

特集：気候変動適応研究本部における5年間の取組み

気候変動が治水施策に与える影響のマクロ評価

服部 敦・板垣 修・土屋修一・加藤拓磨

1. はじめに

地球温暖化に伴う豪雨の増大は、これまで積み上げてきた安全性を引き下げる方向に働く。また、我が国は、目標とした治水安全度の確保に向けた河川整備の途上にある。このような条件下で治水安全度をできるだけ早急に引き上げていくためには、必ずしも従前の治水施策の枠にとらわれずに、施策メニューを拡充していくことも重要である¹⁾。

あわせて、気候変化に対する適応策の検討は、既往の治水計画とは質的に異なることを踏まえる必要がある。治水計画の対象として取り込む出水規模は、過去の降雨・流量観測値に基づく生起頻度を踏まえて、甚大な災害をもたらした既往の大規模出水の規模も勘案するなど「実態」に即して検討される。それに対して適応策においては、気候変動モデルによる「予測」を主軸に据えての検討とならざるを得ない。加えて、将来気候下の豪雨の予測は、長足の進歩を遂げていると思われるが、さらなる信頼性向上の途上であり、予測結果にある一定の幅や変化が認められる²⁾。したがって、施策の検討上、無視し得ない不確実性を有する外力規模に対して、治水・減災施策を検討する考え方を早急に詰めることが重要である³⁾。

そうした考え方をさらに深めて施策に反映できるまでかみ砕き具体化するひとつのアプローチとして、将来予測に伴う不確実性がどの程度、治水施策に影響を及ぼすか、定量的に評価することが有効と考えられる。

本報告では、気候変動の影響を吸収し所定の治水安全度を将来にわたって確保するという設定の下、その実現の難易度を概括的に表しうる指標を設定し、将来予測の不確実性が治水施策に及ぼす影響について定量的に考察を加えたものである。指標値の算定にあたっては、複数の気候モデルによる将来予測結果を用いており、年最大雨量の予測値の変化が上記指標に及ぼす影響を感度分析的に評価している。

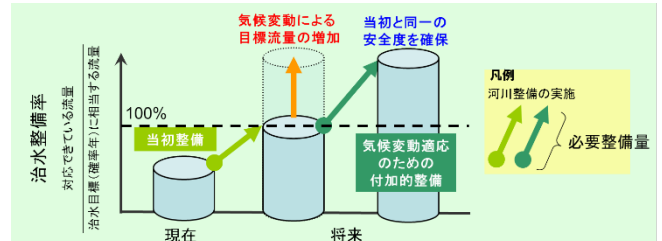


図-1 気候変動下における河川整備目標の概念図

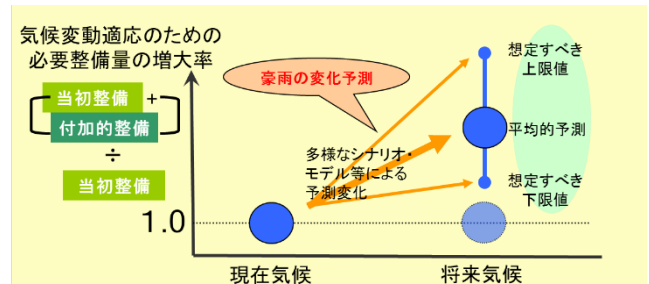


図-2 河川整備必要量比を用いた気候変動の影響把握

2. マクロ評価の基本的考え方と評価指標

2.1 治水施策への影響把握の基本的考え方

我が国においては、河川整備が未だ途上であり、目標とした治水安全度の確保に向けて整備を完遂させるには過去の進捗状況から見て数十年以上を要すると推定される。この間に地球温暖化が顕在化して降雨量が増加すれば、当初と同一の目標到達までの時間が有意に延びる可能性が出てくる。すなわち、図-1に模式的に示すように、現在気候下で「当初整備」によって治水整備率が100%に到達するものの、気候変動の影響によって現在と同一の整備目標（確率規模）に対応する降雨量が増加し、これに応じて目標流量も増大するため、これを吸収するための「付加的整備」を実施する必要性が生じるためである。

そこで、本検討においては、図-2に示すように「一定の年数の後に河川整備により到達するはずであった治水安全度を、気候変動の下で降雨に関する極端現象が顕著になった状況においても獲得するための付加的な整備必要量」を算出し、「当初、設定されていた整備必要量からの増大率」と定義される河川整備必要量比を共通指標として、河川整備（河道の流下能力向上、洪水調節施設の整備、それら維

持管理など) に対する気候変動の影響を把握することとする。これは、図-1 の降雨量増大→適応拡充という構図を定式化する上で、河川整備の考え方は手順が明確であり全国一律に適用するのに適している上、ハード施策の代表格である河川整備を切り口としてソフト施策も合わせた総合的な適応の重要性和その実施の困難度を改めて吟味することを意図したためである。したがって、適応策全てをハード対策によって行うことを前提としたものではないことに留意されたい。

2.2 河川整備必要量の算定法

河川整備基本方針に示されている計画規模に相当する洪水を現況の整備途上の河道に流下させると、図-3に示すように最高水位 H_p が計画高水位 H_{HWL} を上回る区間が生じる。本研究では、その区間が長大であり、かつその区間の川幅が広いほど、さらに計画高水位を上回った水深が大きいほど、今後必要な整備規模が増大すると単純化して取り扱うこととした。そこで整備規模の大きさを表す指標として図-3の水色部分の水量 V を用いることとし、以降 V を整備必要量と呼び、式(1)により算定する。

$$V = \int_0^L B \cdot f(H_p - H_{HWL}) dx \quad \text{式(1)}$$

ここで、 B は水位 $H_p \sim H_{HWL}$ 間の平均川幅、 z を変数とする関数 $f(z)$ は、 $z > 0$ の場合 $f(z) = z$ 、 $z \leq 0$ の場合 $f(z) = 0$ を与える。 H_p 、 H_{HWL} 、 B はいずれも河口からの距離 x の関数であり、国管理区間の河川総延長 L に渡って定義される。

現在気候下および将来気候下における河川整備必要量 V_p 、 V_f は、それぞれ当初の整備規模とそれに気候変動の影響を吸収する拡充分を加えた整備規模に対応すると考え、これらの比 V_f/V_p を「整備必要量比」と設定した。

3. 将来の年最大雨量の倍率

現在(1979～2003年)および将来(2075～2099年)の降雨量データとして、気象研究所で開発された気候予測モデルである前期・後期 GCM20(20kmメッシュの全球気候モデル)及び前期・後期 RCM5(5kmメッシュの領域気候モデル)による温暖化予測実験結果を用いた²⁾。本結果から継続時間 24、48、72 時間等の年最大雨量を抽出し、雨量倍率を推定した。

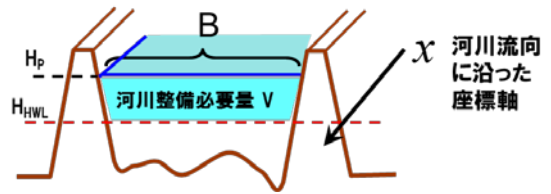


図-3 河川整備必要量の定義

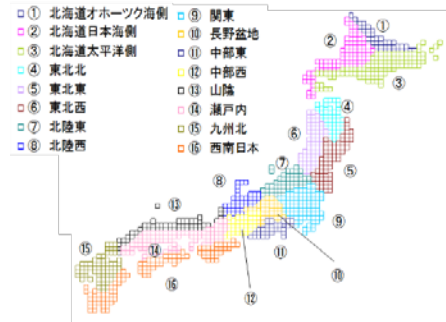


図-4 地域分割 (16分割)

ここで、雨量倍率 a は、河川整備基本方針での計画対象とする雨量 r について、現在気候下 r_p に対する将来気候下 r_f の比 ($a = r_f / r_p$) として、図-4に示すように日本全国を 16 地域に分割して算定した (算定手法の詳細は参考文献 4) を参照)。

各気候予測モデルに対して年最大日雨量の変化倍率 a の中央値と 95%信頼区間の幅を算定した結果を図-5に示す。中央値に着目すると、気候予測モデルにより a の地域分布が異なっている。モデル間の a の幅は、例えば後期 GCM20 の⑬地域では 0.1 程度に対して、⑩地域では 0.4 程度となるなど、地域間で大きな差が見られる。95%信頼区間の幅については、RCM5 が GCM20 に比べて小さくなっているが、これは地域内計算格子点数が GCM20 の 16 倍あることにより有効データ数が大きくなったためと考えられる。

4. 最大流量・整備必要量・超過確率の倍率

4.1 各倍率の試算方法

実務で用いているのと同様の算定手法により、河川整備基本方針の計画規模に対応する時間雨量分布 rp から最大流量 Qp を算定した。同様に $a \cdot rp$ として求めた将来気候下における降雨量 rf を与えて流量 Qf を算定し、流量倍率 (Qf/Qp) を得た。なお、図-5には年最大日雨量に対する a を示したが、上記の算定にあたっては、現行の河川整備基本方針における検討対象降雨の継続時間 (24、48、72 時間等) に対応した a 値を用いた。

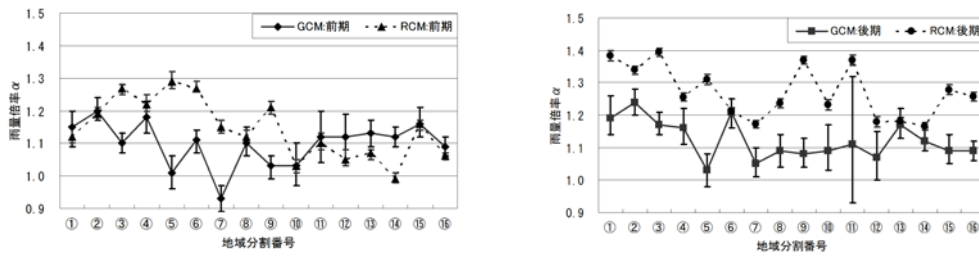


図-5 各気候予測モデルによる雨量倍率(将来)

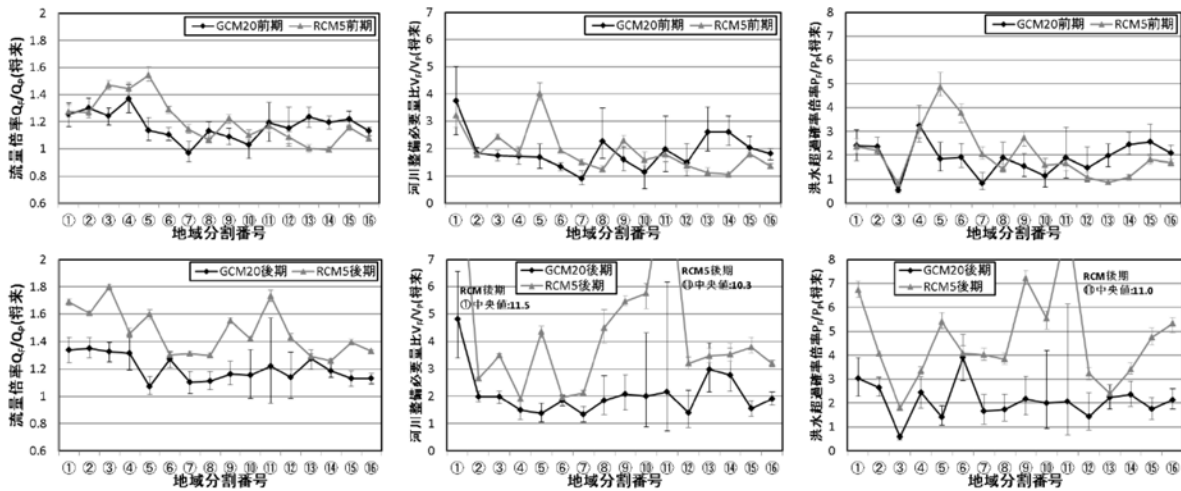


図-6 各気候予測モデルによる Q_F/Q_P 、 V_F/V_P 、 P_F/P_P の地域別平均値(将来)

河川整備必要量 V は、現況河道の水位・流量関係式 ($H \sim Q$ 式) に上記で得た Q_P 、 Q_F を代入して最高水位の縦断分布を求め、これを式(1)の H_P として与えることで算定した。

また、将来気候下における各水系の基準地点流量の生起確率分布を算定し、この分布から現行の河川整備基本方針規模相当の流量の超過確率 P_F を求めた。この値と現行の計画規模 P_P との比として、超過確率の倍率 (P_F/P_P) を得た。この値は、現在気候下で整備方針を完遂した時点で得られる治水安全度の気候変化の影響による低下の大きさを表す。見方を変えれば、完遂後の氾濫発生に繋がる危険度の増大率を表すと考えて、この指標を氾濫危険性増大率として取り扱うこととする。

4.2 将来気候に対する倍率試算の結果

将来気候下における雨量倍率 α の中央値および上下限值に対して、 Q_F/Q_P 、 V_F/V_P 、 P_F/P_P について水系ごとに算定した。これら値について各地域別にそこに含まれる全水系の単純平均値を算定した結果を図-6に示す。 Q_F/Q_P 、 P_F/P_P は、大局的には α の地域分布に対応して値が変化する傾向が認められる。これと同様の傾向が V_F/V_P にも認められるが明瞭ではない。この原因は、 V_F は雨量倍率に応じて単調

に増加するものの、 V_P は $H_P - H_{HWL}$ の大きさが現況における整備状況 (目標水準に対する整備達成の度合い) に応じて水系ごとに異なるためである³⁾。

α の中央値および上下限值に対して、 Q_F/Q_P 、 V_F/V_P 、 P_F/P_P の全水系単純平均値を算定した結果を図-7に示す。大局的には α の変化に対する応答が Q_F/Q_P 、 V_F/V_P 、 P_F/P_P の順に大きくなること、すなわち施策に近い指標になるほど豪雨増大に対する応答の鋭敏度が増すことがわかる。このことは、予測の信頼性の幅も同様に当てはまる。

また、図-7に示される α の上下限值から算定した信頼幅 (95%信頼区間の幅) からは、河川整備必要量比は気候変動適応の困難度にある程度対応する指標であることを踏まえると、極端現象予測結果のわずかなズレが、適応施策の困難度を大きく変えうる状況を示すものと言える。

各気候予測モデルの中央値に着目すると、平均的には α の基準値1からの増分0.16に対して、 Q_F/Q_P の増分は0.24と約1.5倍程度の増加、その影響を吸収するための V_F/V_P の増分は約1.53と約10倍、また P_F/P_P の増分では約1.9と12倍程度の大きさとなった。 α の変化に対する応答が施策に近い指標になるほど鋭敏に現れることには、我が国の治水水準の歴

史的向上の経緯（河川整備を相当に進捗させてきた一方で、依然大きなリスクを抱えている）が密接に関係している⁵⁾。

したがって、図-7に示した特性からは、治水施策への影響度が全体としては大きく、同時に相当大的な幅を持つ予測値に基づき施策検討を行わなくてはならない状況に、少なくとも現時点においては直面していると言えそうである。

5. まとめ

日本の一級水系に関する全般的な傾向として、豪雨量増大の影響が治水施策に関わる指標に増幅して現れる特性が認められた。この増幅特性は、豪雨量予測の信頼幅の伝播についても同様に認められる。したがって、日本の治水施策への地球温暖化影響について、1)影響度が全体としては相当に大きい、2)影響度予測の信頼性の幅についても相当大的な幅を想定せざるを得ないことが本研究の試算を通じて改めて明確になってきたと言える。

治水施策を計画・実践する立場からは、モデル予測の信頼性を向上させ、 α の推定幅を小さくすることは、予測更新の度に数字が変わることがあっても施策が大きく影響されにくい状況に繋がるため、好ましいことである。地球温暖化に伴う極端事象の将来予測の信頼性のさらなる向上を期待したい。

その一方、地球温暖化の影響度が相当大的いことを鑑みて、モデル予測の向上を待たず、それと並行して気候変動の影響を見越した治水等の施策の取り組み方に関する議論を本格化させることも求められる。その際、議論の基盤情報である整備労力規模の将来像に無視し得ない幅があることを前提として、その対処の考え方を具体化することが重要である。

理念としては今までも議論されてきた内容を持っており、気象変化の具体的な予測値を踏まえ、今後、実態に即した検討を着実に進めていくことが

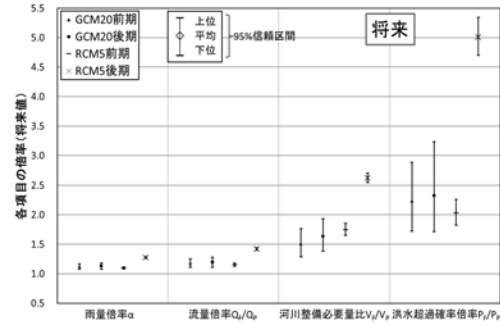


図-7 α の中央値および上下限値に対する Q_F/Q_P 、 V_F/V_P 、 P_F/P_P の全水系単純平均値（将来）

肝要である⁵⁾。本研究の成果は、このことを検討するのに有用な情報を提供するものと思われる。

謝 辞

本研究は文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」による温暖化予測実験データを用いた。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会河川分科会：水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）、
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf, 2008
- 2) 21世紀気候変動予測革新プログラム：
<http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/jp/reports.html>
- 3) 国土交通省：洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン、
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/climate.html, 2010
- 4) 柏井条介、土屋修一、石神孝之：気候変動による豪雨時の降雨量変化予測、国土技術政策総合研究所資料、第462号、2008
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0462.htm>
- 5) 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）、国土技術政策総合研究所資料、第749号、第II部、pp. II-1~II-265、2013
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0749.htm>

服部 敦



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長、博士(工学)
Dr. Atsushi Hattori

板垣 修



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室主任研究官
Osamu Itagaki

土屋修一



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室 研究官、博士(工学)
Dr. Syuichi Tsuchiya

加藤拓磨



(一財)国土技術研究センター河川政策グループ 研究員、博士(工学)(前 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室研究官)
Dr. Takuma Kato