

# 自然災害における気候変動適応

中北英一

京都大学 副理事

京都大学 防災研究所 気候変動適応研究センター センター長  
水文気象研究領域 教授



文部科学省 技術参与

人と防災未来センター 上級研究員

国土交通省 社会資本整備審議会 委員

文部科学省・気象庁 気候変動に関する懇談会 委員

[nakakita@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp](mailto:nakakita@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp)

# 内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. 科学的な気候変動予測とは？
3. 豪雨と気候変動影響
4. ハザードと気候変動
5. 後悔しない気候変動適応とは？
6. おわりに

# 近年における水害・土砂災害の発生状況

【2011年7月新潟・福島豪雨】



○只見川における浸水被害  
(福島県大沼郡)

【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10日 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】



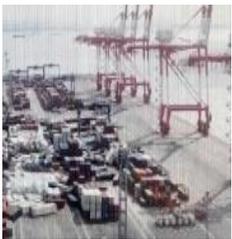
⑥桂川における浸水被害  
(福岡県朝倉市)

【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】

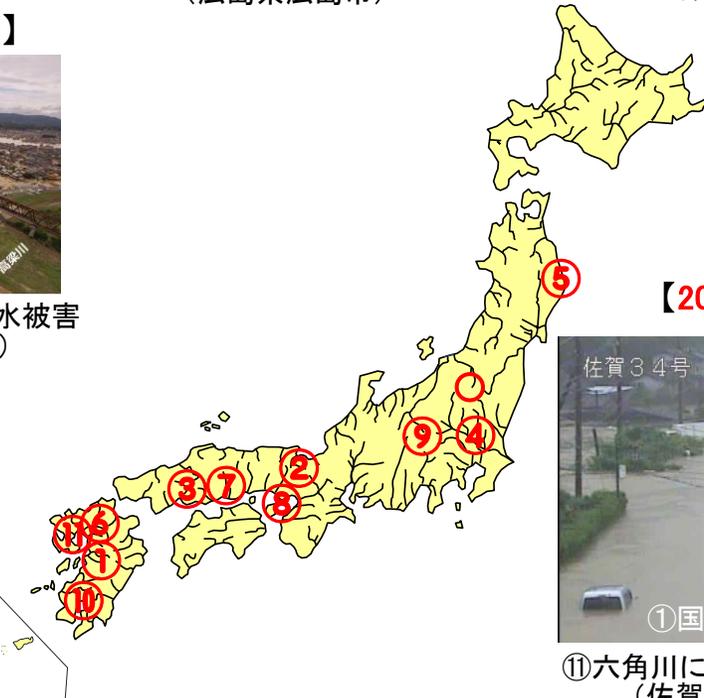


⑨北陸新幹線車両基地  
(長野県長野市)

【2020年7月豪雨】



⑩球磨川における浸水被害  
(熊本県人吉市)



【2021年8月豪雨】



⑪六角川における浸水被害  
(佐賀県武雄市)

国土交通省(2019)に中北が追加

○ 短時間強雨の発生の増加や台風の大型化等により、近年は浸水被害が頻発しており、既に地球温暖化の影響が顕在化しているとみられる。さらに今後、気候変動による水災害の激甚化・頻発化が予測されている。

## ■ 平成25年～令和5年に発生した主な災害

①平成25年台風第18号



由良川の氾濫による浸水被害  
(京都府福知山市)

②平成27年9月関東・東北豪雨



鬼怒川の堤防決壊による浸水被害  
(茨城県常総市)

③平成28年8月台風10号



小本川の氾濫による浸水被害  
(岩手県岩泉町)



空知川の堤防決壊による浸水被害  
(北海道南富良野町)

④平成29年7月九州北部豪雨



赤谷川における浸水被害  
(福岡県朝倉市)

⑤平成30年7月豪雨



小田川における浸水被害  
(岡山県倉敷市)



肱川における浸水被害  
(愛媛県大洲市)

⑥令和元年東日本



千曲川における浸水被害  
(長野県長野市)

⑦令和2年7月豪雨



球磨川における浸水被害  
(熊本県人吉市)

⑧令和3年8月の大雨



池町川における浸水被害  
(福岡県久留米市)

⑨令和4年8月の



最上川における浸水被害  
(山形県大江町)

⑩令和5年7月の大雨



太平川における浸水被害  
(秋田県秋田市)

⑪令和6年9月の



河原田川における浸水被害  
(石川県輪島市)



※ここに例示したもの以外にも、全国各地で地震や大雨等による被害が発生

- 地球温暖化による降水量への影響の定量的評価を気象庁気象研究所や環境省が実施。
- 現時点で地球温暖化の影響により、総降水量が約6.5%～約16%増加と算出。
- 将来、現時点と比較して、総降水量がさらに4.4%～19.8%増加する可能性。

水災害 (豪雨イベント)	既に生じている温暖化		これから生じる温暖化	
	現時点 1980年以降における温暖化による気温上昇と海面水温の上昇による影響		将来 現在気候に対する将来気候での状況 (2℃上昇シナリオ～4℃上昇シナリオ)	
平成30年7月豪雨	総降水量が <b>約6.5%</b> 増加	(1)	—	
令和元年東日本台風	総降水量が <b>約11%</b> 増加	(1)	将来さらに、総降水量が <b>4.4%～19.8%</b> 増加	(2)
令和2年7月豪雨	総降水量が <b>約15%</b> 増加	(1)	—	
令和5年6月から7月上旬の大雨	総降水量が <b>約16%</b> 増加 線状降水帯の総数が <b>約1.5倍</b> に増加	(1)	—	

<注釈>

※それぞれの出典を元に、国土交通省水管理・国土保全局が作成。(1): 気象庁気象研究所により公表、(2): 環境省により公表

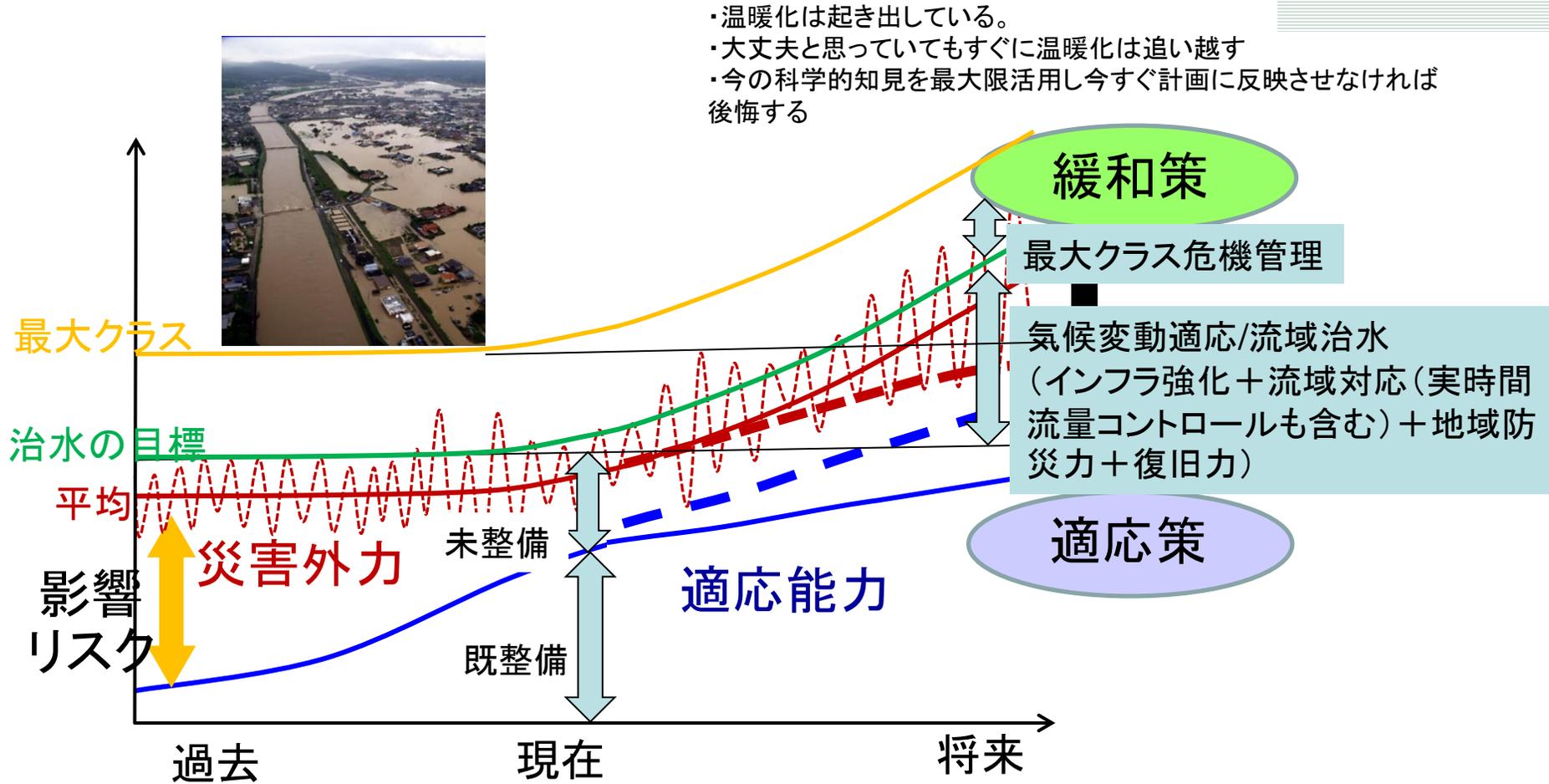
※大気の数値シミュレーションを用いて実際の豪雨現象を忠実に再現した上で、地球温暖化に伴う気温上昇分を除去、または、さらに温暖化のシナリオに基づき気温を上昇させ、再度、大気の数値シミュレーションを行うことで、温暖化の影響を定量的に評価

※令和2年7月豪雨の総降水量増加率は、球磨川流域付近に発生した線状降水帯のみを評価したもの。

※令和5年6月から7月上旬の大雨の総降水量増加率は、令和5年7月9日から10日に発生した九州北部の大雨を評価したもの。  
線状降水帯の総数増加率は、令和5年6月から7月上旬の大雨発生期間で評価。

国土交通省によるまとめ(2024)

# 適応策の役割



小松(九大、2012)、三村(茨城大、2014)に中北が追加(2019)

# 内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. **科学的な気候変動予測とは？**
3. 豪雨と気候変動影響
4. ハザードと気候変動
5. 後悔しない気候変動適応とは？
6. おわりに

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

地球温暖化で大気が温まります  
熱が海に吸収されます  
海面水温が温かくなり  
海水が蒸発しやすくなります  
よりたくさんの水蒸気ができ  
よりたくさんの雲・雨をつくります

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



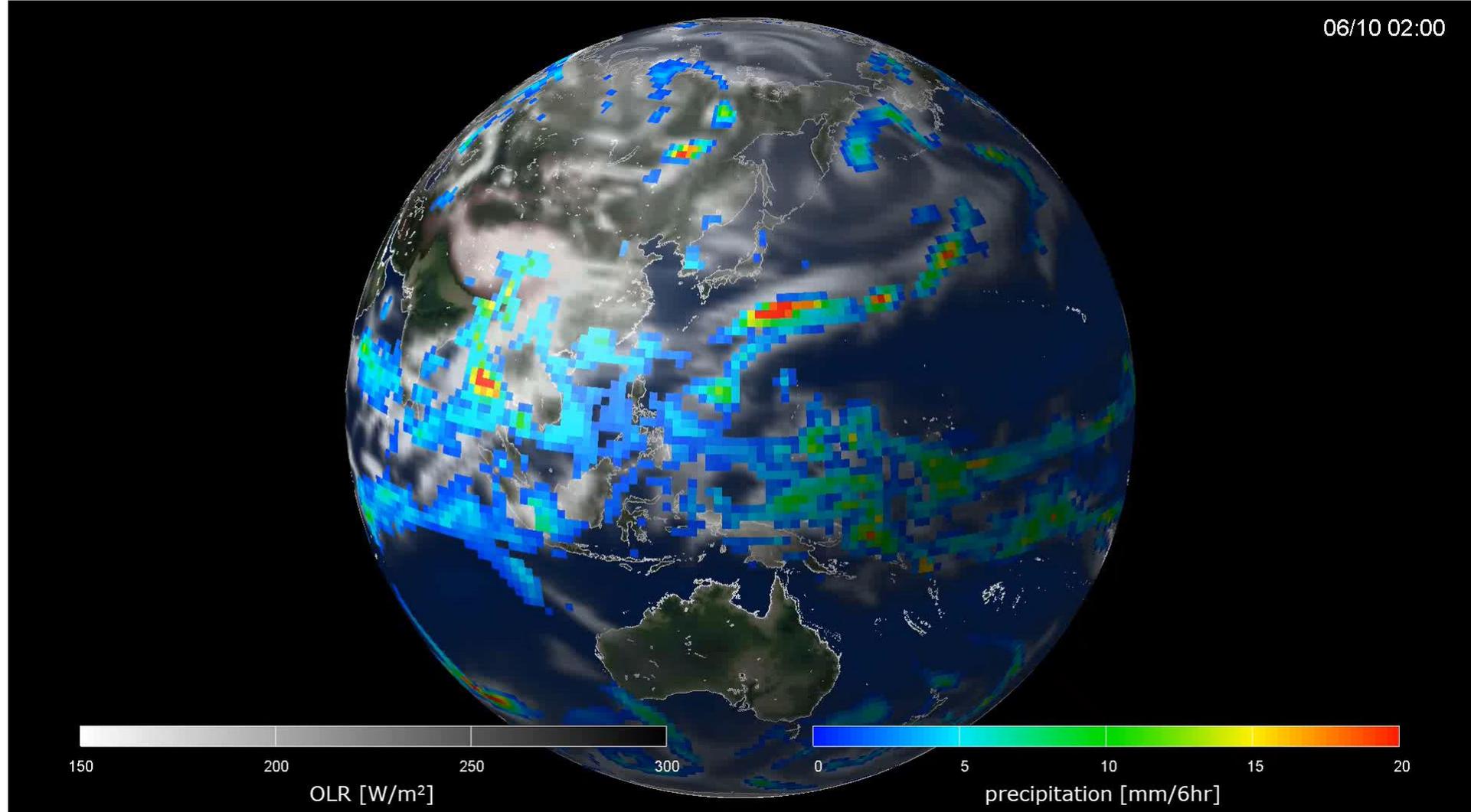
TOUGOU  
Integrated Research Program  
for Advancing Climate Models

SOUSEI



KAKUSHIN

# 大アンサンブル d4PDF d2PDF (20km) とダウンスケール(5km)



# 内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. 科学的な気候変動予測とは？
3. **豪雨と気候変動影響**
4. ハザードと気候変動
5. 後悔しない気候変動適応とは？
6. おわりに

# 温暖化による日本への影響推測

## ● 台風：

- 大気安定化により、発生数、日本への到来回数は減る
- それでも、海面水温の上昇により、スーパー台風の危険性は高まる
- 日本周辺の台風の進路は東にずれる

## ● 梅雨：

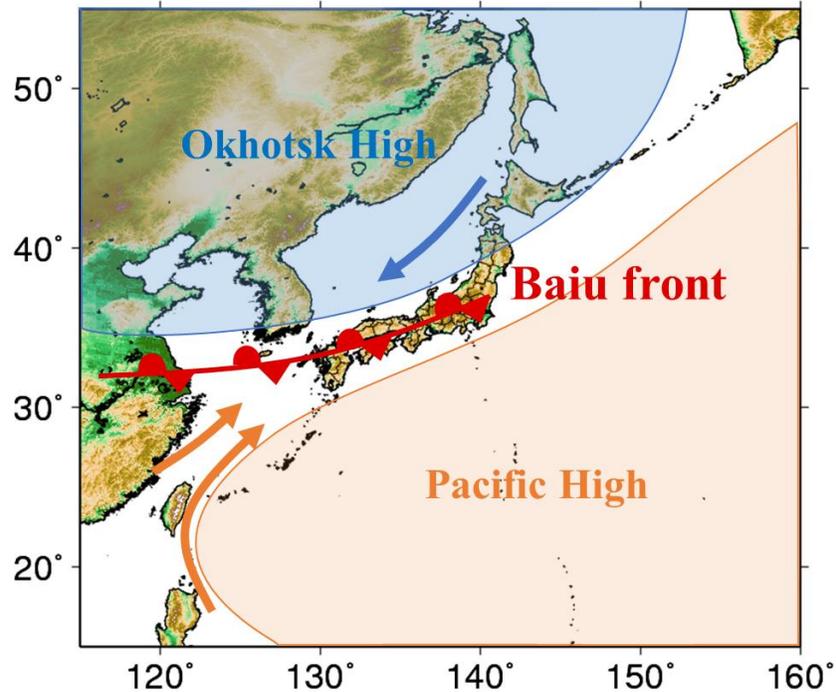
- 海面水温の上昇による下層水蒸気の流入増があり、7月上旬の日100mm以上の割合や 集中豪雨の生起回数が増える。
- より東へ、北へ豪雨チャンスが増える
- 日本海側の豪雨も増えるだろう

## ● ゲリラ豪雨：

- 海面水温の上昇による下層水蒸気の流入増があり、強度も頻度も増えるだろう

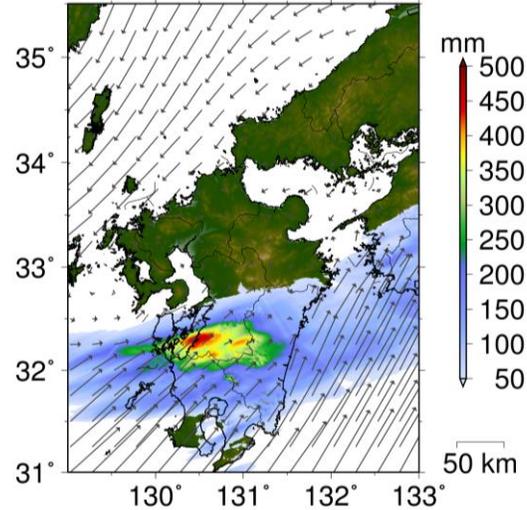


# 梅雨前線と豪雨



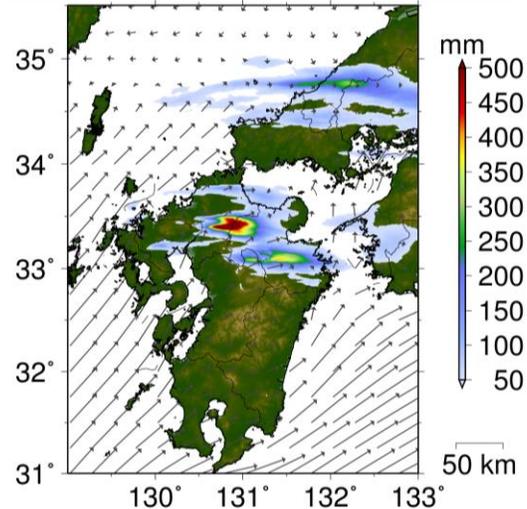
- 梅雨前線による豪雨により甚大な洪水、土砂災害がもたらされる。

2020-熊本豪雨（球磨川豪雨災害）タイプA

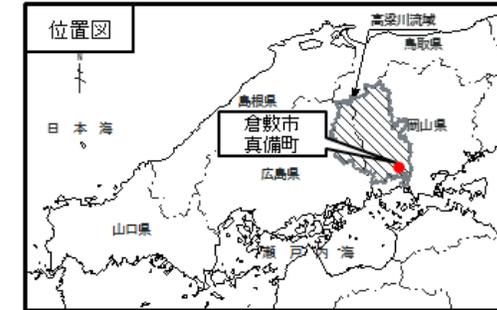


<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/623344/>

2017-九州北部豪雨\_タイプB



<https://www.cwsjapan.org/2017/11/17/n-kyushu-report/>



死者数(岡山県): 数86人

出典: 岡山県「平成30年7月豪雨災害記録誌」より

倉敷市 洪水・土砂災害ハザードマップ(H29作成)



H30.7豪雨 浸水推定段彩図



# 平成30年7月豪雨による土砂災害の発生状況

9月25日時点

土砂災害発生件数  
(7月2日以降を集計)

(都道府県報告)

1道2府28県

2,512件※

土石流等 : 769件  
地すべり : 55件  
がけ崩れ : 1,688件

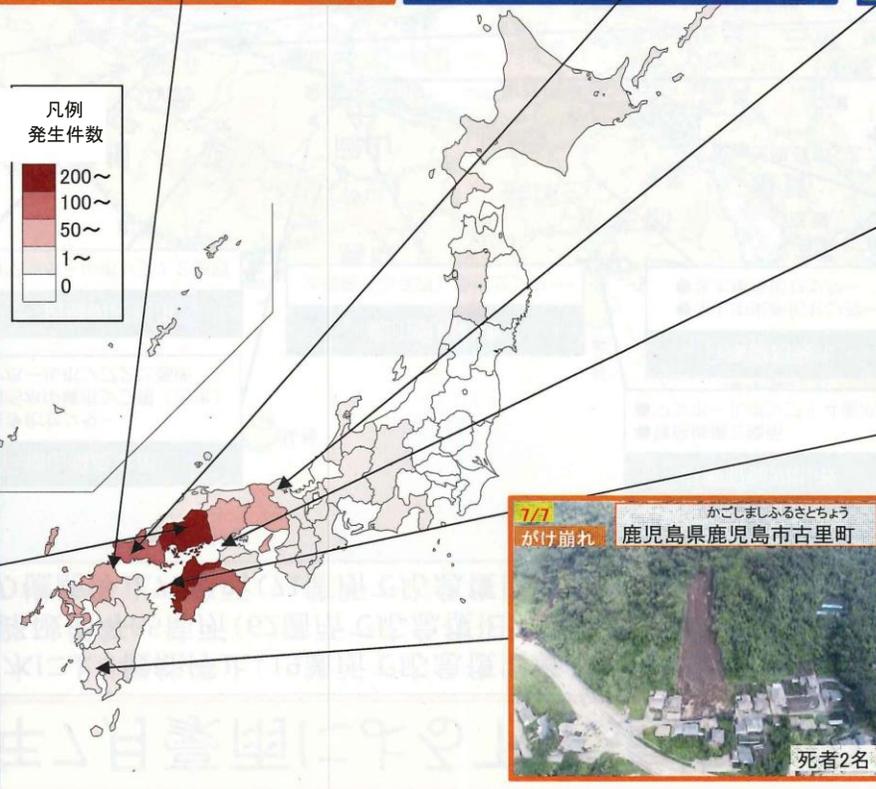
【被害状況】

人的被害	死者	119名
	負傷者	29名
人家被害	全壊	213戸
	半壊	340戸
	一部損壊	290戸

※被害状況等については精査中

※1 近10年(H20～29)の平均土砂災害発生件数 1.106件/年

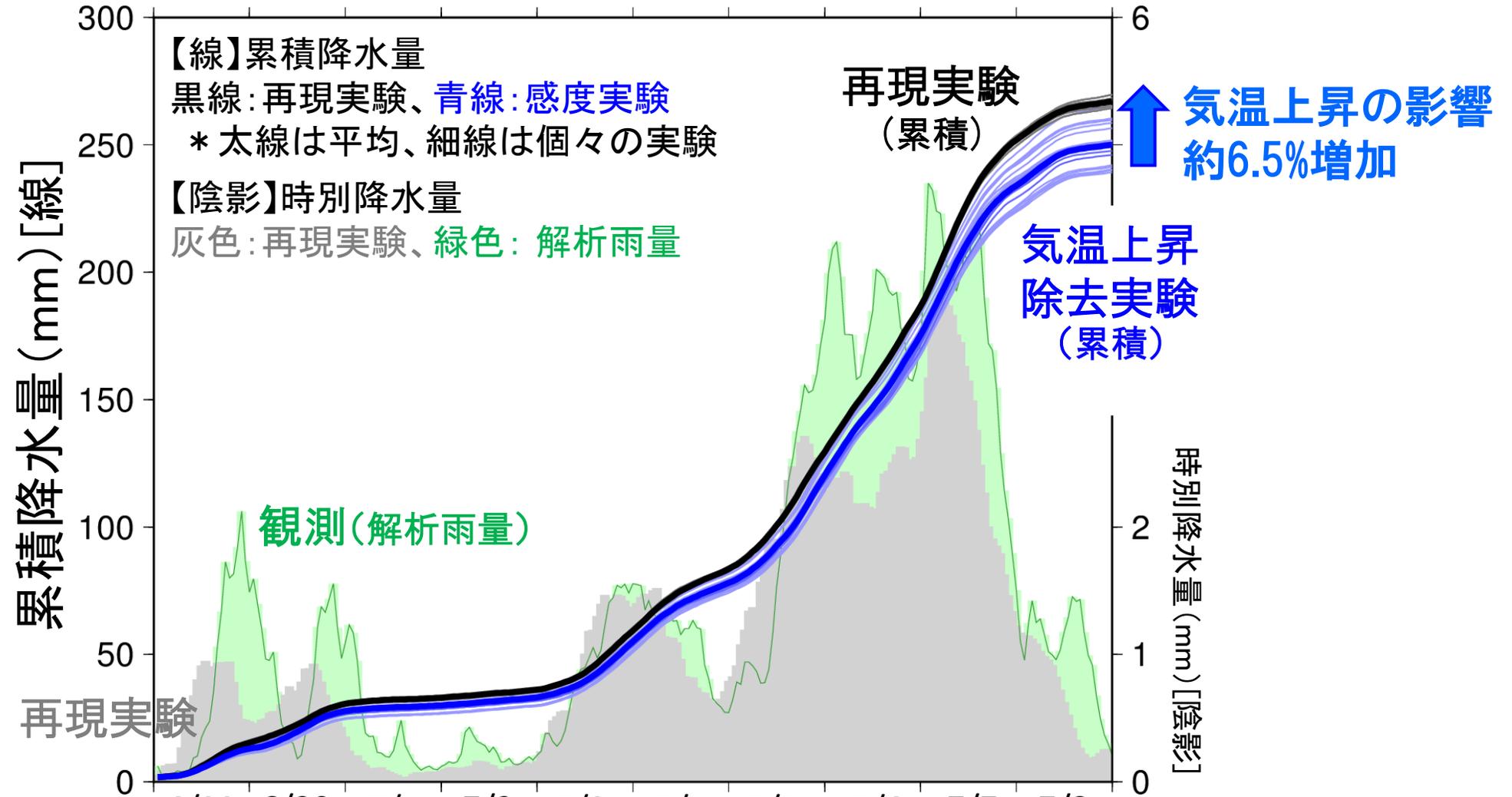
※2 近10年(H20～29)の最大土砂災害発生件数 1.514件/年<H29>

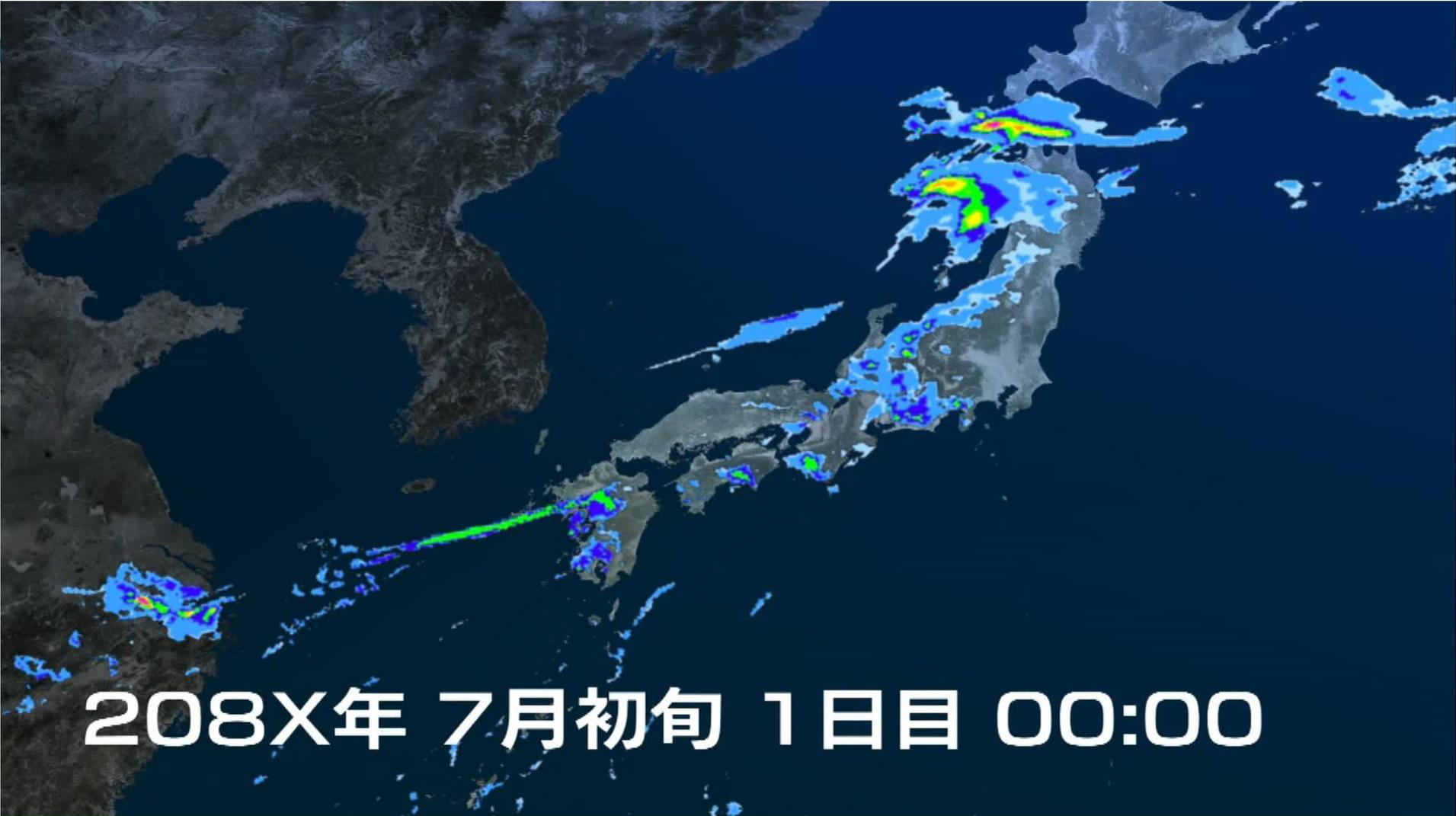


国土交通省

# 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



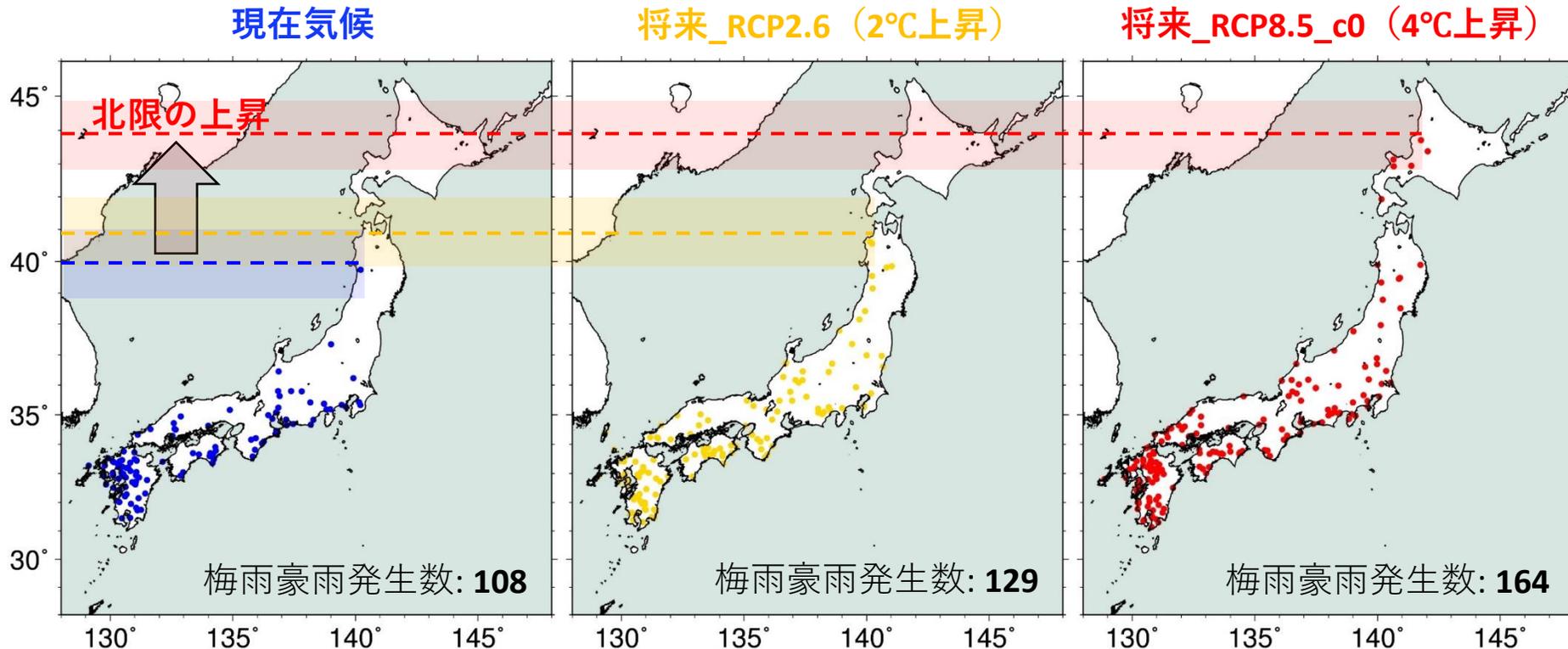


シミュレーション: 気象庁気象研究所  
画像作成: NHK

# 梅雨豪雨の発生頻度の将来変化

RCM05による現在気候と将来気候（RCP8.5とRCP2.6）それぞれの梅雨豪雨発生場所

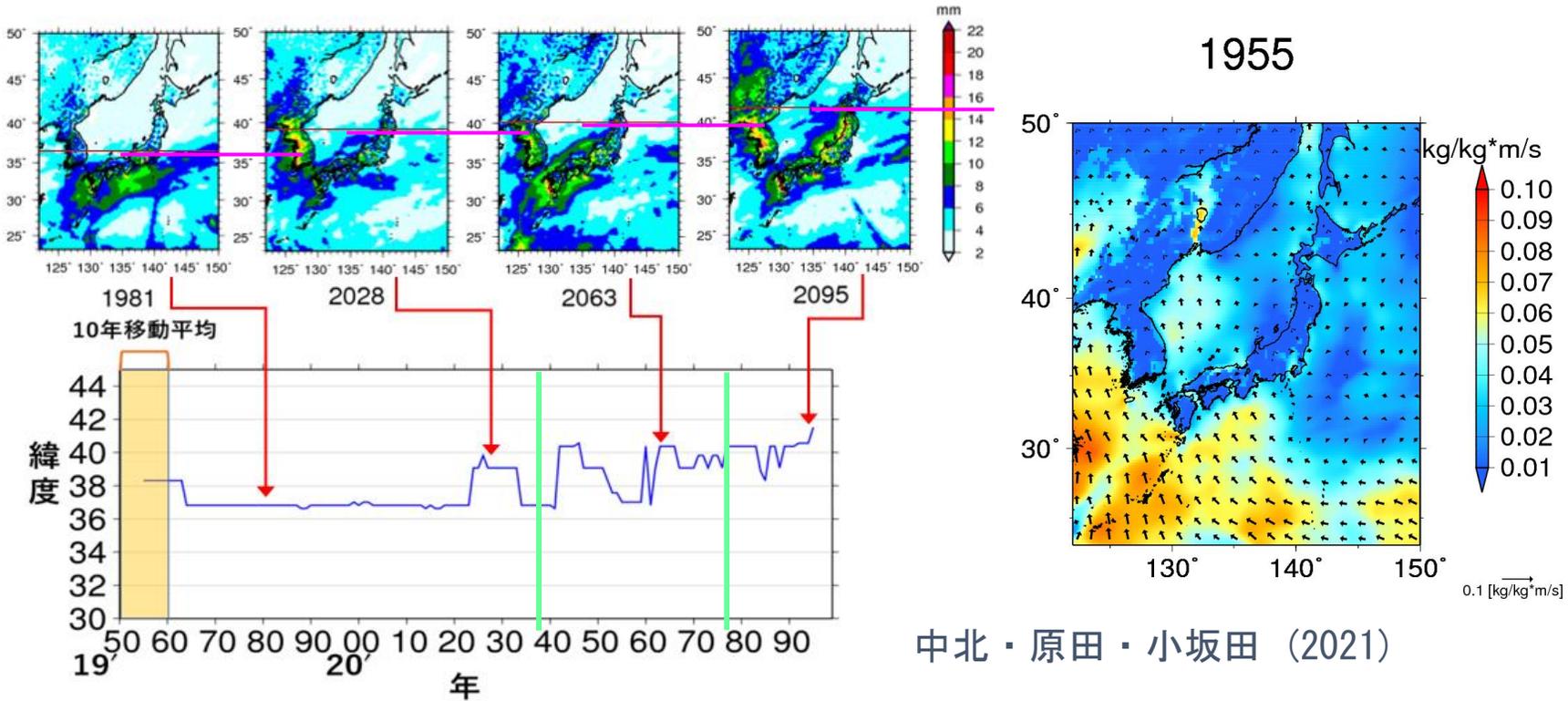
- 現在気候：20年間（1981 - 2000年）
- 将来気候：20年間



- 梅雨豪雨の発生数は将来気候において**増加**。
- 豪雨発生エリアの**北限もより北へ**上がっていく。
- 北海道など、これまで梅雨豪雨を経験したことの**ない地域での新たなリスク**。

Naka and Nakakita, 2023.

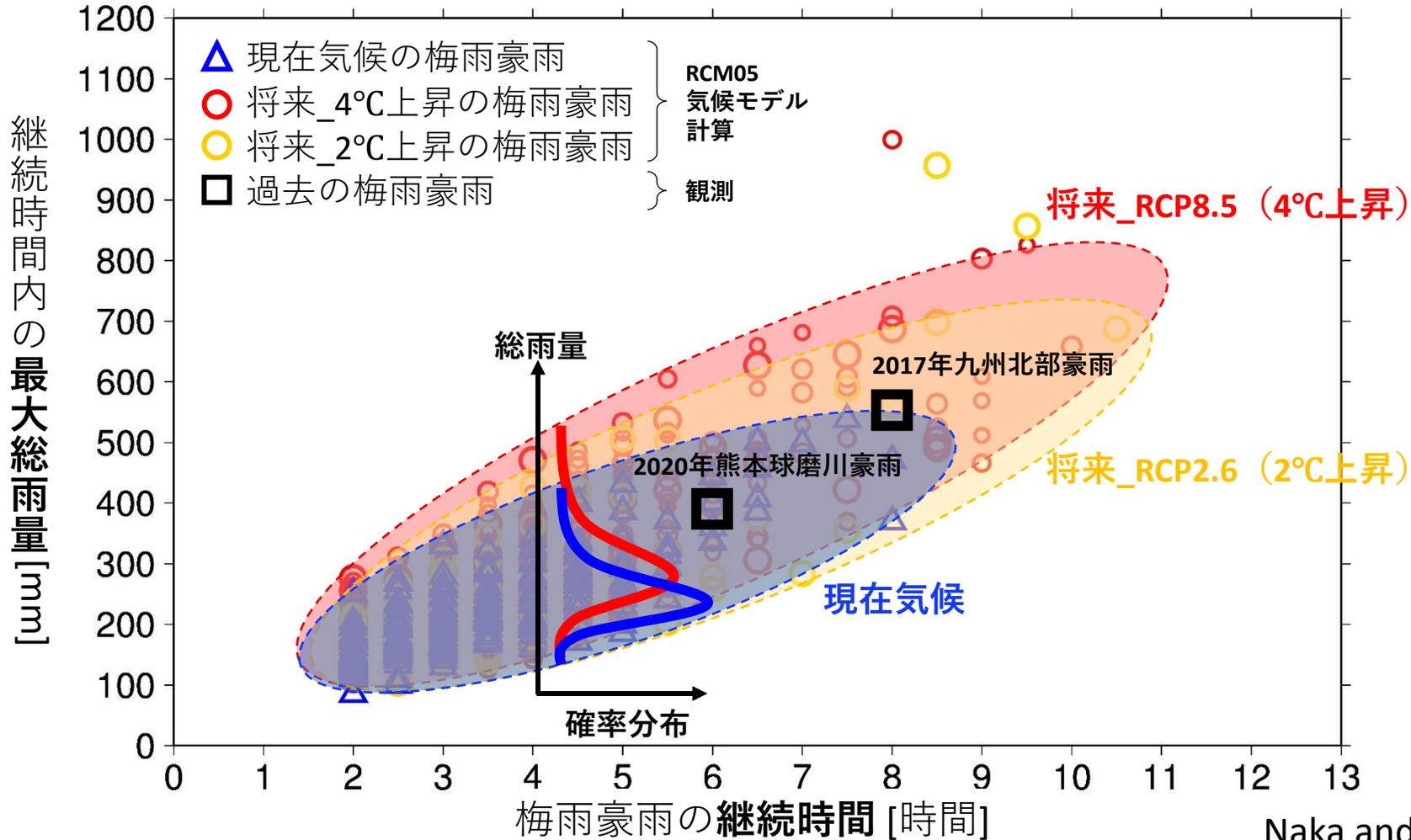
# 梅雨前線の豪雨エリアのじわじわ北上予測の重要性



- あくまで1アンサンブルによる結果だが、梅雨前線の位置は2010年代まではほとんど変化しない中、南方からの水蒸気浸潤の強化により、2020年代から2050年代まで変動しながら徐々に北上
- 一方では、2010年代に入り梅雨豪雨災害が頻発している。
- 先10年で、梅雨集中豪雨がどう頻発化し、総雨量を増し、より東や北へと広がるかは、温暖化適応計画を”今”策定するため（後悔しない適応）に極めて重要、

# 豪雨の継続時間と雨量の将来変化

※降雨の継続時間と総雨量という指標は治水計画等を考える上で非常に重要な工学的指標。



Naka and Nakakita, 2023.

- 将来気候では梅雨豪雨の**継続時間・総雨量共に増加**（総雨量は統計的有意）する。
- 近年の**2017年九州北部豪雨**等は現在気候では非常に極端で、むしろ将来の事例に近い。

# 内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. 科学的な気候変動予測とは？
3. 豪雨と気候変動影響
4. **ハザードと気候変動**
5. 後悔しない気候変動適応とは？
6. おわりに

# 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？

- 100年に一度起こる規模の河川年最大流量が全国で増大
- 10年に一度の少ない規模で起こる河川流量（渇水流量）が多くの流域で悪化
- 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）
- 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
- 東北南部以南の日本海側では降雪、積雪が減り、水ストレスが増加
- ただし、福井、石川、富山ではどか雪が起こったときはもっとどか雪になる



TOUGOU  
Integrated Research Program  
for Advancing Climate Models

SOUSEI



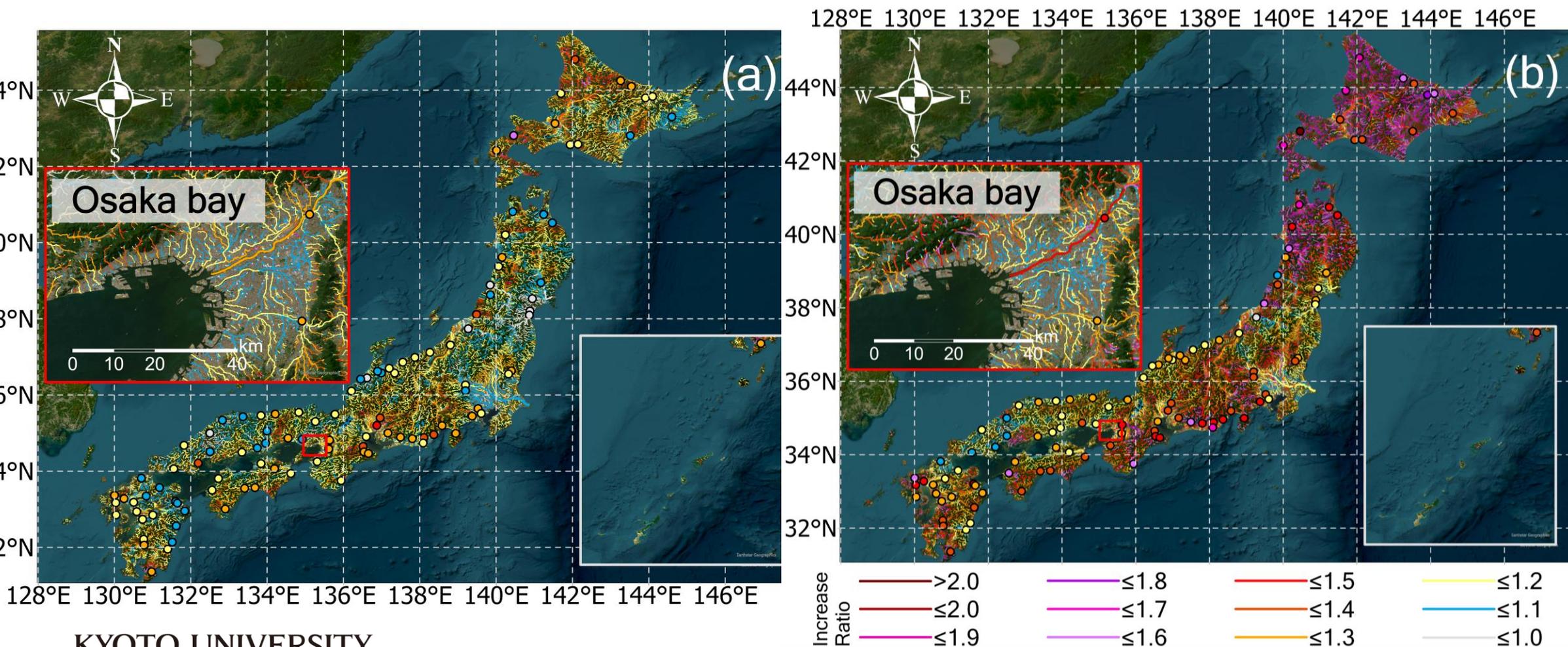
KAKUSHIN

# 全国の河川を対象にした100年確率流量の変化倍率

Chen・佐山・山本・菅原・田中智(京大)(2024、未発表)

(a) 2度上昇下

(b) 4度上昇下

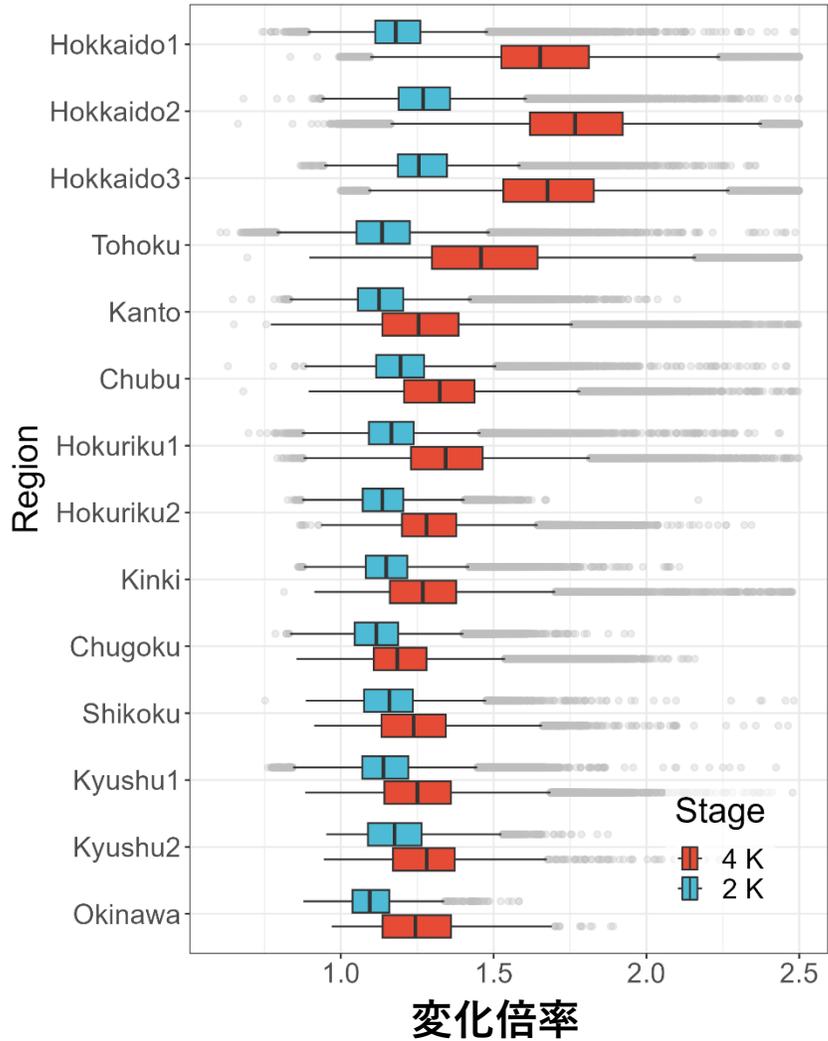


KYOTO UNIVERSITY

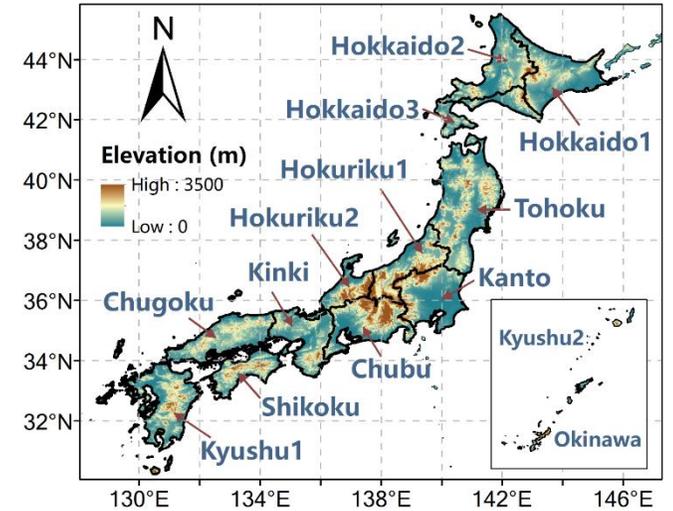
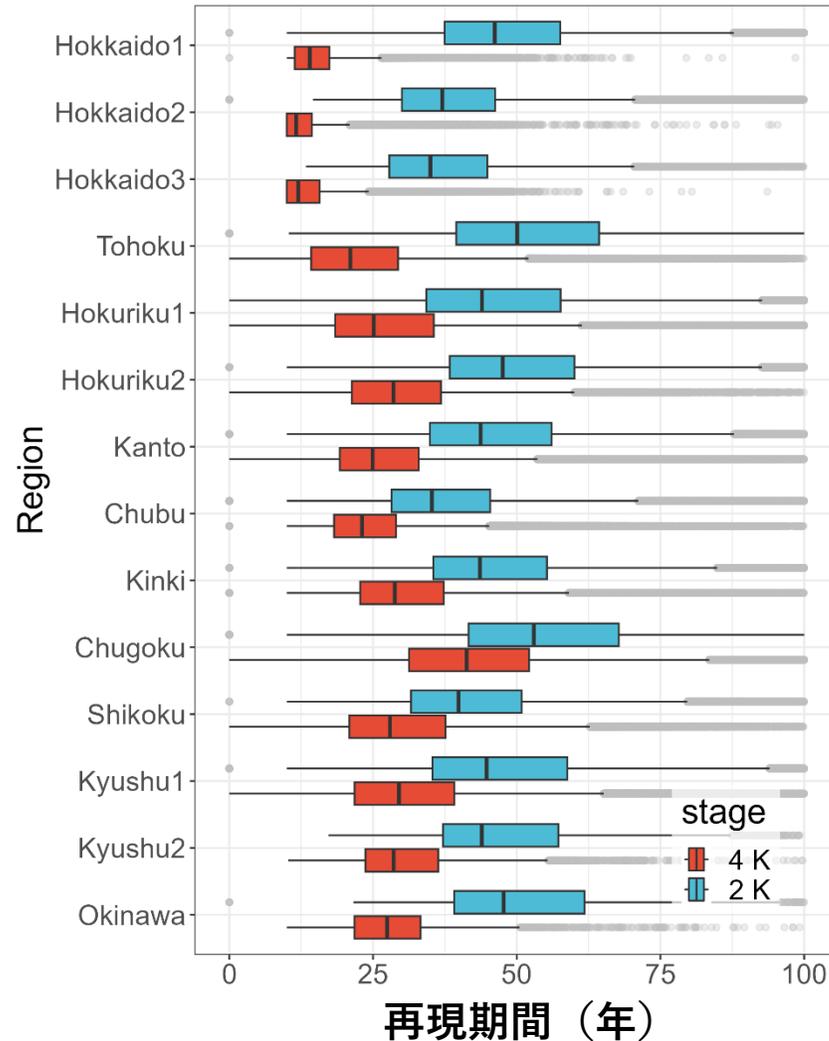
○の基準点において、2度上昇下では洪水流量が約1.1~1.3倍となり、d4PDF 20kmを用いた既往研究や国交省の算定結果と概ね対応

# 中小河川を含む全ての河道区間を対象とした集計

## 1/100流量の変化倍率



## 現在気候1/100流量の再現期間



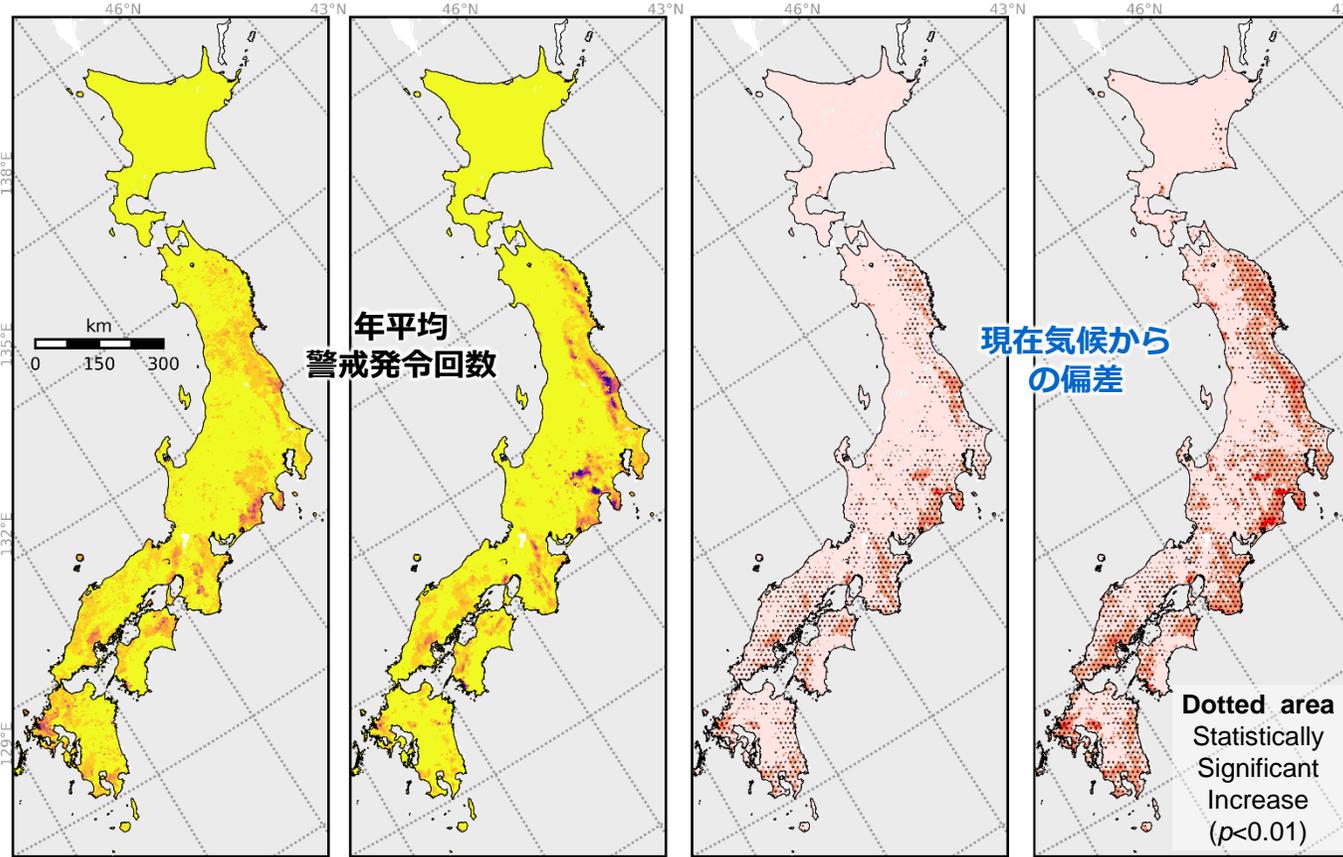
# d4PDF\_5kmを用いた土砂災害警戒の発令頻度の将来変化

解析雨量 (2006~2023)

現在気候

2度上昇シナリオ

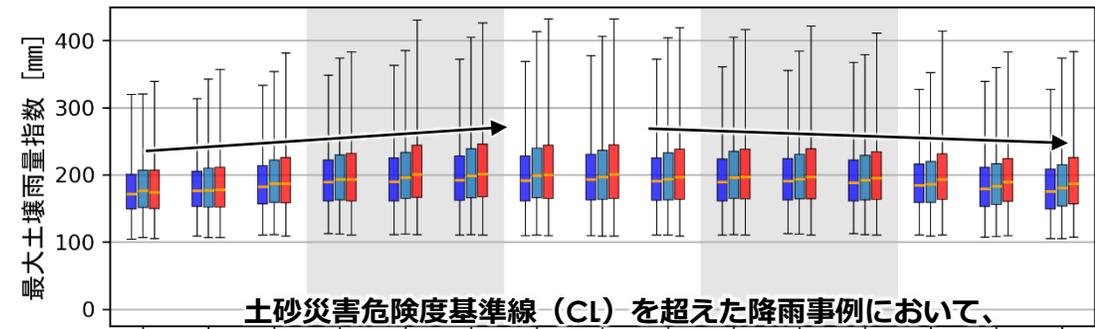
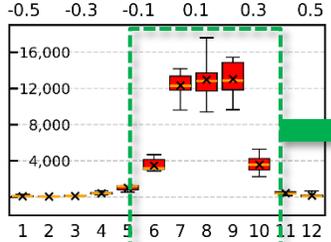
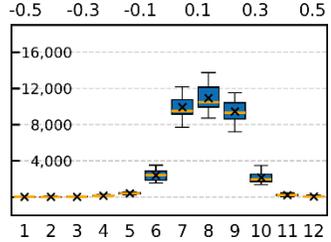
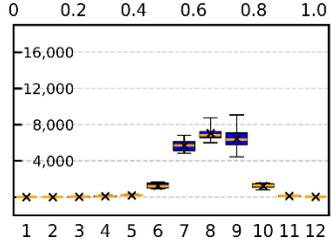
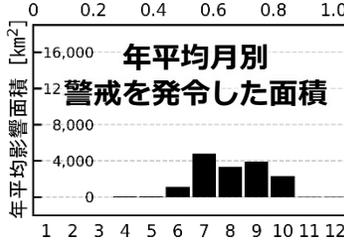
4度上昇シナリオ



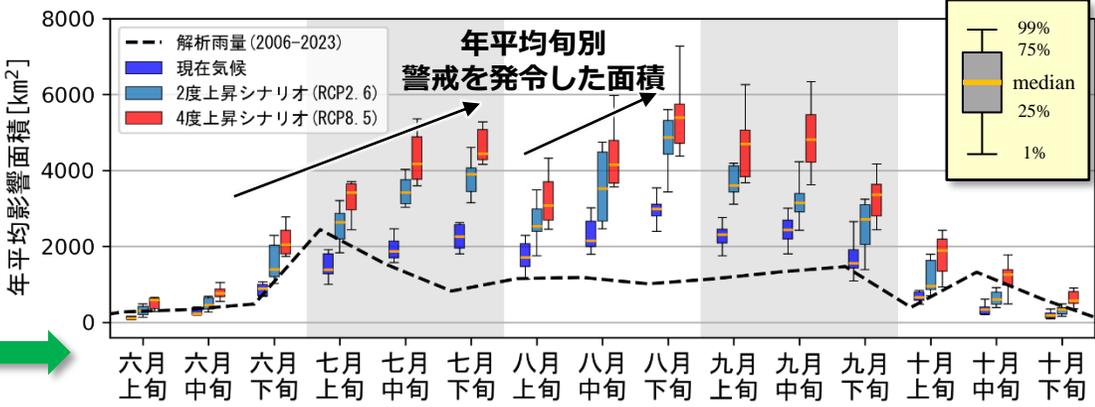
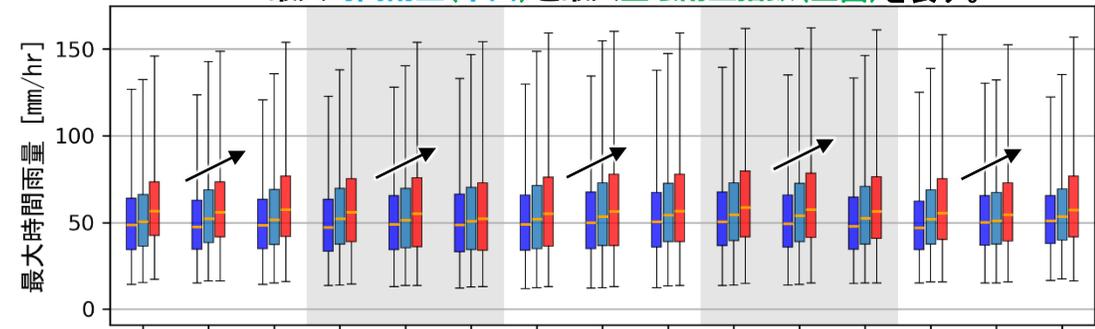
年平均警戒発令回数

現在気候からの偏差

Dotted area Statistically Significant Increase (p<0.01)



土砂災害危険度基準線 (CL) を超えた降雨事例において、最大時間雨量(下図)と最大土壌雨量指数(上図)を表す。



Statistical test: Student T-test

# 内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. 科学的な気候変動予測とは？
3. 豪雨と気候変動影響
4. ハザードと気候変動
5. **後悔しない気候変動適応とは？**
6. おわりに

# 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

中北 (2019)

# 気候変動を踏まえた計画へ見直し

○治水計画を、「過去の降雨実績に基づく計画」から  
「気候変動による降雨量の増加などを考慮した計画」に見直し

**これまで**  
洪水、内水氾濫、土砂災害、高潮・高波等を防御する計画は、  
これまで、過去の降雨、潮位などに基づいて作成してきた。

しかし、  
気候変動の影響による降雨量の増大、海面水位の上昇などを考慮すると 現  
在の計画の整備完了時点では、実質的な安全度が確保できないおそれ

**気候変動による降雨量の増加※、潮位の上昇などを考慮したものに計画を見直し**

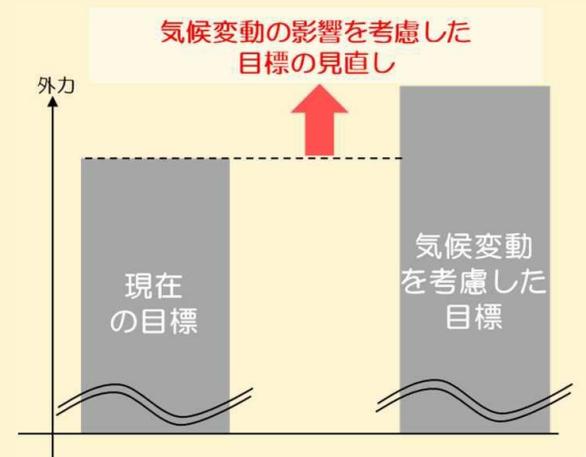
※ 世界の平均気温の上昇を2度に抑えるシナリオ(パリ協定が目標としているもの)

気候変動シナリオ	降雨量 (河川整備の基本とする洪水規模(1/100等))	
2℃上昇相当	約1.1倍	

降雨量が約1.1倍となった場合

全国の平均的な傾向【試算結果】	流量	洪水発生頻度
	約1.2倍	約2倍

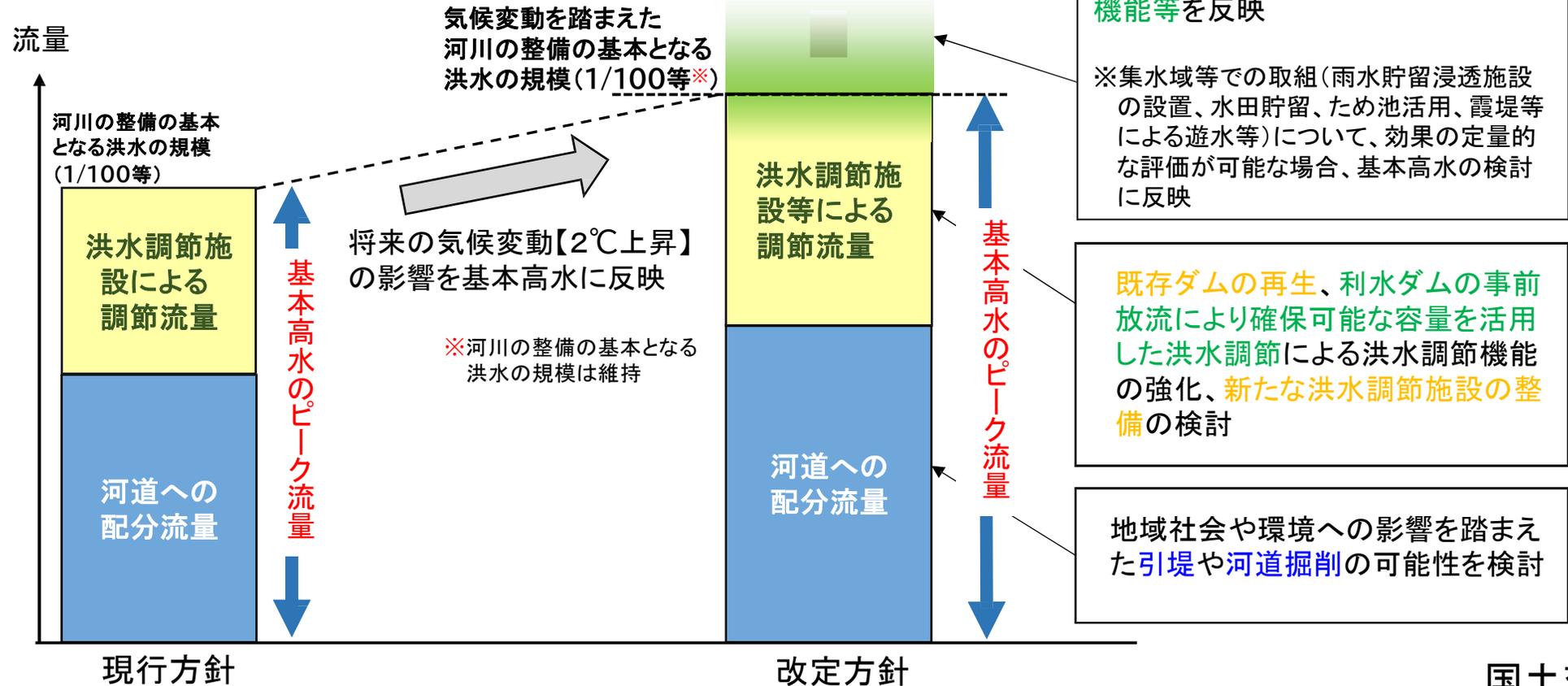
※ 流量変化倍率及び洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の河川整備の基本とする洪水規模(1/100~1/200)の降雨に降雨量変化倍率を乗じた場合と乗じない場合で算定した、現在と将来の変化倍率の全国平均値



# 気候変動の影響や流域の取組等の基本高水や流量配分への反映

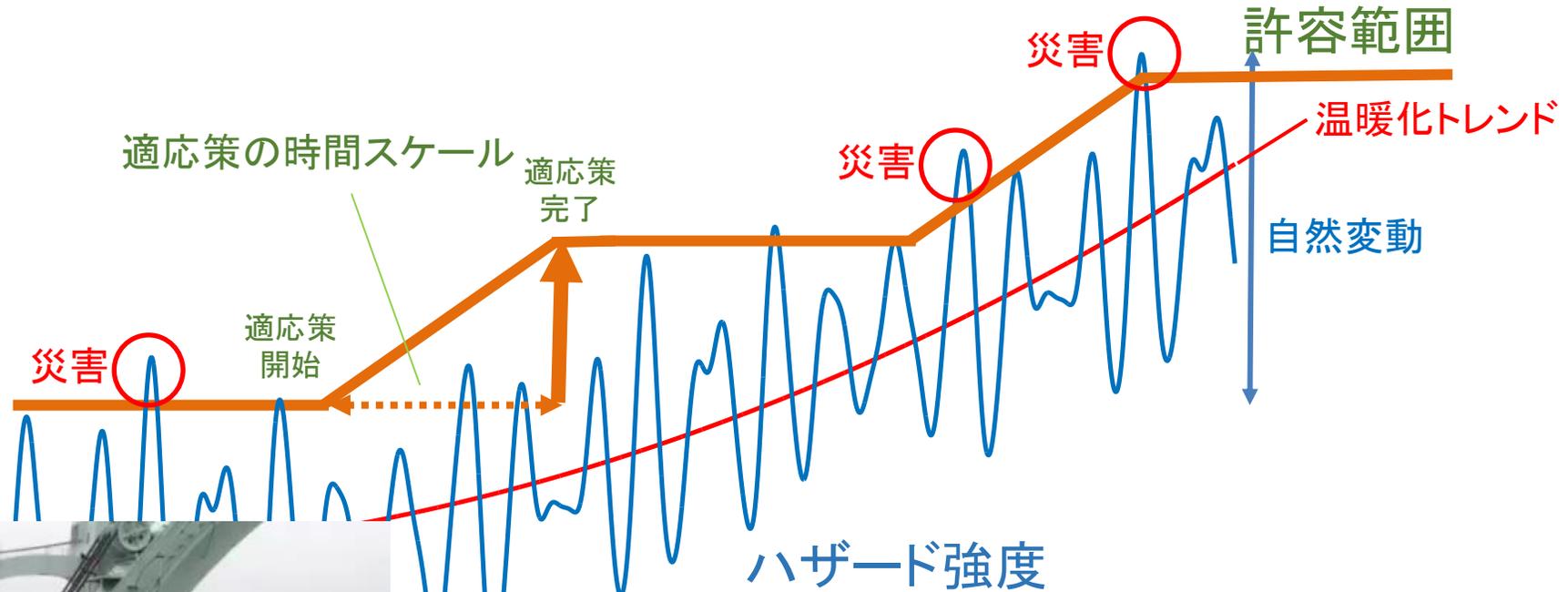
- 科学技術の進展や現時点のデータの蓄積を踏まえ、将来の降雨量変化倍率、アンサンブル実験による予測降雨波形の活用など、気候変動の影響を考慮して基本高水のピーク流量を設定。
- 基本高水の設定においては、流域の土地利用、沿川の保水・遊水機能等について現況及び将来動向などを評価し、流域の降雨・流出特性や洪水の流下特性として反映。(集水域等での対策(水田貯留、ため池の活用等)については、取組が進み、効果の定量的評価が可能になった場合、基本高水の検討に反映)
- 河道と洪水調節施設等への配分については、改めて地域社会や環境への影響を踏まえた引堤や河道掘削の可能性の検討を行うとともに、既存ダムの洪水調節機能強化等の検討を行い決定。

## 「気候変動」と「流域治水」の新たな視点を踏まえ改定



# 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



2018.9.4 台風21号 木津川水門



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

# 内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. 科学的な気候変動予測とは？
3. 豪雨と気候変動影響
4. ハザードと気候変動
5. 後悔しない気候変動適応とは？
6. おわりに

- 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

# まとめ

- 近年、気候関連災害は激甚化している。早急に適応策を講じることが必要である。
- 気候変動影響をより正確に評価するための科学研究が進められており、適応策の策定にも用いられている一方、気候リスクの変化やスピードにも注意が必要だ。
- 気候変動影響予測には不確実性がある。だが、「後悔しない適応」のためには、**予防原則**を適用すべきであり、科学的証拠や情報の欠如が行動を起こさない理由であってはならない。
- 直ちに行動を起こすことが急務である。地域の実情に基づいたボトムアップアプローチが不可欠である一方、国レベルでは、関係省庁間の協力を強化し、学界と防災地域の連携を促進することも必要。
- 日本政府は治水計画の基準を引き上げ、かつ「流域治水」へ転換している。
- 水・土砂洪水氾濫(複合災害)
- 地震・豪雨による水・土砂洪水氾濫(複合災害)

# 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

