

気候変動を踏まえた治水計画のあり方

提言

令和元年 10 月

令和 3 年 4 月改訂

気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

目次

1. はじめに	- 1
2. 顕在化している気候変動の状況	- 4
(1) 降雨量等の増加	- 4
(2) 水災害による被害の増大	- 5
3. 気候変動を踏まえた水災害対策の考え方	- 8
4. 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	- 10
5. 将来の降雨の変化等に関する評価	- 11
(1) 将来の降雨の予測データ	- 11
(2) 将来降雨の予測データの評価	- 13
(3) 気候変動予測モデルを活用した影響分析	- 14
6. 治水計画等に反映すべき気候変動シナリオと留意点	- 22
7. 気候変動を踏まえた治水計画等の考え方	- 23
(1) 気候変動を踏まえた治水計画等の見直し	- 23
(2) 「流域治水」の推進に向けて考慮すべき事項	- 25
(3) あわせて実施すべき事項	- 27
8. 今後さらに検討すべき事項	- 29
9. おわりに	- 30
参考文献	- 32

1. はじめに

近年、気候変動の影響が顕在化していることを実感している人も多いのではないだろうか。夏の熱波や頻発する豪雨災害、桜の開花の早まりなど、我々の身のまわりの現象でも以前と違ったことを感じるが多くなった。

IPCC（国連気候変動に関する政府間パネル）では、将来の様々な温室効果ガス濃度シナリオとそれに基づく気温等の予測が定期的に公表され、人間活動が及ぼす気候変動への影響についての評価は報告書が改定されるたびにその確度が上がっている。平成 25～26 年に公表された第 5 次評価報告書では、「気候システムの温暖化には疑う余地がなく」、「人間による影響が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高い（95～100%）」とされた。

国土交通省においては、平成 20 年に社会資本整備審議会河川分科会の気候変動に適応した治水対策検討小委員会を設置し、平成 27 年にとりまとめられた「水災害分野における気候変動適応策のあり方について 答申」を踏まえ、施設能力を上回る外力に対しても命を守るための施策等を充実させてきた。平成 27 年の水防法改正による想定最大規模降雨による浸水想定区域の指定や、施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体でこれに備える「水防災意識社会」を再構築するため、ハード・ソフト一体となった防災・減災対策を進めてきた。

平成 30 年 7 月豪雨においては、逃げ遅れにより多くの住民の人的被害に加えて、多数の家屋被害や甚大な社会経済被害が発生し、改めてハード対策の重要性が認識された。

また、令和元年東日本台風（台風第 19 号）では、全国 142 箇所では堤防が決壊するなど、河川からの氾濫により約 35,000ha が浸水した。また、浸水想定区域図が作成されていない中小河川の氾濫による人的被害の発生、氾濫発生情報の未発表等のソフト面でも課題が明らかになった。令和 2 年 7 月豪雨でも、国が管理する 7 水系 10 河川、県が管理する 58 水系 193 河川で決壊等による氾濫が発生し、九州地方を中心に甚大な被害をもたらした。

現在の治水計画や施設設計、危機管理には将来における気候変動の影響は考慮していないが、今後、気候変動による豪雨の更なる頻発化・激甚化がほぼ確実視され、被害の拡大が懸念される中、気候変動に適応した治水計画へ転換することはまったなしの状態である。

本検討会では、将来における気候変動による外力増加量の治水計画等での考慮の仕方やその前提となる外力の設定手法、気候変動を踏まえた治水計画に見直す手法について具体的な検討を進めた。

平成 27 年にはパリ協定が採択され、世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べて 2℃未満に抑えることを目標とし、温室効果ガスの排出抑制に全世界で取り組むこと等が同意されたが、地球温暖化はその歩みをすぐに止めてくれる訳ではない。現に温室効果ガスの排出量は頭打ちになりつつあるものの、大気中の温室効果ガスの濃度は増加を続けている。このため、政府においては平成 30 年に気候変動適応法を制定し、緩和策と適応策とを車の両輪で進めることとしたところである。

将来の気候変動による降雨特性への影響は確実とされているが、その程度の評価については大きな不確実性を抱えている。温室効果ガスの排出抑制は各国の動向に依存しており、世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べ 2℃以内に抑えることは大きなチャレンジである。また、気候変動の状況を解明するための気候変動予測モデルが世界中で多数考案されているが、モデルには一定の限界がある。さらに、自然にはダイナミズムや大きな変動があり、その関係が十分に解明されているわけではない。

災害対策は過去に発生した災害の経験を踏まえて講じられてきたが、気候変動はこれまでの常識を覆し、これまで経験したことのない事象も発生し得ることを意味している。このため、我が国の治水計画は、既往データに基づく統計のみに依存せず、将来のリスク（気候）予測型への転換が急務であり、将来の気候変動による影響に関する科学的な評価の不確実性を理由に手をこまねていることはできない。

洪水対策分野においては、これまでも、様々な不確実性をもつ事象についての的確に推計する手法を開発して対応してきた。治水計画においては、全国の安全度を公平かつ効率的に向上させるため、昭和 33 年、限られた年数の観測データから極値を評価する手法の導入により、既往最大主義から確率主義に転換した。想定最大規模降雨については、平成 27 年に、流域単位ではなく降雨特性が類似する地域区分単位で過去の降雨を評価することによって標本数を確保する手法を用いて、降雨量を設定した。

今回、気候変動予測モデル、力学的ダウンスケーリング法、アンサンブル将来予測などの計算手法といった気候変動の影響に関する予測技術の向上、高性能計算や大規模データ利用等のシステム開発の成果により災害をもたらすような極端な現象を評価するために必要となる膨大なアンサンブル計算結果が整備されたことを踏ま

え、本検討会では、これらの最新の科学技術を治水計画等にどのように活用するかについて、具体的に検討してとりまとめた。

治水対策はこれまでの流れの中で大きな転換点に立っている。本検討会での検討は、過去の観測データのみを活用する治水計画から将来の予測を活用する治水計画へ転換する大きな一歩である。

本提言は、令和元年10月提言公表以降、新たに整備された気候変動予測モデルによるアンサンブルデータを用いて実施した2℃上昇時の降雨量変化倍率の精査や、島しょ部および短時間・小流域への適用、気候変動を踏まえた治水計画の具体的手法等について、本技術検討会において議論を進め、令和3年4月に改訂したものである。

2. 顕在化している気候変動の状況

(1) 降雨量等の増加

- IPCC の第 5 次評価報告書において、過去 100 年程度の間に見られた気候変動について、「気候システムの温暖化には疑う余地はない¹⁾」とされている。
- 世界平均地上気温は 1850～1900 年の期間平均と 2003～2012 年の期間平均を比較して 0.78℃上昇し²⁾、日本においても、気象庁の観測によると、1898 年から 2019 年で 100 年あたり 1.24℃の割合で上昇している³⁾。
- 日本近海の平均海面水温は、1900 年から 2019 年の間に 100 年あたり 1.14℃の割合で上昇している。これは、世界平均 (0.55℃/100 年) よりも大きい。一般に陸地が温まりやすいことから暖流の影響で大陸に近い海域は上昇率が大きくなると考えられている⁴⁾。
- また、世界平均海面水位は、1902 年から 2010 年の期間に 0.16m 上昇している⁵⁾ことなどが示されている。
- 気象庁の観測によると、約 30 年前と比較すると、近年、1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨の発生回数が約 1.4 倍に、1 時間降水量 100mm 以上の短時間強雨の発生回数が約 1.7 倍に増加しており⁶⁾、また、全国の雨量観測所において、平成 25 年以降、約 3 割の地点で 1 時間当たりの降水量が観測史上 1 位を更新していることが分かっている。
- また、気象庁によると、「日本では、長期的には極端な大雨の強さが増大する傾向がみられており、アメダス地点の年最大 72 時間降水量の基準値との比には、過去 30 年で約 10%の増加傾向がみられ、その背景要因として、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にあることが考えられる⁶⁾」と分析され、全国の空間平均的な観点での評価では増加傾向となっている。なお、対象は、全国のアメダス地点のうち 1976 年から 2020 年の期間で観測が継続している地点であり、基準値は 1981 年から 2010 年の平均値を指している。
- 国土交通省によると、2010 年までの年最大流域平均雨量を用い算定した 1/100 確率雨量に対して、最新年までの標本を用いた場合の 1/100 確率雨量の増減率を水系ごとに算出し、109 の一級水系で算術平均をとると約 2.7%程度増加しているが、個別に見ると減少する水系もある。また、年最大観測流量を用いた 1/100 確率流量の増減率は、同様に 109 の一級水系の算術平均をとると約 1.3%程度増加しているが、個別に見ると減少する水系もある。なお、1/100 確率雨量・確率流量の算出にあたっては、一般化極値分布を適用している。
- 2020 年 12 月には、文部科学省と気象庁が科学的知見を提供することで気候変動対策に資するよう気候変動の評価報告書「日本の気候変動 2020」を作成、公表している。このなかで、二一世紀末の日本は二〇世紀末と比較して日降水量の年最大値は、21 世紀末に温室効果ガスをほぼゼロにした場合のシナリオ (以

下、「RCP2.6」(RCP シナリオの詳細は4章にて記述)で約12%(約15mm)、最も温暖化が進むシナリオ(以下、「RCP8.5」)で約27%(約33mm)増加し、50mm/h以上の雨の頻度はRCP2.6で約1.6倍、RCP8.5で約2.3倍に増加すると予測されている⁷⁾。

- 21世紀末には、20世紀末と比較して、大雨及び短時間強雨の発生頻度が全国平均では有意に増加すると予測される(確信度が高い)。地域別に見ても増加傾向は共通して予測されているものの、増加量については不確実性が高い。
- 初夏(6月)の梅雨降水帯は強まり、現在よりも南に位置すると予測される(確信度が中程度)。

(2) 水災害による被害の増大

- 近年、毎年のように日本各地で、これまで経験したことのないような豪雨により、深刻な水害(洪水、内水、高潮)や土砂災害(これらの災害を「水災害」という。)が発生している。
- 平成27年9月関東・東北豪雨では、台風第18号から変わった低気圧に向かって湿った空気が流れ込み続け、多数の線状降水帯が次々と発生し、総降水量が関東地方で600mm、東北地方で500mmを超えるところがあるなど、9月の月降水量平年値の2倍を超える大雨となった。特に宮城県や茨城県、栃木県では多くの地点で24時間降水量が観測史上1位を更新した⁸⁾。これにより、鬼怒川等において堤防が決壊し、氾濫流による家屋の倒壊・流失や広範囲かつ長期間の浸水が発生した。また、これらに避難の遅れも加わり、近年の水災害で類を見ないほどの多数の孤立者が発生した。
- 平成28年には北海道・東北地方を相次いで台風が襲い、気象庁の統計開始以降初めてとなる、北海道地方への年間3個の台風上陸や東北地方への太平洋側からの台風上陸が発生した。これにより、道や県が管理する中小河川を中心に堤防決壊等が生じ、中山間地域の要配慮者利用施設では入居者が逃げ遅れる痛ましい被害が発生した。
- 平成29年7月九州北部豪雨では、停滞した梅雨前線に向かって暖かく非常に湿った空気が流れ込み、福岡県から大分県にかけて線状降水帯が形成・維持され、特に筑後川右岸流域では12時間で600mmを超える大雨となった⁹⁾。これにより、赤谷川流域では多数の斜面崩壊が発生し、大量の土砂や流木が流下し河道を埋塞した¹⁰⁾ほか、小野川での大規模な斜面崩壊による河道閉塞や桂川流域での3箇所の堤防決壊等が発生¹¹⁾し、福岡県と大分県で死者40名、行方不明者2名、住家の全半壊等1,476棟、住家浸水1,667棟の甚大な被害が発生した¹²⁾。
- 平成30年7月豪雨(西日本豪雨)では、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、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、気象庁のアメダス観測所等約 1,300 地点において、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¹³⁾。これにより、広域的かつ同時多発的に河川の氾濫、内水氾濫、土石流等が発生し、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発生した¹⁴⁾。また、断水が最大 263,593 戸で発生するなど、ライフラインにも甚大な被害が発生した¹⁴⁾。

- 平成 30 年の台風第 21 号で、大阪湾では第二室戸台風を上回る既往最高の潮位を記録し、関西国際空港で高潮による滑走路の浸水やターミナルビルの浸水、さらに関西国際空港連絡橋にタンカーが衝突し連絡橋が中破し、利用客約 3,000 名が一時孤立した。兵庫県芦屋市では、住宅浸水被害が発生した。
- 令和元年東日本台風（台風第 19 号）では、4 日間の総降水量が、神奈川県箱根で 1,000mm に達し、気象庁のアメダス観測所等約 1,300 地点において、12 時間降水量は 120 地点、24 時間降水量は 103 地点で観測史上 1 位を更新した。これにより、全国 142 箇所です堤防が決壊するなど、河川からの氾濫により約 35,000ha が浸水し、死者 104 名、行方不明者 3 名、住家の全半壊等 70,652 棟（一部破損含む）、住家浸水 31,021 棟の極めて甚大な被害が発生した¹⁵⁾。また、浸水想定区域図が作成されていない中小河川の氾濫による人的被害の発生等のソフト面でも課題が明らかになった。
- 令和 2 年 7 月豪雨では、7 月 3 日から 7 月 31 日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく湿った空気が継続して流れ込み、各地で大雨となった。同期間の総降水量は、長野県や高知県の多い所で 2,000mm を超えたところがあり、九州南部および九州北部、東海、東北の多くの地点で、24、48、72 時間降水量が観測史上 1 位の値を超えた。国が管理する 7 水系 10 河川、県が管理する 58 水系 193 河川で決壊等による氾濫が発生し、13 事業者 20 の鉄道路線で土砂流入等の被害が発生した。また、死者 84 名、行方不明者 2 名、住家の全半壊等 9,628 棟（一部破損含む）、住家浸水 6,971 棟の極めて甚大な被害が発生した¹⁶⁾。
- 近年、このような個々の豪雨災害に対してイベント・アトリビューション手法により、近年の地球温暖化による気温上昇の影響を評価することが可能になってきている。

※イベント・アトリビューション

個々の極端現象に対して、地球温暖化がどの程度影響を与えていたかを定量的に評価するアプローチの総称。極端現象の頻度や強度など、何の変数を対象にするかによって、用いるモデルや手法は異なる。

- 例えば、平成 30 年 7 月豪雨では、気象研究所によると、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実験を比較すると、平成 30 年 7 月豪雨の陸域の総降水量は気候変動により約 6.5%増と試算された。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にあることが考えられる（中略）今回の豪雨にも地球

温暖化の寄与があったと考えられる」とし、はじめて個別災害について気候変動による影響に言及した¹⁷⁾。

- 令和元年東日本台風では、気象研究所により、人為起源の温室効果ガス排出の増加等に伴う気温及び海面水温の上昇による大雨に与えた影響が評価されている。その結果、関東甲信地方に降った総降水量は、1980年以降の気温及び海面水温の上昇によって10.9%、工業化（1850年）以降の気温及び海面水温の上昇によって13.6%増加したことが把握された。これらの降水量の増加率は、気温上昇から想定される水蒸気量の増加率（1℃あたり7%）と比べ大きな値となっているが、その要因としては、気温及び海面水温の上昇に伴って、台風自体がより発達したことと、中部山岳の風上で上昇気流がより強まったことなどが考えられている。¹⁸⁾
- また、令和2年7月豪雨では、気象庁によると、7月3日～4日の熊本県を中心とした大雨を対象に、近年の気温上昇量を除去した事例と除去しない事例について、高解像度の気象モデルを用いた再現実験を行ったところ、過去40年の気温上昇量を除去した実験に比べ、除去しない実験のほうが降水量が多かったという結果が得られた。この実験結果は、熊本県を中心とした大雨において、近年の気温上昇の影響により降水量が増加した可能性を示唆している¹⁹⁾。
- 近年、豪雨により氾濫危険水位を超過した河川数及び河川整備の目標とする計画規模を超過した河川数は増加傾向にあり、降水量の増加等の気候変動による影響が河川整備の進捗を上回る新たなフェーズに突入した可能性がある²⁰⁾。

3. 気候変動を踏まえた水災害対策の考え方

- 国土交通省では、平成 27 年 9 月の関東・東北豪雨を受け、水災害による被害を防止・軽減するため、「施設の能力には限界があり、施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」との考えの下、社会全体でハード・ソフト一体となった防災・減災対策に取り組む「水防災意識社会」の再構築を推進することとした。今後、気候変動により外力がさらに増加することを踏まえると、この取組をさらに強化して、様々な関係者が一体的に取り組むことにより、対策の効果を向上させていくことが必要である。
- 気候変動は、地域が過去に経験したことのない災害の発生や発生頻度が極めて低かった災害の頻発化など、過去の経験が生かされない事象が増加する可能性もあるため、地域社会が長い歴史のなかで構築してきた防災への取組や国土のあり方自体についての見直しの必要性を示唆している。
- さらに、気候変動による水災害の激甚化・頻発化に対し、外力の増大に対する河川整備の進捗を考えると、従来の管理者主体の河川区域を中心としたハード整備だけでは、計画的に治水安全度を向上させていくことは容易でない。このため、管理者主体の事前防災対策を加速させると同時に、降雨が河川に流出し、さらに河川から氾濫する、という水の流れを一つのシステムとして捉えられるよう、集水域と河川、氾濫域を含む流域全体で、かつ、これまで関わってこなかった流域の関係者まで含め流域全員参加で被害を軽減させていくことが必要である。
- 水災害リスクは、ハザード（外力）、暴露（被害対象）、脆弱性の 3 要素で構成される。リスクを軽減するためには、①降雨量や流量の増加に対し氾濫をできるだけ防ぐ・減らす対策、②氾濫が発生した際の被害を回避するための、リスクのより低い地域への居住誘導、さらには宅地かさ上げなどの住まい方の工夫といった被害対象を減少させるための対策、③地域住民の防災意識を高めるなど、氾濫発生に備えた警戒避難体制の充実といった被害軽減、早期の復旧・復興のための対策を総合的かつ多層的に進める必要がある。さらに、災害を機に都市の機能や災害に対する強靱性を高める地域づくりを地域レベルでも個人レベルでも進めることが望ましい。そのためには、災害発生前の事前の被害想定や準備は非常に重要となる。
- このため、まずは、気候変動の影響についての評価も進めて、今後、よりの確に地域の水災害リスクを評価できる手法を開発し、気候変動による水災害リスクの増大について徹底的な分析を進めるとともに、将来の水災害リスクについてわかりやすく地域社会に情報発信することが必要である。
- その上で、気候変動による水災害リスクの増大に対して、流域のあらゆる関係者が連携して、
 - ・ 洪水や土砂、高潮等の河川からの氾濫を防止・軽減する治水対策

- ・ 雨水や土砂、流木等の河川への流出抑制対策
- ・ 氾濫が発生した場合に被害を最小化するためのまちづくりや土地利用
- ・ 住民の命を守るための円滑な避難の促進策
- ・ 被災後の早期復旧を進めるための、氾濫水排除や行政機関や企業等の BCP 策定等の危機管理対策

などの取組を強化することによって、水災害による被害の防止・軽減を目指す必要がある。

- こうしたことについて、社会資本整備審議会から「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について（令和 2 年 7 月）」の答申が出された。これを受け、国土交通省は、気候変動を踏まえた治水計画の見直しを行うとともに、流域全体のあらゆる関係者が協働して流域全体で行う持続可能な治水対策である「流域治水」への転換を掲げ、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、地域の特性に応じ、①氾濫をできるだけ防ぐ・減らす対策、②被害対象を減少させるための対策、③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策を全国で進めている。

氾濫をできるだけ防ぐ・減らす対策については、河川改修等のハード対策を充実させ、早期に目標とする治水安全度の達成に向け整備を加速化させなければ、気候変動による降雨量の増加によって、各河川の治水安全度は相対的に低下する。さらに、地域の対策等と連携して、減災効果の高い対策を実施しなければ、目標とする規模以上の洪水が発生した場合には大きな被害が発生する。

- このため、治水安全度を低下させることのないよう、河川整備等を推進するとともに、河川整備等の具体的な内容については、さらなる気候変動の進行や降雨予測の見直しによって降雨量が増加する可能性があることに留意し、手戻りのない整備手順や施設設計の工夫に努める必要がある。さらに、危機管理対策との連携や維持管理の高度化等を図って、より効率的に治水対策の効果を高めるとともに、その効果を継続させることができる。
- 河川計画や構造物の設計等に気候変動の影響を反映させるためには、気候変動の影響については不確実性があるが、影響予測について定量的な評価を行って、その影響を反映させる手法を具体的に確立する必要がある。

4. 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

- IPCC 第 5 次評価報告書では、代表的濃度経路シナリオ（以下「RCP シナリオ」という。）が複数用意された。
- 具体的には、4 つの RCP シナリオが用意されており、現在のように温室効果ガスを排出し続けた場合の世界の平均地上気温が RCP8.5（21 世紀末に排出量が産業革命以前と比べて約 2 倍以上に増加し、最も温暖化が進む）シナリオでは 2.6~4.8℃、21 世紀末に温室効果ガスの排出をほぼゼロにした場合の RCP2.6（最も温暖化を抑えた）シナリオでは、0.3~1.7℃、それぞれ上昇すると予測されている¹⁾。
- これらのシナリオに基づく影響評価も踏まえ、平成 27 年 12 月にパリ協定²⁾が採択された。この協定は世界 197 の国と地域で採択され、世界共通の長期目標として、産業革命以前と比較して世界の平均気温上昇を 2℃未満に抑え、1.5℃までに抑える努力をすることとし、21 世紀後半に人間による温室効果ガスの実質的排出量をゼロとすることとされた。
- パリ協定で新たに 1.5℃上昇までに抑えることが努力目標とされたことから、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）から IPCC に 1.5℃上昇の影響評価及び温室効果ガス排出経路作成の要請がなされ、平成 30 年 10 月には、IPCC より「1.5℃特別報告書²⁾」が公表された。この中で、平成 29 年時点ですでに世界の平均気温が 1℃上昇しており、現在の度合いで気温上昇が続くと 2030 年から 2052 年までの間に 1.5℃に達する可能性が高いことに加え、2℃上昇時と 1.5℃上昇時における影響の比較や 1.5℃以下に抑えるための排出経路などが示された。
- 気象庁は、日本各地で観測している二酸化炭素濃度がこの 10 年間は概ね一定率で増加していることや、世界の平均濃度も毎年増加しているとの見解を示している²³⁾。さらに、国連環境計画（UNEP）によると、平成 29 年の世界の二酸化炭素総排出量が 4 年ぶりに増加しており、気候変動に対する国際的な取組は目標とする水準に達していないと指摘している²⁴⁾。
- こうした状況に対して、令和 3 年 3 月に、地域の再エネを活用した脱炭素化を促進する事業を推進するための計画・認定制度の創設、脱炭素経営の促進に向けた企業の排出量情報のデジタル化・オープンデータ化の推進等が盛り込まれた「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案」が閣議決定され、「2050 年カーボンニュートラル」の実現に向けた取り組みが進められている。
- また、IPCC により、「自然科学的根拠」、「影響・適応・脆弱性」、「気候変動の緩和」から構成される新たな報告書（第 6 次評価報告書）の 2021 年度の公表に向けて作成作業が進められている²⁵⁾。

5. 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

- 気候変動による将来の降雨の変化については、文部科学省、気象庁、環境省、各大学等により様々な予測計算が行われ、予測データを整備し、文部科学省の地球環境情報プラットフォームであるデータ統合・解析システム (DIAS)²⁶⁾等を通じ公表されてきた。
- 近年は、気候変動予測モデルの開発など、将来の状況を解明するための技術開発が急速に進展している。また、観測誤差の範囲内の摂動を与え、多数の計算 (アンサンブル計算) を行ったデータの整備により、台風や集中豪雨等の災害をもたらす極端現象の確率的な評価が可能となっている。さらに力学的ダウンスケーリング (以下、「ダウンスケーリング」とする) を行ったモデルによるデータの整備により、地形条件をよりの確に表現し、気象現象のシミュレーションが進められている。
- 具体的には、平成 27 年に、IPCC 第 5 次評価報告書で示された 4 つの RCP シナリオ (RCP2.6 (2℃上昇に対応するシナリオ)、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 (4℃上昇に対応するシナリオ)) を前提として、解像度 20 km で計算されたデータが、環境省、気象庁により「21 世紀末における日本の気候²⁷⁾」として整備、公表された。
- 平成 28 年には、RCP8.5 を前提として、これまでにない多数のアンサンブル計算を、解像度 20km で行った d4PDF²⁸⁾ (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 (Database for Policy Decision-Making for Future Climate Change)) が、気象庁気象研究所、京都大学防災研究所等が参画する「気候変動リスク情報創生プログラム²⁹⁾」により整備、公表された。
- 平成 29 年には、RCP8.5 を前提として解像度 5 km で計算されたデータ (NHRCM05: 気象庁気象研究所が開発した水平解像度 5km の非静力学地域気候モデル (NonHydrostatic Regional Climate Model; NHRCM05) を利用)) が、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」において、気象庁気象研究所により整備され、解析結果が「地球温暖化予測情報第 9 巻³⁰⁾」として気象庁より公表された (以下、「NHRCM05」とする)。さらに、RCP8.5 を前提として、解像度 2 km で計算されたデータ (NHRCM02: (水平解像度 2km の非静力学地域気候モデル)) が同プログラムにおいて、気象庁気象研究所により作成された (以下、「NHRCM02」とする)。現在、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム³¹⁾」において、RCP2.6 を前提として、解像度 2 km の予測データ (NHRCM02) が作成されている。
- 平成 30 年には、RCP8.5 における近未来の気候 (2℃上昇時: およそ 2040 年頃、世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて 2℃上昇) を前提として、解像度 20km で多数アンサンブルによる予測データが文部科学省「SI-CAT 気候

変動適応技術社会実装プログラム³²⁾」において整備、公表された（以下、「d2PDF(20km,SI-CAT)」とする）。

- さらに、d4PDF(20km) を北海道及び九州地方について解像度 5 km にダウンスケーリングしたデータを、「SI-CAT」及び海洋研究開発機構の「地球シミュレータ特別推進課題（成果創出課題）³³⁾」において北海道大学（以下「d4PDF(5km,yamada)」という。）が整備している。また、北海道、沖縄を除く地域について解像度 5 km にダウンスケーリングしたデータが「SI-CAT」（以下「d4PDF(5km,SI-CAT)」という。）により地球シミュレータを用いて整備されている。
- 令和元年には、d2PDF(20km,SI-CAT)を解像度 5 km にダウンスケーリングしたデータ（以下「d2PDF(5 km)」という。）が、北海道大学（以下「d2PDF(5km,yamada)」という。）及び「SI-CAT」（以下「d2PDF(5km,SI-CAT)」という。）によって整備された。
- なお、いずれのデータについても、計算モデルによって将来の気候変動後の予測実験とともに、現在気候に関する再現実験が行われ、過去と現在の比較によって気象現象やハザードの変化を評価出来るようになっている。

表-1 整備された気候変動予測モデル

検討・公表の枠組み	気候変動シナリオ	解像度	アンサンブル計算	検討地域	通称 (以下この通称を使用する)	
21世紀末における日本の気候 【環境省・気象庁】	RCP 2.6~8.5	20km		全国	NHRCM20	
気候変動リスク情報創生プログラム 【文部科学省】	RCP8.5	20km	○	全国	d4PDF(20km)	
		5 km		全国	NHRCM05	
		2 km		全国	NHRCM02	
統合的気候モデル高度化研究プログラム 【文部科学省】	RCP2.6	5 km	○	全国	NHRCM05	
		2 km	○	全国	NHRCM02	
気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT) 【文部科学省】	RCP8.5	5 km	○	全国（北海道、沖縄除く）	d4PDF(5 km,SI-CAT)	
			○	北海道、九州	d4PDF(5 km,yamada)	
	RCP8.5 (2度上昇)	20km	○	全国	d2PDF(20km,SI-CAT)	
			5 km	○	全国（北海道、沖縄除く）	d2PDF(5 km,SI-CAT)
				○	北海道、九州	d2PDF(5 km,yamada)

※ 公開手続き中のものを含む。

※ NHRCM02については、複数パターンの計算が行われており、そのうち一部が公開されている（今後、順次公開予定）。

(2) 将来降雨の予測データの評価

- 治水計画における整備目標とする降雨量は過去の降雨量から年超過確率で評価して定められており、その生起確率は一級河川では 1/100~1/200 となっている。2007 年に公表された IPCC 第 4 次評価報告書に基づくシナリオについては、アンサンブル計算が行われていなかったため、災害をもたらすような確率の極端現象については評価が困難であった³⁴⁾。このため、国土技術政策総合研究所が平成 25 年に公表した全国の一級水系各流域の降雨量の変化倍率は、年最大降雨量の平均値の比較により算出したものであった³⁵⁾。しかし、今回は、アンサンブル計算を行った d4PDF 等が整備、公表されたことによって確率評価が可能となり、治水計画の対象とするような極端現象についても直接評価できるようになったことは画期的なことである。
- d4PDF(20km) 及び d2PDF(20km)の現在気候については 3000 年分 (50 摂動×60 年 (1951~2011 年))、d4PDF(20km)の将来気候については 5400 年分 (6 海面水温パターン (以下、SST パターン) ×15 摂動×60 年 (2090 年の気候))、d2PDF(20km)の将来気候については 3240 年分 (6SST パターン×9 摂動×60 年 (2040 年の気候)) にも及ぶ大量のアンサンブル計算が行われている。しかし、日本の急峻な地形条件や、治水計画において対象としている台風や梅雨前線、局所豪雨などを的確に表現するためには、解像度がより高い、少なくとも 5 km 以下のモデルであることが必要である。北海道地方や九州地方において、d4PDF(20km)と d4PDF(5 km,yamada)の現在気候に関する再現実験による降雨強度毎の発生頻度を、実績降雨 (気象庁解析雨量) の観測結果と比較すると、d4PDF(20km)では強い降雨の頻度が過小評価される傾向が見られるが、d4PDF(5 km,yamada)では実績降雨 (気象庁解析雨量) に近い分布となり、再現性が向上することが確認されている。
- しかし、解像度 5 km のモデルは、日本全国を同一の手法で評価したモデルが存在しないため、現時点で計算されている 2 つのモデルを組み合わせで評価を行った。つまり、北海道地方は、5400 年分 (6 SST パターン×15 摂動×60 年) の将来実験が行われている d4PDF(5km,yamda)、3240 年分 (6 SST パターン×9 摂動×60 年の将来実験が行われている d2PDF(5km,yamada)を用いた。また、北海道を除くその他の地域は、360 年分 (6 SST パターン×2 摂動×30 年) の将来実験が行われている d4PDF(5 km,SI-CAT)及び d2PDF(5 km,SI-CAT)を用いた。これらのモデルは、極端現象を検証するのに必要な計算データ数が一定程度確保されていることから、今回の検討対象データとして活用することとした。
- NHRCM02 は、複数のパターンでの計算は行われているものの、全国レベルでの大量のアンサンブル計算は行われていないことから、今回は d2PDF 等による小流域・短時間における降雨量変化倍率をより解像度が高いモデルにより検

証、及び d2PDF 等の領域外となる島しょ部の降雨量変化倍率の検討を行う目的で活用した。

- なお、気候変動計算モデルはモデル自身が有する物理過程の表現性の課題に加え、解像度 5 km へのダウンスケーリング計算についても、その境界条件は解像度 20km モデルの計算結果が与えられており、台風の発生頻度などの解像度 20km モデルが持つバイアスを一部取り込んでしまう可能性があることや、メッシュにおける地形の設定条件によっても大幅に結果が変化することも確認されており、これらについて様々な研究が行われ、日々改善が図られている。しかし、現時点においては、将来予測計算から得られた計算値は現況の再現性に課題があることから、そのまま全国レベルで治水計画等の外力として活用する手法は採用しない。
- また、これらの気候変動予測モデルが有するバイアスを補正するため、現在気候に関する再現実験と実際の気象観測結果との比較等から様々な手法が提案されているが、今回の検討においては、現在気候における補正手法を同様に将来気候においても適用することの可否について十分な知見が得られていないことから、バイアス補正手法を採用しない。

(3) 気候変動予測モデルを活用した影響分析

- 気候変動における影響として、降雨量の変化倍率や降雨の時空間分布などの変化、複合的な災害への影響を評価するにあたり、気候変動予測モデルの再現精度に限界があるため、計算結果をそのまま活用するのではなく、そのバイアスを打ち消すため現在気候と将来気候の計算結果の比較により、影響分析を行うことを基本とした。現時点においては、過去実験と将来実験で算出された年超過確率 1/100 の降雨量を比較することにより設定した降雨量変化倍率を治水計画等に反映する。
- 治水計画の目標規模に幅 (1/10~1/200) があるため、確率規模を変化させて降雨量変化倍率の変化傾向を確認した。これらの結果として、治水計画で目標としている確率規模においても年超過確率 1/100 の降雨量変化倍率と同程度の値となっていることを確認しており、年超過確率 1/200 以上の規模の計画に適用する降雨量変化倍率として、年超過確率 1/100 の降雨量で算定した値を適用することが可能と考える。なお、降雨量変化倍率の算定に用いたアンサンブル数の制約から年超過確率 1/200 を大きく下回る低頻度の現象 (想定し得る最大降雨等) については評価ができてない。
- さらに、災害を引き起こすような規模の降雨について、台風や前線、局所豪雨等の気象要因ごとの変化を評価したが、治水計画に反映するための定量的な評価はモデル地域での検討にとどまっている。また、降雨の時空間分布について、降雨継続時間や本川と支川との洪水の合流の時間差や同時生起性についてモデル的な検討を行ったが、全国的な傾向は評価できていない。

- また、高潮と洪水の同時生起や土砂・洪水氾濫等の複合的な要因による災害の発生現象については、現時点では技術的な評価が困難である。
- 全国で汎用性のある手法を検討したものであるが、各地域で詳細な検討を実施して、気候変動の影響を反映するために別途の手法を採用することを妨げるものではない。

(3-1) 降雨量変化倍率

(計算条件及び評価の考え方)

- 降雨量の変化を検討するにあたって、まずは、現在気候と将来気候との降雨量の比(降雨量変化倍率)を算出することとし、過去の実績降雨から統計処理により算出した確率雨量に乗ずることによって気候変動を考慮した計画対象降雨の降雨量とすることを基本とする。なお、既に気候変動の影響を含んでいる可能性がある近年の雨量データについては標本の対象としない等の留意が必要である。
- この際、降雨特性が類似している地域区分単位で評価を行うことにより、降雨量の分析を行う際に対象とする雨域面積に対応する降雨量のデータ数を増加させることでその信頼度をより高めるとともに、水災害を引き起こす気象要因の変化等について分析を行うことも容易となる。
- また、このような地域区分単位での降雨量変化倍率の設定により、二級水系や支川の小流域においても降雨量変化倍率を適用することが可能となる。
- 地域区分は、想定最大規模降雨の降雨量設定において用いた、降雨特性の類似性から分類した 15 地域区分を適用することとした(詳細は別紙1)。また、沖縄については別途検討・評価を行っているが、その他の解像度 5 km モデルの領域外である島しょ部については、本提言での検討からは除外している。
- 降雨量変化倍率は、d4PDF(5 km,SI-CAT)、d4PDF(5 km,yamada)、d2PDF(5 km,SI-CAT)及び d2PDF(5 km,yamada)の現在気候及び将来気候の計算結果を用いて、DAD 解析により 6 つの SST パターン別に降雨継続時間及び雨域面積毎の降雨量を算出し、年超過確率 1/100 の降雨量の比較により設定する(詳細は別紙2)。
- 現時点において、RCP2.6 を前提に解像度 5 km でアンサンブル計算を行ったデータは整備されていない。そのため、2℃上昇時の降雨量変化倍率は、①NHRCM20 を用いた RCP8.5 と RCP2.6 における上位 5% の降水イベントによる日降水量の関係を活用し d4PDF(5 km,SI-CAT)・d4PDF(5 km,yamada)による降雨量変化倍率を換算した値、②RCP8.5 の 2℃上昇時点を前提に解像度 5km でアンサンブル計算を行った d2PDF(5 km,SI-CAT)・d2PDF(5 km,yamada)による降雨量変化倍率を踏まえ、設定することとした。

(降雨量変化倍率) (詳細は別紙3)

- 地域区分単位で SST パターン毎に降雨量変化倍率を算出し、その 6SST パターンの幅や平均値を求め、その全国的な分布状況から、全国の平均的な降雨量変化倍率を設定することとした。ただし、SST パターンによる降雨量変化倍率の幅が明らかに全国的な傾向とは異なる地域区分については、そのメカニズムの解明や理解を平行して進めた上で、別途、値を設定した。
- 4℃上昇時の d4PDF を用いた降雨量変化倍率の値は、全国的に概ね 1.0～1.5 倍の幅で分布している。一方、北海道と九州北西部は、いずれの SST パターンにおいても降雨量変化倍率が全国平均値を上回っていることから、その要因について分析を行った。
- 北海道と九州北西部は、いずれの SST パターンにおいても北海道や九州北西部の周辺の海面水温の上昇量が他の地域と比較して大きくなっていることから、別途の降雨量変化倍率を設定することとした。
- また、高緯度の地域ほど気温の上昇量及び上昇率が高くなることが予測されており、気候変動による降雨量の変化は、気温上昇量に応じた大気中の飽和水蒸気量の変化に影響されることを踏まえると、北海道における降雨量変化倍率が高くなるものと推測される。
- これらの幅のある計算結果、及び気温上昇量に伴う大気中の飽和水蒸気量の変化割合の結果を踏まえ、全国の平均的な降雨量変化倍率の値として北海道及び九州北西部を除く 12 地域は 1.2 倍、北海道及び九州北西部では 1.4 倍とした (表-2)。
- 2℃上昇時の d2PDF を用いた降雨量変化倍率の値は、全国的に概ね 0.9～1.3 倍の幅で分布している。一方、北海道は、いずれの SST パターンにおいても降雨量変化倍率が全国平均値を上回っていることから、その要因について分析を行った。
- 4℃上昇時と同様に北海道は、いずれの SST パターンにおいても海面水温の上昇が他の地域と比較して大きくなっていることから、別途の降雨量変化倍率を設定することとした。
- これらの幅のある計算結果、及び気温上昇量に伴う大気中の飽和水蒸気量の変化割合の結果を踏まえ、全国の平均的な降雨量変化倍率の値として北海道を除く 13 地域では 1.1 倍とし、北海道では 1.15 倍とした(表-2)。
- なお、4℃上昇時では高倍率であった九州北西部について、2℃上昇時では他地域と同程度の倍率となった理由について分析を行った。その結果、4℃上昇時に九州北西部付近で見られた大きな海面水温の上昇が 2℃上昇時では明確に現れていないことが確認された。また、降雨量変化倍率の算定に用いた d2PDF 等には、九州北西部に豪雨をもたらす要因のうち、今後増加すると見込まれている大型の前線性降雨が考慮されており、降雨量変化倍率の妥当性を気象要因の観点から確認した。なお、今回の分析は現時点で活用可

能なデータにより実施しているものであり、新たなデータや科学的知見の蓄積がなされていくことを踏まえ、必要に応じて改めて分析すべきである。

- また、4℃上昇時における雨域面積 400km²における降雨継続時間毎の降雨量変化倍率は、多くの地域において、3時間及び6時間の短時間で他の時間よりも大きくなる傾向にあるが、1時間及び2時間では地域によって傾向は異なる。このため、3時間未満の降雨継続時間の降雨量変化倍率については今後引き続き検討を進める必要がある。
- なお、山田らの研究³⁶⁾では、短時間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おり、今回の d2PDF の分析においても同様の傾向が確認されたことから、4℃上昇時のときにのみ考慮することとする。このため、2℃上昇時に関する降雨量変化倍率は、より小流域やより短時間の降雨に適用することも可能である。
- 島しょ部のうち沖縄については、当該地域を網羅する NHRCM02 を用いて降雨量変化倍率を確認したところ、北海道を除く他地域と同程度の値となった。また、NHRCM02 による全国の地域区分毎の降雨量変化倍率は、d2PDF と概ね同等の結果となった。以上より、沖縄地方の降雨量変化倍率は、北海道を除く地域における倍率と同じ値を適用することができる。
- また、雨域面積 400km²以下の降雨量変化倍率について、降雨継続時間 3,6,12 時間かつ年超過確率 1/100 の条件下において d2PDF・d4PDF と NHRCM02 の結果を比較することにより評価した。雨域面積による降雨量変化倍率の変動は小さいことから、d2PDF 等の空間解像度を勘案したうえで雨域面積 100km²以上の降雨に対して適用することが可能である。
- 以上を踏まえ、降雨量の変化倍率は表-2 のとおりに設定する。今回設定した変化倍率は気温上昇に伴う飽和水蒸気量の上昇率とも整合的であり、今後、様々な計算が行われると考えられるが、それらの結果と大きな相違が生じるとは考えにくい。なお、2℃上昇時における降雨量変化倍率は、4℃上昇時から換算した値と、RCP8.5 の 2℃上昇時点 (d2PDF) を前提にアンサンブル計算した値をもとに設定したことに留意が必要である。
- なお、流域面積 100km² 以下である水系や下水道の計画に表-2 で整理した降雨量変化倍率を適用するにあたっては、対流による積乱雲の発達等の要因で発生する局所的大雨の評価ができておらず、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する必要がある。今後引き続き技術的知見の蓄積に努め、検討を進める必要がある。

表-2 降雨量変化倍率

	降雨継続時間 12時間以上	降雨継続時間 3時間以上12時間未満	降雨継続時間 3時間未満
4℃上昇	1.3	1.4	—
北海道、九州北西部	1.4	1.5	—
その他の地域 (沖縄含む)	1.2	1.3	—
2℃上昇	1.1	1.1	1.1
北海道	1.15	1.15	1.15
その他の地域 (沖縄含む)	1.1	1.1	1.1

【適用範囲】

- ・ 4℃上昇時における降雨継続時間 12 時間未満の値は、3 時間未満では適用できない。
- ・ 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 以上の発生頻度の降雨を対象とする計画に適用する。

【留意事項】

- ・ 降雨量変化倍率は、現在気候に対する将来気候の状態を表す。なお、4℃上昇時の降雨量変化倍率は、21 世紀末時点の将来気候であり、2℃上昇時の降雨量変化倍率については、RCP2.6 では 2040 年頃以降の気温上昇が横ばいとなることから、2040 年以降の値として適用可能。

【計算条件】

- ・ 現在気候の実験期間は、d4PDF(5 km,SI-CAT)が 1980～2011 年（中間年 1995 年）、d4PDF(5 km,yamada)が 1951～2010 年（中間年 1980 年）であり、中間年でみると 15 年の差があるが、現在の治水計画では主に戦後以降のデータを対象としているため、d4PDF(5 km,yamada)の実験期間である 1951～2010 年を基準とする。なお、1951～1980 年を基準とすると、d4PDF(5 km,SI-CAT)の降雨量変化倍率は約 0.02 倍低く評価されているが、それも考慮した上で上表のとおりとする。
- ・ 降雨量変化倍率は年超過確率 1/100 規模の降雨量を用い設定しているが、適用対象の治水計画の目標規模に幅があるため、確率規模を変化させて降雨量変化倍率の感度分析を実施した。これらの結果は、いずれの確率規模においても年超過確率 1/100 の降雨量変化倍率と同程度の値となっていること、及び降雨量変化倍率の算定に用いたアンサンブル数を踏まえ、年超過確率 1/200 以上の規模の計画へ適用することが可能と考える。
- ・ 沖縄は、d4PDF 等の計算領域外であるため NHRCM02 を用いて年超過確率 1/30～1/50 規模の降雨量変化倍率を算定、その他の地域は d4PDF 等を用いて年超過確率 1/100 規模の降雨量変化倍率を算定。

（現在や近未来の気候変動影響）（詳細は別紙 3）

- 気象研究所によると、平成 30 年 7 月豪雨（2018 年）や令和元年東日本台風（2019 年）等で気候変動の影響を報告しており、現時点で気候変動の影響が顕在化しているとの結果となった。このことから、気候変動の影響を治水計画や施設設計のみならず危機管理等の検討にあたって考慮することも必要である。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。

- ここでは、近年及び2040年頃までの近未来の気温上昇が一定と考え、気温と飽和水蒸気量の関係から豪雨の変化割合もほぼ一定であることから、目標とする期間毎の変化倍率を算出した（表-3）。

表-3 目標設定年に応じた降雨量変化倍率

目標年	1.15倍の場合 (2地域)	1.1倍の場合 (13地域)
2011～2020年	1.08	1.05
2020～2030年	1.10	1.07
2030～2040年	1.12	1.09
2040～2050年	1.15	1.10

(流量変化倍率や洪水発生頻度の変化)

- 気温上昇のシナリオ毎に降雨量変化倍率を全国の一級水系の治水計画で対象とする降雨に適用して試算した流量の変化倍率や洪水発生確率の変化倍率の全国平均値は、下記のとおりである。
- この結果について、2℃上昇時における変化について見ると、次のようになり、その影響は非常に甚大である。
- ・降雨量の変化倍率が1.1倍であるが、治水計画の目標とする規模（年超過確率1/100）の洪水の流量の変化倍率は約1.2倍になる。
 - ・現在の河川計画で目標としている降雨量や流量について見ると、その規模の洪水の発生頻度は約2倍になる。

表-4 降雨量、流量の変化倍率と洪水発生頻度の変化

	降雨量	流量	洪水発生頻度
4℃上昇	1.3倍	約1.4倍	約4倍
2℃上昇	1.1倍	約1.2倍	約2倍

(3-2) 将来の降雨要因等の分析

- 気候変動により、各地域に災害をもたらすような降雨の気象要因や複合的な要因による災害の発生頻度等の変化については、山田らが研究を行っている³⁶⁾ほか、本検討会においても一部地域を対象に行っている。今後も気候区分を踏まえた全国的な傾向等について、更なる手法の開発と併せて分析を継続的に行っていくが必要である。

(地域に災害をもたらす降雨要因の変化)

- 地域によって、大規模な災害をもたらすような降雨の気象要因には特徴がある。一級水系における主な洪水の発生原因を地域区分毎に分類すると、九州北西部や北陸、東北西部などの日本海側では前線が、九州南部から北海道南部にかけての太平洋側は台風がそれぞれ多く、瀬戸内海などはいずれの要因も一定の割合を占めている。
- 気候変動の各気象現象への影響について、台風は、大気の安定化によって発生数は減少するものの、日本の南海上における猛烈な台風の出現頻度の増加や通過経路の北上化が指摘されている。前線は、停滞する大気のパターンは増加する兆候はみられないが、流入する水蒸気量の増加により、総降雨量は増加すると指摘されている。局所豪雨は、発生回数と降雨量がともに増加すると指摘されている。
- 各地域において、治水計画や地域社会が想定する洪水は過去に当該流域で発生した洪水を用いることが一般的である。具体的に、現在の治水計画の立案においては、過去に発生した降雨波形を用いて、計画規模の降雨量へ引き伸ばしを行って治水計画の目標とする流量を算出している。このため、各地域において洪水を引き起こす災害要因が変化するかどうかは重要である。
- 山田らは、北海道の各河川における災害をもたらすような洪水を発生させる気象要因ごとの割合への気候変動の影響について研究を行っており³⁶⁾、4℃上昇時では、台風が占める割合が大幅に増加する等の検討結果が得られている。また、本検討会においても、台風や前線等の気象擾乱タイプの将来変化傾向について、九州北西部を中心に分析を実施しており、前線が占める割合が増加する結果が得られている。現時点では、全国的に災害をもたらすような洪水を発生させる気象要因への気候変動の影響に関する研究は十分に行われているとはいえず、今後、評価手法の開発等の研究を進める必要がある。

(将来の降雨の時空間分布)

- 現時点では、気候変動予測モデルから得られた計算値そのものを活用するほどの精度の確保は困難とされており、現時点では、計算値そのものを評価結果として活用することは困難である。
- 流域単位で降雨や流出の解析にアンサンブル将来予測降雨波形を活用することにより、降雨継続時間の変化や、クラスター分析により降雨の空間分布を類型化してその頻度の変化、本川と支川の同時生起性等の評価を行うことも可能である。

例えば、「北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会」では、将来における降雨時空間分布の変化を把握するため、気候変動予測モデ

ルによるアンサンブル将来予測降雨波形を活用して過去実験及び将来実験（2℃上昇時、4℃上昇時）の年最大降雨量を対象に降雨の空間分布のクラスター分析が実施されている³⁷⁾。十勝川流域では、5つに分割された小流域のうち流域南西部に降雨が集中するクラスターの発生割合が増加、常呂川流域では、流域北東部に降雨が集中するクラスターの発生割合が増加するとの結果が示されている。これらの結果について、対策箇所の優先順位や減災対策等の実施箇所の選定等の検討にも活用することが考えられる。

（平均海面の上昇等の影響）

- 今後、気候変動の影響による平均海面の上昇量や高潮・高波の影響の検討状況を踏まえて、河川の河口部における高潮リスクの評価等についても検討が必要である。

（複合的な要因による災害）

- 高潮と洪水の同時生起については、台風等に起因する高潮が発生するタイミングで、洪水がピークを迎えることは非常に稀であると考えられることから、これまでの治水計画では基本的には考慮していない。今後、気候変動による平均海面の上昇量や高潮・高波の影響の検討と合わせて、高潮と洪水の同時生起のリスクについての評価手法の開発を含めて検討を進めていく必要がある。
- 上流における土砂災害等によって供給された土砂が洪水によって下流部に運び出され発生する土砂・洪水氾濫については、降雨量と土砂供給の関係が必ずしも解明されていない。これらの検討と連携し、降雨の増加による供給土砂への影響を検討するとともに、河道計画との一体的な検討が必要となる。

6. 治水計画等に反映すべき気候変動シナリオと留意点

- 治水計画等に反映する RCP シナリオの選定にあたっては、将来の実際の気温上昇と比較して、気温上昇が大きいシナリオを採用した場合には、治水計画の目標を上回る外力に対応する施設整備等を実施するリスクが、気温上昇が小さいシナリオを採用した場合には、治水計画の再度の見直しと手戻りの可能性を含む非効率な施設整備等を実施するリスクが、それぞれ存在する。
- それぞれのシナリオにおいても、気候変動予測モデルによってその結果に違いがあり、気温上昇の小さいシナリオにおける降雨量予測の分布は、気温上昇の大きいシナリオの降雨量予測の分布と重なる部分があるなど、予測結果には幅が存在している。
- 以上のように、リスクや予測の幅はあるものの、今、将来の気候変動による影響の程度を決定し、将来の降雨量の増加を踏まえた対策を講じ始めなければ、計画の頻繁な見直しやその都度追加的な対策の実施に迫られ、今後の治水対策がより非効率となり、必要な河川整備に要する期間が長期化してしまうおそれもある。
- 現在、パリ協定において、「世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べて2℃未満に抑え、1.5℃までに抑える努力をする」との目標が掲げられ、温室効果ガスの排出抑制対策が進められていることも考慮する必要がある。また、ほとんどの河川が最終目標とする安全度から比較すると、現在の安全度は低い安全度にとどまっており、最終目標に到達するまでには相当の期間を要する。
- これらのことから、現時点において治水計画に反映させる外力の基準とするシナリオは、2℃上昇時における平均的な外力の値を基本とするべきである。ただし、2℃上昇時における外力の変化にも幅があること、また、2℃以上の生じる可能性も否定できないことから、4℃上昇時の平均的な外力の値も参考とすることが考えられる。
- 現時点では、外力の変化として全国的かつ定量的に評価できる内容は降雨量変化倍率のみであるが、各河川の治水計画の策定や個別の構造物の設計においては、個別に様々な検討を行ってその結果を反映させていくことも考えられる。
- 2℃上昇時に加え、4℃上昇時等も、治水計画における整備メニューの点検や減災対策を行うためのリスク評価、河川管理施設の危機管理的な運用の検討、将来の改造を考慮した施設設計の工夫等の参考として活用することが適当である。

7. 気候変動を踏まえた治水計画等の考え方

- 気候変動による今後の豪雨の激甚化・頻発化の程度の予測については、温室効果ガスの排出抑制政策の動向や気候変動予測の不確実性などから、大きな幅が存在している。治水計画や施設設計等の検討にあたって、降雨量の増加等の外力の増加を現在の計画や設計の考え方に直接反映するとともに、外力が増加した場合にかかる追加コストの大きさ等に応じ、必要に応じてさらなる外力の増加にも配慮することが考えられる。

(1) 気候変動を踏まえた治水計画等の見直し

(1-1) 河川整備基本方針の見直し

- 目標とする治水安全度を温暖化が進行した気候下でも確保するためには、基準地点における基本高水のピーク流量について、あらかじめ気候変動による影響を踏まえた降雨の予測計算結果等も活用し、将来の気候状況を適切に想定して設定することが基本となる。
- 現在の河川整備はまだ整備途上であり、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と比べると相当低いところに留まっていることから、まずは速やかに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させる必要がある。
- 気候変動予測には不確実性があり、予測結果は将来見直される可能性もあるものの、河川整備基本方針についても順次見直すべきである。具体的には、河川整備基本方針策定後に大規模な洪水が発生して基本高水のピーク流量を超過した場合や、河川整備計画を検討する過程の中で、洪水調節施設と河道の配分流量を変更する必要がある河川等から、順次、降雨量変化倍率を活用すること等により、気候変動を踏まえた基本高水を設定すべきである。
- 計画対象降雨の降雨量は、実績降雨データを用いた水文統計解析により得られた確率雨量に降雨量変化倍率を乗じて求めることとなる。近年の実績降雨にはすでに気候変動の影響を受けていると考えられるものも含まれている場合があり、各河川の降雨実績を踏まえて適切に確率雨量を算定する際の標本期間を設定することが必要である。具体的には、当面の対応として、降雨量変化倍率の算定に用いている過去実験の期間が 2010 年までであることを踏まえ、2010 年までの雨量標本を用いた定常の水文統計解析により確率雨量を算定し、これに降雨量変化倍率を乗じた値を計画対象降雨の降雨量とすることが考えられる。

また、近年の雨量標本を含めて、非定常性の分析や定常の水文統計解析により算出した確率雨量の評価等を実施することにより、気候変動の影響を把握しておくことも重要である。

- なお、既往研究として、水文統計データを対象に非定常解析を実施した水文統計手法³⁸⁾があるが、引き続き、気温や時間を説明変数とした非定常解析の研究開発等が必要と考えられる。
- 従前より基本高水を決定する際には、過去の蓄積された雨量や流量の実績データを用い、「雨量データによる確率からの検討」や「流量データによる確率からの検討」、「既往洪水からの検討」等の観点から総合的判断を行ってきたところであるが、今後、気候変動の影響を反映した基本高水を設定する際には、将来起こり得る事象としてアンサンブル将来予測降雨波形の時空間分布を用いた検討結果も活用することが考えられる。
- 例えば、
 - ・ 計画対象降雨の降雨量相当のアンサンブル将来予測降雨波形を用いた流出計算で得られたハイドログラフ群のピーク流量の最大値と最小値の範囲内に基本高水のピーク流量が収まっているかどうか等、決定する基本高水の妥当性の確認に活用。
 - ・ 実績降雨を計画対象降雨の降雨量に引き伸ばす際に、短時間または小流域単位で見た場合に計画規模と大きく乖離しているとして棄却した実績洪水について、必要に応じて、これら棄却された波形についてもアンサンブル将来予測降雨波形を活用して将来的に起こり得るかどうかを検証することも考えられる。
- 近年発生した出水については、気象庁等により疑似温暖化手法を用いた気候変動の影響（実績洪水に対する気候変動の影響の評価や将来気候における推定流量の算出など）が明らかにされているところである。これらの内容も評価した上で、現時点においてどの程度気候変動の影響が顕在化しているのか、さらに将来どの程度、降雨量や流量が増加するのか、その評価結果を総合的判断に用いる等、必要に応じて治水計画に活用すべきである。
- なお、気候変動予測モデルの精度向上やデータセットの拡充等に関する技術の今後の進展状況等を踏まえ、関係機関と連携し、各流域単位での検討も含めて治水計画の作成手法について継続的に検討を行っていくべきである。

（1－2）河川整備計画の目標の見直し

- 河川整備基本方針の実現に向けて、今後 20～30 年間の河川整備内容を定める河川整備計画においては、多くの一級河川で過去（主に戦後）に発生した最大の豪雨が発生しても被害の発生を防止することを目標にしている。しかし、河川整備の目標としては、豪雨において観測もしくは算定された流量を目標とする現在の方式では、気候変動によって実質的な目標安全度が年々低下していることを意味している。
- 一方、現在の河川は整備途上であり、多くの河川において河川整備計画の目標は河川整備基本方針の目標安全度と比べると相当低いところにとどまって

いることから、まずは速やかに現在の河川整備計画の早期達成を目指すとともに、合わせて河川整備計画を気候変動の影響も考慮した計画に見直していく必要がある。

- 河川整備計画を見直す場合、現在の河川整備計画において目標とする洪水に相当する治水安全度を、河川整備計画の完成目標とする時点においても確保することを目指すべきであり、その際には降雨量変化倍率を用いるなど適切な目標設定を行う必要がある。

(1-3) 河川整備メニュー等の見直し

- 河川整備メニュー等の見直しにあたっては、気候変動によってさらに外力が増加した場合も想定して、その場合でも可能な限り手戻りが少なくなるよう検討を行って、効率的な河川整備を進めることが必要である。
- また、平成30年7月豪雨で発生した洪水・土砂氾濫や本支川合流部でのバックウォーター現象、内水と外水や高潮と洪水の同時生起などの複合的な要因によって生じる災害について、現時点においてその影響の増大について定量的な評価が行われていないが、必要に応じて、効果的な対策を検証の上で実施することが重要である。

(2) 「流域治水」の推進に向けて考慮すべき事項

- 流域治水³⁹⁾を推進するためには、流域全体であらゆる関係者と協働で進めていく必要がある。気候変動の影響やその評価が不確実であることも踏まえ、治水計画の見直しと併せて、以下のような項目について重点的に取り組んでいく必要がある。

(2-1) 減災、危機管理対策の充実

- 現状の施設能力を上回る洪水や、河川整備基本方針および河川整備計画の目標を上回る洪水は必ず発生することを考えると、その際のリスクの状況も踏まえ、地域の水災害リスクを低減させるために、目標を上回る洪水や本川・支川への降雨パターンが計画と異なる洪水等へ備える減災対策の充実を図る必要がある。
- これらの検討においては、発生する可能性のある様々な洪水を対象に、幅広く防災・減災効果の高い計画を立案することが重要である。そのためには、設定した基本高水や過去の実績洪水だけではなく、目標規模及びそれを超える規模の降雨量のアンサンブル将来予測降雨（時空間分布を含む）を参考に検討することも考えられる。
- 地域における様々な対策とも連携し、住民の避難する時間を少しでも確保するための危機管理型ハード対策などの構造の工夫に加え、水災害リスクの高

い地区における更なる堤防強化に向けた検討、応急的な退避場所の確保、水防資機材の確保等を行うことが重要である。

- ダムにおける今後の気象予測等の精度向上に合わせた操作方法の検討や、遊水地における越流堤へのゲートの整備など、容量を効率的に活用することにより、洪水調節施設の防災・減災効果を向上させることも検討する必要がある。
- 今後の河川管理施設の操作にあたっては、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を検討する必要がある。また、想定最大規模降雨の見直しや、その場合の河川管理施設の耐力、施設能力を超過する洪水が発生した場合の操作方法等についても点検しておくことが必要となる。

(2-2) 集水域における貯留機能等の拡大

- 気候変動の影響による外力の増大に対し、河川管理者や下水道管理者による対策の強化・加速を行うだけでは被害の防止・軽減は困難である。あらゆる関係者との協働による「流域治水」の考え方にに基づき、集水域においても河川に流出するまでの抑制対策に係る取組みを推進すべきである。
- 今年度の出水期から既設の利水ダムを活用した新たな運用（治水協定に基づくダムの事前放流）を開始したところであり、全国の122ダムで事前放流が実施（うち63ダムは利水ダム）されたところである。これらについて、より効果的な事前放流の実施等について検討を実施していくべきである。その際には、施設管理者との相互理解・協力の下で取り組むことが重要である。
- また、すでに一部の地域では水田貯留、ため池の活用等による地域主導の取組みが進められているところである。さらに、都市の緑化などグリーンインフラの概念を取り入れたまちづくりなども行われている。これらの取組みについて関係者の参加意欲を高めて流域一体となったものに広げていくためには、個々の取組みや沿川の保水・遊水機能を有する土地の存在が河川内にどのような効果をもたらしているかについて、定量的・定性的な評価を進めていく必要がある。
- これらの取組みの規模や実施個所等は多様であり、また、降雨の規模や時空間分布、流域の特性によってその効果は大きく変化するなど、現時点において画一的な評価を行うことは難しいが、関係者との協働で実際の降雨時におけるデータの収集に努め、流域での対策を組み込んだ流出計算モデルによる検証などに取り組むことが必要であり、さらに効果が確認される場合にはこれを踏まえた治水計画も検討していくべきである。さらに、各関係者の行う対策の効果について関係者間で共有し、対策の普及や定着に取り組むとともに、効果的な運用や追加的な対策を検討していくことが重要である。

(2-3) まちづくりや住まい方の工夫のためのリスク情報の充実

- 氾濫域において、現状の施設能力を上回る洪水が発生した際にも被害を軽減、もしくは回避するための都市計画や土地利用計画といったまちづくりや住まい方の工夫も推進していく必要がある。そのためには、これまで主に住民の命を守るための避難行動を円滑にすることを目的として公表されてきた河川管理者等によるハザード情報に加え、今後はまちづくり等への活用を見据えた複数の確率規模（多段階）の浸水想定や、施設の整備前後の浸水想定といった多段的なリスク情報についても充実を図る必要がある。さらに、気候変動の影響により大規模な氾濫が増加するおそれがあることも念頭に、洪水流の氾濫域における流速、流向などをより正確に再現できるモデルの開発・活用を進めていくことが求められる。

(3) あわせて実施すべき事項

(3-1) 施設設計における考え方

- 河川管理施設の設計にあたっては、施設又は部材等の耐用年数が経過するまで必要とされる安全性が確保されているよう考慮しておく必要がある。このため、施設の設計に気候変動の影響を取り込むにあたっては、耐用年数経過時点の降雨量変化倍率を活用して外力を見直すことが必要である。
- また、将来の外力の変化予測には不確実性が含まれていることを踏まえ、さらなる外力の増加への対応として、外力の増加した場合の改築を容易に行うための工夫を予め行うのか、外力の増加が明確化した段階で改築するのか等について、予め方針を定めておくことが望ましい。
- 具体的には、施設の新設にあたっては、少なくとも2℃上昇時の外力を踏まえて設計を行うことが望ましく、さらに、ダムや堰、大規模な水門などの耐用期間の長い施設については、必要に応じて、更なる気温上昇（例えば4℃上昇時）にも備えた設計の工夫を行うことにより、気候変動によって目標とする流量が増加した場合等でも容易かつ安価に改造することが可能となる。また、ポンプ等の施設については、その施設の耐用年数経過時点の気候変動の影響を考慮して設計をすることが望ましい。
- さらに、治水計画と一体となって河川管理施設の構造の工夫や更なる強化を予め講じておくことにより、施設能力を上回る洪水に対しても減災効果を発揮させることも考えられる。

(3-2) 気候変動を踏まえた治水計画のための流域のモニタリング

- 一部の水系において治水計画に使用している雨量・流量データの水文統計量が経年的に増加傾向であることや、近年発生している洪水について気候変動の影響により降雨量が増加していると指摘されている。そのような状況を踏まえると、気候変動予測モデルのみならず、気候変動による雨量や流量の変

化を適切に把握し、実績に基づくデータも活用して気候変動による影響を考慮した治水計画を立案することが重要である。そのため、流域全体の状況が把握できるよう危機管理型水位計も含め面的に流域の水位観測や雨量観測等を行い、流域からの流出特性や洪水流の伝播特性等の把握に努め、必要に応じその結果を治水計画に反映するべきである。また、観測・予測データを収集・集積・データベース化し、これらを流域の関係者と共有することにより、各主体が行う流域治水の取組を効率的・効果的に展開していくことが有効であると考えられる。

8. 今後さらに検討すべき事項

- 気候変動による影響を踏まえ、効果的な防災・減災対策を進めるにあたっては、まだ、気候変動による外力の増加に関する定量的な評価やメカニズムの分析が十分に行われているとは言えず、地域のリスクが気候変動によってどのように変化するかについて、定量的かつわかりやすく地域に提供されていない。
- 気候変動によって外力が様々に変化することを踏まえると、社会全体の防災・減災対策の強化とともに、治水対策の進め方についての見直しによって、効率的なリスク軽減を図ることができる。
- 前回（令和元年10月）の提言公表以降、2℃上昇時の降雨量変化倍率、島嶼部（沖縄）における降雨量変化倍率、短時間・小流域の場合の降雨量変化倍率および気候変動を考慮した具体的な基本高水の設定手法等について検討を進めたところである。さらに引き続き以下の内容について、産学官が連携を強化し、研究や対策の具体化を進める必要がある。

（気候変動による土砂・流木の流出現象に関する評価）

- ・ 山地流域における土砂・流木生産量および河道への流出量の変化
- ・ 土砂・洪水氾濫のポテンシャルの高い流域の特定やその条件整理

（気候変動の影響を踏まえた河道の変化やリスクの評価手法）

- ・ 気温や降雨、土砂流出の変化による河道の変化予測と河道設計や維持管理手法の高度化
- ・ 地域社会の変化や災害に対する脆弱性の変化
- ・ 大規模な水災害による被害や防災・減災対策による効果の評価手法

（気候変動による外力の増加を踏まえた防災・減災対策）

- ・ 気候変動による地域の災害リスクの変化について、国民の理解につながる情報発信
- ・ 計画を上回る洪水に対する流域一体での減災対策
- ・ 気候変動の影響を踏まえた設計基準
- ・ 気象予測を活用した施設操作手法

9. おわりに

本検討会は近年気候変動による影響が年々拡大し、毎年のように災害が発生する中、気候変動の取り込みは急務であったが、平成30年7月豪雨を挟んで、検討は一時中断せざるを得なかった。しかし、平成30年7月豪雨を踏まえ、災害を引き起こす気象原因の変化や降雨の時空間分布の変化、気候変動の影響に関する現在から将来にわたる経年的な分析手法についても検討内容を追加することとなった。

さらに、令和元年10月の提言以降、その後に整備された新たなデータベース等を用いて検討結果の深化を図るとともに、実際の治水計画への反映等について検討を進めてきた。

今回、過去の降雨のみを活用して策定されてきた治水計画を、将来の予測を活用する治水計画に転換するため、現在の将来の降雨の変化予測には不確実性は残るものの、これまで行われている最先端の研究成果を駆使して検討を進め、治水計画等へ将来予測を取り入れるための技術的評価を行った。既に行われている気候変動予測に関する研究はRCP8.5によるものが中心であるため、今回、RCP2.6の影響や現在、近未来の影響についても推計手法による方法を提案し、定量的な評価を行うことができた。

このなかで、全国レベルでの研究や様々なRCPシナリオに関する研究、水災害リスクの変化を発生させる気象現象の評価に関する研究など、十分な研究が進められていない分野の存在があらためて明らかになった。また、気候変動予測には不確実性があり、今後も様々な技術的な進展に合わせて、その確度を少しずつ向上させていく必要がある。

防災分野に活用するための気候変動分野に関する研究を進めるため、これまでも多分野の機関の連携体制の構築によって、新たな価値が創出されて様々な新技術に関する研究が行われてきたが、令和3年に新たなIPCCレポートの発出も予定されていることも念頭に、これまでの連携体制をさらに強化して、新たな技術開発を進めるとともに、これまで試行的に取り組まれてきた技術をさらに普遍的なものに深化させていくことも重要である。

他方、今後も研究を進めたとしても予測には不確実性が残ることは明らかであり、今回、不確実性についても計画や設計において考慮する方策の方向性も提案した。今後、河川整備基本方針や河川整備計画等の策定において具体的な検討を進めるこ

とや、設計等についても詳細に検討を進めて基準やマニュアルへ反映させていくことも必要である。

気候変動は国土のあり方を根本的に変える必要があることを意味している。今後、日本は、人口減少・高齢化など社会構造の変化や産業構造の変化、AI やビッグデータ等による技術革新など、大きなうねりにさらされる。将来、気候変動により変化する地域のリスク評価に基づくリスク軽減対策の充実を図るには、これまでの経験にとらわれることなく、新たな科学的知見も活用し、社会全体で取り組むことが必要である。

長年、気候変動の影響が警鐘され、これを反映した治水計画が求められていたものの、予測モデルなどの技術水準が不十分であり、実現できなかった。しかしながら、近年の科学技術の向上により、本提言にある反映方法が現実的なものとしてまとめられるまでに至った。これらは、「気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)」や「統合的気候モデル高度化研究プログラム」など、産学官が一体となった取り組みの成果と言える。

国民の安全・安心を担う国土交通省において、今後の科学技術の更なる進展を活用すべく、気象庁等の関係機関と連携し、治水計画に活用するための予測データの充実を図るとともに、治水計画の立案手法の改善及び柔軟な見直しを図っていくことが求められる。

また、国土交通省では、社会資本整備審議会答申「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方」を踏まえ、流域のあらゆる関係者との協働により行う「流域治水」への転換を掲げ、全国で「流域治水プロジェクト」の取り組みを展開している。さらに、「流域治水」の実効性を高めるための法的枠組みが「流域治水関連法案」として令和3年2月に閣議決定され、4月に成立している。今後、各流域においてプロジェクトが推進されていく中で、河川整備の加速化とともに、あらゆる関係者による様々な対策メニューの実装化・充実化が期待される。さらには、さまざまな課題の解決に向け、新たな知見も交えながら検討が進み、現場での取り組みを推進するための施策展開が望まれるところである。

国土交通省には、様々な分野との連携を強化して、気候変動の影響の分析・評価や、「流域治水」の実践において主導的な役割を果たすことを期待している。また、この提言を世界に向けて積極的に発信する意味は大きく、積極的に対応いただきたい。

参考文献

- 1) 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）：第5次評価報告書統合報告書 政策決定者向け要約，2014
- 2) 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）：第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約，2013
- 3) 気象庁ホームページ「日本の年平均気温」
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html
- 4) 気象庁ホームページ「海面水温の長期変化傾向（日本近海）」
https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html
- 5) 気象庁ホームページ「大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化」
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- 6) 気象庁「令和2年7月の記録的大雨や日照不足の特徴とその要因について」
<http://www.jma.go.jp/jma/press/2008/20a/kentoukai20200820.pdf>
- 7) 文部科学省・気象庁：「日本の気候変動2020」
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_shousai.pdf
- 8) 国土交通省「平成27年9月関東・東北豪雨災害の概要」
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigaiworking/pdf/dailkai/siry01.pdf>
- 9) 国土交通省「筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugou_data/171122houkokusy011.pdf
- 10) 国土交通省「赤谷川流域の被災状況」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugou_data/171122houkokusy02.pdf
- 11) 国土交通省「筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会【概要説明資料】」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugou_data/171122gaiyou2.pdf
- 12) 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（第77報）」
<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/b415db68eb0850414c74aca2f164cf3dbda5c43a.pdf>
- 13) 気象庁「平成30年7月豪雨（前線及び台風第7号による大雨等）平成30年（2018年）6月28日～7月8日」
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/20180713.html>
- 14) 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31年1月9日 17時00分）
http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf
- 15) 内閣府：令和元年台風第19号等に係る被害状況等について（令和2年4月10日 9:00 現在）
- 16) 内閣府：令和2年7月豪雨による被害状況等について（令和3年1月7日 14:00 現在）
- 17) 気象庁「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」
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.html>
- 18) 気象研究所「近年の気温上昇が令和元年東日本台風の大雨に与えた影響」
<https://safe.menlosecurity.com/docview/viewer/docN576822ECDEA1498440d742128e06ee22c4b2070aacc3700a581f53a3dc8c519ee56c967eb736>
- 19) 気象研究所「令和2年7月豪雨における九州の記録的大雨の要因を調査」
https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R02/021224-2/press_release021224-2.pdf
- 20) 国土交通省「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～ 対応すべき課題・実施すべき対策に関する参考資料」
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibokouikigouu/pdf/daikibokouikigouu_ssl.pdf
- 21) United Nations: Report of Conference of Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, 2015
- 22) 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）：1.5℃の地球温暖化：気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から 1.5℃の地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室ガス（GHG）排出経路に関する IPCC 特別報告書 政策決定者向け要約の概要，2018
- 23) 気象庁ホームページ「二酸化炭素濃度の経年変化」
https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html
- 24) UNEP: Emissions Gap Report 2018, 2018
- 25) <http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>（環境省）
- 26) DIAS：データ統合・解析システム（Data Integration and Analysis System）
<https://dias.jp.net/>

- 27) 環境省, 気象庁: 21 世紀末における日本の気候, 2015. 3
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/pamph_tekiou/2015/jpnclim_full.pdf
- 28) d4PDF: 地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース (database for Policy Decision making for Future climate change)
 高解像度全球大気モデルおよび高解像度領域大気モデルを用い、これまでになく多数 (最大 100 メンバ) のアンサンブル実験を行うことによって作成された気候予測データベース。文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成。
<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>
- 29) 気候変動リスク情報創生プログラム: 気候変動によって生じる多様なリスクの管理に必要な基盤的情報の創出を目的としたプログラム
<https://www.jamstec.go.jp/sousei/>
- 30) 気象庁: 地球温暖化予測情報 第 9 巻, 2017
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>
- 31) 統合的気候モデル高度化研究プログラム: 気候変動対策のために、気候モデルをさらに発展させ、社会経済シナリオとの連携を図り、具体的な地域での適応計画に気候モデルの知見を反映することを目的とした研究プログラム
<http://www.jamstec.go.jp/tougou/index.html>
- 32) SI-CAT: 気候変動適応技術社会実装プログラム (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)
 日本全国の地方自治体等が行う気候変動対応策の検討・策定に汎用的に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測技術や気候変動影響に対する適応策の効果の評価を可能とする技術を開発するプログラム
- 33) 地球シミュレータ特別推進課題 (成果創出課題): 新地球シミュレータの能力を最大限に活かして海洋地球科学分野における画期的な成果創出を加速するために、平成 27 年度から新しく設定された地球シミュレータの資源配分の枠組み
- 34) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC): 第 4 次評価報告書統合報告書 政策決定者向け要約, 2007
- 35) 国土技術政策総合研究所: 国総研資料 第 749 号 気候変動適応策に関する研究 (中間報告), 2013
- 36) 第 4 回気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会 山田委員提供資料
- 37) 北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会 中間とりまとめ
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat000001offi.html
- 38) 国土交通省: 河川砂防技術基準 (調査編) 3 章 水文解析 第 1 節 水文統計解析 1. 4 非定常な水文量の頻度解析
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/pdf/00.pdf
- 39) 国土交通省ホームページ 「「流域治水」の基本的な考え方」
https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01_kangaekata.pdf

気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

委員名簿

- 天野 邦彦 国土技術政策総合研究所 (第1回～第5回)
- 池内 幸司 東京大学大学院工学系研究科 教授
東京大学地球観測データ統融合連携研究機構 機構長
- 大原 美保 (国研) 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター
水災害研究グループ主任研究員
- ◎小池 俊雄 (国研) 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター長
- 小林 潔司 京都大学経営管理大学院 特任教授
- 佐々木 隆 国土技術政策総合研究所 (第6回～第7回)
- 清水 康行 北海道大学大学院工学研究院 教授
- 清水 義彦 群馬大学大学院理工学府 教授
- 高薮 出 気象研究所気候・環境研究部 主任研究官
- 戸田 祐嗣 名古屋大学大学院工学研究科 教授
- 中北 英一 京都大学防災研究所 所長
- 平林 由希子 芝浦工業大学 工学部土木工学科 教授
- 古米 弘明 東京大学大学院工学系研究科附属
水環境工学研究センター 教授 (第6回～第7回)
- 矢野 真一郎 九州大学工学研究院 教授
- 山田 朋人 北海道大学大学院工学研究院 准教授

◎：座長（敬称略、五十音順）