

地球温暖化に対する治水分野での適応検討

柏井条介*

1. はじめに

地球温暖化問題では、温室効果ガスの排出抑制（ミティゲーション：緩和）が話題になることが多いが、既に排出され、大気中に蓄積された温室効果ガスは容易には取り除くことができない。また、排出抑制が功を奏したとしても、排出量がゼロになる訳ではなく、当面はガス濃度の上昇を避けることができない。したがって、排出抑制とともに、既に生じ、将来生じるであろう地球温暖化に対応するための対策（アダプテーション：適応）が重要であり、特に近未来での対応は、これを欠くことはできない。

適応策について、治水分野に関しては、昨年8月、国土交通省社会資本整備審議会の河川分科会に「気候変動に適応した治水対策検討小委員会（以下、小委員会とする）」が設置され、その方向性が検討されている（本資料が出版される頃には最終答申が示されていることと思う）。本報告では、適応策検討の基本情報を提供するために国総研河川研究部気候変動対応チームが実施してきた将来の極端降雨量変化の推定方法について、成果の概略をとりまとめる。併せて、適応策検討の方向性について、小委員会の検討経緯を踏まえつつ考察する。後者は、小委員会の答申を受けた、今後の具体的な対応に関連するものである。

2. 温暖化による日本の極端降雨の変化¹⁾

2.1 推定のためのデータ

温暖化に伴う降雨量変化を推定する方法として、例えば、過去の気象データから気温と降雨量の関係を求め、将来の気温変化に対しこの関係を外挿して用いる方法が考えられるが、降雨量が本来持っている変動、つまり気温変化がない状態での降雨量の変動は大きく、観測データの蓄積年数や過去の気温変化量を勘案すると、気温と降雨量の関係の抽出には、かなりの困難が伴うことが予想される。ここでは、気候モデルによるシミュレーション結果を用いる方

法について検討を行うものとする。

2.2 気候モデルの極端降雨の再現性

気候モデルによるシミュレーション結果を用いる場合にも、多くの問題がある。

最も根源的な問題は、気候モデルの精度の問題である。例えば、IPCCではいくつかの気候変動モデルの計算結果が示されているが、これらモデルの計算格子間隔は110～400Kmであり、わが国の治水計画が対象とする豪雨の水平スケールと同程度以上の大きなものである。こうした大きな格子間隔でわが国の豪雨を再現することはできない。

格子間隔の問題に対し、気象研究所では約20Kmメッシュの計算を実施しており、更に小さい間隔での計算も計画されている。20Kmメッシュの計算においても、平均的な降雨量に対する標準偏差が相対的に小さくなる、つまり年最大降雨量といった極端降雨量が平均値に対し相対的に小さくなる傾向がみられるなど、十分な再現精度とはいえない部分もあるが、例えば全球モデルで得られている年最大日降雨量の平均値は、同時期の実測値の7割程度の値になっているなど、ある程度の再現はなされるようになっている。

筆者は気候モデルの専門家ではないので、モデルの精度については、ここではこれ以上言及しない。現状でも将来変化を推定し得る程度に再現はなされるようになっており、今後、更なる精度向上が期待できるという認識のもと以降の議論を進める。

2.3 気候モデルを用いた推定における課題

気候モデルが十分な精度を持っているとしても、現況の20Kmメッシュの計算結果は、初期条件が1条件であり、アンサンブル計算がなされていないという問題がある。つまり、降雨量が本来持つ変動の大きさに対し、計算ケースが不足しているという問題である。降雨のバックグラウンド条件である気候が変化しているので、アンサンブル計算がなされていないということは、例えば同じ気候条件での年最大降雨量のデータは1つしかないことになり、降雨の確率年の検討が不可能になる。

このことに関し、最近アンサンブル計算の検討が

Adaptation to global warming in the areas of flood prevention and control

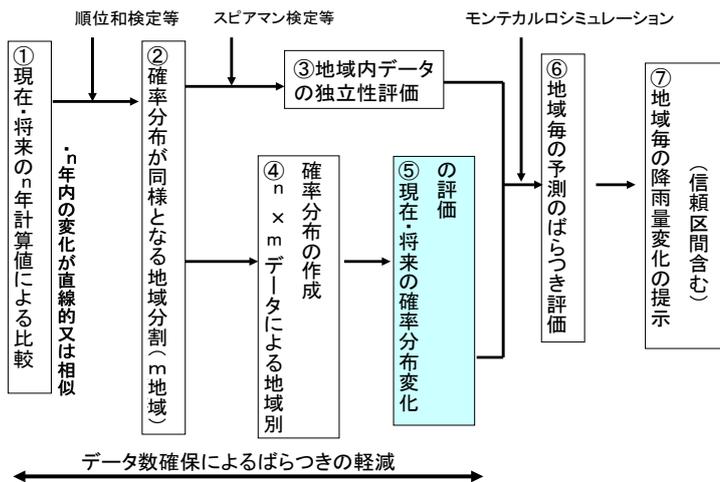


図-1 気候変動モデル計算結果を用いた将来の極端降雨量変化の推定手順

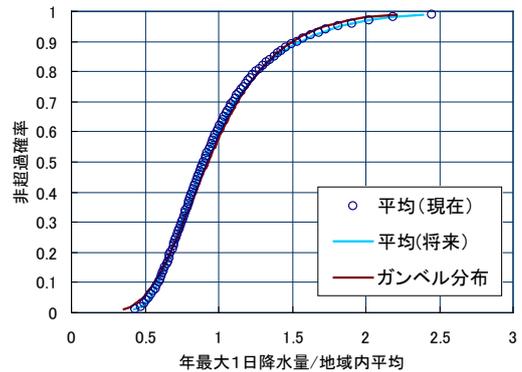


図-2 確率分布の現在と将来の比較例 (16地域平均)

なされているが、計算機能力の問題があり、ケース数の大幅な増加は容易には望めないようである。母集団の降雨確率分布をガンベル分布としたモンテカルロ法による試算によれば、出現データを用いて得られる確率分布のばらつきは、データ数が小さいほど、また、非超過確率が大きい領域ほど大きくなる傾向がある。河川計画が対象とする非超過確率の大きい領域での確率分布のばらつきを、例えば±5%程度以下に抑えようとする、条件にもより一概にはいえないが、数千～数万以上のデータ数が必要になる。こうした数のアンサンブル計算は非現実的なのが現状である。そこで、アンサンブル計算に頼らず現在と将来の確率分布を推定・比較する近似的な方法が必要になる。近似的な方法として、ある範囲の時間、空間的に分布するデータを互いに独立した同種のデータとして扱い、確率分布推定のためのデータ数を確保する方法を考えており、次節にその内容を概説する。

なお、計算ケースの不足という点では、温室効果ガスの排出シナリオについても限られているが、今後蓄積されることが期待されている。

2.4 将来の極端降雨の推定手順

図-1に、データ数を確保することを念頭に作成した将来の極端降雨量変化の推定手順を示す。図は、年最大降雨量を対象にしたもので、計算された現在及び将来の連続したn年のデータ、及び確率分布が同様と検定される地域内のm個の格子点のデータについて、これらを互いに独立したデータとみなし、n × m個の全データから各地域の現在、将来の確率分布を作成することを基本に考えている (図の①、②及

び④)。

現在、将来のn年の連続データには気候変動によるトレンドが含まれている訳であり、上記のデータの取り扱いは、n年間における気候変動による影響が、現在、将来のそれぞれの平均値に対し相似形、又は線形で含まれることを仮定したことを意味している。また、地域内データの独立性については必ずしも確保されないので、推定値のばらつきに対して、独立性が得られない場合の影響を評価するものとしている。これについては、後に述べる。

ここで、例えば20Kmメッシュの計算の日本国土上の格子点は1000点程度である。また、nとして20年程度を考えると、全国の全データで2万データ程度である。確率分布のばらつきの十分な低減を考えると、全国のデータ数程度が必要になる。地域分割については、今後更に検討が必要な部分も多いが、地域内の確率分布が同様になるためには10以上の分割が必要なようである。この場合、地域内のn × mのデータ数で確率分布の変化を特定することが難しくなる。

そこで、地域ごとの確率分布は異なるが、例えば非超過確率の大きい領域で将来値が大きくなるといった将来の確率分布の変化傾向に対する地域差は小さいと仮定し、地域毎に得られた確率分布 (地域内平均値で除して無次元化) の平均値について現在と将来を比較した例が図-2である (⑤)。図は、全球モデルの年最大1日降雨量について整理したもので、分割地域数は16である。図より、現在、将来の分布はほぼ一致し、ガンベル分布とも比較的よい一致をみていることが分かる。現在と将来の確率分布が一

致することは、同じ非超過確率の将来と現在の比が、将来と現在の平均値の比により表されることを表している。同様の結果は、年最大の2日、3日降雨量についても、また、気象研究所で実施されている他の20Kmメッシュモデルの計算結果についても得られており、1日以上時間スケールの降雨量については、概ね成立するものと考えている。

将来の降雨量が将来と現在の平均値の比で表されるものとして、この平均値の比もばらつきをもち、その評価が必要である。ここでは、各地域の現在、将来の平均的な確率分布を母集団と仮定し、対応するデータ数で算定される平均値の比のばらつきとしてモンテカルロシミュレーションにより求めることを考えている。その際、地域内の格子間の関係のうち、独立でないとして検定される関係割合に相当するデータ数の低減を m に考慮するものとしている(③、⑥及び⑦)。

こうして得られる、将来(21世紀末)の年最大1日降雨量は、例えば、全球モデルのA1B排出シナリオ(IPCCの排出シナリオで中位の排出量を与えるもので、第4次報告では現実性のある推奨シナリオとされている)では、50パーセンタイル値で現状から4~32%、97.5パーセンタイル値で7~37パーセント程度の増加となっている(幅は地域による)。

3. 適応策案検討の方向性

3.1 降雨量増加の影響と治水対策の転換

2章で述べた降雨量の増加がどの程度の河川流量の変化につながり、洪水の発生頻度にどのような変化を与えるかについては、前述した小委員会でも検討がなされている²⁾。すなわち、流域の流出形態が変わらないものとするれば、河川流量は降雨量の比率よりやや大きい比率で増加し、現在の河道計画の対象としている洪水流量の発生頻度は大幅(数倍のオーダーで)に増大するとされている。

こうした、変化に対し、現在の河川整備計画の治水安全度を、現在の施設整備の延長により維持するものとする、非常に長期を有するものとなることが予想され、現実的ではないと考えられている。そこで、氾濫時の減災対策を含む河道区域外での対策と併せて治水計画を検討すべきとの方向付けがなされている。

3.2 適応策としての治水計画策定における課題

上記事項を踏まえ、地球温暖化による降雨量増加

を想定した治水計画策定の主要な課題として次の2点が考えられる。

- 1) 時間とともに変化する降雨量増加の影響の導入方法の確立
- 2) 河川の施設整備と減災を含む河道区域外の対策を代替案として相互に評価する方法の確立

3.3 降雨量増加の影響の導入

変化する条件を計画に盛り込むのは、特に目新しいことではない。寧ろ、計画影響因子の将来変化を無視する方が少ないかもしれない。従って、計画論の枠組としては特に新しいものではないと思うが、治水の適応策検討においては、治水分野の次の特徴に留意する必要がある。

- 1) 将来予測の不確実性が大きい。また、時間経過に伴い変化割合が大きくなる可能性がある。
- 2) 計画実現のための期間が比較的長く、方針の変更に伴う損失が大きい。
- 3) 現状の整備水準において目標は達成されておらず、かつ、目標に外力条件の変化は想定されてこなかった。

1)、2)の関係からは、通常の計画と比較して、例えば100年といった、より長期の変化を念頭に入れたシナリオ別の政策オプションを用意し、かつ、十~数十年単位でオプション及びその選択の見直しを行うといったフレキシブルな対応が必要になるものと思われる。これについては、海面上昇の程度に応じた政策オプションを用意しようとしているテムズ2100の検討方針が参考になるように思う³⁾。また、3)に関し、整備途上にて外力の増加を想定しなければならぬことから、例えば、実施中の事業の方針転換が想定される場合には、方針転換による損失に配慮した評価を行う必要があるなど、現在の整備実施との整合を図る必要があろう。

3.4 適応策の評価

3.4.1 対象洪水

対象洪水については、外力が刻々と変化することから、現状の治水事業の費用・便益算定にみられる「計画規模を最大とする⁴⁾」という評価条件を変更する必要がある。最も単純には、温暖化による流量増加分を加味した洪水を最大とする方法が考えられ、防御を前提に、堤防等の洪水防御施設のみを対象に検討する場合には、こうした設定で大きな問題はないであろう。しかし、氾濫時の減災対策を代替案として考慮する場合には、こうした設定の妥当性が保

表-1 治水経済調査で評価される被害（便益）項目⁴⁾

直接被害	間接被害	その他
<ul style="list-style-type: none"> ・家屋被害 ・家庭用品被害 ・事業所償却・在庫資産被害 ・農漁家償却・在庫資産被害 ・公共土木施設等被害 	<ul style="list-style-type: none"> ・営業停止損失 ・家庭における応急対策費用 ・事業所における応急対策費用 	<ul style="list-style-type: none"> ・家庭における平時の活動阻害 ・国・地方公共団体における応急対策費用 ・交通途絶による波及被害 ・ライフライン切断による波及被害 ・被災事業所の営業停止による周辺事業所への波及被害 ・人命等の人的被害 ・地下街の被害 ・リスクプレミアム ・高度化便益

証される必然性はない。治水安全度の概念に基づく計画流量は、基本的にはそのレベルの洪水までの被災を無くすことが前提になっている。一方、減災対策は、主としてこれを超える洪水に効果を発揮するものであり、洪水防御施設とそれ以外の対策を平等に評価する条件設定を考える必要がある。

筆者は、これ以上規模が大きくなっても被害に変化がなくなるような最大規模の洪水までを対象とすることを視野に入れる必要があるように考えている。この場合、温暖化の影響は、流量に対する生起確率の変化として評価されることになるが、最大洪水規模の設定については、更に検討が必要である。

3.4.2 評価方法

考えられる適応策については、小委員会に多種のものが列記されており、新しい技術開発は余り期待できないように思われる。問題は、これら適応策をどのように組み合わせていくかにあり、適当な政策オプションとするためには、各種組合せを相互比較するための評価方法が必要になる。特に減災対策については、その効果について、情報提供関係など必ずしも明瞭でないものもあるので、対策としての特性を明確にし、評価対象とすべき対策の範囲を設定するとともに、対象とした対策については、その効果を定量化できるよう整理していく必要がある。

具体的評価方法であるが、発生する被害と対策によるその低減効果が評価パラメーターとなる。被害には様々な観点からのアプローチが考えられるが、その主体となる経済的な被害については、先にも述べた治水事業の費用・便益算定で実施されている経済調査⁴⁾を基本に置けばよいであろう。ただし、いくつかの事項について進展を図っていく必要があるように考えている。

表-1は治水経済調査で評価されている被害項目である。このうち、その他被害については、見積もりが難しいことなどから実際に見込まれていない場合が多い。筆者は、氾濫頻度や規模の増大に関連し、

波及や人的被害（経済的被害とすべきかは議論する必要がある）などのその他被害について、積極的に取り入れる、少なくとも直接・間接被害に対する影響度合いについて、パラメーターを変動させた検討などにより把握する必要があると考えている。また、氾濫頻度に関連し、被害の復興過程が与える影響についても検討する必要がある。

算定された被害と対策による低減効果を評価するためには、人的被害や経済被害規模について守るべきレベルの設定が必要になり、治水安全度に代わる概念を導入する必要がある。この部分については、整理できずにいるが、現況の治水安全度の概念をある程度取り入れ、氾濫確率ごとにレベル設定を行うなどの対応が想定される。

4. おわりに

地球温暖化による極端降雨量変化の推定方法、及び適応策案検討の方向性について述べた。前者については、引き続き異なる条件での気候モデルの計算結果が出される予定であり、その都度検討対応する予定である。後者については、現在、検討を開始したばかりであり、現時点での私見を述べる結果となった。読者諸兄のご意見、ご批判をお願いしたい。

参考文献

- 1) 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報告書、国土技術政策総合研究所資料第462号、2008
- 2) http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/080401_shiryo_all.pdf
- 3) David Ramsbottom, Sarah Lavery: The Thames estuary, The environment agency's flood management planning to 2100, Defra conference report, 2007
- 4) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル(案)、2005

柏井条介*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部流域管理研究官
Josuke KASHIWAI