気候変動を踏まえた治水計画のあり方　提言

～参考資料～

参考資料の内容

I. 顕在化している気候変動の状況

II. 気候変動を踏まえた水災害対策の考え方

III. 気候変動に関するシナリオや温室効果ガスの排出抑制の状況

IV. 将来の降雨の変化等に関する評価

V. 気候変動を踏まえた治水計画等の考え方

VI. その他

Ⅰ．顕在化している気候変動の状況

（１） 降雨量等の増加

（２） 水災害リスクの増大

IPCC第5次評価報告書の概要

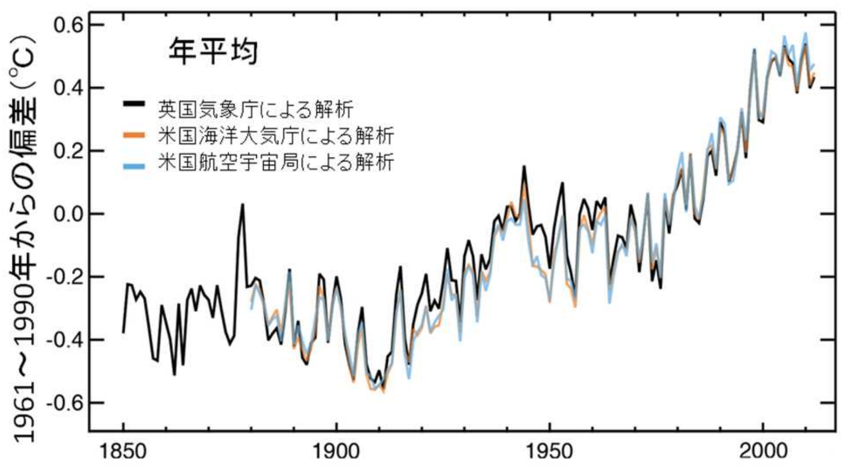
【観測事実と温暖化の要因】

◆ 気候システムの温暖化については疑う余地がない。

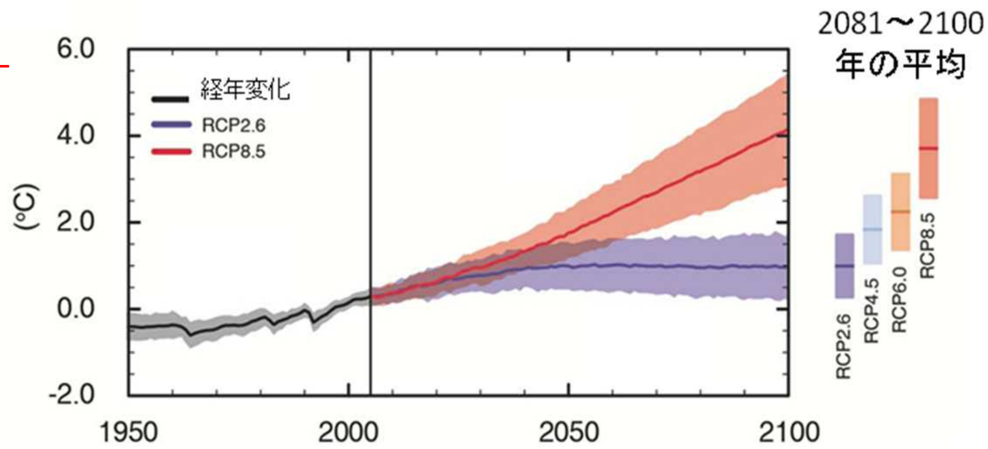
◆ 人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高く、温暖化に最も大きく効いているのは二酸化炭素濃度の増加。

◆ 最近15年間、気温の上昇率はそれまでと比べ小さいが、海洋内部（700m以深）への熱の取り込みは続いており、地球温暖化は継続している。

世界の地上気温の経年変化



1950～2100年の世界平均地上気温の経年変化（1986～2005年の平均との比較）



【予測結果】

◆ 21世紀末までに、世界平均気温が0.3～4.8℃上昇、世界平均海面水位は0.26～0.82m上昇する可能性が高い（4種類のRCPシナリオによる予測）。

◆ 21世紀末までに、ほとんどの地域で極端な高温が増加することがほぼ確実。
また、中緯度の陸域のほとんどで極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い。

◆ 排出された二酸化炭素の一部は海洋に吸収され、海洋酸性化が進行。

※IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書を基に水管理・国土保全局が作成

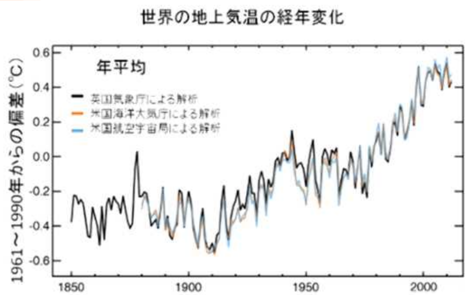
顕在化している気候変動の影響と今後の予測(外力の増大)

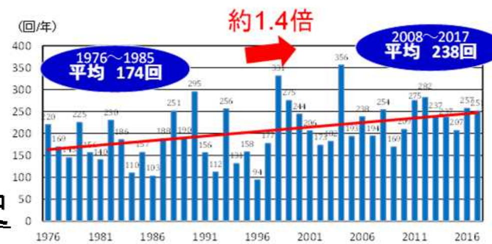
○ 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書によると、気候システムの温暖化については疑う余地がなく、21世紀末までに、世界平均気温が更に0.3～4.8℃上昇するとされている。

○ また、気象庁によると、このまま温室効果ガスの排出が続いた場合、短時間強雨の発生件数が現在の2倍以上に増加する可能性があるとされている。

○ さらに、今後、**降雨強度の更なる増加**と、**降雨パターンの変化**が見込まれている。

	既に発生していること	今後、予測されること
気温	◆ 世界の平均地上気温は1850～1900年と2003～2012年を比較して0.78℃上昇	◆ 気候システムの温暖化については疑う余地がない ◆ 21世紀末までに、世界平均気温が更に 0.3～4.8℃上昇 出典:気候変動に関する政府間パネル(IPCC):第5次評価報告書、2013
降雨	◆ 短時間強雨の発生件数が約30年前の約1.4倍に増加 ◆ 2012年以降、全国の約3割の地点で、1時間当たりの降雨量が観測史上最大を更新	◆ 1時間降雨量50mm以上の発生回数が2倍以上に増加 出典:気象庁:地球温暖化予測情報 第9巻、2017

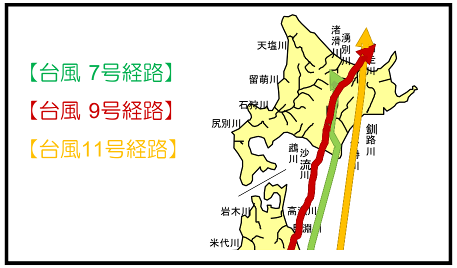




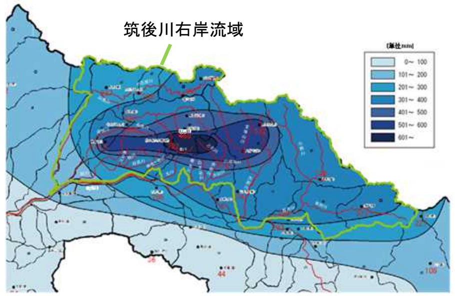
1時間降雨量50mm以上の年間発生回数
(アメダス1,000地点あたり)

顕在化している気候変動の影響と今後の予測（現象の変化）

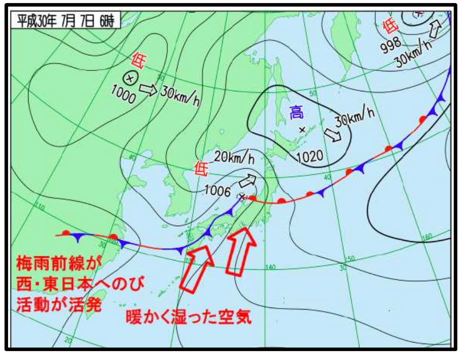
	既に発生していること	今後、予測されること
台風	◆ 平成28年8月に、統計開始以来初めて、北海道へ3つの台風が上陸 ◆ 平成25年11月に、中心気圧895hPa、最大瞬間風速90m/sのスーパー台風により、フィリピンで甚大な被害が発生	◆ 日本の南海上において、猛烈な台風の出現頻度が増加※ ◆ 台風の通過経路が北上する
局所豪雨	◆ 時間雨量50mmを超える短時間強雨の発生件数が約30年前の約1.4倍に増加 ◆ 平成29年7月九州北部豪雨では、朝倉市から日田市北部において観測史上最大の雨量を記録	◆ 短時間豪雨の発生回数と降水量がともに増加
前線	◆ 平成30年7月豪雨では、梅雨前線が停滞し、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨が発生 ◆ 特に長時間の降水量について多くの観測地点で観測史上1位を更新	◆ 停滞する大気のパターンは、増加する兆候は見られない ◆ 流入水蒸気量の増加により、総降雨量が増加



平成28年8月北海道に上陸した台風の経路



平成29年7月筑後川右岸流域における12時間最大雨量



平成30年7月豪雨で発生した前線

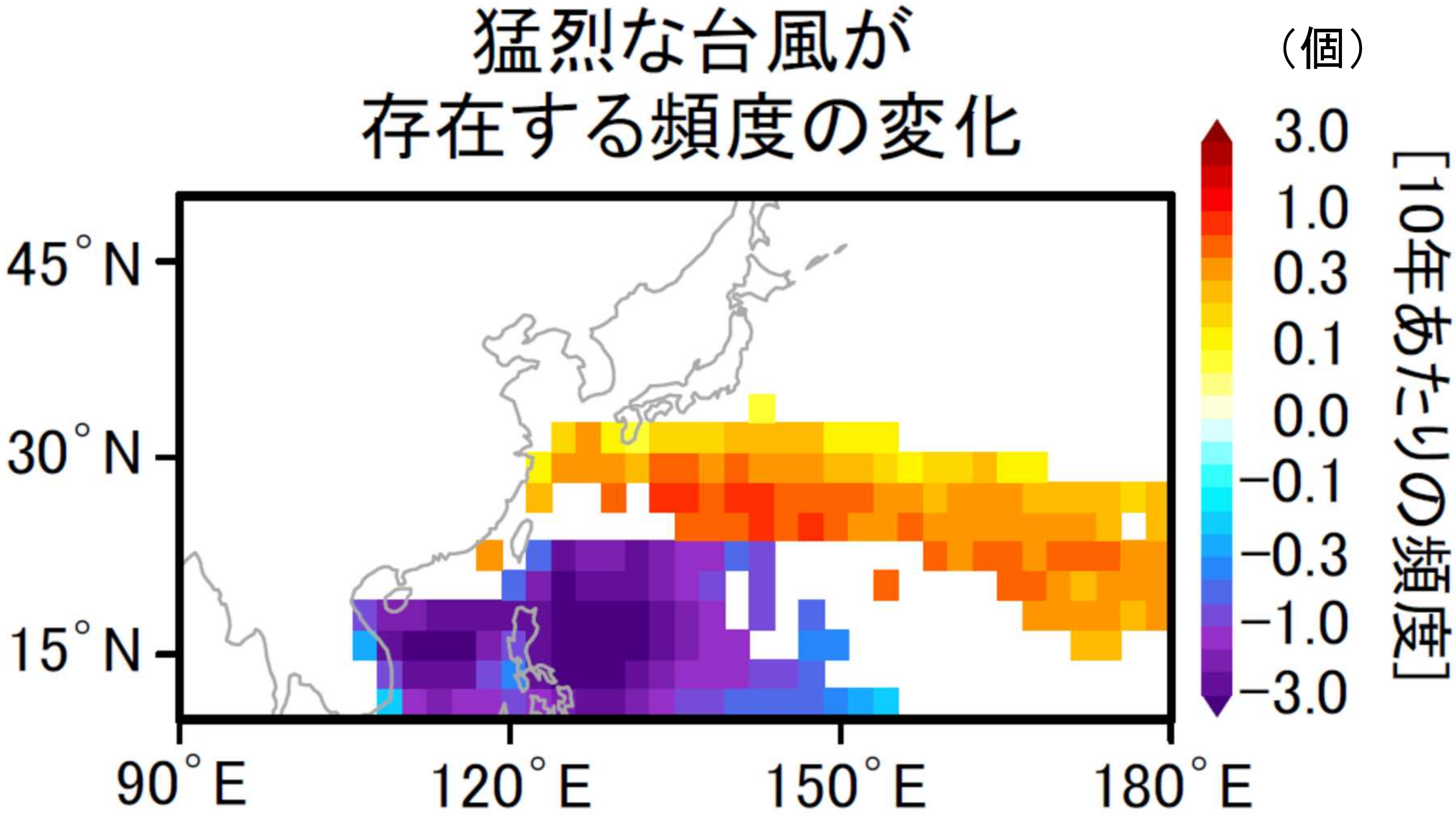
※出典：気象庁気象研究所：記者発表資料「地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧（台風）の頻度が日本の南海上で高まる」、2017

出典：第2回　気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

出典：第2回　異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会、第2回　実行性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会、中北委員資料

猛烈な台風の出現頻度が増加

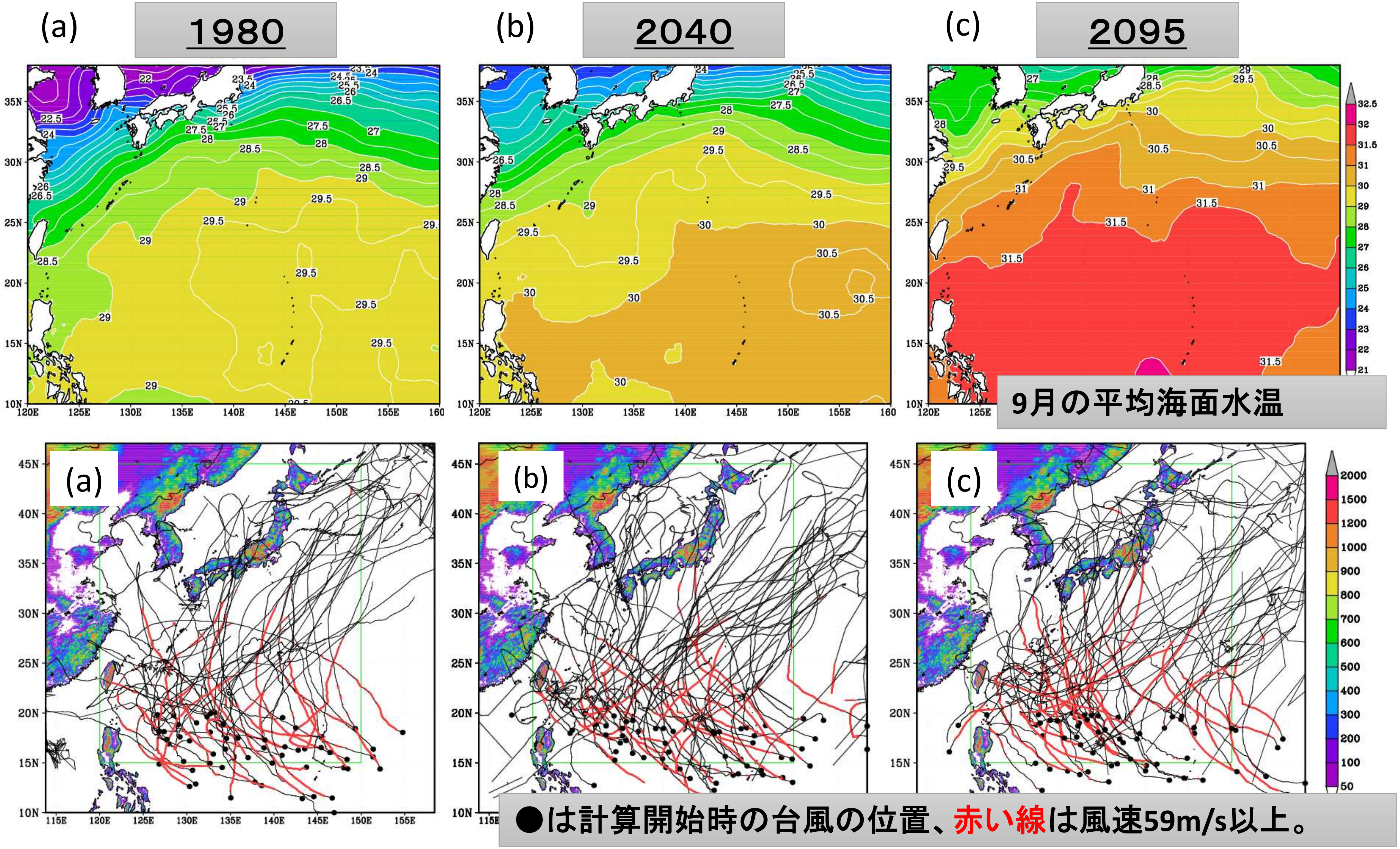
〇RCP8.5における21世紀末に相当する気候状態で、最大地表風速59m/s以上の猛烈な台風の数は、日本の南海上において出現頻度が増加。



※ d4PDFの過去実験、将来実験において、それぞれ台風の通過回数を格子ごとにカウントし、過去実験と将来実験の10年あたりの頻度の差を表したもの

出典：気象庁気象研究所：記者発表「地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧（台風）の頻度が日本の南海上で高まる」、2017年

台風の通過経路の北上化・大型化



- ◆ (上)現在気候➔近未来予測➔21世紀末 と日本付近の平均海面水温は上昇する。
- ◆ (下)海面水温上昇により21世紀末の気候では非常に強い台風が中緯度に到達する。

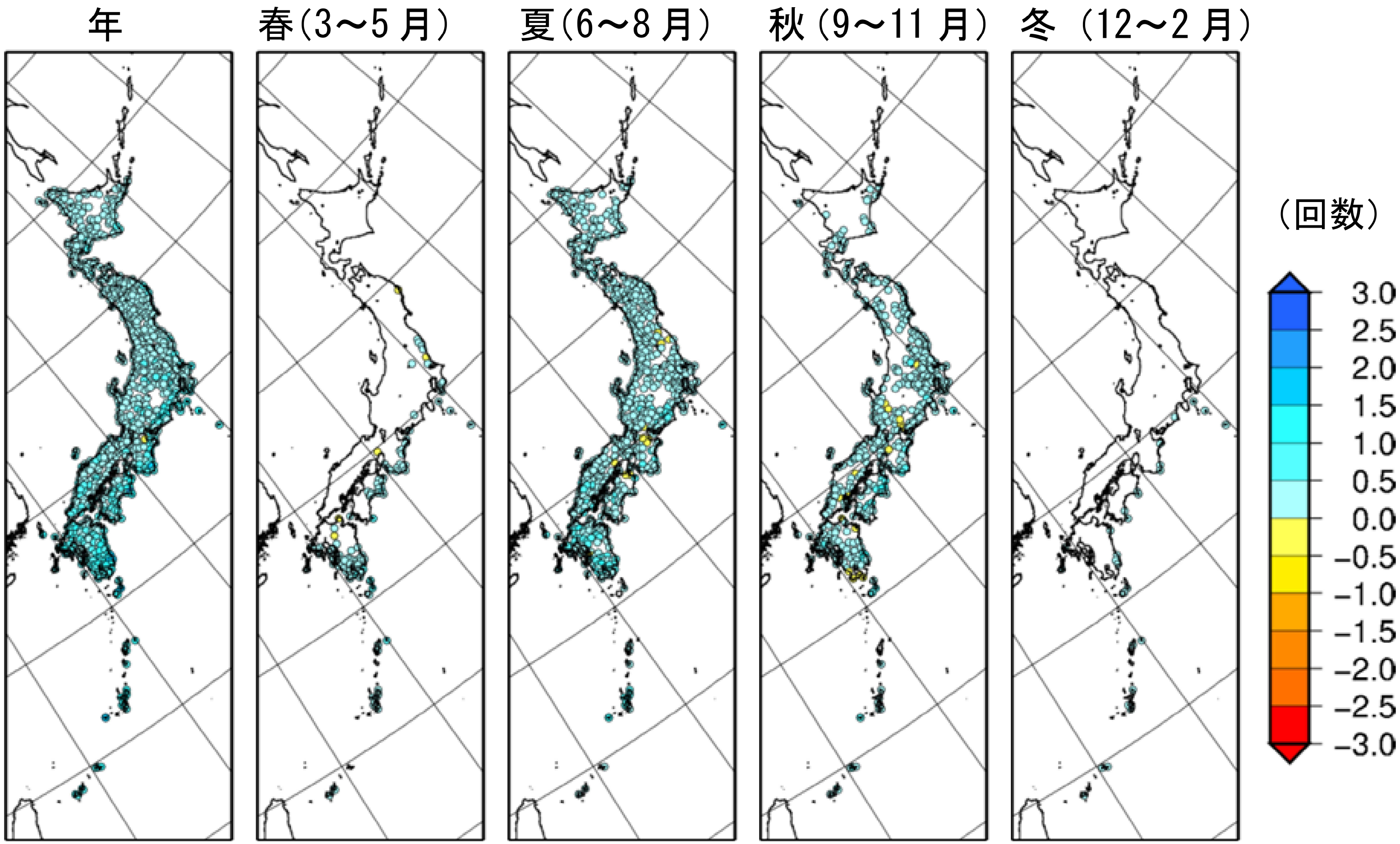
(坪木 2018)

出典:高薮委員提供資料

短時間豪雨の発生回数が増加

〇地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の短時間豪雨（1時間降水量50mm以上）の発生回数の差の分布をみると、1時間降水量50mm以上の短時間豪雨の年間発生回数は、全国平均で2倍以上になる。

年及び季節ごとの1時間降水量50mm以上の発生回数の将来変化



※ 将来気候と現在気候の差。4つのSSTパターンの計算において、増減の変化傾向がすべて一致した地点のみそれらの平均値を表示

出典：気象庁、地球温暖化予測情報第9巻

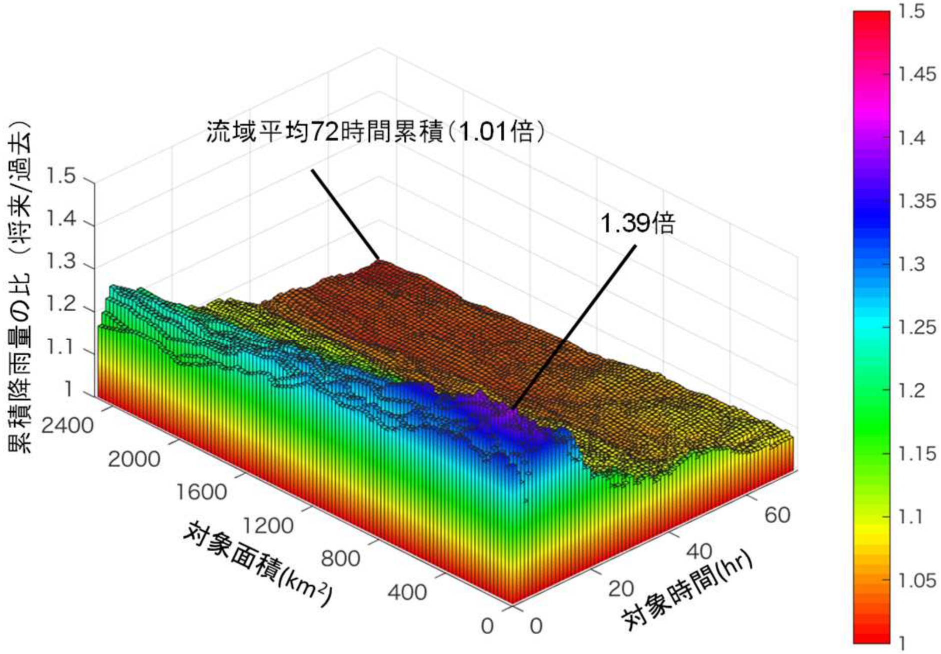
短時間豪雨の降雨量が増加

〇対象面積が小さくなるほど、また対象時間が短くなるほど、累積降雨量の比は大きくなる。
〇つまり、将来気候では短時間豪雨による降雨量の増加率が高い。

計画規模の降雨イベントにおける累積降雨量の比較

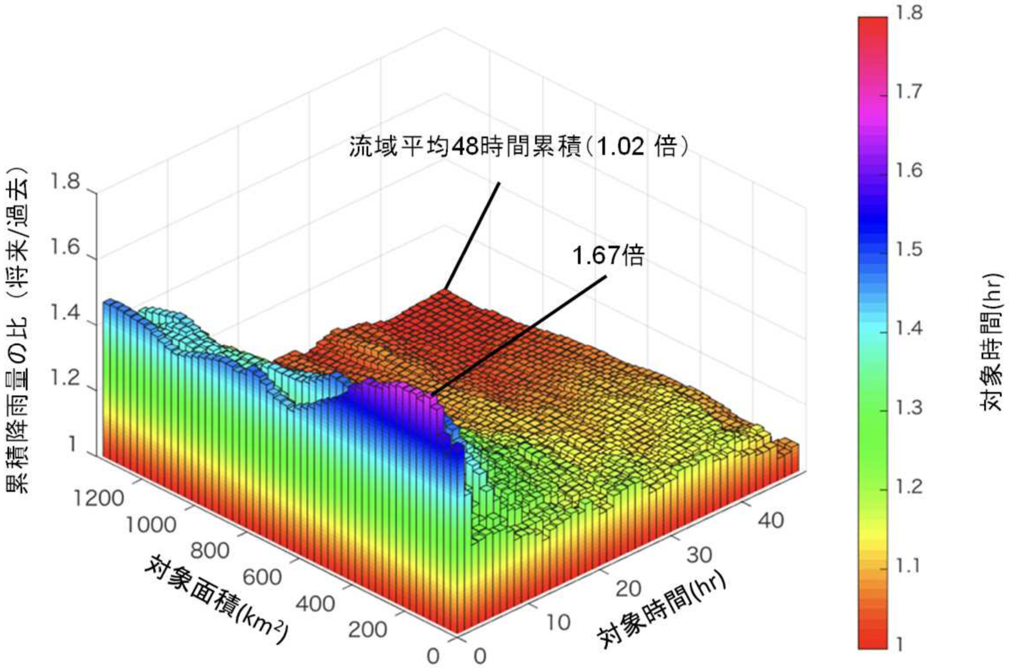
十勝川帯広基準地点集水域(200~250mmのみ)

・過去実験(DS後71事例の中央値),
4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)を使用



筑後川荒瀬基準地点集水域(350~400mmのみ)

・過去実験(DS後47事例の中央値),
4℃上昇実験(DS後272事例の中央値)を使用

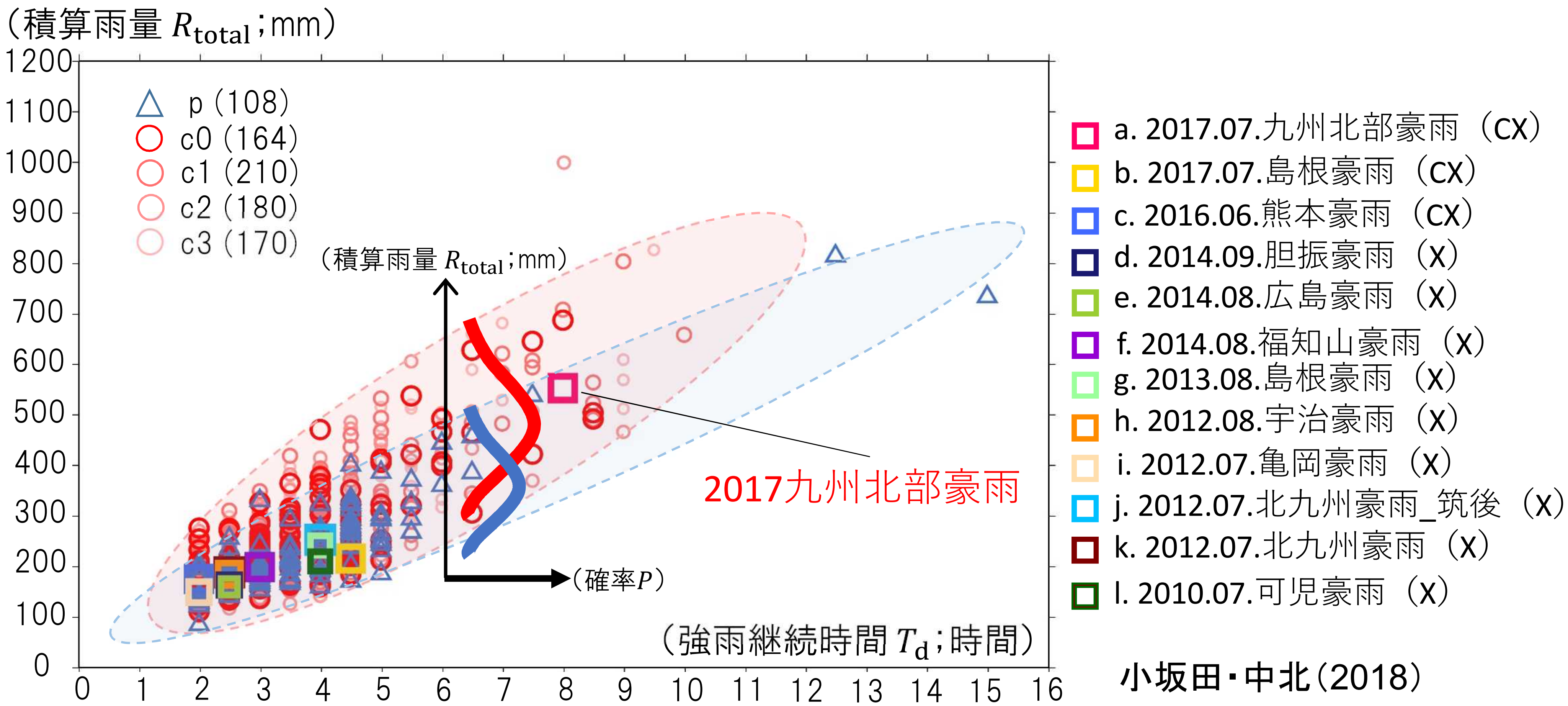


出典：山田委員提供資料

過去の線状降水帯方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，“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．

RCM05の現在事例は過去事例と大きく乖離していない．
2017年九州北部豪雨は現在では非常に極端な事例であった一方，将来では特別極端ではない．
７月豪雨において各地で見られた現象は、現在気候の中でも極端な事例とは言えない．

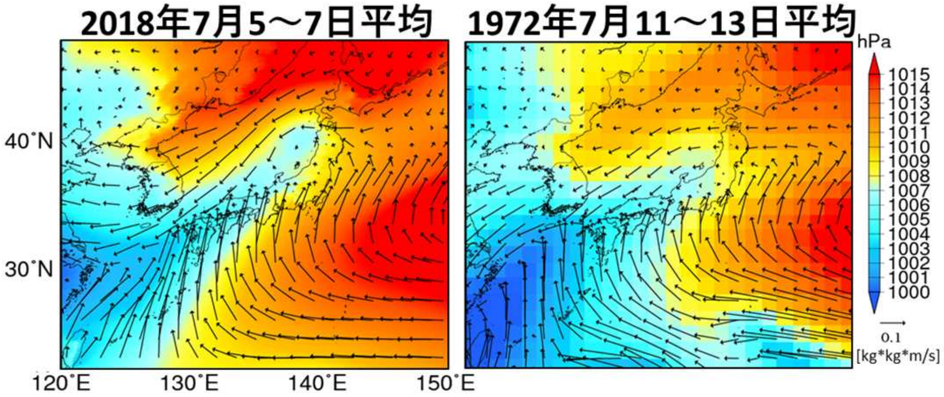


小坂田・中北（2018）

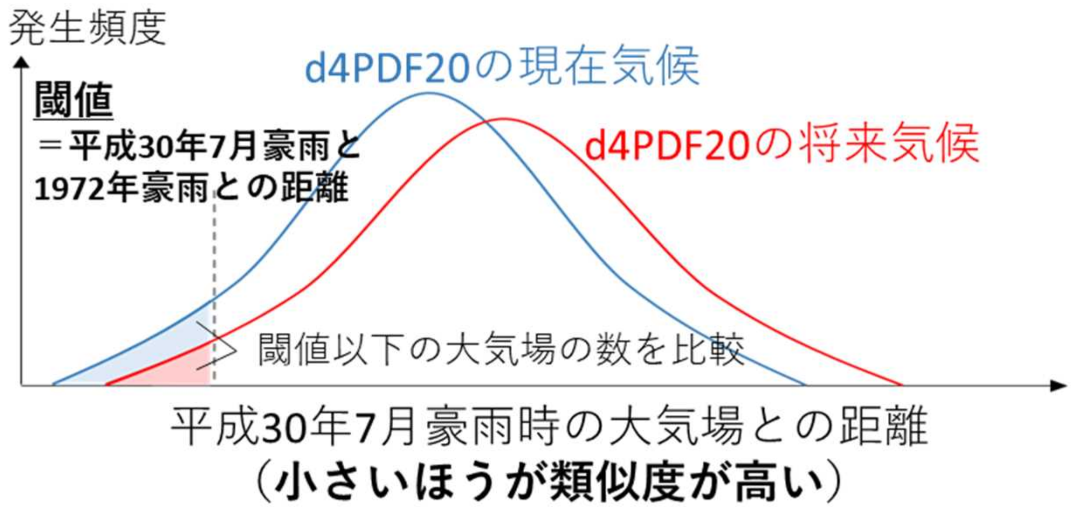
出典：中北委員提供資料

西日本豪雨発生時の大気場パターンの将来変化

- 西日本豪雨の大気場と**類似度が高い（＝距離が小さい）**大気場の数を将来と現在で比較
- 西日本豪雨と同様に広域豪雨だった**1972年豪雨**の大気場との距離を閾値として<u>閾値以下の大気場の数を比較</u>.



↑3日平均の海面更正気圧と水蒸気フラックス

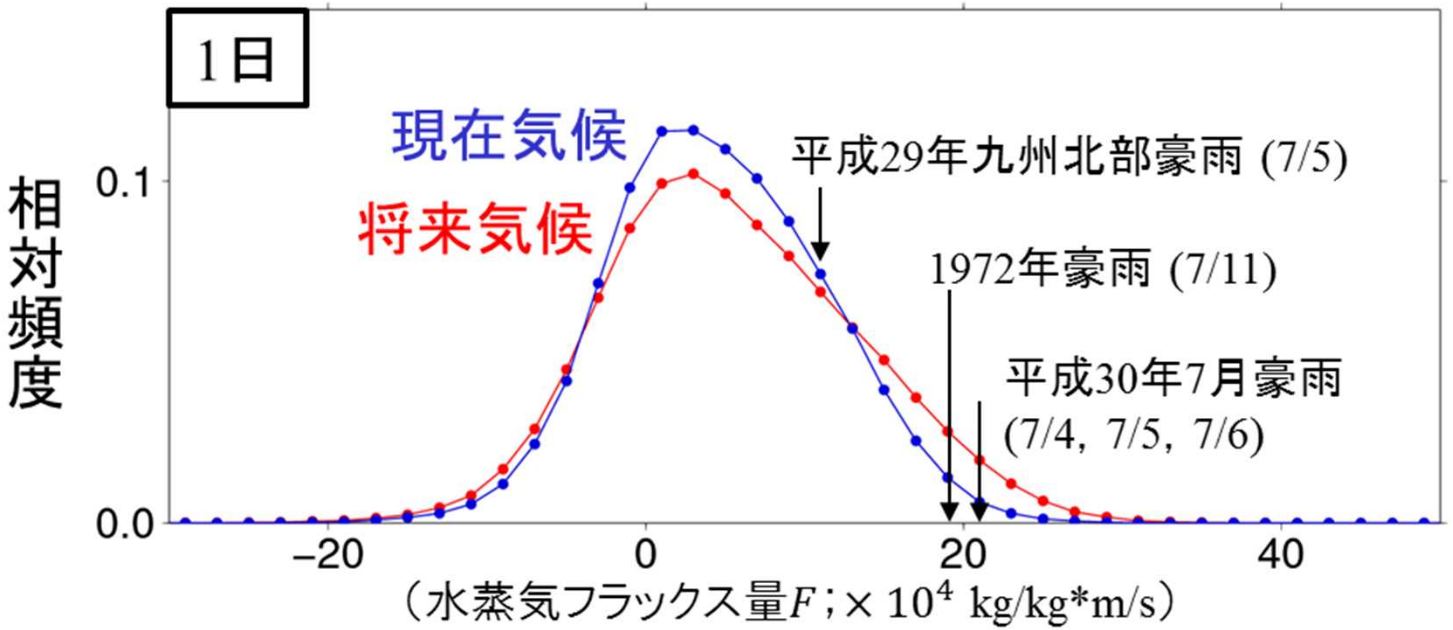


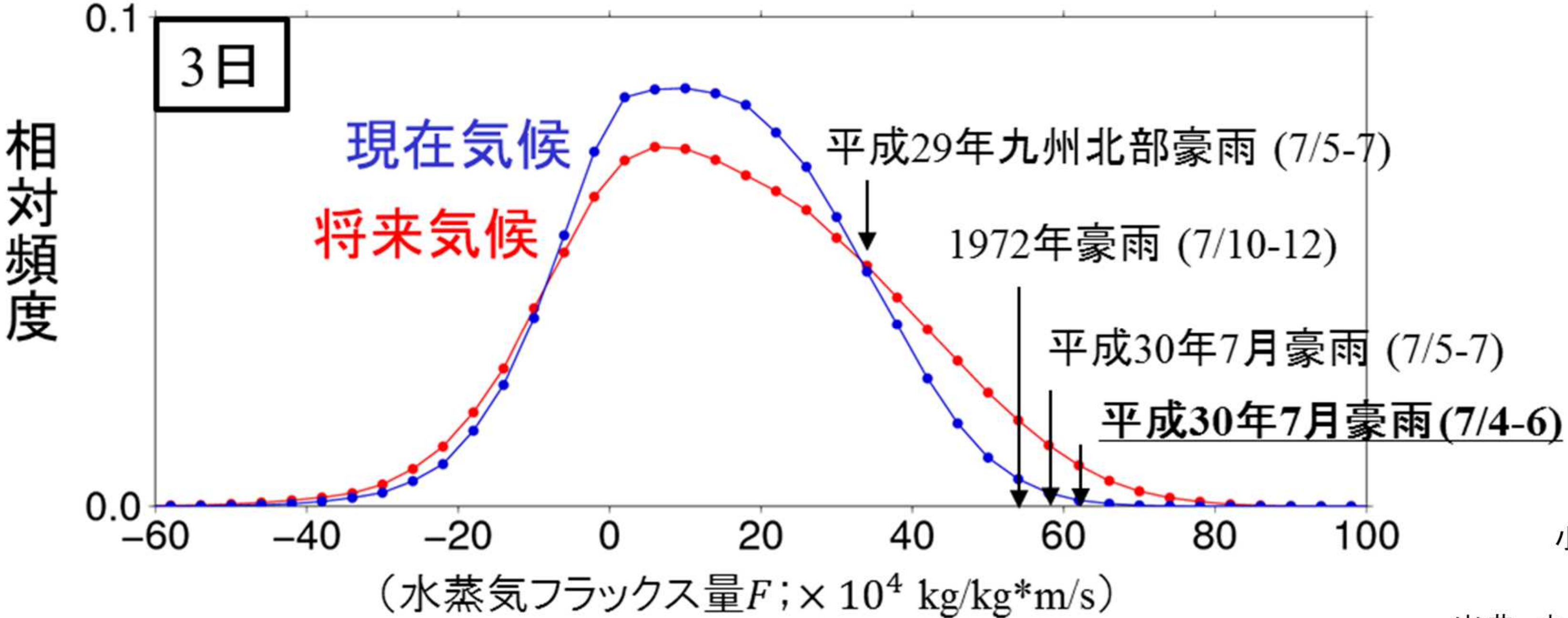
●海面更正気圧のみの場合	●海面更正気圧と水蒸気フラックスの場合
将来：420回/5400年＝**約12.9年に1回**	将来：35回/5400年＝**約154.3年に1回**
現在：381回/3000年＝**約7.9年に1回**	現在：107回/3000年＝**約28年に1回**

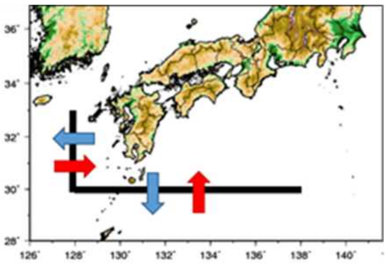
すなわち，西日本豪雨発生時の大気場は**将来では増加しない**傾向である．
再現期間については，用いる指標などを今後より精査する必要がある．

出典：中北委員提供資料

西日本豪雨の水蒸気浸潤の異常さ







小坂田・中北(2018)

出典：中北委員提供資料

Ⅰ．顕在化している気候変動の状況

（１） 降雨量等の増加

（２） 水災害リスクの増大

平成27年9月 関東・東北豪雨(鬼怒川等)

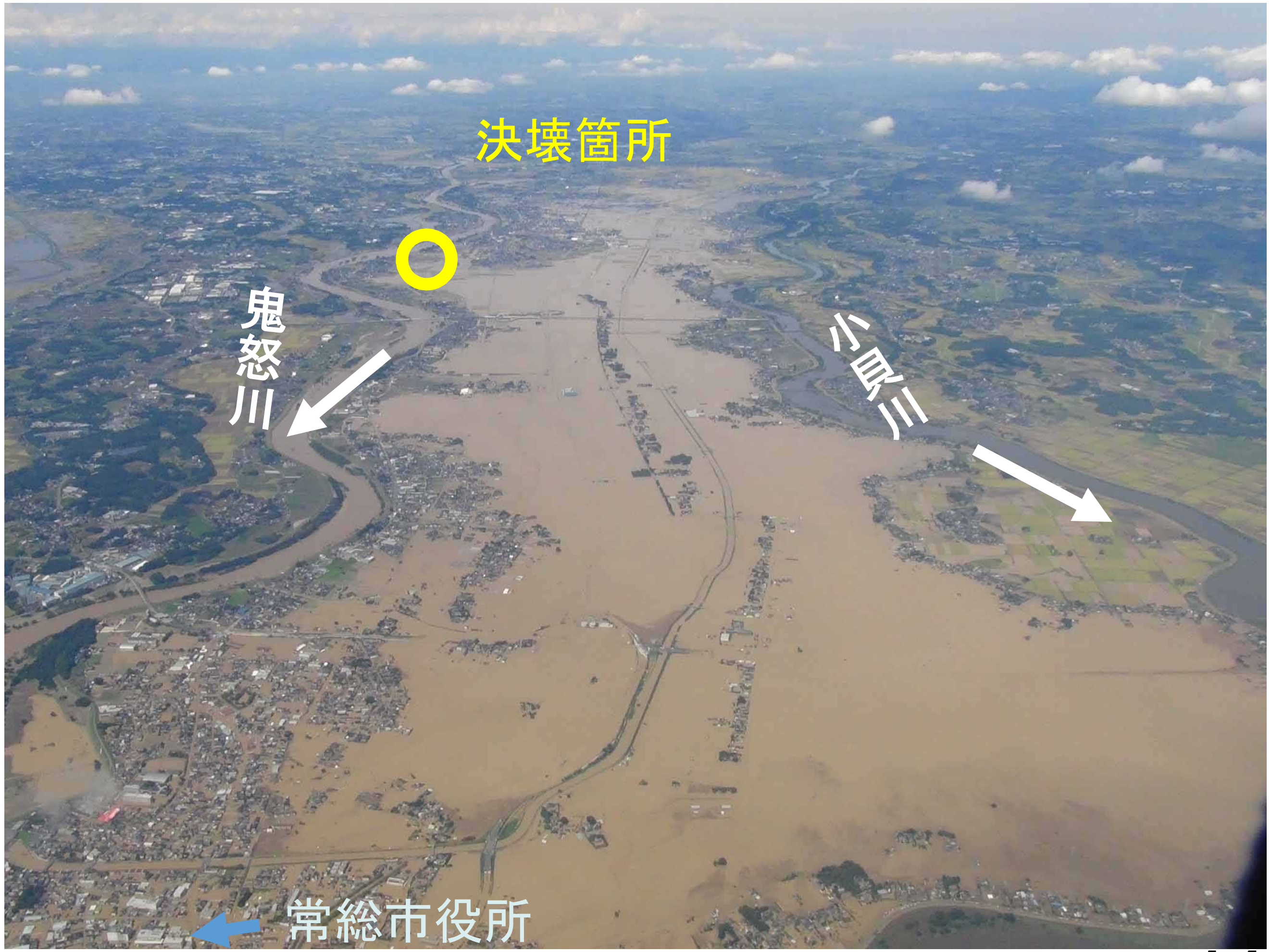
○ 宮城県、栃木県を中心に観測史上１位の降水量を記録。鬼怒川では流下能力を上回る洪水となり、関東地方の国管理河川では29年ぶりに堤防が決壊(常総市三坂町地先)。
○ 約40km²が浸水し、死者2名、家屋被害約8,800戸などの被害が発生するとともに、多数の孤立者が発生し、約4,300人が救助された。

被害状況等
死亡2名、重症3名、中等症11名、軽症17名※1
常総市※1 （全壊53、大規模半壊1,591、半壊3,519、床上浸水193, 床下浸水3,184） 結城市※1 （大規模半壊6、半壊44、床上浸水1、床下浸水155） 筑西市※1 （大規模半壊68、半壊3、床下浸水18） 下妻市※1 （全壊1、半壊39、床上浸水16、床下浸水111） つくばみらい市※1 （半壊13、床上浸水1、床下浸水21） 八千代町※1 （床上浸水2、床上浸水2、床下浸水9）
ヘリによる救助者数※2　1,343人 地上部隊による救助者数※2 3,128人

※1　茨城県　県防災・危機管理課　平成29年10月16日現在の発表資料より常総市等、関連を抜粋
※2　茨城県　県災害対策本部　平成27年9月24日10:00現在の発表資料より常総市等、関連を抜粋

被災した家屋

茨城県常総市の浸水状況



平成28年8月北海道・東北地方を襲った一連の台風（空知川、札内川、芽室川等）

○ 8月に相次いで発生した台風第7号、第9号、第11号は、それぞれ北海道に上陸。台風第10号は、に暴風域を伴ったまま岩手県に上陸。北海道への3つの台風の上陸、東北地方太平洋側への上陸は、気象庁の統計開始以来初めて。

平成28年9月6日気象庁公表資料を抜粋、一部改変　※統計開始：1951年

○ 一連の台風により、死者24名、全半壊約940棟、家屋浸水約3,000棟の甚大な被害が発生。

台風第10号（8月30日～）

堤防の決壊による氾濫状況
（空知川：北海道南富良野町）

堤防の決壊による氾濫状況
（札内川：北海道帯広市）

浸水した高齢者利用施設の状況
（岩手県岩泉町）

死　者　26名　　行方不明者5名
負傷者　14名
全　壊　518棟　　半　壊　2,281棟
一部破損　1,174棟
床上浸水　279棟　　床下浸水　1,752棟

※消防庁情報（平成29年11月8日17:00現在）

小本川の氾濫による浸水被害状況
（岩手県岩泉町）

越水により浸水した市街地
（久慈川：岩手県久慈市）

台風第11号及び台風第9号（8月21日～）

常呂川の出水状況（北海道北見市）

越水による堤防の法崩れ（常呂川）

霞川の出水状況
（埼玉県入間市）

不老川の出水状況
（埼玉県狭山市）

死　者　2名　　負傷者　76名
全　壊　6棟　　半　壊　19棟
一部破損　577棟
床上浸水　665棟　　床下浸水 2,587棟

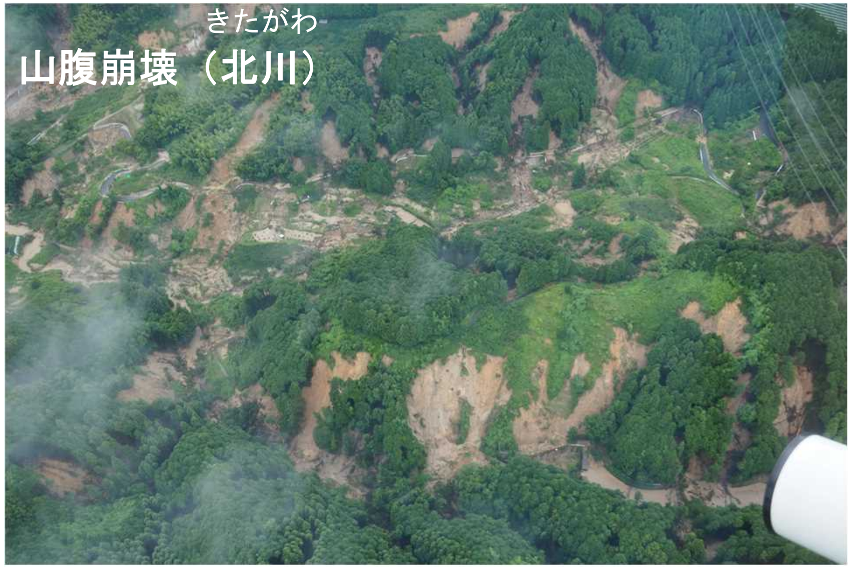
※消防庁情報
（平成29年10月27日10:00現在）

平成29年7月九州北部豪雨（赤谷川等）

○ 平成29年7月5日、6日の大雨「平成29年7月九州北部豪雨」では、朝倉雨量観測所等で観測史上1位の雨量を記録するなど、記録的な大雨により、出水や山腹崩壊が発生。
○ 河川のはん濫、大量の土砂や流木の流出等により、死者42名、家屋の全半壊等約1,520棟、家屋浸水約2,230戸の甚大な被害が発生。

項目	状況等
人的被害※1	死者42名、行方不明者2名、負傷者39名
住家被害※1	全壊325棟、半壊1,109棟、一部破損88棟、 家屋浸水2,231棟
救助者数	警察庁 445人※7 消防庁 252人※1 海上保安庁 40人※6 防衛省 658人※7

※1 消防庁「平成29年6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び台風第3号の被害状況及び消防機関等の対応状況について」（平成30年10月31日10:00時点）
※2 各時点の消防庁災害対策本部報のうち、最大であった数値を記載
（①第6報 7/6 4:00現在発令中、②第16報 7/7 18:00現在発令中）
※6 国土交通省「6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び平成29年台風第3号による被害状況等について」（平成30年1月17日11:00現在）」
※7 内閣府「6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び平成29年台風第3号による被害状況等について」
（平成30年1月17日12:00現在）



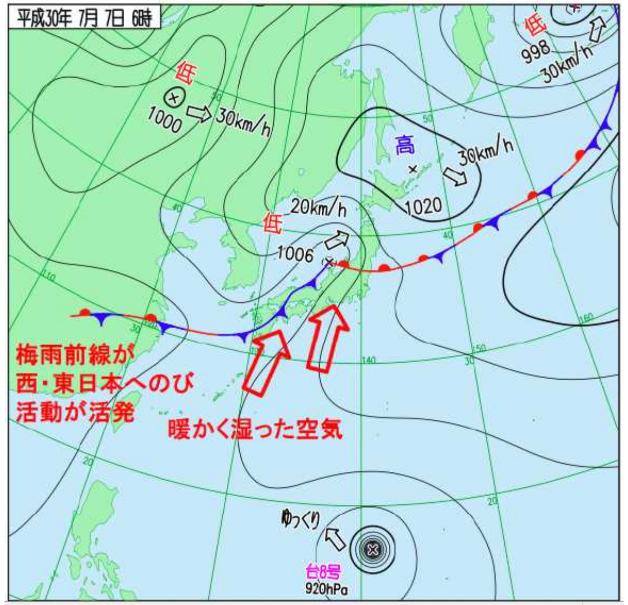
平成30年7月豪雨の降雨の特徴（概要）

○ ６月29日に日本の南で発生した台風第7号は東シナ海を北上し、対馬近海で進路を北東に変えた後、７月４日に日本海で熱帯低気圧に変わった。その後、８日にかけて西日本に梅雨前線が停滞し、非常に暖かく湿った空気が供給され続け、大雨となりやすい状態が続いた。

○ このため、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となり、６月28日～７月８日までの総降水量が四国で1,800mm、東海で1,200mmを超えるところがあるなど、７月の月降水量平年値の４倍となる大雨となったところがあった。

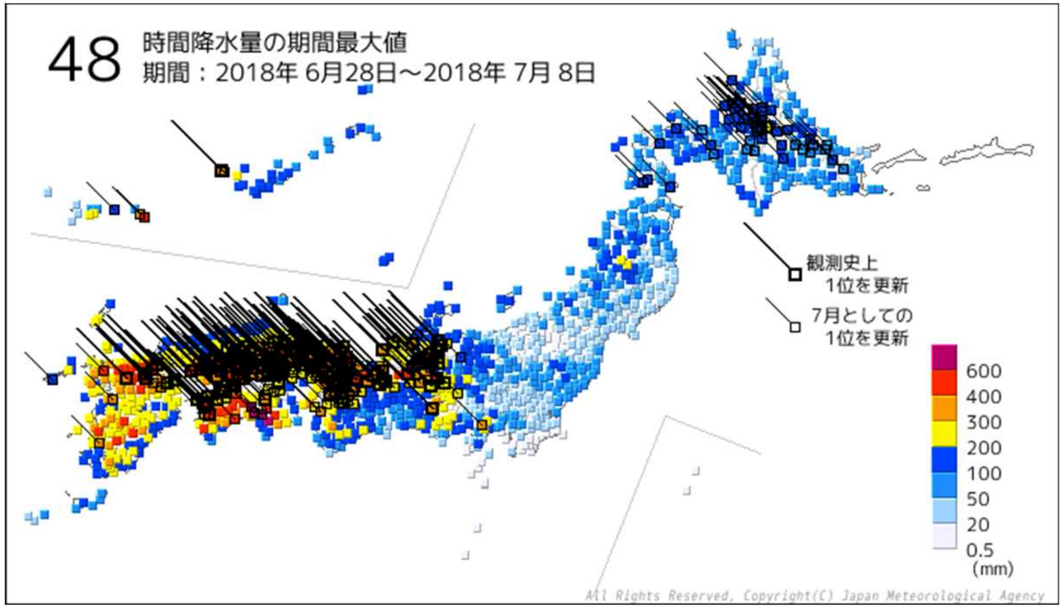
○ 特に長時間の降水量が記録的な大雨となり、アメダス観測所等（約1,300地点）では24時間降水量は77地点、48時間降水量は125地点、72時間降水量は123地点で観測史上1位を更新した。

停滞した梅雨前線に暖かく湿った空気が供給



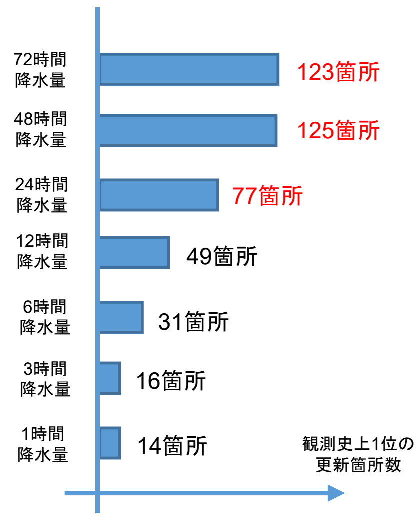
実況天気図（2018年7月7日6時00分時点）

広い範囲で記録的な大雨



48時間降水量の期間最大値（期間2018年6月28日～7月8日）

長期間の大雨



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を基に作成

平成30年7月豪雨による一般被害の概要

- ○ 西日本を中心に、広域的かつ同時多発的に、河川の氾濫、内水氾濫、土石流等が発生。
- ○ これにより、死者224名、行方不明者8名、住家の全半壊等21,460棟、住家浸水30,439棟の極めて甚大な被害が広範囲で発生。※1
- ○ 避難指示（緊急）は最大で915,849世帯・2,007,849名に発令され、その際の避難勧告の発令は985,555世帯・2,304,296名に上った。※2

  ※ 広島県については、避難指示（緊急）（1,553 地区）、避難勧告（128 地区）及び避難準備・高齢者等避難開始（2地区）を合算して 818,222 世帯、1,837,005 名に発令
- ○ 断水が最大263,593戸発生するなど、ライフラインにも甚大な被害が発生。※3

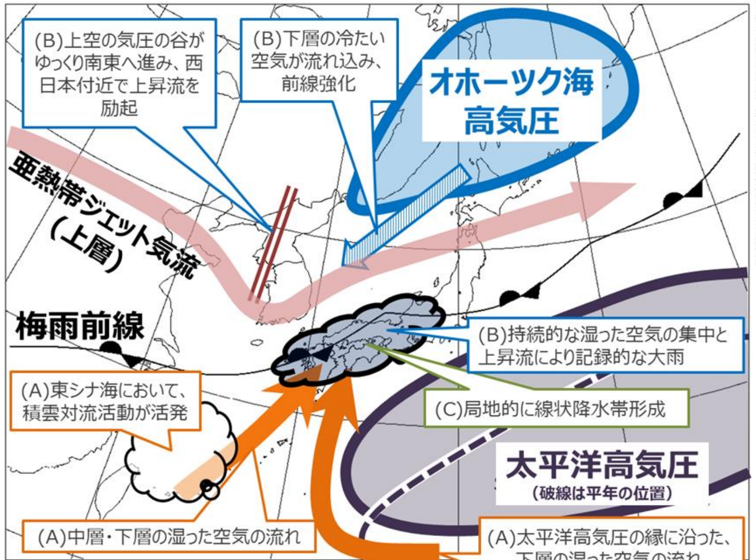
※1：消防庁「平成30年7月豪雨及び台風第12号による被害状況及び消防機関等の対応状況（第58報）」（平成30年11月6日）
※2：内閣府「平成30年台風第7号及び前線等による被害状況等について（平成30年7月8日6時00分現在）」
※3：内閣府「平成30年台風第7号及び前線等による被害状況等について（平成30年10月9日17時00分現在）」

■岡山県倉敷市真備町の浸水及び排水状況

■各地で土砂災害が発生

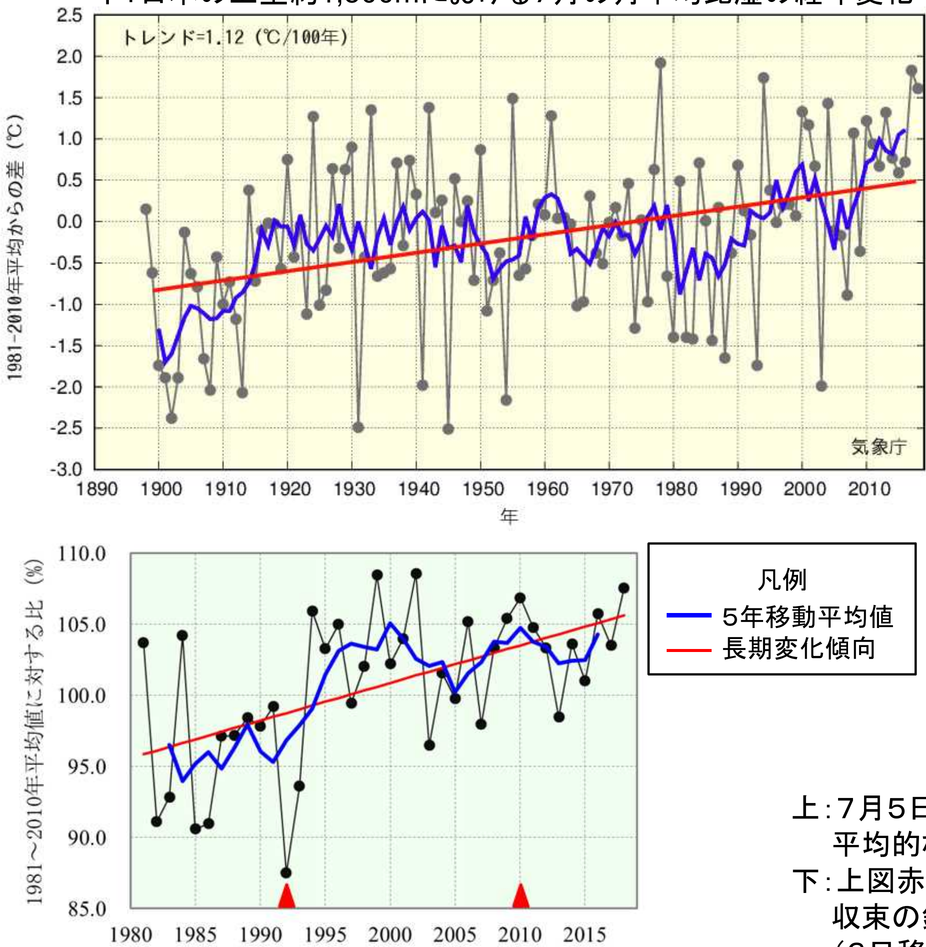
平成30年7月豪雨の降雨の要因

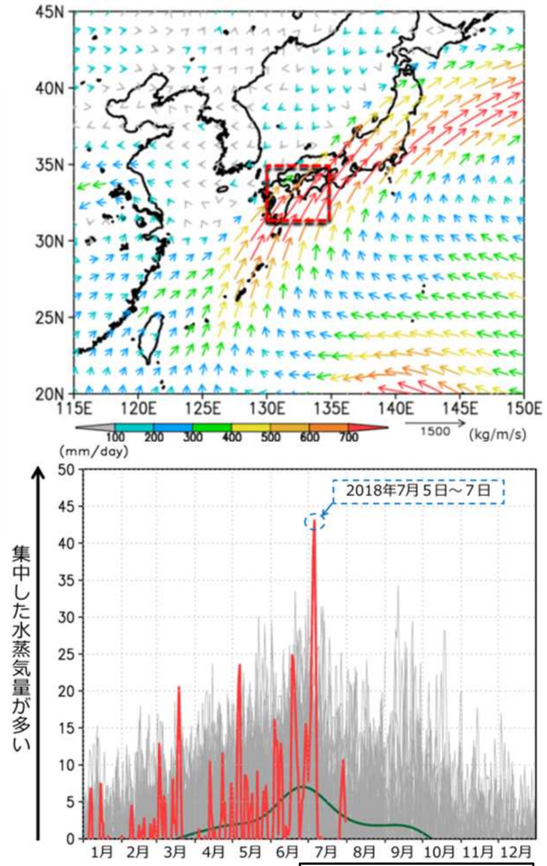
○ 広域で持続的な降雨をもたらした要因としては、大量の水蒸気を含む2つの気流が西日本付近で持続的に合流したことが考えられているが、背景要因として、気象庁は「地球温暖化による気温の長期的な上昇傾向とともに、大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向であることが寄与したと考えられている。」とし、はじめて個別災害について気候変動の影響に言及した。
○ 気象庁の昭和33年以降を対象とした解析では、平成30年7月5日から7日にかけて、西日本を中心に、これまでにない多量の水蒸気が集中していた結果が得られている。



7月5日から8日の記録的な大雨の気象要因

上：日本における7月の月平均気温の偏差の経年変化
下：日本の上空約1,500mにおける7月の月平均比湿の経年変化





上：7月5日から7日の日本周辺の平均的な水蒸気の流れ
下：上図赤枠内の水蒸気フラックス収束の鉛直積算の日別時系列（3日移動平均）

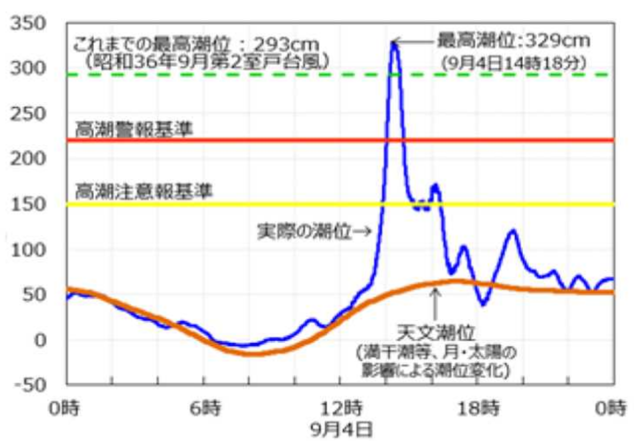
凡例
2018年
1958~2017年
1981~2010年の平均値

気象庁発表資料「「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について」及び平成30年度異常気象分析検討会（臨時会）資料を基に作成

平成30年台風第21号による高潮

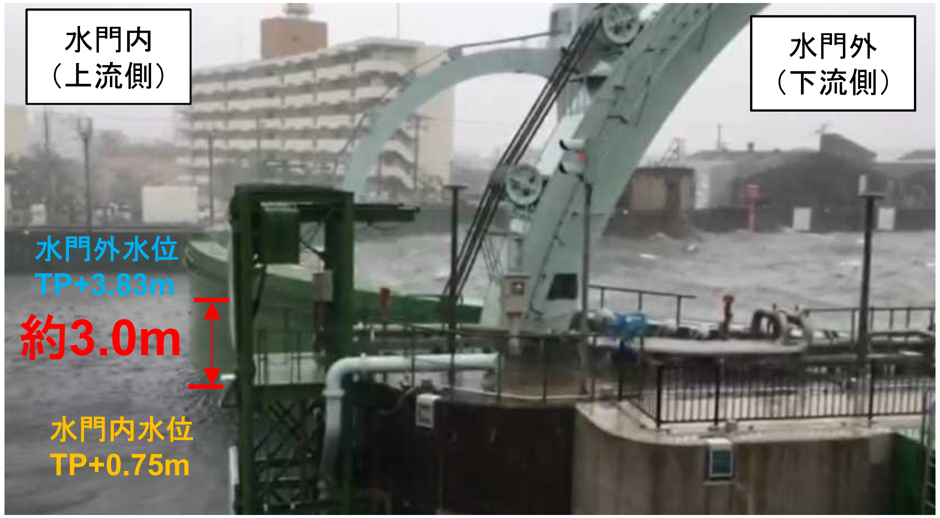
○ 台風第21号は25年ぶりに非常に強い勢力で日本列島に上陸、各地で既往最高潮位を記録し、大阪港では第二室戸台風（昭和36年）を上回る既往最高の潮位を記録。
○ 兵庫県芦屋市では、高潮による住宅浸水被害が発生。
○ 関西国際空港では、滑走路やターミナルビルが浸水し、空港機能が停止。
○ 一方、海岸・河川堤防、水門の整備や適切な維持管理・運用により、市街地の高潮浸水を防止。

■ 平成30年9月4日の潮位の推移（大阪検潮所）

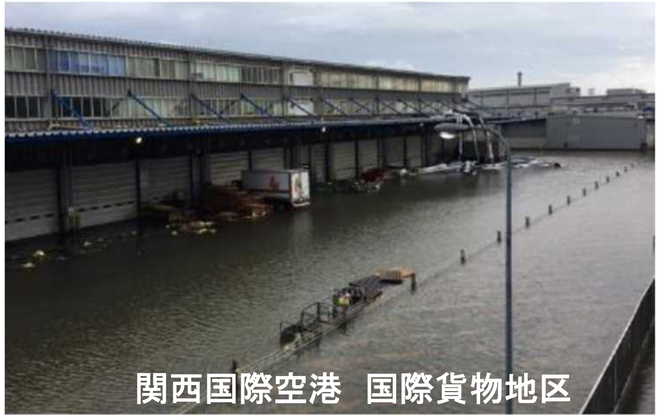


出典：大阪管区気象台 災害時気象報告 http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201904.pdf

■台風第21号による高潮から市街地を守る木津川水門



■各地で浸水被害が発生



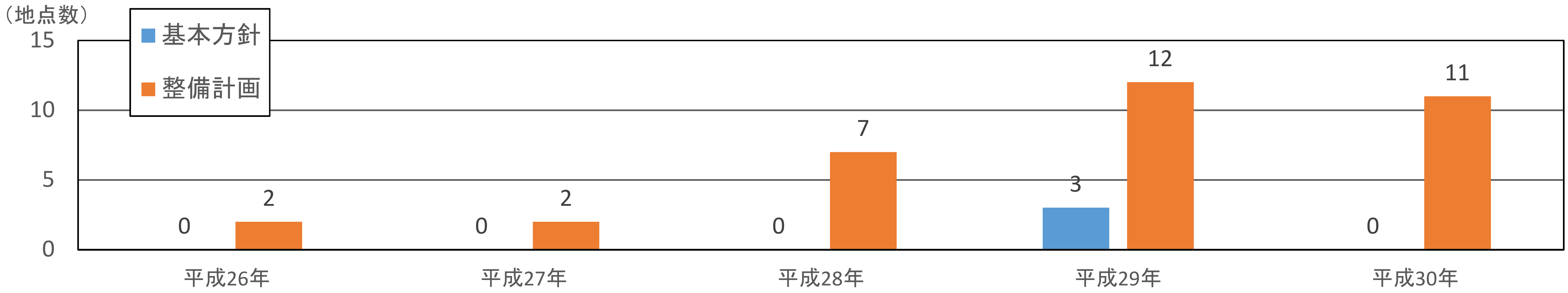
出典：第1回「全国主要空港における大規模自然災害対策に関する検討委員会」資料2より

気候変動等による災害の激化（計画規模を上回る洪水の発生状況）

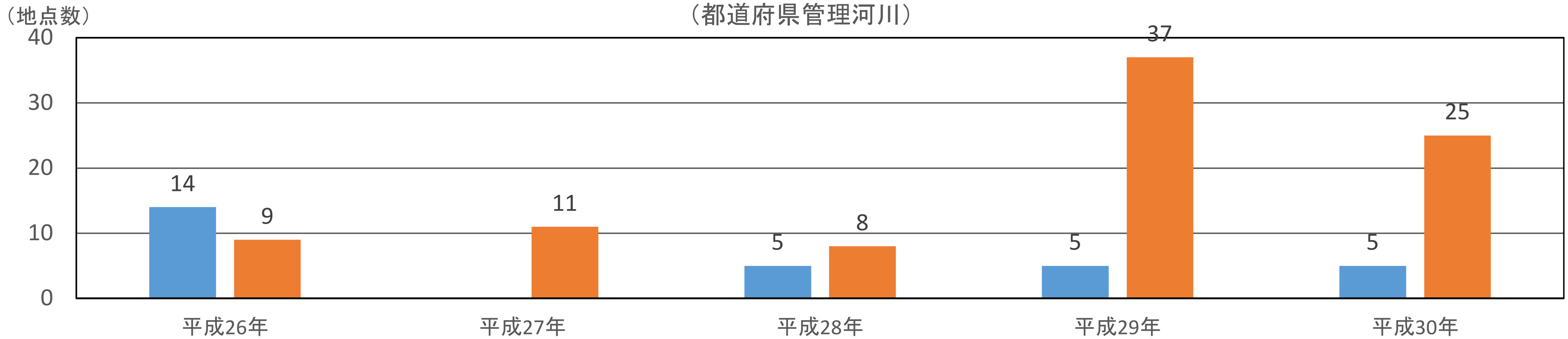
○ 気候変動等による豪雨の増加傾向は顕在化しており、計画規模（河川整備基本方針、河川整備計画）を上回る洪水の発生地点数は、国管理河川、都道府県管理河川ともに近年、増加傾向である。

河川整備基本方針・河川整備計画の目標流量を上回る流量を記録した地点数

（国管理河川）



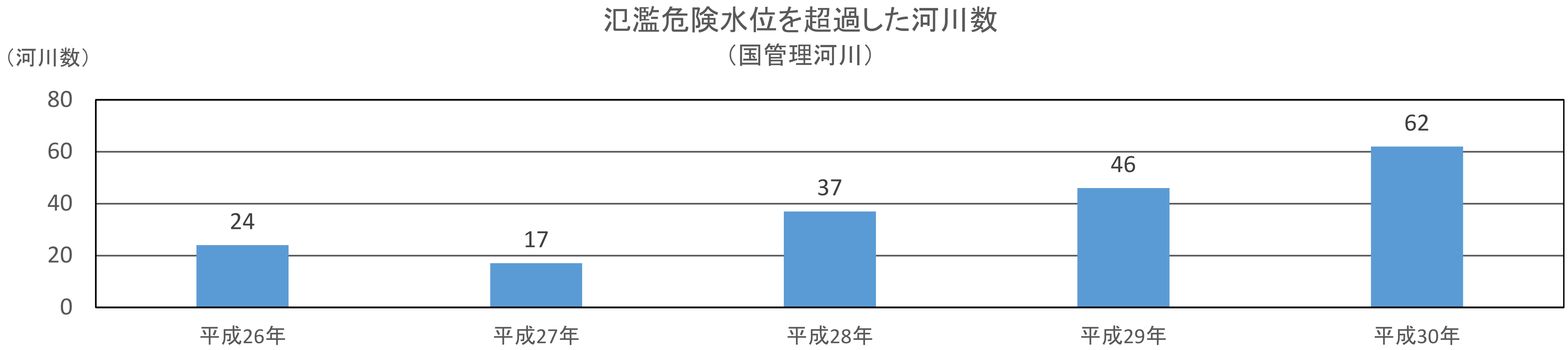
（都道府県管理河川）

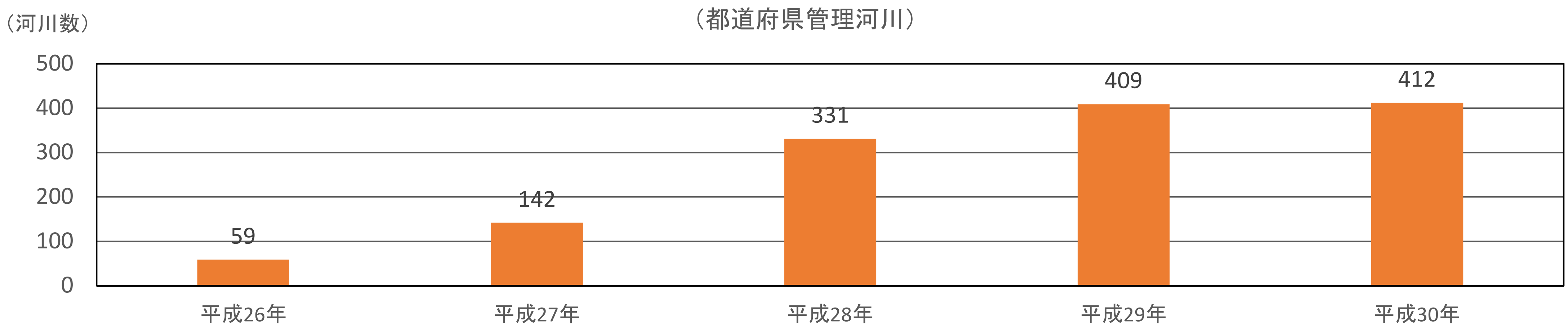


※基本方針：河川整備基本方針で定めた「主要な地点における計画高水流量」等を超過した地点数。
※整備計画：河川整備計画で定めた主要な地点等における目標流量を超過した地点数。
※平成30年は、10月末時点までの速報値。
※整備計画の策定河川数は、随時、増加している。

気候変動等による災害の激化（氾濫危険水位を超過河川の発生状況）

○ 気候変動等による豪雨の増加により、相対的に安全度が低下しているおそれがある。
○ ダムや遊水地、河道掘削等により、河川水位を低下させる対策を計画的に実施しているものの、氾濫危険水位（河川が氾濫する恐れのある水位）を超過した洪水の発生地点数は、増加傾向となっている。





※都道府県管理河川は国土交通省発表 災害情報（国土交通省ウェブサイト掲載）による。
※平成30年は、10月末時点までの速報値。

参考資料の内容

I. 顕在化している気候変動の状況

II. 気候変動を踏まえた水災害対策の考え方

III. 気候変動に関するシナリオや温室効果ガスの排出抑制の状況

IV. 将来の降雨の変化等に関する評価

V. 気候変動を踏まえた治水計画等の考え方

VI. その他

「水防災意識社会」の再構築

○ 平成27年9月関東・東北豪雨を契機に「施設では防ぎきれない水災害は必ず発生する」との考えの下、社会全体で水災害に備える「水防災意識社会」を再構築する取組を開始。

○ 平成30年7月豪雨等、近年の災害での課題も踏まえ、対策を充実し取組を加速化。

＜ソフト対策＞・住民が自らリスクを察知し主体的に避難できるよう、より実効性のある「住民主体のソフト対策」へ転換し、個人の防災計画の作成や認識しやすい防災情報の発信方法の充実を重点的に実施。

＜ハード対策＞・複合的な水災害も含めて被害の発生を未然に防ぐ「事前防災ハード対策」や、緊急的な退避場所の確保などの「避難確保ハード対策」を充実。

主な対策

各地域において、河川管理者・都道府県・市町村等からなる大規模氾濫減災協議会等の場を活用して減災のための目標を共有し、多層的なハード・ソフト対策を一体的・計画的に推進する。

事前防災ハード対策

洪水氾濫、内水氾濫、土石流等が**複合的に発生する水災害へのハード対策**や、氾濫水の早期排水等の**社会経済被害を最小化するハード対策**の充実

○気候変動の影響による豪雨の増加も踏まえ、事前の防災対策を推進

○社会経済被害を最小化する対策の推進

○複合的に発生する水災害へのハード対策

避難確保ハード対策

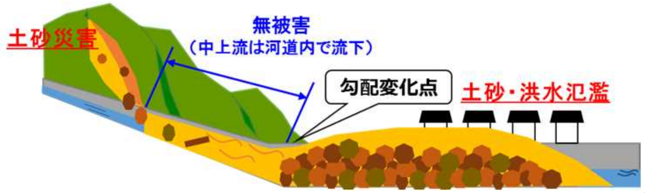
災害が発生した場合でも、**緊急的に退避できる場所の確保**や**避難路等が被災するまでの時間を少しでも引き延ばすハード対策**の充実

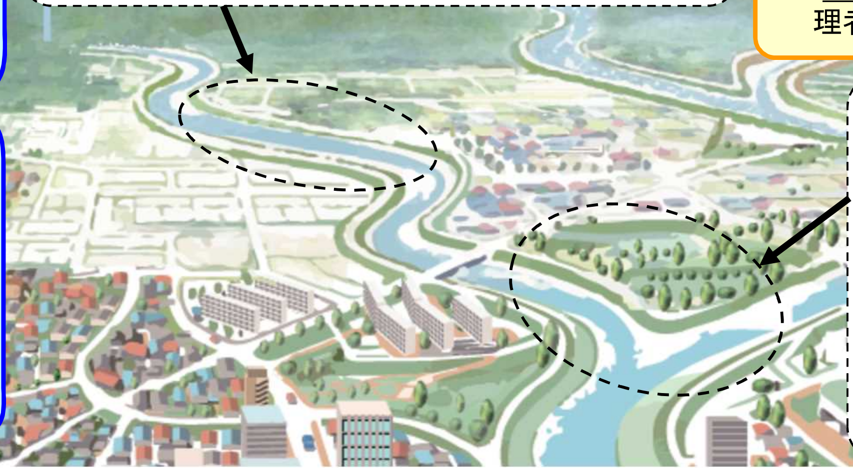
○避難路、避難場所の安全対策の強化

○応急的な退避場所の確保

・土砂・洪水氾濫

上流部の土砂災害により発生した大量の土砂が、洪水で河道を流下し、下流部において土砂が堆積して、河床を上昇させて土砂と洪水の氾濫が複合的に発生





住民主体のソフト対策

住民が主体的な行動を取れるよう、**個人の防災計画の作成**や、認識しやすい**防災情報の発信方法の充実**

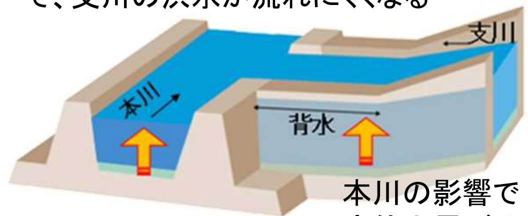
○地区単位で個人の避難計画の作成

○メディアの特性を活用した、情報発信の連携

○大規模氾濫減災協議会等へ、利水ダムの管理者や、公共交通機関等の多様な主体の参画

・バックウォーター現象

本川と支川の水位が高い時間が重なって、支川の洪水が流れにくくなる



本川の影響で水位上昇が発生

気候変動を踏まえた水災害対策の考え方

平成27年関東・東北豪雨を受け、「施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」へ意識を変革し、社会全体で洪水に備える「水防災意識社会」を再構築する取組の充実を図ってきたが、<u>地球温暖化による更なるリスクの増大に対応するため、これらとも一体となって、治水施設等のハード対策を実施する必要</u>。

水災害リスク ＝ ハザード × 暴露 × 脆弱性

- ハザード：水災害の発生要因
- 暴露：人口・資産等の集積
- 脆弱性：無防備・災害弱者

＜水災害対策＞

治水対策
河川改修、高規格堤防の整備
ダム再生などダムの整備
遊水地、放水路の整備　など

＋

流域対策
雨水貯留・浸透施設の整備
調節池の整備
遊水機能を有する土地の保全　など

＋

土地利用
土地利用規制・誘導
住宅の構造強化　など

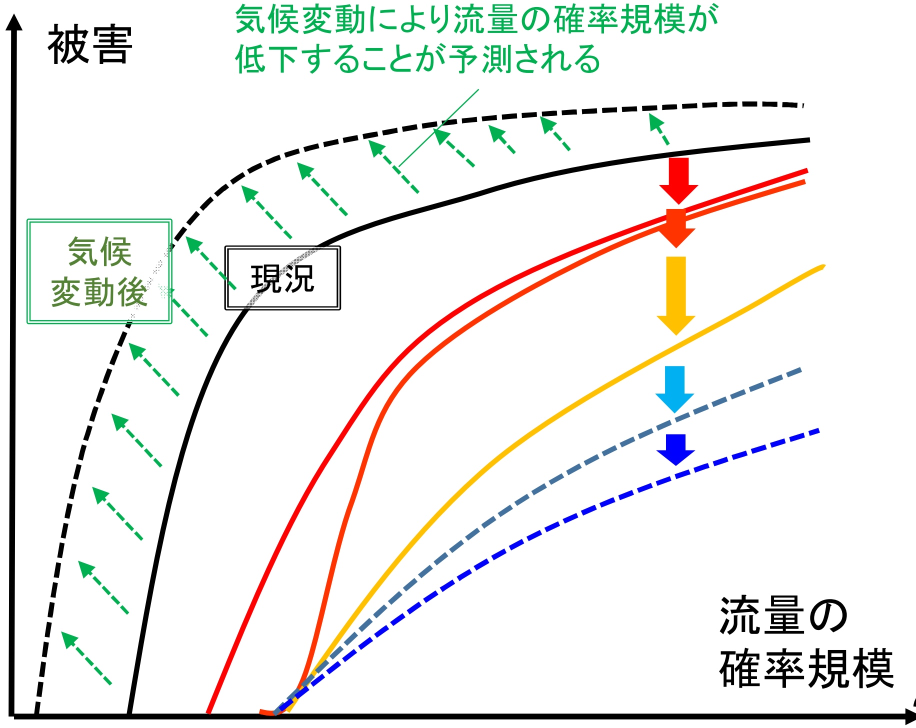
＋

危機管理
利水容量の治水活用
堤防構造の工夫（危機管理ハード対策）
氾濫水の早期排除、水防活動　など

＋

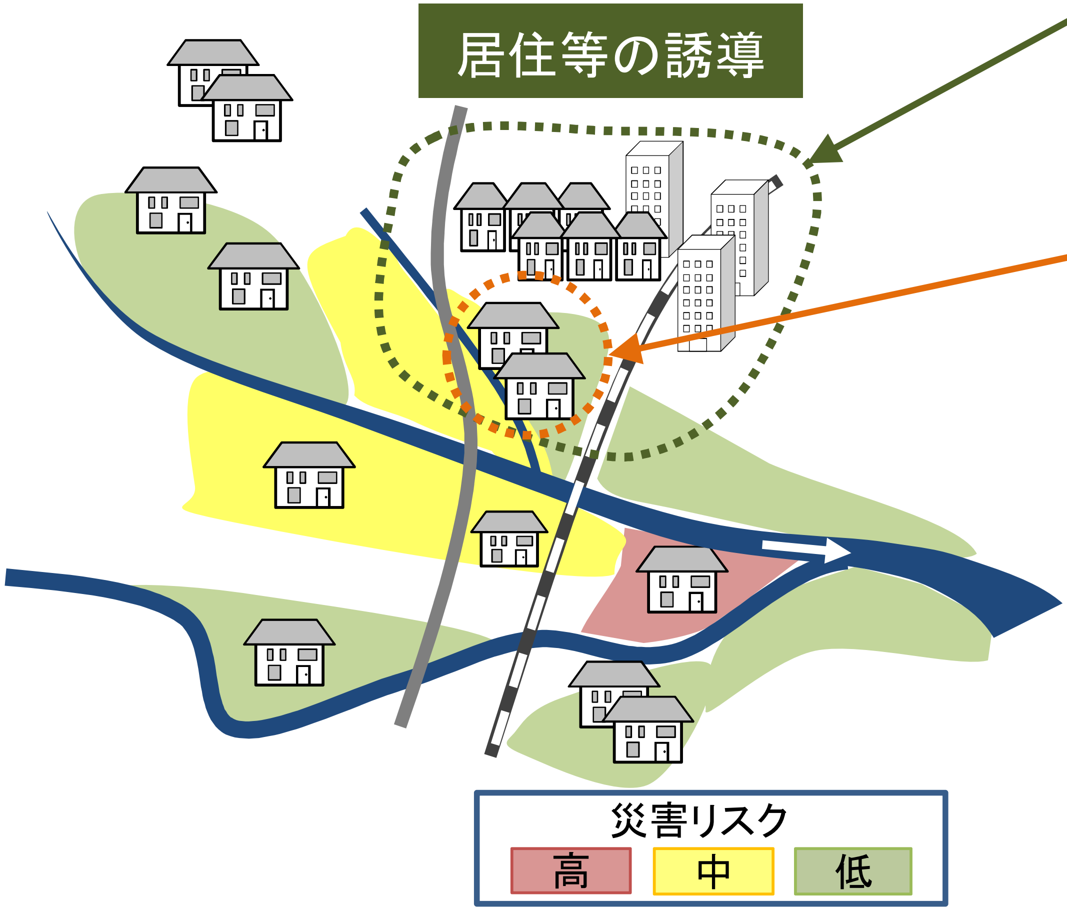
ソフト
ハザードマップの整備
水位計、河川監視カメラの設置
避難計画の作成、避難訓練の実施　など

＜様々な対策によるリスクの軽減（イメージ）＞



災害リスクを考慮した土地利用（住まい方の工夫の促進）

○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す
○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す



○居住誘導区域等の設定

・災害リスクの低い地域へ居住や都市機能を誘導（関係部局と連携）

○施設の整備（事前防災の加速化）

・居住等を誘導すべき区域等において、河川や下水道等の整備、堤防構造の工夫、雨水貯留・浸透施設等の整備等を重点的に推進

○住まい方の工夫

・災害リスクが高い地域では、建築物の構造等を工夫（関係部局と連携）、必要に応じて災害危険区域等に指定
・住民避難や緊急復旧を支援するための堤防等を活用した高台・緊急輸送路等の整備

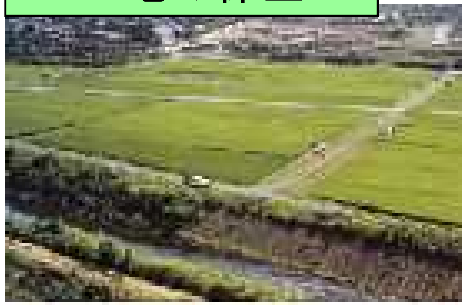
○災害リスク等の提示

・様々な災害形態、発生確率などを考慮した地域の災害リスクをわかりやすく提示
・きめ細かな防災情報の提供

流域が一体となった治水対策の推進

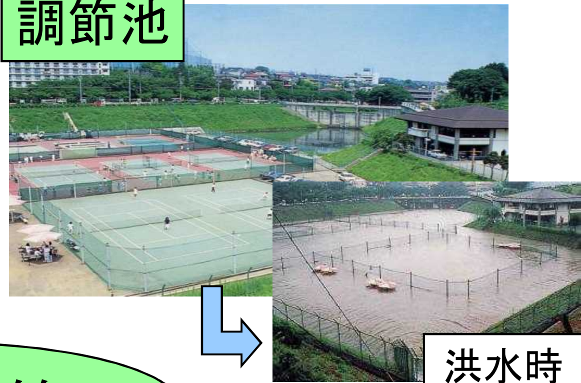
○ 河川対策、下水道対策に加え、調節池などの整備により「ためる」、浸透ますなどの整備により「しみこませる」などの流域対策を組み合わせ、流域が一体となった治水対策を推進

遊水機能を有する土地の保全



校庭貯留

調節池



洪水時

浸透ます・浸透トレンチ

流域対策

流域が一体となった治水対策

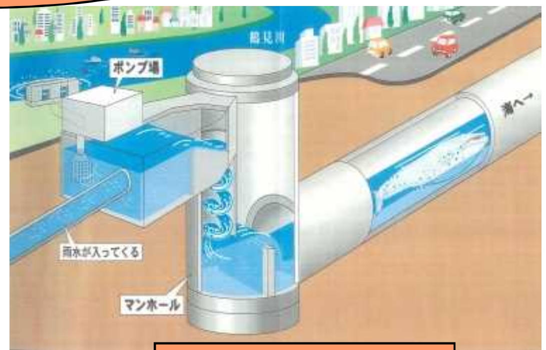
河川対策

下水道対策

洪水調節施設

河道整備

内水排除施設



雨水貯留管

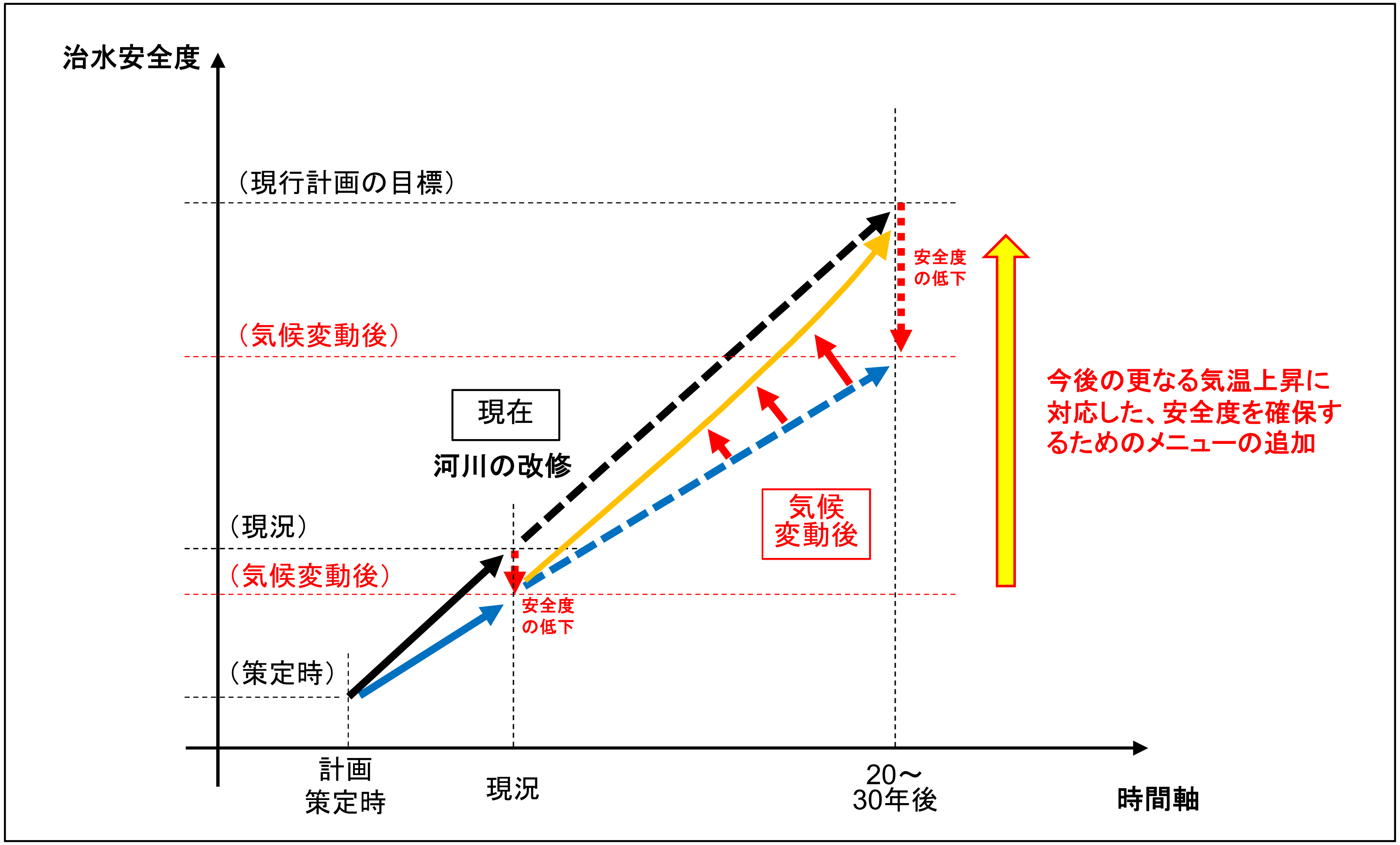
迅速な氾濫水の排除

○ 氾濫水を早期に排除するための排水門の整備や排水機場等の耐水化等を実施

気候変動に対応した整備のイメージ

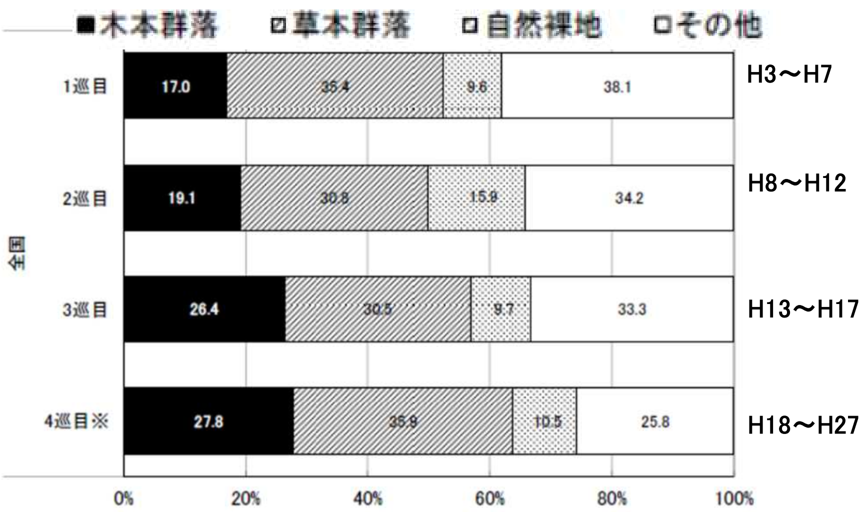
○ 気候変動に伴う外力の増加により、各河川の治水安全度が全体的に低下。
○ 今後のさらなる気温上昇により治水安全度が低下する恐れがあるため、目標とする治水安全度を確保するためのメニューの追加が必要。

＜治水施設の整備への影響（現在～将来）＞

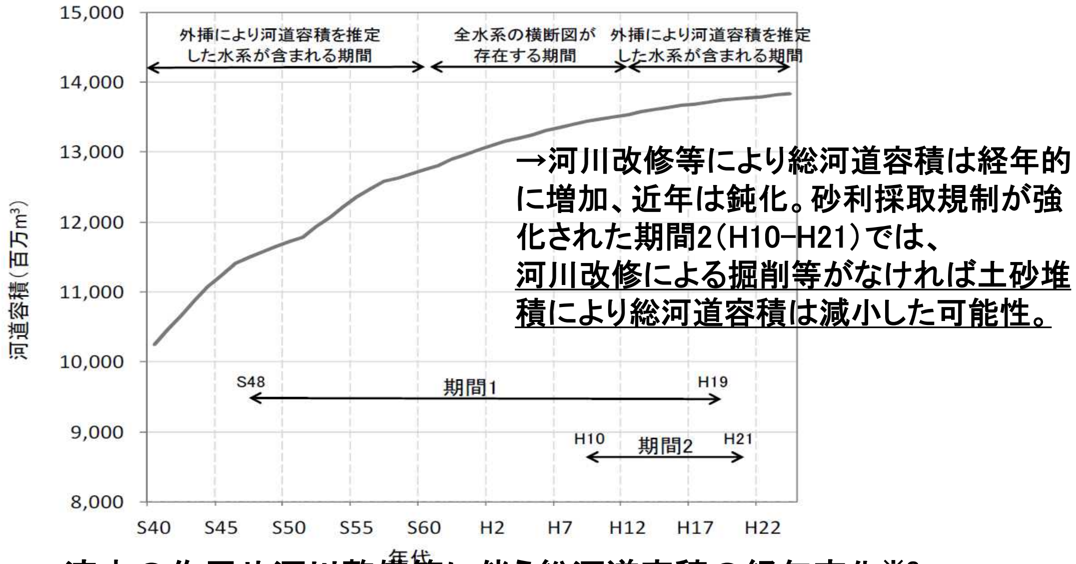


計画の見直しと合わせて実施すべき事項（維持管理の高度化・効率化）

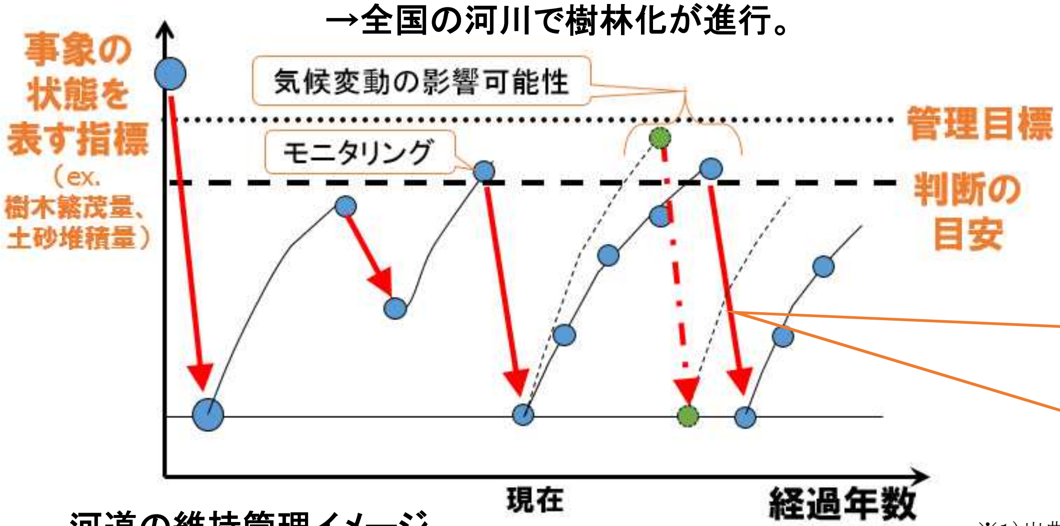
○近年、河川全体で樹林化等が進行。気候変動に伴う気温やCO_2濃度の変化、洪水規模の増大に伴う掃流力の変化等の影響がどの程度寄与しているかは現段階では不明ながら、長期的には、河川内の樹木の生育環境や土砂の生産・移動環境へ影響が生じる可能性がある。
○河川内の樹木や土砂のモニタリングの充実等を図り、一層効率的・効果的な維持管理を行っていく必要がある。



河川内における木本群落等の総面積割合の変遷※1
→全国の河川で樹林化が進行。



流水の作用や河川整備等に伴う総河道容積の経年変化※2
（直轄河川、樹木の影響分は除く）



河道の維持管理イメージ
→モニタリング等の充実と適時適切な維持管理の実施が必要。

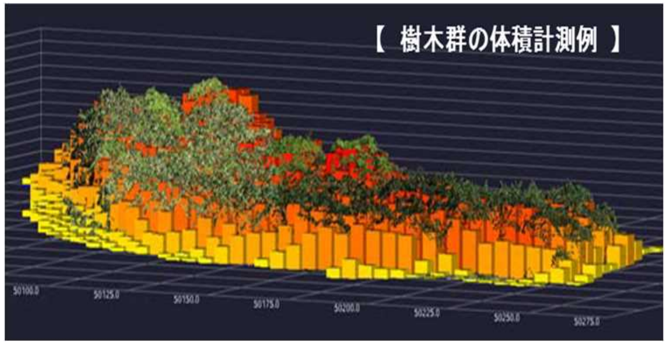
維持管理対策の実施（土砂掘削、樹木伐採）

※1）出典：これまでの河川水辺の国勢調査結果 総括検討〔河川版（生物調査編）〕,H29.2
4巡目としている集計では、当時の各河川の最新データを使用している
※2）出典：桝屋ら,全国一級水系における河道容積の年平均変化率について,河川技術論文集,第21巻,2015年6月に一部加筆

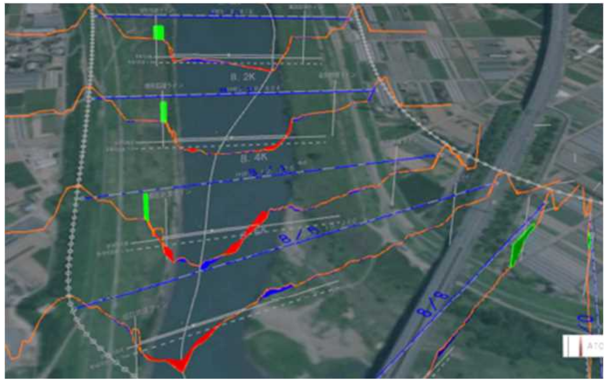
計画の見直しと合わせて実施すべき事項（維持管理の高度化・効率化）

○ 土砂堆積や侵食、樹木繁茂状況等モニタリングについて、レーザ計測の活用等により高精度化を図る。
○ 定期的な計測によって得られた3次元データを用い、河川の流下能力評価等を行って、重点監視箇所や樹木伐採・土砂掘削等の対策必要箇所を抽出。維持管理計画に反映して、計画的に対策を実施。
○ 計測データの蓄積により、中長期的な河床変動や植生変化の予測等に活用。

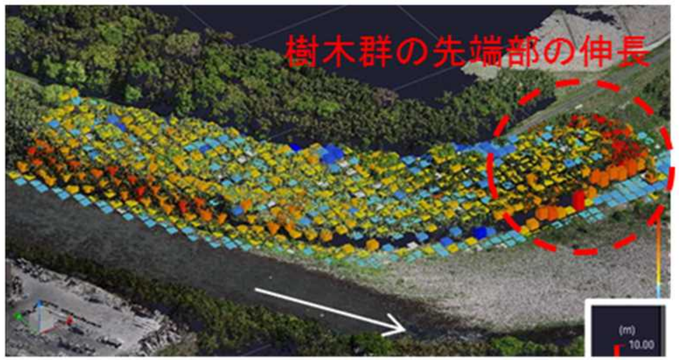
- レーザ計測等を活用し、樹木繁茂量や樹高の変化、土砂の堆積・侵食量等を定量的に把握する等モニタリングを充実し、維持管理計画に反映



レーザ計測により樹木群の繁茂体積を算出した例

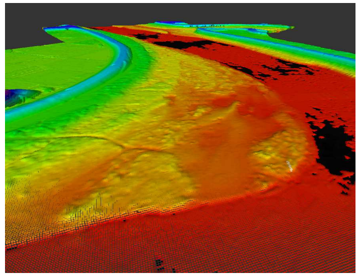


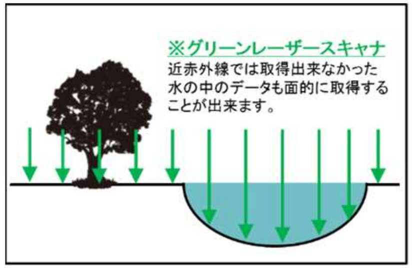
最新のレーザ計測データと過去の横断測量データの重ね合わせにより、経年的な土砂の堆積・侵食状況を把握した例



2時期の航空写真測量の重ね合わせにより樹木群の伸長状況を把握した例

- 陸上と水中の地形等を同時に計測可能な小型レーザセンサを搭載したドローンを開発し、モニタリングに活用





【モニタリングの充実と計画的な維持管理対策の実施】

モニタリング（定期的な計測の実施） → モニタリングを踏まえた評価 → 計画的な対策の実施

出水後等の不定期計測データ等も活用

✓ 三次元点群データ等の取得
✓ 樹木の繁茂状況、土砂堆積状況等の定量的把握　等

✓ 流下能力評価等により要対策箇所等の抽出
✓ 維持管理計画（土砂掘削・樹木伐採計画）の見直し　等

参考資料の内容

- I.　顕在化している気候変動の状況
- II.　気候変動を踏まえた水災害対策の考え方
- III.　気候変動に関するシナリオや温室効果ガスの排出抑制の状況
- IV.　将来の降雨の変化等に関する評価
- V.　気候変動を踏まえた治水計画等の考え方
- VI.　その他

IPCC第5次評価報告書による将来の気候変動シナリオ

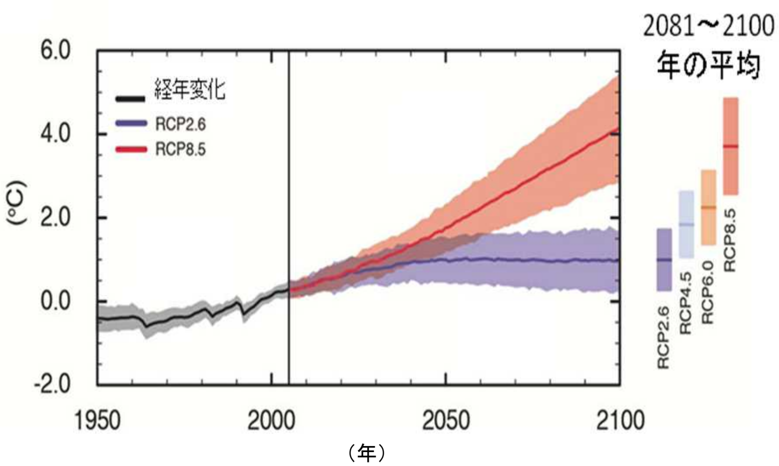
○ IPCC第5次評価報告書では、温室効果ガス濃度の推移の違いによる4つのRCPシナリオが用意されている。

○ 具体的には、パリ協定における将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという目標に相当する排出量の最も低いRCP2.6や最大排出量に相当するRCP8.5、それら中間に値するRCP4.5、RCP6.0が用意されている。

＜ RCPシナリオの概要＞　＜将来予測＞

略称	シナリオ（予測）のタイプ	世界平均地上気温（可能性が高い予測幅）	世界平均海面水位（可能性が高い予測幅）	日本の大雨による降水量の変化
RCP 2.6	低位安定化シナリオ （世紀末の放射強制力 2.6W/㎡） 将来の気温上昇を 2℃以下に抑えるという目標のもとに開発された**排出量の最も低いシナリオ**	+0.3~1.7℃	+0.26～0.55m	+7.9~14.5%
RCP 4.5	中位安定化シナリオ （世紀末の放射強制力 4.5W/㎡）	+1.1~2.6℃	+0.32～0.63m	+8.0~16.0%
RCP 6.0	高位安定化シナリオ （世紀末の放射強制力 6.0W/㎡）	+1.4~3.1℃	+0.33～0.63m	+14.8~18.2%
RCP 8.5	高位参照シナリオ （世紀末の放射強制力 8.5W/㎡） 2100 年における温室効果ガス排出量の**最大排出量に相当するシナリオ**	+2.6~4.8℃	+0.45～0.82m	+18.8~35.8%

＜世界平均地上気温変化＞



※RCPシナリオ：代表濃度経路シナリオ （Representative Concentration Pathways）

※放射強制力：何らかの要因（例えばCO_2濃度の変化、エアロゾル濃度の変化、雲分布の変化等）により地球気候系に変化が起こったときに、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支（放射収支）の変化量（Wm^{-2}）。正のときに温暖化の傾向となる。

※世界平均地上気温と世界平均海面水位は、1986～2005年の平均に対する2081～2100年の偏差

※日本の大雨による降水量の変化は、全国における上位5%の降水イベントによる日降水量の1984~2004年平均に対する2080~2100年平均の変化率

※出典：JCCCA,IPCC第5次評価報告書特設ページ,2014,http://www.jccca.org/ipcc/ar5/rcp.html
文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省,IPCC第5次評価報告書　第1次作業部会報告書（自然科学的根拠）の公表について,2015.3 , http://www.env.go.jp/press/files/jp/23096.pdf
気象庁・環境省,日本国内における気象変動予測の不確実性を考慮した結果について（お知らせ）,2014.12, https://www.env.go.jp/press/19034.html

パリ協定の締結（2016年11月）

COP21（気候変動枠組条約 第21回締約国会議）において、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための国際枠組みとして、産業革命以降の平均気温上昇を2度未満に抑制することなどを目的としたパリ協定が採択され、2016年11月に締結された。

パリ協定のポイント

【目的】 産業革命以降の平均気温上昇を2度未満に抑制し、1.5度未満に抑制するよう努力する。

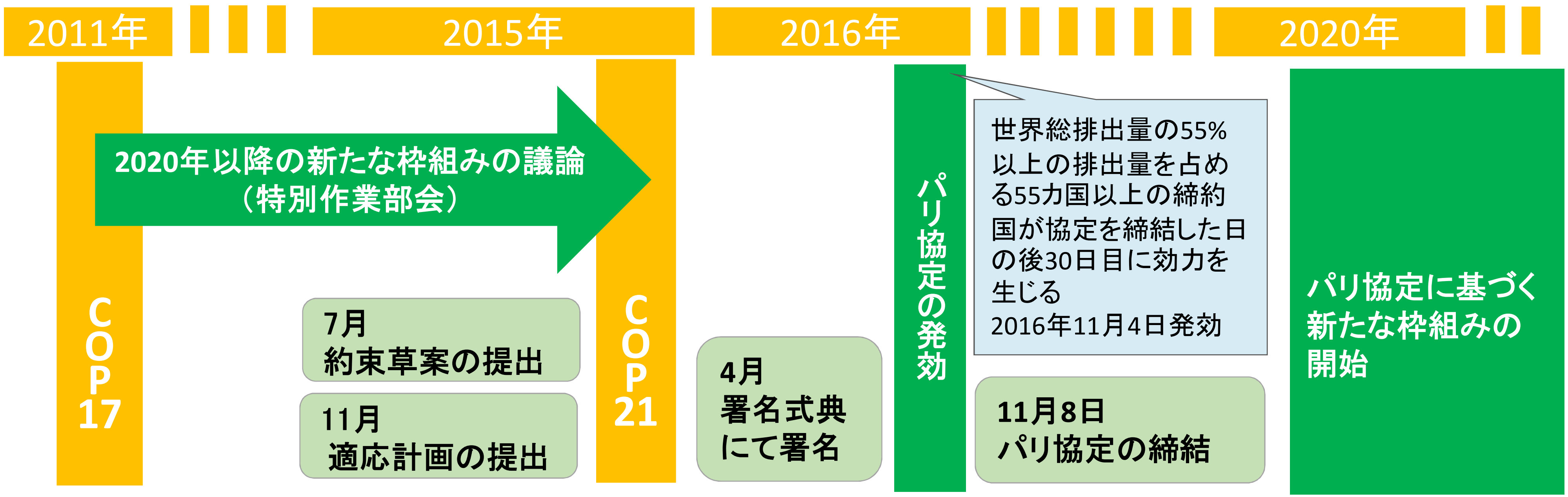
【長期目標】 世界の温室効果ガス排出量をなるべく早く減少に転じさせる。
今世紀後半には排出量と吸収量を均衡させる。

【削減目標】 各締約国が独自に削減目標を作成し国連に提出し5年ごとの更新と国内対策を義務づけ。
また、長期の温室効果ガス低排出発展戦略を作成・提出するよう努力すべき。

【適応】 適応についての世界的な目標を設定する。各締約国は適応報告書を提出し、定期的に更新する。

【途上国支援】 先進国が引き続き資金を提供するとともに、先進国以外も自主的に資金を提供。

【実施状況の確認】 世界全体の実施状況の確認を、最初は2023年に、その後は5年ごとに実施する。



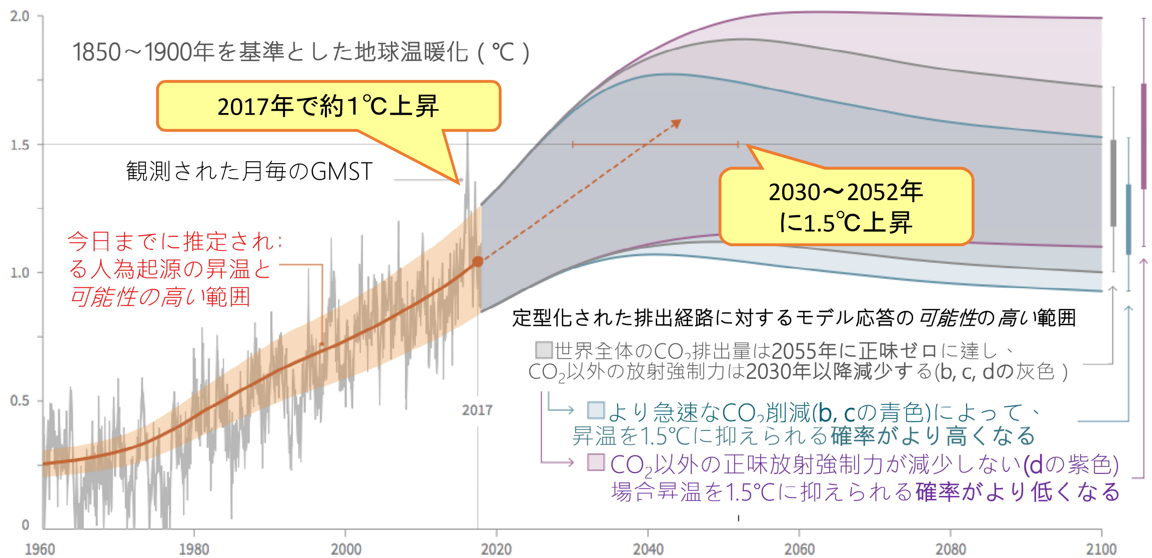
IPCC「1.5℃特別報告書」の概要

○ 気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）第21回締約国会議（COP21）においてパリ協定が採択され、いわゆる「2℃目標」と「1.5℃の追及」が示された。
○ それを受け、UNFCCCがIPCCに対して、1.5℃の地球温暖化による影響や温室効果ガスの排出経路に関する特別報告書を準備するよう要請し、2018年10月にIPCCが「1.5℃特別報告書」を公表。

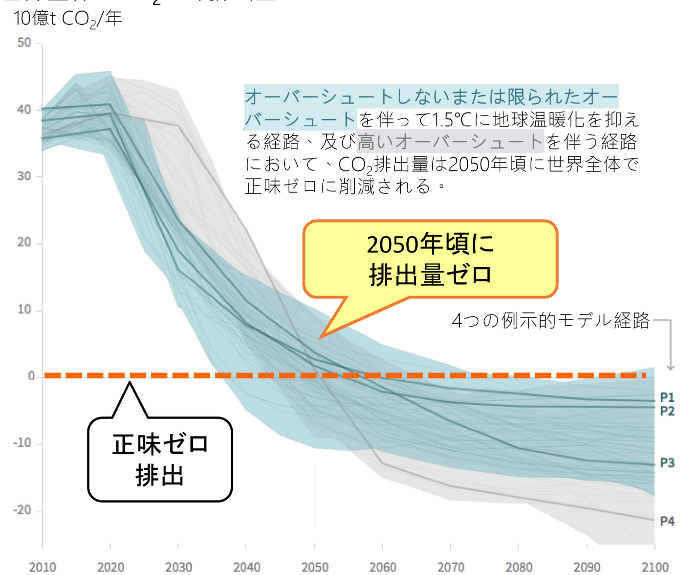
1.5℃特別報告書のポイント

- 工業化以降、人間活動は約1℃の地球温暖化をもたらしており、現在の進行速度では、2030年～2052年に1.5℃に達する。
- 1.5℃に抑えるには、社会のあらゆる側面において前例のない移行が必要であり、CO2排出量を2050年頃にはゼロに抑える必要がある。
- パリ協定の下で、各国が提出した目標に基づく排出量では、地球温暖化を1.5℃に抑制することはないだろう（確信度が高い）。

a)　観測された地球全体の気温変化並びに定型化された人為起源の排出及び強制力の経路に対するモデル応答



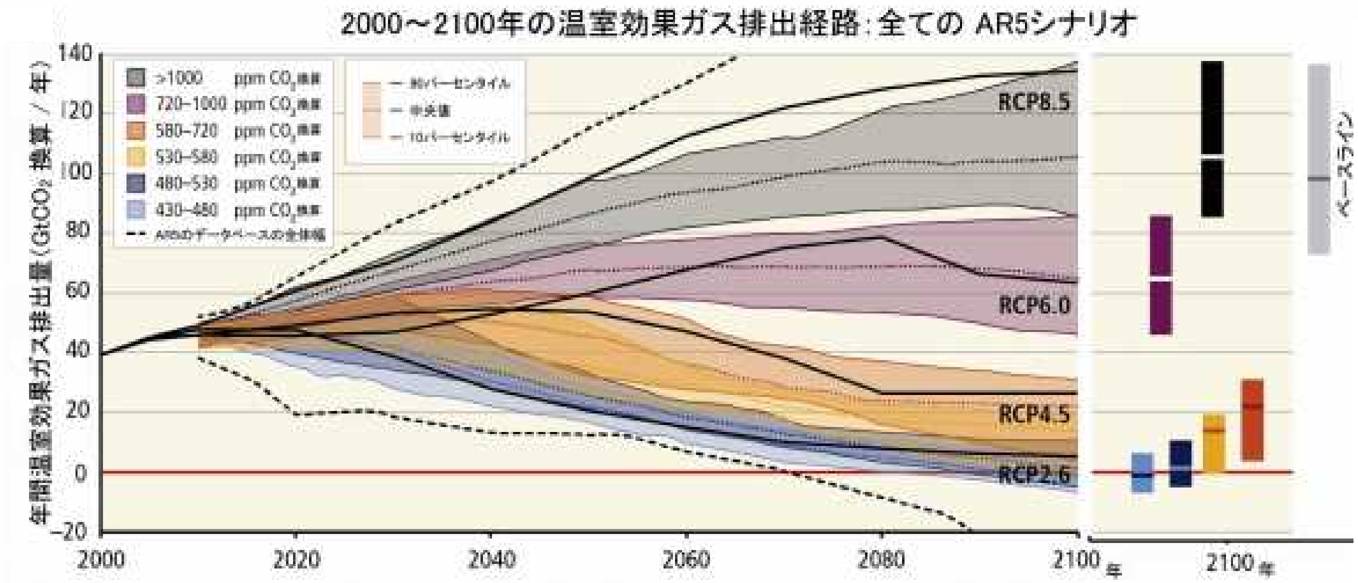
世界全体のCO_2正味排出量



出典：政策決定者向け要約の概要、IPCC「1.5℃特別報告書」の概要をもとに作成

世界の温室効果ガス排出量の推移

○ IPCCの第５次評価報告書におけるRCP2.6（2℃未満に抑えるシナリオ）を実現するには、2100年までに温室効果ガス排出量をゼロまたはマイナスにする必要。
○ 国連環境計画（UNEP）によると、世界の二酸化炭素排出量は、近年横ばいであったものの、2017年に4年ぶりに増加しており、パリ協定の目標を達成するためには、現在の緩和策とペースでは不十分と指摘。



出典：IPCC第5次評価報告書政策決定者向け要約
https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th_pdf/ar5_syr_spmj.pdf

世界のエネルギー消費によるCO2排出量変化（1971～2017）

出典：CO2 emissions from fuel combustion 2018 HIGHLIGHTS
https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018-highlights

UNEP　Emissions Gap Report 2018　での記述

2. Global greenhouse gas emissions show no signs of peaking. Global CO_2 emissions from energy and industry increased in 2017, following a three-year period of stabilization. Total annual greenhouse gases emissions, including from land-use change, reached a record high of 53.5 $GtCO_2e$ in 2017, an increase of 0.7 $GtCO_2e$ compared with 2016. In contrast, global GHG emissions in 2030 need to be approximately 25 percent and 55 percent lower than in 2017 to put the world on a least-cost pathway to limiting global warming to 2°C and 1.5°C respectively.

世界の温室効果ガス排出量はピークの兆しを見せていない。
2017年の世界のエネルギーおよび産業からのCO2排出量は、3年間の安定した期間を経て増加した。

https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018

参考資料の内容

I. 顕在化している気候変動の状況

II. 気候変動を踏まえた水災害対策の考え方

III. 気候変動に関するシナリオや温室効果ガスの排出抑制の状況

IV. 将来の降雨の変化等に関する評価

V. 気候変動を踏まえた治水計画等の考え方

VI. その他

Ⅳ．将来の降雨の変化等に関する評価

（１） 将来の降雨の予測データ

（２） 将来降雨の予測データの評価

（３） 気候変動予測モデルを活用した影響分析

現在、公表されている将来の降雨の予測データ

	名称	気候変動シナリオ	領域モデル解像度	ダウンスケーリング手法	領域モデル	対象期間	計算パターン及び公表状況
約20年の計算	NHRCM20 21世紀末における日本の気候 【環境省・気象庁】	RCP2.6//8.5	20km	力学的	NHRCM20	現在(1984-2004) 将来(2080-2100)	現在：3パターン 将来：3パターン(RCP2.6)、9パターン(RCP8.5)
	NHRCM02 統合プログラム 【文科省】	RCP2.6	5km/2km	力学的	NHRCM02	現在(1980-1999) 将来(2076-2095)	現在：4パターン 将来：4パターン
	NHRCM05 創生プログラム 【文科省】	RCP8.5	5km/2km	力学的	NHRCM05	現在(1980-1999) 将来(2076-2095)	現在：4パターン 将来：4パターン
膨大なアンサンブル計算	d4PDF(20km) 創生プログラム 【文科省】	RCP8.5相当 (4℃上昇)	20km	力学的	NHRCM20	現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在：50パターン 将来：90パターン(6SST×15摂動)
	d4PDF(5km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5相当 (4℃上昇)	5km	力学的	NHRCM05	現在(1980-2011) 将来(2080-2111)	現在：12パターン 将来：12パターン(6SST×2摂動)
	d4PDF(5km,yamada) SI-CAT【文科省】	RCP8.5相当 (4℃上昇)	5km	力学的	NHRCM05	現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在：50パターン 将来：90パターン
	d2PDF(20km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5相当 (2℃上昇)	20km	力学的	NHRCM20	現在(1951-2010) 将来(2031-2090)	現在：50パターン 将来：54パターン(6SST×9摂動)

※検討会資料を時点更新

整備・公表が進む将来降雨の予測モデル

	約20年の計算		長期アンサンブル計算	
公表年	RCP2.6	RCP8.5	RCP8.5(2℃上昇)	RCP8.5(4℃上昇)
H27年	21世紀末における日本の気候 【環境省・気象庁】 解像度：20km　※RCP4.5、RCP6.0も計算			
H28年				d4PDFデータ 気候変動リスク情報 創生プログラム 【文科省】 解像度：20km
H29年				
H30年	統合的気候モデル 高度化研究プログラム 【文科省】 解像度：5km、2km	気候変動リスク情報 創生プログラム 【文科省】 解像度：5km、2km	d2PDFデータ	⇩ ダウン スケーリング 気候変動適応技術 社会実装プログラム(SI-CAT) 【文科省】 （北海道大学）解像度：5km 北海道・九州地方 （JAMSTEC等）解像度：5km 北海道・沖縄地方を除く全国
R元年			気候変動適応技術 社会実装プログラム(SI-CAT) 【文科省】 解像度：20km ⇩ ダウン スケーリング 気候変動適応技術 社会実装プログラム(SI-CAT) 【文科省】 （北海道大学）解像度：5km （気象研等）解像度：5km	
R2年				
R3年				

※検討会資料を時点更新

Ⅳ．将来の降雨の変化等に関する評価

（1） 将来の降雨の予測データ

（2） 将来降雨の予測データの評価

（3） 気候変動予測モデルを活用した影響分析

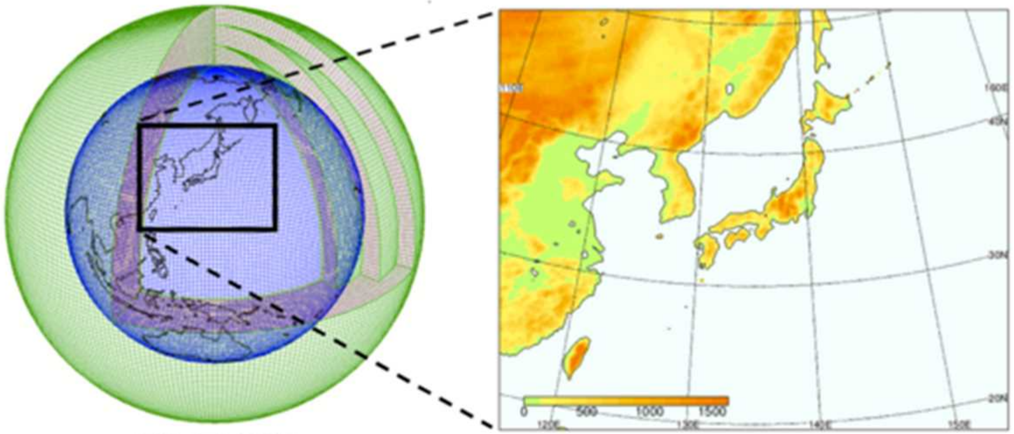
気候変動予測結果を活用した降雨量変化の試算

○ 気候変動予測モデルによる、RCP8.5（4℃上昇相当）における気候変動予測結果※1を基に、将来の降雨量変化の試算を実施。
○全世界を対象とした予測結果を基に、日本付近を対象にした高解像度（5kmメッシュ）の解析結果※2を活用することで、地形性の表現が向上するとともに、治水計画で対象とする台風や前線性降雨、集中豪雨等の再現が可能に 。
○また、気候変動予測モデルでは、数千年分の大量データによる気候予測計算※3を実施しており、初めて、災害をもたらすような極端現象の評価が可能に。

気候変動予測モデル

全世界を対象とした
モデル（60kmメッシュ）

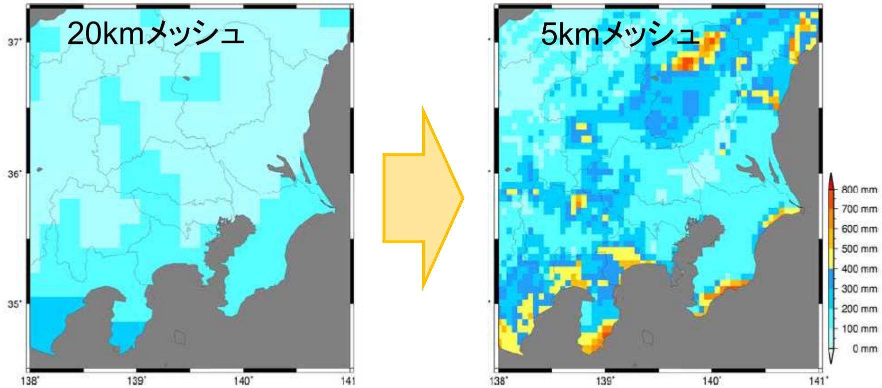
日本付近を対象とした
モデル（20kmメッシュ）



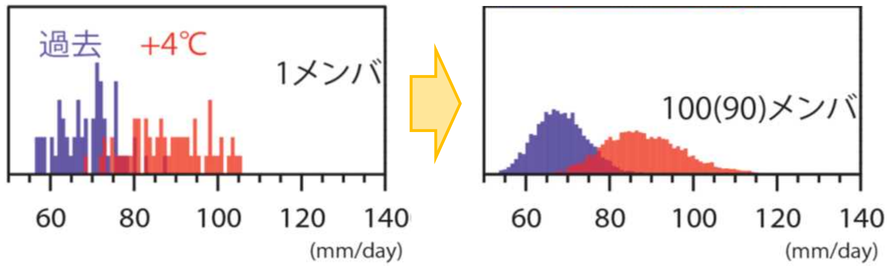
（画像：気象庁提供）

※「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」HPより抜粋

高解像度計算による詳細な降雨の評価



大量データでの計算による極端現象の評価



※1：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（d4PDF）のこと。d4PDFとは、database for policy decision making for future climate changeの略。d4PDFは、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよびJAMSTEC・地球シミュレータ特別推進課題において作成。
※2：d4PDF（5km）は、東北から九州のエリアはJAMSTECにより、北海道及び九州のエリアは北海道大学により整備された。
※3：将来気候の計算では、4℃上昇した世界をシミュレーションしており、60年間を計算対象期間とし、6種類の将来予測海面水温パターンと、それぞれに15種類の摂動を考慮。

d4PDF（20km）の特徴

【d4PDFの特徴】

○気象研究所全球大気モデルMRI－AGCMを用いた全球モデル実験と日本域をカバーする気象研究所領域気候モデルNHRCMを用いた領域モデル実験で構成されている。

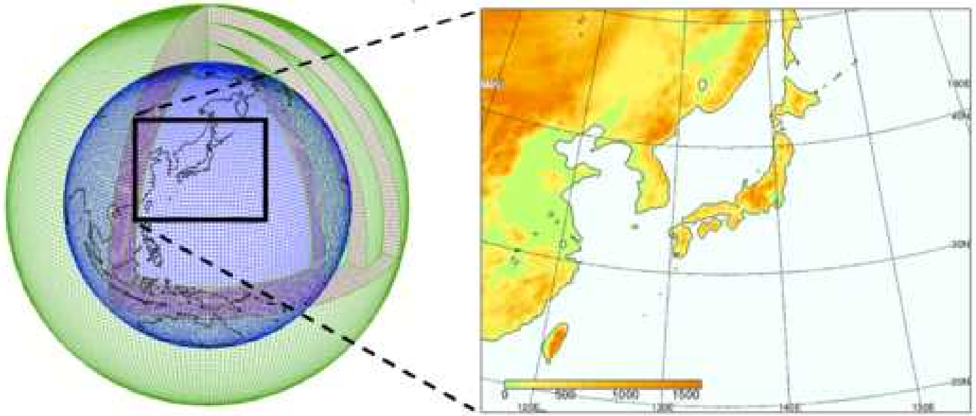
○領域モデル実験は、全球モデル実験の結果を用いて、水平格子間隔20kmにダウンスケーリングを行ったものである。

○産業革命（1850年）以前に比べて全球平均温度が4℃上昇した世界をシミュレーションした将来気候のデータと観測された海面水温等のデータを与えた現在気候のデータが存在する。

全球モデル実験　　領域モデル実験

AGCM
（水平解像度約60km）

NHRCM
（水平格子間隔20km）



（画像：気象庁提供）

※「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」HPより抜粋

将来気候：5400パターン

60年間の時間変動 ✖ 6種類の海面水温の将来変化パターン ✖ 観測不確実性を表す15摂動

※2051～2110年

※CMIP5のRCP8.5実験に基づいている

現在気候：3000パターン

60年間の時間変動 ✖ 観測不確実性を表す50摂動

※1951～2010年

※摂動の与え方について
○60年分の月平均海面水温データに、海面水温解析の推定誤差と同等の摂動を与え、海面水温の摂動に整合するように、他の入力データを調節して計算を行っている。
○現在気候では50種類、将来気候では6種類の海面水温の将来変化パターンそれぞれについて15種類の摂動を与えている。

d4PDFの計算条件（海面水温パターンと摂動）

○ 過去実験では、観測されたSST(海面水温）パターンに50の摂動を与えることにより、アンサンブル計算を実施。
○ 将来実験では、6つのSST（海面水温）パターン及び15の摂動によりアンサンブル計算を実施。

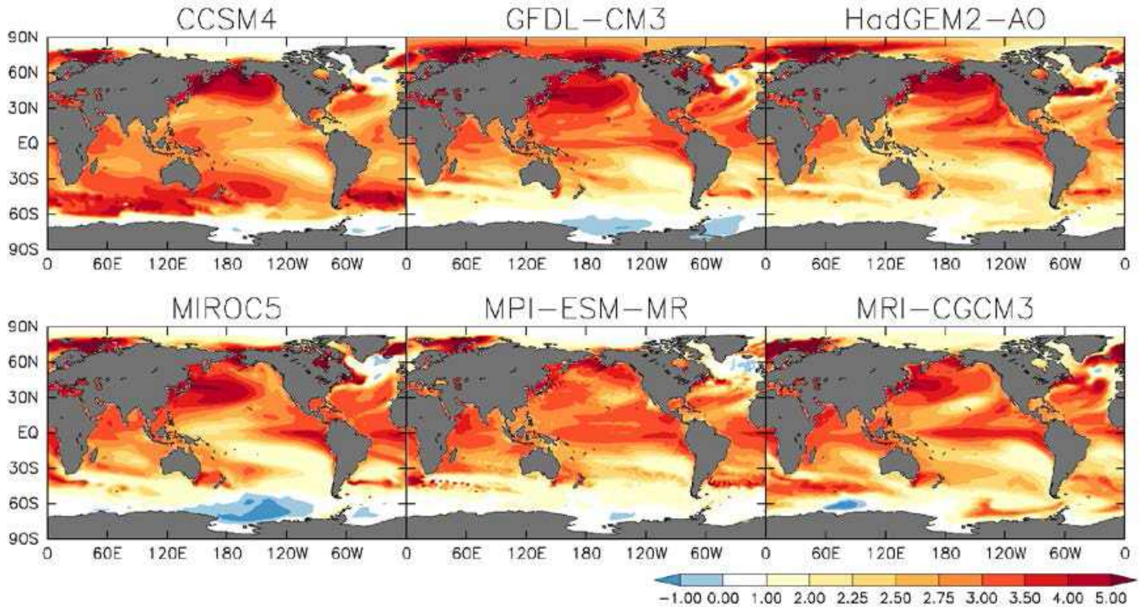
◆ 将来実験において使用しているSSTパターン

CMIP5	実験各略称	機関名
CCSM4	CC	米国　大気科学研究所
GFDL-CM3	GF	米国　地球物理流体学研究所
HadGEM2-AO	HA	英国　気象庁ハドレーセンター
MIROC5	MI	日本　海洋研究開発機構
MPI-ESM-MR	MP	独　マックスプランク研究所
MRI-CGCM3	MR	日本　気象庁気象研究所

◆摂動の作成について
○過去実験において、海面水温解析の推定誤差と同等の振幅を持つ海面水温摂動※を作成した。

○過去実験では、全球モデル（60kmメッシュ）において作成した海面水温摂動100個のうち、日本域モデル（20kmメッシュ）では50個を使用

○将来実験には、その中から任意に選んだ15個を使用した。



⇐使用したCMIP5結合モデル毎の、与えた海面水温変化パターン[K]。すべての月、すべての年、すべてのメンバーを平均したもの。

※出典：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d4PDF,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html
文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html

d2PDF（20km）の特徴

【d2PDFの特徴】

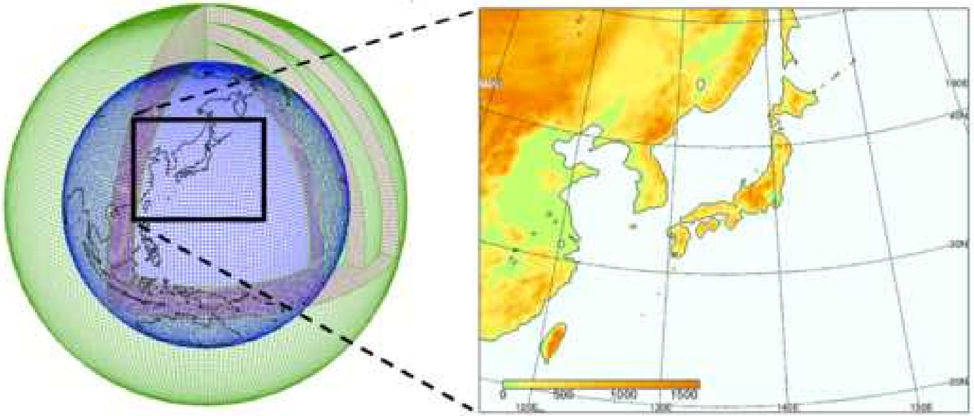
○気象研究所全球大気モデルMRI－AGCMを用いた全球モデル実験と日本域をカバーする気象研究所領域気候モデルNHRCMを用いた領域モデル実験で構成されている。

○領域モデル実験は、全球モデル実験の結果を用いて、水平格子間隔20kmにダウンスケーリングを行ったものである。

○産業革命（1850年）以前に比べて全球平均温度が2℃上昇した世界をシミュレーションした将来気候のデータと観測された海面水温等のデータを与えた現在気候のデータが存在する。

全球モデル実験　領域モデル実験

AGCM（水平解像度約60km）　NHRCM（水平格子間隔20km）



（画像：気象庁提供）

※「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」HPより抜粋

将来気候：3240パターン

60年間の時間変動 ✖ 6種類の海面水温の将来変化パターン ✖ 観測不確実性を表す9摂動

※CMIP5のRCP8.5実験に基づいている

現在気候：3000パターン

60年間の時間変動 ✖ 観測不確実性を表す50摂動

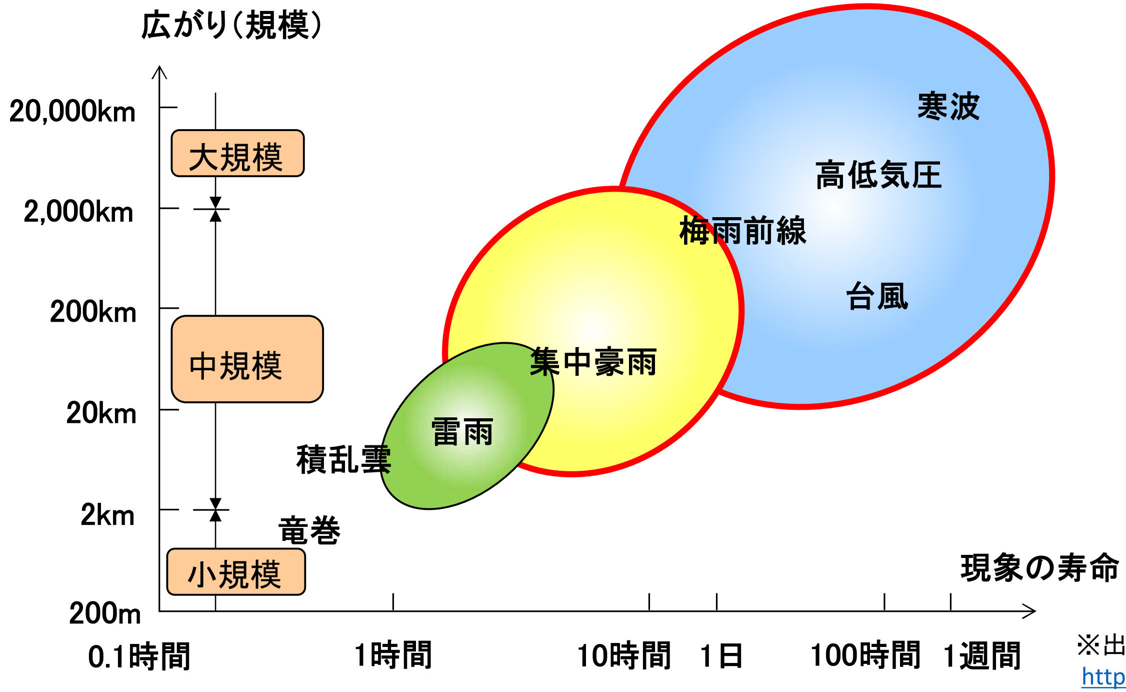
※摂動の与え方について

○海面水温の年々変動の標準偏差の30%を摂動として与え、海面水温の摂動に整合するように、他の入力データを調節して計算を行っている。

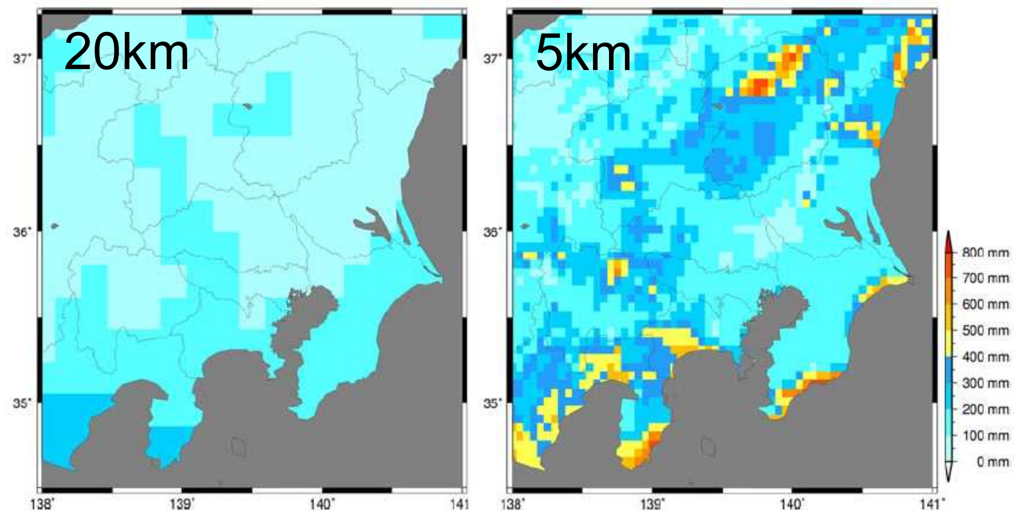
○現在気候では50種類、将来気候では6種類の海面水温の将来変化パターンそれぞれについて9種類の摂動を与えている。

数値予測モデルの格子間隔による再現性の違い

- ○ 日本において災害をもたらす、前線や台風、集中豪雨の規模にはその広がりや現象の寿命が異なる。
- ○ 予測モデルによって評価できる現象が異なることから、予測モデルの活用範囲を考慮することが必要。
- ○ 台風や前線性の降雨、集中豪雨を評価するためには、少なくとも5kmの領域解像度が必要。



○解像度20kmと5kmの違い



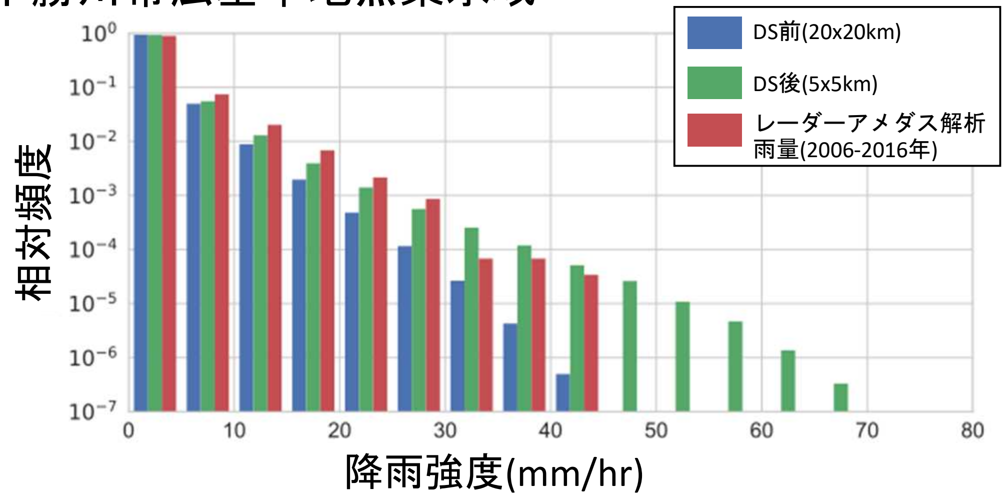
※出典：気象庁,数値予報モデルの種類,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-3-4.html

領域解像度	2km	5km	20km
領域モデル	NHRCM02	NHRCM05	NHRCM20
再現性の高い降雨時間	時間降水量～	時間降水量～	日降水量
再現性の高い気象現象	局地的な降雨 集中豪雨 前線性の降雨 台風規模の降雨	集中豪雨 前線性の降雨 台風規模の降雨	台風規模の降雨

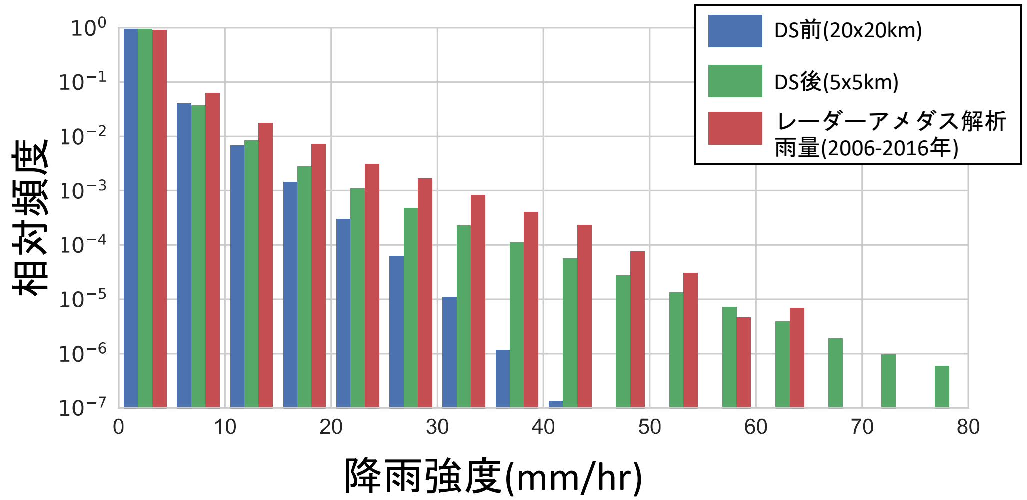
d4PDF(5km,yamada)の再現性（DS前後の比較）

〇20kmモデルは、降雨強度が強くなるにしたがって、実際の観測よりも過小評価する傾向にある。
〇5kmのDSモデルは、観測値に近い再現が可能。

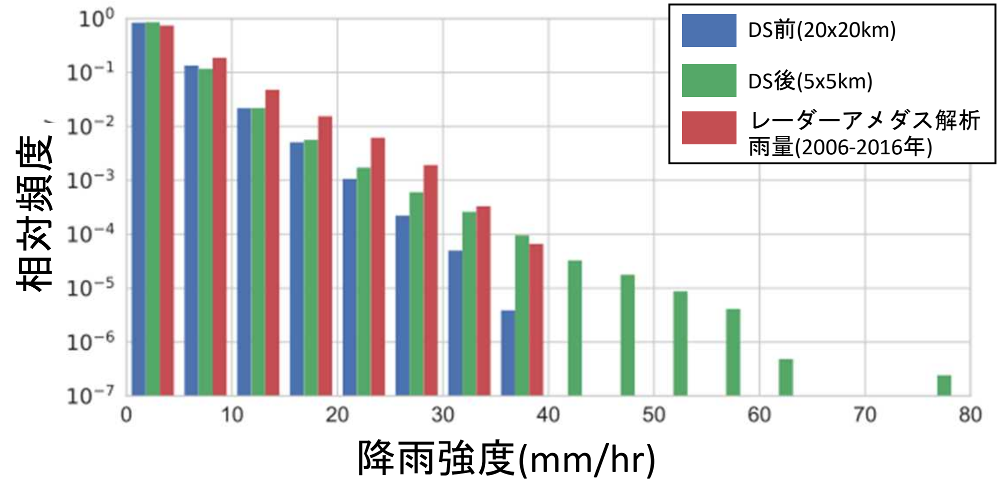
十勝川帯広基準地点集水域



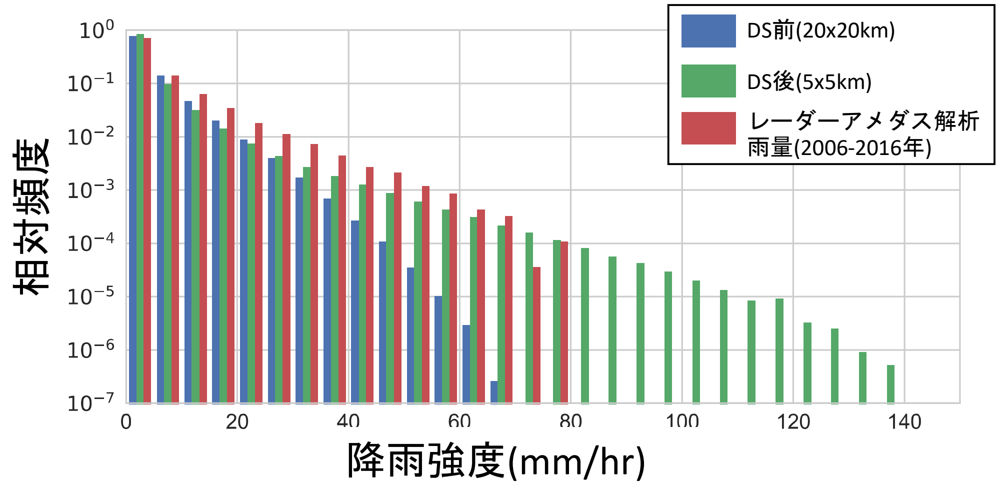
石狩川石狩大橋基準地点集水域



常呂川北見基準地点集水域



筑後川荒瀬基準地点集水域



※レーダーアメダス解析雨量は、北海道エリアでは50mm/h以上、筑後川流域では70mm/h以上の強度の降雨が計算されていない。

d4PDF(20km)の再現性（現在気候の計算値と観測値の比較①）

○年最大流域平均雨量の相対度数分布図及び累積相対度数分布により、降雨量に関する、d4PDFデータによる現在気候の計算値と観測値を比較。
○どの地域においても概ね再現性は確保できているものの、再現性の高い流域と低い流域が存在。後志利別川流域では過小評価に、阿武隈川流域では過大評価になっている。

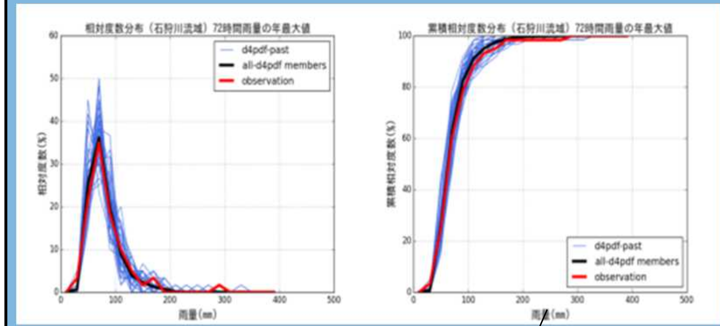
※ 各地域において、比較的再現性が高いと思われる流域と再現性が低いと思われる流域をピックアップした。

左図：年最大流域平均雨量の相対度数分布図
右図：年最大流域平均雨量の累積相対度数分布図

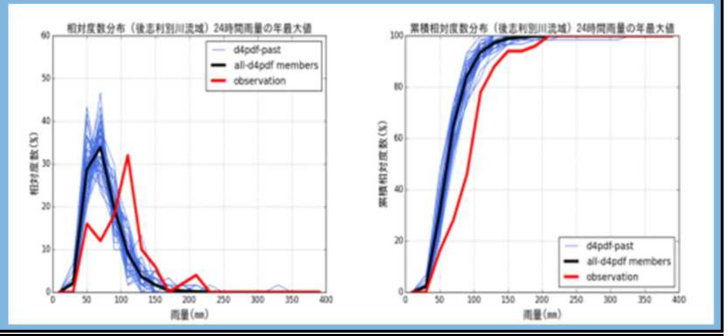
図の凡例
- d4PDF（60年分）
- d4PDF（3000年分）
- 観測値

【北日本日本海側】

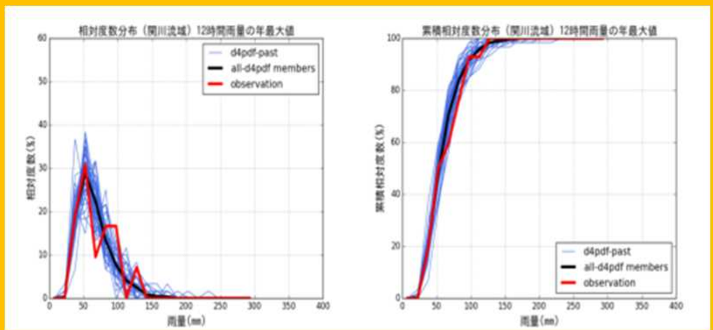
石狩川（再現性が高い例）



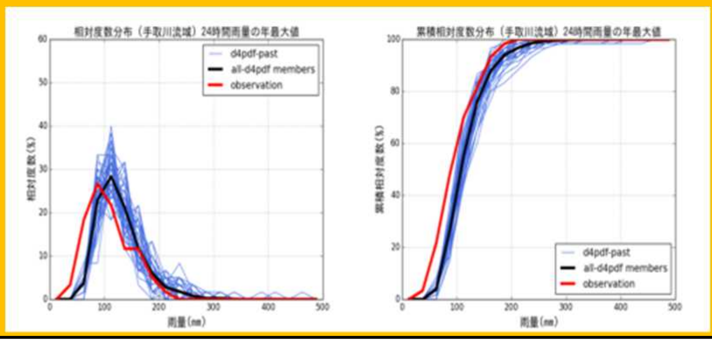
後志利別川（再現性が低い例）



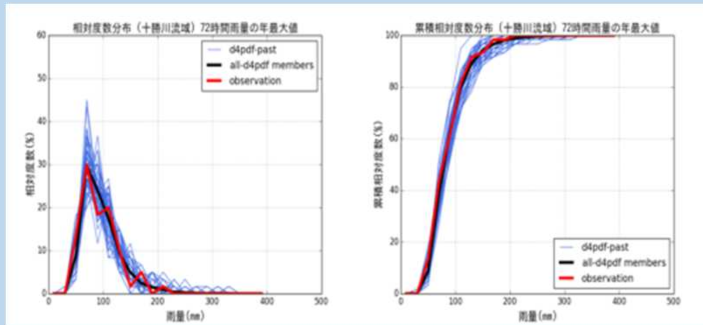
【東日本日本海側】 関川（再現性が高い例）



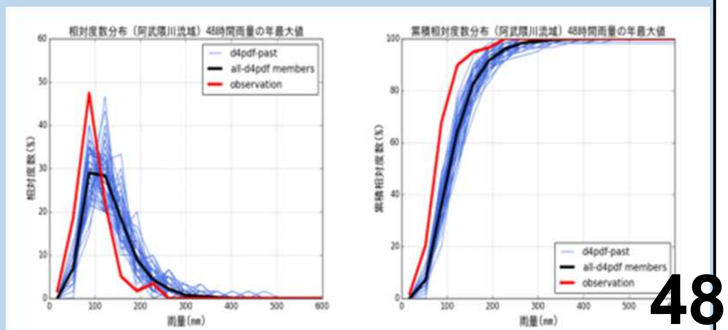
手取川（再現性が低い例）



【北日本太平洋側】 十勝川（再現性が高い例）



阿武隈川（再現性が低い例）



d4PDF(20km)の再現性（現在気候の計算値と観測値の比較②）

○どの流域においても概ね再現性は確保されているものの、再現性の高い流域と低い流域が存在。吉野川流域や筑後川流域では過小評価に、大井川流域では過大評価になっている。

※ 各地域において、比較的再現性が高いと思われる流域と再現性が低いと思われる流域をピックアップした。

左図：年最大流域平均雨量の相対度数分布図

右図：年最大流域平均雨量の累積相対度数分布図

図の凡例

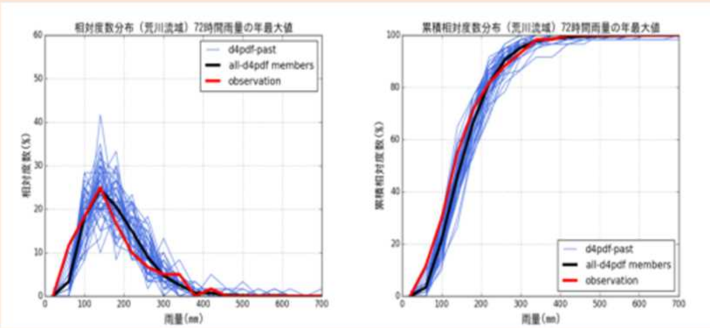
— d4PDF（60年分）

— d4PDF（3000年分）

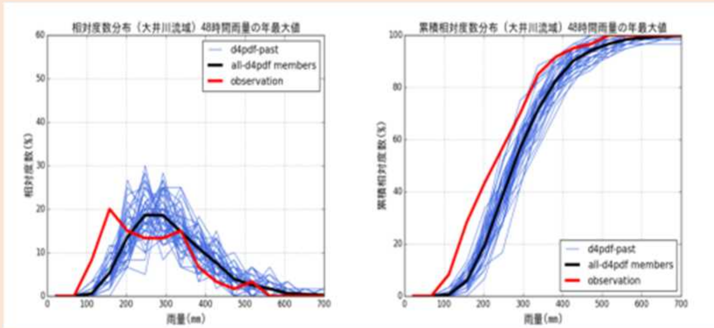
— 観測値

【東日本太平洋側】

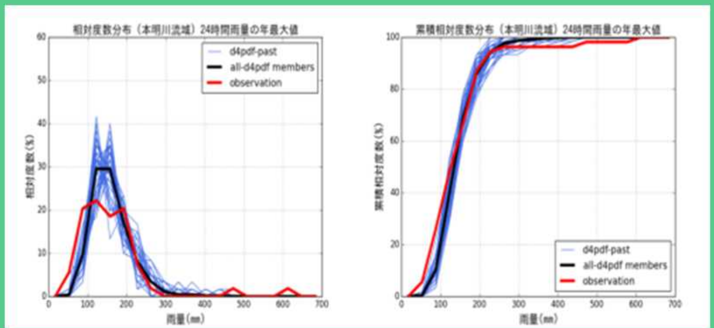
荒川（再現性が高い例）



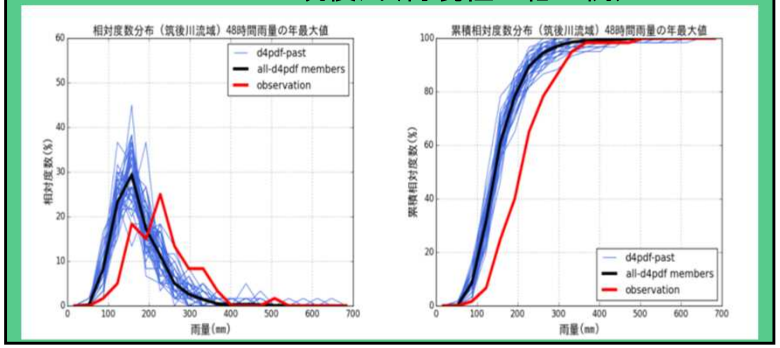
大井川（再現性が低い例）



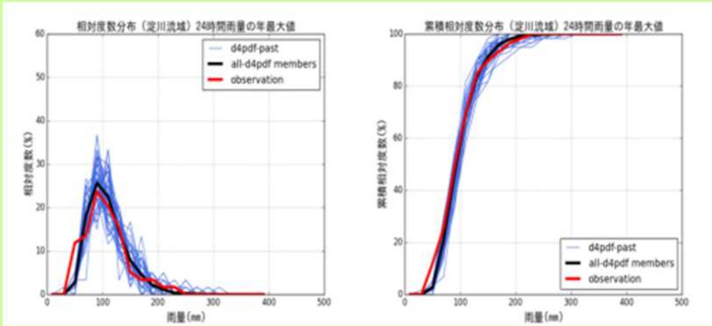
【西日本日本海側】 本明川（再現性が高い例）



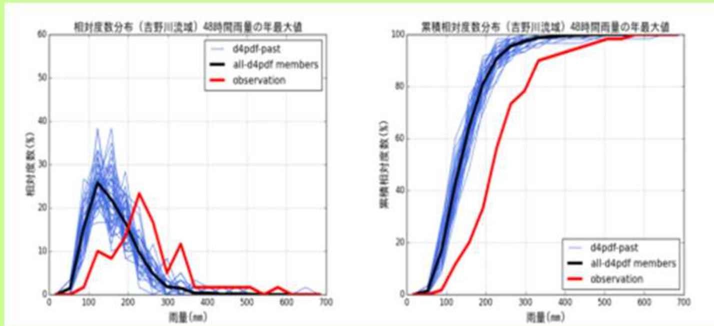
筑後川（再現性が低い例）



【西日本太平洋側】 淀川（再現性が高い例）



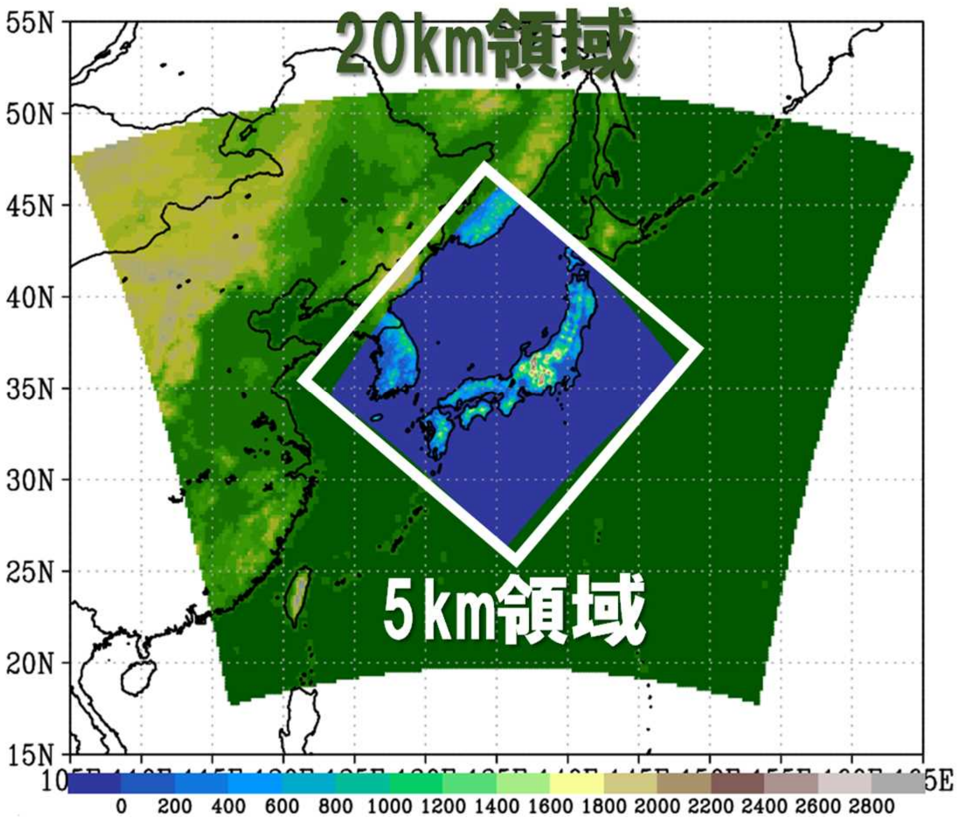
吉野川（再現性が低い例）



d4PDF・d2PDF（5km,SI-CAT）の特徴

〇SI-CATにおいて、d4PDF・d2PDF（20km）を解像度5kmへ力学的ダウンスケーリング。
〇ダウンスケーリングを行うことで、地域スケールの気候変動による影響を評価することが可能。

■解像度20kmを5kmへダウンスケーリング



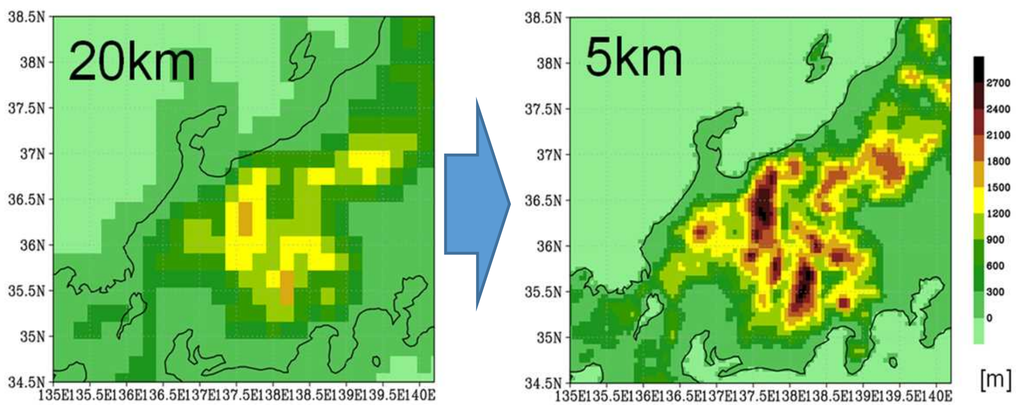
出典：佐々井崇博（東北大学），「SI-CATプロジェクトにおける 力学DSデータセットの構築」をもとに作成

■ダウンスケーリングの条件

モデル	非静力学地域気候モデル(JMA-NHRCM)
水平格子間隔	5km
初期値・側面境界値	d4PDF・d2PDF20kmRCM
初期時刻	7月24日～翌年8月30日
過去実験年数	372年分（31年×12パターン）
将来実験年数	372年分（31年×6SST×2摂動）

※今回の解析で使用したのは、過去実験・将来実験ともに360年分

■地形の再現性



d4PDF・d2PDF（5km,yamada）の特徴

地形や流域の形状をより忠実に反映するため、領域モデル実験(20x20km)をベースに5x5kmへの力学的ダウンスケーリングを実施した。

計算モデル

気象研究所非静力学地域気候モデル

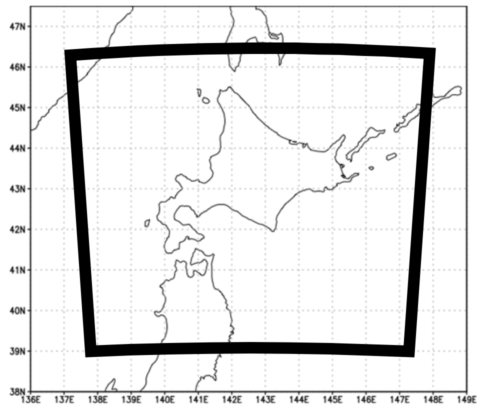
(Nonhydrostatic Regional Climate Model (NHRCM))

水平解像度：5x5km

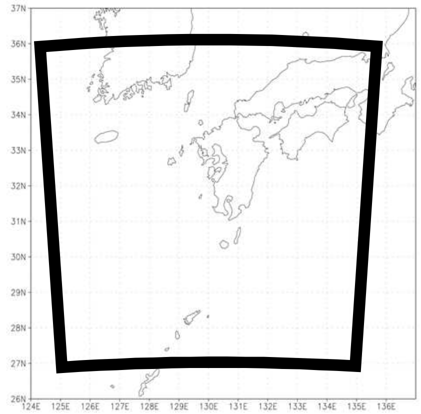
計算領域

- 計算領域1：142.5E, 42.75Nを中心に東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲（北海道）
- 計算領域2：130.0E, 31.5Nを中心に東西方向に1000km、南北方向に1000kmの範囲（中国, 四国, 九州）

計算領域1(北海道)



計算領域2(中国, 四国, 九州)



対象期間

※本検討で使用

15日間のダウンスケーリング(15日DS)

領域モデル実験において6月1日から12月1日の間で流域平均降水量が最大となる期間を含む15日間

対象流域： 十勝川、常呂川、石狩川（計算領域1）
筑後川（計算領域2）

※ 過去実験3000イベント、2℃上昇実験3240イベント、4℃上昇実験5400イベントの計算を完了済み

1年間を通したダウンスケーリング(通年DS)

7月24日から翌年8月31日までの約1年間

※ 演算量が膨大となるため、領域モデル実験において十勝川帯広基準地点集水域および筑後川荒瀬基準地点集水域での年最大流域平均降水量の大きい事例で計算を実施

計算領域1：過去実験 782年分、4℃上昇実験 869年分
計算領域2：過去実験 610年分、4℃上昇実験 812年分

地球シミュレータ特別推進課題（成果創出課題）、文科省SI-CATの支援を受けて実施

出典：山田委員提供資料

Ⅳ．将来の降雨の変化等に関する評価

（１） 将来の降雨の予測データ

（２） 将来降雨の予測データの評価

（３） 気候変動予測モデルを活用した影響分析

将来降雨の予測モデルを活用した気候変動の検討項目

d4PDF(5km)による変化倍率の条件整理

解析エリアの検証
・想定最大規模降雨の地域分類
・地域ブロックと流域の違い

SST毎の評価
・CC ・GF ・HA
・GF ・MP ・MR

予測モデルの違いの検証
・d4PDF(5km,SI-CAT)
・d4PDF(5km,yamada)

RCP8.5の地域区分毎の評価
・降雨継続時間、流域面積毎の値と平均値の算出

・RCP8.5からRCP2.6への換算係数の設定

RCP2.6へ換算（地域区分毎）
・降雨継続時間、流域面積毎の値と平均値の算出

経年変化の評価
・計画規模降水量の発生割合の推移
・現在気候の評価

調査研究結果等
・飽和水蒸気量の変化
・近年の気候変動の現象

検討項目
・降雨量の変化倍率の算出
・気候変動影響の地域偏在の評価
・現在、近未来気候の評価

降雨特性の類似する地域分類

○ 降雨量変化倍率の算出にあたり、降雨特性の類似する地域に分類
○ 想定最大規模降雨を設定した際に流域界で分割した地域区分を採用
○ 想定最大規模降雨の算出にあたって、日本の降雨特性の類似性から区分した15地域区分に分割

地域区分①:想定最大規模降雨に関する地域区分

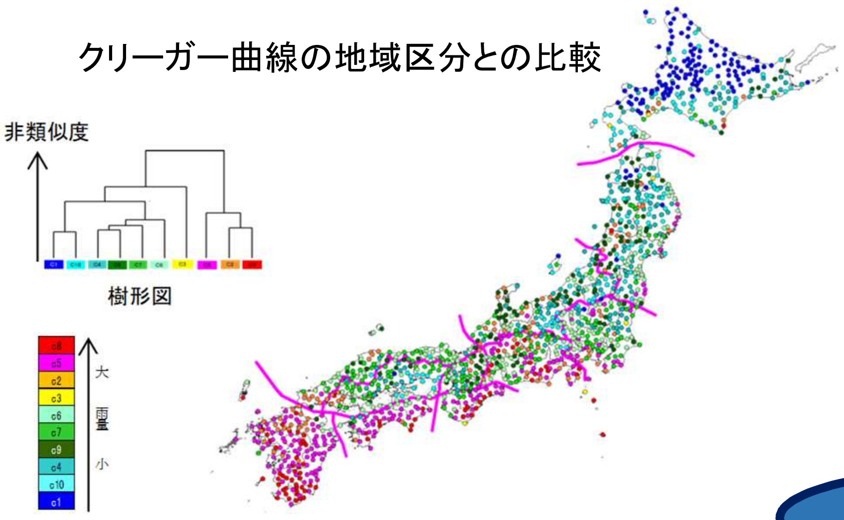
想定最大外力降雨の設定（地域区分についての考え方）

○地域区分にあたっては、既往の地域区分の事例を参考にするとともに、できるだけ客観的に分析できるように数値的な分析を行うことにより設定した。
○継続時間別の雨量を対象に、着目する2つの地域間の有意差をU検定により評価し、地域区分およびその境界位置を設定した。

既往の研究等における地域区分

クリーガー曲線の地域区分、関口による地域区分、前島による地域区分など

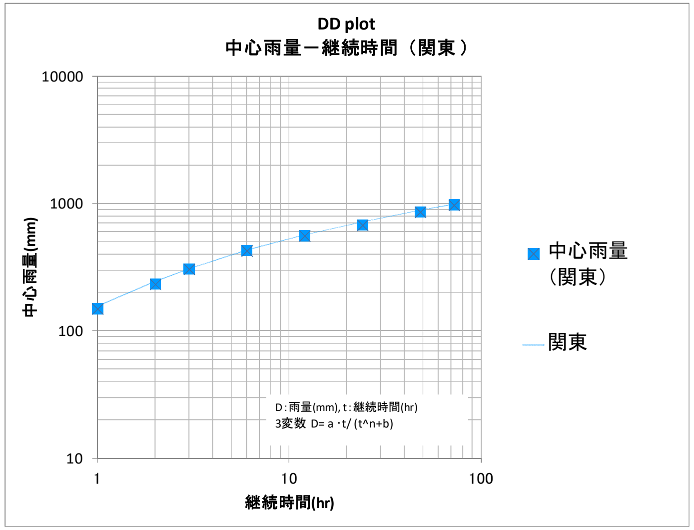
クリーガー曲線の地域区分との比較



クラスター分析

対象となる河川や下水道の検討対象降雨の継続時間等を踏まえ、雨量-継続時間（DD）係数比、年最大時間雨量（3h、24h、48h）の平均及び平均/標準偏差を用いる。

関東地区のDD図



重ね合わせ

特性が異なる地域の同等性の検証
（ Mann-WhitneyのU検定）

地域区分の決定

クリーガー曲線の地域区分

○現在の地域別比流量図は、各ダム地点等における既往最大流量に関する昭和49年3月の調査データと、その後の昭和51年までの更新データを追加し、作成されたものである。

- 全国のダム地点で記録された既往最大の比流量を、地域別に流域面積との関係を表している。
- 比流量曲線は流域面積が変数となっており、それ以外の流域の地形・地質・地被等の影響要素をすべて含んだ係数Cがパラメータになっている。

- 行政区域とあまりかけ離れないことへの配慮をしている。
- 北海道はデータが少ないため全体を1地域としたが、道南、道央などは他の地区に比較して比流量が大きい傾向を示している。

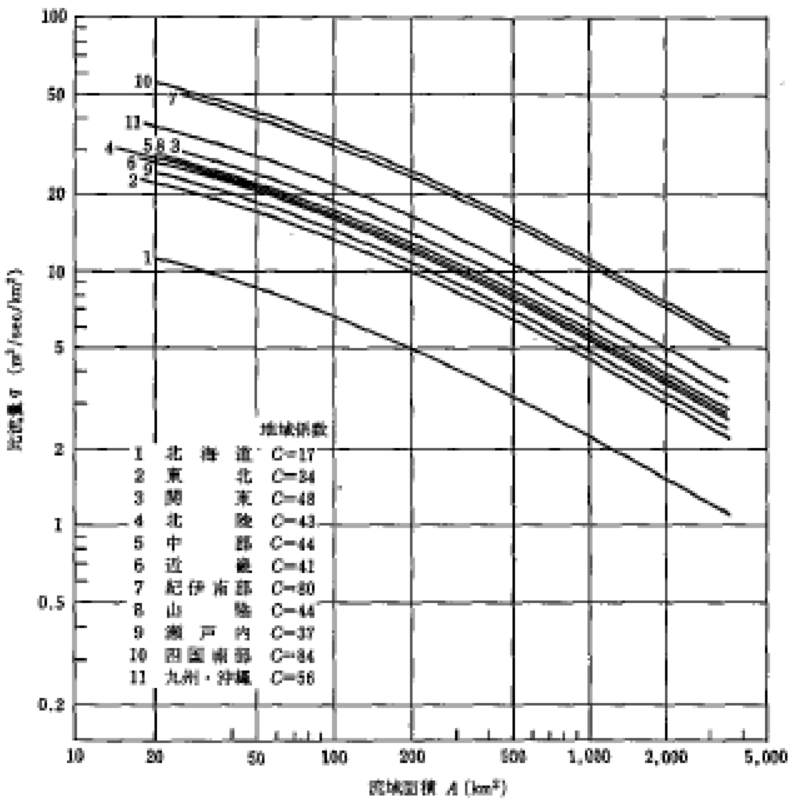


図28-1 地域別比流量図

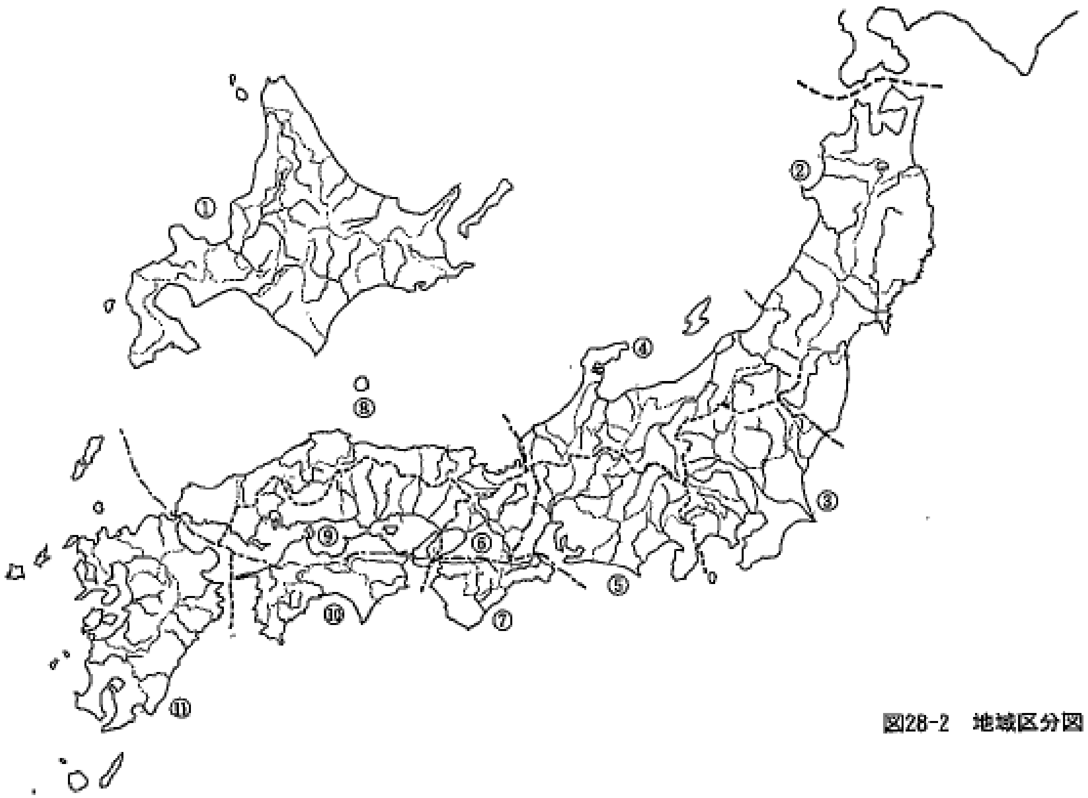
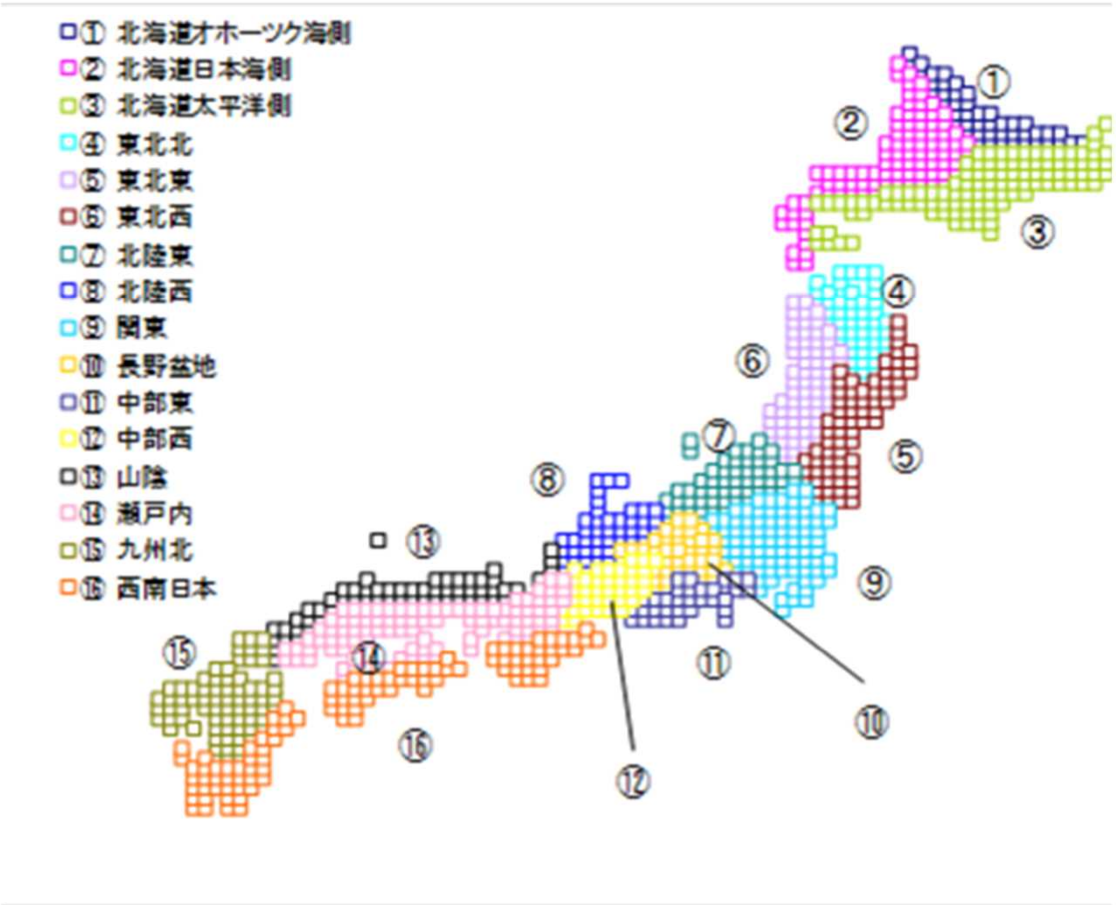


図28-2 地域区分図

妥当性を検討したその他の地域区分

地域区分②：地域別比流量図をもとに、同一性の割合が良好となるように修正した地域区分



地域区分③：気象庁・地方季節予報の予報区分

＜地域別比流量図をもとに、同一性の割合が良好となるように修正した地域区分＞
出典：国総研、気候変動適応研究本部：気候変動適応策に関する研究（中間報告）、国総研資料、第749号、平成25年8月
＜気象庁・地方季節予報の予報区分＞
出典：http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kisetsu_riyou/image/png/chihou_kubun.png

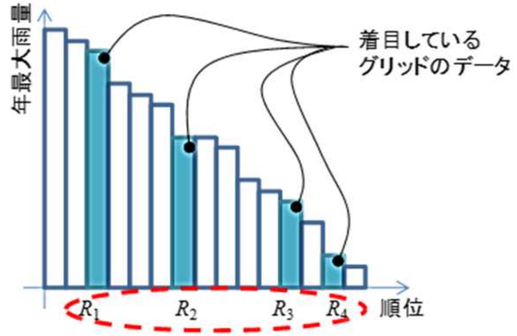
妥当性の検討方法

○ それぞれの地域区分において、各地域内の統計的な同一性を検定し、統計的に同一とみなせるグリッドの割合を算出。
○ 地域区分①～③で同一性の割合にどのような違いが出るかを検討。
○ なお、本検討において統計的に同一とは、「年最大雨量データが同一の確率密度分布に従う」ことをいう。

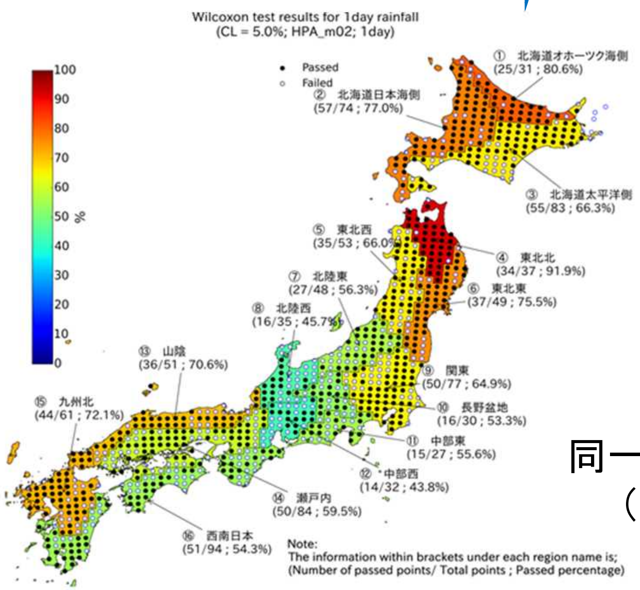
同一性の検定方法：ウィルコクソンの順位和検定

地域内の各グリッドの年最大雨量データについて、確率密度分布の同一性を検定する。

対象地域内の全ての年最大雨量データを降順に並び替える。



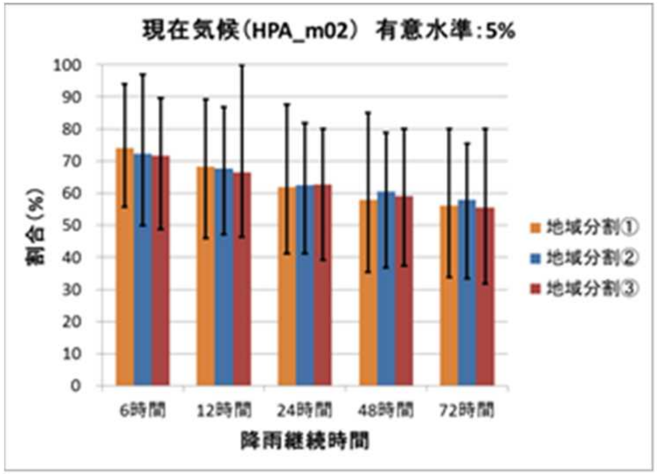
併合順位(combined rank):
混ぜあわせたデータ群の中での順位

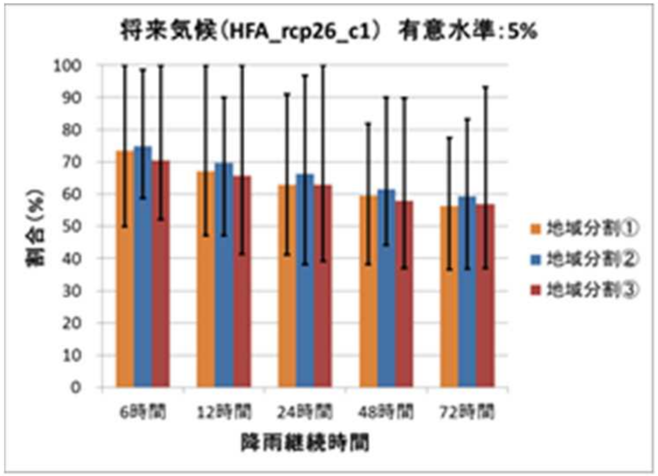


同一性検定の結果
（イメージ図）

（●：地域全体のグリッドデータに対して統計的に同一
○：地域全体のグリッドデータに対して統計的に同一でない）

統計的に同一と見なせるグリッドの割合の算出例





エラーバーは、各地域の割合の最大・最小の幅を表す

妥当性の検討結果

○ NHRCM20の出力結果を用いて、地域区分①～③それぞれの各地域において、各降雨継続時間における同一性の検定を行い、統計的に同一と見なせるグリッドの割合の算出を行った。
○ 地域区分①～③の間で大きな違いは見られず、同一性に着目した検討からは、特定の地域区分の適不適は確認されなかった。
○ 地域区分②及び③は水系を分断した地域区分となるところがあるため、今回の検討では地域区分①を用いた。

各地域平均の統計的に同一と見なせるグリッドの割合
現在気候、有意水準=5%

降雨継続時間	6 時間	12 時間	24 時間	48 時間	72 時間	平均
地域分割①	74.0	68.4	61.9	57.9	56.1	63.7
地域分割②	72.3	67.6	62.5	60.6	58.0	64.2
地域分割③	71.6	66.6	62.6	59.1	55.5	63.1

各地域平均の統計的に同一と見なせるグリッドの割合
将来気候（4SST平均）、有意水準=5%

降雨継続時間	6 時間	12 時間	24 時間	48 時間	72 時間	平均
地域分割①	74.3	69.1	63.4	59.5	57.3	64.7
地域分割②	73.2	69.1	64.6	61.2	58.6	65.3
地域分割③	71.4	67.1	63.7	59.0	56.9	63.6

各地域平均の統計的に同一と見なせるグリッドの割合
現在気候、有意水準=1%

降雨継続時間	6 時間	12 時間	24 時間	48 時間	72 時間	平均
地域分割①	84.6	81.4	76.6	71.8	70.0	76.9
地域分割②	83.4	79.3	75.6	72.7	70.8	76.4
地域分割③	83.4	79.6	75.1	72.3	68.1	75.7

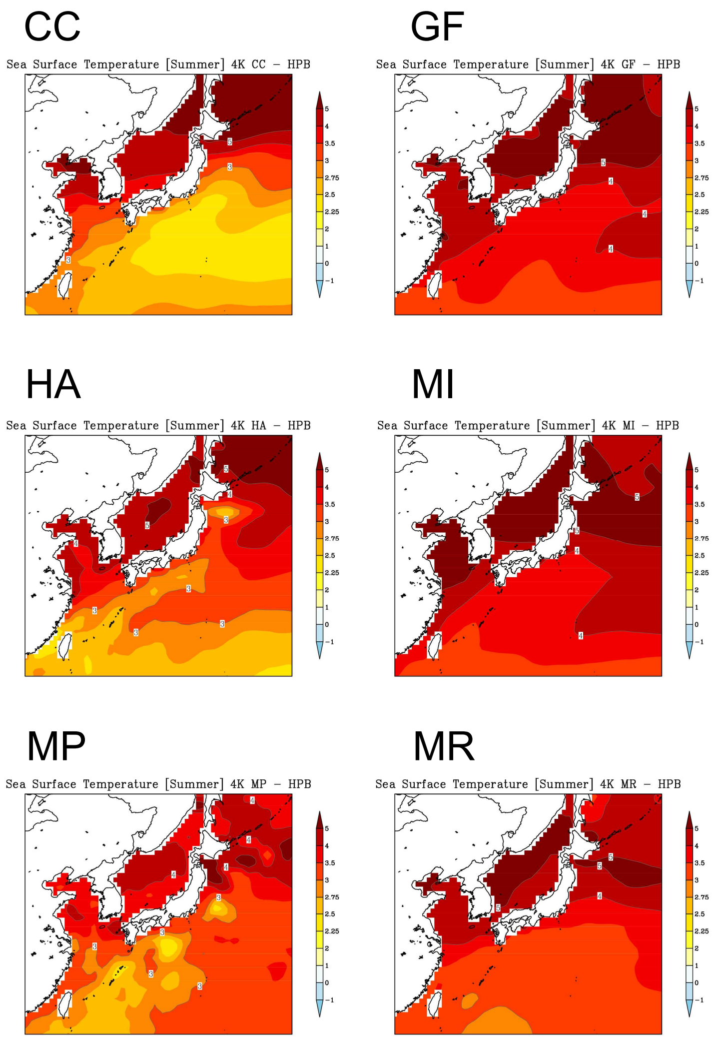
各地域平均の統計的に同一と見なせるグリッドの割合
将来気候（4SST平均）、有意水準=1%

降雨継続時間	6 時間	12 時間	24 時間	48 時間	72 時間	平均
地域分割①	85.1	81.5	76.6	72.6	70.5	77.3
地域分割②	85.1	81.2	77.9	75.3	73.0	78.5
地域分割③	83.1	79.2	75.8	72.7	70.7	76.3

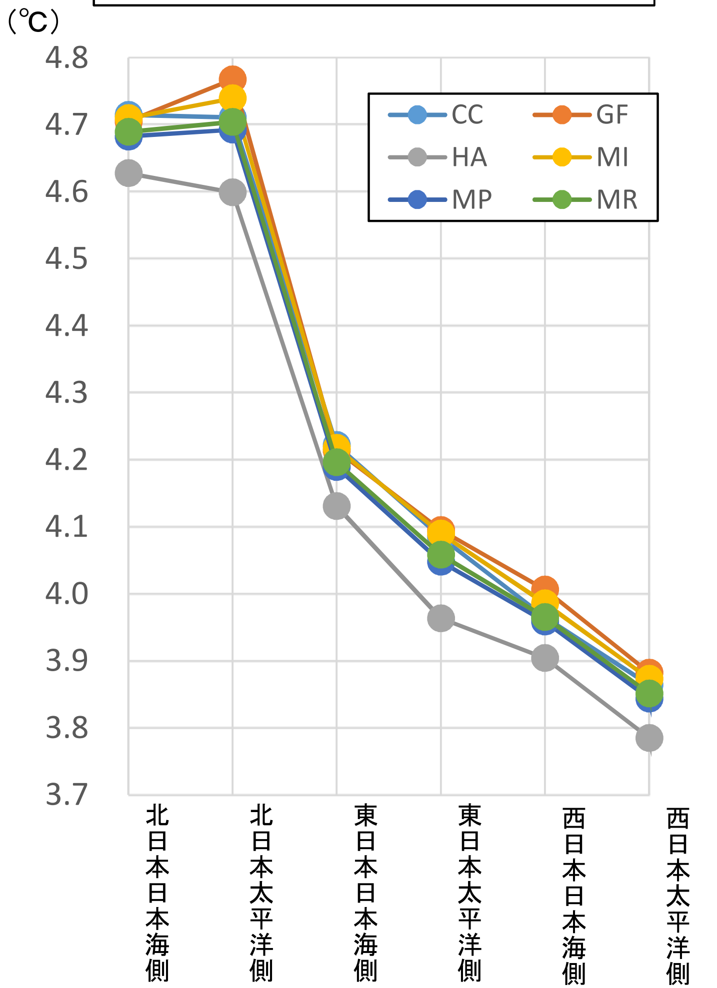
海面水温(SST)パターンにおける気温の変化と降雨量倍率の変化

○ SSTパターンによって日本近海の海面水温の上昇度合いは異なり、気温や降雨量の変化も異なる。
○ 異なるSSTパターンによる結果をまとめて一つの集合と捉えると、河川計画に用いるような極端現象の評価にあたっては特定のモデルに依存することとなるため、今回は、SSTパターンごとに評価を行うことを基本とした。

SSTパターン

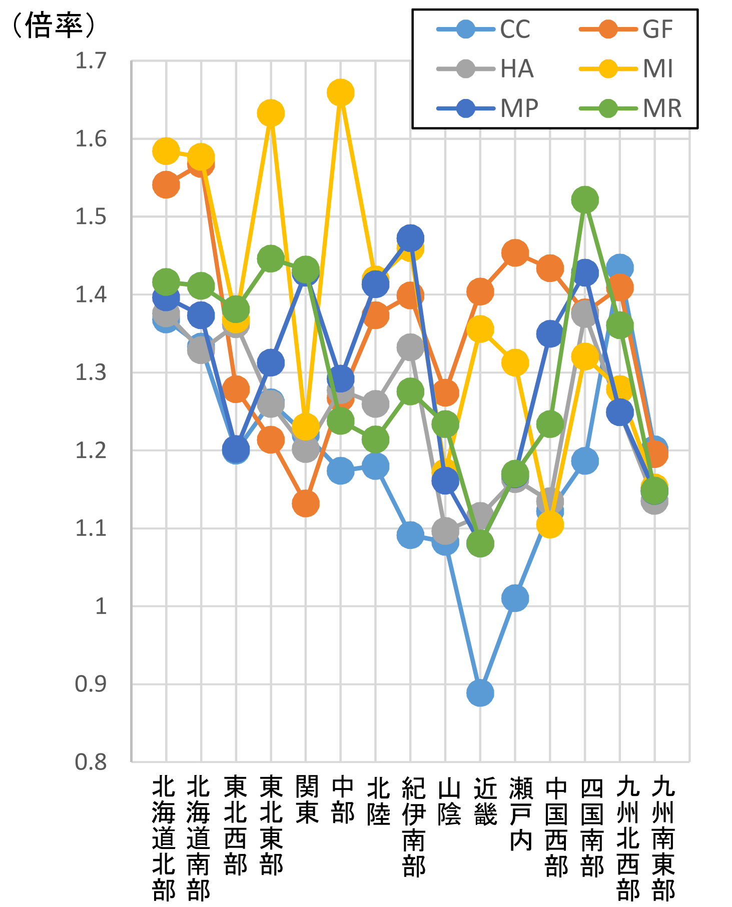


SSTごとの気温変化



6～11月の気温変化量の平均値

SSTごとの降雨量変化



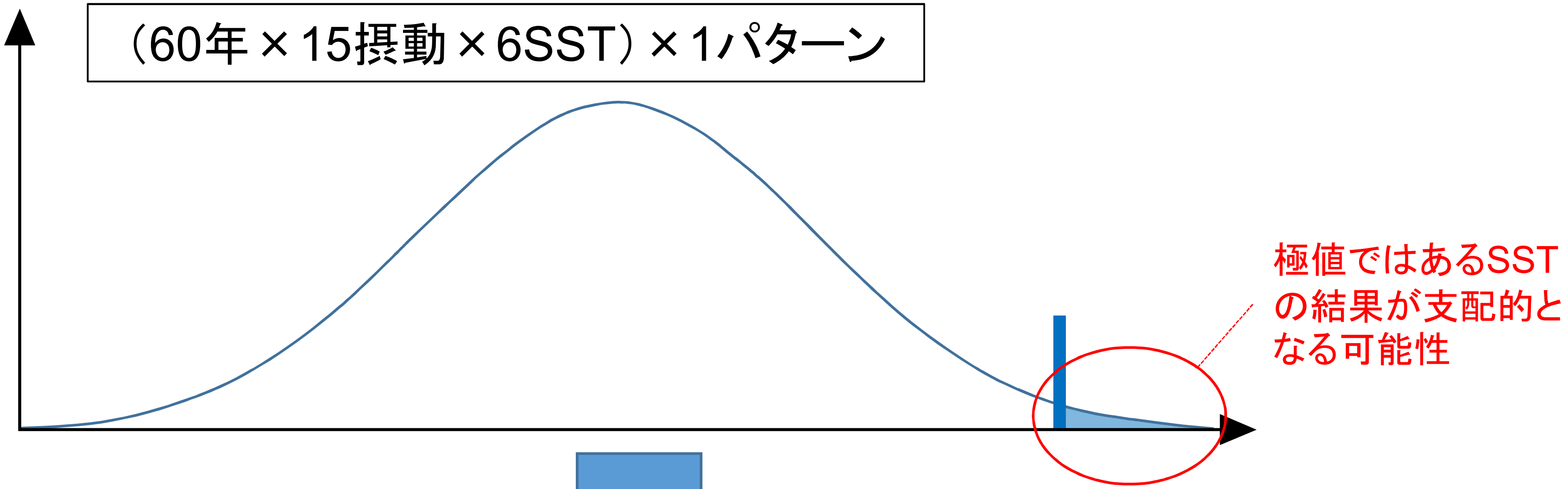
降雨継続時間：12時間　雨域面積：400km^2

気象庁気象研究所提供資料をもとに作成

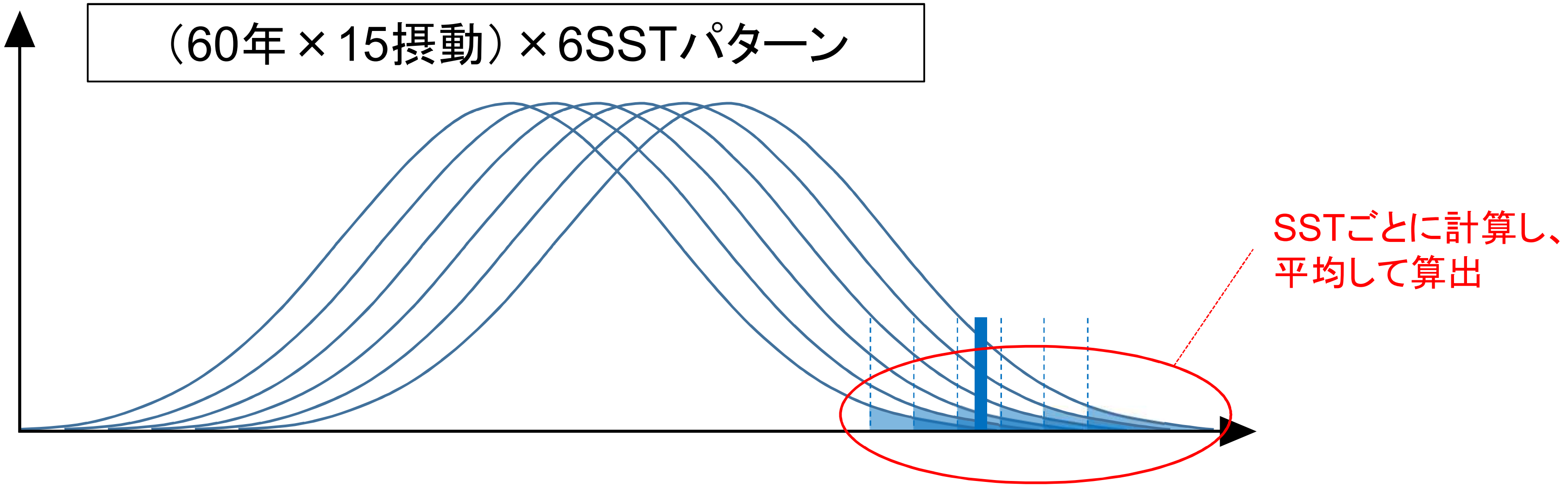
海面水温ごとに評価する理由

○ 将来実験における降水量の変化については、SSTの影響が大きい。将来実験で5400年分を1つのパターンとして計算する場合、極値では、あるSSTの結果が支配的となる可能性がある。
○ そこで、SSTごとに計算し、それらを平均することで、SSTごとの影響を考慮することが可能。

(60年×15摂動×6SST)×1パターン



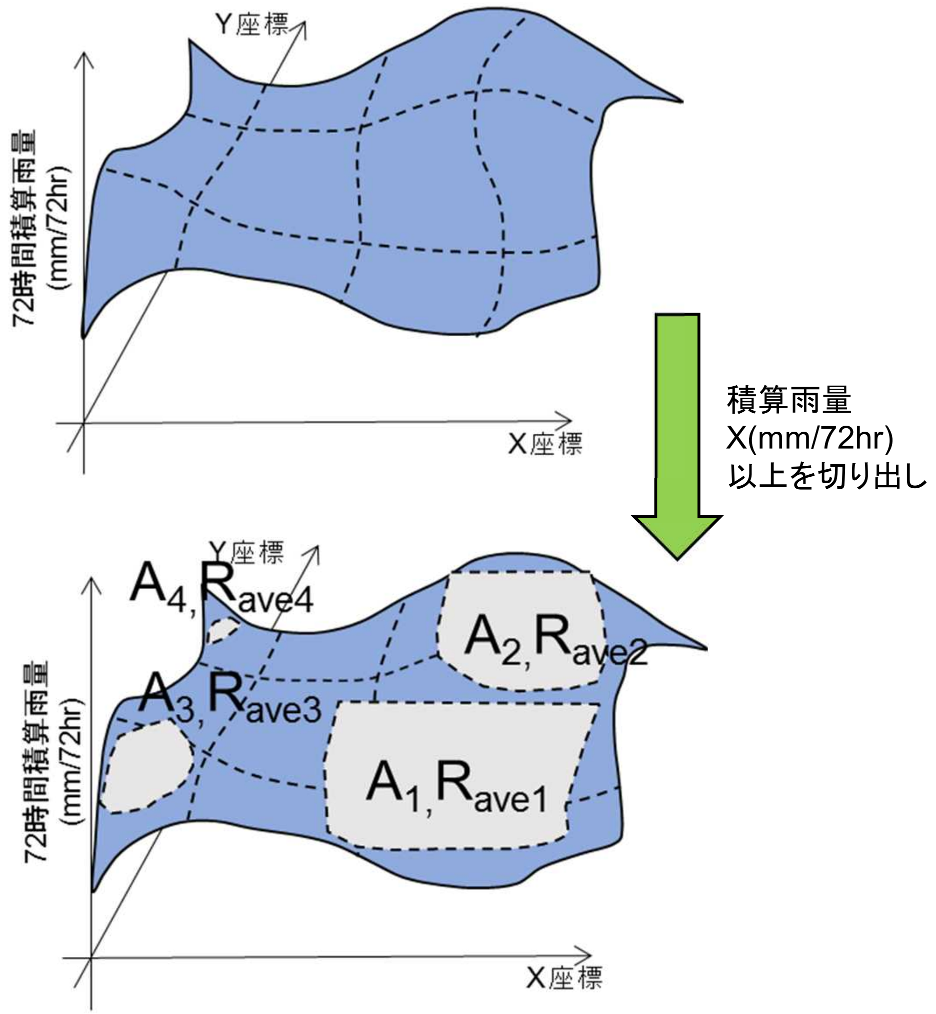
(60年×15摂動)×6SSTパターン



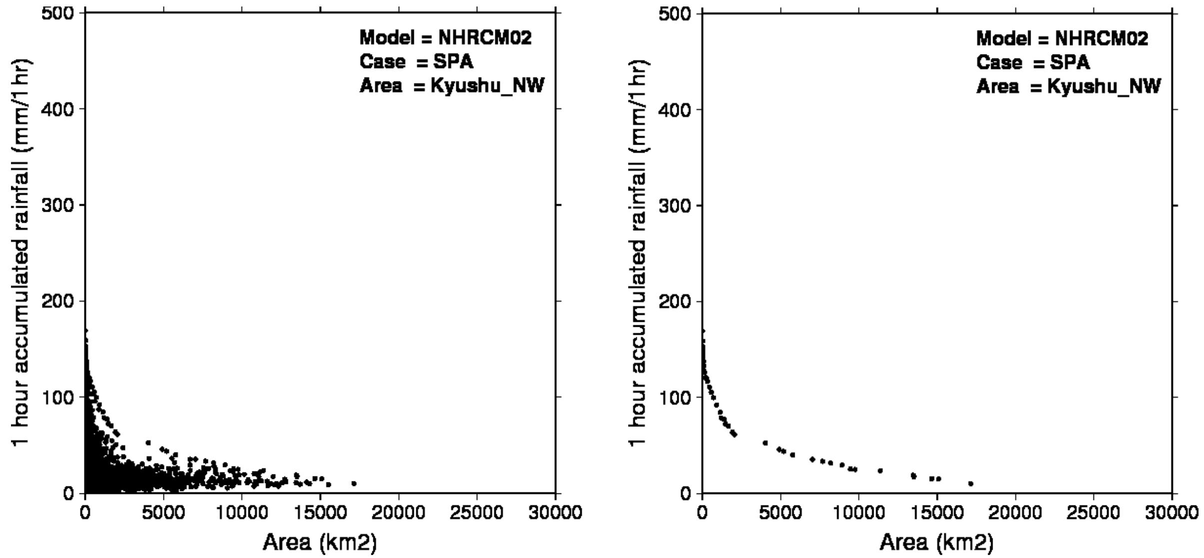
DAD解析の概要

- ○ 現在気候および将来気候における降雨の時空間分布の変化を整理するため、積算雨量D(Depth)、雨域面積A(Area)、降雨継続時間D(Duration)の関係を整理する（DAD解析）。
- ○ 面積雨量はFRM法（雨量固定法）を用いて、降雨継続時間ごとに、抽出した雨域の面積及び雨域の平均雨量を算出。
- ○ 降雨継続時間ごとに多数の積算雨量と雨域面積のデータサンプリングを行い、任意の面積ごとに最大雨量を算出。

(例)ある72時間の積算雨量分布



【解析結果イメージ】



多数の積算雨量と雨域面積のデータサンプリングを行い、雨域面積が大きくなるにつれて積算雨量が少なくなるようにデータを包絡し、任意の雨域面積に対応した積算雨量の最大値を抽出した。

d4PDF（4℃上昇）による降雨量の変化倍率の計算方法

〇現在気候360年分、将来気候360年分の降雨量データ※を用いて、地域区分毎に任意の降雨継続時間および雨域面積における年最大雨量を、現在気候及び将来気候について算出した。
〇地域区分毎に、現在気候及び将来気候について、Gumbel分布を踏まえて100年確率雨量を算出し、降雨量の変化倍率を算出した。

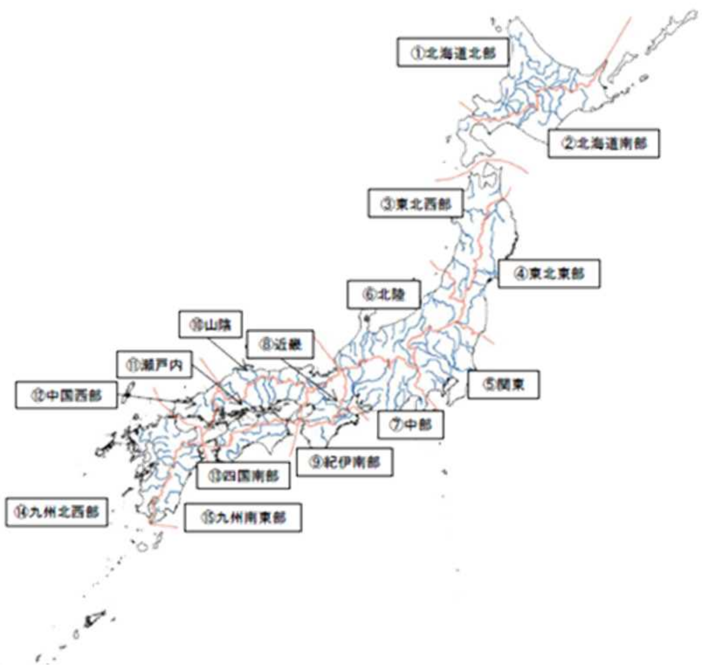
※北海道のみ現在気候3000年分、将来気候5400年分の降雨量データを用いた

①年最大雨量データの作成

現在気候及び将来気候について、地域区分毎に任意の降雨継続時間および雨域面積における年最大雨量を算出

※地域区分は想定最大規模降雨に関する地域区分を用いた

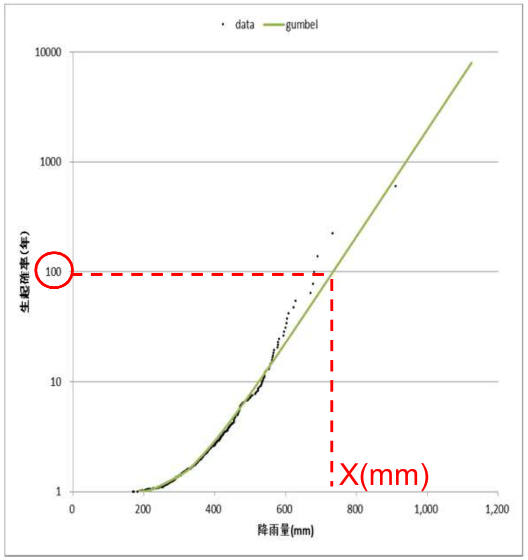
＜想定最大規模降雨に関する地域区分＞



②降雨量の変化倍率の算出

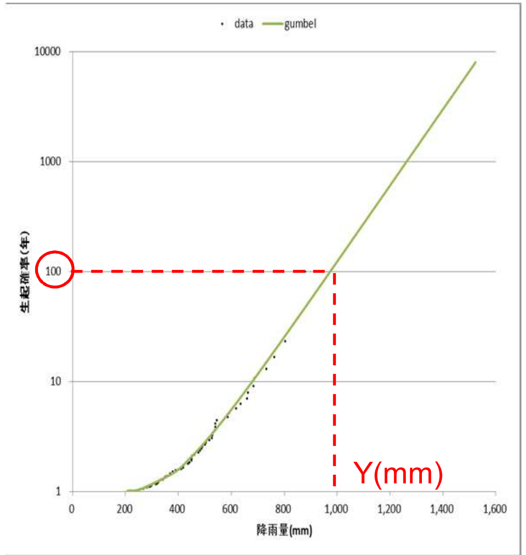
①で計算した年最大雨量を、Gumbel分布の確率密度関数を当てはめることで、100年確率雨量を現在気候及び将来気候について算出し、降雨量変化倍率を算出した。（下図の場合：降雨量変化倍率=Y／X）

＜現在気候＞



現在気候の100年確率規模の降雨量

＜将来気候＞

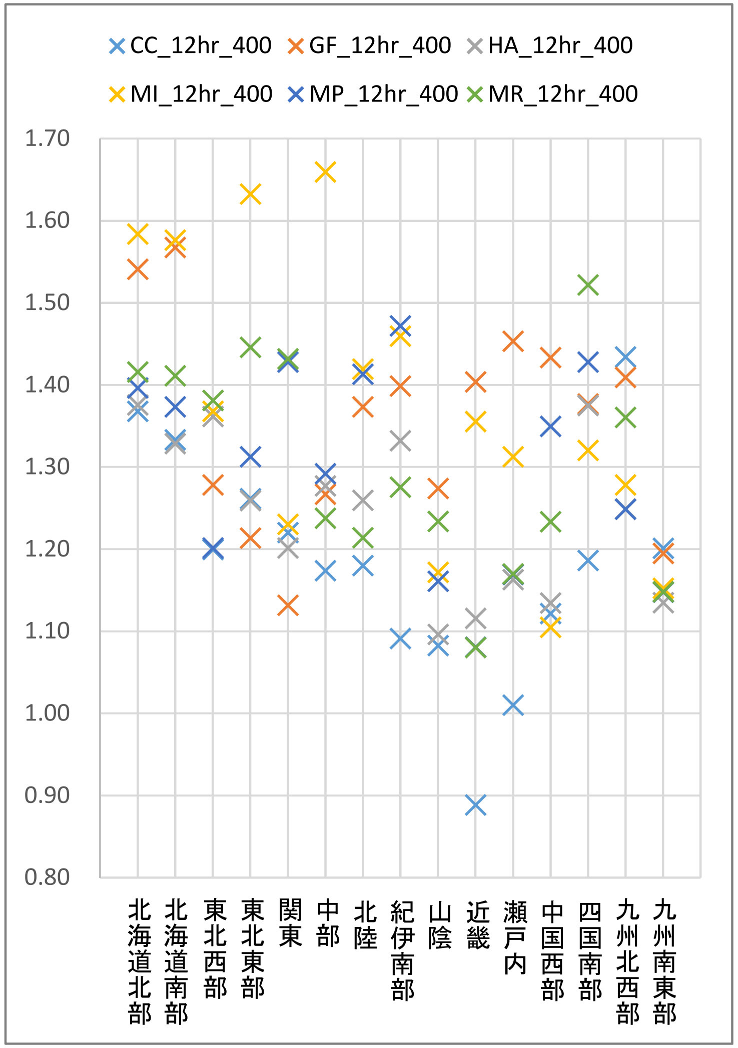


将来気候の100年確率規模の降雨量

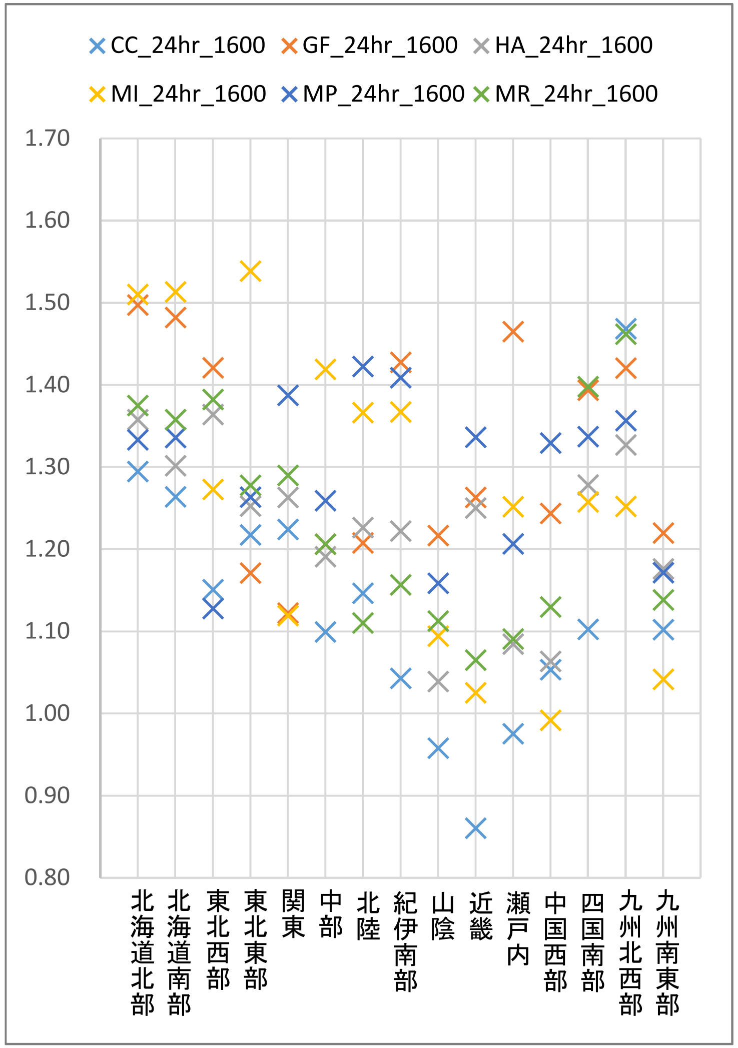
各地域区分における海面水温モデル毎の降雨量変化倍率

〇d4PDF(5km)の100年確率雨量の変化倍率を、6つの海面水温モデルと15の地域特性により検証した
〇北海道北部、北海道南部等は他の地域に比べ高い傾向を示しており、海面水温モデルによる変化倍率の幅も地域差がみられる。

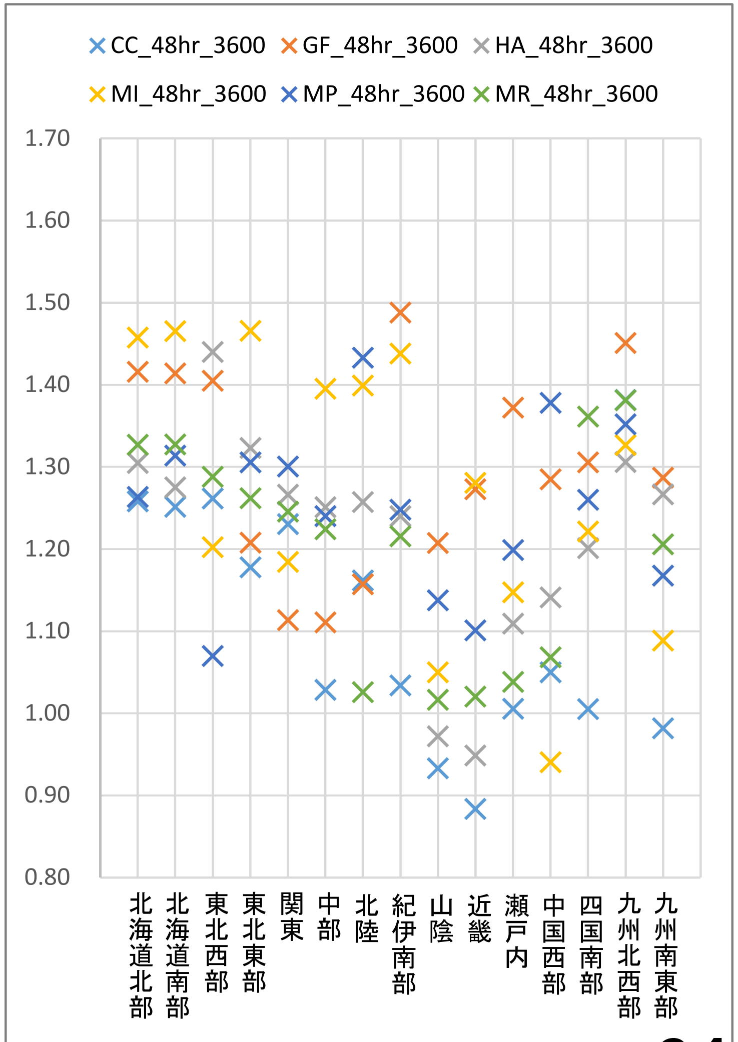
降雨継続時間：12時間
雨域面積：400km²



降雨継続時間：24時間
雨域面積：1600km²



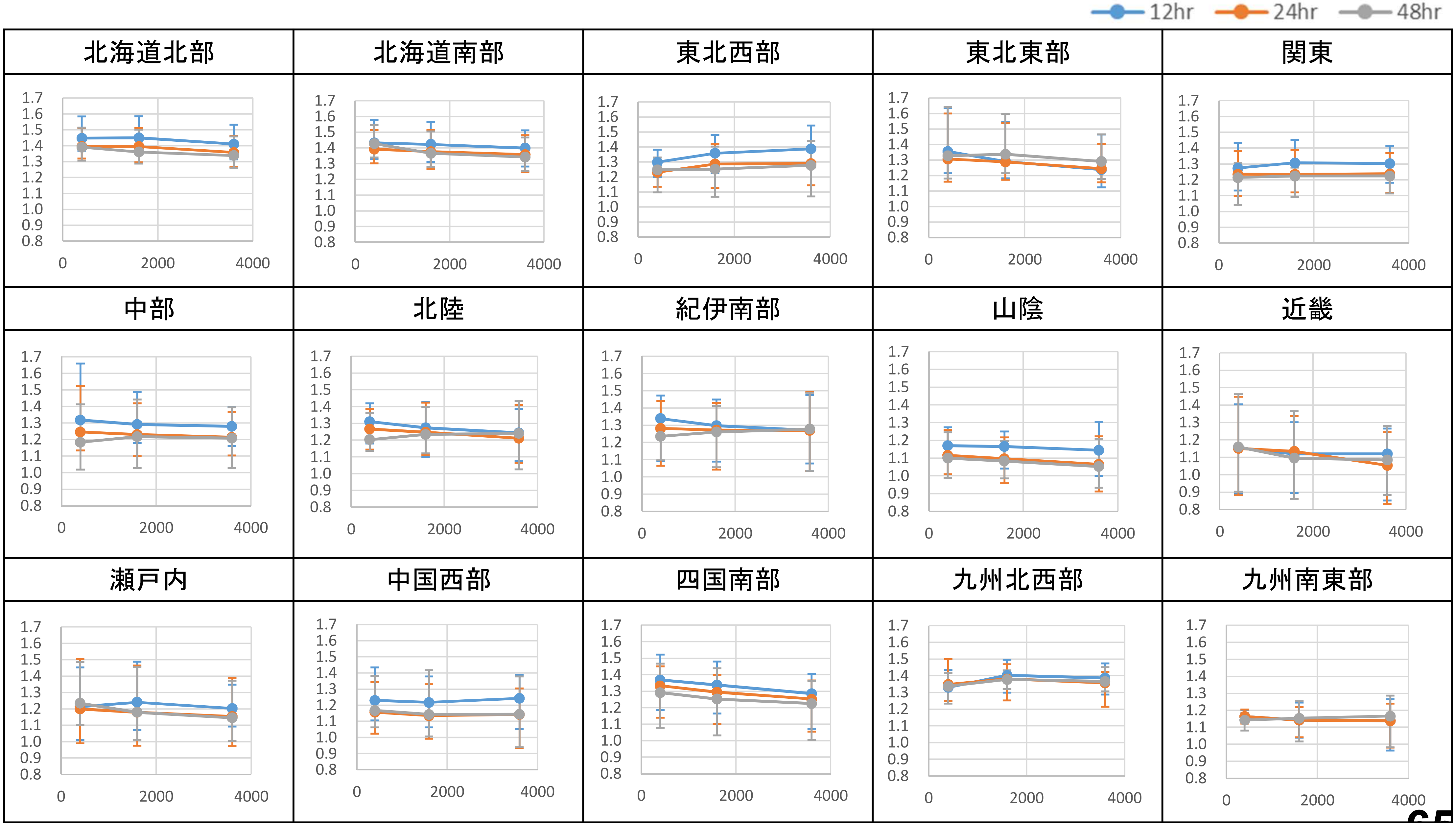
降雨継続時間：48時間
雨域面積：3600km²



※ d4PDF(5km, SI-CAT)、d4PDF(5km, yamada)は将来気候のSST6パターンによる結果の幅と平均値を示した。

地域区分毎の流域面積と降雨量変化倍率の関係性

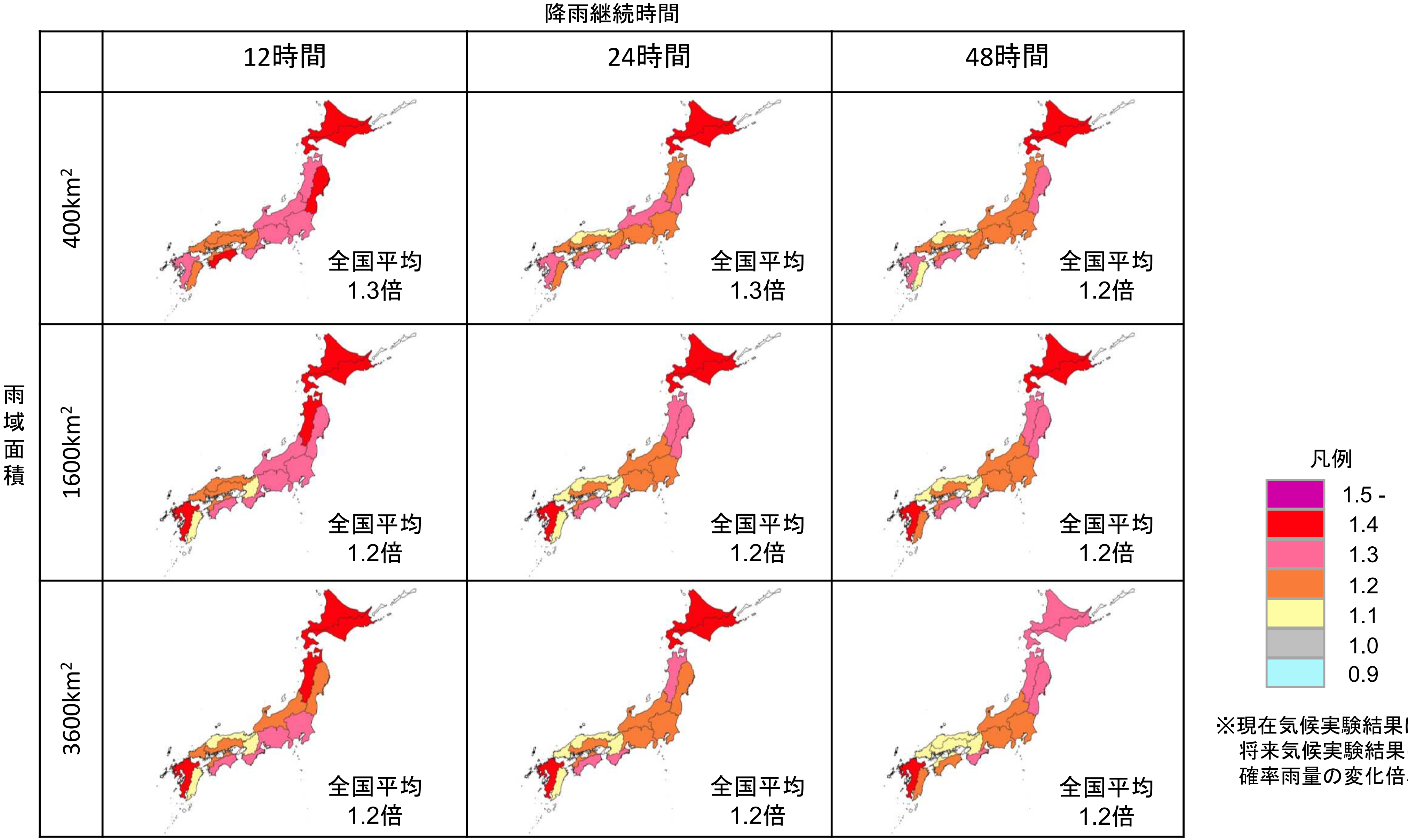
〇各地域区分のRCP8.5の降雨量変化倍率の平均値は、概ね1.5～1.0倍の範囲となった。



※北海道はd4PDF(5km、yamada)、その他の地域はd4PDF(5km、SI-CAT)の100年確率雨量 を用いた。

気候変動による降雨量変化倍率の試算結果

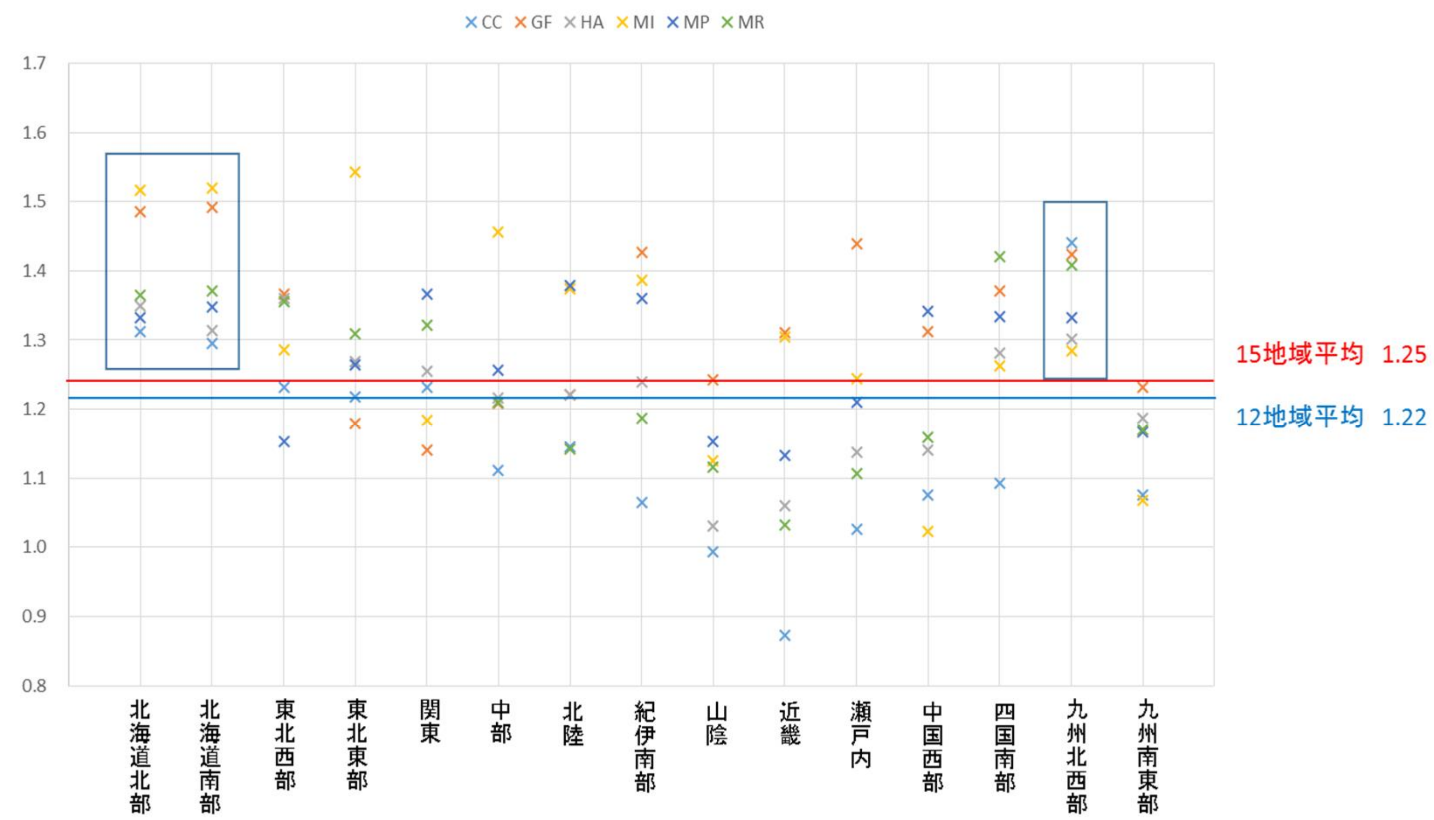
〇温室効果ガスの排出量が、最大排出量に相当するRCP8.5（4℃上昇相当）において、21世紀末の降雨量が、20世紀末と比べて全国平均で1.2～1.3倍になる（降雨継続時間や雨域面積により変化倍率は異なる）

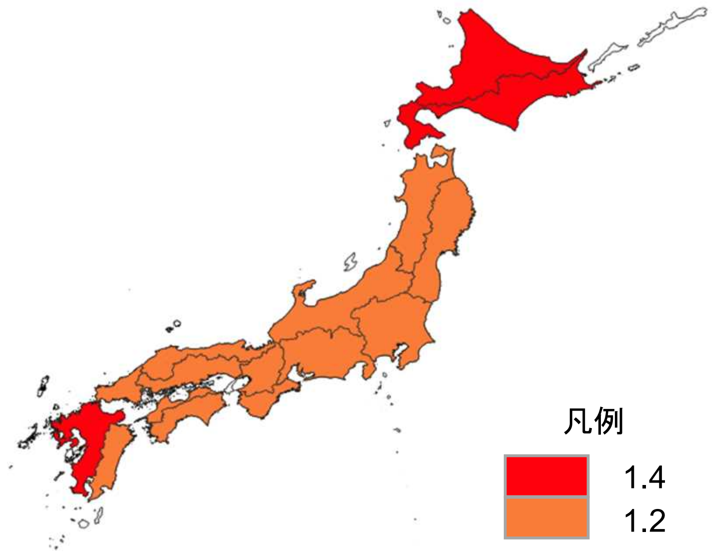


※現在気候実験結果に対する将来気候実験結果の100年確率雨量の変化倍率

地域区分ごとの降雨量変化倍率の設定の考え方

○4℃上昇相当時の降雨量変化倍率を6SSTごとに算出したところ、15地域の平均は1.25倍。
○北海道北部、北海道南部、九州北西部はいずれの結果も全国平均値を超えているため、この3地域とそれ以外の12地域を分けて降雨量変化倍率を決定する。





地域区分ごとの降雨量変化倍率の設定の考え方

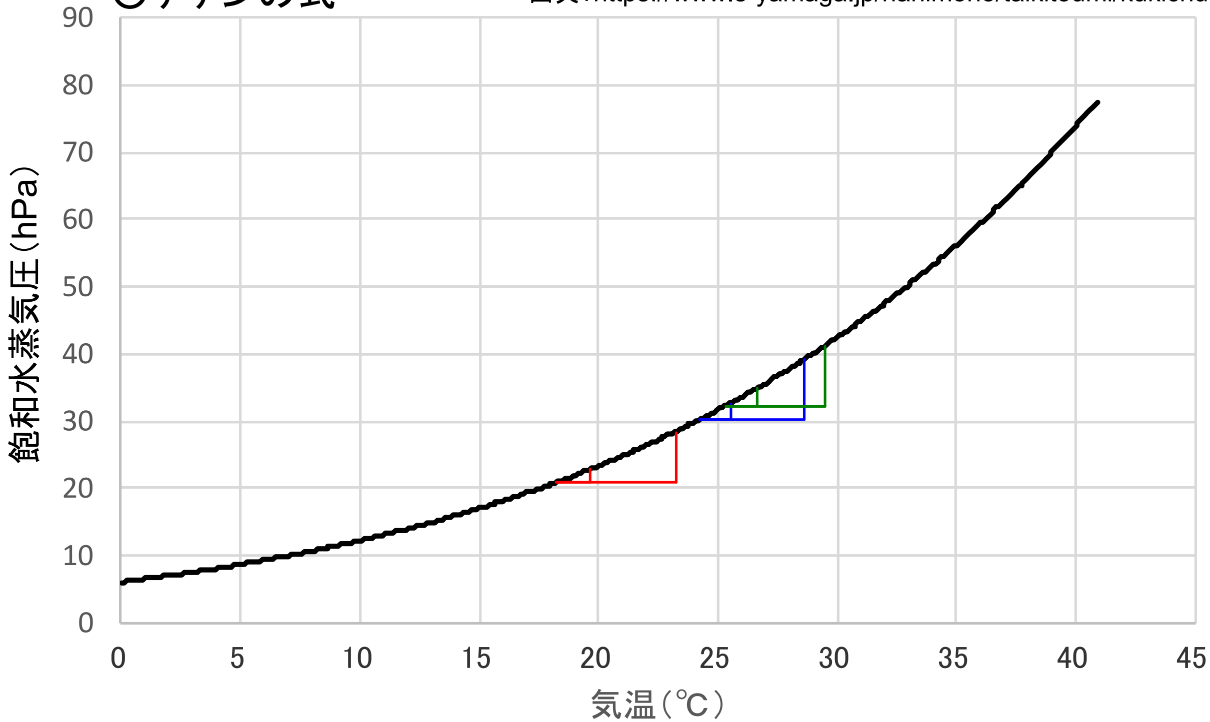
4℃上昇	計算結果			決定値	考え方
	平均値	中央値	6SST		
北海道北部	1.39	1.36	1.31～1.52	1.4	●計算結果の平均値1.39は、全国平均値1.25と比較すると高い傾向にある。また、全国平均値1.25は6SST毎の値の幅にも収まっていないため、同様に高い傾向にある九州北西部の3地域の平均的な値として1.4とする。 ●北海道地域は平均気温が低いが、気候変動による気温上昇が大きく、飽和水蒸気量の増加率が高くなるため、降雨量の増加率が高いと考えられる。
北海道南部	1.39	1.36	1.30～1.52	1.4	
東北西部	1.29	1.32	1.15～1.38	1.2	●計算結果の平均値1.29、1.30は、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると高い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。 ●北海道ほどではないものの、東北地方も平均気温が低いが、気候変動による気温上昇が大きく、飽和水蒸気量の増加率が高くなるため、降雨量の増加率が高いことと同様であると考えられる。
東北東部	1.30	1.27	1.18～1.54	1.2	
関東	1.25	1.24	1.14～1.37	1.2	●計算結果の平均値は1.24～1.28であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると高い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。
中部	1.24	1.21	1.11～1.46	1.2	
北陸	1.25	1.22	1.14～1.38	1.2	
紀伊南部	1.28	1.29	1.07～1.43	1.2	
山陰	1.11	1.12	0.99～1.24	1.2	●計算結果の平均値は1.11～1.19であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると低い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。
近畿	1.11	1.07	0.87～1.34	1.2	
瀬戸内	1.19	1.17	1.02～1.44	1.2	
中国西部	1.18	1.15	1.02～1.37	1.2	
四国南部	1.29	1.31	1.09～1.42	1.2	●計算結果の平均値は1.29であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると高い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。
九州北西部	1.36	1.37	1.28～1.44	1.4	●計算結果の平均値は1.36であり、全国平均値1.25と比較すると高い傾向にある。また、全国平均値1.25は6SST毎の値の幅にも収まっていないため、同様に高い傾向にある北海道北部・北海道南部の3地域の平均的な値として1.4とする。 ●これは、九州北西部は付近の海面水温が高く、水蒸気量が豊富に供給されるとともに、偏西風が九州を南北に走る九州山地に当たることで西側に雨が降りやすくなることに寄与している。
九州南東部	1.15	1.17	1.07～1.23	1.2	●計算結果の平均値は1.15であり、3地域を除く全国平均値1.22と比較すると低い傾向にあるが、3地域を除く全国平均値1.22は6SST毎の値の幅に収まっているため、1.2とする。

気温と飽和水蒸気量の関係

〇気温と飽和水蒸気圧の関係（テテン式）によると、RCP2.6に対する日本の出水期における飽和水蒸気圧の上昇は7%～9%程度となっている。
〇現在気候の気温が低い地域ほど、飽和水蒸気圧の増加率が高い傾向にある。

〇テテンの式

出典：https://www.s-yamaga.jp/nanimono/taikitoumi/kukichunosuijoki.htm



		現在気候	RPC2.6	RCP8.5
札幌	平均気温（6月~10月）	18.2※1	19.6※2	23.2※3
	飽和水蒸気圧	20.9hPa	22.8hPa（+9%）	28.4hPa（+36%）
東京	平均気温（6月~10月）	24.2※1	25.5※2	28.6※3
	飽和水蒸気圧	30.2hPa	32.6hPa（+8%）	39.2hPa（+30%）
福岡	平均気温（6月~10月）	25.3※1	26.6※2	29.5※3
	飽和水蒸気圧	32.3hPa	34.8hPa（+8%）	41.2hPa（+28%）

※1：気象庁の2018年の6月～10月（出水期）の平均気温
※2：現在気候の気温に、RCP2.6における将来の年平均変化量の平均値及び0.2℃※4を加えたもの
※3：現在気候の気温に、RCP8.5における将来の年平均変化量の平均値及び0.2℃※4を加えたもの

※4：NHRCMの基準期間（1984～2004年）の平均値とd4PDF過去実験の対象期間（1951～2010年）の平均値の差分

気候変動による地域別の温度変化の状況

○飽和水蒸気量の評価のため、NHRCM20の地域ごとの気温変化量を使い、テテンの式に基づいて算出。
○なお、d4PDFとの比較を行うためには、気温変化の基準年が異なることから、気象庁の日本の年平均気温偏差をもとに、気温変化の基準年の補正を行った。

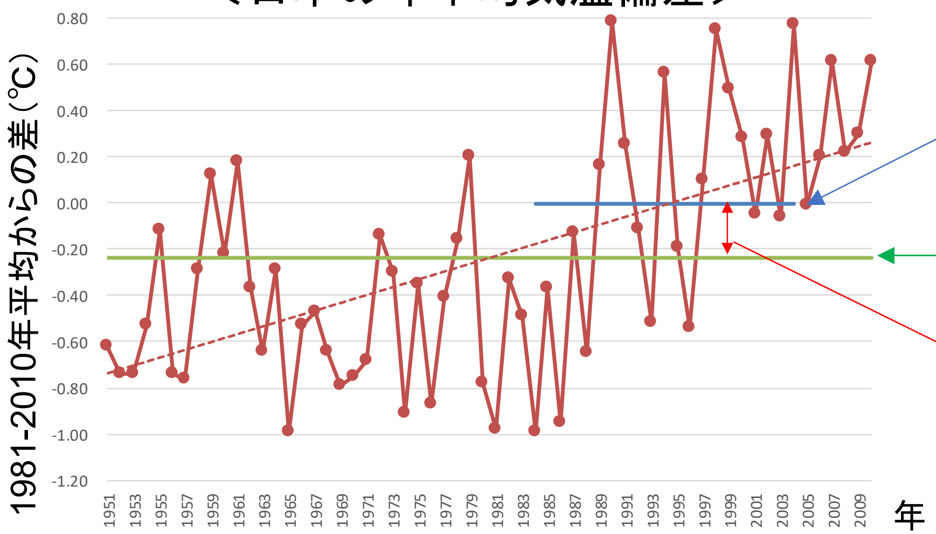
NHRCM20による
地域ごとの気温変化量

表：年平均気温について、地域別の将来変化、年々変動及びケース間のばらつきを考慮した不確実性の幅（90%範囲）
20世紀末頃（1984～2004年）に対する21世紀末（2080～2100年）の変化

(℃)	全国	北日本日本海側	北日本太平洋側	東日本日本海側	東日本太平洋側	西日本日本海側	西日本太平洋側	沖縄・奄美
RCP2.6	1.1 (0.5～1.7)	1.2 (0.5～1.9)	1.2 (0.5～2.0)	1.1 (0.5～1.8)	1.1 (0.4～1.8)	1.1 (0.5～1.7)	1.1 (0.5～1.7)	0.9 (0.4～1.3)
RCP4.5	2.0 (1.3～2.7)	2.2 (1.5～3.0)	2.3 (1.5～3.0)	2.0 (1.2～2.8)	1.9 (1.1～2.7)	1.9 (1.2～2.6)	1.9 (1.1～2.6)	1.6 (1.1～2.2)
RCP6.0	2.6 (1.6～3.6)	2.7 (1.6～3.8)	2.8 (1.6～3.9)	2.5 (1.5～3.5)	2.5 (1.6～3.4)	2.4 (1.5～3.3)	2.4 (1.5～3.3)	2.0 (1.3～2.7)
RCP8.5	4.4 (3.4～5.4)	4.8 (3.7～5.9)	4.9 (3.8～6.0)	4.3 (3.3～5.4)	4.2 (3.2～5.3)	4.0 (3.1～4.9)	4.0 (3.0～4.9)	3.3 (2.5～4.0)

気温変化量の補正

＜日本の年平均気温偏差＞



NHRCMの基準期間（1984～2004年）
平均値：-0.006℃

d4PDFの対象期間（1951～2010年）
平均値：-0.239℃

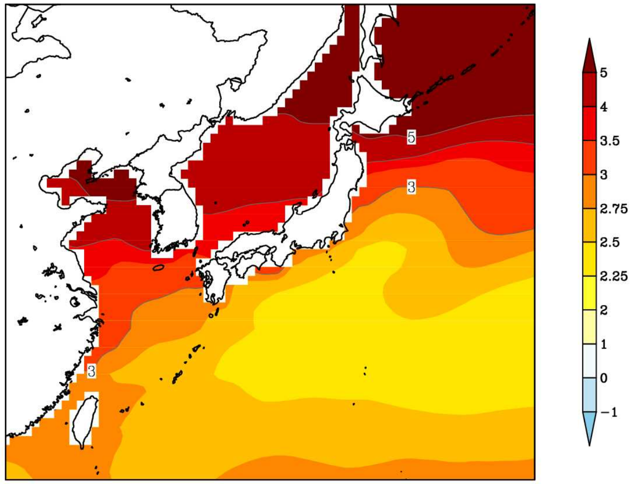
d4PDFの対象期間とNHRCMの基準期間の気温差は0.233℃

気候変動による地域別の温度変化の状況

〇SSTの6モデルともに、北海道周辺と九州北西部は海水温が高い傾向にある。

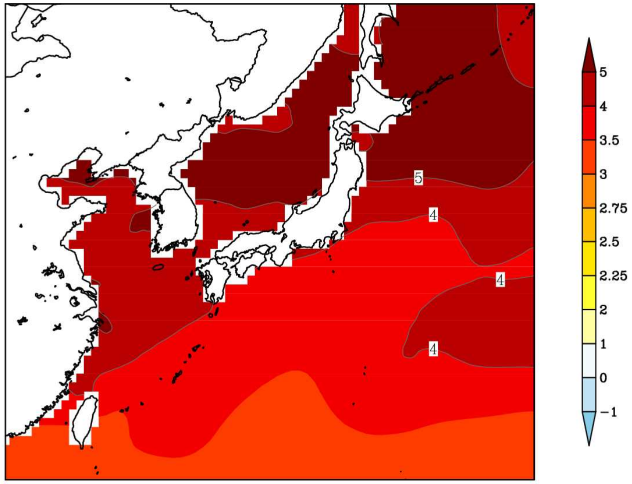
CC

Sea Surface Temperature [Summer] 4K CC – HPB



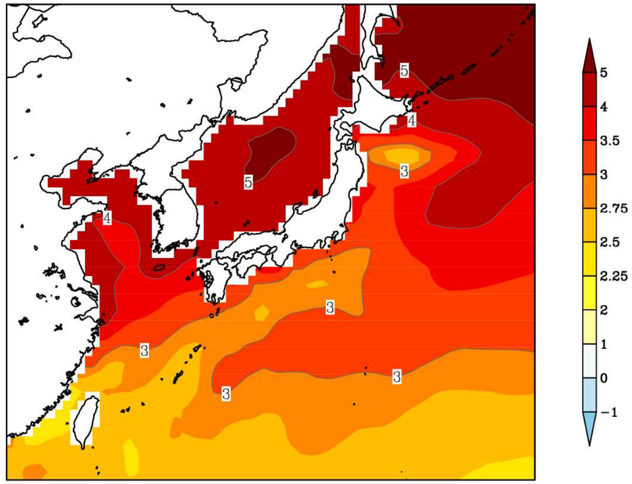
GF

Sea Surface Temperature [Summer] 4K GF – HPB



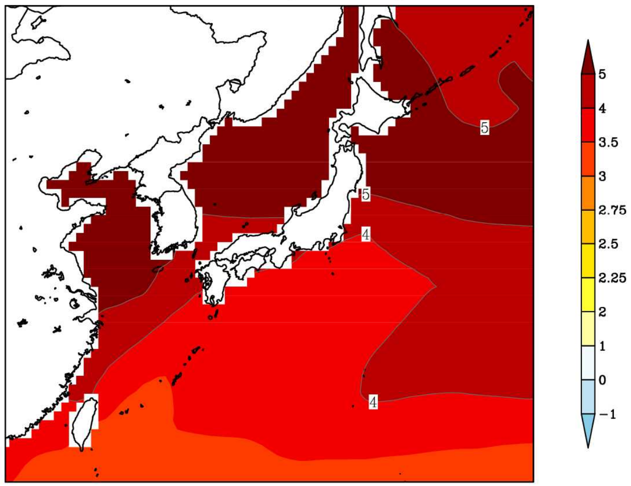
HA

Sea Surface Temperature [Summer] 4K HA – HPB



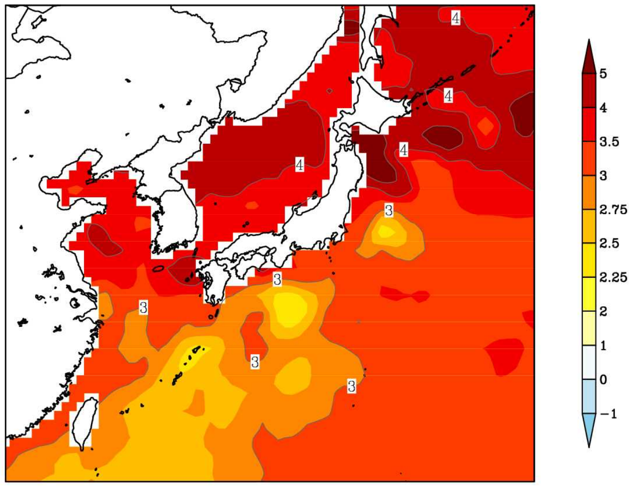
MI

Sea Surface Temperature [Summer] 4K MI – HPB



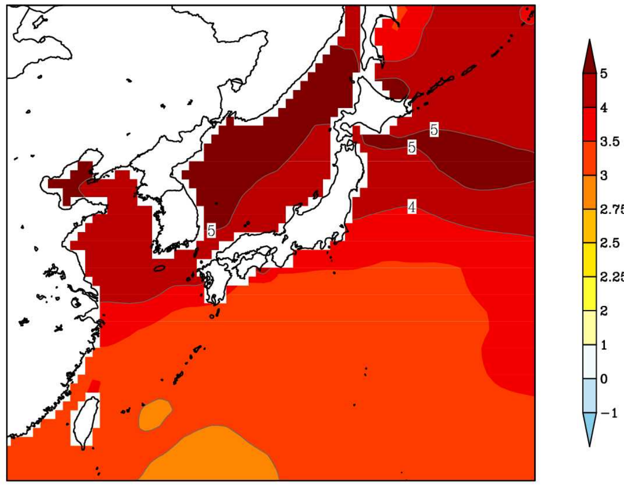
MP

Sea Surface Temperature [Summer] 4K MP – HPB



MR

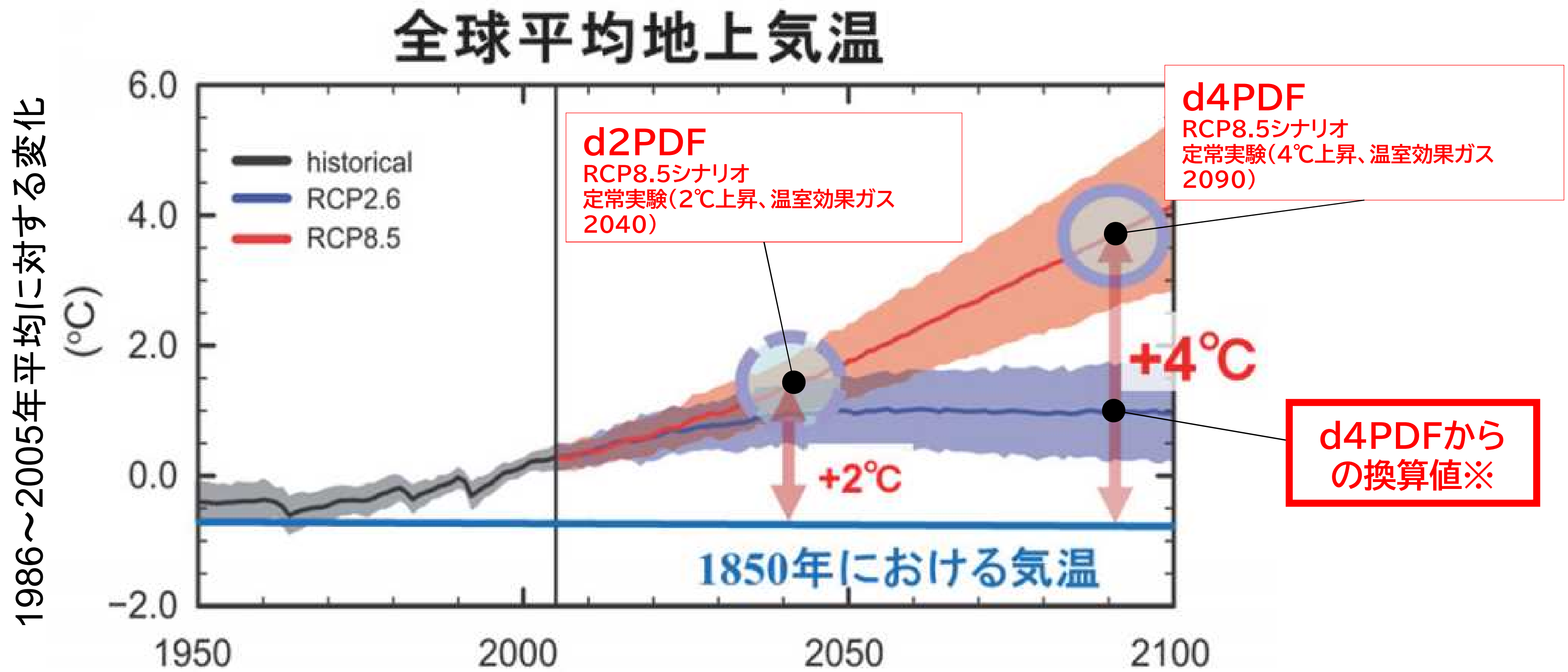
Sea Surface Temperature [Summer] 4K MR – HPB



気象庁気象研究所提供資料をもとに作成

d4PDF・d2PDFについて

令和元年10月提言における考え方	課題
○2℃上昇相当をd4PDFの換算値を用い暫定値として公表 【提言の記載内容】 ・d2PDF(5km)が近々整備される予定であることから河川整備基本方針や施設設計に適用する変化倍率については、改めて設定する ・2℃上昇相当時等における、降雨量変化倍率の精査	d2PDFが整備中であったことから、2℃上昇時の降雨量変化倍率は4℃上昇時の降雨量変化倍率の結果を換算して評価



※d4PDFにより求めたRCP8.5(4℃上昇相当)に基づく降雨量変化倍率を、RCP2.6(2℃上昇相当)に変換するため、「21世紀末における日本の気候(環境省・気象庁)」の年上位5%降水イベントの日降水量の変化率を用いて換算

「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」HPより

大量アンサンブル計算が行われている将来予測データ

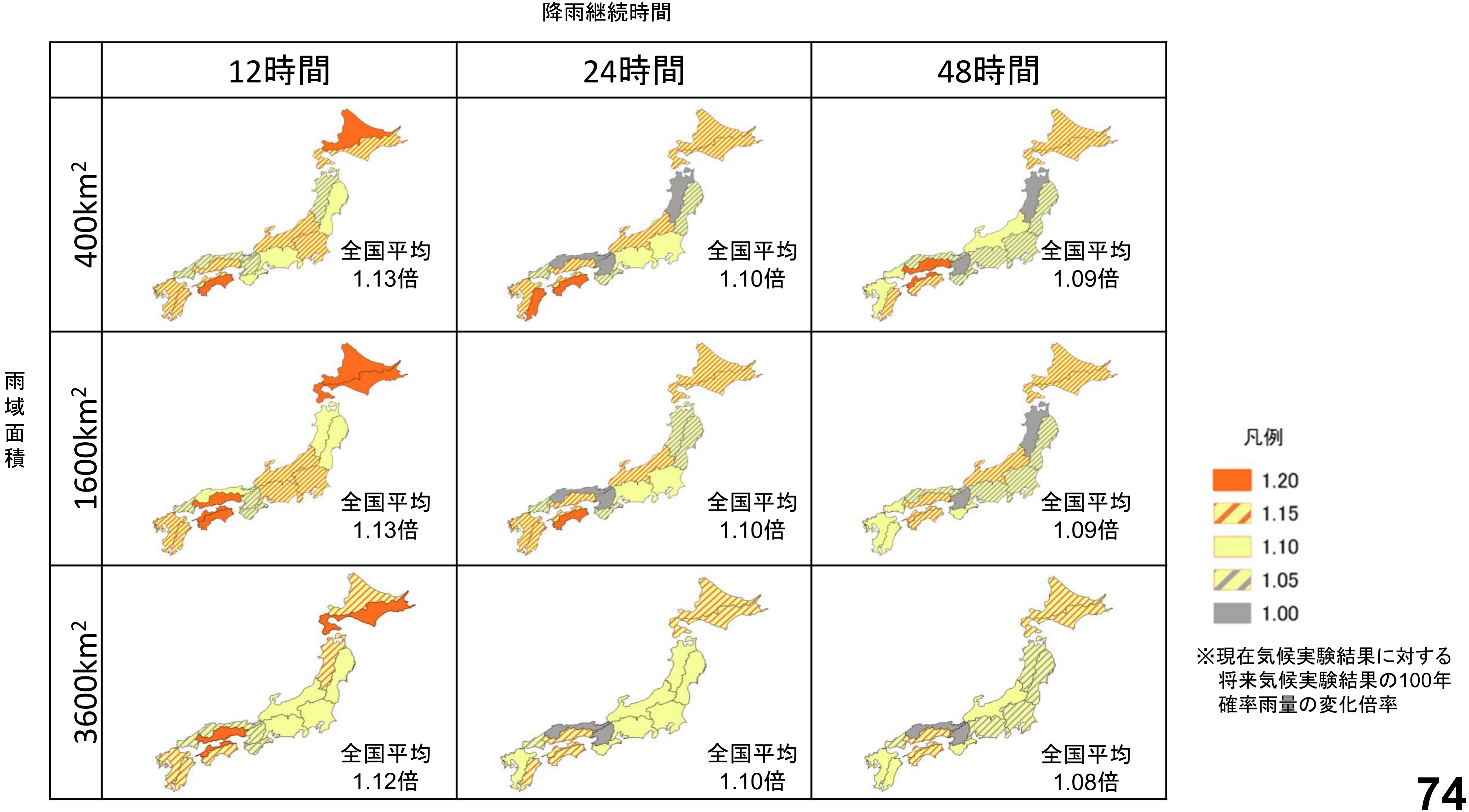
名称	気候変動シナリオ	領域モデル解像度	領域モデル	対象期間	計算パターン及び公表状況
d4PDF(20km) 創生プログラム【文科省】	RCP8.5 (4°C上昇相当)	20km	NHRCM20	現在(1950-2011) 将来(60年間)	現在：50パターン 将来：90パターン(6SST×15摂動)
令和元年10月提言で使用したデータ					
d4PDF(5km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5 (4°C上昇相当)	5km	NHRCM05	現在(1980-2011) 将来(30年間)	現在：12パターン 将来：12パターン(6SST×2摂動)
d4PDF(5km,yamada) SI-CAT【文科省】	RCP8.5 (4°C上昇相当)	5km	NHRCM05	現在(1951-2010) 将来(60年間)	現在：50パターン 将来：90パターン(6SST×15摂動)
d2PDF(20km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5 (2°C上昇相当)	20km	NHRCM20	現在(1950-2011) 将来(60年間)	現在：50パターン 将来：54パターン(6SST×9摂動)
令和3年4月提言で追加分析したデータ					
d2PDF(5km,SI-CAT) SI-CAT【文科省】	RCP8.5 (2°C上昇相当)	5km	NHRCM05	現在(1980-2011) 将来(30年間)	現在：12パターン 将来：12パターン(6SST×2摂動)
d2PDF(5km,yamada) SI-CAT【文科省】	RCP8.5 (2°C上昇相当)	5km	NHRCM05	現在(1951-2010) 将来(60年間)	現在：50パターン 将来：54パターン(6SST×9摂動)

※赤字のデータは、提言公表後に公表されたもの

※検討会資料を時点更新

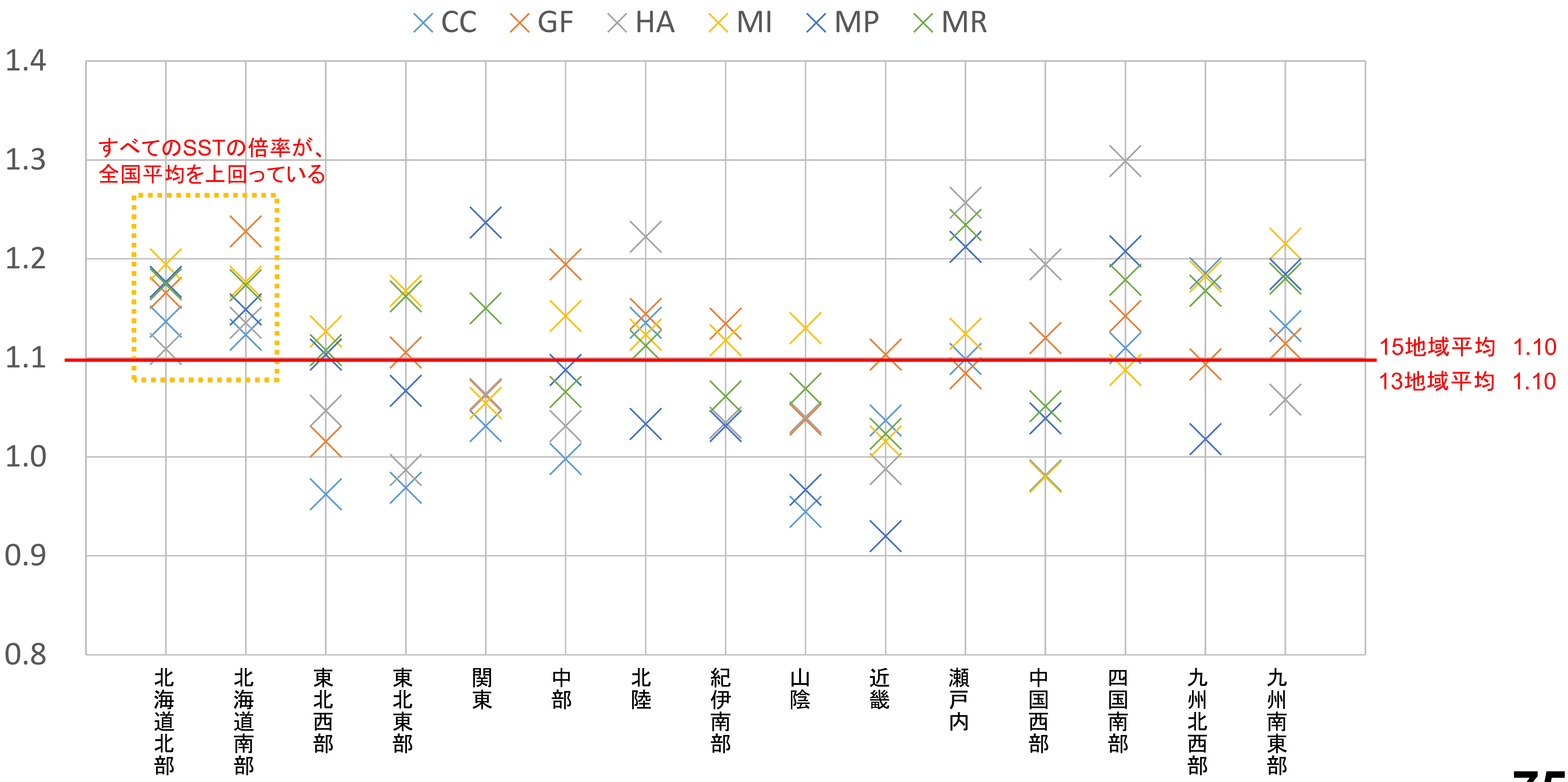
気候変動による降雨量変化倍率の試算結果

〇d2PDF(5km)(2℃上昇)の年超過確率1/100降雨量をもとに、地域区分ごとの降雨量変化倍率を算出。
〇降雨継続時間(12,24,48時間)、雨域面積(400,1600,3600km2)ごとに海面水温(6パターン)の倍率の平均値を整理。
〇北海道北部・北海道南部はd2PDF(5km,Yamada)、その他地域はd2PDF(5km,SI-CAT)をもとに算出。



d2PDFの分析結果（地域別、SSTごとの降雨量変化倍率）

〇d2PDF(5km)（2℃上昇）の年超過確率1/100降雨量をもとに、地域区分ごとの降雨量変化倍率を算出。
〇海面水温（6パターン）ごとに、降雨継続時間（12,24,48時間）×雨域面積（400,1600,3600km2）の倍率の平均値を整理。
〇北海道北部・北海道南部はd2PDF（5km,Yamada）、その他地域はd2PDF（5km,SI-CAT）をもとに算出。



地域区分ごとの降雨量変化倍率の設定の考え方

2℃上昇	令和元年10月提言【d4PDFからの換算値】		d2PDFによる計算結果		令和元年10月提言【暫定値】	決定値	考え方
	平均値	6SST	平均値	6SST			
北海道北部	1.12	1.09～1.16	1.16	1.11～1.19	1.15	1.15	●試算結果は1.11～1.23の6SSTの幅で平均値は1.16と、全国平均1.10と比べて高い傾向にあり、6SSTの幅にも収まっていないため、両ブロックの平均的な値として1.15とした。 ●これは、北海道地域は気温が低く、気候変動による気温上昇が大きいことから、飽和水蒸気量の増加率が高くなることが寄与していると考えられる。
北海道南部	1.17	1.12～1.22	1.16	1.12～1.23	1.15	1.15	
東北西部	1.08	1.04～1.11	1.06	0.96～1.13	1.10	1.10	●2地域を除いた全国平均値1.10と比較すると、試算結果はやや低い傾向を示しているが、6SSTの幅には収まっている。
東北東部	1.13	1.08～1.24	1.08	0.97～1.17	1.10	1.10	
関東	1.12	1.06～1.18	1.10	1.03～1.24	1.10	1.10	●2地域を除く全国平均値1.10と比較すると、各ブロックの試算結果は同程度かやや高い傾向を示しているが、6SSTの幅には収まっている。
中部	1.12	1.05～1.23	1.09	1.00～1.19	1.10	1.10	
北陸	1.09	1.04～1.14	1.13	1.03～1.22	1.10	1.10	
紀伊南部	1.08	1.02～1.13	1.07	1.03～1.13	1.10	1.10	●2地域を除いた全国平均値1.10と比較すると、各ブロックの試算結果はやや低い傾向を示しているが、6SSTの幅には収まっている。
山陰	1.03	1.00～1.07	1.03	0.94～1.13	1.10	1.10	
近畿	1.04	0.96～1.12	1.01	0.92～1.10	1.10	1.10	
瀬戸内	1.09	1.01～1.16	1.17	1.08～1.26	1.10	1.10	●2地域を除く全国平均値1.10と比較すると、試算結果はやや高い傾向を示しているが、6SSTの幅には収まっている。
中国西部	1.05	1.01～1.11	1.06	0.98～1.19	1.10	1.10	●2地域を除いた全国平均値1.10と比較すると、試算結果はやや低い傾向を示しているが、6SSTの幅には収まっている。
四国南部	1.13	1.04～1.22	1.17	1.09～1.30	1.10	1.10	●2地域を除いた全国平均値1.10と比較すると、各ブロックの試算結果はやや高い傾向を示しているが、6つのSSTの幅に収まっている。 ●提案値が暫定値より低いのは、4℃上昇時に見られた九州北西部付近の海面水温が高くなる傾向が、2℃上昇時では明確には現れておらず、降雨量変化倍率も他地域並みであったためである。
九州北西部	1.12	1.09～1.15	1.14	1.02～1.19	1.15	1.10	
九州南東部	1.06	1.02～1.10	1.15	1.06～1.22	1.10	1.10	

全国15地域の平均：1.10、北海道を除く13地域の平均：1.10

【参考】d4PDF（4℃上昇相当）から2℃上昇相当への換算（令和元年10月提言）

〇d4PDF（5km）により求めたRCP8.5（4℃上昇相当）に基づく地域区分毎の降雨量変化倍率を、2℃上昇相当のRCP2.6へ変換するため、「21世紀末における日本の気候（環境省・気象庁）」の年上位5%降水イベントの日降水量の変化率を用いて換算値を算出する。

〇年上位5%の降水イベントによる日降水量の変化率

表 上位5%の降水イベントによる日降水量の変化

	全国	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側
RCP2.6	10.3 (7.9～14.5)	7.8 (5.2～9.4)	11.3 (9.2～12.8)	8.5 (7.4～10.6)	10.9 (7.4～14.6)	7.5 (3.5～14.6)	12.4 (7.3～18.9)
RCP4.5	13.2 (8.0～16.0)	13.0 (9.0～15.5)	16.4 (6.8～24.5)	11.1 (8.8～14.4)	12.7 (8.1～15.3)	12.6 (7.6～16.9)	12.7 (8.6～15.9)
RCP6.0	16.0 (14.8～18.2)	18.1 (16.5～19.0)	18.2 (16.7～19.5)	19.0 (15.7～22.4)	14.7 (13.0～16.2)	13.2 (9.2～18.6)	16.5 (14.1～19.0)
RCP8.5	25.5 (18.8～35.8)	28.9 (18.0～38.9)	25.7 (13.6～37.5)	29.9 (23.8～38.3)	22.4 (15.3～36.0)	24.0 (16.7～30.3)	27.2 (18.8～38.6)

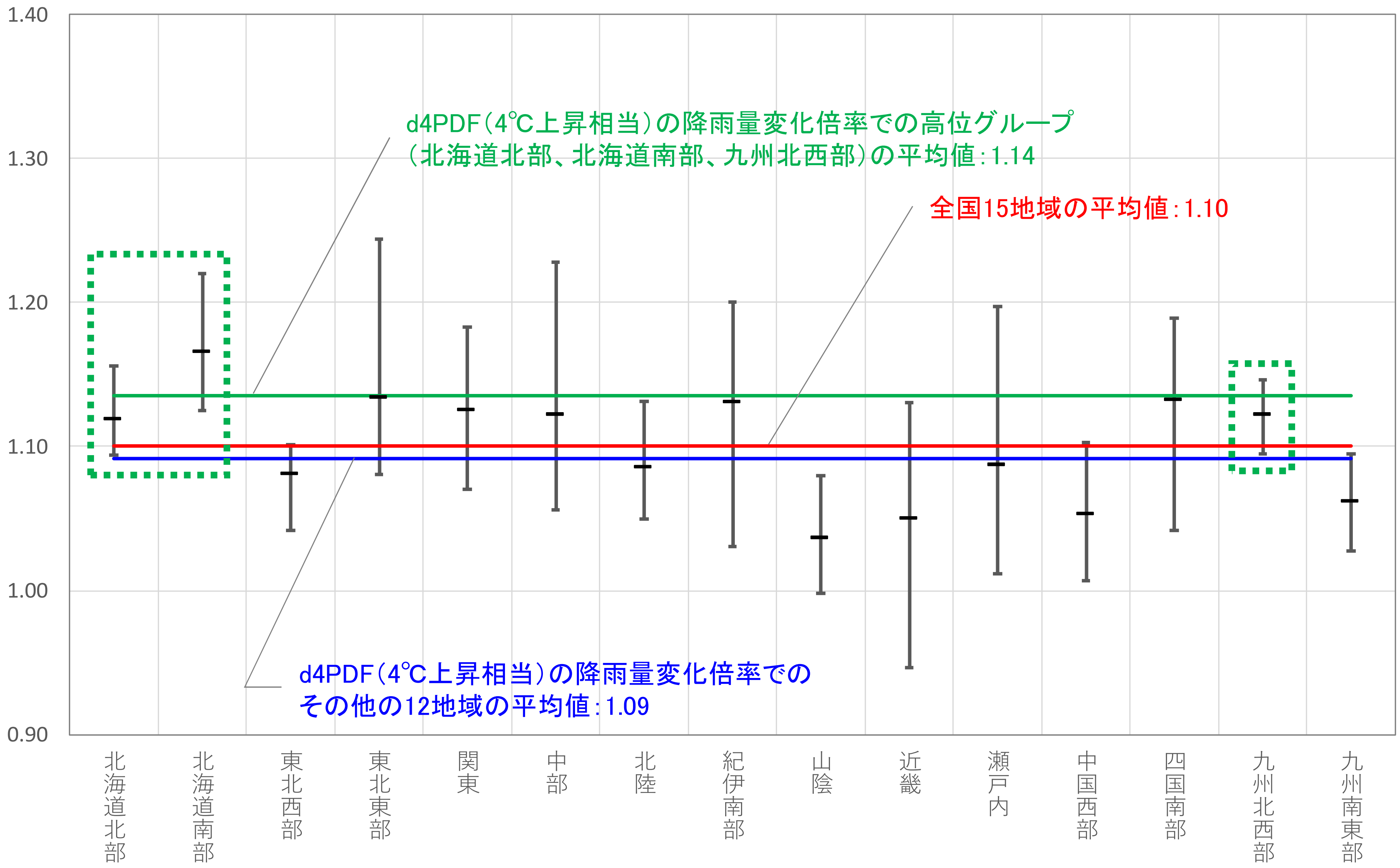
※RCP2.6、4.6、6.0（3ケース）、RCP8.5（9ケース）における将来気候の予測（2080～2100年平均）と現在気候（1984～2004年平均）の変化率を示す

※各シナリオにおける全ケースの平均値、括弧内に平均値が最小のケースと最大のケース（年々変動等を含めた不確実性の幅ではない）を示す

出典：日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について（お知らせ）【環境省、気象庁】
（http://www.env.go.jp/press/19034.html）より

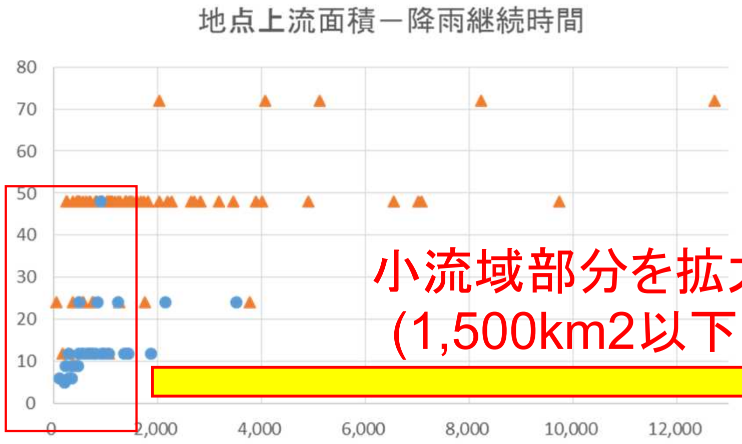
【参考】d4PDF（4℃上昇相当）から2℃上昇相当への換算による降雨量変化倍率

〇全国15地域の平均値（1.10）が、降雨量変化倍率の幅に収まっているか確認し、北海道南部のみ高倍率側に幅を外れているが、d4PDFにおける倍率の地域区分を踏襲し、北海道北部、北海道南部、九州北西部は個別に倍率を設定。



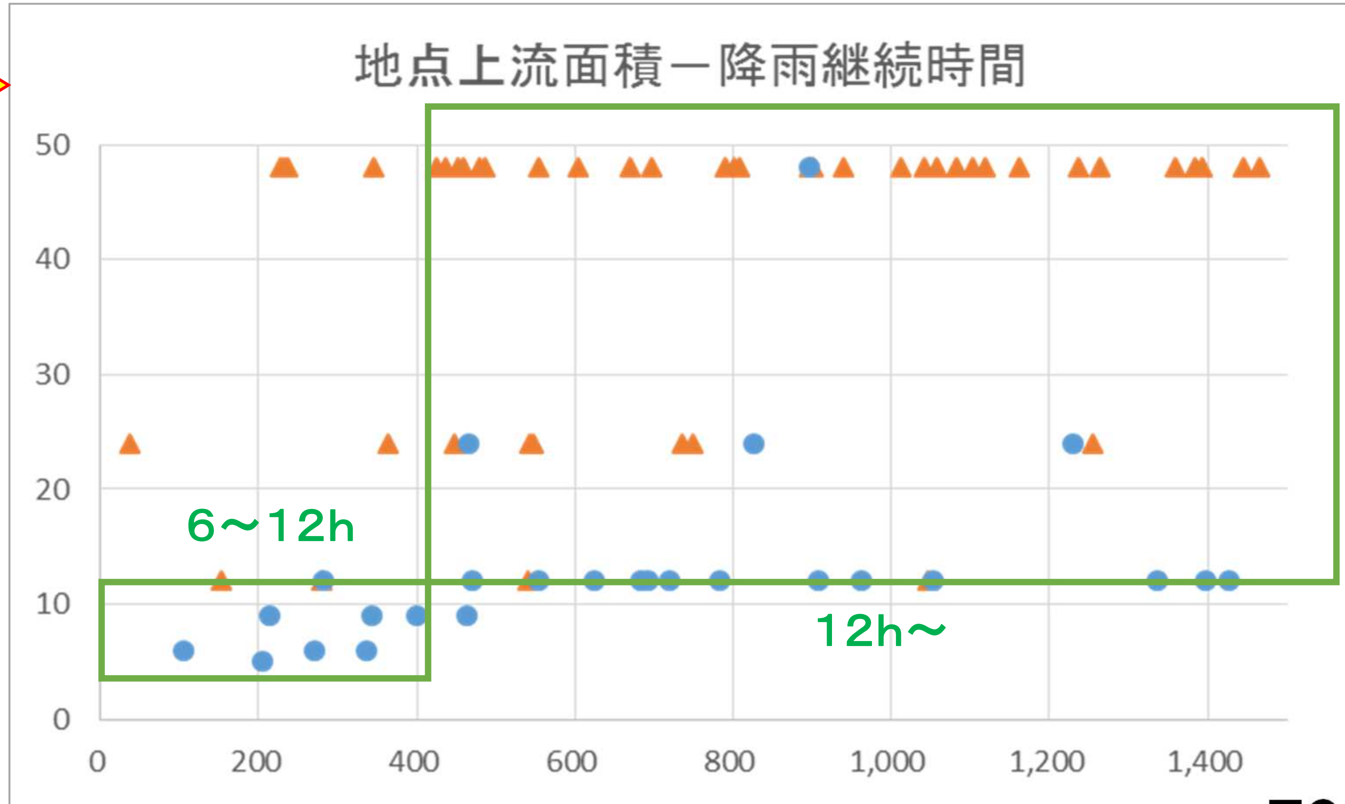
1級河川の基準地点上流面積と降雨継続時間の関係

○ 1級河川の河川整備基本方針における、基準地点上流面積と対象降雨の降雨継続時間との関係を表した。
概ねの傾向は、400km2までは6～12時間、400km2以上は12時間以上が採用されている。



※河川整備基本方針検討小委員会資料より作成
※降雨継続時間が日単位のものは時間単位に換算

【凡例】
●：降雨継続時間の詳細検討を実施（平成18年4月以降）し、時間単位となっているもの
▲：上記以外（工実踏襲や日単位）

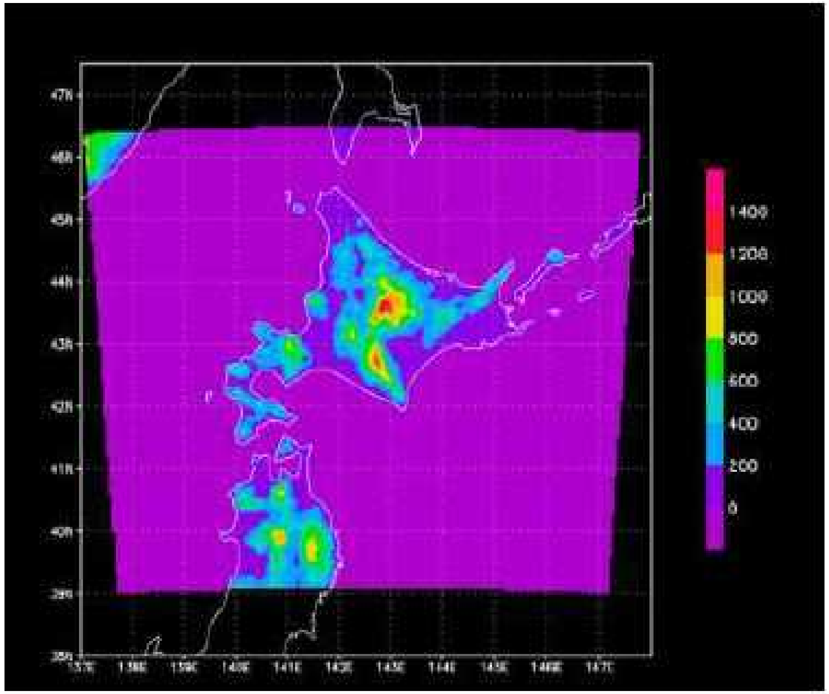


主な分布の傾向

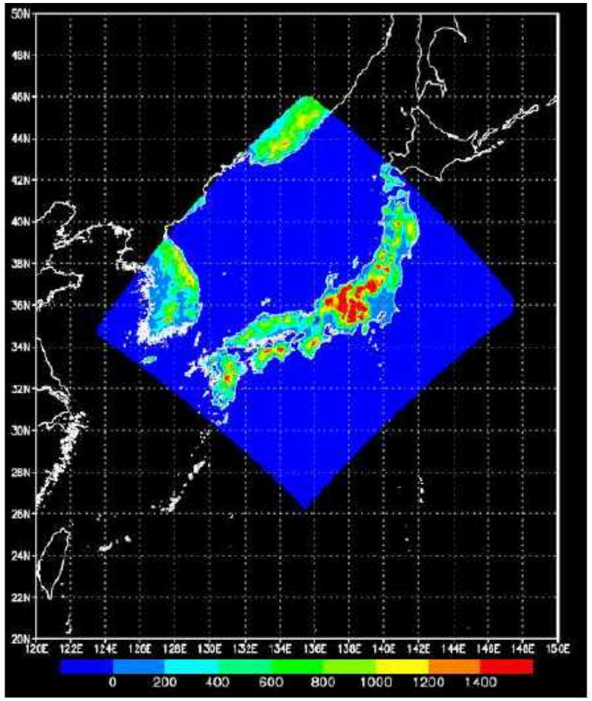
地点上流面積	降雨継続時間
100～400 km2	6 h
200～500 km2	9 h
300～4,000 km2	12 h
400～　　　km2	24 h

令和元年10月提言における島嶼部（沖縄）の評価

令和元年10月提言における考え方	課題
○沖縄や奄美大島を含む多くの島しょ部については、解像度5km モデルの領域外であることや、各メッシュのほとんどが海域のため陸域の降雨現象の再現が困難であることから、提言での評価からは除外した。	該当エリアを網羅しているNHRCM02を用いて、降雨量変化倍率を確認する。



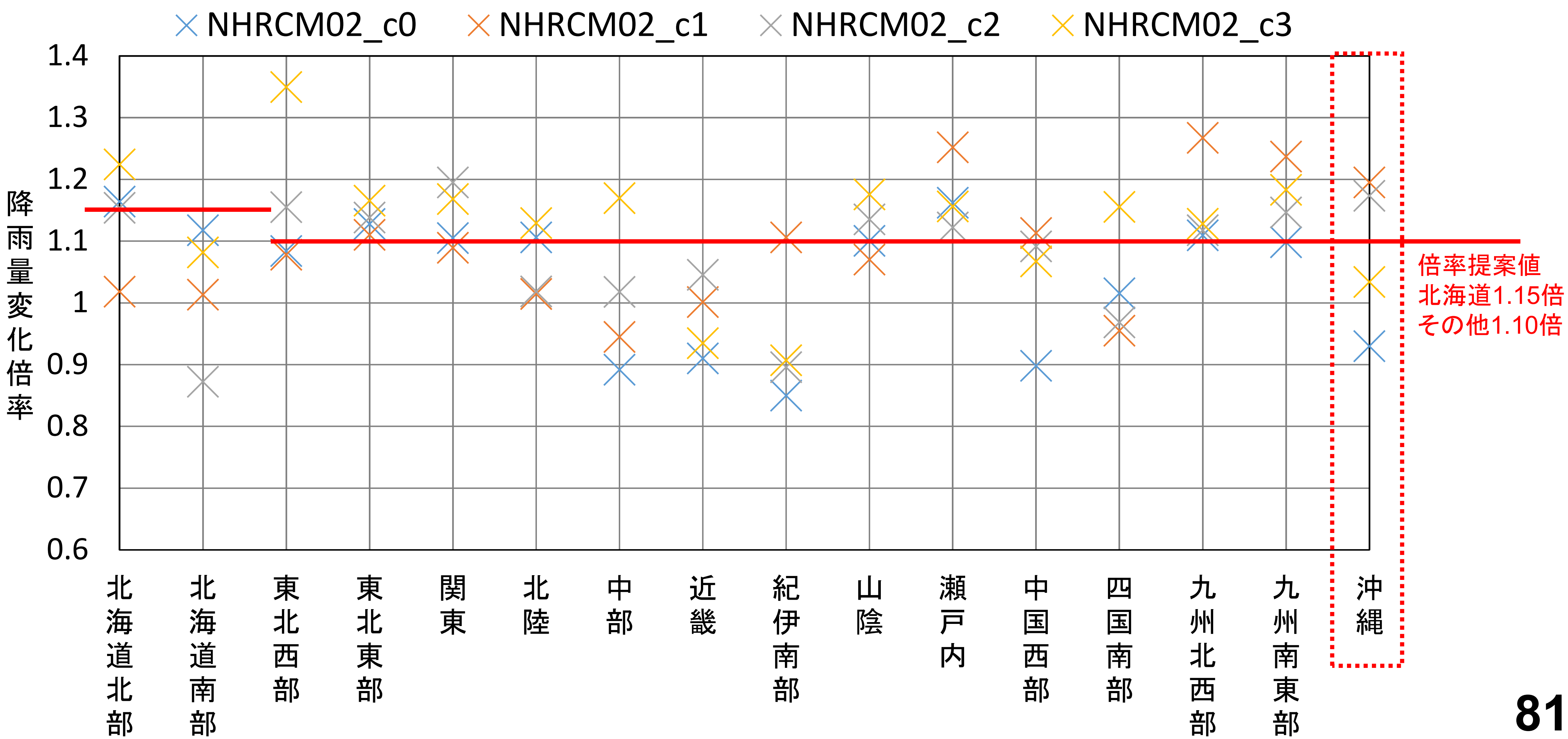
d4PDF(5km,yamada) の北海道における対象領域
（カラーコンター（標高）の範囲が対象領域）



d4PDF(5km,SI-CAT)における対象領域
（カラーコンター（標高）の範囲が対象領域）

2℃の評価（沖縄）

〇NHRCM02（RCP2.6）により地域別・SST毎の降雨量変化倍率を算出。
〇海面水温（4パターン）ごとに、降雨継続時間（1,2,3,6,12,24時間）×雨域面積（4,16,36,64km2）の倍率の平均値を整理。
〇NHRCM02（RCP2.6）による沖縄の降雨量変化倍率は、北海道を除くその他の地域区分の値とほぼ同じであるため、d2PDFから算出した値（1.1倍）は沖縄においても適用できることとする。



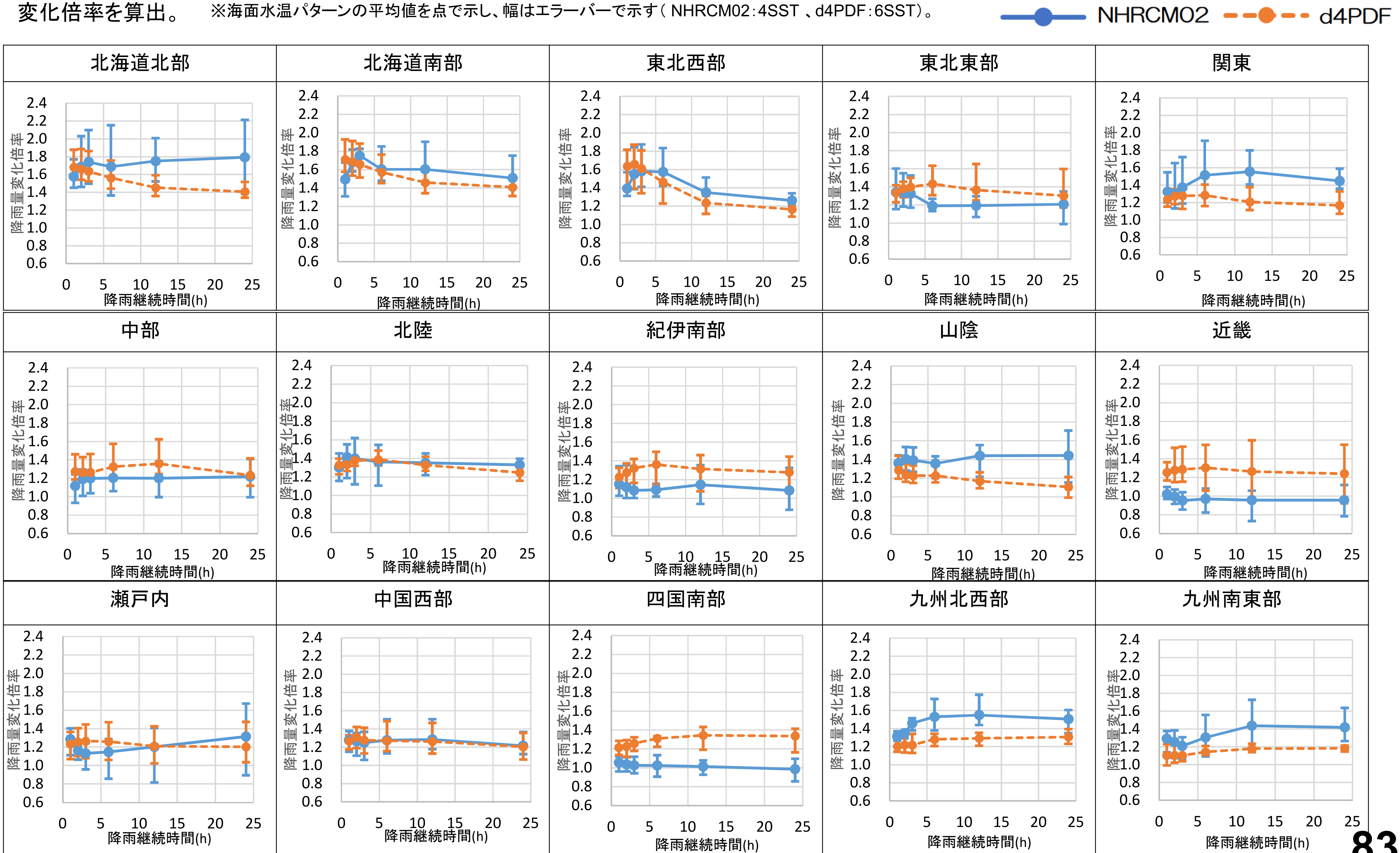
令和元年10月提言における小流域・短時間降雨の評価

令和元年10月提言における考え方	課題
○d4PDFによる1、2時間の降雨量変化倍率は、12時間～48時間の降雨量変化倍率と比べると、地域区分ごとに増加傾向と減少傾向とに分かれる結果となった。 ○降雨継続時間が1、2時間の降雨は5kmモデルによって十分に解明できているかどうかが明らかではないことから、4℃上昇時の降雨継続時間が1、2時間の降雨量変化倍率の設定は見送った。	①1、2時間の降雨量変化倍率に対して、よりメッシュの細かいNHRCM02を用いて、傾向を確認する。
○上記の課題は認めつつも、十勝川を対象とした研究をもとに、小流域・短時間降雨の変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時は4℃上昇時ほど顕著には生じないことから、2℃上昇時に関する降雨量変化倍率は、割増係数を導入せずに降雨継続時間1、2時間にも適用可とした。	②小流域・短時間降雨の変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時4℃上昇時ほど顕著には生じないことについて、d2PDFを用いて、全国的に確認する。
○概ね400km2　以下の雨域面積に関して十分な評価を行っていない。	③雨域面積400km2　以下における降雨量変化倍率を、d4PDF・d2PDFとNHRCM02を用いて確認する。

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2"></th><th colspan="3">降雨継続時間</th></tr>
<tr><th>12時間以上</th><th>3時間以上12時間未満</th><th>3時間未満</th></tr>
<tr><td rowspan="3">4℃上昇
（RCP8.5）</td><td></td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>―</td></tr>
<tr><td>北海道、九州北西部</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>―</td></tr>
<tr><td>その他の地域</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>―</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2℃上昇
（RCP2.6）
（暫定値）</td><td></td><td colspan="3">1.1</td></tr>
<tr><td>北海道、九州北西部</td><td colspan="3">1.15</td></tr>
<tr><td>その他の地域</td><td colspan="3">1.1</td></tr>
</table>

4℃上昇時における降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係（NHRCM02(RCP8.5)、d4PDF） 課題①

○各地域における降雨継続時間毎（1,2,3,6,12,24h）、雨域面積（d4PDF：25,100km²平均、NHRCM02：4,16,36,64,100km²平均）の年超過確率1/100降雨量の変化倍率を算出。　※海面水温パターンの平均値を点で示し、幅はエラーバーで示す（NHRCM02：4SST 、d4PDF：6SST）。



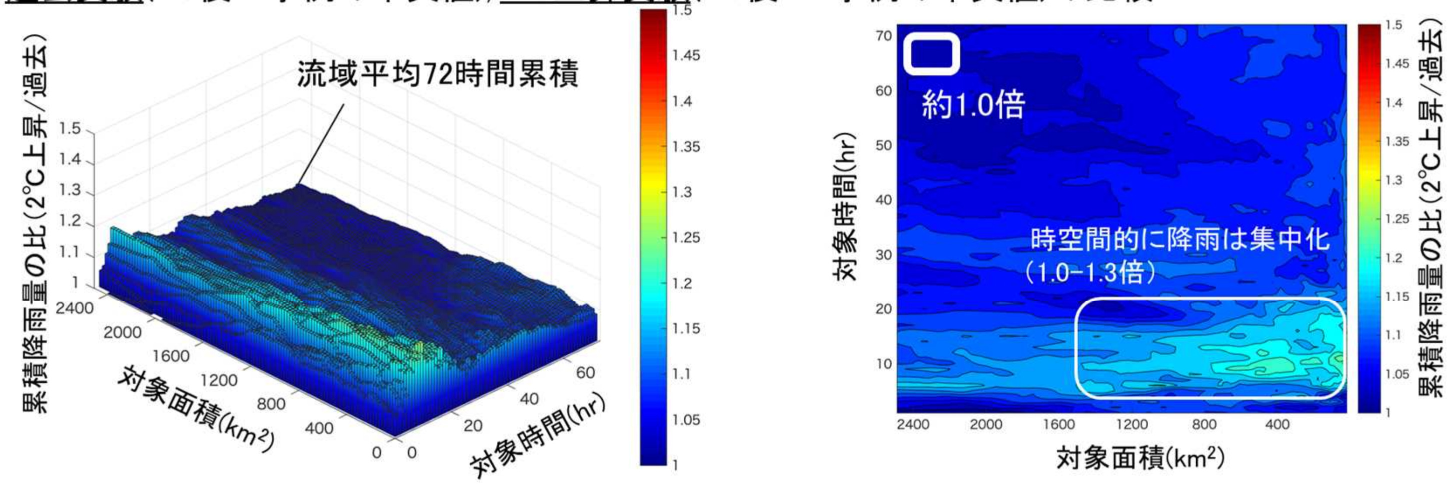
【参考】（令和元年10月提言時） 2℃上昇時の割増係数の考え方について

課題②

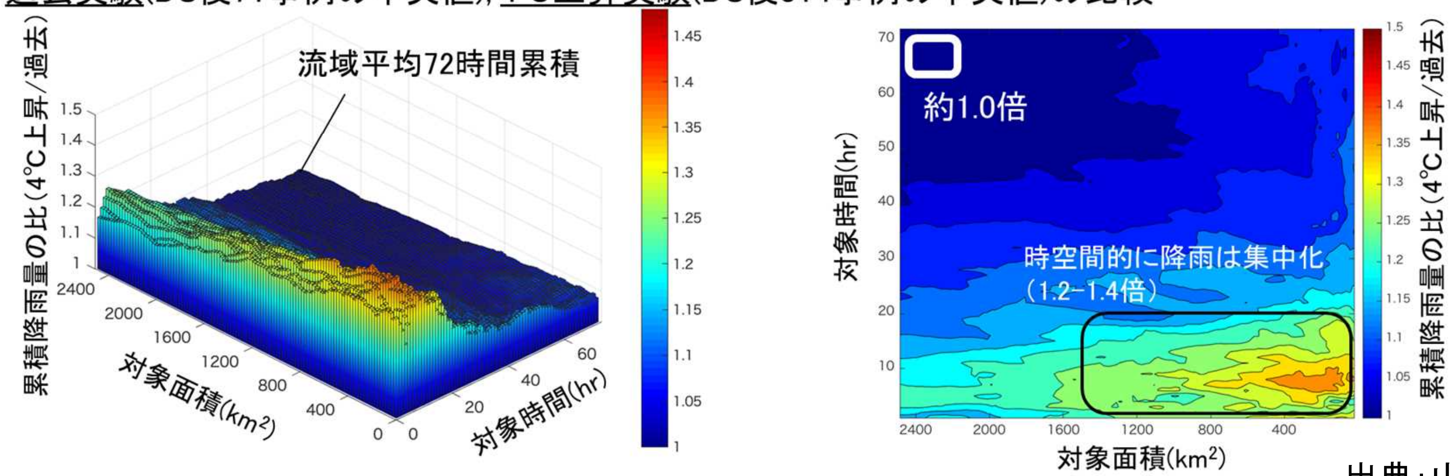
○十勝川を対象とした研究によると、小流域・短時間降雨の変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時は4℃上昇時ほど顕著には生じないとされている。
○そのため、2℃上昇時には小流域・短時間降雨の変化倍率の上乗せは行わないこととした。

十勝川帯広基準地点集水域(200~250mm/72hrのみを対象)

・過去実験(DS後71事例の中央値), 2℃上昇実験(DS後110事例の中央値)の比較



・過去実験(DS後71事例の中央値), 4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)の比較



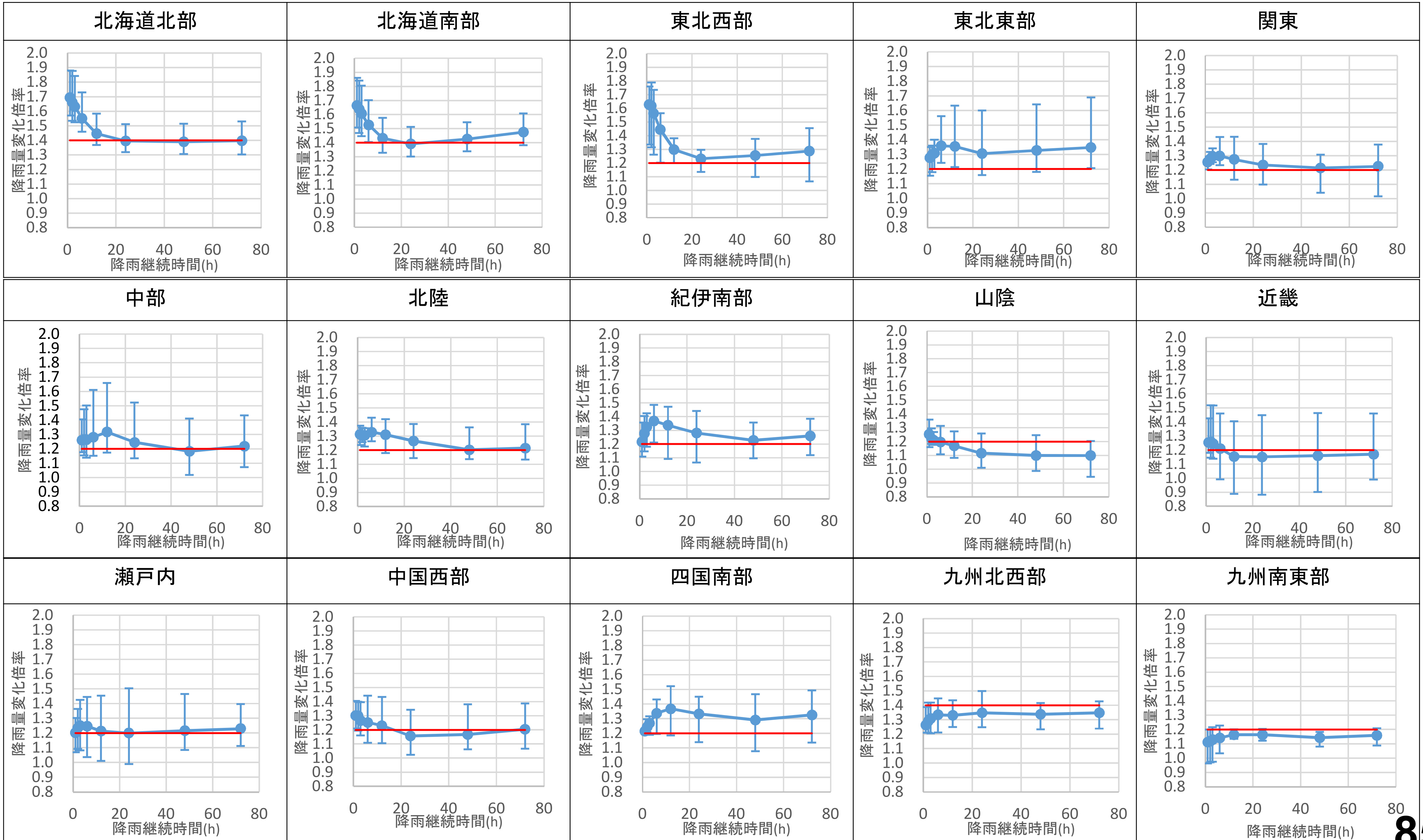
出典：山田委員提供資料

4℃上昇時における降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係（ d4PDF ）

課題②

〇各地域における降雨継続時間毎（1,2,3,6,12,24,48,72h）、雨域面積400km²の年超過確率1/100降雨量の変化倍率を算出。

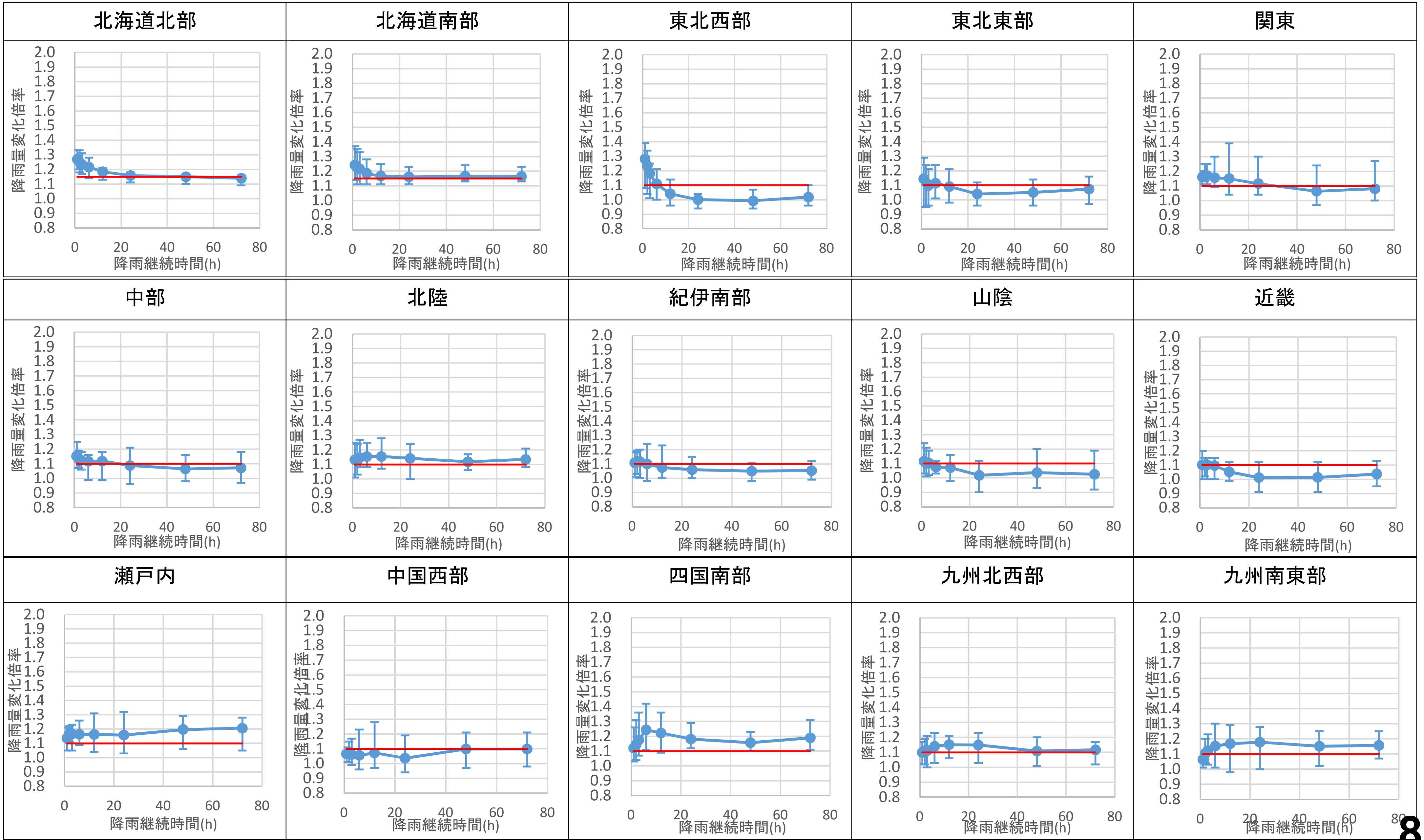
※北海道はd4PDF(5km, yamada)、その他の地域はd4PDF(5km, SI-CAT) を用いた。
海面水温6パターンの平均値を点で示し、幅はエラーバーで示す。また、赤線で北海道北部・南部、九州北西部：1.4倍、その他の地域：1.2倍を示す。



2℃上昇時における降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係（d2PDF） 課題②

〇各地域における降雨継続時間毎（1,2,3,6,12,24,48,72h）、雨域面積400km²の年超過確率1/100降雨量の変化倍率を算出。

※北海道はd4PDF(5km, yamada)、その他の地域はd4PDF(5km, SI-CAT) を用いた。
海面水温6パターンの平均値を点で示し、幅はエラーバーで示す。また、赤線で北海道北部・南部：1.15倍、その他の地域：1.10倍を示す。



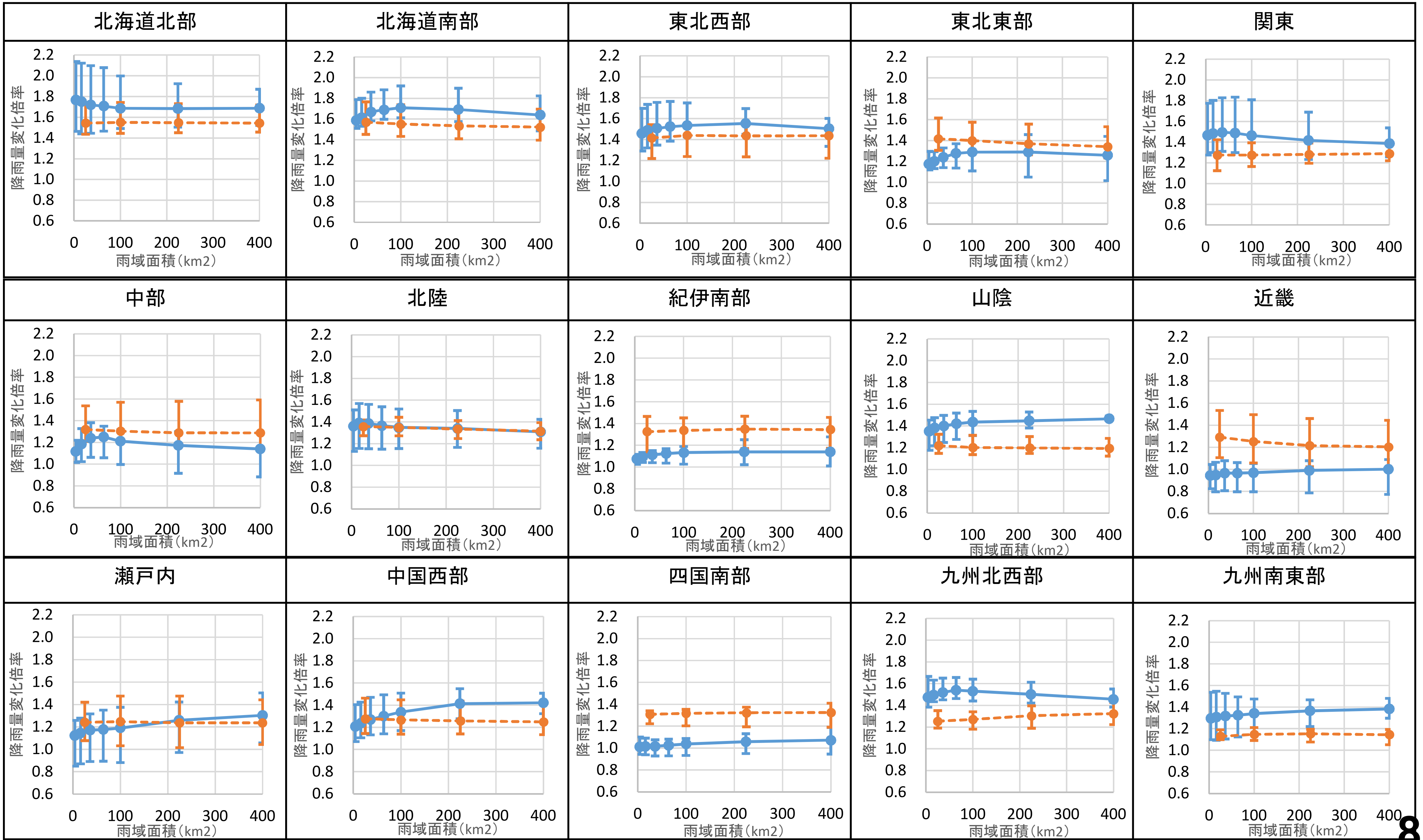
4℃上昇時における雨域面積と降雨量変化倍率の関係性（ NHRCM02(RCP8.5)、d4PDF ）

課題③

〇各地域における雨域面積毎（d4PDF：25,100,225,400km²、NHRCM02：4,16,36,64,100,224,400km²）、降雨継続時間（3,6,12h）の年超過確率1/100降雨量の変化倍率を算出。

※北海道はd4PDF(5km, yamada)、その他の地域はd4PDF(5km, SI-CAT)を用いた。海面水温パターンの平均値を点で示し、幅はエラーバーで示す（ NHRCM02：4SST 、d4PDF：6SST）。

NHRCM02　d4PDF

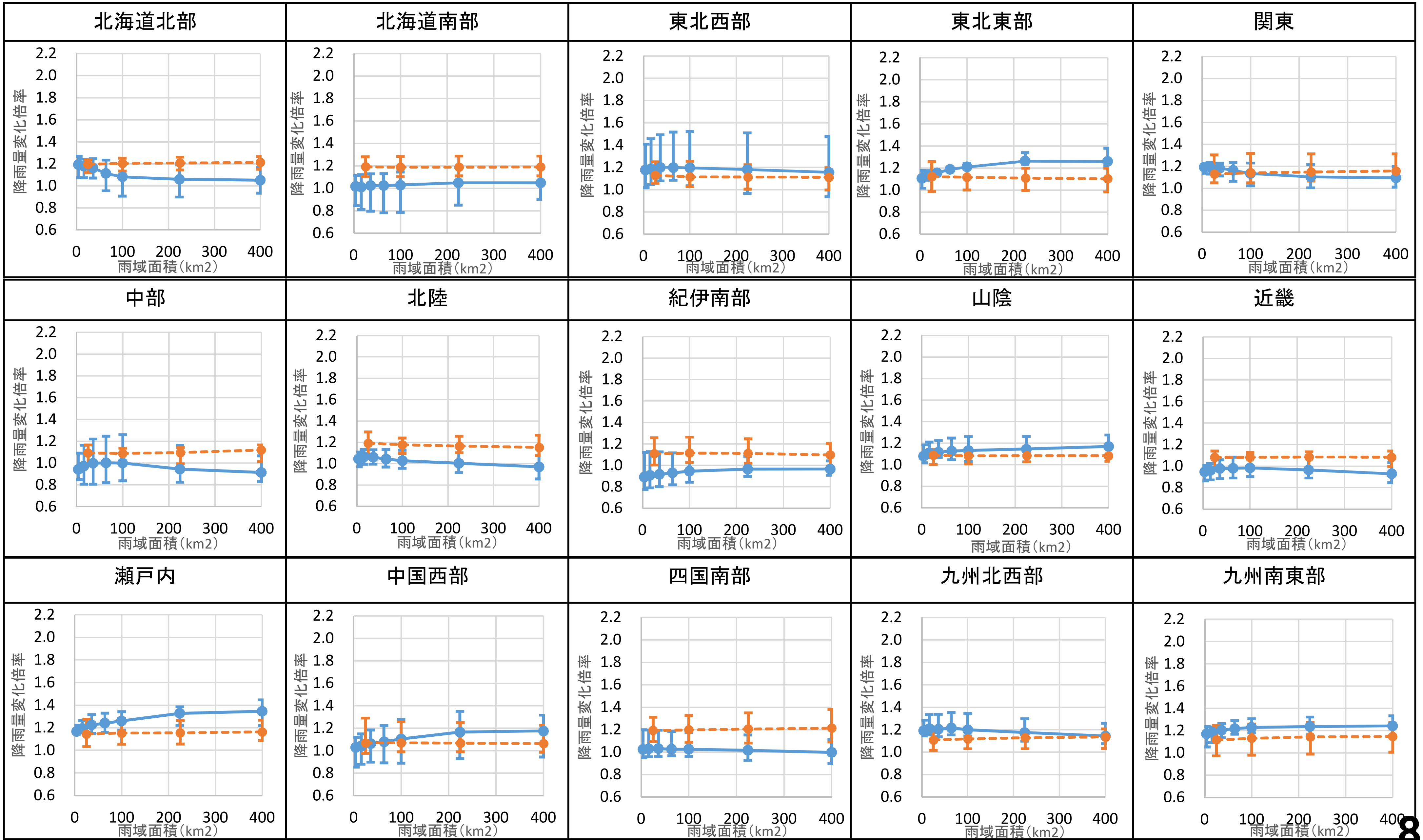


2℃上昇時における雨域面積と降雨量変化倍率の関係性（ NHRCM02(RCP2.6) 、d2PDF ） 課題③

〇各地域における雨域面積毎（d2PDF：25,100,225,400km²、NHRCM02：4,16,36,64,100,224,400km²）、降雨継続時間（3,6,12h）の年超過確率1/100降雨量の変化倍率を算出。

※北海道はd2PDF(5km, yamada)、その他の地域はd2PDF(5km, SI-CAT)を用いた。海面水温パターンの平均値を点で示し、幅はエラーバーで示す（ NHRCM02：4SST 、d2PDF：6SST）。

NHRCM02　d2PDF



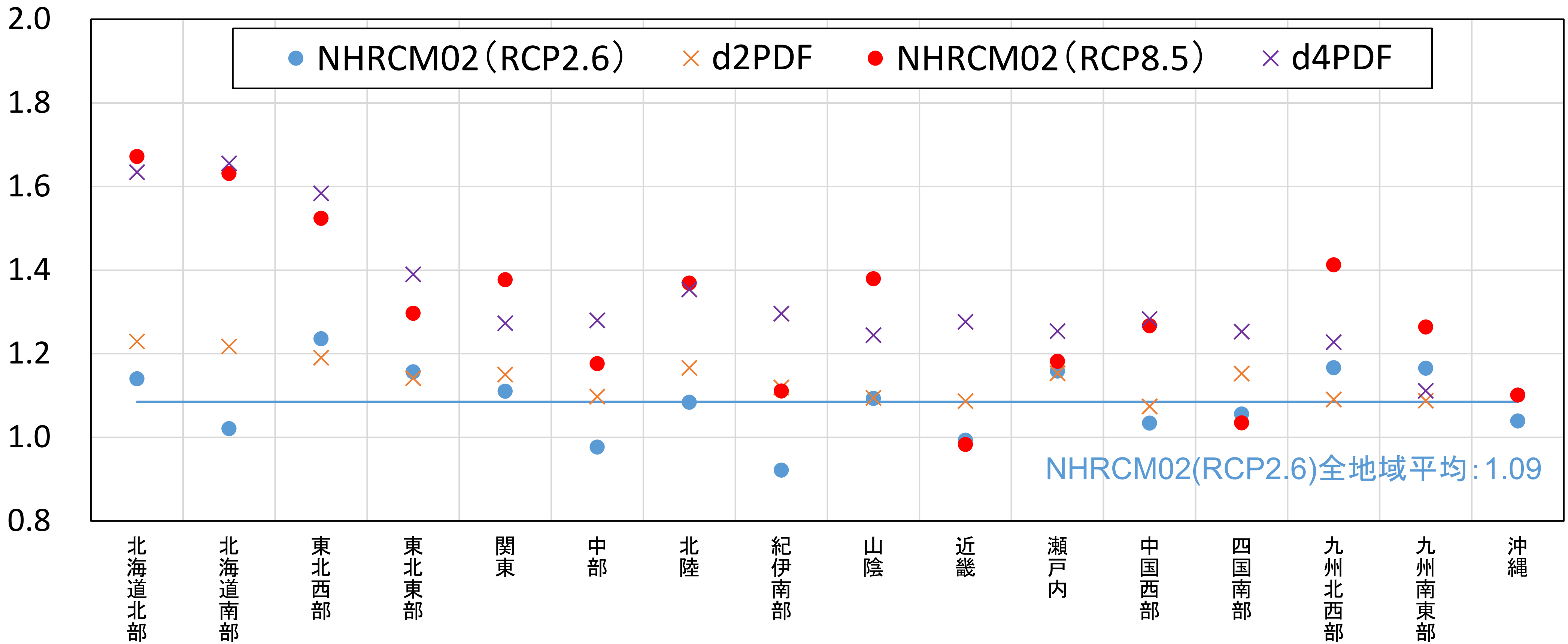
小流域・短時間降雨に対する各モデルの降雨量変化倍率

課題②,③

〇小流域・短時間降雨に対して、d4PDF・d2PDF（5kmメッシュ）、NHRCM02（2kmメッシュ）を用いた地域区分ごとの降雨量変化倍率を比較した。

〇各地域におけるNHRCM02（RCP2.6）の倍率値の全地域平均は1.09となり、ほぼ1.10倍と等しいため、小流域・短時間降雨に対するd2PDFによる倍率値の妥当性を支持する結果となった。

〇一方、北海道北部・南部におけるNHRCM02（RCP2.6）の倍率値は他地域と同程度の倍率値となり、d2PDFにおいて北海道北部・南部の倍率値を他地域よりも高く設定したことと異なる。これについては、NHRCM02（RCP8.5）では、北海道北部・南部の倍率値が他地域よりも高くなる傾向が見られたため、NHRCM02が小アンサンブルであることなどのモデルの違いが影響している可能性がある。



※雨域面積（d2PDF・d4PDF：25,100km2、NHRCM02：4,16,36,64,100km2）、降雨継続時間（1,2,3,6h）を対象として年超過確率1/100降雨量の降雨量変化倍率を算出した。

小流域・短時間降雨の降雨量変化倍率

〇4℃上昇時における降雨継続時間1、2時間の降雨量変化倍率は、NHRCM02を用いても、明確な傾向は見られなかった。
→現象の解明とメカニズムの評価が引き続き必要であると判断し、①値の設定は見送る。

〇小流域・短時間降雨の変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時は4℃上昇時ほど顕著には生じないことについて、d2PDFにより全国的に確認した。
→小流域・短時間降雨に対して、4℃上昇時は割増係数を適用し、②2℃上昇時は適用しない。

〇雨域面積による降雨量変化倍率の変動は小さいことや、気候モデルのメッシュサイズ（d4PDF・d2PDF：5km）を考慮し、
→今回設定する倍率は、③雨域面積100km²以上の降雨に対して適用可能とする。

小流域・短時間降雨の降雨量変化倍率（③雨域面積100km²以上を対象）

		降雨継続時間		
		12時間以上	3時間以上12時間未満	3時間未満
4℃上昇（RCP8.5）		1.3	1.4	―
	北海道、九州北西部	1.4	1.5	―
	その他の13地域（沖縄含む）	1.2	1.3	―
2℃上昇（RCP2.6）~~（暫定値）~~			1.1	
	北海道		1.15	
	その他の14地域（沖縄含む）		1.1	

① 値設定しない

② 割増係数適用しない

降雨量変化倍率と適用範囲について

〇降雨量変化倍率と適用範囲は、令和元年10月の提言公表以降の検討を踏まえ以下の通りとする。

- ・2℃上昇時の降雨量変化倍率は、九州北西部の値を1.10倍に変更する。
- ・島嶼部（沖縄等）における降雨量変化倍率は、その他の地域と同じ値とする。
- ・小流域・短時間降雨に対して、4℃上昇時は割増係数を適用し、2℃上昇時は適用しない。
- ・ 4℃上昇時における降雨継続時間1、2時間の降雨量変化倍率は、その現象の解明とメカニズムの評価が引き続き必要であると判断し、値の設定は見送る。

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="3">降雨継続時間</td></tr>
<tr><td>12時間以上</td><td>3時間以上12時間未満</td><td>3時間未満</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4℃上昇
（RCP8.5）</td><td></td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>―</td></tr>
<tr><td>北海道、九州北西部</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>―</td></tr>
<tr><td>その他の13地域（沖縄含む）</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>―</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2℃上昇
（RCP2.6）
~~（暫定値）~~</td><td></td><td colspan="3">1.1</td></tr>
<tr><td>北海道~~、九州北西部~~</td><td colspan="3">1.15</td></tr>
<tr><td>その他の14地域（沖縄含む）</td><td colspan="3">1.1</td></tr>
</table>

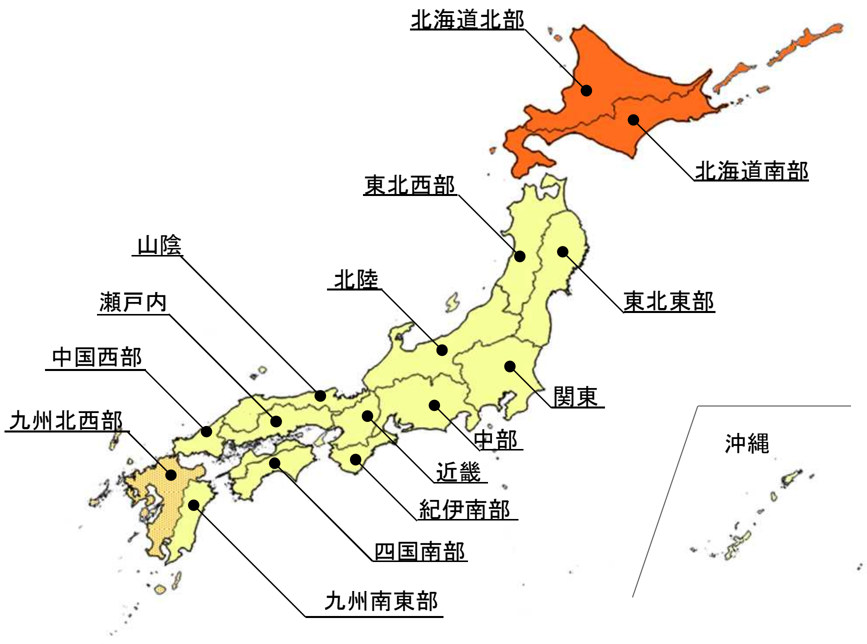
気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言　改訂版【概要】
＜気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化＞

〇降雨特性が類似している地域区分ごとに将来の降雨量変化倍率を計算し、将来の海面水温分布毎の幅や平均値等の評価を行った上で、降雨量変化倍率を設定。
〇2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道で1.15倍、その他（沖縄含む）地域で1.1倍、
4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道・九州北西部で1.4倍、その他（沖縄含む）地域で1.2倍とする。
〇4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

＜地域区分毎の降雨量変化倍率＞

地域区分	2℃上昇	4℃上昇	
			短時間
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5
その他（沖縄含む）地域	1.1	1.2	1.3

※ 4℃上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満のこと
3時間未満の降雨に対しては適用できない
※ 雨域面積100km2以上について適用する。ただし、100km2未満の場合についても降雨量変化倍率が今回設定した値より大きくなる可能性があることに留意しつつ適用可能とする。
※ 年超過確率1/200以上の規模（より高頻度）の計画に適用する。



＜参考＞降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化の一級水系における全国平均値

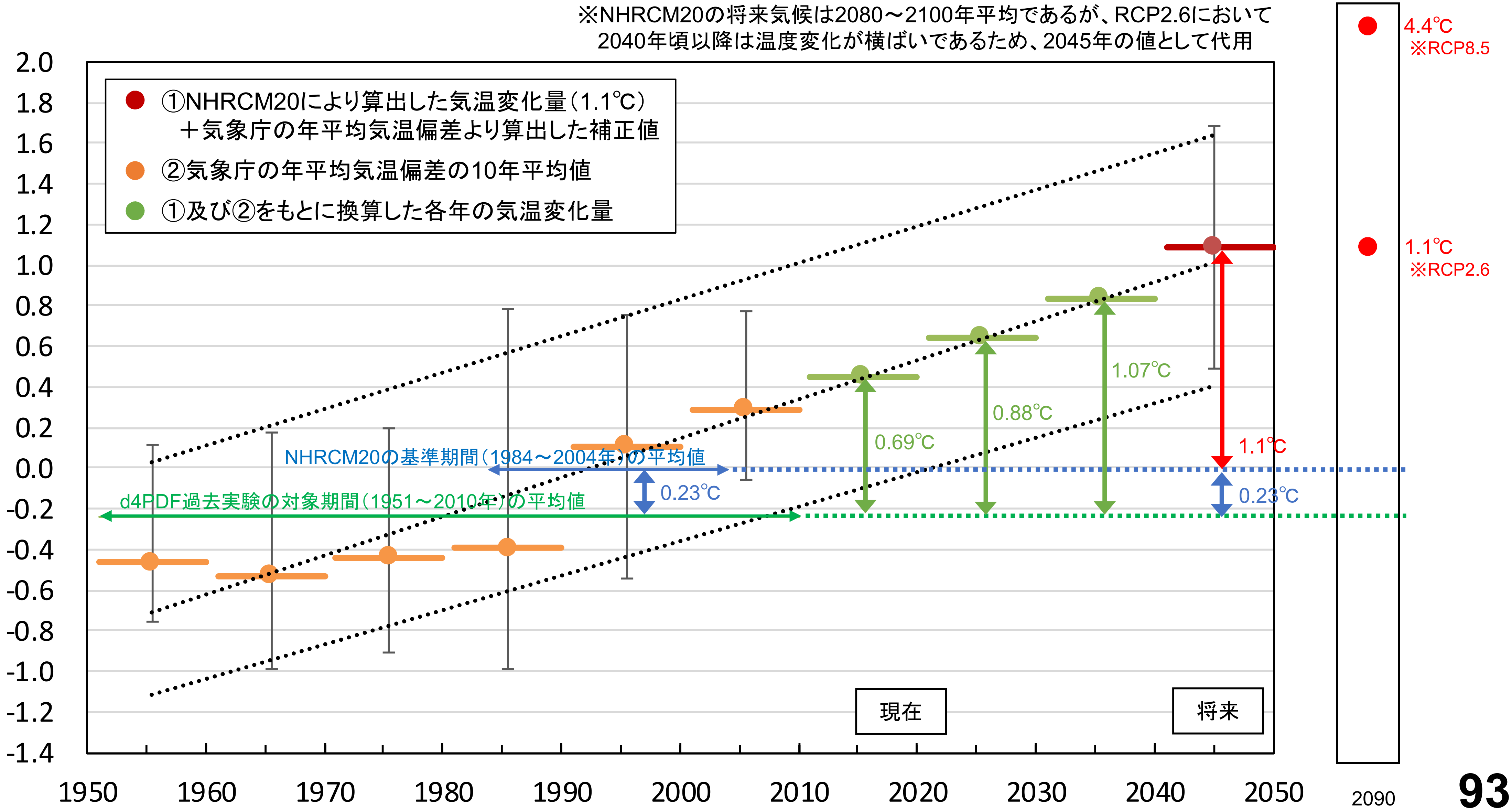
気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2℃上昇時	約1．1倍	約1．2倍	約2倍
4℃上昇時	約1．3倍	約1．4倍	約4倍

※ 2℃、4℃上昇時の降雨量変化倍率は、産業革命以前に比べて全球平均温度がそれぞれ2℃、4℃上昇した世界をシミュレーションしたモデルから試算
※ 流量変化倍率は、降雨量変化倍率を乗じた降雨より算出した、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の流量の変化倍率の平均値
※ 洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の降雨の、現在と将来の発生頻度の変化倍率の平均値
（例えば、ある降雨量の発生頻度が現在は1/100として、将来ではその発生頻度が1/50となる場合は、洪水発生頻度の変化倍率は2倍となる）

近未来の気温上昇の算出

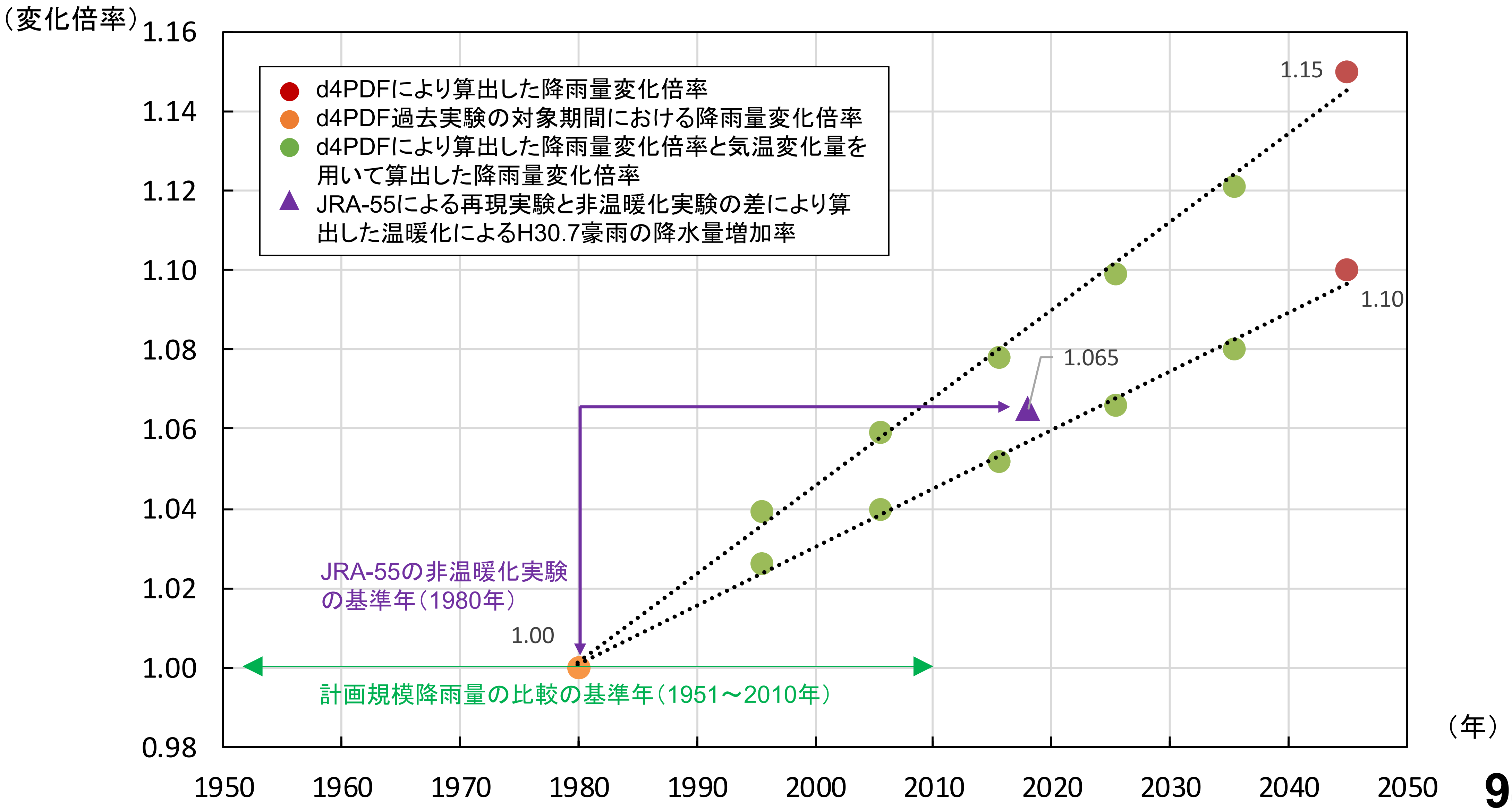
〇日本の年平均気温偏差の10年平均値とNHRCM20による年平均気温の将来予測結果をもとに各年の気温変化量を算出。

〇d4PDF過去実験の対象期間から、現在はすでに約0.7℃上昇していると推測される。



近未来の降雨量変化倍率の算出

〇d4PDFによる2℃程度気温が上昇した場合の降雨量変化倍率は、下記のとおり試算されている。
（北海道北部、北海道南部：1.15倍、その他の地域：1.1倍）
〇d4PDFによる降雨量変化倍率と、気温変化量をもとに、各年の降雨量変化倍率を算出。



近未来の降雨量変化倍率

〇現時点においてもすでに気候変動の影響は発生しており、危機管理等を検討するにあたってはそのことを考慮することも考えられる。
〇また、今後徐々に気候変動の影響が現れることを考えると、耐用年数の短い施設整備等においては、近未来の影響についても考慮する必要がある。

目標設定年に応じた降雨量変化倍率

目標設定年	1.15倍の場合 （2地域）	1.1倍の場合 （13地域）
2011年～2020年	1.08	1.05
2021年～2030年	1.10	1.07
2031年～2040年	1.12	1.09
2041年～2050年	1.15	1.10

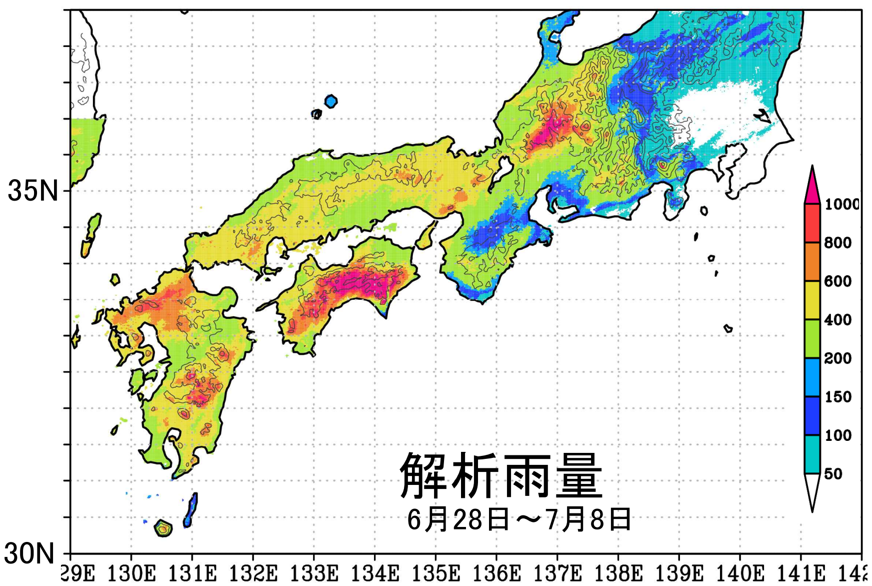
近年の気温上昇が豪雨に及ぼしている影響（平成30年7月）

○ 気象庁気象研究所では、地球温暖化と豪雨の関係について、温暖化による気温の長期的な上昇傾向とともに、大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向にあることや気温が1度上昇すると水蒸気量が7％程度増加することから、気温の上昇が平成30年7月豪雨に与えた影響を定量的に評価した。

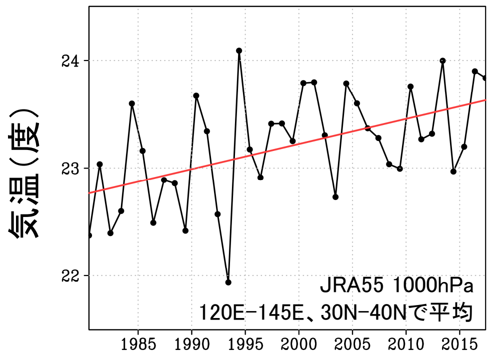
○ 気象庁55 年長期再解析(JRA-55)からの再現実験と近年の気温上昇を引いた感度実験との差により、<u>平成30年7月豪雨の陸域の総降水量は、約6.5%増</u>と試算された。

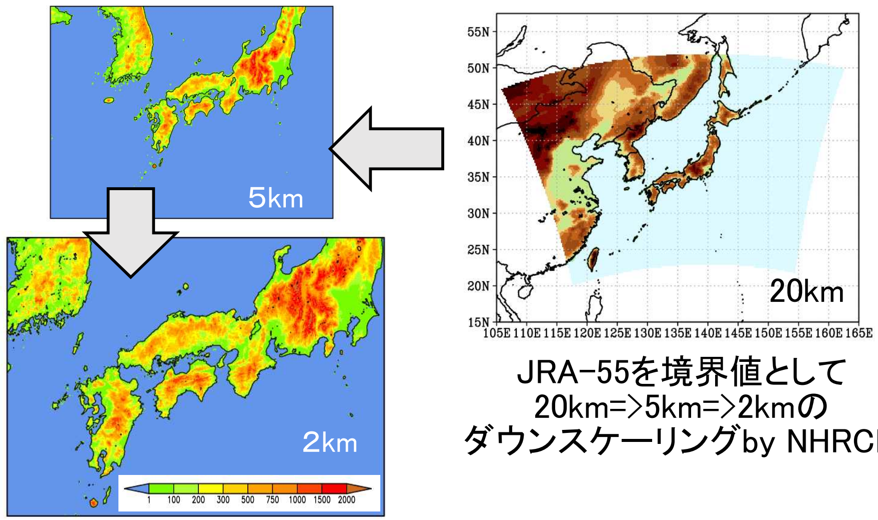
気象研

H30年7月豪雨の総降水量



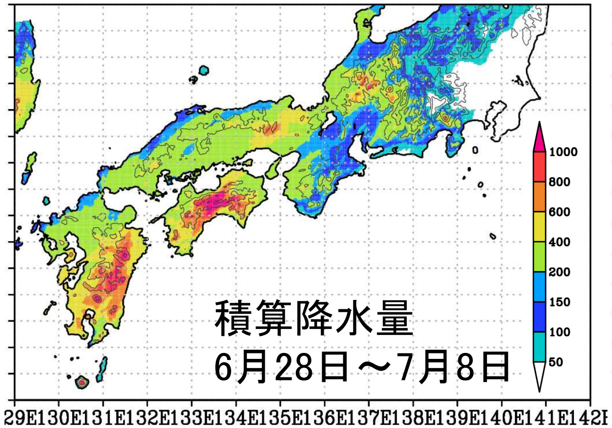
夏季(JJA)平均気温の時系列と
線形トレンド 1980-2018年（西日本）



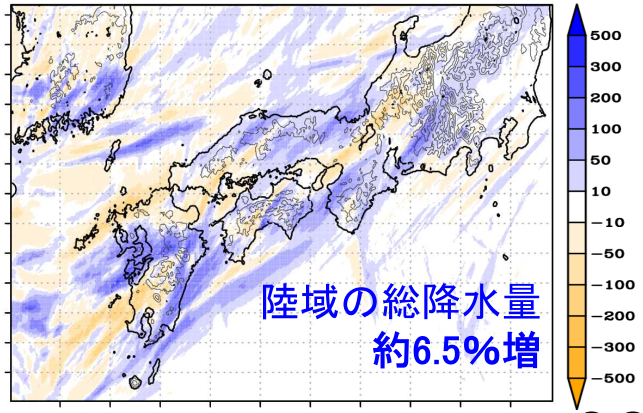


JRA-55を境界値として
20km=>5km=>2kmの
ダウンスケーリングby NHRCM

通常のJRA-55からの
再現実験



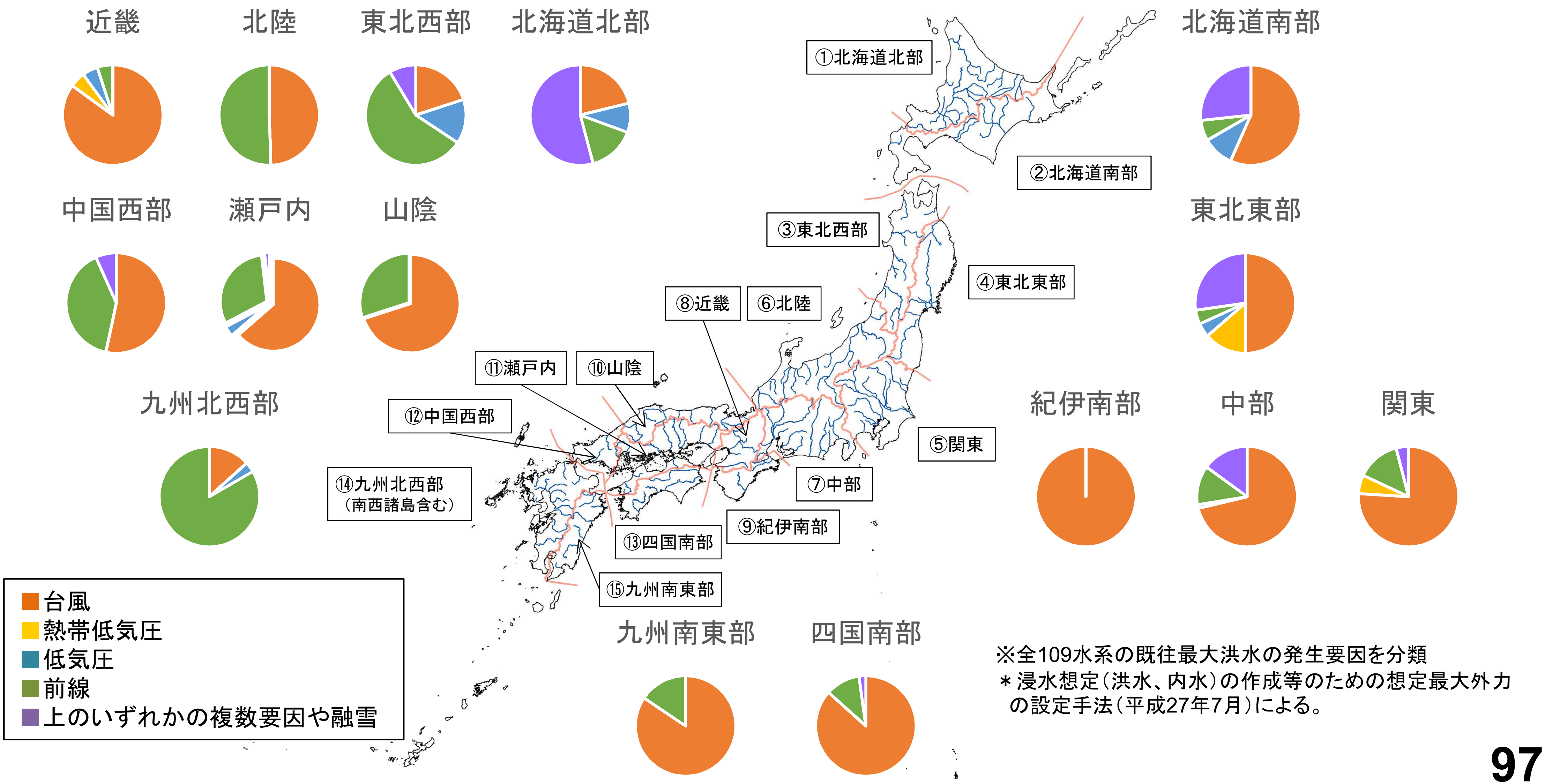
再現実験と近年の気温上昇を
引いた感度実験との差



Kawase et al., BAMS and SOLA, in prep.

気温上昇が近年の豪雨に及ぼしている影響

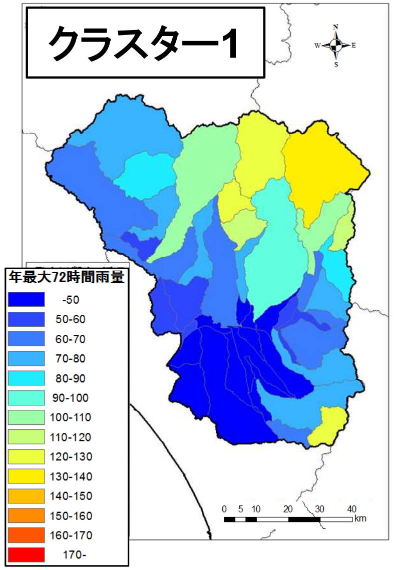
- 一級水系の既往上位5洪水の気象要因を、降雨の特性が似ている15地域＊毎に分類して整理した。
- 高梁川水系等が含まれる瀬戸内では6割以上の洪水が台風に起因している。
- なお、治水計画では既往洪水の降雨や水位流量データ、洪水の継続時間、降雨の原因（台風性、前線性）等を考慮し、対象降雨の継続時間等を設定することとしている。

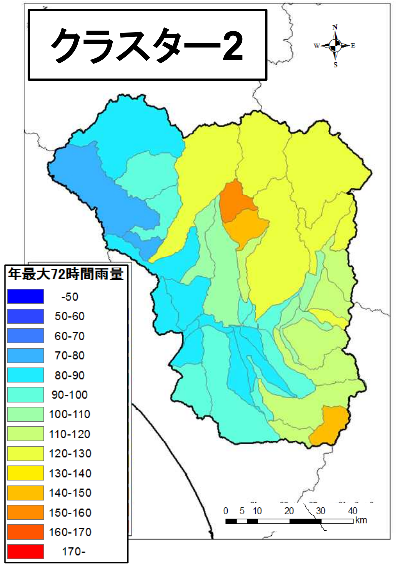


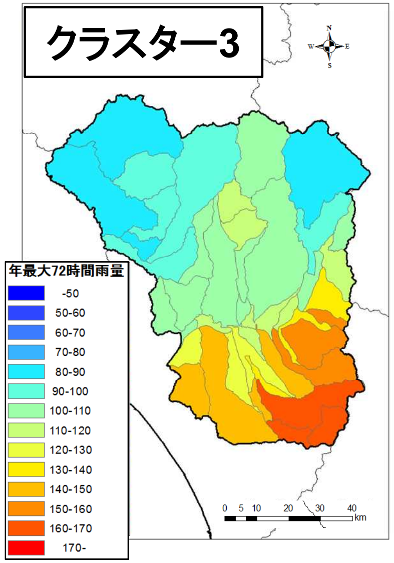
※全109水系の既往最大洪水の発生要因を分類
＊浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法（平成27年7月）による。

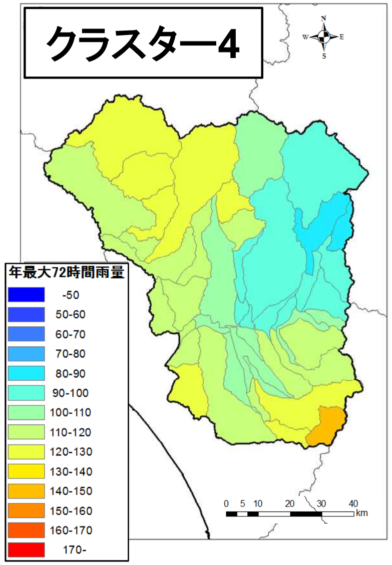
降雨の時空間分布の分類

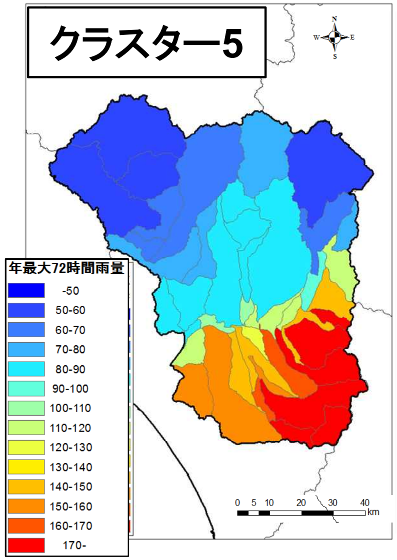
○ d4PDFの過去実験3000ケースおよび将来実験5400ケースの降雨の空間分布をクラスター分析により分類。
○ 将来実験においてクラスターの出現頻度が変化する場合(降雨の空間分布の変化が見られる場合)には、代表洪水の見直しや本支川計画の見直しを検討。



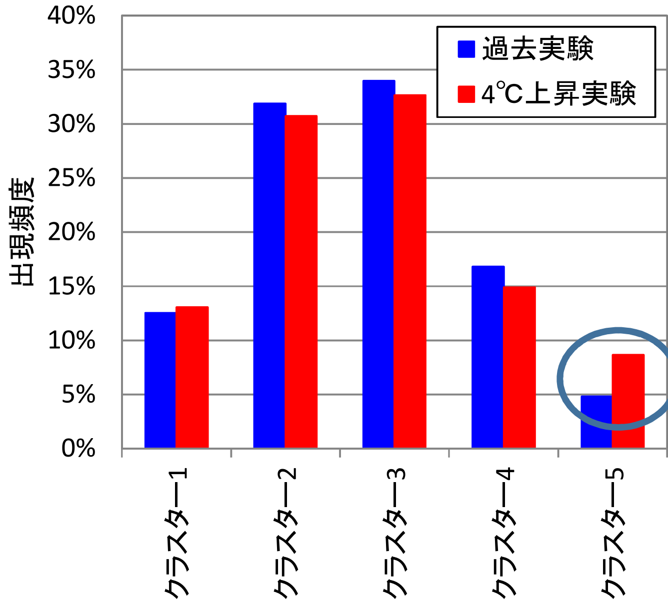






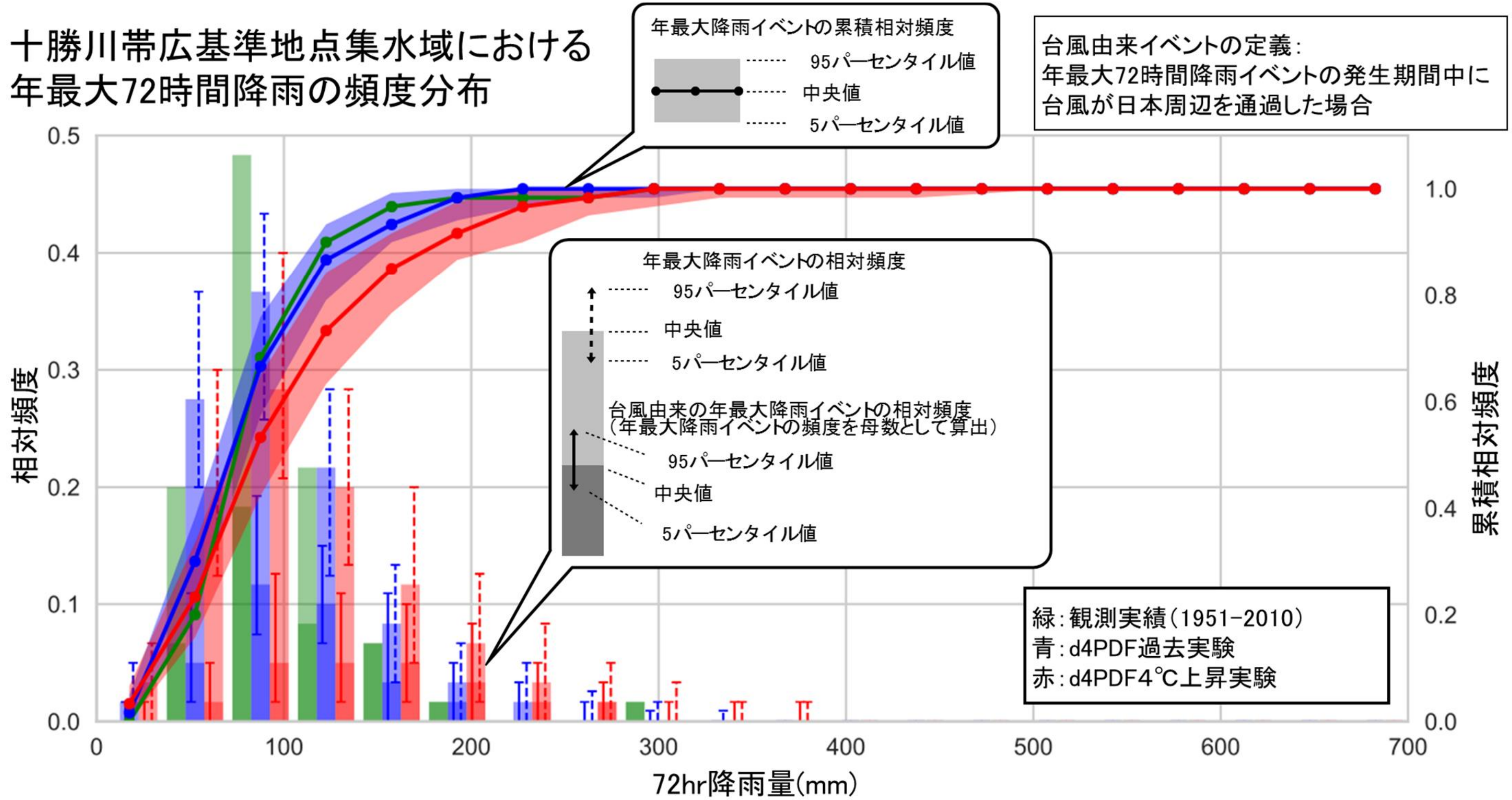


例えば、下図の様に過去実験と4℃上昇実験のクラスター別の出現頻度を比較すると南東部に降雨が集中するクラスター5の割合が増加しており、治水計画の見直しを検討。



クラスター毎の出現頻度の比較

年最大降雨イベントの降雨量の頻度分布（十勝川）



- d4PDFの降雨量は5kmDSの結果を使用
- d4PDFの各アンサンブルで60年分の相対頻度を算出し、その後、過去実験50メンバ、4℃上昇実験90メンバからアンサンブルメンバ間での中央値と5-95パーセンタイル値を算出

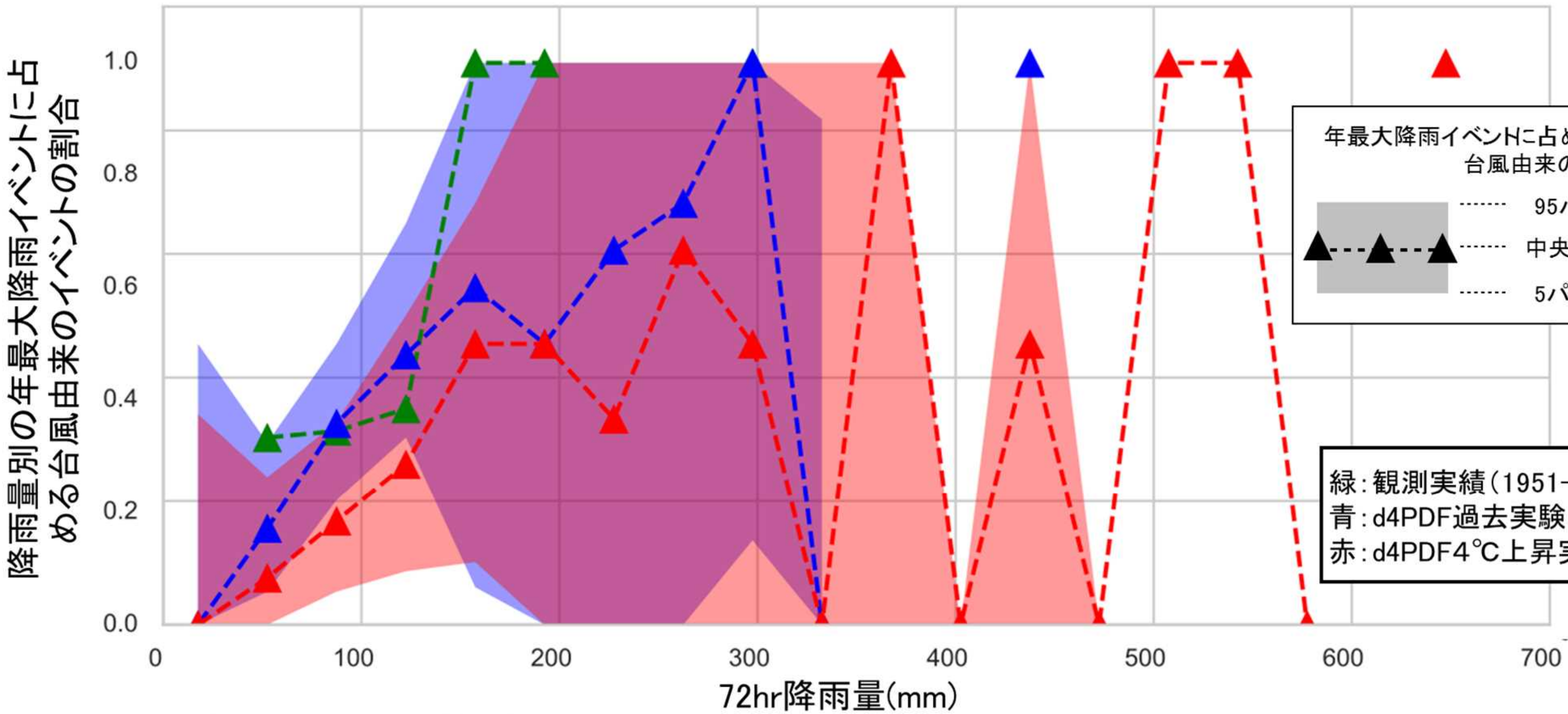
- d4PDF過去実験の年最大降雨の降雨量別の頻度と観測実績とは一致度が高い（いずれの降雨量においても5-95パーセンタイル値で概ねカバー）
- 台風由来の年最大降雨の降雨量別の頻度も観測実績との一致度が高い

出典：山田委員提供資料

年最大降雨イベントにおける台風由来のイベントの占める割合（十勝川）

十勝川帯広基準地点集水域における年最大72時間降雨イベントの
降雨量別での台風由来イベントの占める割合

台風由来イベントの定義：
年最大72時間降雨イベントの発生期間中に
台風が日本周辺を通過した場合



- d4PDFの降雨量は5kmDSの結果を使用
- d4PDFの各アンサンブルでの60年分の年最大降雨イベントから算出し、その後、過去実験50メンバ、4℃上昇実験90メンバからアンサンブルメンバ間での中央値と5-95パーセンタイル値を算出
- 観測実績は中央値としてプロット

年最大降雨イベントの全イベントに対して
台風由来イベントの占める割合

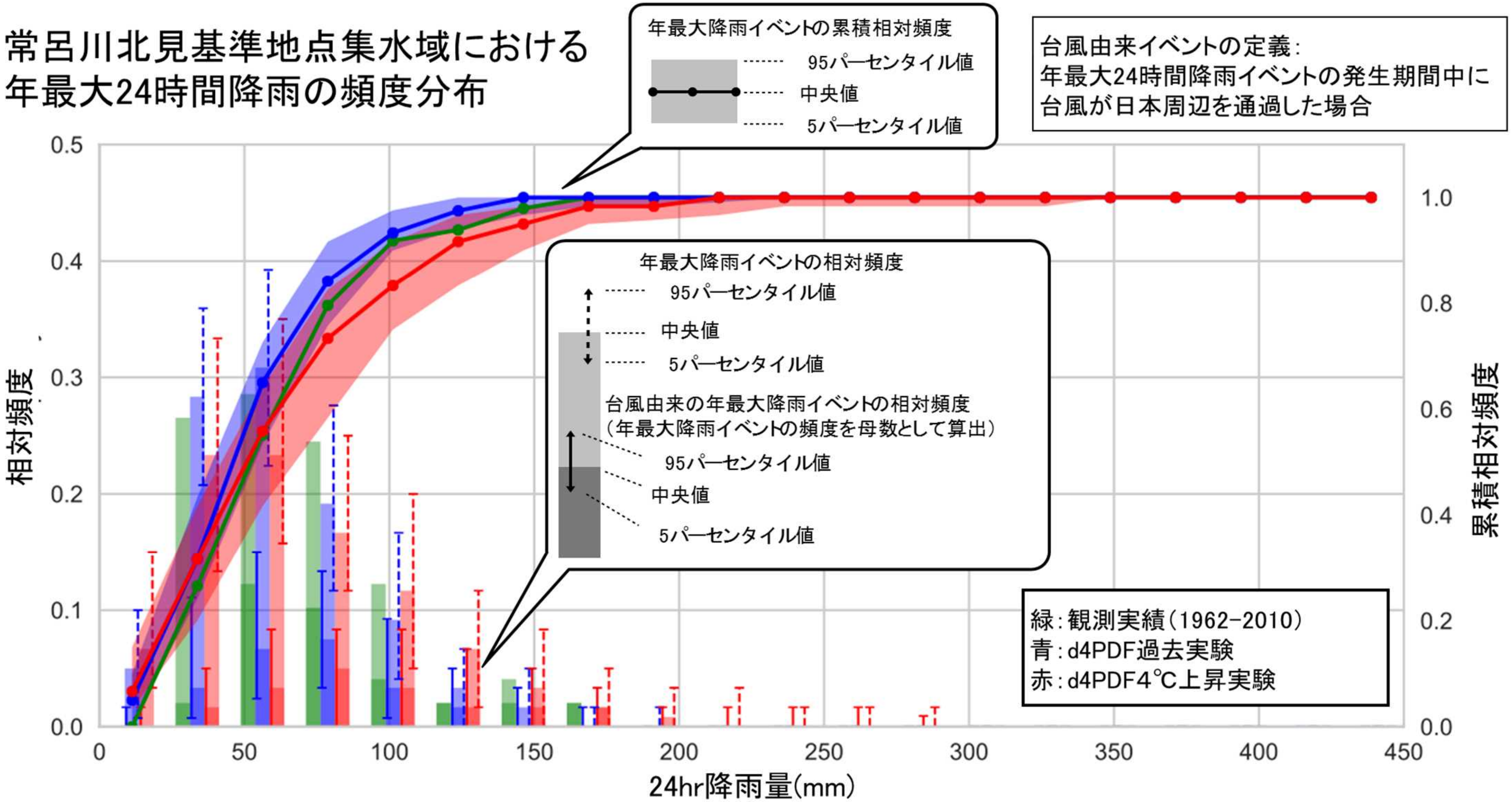
実績	過去実験	4℃上昇実験
43.3	36.7 (25.8-45.0)	28.3(15.0-36.7)

（中央値、カッコ内は5-95パーセンタイル値）

- 4℃上昇実験は過去実験と比べ、年最大降雨イベントに占める台風の割合は10%程度低い
- 観測、過去実験、4℃上昇実験のいずれも降雨量が大きいほど台風に由来するイベントである割合が高い

出典：山田委員提供資料

年最大降雨イベントの降雨量の頻度分布（常呂川）



・ d4PDFの降雨量は5kmDSの結果を使用
・ d4PDFの各アンサンブルで60年分の相対頻度を算出し、その後、過去実験50メンバ、4℃上昇実験90メンバからアンサンブルメンバ間での中央値と5-95パーセンタイル値を算出

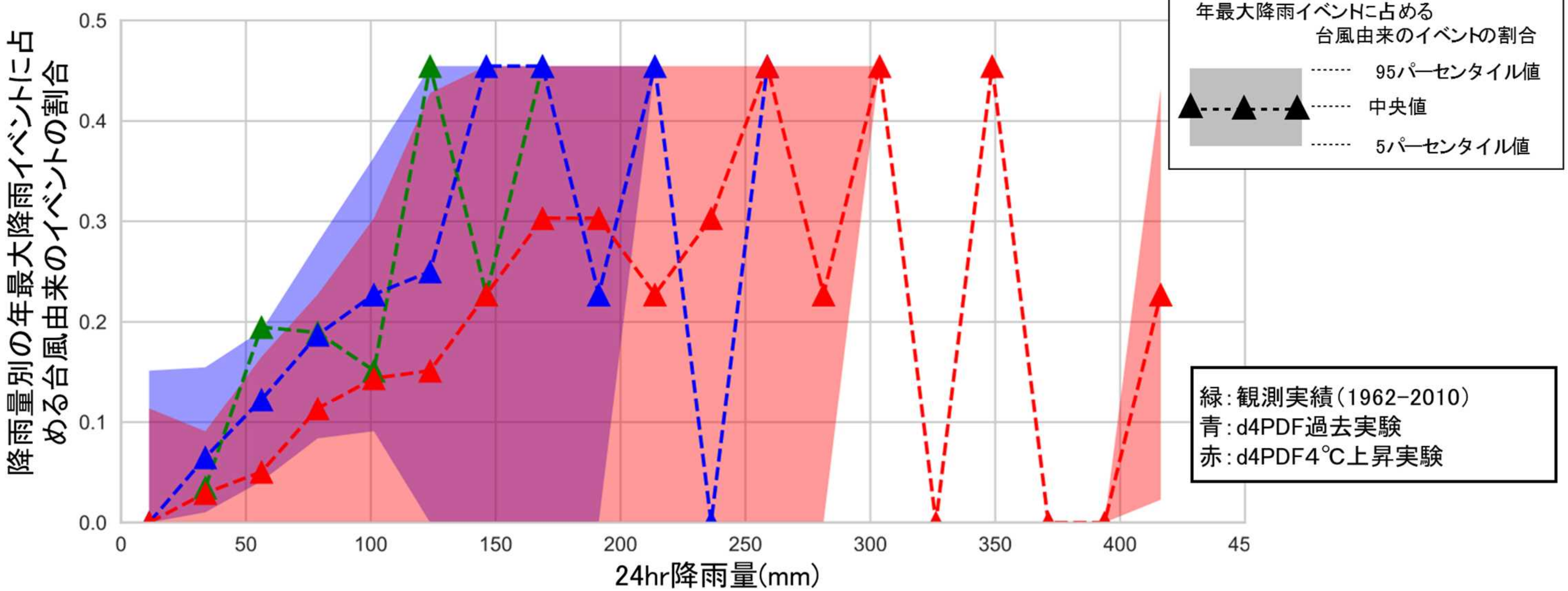
・ d4PDF過去実験の年最大降雨の降雨量別の頻度と観測実績とは一致度が高い（いずれの降雨量においても5-95パーセンタイル値で概ねカバー）
・ 台風由来の年最大降雨の降雨量別の頻度も観測実績との一致度が高い

出典：山田委員提供資料

年最大降雨イベントにおける台風由来のイベントの占める割合（常呂川）

常呂川北見基準地点集水域における年最大24時間降雨イベントの
降雨量別での台風由来イベントの占める割合

台風由来イベントの定義：
年最大24時間降雨イベントの発生期間中に
台風が日本周辺を通過した場合



- d4PDFの降雨量は5kmDSの結果を使用
- d4PDFの各アンサンブルでの60年分の年最大降雨イベントから算出し、その後、過去実験50メンバ、4℃上昇実験90メンバからアンサンブルメンバ間での中央値と5-95パーセンタイル値を算出
- 観測実績は中央値としてプロット

年最大降雨イベントの全イベントに対して
台風由来イベントの占める割合

実績	過去実験	4℃上昇実験
34.7	29.2 (21.7-40.0)	21.7(10.0-31.8)

（中央値、カッコ内は5-95パーセンタイル値）

- 4℃上昇実験は過去実験と比べ、年最大降雨イベントに占める台風の割合は10%程度低い
- 観測、過去実験、4℃上昇実験のいずれも降雨量が大きいほど台風に由来するイベントである割合が高い

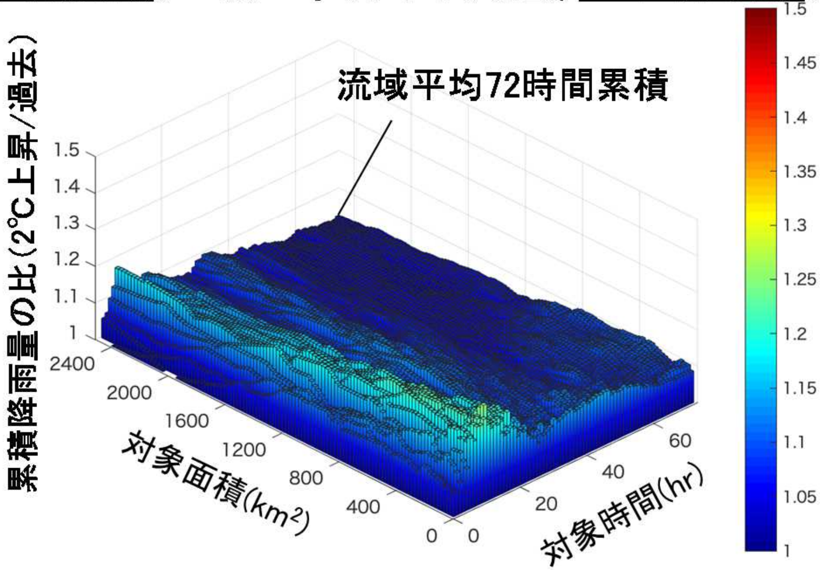
出典：山田委員提供資料

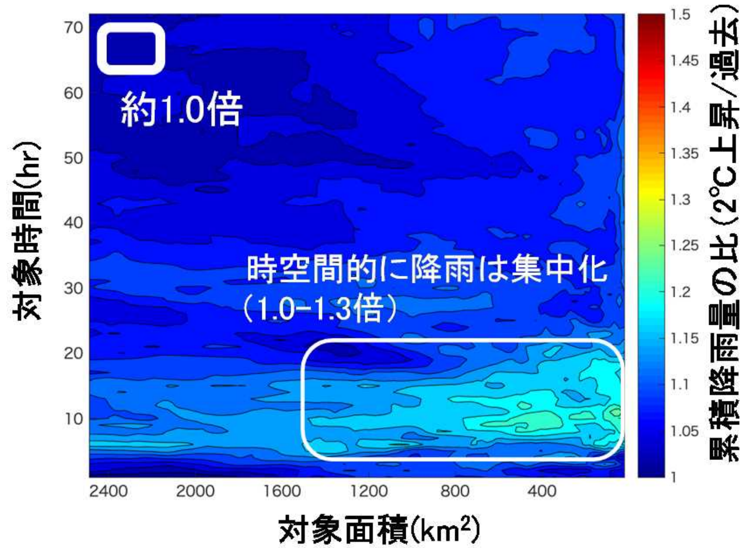
降雨継続時間の短い雨の温暖化による影響

十勝川帯広基準地点集水域(200~250mm/72hrのみを対象)

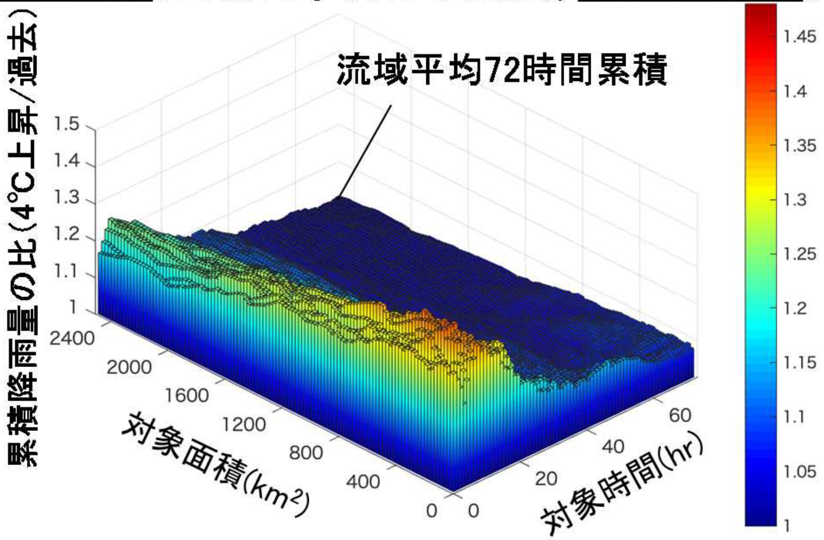
出典:山田委員提供資料

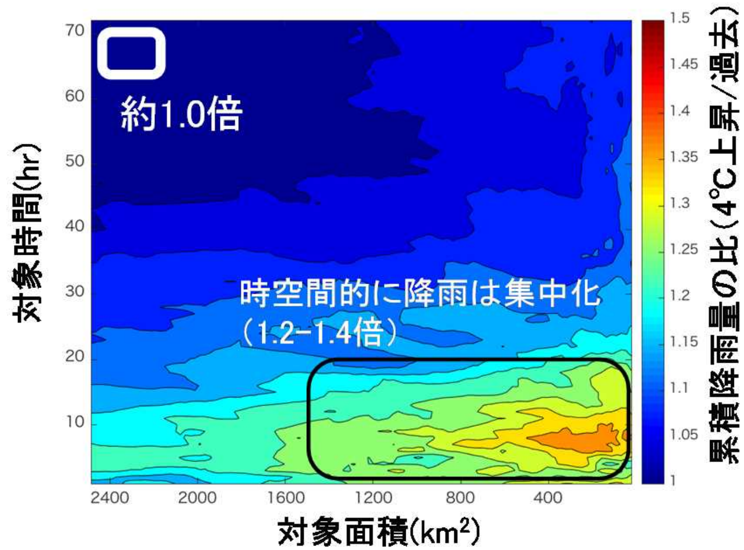
・過去実験(DS後71事例の中央値), 2℃上昇実験(DS後110事例の中央値)の比較





・過去実験(DS後71事例の中央値), 4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)の比較





温暖化の進行度合いに応じて、計画規模の降雨の時空間的な集中化の度合いは高まる

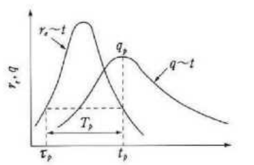
実績降雨、過去実験・将来実験の降雨継続時間

○ 洪水のピーク流量は降雨継続時間に大きく影響されるため、実績降雨、過去実験・将来実験での変化を確認する。
○ 基本方針検討時の実績降雨とd4PDFの過去実験・将来実験データを用いて、理論式等より求めた洪水到達時間、ピーク流量とピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量との相関関係、主要洪水における強い降雨強度の継続時間を整理。

Kinematic Wave法及び角屋の式による洪水到達時間の検討

○ Kinematic Wave法及び角屋の式により、下記の3データから洪水到達時間を算出
- 基本方針検討時の実績降雨
- d4PDF過去実験データ
- d4PDF将来実験データ

Kinematic Wave法：短形斜面上の表面流にKinematic Wave理論を適用して洪水到達時間を導く手法。実績のハイエトとハイドロを用いて、ピーク流量生起時刻以前の雨量がピーク流量生起時刻(t_p)の雨量と同じになる時刻(τ_p)により$T_p = t_p - \tau_p$として推定



T_p：洪水到達時間
τ_p：ピーク流量を発生する特性曲線の上流端での出発時刻
t_p：その特性曲線の下流端への到達時刻
r_e：$\tau_p \sim t_p$間の平均有効降雨強度
q_p：ピーク流量

角屋の式：Kinematic Wave理論の洪水到達時間を表す式に、河道長と地形則を考慮した式

$$T_p = CA^{0.22} \cdot r_e^{-0.35}$$

T_p：洪水到達時間(min)
A：流域面積(km²)
r_e：時間当たり雨量(mm/hr)
C：流域特性を表す係数

丘陵山林地流域 C=290
放牧地・ゴルフ場 C 190～210
粗造成宅地 C=90～120
市街化地域 C=60～90

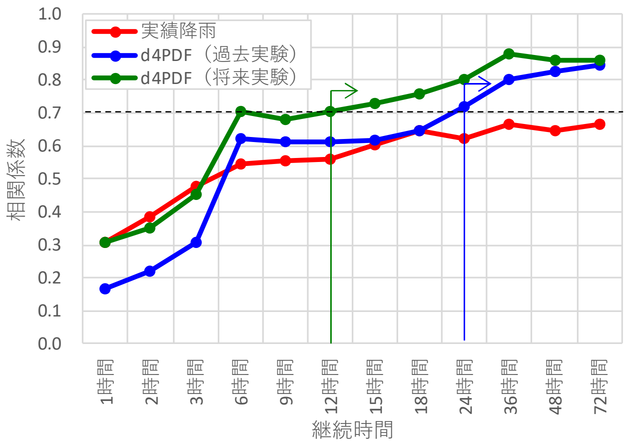
＜実績降雨における算出例＞
■Kinematic Wave法による洪水到達時間：7～40時間（平均21時間）と推定
■角屋の式による洪水到達時間：11～16時間（平均14時間）と推定

No.	ピーク流量 (m3/s)	kinematic wave法	角屋式	
		算定結果（hr）	平均有効降雨強度 re（mm/hr）	算定結果（hr）
1	9,724	7	3.5	16
2	8,795	40	5.3	14
3	11,536	28	4.4	14
4	6,584	22	9.2	11
5	6,645	22	5.5	13
6	6,637	17	4.4	14
7	7,088	21	5	14
8	5,377	30	6.6	13
9	5,217	15	3.1	16
10	4,565	10	4.7	14
平均値	－	21	－	14

基準地点ピーク流量とn時間雨量との相関の検討

○ 左記検討で用いた3データ（基本方針検討時の実績降雨、d4PDF過去実験、d4PDF将来実験）から、基準地点において年最大流量を記録した洪水を対象に、ピーク流量とピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量（1～3、6、9、12、15、18、24、36、48、72時間）との相関関係を把握

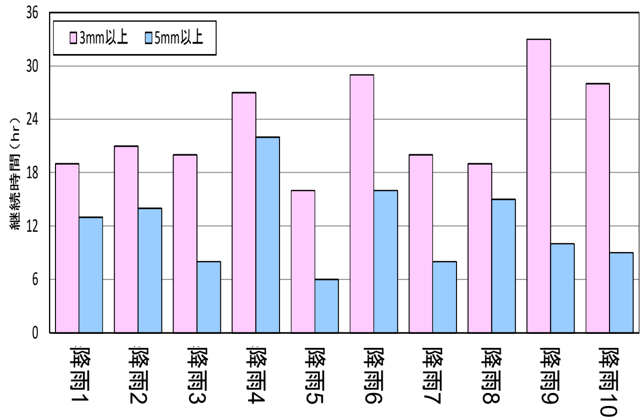
＜3データにおける相関係数の検討例＞
■実績降雨は、相関が最も高いのは72時間であるが、全体的に低い相関となっている。
■d4PDF過去実験による降雨は、相関性が高い降雨は概ね24時間以上であり、最も相関が高いのは72時間となっている。
■d4PDF将来実験による降雨は、相関性が高い降雨は概ね12時間以上であり、最も相関が高いのは36時間となっている。



強い降雨強度の継続時間の検討

○ 左記検討で用いた3データ（基本方針検討時の実績降雨、d4PDF過去実験、d4PDF将来実験）から、基準地点における年最大流量を記録した洪水等の主要洪水を対象として、強い降雨強度（ここでは3mm/hr及び5mm/hr）の継続時間を整理

＜実績降雨における算出例＞
■主要洪水における降雨量3mm/hrの継続時間の平均値は23.2時間、降雨量5mm/hrの継続時間の平均値は12.1時間となる。



現行計画、過去実験・将来実験の本支川バランス

○将来降雨の地域分布が変化する場合は、降雨が増加する支川域のリスクが増大する。
○過去実験・将来実験データによる支川・本川流量の増加や本支川の合流時差の変化を確認する。
○本支川バランスが変化する場合は、将来降雨の変化状況を確認し、必要に応じて治水計画の見直しを検討

イメージ

支川Ⅰ川
計画波形：5,000m³/s（42%）
実績降雨：4,500m³/s（45%）【2.2h】
過去実験：4,000m³/s（40%）【2.0h】
将来実験：7,000m³/s（50%）【2.0h】
（○%）は基準地点A流量に対する割合
【○h】は基準地点Aのピーク流量生起時刻に対する時差

- 支川Ⅰにおいては、将来実験降雨による支川流量が、計画波形による支川流量よりも増加し、<u>支川／本川の流量割合が42%→50%に変化</u>
  ⇒治水計画の見直しを検討

支川Ⅲ川
計画波形：2,000m³/s（50%）
実績降雨：1,500m³/s（50%）【7.1h】
過去実験：1,500m³/s（50%）【6.6h】
将来実験：2,000m³/s（50%）【5.2h】
（○%）は主要地点C流量に対する割合
【○h】は基準地点Aのピーク流量生起時刻に対する時差

支川Ⅰ川 →

支川Ⅲ川 →

■基準地点A
計画波形：12,000m³/s
実績降雨：10,000m³/s
過去実験：10,000m³/s
将来実験：14,000m³/s

●主要地点B
計画波形：7,000m³/s
実績降雨：5,500m³/s【4.8h】
過去実験：5,000m³/s【2.6h】
将来実験：8,000m³/s【2.6h】
【○h】は基準地点Aのピーク流量生起時刻に対する時差

← 支川Ⅱ川

●主要地点C
計画波形：4,000m³/s
実績降雨：3,000m³/s【6.4h】
過去実験：3,000m³/s【5.2h】
将来実験：4,000m³/s【6.1h】
【○h】は基準地点Aのピーク流量生起時刻に対する時差

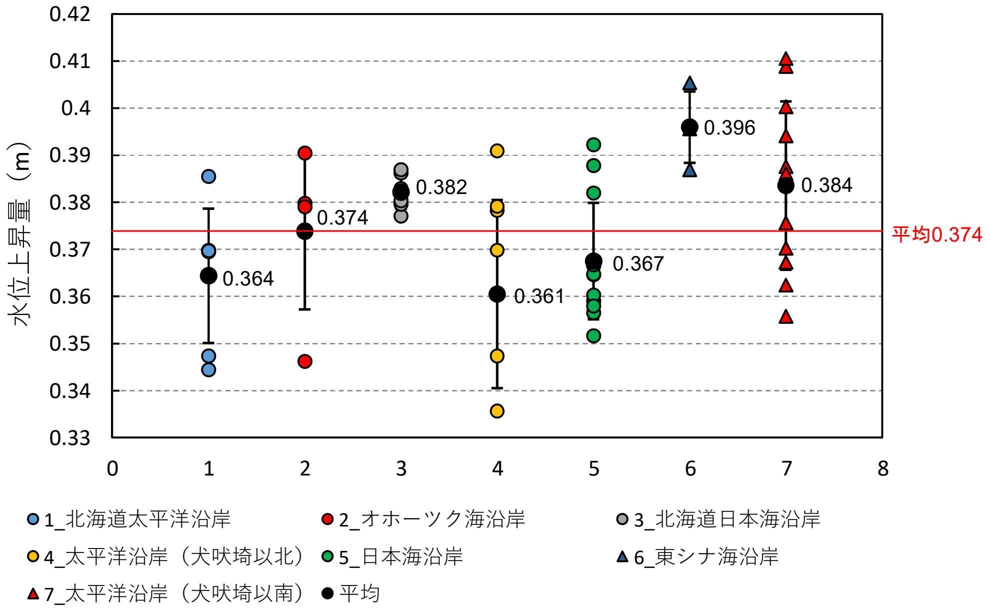
【計算条件の例】
- 計画波形は、代表洪水の昭和○年○月洪水
- 実績降雨は、基本方針検討に用いた複数波形の平均
- 過去実験、将来実験は、実験データを確率評価し、基本方針の計画規模相当雨量周辺（±●mm）の数波形を抽出し平均

支川Ⅱ川
計画波形：3,000m³/s（43%）
実績降雨：2,500m³/s（45%）【6.4h】
過去実験：2,000m³/s（40%）【3.9h】
将来実験：3,000m³/s（38%）【4.7h】
（○%）は主要地点B流量に対する割合
【○h】は基準地点Aのピーク流量生起時刻に対する時差

気候変動による平均海面の上昇等への対応

○ 気候変動（2度上昇）による日本近海における将来の海面上昇量は、平均で数十センチと予測＊1。
○ このため、治水計画において、平均海面の上昇や高潮等の外力増大に備えた対応の検討が必要。

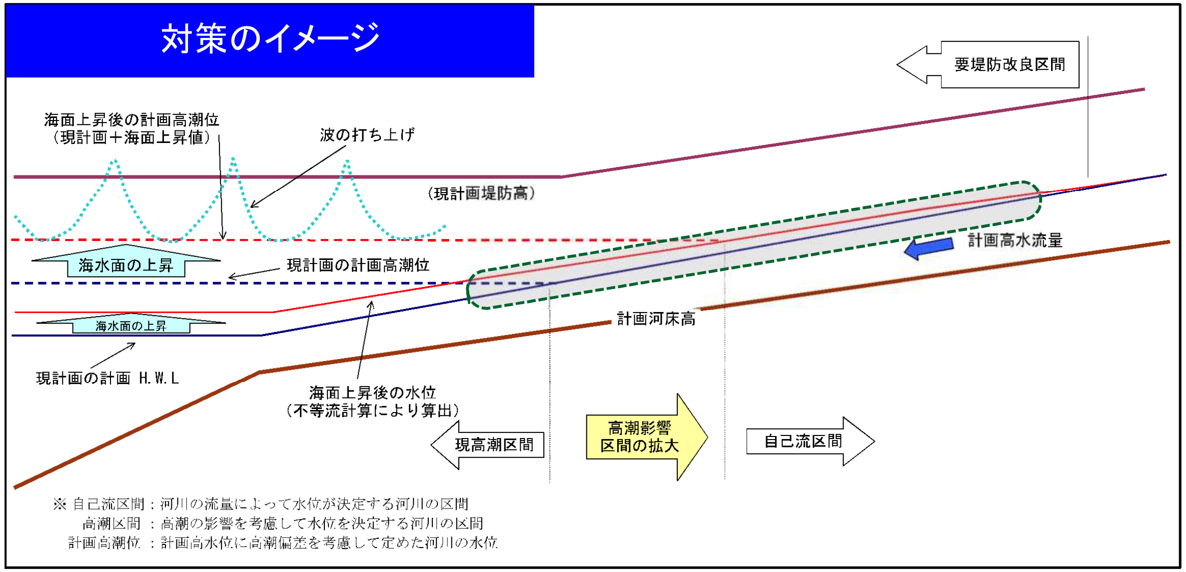
海面水位の上昇量の予測結果
（1980～2005年平均を基準とした2081～2100年の平均値）



＊1；IPCC第5次報告に記載された予測シナリオRCP2.6において、全球平均を算出する元となったメッシュデータ（21種類のCMIPモデルによる予測値のアンサンブル平均）より集計

平均海面の上昇による治水計画及び浸水想定への影響

計画等	出発水位
基本方針（河道計画）	朔望平均満潮位＋密度差
高潮計画	計画高潮位＋打ち上げ高
浸水想定区域（計画規模）	計画高潮位
浸水想定区域（想定最大降雨）	計画高潮位
高潮浸水想定	既往最大規模台風が朔望平均満潮位で発生



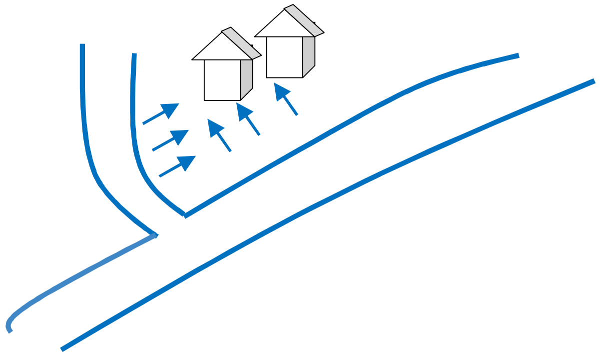
※出典：国土交通省「地球温暖化に伴う海面上昇に対する国土保全研究会報告書　参考資料第4章
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/05/050502_.html

気候変動による複合的な要因による災害リスク

気候変動により複合的な要因による災害リスクの増加が懸念されるため、発生が予想される災害リスクと気候変動の影響を解明し、対策を講ずることが必要。

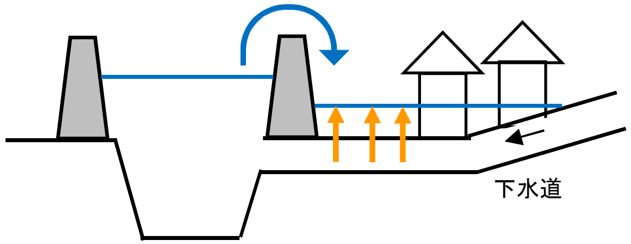
本川・支川

● 支川の合流部における複数の河川の洪水氾濫による被害



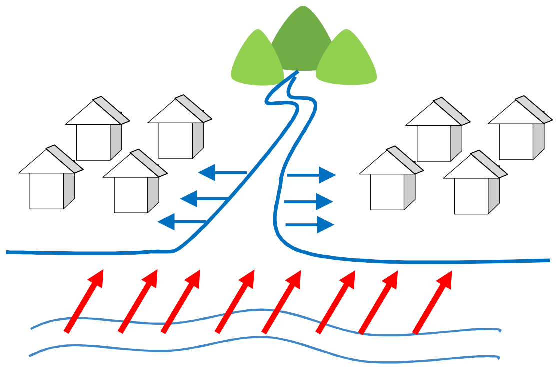
内水・外水

● 中心市街地等における家屋や重要な施設等の浸水被害



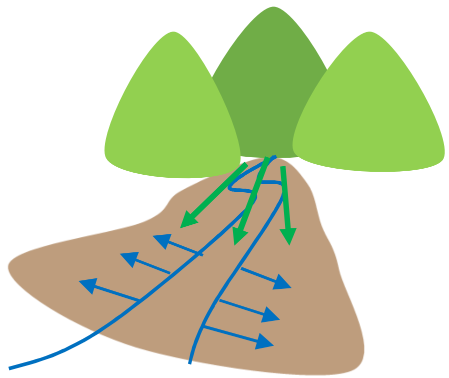
高潮・洪水

● 高潮の影響が及ぶ河口部の河川や海岸における高潮・洪水氾濫による被害



土砂・洪水

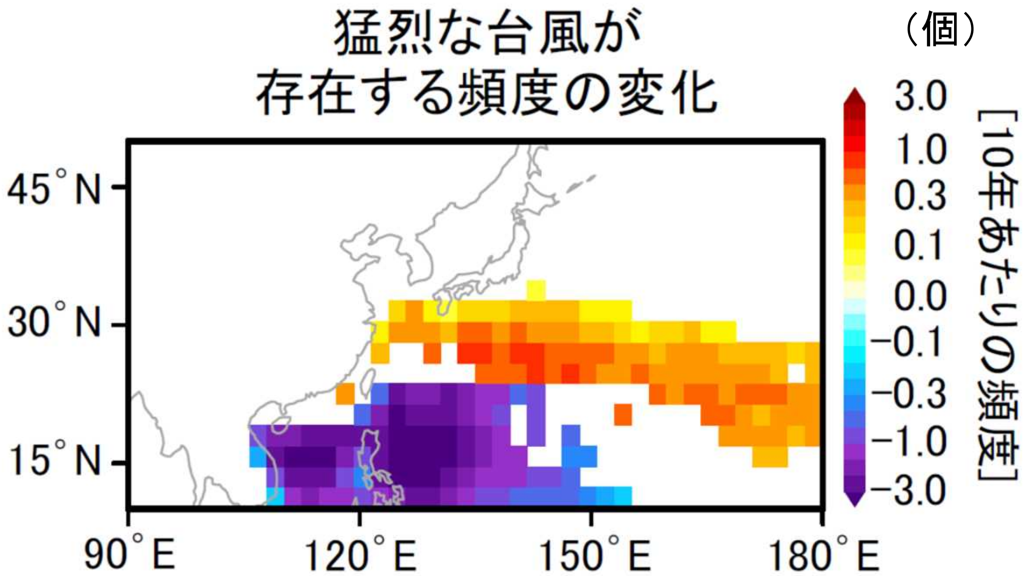
● 土砂と洪水の氾濫が同時に発生するおそれのある区間における土砂・洪水氾濫による被害



複合的な要因による災害への対応（高潮・洪水）

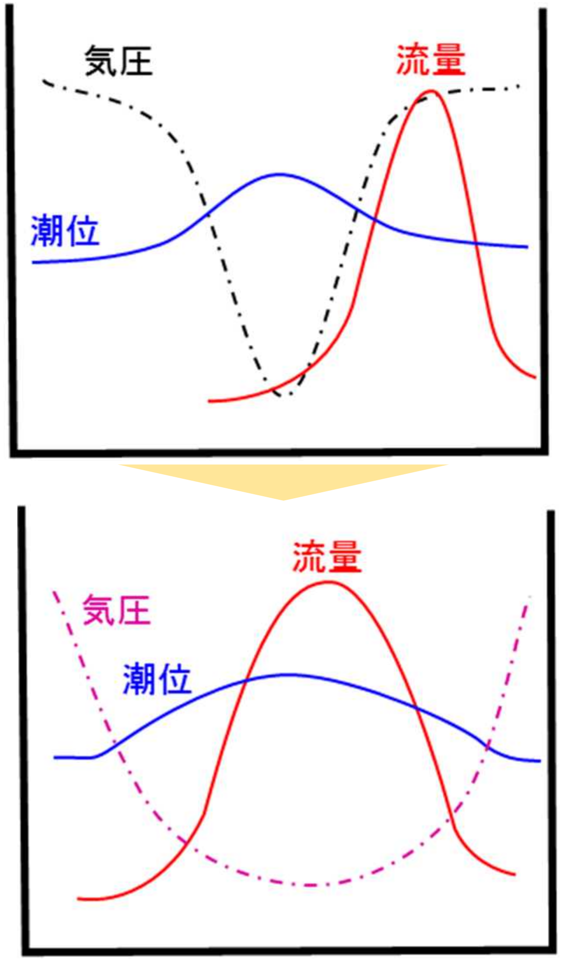
○ 気候変動により猛烈な台風の出現頻度の増加が予測されている。
○ 気候変動による将来の降雨量の変化倍率は、1.1倍～1.15倍と試算されており、高潮と洪水が同時生起した場合には、被害が拡大することが想定される。

台風による高潮と洪水のピークが同時生起した場合の影響（イメージ）



出典：気象庁気象研究所：記者発表「地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧（台風）の頻度が日本の南海上で高まる」、2017年

※ d4PDFの過去実験、将来実験において、それぞれ台風の通過回数を格子ごとにカウントし、過去実験と将来実験の10年あたりの頻度の差を表したもの



複合的な要因による災害への対応（内水・外水）

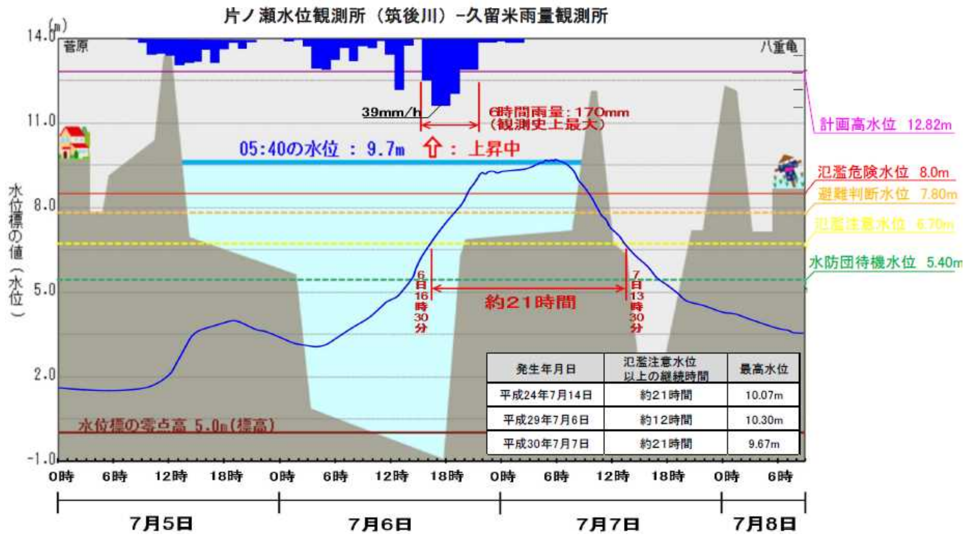
○ 平成30年7月豪雨では、下水道の施設計画を超える降雨の発生に加え、長時間降雨により河川水位が高くなったこと等により、内水排除が困難となり内水氾濫が発生

○ 今後も気候変動により、内水域の洪水に影響する時間50㎜以上の降雨の発生回数が2倍以上になることや内水を受け入れる河川での継続時間の長い洪水頻度の増加が予測されており、内水と外水の複合的な要因による災害に備えた対策が必要

■：浸水範囲

出典：久留米市街地周辺内水河川連絡会議　第2回資料

※浸水範囲は、金丸川・池町川、下弓削川・江川、大刀洗川、陣屋川に関連するもののみ図示



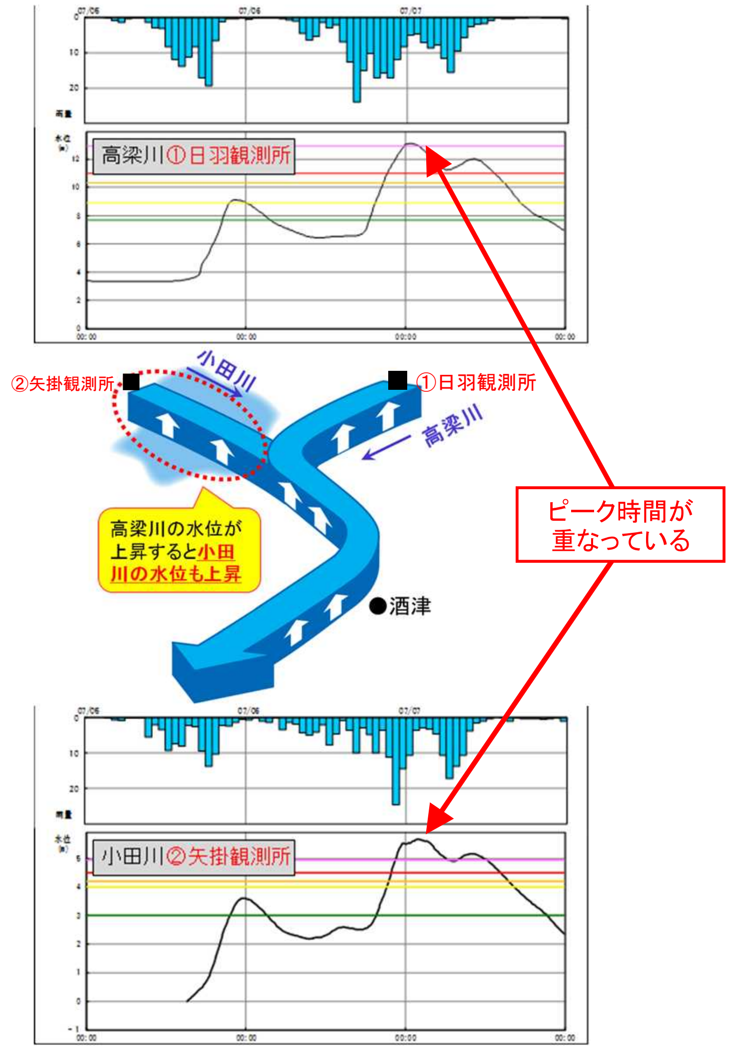
発生年月日	氾濫注意水位以上の継続時間	最高水位
平成24年7月14日	約21時間	10.07m
平成29年7月6日	約12時間	10.30m
平成30年7月7日	約21時間	9.67m

防災拠点（消防署）の浸水

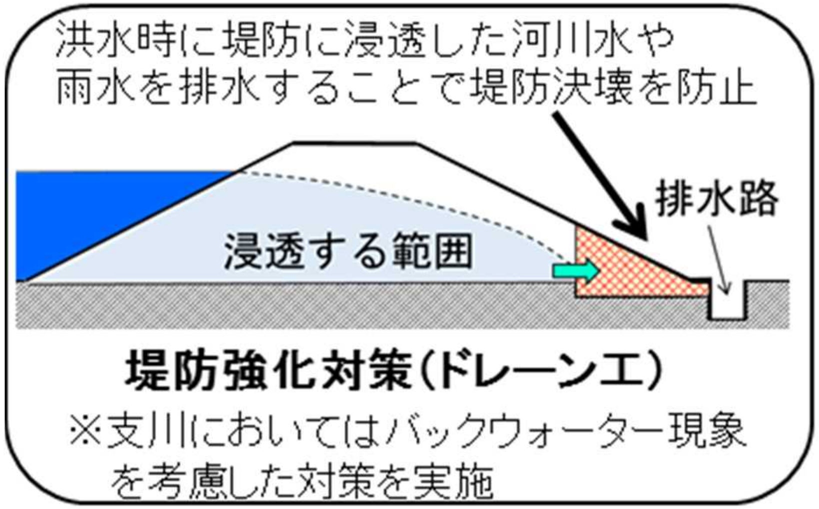
避難所（学校）の浸水

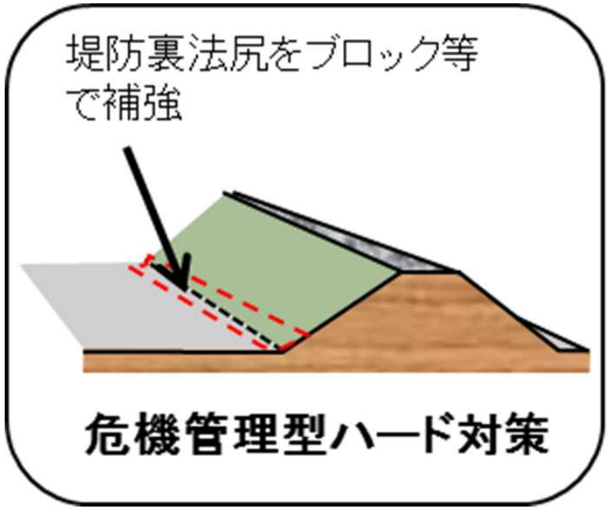
複合的な要因による災害への対応（本・支川合流／堤防強化）

○ 平成30年7月豪雨では、二級河川や支川などの中小河川のみならず、比較的流域面積の広い一級河川においても洪水氾濫が発生した他、高梁川水系小田川等において、バックウォーター現象等により、両岸決壊や上下流での多点決壊が発生。
○ このため、今後も、気候変動等の影響によって豪雨が頻発化･激甚化し、上流域の洪水が集中し、水災害リスクの高い、下流部の堤防強化等の対策を進める必要。



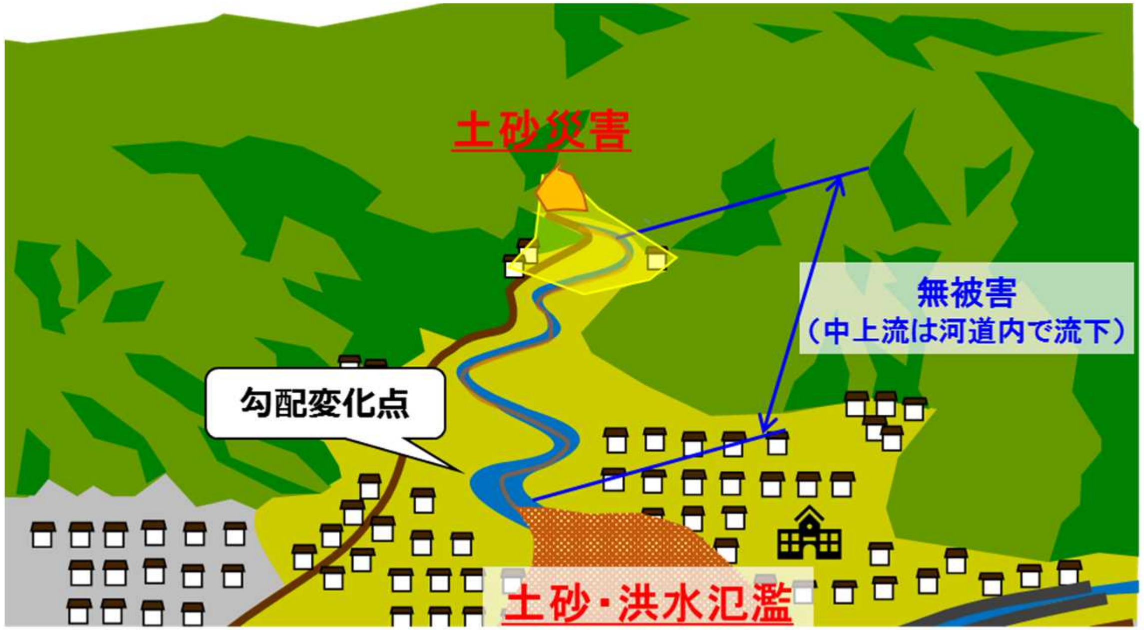
堤防強化対策や堤防かさ上げ
危機管理型ハード対策（イメージ）

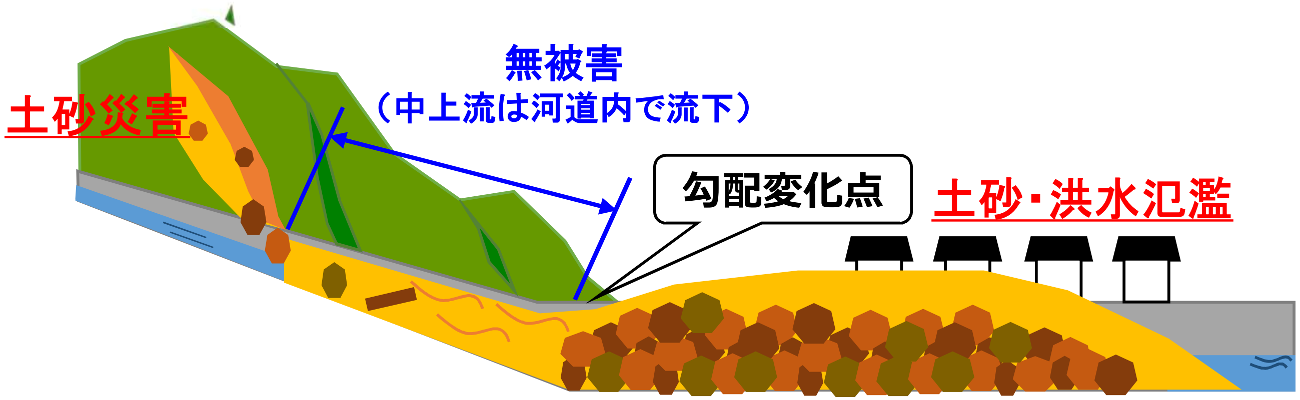




複合的な要因による災害への対応（土砂・洪水氾濫）

- ○ 平成30年7月豪雨では、上流部で発生した土砂災害による大量の土砂が、継続する降雨により河川内に流入し続けたために、流速が比較的緩やかになる下流部に堆積して、河床上昇を引き起こして、土砂・洪水氾濫が発生
- ○ 今後も、気候変動等の影響によって豪雨が頻発化・激甚化し、河川の氾濫や土石流等による被害が甚大になると想定されており、土砂・洪水氾濫の複合的な要因による災害に備えた対策が必要





土砂・洪水氾濫（今次洪水）

参考資料の内容

I.　顕在化している気候変動の状況

II.　気候変動を踏まえた水災害対策の考え方

III.　気候変動に関するシナリオや温室効果ガスの排出抑制の状況

IV.　将来の降雨の変化等に関する評価

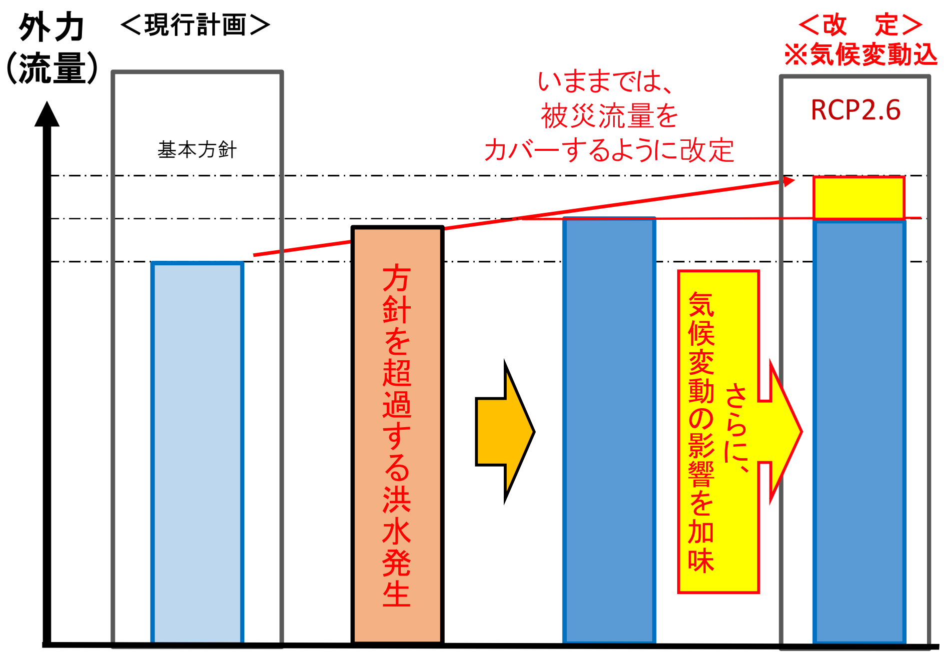
V.　気候変動を踏まえた治水計画等の考え方

VI.　その他

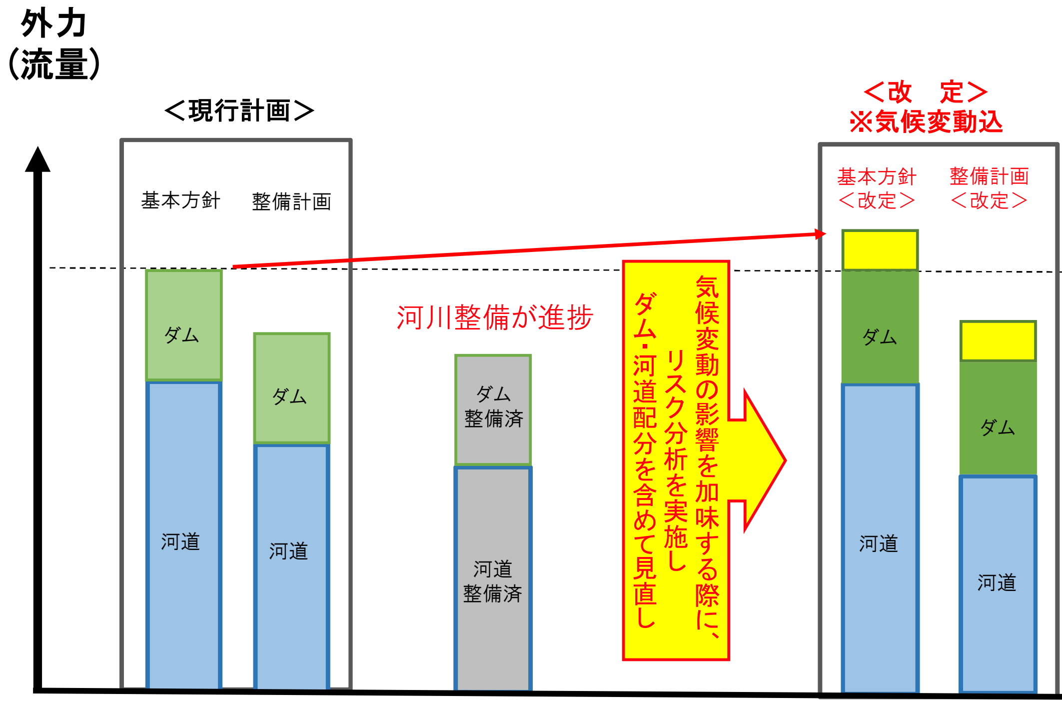
河川整備基本方針の見直し

○ 今後、基本方針の改訂には気候変動の影響を考慮することが原則。
○ 現在の河川整備は、まだ整備途上であり、すべての河川整備基本方針を直ちに見直す必要性はないものの、方針策定後に基本方針流量を超過する洪水が発生した場合や河川整備が進捗し、新たな段階に進む場合には、気候変動の影響を踏まえて河川整備基本方針の見直しを行う。
○ 基本高水のピーク流量の見直しにあたっては、既に観測された気象条件等に基づき設定することを基本としてきたが、今後は、気候変動後の降雨の予測等も活用し、将来の気候状況を適切に想定して見直しを行う。

基本方針の目標流量を超過する洪水が発生したため基本方針を見直す場合



河川整備の進捗を踏まえ、リスクの低減を目指した計画とするため、ダム・河道配分も含めて基本方針を見直す場合



今後の治水計画立案手法の方向性と当面の対応

〇現在は、過去の降雨から雨量確率に基づいて、流量を算定。
〇将来は、将来降雨の予測データを活用し、流量を算定。
〇当面の対応では、将来予測データから降雨の変化倍率を求め、降雨パターンを反映し、流量を算定。

現　況

降雨：
- 雨量観測所、レーダ雨量（過去）

対象降雨（計画規模）：
- 降雨継続時間、年最大降雨量
- 対象降雨設定（計画規模）
  【例．　〇〇mm/24時間（1/100）】

基本高水の算定手順：
- 主要洪水（災害発生、流量大）を10数洪水程度抽出
- 対象降雨に引き伸ばし（時間分布、空間分布による棄却）
- 10数洪水で最大となるものを基本高水のピーク流量として設定

当面の対応

降雨：

現況手法・過去実績降雨での算定

対象降雨（計画規模）：

降雨の変化倍率（気候変動予測）

降雨パターン*を反映

＊主要洪水の選定
＊継続時間
＊空間分布
＊小流域集中度

将　来

降雨：
- 気候変動予測による計算値

対象降雨（計画規模）：
- 降雨パターン考慮*　1/100

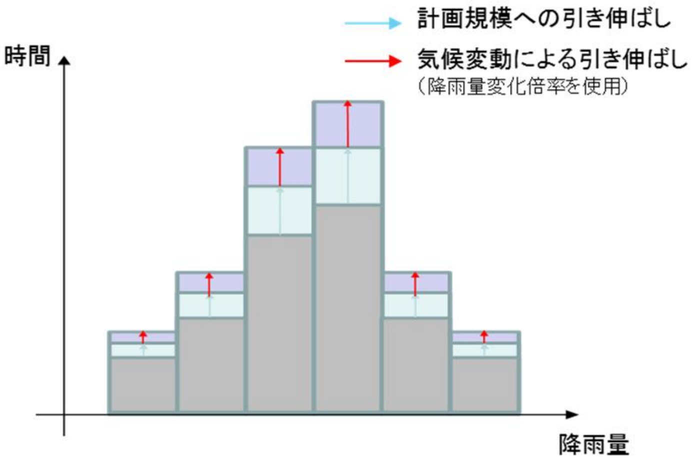
⇒流量の算定

流量算定手法の方向性と当面の対応

〇現在の治水計画は、実績降雨を統計処理し、雨量により計画規模を設定し、基本高水を設定。
〇当面は、これまでの手法に気候変動による降雨量倍率を用いるものの、将来的には、大量の将来予測降雨（d4PDFデータ）から流量算定を行い、計画規模相当の流量を設定することも考えられる。

当面の手法①

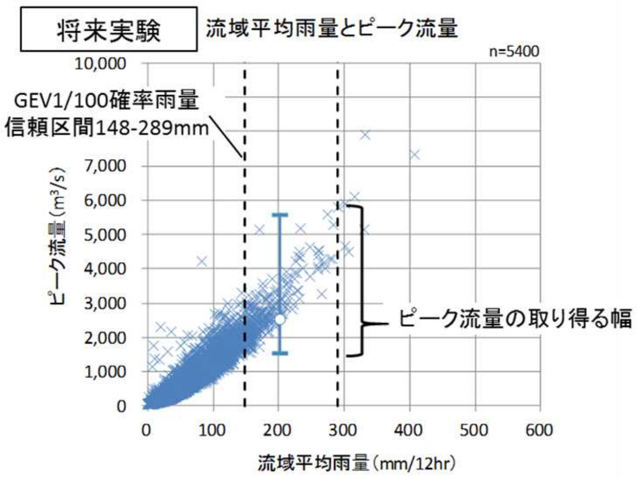
過去降雨
（計画規模）×気候変動倍率
【雨確率】



降雨の引き伸ばし（イメージ）

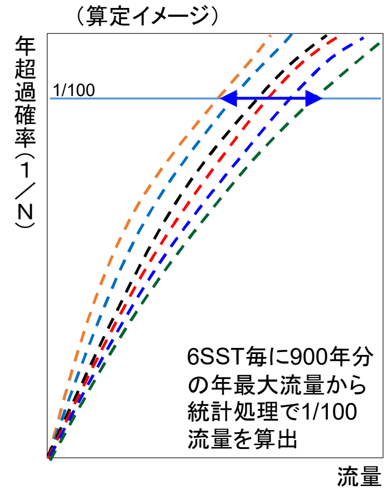
今後の手法②

将来予測降雨
（計画規模・中央値）（d4PDFデータ）
【降雨確率】

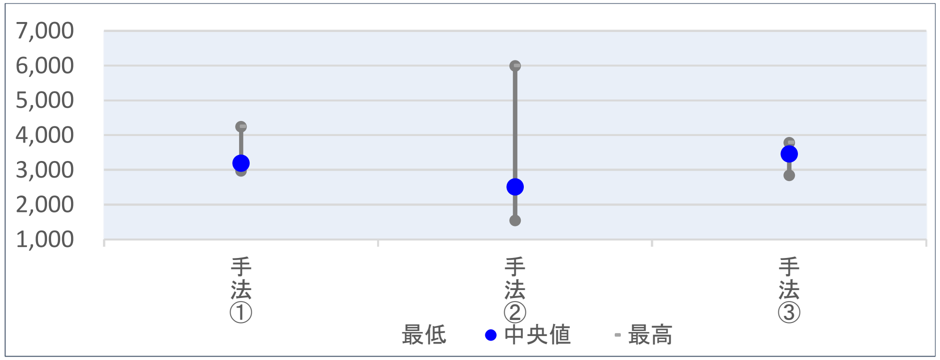


今後の手法③

将来予測降雨
（計画規模）（d4PDFデータ）
【流量確率】



試算結果
（イメージ）



※「北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会」で検討した流出モデルによる試算結果＜手法②、③＞

（気候変動対応） 基本高水の設定の流れ（案）

○計画規模の設定、計画対象降雨の降雨波形の設定、計画対象降雨の降雨量へ引き伸ばし、流出解析、総合判断により基本高水を設定するという、これまで河川整備基本方針策定の過程で蓄積されてきた検討の流れを基本に、気候変動の影響をどのように基本高水の設定プロセスに取り入れるのか。

計画規模の設定
（流域の規模、想定氾濫区域内の人口・資産等）

雨量、流量等の整理
（主要洪水の流域平均雨量、時刻流量等）

計画対象降雨の継続時間の設定

計画対象降雨の降雨量の設定
（近年洪水までデータ延伸）

計画対象降雨の降雨波形群
（時間分布及び地域分布）**の設定**
（過去の実績降雨データから選定）

計画対象降雨の降雨量へ引き伸ばし
（著しい引き伸ばしの有無の確認）

＋

計画対象降雨の降雨量の設定
（気候変動の影響を含む近年降雨の取り扱い）

『計画対象降雨の降雨量』
×降雨量変化倍率
（＝気候変動型計画対象降雨の降雨量）

気候変動型計画対象降雨の降雨量へ
引き伸ばし
（引き伸ばす降雨波形群は左記に同じ）

【論点１】
既に気候変動の影響を内包している可能性がある近年の雨量データの取り扱いについて

流出モデルの構築

流出計算
（計画対象ハイドログラフ群の作成）

【論点２】
アンサンブル予測降雨データの降雨波形の治水計画への活用の方向性

様々な観点からの総合判断

流量確率による検討
既往洪水からの検討

＋

アンサンブル予測降雨波形データを用いた検討

基本高水の設定

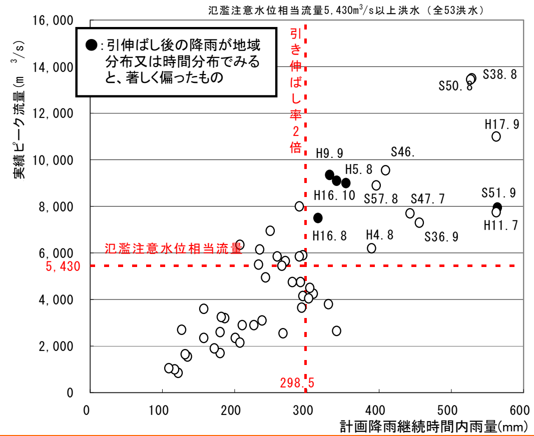
【赤字】本日の論点

基本高水のピーク流量の検討

第89回河川整備基本方針検討小委員会
（平成20年2月28日） 資料 1－3

計画対象洪水の選定

・雨量データによる確率からの検討を行う際の対象洪水は、流域の地形特性、降雨特性等を勘案し、計画対象に相応しいものとして
　・大きな実績流量の洪水
　・計画規模の降雨量まで引き伸ばした場合に、著しい引き伸ばし率とならないもの
としている。例えば、ここで示す水系の事例では、基準地点で実績流量が氾濫注意水位相当流量（5,430m3/s）以上で、降雨量の引き伸ばし率が、2倍未満となるものを選定
・対象洪水の選定にあたっては、実績洪水の地域分布と時間分布を確認し、偏った降雨を選定しないように、様々な洪水パターンが含まれるようにする。例えば、地域分布として、上流型、中流型、下流型等、時間分布として、一山型、二山型、中央集中型、後方集中型、フラット型等の洪水パターンを検討し、様々なパターンが含まれるよう、対象洪水を選定

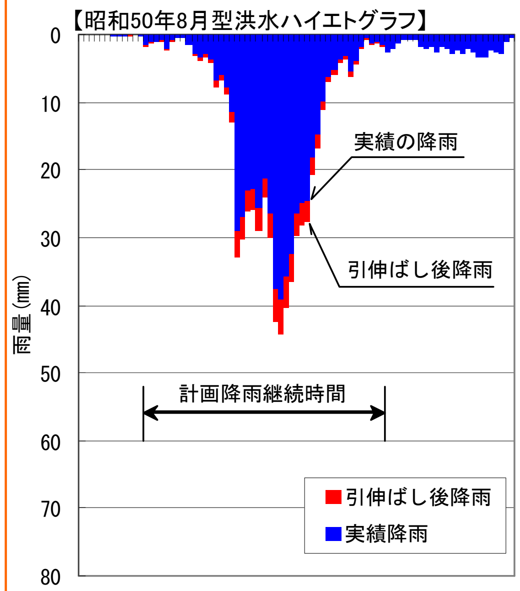


No.	年月日	実績ピーク流量 (m³/s)	計画降雨継続時間内雨量 (mm/計画降雨継続時間) 実績	計画
1	S.36. 9.16	7,285	456.74	597
2	S.38. 8. 9	13,514	529.62	
3	S.46. 8.30	9,534	410.11	
4	S.47. 7.24	7,680	442.75	
5	S.50. 8.17	13,461	527.69	
6	S.51. 9.13	7,930	564.04	
7	S.57. 8.27	8,899	396.37	
8	H. 4. 8.18	6,218	390.44	
9	H. 5. 8.10	8,997	355.56	
10	H. 9. 9.16	9,340	331.92	
11	H.11. 7.27	7,748	563.34	
12	H.16. 8.30	7,485	316.51	
13	H.16.10.20	9,080	341.74	
14	H.17. 9. 6	10,997	562.18	

計画規模洪水の算出

・対象洪水について、計画降雨継続時間内の雨量を計画規模まで引き伸ばし、流出計算を実施し、基本高水群を算定

【昭和50年8月型洪水ハイエトグラフ】



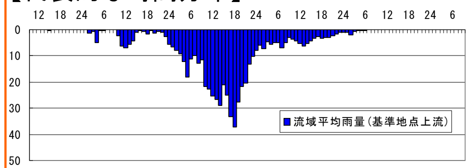
No.	洪水名	基準地点上流計画降雨継続時間雨量 (mm)	計画雨量 1/100	引伸ばし率	基準地点計算ピーク流量 (m³/s)
1	S.36. 9.16	456.74	597mm	1.307	8,443
2	S.38. 8. 9	529.62		1.127	14,307
3	S.46. 8.30	410.11		1.456	12,991
4	S.47. 7.24	442.75		1.348	10,072
5	S.50. 8.17	527.69		1.131	16,151
6	S.51. 9.13	564.04		1.058	6,839
7	S.57. 8.27	396.37		1.506	17,216
8	H. 4. 8.18	390.44		1.529	10,966
9	H. 5. 8.10	355.56		1.679	17,679
10	H. 9. 9.16	331.92		1.799	24,123
11	H.11. 7.27	563.34		1.060	8,365
12	H.16. 8.30	316.51		1.886	19,886
13	H.16.10.20	341.74		1.747	23,212
14	H.17. 9. 6	562.18		1.062	12,351
最大値		564.04	—	1.886	24,123
最小値		316.51	—	1.058	6,839

■：引伸ばし後の降雨が地域分布又は時間分布でみると、著しく偏ったもの

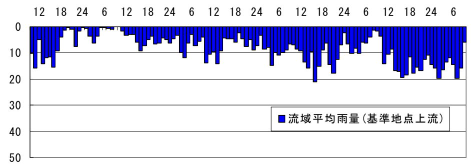
対象洪水の地域分布・時間分布

・地域分布と時間分布を確認し、代表洪水が包含されるよう対象洪水を選定

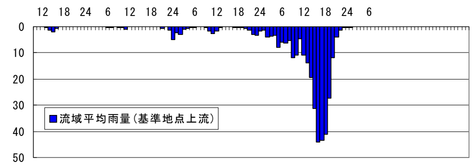
【代表的な時間分布】



S38.8洪水（中央集中型）

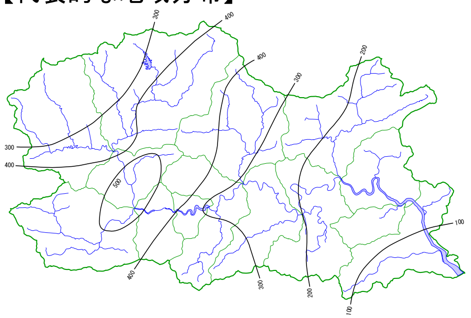


S51.9洪水（フラット型）

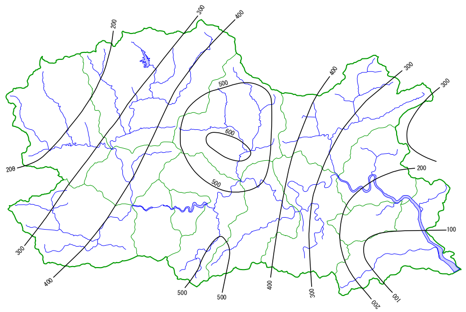


H9.9洪水（後方集中型）

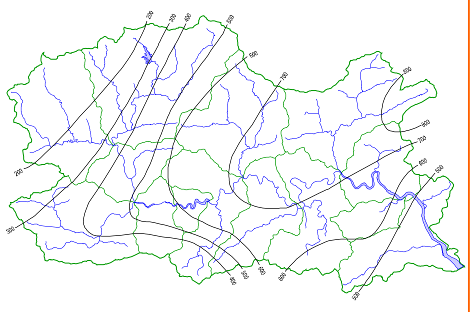
【代表的な地域分布】



H16.8洪水（中上流型）



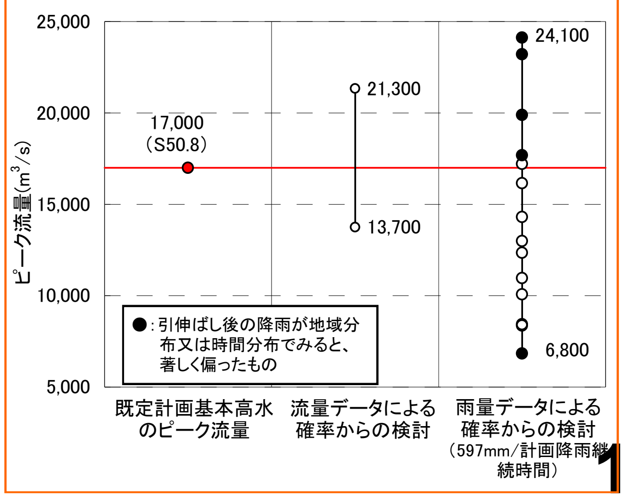
H5.8洪水（中流型）



S50.8洪水（下流型）

基本高水のピーク流量の設定

・既定計画の基本高水のピーク流量、流量データによる確率からの検討、時間雨量データによる確率からの検討等を総合的に判断して、基本高水のピーク流量を設定



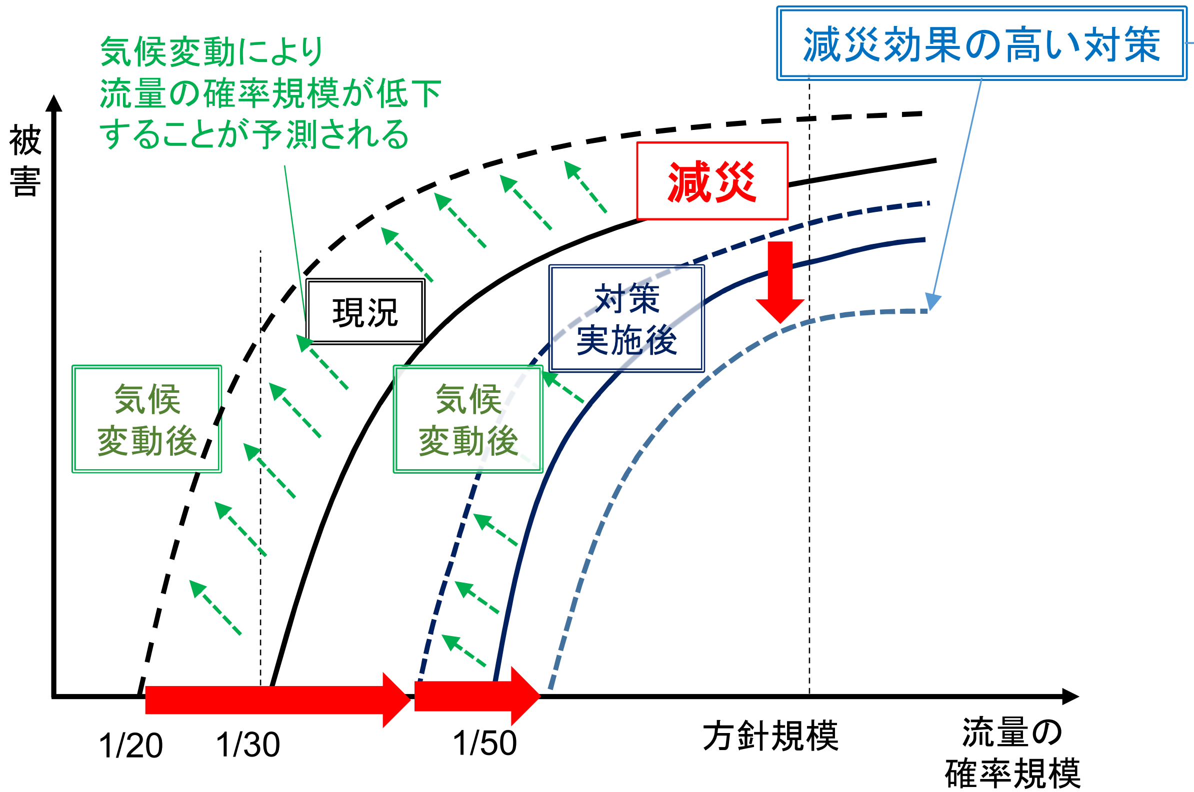
治水計画の見直しの方向性

〇河川整備計画の規模を超える洪水の発生を踏まえ、整備目標の引き上げ等を検討するとともに、洪水に対する安全性の確保のみならず、治水施設の方針規模の整備目標や想定最大規模クラスの洪水の発生規模を見据えた対策への転換が必要。

【河川整備計画の目標】

〇防災 ： 計画規模（1/30）まで

〇減災 ： 計画規模～方針規模（1/100）（～想定最大）



防災

〇整備目標の引き上げ、整備メニューの充実

〇手戻りのない効率的な整備

①減災効果を考慮した河川整備メニューの選定

②施設の構造や運用の工夫による防災・減災対策

〇堤防強化対策や構造上の工夫

（例）越水対策、侵食対策、浸透対策

〇複数ダムの洪水調節・利水容量再配分

③計画規模を超える洪水を見据えた減災対策

〇ダム等の操作

・事前放流による容量確保

・利水ダムにおける治水協力

〇洪水予測の高度化（リアルタイム）

河川整備計画の見直しについて

○ 国が管理する河川では、戦後最大洪水等（戦後1位、1位の規模が大きい場合は2位）の被害解消を河川整備計画の治水目標としているものが多い

○ 目標安全度は1/30～1/50程度の河川が多く、気候変動によりこれまで経験したことのない降雨等が各地で頻発しており、気候変動の影響も考慮した目標と整備メニューに見直す。

整備計画目標の見直し（案）

対象河川：全河川

＜優先的に見直しを進める河川＞

①目標安全度が低い河川

- 目標が実績洪水かつ
- 国管理河川では、1/50以下の安全度
- 都道府県管理河川では、1/30以下の安全度

※ 目標とする洪水波形は、原則、複数波形とする

②計画策定後、10年以上を経過し事業が進捗した河川

③近年、目標流量規模の洪水が発生している河川

見直しの方針

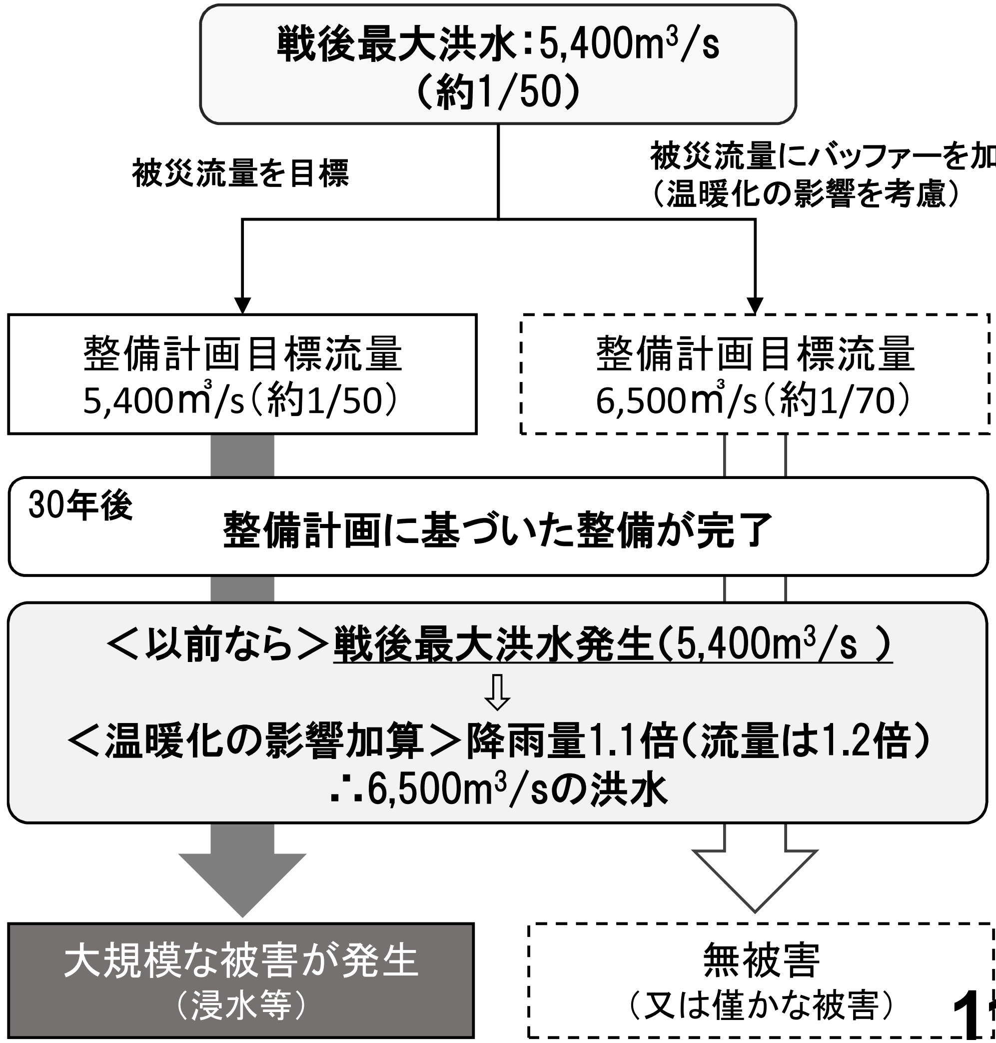
＜目標流量＞

- 気候変動の影響を考慮した安全度設定

＜整備メニュー＞

- 気候変動により降雨量が変化した場合でも手戻りのない整備
- 施設能力を上回る洪水にも減災効果を発揮する対策を位置付け（危機管理対策）

整備計画の目標と温暖化の影響イメージ

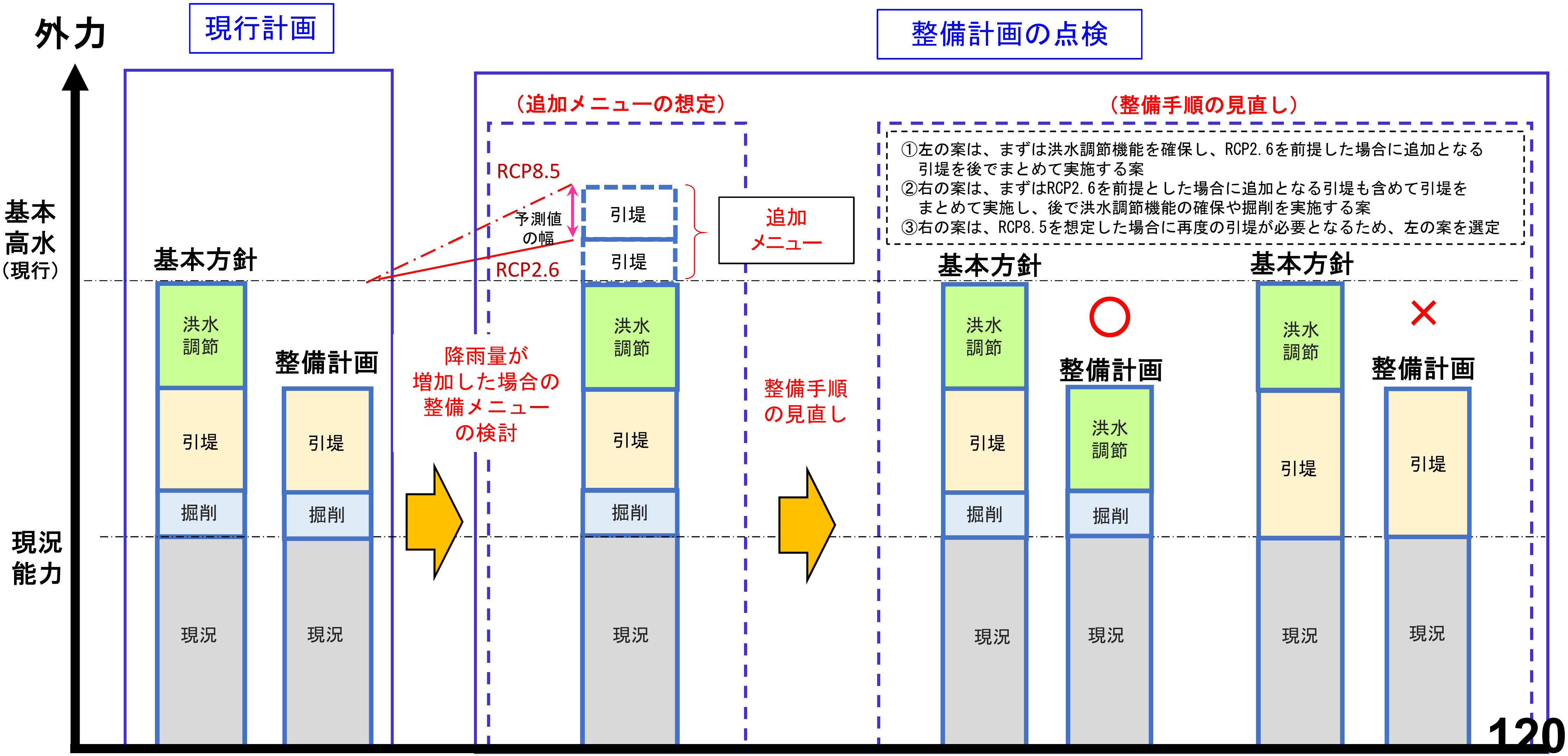


手戻りの防止、構造的な工夫

整備手順の見直しの考え方

○RCP2.6を前提にした場合の方針メニューを想定し、現行の河川整備計画で中途半端な規模で整備することになる施設がないか確認し、RCP2.6を前提にした方針メニューの中から、手戻りがない整備手順に入れ替え。

○手戻りのない手順が複数ある場合、RCP8.5を前提にした方針メニューを想定し、手戻りが小さい整備手順を選定。

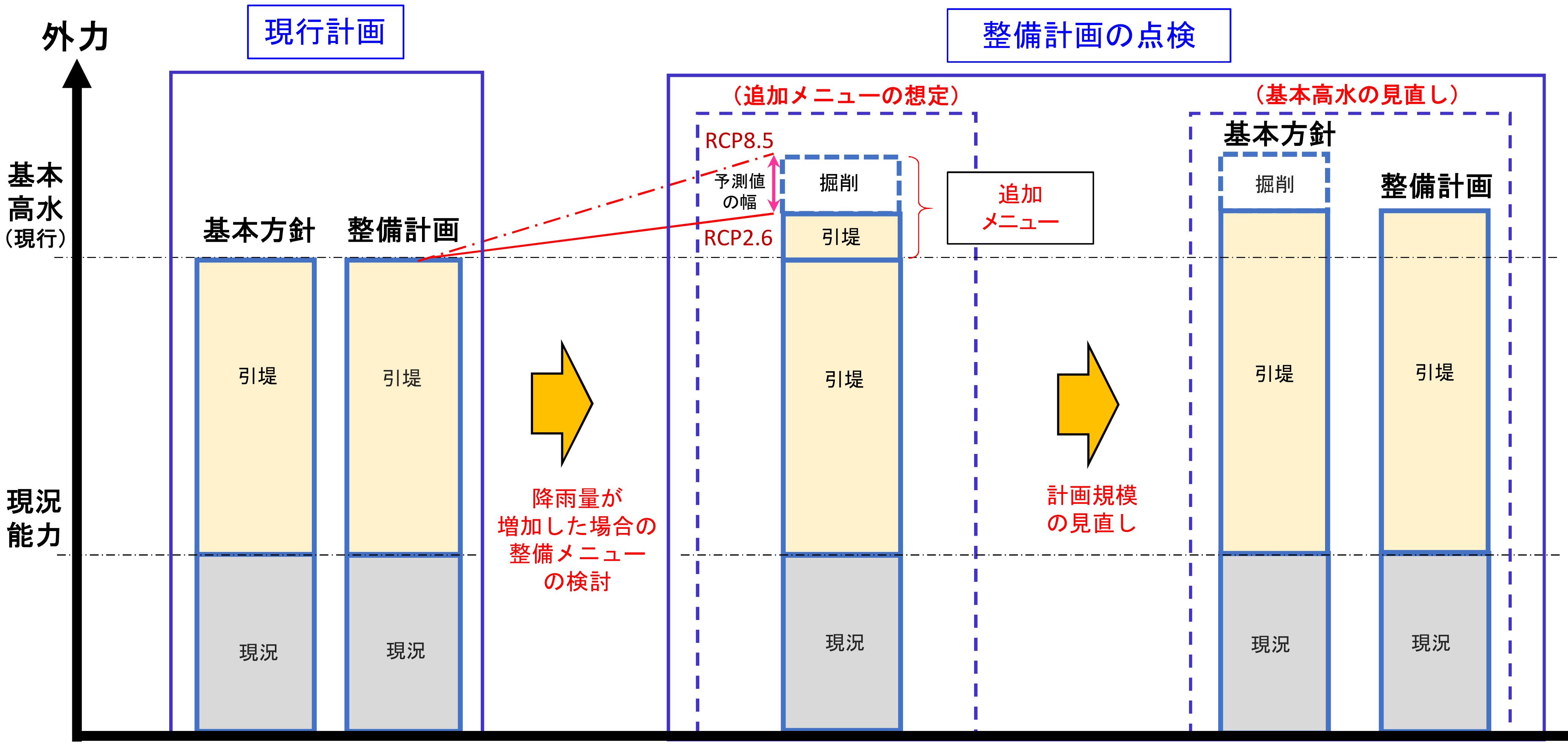


手戻りの防止、構造的な工夫

整備規模の見直しの考え方

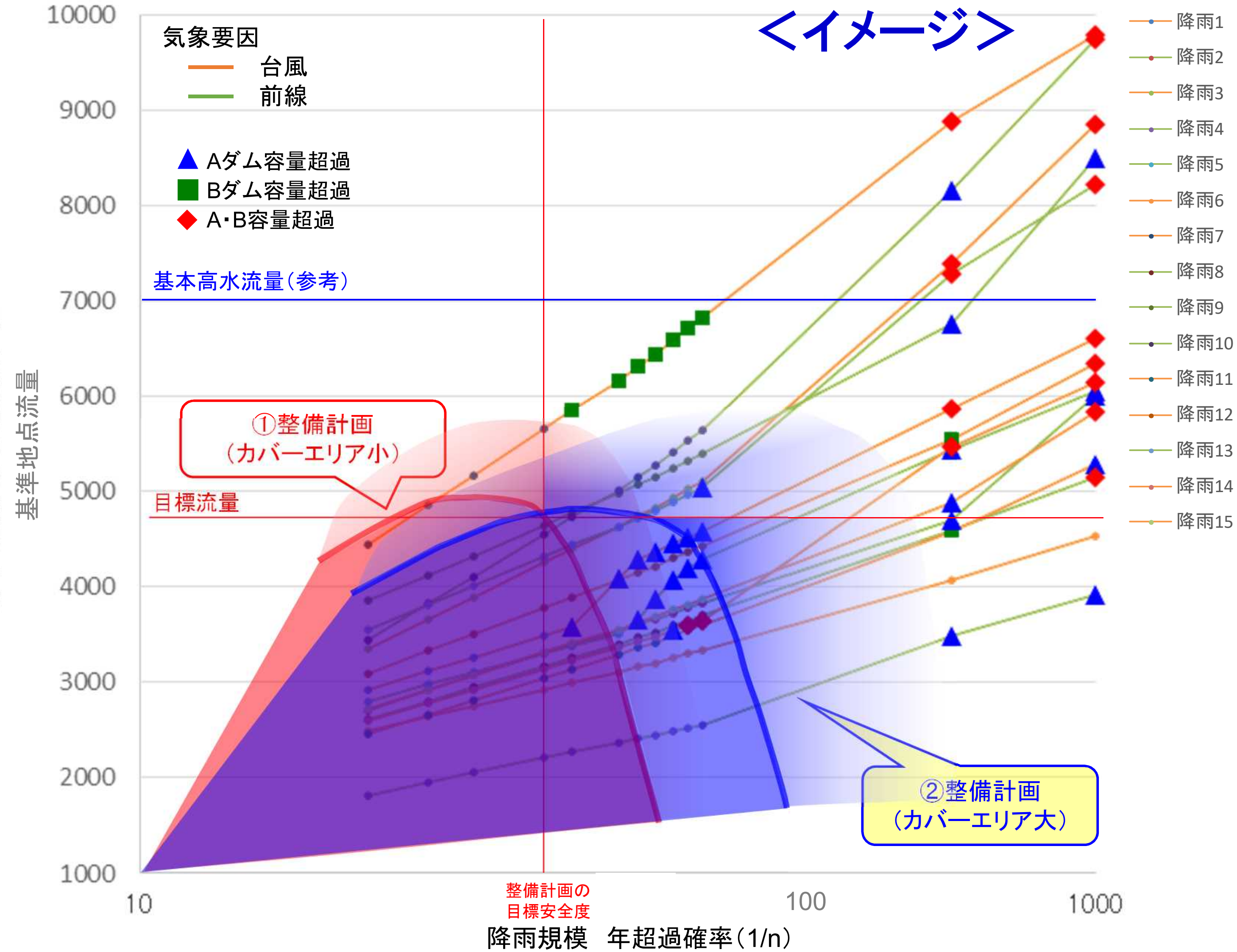
○RCP2.6を前提にした場合の方針メニューを想定し、現行の河川整備計画で中途半端な規模で整備することになる施設がないか確認し、RCP2.6を前提にした方針メニューの中から、手戻りのない整備手順に入れ替え。

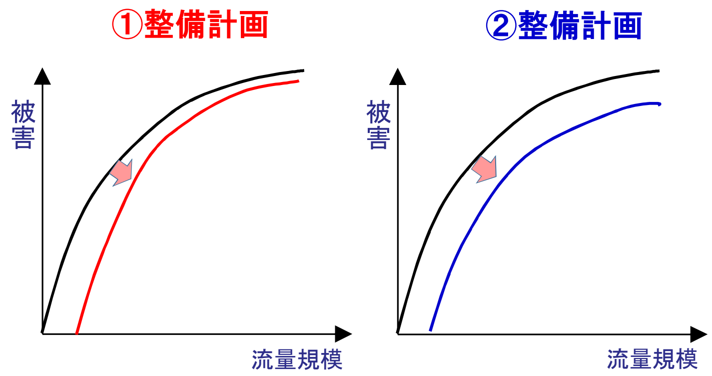
○RCP2.6を前提にした場合の方針メニューを想定した場合に、将来の降雨量の変化も考慮した分まで一括して整備することが可能で、一括して整備する方が効率的な場合は、RCP2.6を前提にした河川整備基本方針に見直し。



リスク評価（カバーエリア）を踏まえた治水計画

○ 河川整備基本方針は、年最大降雨を統計処理し、計画規模相当の降雨量を設定、複数の波形でピーク流量を算定し、最大となる波形で基本高水を決定。ダムと河道に分担し処理。
○ 河川整備計画では、目標流量を設定し、ダムによる洪水調節（操作規則等）、河道の分担によりリスクを低減できるよう、複数の波形で安全に流下させ、さらに減災効果の発現を確認する。





①整備計画
- カバーエリアが限定され、流量規模の大きい洪水の被害低減効果が小さい
- 全波形の総リスクの低減状況では、減災効果が小さい

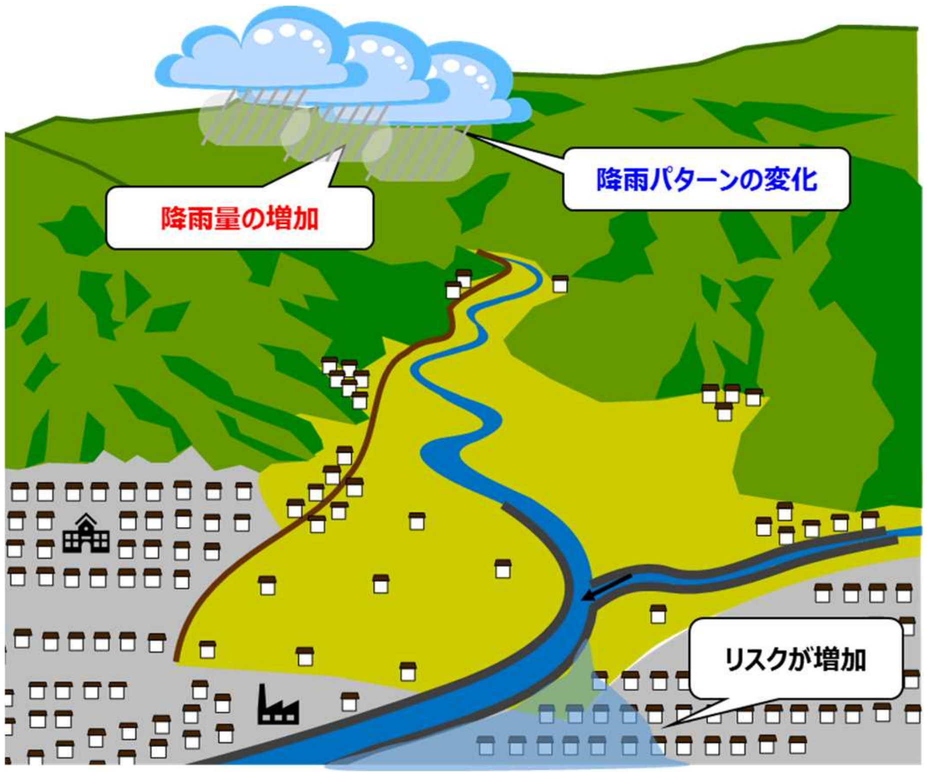
②整備計画
- カバーエリアが広く、流量規模の大きい洪水での数波形は被害低減効果がある
- 全波形の総リスクの低減状況では、減災効果がある

➢ 複数の洪水波形をカバーした場合には、ダム容量や河道分担量は増加（事業費が増）
➢ 気候変動により増加する波形を分析し、効果的にカバーする治水計画を立案し、減災・防災を推進

気候変動による外力増加を見込んだ堤防設計（イメージ）

〇河川整備にあたっては、水災害リスク分析を行い、整備によりリスクが低減することを確認。
〇気候変動により降雨量や降雨パターンが変化し、リスクが増加する場合は、必要に応じ堤防の強化を実施。

【気候変動の顕在化イメージ】

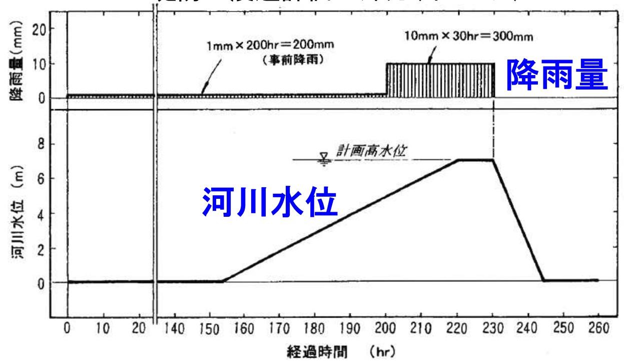


【施設設計（照査）のイメージ】

【浸透破壊の照査】

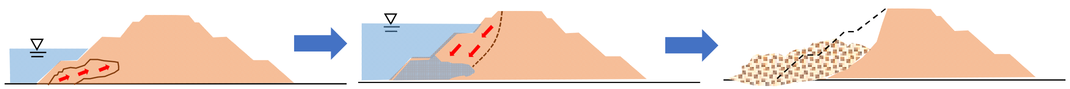
- 降雨量倍率を考慮した外力（計画降雨）を設定
- 長時間の降雨により河川水位が変化（高い水位が継続）
- 必要に応じて堤防の浸透対策を実施

堤防の浸透評価の外力（イメージ）



【侵食破壊の照査】

- 降雨量倍率を考慮した外力（流量⇒流速）を設定し、侵食の照査
- 必要に応じて表法面の護岸設置



河川水による侵食が徐々に進行

さらに侵食が進むと堤防がすべり始める

堤防の法尻が洗掘され、堤防が崩壊

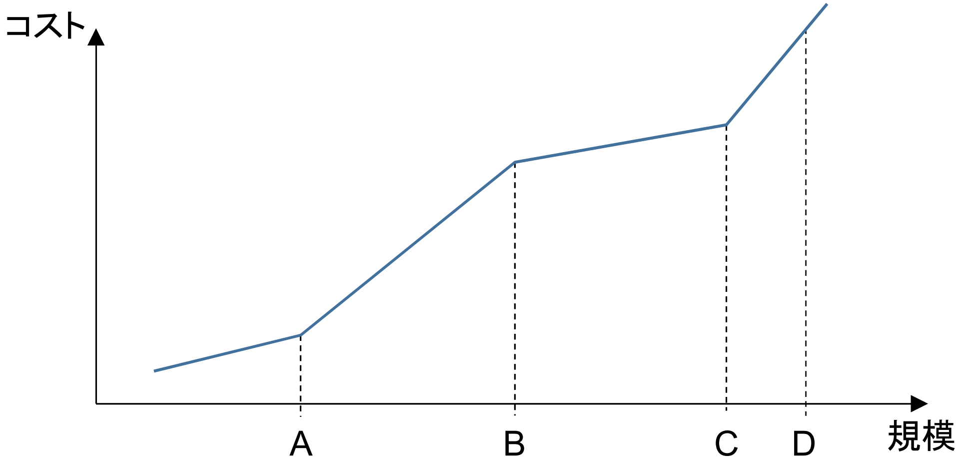
照査の結果を踏まえ、堤防強化を実施

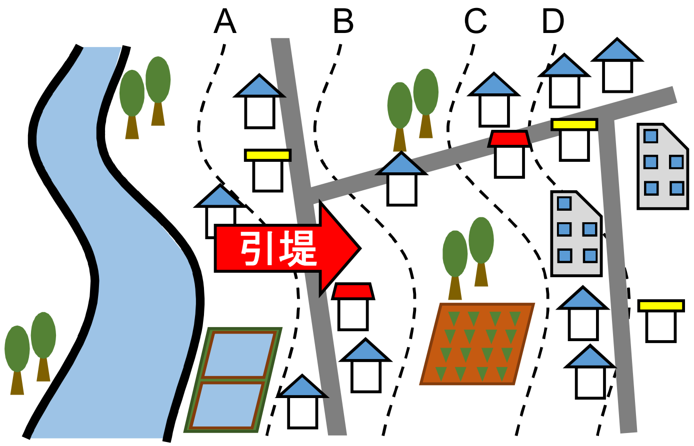
手戻りとならない事業メニュー選定のイメージ

〇手戻りが発生しうる事業メニュー案（引堤等）の規模決定では、規模とコストの関係等から手戻りの可能性を評価する。
〇外力増加にあわせた追加整備が可能な事業メニュー（遊水地等）では、手戻りとならない整備手順を検討する。

手戻りとなる事業メニューの規模別コスト分析評価

（引堤の例）

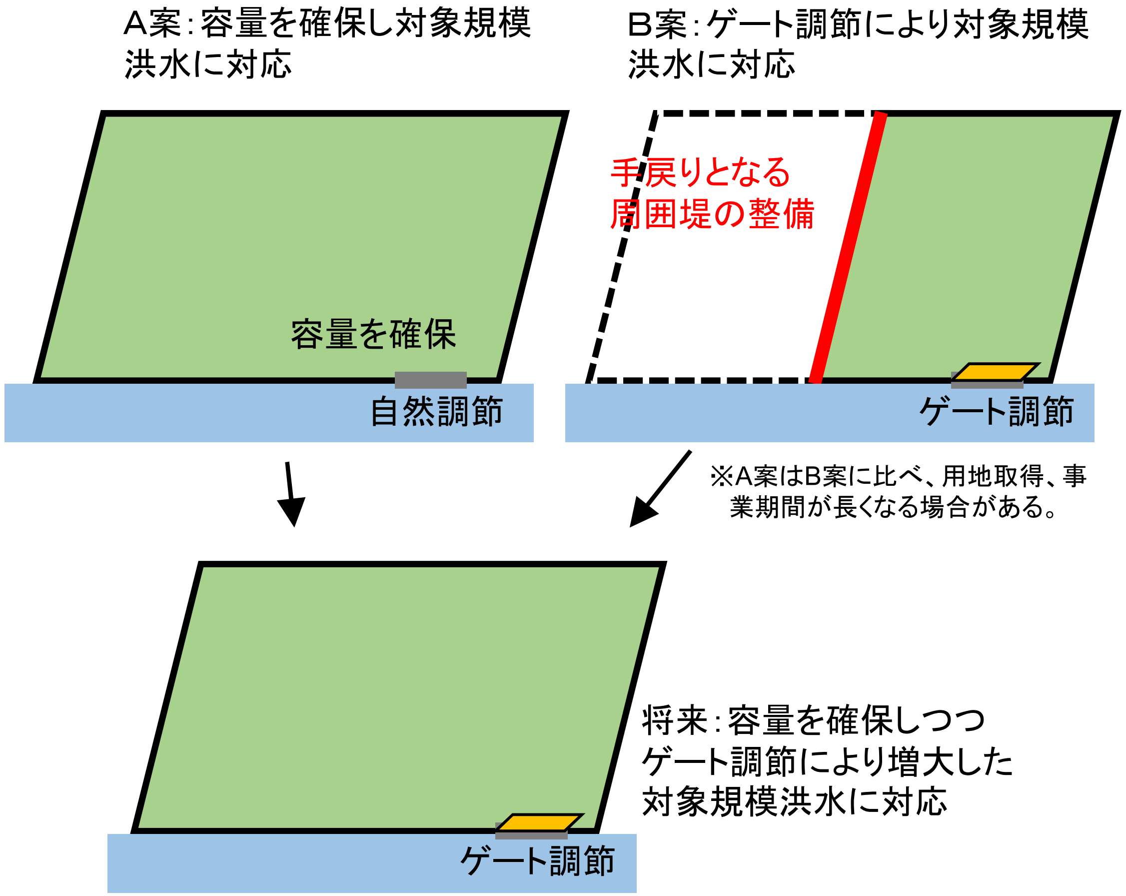




一定の規模を超えた場合にコストが大きくなる場合、
その規模を超えて再度引堤を行う可能性は低く、
A案やC案は比較的手戻りの可能性が低いと考えられる。

手戻りの少ない整備手順の検討イメージ

（遊水地の例）

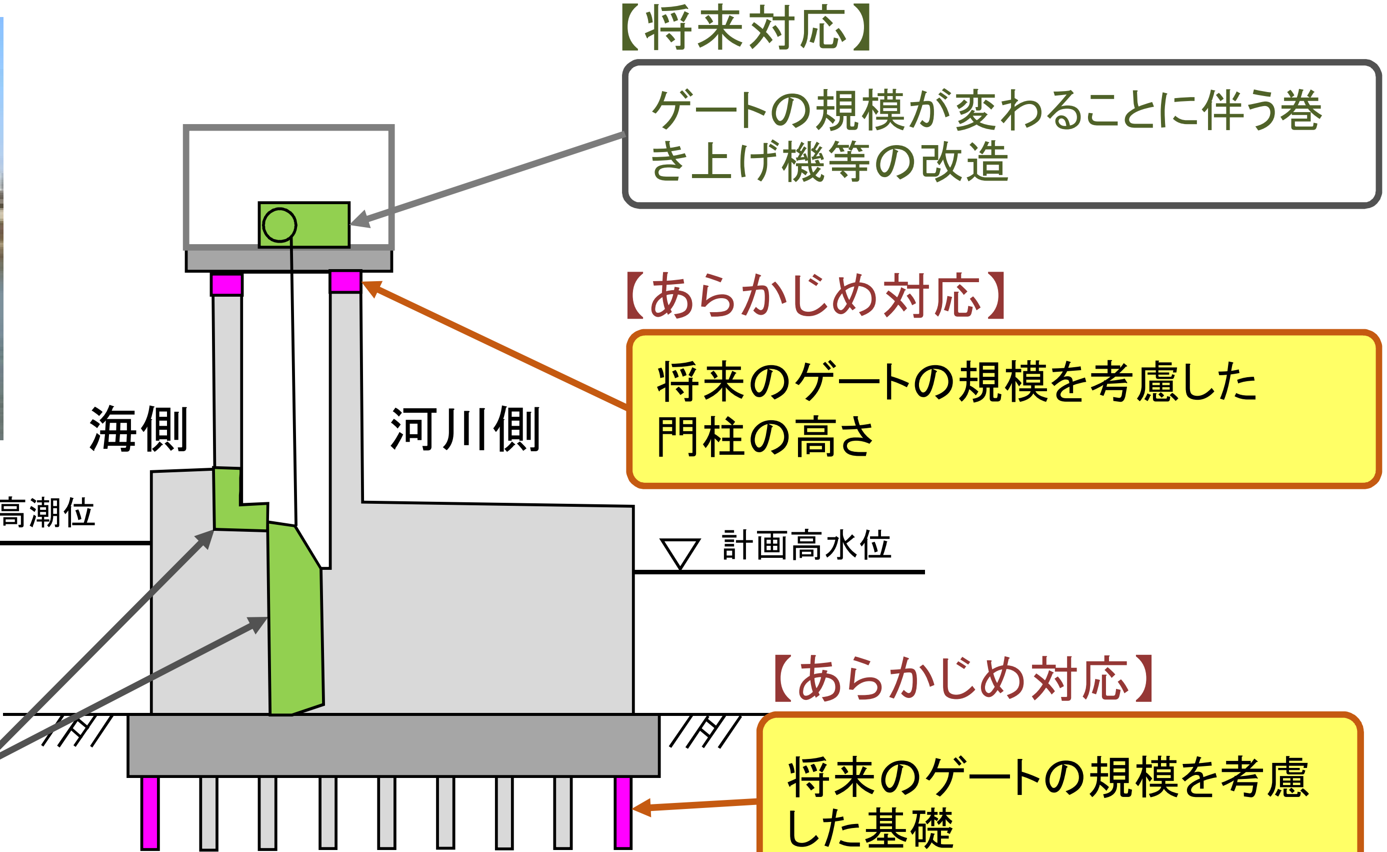


将来予測される外力に対しては暫定的な整備となる場合、
できる限り手戻りとならない整備手順を検討・採択する。
（B案はA案と比べ周囲堤の整備が手戻りとなる。）

できるだけ手戻りのない施設の設計

○ 将来の海面水位の増加等に対してできるだけ容易に改造ができるよう設計
○将来の改造が難しい門柱や基礎はあらかじめ対応し、将来交換が必要なゲート等や機械類等については更新時に対応

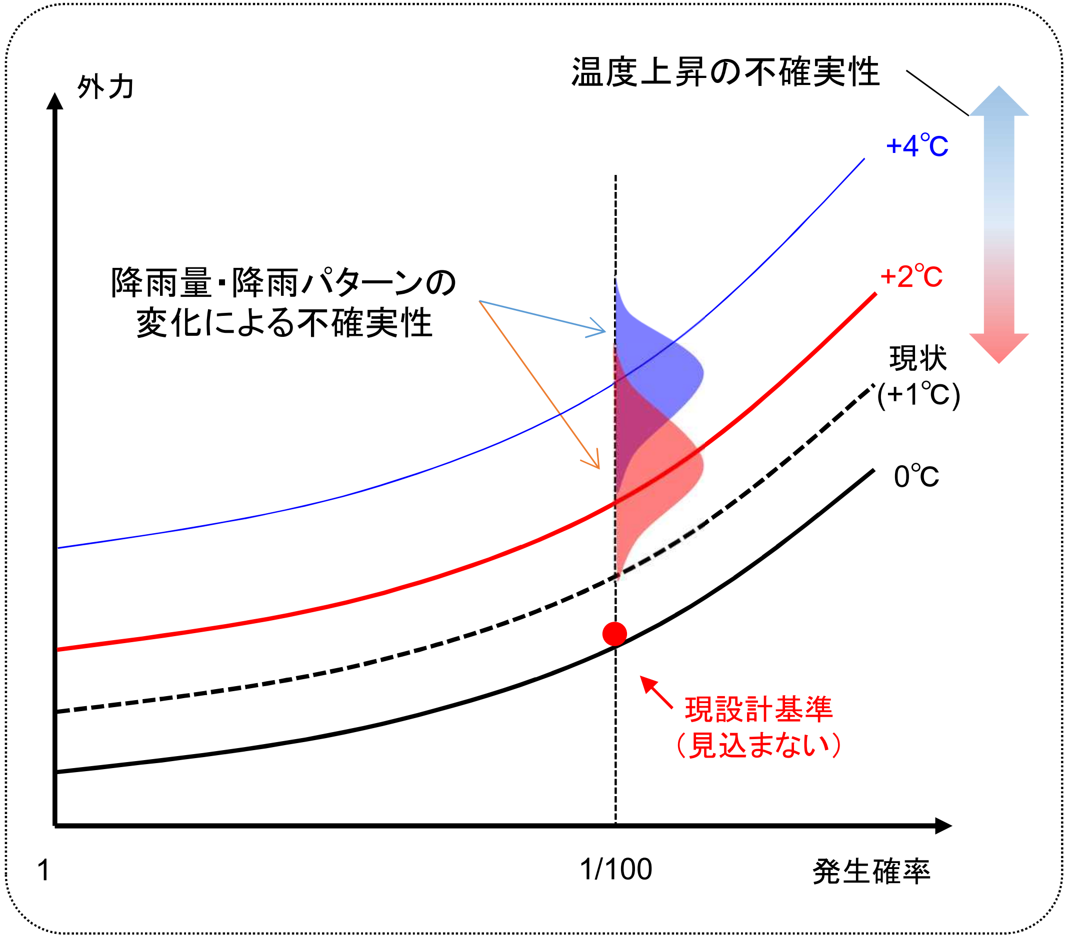
（例）海面水位上昇に対する水門設計での対応イメージ



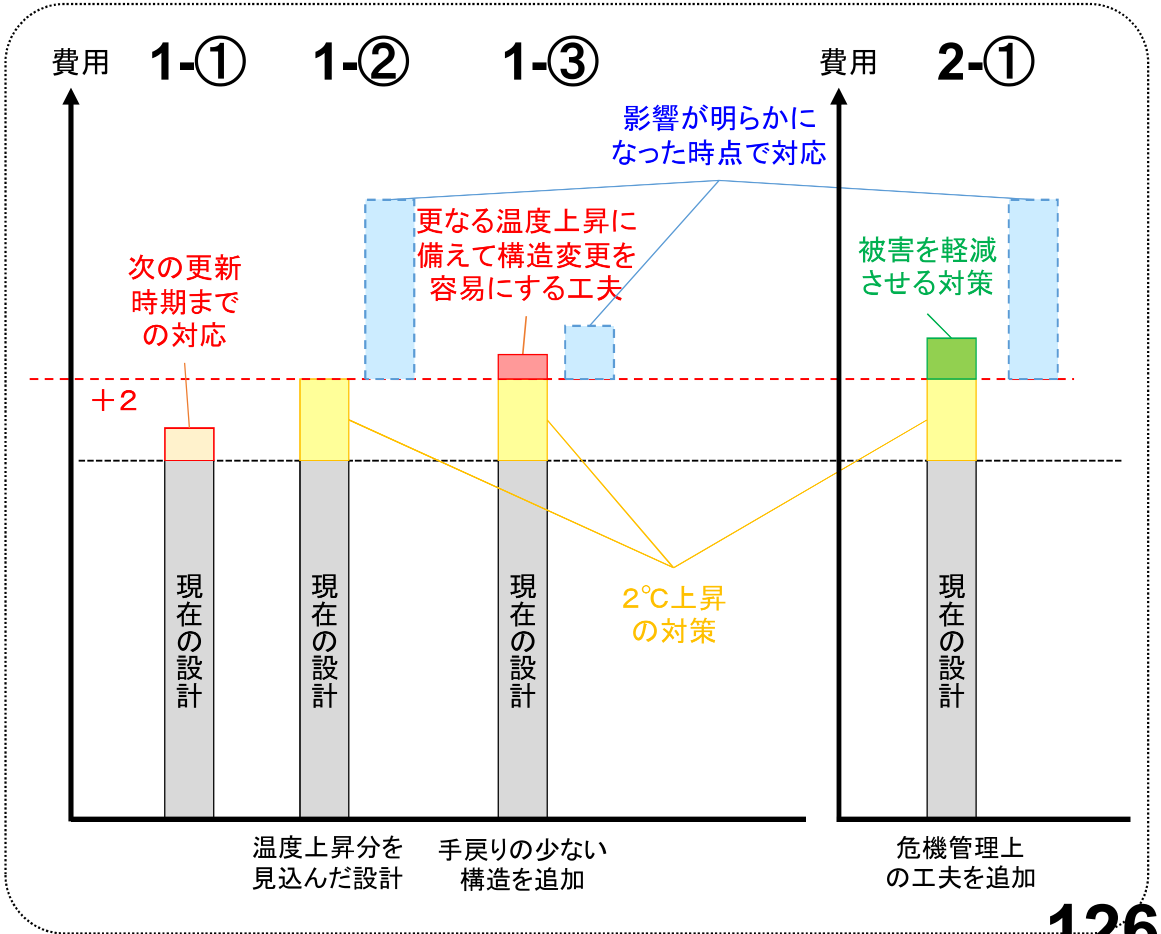
計画の見直しと合わせて実施すべき事項（設計上の工夫）

○将来の気候変動は、温度上昇の不確実性の外、降雨量の変化倍率や降雨のパターンの再現性という観点で、予測の不確実性が存在。
○不確実性がある中、今後は施設設計の段階から、将来の2℃上昇（平均値）を見込んだ設計とすること。
○将来、更なる温度上昇に備えて構造変更を容易にする工夫、危機管理上の工夫の他、施設の耐用年数が短い場合は、次回以降の更新時に対応する等、河川管理施設の状況・種類に応じた施設設計を検討。

＜外力変化の発生確率（イメージ）＞



＜複数の施設設計案（イメージ）＞



計画の見直しと合わせて実施すべき事項（設計上の工夫）

○ 気候変動による影響には、不確実性があるものの、今後は施設設計の段階から、将来の2℃上昇（平均値）を見込んだ設計とし、将来、更なる温度上昇に備えた対策を実施。
○ 河川管理施設の状況・種類に応じた施設設計の考え方、想定される現象に応じた対策を実施。

【考え方】
・河川整備基本方針を見直さない場合にも施設設計外力の基本となる計画高水流量、計画降雨量等に気候変動の影響を考慮する
（降雨量倍率1.1倍
⇒堤防照査等
降雨継続時間の変化
⇒堤防照査、洪水調節容量等
流量倍率1.2倍、海面上昇　等）
⇒ダム、堰等の通過流量増

≪計画論の例≫

・整備計画目標を見直し、河道掘削、遊水地、放水路を整備
・計画高水流量の増加に対応し、引堤を実施
・ダム再生により洪水調節容量を確保

施設設計上の工夫の例（新設、改良）

施設設計の方針（案）	対象施設例	具体のイメージ（改良）
1－① 次回の更新時までの対応（2度対応の一部）	排水機場	機器の更新等（ポンプ、動力性能の向上等）
1－② 2度上昇に対応した対策	堤防 堤防（高潮） ダム 遊水地 排水機場 ★橋（許可）	堤防強化 堤防かさ上げ ダム（非常用洪水吐等の改良） 越流堤ゲート設置、越流堤高の改良 排水設備の増強 ★桁下高、径間長
1－③ 2度に対応し、更なる温度上昇に備える対策（構造上の工夫、手戻り防止）	ダム 堰 高潮堤防 排水機場	容量増の工夫（かさ上げ、放流設備等） 通過流量増への工夫（堰柱増設等） 堤防高上昇への工夫（かさ上げ等） 施設増設の工夫（敷地、水路の確保等）
2－① 2度に対応し、被害を軽減させる対策（減災対策）	堤防 ダム 遊水地	越水対策（危機管理ハード等） 放流設備の改良（事前放流の拡大等） 越流堤ゲート設置（危機管理操作）

気象予測を活用したダム操作の検討（イメージ）

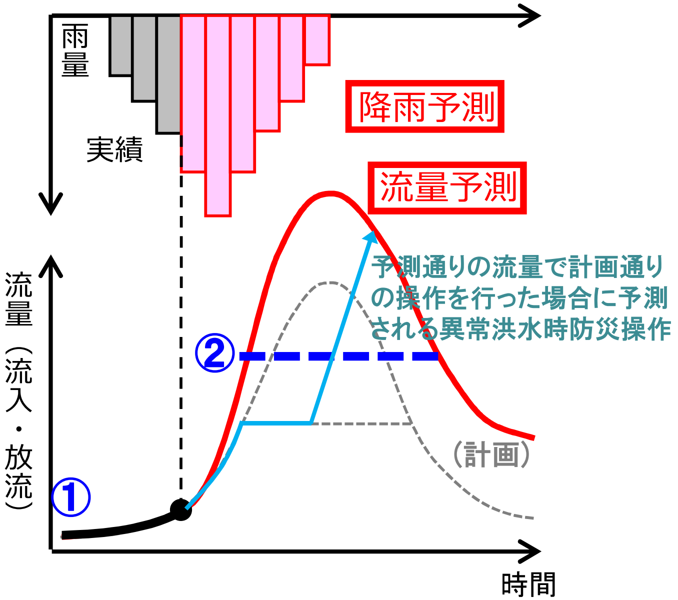
○ 現在気候においても外力の増加は顕在化しており、流域のリスク軽減を目指したダム操作の高度化や、これに向けた予測精度を向上させる技術開発の推進が必要。

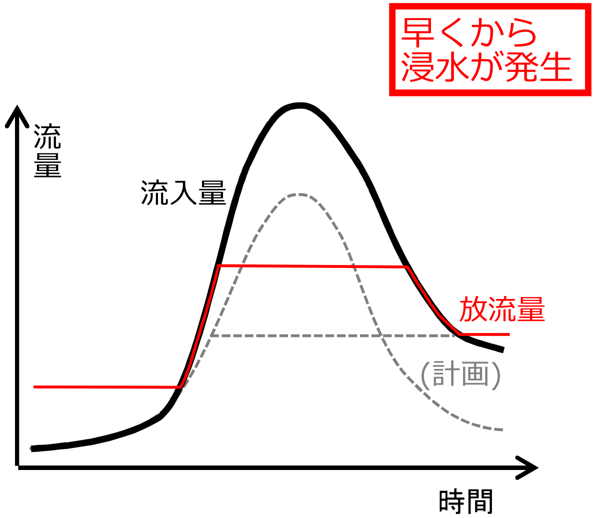
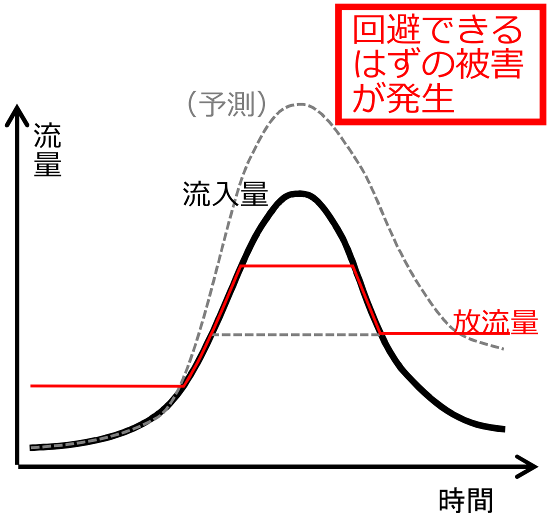
○ ダム操作の高度化を行う場合において、予測と異なる結果となった場合に被害リスクを受容する社会環境や流域におけるリスク配分の考え方等の検討が必要。

気象予測
（計画を大きく超える流入を予測）

【対策のイメージ】

①事前放流の拡大
（開始のタイミング・放流量）
②防災操作時の放流量の引上げ
※通常より早めの避難が必要



対策案	予測通りの流入	予測を下回る流入
①	被害を軽減 容量が回復し、利水者への影響なし	被害無し 容量が回復せず、利水者に影響
②	浸水被害は発生するものの、壊滅的な被害を回避	本来回避できるはずの浸水被害が発生
イメージ（①②）		

※②については、放流量により浸水リスクが変動。
流入量に応じた異常洪水時防災操作を回避する放流量等を事前に検討。

気候変動も踏まえたダム操作の検討（イメージ）

○ アンサンブル予測を始めとした降雨量やダム流入量（数日前）の予測精度を向上させる技術開発を推進。
○ そのためにも現在の降雨パターン（規模）の発生を視野にあらかじめ操作ルールの設定が必要。

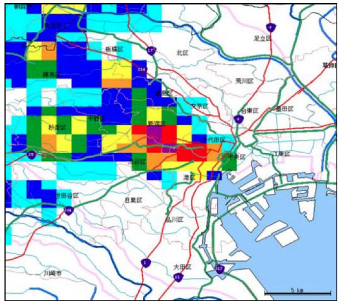
①雨量（実観測）

➢ Cバンドレーダーのの MP化を進め、都市域等に高頻度・高分解能なレーダを導入、高精度な雨量データをほぼリアルタイムで配信することが可能。

【雨量観測所】

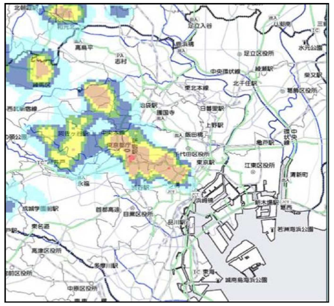
配置間隔：箇所／X00km²
観測間隔：時間雨量

【Cバンドレーダ】



最小観測面積：1kmメッシュ
観測間隔：5分
配信時間：5～10分

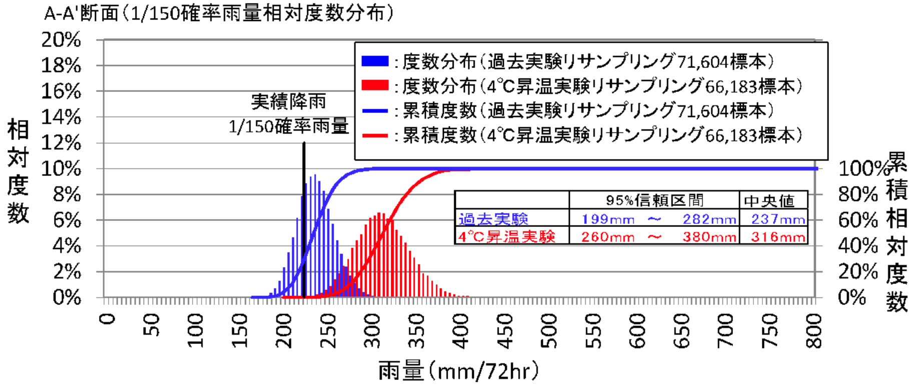
【XバンドMPレーダ】



最小観測面積：250mメッシュ
観測間隔：1分
配信時間：1～2分

②雨量（計算モデル・d4PDF）

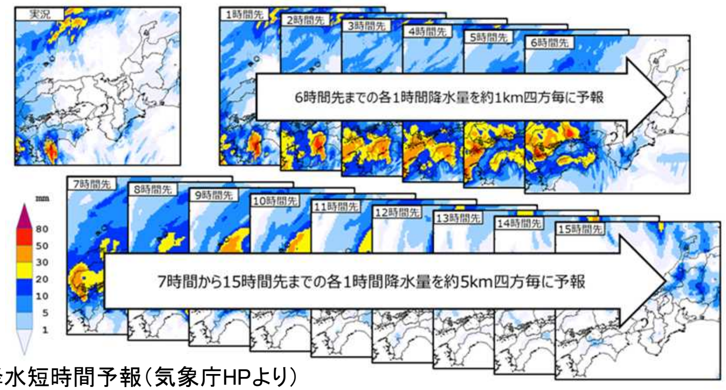
➢ d4PDF（地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース）に基づき、大雨の発生強度や頻度を分析
・極端現象の解説、・統計学的な分析



実河川流域における大量アンサンブル気候予測データに基づく不確実性を考慮した将来気候下での確立雨量
土木学会論文集B1（水工学）Vol.74,No.5,I_121-I_126,2018.

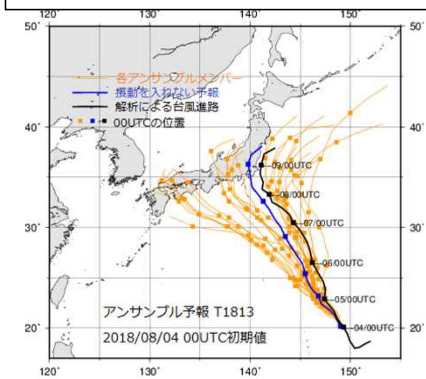
③気象予測（アンサンブル予報）

➢ 降水短時間予報は、これまでの6時間先から15時間先に延長
（平成30年6月20日より運用開始）



降水短時間予報（気象庁HPより）

➢ アンサンブル予報の改良による台風進路予測の精度向上



台風進路のアンサンブル予報例
（気象庁HPより）

➢ 事前放流の拡大を検討

気候変動を踏まえた整備計画の事業評価手法のイメージ

- ○ 河川整備計画の目標を見直し、減災効果を高いメニューの追加を推進するため、気候変動による外力増加への対応、危機管理対策・減災効果の高いメニューの評価を実施
- ○ 具体の評価手法の検討を進め、事業評価実施要領、治水経済調査マニュアル（案）及び水害リスク分析の手引き（試行版）の改定を検討する。

代替案比較の評価手法（例. 計画段階評価）

評価項目		現状	見直し案
1)安全度	イ）目標に対して安全を確保できるか	◎（必要条件）	◎（必要条件）
	ロ）目標を上回る洪水などが発生した場合どのような状況となるか ＜さらに複合的な要因による災害への対応を確認＞	○ H.W.Lを上回る区間	◎ 水害リスク評価を活用し定量化
	ハ）段階的にどのように安全度が確保されていくのか	○	○
	ニ）どの範囲でどのような効果が確保されていくのか	○	◎ 水害リスク評価を活用し定量化
2)コスト	イ）完成までに要する費用はどのくらいか	◎ 単独で最重視	◎ 減災効果も含めた便益と併せて重視
	ロ）維持管理に要する費用はどのくらいか		
	ハ）その他の費用		
3)実現性	イ）土地所有者等の協力の見通しはどうか	○	○
	ロ）その他の関係者との調整の見通しはどうか	○	○
	ハ）法制度上の観点から実現性の見通しはどうか	○	○
	ニ）技術上の観点から実現性の見通しはどうか	○	○
4)持続性	イ）将来にわたって持続可能といえるか	○	○
5)柔軟性	イ）地球温暖化に伴う気候変動や社会環境の変化などの不確実性に対してどのように対応できるか	○	◎ 追加コスト
6)地域社会への影響	イ）事業地及びその周辺への影響はどの程度か	○	○
	ロ）地域振興に対してどのような効果があるか	○	○
	ハ）地域間の利害の衡平への配慮がなされているか	○	○
7)環境への影響	イ）水環境に対してどのような影響があるか	○	○
	ロ）生物の多様性の確保及び流域の自然環境全体にどのような影響があるか	○	○
	ハ）土砂流動はどう変化し、下流河川・海岸にどのような影響があるか	○	○
	ニ）景観、人と自然との豊かなふれあいにどのような影響があるか	○	○
	ホ）その他	○	○
評価の決定方法		・コストを最も重視 ・他の評価軸も含め総合評価 ・「コスト」の差が僅かである場合は、他の評価軸と併せて検討	・コストだけでなく便益も重視 ・水害リスク評価を用いて、目標を上回る洪水に対する減災効果も含めて便益を評価

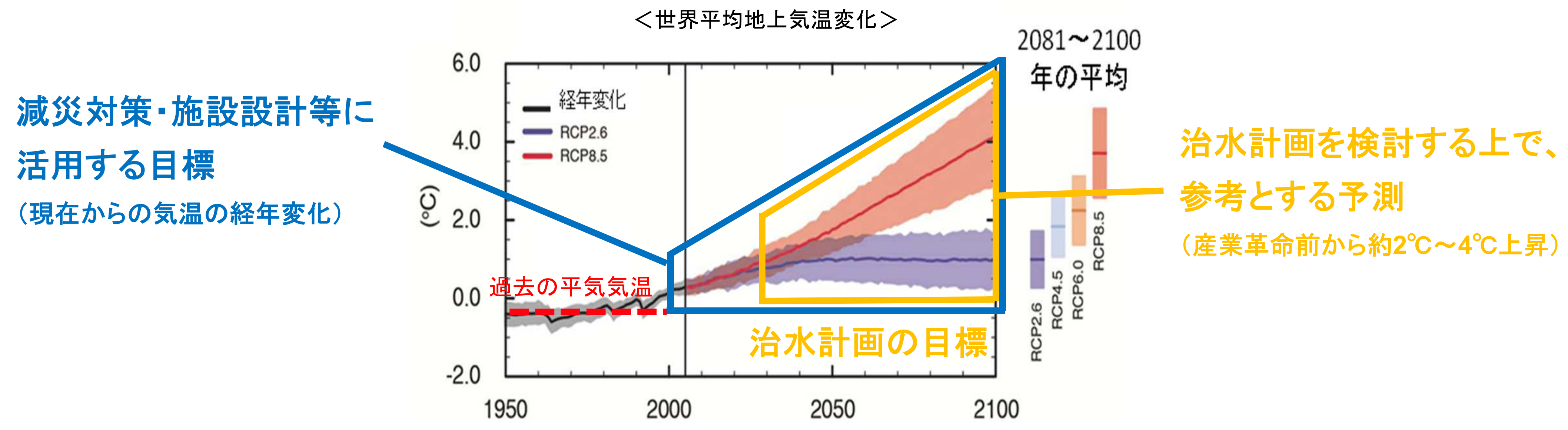
水害リスク評価を活用し、減災効果を定量的に評価（複合的な要因による災害）

コストだけでなく、新たに定量的に評価する減災効果を含めた便益と併せて評価

基本方針の計画規模に対応する事業メニュー案の設定方法等を検討

治水計画等の見直しの方向性

○ 治水対策は、気候が定常状態であることを前提に、過去の観測結果を用いて対策が計画されてきたが、今後、気候が非定常的であることを前提とし、治水対策の目的に応じ、対象とすべき目標時期を考慮して、気候変動の影響を対策に反映していくことが必要。



貯留施設等の操作による対策
- ○利水容量の治水活用（事前放流）
- ○複数ダムの洪水調節・利水容量再配分

豪雨時のリアルタイムデータを活用した対策
- ○洪水予測を活用したダム操作
- ○洪水予測の高度化（リアルタイム）
  - → 水害リスクラインによる線的洪水予測
  - → 水防活動の重点化　　　等

施設設計・構造の工夫による対策
- ○治水施設の設計
- ○治水施設の構造の工夫

長期的な将来予測を踏まえた対策
- ○将来の温度上昇を見据え、予測の不確実性も考慮した効率的な治水施設の整備

治水計画等の見直しの考え方

○ 河川整備計画は、現時点においては2度上昇を踏まえた整備計画目標に見直す。見直しにあたっては、手戻りの少ない整備手順、施設能力を上回る洪水にも減災効果の高い対策（危機管理対策）を選定。
○ 河川整備基本方針についても順次見直すことが望ましい。
○ 施設の更新時期や耐用年数を考慮し、原則として2度上昇に対応した設計に加えて、４度上昇のシナリオも視野に入れた構造上の工夫を実施。

①治水計画の見直しの方向性		②施設設計上の対応	③危機管理上の対応
（河川整備基本方針）	（河川整備計画）		
【基本的な考え方】 ○基本高水のピーク流量について、あらかじめ気候変動の影響を考慮して設定することが基本。 ○ただし、多くの河川においては河川整備計画の目標は河川整備基本方針の目標に比べて相当低いことから、まずは現在の河川整備基本方針に向けた整備を加速することを優先。	【基本的な考え方】 ○気候変動によって実質的な治水安全度が低下する状況においても、河川整備計画の目標年度で目標とする治水安全度を確保。 ○なお、気候変動が進行する中でも、目標とする安全度を確保していくには、河川整備を加速していくことが必要。	【基本的な考え方】 ○施設の耐用年数経過時点において、必要とされる安全性が確保されるように、気候変動の影響を考慮。 ○耐用年数の長い施設については、予測の不確実性も踏まえ、容易かつ安価に改造できるような設計上の工夫を実施。	【基本的な考え方】 ○施設能力を上回る洪水が発生することを想定し、地域と連携し、気象予測精度の向上等も踏まえた減災効果の高い対策を実施。

治水計画等の見直しの考え方

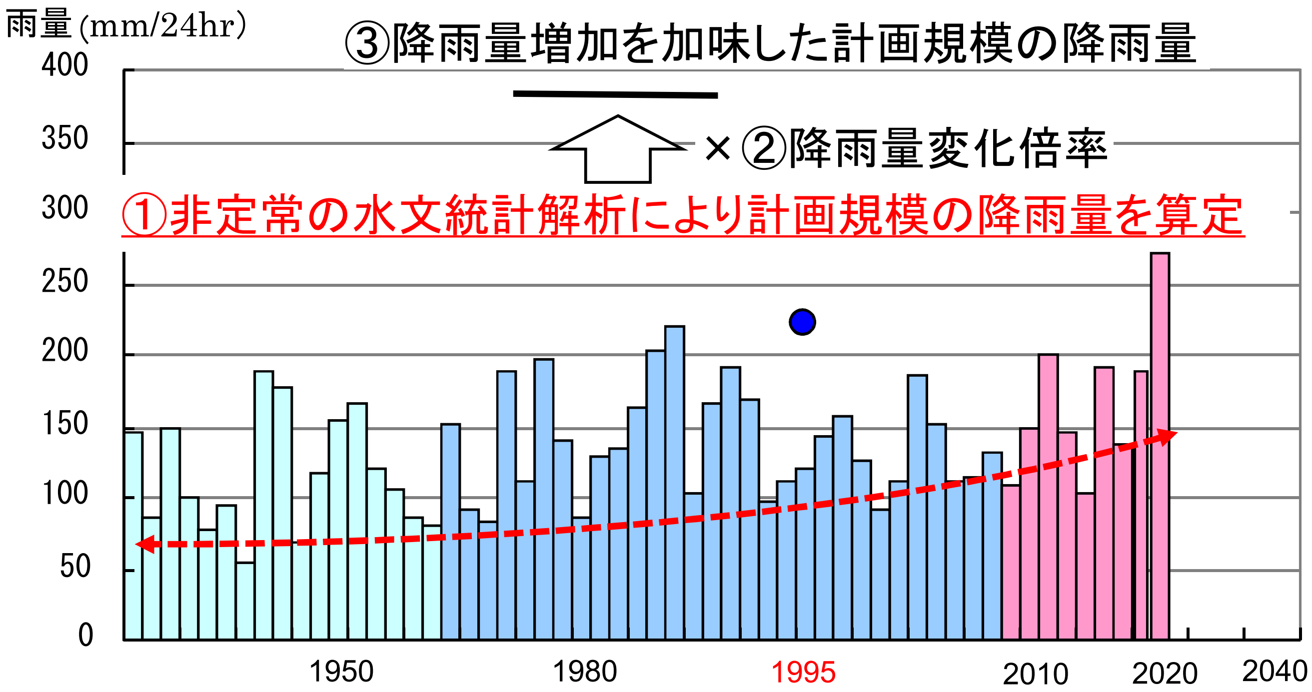
①治水計画の見直しの方向性		②施設設計上の対応	③危機管理上の対応
（河川整備基本方針）	（河川整備計画）		
【採用する外力の考え方】 〇RCP2.6（平均値）を反映 ※　現時点で定量的に評価されている降雨量変化倍率を活用	【採用する外力の考え方】 〇RCP2.6（平均値）を反映 ※RCP2.6においては、20～30年後以降、大きな気温の変化はないため、今世紀末の予測結果を20～30年後の予測に流用 〇RCP8.5の活用 ※気候変動によるさらなる外力の増加した場合でも、手戻りが少なくなるような整備メニューの検討に活用	【採用する外力の考え方】 〇RCP2.6（平均値）を活用 ※施設の耐用年数経過時点（更新時点）における外力を設計に反映 〇RCP8.5の活用 ※更なる気温上昇に備えて、改造を容易にする工夫等を検討する場合の外力に活用	【採用する外力の考え方】 〇RCP2.6（平均値）を活用 〇RCP8.5の活用 ※更なる気温上昇が生じた場合の運用の検討
【見直しの具体的な手順】 〇河川整備基本方針策定後に基本高水のピーク流量を超過した河川等から順次見直し。	【具体の対応策】 〇目標の見直し 〇河川整備メニューの見直し ・目標を上回る洪水に対する減災効果も考慮し、危機管理上の対応とも一体となった対策の充実 ・更なる外力増加の可能性も考慮し、施設構造の工夫とも一体となった整備手順の検討 ・必要に応じて、バックウォーター、土砂・洪水氾濫等複合的な要因による災害に対する対策	【具体の対応策】 〇2℃上昇による外力増加を設計に反映 〇4℃上昇でも改造等が容易になる工夫 ・堰における門柱の増設や敷高の変更等 ・ダムにおける放流設備の高さ設定等 ・排水機場における追加施設用地の確保等 〇順次対応可能な構造 ・ポンプ設備やパラペット	【具体の対応策】 〇危機管理型ハード対策などの堤防構造の工夫 〇洪水調節施設における容量の効率的な活用 ・ダムにおけるアンサンブル予測を活用した事前放流等 ・遊水地における越流堤へのゲート整備 〇施設能力を超える洪水が予測された場合の操作ルールの検討 〇過去の観測データだけではなく、現在の気候の状況や近未来の気候変動の状況も勘案したより効果的な操作方法の検討

※今後、シナリオの見直しに応じて、対応策の見直しが必要となることに留意が必要。

【参考】近年洪水までの標本を用いた非定常統計解析手法とその課題

○非定常統計解析により、雨量標本の統計特性の時間的変化をモデルに組み込み、気候変動の影響がまだ現れていないと想定される時点（下図の例では過去実験の中間年である1995年）での、計画規模の降雨量に降雨量変化倍率をかける方法などが考えられる。

非定常統計解析手法の適用イメージ



降雨継続時間内の年最大流域雨量標本

非定常統計解析手法の課題

○雨量標本が非定常性を示したとしても、それが気候変動の影響とは必ずしも言い切れない。

○元々、降雨量に対して時間は説明変数ではないため、母数を時間の関数ではなく、気温や湿度の関数で表す方法が研究されている。

○ベースとなる確率分布モデル、母数の関数形など、非定常統計解析の手法が必ずしも確立していない。

→治水計画に適用するには、引き続き、研究開発を進め、上記課題に対する検討が必要と考えられる。

Mann-Kendall検定

〇Mann−Kendall検定は、水文時系列資料のトレンドを検定する手法であり、トレンドが線形か非線形かに関わらず適用可能。

以下の仮説を有意水準α＝5パーセントにより検定

帰無仮説　H_0:n個のデータ{X1,X2,…,Xn}が独立で同一の確率分布に従う。

対立仮説　H_1:n個のデータ{X1,X2,…,Xn}が同一の確率分布に従わない。

⇒有意水準αに対して、定常・非定常の検定が可能であるとともに、
統計量Sの正負によって、上昇・下降傾向の判定も実施

統計量Z の定義は以下の通り。

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sign}(X_j - X_k) \tag{1}$$

$$\mathrm{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \tag{2}$$

$$\mathrm{Var}(S) = \frac{1}{18}\left(n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} e_i(e_i - 1)(2e_i + 5) \right) \tag{3}$$

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{Var}(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{Var}(s)}} & S < 0 \end{cases} \tag{4}$$

・e_iはデータ{X_1,X_2,…,X_n}を昇順に並べたとき、同じ値が連続して出現する個数を表し、nはその組数を表す。

・有意水準をαとしたとき、標準正規変量Zが$|Z|>z_{1-\alpha/2}$のとき仮説H_0は棄却される。$z_{1-\alpha/2}$は標準正規分布の超過確率$\alpha/2$に相当するクォンタイルである。

・S>0のとき、水文時系列資料Xiは上昇傾向であることを示し、S<0のときは下降傾向であることを示す。

Mann-Kendall検定結果

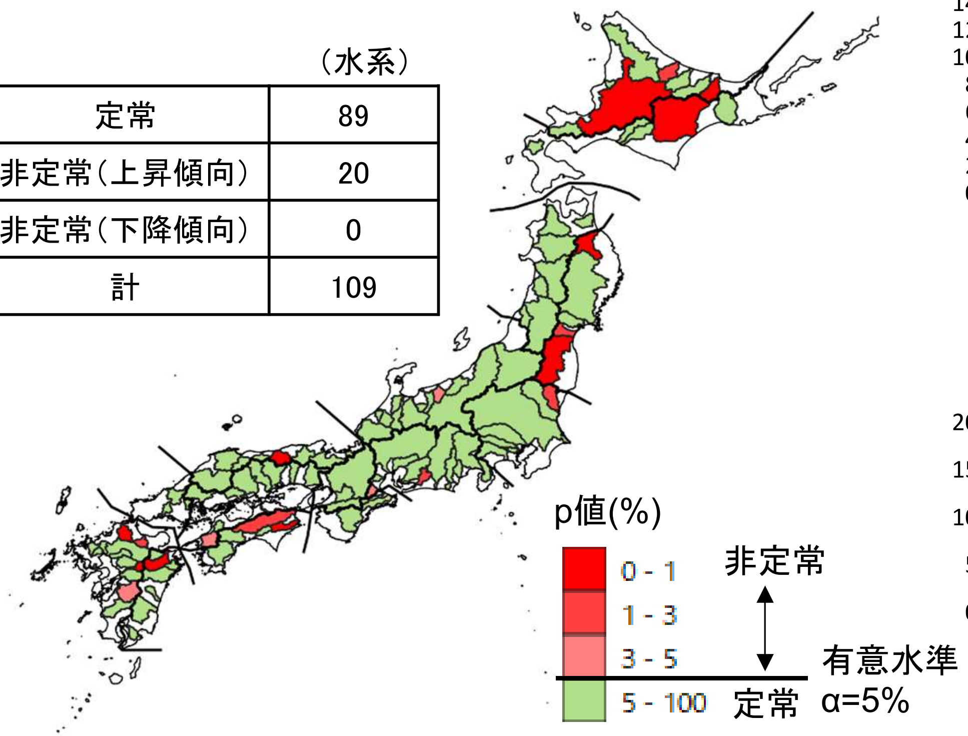
〇<u>109水系の治水基準地点上流の年最大流域平均雨量を対象</u>に適用
- 各流域の計画降雨が対象とする降雨継続時間の年最大値を対象（利根川なら3日）。
- データの保存期間は基準地点ごとに異なるため、1891年～2020年で利用可能なデータをすべて使用（平均で89年、最大で129年分を利用）

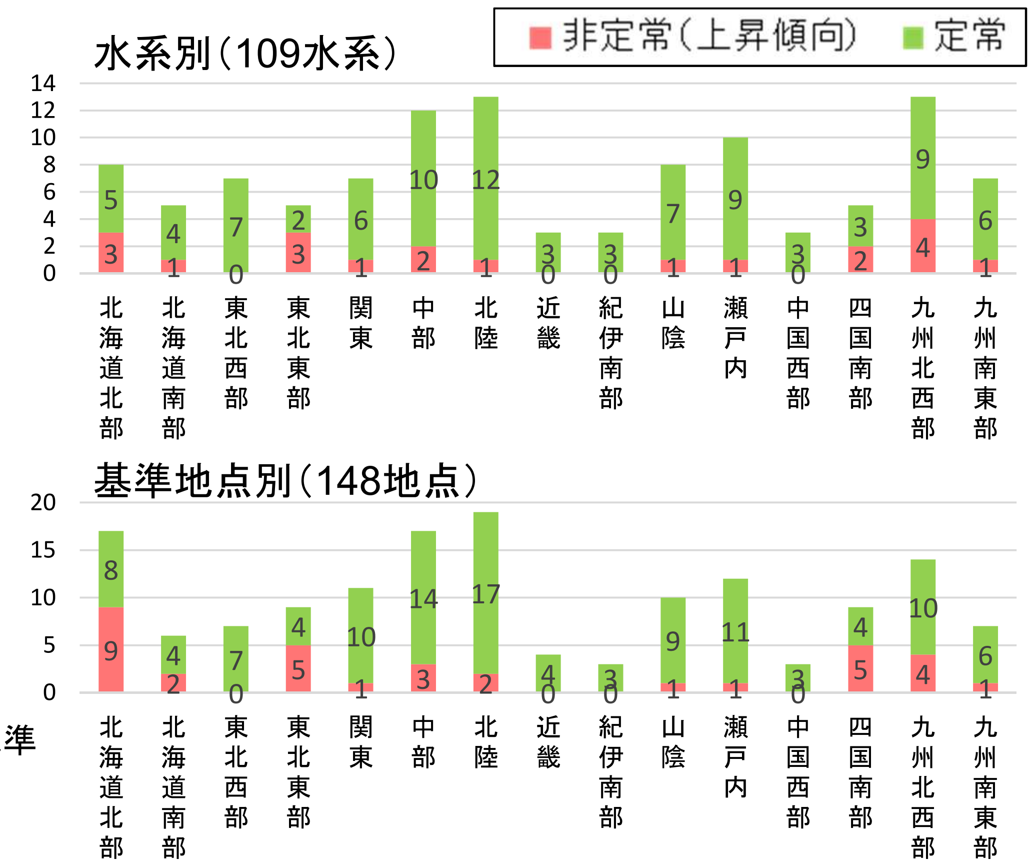
〇検定の結果、109水系のうち、非定常（上昇傾向）が20水系、定常が89水系となった。
基準地点別では、148地点のうち非定常（上昇傾向）が34地点、定常が114地点となった。
非定常（下降傾向）の基準地点・水系はなかった。

Mann-Kendall検定結果

（水系）

定常	89
非定常（上昇傾向）	20
非定常（下降傾向）	0
計	109





非定常水文統計解析手法

〇これまでの治水計画においては、年最大雨量等の極値分布が時間的に変化しない（定常）と見なして水文統計解析を実施してきた。

〇しかしながら、時間50mmを超えるような短時間降雨の発生回数が近年増加していることや、非温暖化実験結果から地球温暖化の影響により降雨量が増加していることが示されており、過去の降雨量の標本を定常として扱うことが妥当か検証する必要がある。

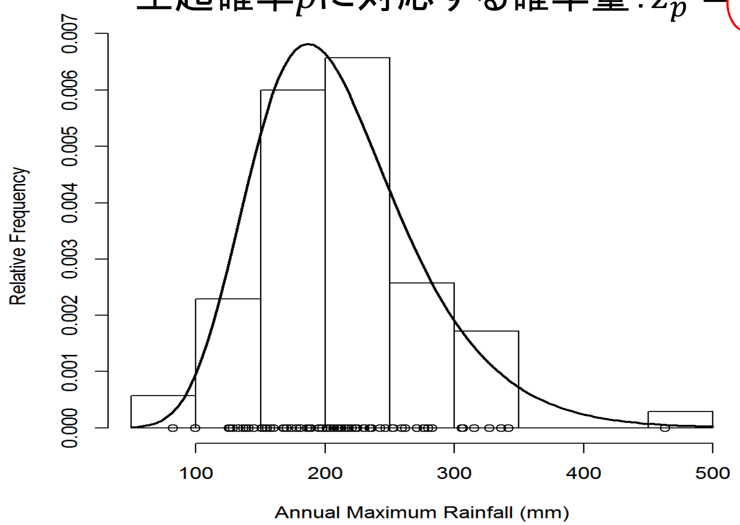
〇近年の地球温暖化の影響評価のためには、過去の標本も含めて非定常の水文統計解析を用いる必要がある。

⇒GEV分布の母数（位置母数、尺度母数）を時間依存として最尤法により母数を推定。

確率密度関数：$g(z) = \frac{1}{\sigma}\left[1+\xi\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi-1} \cdot exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}$

累積分布関数：$\mathrm{G}(z) = exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}$

生起確率pに対応する確率量：$z_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi}\left[1-\{-\log(1-p)\}^{-\xi}\right]$



z　：確率変数
G(z): zに関するGEVの累積分布関数(cdf)
μ　：位置母数(location parameter)　→分布の「場所、位置」
σ　：尺度母数(scale parameter)　→分布の「拡がりの大きさ」
ξ　：形状母数（shape parameter）　→分布の「カタチ」
p　：生起確率
z_p　：生起確率pに対応する確率量

→GEVには、μ、σ、ξという3つの母数が存在する。

非定常水文統計解析手法

〇109水系の治水基準地点上流の年最大流域平均雨量を対象に適用
- 各流域の計画降雨が対象とする降雨継続時間の年最大値を対象（利根川なら3日）
- データの保存期間は基準地点ごとに異なるため、1891年～2020年で利用可能なデータをすべて使用（平均で89年、最大で129年分を利用）

〇モデル間の優劣については、AIC （Akaike’s Information Criterion：赤池情報量基準）で評価し、AICが最小となるモデルを選定する。なお、もともとのAICは無限標本を仮定しているため、ここでは小標本に対しても偏りが生じないよう有限修正がされたAICc(修正情報量基準)を採用している。

$$AICc = -2l + 2p + \frac{2p(p+1)}{n-p-1}$$

l: 最大尤度
p: パラメータの数
n: 標本数

<table>
<tr><th>モデル</th><th>位置母数　μ ※1</th><th>尺度母数　σ ※1</th><th>形状母数　ξ ※2</th></tr>
<tr><td>1※3</td><td>Const</td><td rowspan="3">Const</td><td rowspan="6">Const</td></tr>
<tr><td>2</td><td>$a_1 + a_2 \times t$</td></tr>
<tr><td>3</td><td>$a_1 + a_2 \times t + a_3 \times t^2$</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Const</td><td rowspan="3">$b_1 + b_2 \times t$</td></tr>
<tr><td>5</td><td>$a_1 + a_2 \times t$</td></tr>
<tr><td>6</td><td>$a_1 + a_2 \times t + a_3 \times t^2$</td></tr>
</table>

※1 ： 位置母数と尺度母数については、以下文献を参考に、100年程度の期間であることから二次関数以下の多項式を設定
立川康人,森信治,キムスンミン,萬和明：非定常水文頻度解析手法を用いた極値降水量の変化予測–地球温暖化予測情報への適用–, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.71, No.4, I_367-I_372, 2015.

※2 ： 形状母数については、時間変化を考えると最尤計算が不安定となるため，時間的に変化させない

※3 ： モデル1についてはすべての母数が一定値であるため、定常モデル

参考資料の内容

Ⅵ. その他

（1） ロードマップ

（2） 九州北西部における擾乱タイプについて

（3） 東シナ海における将来の海面水温について

（4） 諸外国における気候変動の対応

気候変動を踏まえた治水対策のロードマップ（全体）

	平成30年度	令和元年度	令和2年度～

治水

平成30年度

・ハード対策で対象とすべき、温度上昇シナリオ
・外力の評価（2℃上昇、4℃上昇）
・全国版の変化倍率の算出、降雨パターンの検討

○河川整備手順の見直し
○整備計画メニューの追加
○事業評価手法（新規採択事業化等）の見直し

令和元年度

【外力の評価】
・2℃上昇時の外力変化の検証（d2PDFを用いて検討）
・変化する降雨パターンの評価（2℃、4℃）
・複合的な要因による災害の同時生起性の評価（2℃、4℃）

【対策の検討】
・計画を上回る洪水に対して被害を軽減強化対策
・防災・減災効果の高い洪水調節施設の操作
・予測の不確実性を考慮した施設の設計手法
・多様な水害リスクの評価手法

・気候変動を踏まえた河川整備計画への実装
（目標外力の見直し、対策メニューの追加）

○基準類、手引きの作成・更新

令和2年度～

【外力の評価】
・新たな計算手法の検討
・水災害を引き起こす外力の検討
・気候変動モニタリング

海岸

海面水位上昇量の設定及び外力増大量の検討

土砂

既往災害の分析による生産土砂量の実態把握（降雨条件との比較整理等）

河砂基準の改定
土砂・洪水氾濫に係る国総研資料の発行

豪雨時の山地流域における生産土砂量の推定手法の高度化

土砂・洪水氾濫発生危険度評価手法の開発

既往災害の分析に基づく経験的手法の検討

Ⅵ. その他

（1） ロードマップ

（2） 九州北西部における擾乱タイプについて

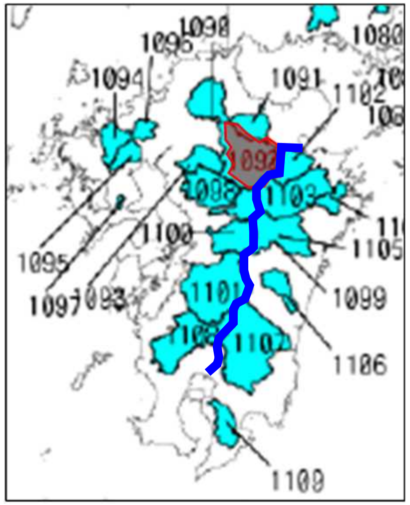
（3） 東シナ海における将来の海面水温について

（4） 諸外国における気候変動の対応

九州北西部・筑後川流域の年最大雨量をもたらす降雨イベントの擾乱タイプ

【目的】九州北西部の降雨量変化倍率の算出根拠としているd4PDF(5km,SI-CAT) において、「前線」の影響を十分に考慮できているか確認する。

【手法】九州北西部・筑後川流域（治水基準点（荒瀬）上流域）を対象として、d4PDF（5km、SI-CAT）及び実績データによる年最大雨域（流域）平均雨量をもたらす降雨イベントの擾乱タイプを整理した。対象データ等は下記の通り。



対象データ・解析条件

対象地域	九州北西部 （右上図青線の北西側）	筑後川流域 （治水基準点（荒瀬）上流域） （右上図1092番（赤着色の領域））	筑後川流域 （治水基準点（荒瀬）上流域） （右上図1092番（赤着色の領域））
対象データ	d4PDF(5km,SI-CAT) 過去実験　　:360年 2℃上昇実験:360年 4℃上昇実験:360年	d4PDF(5km,SI-CAT) 過去実験　　:上位20年※ 4℃上昇実験:上位20年※ ※年最大流域平均雨量による	実績降雨 1943～2019:77年
雨域（流域）面積、降雨継続時間	400km²、12時間 （DAD解析）	約1,440km²、48時間	約1,440km²、48時間
分類手法	機械分類	目視	目視
分類種数	3種類 （台風、前線、その他）	8種類 （台風、台風と停滞前線、台風と移動性低気圧、停滞前線、停滞前線（台風の影響あり）、停滞前線と移動性低気圧、移動性低気圧、暖湿気流）	3種類 （台風、前線、低気圧）

【d4PDF・機械分類】擾乱タイプの分類方法

〇機械分類による擾乱タイプの分類は、内海ら(2016)による手法※のパラメータを一部変更した手法を用いた。

手順	内海ら(2016)による手法の一部変更 (変更部分は赤字、論文で明確でなく今回設定した部分は青字で示す。)
①気象擾乱の抽出判定 (台風)	(1) 1° 格子に再配置 (地上気圧、850hPa相対渦度・水平風・温度、500hPa水平風・温度、300hPa水平風・温度) (2) 地上気圧極小値の格子点を低気圧中心として抽出※ 格子点が(3)-(7)を満たせば台風 ※ 7° 四方のエリア内で地上気圧最小をとる格子点にフラグをたてる。フラグをたてた格子が隣接していれば同一エリアとする。各エリアで地上気圧最小の格子点を抽出する。 (3) 850hPa相対渦度がしきい値(1.0×10-4)を超える (4) 9° 四方の平均風速が、850hPaで300hPaの80%より大きい (5) 850, 500, 300hPa各高度における中心の温度と9° 四方の平均温度の差を算出、3高度の差の総和がしきい値(0℃)を超える (6) 同一の低気圧※が連続する48時間以上存在 ※ (2)-(5)を満たす低気圧中心を、15日移動平均した500hPa水平風×0.5で移流する。移流先の500km以内に次の時刻の低気圧中心があれば、同一の低気圧とする。前時刻の低気圧中心が複数ある場合、移流先と現時刻の低気圧中心が最も近く、かつ500km以内であれば同一とする。 (7) 低気圧中心が日本付近の領域で初めて検出された場所・時刻の月平均海面温度がしきい値以上(25℃)
②気象擾乱の抽出判定 (前線)	(1) 1° 格子に再配置 (2) 700hPa相当温位・850hPa比湿の水平勾配を算出 (3) 水平勾配の大きさがしきい値を超える格子点に前線が存在するとする※ ※ 局所的に勾配が大きくなっている領域を除くため、隣接した格子点の数が20未満のものを除く
③気象擾乱と 降雨発生域の紐づけ	(1) 降雨継続時間の総雨量で重みづけした位置を特定 (2) (1)の位置と擾乱の距離により気象擾乱を紐づける ① 台風中心から1,000km以内:台風 ② ①を満たしておらず、前線から600km以内:前線 ③ ①・②を満たしていない:その他

※Utsumi, N., H. Kim, S. Kanae, and T. Oki (2016), Which weather systems are projected to cause future changes in mean and extreme precipitation in CMIP5 simulations?, J. Geophys. Res. Atmos., 121(18), 2016JD024939, doi:10.1002/2016JD024939.

【d4PDF・機械分類】擾乱タイプの分類方法の精度検証

〇精度検証用の100降雨イベントに対して目視判定による真値を付与し、機械分類による結果と比較を行った。
〇100降雨イベントは、地域に偏りが生じないよう十勝川・利根川・筑後川水系から、それぞれの過去実験または4℃上昇実験における豪雨上位20事例から、過去/将来実験に偏りが生じないように選定した。
〇選定した100事例は、台風37, 前線55, その他8の擾乱タイプを、過去実験51, 将来実験49を含む。
〇真値どおり分類できたイベントは77/100であり、77%の的中率であった。

目視判定による判断基準

擾乱タイプ	判断基準
台風	① 地上気圧で極小域の周囲の等圧線が同心円状 ② 700hPa相当温位図で地上気圧極小域の上空に暖気核があり、かつ500hPaで地上気圧極小域の上空が高度の極小となっており、寒気が入り込んでいない ③ 降水域の分布で対象流域の降雨が台風の周囲でもたらされる降雨に含まれる
前線	① 850 / 700hPa 等相当温位線の間隔が狭く、風向きが不連続 ② ①付近で、地上気圧の谷や地上降水域の分布から前線の位置を決定 ③ 降水域の分布で対象流域の降雨が前線付近でもたらされる降雨に含まれる
その他	台風及び前線に分類されないもの

目視判定による真値と機械分類による結果の比較

		真値（目視判定）			計
		台風	前線	その他	
機械分類結果	台風	30	2	0	32
	前線	6	43	4	53
	その他	1	10	4	15
計		37	55	8	100

真値通り分類できた事例

【d4PDF・機械分類,目視】擾乱タイプの分類結果

○機械分類・目視の両手法において、過去実験、将来実験に共通して「前線」が主要な気象擾乱タイプであった。
また、機械分類において、上位1/10の豪雨事例に対象を絞っても、その傾向は同じであった。

○機械分類によると、過去実験に比べ、2℃上昇実験、4℃上昇実験で段階的に「前線」の割合が増加し、「その他」の割合が減少していた。将来気候において顕著な前線が増加している可能性がある。

機械分類による擾乱タイプの分類数と割合（全事例）

擾乱タイプ	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験
台風	49（14%）	37（10%）	34（9%）
前線	219（61%）	260（72%）	291（81%）
その他	92（26%）	63（18%）	35（10%）
合計	360（100%）	360（100%）	360（100%）

機械分類による擾乱タイプの分類数と割合（上位1/10:36年）

擾乱タイプ	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験
台風	2（6%）	5（14%）	1（3%）
前線	18（50%）	23（64%）	34（94%）
その他	16（44%）	8（22%）	1（3%）
合計	36（100%）	36（100%）	36（100%）

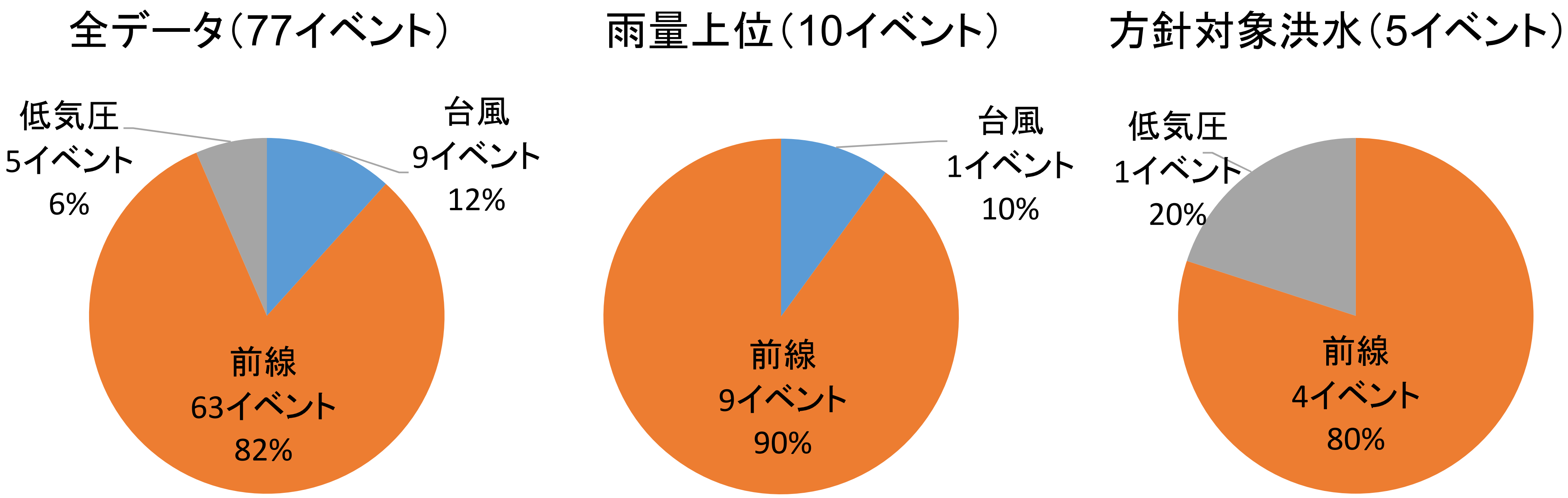
目視による擾乱タイプの分類数と割合（上位20年）

擾乱タイプ	過去実験	4℃上昇実験
台風		2（10%）
台風と停滞前線	1（5%）	2（10%）
台風と移動性低気圧		
停滞前線	16（80%）	11（55%）
停滞前線（台風の影響あり）	1（5%）	1（5%）
停滞前線と移動性低気圧		
移動性低気圧	2（10%）	3（15%）
暖湿気流		1（5%）
合計	20（100%）	20（100%）

【参考】【実績・目視】筑後川流域における年最大雨量をもたらした降雨イベントの擾乱タイプ

○実績データを用いて、筑後川流域（治水基準点（荒瀬）上流域）において、年最大雨量をもたらした気象擾乱について整理した。1943年～2019年の計77イベントに対して、台風（9イベント、12%）、前線（63イベント、82%）、低気圧（5イベント、6%）であり、実績データにおいても「前線」が主要な気象擾乱タイプであった。

○雨量上位10イベントや方針対象洪水5イベントといった豪雨に限定しても、「前線」が主要な気象擾乱タイプであるという傾向は同様であった。



※台風、前線、低気圧の分類は目視による

結論

○d4PDF（5km、SI-CAT）に対して、機械分類・目視の両手法において、過去実験、将来実験に共通して、九州北西部・筑後川流域では「前線」が主要な気象擾乱タイプであった。

○なお、気候モデルだけではなく、実績データにおいても、判定手法が異なるものの筑後川流域では「前線」が主要な気象擾乱タイプであったことを確認した。

○以上の結果から、九州北西部の降雨量変化倍率の算出根拠としているd4PDF(5km,SI-CAT) において、「前線」の影響を十分に考慮できていると考えられる。

対象データ・解析条件（再掲）

対象地域	九州北西部 （右上図青線の北西側）	筑後川流域 （治水基準点（荒瀬）上流域） （右上図1092番（赤着色の領域））	筑後川流域 （治水基準点（荒瀬）上流域） （右上図1092番（赤着色の領域））
対象データ	d4PDF(5km,SI-CAT) 過去実験　:360年 2℃上昇実験:360年 4℃上昇実験:360年	d4PDF(5km,SI-CAT) 過去実験　:上位20年※ 4℃上昇実験:上位20年※ ※年最大流域平均雨量による	実績降雨 1943～2019:77年
流域（雨域）面積、降雨継続時間	400km²、12時間 （DAD解析）	約1,440km²、48時間	約1,440km²、48時間
分類手法	機械分類	目視	目視
分類種数	3種類 （台風、前線、その他）	8種類 （台風、台風と停滞前線、台風と移動性低気圧、停滞前線、停滞前線（台風の影響あり）、停滞前線と移動性低気圧、移動性低気圧、暖湿気流）	3種類 （台風、前線、低気圧）

Ⅵ. その他

（１）　ロードマップ

（２）　九州北西部における擾乱タイプについて

（３）　東シナ海における将来の海面水温について

（４）　諸外国における気候変動の対応

d4PDFにおける海面水温設定について

○d4PDFの将来予測における海面水温の設定では、観測された海面水温からトレンド成分を除いたものに、CMIP5の主要6モデルに基づく将来の海面水温変化パターンを加えた値が、海面水温の境界値として与えられている。
○しかしながら、解像度が100～200km程度であるCMIP5のモデルでは、大部分が水深200m以浅の大陸棚に占められ、気候変動の影響を受けやすいと考えられる東シナ海の海面水温変化を十分に捉えられていない可能性があるため、より高解像度（約10km）の海洋モデルを用いて検証を行うこととした。

表　d4PDFの海面水温設定に用いられている
CMIP5の6モデルの水平解像度（海洋）

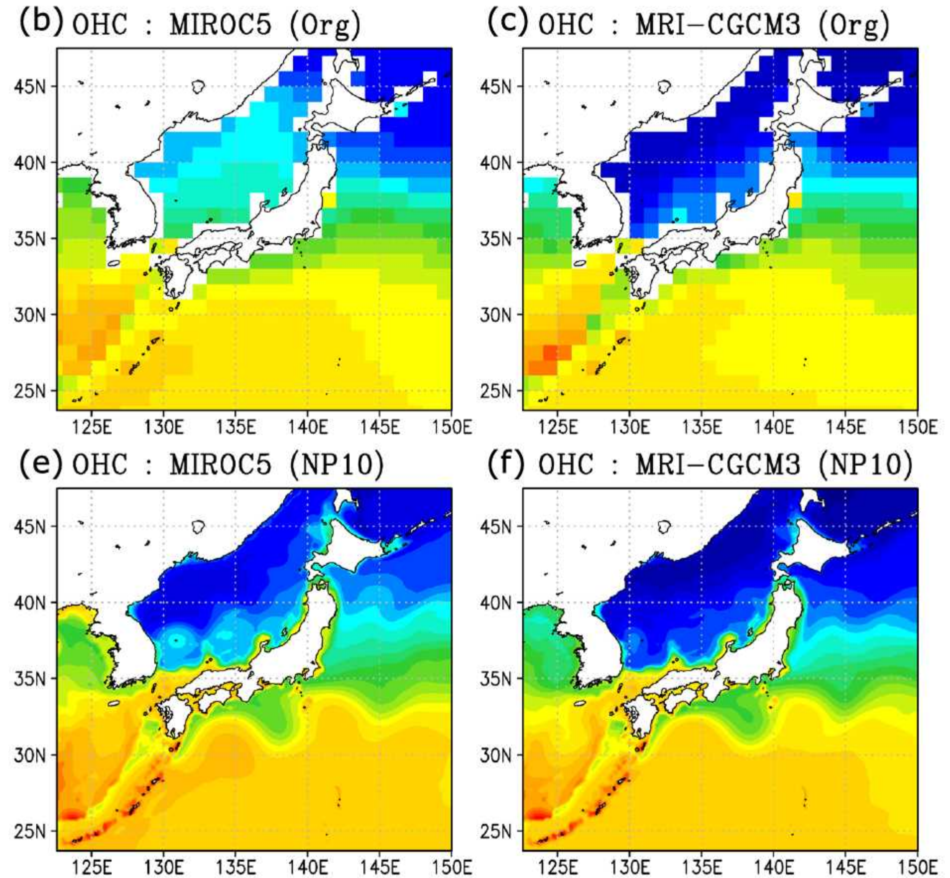
CMIP5モデル	水平解像度（海洋）
CCSM4	Nominal1°(1.125° in longitude, 0.27-0.64°variable in latitude)
GFDL-CM3	1°tripolar360×200L50
HadGEM2-AO	1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96
MIROC5	1.4°(zonally)×0.5-1.4°(meridionally)
MPI-ESM-MR	Approx.0.4°TP04
MRI-CGCM3	1×0.5

IPCC WG1AR5 Chapter09より

図　海洋表層水温（海面から水深700mの平均）の10年平均（1996-2005）

※CMIP5のオリジナルモデル

※CMIP5モデルを大気外力として与えた、10km海洋モデルのアウトプット



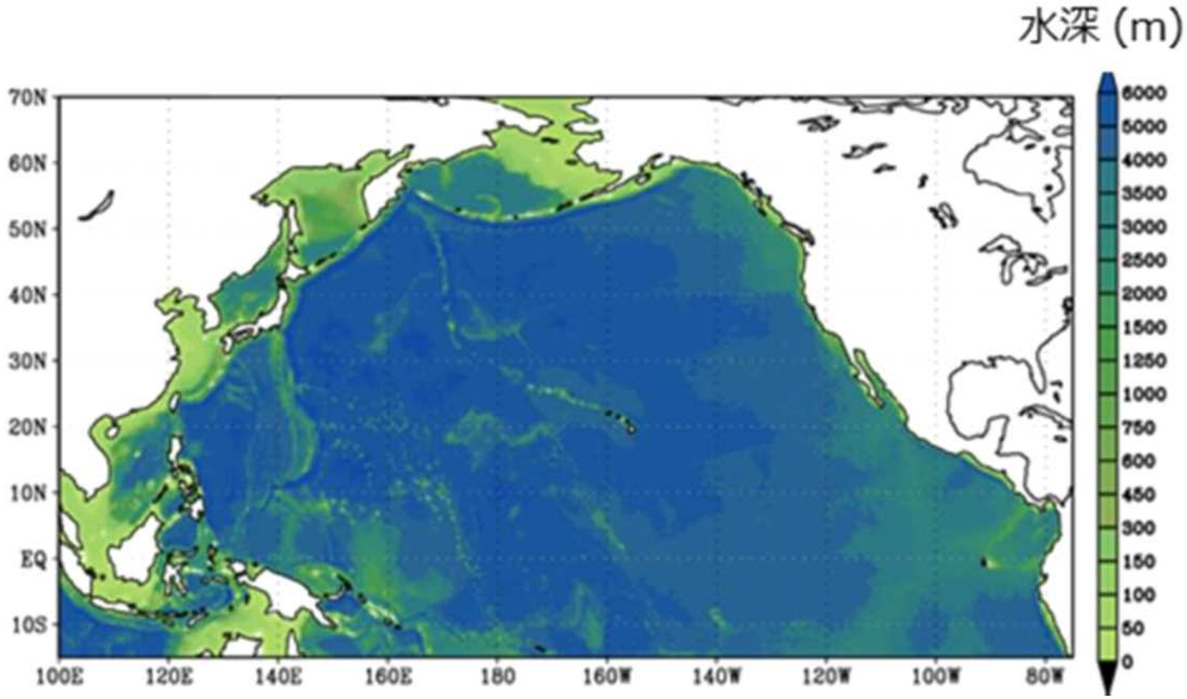
西川ら（2021）に※注釈を加えたもの

北太平洋海域10km将来予測データ　FORP-NP10 version2

〇FORP（Future Ocean Regional Projection data set）は、CMIP5の複数の気候モデル/シナリオによる大気データを外力として、高解像度の領域海洋モデルシミュレーションにより作成された将来予測データセットで、SI-CATのもと海洋研究開発機構により作成された。領域海洋モデルとして、気象庁気象研究所で開発されたMRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017) が用いられている。

〇FORP-NP10は、水平解像度約10kmの北太平洋海域モデルによる1981年から2100年までの連続計算を行うことにより作成された、北太平洋海域の海洋将来予測データセットである。Version2データ（FORP-NP10 version2）では、外力に使用するCMIP5のモデル/シナリオとして、4つのモデル（MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR）それぞれについてHistorical (1981～2005年), RCP8.5 (2006～2100年), RCP2.6(2006～2100年)シナリオを採用することで、合計860年のアンサンブル将来予測データセットがある。

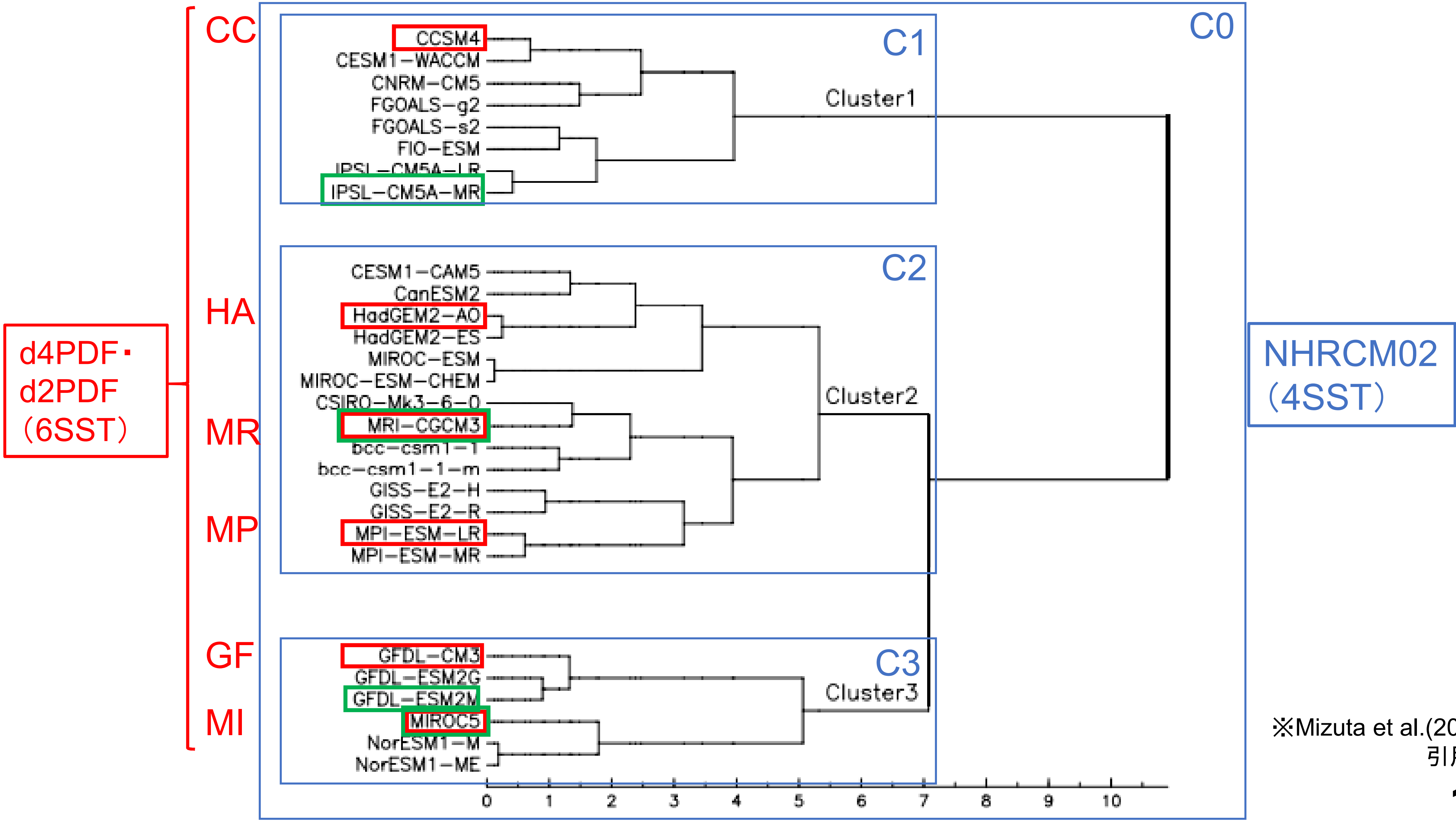
	FORP-NP10
領域	100°E - 75°W　,　15°S - 70°N（右図）
モデル	MRI.COM（Tsujino et al., 2017）
水平解像度	1/10°×1/10°（約10km）
鉛直解像度	1m(表層) - 600m(海底)
格子点数	水平1852×852、鉛直54層
地形データ	JTOPO2
その他	海氷あり。河川流入、潮汐、熱膨張、大気圧力効果は無し。



Nishikawa et al. 2021, Development of high-resolution future ocean regional projection datasets for coastal applications in Japan. Progress in Earth and Planetary Science, 8:7, https://doi.org/10.1186/s40645-020-00399-z

FORP-NP10の大気外力について

〇FORP-NP10で大気外力として用いられた、CMIP5の4モデル（MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR）は、海面水温図から判断した黒潮パターンの代表性や、大気外力として必要なパラメータの利用可能性の観点から選ばれている。
〇これらは、NHRCM02のSSTと比較しても、C1、C2、C3のクラスターに偏りなく含まれることが確認できる。



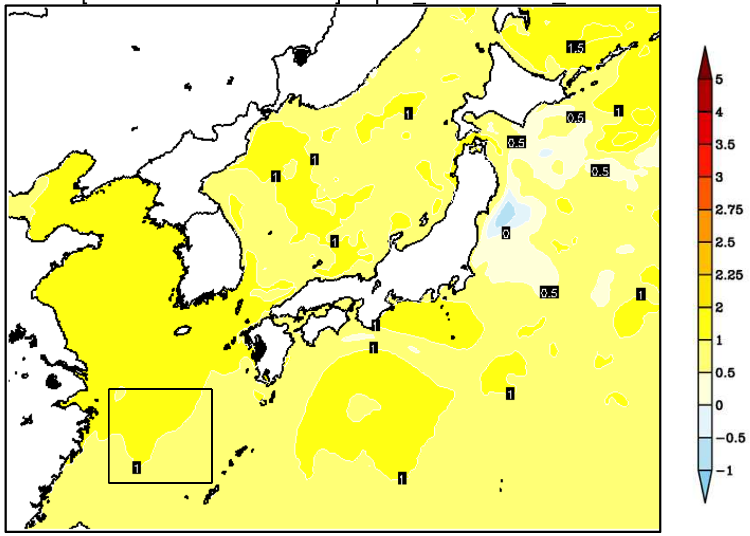
※Mizuta et al.(2014)より
引用・加筆

RCP2.6実験における夏季の海面水温の変化（FORP-NP10）

○FORP−NP10：過去実験（1986年～2005年の平均）とRCP2.6実験（2081年～2100年の平均）の
夏季（6～8月平均）海面水温の差
○4つの大気外力モデルともに、北海道周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

GFDL-ESM2M

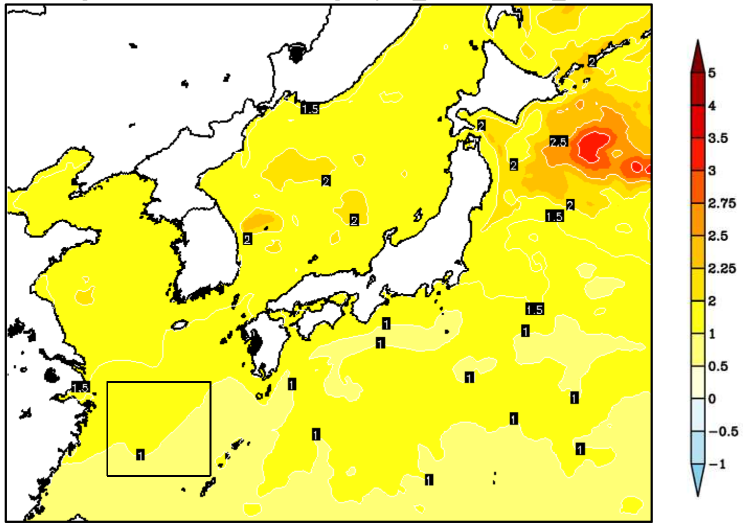
Sea Surface Temperature [Summer] rcp26_GF
[2081-2100 – 1986-2005] rcp26_ver2.3 – hist_ver2



※2 （※1の領域における温度上昇）
約0.5～1.5℃上昇

IPSL-CM5A-MR

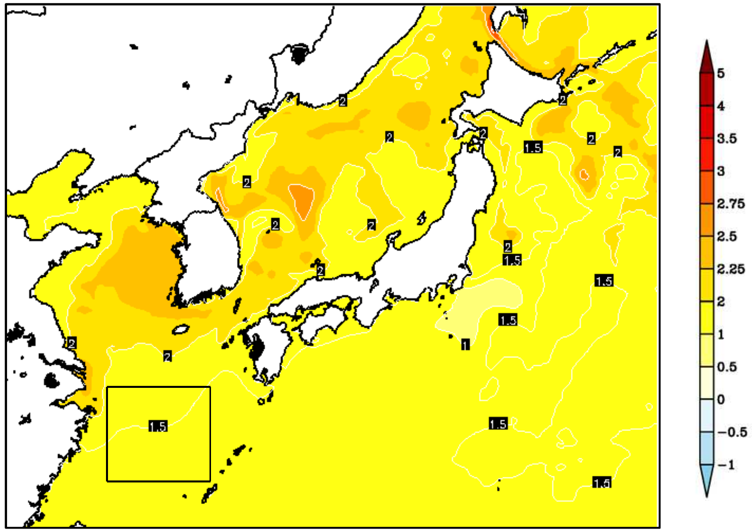
Sea Surface Temperature [Summer] rcp26_IP
[2081-2100 – 1986-2005] rcp26_ver2.3 – hist_ver2



※2
約0.5～1.5℃上昇

MIROC5

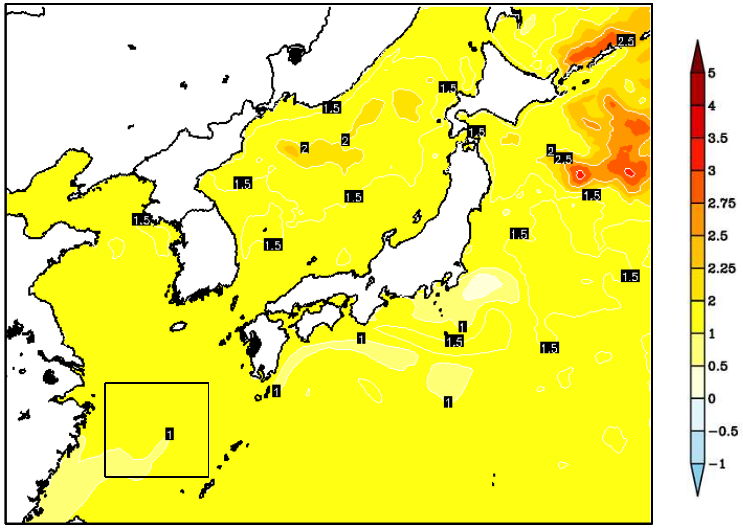
Sea Surface Temperature [Summer] rcp26_MI
[2081-2100 – 1986-2005] rcp26_ver2.3 – hist_ver2



※2
約1.0～2.0℃上昇

MRI-CGCM3

Sea Surface Temperature [Summer] rcp26_MR
[2081-2100 – 1986-2005] rcp26_ver2.3 – hist_ver2



※2
約0.5～1.5℃上昇

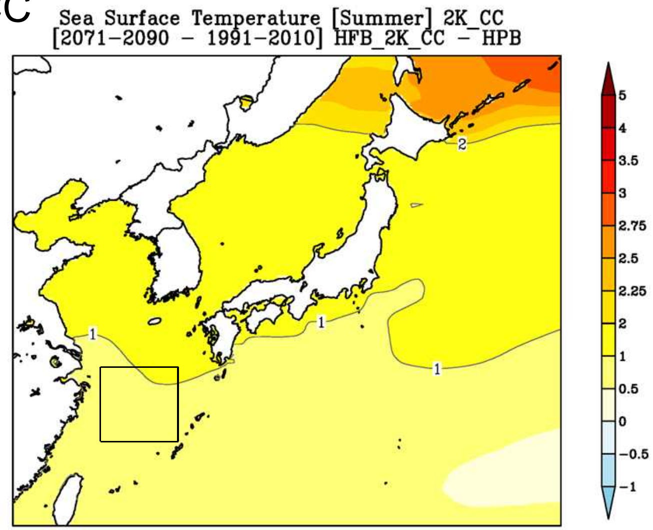
※1 図中の四角は、東シナ海南西部（27°N-31°N,123°E-128°E）を示す。（万田ら（2014）の実験条件を引用。本領域の6～7月にかけての季節的な海面水温上昇が九州の集中豪雨発生に寄与すると指摘されている。） 万田ら（東京大学・長崎大学）, 2014,記者発表「東シナ海の水温上昇が 梅雨期に九州で起こる集中豪雨の発生に影響—2012年「九州北部豪雨」の事例と今後の水温上昇に伴う将来の見通し—」

【参考】2℃上昇実験における海面水温の変化（d2PDF）

〇d2PDF(20km)：過去実験（1991年～2010年の平均）と2℃上昇実験（2071年～2090年：定常）の
夏季（６～８月平均）海面水温の差
〇SSTの６モデルともに、北海道周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

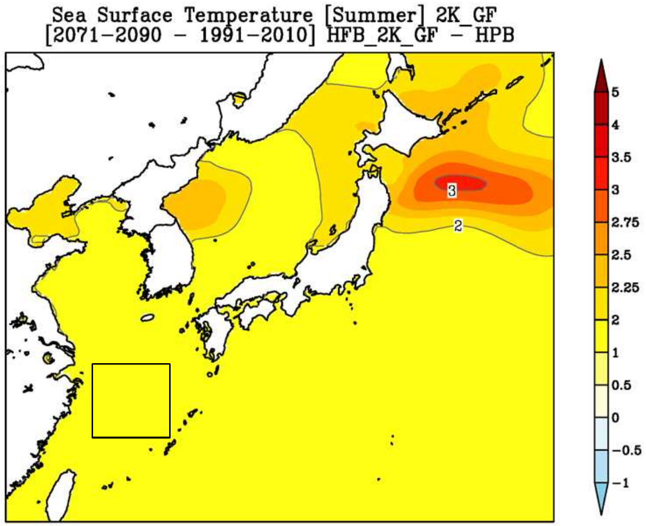
CC

※2
約0.5
～
2.0℃
上昇



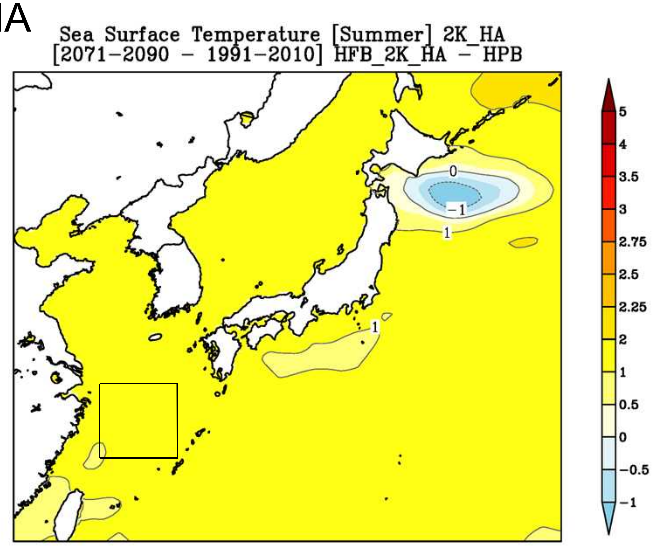
GF

※2
約1.0
～
2.0℃
上昇



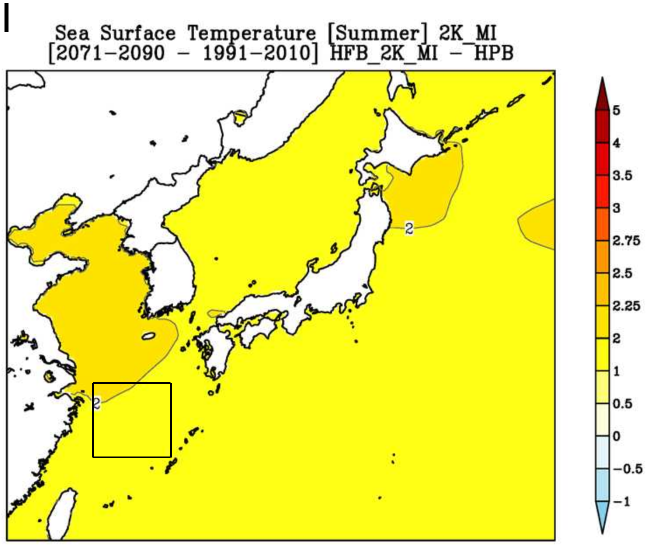
HA

※2
約0.5
～
2.0℃
上昇



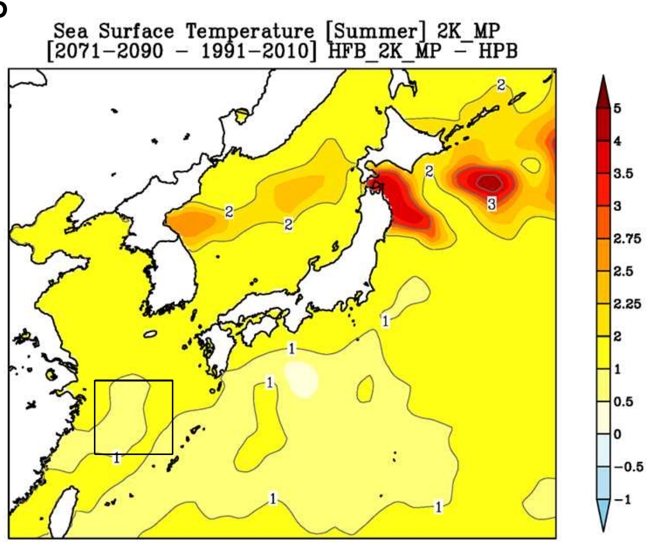
MI

※2
約1.0
～
2.25℃
上昇



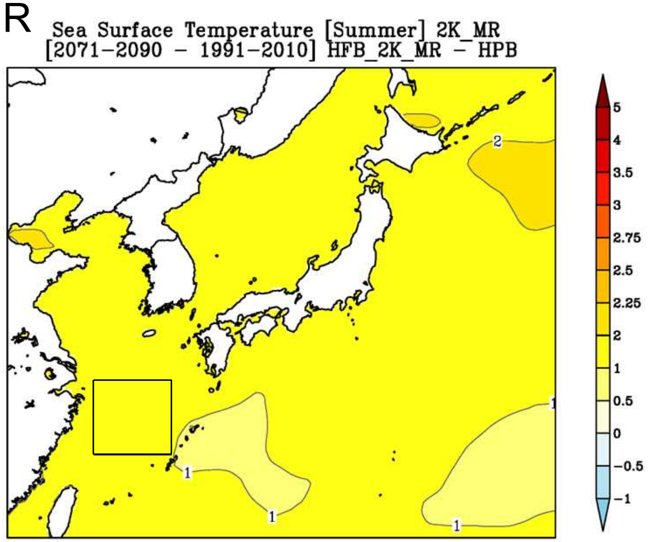
MP

※2
約0.5
～
2.0℃
上昇



MR

※2
約1.0
～
2.0℃
上昇



※1　図中の四角は、東シナ海南西部（27°N-31°N,123°E-128°E）を示す。（万田ら（2014）の実験条件を引用）

※2　※1領域における温度上昇

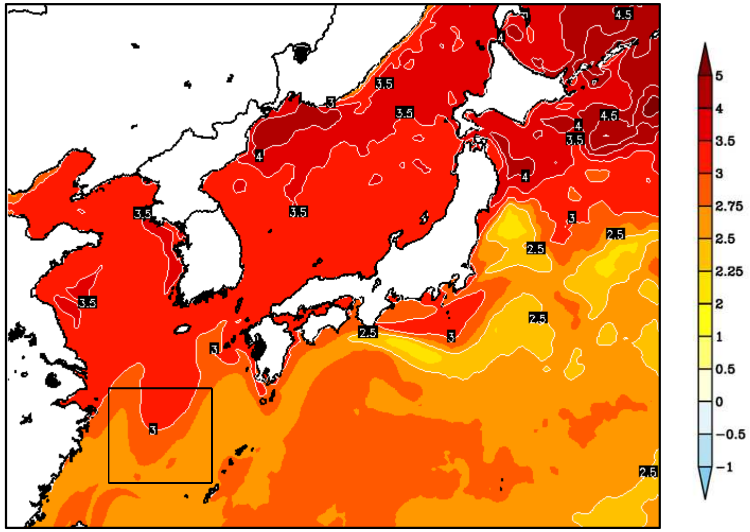
気象庁気象研究所提供資料をもとに作成

RCP8.5実験における夏季の海面水温の変化（FORP-NP10）

○FORP−NP10：過去実験（1986年～2005年の平均）とRCP8.5実験（2081年～2100年の平均）の
　　　　　　　夏季（6～8月平均）海面水温の差
○4つの大気外力モデルともに、北海道周辺と九州北西部周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

GFDL-ESM2M

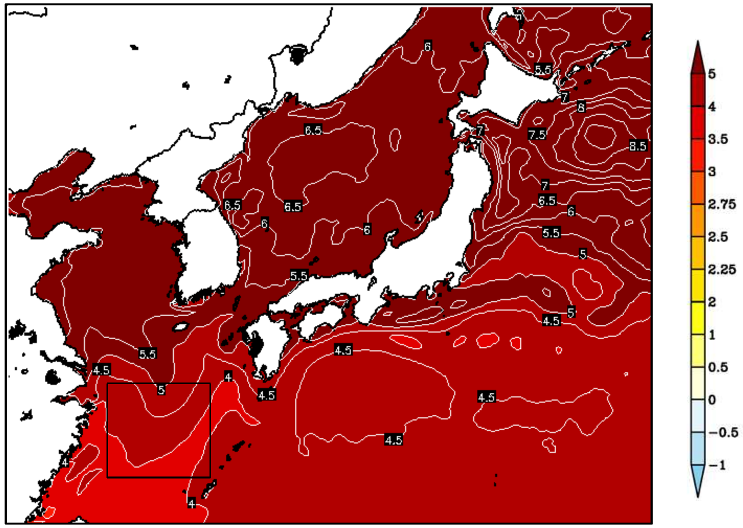
Sea Surface Temperature [Summer] rcp85_GF
[2081-2100 – 1986-2005] rcp85_ver2.3 – hist_ver2



※2
約2.5～3.5℃上昇

IPSL-CM5A-MR

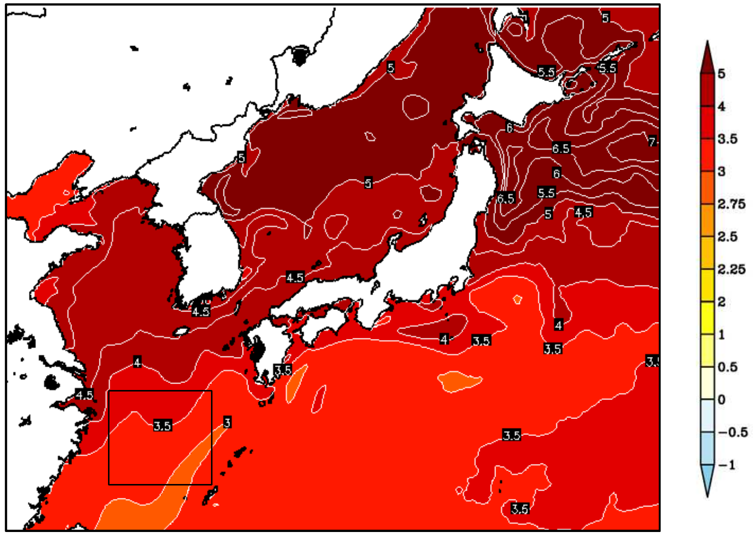
Sea Surface Temperature [Summer] rcp85_IP
[2081-2100 – 1986-2005] rcp85_ver2.3 – hist_ver2



※2
約3.5～5.0℃上昇

MIROC5

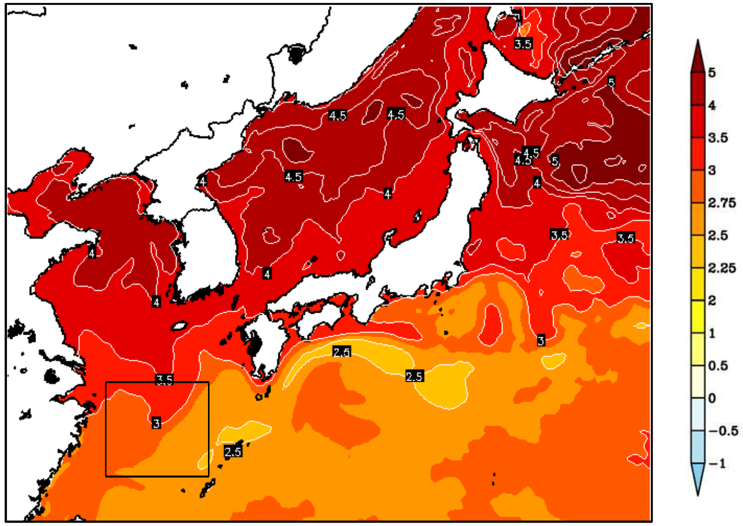
Sea Surface Temperature [Summer] rcp85_MI
[2081-2100 – 1986-2005] rcp85_ver2.3 – hist_ver2



※2
約2.75～4.0℃上昇

MRI-CGCM3

Sea Surface Temperature [Summer] rcp85_MR
[2081-2100 – 1986-2005] rcp85_ver2.3 – hist_ver2



※2
約2.25～3.5℃上昇

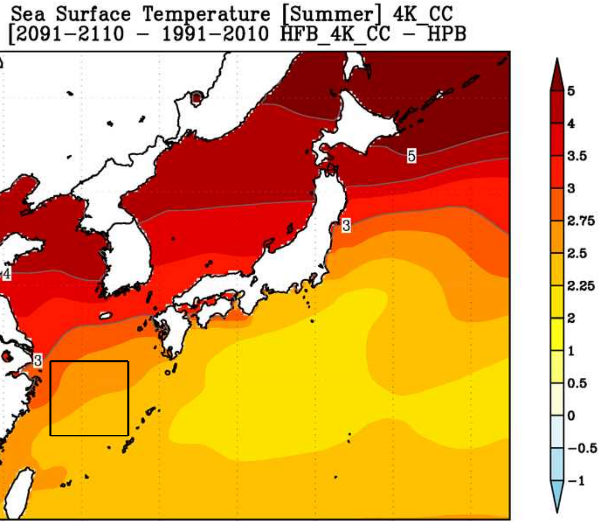
※1　図中の四角は、東シナ海南西部（27°N-31°N,123°E-128°E）を示す。（万田ら（2014）の実験条件を引用）

※2　※1領域における温度上昇

【参考】4℃上昇実験における夏季の海面水温の変化（d4PDF）

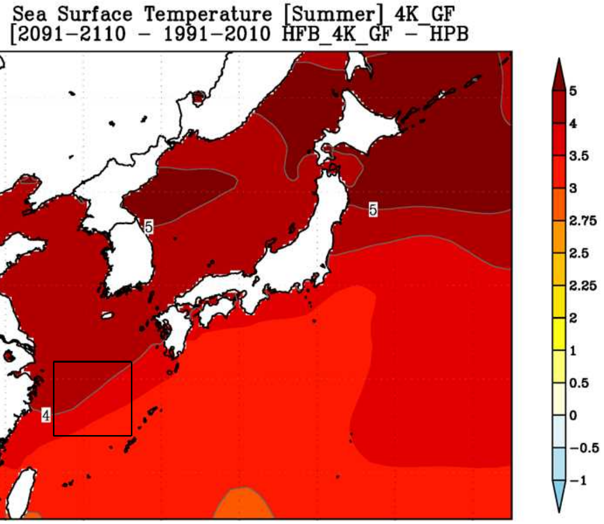
〇d4PDF(20km)：過去実験（1991年～2010年の平均）と4℃上昇実験（2091年～2110年：定常）の
　　夏季（6～8月平均）海面水温の差
〇SSTの6モデルともに、北海道周辺と九州北西部周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

CC



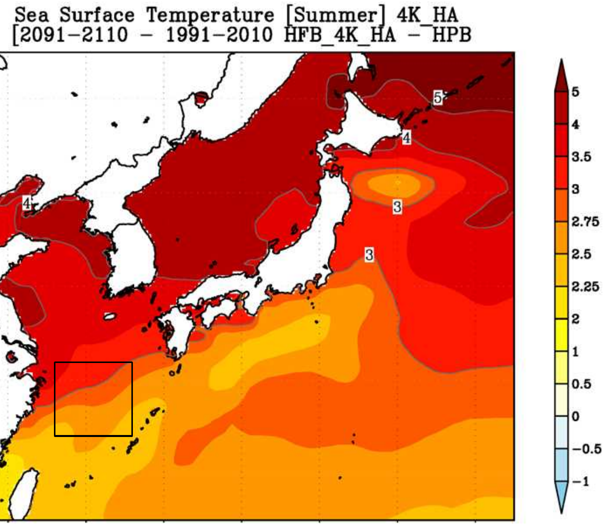
※2
約2.25
～
3.0℃
上昇

GF



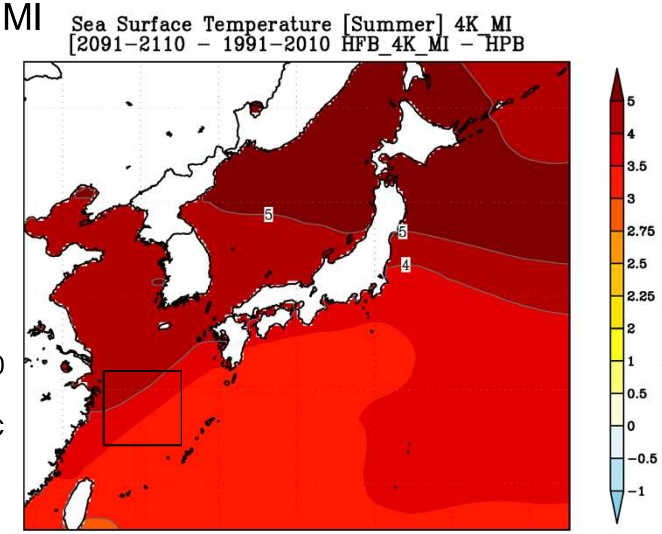
※2
約3.0
～
5.0℃
上昇

HA



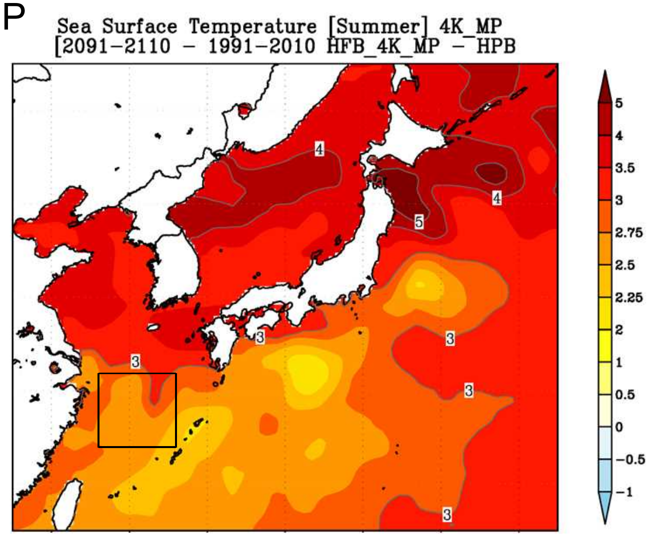
※2
約2.25
～
4.0℃
上昇

MI



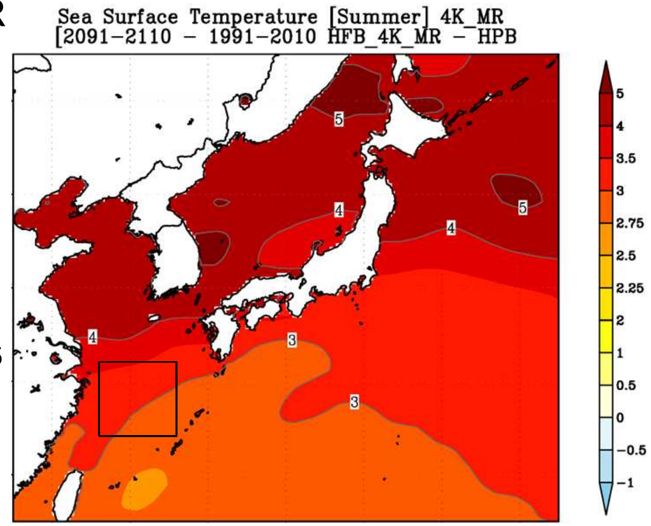
※2
約3.0
～
5.0℃
上昇

MP



※2
約2.25
～
3.5℃
上昇

MR



※2
約2.75
～
4.0℃
上昇

※1　図中の四角は、東シナ海南西部（27°N-31°N,123°E-128°E）を示す。（万田ら（2014）の実験条件を引用）

※2　※1領域における温度上昇

気象庁気象研究所提供資料をもとに作成

結論

〇将来の東シナ海の海面水温上昇は、d2PDF・d4PDFで使用されている空間解像度100～200km程度のCMIP5モデルに基づく海面水温上昇は、2℃上昇実験では0.5 ℃ ～2.25℃上昇程度、4℃上昇実験では2.25 ℃ ～5.0 ℃上昇程度である。

〇同領域について、空間解像度10kmの海洋モデルを用いても、RCP2.6実験では0.5 ℃ ～2.0℃上昇程度、RCP8.5実験では2.25 ℃ ～5.0 ℃上昇程度であり、大きな違いは見られなかった。

〇この結果は、d2PDF・d4PDFの東シナ海における海面水温設定の妥当性を支持すると考えられる。

各モデルによる東シナ海の海面水温上昇量

d4PDF/d2PDF	2℃上昇	4℃上昇
CCSM4	0.5～2.0℃	2.25～3.0℃
GFDL-CM3	1.0～2.0℃	3.0～5.0℃
HadGEM2-AO	0.5～2.0℃	2.25～4.0℃
MIROC5	1.0～2.25℃	3.0～5.0℃
MPI-ESM-MR	0.5～2.0℃	2.25～3.5℃
MRI-CGCM3	1.0～2.0℃	2.75～4.0℃
最小～最大	0.5～2.25℃	2.25～5.0℃

FORP-NP10	RCP2.6	RCP8.5
GFDL-ESM2M	0.5～1.5℃	2.5～3.5℃
IPSL-CM5A-MR	0.5～1.5℃	3.5～5.0℃
MIROC5	1.0～2.0℃	2.75～4.0℃
MRI-CGCM3	0.5～1.5℃	2.25～3.5℃
最小～最大	0.5～2.0℃	2.25～5.0℃

Ⅵ. その他

（1） ロードマップ

（2） 九州北西部における擾乱タイプについて

（3） 東シナ海における将来の海面水温について

（4） 諸外国における気候変動の対応

諸外国で進む気候変動適応策

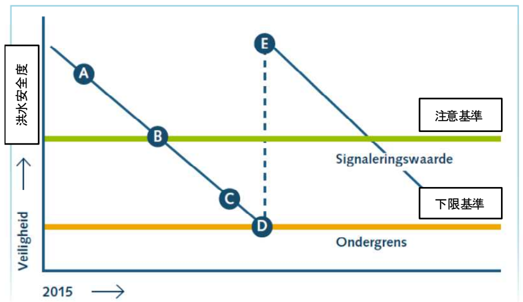
オランダ

○2017年より「費用便益分析」と「人命リスク(個人リスク及び社会的なリスク)」を考慮し、「個人リスク」が2050年までに年当たり1/100,000以下となるよう、洪水発生確率に基づく洪水防御基準を堤防セグメント毎に設定。

○河川流量についてはRCP8.5相当のシナリオを包含した独自のシナリオを用いて将来の外力増加分を考慮し評価。

○堤防等施設の改築の困難さ・供用年数に応じた気候シナリオを選択。
(原則として2050年時点2度上昇シナリオだが、改築が容易なら同1度上昇シナリオでも可)

○12年ごとに安全度を評価し法定水準を下回るまでに堤防かさ上げ等を実施。



洪水安全度の経年変化と順応的適応方法の概念図

A. 気候変動や老朽化、地盤沈下による洪水安全度の低下
B. 注意基準到達により堤防かさ上げ等の対策検討
C. 堤防かさ上げ等開始　D. 下限基準　E. 堤防かさ上げ等直後の洪水安全度

ドイツ

○バーデン=ビュルテンベルク州において、将来の流量の増加率としてA1Bシナリオを用いて算出した地域毎の気候変動係数を乗じた流量をもとに、堤防の整備が行われている。

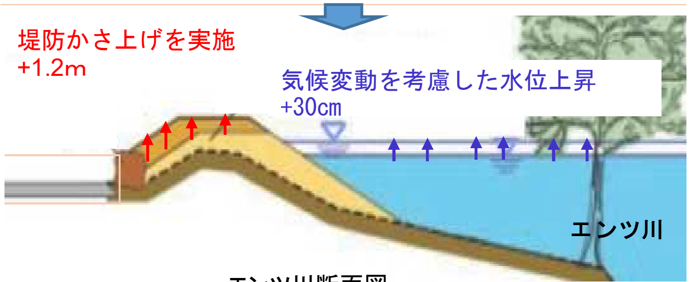
○また、バイエルン州において、気候変動の影響として、一律15%割り増しした流量をもとに、堤防の整備が計画されている。

<バーデン=ビュルテンベルク州の取組>

バーデン=ビュルテンベルク州における気候変動係数

T [確率年]	気候変動係数$F_{T,K}$				
	1	2	3	4	5
2	1.25	1.50	1.75	1.50	1.75
5	1.24	1.45	1.65	1.45	1.67
10	1.23	1.40	1.55	1.43	1.60
20	1.21	1.33	1.42	1.40	1.50
50	1.18	1.23	1.25	1.31	1.35
100	1.15	1.15	1.15	1.25	1.25
200	1.12	1.08	1.07	1.18	1.15
500	1.06	1.03	1.00	1.08	1.05
1000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

注：1000年より大きな再現確率では係数は常に1.00



エンツ川断面図

イギリス

○気候変動法において、政府による気候変動リスクの公表、気候変動リスク評価の実施等が義務付けられており、環境庁は、将来の流量の増加率としてA1Bシナリオ等を用いて気候変動係数を算出するなど地方政府を支援している。

○将来の流量の増加率については、流域毎に 近未来、中期、長期の予測を算出。

洪水流量に対する河川流域毎の気候変動係数

	2020年代の変化率			2050年代の変化率			2080年代の変化率		
	中間	中間上位	上限	中間	中間上位	上限	中間	中間上位	上限
Northumbria	10%	15%	20%	15%	20%	30%	20%	25%	50%
Humber	10%	15%	20%	15%	20%	30%	20%	30%	50%
Anglian	10%	15%	25%	15%	20%	35%	25%	35%	65%
Thames	10%	15%	25%	15%	25%	35%	25%	35%	70%
SE England	10%	15%	25%	20%	30%	50%	35%	45%	105%
SW England	10%	15%	25%	20%	30%	40%	30%	40%	85%
Severn	10%	15%	20%	20%	25%	40%	25%	35%	70%
Dee	10%	15%	20%	15%	20%	30%	20%	25%	45%
NW England	15%	20%	20%	20%	25%	35%	30%	35%	70%
Solway	10%	15%	20%	20%	25%	30%	25%	30%	60%
Tweed	10%	15%	20%	15%	20%	25%	20%	25%	45%

オランダにおける洪水発生確率に基づく洪水防御基準の考え方

○2017年1月1日以降新たな基準が導入された（法定計画流量は廃止）。※1
○新たな基準においては、「費用便益分析」と「人命リスク（個人リスク及び社会的なリスク）」を考慮し、「個人リスク」が2050年までに年当たり1/100,000以下となるよう、洪水発生確率に基づく洪水防御基準を堤防セグメント毎に設定している。※2
○洪水防御施設の設計においては、原則として高位シナリオ（W+）を使うこととしているが、順応的に改築可能な施設については中位シナリオ（GまたはG+）を採用することも可能としている。※3

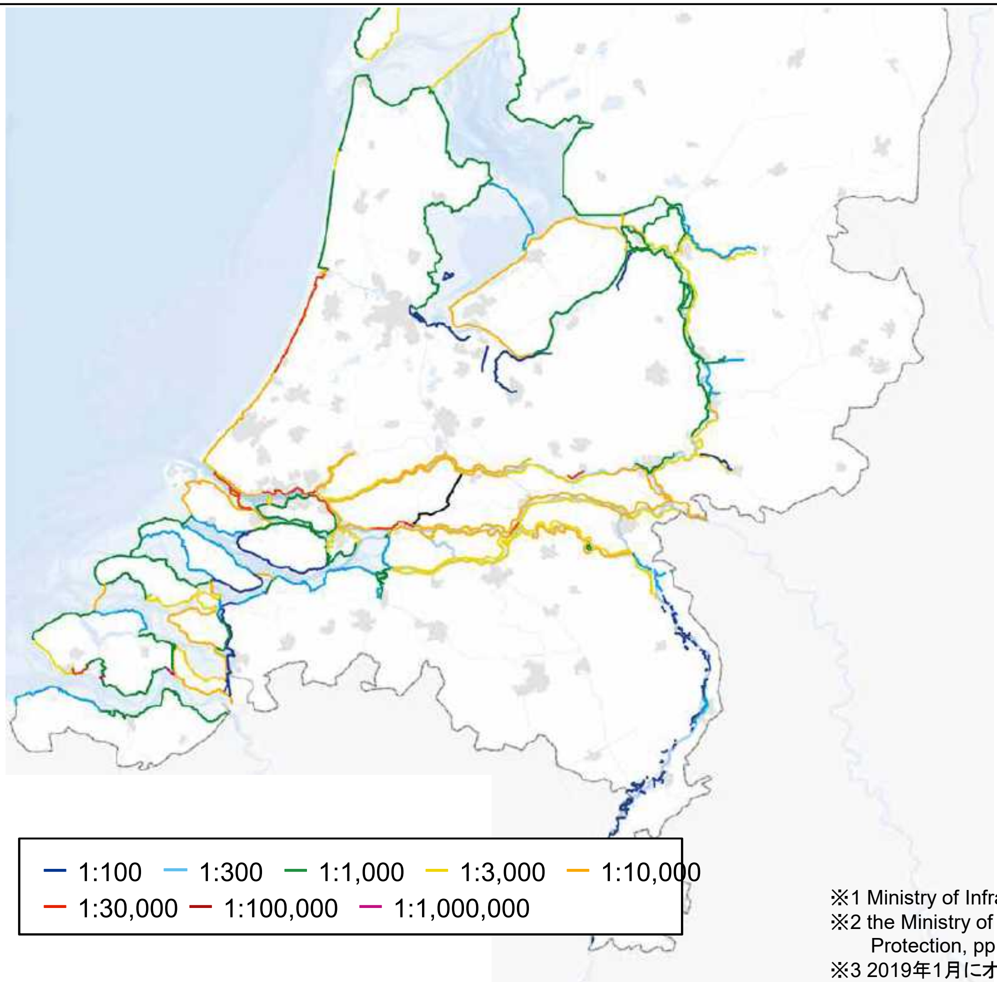


図1　堤防セグメント毎の洪水防御基準

表1　施設種類ごとの設計対象年数及び採用すべき気候変動シナリオ※4

	設計対象年数	気候変動シナリオ
堤防	50年	2050年1度上昇（2100年2度上昇相当）
堤防以外の河川構造物	100－200年	2050年2度上昇（2100年4度上昇相当）

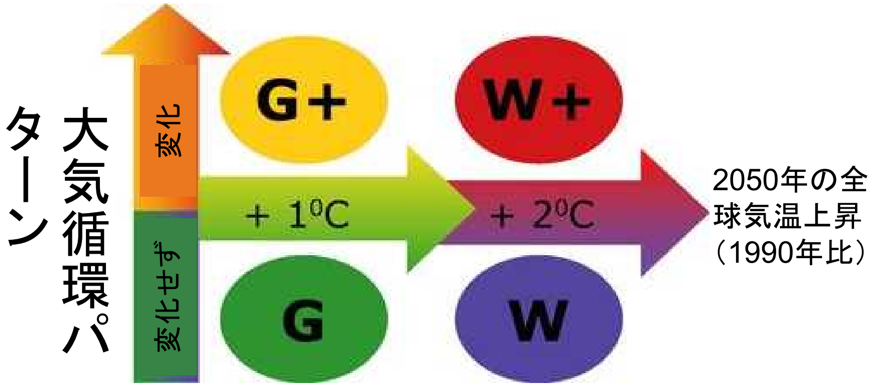


図2　KNMI'06の4シナリオ※5

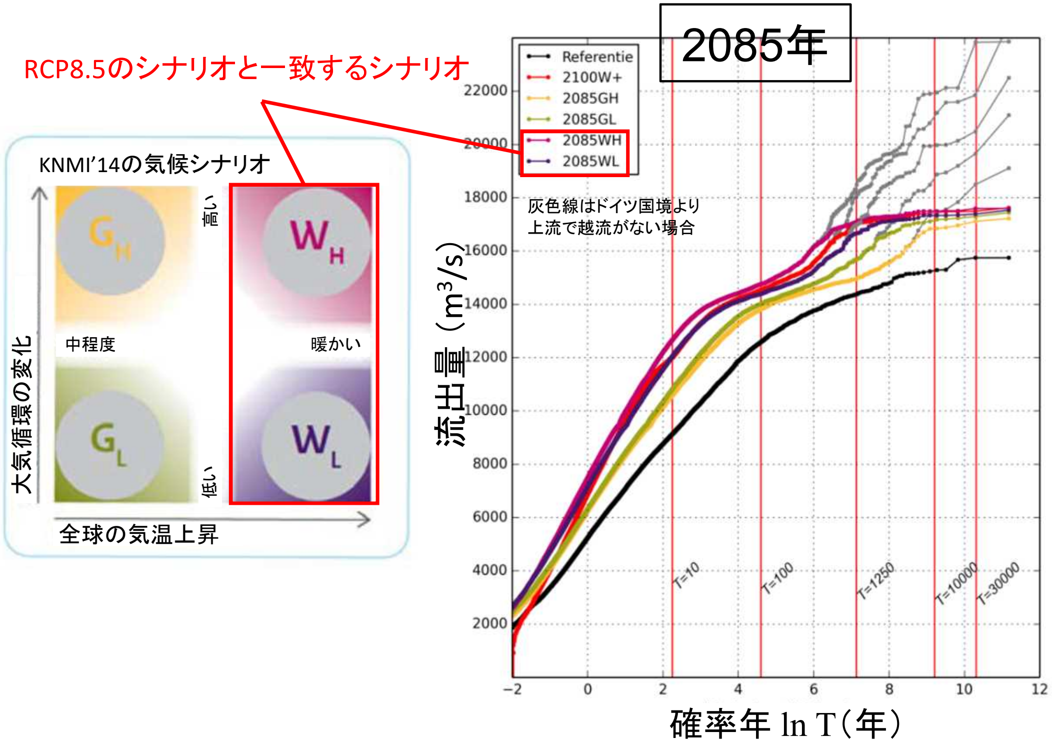
※1 Ministry of Infrastructure and the Environment(2017): Delta Programme 2018, pp. 16
※2 the Ministry of Infrastructure and the Environment, the Expertise Network for Flood Protection (2017): Fundamentals of Flood Protection, pp. 47, 48, 51,65.
※3 2019年1月にオランダにてRijkswaterstaatから聞き取り同2月にメールにて再度確認したもの。
※4 Riedstra, Durk (2018): The Delta Programme Flood Risk Assessment in the Netherlands, p.17, Nov. 29, 2018.
※5 Royal Netherlands Meteorological Institute (2019): http://www.klimaatscenarios.nl/knmi06/samenvatting/, viewed on Feb. 15, 2019.

オランダの気候変動による将来の外力の増加量の治水計画等での考慮の仕方

○デルタプログラムにおいて、ライン川では、RCP8.5相当のシナリオを包含した独自のシナリオを用いて将来の外力の増加分を考慮したピーク流量を18,000m3/sと評価している。

○現在及び将来のオランダを安全かつ魅力的な場所とし続けることを目的としたデルタプログラムにおいて、政府（インフラ環境省,経済省）は、将来、外力が増加した場合でも洪水による死亡率を年間10万分の1以下とすることを目標とし、洪水防御、土地利用、危機管理の3段階の対策による重層的洪水リスク管理を実施している。

ライン川の流量確率の将来予測※1



デルタプログラムにおける重層的洪水リスク管理の概要※2

対策名	各層の詳細	オランダで実施されている対策
第3層：危機管理	◎あらゆる洪水に対応する危機管理 情報提供（洪水警報、リスクマップなど）、避難施設の整備	・洪水警報 ・リスクマップ ・ハザードマップ ・携帯アプリ など
第2層：土地利用	◎洪水被害を抑制する土地利用 氾濫流の抑止 土地利用など	・土地利用計画※3 （Land use planning） ・建築基準法※3 （Building codes） ・耐水建築物※3 （Water proof building） など
第１層：洪水防御	◎予防策を実施する洪水防御 洪水防御基準を満たすために、定期点検（12年毎）、ハード対策の実施※4	・砂浜の形成（Sand Motor） ・防波堤や高潮堰、堤防の建設 ・河川空間拡張プロジェクト （Room for the River） など

出典： ※1 KNMI, Deltares, Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas?
https://cdn.knmi.nl/system/data_center_publications/files/000/069/858/original/samenvatting_grade_knmi14_definitief2.pdf?1495622007
※2 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2015：Working on the delta, 2014.9,
https://english.deltacommissaris.nl/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015
※3 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2014：Work on the delta,
2013.9, https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2013/09/17/delta-programme-2014
※4 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2018：Continuing the work on a sustainable and safe delta 2017.6
https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2017/09/19/dp2018-en-printversie

第2回気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会資料

オランダにおける洪水防御基準の考え方

〇オランダの水法では洪水防御基準として「警報基準」と「下限基準」を規定。
〇定期的（12年に1度）な法定安全度評価において「警報基準」を上回る洪水氾濫の可能性が認められた場合にはインフラ・環境大臣に報告される。また、同基準の超過は対策実施のための補助金支給の条件の1つである。
〇「下限基準」は許容可能な最大の洪水氾濫確率であり、同基準を確保することで少なくとも基準防御レベル（死亡率年10万分の1以下）を保証することとなる。

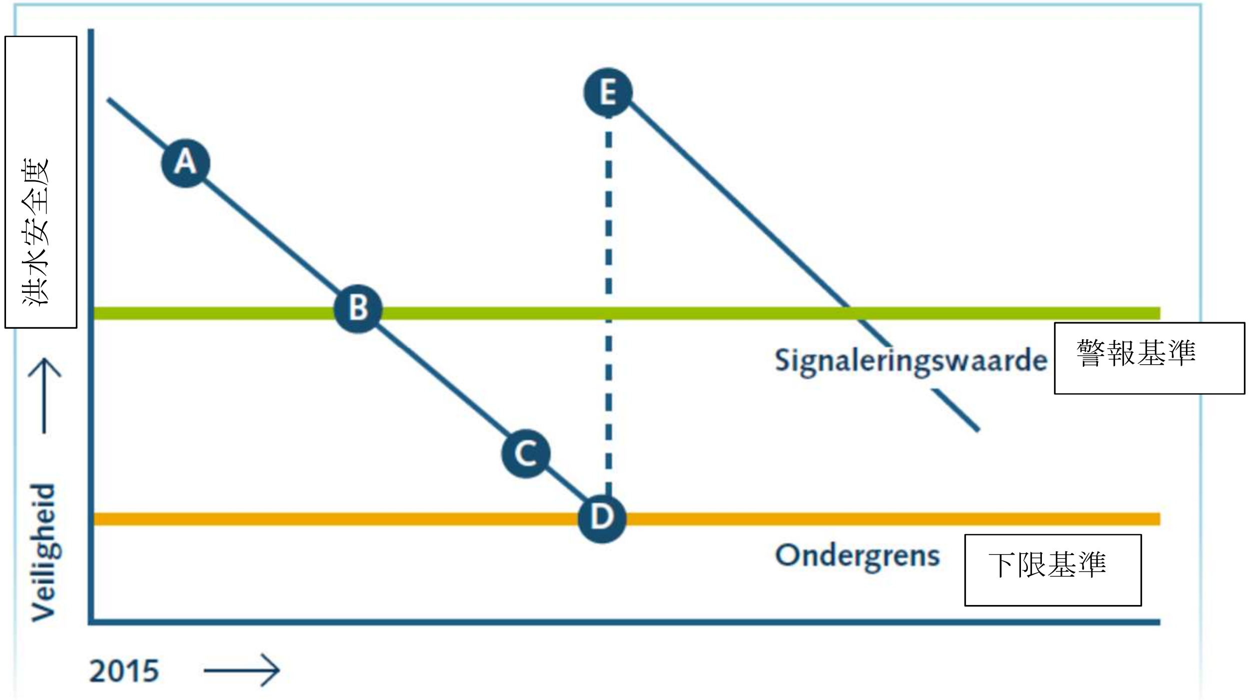


図　洪水安全度の経年変化と順応的適応方法の概念図

A. 気候変動や老朽化による堤防強度の低下による洪水安全度の低下　B. 警報基準到達後直ちに対策を実施するための準備
C. 堤防補強開始　D. 下限基準　E. 堤防補強直後の洪水安全度

出典：※Rijkswaterstaat et. al, Water veiligheid Begrippen Begrijpen, pp. 49, 51, 52, 68, June 2017.（オランダ語）

イギリスの気候変動による将来の外力の増加量の治水計画等での考慮の仕方（流量変化予測）

○ A1Bシナリオ（中位シナリオ）等を用いて気温や総降水量等のアンサンブル変化に基づき、流量変化を予測。
○ 上記の結果に基づき、近未来、中期、長期の流量の変化倍率を流域毎に算出。

降水量予測の計算条件

気候変動シナリオ	A1B （RCP6.0：3℃上昇相当）
領域モデル解像度	125km～500km
対象期間	現在：1951年～2000年 将来：2071年～2100年
計算パターン	4,200パターン （月平均降雨525シナリオ× 気温8シナリオ）

洪水流量に対する河川流域毎の気候変動係数

	2020年代の変化率			2050年代の変化率			2080年代の変化率		
	中間	中間上位	上限	中間	中間上位	上限	中間	中間上位	上限
Northumbria	10%	15%	20%	15%	20%	30%	20%	25%	50%
Humber	10%	15%	20%	15%	20%	30%	20%	30%	50%
Anglian	10%	15%	25%	15%	20%	35%	25%	35%	65%
Thames	10%	15%	25%	15%	25%	35%	25%	35%	70%
SE England	10%	15%	25%	20%	30%	50%	35%	45%	105%
SW England	10%	15%	25%	20%	30%	40%	30%	40%	85%
Severn	10%	15%	20%	20%	25%	40%	25%	35%	70%
Dee	10%	15%	20%	15%	20%	30%	20%	25%	45%
NW England	15%	20%	20%	20%	25%	35%	30%	35%	70%
Solway	10%	15%	20%	20%	25%	30%	25%	30%	60%
Tweed	10%	15%	20%	15%	20%	25%	20%	25%	45%

※UKCP09（2009年）のモデルを活用し、1961～1990年を基準とした50年確率の流量の変化量を気候変動係数として示している。
※気候変動係数は、2020年代、2050年代、2080年代における予測値をそれぞれ求め、確率統計処理をして、50%値（中間）、70%値（中間上位）、90%値（上限）を算出している。

出典：Adapting to Climate Change: Advice for flood and coastal erosion risk management authorities , Environment Agency, 2016
Guidance on Flood risk assessments: climate change allowance, Environment Agency, 2017

イギリスの新しい気候予測UKCP18

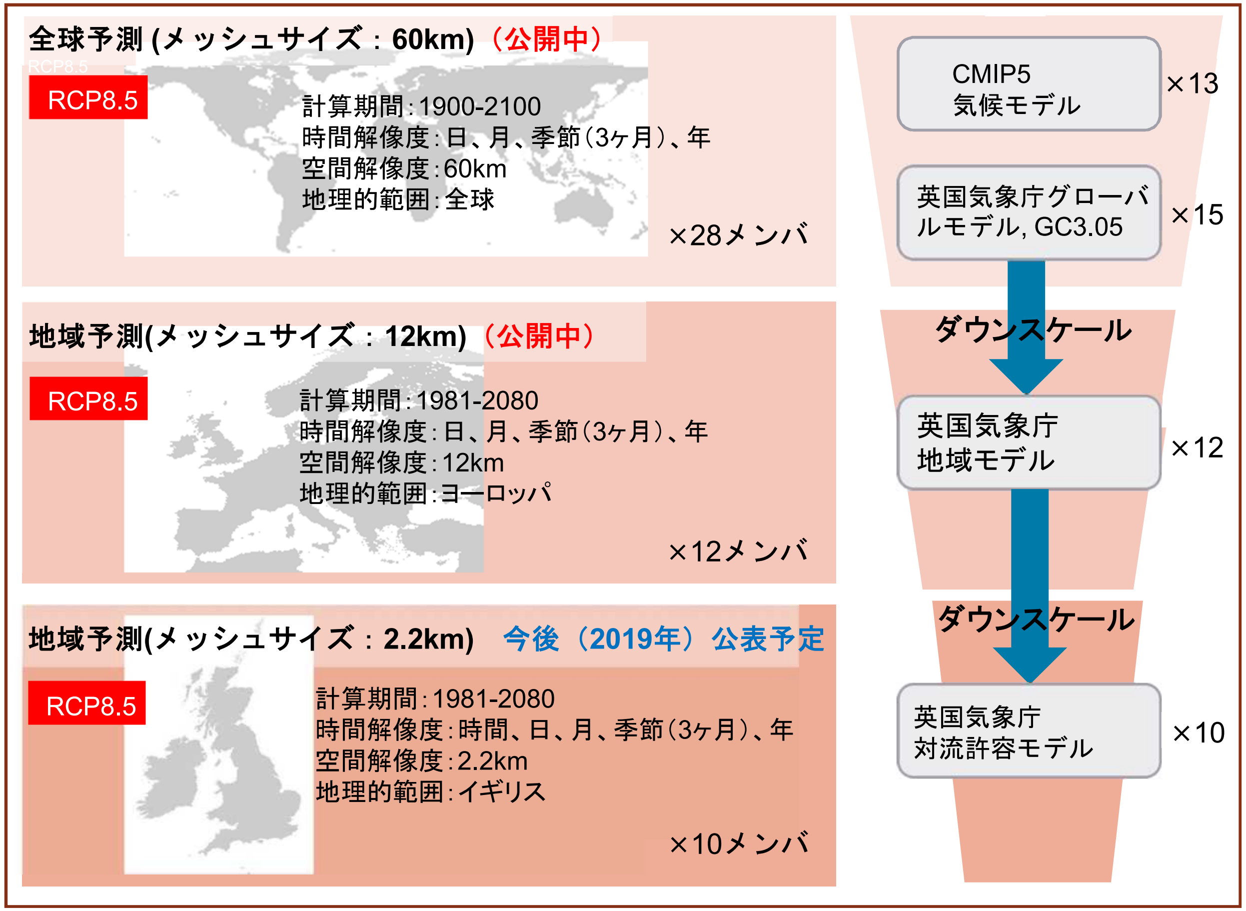
〇イギリス気象庁が中心となり、IPCCAR5のRCPシナリオをベースにした新しい気候予測「UKCP18」を2018年11月に発表。
〇IPCC AR5の結果を基にした全球モデルは60kmメッシュ、地域モデルは12kmメッシュで計算しており、今後2.2kmメッシュの地域モデルの結果を公表予定である。（EAの気候変動係数はこれらの結果を踏まえて今後検討。）

イギリス国内における気候リスク評価・適応策検討を支援することを目的に、イギリス気象庁が主導して英国の気候変動予測を実施。

Webサイトでの情報提供例（データセット詳細ページ）

全球予測、地域予測は高性能計算機の制約のため、ICPC AR5のシナリオのうち、RCP8.5のみ予測している。

UKCP18の全球予測、地域予測



（今後の予定）
〇RCP8.5以外の気候シナリオについて、今後、計算予定。
〇環境庁は、現在UKCP09を基に設定している河川流域毎の気候変動係数をUKCP18の将来予測結果を用いるか今後検討予定。

出典：UKCP18 guidance: How to use the UKCP18 land projections

イギリスの気候変動による将来の外力の増加量の治水計画等での考慮の仕方(施設整備)

○「気候変動適応:洪水・海岸侵食リスク管理部局への助言」では、環境庁、地方政府及び、治水組合が洪水及び沿岸侵食リスク管理事業として政府の予算申請を行う場合には、気候変動係数を用いて感度分析を行い、実行可能な推奨策を示すことを求めている。

○例えば、Roding川(ロディング川)においては、気候変動係数を用いた感度分析として、気候変動による流量倍率を適用した費用便益分析を実施している。

【気候変動による流量倍率を適用した費用便益分析の事例】

[手順]

- Roding川では、Flood Cell毎に複数の対策案(「何もしない」、「必要最低限」、「現状維持」、「施設による対策」)を比較し、河川での対策の推奨案を抽出。
- 河川での対策の推奨策について費用便益比を算出。(右上表①)
- その推奨策に、河川上流に異なる規模の貯水池を整備した場合の費用便益比を算出。(右上表②、③)
- 感度分析として、気候変動による流量倍率を適用した場合の費用便益比を比較。(右下表)

[算出方法]

- 貯水池整備によるWith/ Withoutの費用の差分と、気候変動係数を用いたWith/ Withoutの便益の差分を用いて、費用便益比を算出。

1. 河川での対策を実施した場合の費用(C1)と便益(B1)を算出。
2. 河川での対策+貯水池整備による費用(C2)と便益(B2)を算出。
3. 河川での対策+貯水池整備による費用の差分(C2-C1)と便益の差分(B2-B1)
より費用便益比を算出。

(B2-B1)/(C2-C1)=iBCR(増加費用便益比:incremental benefit cost ratio)

「気候変動適応:洪水・海岸侵食リスク管理部局への助言」
による気候変動を考慮した感度分析の事例

対策	①河川での対策実施	② 河川での対策+貯水地(1/100規模対応)	③河川での対策+貯水地(1/200規模対応)
コスト(千£)	8,114	10,207 (①からの増加分:2,093)	11,543 (①からの増加分:3,430)
便益合計(千£)	103,586	109,168 (①からの増加分:5,582)	115,052 (①からの増加分:11,446)
費用便益比	12.7	10.7	10.0
増加費用便益比	—	2.7	3.3

気候変動による流量倍率を適用した場合の費用便益比の比較

	気候変動なし	気候変動による流量倍率適用時
1/100規模対応の貯水地	2.7	1.8
1/200規模対応の貯水池	3.3	4.0

出典: Adapting to Climate Change: Advice for flood and coastal erosion risk management authorities , Environment Agency, 2011
River Roding flood risk management statement of environmental particulars
The strategy appraisal report of the River Roding flood risk management strategy, Environmental Agency, 2012

イギリスの気候変動による将来の外力の増加量の治水計画等での考慮の仕方(土地利用)

○国家計画政策方針(コミュニティー地方自治省、2012)では、新たな開発行為を行おうとする者に対し、将来の外力の増加分を考慮した気候変動係数を適用し、適切な洪水耐性、強靭性、事業期間における洪水リスク評価等を実施するなど、利用者の安全性確保を求めている。
○新規開発を行う際には、環境庁が公開している洪水マップを用いて、洪水の発生頻度の低い地域(洪水区域)での開発になっているか逐次テストを行い、洪水頻度の高い地域で新規開発をしなければならない場合には例外テストを実施する必要がある。
○洪水リスクと沿岸変化(環境・食糧・農村地域省、2014)では、例外テストにおいて、環境庁が提供している将来予測等を用いて事業期間における気候変動による影響を考慮することを求めている。

洪水区域と施設配置に必要なテスト

洪水マップにおける洪水区域	年超過確率	基礎インフラ	高脆弱性施設	中脆弱性施設	低脆弱性施設	共存可能施設
		必須交通インフラ(大規模避難経路を含む)、発電所浄水場等	病院、居住施設(介護、擁護社会福祉、監獄)、ホテル等託児所等	病院、居住施設(介護、擁護社会福祉、監獄)、ホテル等託児所等	洪水時稼動不要施設、商店金融機関、農林業用地、採鉱施設等	洪水防御施設、排水ポンプ場、マリーナ、国防施設、水に係る余暇施設等
1	1/1000～	逐次テスト	逐次テスト	逐次テスト	逐次テスト	逐次テスト
2	1/100～	逐次テスト	例外テスト	逐次テスト	逐次テスト	逐次テスト
3a	～1/100	例外テスト	許可しない	例外テスト	逐次テスト	逐次テスト
3b	洪水時流下或いは貯留	例外テスト	許可しない	許可しない	許可しない	逐次テスト

○逐次テスト(The Sequential Test)
開発許可を得るためには、複数の開発予定地のうち最も水害リスクの低い土地を選定したことを証明しなければならない。
選定された開発予定地が洪水区域2または3である場合には、上記の表に基づき、必要に応じ例外テストを実施しなければならない。

○例外テスト:(The Exception Test)
- 開発する施設の脆弱性に応じ、選定された土地の洪水区域に合わせて例外テストを実施する。
- 開発が許可されるためには、以下の2つの要素を全て満足する必要がある。
  ① 洪水リスクを上回る便益をコミュニティにもたらすこと。
  ② 当該地域の安全性、他への洪水リスクが増加しないこと。

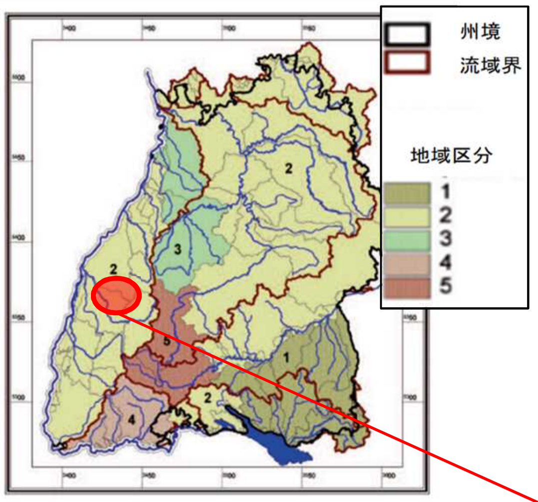
出典: National Planning Policy Framework: Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2012 ;
Guidance on Flood risk assessments: climate change allowance: Environment Agency, 2017
Guidance on Flood risk and coastal change: Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2014 ;

ドイツの気候変動による将来の外力の増加量の治水計画等での考慮の仕方

〇バーデン＝ビュルテンベルク州では、A1Bシナリオ（中位シナリオ）を用いて、将来の外力の増加分を考慮した気候変動係数を、5つの地域毎に設定している。
〇計画高水流量に気候変動係数をかけることにより、水位上昇を予測し、堤防をかさ上げしている。

バーデン＝ビュルテンベルク州の取組

バーデン＝ビュルテンベルク州の地域分割図

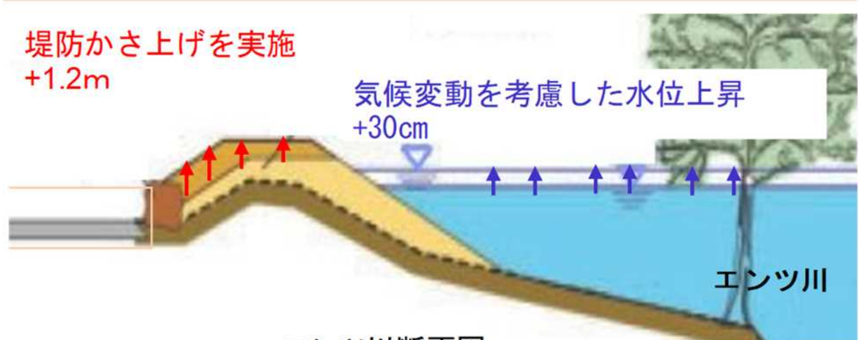


バーデン＝ビュルテンベルク州の気候変動係数$F_{T,K}$

T [確率年]	気候変動係数$F_{T,K}$				
	1	2	3	4	5
2	1.25	1.50	1.75	1.50	1.75
5	1.24	1.45	1.65	1.45	1.67
10	1.23	1.40	1.55	1.43	1.60
20	1.21	1.33	1.42	1.40	1.50
50	1.18	1.23	1.25	1.31	1.35
100	1.15	1.15	1.15	1.25	1.25
200	1.12	1.08	1.07	1.18	1.15
500	1.06	1.03	1.00	1.08	1.05
1000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
注：1000年より大きな再現確率では係数は常に1.00					

※1000年より大きな再現確率では係数は常に1.00

計画高水流量に気候変動係数1.15をかけることにより、水位上昇を予測し、堤防をかさ上げしている



エンツ川断面図

エンツ川では100年確率規模で整備

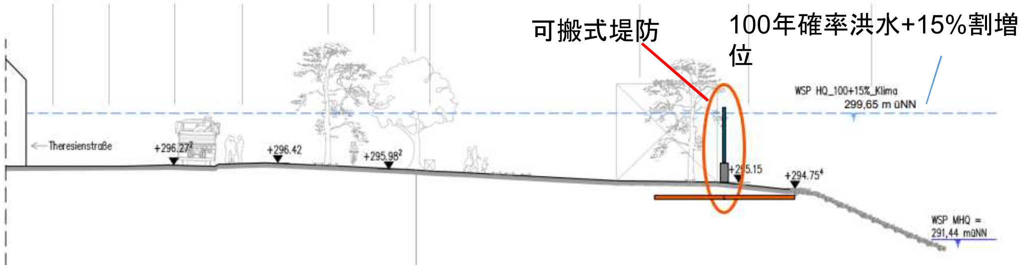
バーデン＝ビュルテンベルク州ビルケンフェルト地区は地域区分2に該当

（参考）バイエルン州の取組

パッサウ市で実施されている治水事業では、一律15%割り増しした100年確率の計画高水流量に対応するため、可搬式堤防による対応が計画されている

可搬式堤防

100年確率洪水+15%割増しによる水位



可搬式堤防イメージ

出典：Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes, 2005、Climate Change in Southern Germany Extent – Impact – Adaptation, 2012、Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, 2006、Hochwasserschutz Passau　Gottfried-Schäffer-Straße, 2016、Hochwasserschutz Passau Ortsteil Hals, 2015