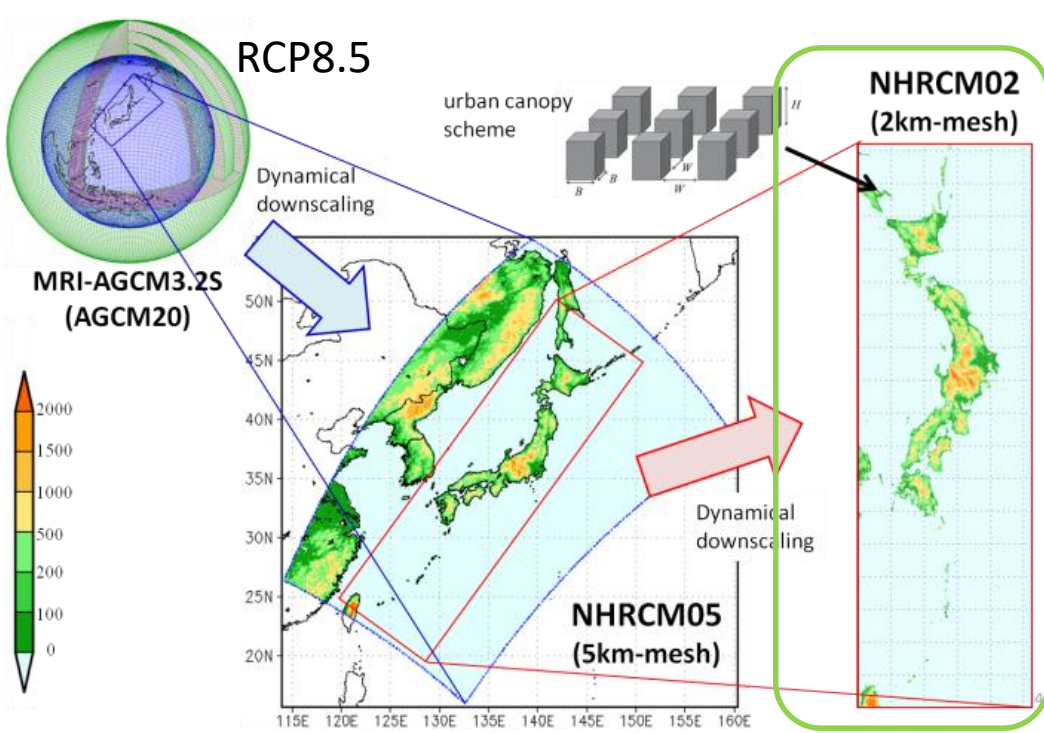
20 km Global Model



05 Sep
208X
00 UTC



使用データ: 気候モデル出力

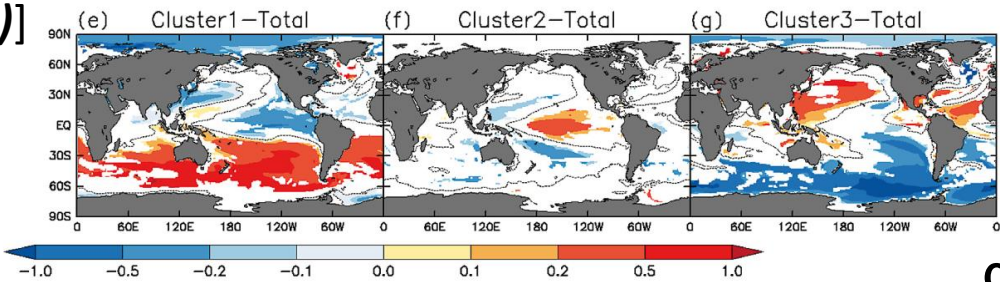


	NHRCM05 (RCM5)	NHRCM02 (RCM2)
Horizontal resolution	5km	2km
Convective scheme	Kain and Fritsch (1993)	対流スキーム無し
Land surface scheme	MRI/JMA-SiB (MJ-SiB: Hirai et al. 2007)	都市グリッド: SPUC (Aoyagi et al. 2011) 非都市グリッド: MJ-SiB
Precipitation output (future cluster)	30分降水量 (en, c1-c3)	10分降水量 (en)
Reference	Sasaki et al. (2011) Murata et al. (2015)	Murata et al. (2017)

Present climate : 1981-2000 (20 years)
 Future climate : 2077-2096 (20 years)

4 kinds of SST ensemble (**RCP8.5**)

- SFA_rcp85: ensemble mean [**en(c0)**]
- SFA_rcp85_c1: cluster1 [**c1**]
- SFA_rcp85_c2: cluster2 [**c2**]
- SFA_rcp85_c3: cluster3 [**c3**]



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

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？



SOUSEI



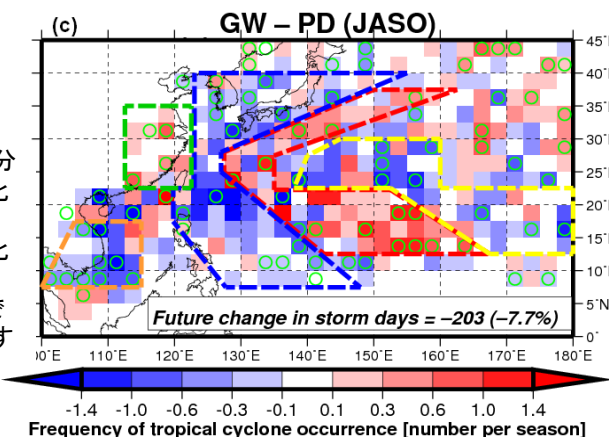
KAKUSHIN

- 100年に一度起こる規模の河川最大流量が九州・四国・近畿・東海地方の太平洋側で増大すること
- 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こと
- ダム操作の有効性が変化すること
- 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・高波が一部の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

沿岸に接近する台風の将来変化

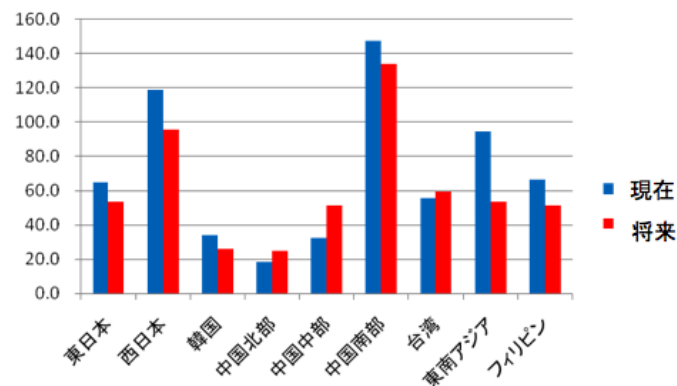
台風存在頻度の 21世紀末将来変化

TC存在頻度分布の将来変化を示す。緑の丸は将来変化が有意水準90%で有意であることを示す

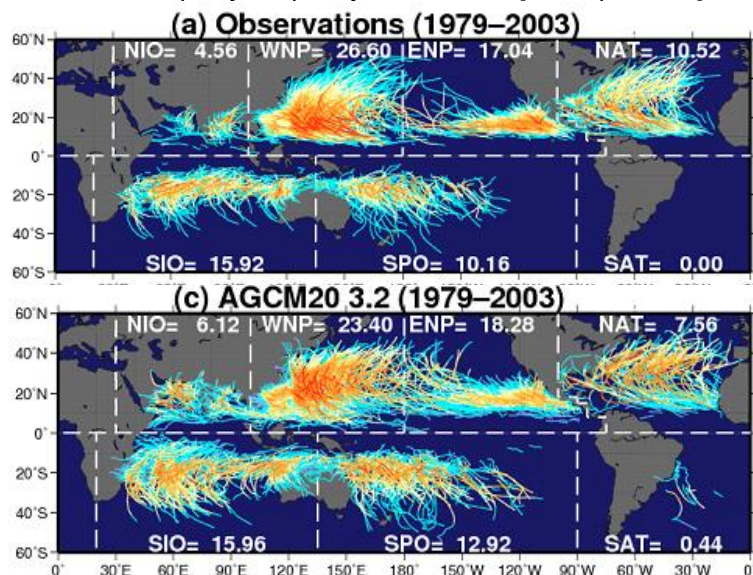


(気象研究所よりスライドを借用)

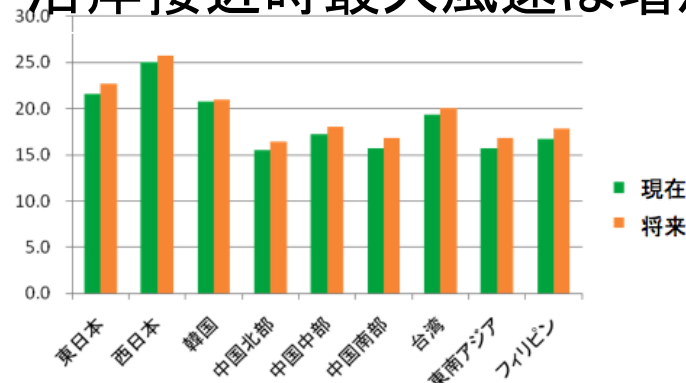
沿岸接近数(25年間)は減少傾向



モデル各地域の陸グリッドから半径200km域内に存在したTCの存在頻度(単位: ストーム日数/25年間)。青色棒グラフは現在気候実験、赤色棒グラフは将来気候実験を示す。



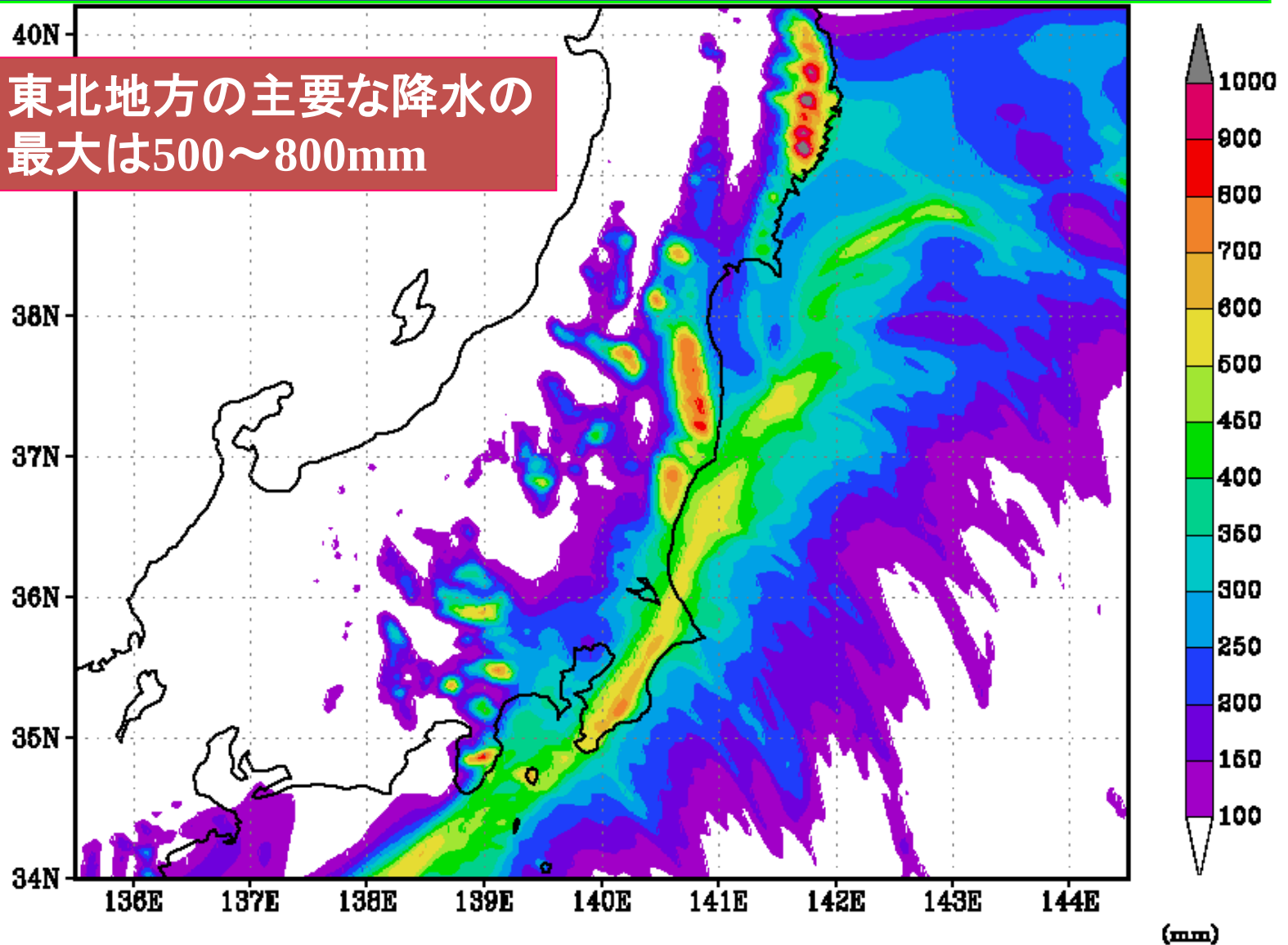
沿岸接近時最大風速は増加

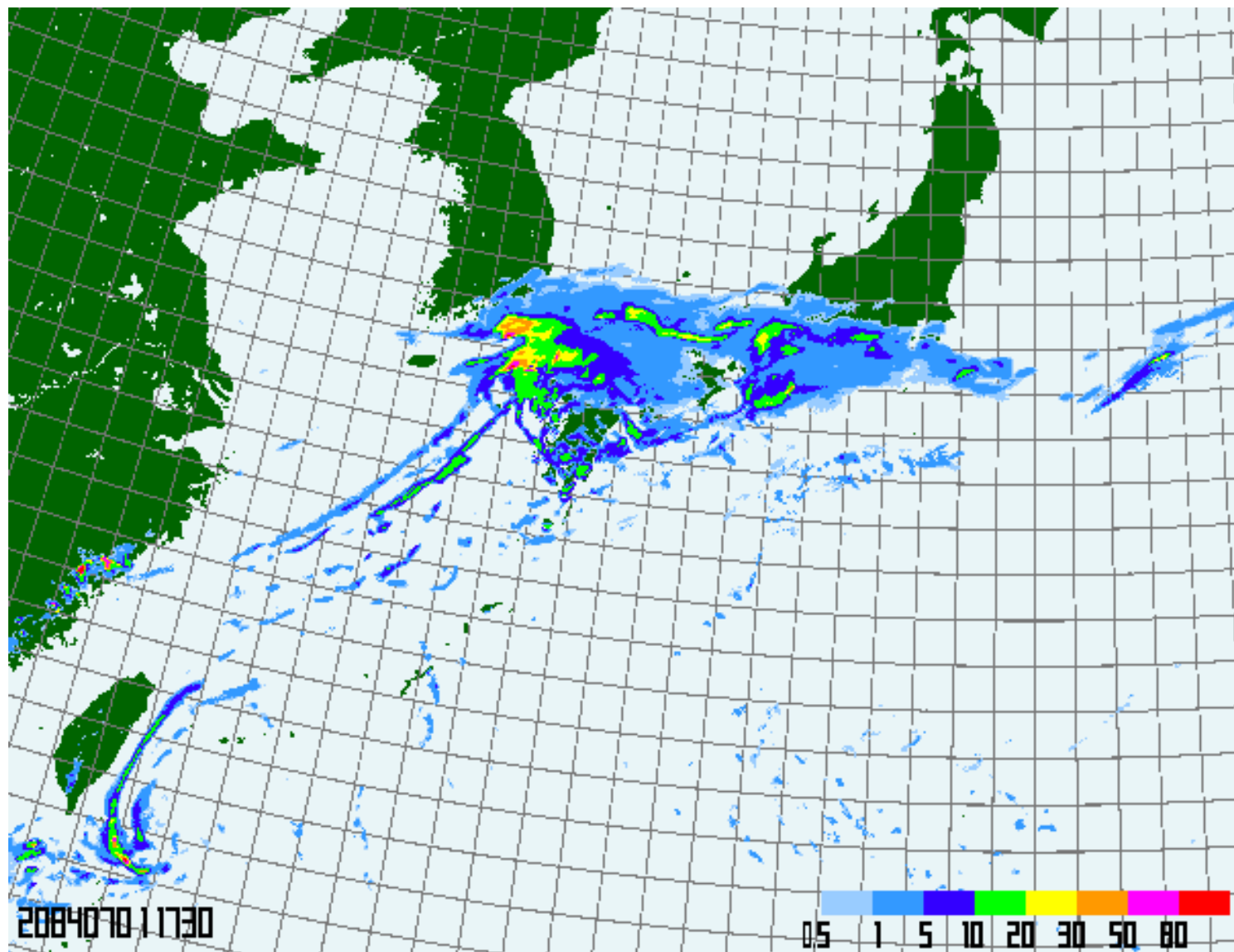


モデル各地域の陸グリッドから半径200km域内に存在したTCの最大風速(ms^{-1})の平均値。緑色棒グラフは現在気候実験、橙色棒グラフは将来気候実験を示す。

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

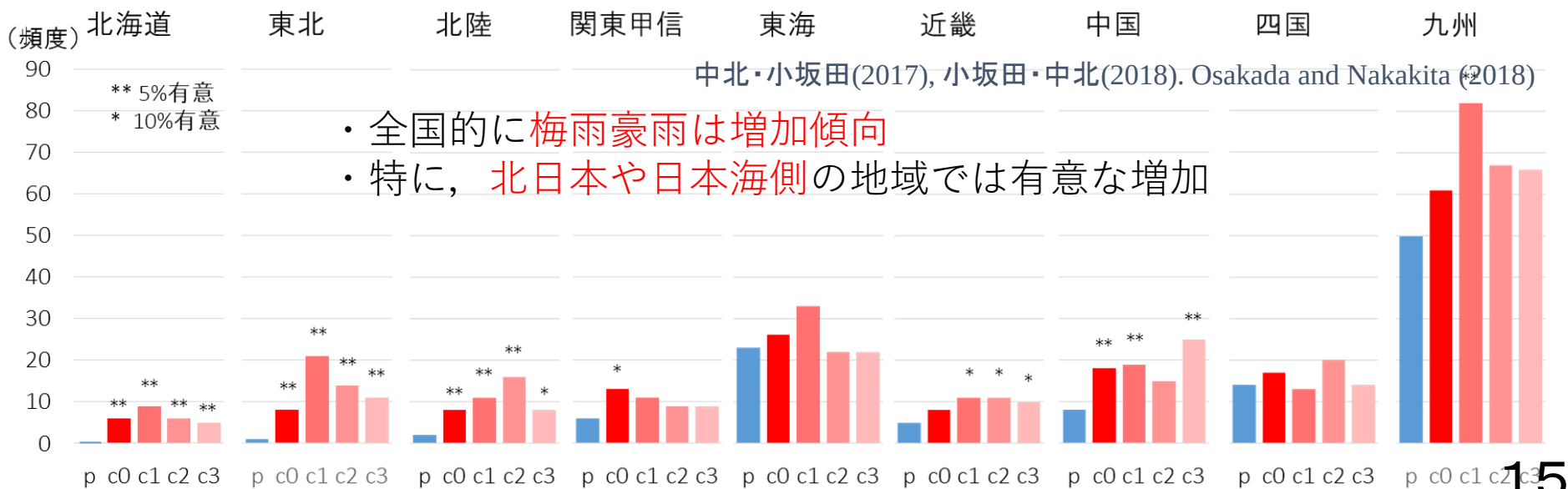
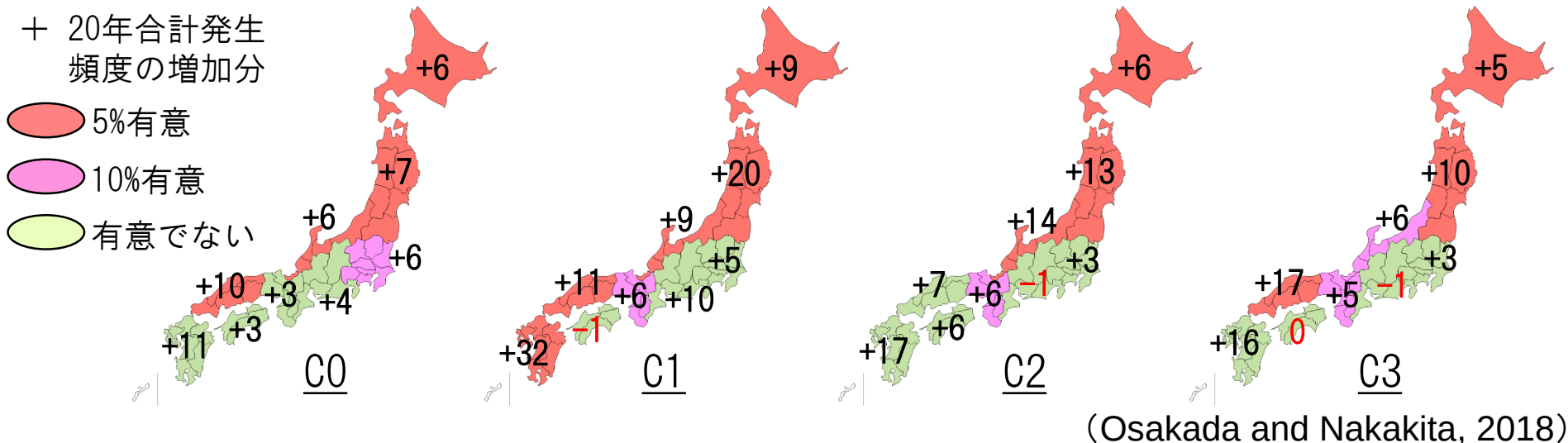




シミュレーション: 気象庁気象研究所

梅雨豪雨発生頻度の将来変化

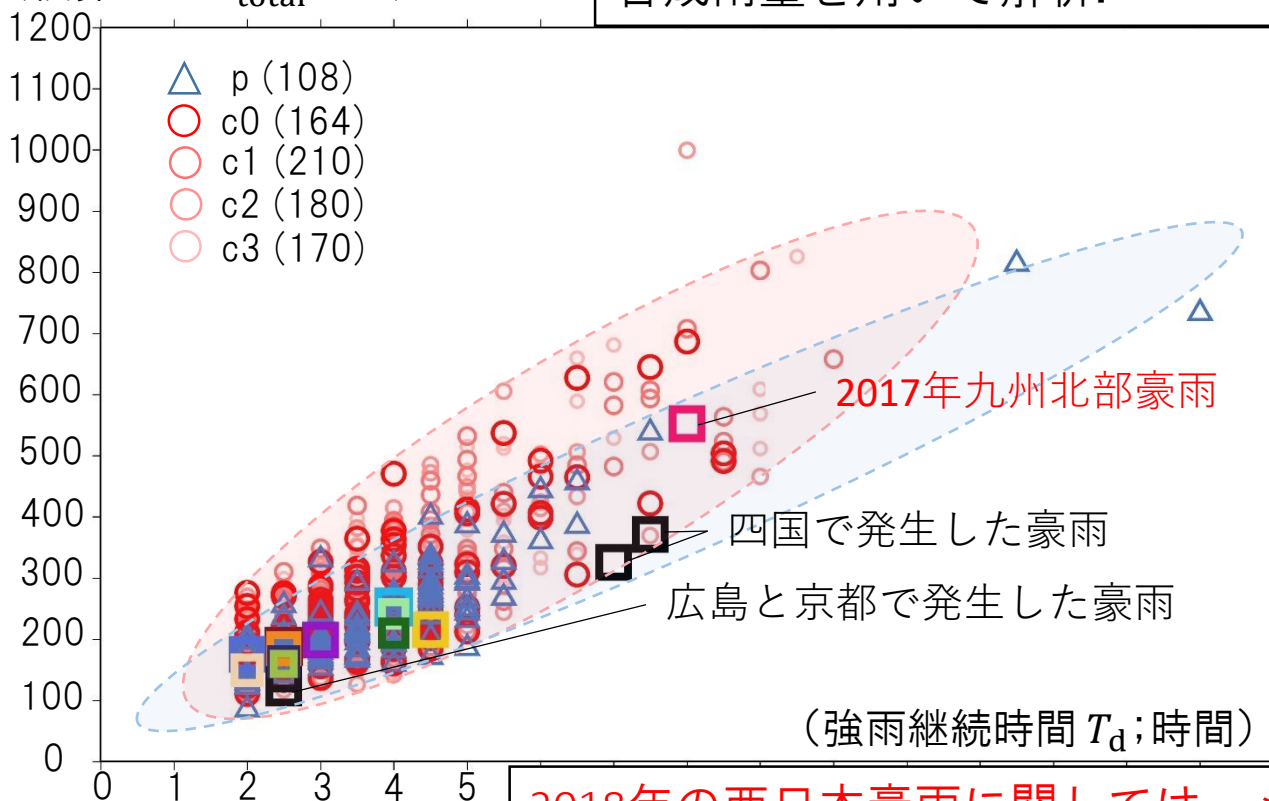
中北・小坂田(2017), 小坂田・中北(2018), Osakada and Nakakita (2018)



過去の梅雨豪雨事例との比較

2018年西日本豪雨において発生した豪雨のうち、**本研究**における“**梅雨豪雨**”の定義に合った豪雨について、CX合成雨量を用いて解析.

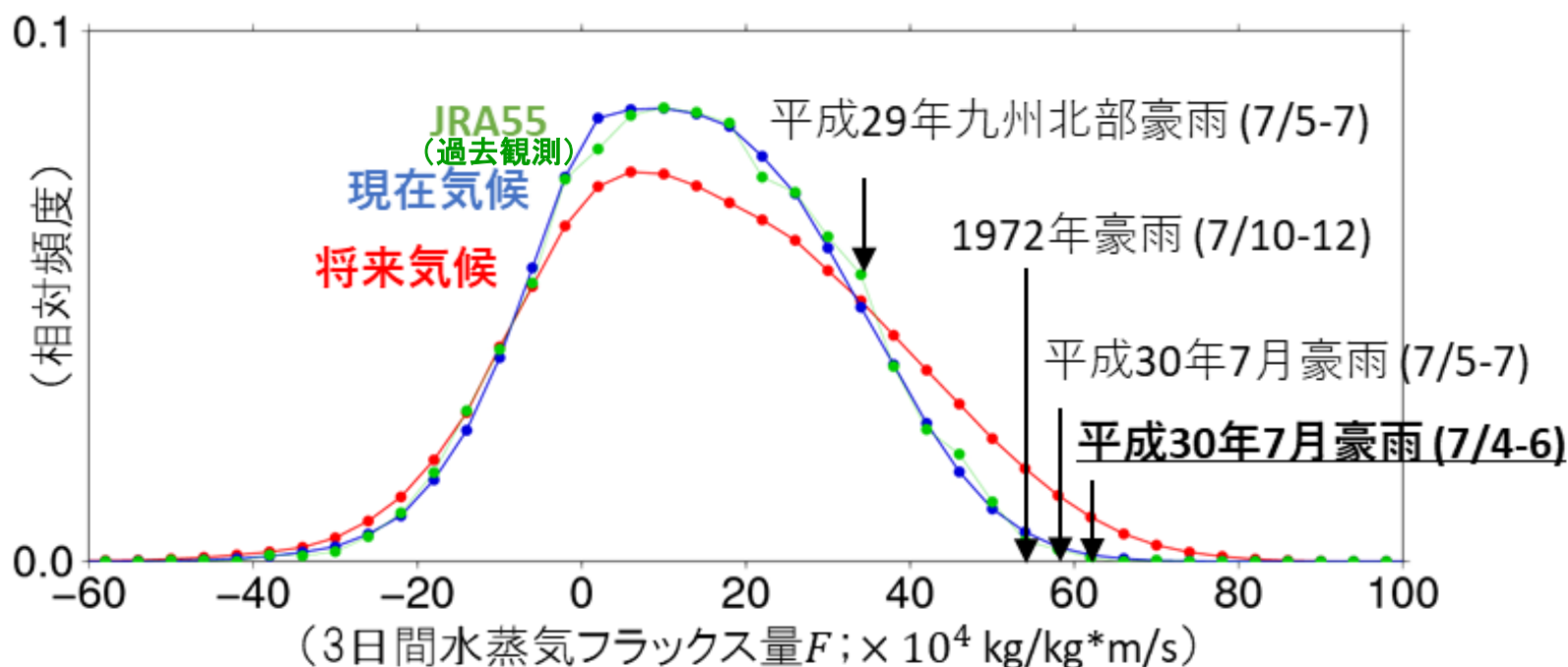
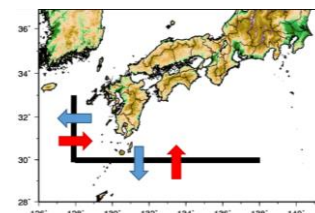
(積算雨量 R_{total} ; mm)



- a. 2017.07.九州北部豪雨 (CX)
- b. 2017.07.島根豪雨 (CX)
- c. 2016.06.熊本豪雨 (CX)
- d. 2014.09.胆振豪雨 (X)
- e. 2014.08.広島豪雨 (X)
- f. 2014.08.福知山豪雨 (X)
- g. 2013.08.島根豪雨 (X)
- h. 2012.08.宇治豪雨 (X)
- i. 2012.07.亀岡豪雨 (X)
- j. 2012.07.北九州豪雨_筑後 (X)
- k. 2012.07.北九州豪雨 (X)
- l. 2010.07.可児豪雨 (X)

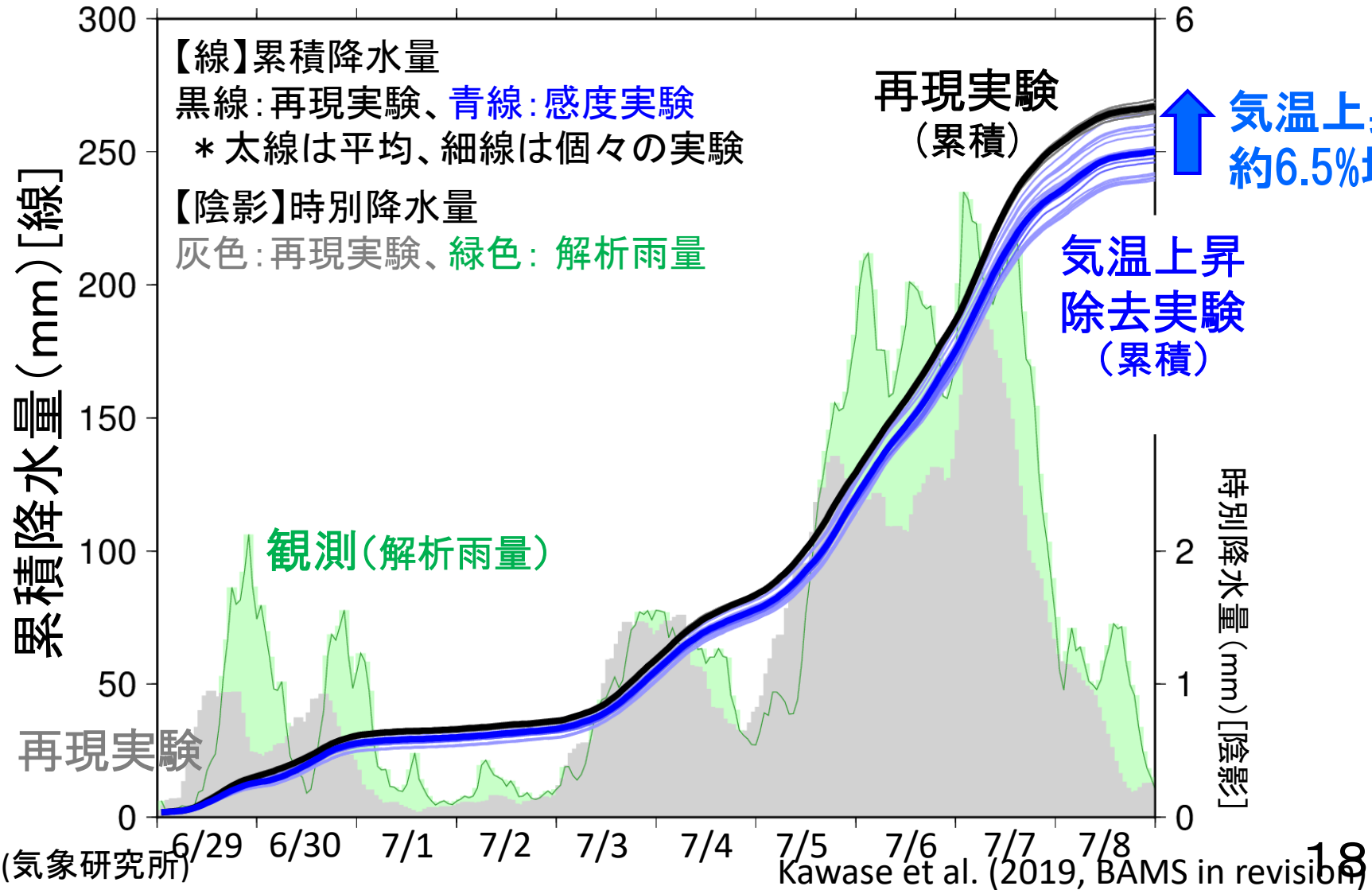
2018年の西日本豪雨に関しては、メソβスケールの梅雨豪雨の定義では、その異常さを評価できない。
→1つ大きなスケールから特徴を捉えることが必要.

西日本豪雨の水蒸気浸潤の異常さ



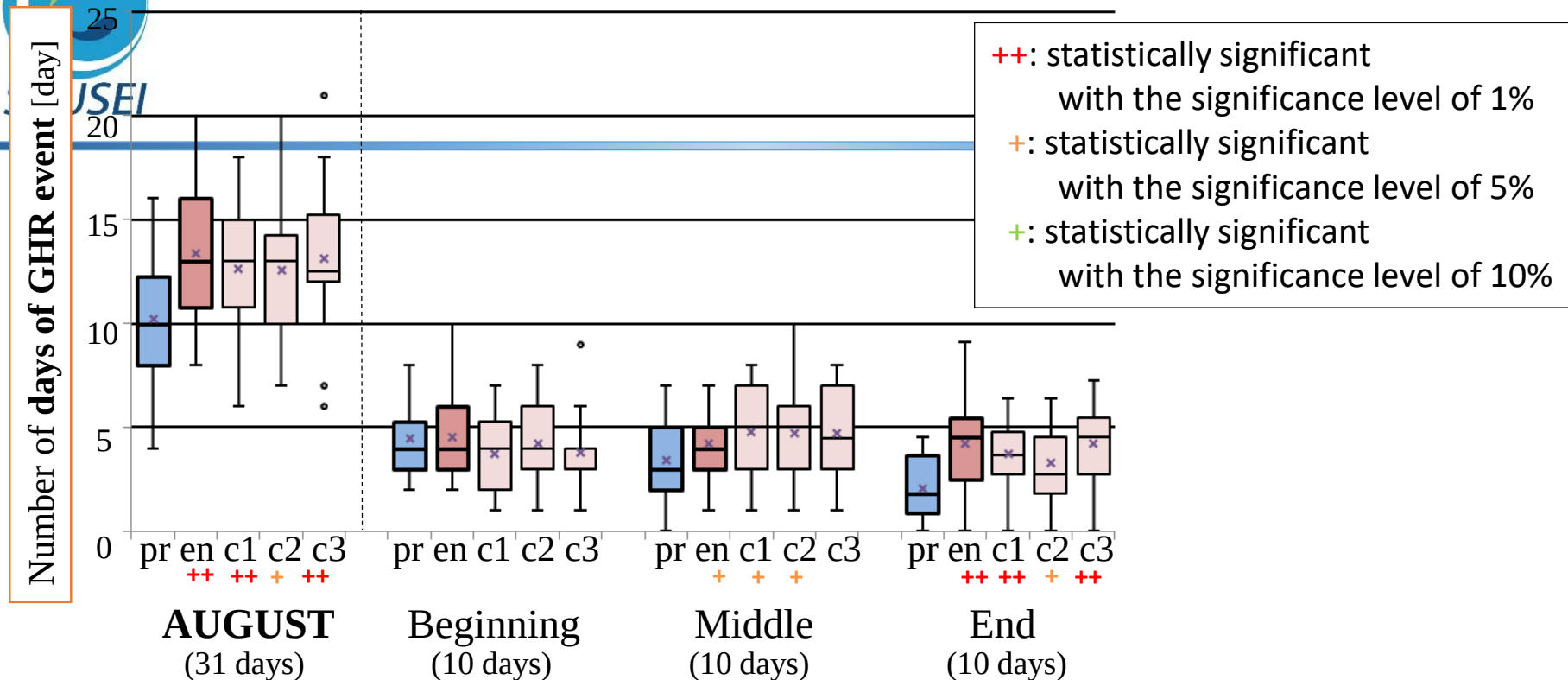
H30年7月豪雨に温暖化がどの程度「量的に」寄与したか？

東日本から西日本の陸上で平均した降水量



「ゲリラ豪雨発生日」の抽出結果(RCM05)

ゲリラ豪雨発生日数(田)



「8月全体」・「8月下旬」→有意な増加(en, c1, c3:有意水準1% c2:有意水準5%)

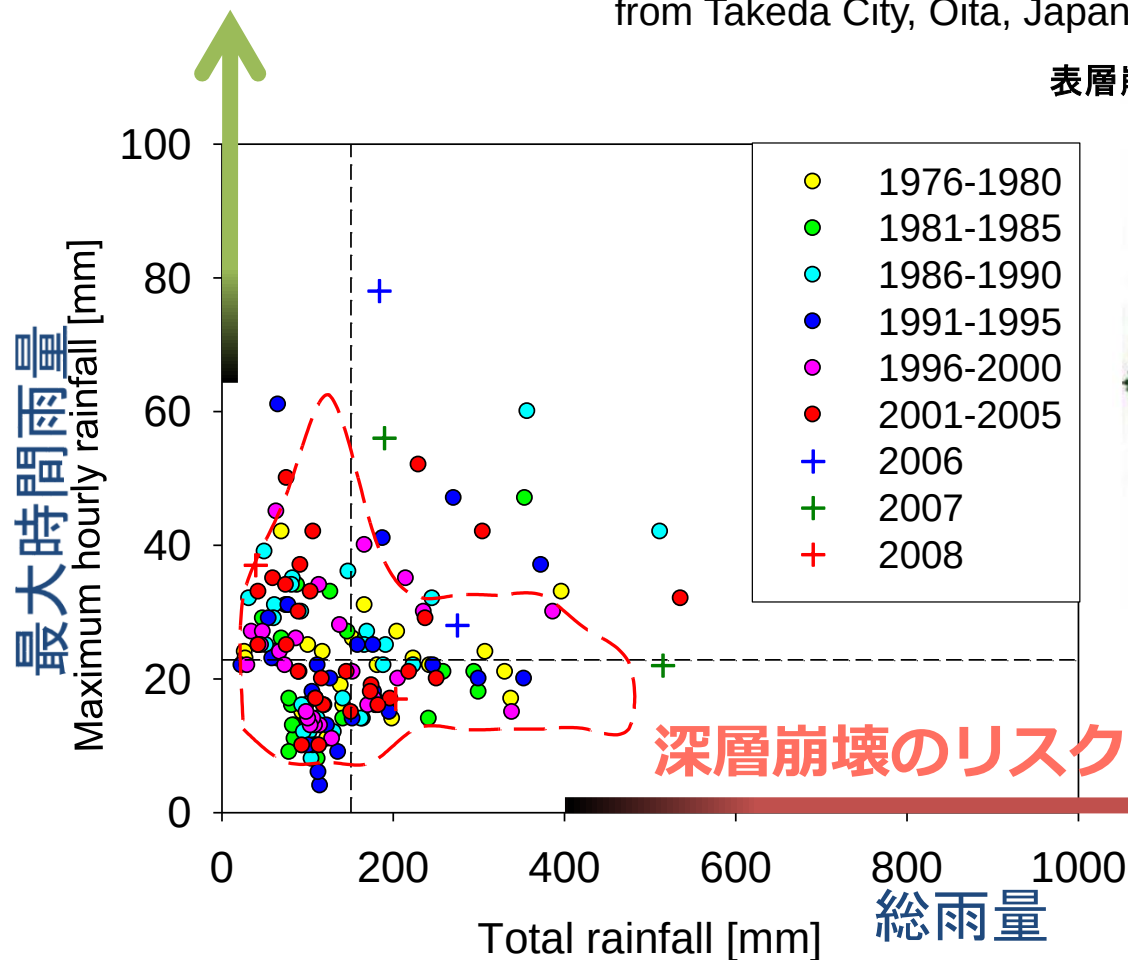
「8月上旬」→有意な変化ではない

「8月中旬」→有意な増加(?) (c1, c2, c3:有意水準5%, en:有意性なし)

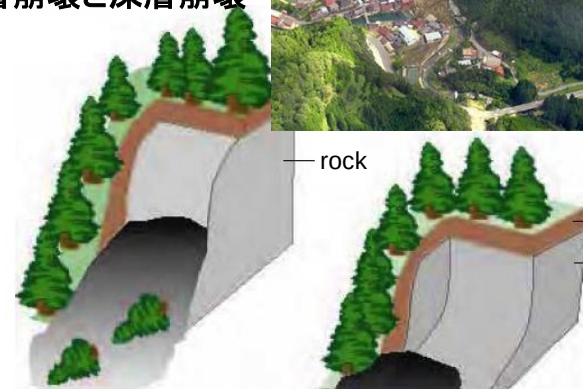
斜面崩壊のリスクの増大

表層崩壊のリスク

Top 20 data of total rainfall and maximum hourly rainfall from Takeda City, Oita, Japan

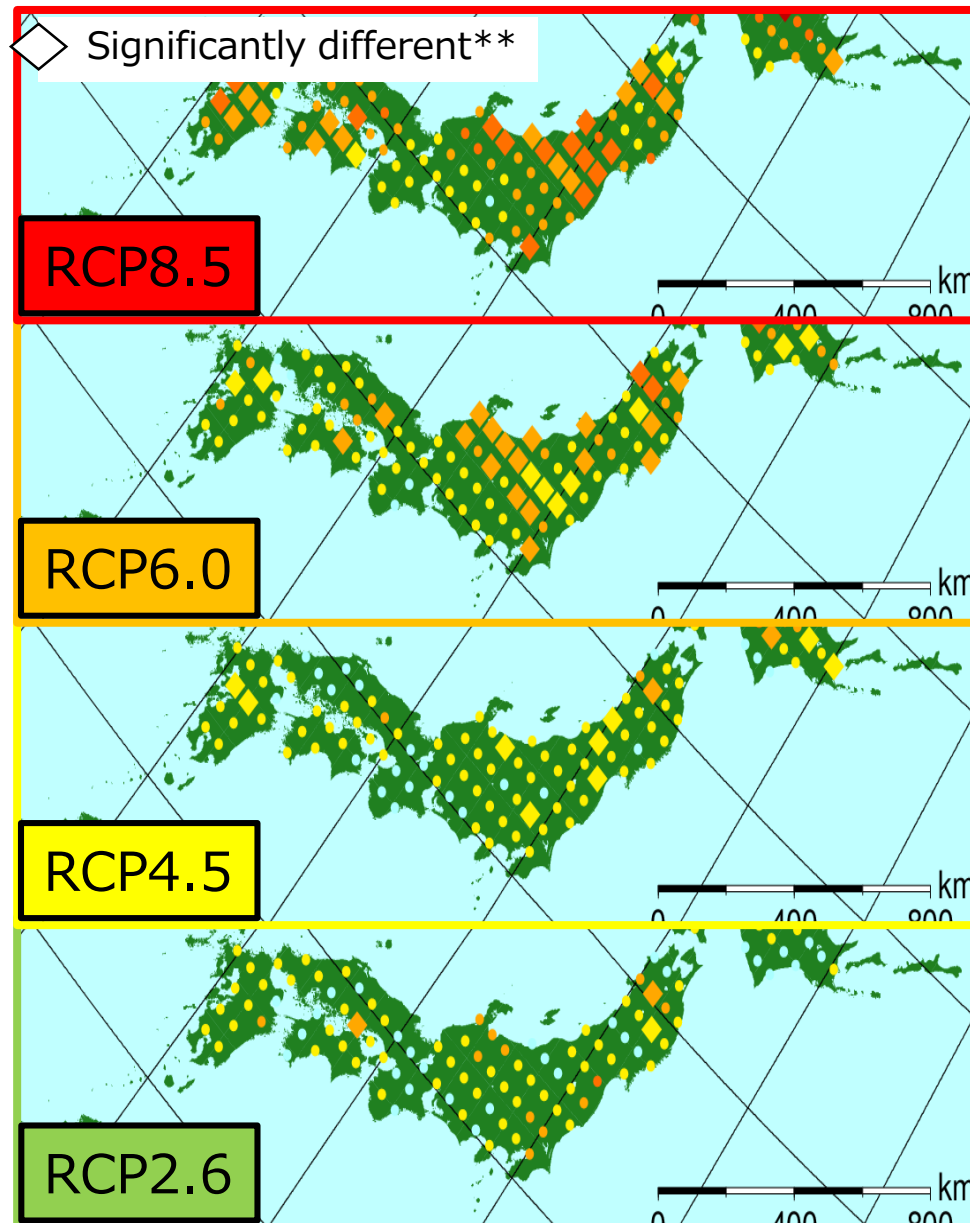


Oku et al (2011)



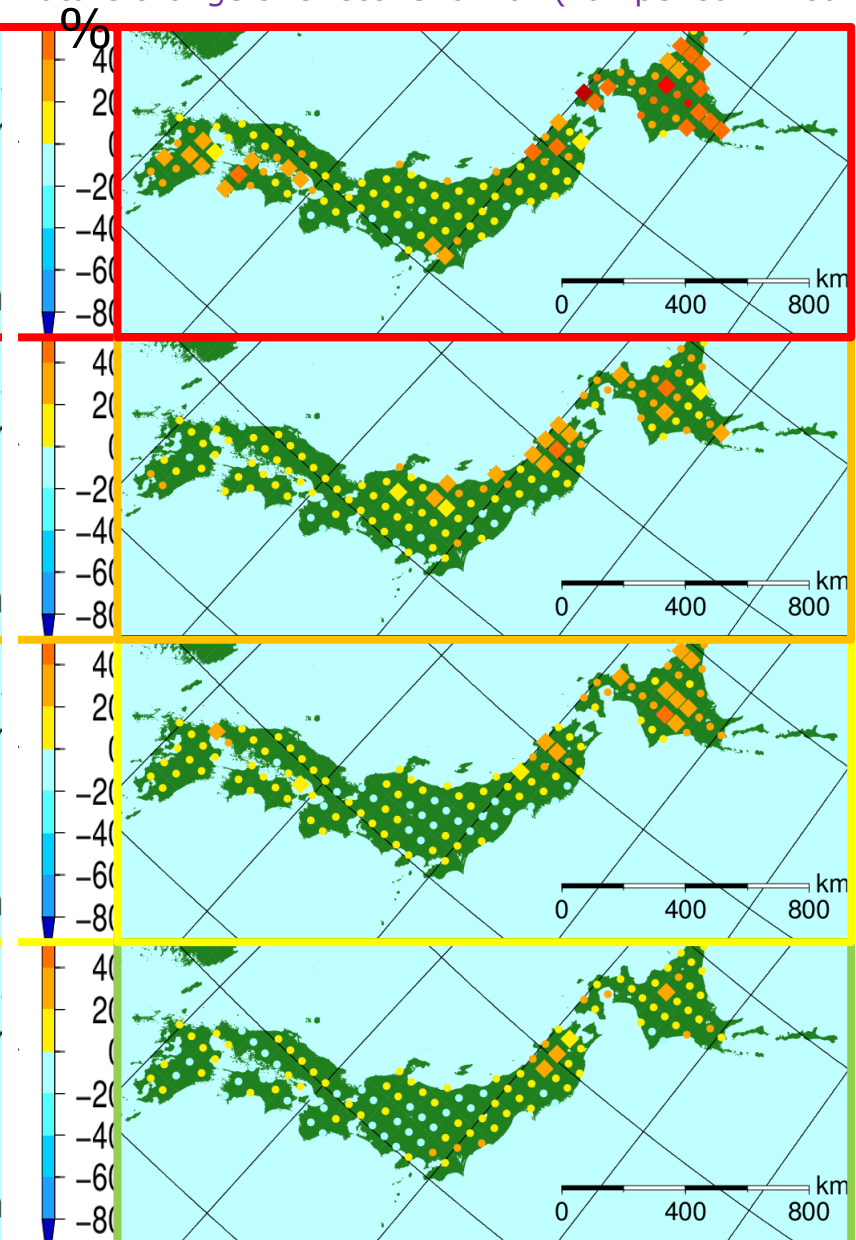
Shallow landslide risk

Future change of effective rainfall (half period 1.5hours)



Deep-seated landslide risk

Future change of effective rainfall (half period 72hours)



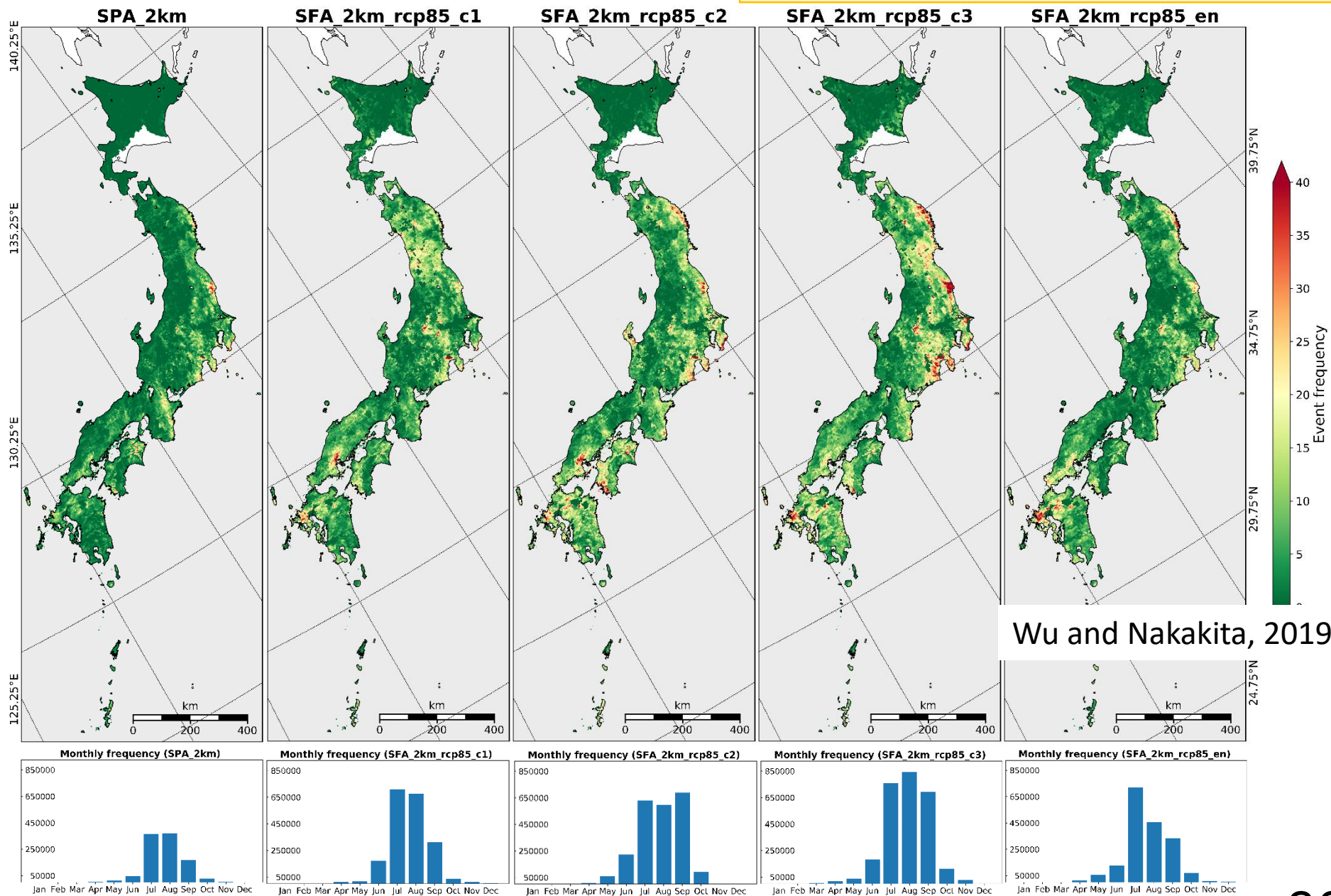
*99.5percentaile values, **significance level: 5%

Risk of Landslide

Grid Resolution: 1 x 1 km

Parameter: Surf Prec in each NHRCM02 member (Period: 20 yrs)

Analysis Method: Critical Line Method



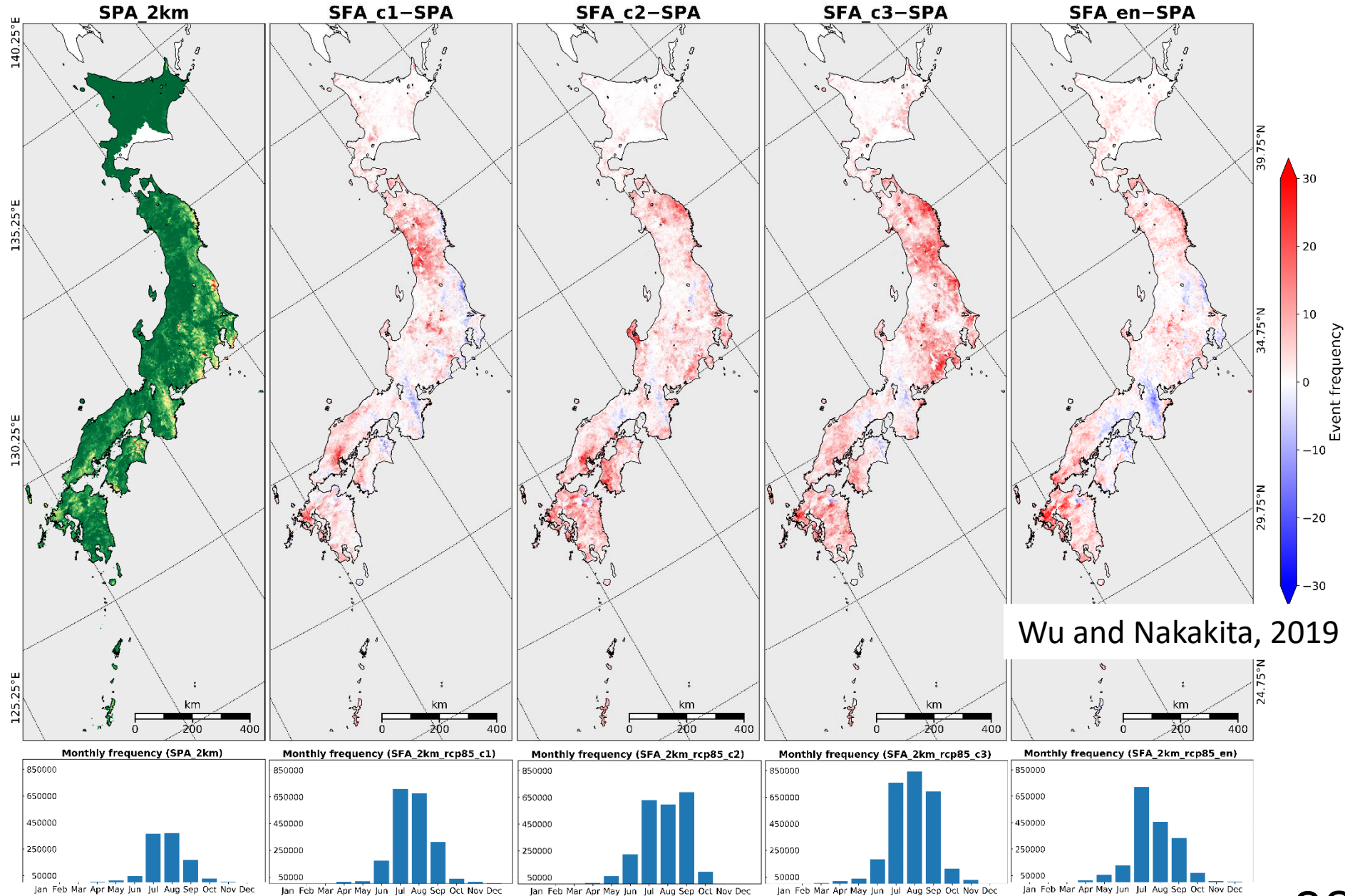
Acknowledgment: MLIT Sabo Office, Each prefectural governments for the precious detailed critical line information

Risk of Landslide

Grid Resolution: 1 x 1 km

Parameter: Surf Prec in each NHRCM02 member (Period: 20 yrs)

Analysis Method: Critical Line Method



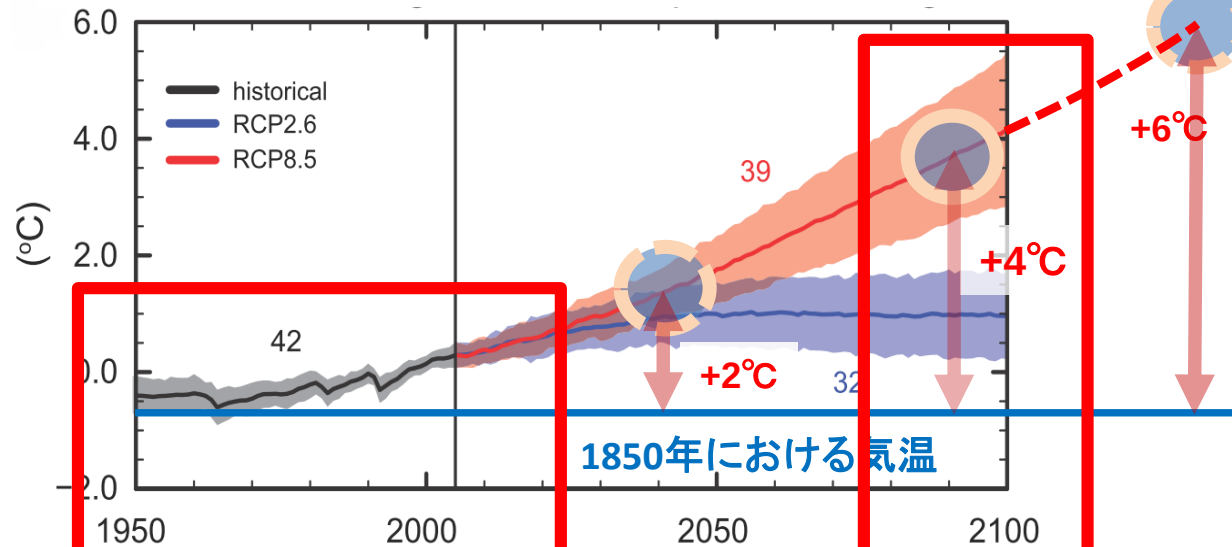
Acknowledgment: MLIT Sabo Office, Each prefectural governments for the precious detailed critical line information

d4PDF, d2PDF:多量アンサンブル実験

過去 15,000 年分、将来 10,800 年分 (+4°Cのみ) を積分
総出力データ 2PB (予定)

作業日数 180 日、ES最新機 12% の計算資利用 (予定)

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

90メンバ

(6ΔT × 15δT)

90メンバ

60年

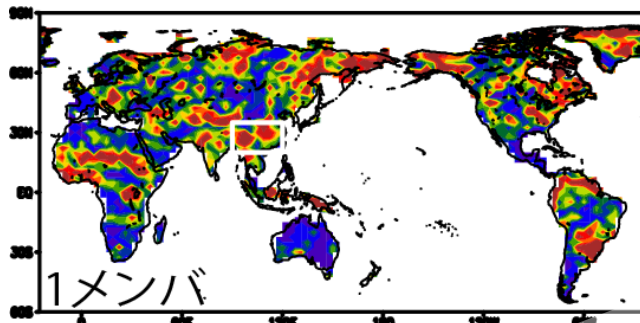
将来実験

ΔT: 温暖化時SSTパターン
δT: 初期値+SST摂動

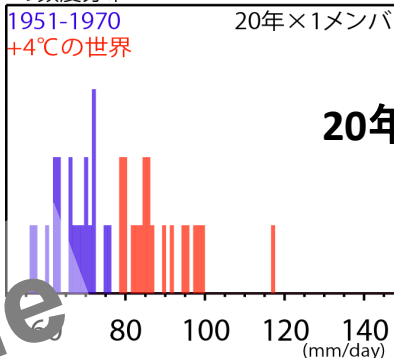
※気象庁AGCM,
NHRCMを使用

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

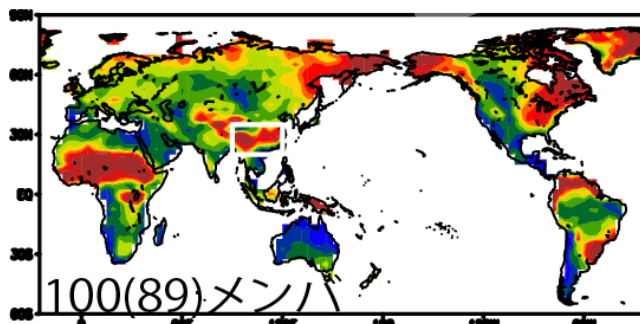


中国南部で平均した「年最大日降水量」の頻度分布

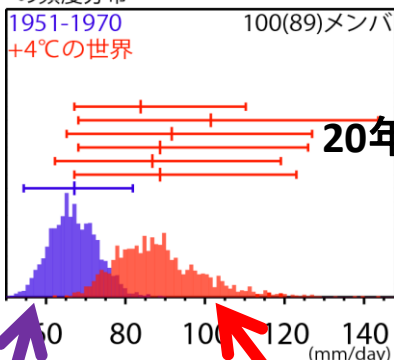


20年×1メンバー

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@NIES

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

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。

現気候下で
のデザイン値

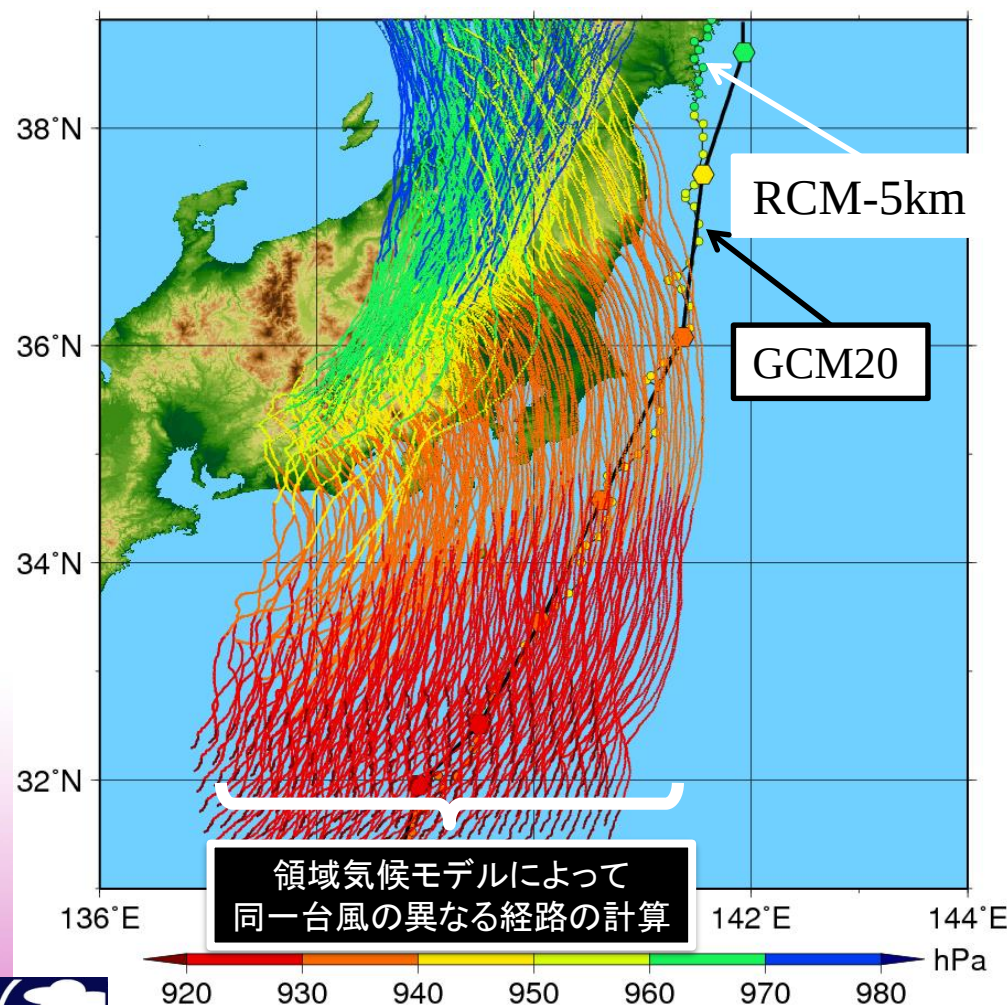
河川の流量
高潮の水位

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

SOUSEI



極端台風の進路を操作して最悪シナリオを



台風の渦を保存させて中心位置を移動させる。
(コマを移動させる)



領域気象モデルで移動後の数値シミュレーションを実施。
(コマを再び放して勝手に移動させる)

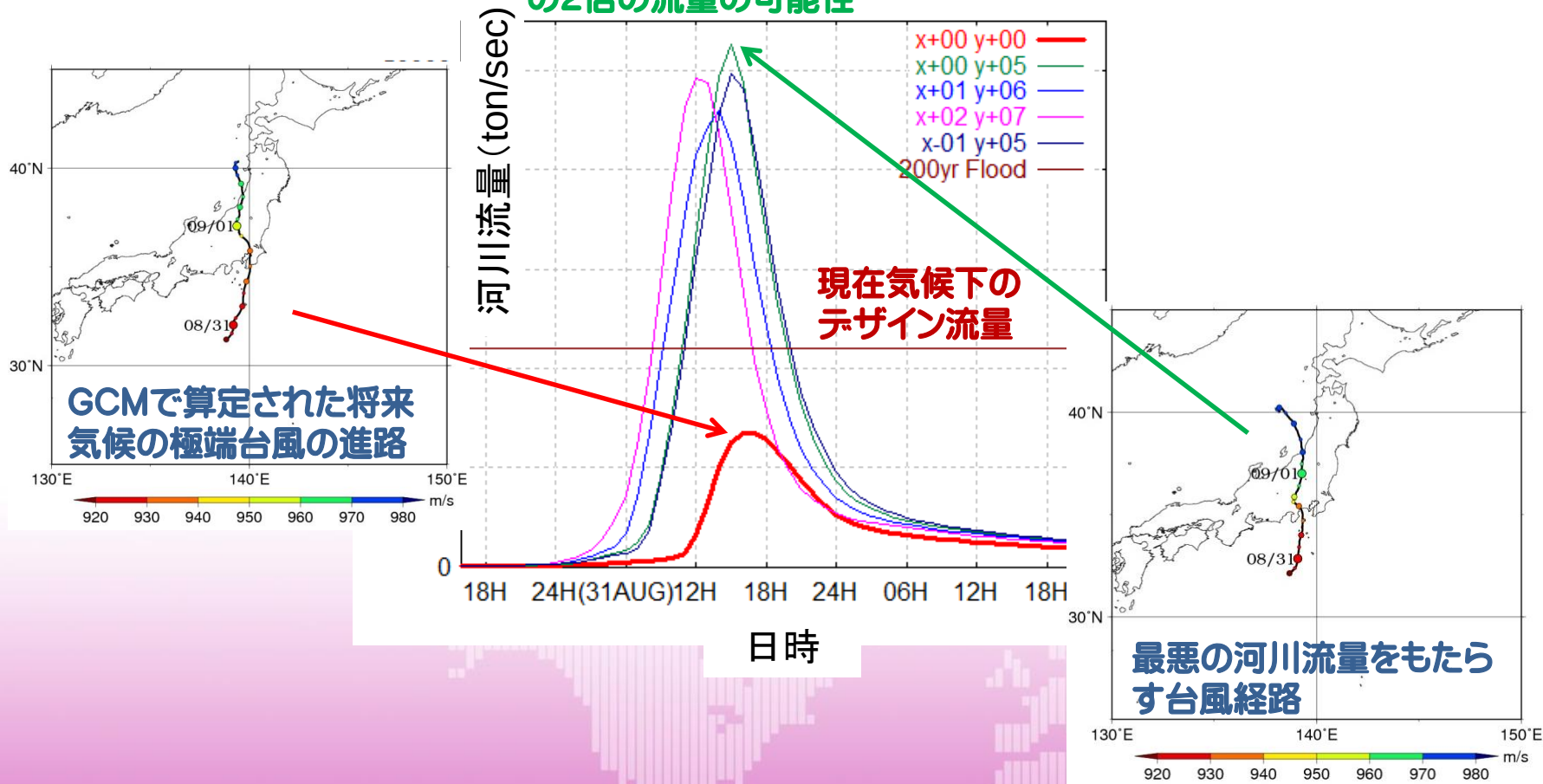


影響評価

- ・ 陸：強風・河川流量・浸水
- ・ 海：波浪・高潮

GCMで算定された将来気候極端台風を 進路変更させたときの最悪河川流量

現在気候のデザイン流量
の2倍の流量の可能性



Collaborative symposium and research meetings with implementation Ministries (2109)



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**

温暖化影響予測と適応



KAKUSHIN

- 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

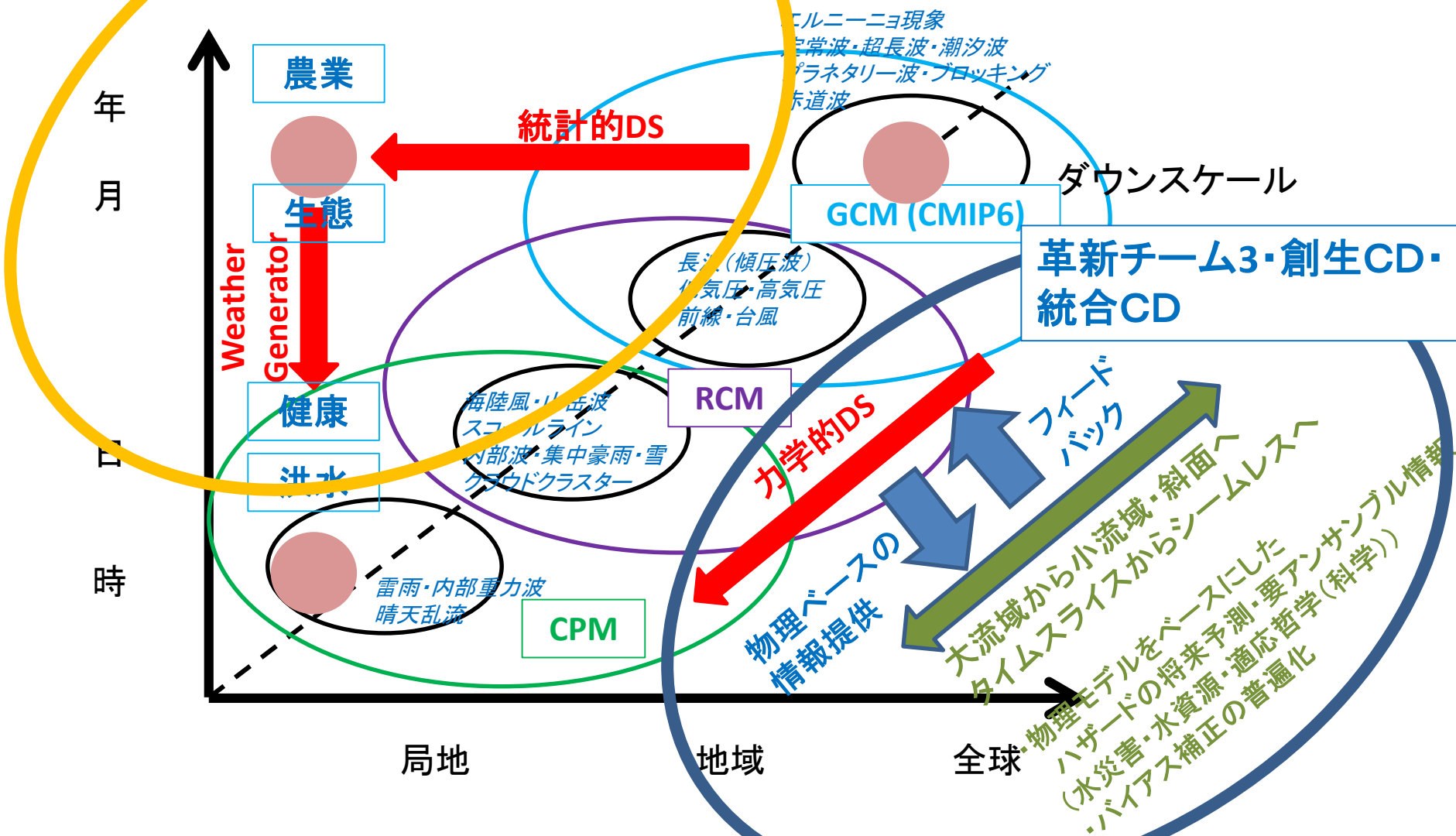
ご静聴ありがとうございました

影響評価・
適応策創出
の仲間です。

写真：宇治川、塔の島



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



日本における各種予測データセット

● MRI-AGCM/NHRCM family

データセット名	実施主体	排出シナリオ	予測時期	AGCM	NHRCM	実験数
温暖化予測情報第8巻	気象庁	A1B	近未来・今世紀末	20km	5km	各1例
21世紀における日本の気候：不確実性を含む予測計算	環境省・気象庁	全RCP	今世紀末	60km	20km	全20例
HighRES-MIP(150年計算)	統合プロ	全RCP	150年継続計算	60・20km		各1例
高解像度ダウンスケーリング	創生・統合プロ	RCP2.6/8.5	今世紀末	20km	5/2km	各4例
温暖化予測情報第9巻	気象庁	RCP8.5	今世紀末	20km	5km	4例
d2PDF／d4PDF	創生・統合・SI-CAT	RCP8.5	2℃上昇(近未来) 4℃上昇(世紀末)	60km	20km	各100例
地域限定DDS	SI-CAT	RCP8.5	4℃上昇(世紀末)		5km	数百年

※ 1例計算はd2/4PDFは60年間、そのほかは20年～25年

- 最悪シナリオを探すために、解像度を優先するか(アンサンブル数は我慢する)
 - 確率評価を出すために、アンサンブル数を優先するか(解像度は我慢する)
 - 文科省・環境省との協力により、大規模なデータセットファミリーを作ることができた。
- 統計的DS (ESD)
- SI-CATには、CMIP5のGCM等から、1km格子へのESDが複数存在する。