

令和5年度(第41回)土砂災害防止「全国の集い」
於: 富山国際会議場メインホール、'23/6/1

気候変動による豪雨災害への影響 -適応に向けて-

中北英一

京都大学防災研究所 所長 教授

気候変動リスク予測・適応研究連携研究ユニット ユニット長

気象・水象災害研究部門 教授

京都大学 副理事(宇治・遠隔地キャンパス担当)

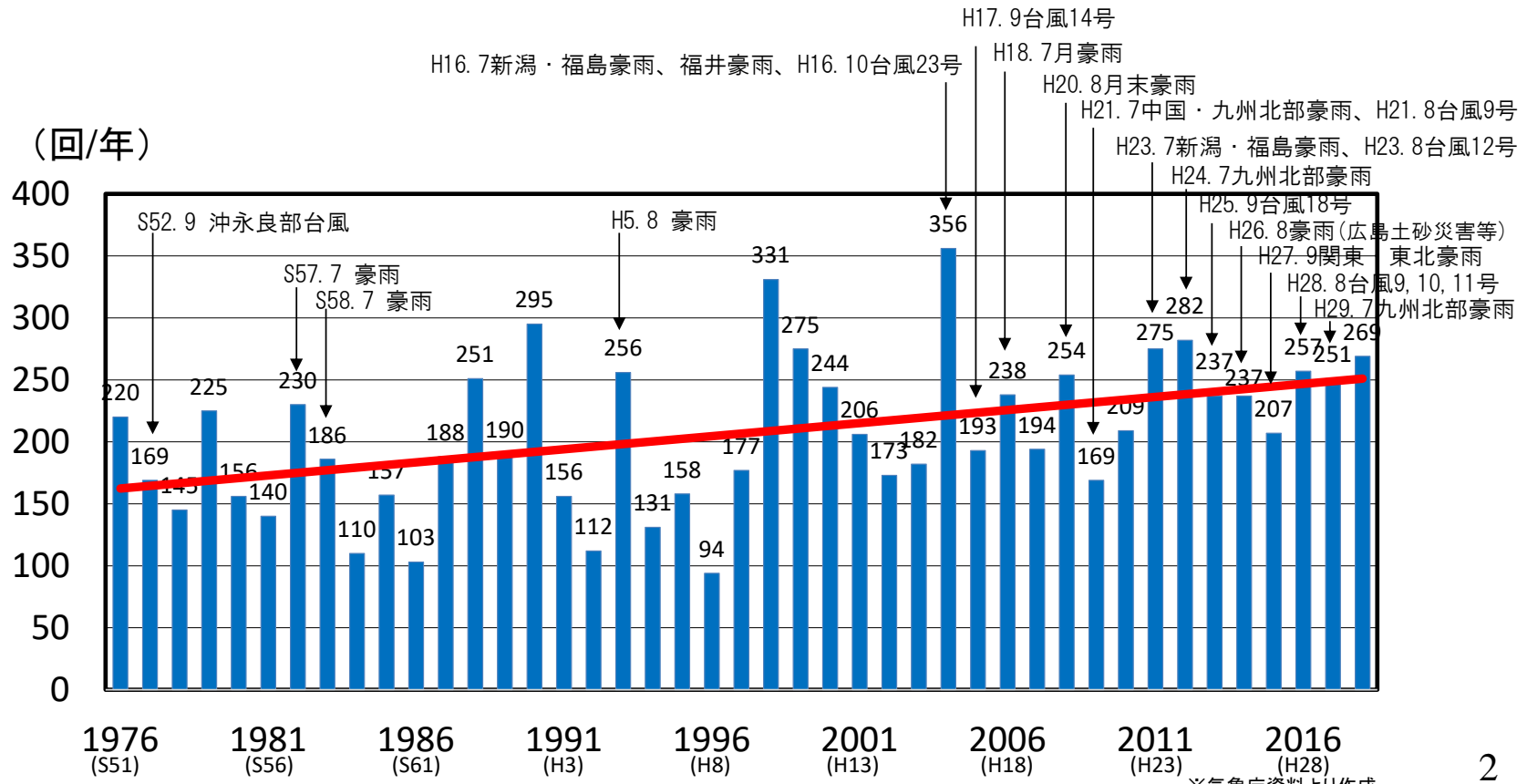
文部科学省 技術参与(環境エネルギー科学技術担当)

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

近年、雨の降り方が変化

- 時間雨量50mmを超える短時間強雨の発生件数が増加。
- 気候変動の影響により、水害の更なる頻発・激甚化が懸念。



1時間降水量50mm以上の年間発生回数(アメダス1,000地点あたり)

国土交通省(水災害・水資源分野における気候変動の影響と適応に関するシンポジウム発表資料、2109)

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】

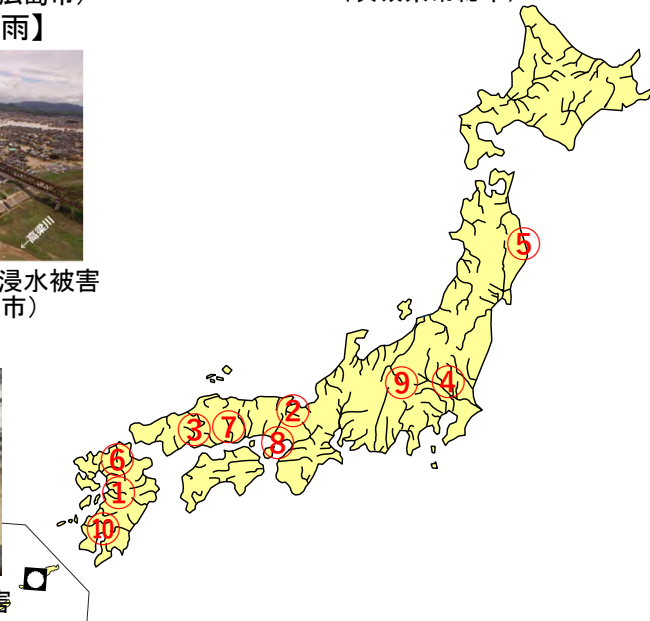


⑨北陸新幹線車両基地
(長野県長野市)

【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

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
 - 流域治水、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？

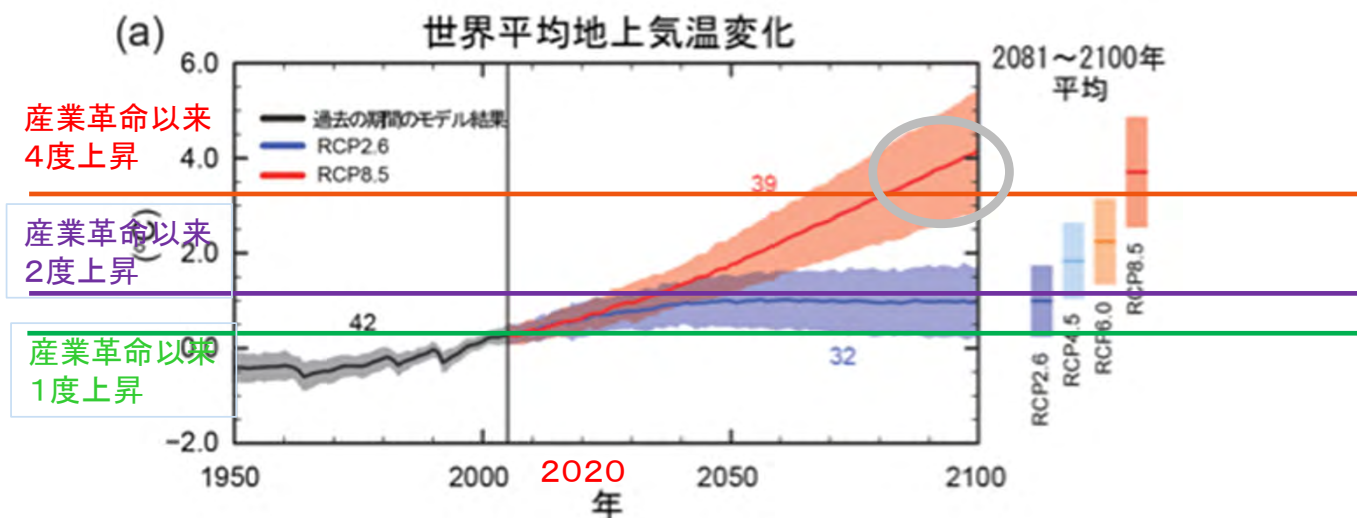


岡山県真備町小田川の洪水氾濫(2018) (国土交通省 中国地方整備局)



福岡県朝倉赤谷川の土砂・洪水氾濫(2017) (国土交通省 九州地方整備局)

今世紀末までの世界平均気温変化予測:



COP26では、1.5°C上昇で抑えることを目標に。

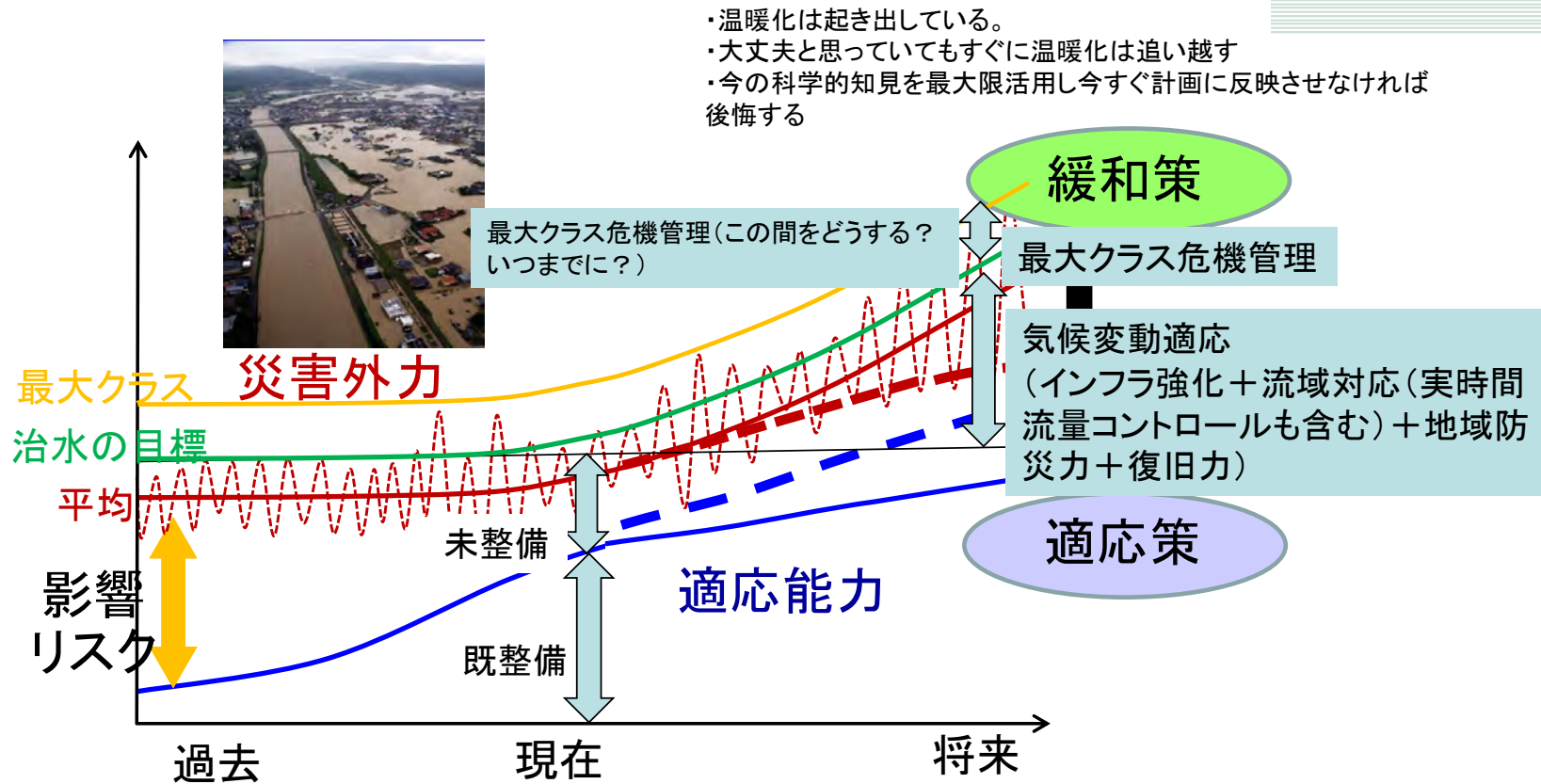
現在、1.1~1.2°C上昇中。

さまざまなゼロエミッション宣言が出されているが、それでも2°C上昇は不可避。

2°C上昇はいつ起きるか？ => 2050年までに起きる(世紀末の話ではない！)

今の時点でこんなに自然があらぶれだしている。2°C、4°Cはどんな世界か？

適応策の役割

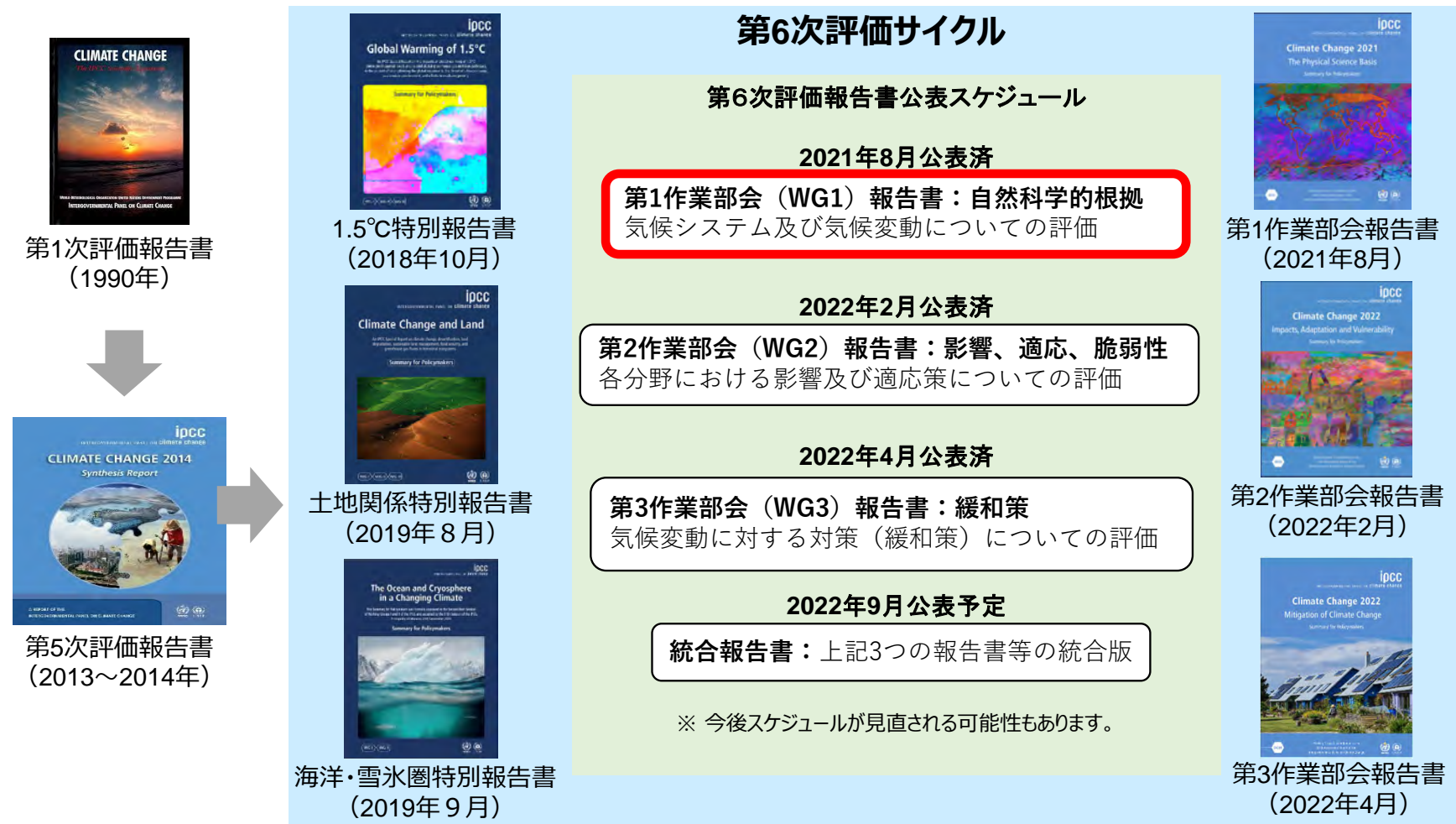


小松(九大、2012)、三村(茨城大、2014)に中北が追加(2109)

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

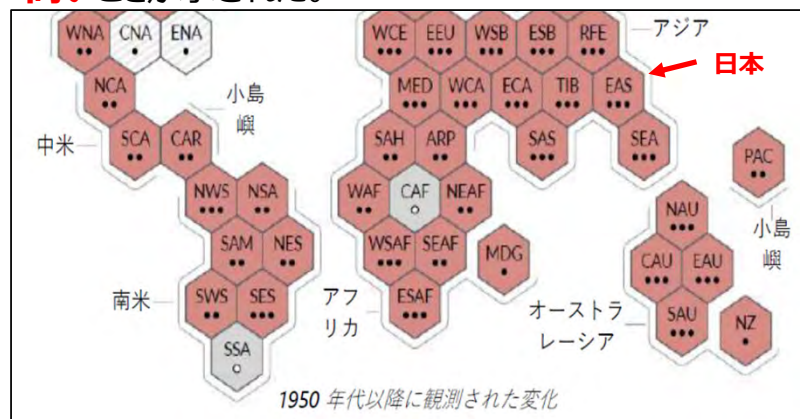
IPCCの評価報告書と特別報告書



「人間の影響が大気・海洋・陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がない」と記載

→人間の活動が温暖化の原因であると初めて断定

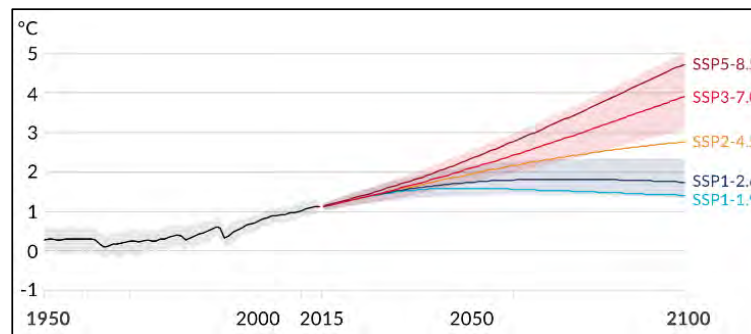
- これまでの観測について、世界を**地域別に分析**。
- 地域によっては、**極端現象の頻度が増加しており、その変化は人間の影響が関係している可能性が高い**ことが示された。



図：観測及び特定された地域的な変化の評価
世界を45の地域に分割しており、高温の例では、赤色は増加傾向で、黒丸3つは人間の影響が関係している可能性が高いことを示す。

- 今後、世界全体の陸域で、**地球温暖化の進行に伴い、極端な高温や大雨などが起こる頻度と強度が増加する**と予測される。

- 世界平均気温は、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続ける**という予測が示された。
- 温室効果ガスの排出の増加を直ちに抑え、その後大幅に減少させるシナリオにおいては、21世紀末に地球温暖化は約1.5℃未満に抑えられる可能性が高い。



図：1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化

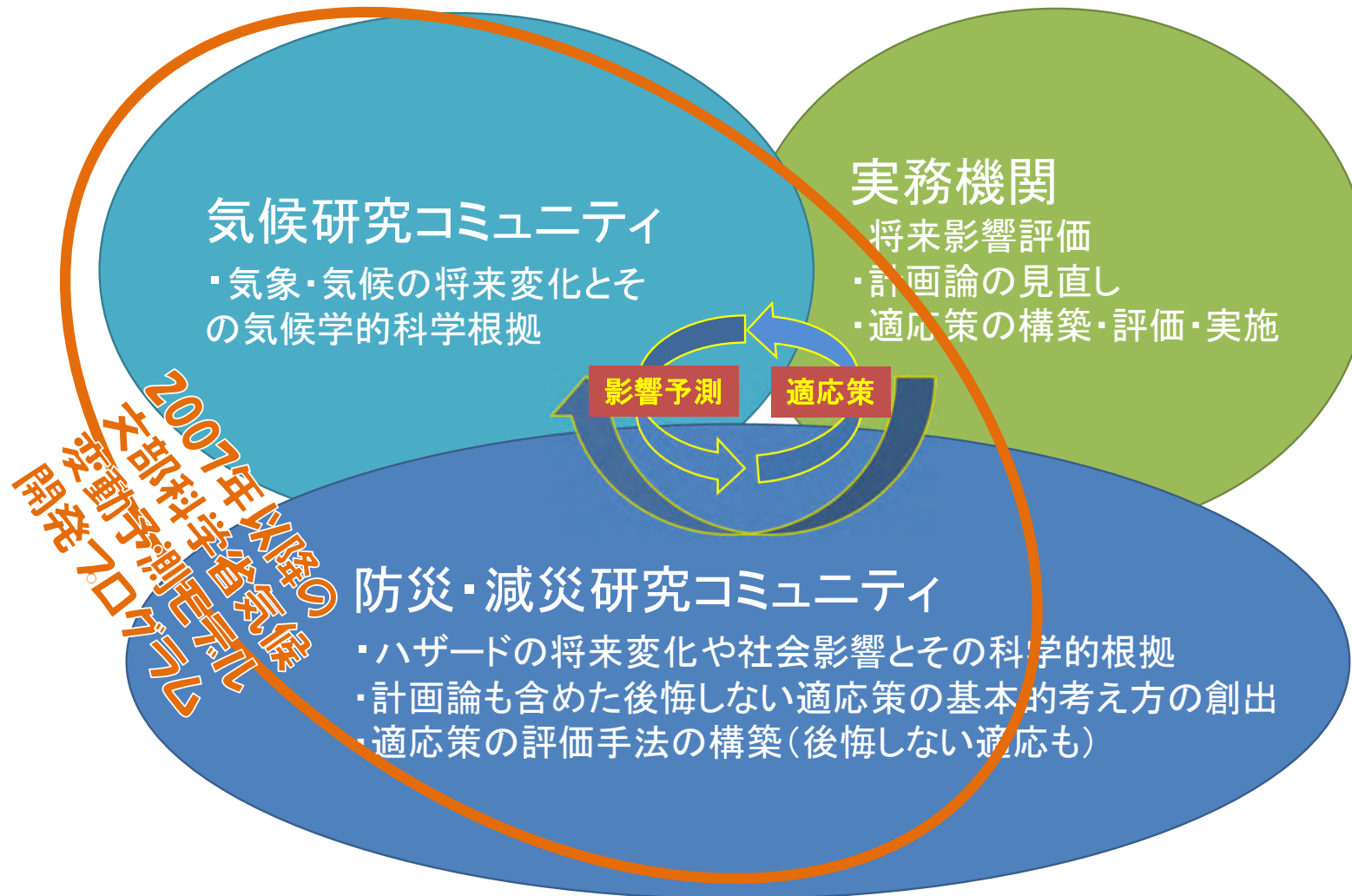
※図の出典：IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳（文部科学省・気象庁）より
図SPM3(a)及びSPM8(a)
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>

第8回気候変動適応近畿広域協議会（R4.8.30）環境省発表資料より

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

機構研究コミュニティと防災・減災コミュニティの融合



文部科学省 共生～統合プログラム

- Kyousei(共生)Program:2002-2006
 - 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
 - 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
 - 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
- Togo(統合)Program:2017-2021
 - 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
- Sentan(先端)Program:2022-2026
 - 複合災害



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



* 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。



作成: 文部科学省(水災害・水資源分野における気候変動の影響と適応に関するシンポジウム資料、2019)

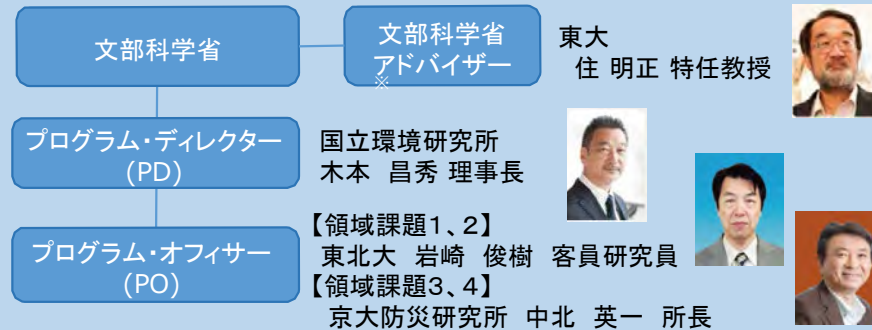
事業概要

- 気候変動予測先端研究プログラムにおいては、気候変動研究の基盤的な研究を継続し、**気候変動研究の基盤**を支える。
- ユーザーニーズを踏まえ、**地域別予測、近未来予測、AI活用**といった最新動向に対応し、**国際競争力の向上**や**社会実装(気候変動対策)**のために**必要な取組**を推進する。

取組内容

プログラム実施体制

※文部科学省アドバイザーによる指示・助言を行う体制を新たに構築



領域課題1: 気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化 (全球気候モデル)

代表機関: 東京大学

代表者: 大気海洋研究所 渡部 雅浩 教授

全球気候モデルの高度化や気候変動メカニズムの解明の実施、気候変動予測の不確実性の低減。

- 全球気候モデルの高度化(衛星データを活用した雲・降水プロセスの精緻化)【領域課題2連携】
- イベント・アトリビューション研究の深化(地域規模の極端現象につながる大規模な大気循環への温暖化寄与分析)【領域課題3、4連携】

領域課題2: カーボンバジェット評価に向けた気候予測シミュレーション技術の研究開発(物質循環モデル)

代表機関: 海洋研究開発機構

代表者: 河宮未知生 環境変動予測研究センター長

物質循環やそれに関わる**プロセスモデルの開発**や**カーボンバジェット評価**とその前提にもなる**全球の近未来予測データの創出**の実施。領域課題間連携に向けた事務局を担当。

- 物質循環モデルの高度化(メタン・N2O・エアロゾル、永久凍土融解、極域氷床、森林火災)【領域課題1連携】
- カーボンバジェット評価の不確実性の低減

領域課題3: 日本域における気候変動予測の高度化

代表機関: 気象業務支援センター

代表者: 高藪 出 第一研究推進室長

領域気候モデルの高度化や日本域の気候予測データの創出(**アンサンブル気候予測データベースの高解像度化、近未来、時間連続等**)、**データ活用の促進**。

- 領域気候モデルの高度化(気象庁現業予報モデルとの連携)
- d4PDFの高解像度化(~5km)
- 気候変動対策に資する「気候予測データセット2022」の活用促進
- 東南アジア地域の研究機関との共同研究【領域課題4連携】

領域課題4: ハザード統合予測モデルの開発

代表機関: 京都大学

代表者: 森 信人 防災研究所副所長

洪水と高潮等の**複合災害**等を対象としたハザードの予測等の実施。

- ハザードモデルの統合化(複合災害)と精緻なハザードモデルの開発(強風、土石流、海洋熱波)
- 全国規模の将来ハザード予測【領域課題3連携】
- 東南アジア地域の研究機関との共同研究【領域課題3連携】

※各領域課題において**衛星等による観測データ**や**機械学習・人工知能(AI)技術**を活用

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



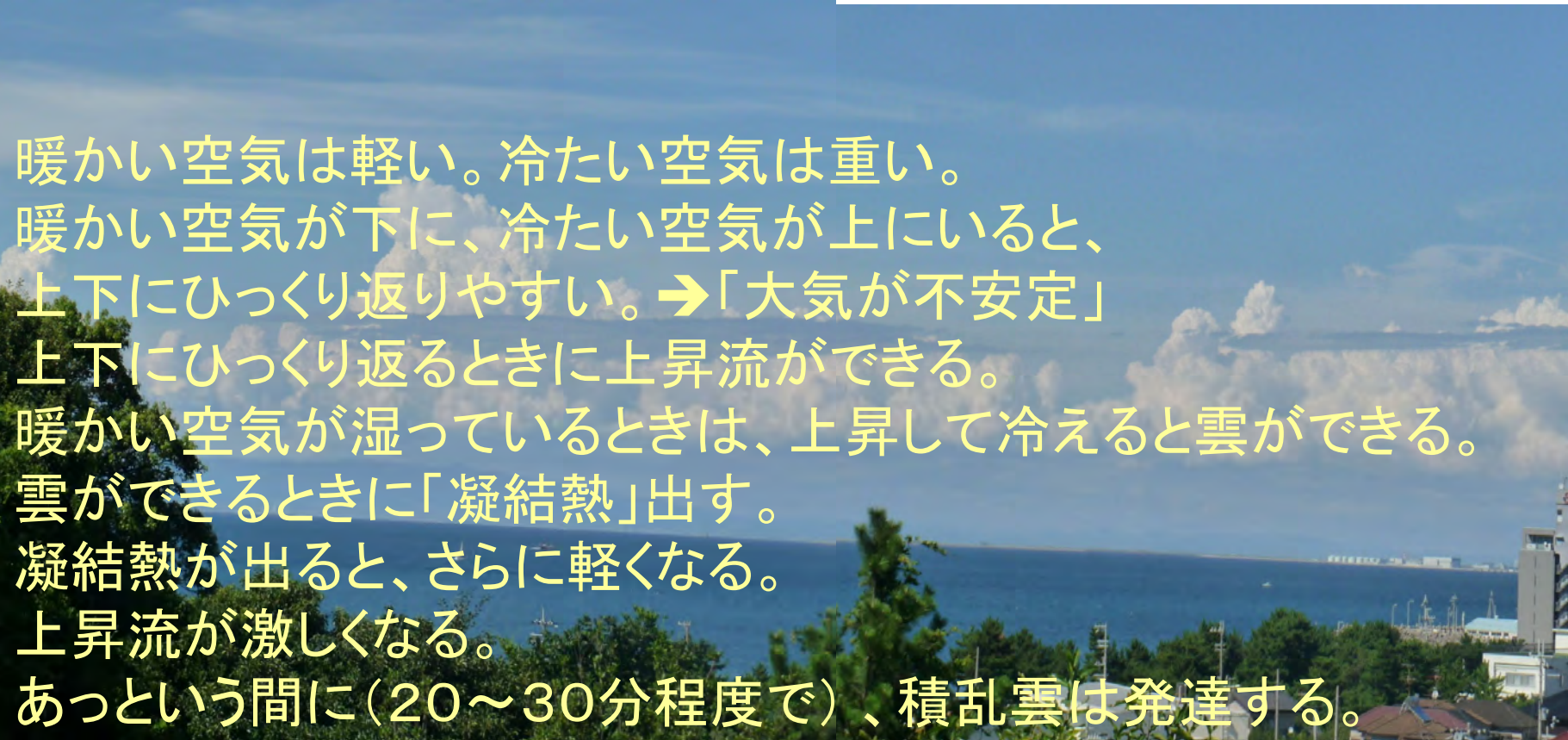
TOUGOU
Integration Research Program
for Advancing Climate Models

SOUSEI



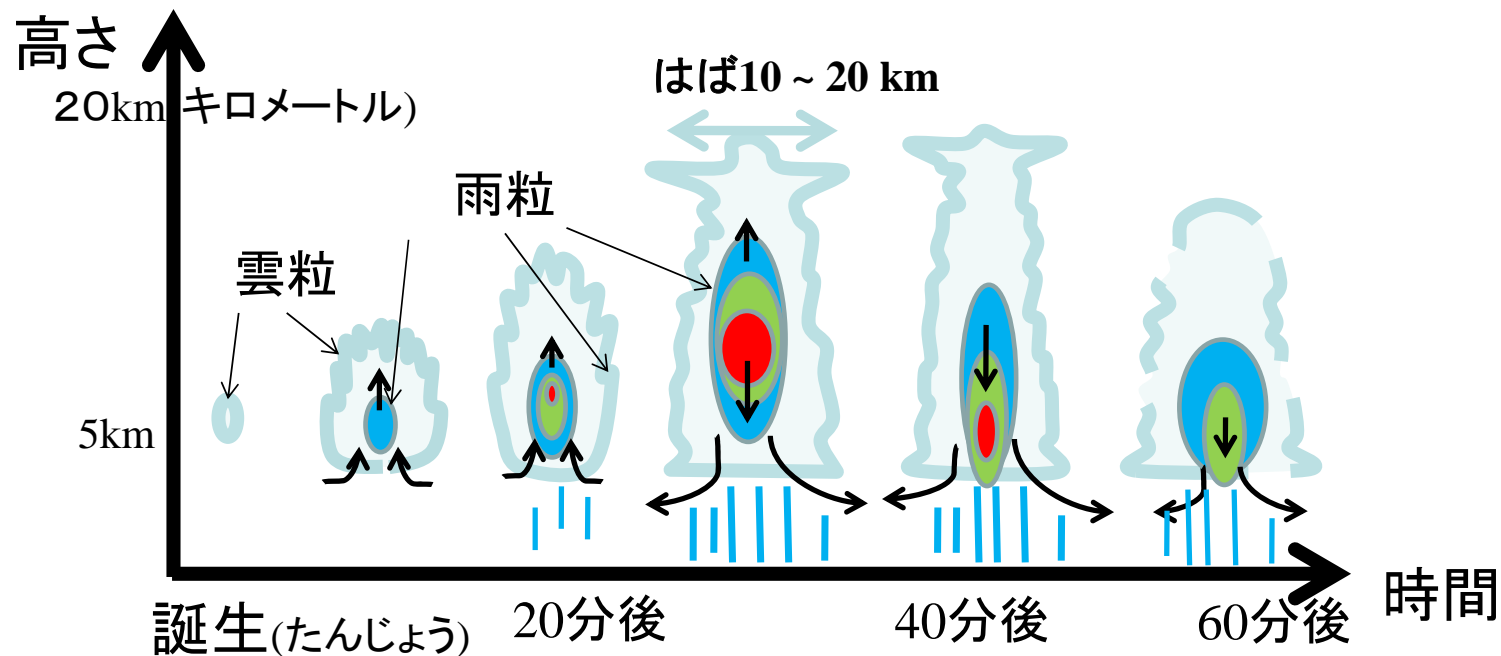
KAKUSHIN

今日のキーワード ー積乱雲(入道雲)ー



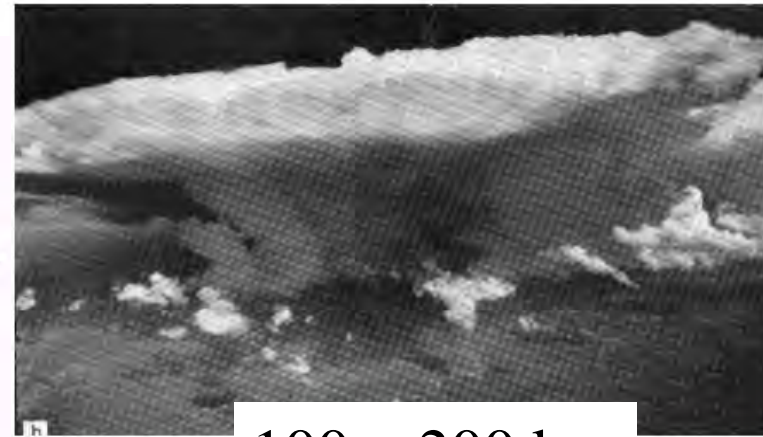
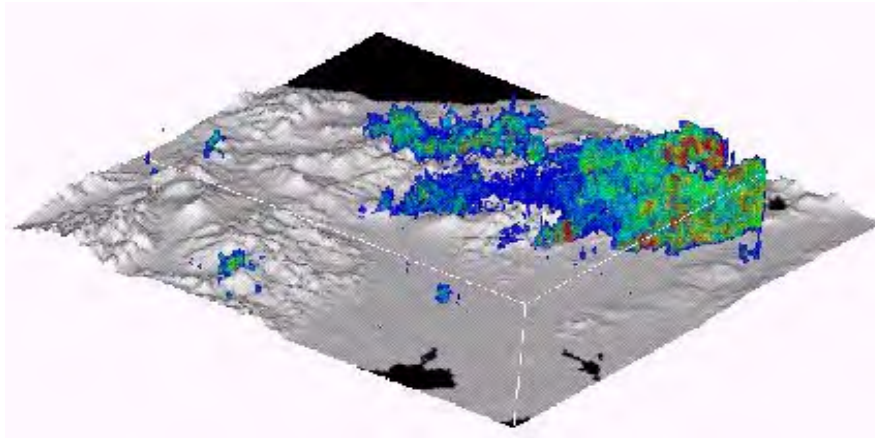
暖かい空気は軽い。冷たい空気は重い。
暖かい空気が下に、冷たい空気が上にいると、
上下にひっくり返りやすい。→「大気が不安定」
上下にひっくり返るときに上昇流ができる。
暖かい空気が湿っているときは、上昇して冷えると雲ができる。
雲ができるときに「凝結熱」出す。
凝結熱が出ると、さらに軽くなる。
上昇流が激しくなる。
あっという間に(20~30分程度で)、積乱雲は発達する。

積乱雲の一生(おおよそ1時間)



- ✓とつぜん空気が上昇して、雲つくり出します。
- ✓雲つぶが集まって、雲つぶより大きな雨つぶを空にみるみる貯めだします。
- ✓雲ができたして30分後には、たまってきたたくさんの雨つぶがどさっと落ちてきます。
- ✓これが激しい雨、すなわち豪雨(ごうう)です。

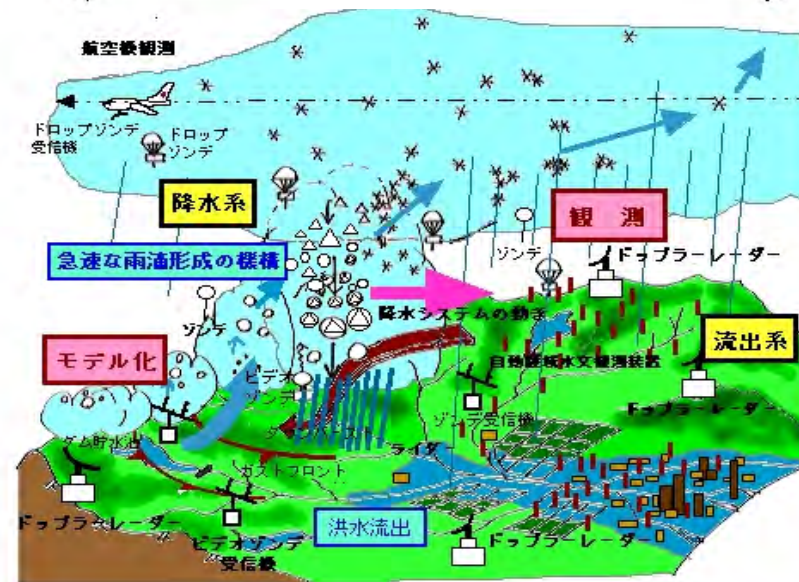
典型的な集中豪雨（線状対流系）



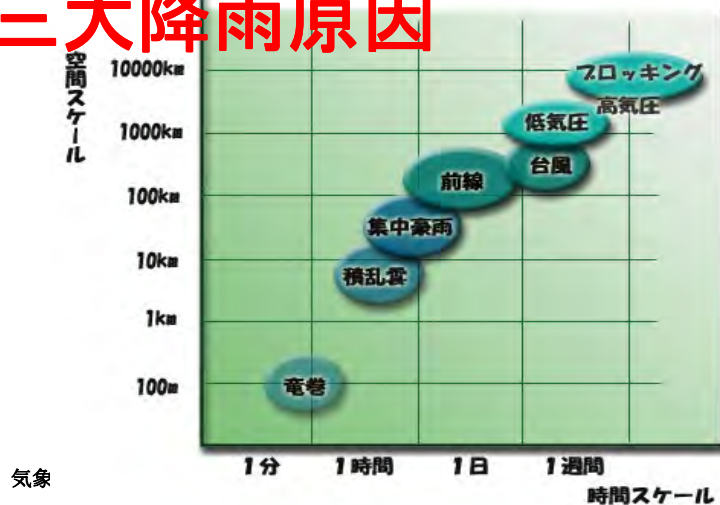
100 ~ 200 km

典型的な集中豪雨は、自己組織化された積乱雲のファミリーによってもたらされる。

このファミリーは100km以上の長さを持ち、自己組織化されているゆえ6時間以上の寿命を持つ。



日本で災害をもたらす 三大降雨原因



台風

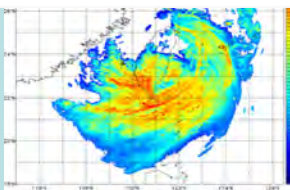
範囲: 1000km

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

CWB QPESUMS COMPOSITE REFL

20/60km格子モデル(AGCM20/60)



台湾中央気象局、台湾国家災害防救科技中心

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



(国土交通省 九州地方整備局)

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 2008/08/05 at 雑司ヶ谷



都賀川モニタリング映像



共同通信

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

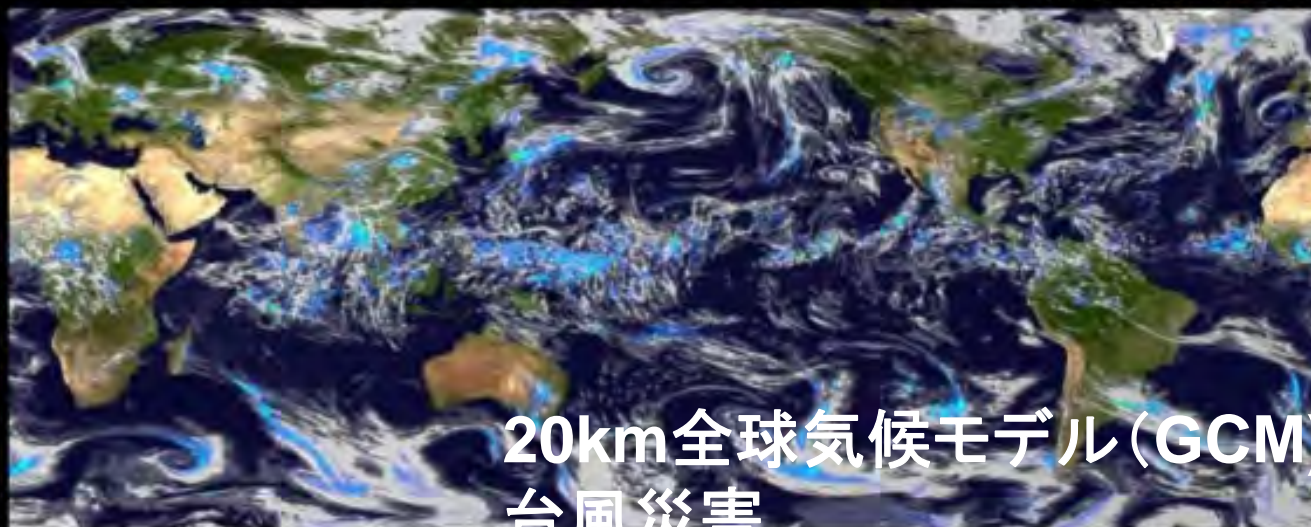
(全球気候モデルと領域気候モデル)

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

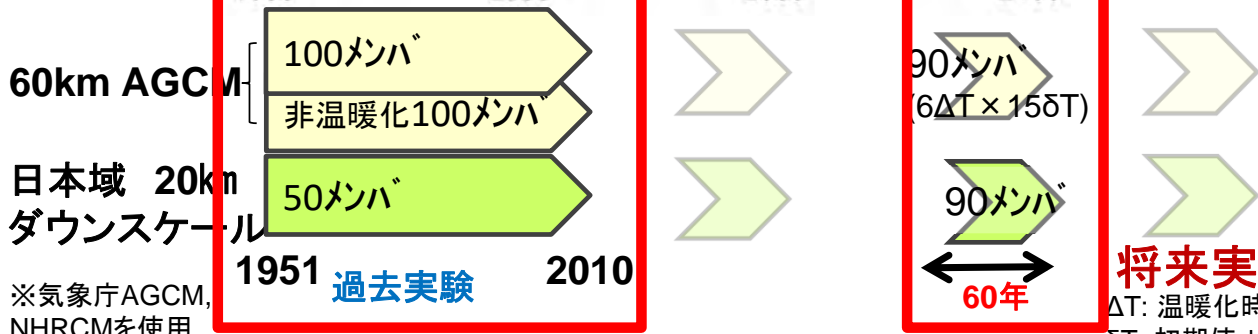
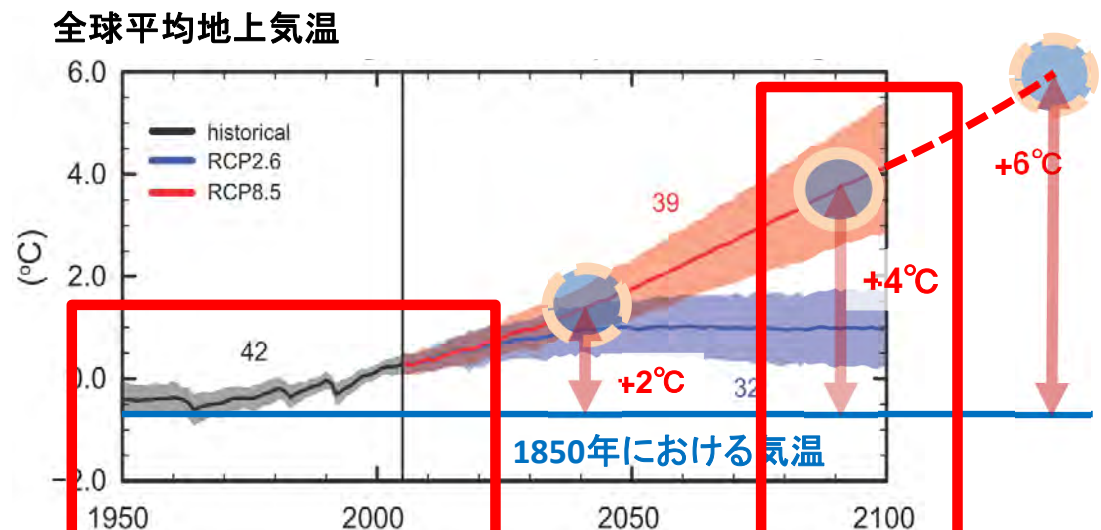
05 Sep
208X
00 UTC

32
24
16
8
0
mm/hour



20km全球気候モデル(GCM)
台風災害

大アンサンブル実験デザイン d4PDF d2PDF

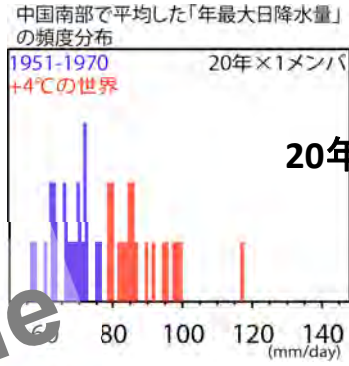
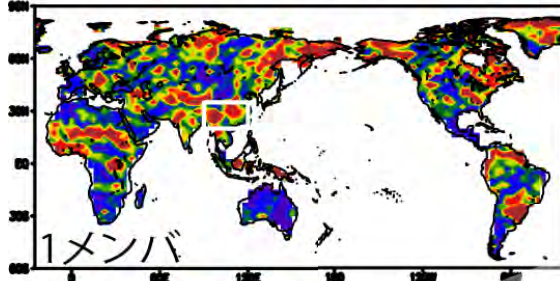


※気象庁AGCM, NHRCMを使用

将来実験
 ΔT : 温暖化時SSTパターン
 δT : 初期値+SST摂動

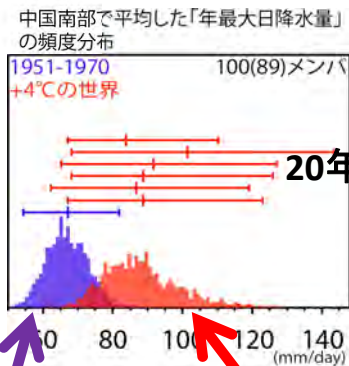
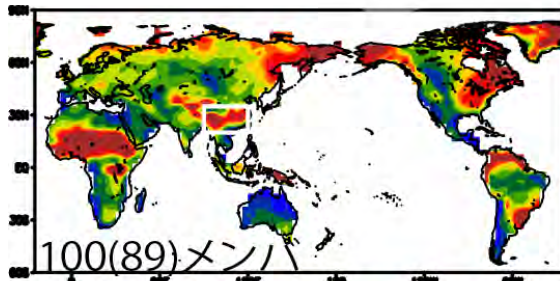
ES 100x100実験結果の解析

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



Sample

アンサンブルメンバー数の増加



1951~1970

+4°Cの世界

塩竈@NIES

温暖化による日本への影響推測

• 台風：

- 大気の安定化により、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

• 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

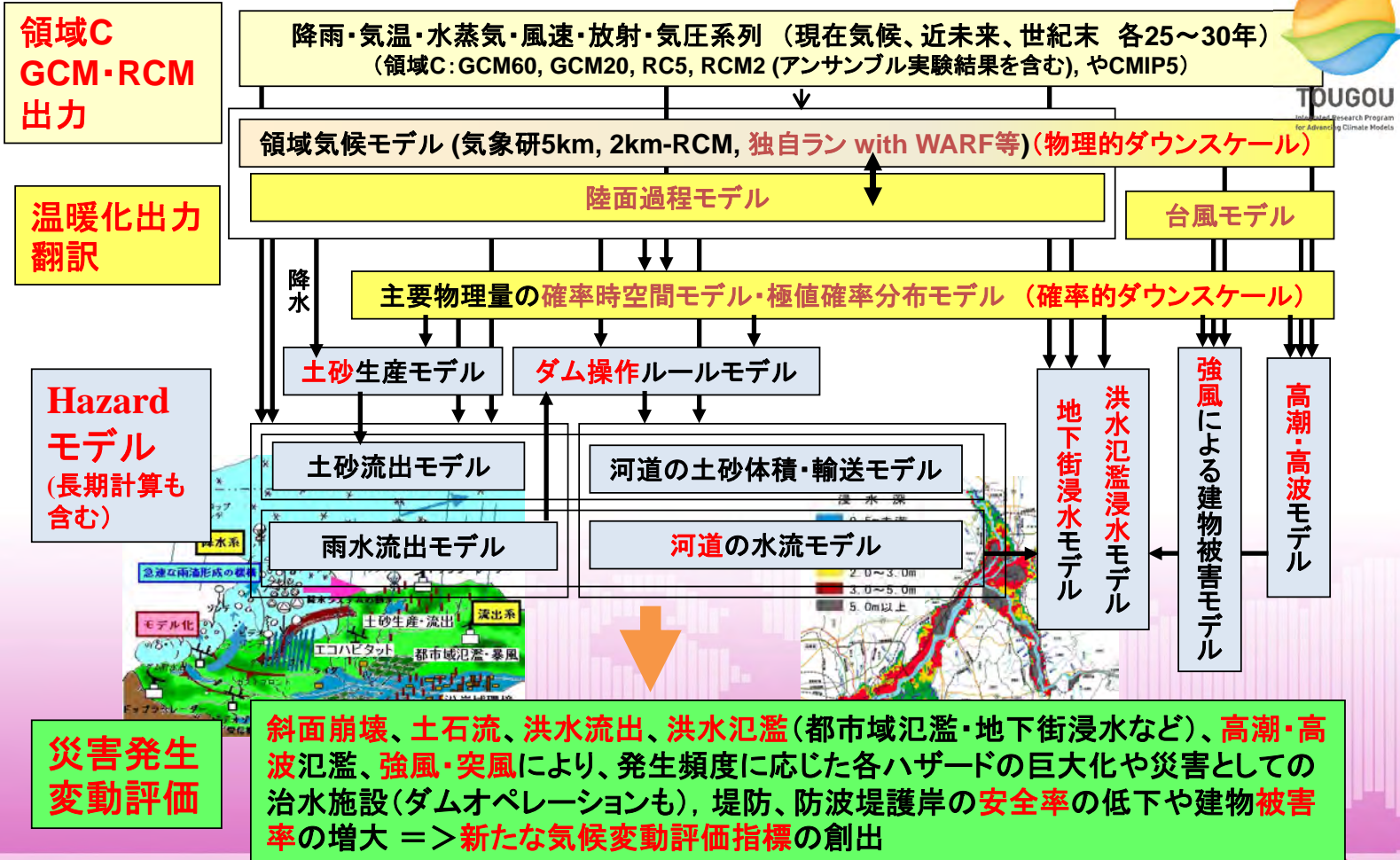


SOUSEI



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



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 Adapting Climate Change

SOUSEI



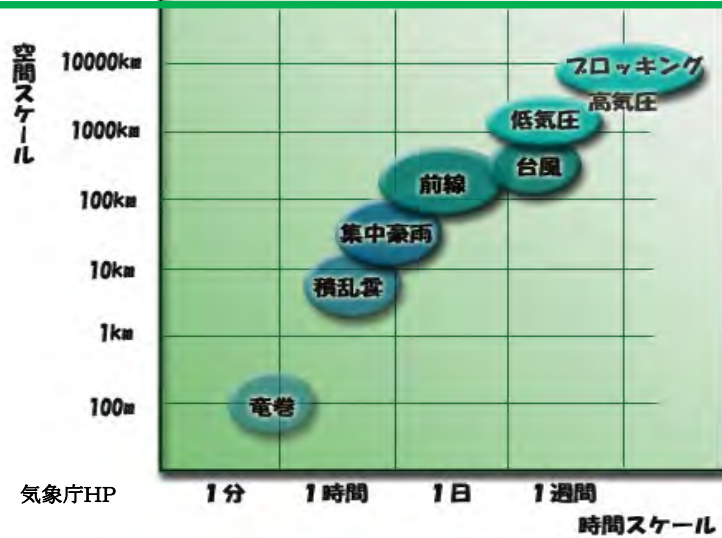
KAKUSHIN

- 100年に一度起こる規模の河川最大流量が全国で増大
- 10年に一度の少ない規模で起こる河川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、新潟南部では「どか雪」が起こったときはもっとどか雪になる

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

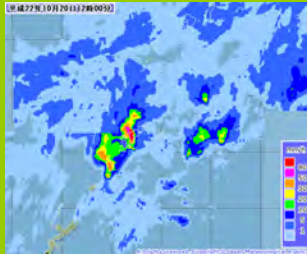
災害をもたらす豪雨のスケール



集中豪雨

範囲: 100km
継続時間: 6時間から半日程度

中・小河川での洪水、内水氾濫、土砂災害
2010/10/20 in奄美

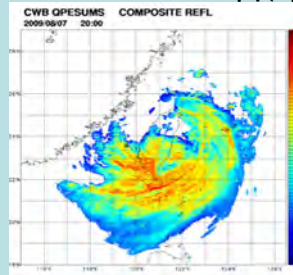


南日本新聞 OFFICIAL SITE

台風

範囲: 1000km
継続時間: 1日から数日

大河川での洪水、大規模水害、土砂災害
2009/08/08 in台湾



台湾中央気象局、台湾国家災害防救科技中心

ゲリラ豪雨(局地的豪雨)

範囲: 数km
継続時間: 1時間程度

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 2008/08/05 at雑司ヶ谷



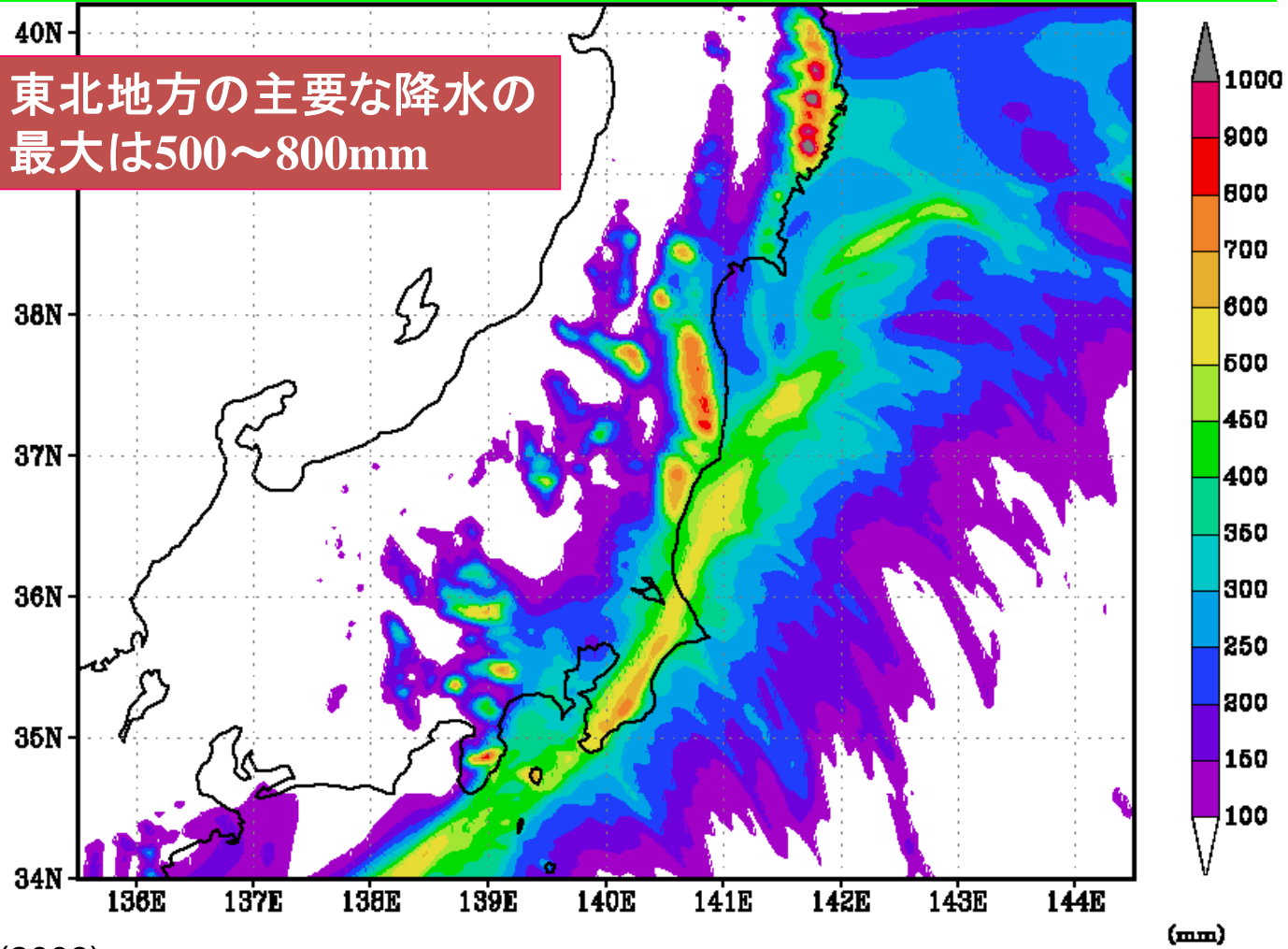
都賀川モニタリング映像



共同通信

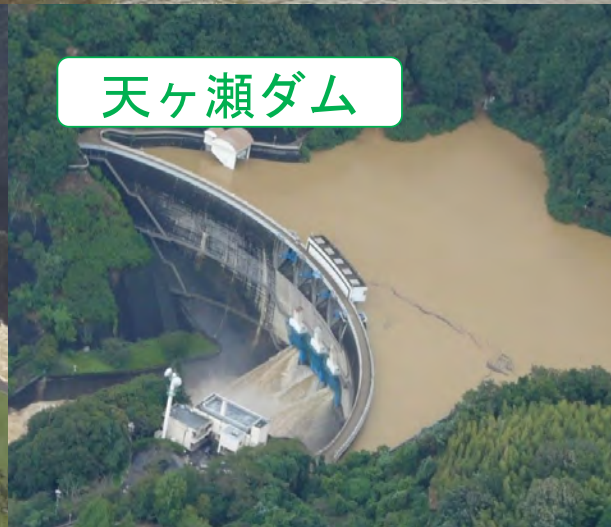
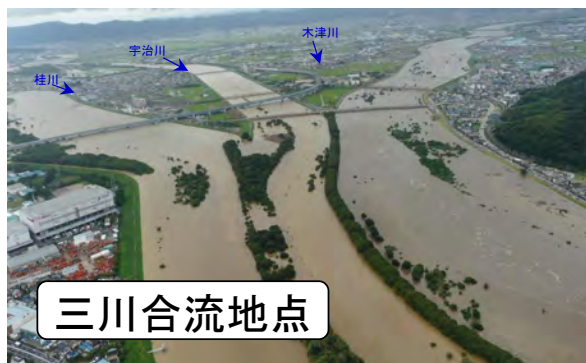
GCM温暖化気候の台風のCReSS実験: 台風SF0508による総降水量(mm)

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(平成25年18号台風)



淀川水系のダム群全体で洪水調整(平成25年18号台風)



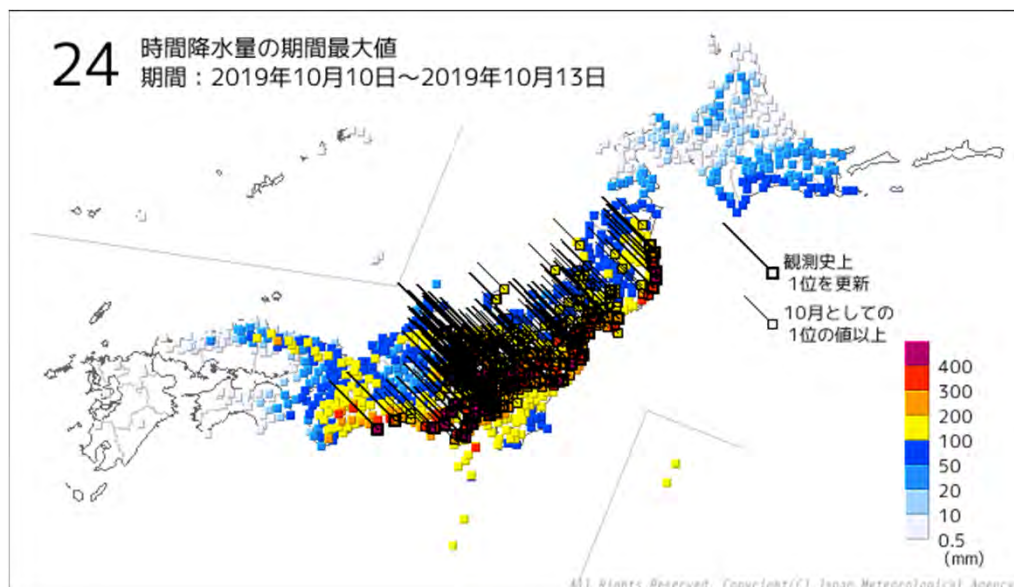
宇治市内と天ヶ瀬ダム

令和元年10月台風第19号の特徴(降雨)

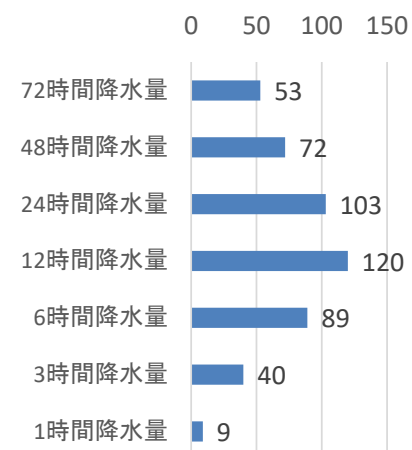
■全体概要

- 10月6日に南鳥島近海で発生した台風第19号は、12日19時前に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した。その後、関東地方を通過し、13日12時に日本の東で温帯低気圧に変わった。
- 台風第19号の接近・通過に伴い、広い範囲で大雨、暴風、高波、高潮となった。
- 雨については、10日から13日までの総降水量が、神奈川県箱根で1000ミリに達し、東日本を中心に17地点で500ミリを超えた。特に静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で3、6、12、24時間降水量の観測史上1位の値を更新するなど記録的な大雨となった。
- 降水量について、6時間降水量は89地点、12時間降水量は120地点、24時間降水量は103地点、48時間降水量は72地点で観測史上1位を更新した。

※全国の気象観測地点は約1,300地点



観測史上1位の更新地点数
(時間降水量別)

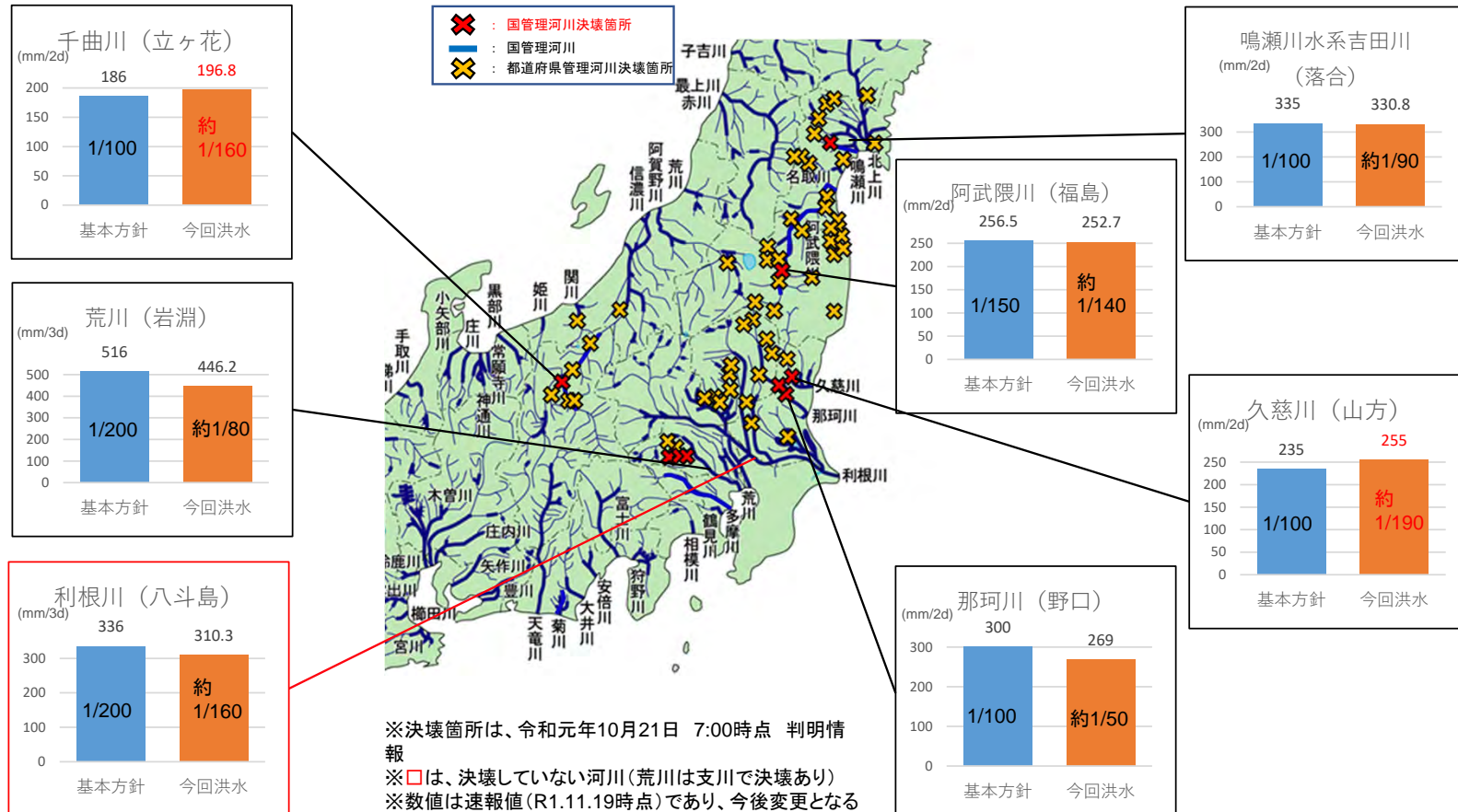


※気象庁ウェブサイトより作成(特定期間の気象データ:2019年10月10日～2019年10月13日(令和元年台風第19号による大雨と暴風))
※数値は速報値であり、今後変更となる場合がある。

台風第19号による国管理河川の状況(降雨)

■洪水による被害と状況

- 国管理河川の阿武隈川水系阿武隈川、鳴瀬川水系吉田川、信濃川水系千曲川、久慈川水系久慈川(3カ所)、那珂川水系那珂川(3カ所)、荒川水系越辺川(2カ所)・都幾川では堤防が決壊。
- これらの河川では、基準地点上流域平均雨量が河川整備基本方針の対象雨量を超過又は迫る雨量となった。



連携活動 NHKスペシャル (2021年1月9日21:00~22:00)

「2030 未来への分岐点 第1回 暴走する温暖化“脱炭素への挑戦”」

映画館 1都3県 シネマサンシャイン 東京と千葉の3館 11日から午後8時まで

商業施設1都3県 専門店以外の売り場 午後8時までに閉店 イオンモール

1都3県緊急事態宣言

9:00

字幕放送

NHK SPECIAL

NHK 配信



1都3県緊急事態宣言

京都大学防災研究所
佐山敬洋 教授

水工学

温暖化との因果関係

東京理科大学
二瓶泰雄 教授

河川工学

気象庁気象研究所
川瀬宏明 主任研究官

気象学

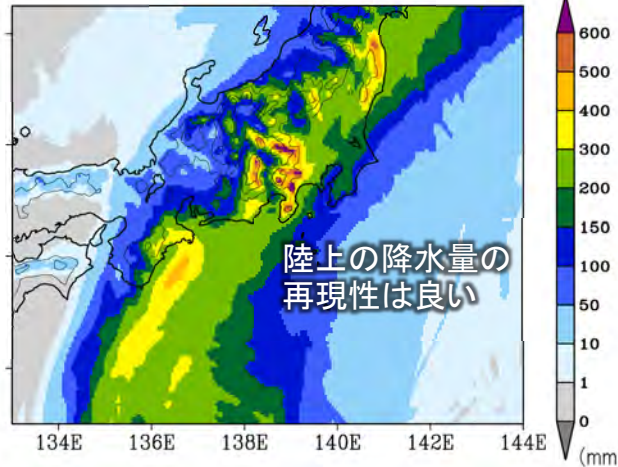
加速する温暖化
地球が非常事態

気象庁キャプチャ (気象研究所 高藪 出様 提供)

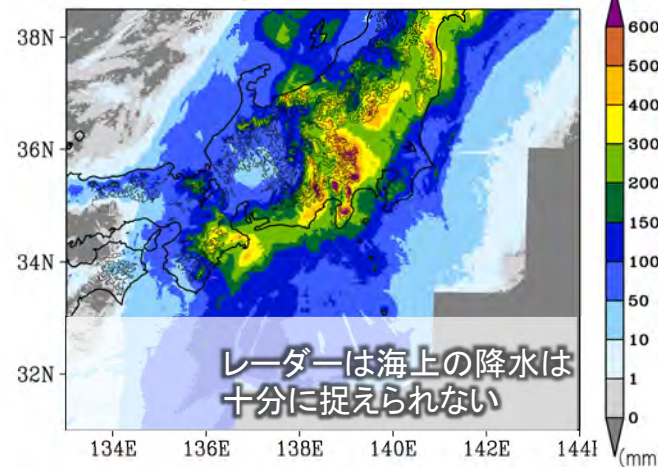
令和元年東日本台風19号 (Hagibis) の大雨に対する量的EA

期間積算
降水量
10/10 00Z-10/13 23Z

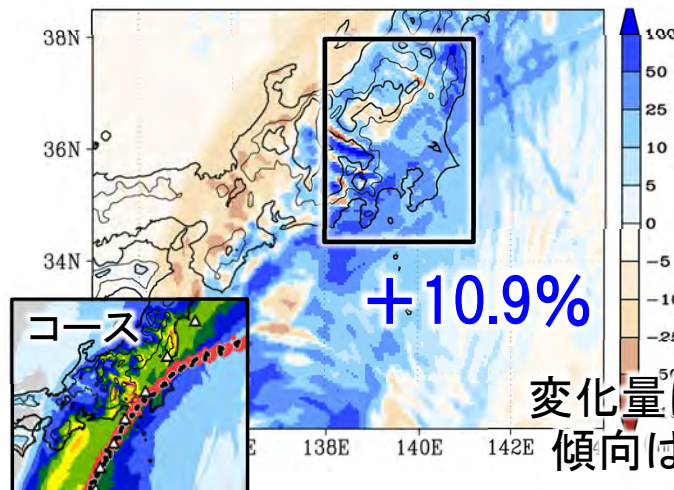
再現実験



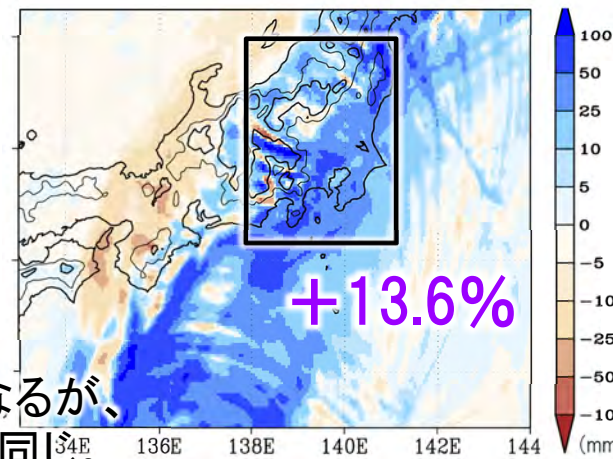
解析雨量



再現実験 - 擬似非温暖化実験
(JRA-55 1980年以降)



再現実験 - 擬似非温暖化実験
(d4PDF 過去実験-非温暖化)



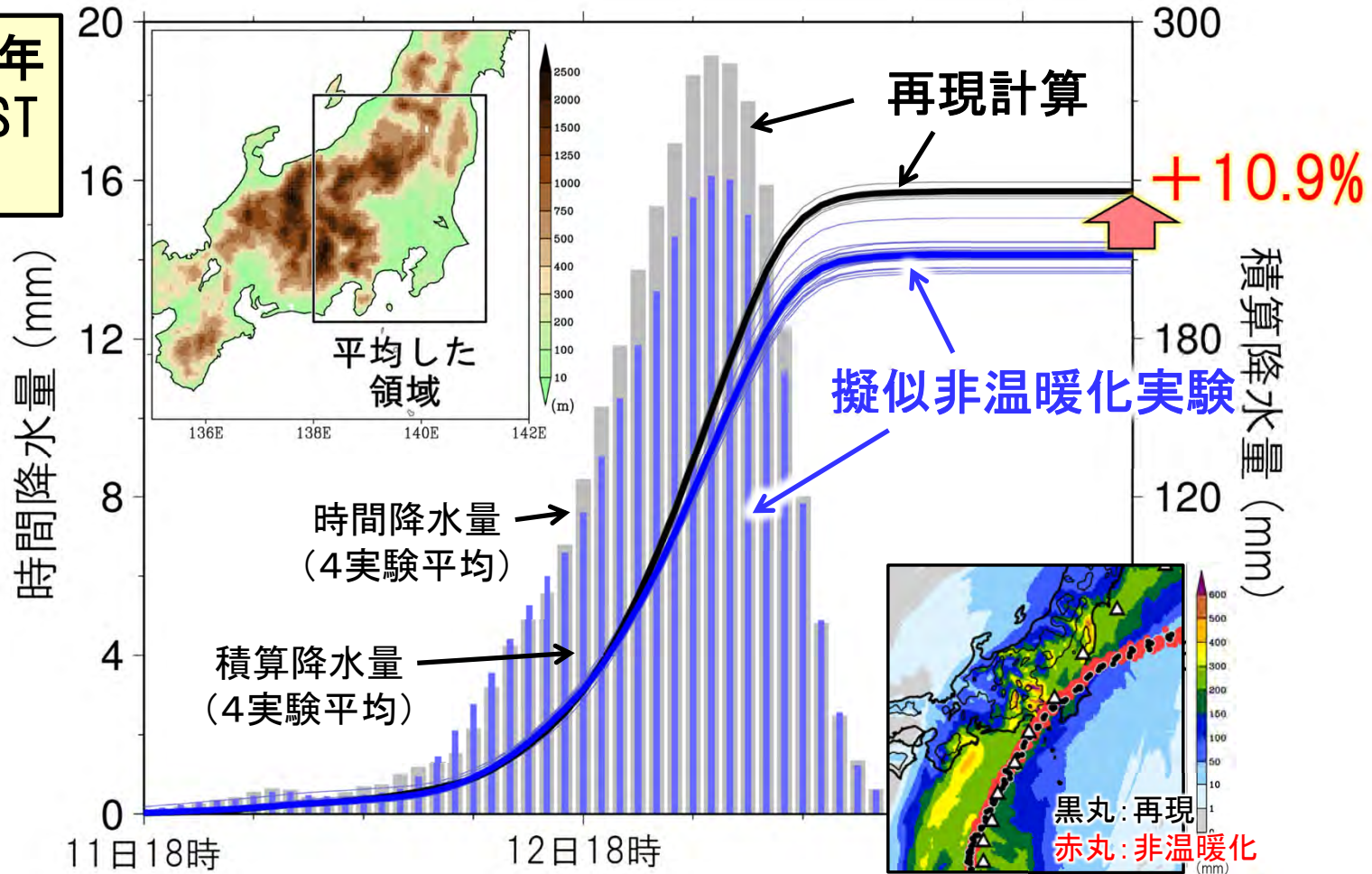
再現実験と
擬似非温暖化
実験との差

関東甲信、東北
南部で降水量が
増加

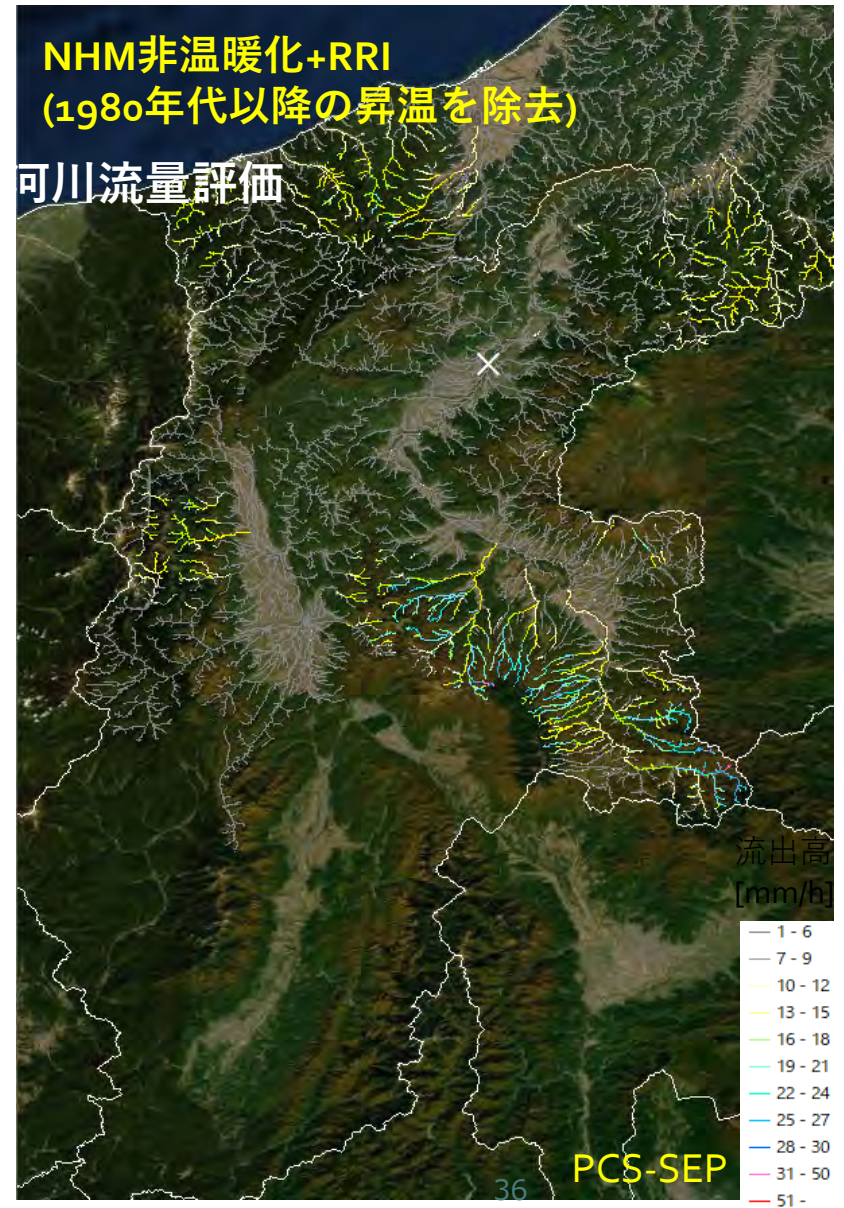
西側減少

令和元年東日本台風 (Hagibis) の大雨に対する量的EA

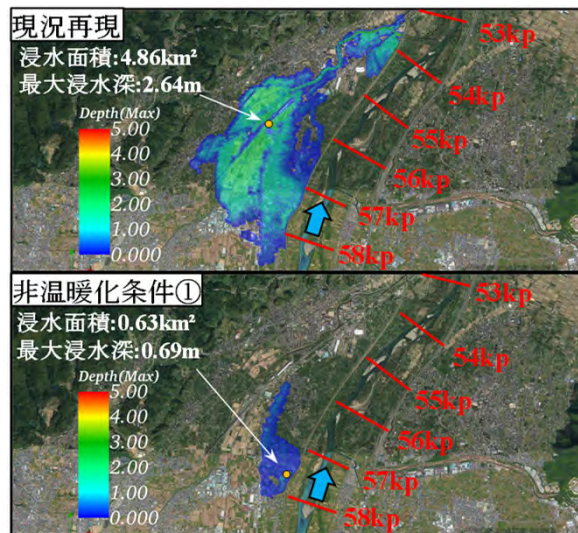
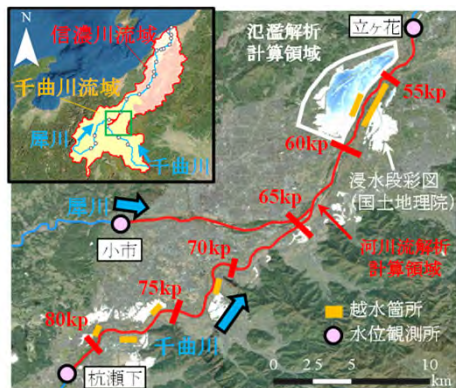
JRA-55の1980年
以降の気温/SST
変化で評価



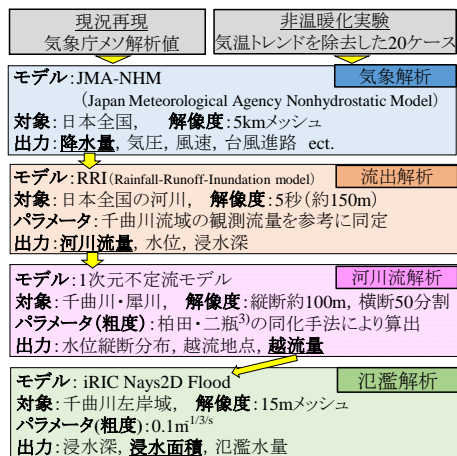
- 気温及び海面水温の上昇に伴う水蒸気量の増加
- 海面水温の上昇に伴う台風の勢力強化 (SST感度実験)



東日本台風の非温暖化：水位・氾濫



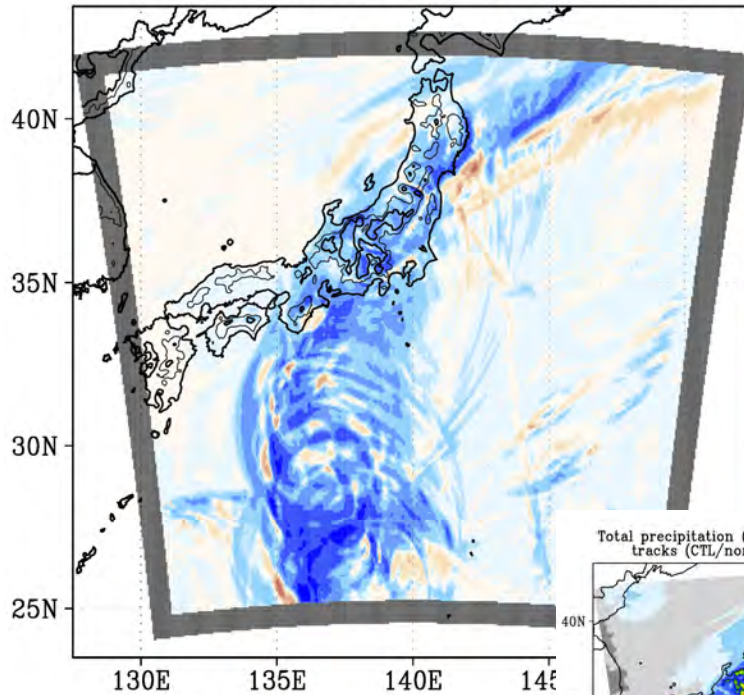
ケース	越流水深 [m]	越流区間 [kp]	総越流量 [万m³]	越流時間 [h]
現況再現	0.07	79.0~79.3	3.77	2.3
	0.44	56.7~57.9	307	5.5
非温暖化条件①	0.11	57.3~57.6	5.54	2.3
非温暖化条件②	0.04	57.3~57.5	1.67	1.3



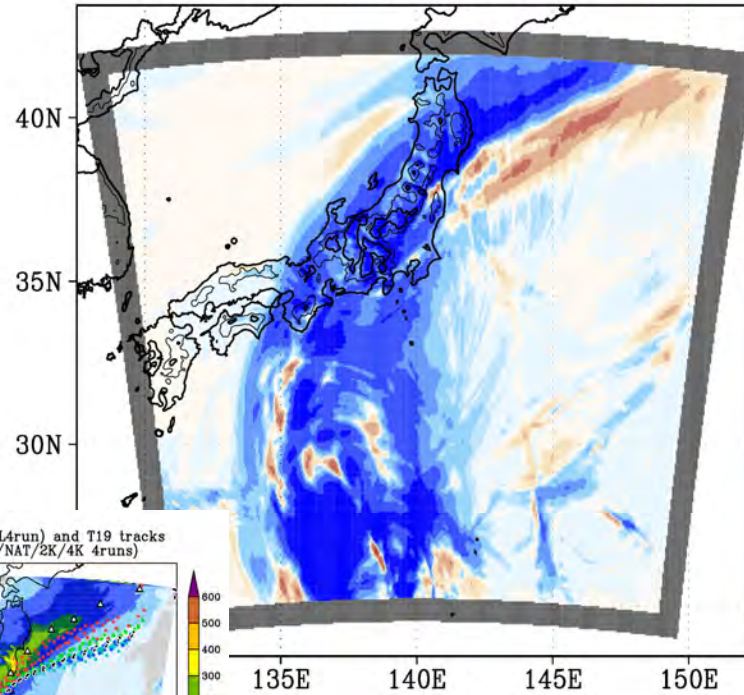
- 現況再現では、ピーク水位は計算区間の85.8%でHWLを超過、57.5kp地点で最大の11.3時間にわたり超過した。左岸側で2か所越水。
- 非温暖化条件では、HWL超過区間は全体の59.4~82.3%で、現況再現条件と同じく洪水氾濫の危険性が十分高い。しかし、ピーク水位が現況再現条件よりも0.43~1.19m低く、越水が生じたのは1か所で、全20ケース中2ケースのみ。

期間積算降水量の差（絶対量）

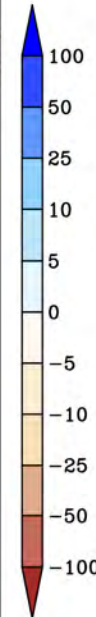
2度上昇-再現 (mm)



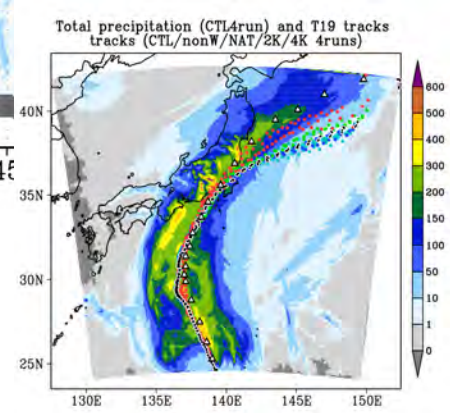
4度上昇-再現 (mm)



温暖化
で増加

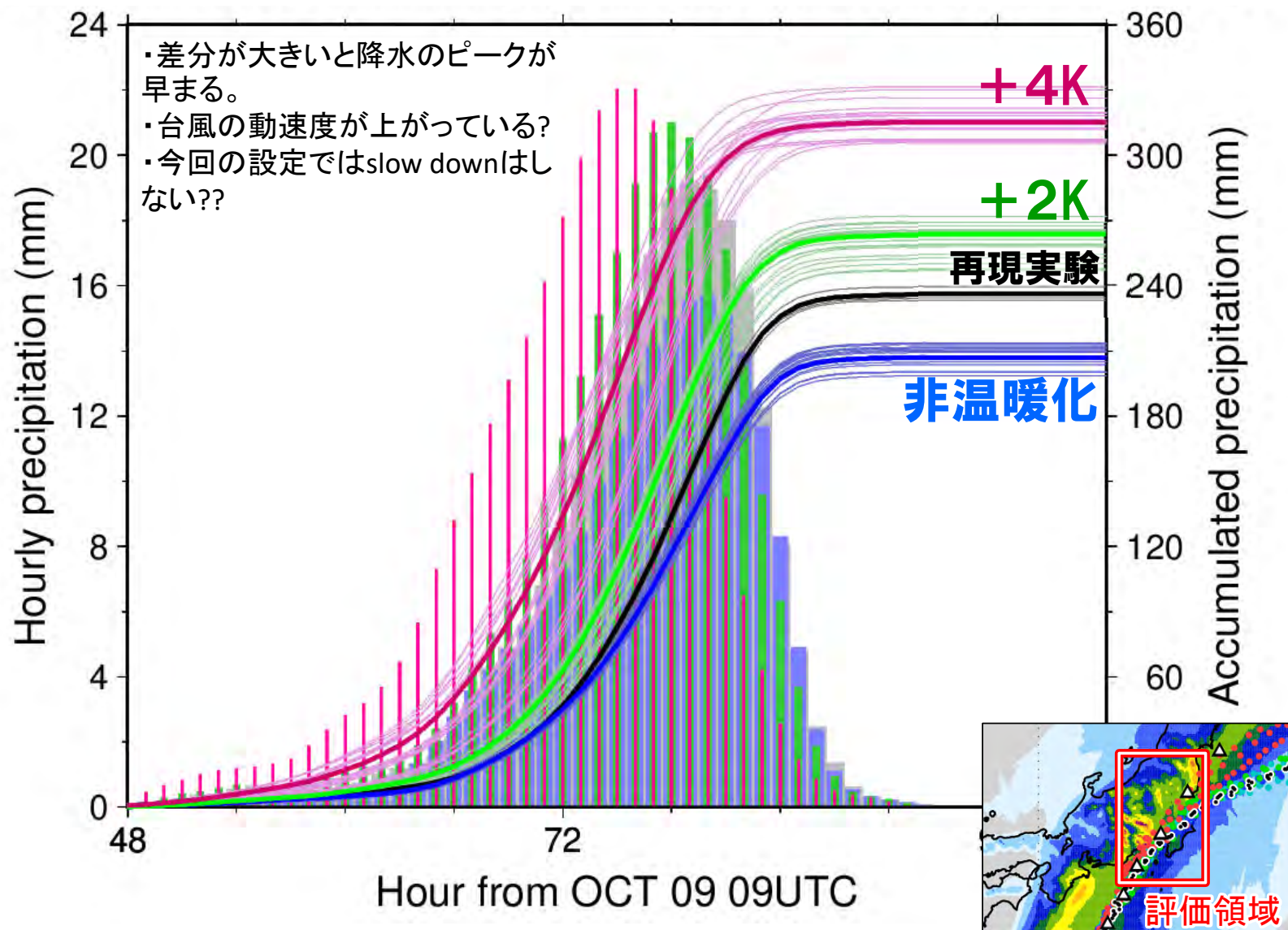


温暖化
で減少



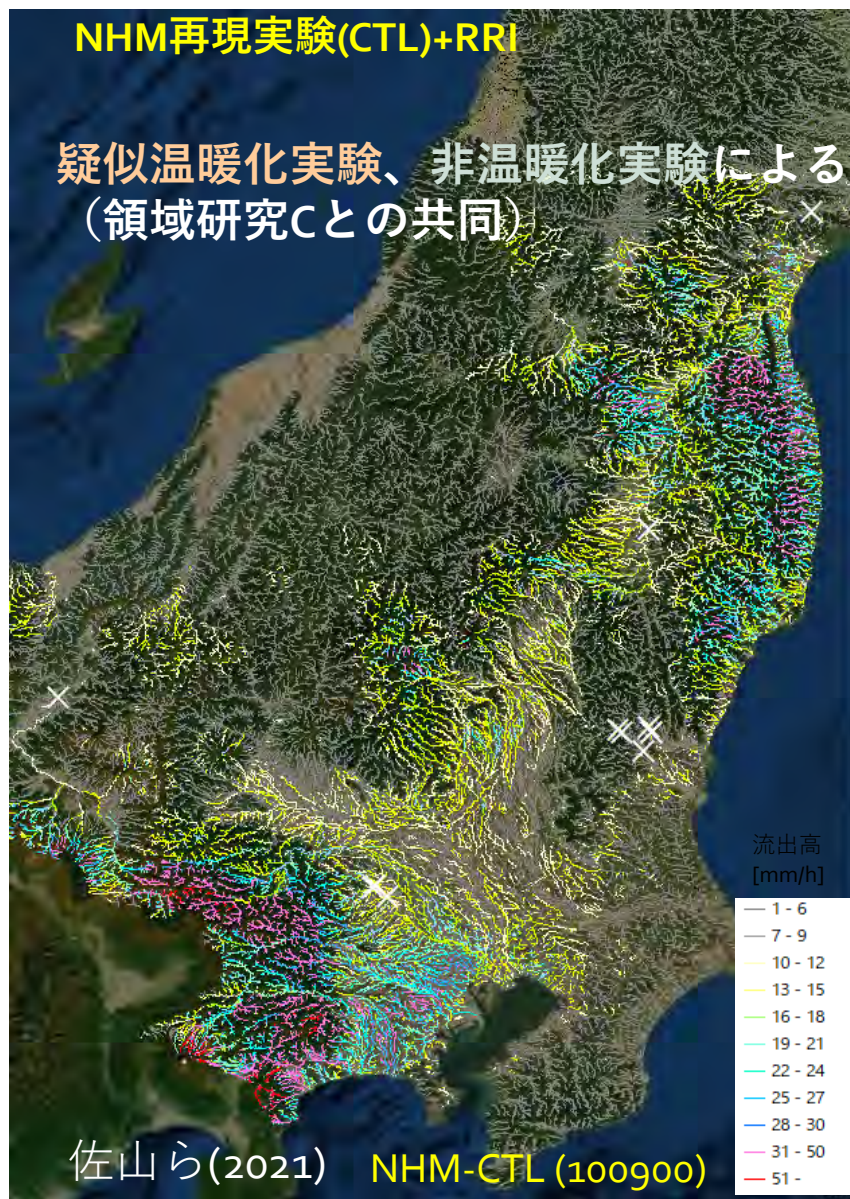
★北緯37度以北は、台風の経路
が変わった影響が大きい。

関東甲信で領域平均した累積降水量と時間降水量

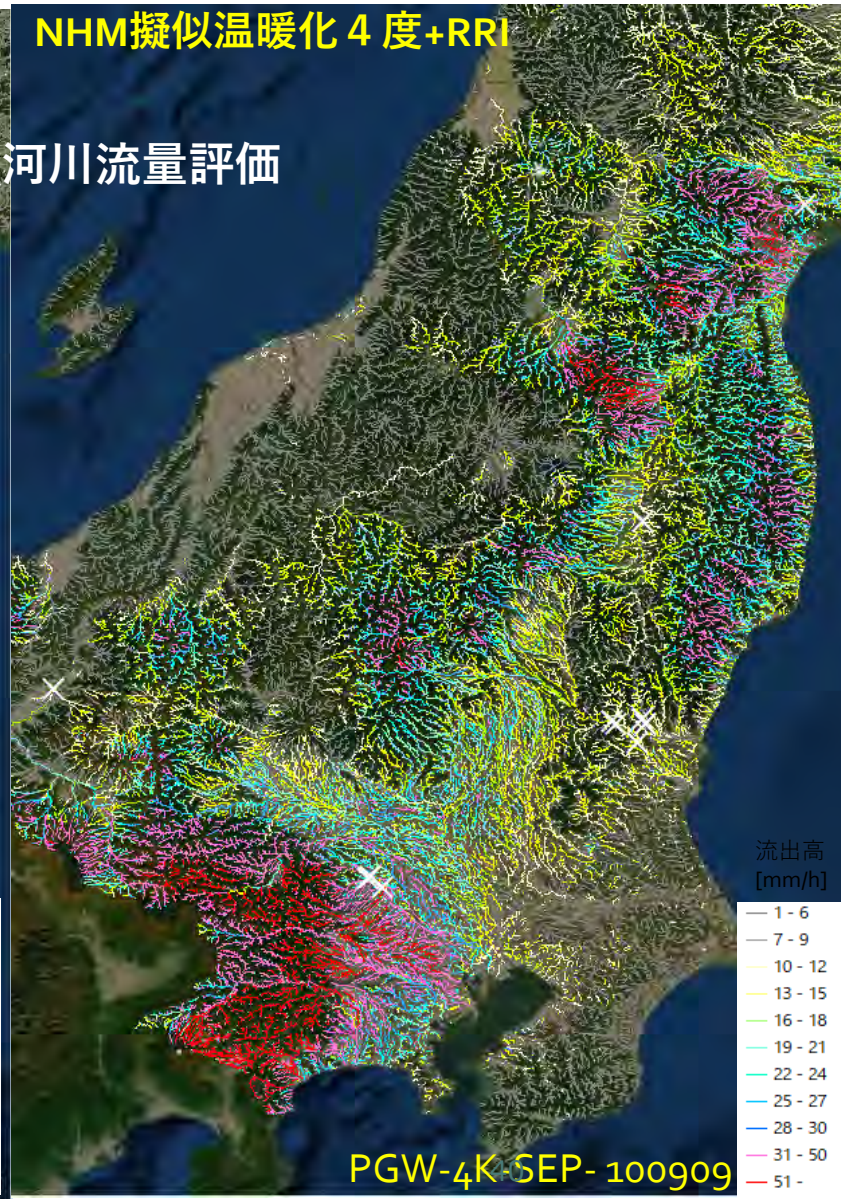


NHM再現実験(CTL)+RRI

疑似温暖化実験、非温暖化実験による河川流量評価
(領域研究との共同)

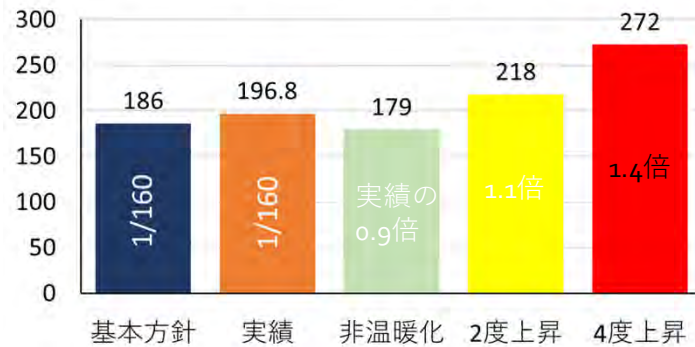


NHM疑似温暖化4度+RRI



温暖化影響評価：千曲川（立ヶ花地点）

千曲川（立ヶ花）：流域雨量 (mm/2d)



千曲川（立ヶ花）：ピーク流量 (m³/s)



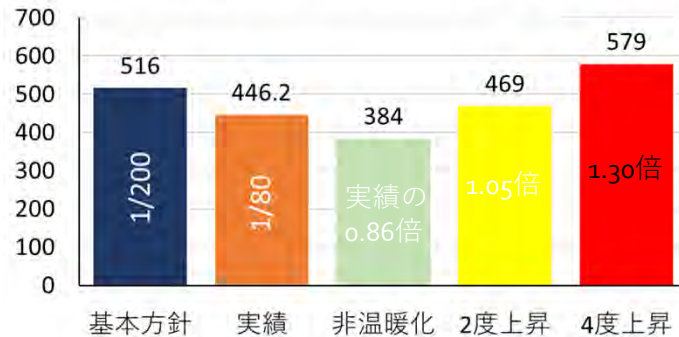
千曲川（立ヶ花）のまとめ

- ・ 非温暖化と実績との比較から、すでに温暖化の影響が出ていることが分かる。
- ・ 非温暖化で越水が生ずるか？ - (理科大・二瓶先生の分析では) 18/20ケースは越水しない
- ・ 1/60の今回の台風が、2℃上昇下でも、基本方針（1/160）の水準を超えてしまう。
- ・ 4℃上昇下では基本方針(1/160)をはるかに上回る雨量と流量規模になる。

佐山ら(2021)

温暖化影響評価：荒川流域(岩淵基準点)

荒川（岩淵）：流域雨量 (mm/3d)



荒川（岩淵）：ピーク流量 (m³/s)



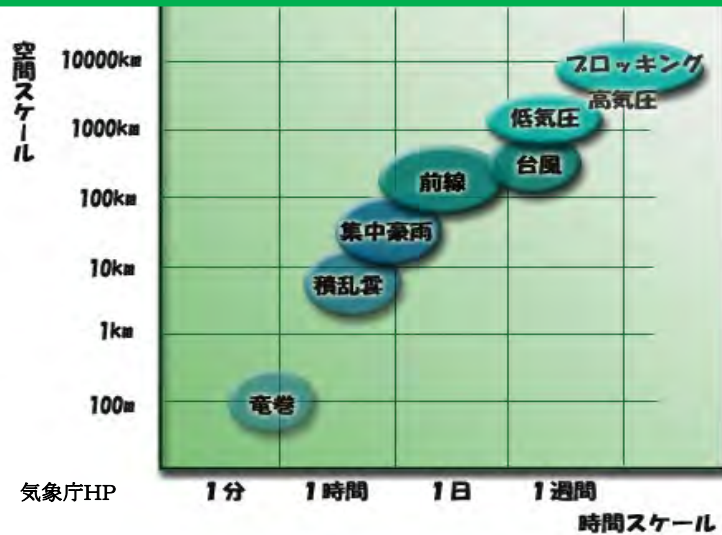
荒川流域（岩淵基準点）における温暖化影響評価のまとめ

- ・ 非温暖化と実績との比較から、すでに温暖化の影響が出現していることが分かる。
- ・ 実績は、工業化前（NAT）の状態よりも、2度上昇の状態に近い。
- ・ 2度上昇下では、ピーク流量が、河川整備計画の目標水準に達してしまう。
- ・ 4度上昇下では、1/80の今回の台風が、基本方針(1/200)を上回る雨量・流量規模になる。
- ・ 4度上昇下では、荒川のピーク流量が実績の1.46倍となり、積算雨量の増加率（1.30倍）に比べてもより顕著に増加する。

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

災害をもたらす豪雨のスケール

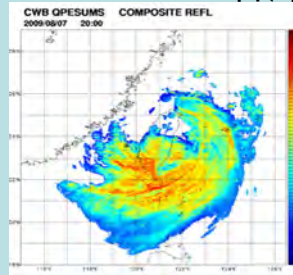


台風

範囲: 1000km

継続時間: 1日から数日

大河川での洪水、大規模水害、土砂災害
2009/08/08 in 台湾



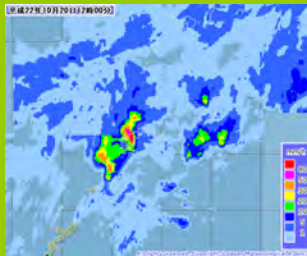
台湾中央気象局、台湾国家災害防救科技中心

集中豪雨

範囲: 100km

継続時間: 6時間から半日程度

中・小河川での洪水、内水氾濫、土砂災害
2010/10/20 in 奄美



南日本新聞 OFFICIAL SITE

ゲリラ豪雨(局地的豪雨)

範囲: 数km

継続時間: 1時間程度

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 2008/08/05 at 雑司ヶ谷



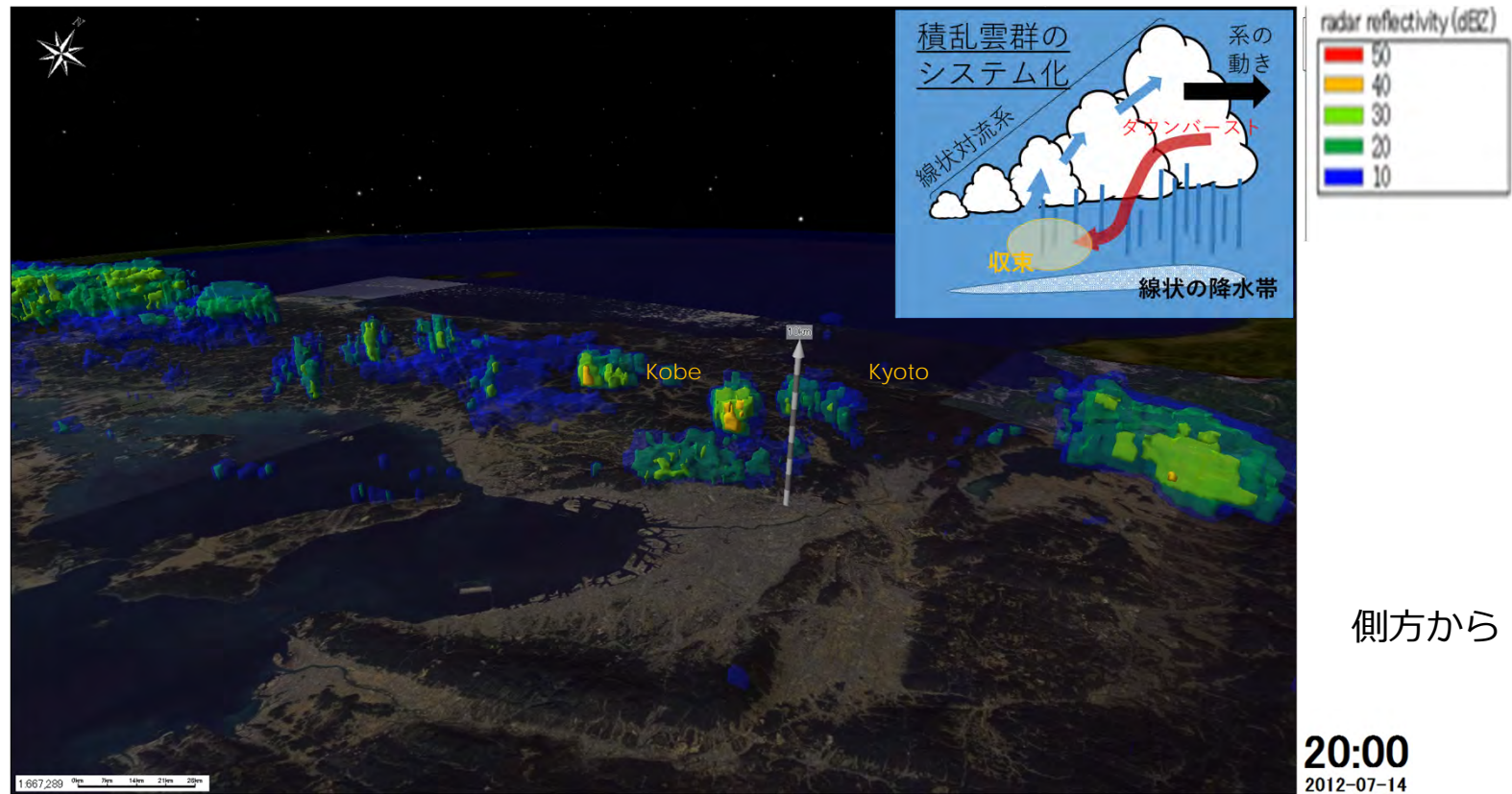
都賀川モニタリング映像



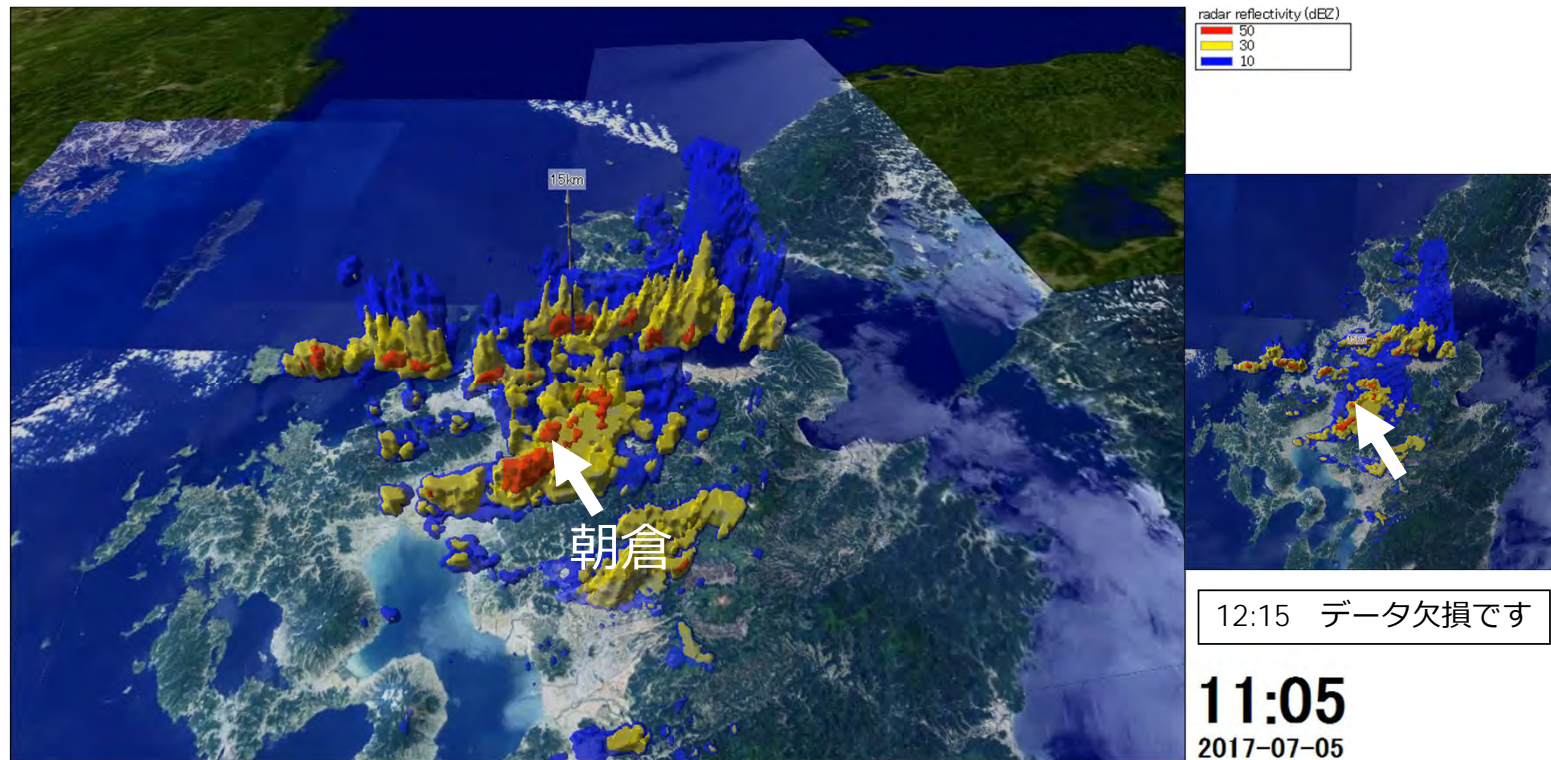
共同通信

XRAINが捉えた2012年7月15日京都・亀岡豪雨(線状対流系)

国交省Xバンド偏波レーダー観測ネットワーク(XRAIN) (梅雨豪雨)



2017年7月5日 九州北部豪雨（線状対流系）（国交省XRAIN）



脊振山地東側で積乱雲
が繰り返し発生



同じ場所に強い雨を
継続して降らせた

2017年九州北部豪雨 筑後川右岸流域の被害状況(7月5日) (赤谷川の土砂・洪水氾濫)



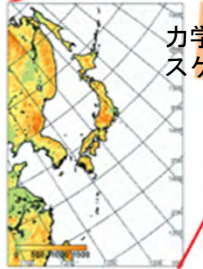


5km解像度RCM05からの梅雨豪雨の抽出

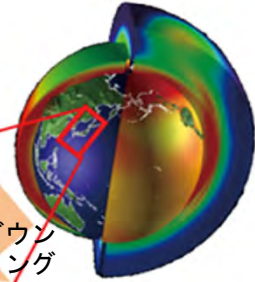
(文部科学省 創生プログラム、統合プログラム)

気候モデルNHRCM05

MRI-NHRCM05
(Sasaki et al. 2011)
5km解像度
領域気候モデル

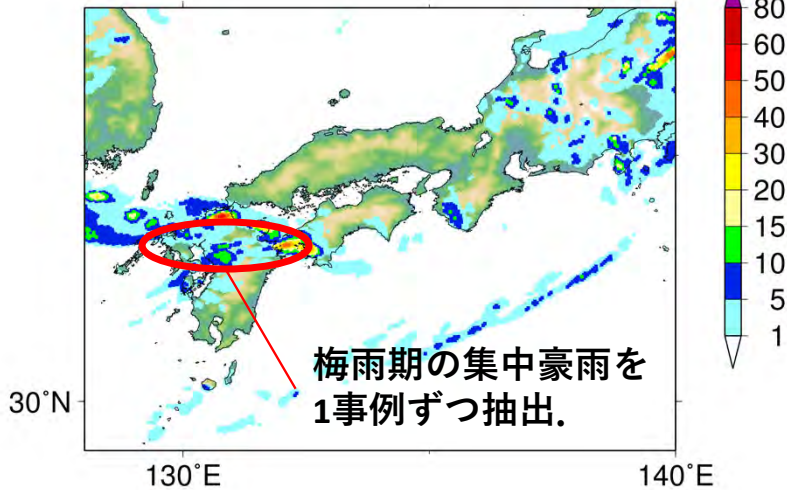


カ学的ダウン
スケーリング



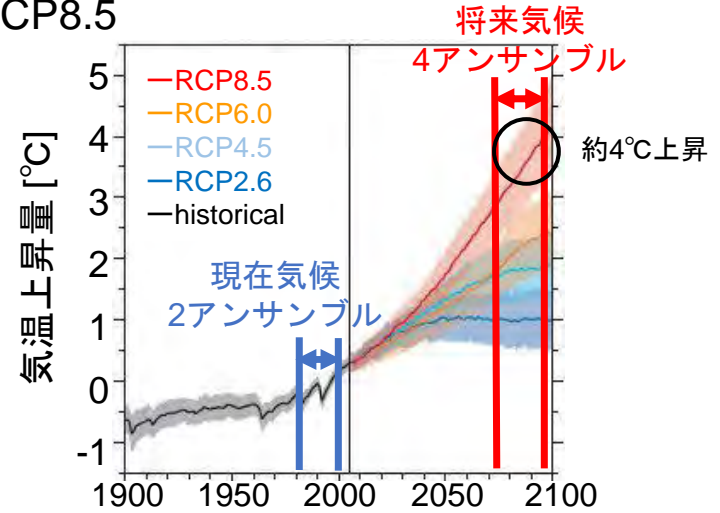
MRI-AGCM-3.2S
(Mizuta et al. 2009)
20km解像度
全球気候モデル

NHRCM05で再現される降雨

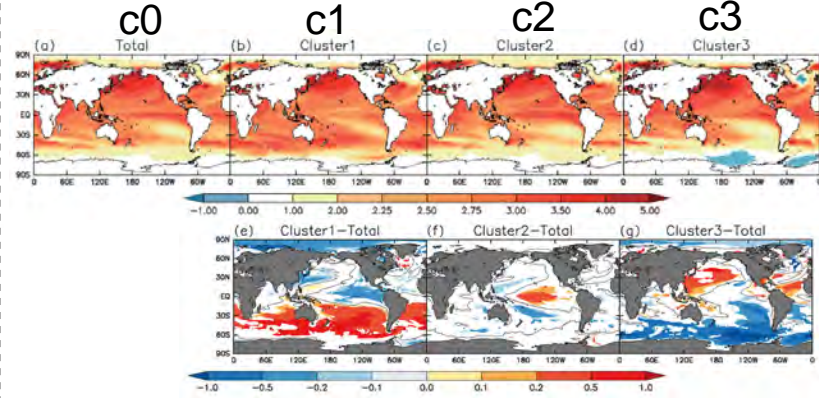


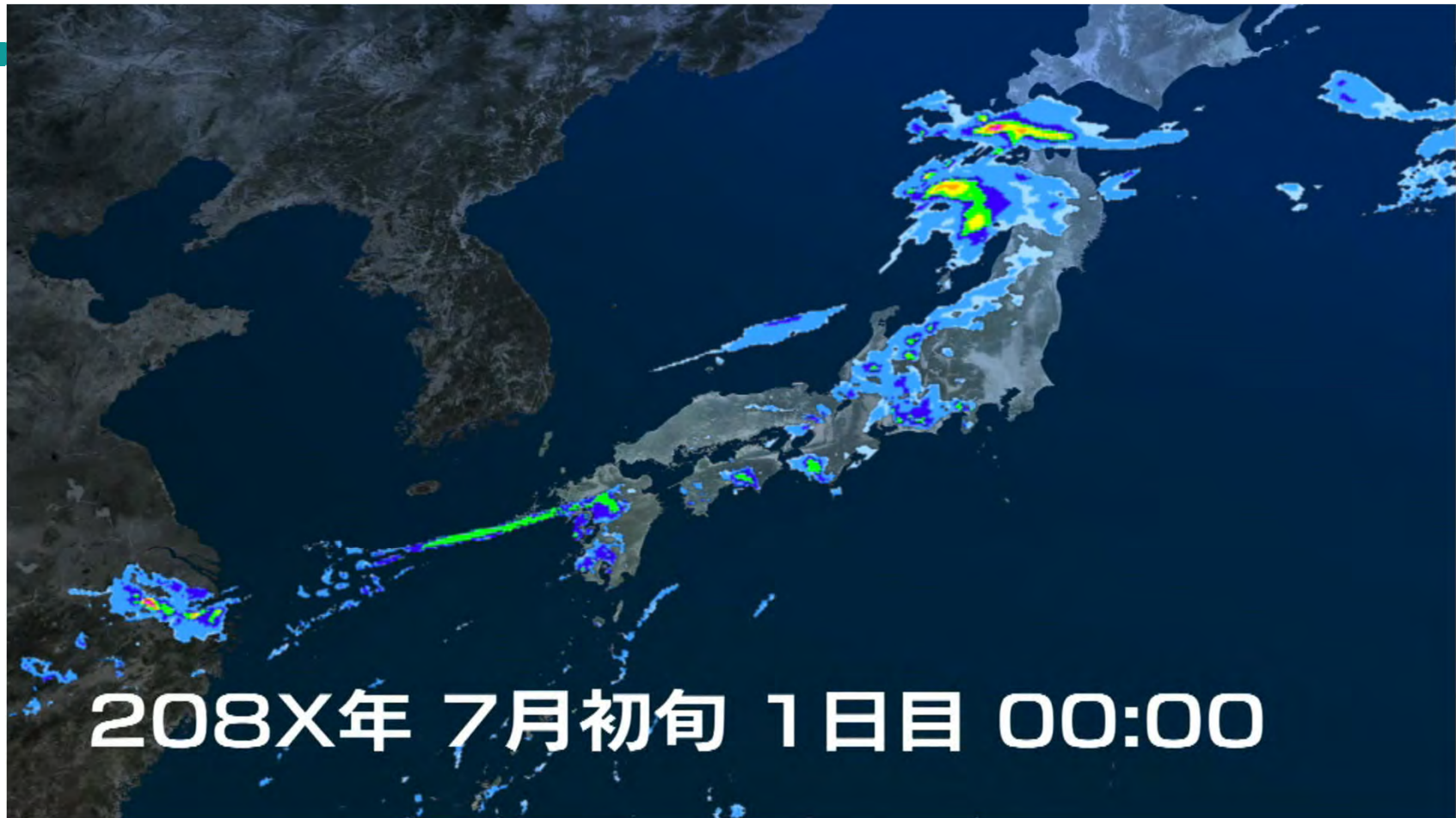
将来気候

✓ RCP8.5



✓ 海面水温分布による4つのアンサンブル





シミュレーション: 気象庁気象研究所
画像作成: NHK



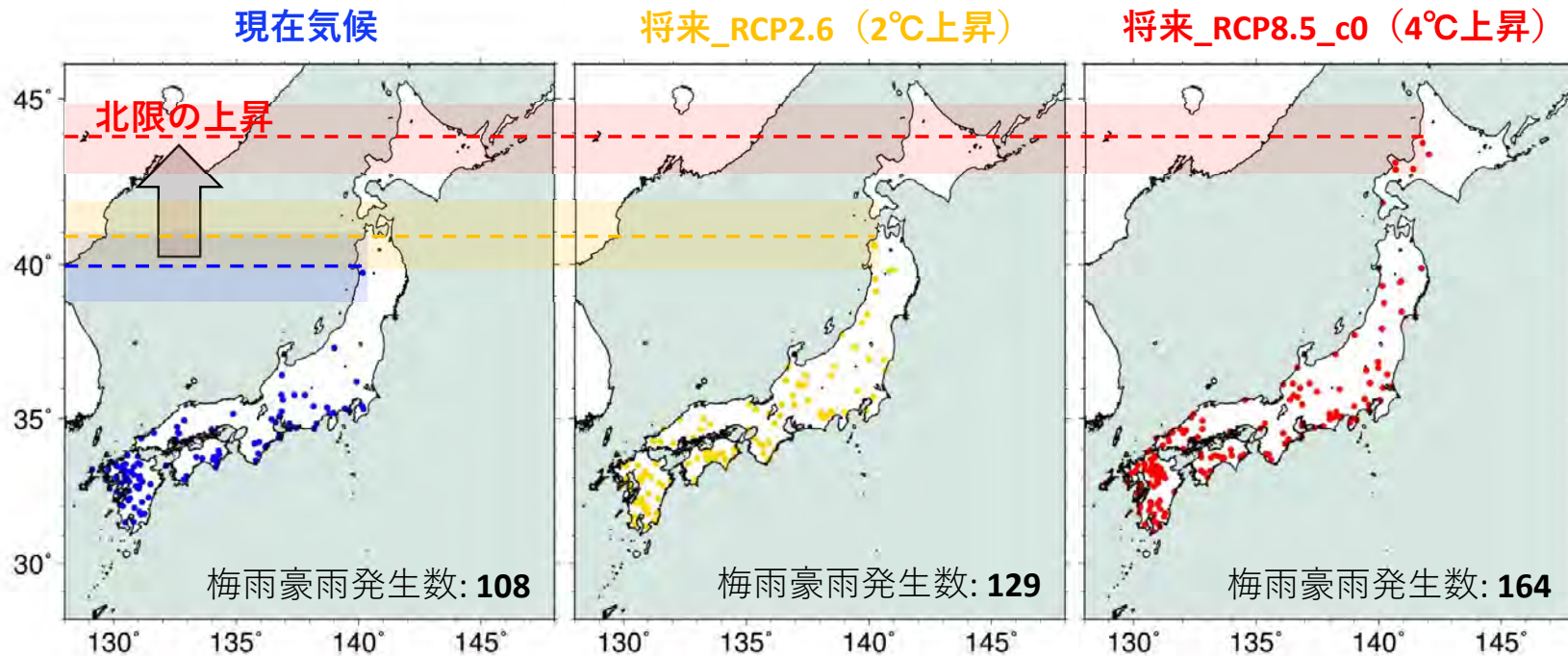
中北・小坂田(2017), 小坂田・中北(2018), Osakada and Nakakita (2018)

データ作成: 京都大学・中北研究室
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

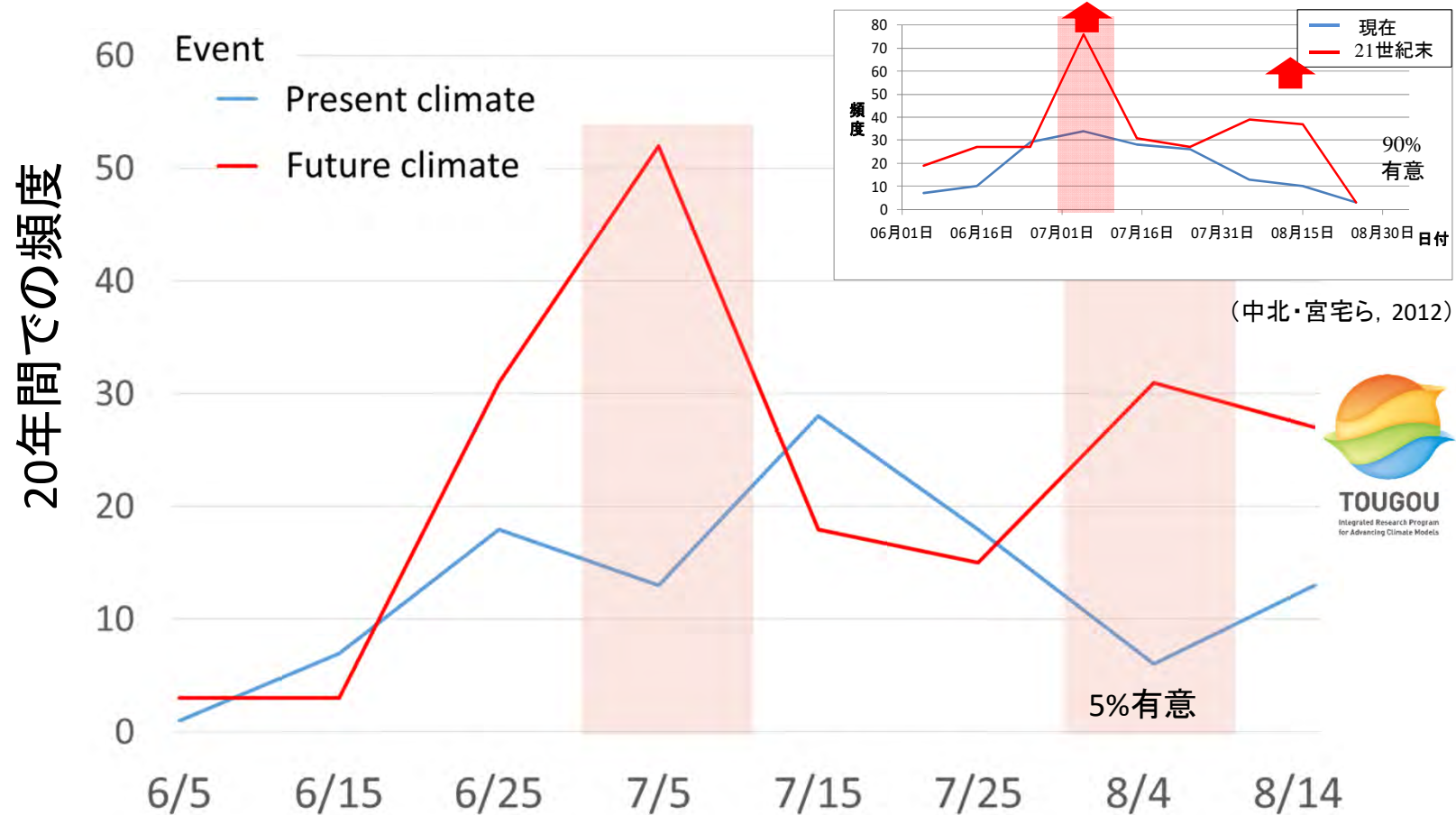
- 現在気候：20年間（1981 - 2000年）
- 将来気候：20年間



- 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.

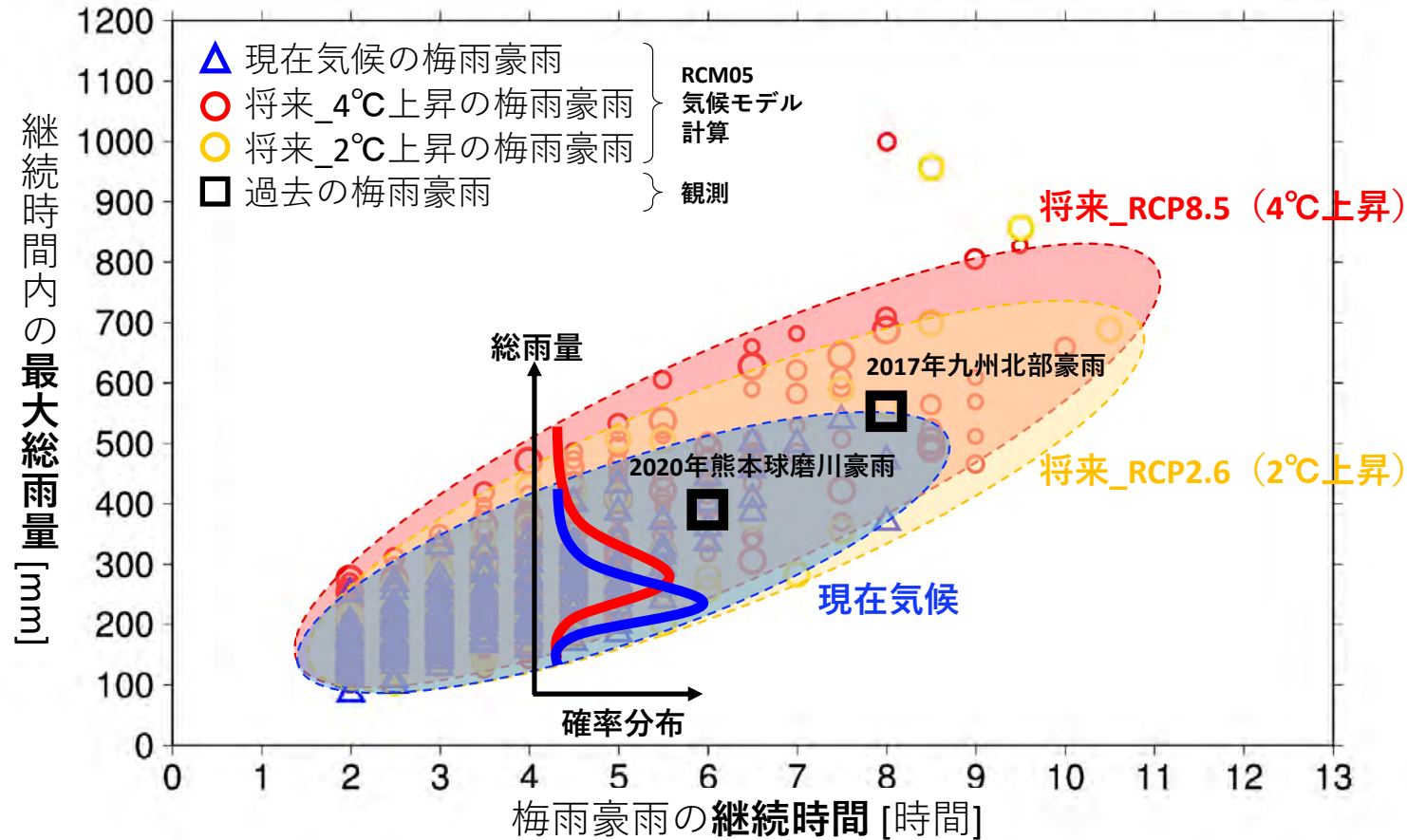
7月上旬の梅雨豪雨が増える



中北・小坂田 (2017)

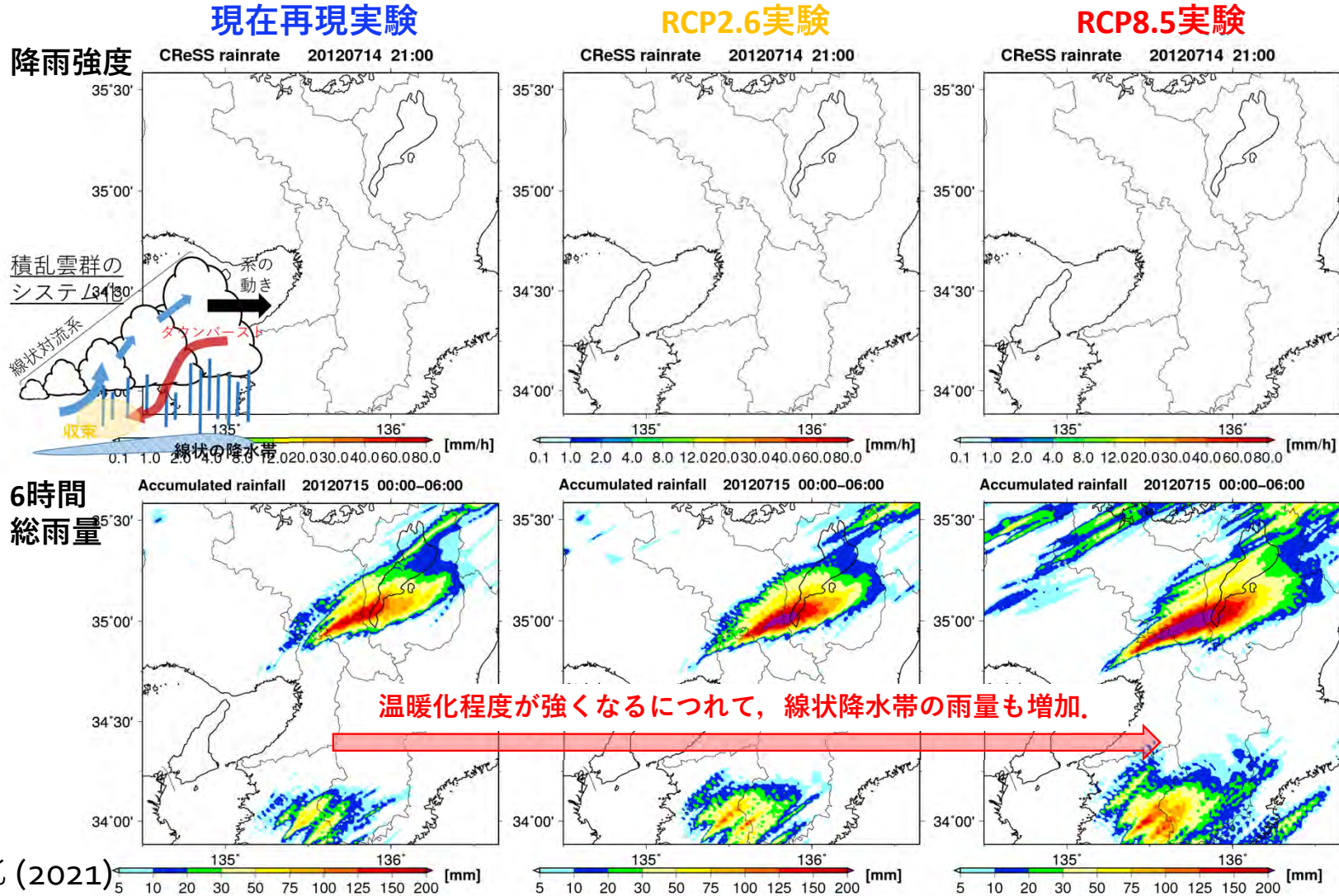
豪雨の継続時間と雨量の将来変化

※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**。



- 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**。

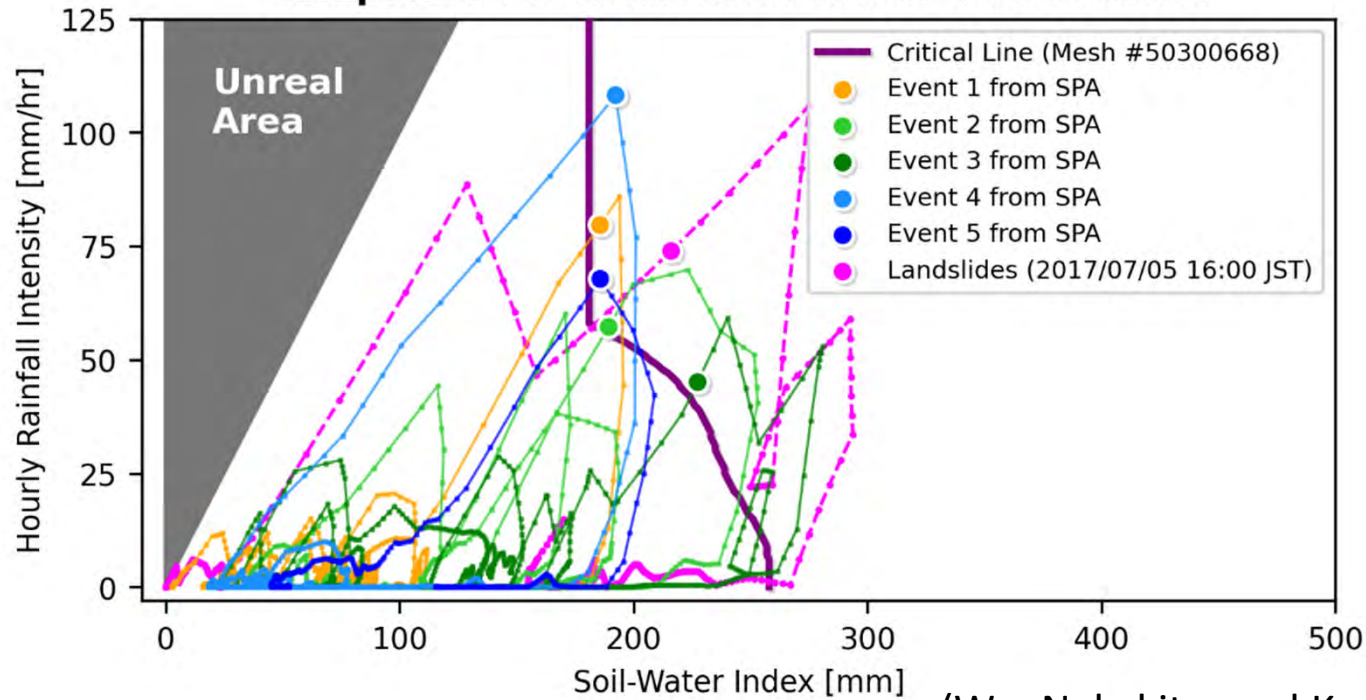
亀岡豪雨_擬似温暖化実験結果



現実斜面崩壊時(福岡・赤谷川・朝倉)とNHRCM05による現在再現降雨によるスネークライの比較

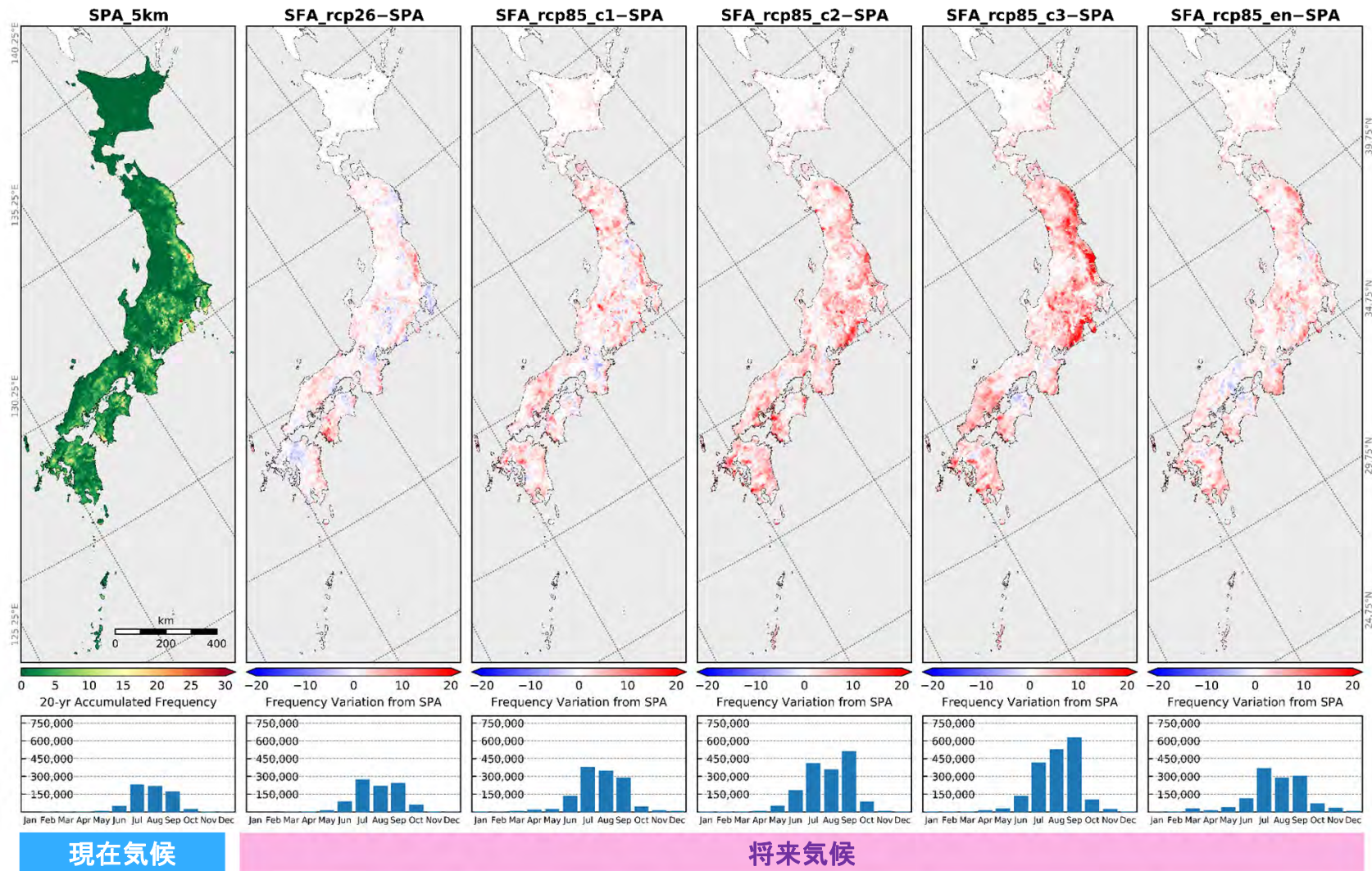


Comparison of snake lines at Mesh #50300668



(Wu, Nakakita, and Kunitomo, 2020)⁵⁵

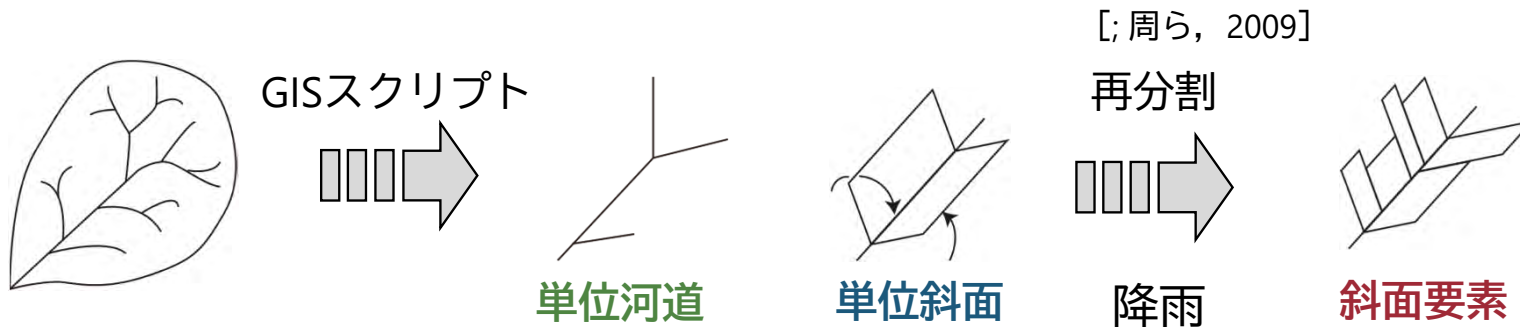
NHRCM05を用いて予測した斜面崩壊リスクの将来変化



(Wu, Nakakita, and Kunitomo, 2020)

流域土砂動態モデルSiMHIS

[山野井, 藤田, 2014 ; 2016]

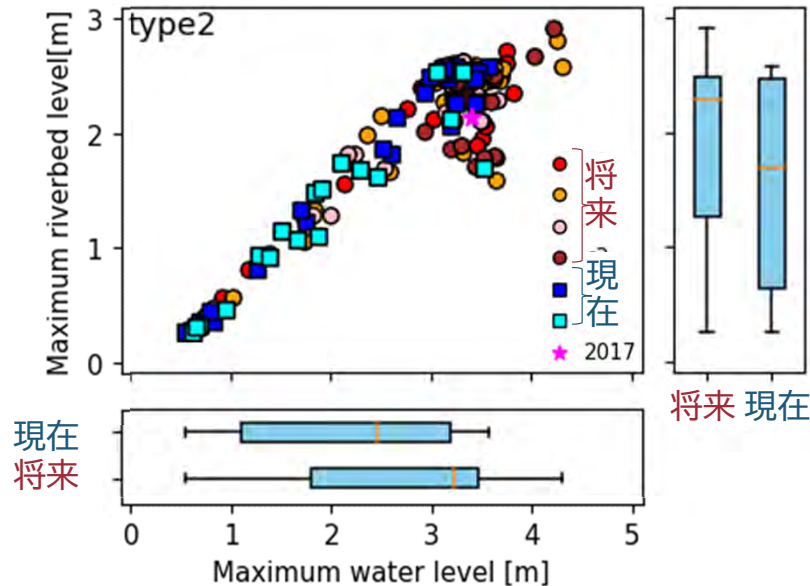
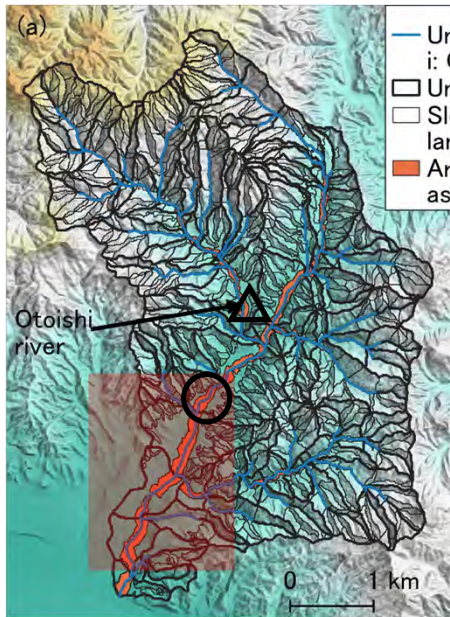


分類	素過程	計算単位
土砂生産	凍結融解	単位斜面
土砂生産	斜面崩壊	斜面要素
土砂供給	崖錐生長	単位斜面
土砂供給	堆積損失 (土石流型)	単位斜面
—	降雨流出	単位斜面・単位河道
土砂輸送	河道土砂輸送 (浮遊砂・掃流砂)	単位河道
土砂輸送	河床変動	単位河道

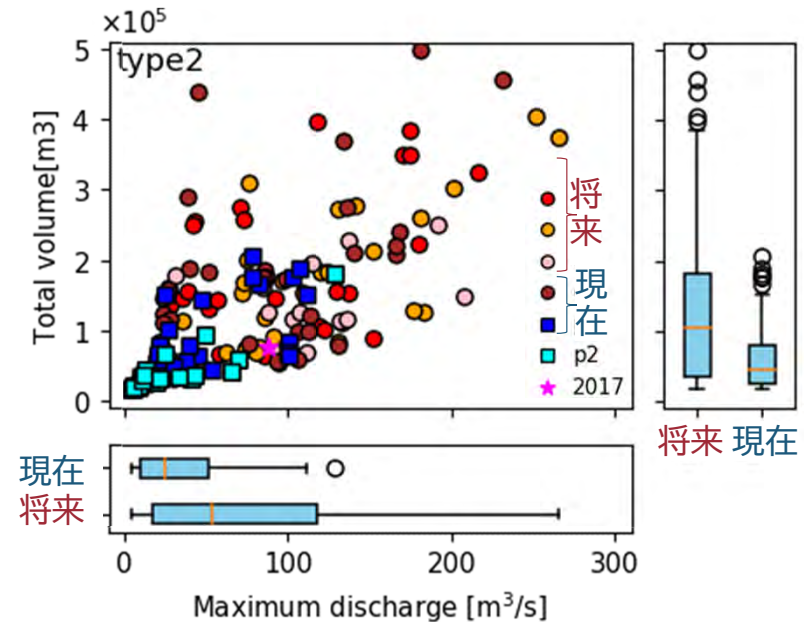
- 江頭・松木 (2000) の降雨・土砂流出モデルに、土砂の生産・供給過程を追加
- 山地河川の土砂流出の非線形性を考慮するため
- 降雨データを直接入力し、土砂の生産から流出まで予測可能

気候変動の影響評価への応用 [山野井, 藤田, 鈴木, 2021]

NHRCM05出力の降雨データ（将来気候(RCP8.5 20年x4),現在気候20年x2）の梅雨豪雨(小坂田, 中北, 2018)で発生した九州北部地区の豪雨（3日雨量を用いて抽出）を赤谷川に与えた.



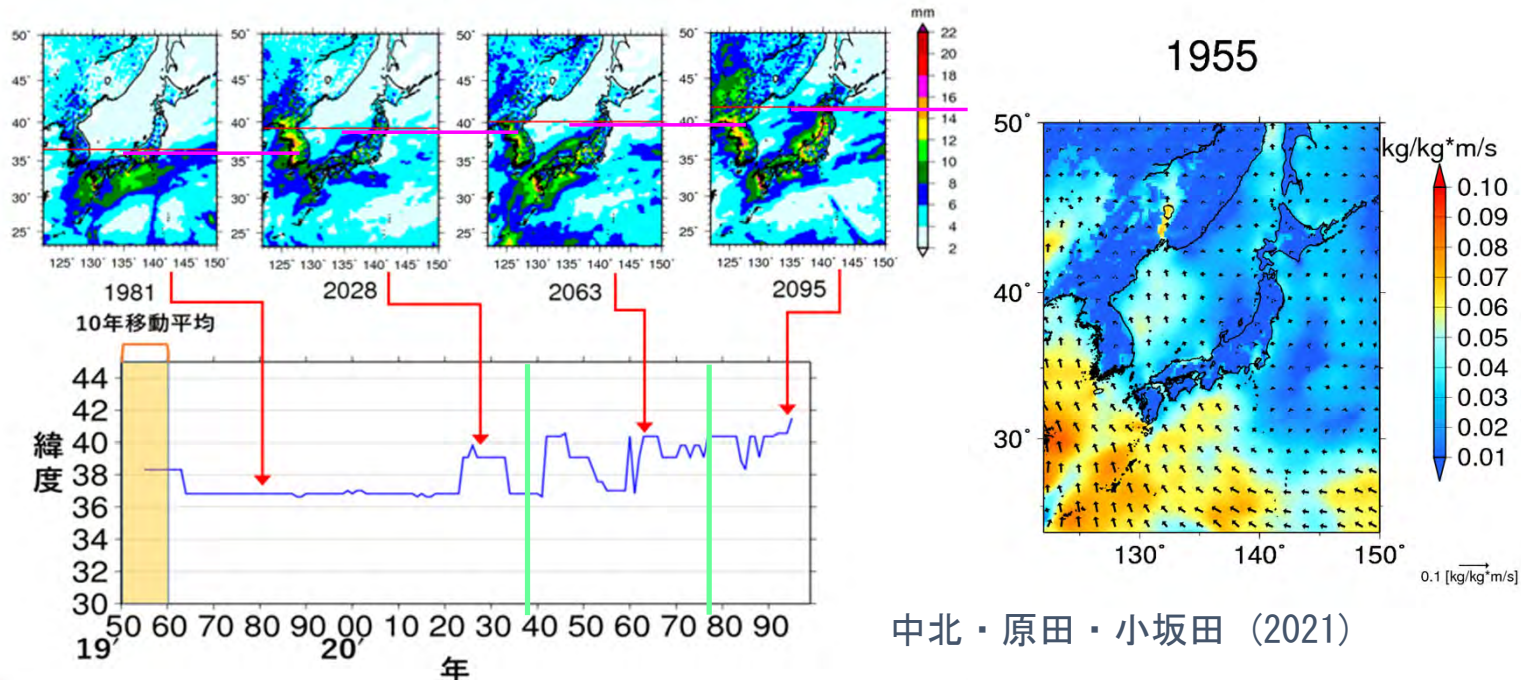
○地点における最大河床位と最大水位の関係



△地点における最大流量と総土砂流出量の関係

少なくとも, 現在気候にはない規模の現象が発生しうることが示された.

梅雨前線の豪雨エリアのじわじわ北上予測の重要性



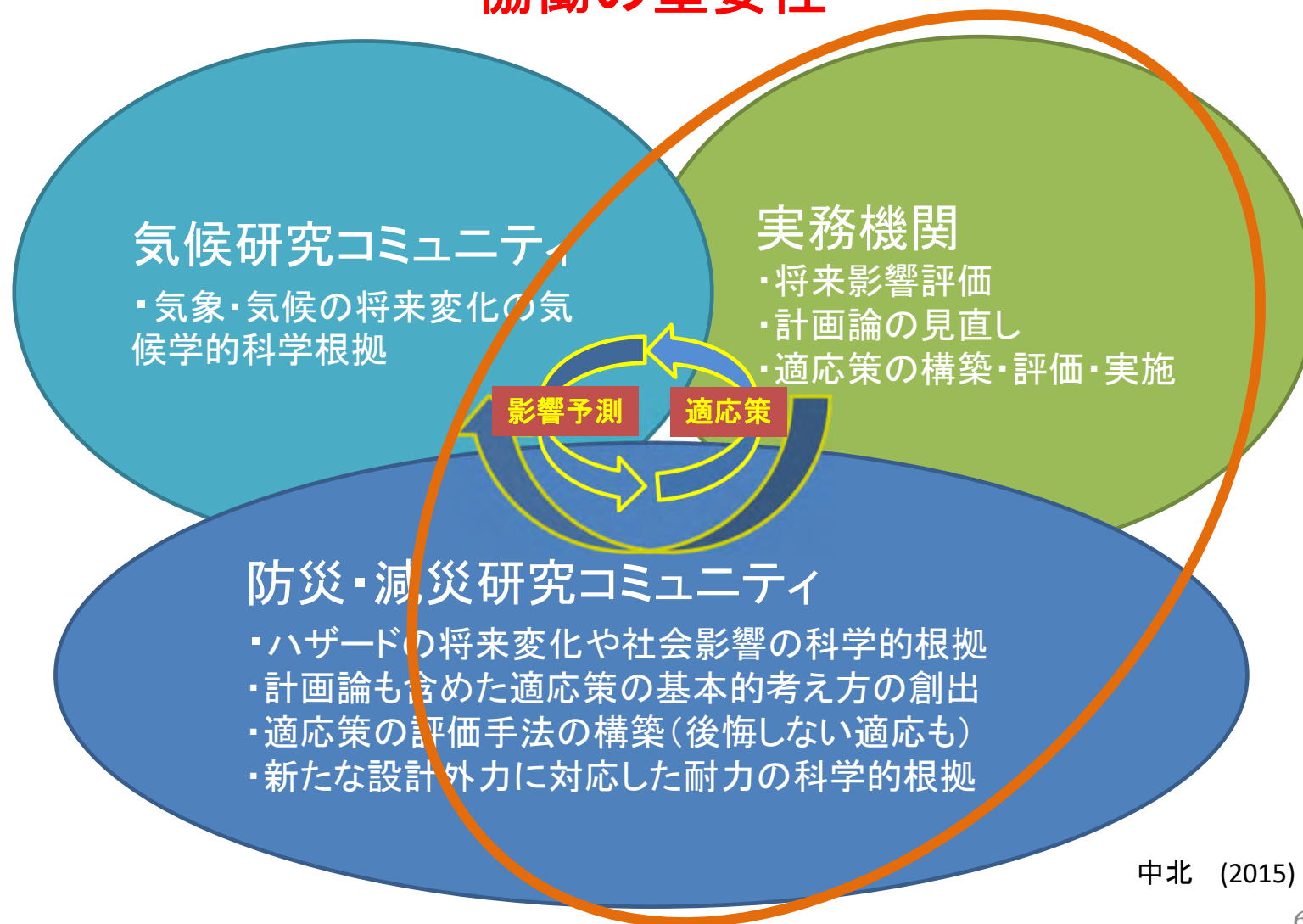
中北・原田・小坂田 (2021)

- 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、

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

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

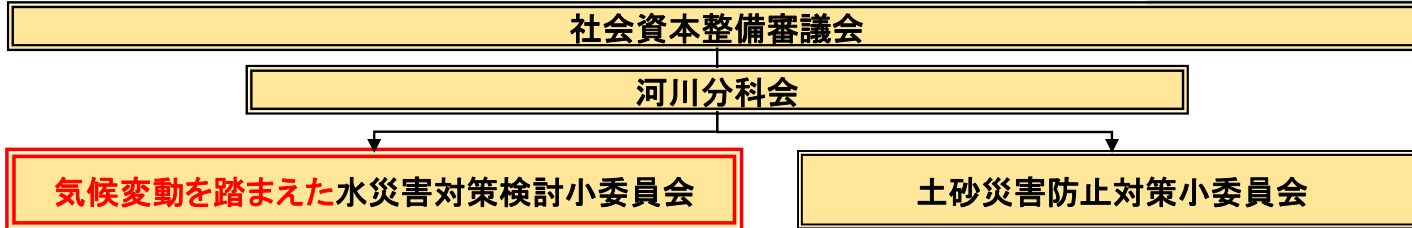
後援 農林水産省農村振興局、環境省地球環境局、京都大学IPCCウィークス、土木学会水工学委員会、
地球環境委員会、海岸工学委員会、地盤工学委員会、計画学委員会、水文・水資源学会、
地盤工学会、日本自然災害学会

中北 (2019)

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)

社会資本整備審議会
における総合的な検討



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

...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

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]

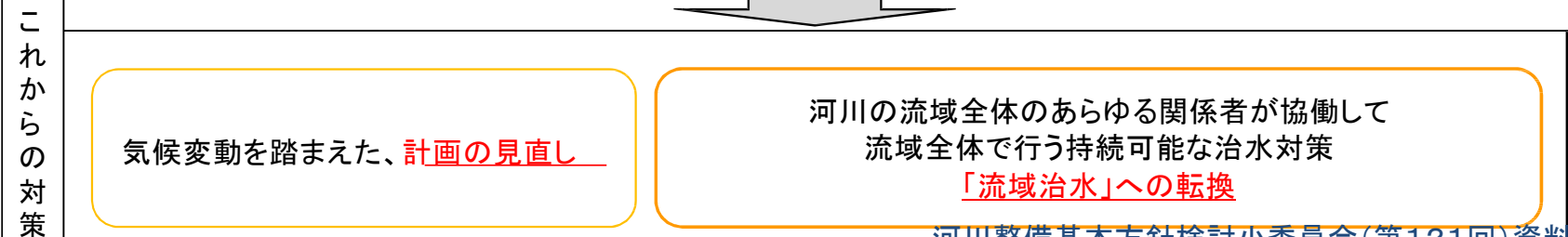
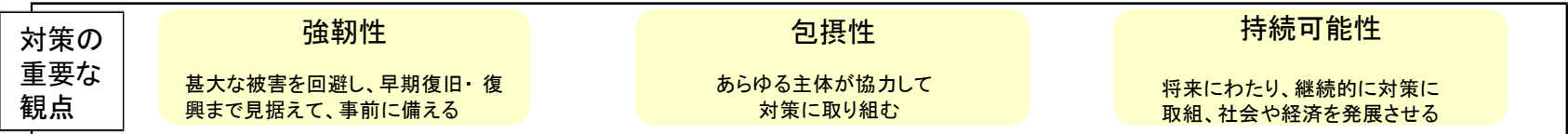
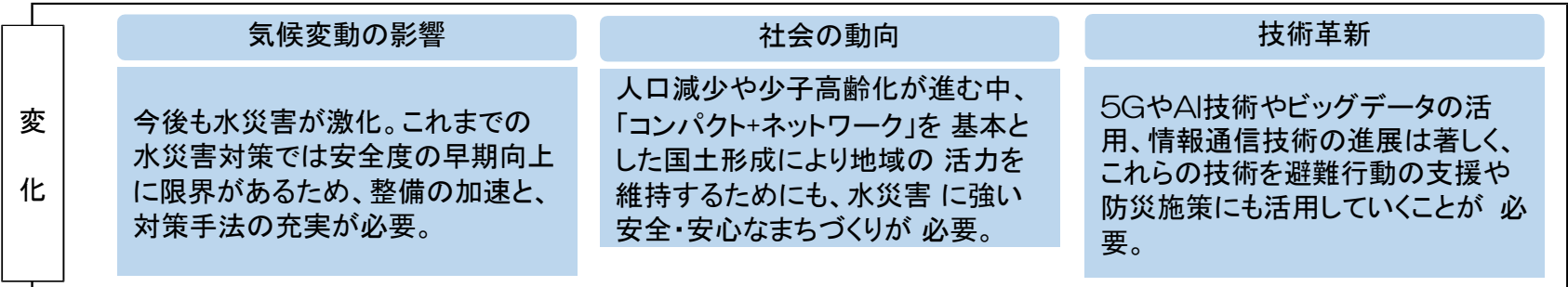
国土交通省(2019)

気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について

○近年の水災害による甚大な被害を受けて、施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体で洪水に備える水防災意識社会の再構築を一步進め、気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う、流域治水への転換を推進し、**防災・減災が主流となる社会を目指す。**

これまでの対策

施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体で洪水に備える、水防災意識社会の再構築 洪水防御の効果の高いハード対策と命を守るための避難対策とのソフト対策の組合せ



日本の治水行政の二つのパラダイムシフト

- 明治以降の近代治水は溢れさせない治水でした。気候変動のことを考えると、加えて明治以前の智恵も動員。
- 科学的気候変動予測をベースにした治水目標の更新；**第一のパラダイムシフト**)
- 溢れさせない(**治水の基礎力**)もさらに向上させますが
- それだけではなく、溢れても流域全体(上中下流、行政だけでなく企業も含め)すべての人で治水目標の豪雨に対応する(やりくりする)**流域治水**が治水計画の中に組み込まれること(**流域全体、溢れても水を治めるという第二のパラダイムシフト**)になり、**法制化、ファイナンス制度**が整備がされました。
- 今後は、**流域治水を担う適応策のアイデア創出と効果の定量化**が求められて居ます。

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。

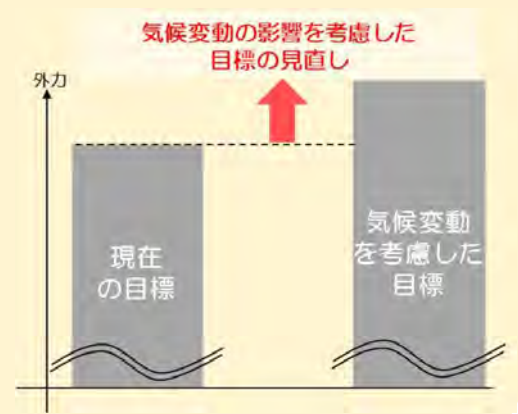
しかし、気候変動の影響による降雨量の増大、海面水位の上昇などを考慮すると現在の計画の整備完了時点では、実質的な安全度が確保できないおそれ

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



「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성에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 集水域
 [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

流水の貯留 河川区域
 [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
 [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** 氾濫域
 [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

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、
 多段階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

県：都道府県 市：市町村 []：想定される対策実施主体

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: 街だけを堤防で囲って水浸ししないようにする



国土交通省(2019)

農業と治水の融合：ダムとしての田んぼの利用(田んぼダム)



田んぼダム：排水溝を絞った板を堰として挿入して、一時的に水田に水を貯留する
(新潟県資料(2020))

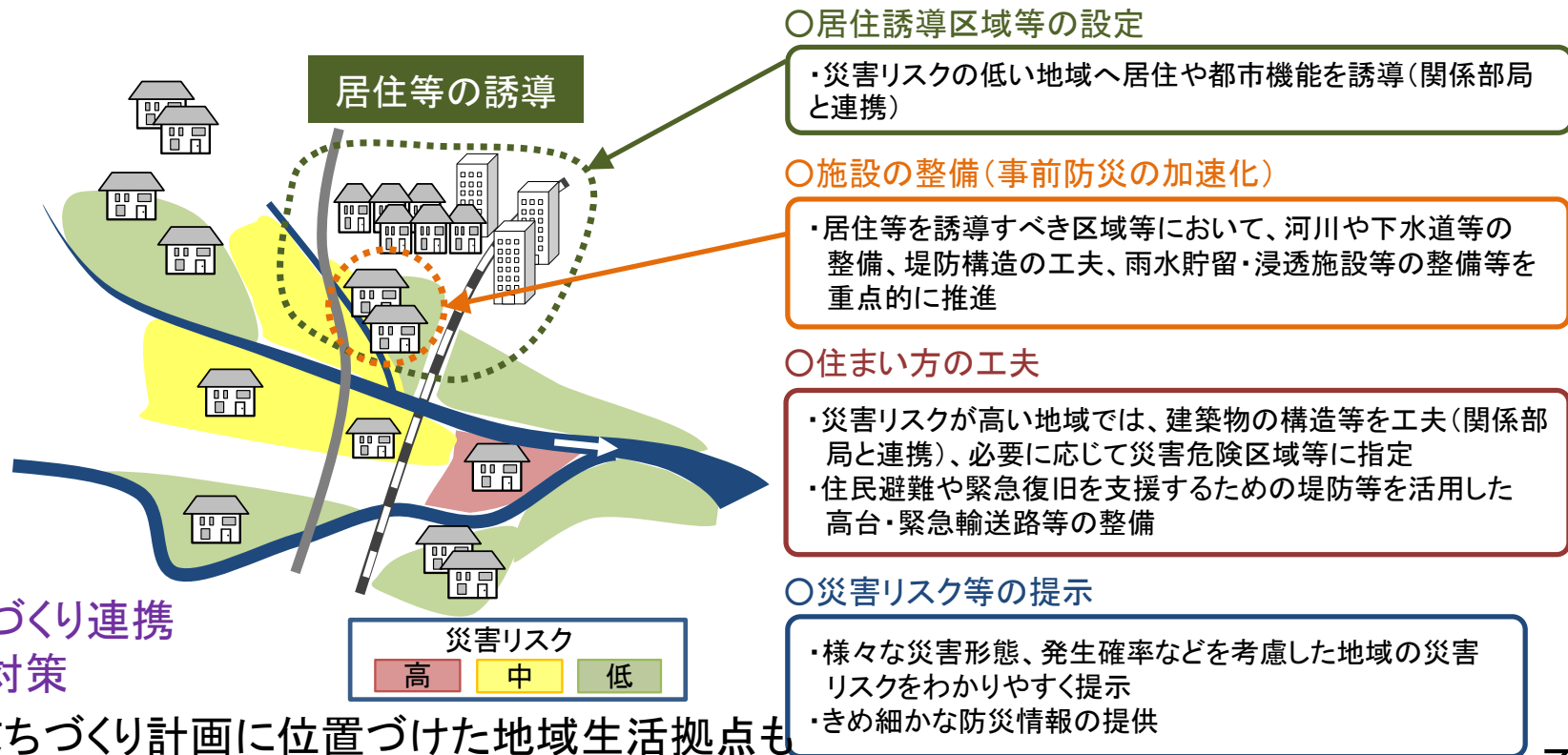


スマート田んぼダム：遠隔操作が可能な電動堰
(球磨川流域：中北撮影(2020))



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



#13 土砂・洪水氾濫対策

- ・近年の土砂水理学や数値シミュレーション技術の発展により、土砂移動現象を精緻に解析できるようになってきたため、土石流危険渓流への施設配置と同時に、土砂・洪水氾濫発生の恐れが高い地域の直上流に施設を集約的に配置し、より少ない施設で効率的に被害を防止・軽減できる道が開かれてきました。
- ・大雨で山地から流出した土砂の影響を大きく受ける河川は、洪水氾濫だけでなく、土砂・洪水氾濫のリスクも同時に抱えている場合が多いため、河川事業と砂防事業を一体的に推進していくことが重要です。

国土交通省 流域治水施策集ver2_rev6 (2022)
 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 砂防計画課

施策の内容

概要

○土砂・洪水氾濫とは

土砂・洪水氾濫とは、大雨で山地から流出した土砂が河床を上昇させ、土砂や泥水の氾濫を引き起こす災害で、扇状地、谷底平野、沖積平野等の広範囲にわたって甚大な被害を及ぼします。



平成30年7月豪雨に伴う天地川(広島県坂町)の土砂・洪水氾濫発生状況



平成30年7月豪雨により発生、流出した土砂が、県道等に2m以上堆積し、被害を拡大させた(広島県呉市天応西条地区)



対策・効果

○対策事例

河床変動計算等の数値シミュレーションによって、被害の予測とそれを防ぐための砂防施設配置の検討を行い、土砂・洪水氾濫対策計画を策定します。計画に従って砂防堰堤や遊砂地の整備を行います。



砂防堰堤工



遊砂地工

○施設配置の見直しによる効果

施設配置計画を見直し、遊砂地等の効率的な施設を配備することで、砂防施設の集約、早期の効果発現を図る。



従来計画による砂防施設



施設の集約に資する遊砂地等の効率的な施設

集約化後も必要な施設

従来：上流域の土石流危険渓流に集中的な施設整備

新たな：効率的な施設を配置する一方で、上流域の土石流危険渓流はまちづくりと連携したソフト対策を推進

#14 流域流木対策

- 流木を定量的に扱い、林野事業と砂防事業が協働して対策することにより、流木の発生抑制から効率的な捕捉まで、総合的な対策が可能となります。

国土交通省 流域治水施策集ver2_rev6 (2022)
国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 砂防計画課
農林水産省 林野庁 森林整備部 治山課

施策の内容

概要

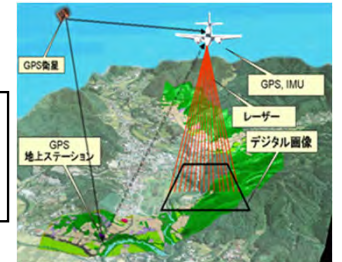
- ・ 林野事業と砂防事業が連携し、流木発生ポテンシャル調査を実施したうえで、流木発生の抑制や流木の捕捉・処理に係る統一の計画を策定します。
- ・ 策定した計画に基づき、森林整備や治山ダムによる流木発生の抑制、透過型砂防堰堤や流木捕捉施設による流木の捕捉を、林野事業と砂防事業が連携して一体的に実施することで、流域全体の流木被害を防止・軽減します。

施策の効果(事例)

- 調査、計画策定

(林野事業、砂防事業)

- ・ 流木発生ポテンシャル量
- ・ 治山対策等による流木発生抑制量
- ・ 砂防施設による必要捕捉量



流木発生ポテンシャル調査のイメージ

林野事業と砂防事業で統一の計画を策定

- 対策例

【生産エリア】(林野事業)

- ・ 保安林整備等による流木発生の抑制
- ・ 治山ダムによる山腹崩壊や溪流の荒廃防止等



例: 適正な森林管理の実施

【流下・氾濫エリア】(砂防事業)

- ・ 透過型砂防堰堤による流木の捕捉
- ・ 土砂・洪水氾濫に伴って大量に発生・流下する流木も効果的に捕捉できる施設の開発と整備



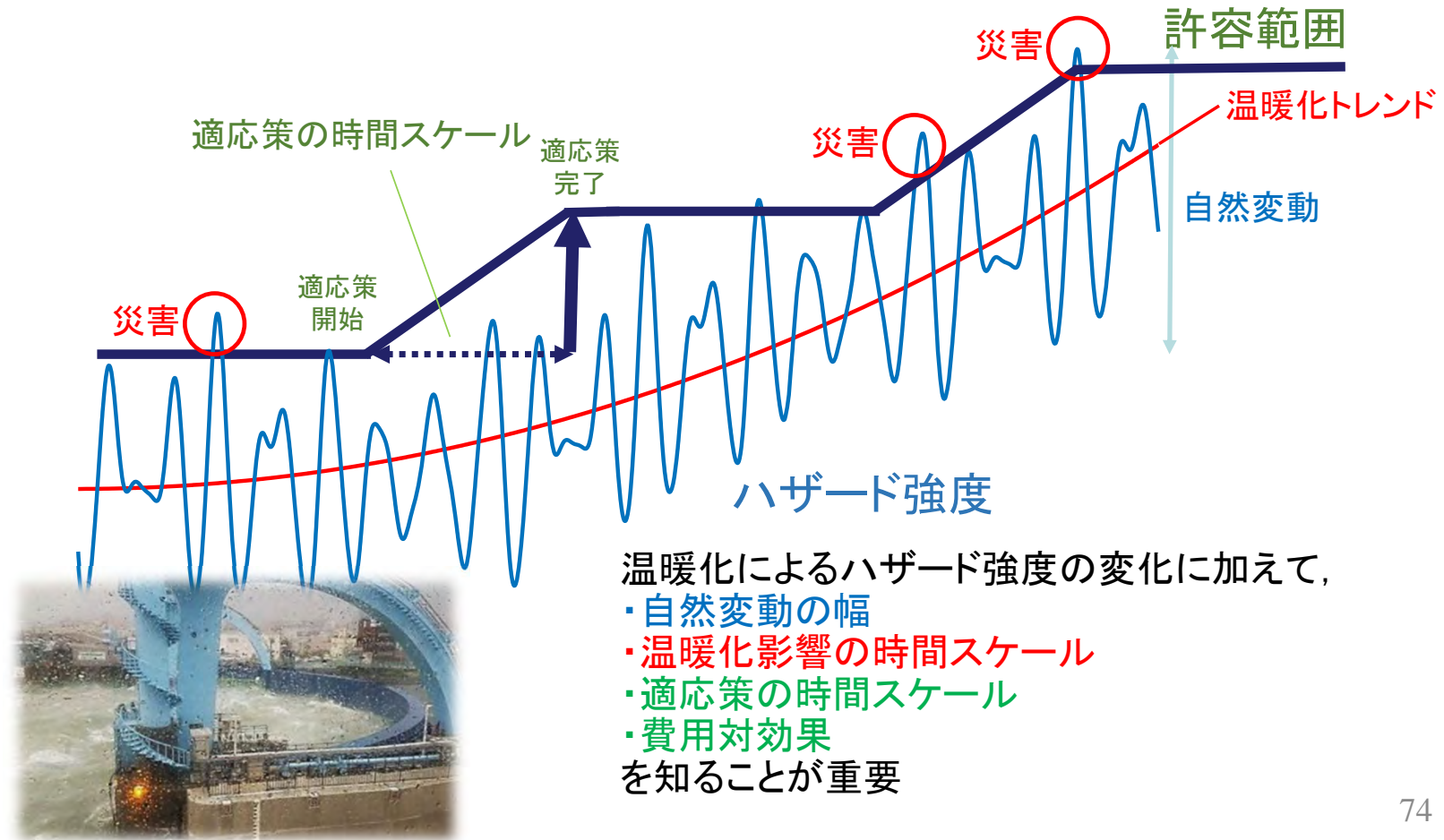
例: 透過型砂防堰堤による流木の捕捉

内 容

1. 気候変動影響が出だしている
2. IPCC第6次評価報告書
3. 科学的な気候変動予測とは？
4. 台風、梅雨豪雨、ゲリラ豪雨と気候変動影響
 - ① 台風
 - ② 梅雨豪雨とゲリラ豪雨
5. 行政との連携と気候変動適応
6. おわりに ～後悔しない気候変動適応～

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

(中北、2010, 2019)

結論

- 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必要がある。
- 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。

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

