

統合的気候モデル高度化研究プログラム 令和元年度公開シンポジウム「地球温暖化に備えるために～必要な予測、想定すべきリスク～」

一橋大学一橋講堂、令和元年10月21日

気候変動予測データから描き出す 将来の災害リスク ～気候変動に適応するために～

竹見 哲也



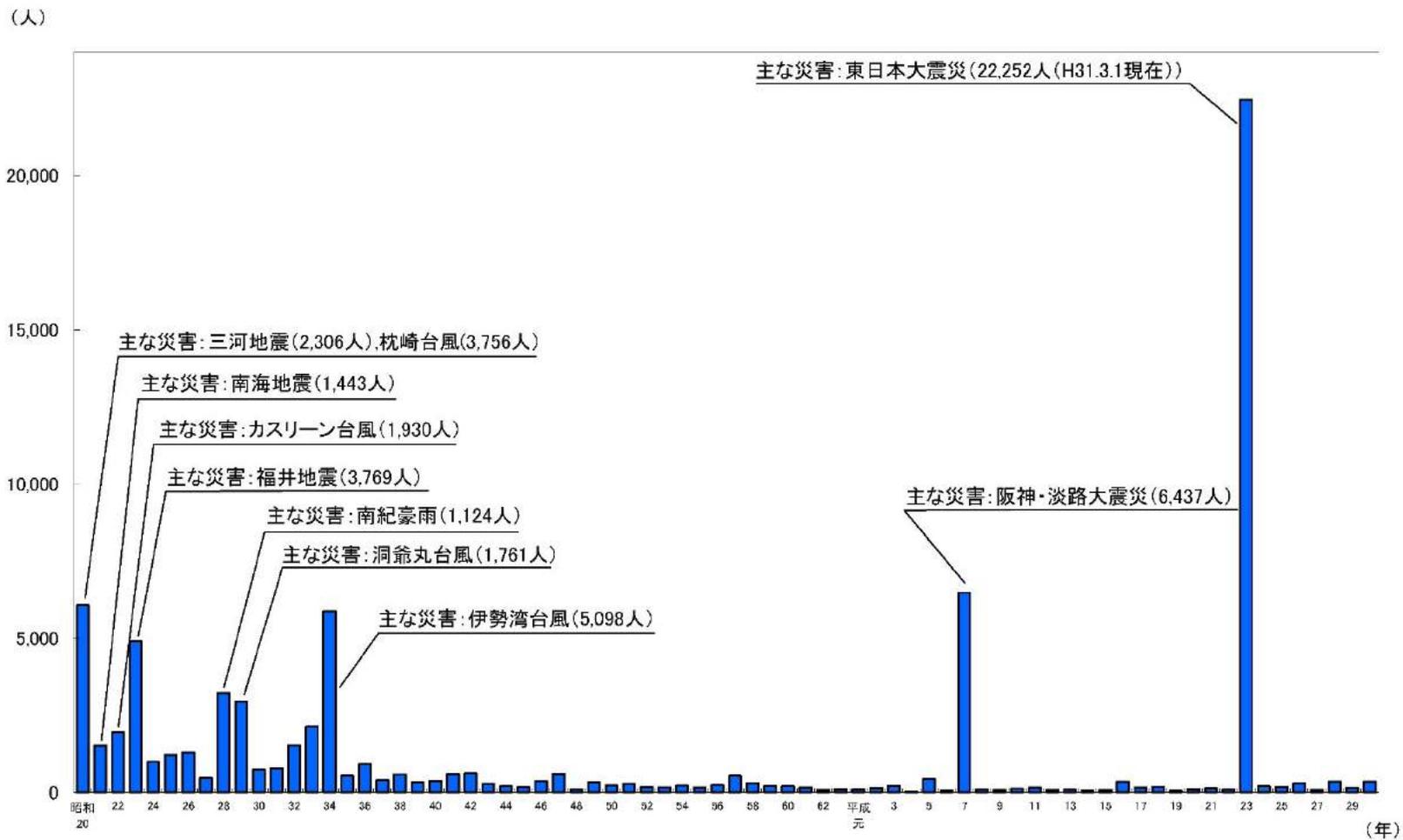
京都大学 防災研究所
統合プログラム領域テーマD



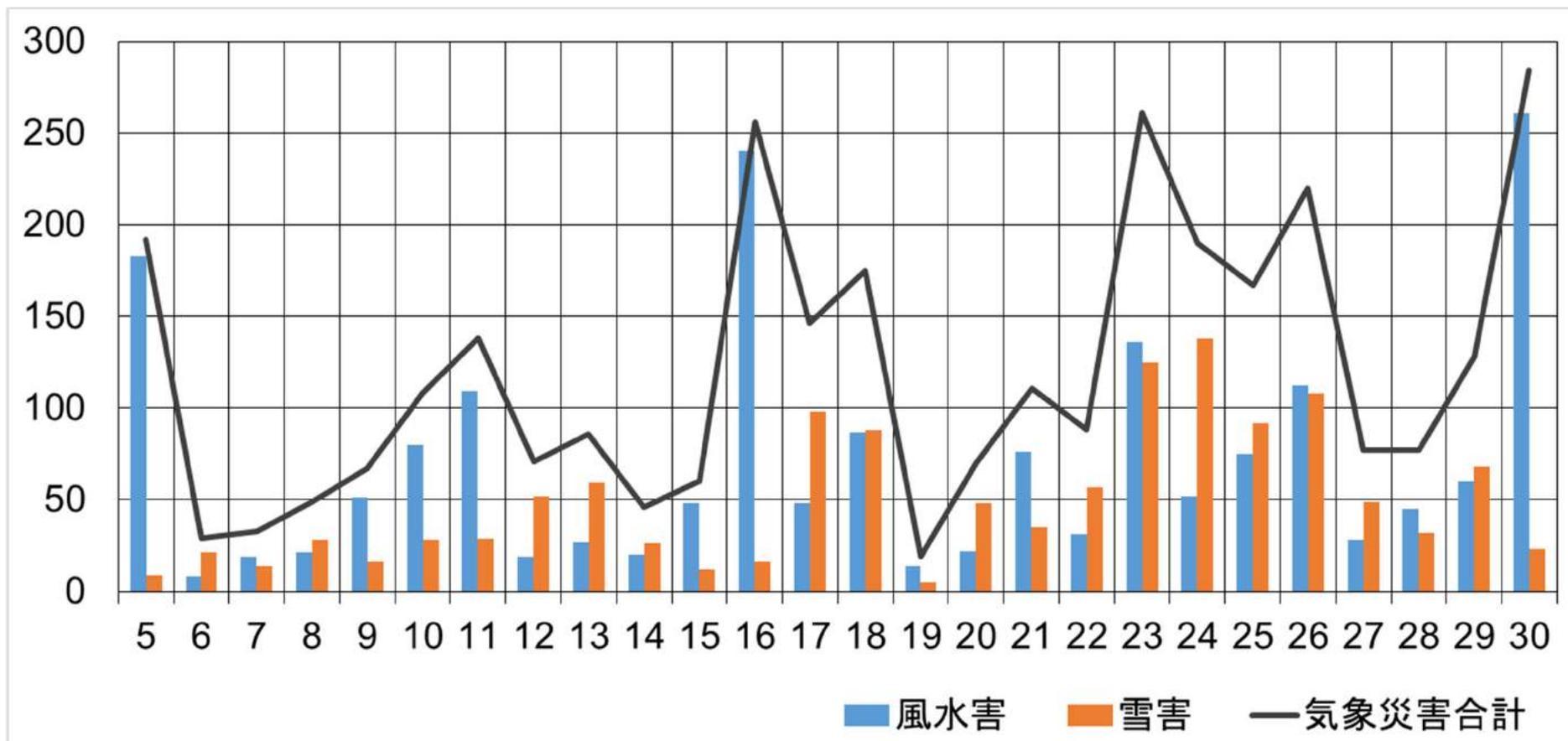
京都大学
KYOTO UNIVERSITY



日本における自然災害による犠牲者数の推移

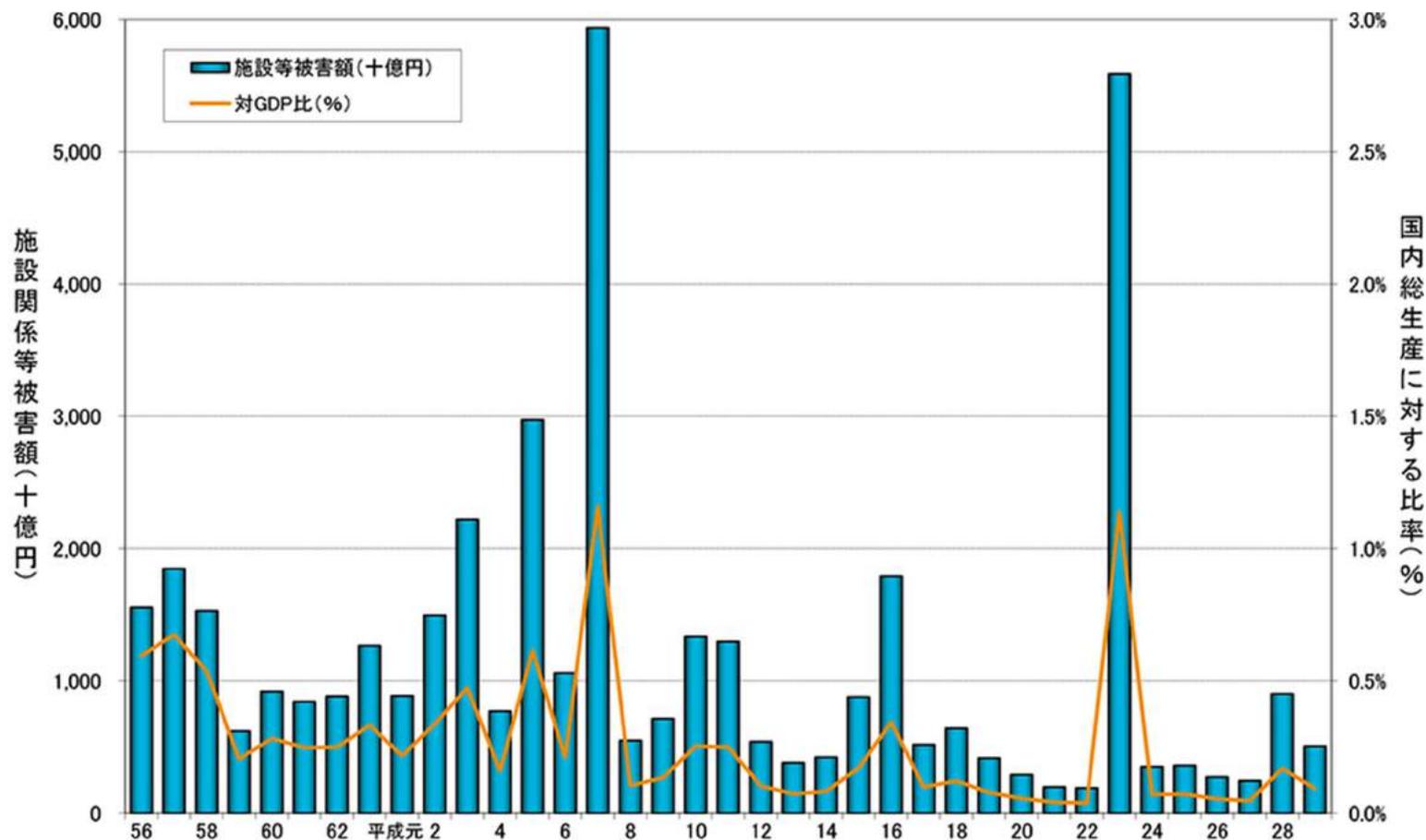


近年の気象災害による死者・行方不明者数



- 平成30年 死者・行方不明者数（内閣府）
 - 平成30年7月豪雨：245名
 - 台風21号：14名

施設関係等被害額と国内総生産に対する比率



注) 国内総生産 (GDP) は平成5年までは平成12年基準 (1993SNA)、平成6年以降は平成23年基準 (2008SNA)
 出典：各省庁資料より内閣府作成

国内における保険金支払額による気象災害

風水害等による保険金の支払い

過去の支払保険金（災害例）

順位	災害名	地域	年月日	支払保険金（単位：億円）			
				火災・新種	自動車	海上	合計
1	平成3年台風19号	全国	1991年9月26日～28日	5,225	269	185	5,680
2	平成16年台風18号	全国	2004年9月4日～8日	3,564	259	51	3,874
3	平成26年2月雪害	関東中心	2014年2月	2,984	241	—	3,224
4	平成11年台風18号	熊本・山口・福岡等	1999年9月21日～25日	2,847	212	88	3,147
5	平成27年台風15号	全国	2015年8月24日～26日	1,561	81	—	1,642
6	平成10年台風7号	近畿中心	1998年9月22日	1,514	61	24	1,599
7	平成16年台風23号	西日本	2004年10月20日	1,112	179	89	1,380
8	平成18年台風13号	福岡・佐賀・長崎・宮崎等	2006年9月15日～20日	1,161	147	12	1,320
9	平成29年台風21号	全国	2017年10月21日～23日	1,146	71	—	1,217
10	平成16年台風16号	全国	2004年8月30日～31日	1,038	138	35	1,210

※ 一般社団法人 日本損害保険協会調べ

※ 千万円単位で四捨五入を行い、算出しています。

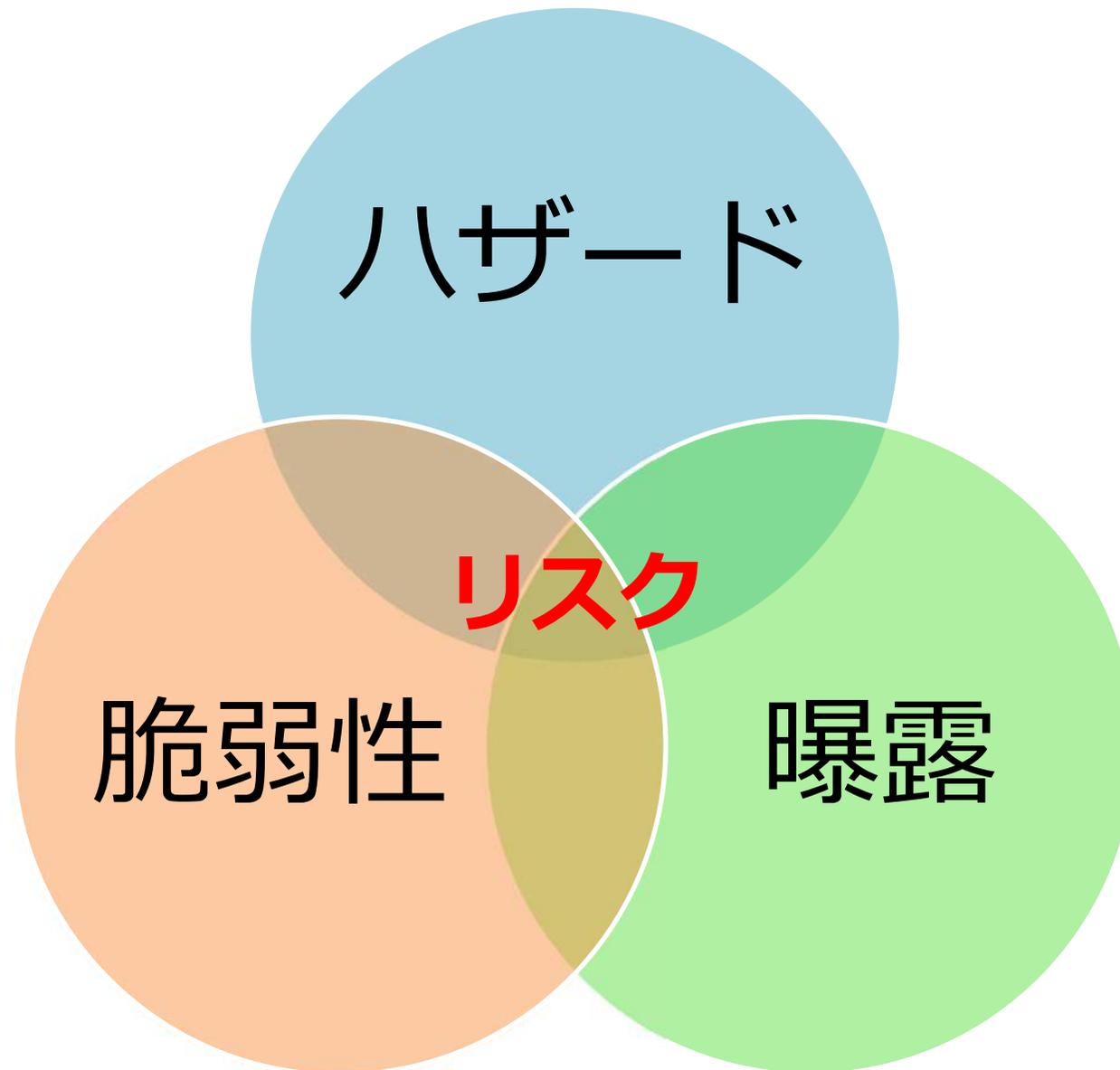
そのため、各項目を合算した値と合計欄の値が一致しないことがあります。

平成30年	時期	支払保険金（単位：億円）			
		車両	火災	新種（傷害）	合計
台風21号	9月上旬	780	9,202	161	10,678
台風24号	9月下旬	115	2,856	90	3,061
7月豪雨	7月上旬	283	1,520	153	1,956

（日本損害保険協会，2019年3月末現在，2019年5月20日発表）



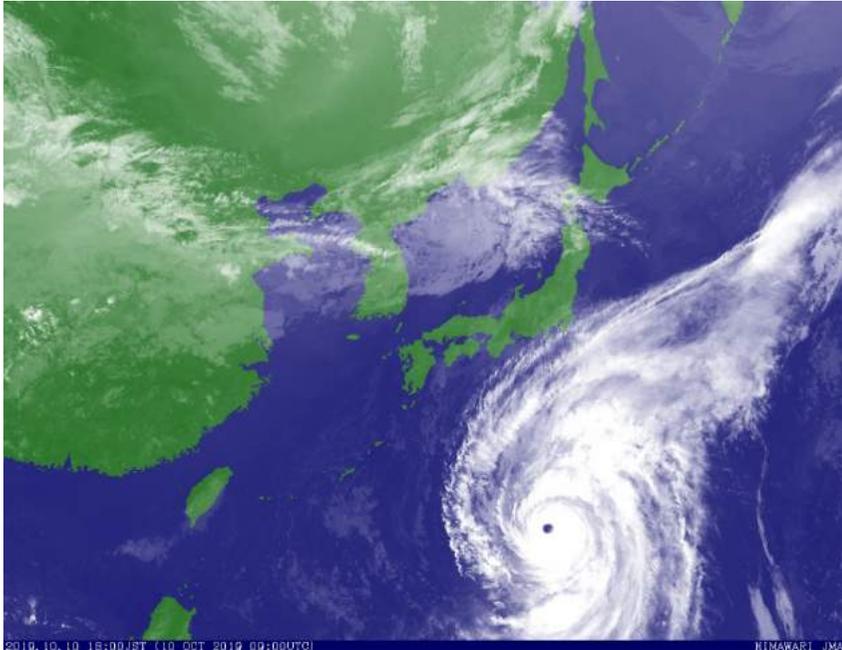
災害のリスクとは



(気候変動に関する政府間パネル第5次報告書(WG2)に基づき作成)

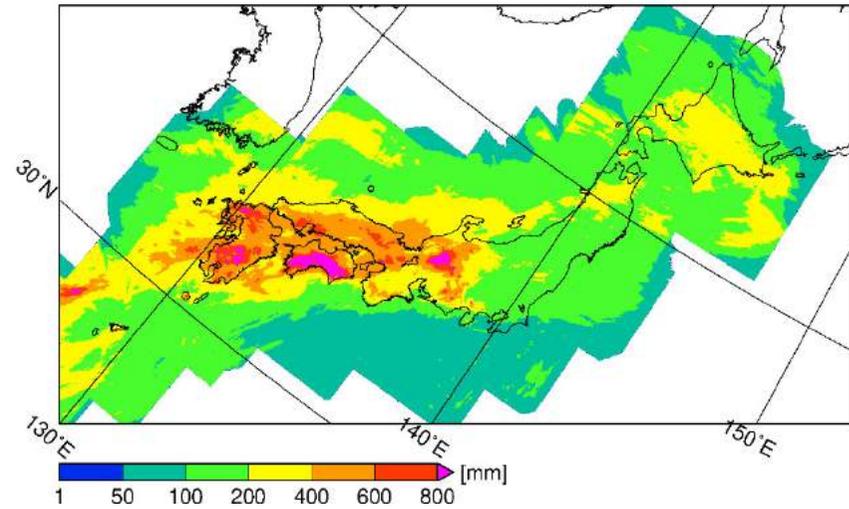
気象ハザード

台風



(2019年台風19号気象衛星画像、気象庁)

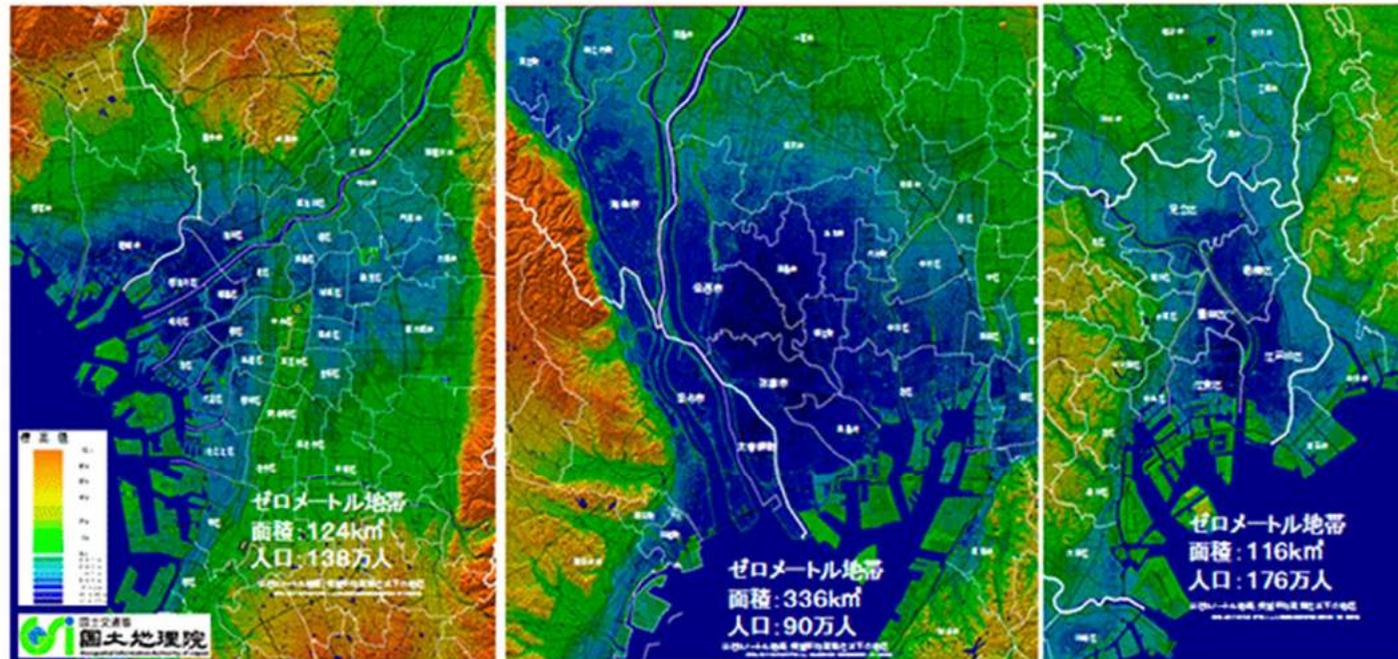
豪雨



(平成30年7月豪雨時の積算雨量、
Unuma and Takemi 2019)

三大都市圏のゼロメートル地帯

図表3-2-1 三大都市圏のゼロメートル地帯



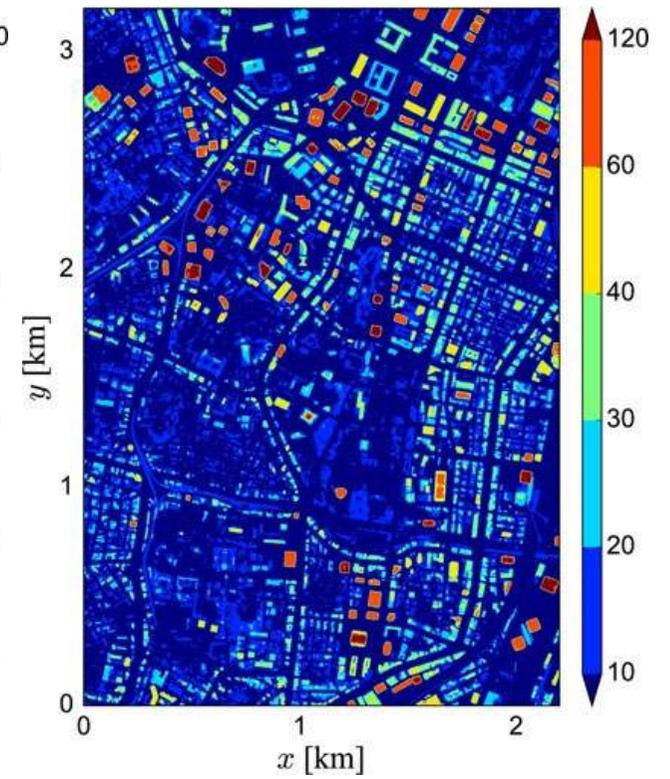
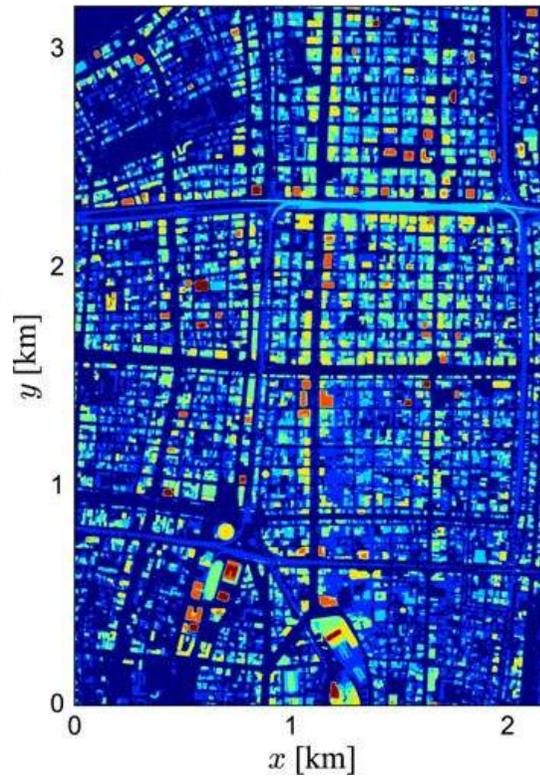
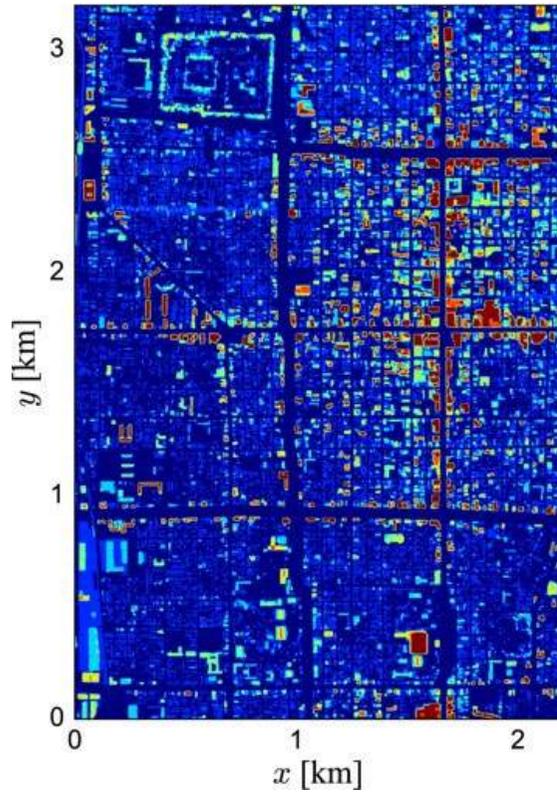
出典：国土地理院資料より内閣府作成

都市

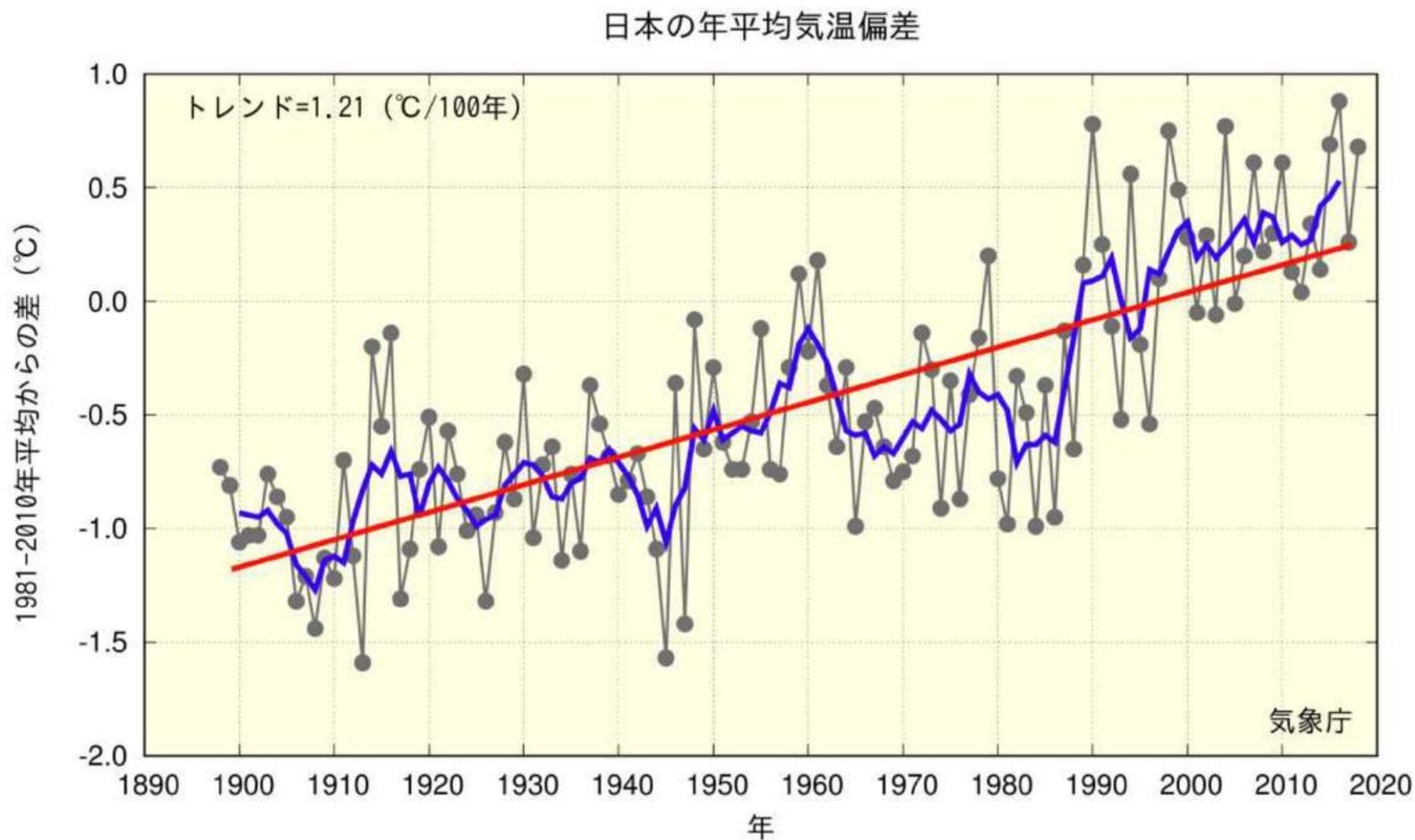
京都

大阪

東京



日本におけるこれまでの気温変化



災害のリスクは、これまでの経緯を見ると、下がっているとは言いがたい

今後も災害リスクは、高まることはあるとしても、下がることはないであろう

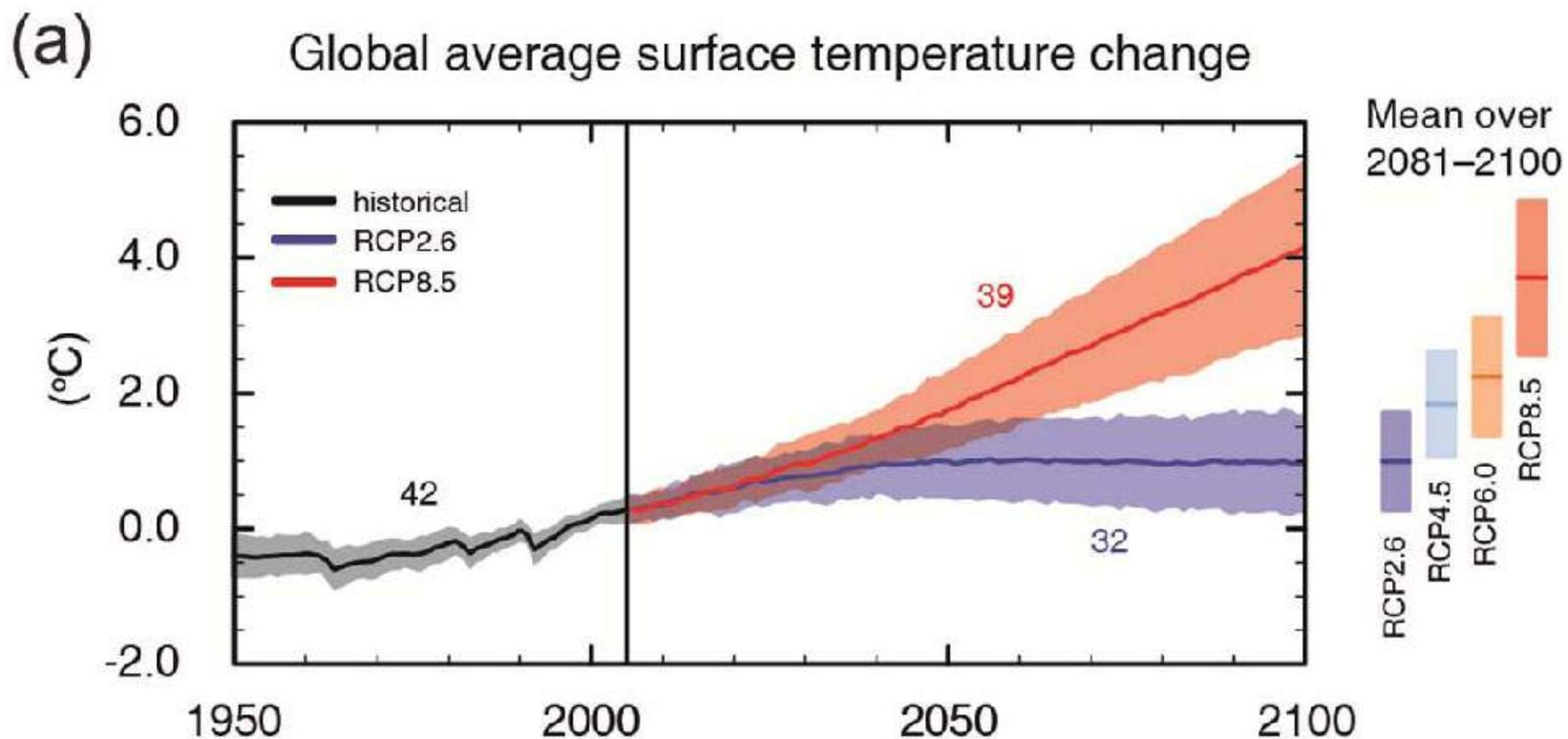
地球温暖化が災害リスクをさらに助長させることが懸念される



将来の災害リスクを提示することが大事

地球の気温の将来予測

1950-2100

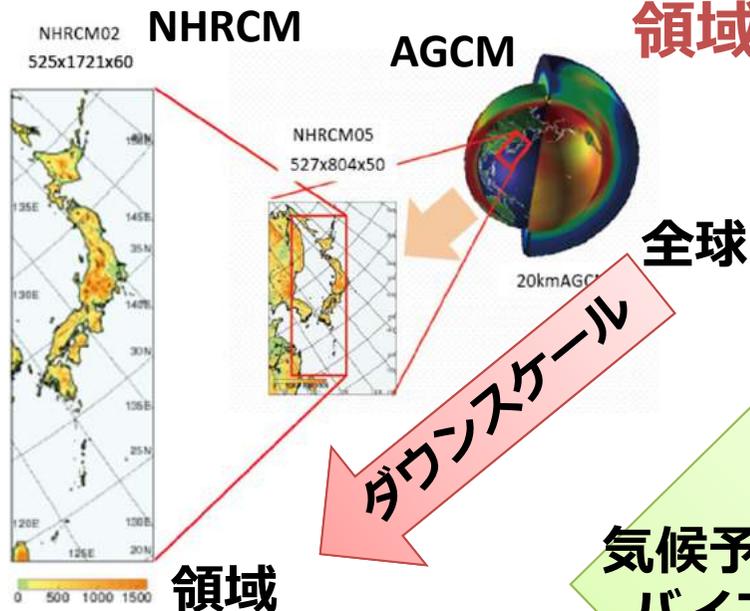


(気候変動に関する政府間パネル第5次報告書より)

12

気候予測から影響予測へ

領域テーマc：統合的気候変動予測

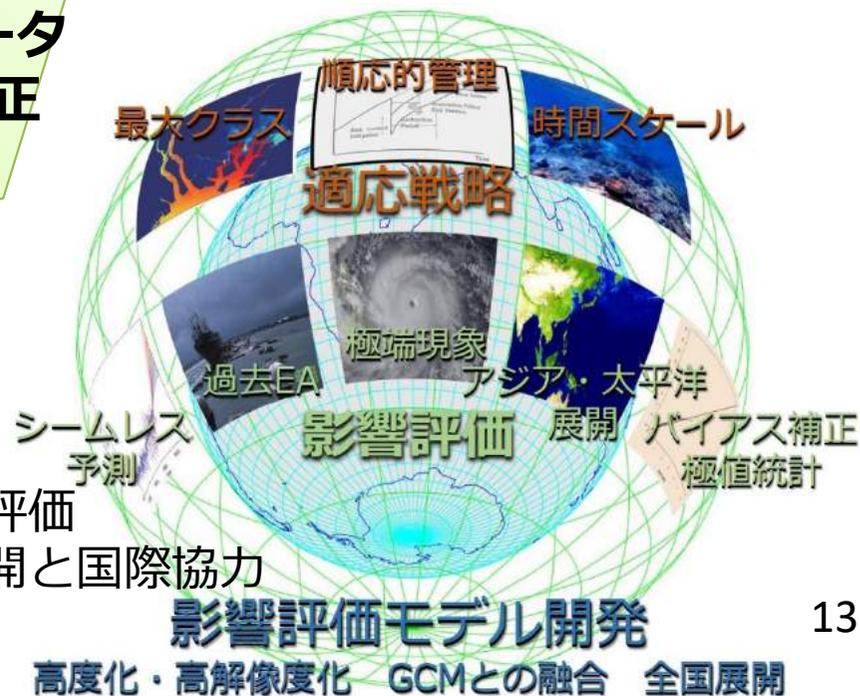


- 高精度統合型モデルの開発
- 汎用シナリオ整備とメカニズム解明
- 高精度気候モデル及び評価結果のアジア・太平洋諸国への展開と国際貢献

気候予測データ
バイアス補正

領域テーマc： 統合的ハザード予測

- 極端なハザードの強度と頻度の長期評価
- 21世紀末までのシームレスなハザード予測
- 過去災害のハザード分析と気候変動要因の評価
- ハザード評価のアジア・太平洋諸国への展開と国際協力
- 様々な変化を考慮した後悔しない適応戦略
- バイアス補正法・極値評価技術の開発

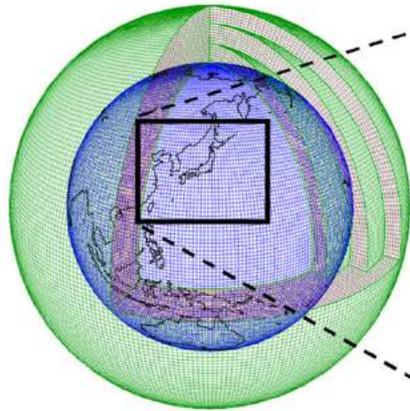


d4PDF :

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

AGCM

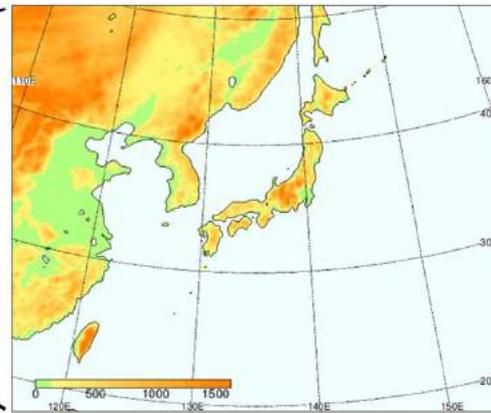
(水平解像度約60km)



(画像: 気象庁提供)

NHRCM

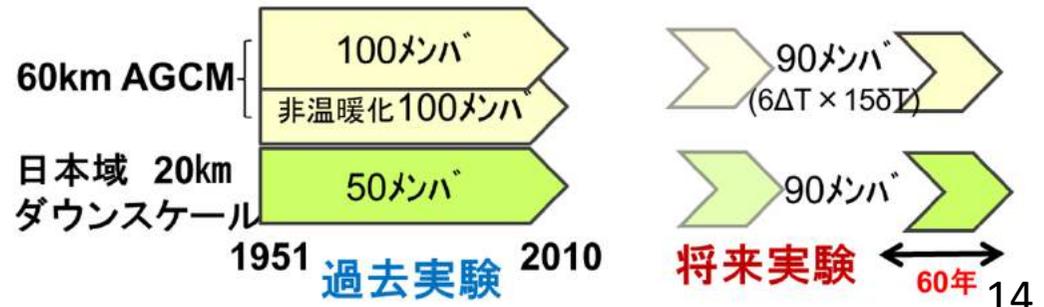
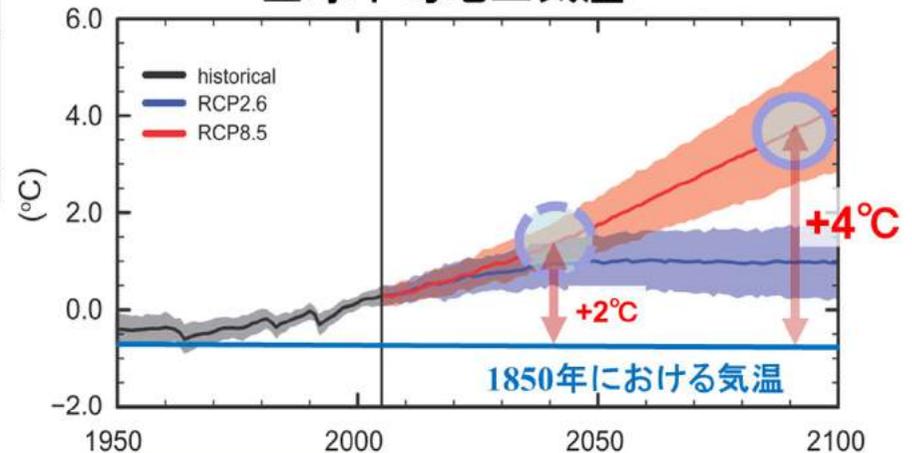
(水平格子間隔20km)



気象研究所全球大気モデルMRI-AGCM3.2

気象研究所領域気候モデルNHRCM

全球平均地上気温



革新・創生・統合プログラムD

適応策創出の哲学・考え方の

構築

大きな不確実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

対象:

自然災害、水資源、生態系・生物多様性

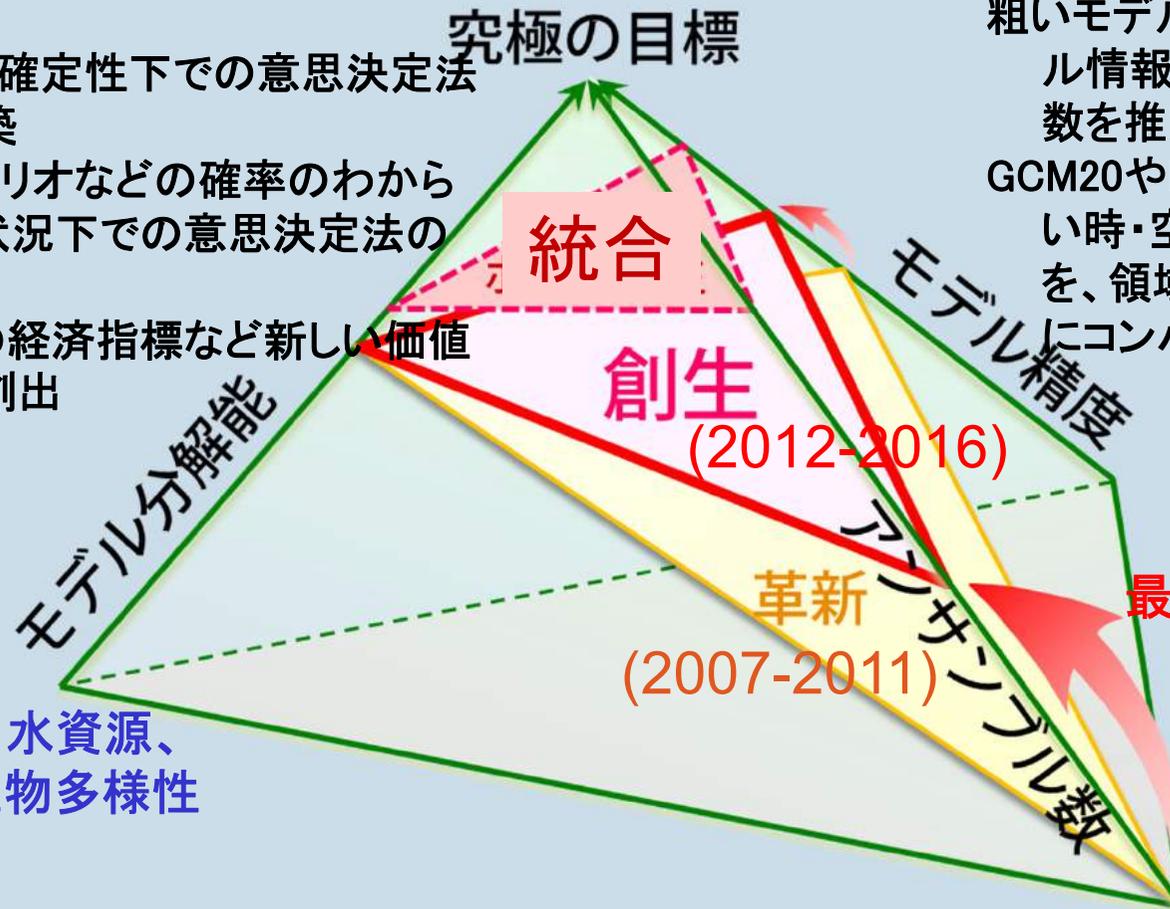
より精度の高い確率の推定

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

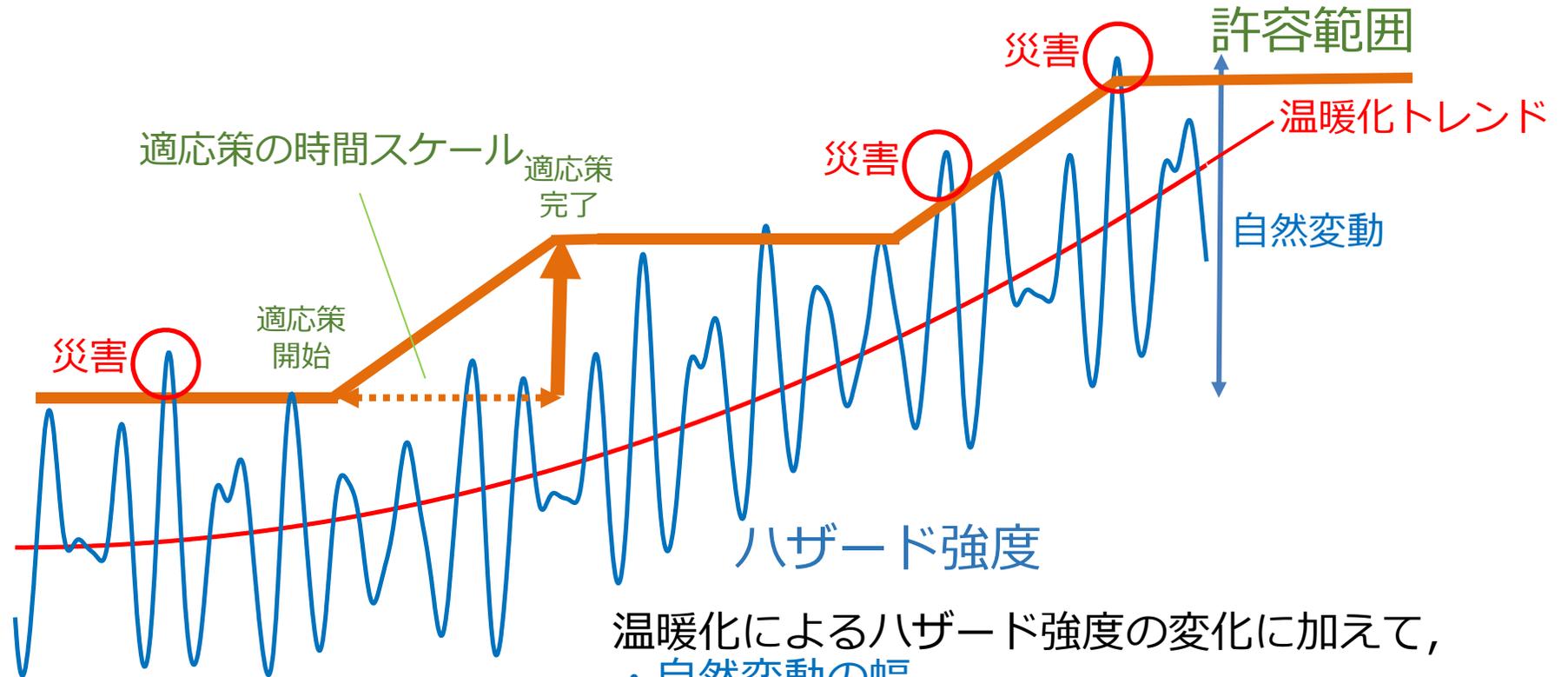
最大クラス外力の想定—生存の縁

最大クラス台風
複合災害
社会シナリオの想定



中北 (京大防災研) (2012, 2015)

温暖化に対する順応的適応策の考え方



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

森（京大防災研）（2015）

温暖化による災害影響

温暖化による影響の分析：擬似温暖化実験

1. 現在の気候および将来の気候予測計算データから、海面水温・気温・水蒸気量・気圧など変数別に

$$\text{(温暖化差分)} = \text{(将来)} - \text{(現在)}$$

を算出する

2. 「温暖化差分」を過去の気象場に加える
3. 過去の気象現象の再現実験と「温暖化差分」を加算した擬似温暖化実験とを比較することで温暖化影響を見積もる



このような想定実験が可能となる

伊勢湾台風級の極端台風が温暖化時にどこまで強大化し、仮に同じ経路をとった場合に生じる強雨・強風はどう変化するか？

地球温暖化の影響を調べる：擬似温暖化実験

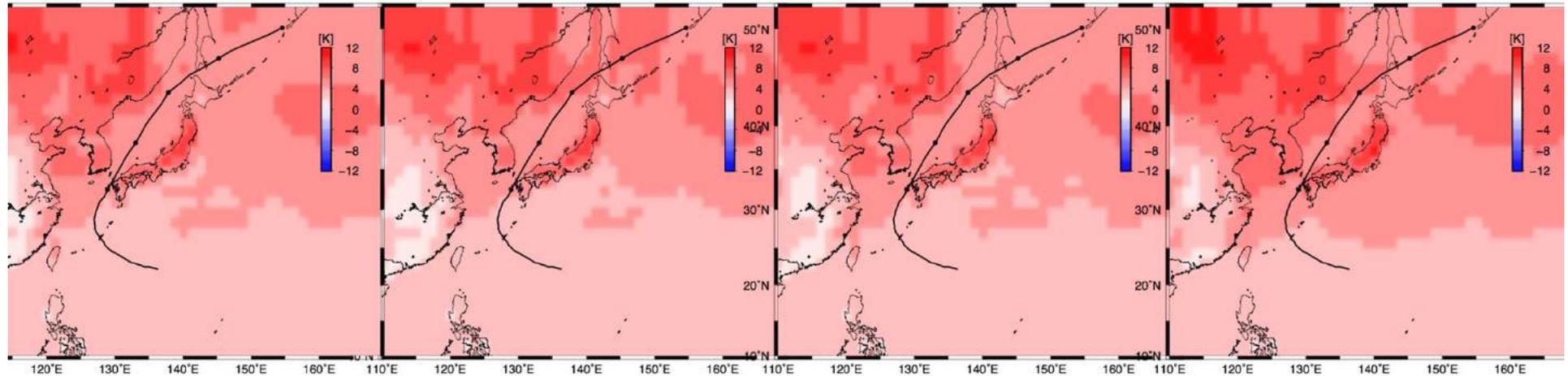
「将来 マイナス 現在」の差分を加算した計算機シミュレーション

All cluster

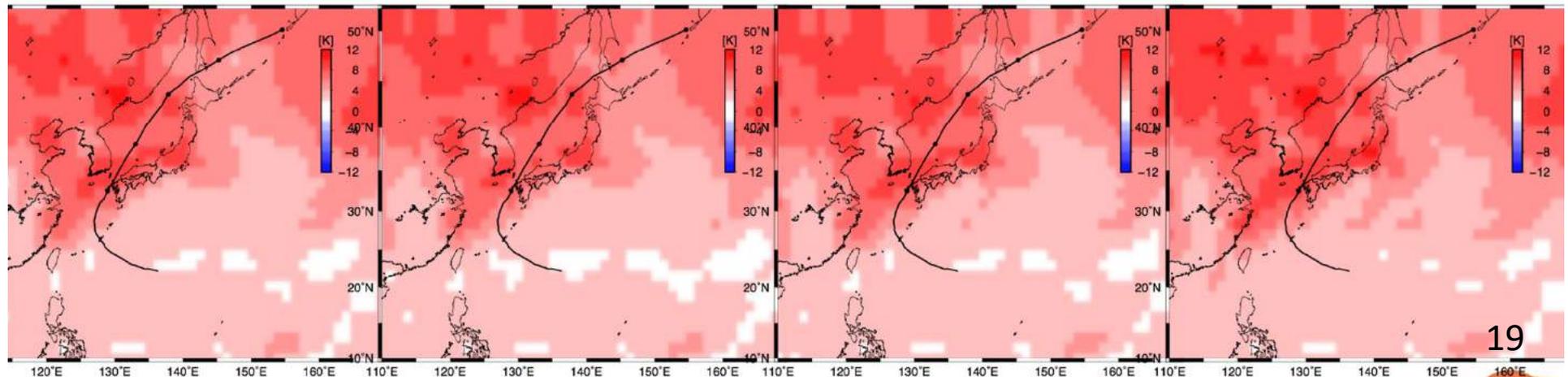
Cluster 1 海面水温

Cluster 2

Cluster 3



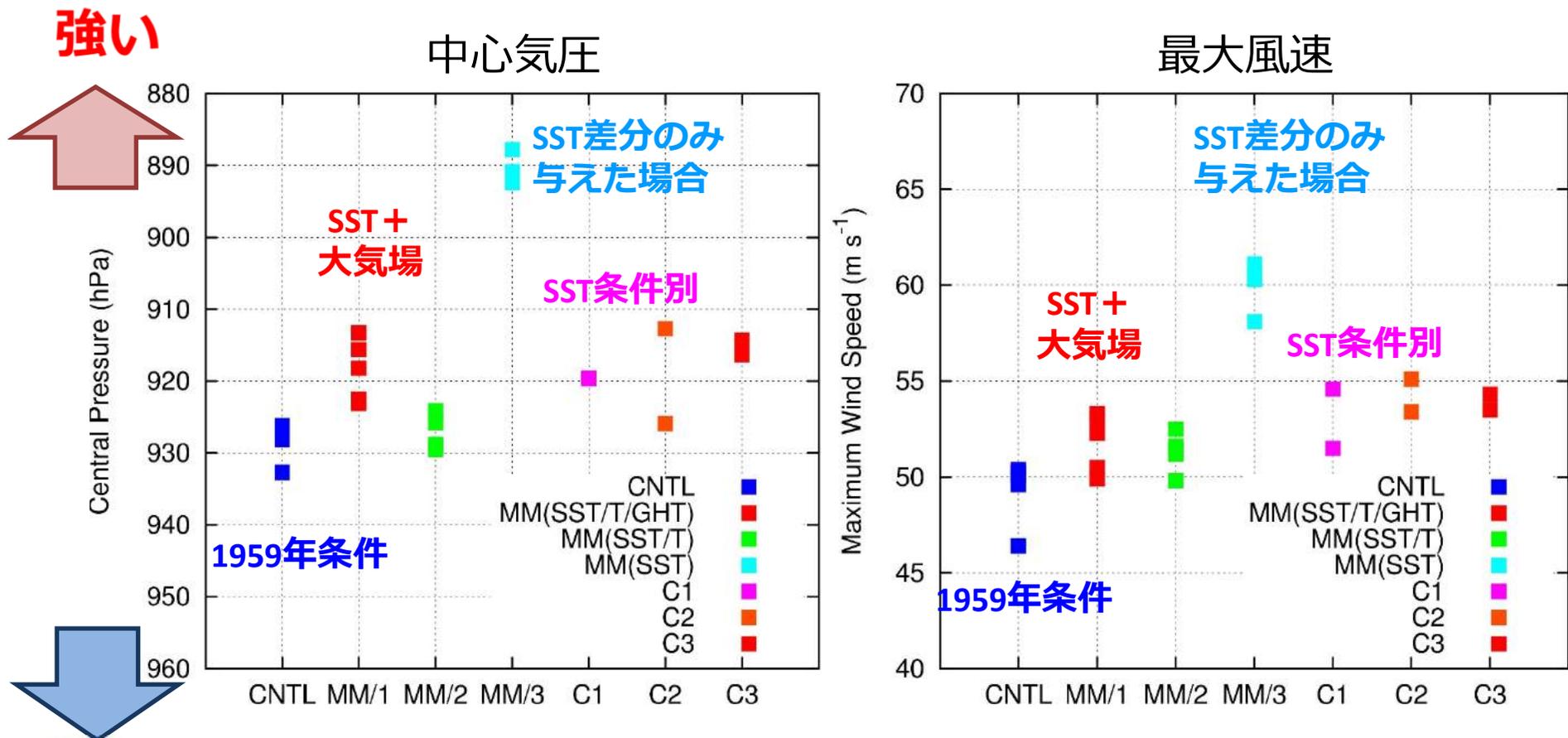
地上気温



19

気象研究所MRI-AGCM3.2Sから算出した温暖化差分

伊勢湾台風級は上陸時でも温暖化時に強化



	現在	擬似温暖化	
		SST + 3D atm	SST
中心気圧 (hPa)	926.2 – 932.7	912.7 – 929.5	887.8 – 892.4
最大風速 (m/s)	46.4 – 50.4	49.8 – 55.1	58.1 – 61.1

※北緯33度線を越えた最初の時刻の強度

平成30年7月豪雨

積算雨量

(2018/7/2/00時～7/9/00時)

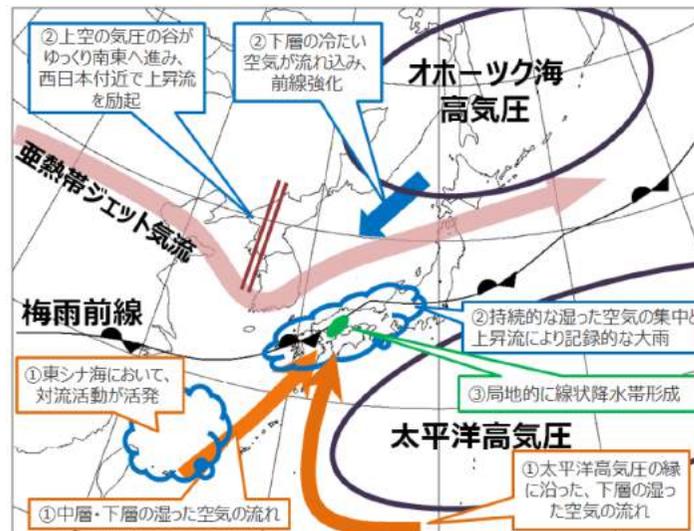
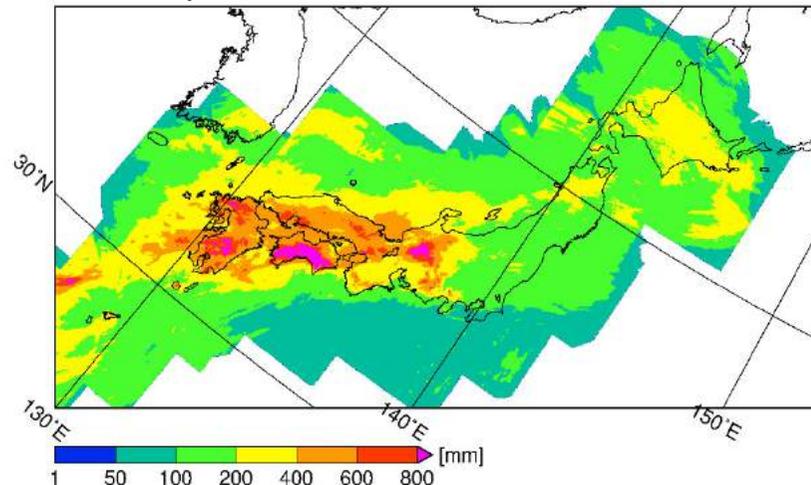
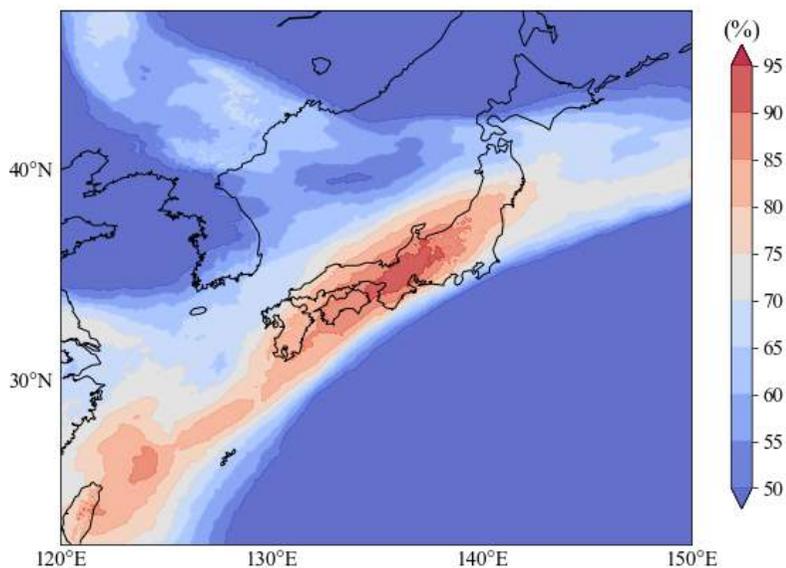


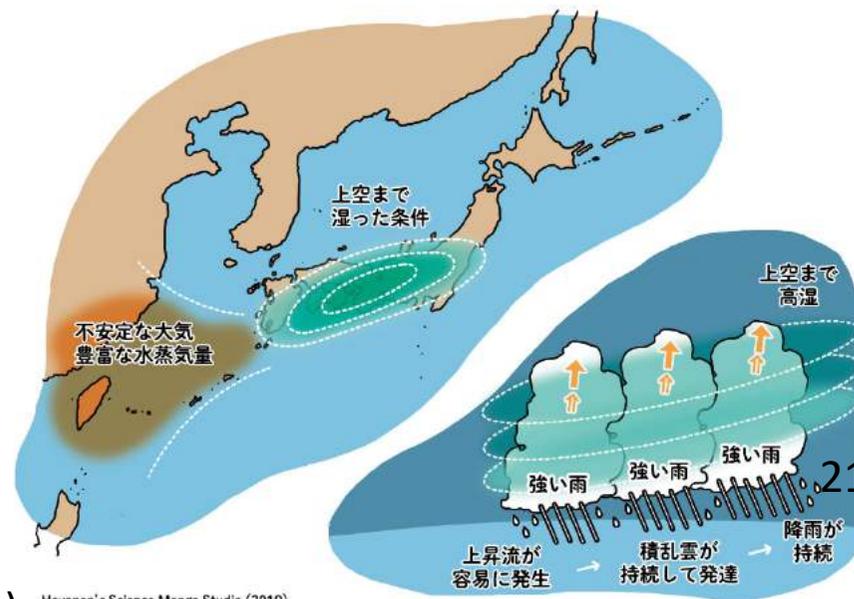
図4 7月5日から8日の記録的な大雨の気象要因のイメージ図

(気象庁資料; Shimpo et al. 2019, SOLA)

上空の相対湿度 (700-300 hPa)



(Takemi and Unuma 2019, SOLA)



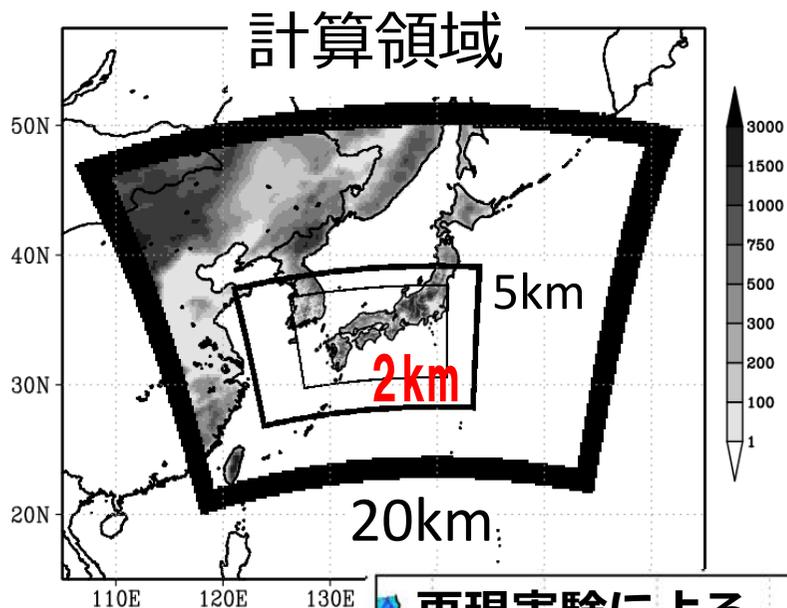
Hayanon's Science Manga Studio (2019)

平成30年7月豪雨への温暖化影響

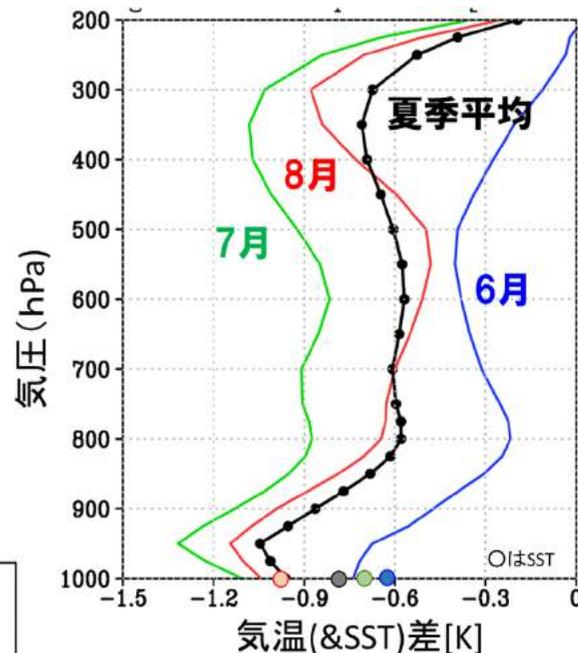
領域気候モデルNHRCMを用いて特定の極端事象を再現し、温暖化差分を抜いた実験との比較から、温暖化の影響を調べる。

ダウンスケーリング：20 km/5 km/2 km

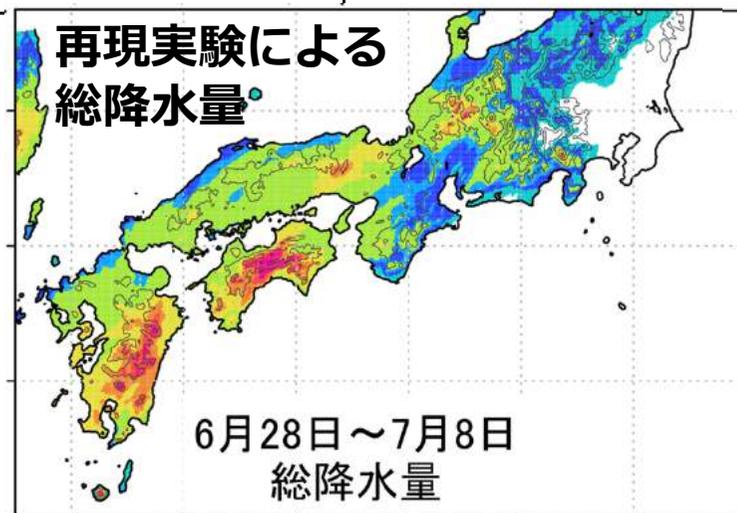
実際の海面水温・気温から差し引く量
(温暖化差分を差し引く)



気温除去
実験



再現実験



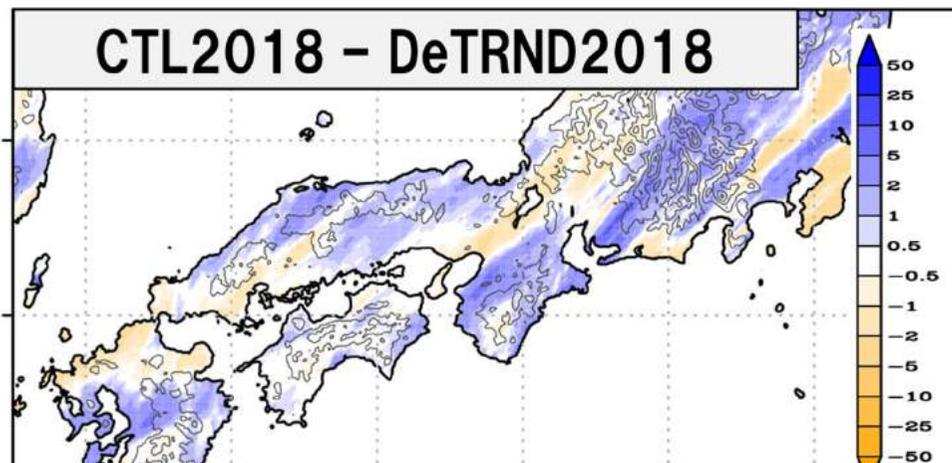
降水量はどう変化
する？

22

(Kawase et al. 2019, BAMS)



雨量は温暖化影響でどの程度増大しているか？



陸域平均

CTL2018平均

268.7mm

DeTRND2018

全平均

251.7mm

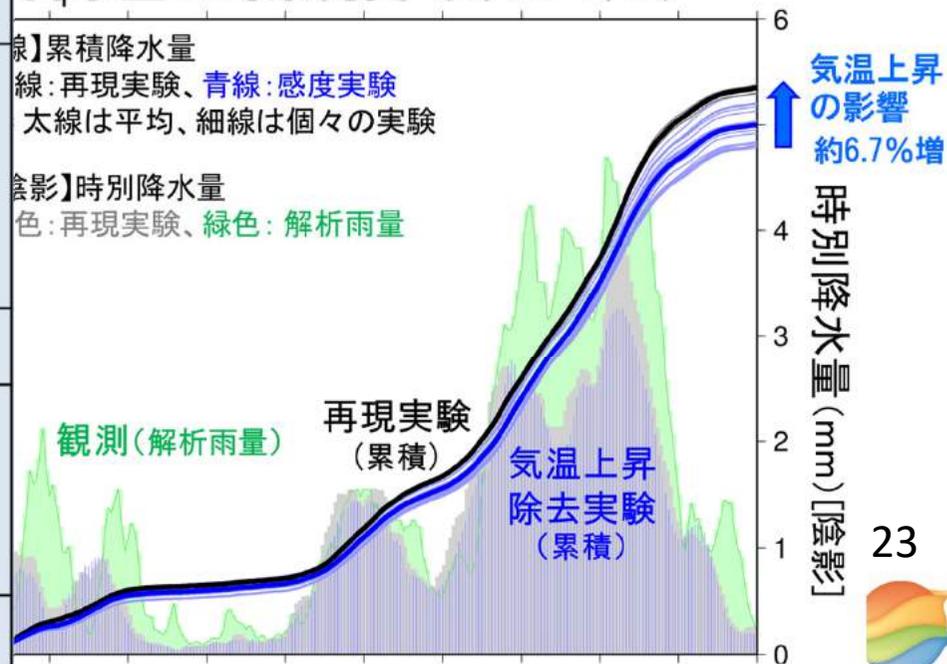
(6.7%の差)

(Kawase et al. 2019, BAMS)

夏季平均のトレンドを除去

5kmの初期日	陸域平均積算降水量(東日本～西日本)			
	再現実験	感度実験	差(mm)	差(%) 過去-感度
6月22日	266.8	252.7	14.1	5.6
6月23日	271.6	249.6	21.9	8.8
6月24日	266.2	251.4	14.8	5.9
6月25日	269.0	251.5	17.5	7.0
6月26日	267.0	248.4	21.6	8.7
5実験平均	268.7mm	250.7mm	18.0mm	+7.4%
6月のトレンドを除去(5実験平均)				+6.5%
7月のトレンドを除去(5実験平均)				+2.7%
8月のトレンドを除去(5実験平均)				+10.7%
全平均				+6.7%

降水量の時系列図 (6/29-7/8)



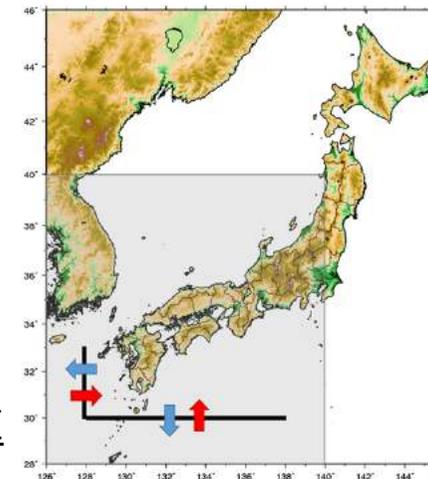
23



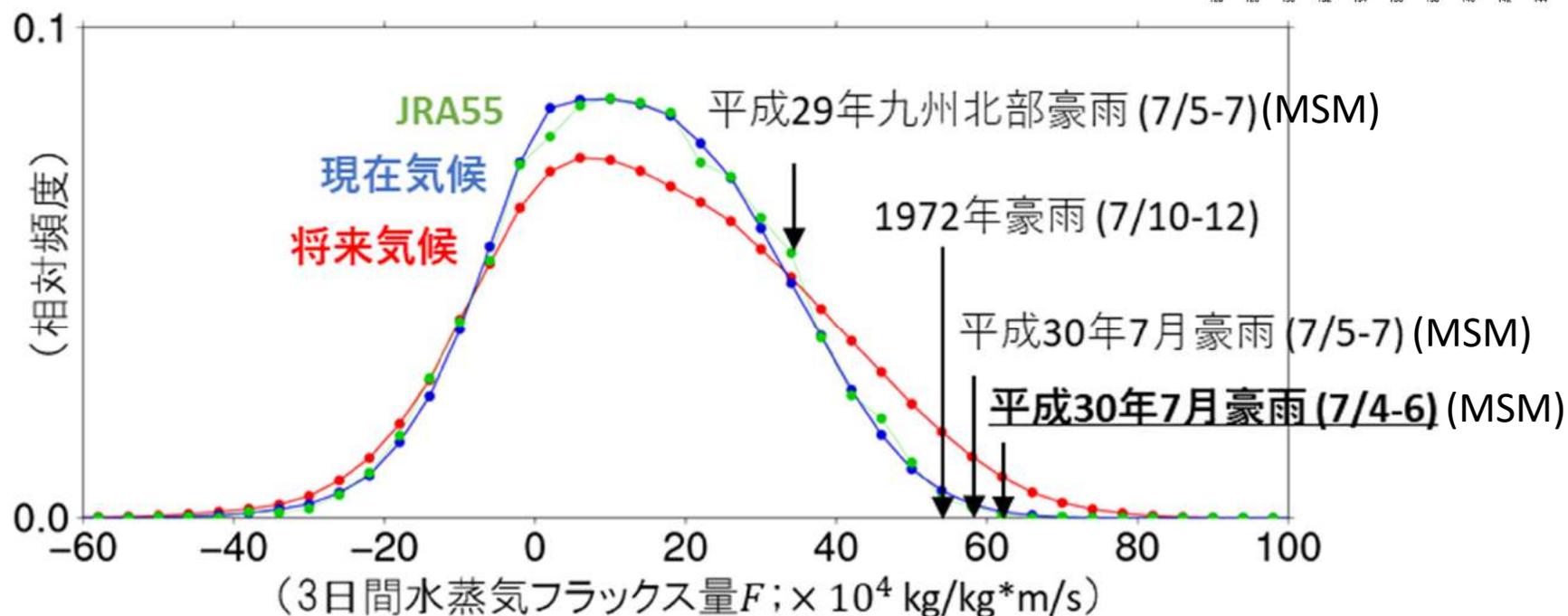
平成30年7月豪雨の水蒸気流入

d4PDF領域モデル出力を用いた解析：

3日間で積算した水蒸気流入量が、現在気候と将来気候でどのように位置づけられるか？



現在気候・将来気候下での日本に流入する水蒸気量

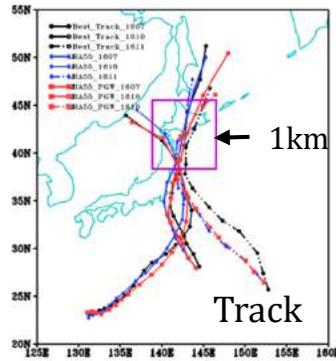


2018年7月豪雨時の水蒸気量は、現在気候では非常に極端な量であった。しかし将来気候では、それ以上の水蒸気量が流入する頻度が増加する。

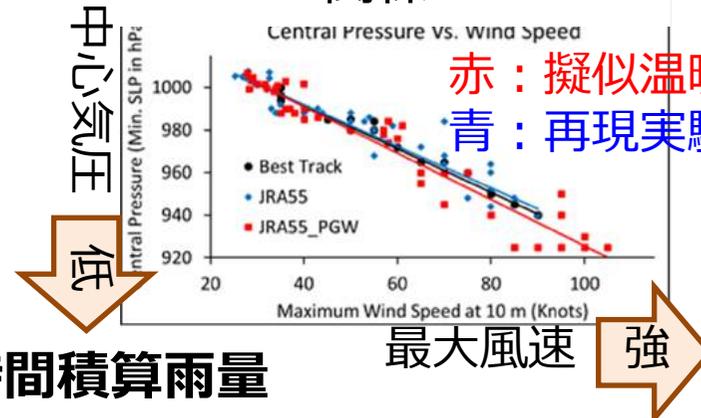
24

北日本での台風影響：2016年8月の台風(7, 10, 11号)

3台風の経路



中心気圧と最大風速の
関係



(Nayak and Takemi 2019)

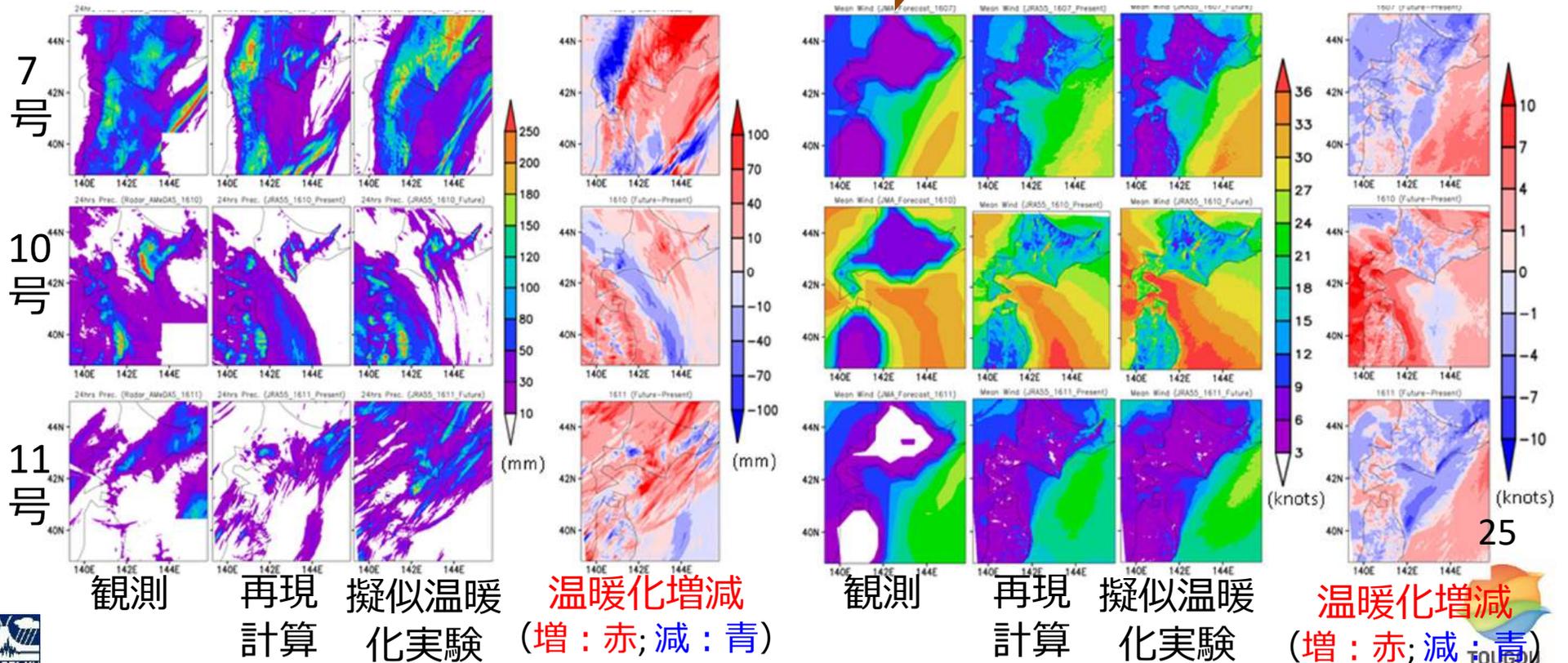
- 温暖化条件で、最盛期の台風強度は強まる
- 風速は、温暖化条件で、東北地方では強化傾向、北海道では弱体化傾向
- 雨量は、温暖化条件で増加

24時間積算雨量

最大風速

強

24時間平均地上風速

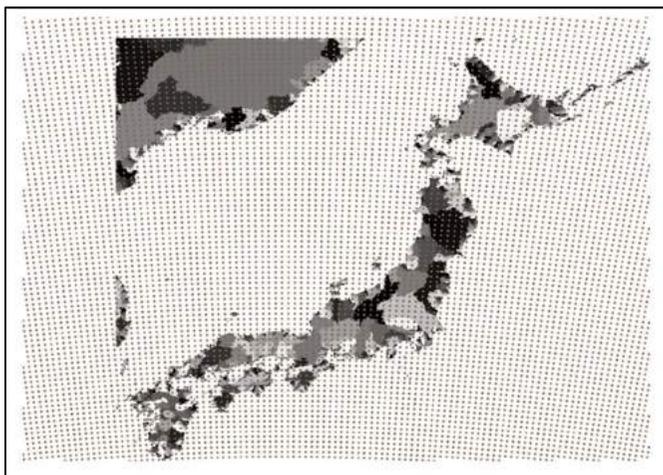


全国109水系での極値雨量・流量評価

d4PDFデータを用いた全国一級河川109水系での極値雨量・流量評価

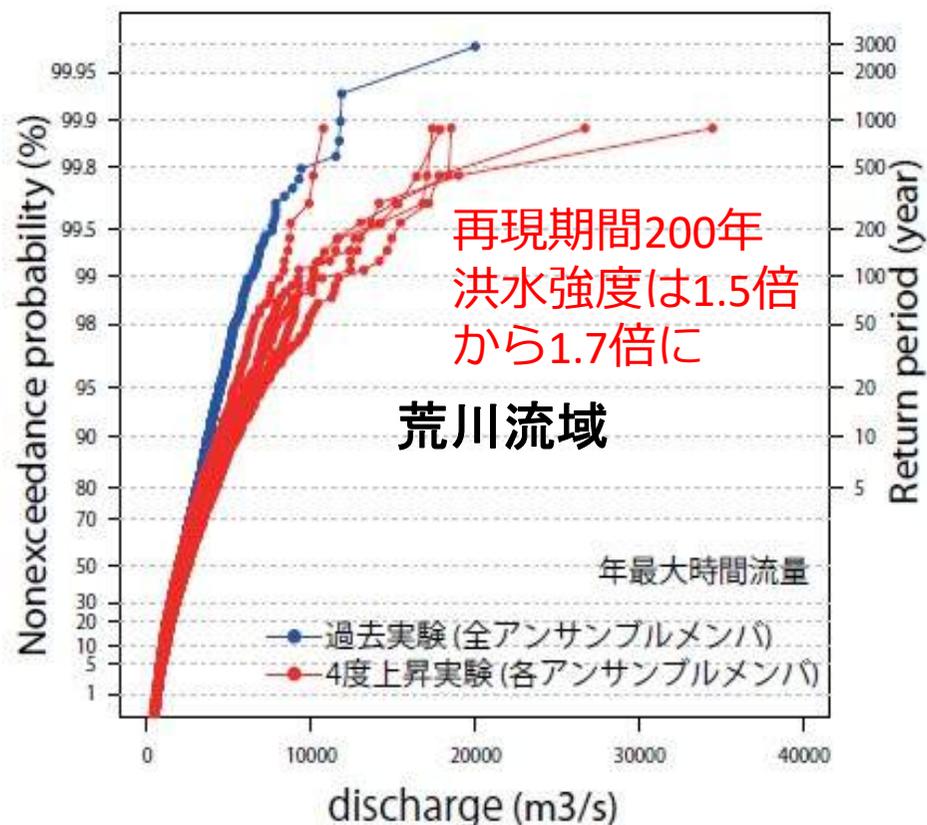
全国の河川流量モデルの構築

d4PDF雨量データ



全国109水系で流量評価

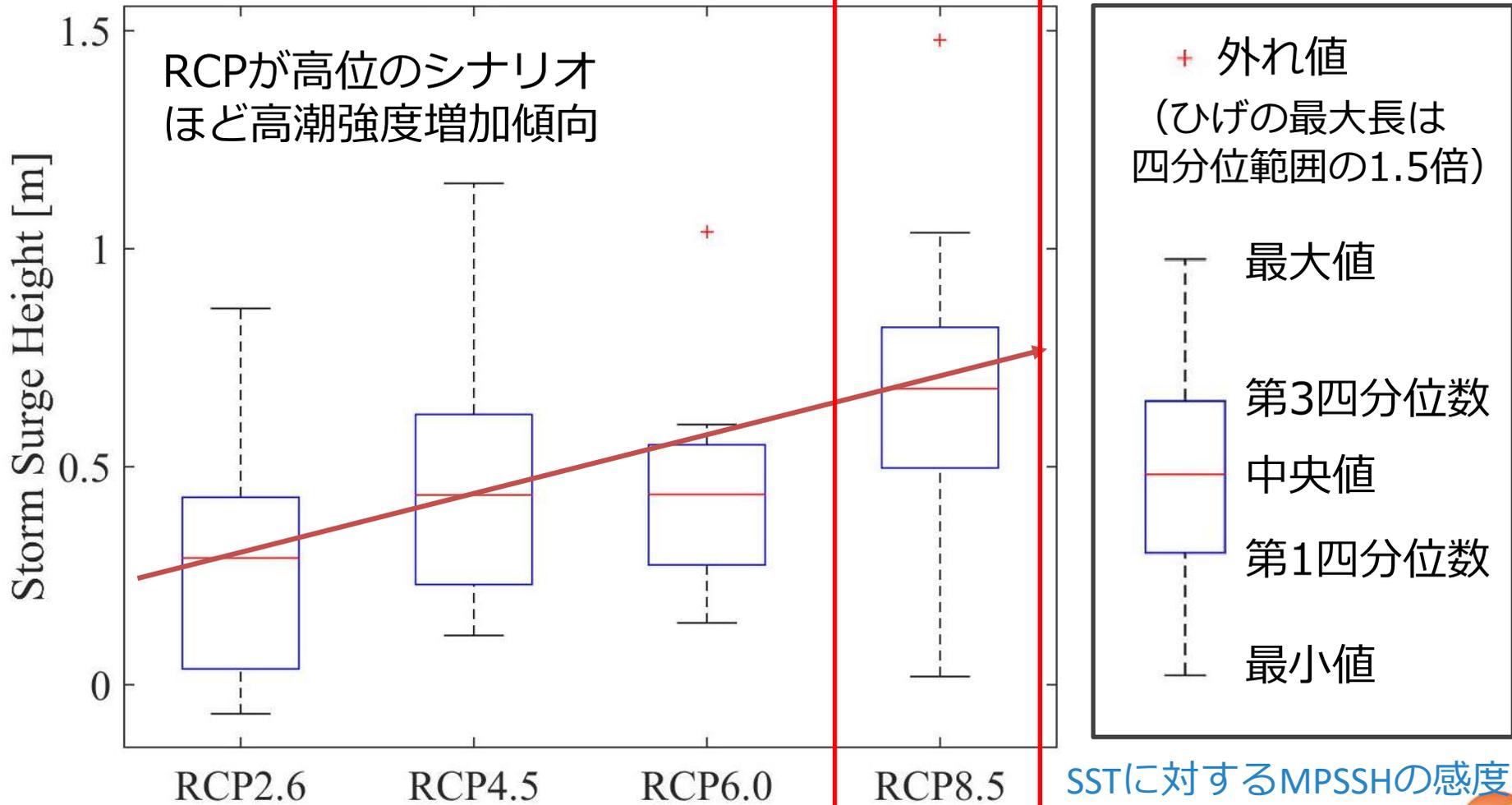
荒川流域での流量評価



可能最大高潮予測モデル開発

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

伊勢湾・9月



SSTに対するMPSSHの感度
平均約0.12m/°C

平均：約0.7m

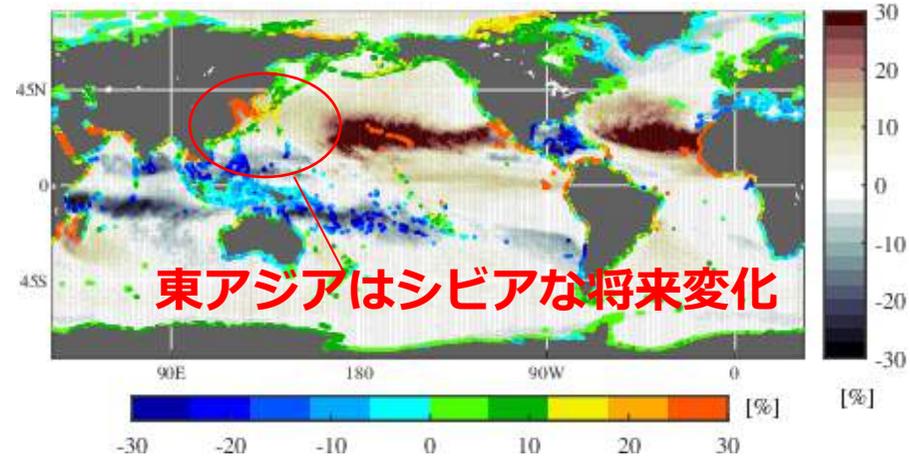
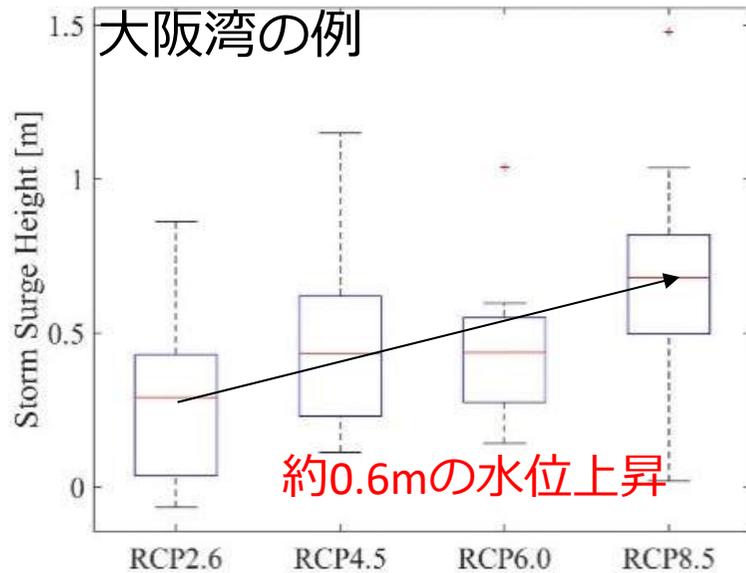
森・志村 (京大防災研)



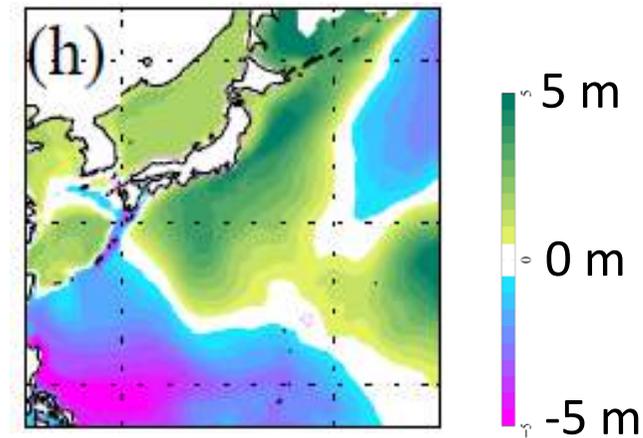
高潮・波浪ハザードモデルの開発・予測

3大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）の可能最大高潮の予測モデル開発

d4PDFによる1/100年確率の高潮（海岸線コンター）と海上風速（コンター）の将来変化：単位%



1/10年波高の将来変化:単位m
(MRI-AGCM+波浪モデル)



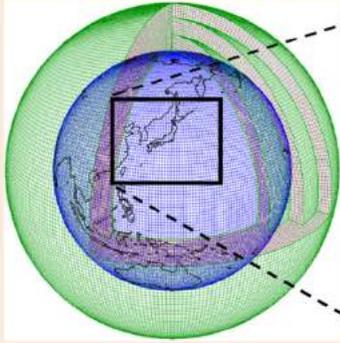
森・志村（京大防災研）

陸面モデルを用いた水資源量評価

d4PDFデータセット

AGCM

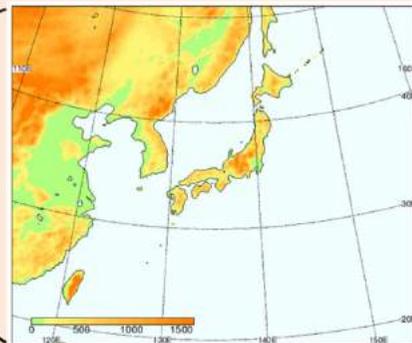
(水平解像度約60km)



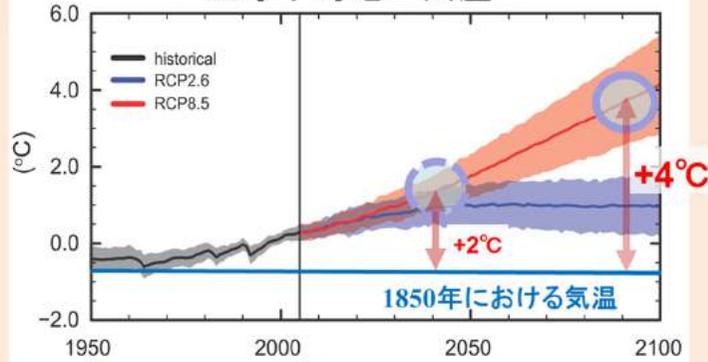
(画像: 気象庁提供)

NHRCM

(水平格子間隔20km)



全球平均地上気温



60km AGCM

100メンバ

非温暖化100メンバ

90メンバ

($6\Delta T \times 15\delta T$)

日本域 20km

50メンバ

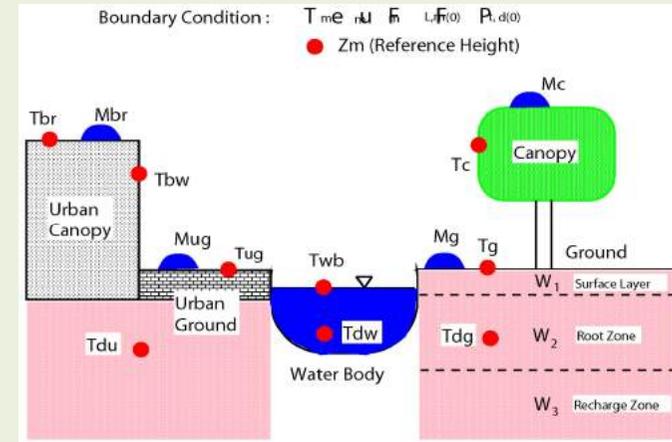
ダウンスケール

90メンバ

1951 過去実験 2010

将来実験 60年

陸面モデルSiBUC



水資源量評価

田中 (京大防災研)

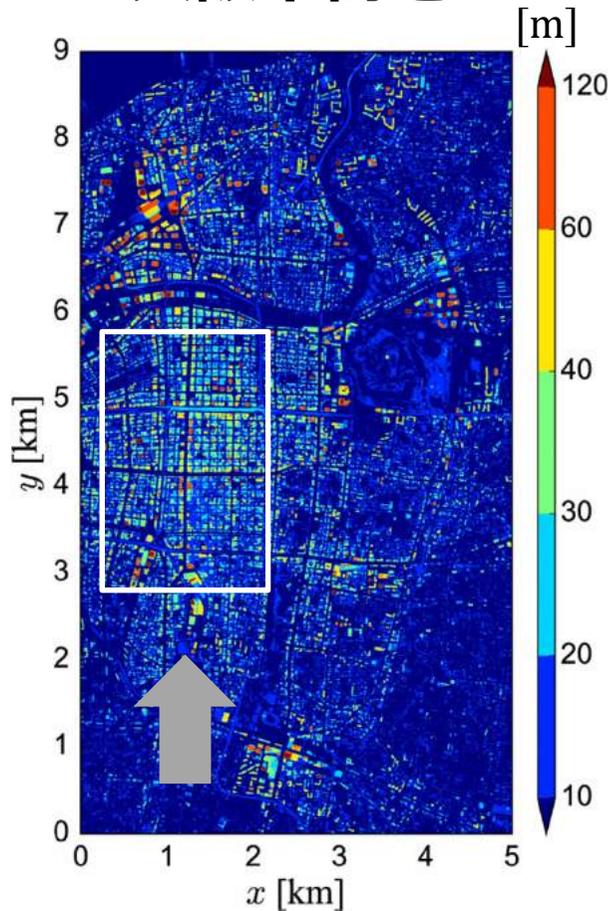
29



影響予測モデルの開発・高度化

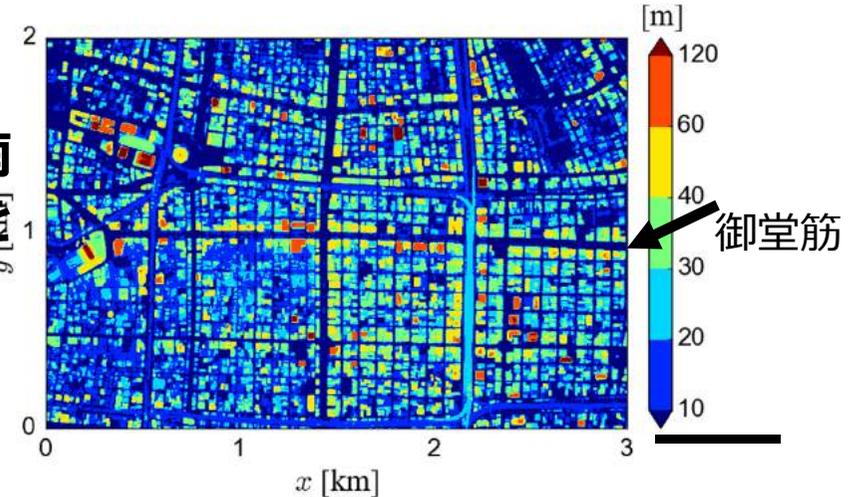
市街地スケールでの気流解析モデルの構築

大阪市街地



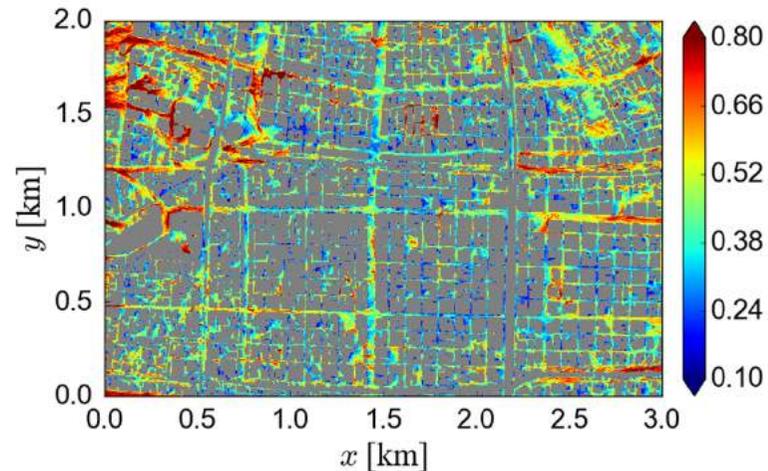
南北3 km・東西2 kmの範囲

台風の南風条件を
入力



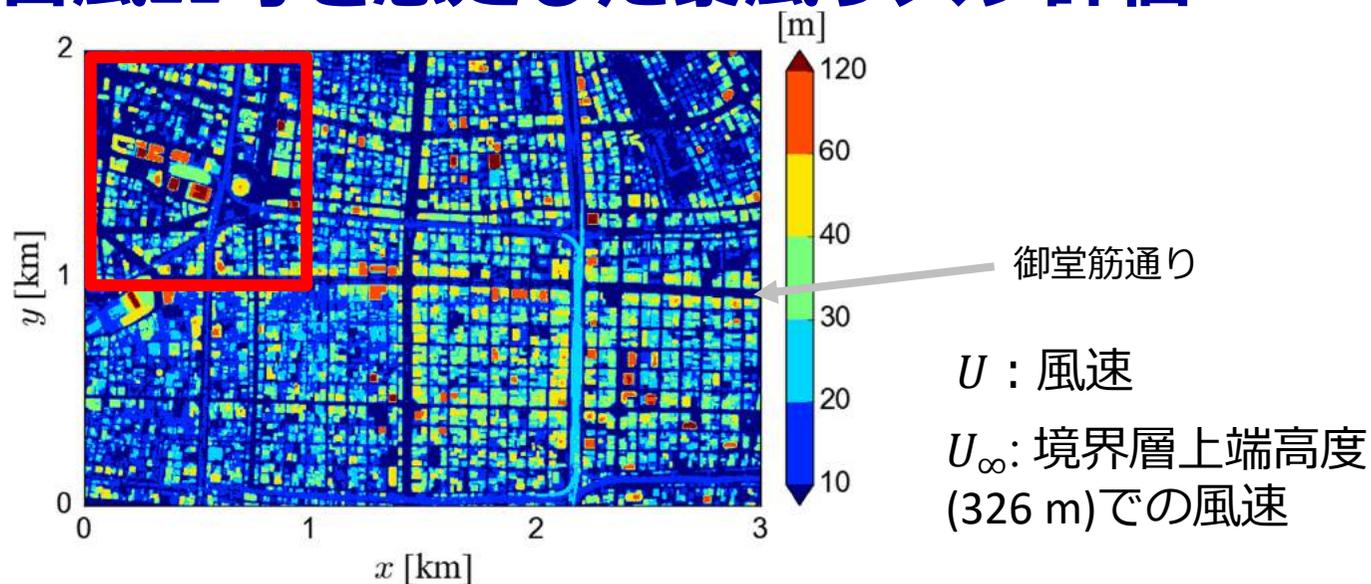
U : 風速
 U_∞ : 境界層上端高度 (326 m) での風速

最大瞬間風速 U_{max}/U_∞

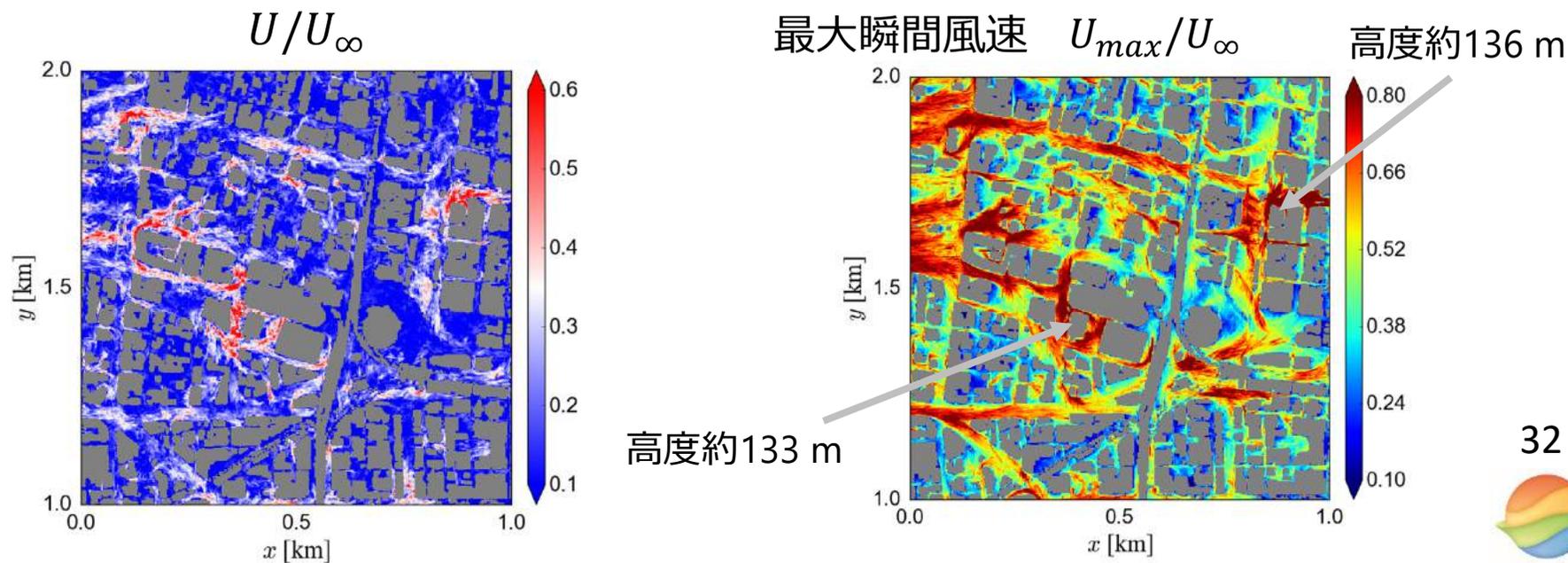


一般に、高層建物が密集する市街地では、上空約300 mでの風速に対し、地上ではその30%程度の風が吹く

2018年台風21号を想定した暴風リスク評価



上空326 mでの風速に対する地上風速の比率

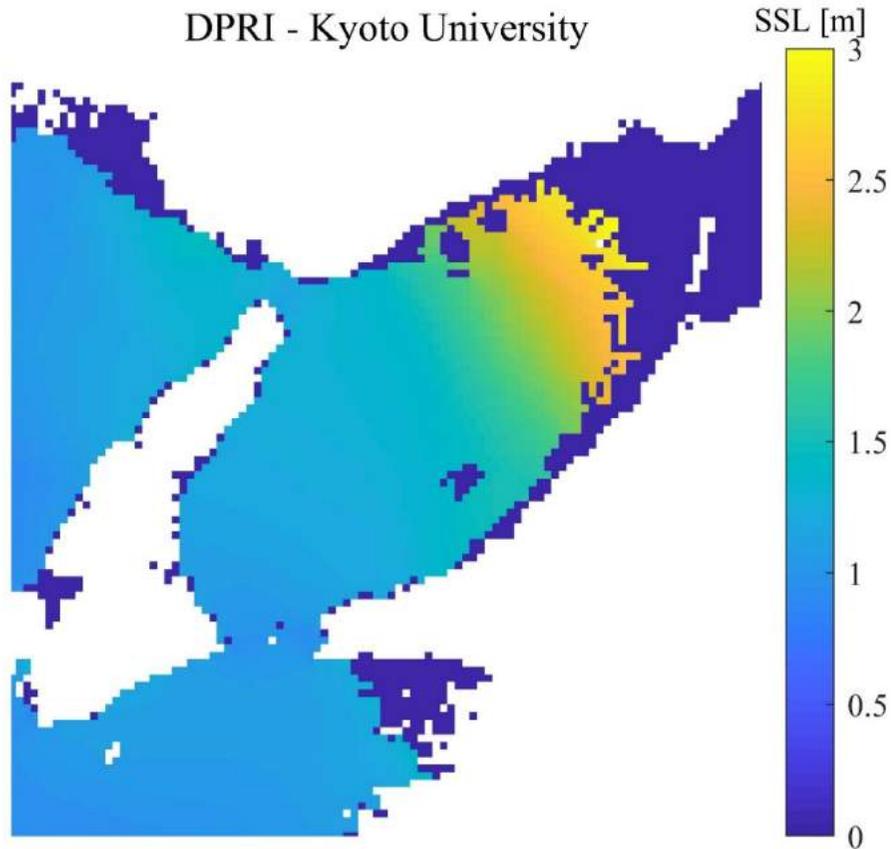


2018年台風21号による大阪湾での高潮の解析

高精細な高潮モデル開発による高潮の数値解析

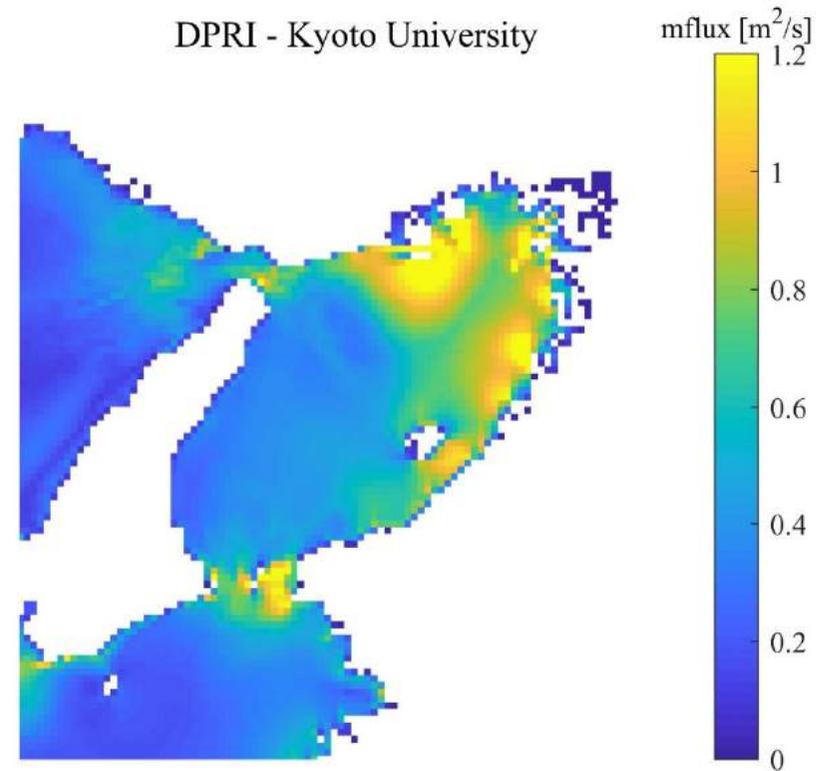
最大潮位変化

DPRI - Kyoto University



最大流量

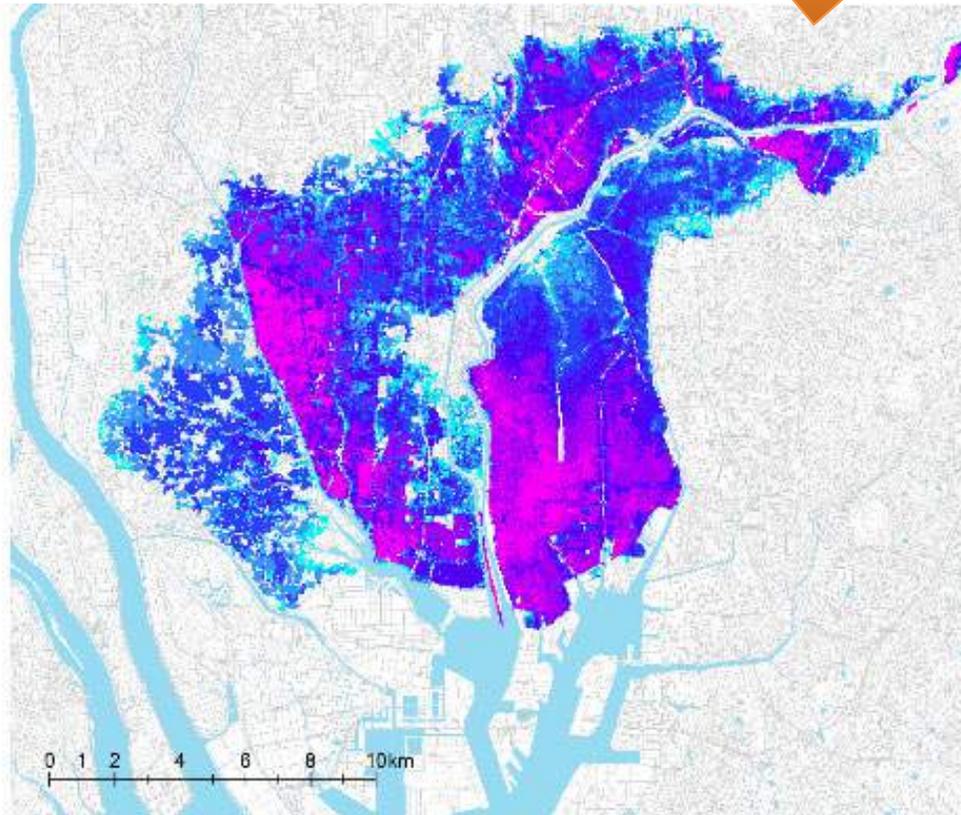
DPRI - Kyoto University



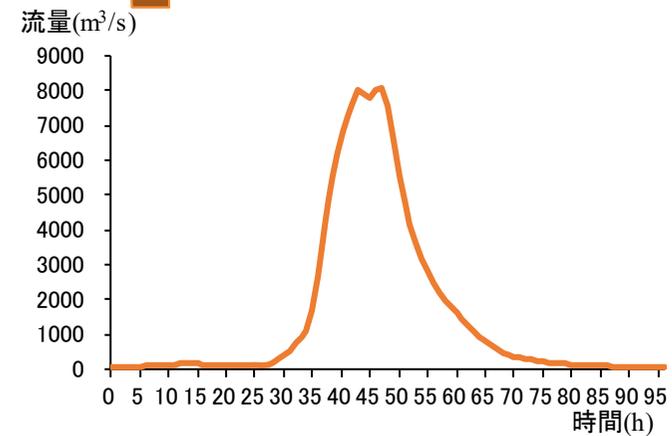
3大都市圏を対象とした内水外水対応氾濫モデル開発

大都市内水・外水氾濫モデル開発 最大クラス氾濫予測

名古屋圏



最大クラス流量

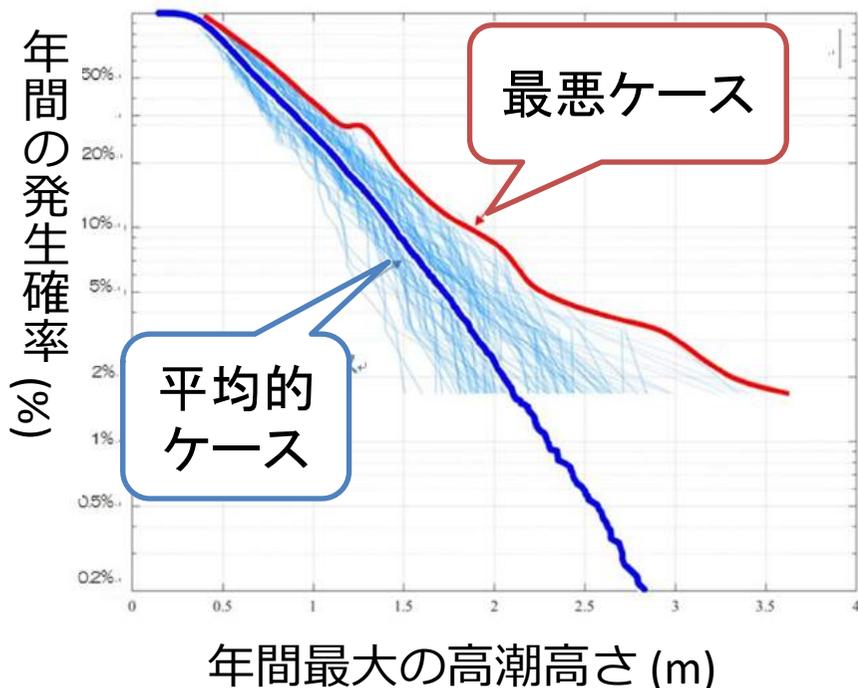


(庄内川下流の計画高水流量
4400m³/s)

後悔しない適応戦略の設計

適応策に関する戦略に関する意思決定モデルの開発

ハザードの将来変化 (d4PDF)



数理モデル構築

$$\text{Max}_{f \in \Omega} \int_0^T \{ (1 - \alpha) \int u_t(f_t(\omega_t)) d\bar{p}_t(\omega_t) + \alpha \int u_t(f_t(\omega_t)) dp_t(\omega_t) \} dt$$

アンケート調査

予測A: 平均的ケースでの家屋浸水予測

頻度	年間確率	浸水の深さ		
10年に1回	10%			
20年に1回	5%			
50年に1回	2%			
100年に1回	1%			
200年に1回	0.5%			
		0.1m以上 (床下浸水)	0.5m以上 (床上浸水)	3.0m以上 (家屋水没)

予測B: 最悪ケースでの家屋浸水予測

頻度	年間確率	浸水の深さ		
10年に1回	10%			
20年に1回	5%			
50年に1回	2%			
100年に1回	1%			
200年に1回	0.5%			
		0.1m以上 (床下浸水)	0.5m以上 (床上浸水)	3.0m以上 (家屋水没)



まとめ

気候予測と影響予測の密な協力によって、気候変動下の自然災害・水資源への影響の定量化が可能となってきた

農林水産分野の専門家も参画し、気候変動による農林水産業への影響も評価できるようになってきた

高分解能・高精細な数値モデルの開発が進んでおり、より身近なスケールでの影響予測・評価も今後進んでいくであろう

気候変動適応策の策定など、より実務分野との連携も今後ますます展開していくであろう