

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

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	- 3
(1) 降雨量等の増加	- 3
(2) 水災害リスクの増大	- 3
3. 気候変動を踏まえた水災害対策の考え方	- 6
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	- 8
5. 将来の降雨の変化等に関する評価	- 9
(1) 将来の降雨の予測データ	- 9
(2) 将来降雨の予測データの評価	- 10
(3) 気候変動予測モデルを活用した影響分析	- 11
6. 治水計画等に反映すべき気候変動シナリオと留意点	- 18
7. 気候変動を踏まえた治水計画等の考え方	- 20
(1) 河川整備基本方針の見直し	- 20
(2) 河川整備計画の見直し	- 20
(3) あわせて実施すべき事項	- 21
8. 今後さらに検討すべき事項	- 23
9. おわりに	- 24

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。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う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、気候変動の影響に関する予測技術が向上し、さらに、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。

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 2018 年で 100 年あたり 1.21℃の割合で上昇している³⁾。
- 1971 年から 2010 年において、海洋表層（0～700m）で水温が上昇したことはほぼ確実とされており²⁾、日本近海における、海面水温の上昇率（+1.12℃/100 年）は世界全体で平均した海面水温の上昇率（+0.54℃/100 年）よりも大きな値となっている⁴⁾。
- また、世界平均海面水位は、1901 年から 2010 年の期間に 0.19m 上昇している¹⁾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⁵⁾、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。

(2) 水災害リスクの増大

- 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⁶⁾。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⁶⁾。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⁷⁾。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⁸⁾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⁹⁾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¹⁰⁾。
- 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¹¹⁾。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¹¹⁾。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¹²⁾。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¹³⁾。
- 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。
- 平成 26 年から平成 30 年までの 5 年間において、河川整備計画の目標流量や氾濫危険水位を上回る河川数が年々増加傾向にあり、気候変動等の影響が治水対策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¹⁴⁾。

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) 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/dai1kai/siryo1.pdf>
- 7) 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/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo11.pdf
- 8) 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/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo2.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【概要説明資料】」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122gaiyou2.pdf
- 10) 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>
- 11) 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>
- 12) 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
- 13) 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>
- 14) 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/dai_kibokouikigouu_ss1.pdf

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。
- 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、降雨量や流量の増加に伴う氾濫等の防止・軽減対策と、被災する可能性のある人口や資産を減少させ、被災した場合の強靱性を向上させる対策を一体的に実施していかなければならない。さらに、災害が発生した際には、その被害を最小化に食い止め、速やかな被害の把握と応急対策に努め、復旧だけではなく、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、社会を構成するあらゆる主体が連携して、
 - ・ 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。
- 治水対策については、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務める必要がある。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（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）RCP8.5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（最も温暖化を抑えた）RCP2.6では、0.3～1.7℃、それぞれ上昇すると予測されている¹⁵⁾。
- 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¹⁵⁾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¹⁶⁾」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¹⁷⁾。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¹⁸⁾。

15) United Nations : Report of Conference of Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, 2015

16) 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

17) 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

18) UNEP : Emissions Gap Report 2018, 2018

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) ¹⁹⁾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りつつある。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℃上昇相当)、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 (4℃上昇相当)) 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 ²⁰⁾」として整備、公表された。
- 平成 28 年には、RCP8.5 (4℃上昇相当) 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 d4PDF²¹⁾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 ²²⁾」により整備、公表された。
- 平成 29 年には、RCP8.5 (4℃上昇相当) を前提として解像度 5 km で計算されたデータが、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 ²³⁾」として気象庁より公表された。さらに、RCP8.5 (4℃上昇相当) を前提として、解像度 2 km で計算されたデータ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。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 ²⁴⁾」において、RCP2.6 (2℃上昇相当) を前提として、解像度 2 km の予測データが作成されている。
- 平成 30 年には、RCP8.5 における近未来の気候 (2℃上昇相当) 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 ²⁵⁾」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) (4℃上昇相当) 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」や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) ²⁶⁾」において北海道大学

が、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を「SI-CAT」において海洋研究開発機構が整備している。

- 現在、d2PDF(20km,SI-CAT)をもとに、解像度 5 km へのダウンスケーリング計算（以下、「d2PDF(5 km)」とする）が行われており、今後公表される予定である。
- 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
SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラム 【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)

※ 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 以下となっている。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²⁷⁾。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²⁸⁾。しかし、今回は、アンサンブル計算を行った d4PDF 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) では、現在気候について 3000 年分 (50 摂動×60 年 (1951～2011 年))、将来気候について 5400 年分 (6 海面水温パターン (以下、SST パターン) ×15 摂動×60 年 (2051～2111 年)) 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て評価を行った。2 つのモデルは、将来実験についてそれぞれ 360 年分 (6 SST パターン×2 摂動×30 年) と 5400 年分 (6 SST パターン×15 摂動×60 年) で計算されており、極端現象を検証するのに必要な計算データ数は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。なお、NHRCM02 は、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、今回の検討対象データとしては活用しない。
- 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降雨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現況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、治水計画等に反映するための全国レベルでの定量的な評価には降雨量の変化倍率を用いる。

- 降雨量変化倍率については、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する。将来の降雨の算定にあたっては、現在までに観測された降雨にこの変化倍率を乗ずることにより算出することができる。
- ただし、災害を引き起こすような降雨は台風や前線、局所豪雨等の気象要因ごとの変化については評価を行ったものの、それを治水計画に反映するための定量的な評価についてはモデル地域での試行的な検討にとどまっている。また、降雨の時空間分布の検討については、降雨継続時間や本川と支川との時間差、同時生起性についてモデル的な検討を行ったものの、全国的に影響を評価できていない。
- 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。
- 今回の検討は全国で汎用可能な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、過去の降雨量に乗ずることによって将来の降雨量とすることを基本とする。
- 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ごと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)。ただし、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 5 km 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、本提言での評価からは除外している。また、本検討では概ね 400km² 以下の雨域面積に関して十分な評価を行っていない。

- 降雨量変化倍率は、d4PDF(5 km,SI-CAT)及び d4PDF(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（2℃上昇相当）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おらず、また、d2PDF(5 km)についてもまだ公表されていない。そのため今回は、NHRCM20 を用いた RCP8.5（4℃上昇相当）と RCP2.6（2℃上昇相当）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て換算することとした。

（降雨量変化倍率）（詳細は別紙 3）

- RCP8.5（4℃上昇相当）について、雨域面積 400km² 以上、降雨継続時間 12 時間以上の試算結果は、全国的に 1.0～1.5 倍の幅にあり、平均すると、1.25 倍となっている。しかし、北海道と九州北西部は高く、いずれの SST パターンにおける実験結果においても 1.25 倍を上回っている。
- これは、一般的に緯度が高くなるにつれて気温の上昇率が大きいため、北海道における飽和水蒸気圧の上昇率が大きくなることや、いずれの SST パターンにおいても海面水温の上昇が北海道や九州北西部の周辺で大きくなっていることによるものと推察される。
- また、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も、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²⁹⁾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いることから、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流用することも可能である。
- 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、RCP2.6（2℃上昇相当）における変化倍率は、RCP8.5（4℃上昇相当）から換算した値を暫定的に設定したものであることに留意が必要である。

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12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
	その他の地域	1.2	1.3
2℃上昇 (RCP2.6) (暫定値)		1.1	1.1
	北海道、九州北西部	1.15	1.15
	その他の地域	1.1	1.1

※ 降雨量変化倍率は、おおむね 20 世紀末に対する 21 世紀末の状態を表す。なお、2℃上昇相当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 年ごろの目標としての活用が可能。

※ 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。

※ 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。

(現在や近未来の気候変動影響) (詳細は別紙 3)

- 現時点においても既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考慮することも考えられる。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 (3 地域)	1.1 倍の場合 (12 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℃上昇相当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 (RCP8.5)	1.3倍	約1.4倍	約4倍
2℃上昇 (RCP2.6) (暫定値)	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²⁹⁾ほか、試行的な検討を行ったが、全国の治水計画に反映させられるような評価は現時点で行うことは困難であり、今後更なる手法の開発が必要である。

(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²⁹⁾、RCP8.5（4℃上昇相当）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。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おらず、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）

- 気候変動予測は現時点ではその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。
- アンサンブル計算された気候変動予測データを活用して、流域単位で降雨や流出の解析を行うことによって、降雨継続時間の変化の評価や、降雨分布をクラスター分析により類型化してその頻度分布の変化などについて評価、本川と支川の同時生起性の評価なども考えられる。
- 本検討会ではモデル河川において試行的にこれらの評価を行ったが、大きな変化は見られなかった。今後、現在の治水計画手法へ直接反映させるためには、様々な影響分析と気候変動予測モデルの精度向上の努力が必要である。当面、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も考えられる。

（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長や高潮・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。

-
- 19) DIAS : データ統合・解析システム (Data Integration and Analysis System)
<https://diasjp.net/>
 - 20) 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
 - 21) 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>
 - 22) 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/>
 - 23) 気象庁 : 地球温暖化予測情報 第9巻, 2017
 - 24) <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>
 - 25) 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>
 - 26) 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
 - 27) 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
 - 28) 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
 - 29) 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
 - 30) 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

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、RCP2.6（2℃上昇相当）における平均的な外力の値を基本とすべきである。ただし、RCP2.6（2℃上昇相当）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、RCP8.5（4℃上昇相当）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。
- なお、本検討における RCP2.6（2℃上昇相当）の降雨量変化倍率は換算値であるため、その精度に課題を有するものの、河川整備計画の目標や整備メニューの検討を行うにあたって、現在の計画に用いている降雨量にこの降雨量変化倍率を乗じて流量を算出することは問題ないと考えられる。しかし、d2PDF(5 km)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、この結果を踏まえて改めて年度内を目途に設定することとする。

- RCP8.5（4℃上昇相当）等は、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ことを考慮する必要がある。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) 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ことが望ましい。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、ダム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、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のピーク流量を設定すべきである。

(2) 河川整備計画の見直し

(2-1) 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としている。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。
- このため、その豪雨に相当する年超過確率の治水安全度を、河川整備計画の完成目標とする年度においても確保することを目標とする。なお、整備の目標としていた期間で治水安全度を確保するためには、河川整備を加速させることが必要である。

- 現在の河川整備はこの河川整備計画に基づき行われていることから、まずは、計画的に河川整備計画を気候変動の影響も考慮した計画に見直す必要がある。

(2-2) 河川整備メニュー等の見直し

- 河川整備計画の見直しにおいて河川整備メニューの検討を行うにあたっては、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、現行の施設能力を上回る洪水や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、目標を上回る洪水に対しても減災効果の高い対策を講じることにより、地域の水災害リスクをさらに低減することが重要である。
- これらの検討においては、河川整備基本方針や河川整備計画において目標とする洪水波形に加え、過去に発生した代表的な洪水波形等も活用して、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。
- また、平成30年7月豪雨で発生した土砂・洪水氾濫や本支川合流部でのバックウォーター、内水と外水や高潮と洪水の同時生起など、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、効果的な対策を実施することが重要である。

(3) あわせて実施すべき事項

(3-1) 減災効果の高い危機管理対策

- 計画的な河川整備の見直しとあわせて、施設能力を上回る洪水が発生することを想定した、危機管理対策の充実も重要である。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。

(3-2) 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っておくのか、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℃上昇相当に対応可能なRCP2.6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℃上昇相当）にも備えた設計の工夫を行うことによって、気候変動により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。

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。
- 具体的には、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。

(気候変動による外力の評価)

- ・ 気候変動予測モデルの現況再現性や予測精度の向上
- ・ 小流域（400km²以下）及び短時間降雨の影響評価
- ・ 平均海面の上昇量や高潮・高波への影響の把握
- ・ 2℃上昇相当時等における、降雨量変化倍率の精査
- ・ 各地域における豪雨の気象要因の変化
- ・ 降雨の時空間分布の変化
- ・ 土砂や流木の流出量等の変化
- ・ 島しょ部における降雨変化に関する評価手法の開発
- ・ 高潮と洪水等、複合的な要因による災害の生起確率の変化

(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。

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。

国民の安全・安心を担う国土交通省には、今回の経験も踏まえ、水災害に関する研究や対策の強化を進めるために、様々な分野との連携を強化して、防災のみならず、気候変動に関する様々な分野でもこれまで以上にその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べきである。

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 研究総務官
- 池内 幸司 東京大学大学院工学系研究科 教授
- 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
- 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 研究総務官
- 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 教授
- 平林 由希子 芝浦工業大学 工学部土木工学科 教授
- 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）