

京都府 淀川水系の河川整備に関する技術検討会(第2回)
京都ガーデンパレス 2階「鞍馬」、2021年1月7日

日本の自然災害に関する気候変動予測と 適応に向けた展望



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**



TOUGOU
Integrated Research Program
for Advancing Climate Models

資料3-1

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日からの大雨】



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】



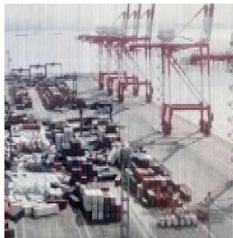
⑥桂川における浸水被害
(福岡県朝倉市)

【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】



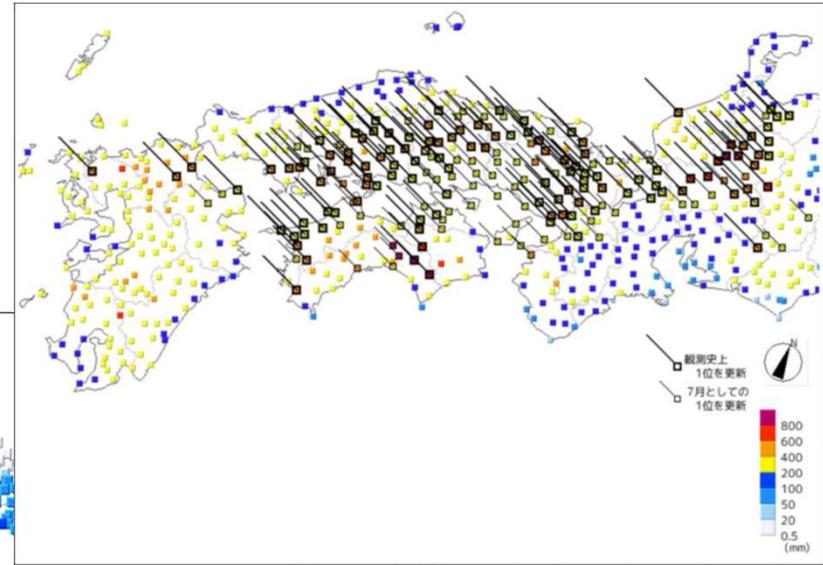
⑩球磨川における浸水被害
(熊本県人吉市)



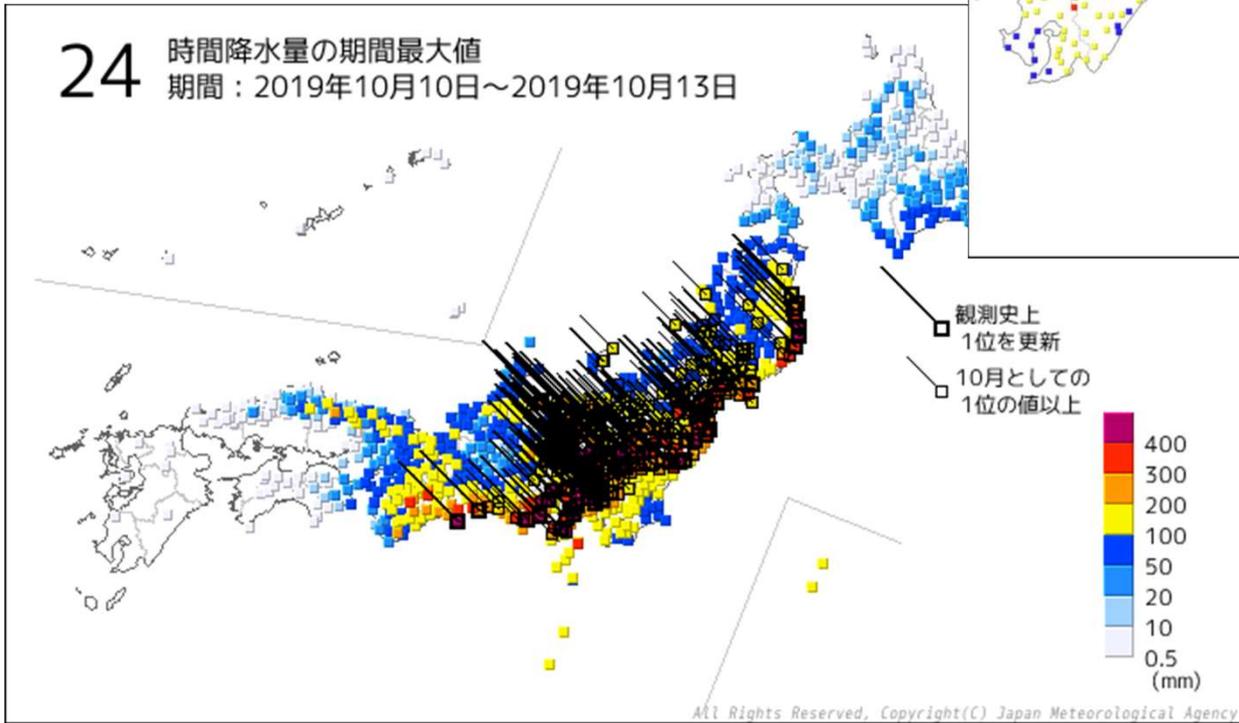
国土交通省(2019)に中北が追加

令和元年10月台風第19号の特徴(降雨)

平成30年西日本豪雨時の72時間降水量の期間最大値



24 時間降水量の期間最大値
期間：2019年10月10日～2019年10月13日



72時間降水量	53
48時間降水量	72
24時間降水量	103
12時間降水量	120
6時間降水量	89
3時間降水量	40
1時間降水量	9

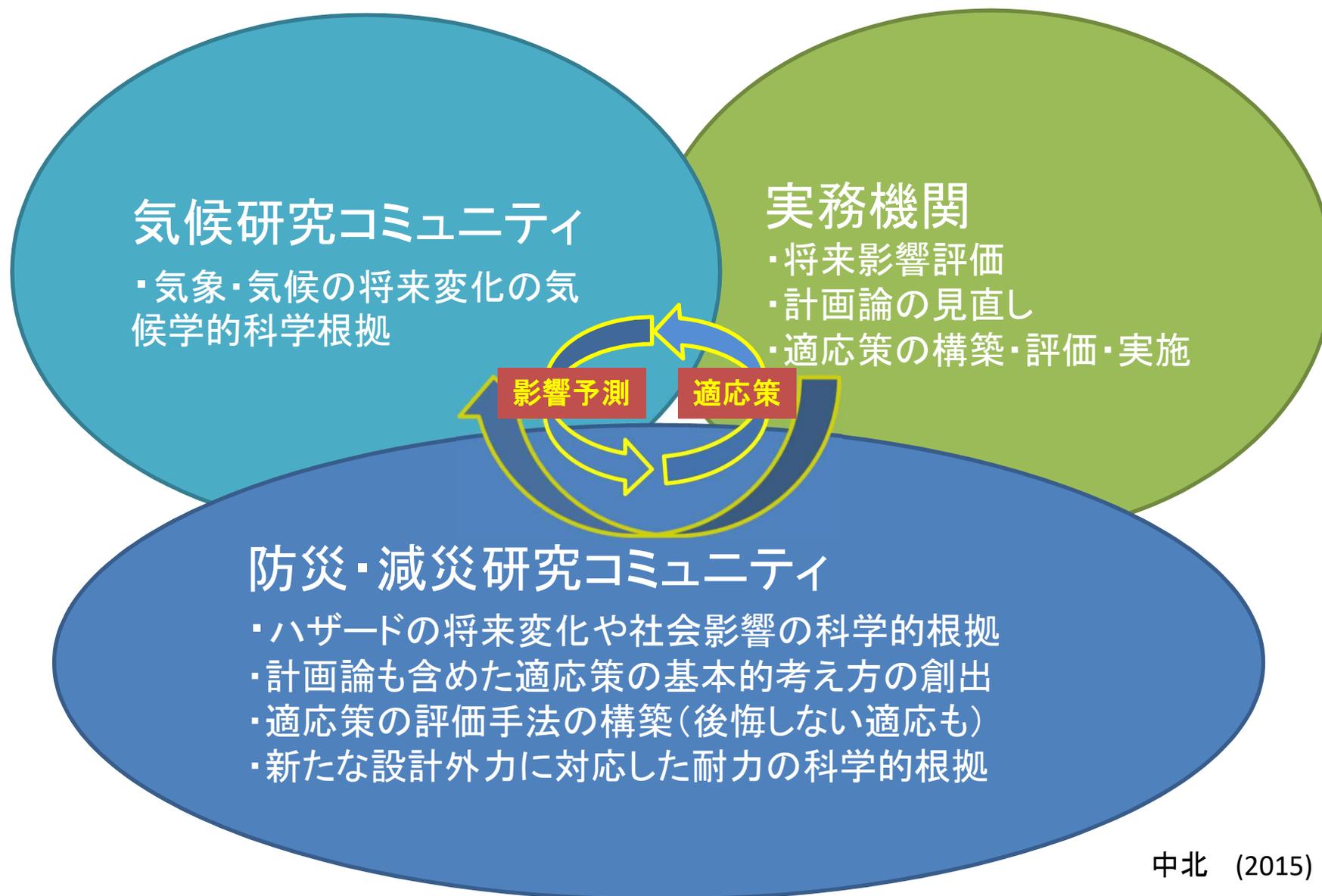
※気象庁ウェブサイトより作成(特定期間の気象データ;2019年10月10日～2019年10月13日(令和元年台風第19号による大雨と暴風))
※数値は速報値であり、今後変更となる場合がある。

最近の災害から思うこと

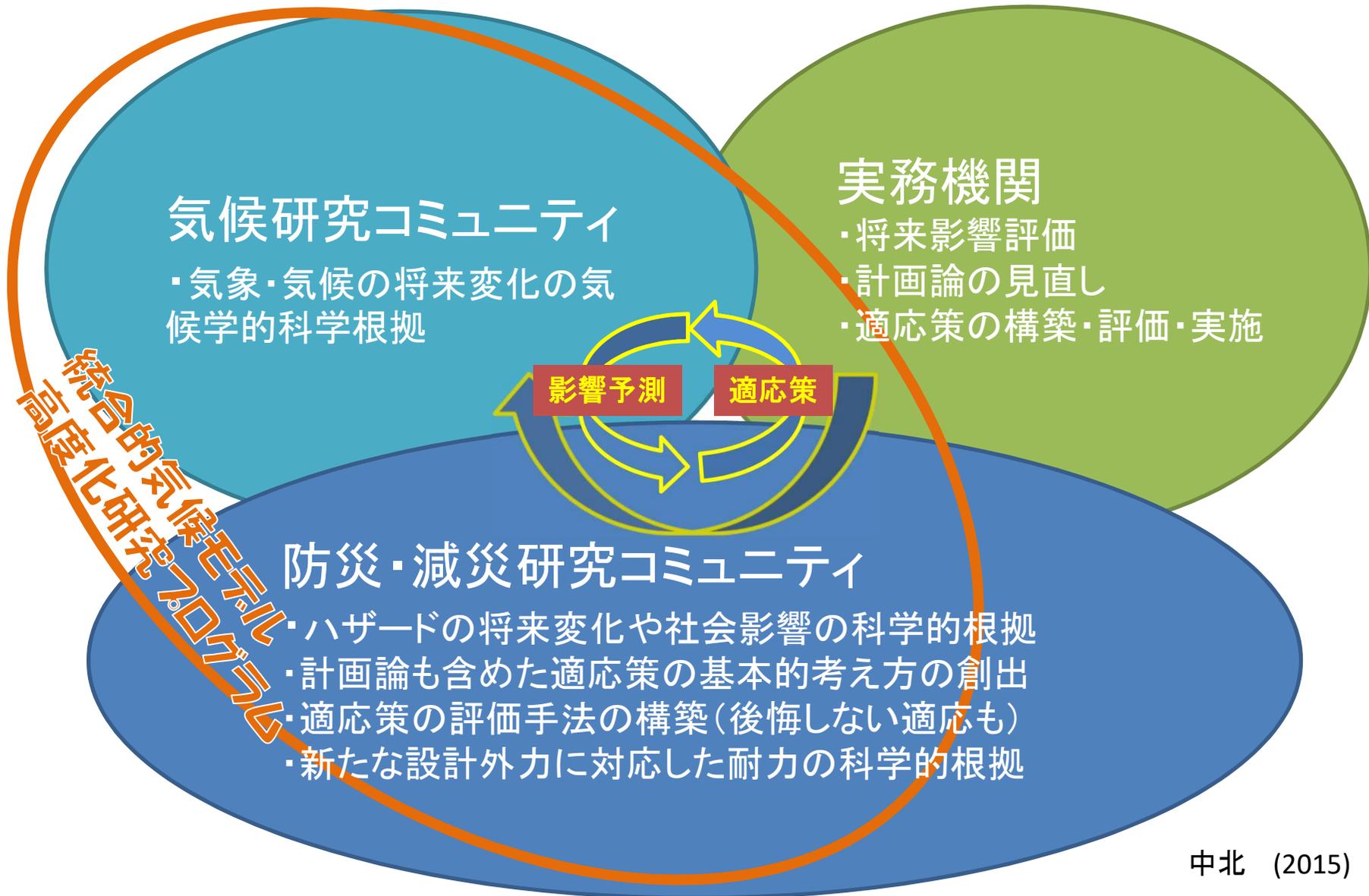
- 地球温暖化の影響が出だしているのではないか？
- 今までの常識が通用しない。
 - 豪雨:より頻繁に、より強力に、初めての地域に=>未経験
 - 西日本豪雨:強力ではないが、広域で長期間
- 後悔しない、地球温暖化への適応
 - 科学的な気候変動将来予測を軸にした適応
 - 治水の基礎体力の増強
 - 危機管理の深化
 - 自助・共助としての防災力の増強
 - とともに時間がかかる。じわじわでも温暖化進行の方が早い。=>後悔しない早い目そして計画的な対応が必要！
- では、何を？どの優先順に適応するか？
 - 将来予測の共有
 - 災害からの教訓
- 水工学・土木工学・気象学”研究”として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



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



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



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

20 km Global Model



20km全球気候モデル(GCM)
台風災害

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:

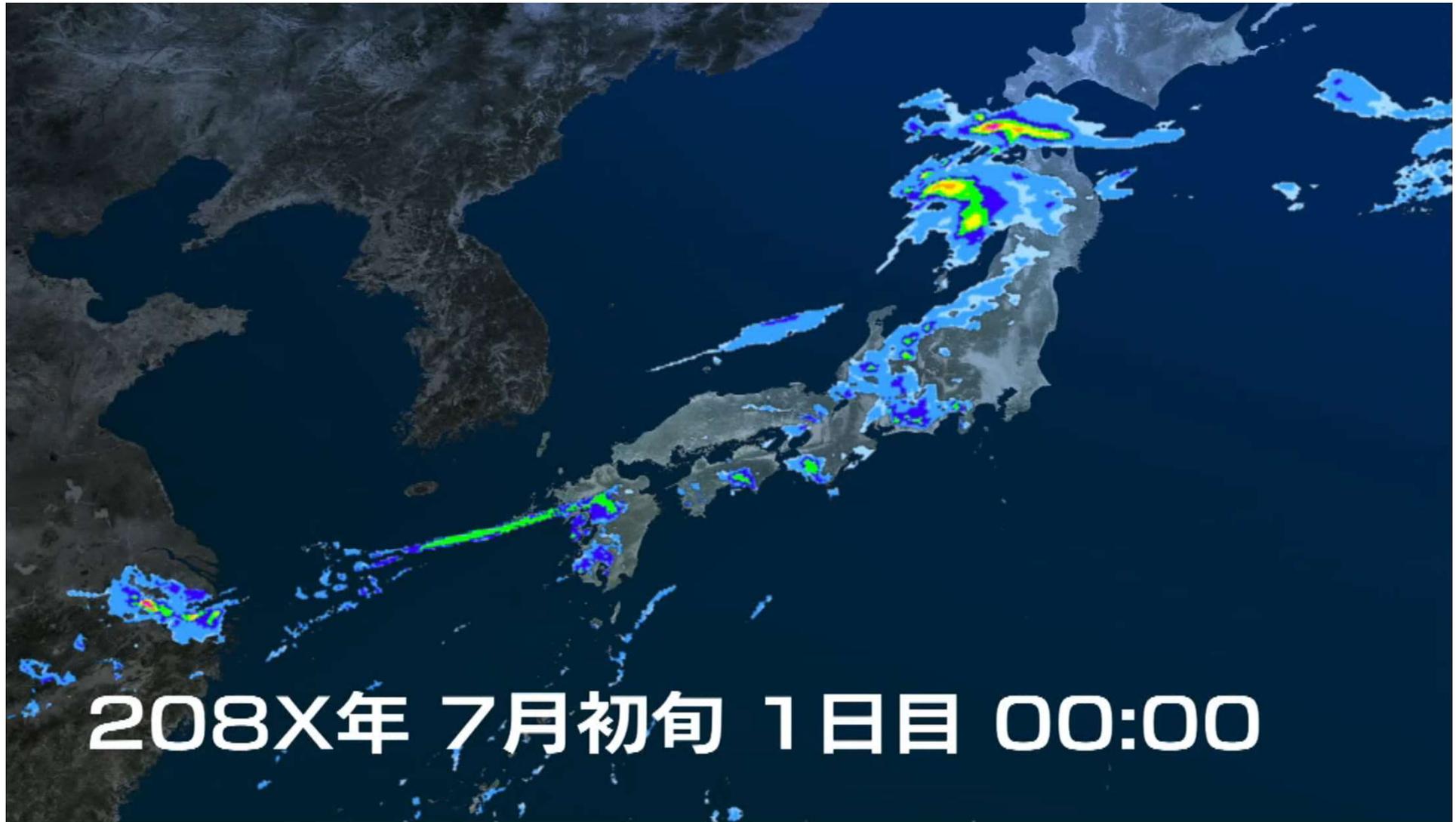
- 都市化や下層水蒸気の流入増があり増えるだろう



SOUSEI

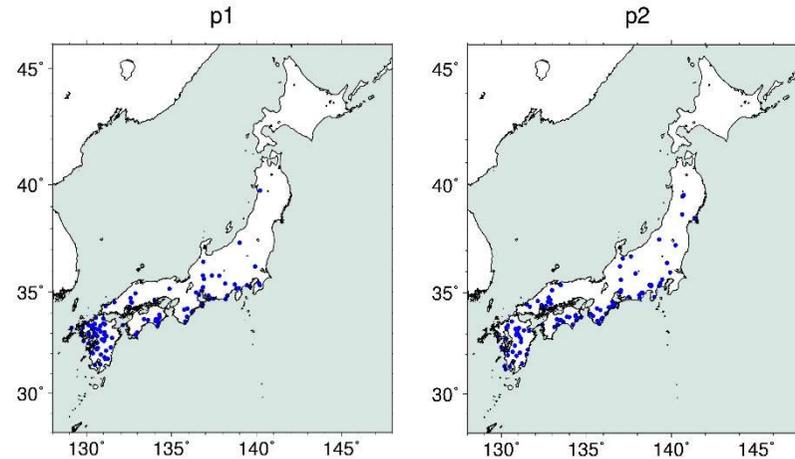


KAKUSHIN

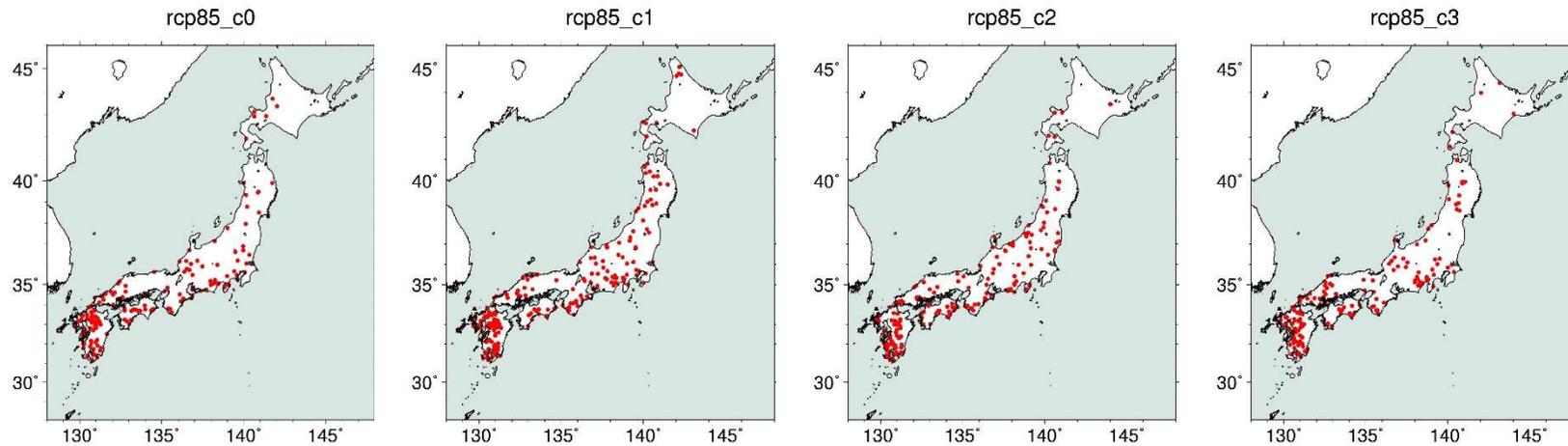


シミュレーション: 気象庁気象研究所
画像作成: NHK

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)



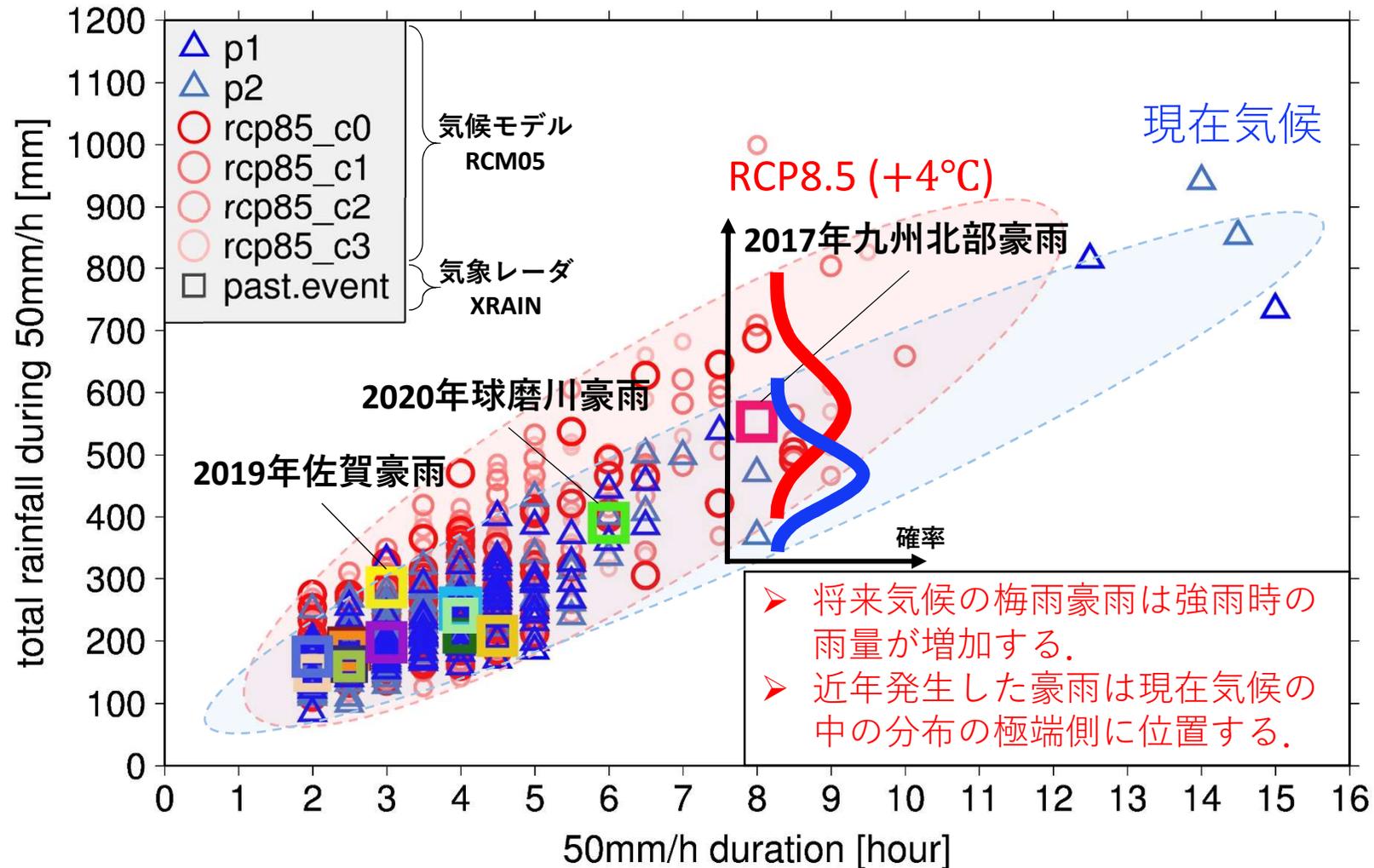
RCP8.5世界での将来数値実験結果(4候補)

- ・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

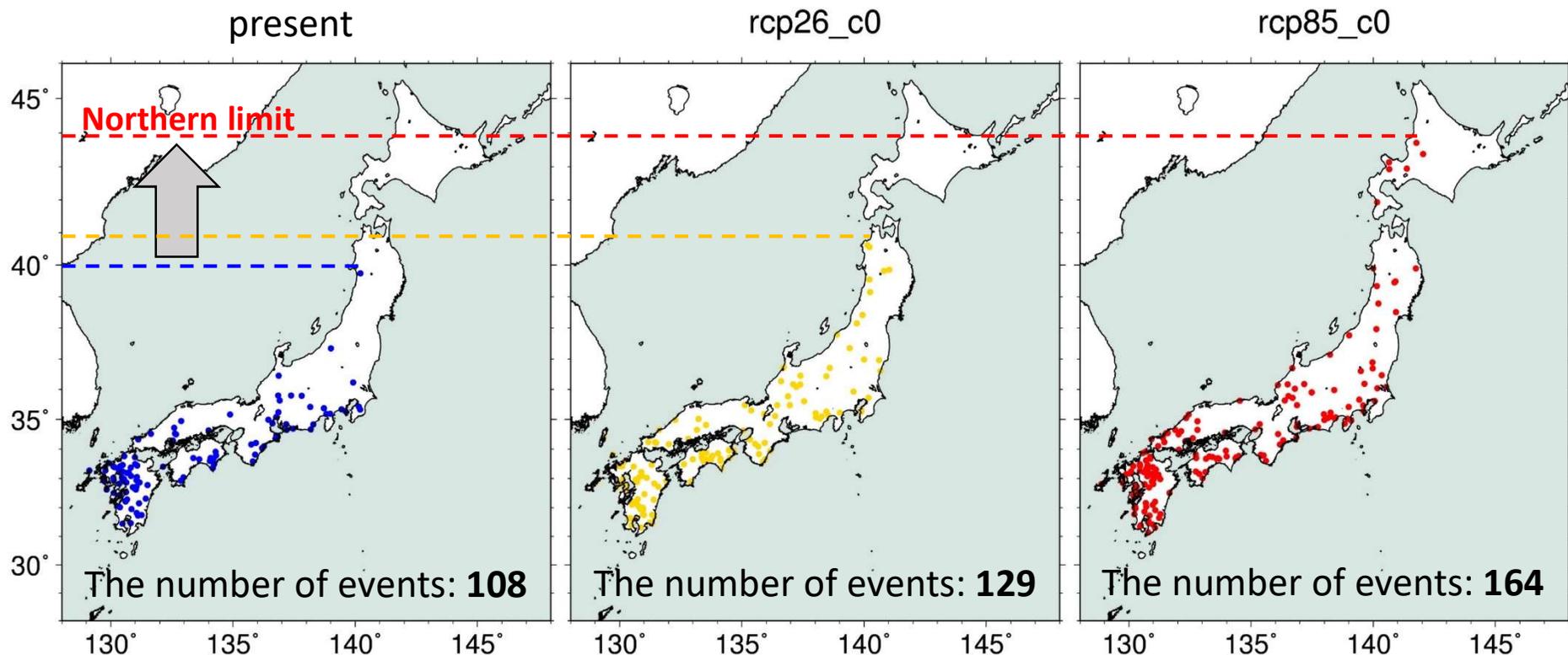




Future change _ Occurrence Area

Occurrence points of Baiu heavy rainfall during each period

- Present: 1981-2000 (20-year)
- Future: 2077-2096 (20-year) under RCP2.6 & RCP8.5

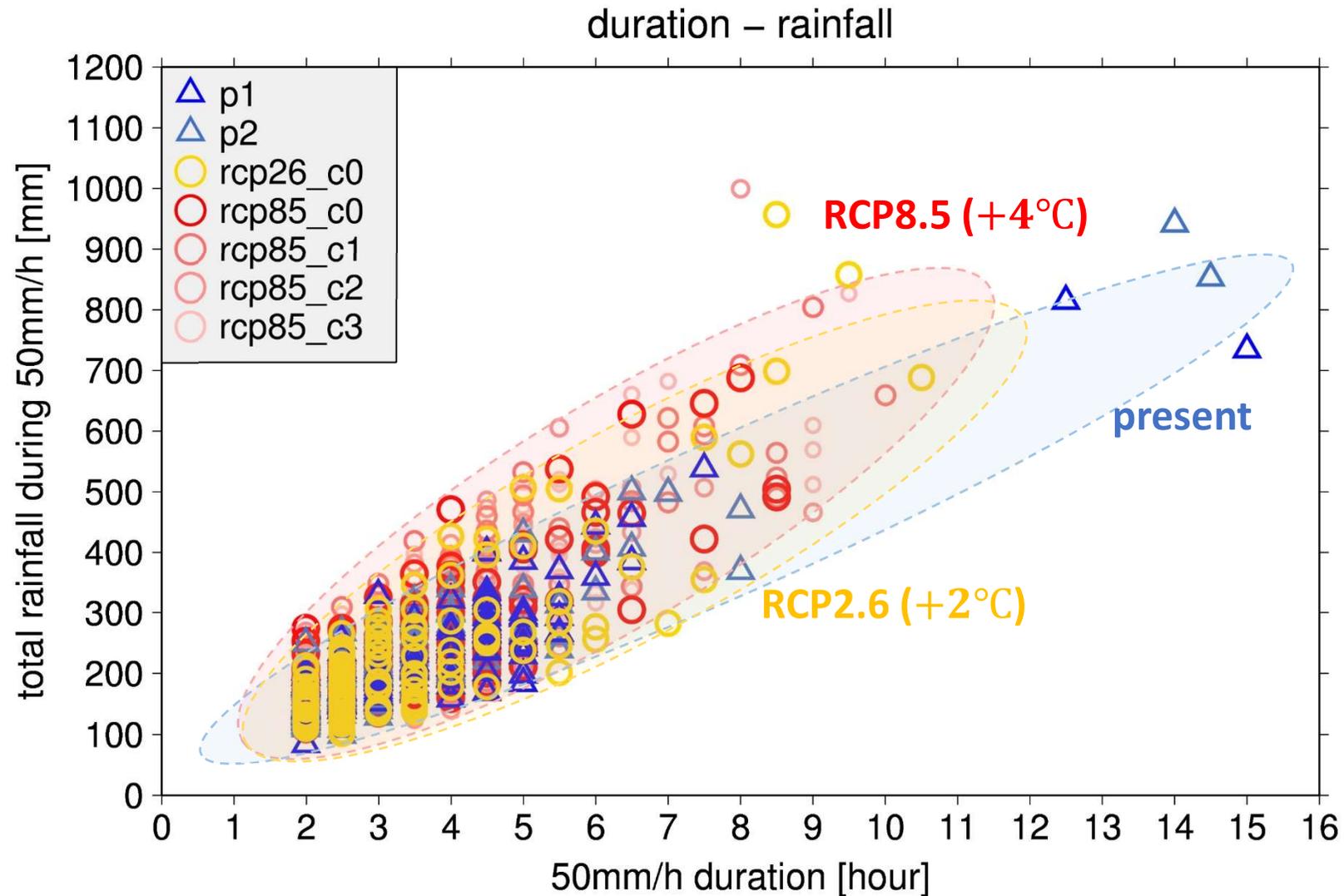


- The number of events will increase.
- Northern limit of its occurrence area will expand.

Osakada and Nakakita, 2020. Confidential



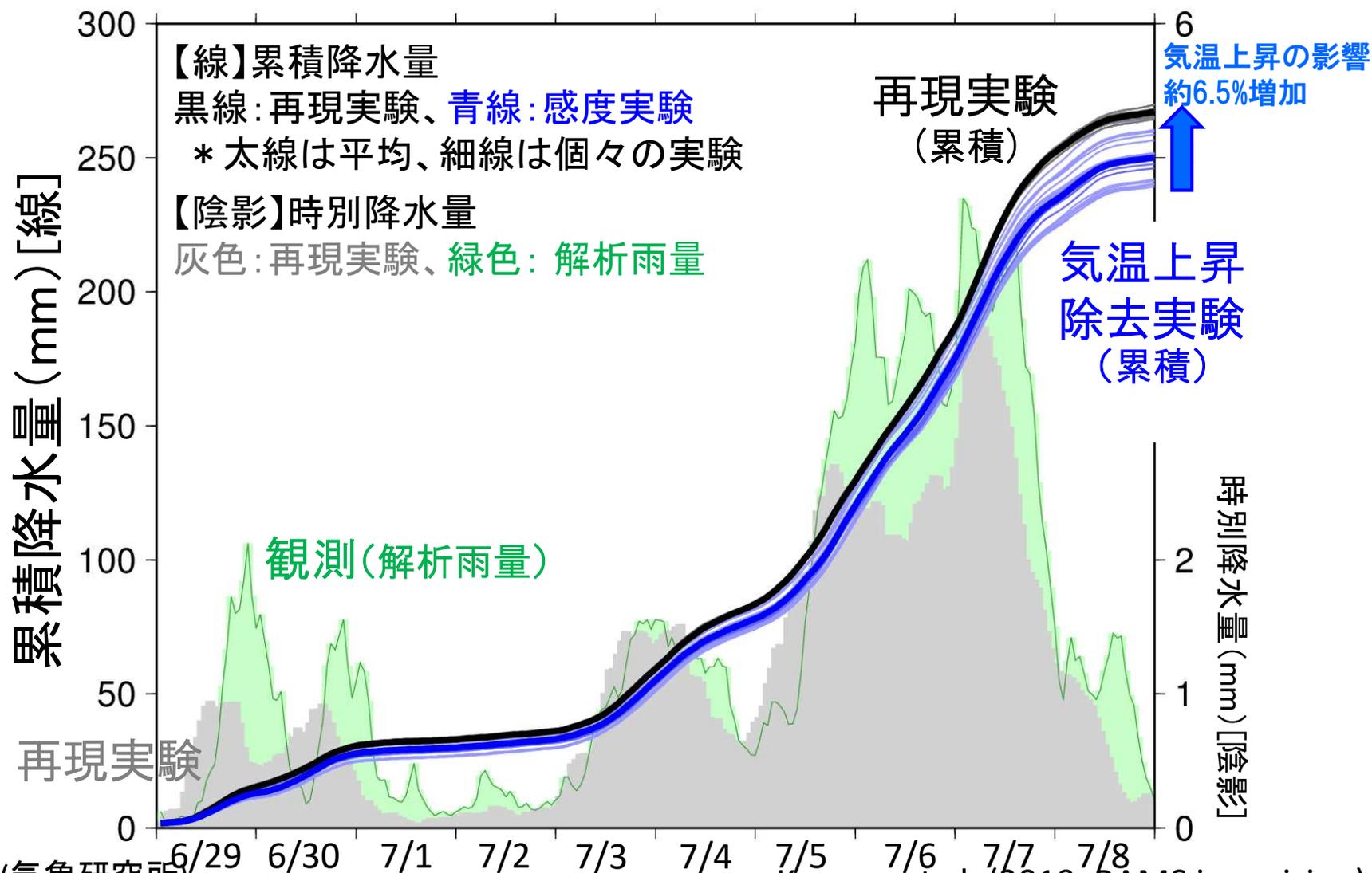
Future change _ Accumulated rainfall



～事例ベースの量的アプローチ～

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



提供：川瀬(気象研究所)

Kawase et al. (2019, BAMS in revision)

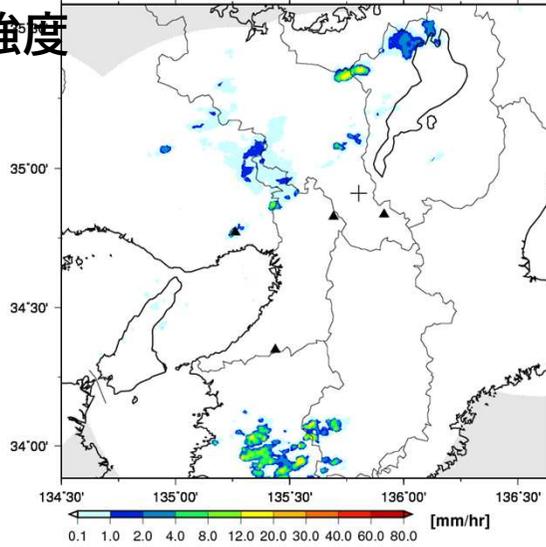


擬似温暖化計算結果

Xバンドレーダ(観測)

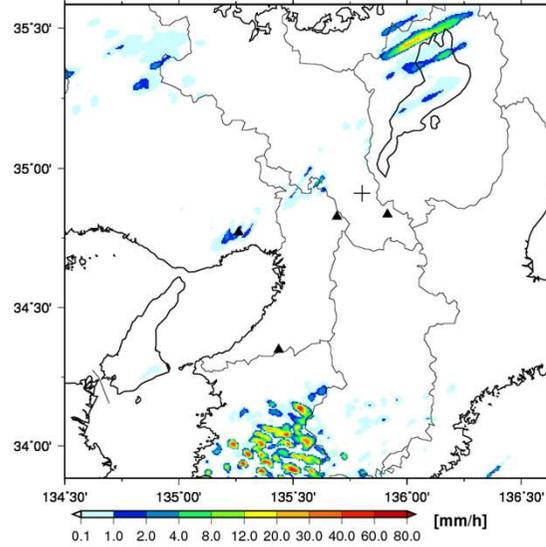
XRAIN Rainrate 20120715 00:00

降雨強度



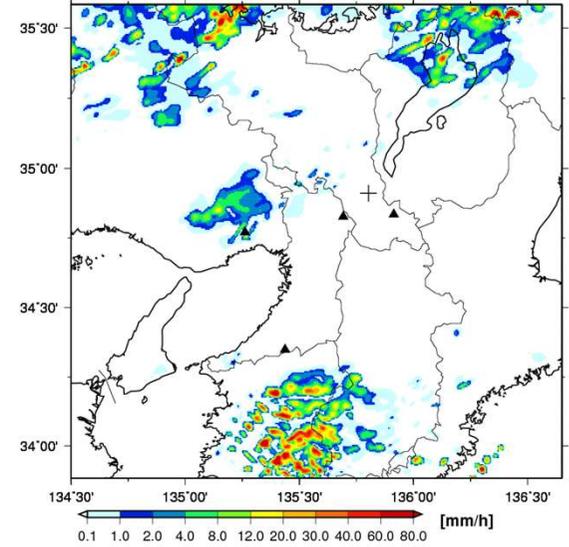
現在気候実験

CReSS rainrate 20120715 00:00



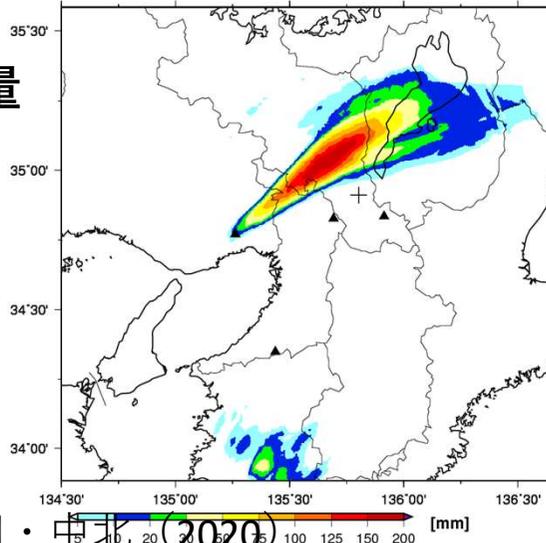
擬似温暖化実験

CReSS rainrate 20120715 00:00

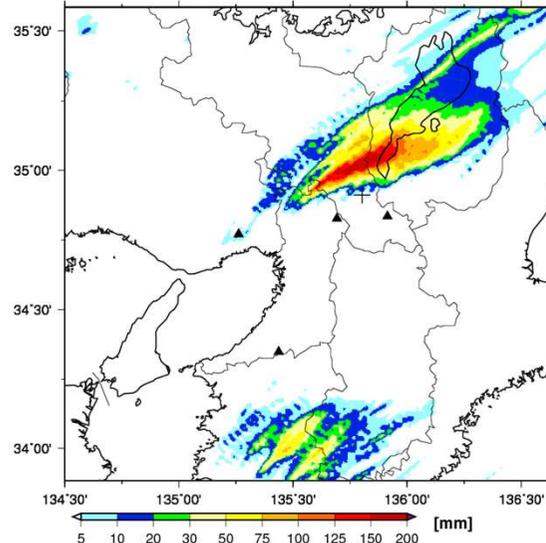


6時間
総雨量

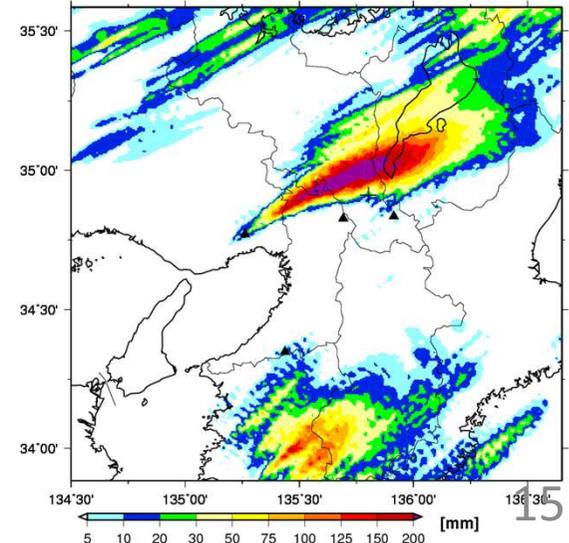
Accumulated rainfall 20120715 06:00



Accumulated rainfall 20120715 00:00-06:00

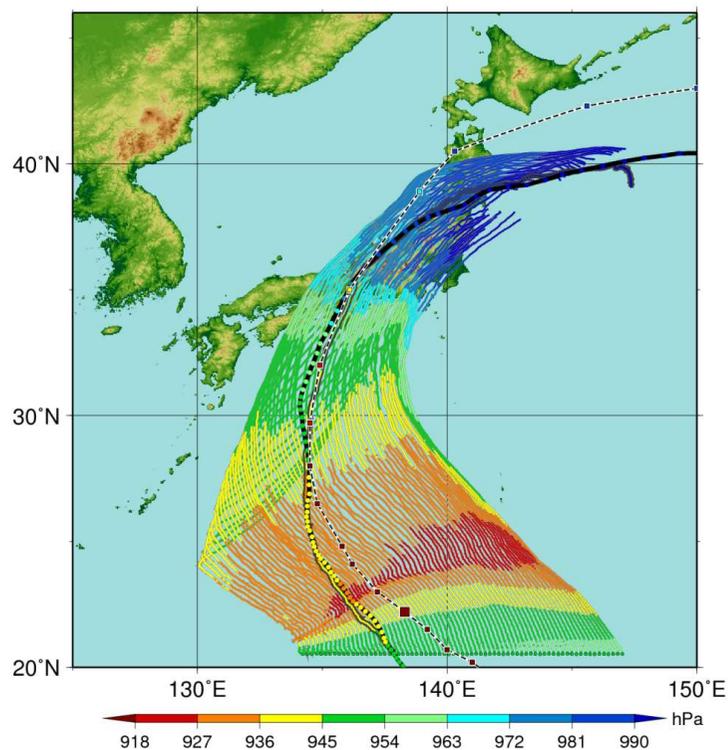


Accumulated rainfall 20120715 00:00-06:00

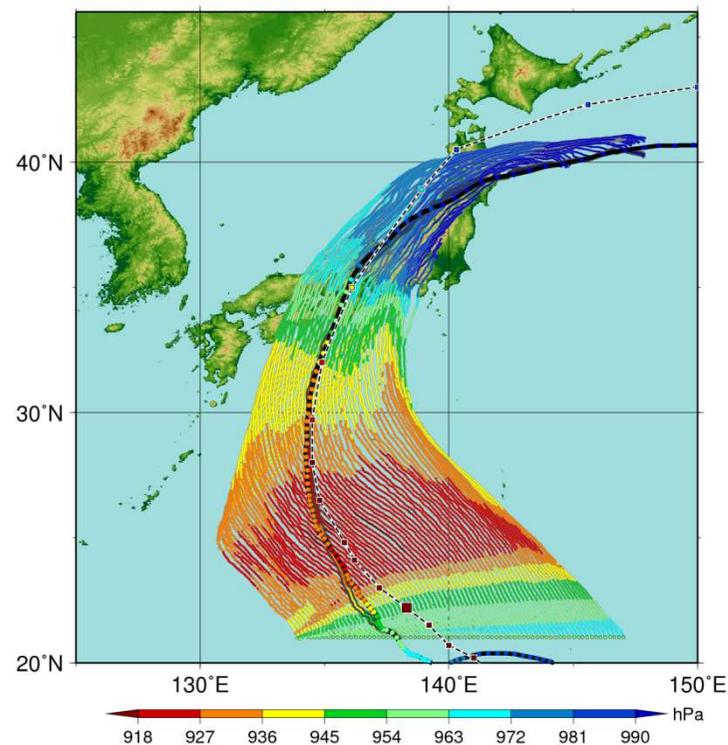


コースシフトと疑似温暖化による最悪シナリオ (伊勢湾台風)

実際のコースとコースシフト



疑似温暖化後

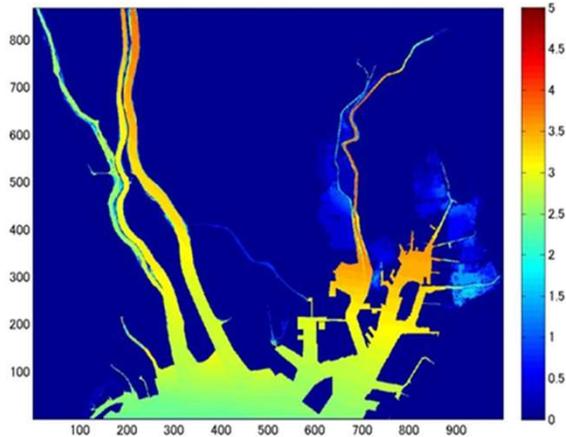


Max. wind	Reproduced	PGW	diffrence
Ise Bay	35.7(m/s)	41.1(m/s)	+5.4(m/s)
Osaka Bay	32.3	36.3	+4.0

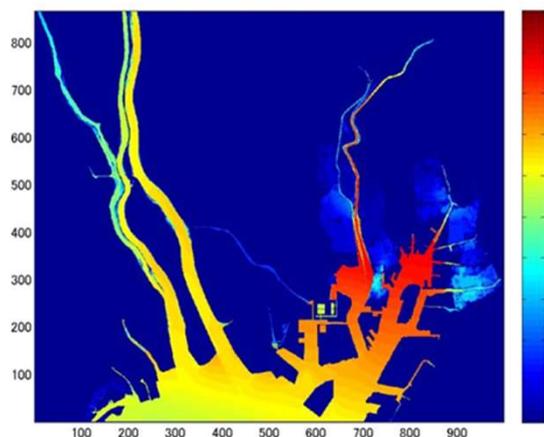
(DPRI : Oku, Takemi, Ishikawa)

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

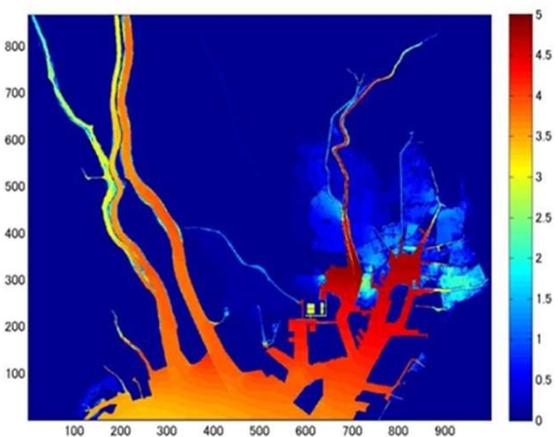
Typhoon Vera
(historical run)



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**



Shibutani et al, 2014

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



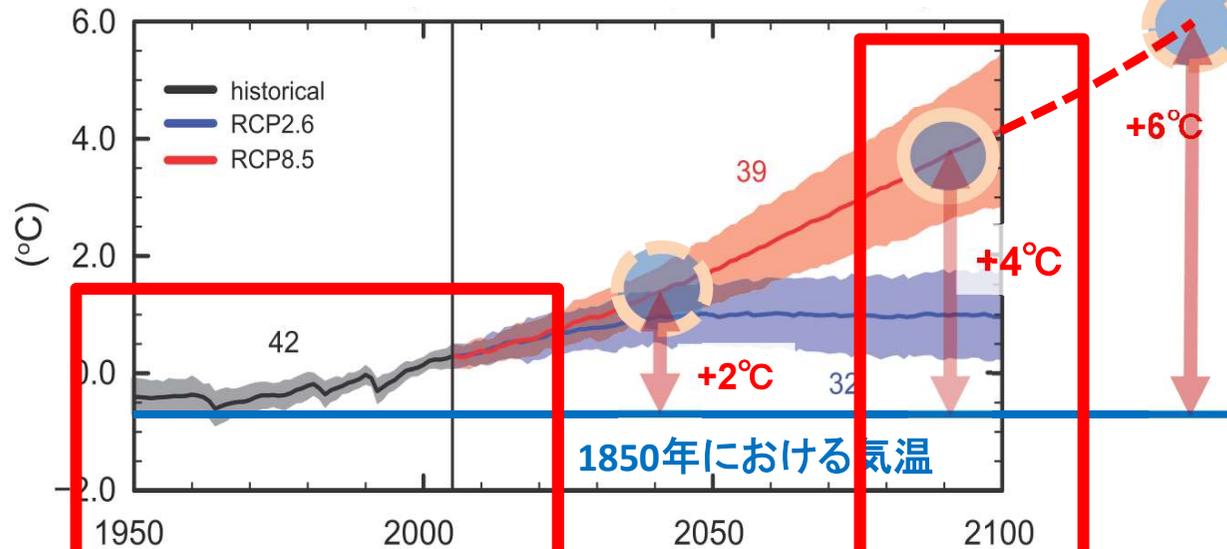
KAKUSHIN

- ・ 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

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

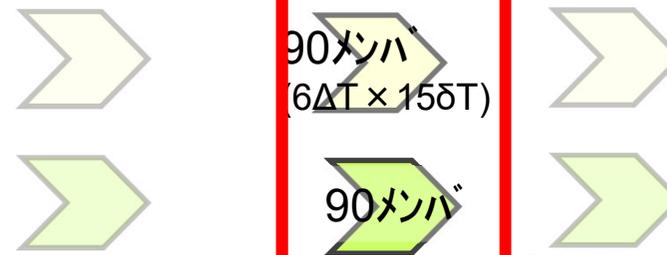
- 100メンバ
- 非温暖化100メンバ

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



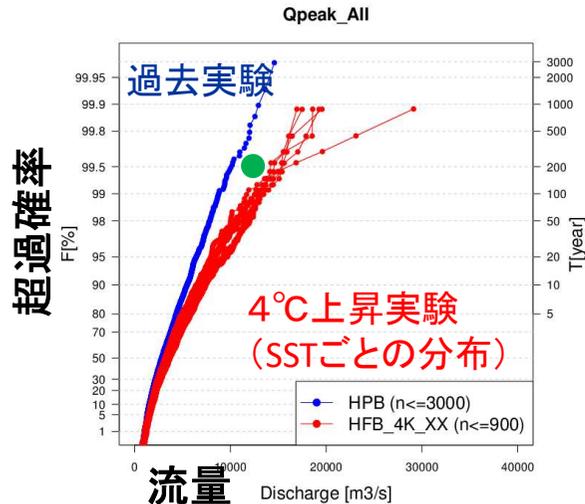
60年

将来実験

ΔT: 温暖化時SSTパターン
δT: 初期値+SST摂動

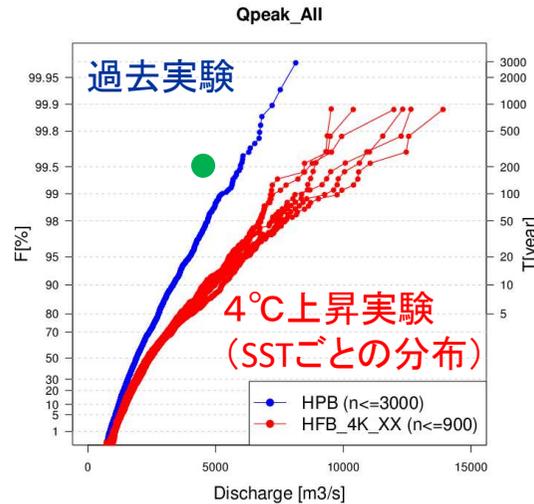
d4PDFを用いた淀川、庄内川および荒川の年最大時間流量の確率分布

淀川流域(枚方)



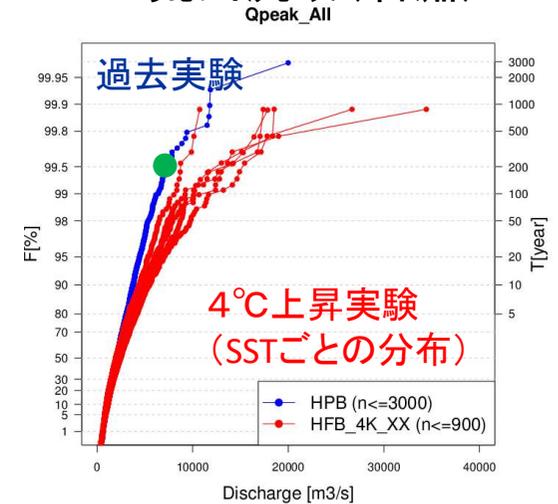
- 基本高水(1/200確率)
17,500 m³/sec
- 計画高水流量(1/200確率)
12,000m³/sec
- 過去実験(1/200超過確率)
10,100m³/sec
- 将来実験(1/200超過確率)
15,200m³/sec

庄内川流域(枇杷島)



- 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)



- 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

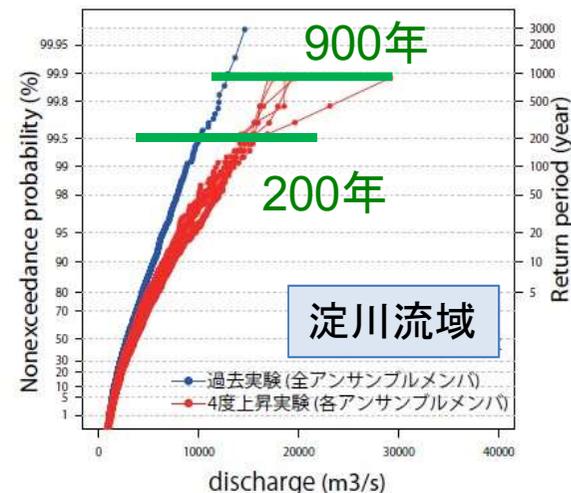
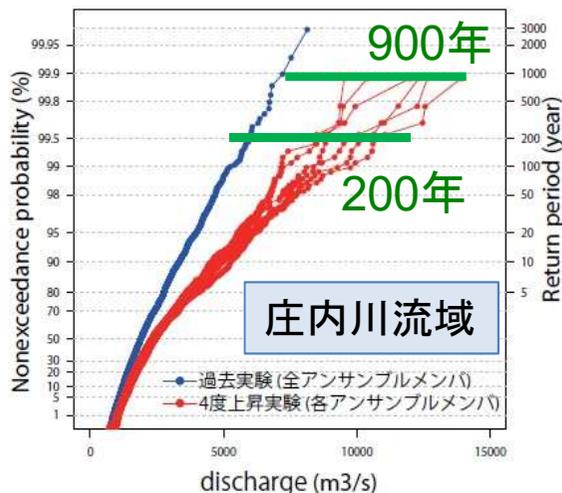
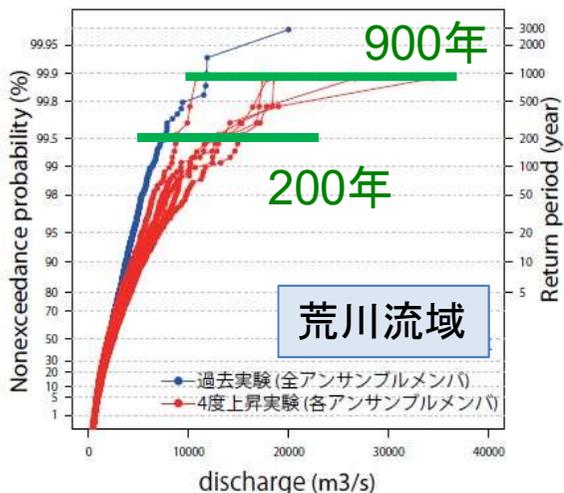
■青色の折れ線: d4PDF(過去実験)を用いた流量計算による年最大時間流量の頻度分布。3000個のデータ(60年×50アンサンブル)を用いて非超過確率(ワイブル公式)と年最大時間時間流量を表示した。

■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

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*1	過去実験	4度上昇実験*2
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

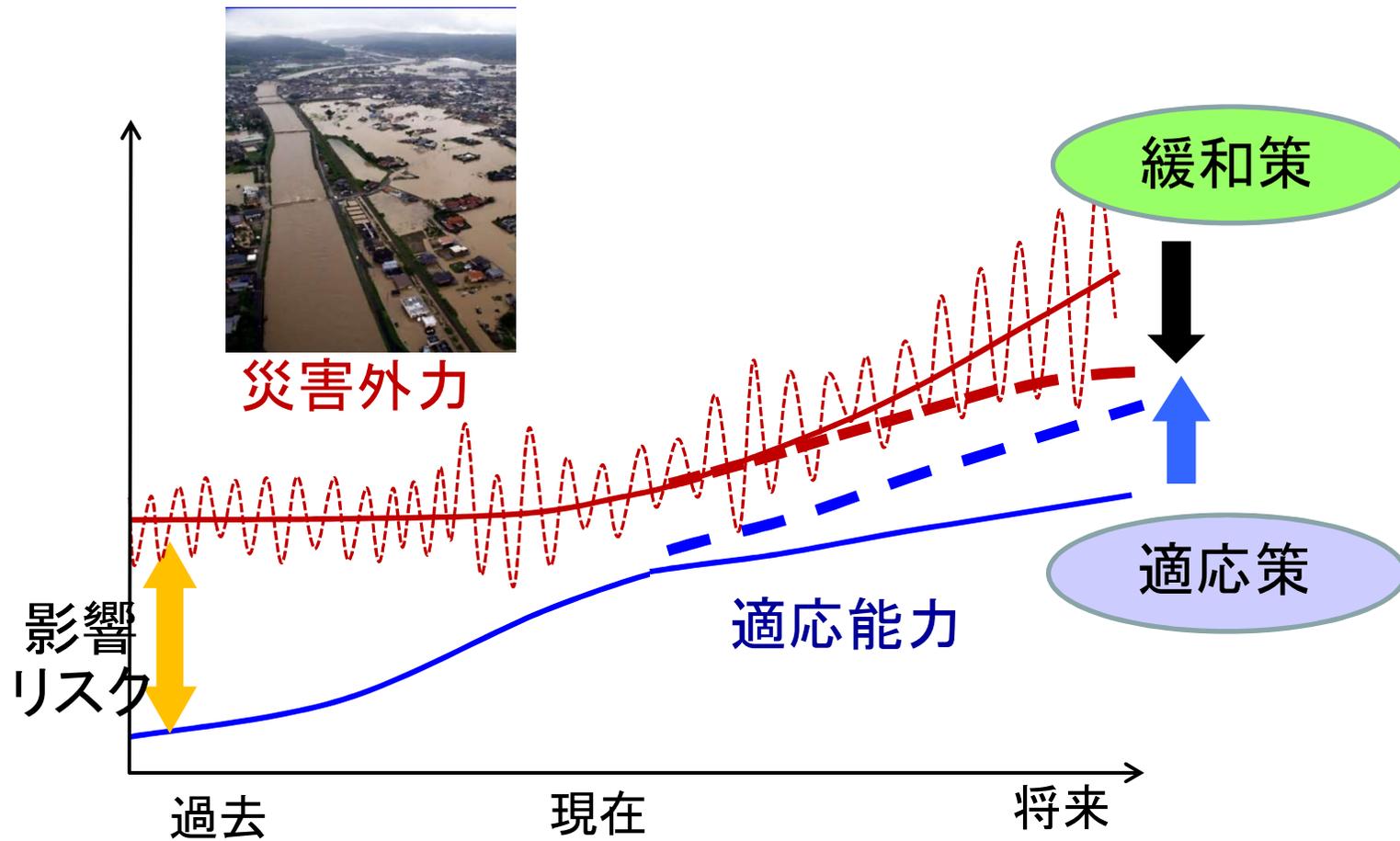
1.1 – 1.3 倍増加

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。

緩和と適応

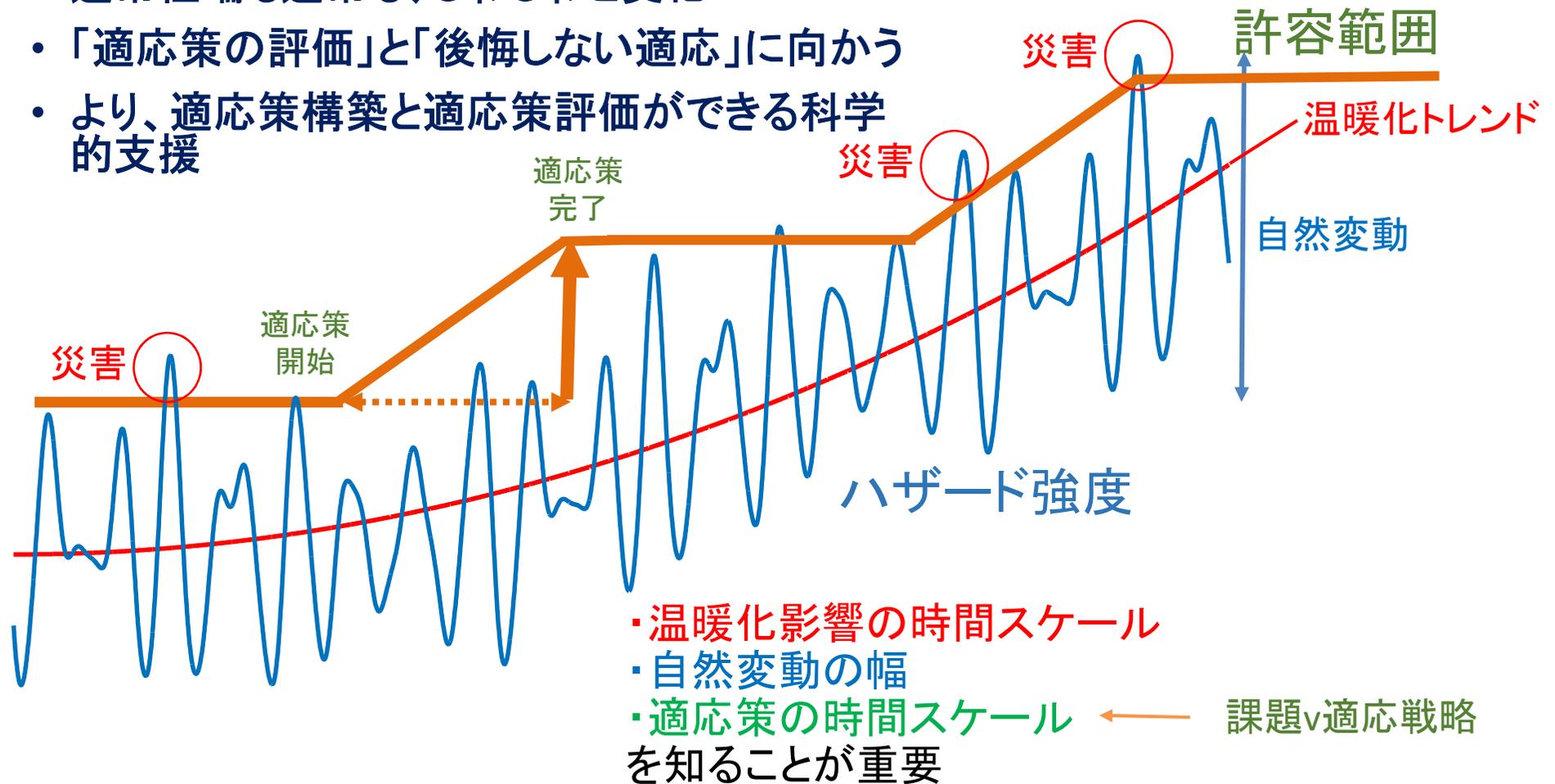


小松(九大、2012)、三村(茨城大、2014)

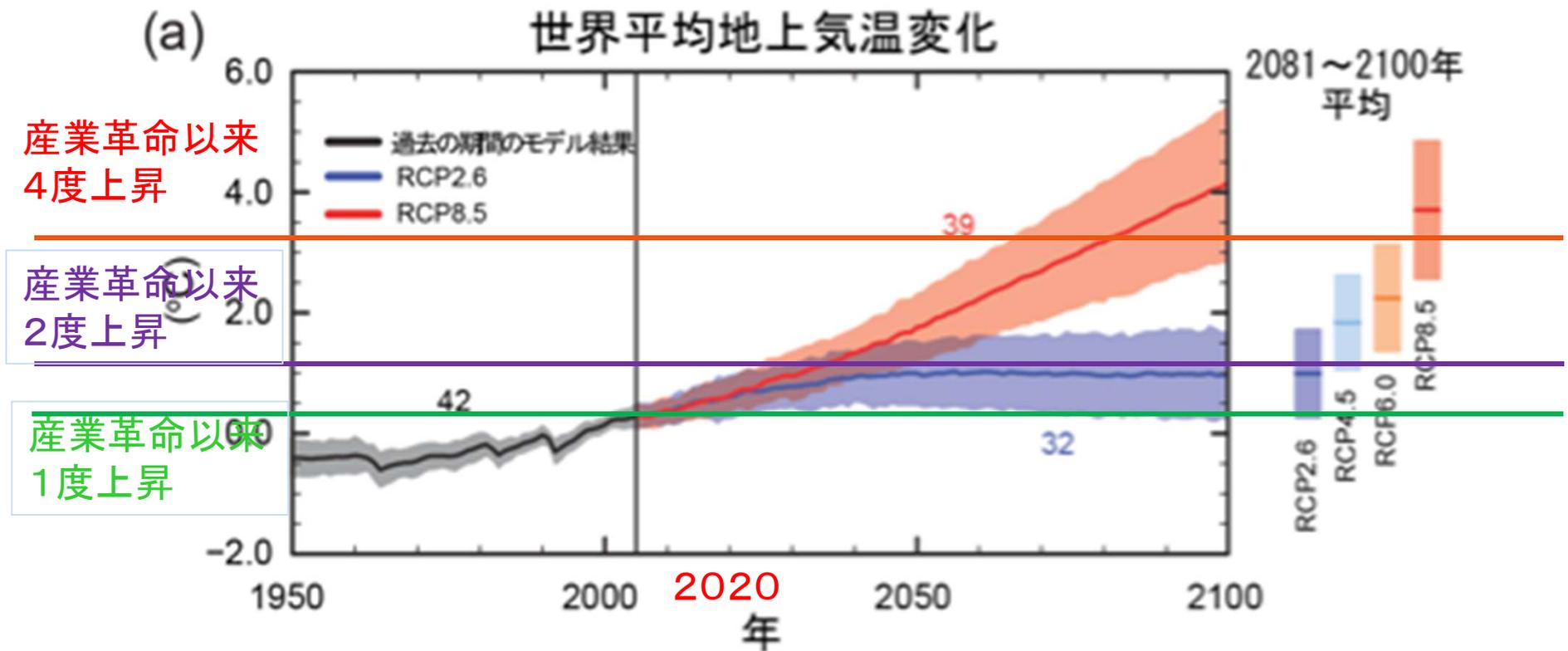
後悔しない適応とは？

21世紀までのシームレスな影響予測をベースに

- 通常極端も通常も、じわじわと変化
- 「適応策の評価」と「後悔しない適応」に向かう
- より、適応策構築と適応策評価ができる科学的支援



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



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



水災害・水資源適応に向けた 関係省庁と統合プログラムとの協働シンポジウム



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

気候変動適応法の概要

[平成三十年法律第五十号]
平成30年6月13日公布
平成30年12月1日施行

1. 適応の総合的推進

- 国、地方公共団体、事業者、国民が気候変動適応の推進のため担うべき役割を明確化。
- 国は、農業や防災等の各分野の適応を推進する**気候変動適応計画**を策定（**H30年11月27日閣議決定**）。その進展状況について、把握・評価手法を開発。
- 環境省が、**気候変動影響評価**をおおむね5年ごとに行い、その結果等を勘案して計画を改定。

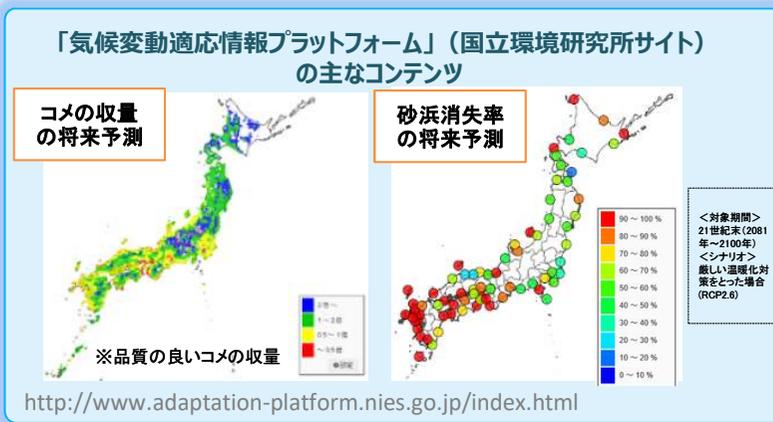
各分野において、信頼できるきめ細かな情報に基づく効果的な適応策の推進



将来影響の科学的知見に基づき、
・高温耐性の農作物品種の開発・普及
・魚類の分布域の変化に対応した漁場の整備
・堤防・洪水調整施設等の着実なハード整備
・ハザードマップ作成の促進
・熱中症予防対策の推進
等

2. 情報基盤の整備

- 適応の**情報基盤の中核として国立環境研究所を位置付け**。



3. 地域での適応の強化

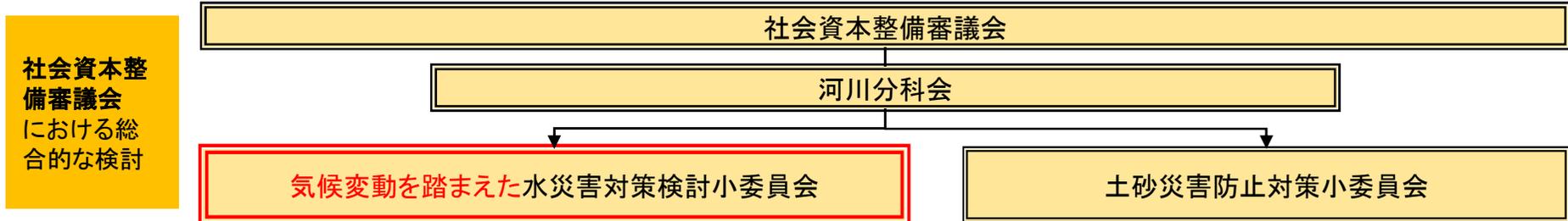
- 都道府県及び市町村に、**地域気候変動適応計画**策定の努力義務。
- 地域において、適応の情報収集・提供等を行う体制（**地域気候変動適応センター**）を確保。
- **広域協議会**を組織し、国と地方公共団体等が連携して地域における適応策を推進。

4. 適応の国際展開等

- 国際協力の推進。
- 事業者等の取組・適応ビジネスの促進。

近年の災害や気候変動を踏まえた対策の検討体制

(水管理・国土保全局関係分)



有識者による専門的な検討会議

- 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会
- 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会
- 気候変動を踏まえた都市浸水対策に関する検討会
- 気候変動を踏まえた砂防技術検討会
- 堤防強化に関する検討
- ダムの洪水調節に関する検討会
- 中小河川の水害リスク評価に関する技術検討会
- 水災害対策とまちづくりの連携のあり方検討会

関係省庁による連絡調整

- 既存ダムの洪水調節機能強化に向けた検討会議
(内閣官房・厚労省・農水省・経産省(経産局・エネ庁)・国土省(水局・気象庁))[第1回:11/26,第2回:12/12]
- 河川・気象情報の改善に関する検証チーム(水局・気象庁)[第1回:11/14]

... 社会資本整備審議会による検討
 ... 有識者による検討会等
 ... 関係省庁による調整会議

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う余地はない」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 0.78℃上昇	・21世紀末の世界の平均気温は更に 0.3～4.8℃上昇
降雨	・豪雨の発生件数が約30年前の 約1.4倍に増加 ・平成30年7月豪雨の陸域の 総降水量は約6.5%増	・21世紀末の豪雨の発生件数が 約2倍以上に増加 ・短時間豪雨の発生回数と降水量がともに増加 ・ 流入水蒸気量の増加 により、総降水量が増加
台風	・H28年8月に北海道へ3つの台風が 上陸	・日本周辺の 猛烈な台風の出現頻度が増加 ・ 通過経路が北上

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

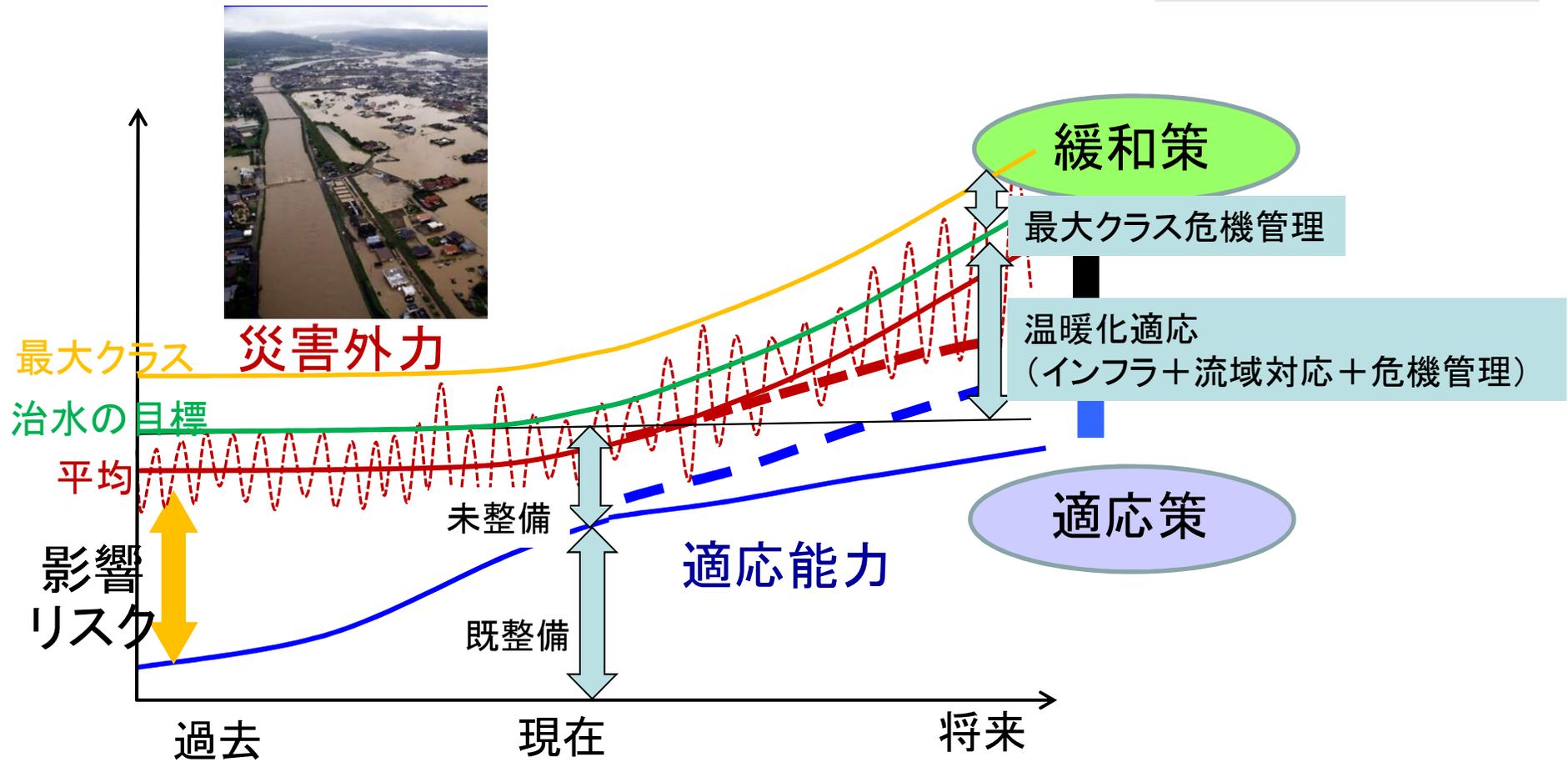
<合わせて実施すべき事項>

- 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

適応策の役割



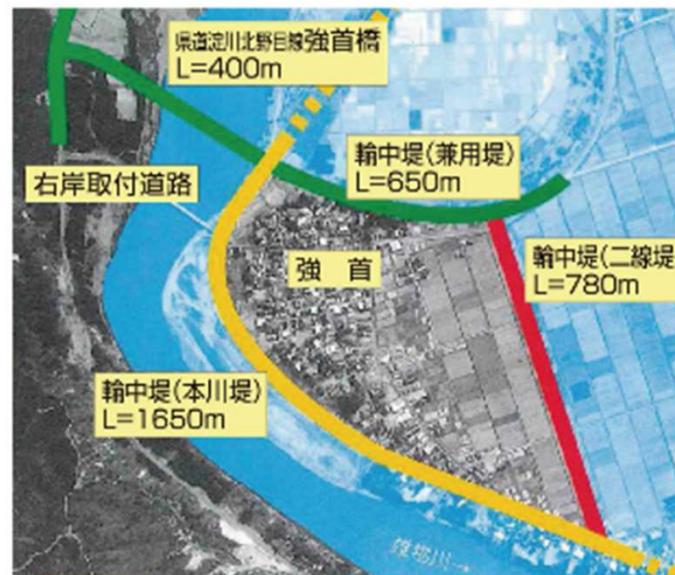
小松(九大、2012)、三村(茨城大、2014)に中北が追加(2019)

先人の知恵を使う：土地利用と一体となった治水対策（輪中堤、霞堤）



霞堤：河川の水位が極めて高いときに堤防から水田などの危ない地域へ洪水を誘導

輪中堤：街、村落だけを堤防で囲って浸水しないようにする

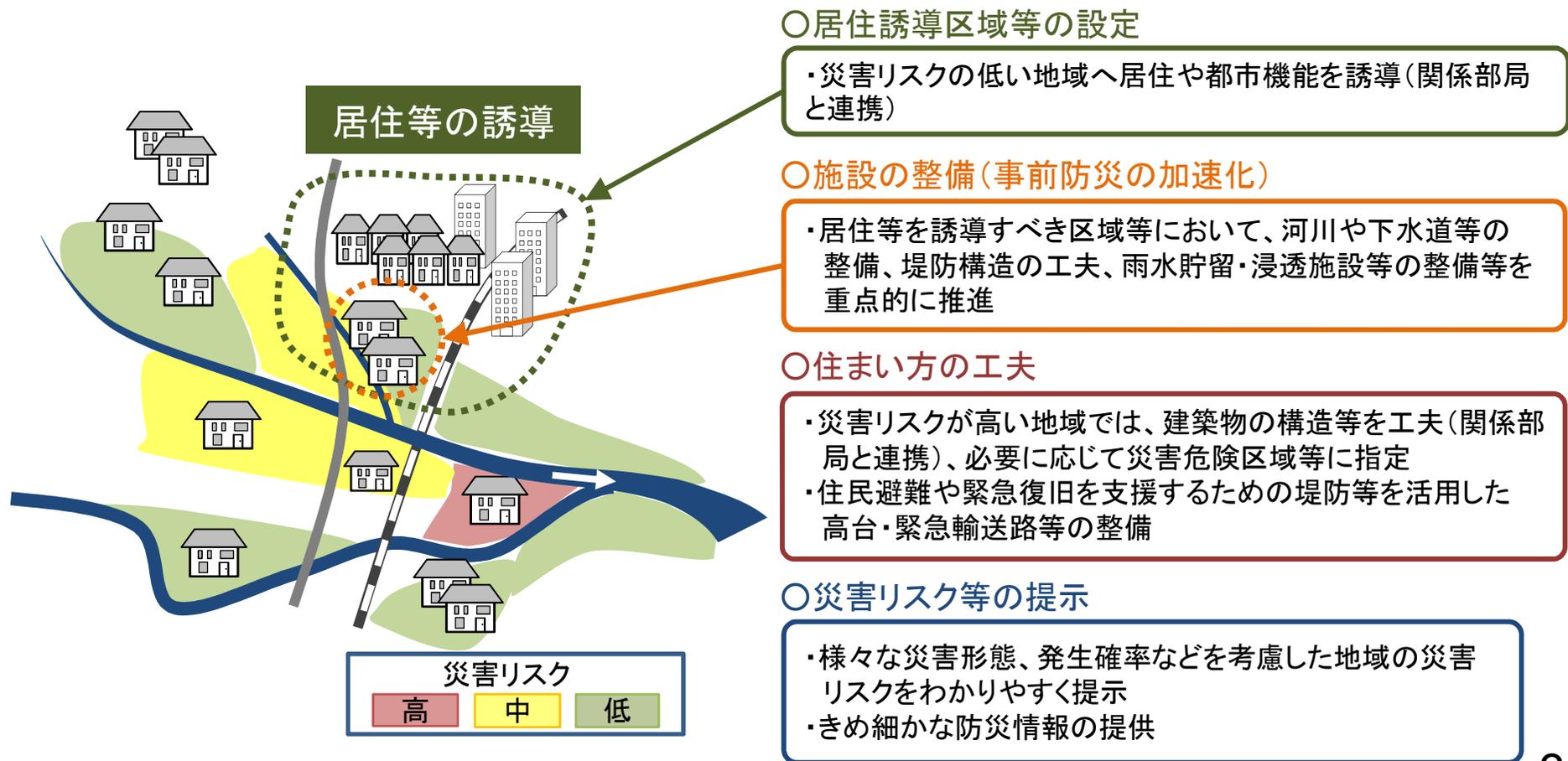


平成29年6月洪水

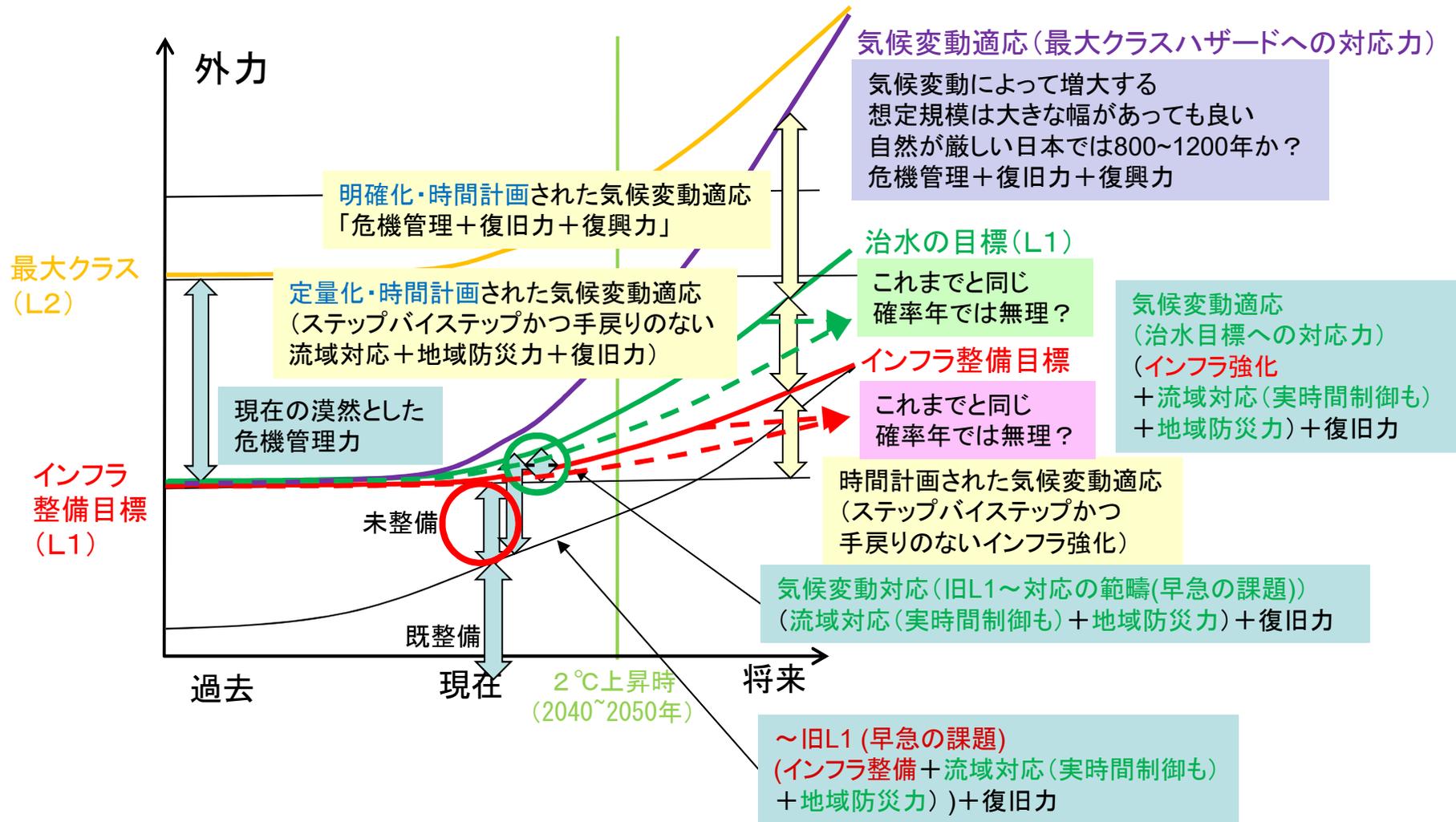
(MLIT、2019)

まちづくり：災害リスクを考慮したまちづくり等の取組

- 床上浸水の頻度が高い地域など、災害リスクを分かりやすく提示することにより、災害リスクの低い地域への居住や都市機能の誘導等を促進
- 特に、浸水深が大きく、人命に関わるリスクが極めて高い地域などは、その災害リスクを提示し、建築物の構造等の工夫を促進



自然並びに社会の変化に応じた気候変動適応



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も重要
- ・ 地域・街・町・都市づくりによる適応
- ・ 緩和は最大の適応である

（中北、2010, 2019, 2020）

ご静聴ありがとうございました

創生C・D
影響評価・
適応策創出
の仲間です。

写真:宇治川、塔の島

