

「洪水に関する気候変化の適応策検討 ガイドライン」について

国土交通省 河川局河川計画課 課長補佐

中村 圭吾

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会

2011 年 8 月

「洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン」について

Outline of “Practical Guidelines on Strategic Climate Change Adaptation Planning –Flood disasters–”

中村 圭吾
Keigo NAKAMURA

※本稿は、「洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン」¹⁾の抄録に一部加筆・修正したものである。

1. はじめに

人間活動に起因する地球温暖化に伴う気候変化は、その予想される影響の大きさと深刻さから見て、人類の生存基盤そのものに影響を与える重要な課題である。その影響は広範囲に及び、大雨の頻度増加、台風の激化、海面水位の上昇等により、洪水等の強度と頻度の増加が懸念されている。

気候変化に関する政府間パネル（IPCC）（以下「IPCC」という。）の第4次評価報告書²⁾では、CO₂等温室効果ガスの削減を中心とした温暖化の「緩和策」には限界があり、「緩和策」を行ったとしても気温の上昇は数世紀続くことから、温暖化に伴う様々な影響への「適応策」を講じていくことが「緩和策」と同様に重要であることが指摘されている。

気候変化に起因する洪水の強度と頻度の増加等は、地球規模の課題であり、地域によって影響の有無や度合は異なるものの、世界共通の課題である。その中でも、特にアジア・大洋州地域には、モンスーンアジアという気候条件や沖積地を生産・生活の基盤としているという土地条件が我が国と類似している地域が多く、このような地域で気候変化への適応を図るためには、国、地方、コミュニティなど様々なレベルにおいて、政策決定者、実務者、市民、企業、科学者等幅広い関係者の理解と適応のための能力向上が重要である。

そこで、国土交通省水管理・国土保全局では、我が国のこれまでの経験、施策、技術を踏まえて、気候変化に起因する洪水の強度と頻度の増加に対する適応策の検討手順の枠組みを示すものとして、アジア・大洋州地域を始めとする都市域の拡大や市街地の高度利用の進展が予測され、沖積地を生産・生活の基盤とし、治水対策が整備途上である国等の河川管理の実務者を主たる対象として Practical Guidelines on Strategic Climate Change Adaptation Planning –Flood disasters–³⁾（日本語版：洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン）を作成した（英文和文ともにウェブサイトに掲載）。

ガイドラインでは、洪水の増大を引き起こす現象として、降水量の増加又は海面水位の上昇を取り扱うものとする。特に、気候変化への適応に際しては、これまでの洪水管理に関するガイドラインとは比重が異なり、降雨等の気象外力を見積もる手法が重要であるため、ガイドラインでは、気象外力の設定に関する部分を充実させた構成としている。

本稿では、本ガイドラインの概要を紹介するとともに、国内の気候変化や大規模水害に対するリスク評価や適応策の検討状況についても簡単に紹介する。

2. ガイドラインの概要

2. 1 ガイドラインの目的

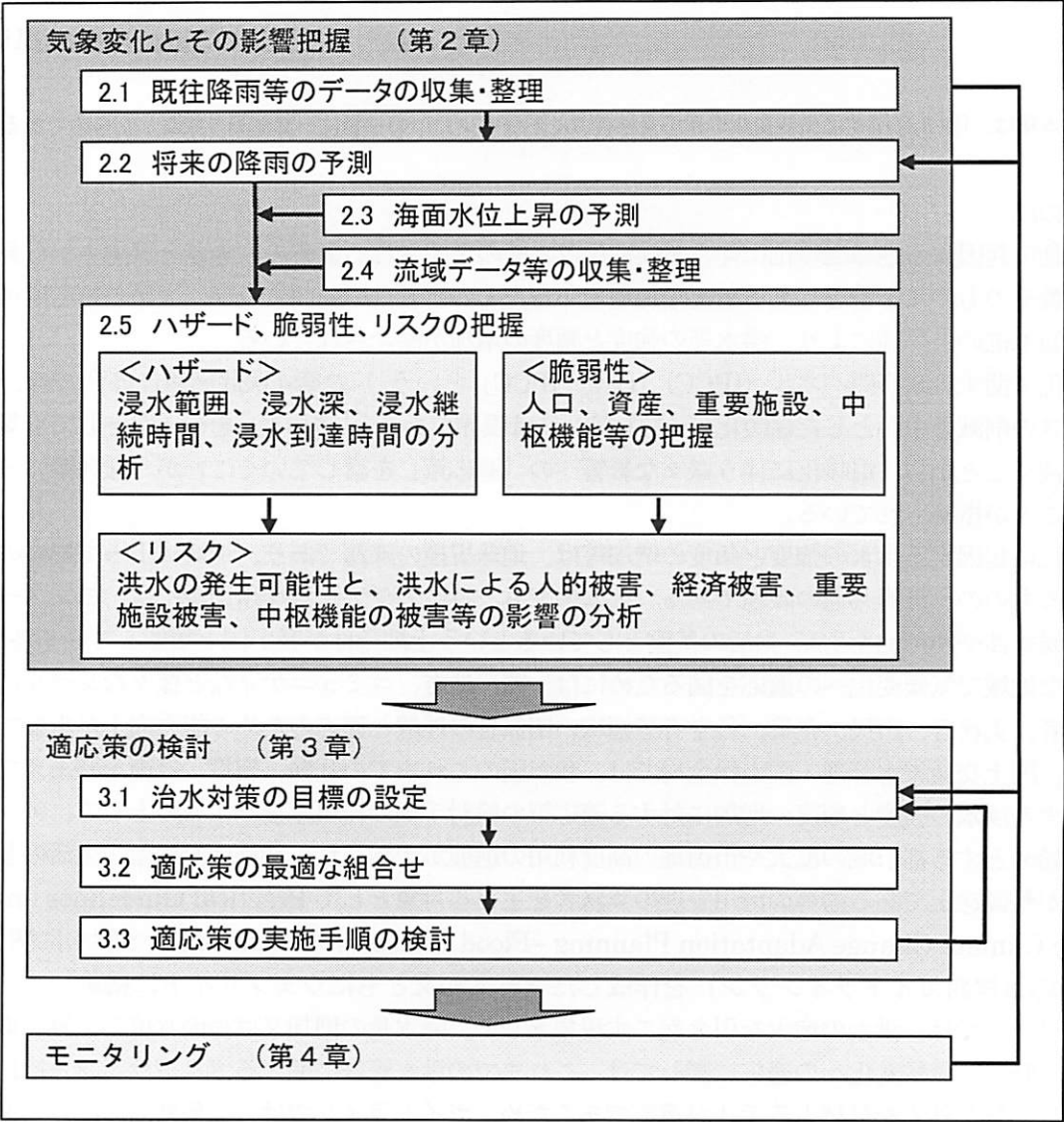
本ガイドラインは、気候変化に起因する洪水（高潮は含まない）の強度と頻度の増加に対する適応策の検討手順の枠組みを示すものであり、アジア・大洋州地域を始めとする社会経済の発展及び人口の増加に伴う

都市域の拡大や市街地の高度利用の進展が予測され、沖積地を生産・生活の基盤とし、治水対策が整備途上である国等を主たる対象とするものである。

2. 2 適応策検討の基本的な考え方

本ガイドラインは、以下の図に示すような流れで検討を行う。

表 2－1 ガイドラインの構成（章番号は、本稿でなく文献1のもの）



2. 2. 1 PDCA サイクルによる順応的な対応

本ガイドラインで示す手法に基づいて策定された適応策は、気候変化状況のモニタリング結果や予測精度の向上に応じて、PDCA サイクルで見直しを実施することにより「順応的に」対応していくことが重要である。

2. 2. 2 適応策の検討対象とする年次

治水対策は長期的な視点をもって検討することが重要であり、気候変化に関する予測が提供されている年

次等を踏まえ、長期的な影響を考慮する対象年次（例えば、100 年後）を設定し、適応策を検討することが必要である。ただし、例えば 100 年後の年次では、温暖化シナリオによって予測結果が大きく変わるため、2. 3 で述べる不確実性の扱いに留意することが必要である。

一方、20～30 年後程度の年次では、3. 2. 2 で述べる温暖化シナリオによる全球平均気温の予測結果の差は小さいことが判明している。このため、長期的な影響を考慮しつつ、当面の間の影響に対する具体的な適応策を検討し、着実に実施するために、20～30 年後程度の適当な対象年次を設定することが現時点では有効と考えられる。

2. 3 不確実性の扱い

気候変化予測に係る不確実性としては、第一に、温暖化シナリオそのものの不確実性があげられる。これは、温暖化シナリオとして複数のケースが設定されていることから明らかである。次に、全球気候モデルを用いた予測にあたっての不確実性があげられる。これは、全球気候モデル間で、予測結果に差異が生じる可能性があることによる。さらに、全球気候モデルによる予測結果をもとに、河川流域スケールの降雨の分布を再現・予測するダウンスケーリングにあたっての不確実性があげられる。これは、ダウンスケーリング手法の違いによって実際の流出解析に用いる降雨の時空間分布の将来予測値に差異が生じることによるものであるが、この不確実性は、全球気候モデル間での不確実性と比べて小さいと考えられている。その他に、氾濫域における脆弱性（人口・資産等）の将来変化予測の不確実性があげられる。

このため、リスクの把握や適応策の検討を行う際には、これらの不確実性が存在することをあらかじめ理解しておく必要がある。

3. 気候変化とその影響の把握

3. 1 既往降雨等のデータの収集・整理

現況の治水安全度や既往の計画の治水安全度、気候変化の有無による差異や変化等について検討するために、長期にわたる均質な品質の降雨データを収集・整理することが重要である。また、これらのデータは、後述する全球気候モデル(GCM)やダウンスケール・バイアス補正による現況の再現計算結果を検証・確認しておくためにも重要である。

3. 2 将来の降雨の予測

3. 2. 1 気象外力の設定

リスクの把握や適応策の検討を行うために使用する降雨は、3. 2. 2 から 3. 2. 4 で述べるように各段階における不確実性に考慮しつつ、将来の社会経済変化を想定した複数の温暖化シナリオのうち、検討するシナリオを適切に設定し、全球気候モデル (GCM) 等の気候モデルによる予測結果から、ダウンスケーリングを行い、雨量統計解析を行うこと等によって、ある幅をもった値として適切に設定する。

3. 2. 2 温暖化シナリオの設定

将来の降雨の予測を行うためには、温暖化のシナリオを適切に設定することが重要である。温暖化のシナリオは、温室効果ガス排出削減に関する世界的な取り組みによって変化することに留意が必要である。温暖化シナリオについては、20～30 年の近未来の予測ではシナリオによる影響が小さく予測結果に大きな差が見られないため、検討するシナリオの数を少なくすることが可能であるが、100 年程度の長期的な予測ではシナリオによって予測結果が大きく変わるため、多くのシナリオで検討を行うことが望ましい。

IPCC 第4次評価報告書では、将来の社会経済変化を考慮して

A1：高成長型社会シナリオ

A1FI：化石エネルギー源を重視

A1T：非化石エネルギー源を重視

A1B：各エネルギー源のバランスを重視

A2：多元化社会シナリオ

B1：持続的発展型社会シナリオ

B2：地域共存型地域シナリオ

が検討に用いられている。

これらのシナリオは、人口、経済活動、技術発展、エネルギーなどの点で、どのような社会となるかを想定し、それに対応して二酸化炭素等の排出量及び気温上昇等を定量的に予測するものであり、これらのシナリオの予測に不確実性が伴うことに留意することが必要である。

ただし、現状においては、全てのシナリオに対して気温上昇や降雨等の気候変化に対する情報が十分に提供されているわけではない。検討に時間や費用を要すること等から、これまで多くの地球温暖化予測実験でA1B、A2、B2シナリオの3種が用いられた。さらにこの中で、A1Bが温暖化影響予測や適応策の検討において多く用いられていることが多い。

3. 2. 3 気候モデルの選定

適応策を検討していく上では、将来降雨の予測を行うことが必要である。その際、全球気候モデル（GCM）が用いられることが多い。全球気候モデル（GCM）は

- ・大気大循環モデル（Atmospheric General Circulation Model：AGCM）
- ・海洋大循環モデル（Ocean General Circulation Model：OGCM）
- ・大気海洋結合気候モデル（Atmospheric Ocean General Circulation Model：AOGCM）

の3種類がある。気候変化に海洋が与える影響が大きいことから、気候変化予測シミュレーションは大気海洋結合気候モデル（AOGCM）により実施されているのが一般的である。

なお、全球気候モデル（GCM）によって出力される気温、降水量などの再現値及び予測値は、空間的に大循環スケール（100～400km）を代表したものである。このスケールでは数km～数10kmスケールの現象である対流性降雨を直接予測することは困難であるため、大規模現象から小規模現象の構造を推定するパラメタリゼーションによる計算が行われる。パラメタリゼーションは乱流や積雲対流の効果をマクロに表現する手法であり、その手法によって雲や水に関わる物理過程の再現に差が生じる。このため、全球気候モデル（GCM）の気候変化予測結果は、地域によってはモデル間で大きな差異が生じることも稀ではなく、不確実性を内包していることに留意する必要がある。また、モデルの中には、例えば梅雨前線のような当該地域特有の気象現象を的確に再現できないものもある。したがって、洪水をもたらす豪雨の変化傾向を予測する場合には、当該地域特有の降雨現象を的確に再現できる複数の全球気候モデル（GCM）の予測計算結果を用いることが重要となる。

3. 2. 4 ダウンスケーリング

3. 2. 3で述べた全球気候モデル（GCM）が抱える課題のうち、主に空間スケールの大きさに起因した課題を克服するためには、全球気候モデルによる予測結果をもとに、河川流域スケールの降雨の分布を再現・予測することが必要となる。この作業はダウンスケーリングと呼ばれている。ダウンスケーリングの手法は、統計的ダウンスケーリングと力学的ダウンスケーリングの2種類に大別される。

統計的ダウンスケーリングと力学的ダウンスケーリングには、それぞれ長所・短所があるため、検討の目的、対象とする水文量、検討に費やすことのできる時間や費用等を勘案しながら、どのような手法を用いる

か総合的に判断すべきである。

降雨分布のダウンスケーリングにおける時空間分解能は、対象とする流域の流域特性、既往の流出解析の精度、把握しようとするリスクの内容等に留意して適切に設定することが重要である。一般に河川の流出解析では、降雨の分解能が数 km～数十 km メッシュのデータで計算し、精度や再現性を確保することが多い。

A)統計的ダウンスケーリング

統計的ダウンスケーリングは、過去から現在に至る気象・水文実測値と全球気候モデル（GCM）による気象・水文計算値との間を統計的手法（例えば多変量解析）によって関係づけ、その関係が将来にわたって適用可能であると仮定する手法である。過去の気圧配置等のパターンと目的量との関係を利用する方法、複数の気象要素と目的量との関係について重回帰分析により関係式を構築する方法等がある。なお、後述するように、統計的ダウンスケーリングは、一般公開されている全球気候モデル（GCM）計算結果のほとんどを検討対象とすることができる手法である。

B)力学的ダウンスケーリング

力学的ダウンスケーリングは、全球気候モデル（GCM）の出力を境界条件として、気象力学方程式に基づく地域気候モデル（RCM）によって対象領域周辺の再計算を行うことによりダウンスケールする物理モデル手法である。熱帯・モンスーン地域における降水予測には、積雲対流を適切に記述できる非静力学平衡の RCM が望ましい。

C)メリット・デメリット

バイアス補正について

ダウンスケーリングによる再現計算結果と観測値との差異が大きい場合は、統計的に補正調整する必要がある。これをバイアス補正と呼ぶ。

具体的には、現況における観測データをもとに補正式を経験的にあらかじめ作成して適用する。このため、統計的ダウンスケーリングの時空間スケールが、河川流域内で得られている観測値の時空間スケールと同じ場合は、統計的ダウンスケーリングはバイアス補正と同一視することができる。一方、気象力学との整合性を重視する力学的ダウンスケーリングにおいては、それだけでは観測値との整合性は担保されないため、別個にバイアス補正の必要性の有無を検討する必要がある。

統計的ダウンスケーリングの特長

<長所>

- 1)実測値との関係性を定量的に直接最適化し同定することを基本としていることから、そこでのダウンスケーリングそのものがバイアス補正の効果をもたらし、結果的に不確実性が低くなることが期待される。
- 2)力学的ダウンスケーリングに比べて迅速かつ効率的に、目的とする結果を得ることができ、検討に要する時間や費用が小さい。
- 3)ダウンスケーリングにおいて必要となる全球気候モデル（GCM）計算値への要求も小さいため、一般公開されている全球気候モデル（GCM）計算結果のほとんどを検討対象として選択することが可能であり、検討元データの入手可能性が高い。

<注意を要する点>

- 1)現況での検証結果から得られた経験的（統計的）関係式が将来にわたって適用可能であるという仮定に伴う不確実性や技術的課題が残る。
- 2)水文量の実測値の観測密度そのものがダウンスケーリングの基礎であることから、観測データよりも細か

い時空間スケールでの水文量を自由・柔軟に抽出することは一般的に難しい。なお、日単位の観測データしか得られない地域において、統計的処理により時間単位の水文量を推定する手法も研究されてきており、ダウンスケーリングの精度を考慮したうえで、必要に応じて、このような手法の利用も検討する。

力学的ダウンスケーリングの特長

<長所>

- 1) 気象力学方程式に基づくダウンスケーリングであり、そこで用いられている関係式は、将来においてもそのまま適用できる蓋然性が高い。
- 2) 様々な時空間スケールでの物理量を計算結果から直接自由に抽出可能。

<注意を要する点>

- 1) 統計的ダウンスケーリングに比較して、バイアス補正が必要となる場合が多い。
- 2) 力学的ダウンスケーリングのためのネスティング計算を行うために必要となる初期・境界条件を決めるための必要十分な計算結果を記録・提供している全球気候モデル（GCM）計算事例が比較的少ない上、計算に要する負荷が非常に大きいため、現状ではデータ利用可能性が低い。但し、力学的ダウンスケールを可能とする計算結果を出す第5期結合モデル相互比較計画（CMIP5）が現在進められており、2010年の秋には、力学的ダウンスケールに必要十分な計算結果が公開される予定である。

3. 3 ハザード、脆弱性、リスクの把握

3. 3. 1 ハザード、脆弱性、リスクの把握の重要性

現況及び将来時点における氾濫域の状況や気候の変化による影響を評価することにより、氾濫域のリスクを把握し、リスクの回避、低減、移転、保有を検討し、適応策の検討等の基礎的情報とすることが重要である。

3. 3. 2 で述べるハザード、脆弱性、リスクの分析を行うことにより、現況又は将来において各氾濫ブロックでハザード、脆弱性、リスクがどのように変化するかを把握し、適応策としてどのような施策を実施していくことが適当かを検討していくことに資する。

3. 3. 2 ハザード、脆弱性、リスクの分析手法

増大する洪水のリスクを分析するためには、河川氾濫による人的被害、経済被害、重要施設被害、中枢機能の被害等の算定が必要となる。

河川氾濫による人的被害や経済被害、重要施設被害、中枢機能の被害等の影響の算定を行うに当たっては、降雨から流出、氾濫に至るまでの過程をモデル化し、そのモデルを用いて気候変化に伴うリスクの変化、社会経済状況の変化に伴うリスクの変化、治水施設の整備状況に伴うリスクの変化について把握する必要がある。

具体的には、流出解析による降雨から流出量に変換する流出モデル、河道内洪水伝播計算による流出ハイドログラフの河道内伝播モデル、氾濫解析による河川から氾濫域への氾濫現象モデル、氾濫域内を流下する氾濫流のモデル、内水の排水モデル等が必要となる。これらの一連のモデルを用いて、ある降雨量に対する氾濫域内の浸水範囲、浸水深、浸水継続時間、浸水深の時間的变化等进行分析する。そして浸水範囲がどのような状況であるかを把握するため、氾濫域内の人口、居住者のいる建物の高さ、資産、重要施設等を把握する。さらに、それらの結果を踏まえて、人的被害や経済被害、重要施設被害、中枢機能の被害等について分析するのが一般的である。

なお、複合的な物理現象をシミュレートするため、様々な要素モデルを組合せた河川・流域モデルを構築・

運用することは、費用、時間等を要する。国土技術政策総合研究所では、水理・水文解析等の高度化・効率化を図ることを目的に、要素モデルを自由に組み合わせて利用できる CommonMP (Common Modeling Platform for water-material circulation analysis)を開発し、公開している (<http://framework.nilim.go.jp/>)。

4. 適応策の検討

4. 1 治水対策の目標の設定

2. 2. 2で述べたように、例えば100年後の年次では、温暖化シナリオによって予測結果が大きく変わるため、不確実性の扱いに留意することが必要であるが、20～30年後程度の年次では、温暖化シナリオによる全球平均気温予測結果の差は小さいことが判明している。このため、長期的な影響を考慮しつつ、当面の間の影響に対する具体的な適応策を検討し、着実に実施するために、20～30年後程度の適当な対象年次を目安とすることが現時点では有効と考えられる。適応策の検討を行う上では、目標とする年次に向けて、どのような考え方で治水対策を実施するのか、当面の目標及び長期的な目標を、それぞれの年次の不確実性を踏まえて設定することが必要である。

目標は、3. 3で把握したリスクに対して、発生頻度と被害等の影響の大きさによってどのように回避、低減、移転、保有を図るのか検討し、これまでに発生した災害の状況、流域の自然的、社会的な特性、その国等としての将来像（開発目標）、投資能力（財政力）の制約等を考慮して明確化し、必要に応じて複数の目標を組み合わせ設定することが重要である。

目標の設定に当たっては、公平性をどのように確保するか、何に重点化するか等の観点で、人命の損失、経済的な被害、社会的な影響等をどのような場所で、どの程度低減させていくのかについてだけでなく、農業や水産業などの産業に対する洪水氾濫のプラス面の影響等についても検討する。さらに、流域、氾濫域における土地利用状況、都市域の拡大、市街地の高層化等を考慮し、必要に応じて、長期的に人口や産業の集積を促進したり、抑制したりする場所についても検討する。これらを踏まえて、まず「犠牲者を最小化する」、「首都機能の麻痺を回避する」、「壊滅的な被害を回避する」、「都市部では30年に1回の頻度の洪水の際に氾濫被害が生じないようにする」、「洪水氾濫の頻度を〇年に1回程度に制御する」などのように概略の目標を設定する。これに基づいて、4. 2で述べる手法で適応策を検討・設定した後で、時間や費用等の観点で目標の具体化を図り、わかりやすく示していくことが重要である。

4. 2 適応策の最適な組合せ

4. 2. 1 施策メニュー

適応策を検討する上では、個別の施策メニューの特徴、適用の範囲、限界等を十分把握しておくことが重要である。個々の河川流域に対して適切と考えられる対策（あるいは複数の対策の組合せ）は、気象気候、流域の特徴（水文・水理）及び地域の社会経済状況により左右される。異なる条件下、異なる国においては、異なる対策が適している可能性がある。また、国によって財政、法制度、行政組織、社会インフラの整備状況、国民の災害への認知度等は様々であるため、これらを踏まえ、適応策の実効性を十分に検討する。適応策の主なメニューは次のとおりである。

A. 氾濫の危険性を低減させる対策（河道掘削、引堤、築堤、ダム、遊水地等）

氾濫の危険性を低減させる対策は、河道拡幅、河床掘削、築堤など河道の改修等による対策とダムや遊水地など河川への流出を抑制させる対策とに大別されるが、いずれも地域社会や自然環境への影響等に配慮する必要がある。

・河道の改修等による対策（河川を中心とした対策）

河道の改修等による対策は、洪水流を河道内に流下させる方法であり、洪水氾濫から宅地等を防御し、確実に氾濫域の安全度を向上させることが可能となる。主な対策の名称と特徴は次の通りである。

河道掘削：過度に掘削を行うと土砂を流す流水の力が弱くなり土砂が再堆積する場合がある。

引堤・築堤：連続堤を整備する場合、一連区間の用地買収や、橋梁の架け替えなどが伴い、費用や時間を要する場合がある。

放水路・捷水路：現河道改修することによる方法の他、放水路や捷水路等の整備を組み合わせる方法もあるが、一連区間の用地買収や、水路の整備を受け入れる側の関係者との調整が必要となる。

水門等：支川が合流する場合等は、必要に応じて水門等を設置する。

内水処理対策：築堤等を行う場合、必要に応じて内水処理対策を行う。

なお、河道管理のための河岸侵食の防止対策等の実施にあたっては、各国の社会、経済、自然環境等の状況を踏まえた工法の検討が必要である。

・河川への流出を抑制する対策（河川を中心とした対策）

河川への流出を抑制する対策は、洪水流を貯留すること等により流量のピークを低減させ、被害を軽減する。主な対策の名称と特徴は次の通りである。

ダム：施設の位置や規模によって、氾濫域の安全度を大幅に向上させることが可能となるが、水没地等の補償や関係者との調整、土砂の流下阻害への対応等が必要となる。

遊水地：施設の位置や規模によって、氾濫域の安全度を大幅に向上させることが可能となるが、湛水地内の補償や関係者との調整等が必要となる。

既存施設の有効活用：既設のダムのかさ上げ、放流設備の改造、利水容量の買い取り、短期的な降雨の予測技術とダム運用技術の高度化等により洪水調節能力の増大を図ることが可能となる。その際、関連する事業者等の利害関係者との調整及び影響への補償等が必要となる場合がある。

・河川への流出を抑制する対策（流域を中心とした対策）

河川への流出を抑制する対策には、流域における雨水貯留・浸透施設による対策もある。

貯留・浸透施設：都市部における保水・遊水機能の維持のために、雨水を積極的に貯留、浸透させるために設けられる施設。貯留管、各戸貯留、団地の棟間貯留、運動場、広場等の貯留施設と、浸透ます、浸透井、透水性舗装等の浸透施設とがある。市街化が進んだ中小河川流域等において洪水のピーク流量を低減できる場合がある。

B. 氾濫流を制御する対策（二線堤、霞堤、輪中堤等）

氾濫流を制御し氾濫域の他の場所の安全度の向上を図る対策（二線堤）、氾濫流を河川に戻すほか、氾濫流の勢いを低減させる対策（霞堤）、氾濫域の宅地等の周りを堤防で囲み、宅地等の安全度を向上させる対策（輪中堤）等がある。氾濫を前提とする場所の関係者との調整が必要となる。

また、河畔林（水害防備林）には、洪水流や氾濫流の流勢を弱め、堤防の破堤を防止したり、氾濫被害を軽減したりする効果がある。

C. 氾濫域において被害を軽減させる対策（土地利用規制、建築物の高床化、電気・機械設備の高所設置等）

氾濫域において氾濫することを想定して、法制度上の規制等により、家屋等の資産の被害の軽減を図る。浸水被害軽減を図るための適切な土地利用の誘導や建築物の高床化による住まい方のコントロール、病院等

の施設における受電・配電設備の出来る限り浸水しない上層階への設置等がある。なお、個人の土地利用や建築には制限が発生することとなる。

D. 避難・誘導等のための対策（避難・誘導、予警報、避難施設等）

住民が的確で安全に避難できるよう、洪水の予測や情報の提供等を行う。避難対象者を確実に避難させるための避難勧告・避難指示の基準や体制の整備、各地の降雨量・河川水位・堤防の決壊危険区間や時刻等の予測と洪水の予警報、ハザードマップの整備、浸水しない避難路や逃げ遅れた場合の緊急避難に利用可能な高台等の施設の確保等がある。これらの対策は非常時にだけ行うのではなく、どこにどのような情報があり、どう逃げればよいかなど、平常時から各地域で情報の周知、訓練、教育等を継続的に行うことが重要である。人命など人的被害の軽減を図ることは可能だが、一般的に家屋等の資産の被害軽減を図ることはできない。

E. 応急対応（水防、締切、排水対策、訓練、教育等）

氾濫のおそれが生じた場合に、被害の軽減に向けて応急の措置、臨機の対応を図る。水防団員の確保や訓練の充実、最新技術を取り入れた効率的・効果的な水防対策手法の検討、堤防が決壊した場合における決壊箇所の締切体制や工法の検討、浸水範囲・浸水継続時間の低減のための既設排水ポンプや水門等の有効活用等がある。

F. 復旧・復興を迅速に行う対策（防災拠点、輸送ネットワーク、防災業務計画、業務継続計画、水害廃棄物の処理等）

氾濫後の復旧や復興を迅速に行うことができるよう、公的機関等が予め対策を講じておくことにより、被害の軽減を図る。施設の浸水危険性や水防対策の現状及び代替施設の確保状況等を踏まえた防災拠点の確保、道路や鉄道等の災害時に使用可能なルートの検討と重要施設等へのアクセスルートの確保や、各機関等が洪水に対してとるべき体制等の措置の策定、災害対応業務や優先度の高い通常業務についての業務継続性を確保するための対策の実施などがある。また、洪水発生時には、膨大な水害廃棄物が発生する可能性があるため、水害廃棄物の地域内における仮置きや地域外への搬出、最終処分等の場所や輸送体制を整備しておくことも重要である。

なお、AやBなどの施設による適応策に関しては、ダムや堤防等の新規施設の整備に加えて、老朽化対策など既存施設の信頼性の維持・向上等の施策が考えられる。

また、E、Fに関して、日本では、被災頻度が低いことや組織が小さいことから専門家の養成やノウハウの継承が難しい地方自治体等に対して、災害発生後速やかに、緊急被災状況調査、二次被害防止のための応急対策、災害復旧工法の技術的指導・助言等を行う国の専門家（TEC-FORCE）を派遣する体制を整えている。

A～Fの分類には入らないが、浸食された土砂が下流に流出すると河川の氾濫や濁水などの被害をもたらすこともあるので、森林が有する土砂流出を抑制する機能の保全是重要である。

4. 2. 2 目標に応じた適応策の適正な組合せの基本的な考え方

4. 1で設定した目標を単一の施策で達成することは不可能であり、4. 2. 1で述べた施策それぞれの特徴を踏まえつつ、最適な施策メニューを組合せていくことが必要となる。その際、当該国等の置かれた状況に応じて優先施策が構造的に存在することをよく理解することが重要である。

具体的には、流域の特性や投資能力などを踏まえて、河道整備や洪水調節施設など河川管理施設でどの程度対応することができるか、流出抑制対策など流域においてどの程度対応することができるか、河川管理施設等の能力を超える洪水によって氾濫する場合どのように対処し、地域社会として受忍することができるか、などを総合的に検討し施策メニューを組合せていくことが重要である。

4. 2. 3 適応策の組合せの立案と評価

2. 2. 2で述べたような年次を対象に、施策メニューの組合せについて具体的に複数立案し、それらの案を実施した場合の影響及び効果等を評価していくことが必要となる。

組合せ案の立案に当たって、既往の計画がある場合は、その計画をもとに追加や削除する施策メニューを検討することは有力な方法である。また、すでに施設の整備がある程度進んでいる場合においては、これらの施設を有効に活用していく観点から検討することが重要である。さらに、当該国等の歴史的経緯や過去の施策実施の経緯等を踏まえて検討することも重要である。

洪水被害に対する効果の評価に当たっては、前述の3. 3ハザード、脆弱性、リスクの把握と同様の手法で行う。

評価する際には、被害軽減効果（人命、経済（資産）、社会機能等）、維持管理を含めたコスト、地域社会・環境等への影響、実現性、達成しうる安全度等について総合的に検討することが重要である。

これらの過程において、必要に応じて関係住民等の意見を反映させる措置を講じていくことが重要である。

4. 2. 4 適応策の組合せの選定

4. 2. 3で述べたような評価を踏まえて適応策の組合せを選定する。

なお、複数の年次を対象に施策の組合せを選定する場合は、当面の対策として実施する施策が将来的な対策に対して手戻りとならないか、など整合性を確認する。その際、温暖化の進行に伴う施設の改良が非常に高価である場合、複雑になると想定される場合、少ない追加費用で十分な対応が可能な場合は、予め科学的に根拠のある予測値を取り込んでおくことが重要である。一方、適応策が設計外力に対して柔軟に対応できる場合は、気候変化の進行に合わせて対応していくことが重要である。

4. 3 適応策の実施手順の検討

4. 3. 1 実施手順の複数案の立案と検討の考え方

4. 2で選定した施策の組合せをどのような手順で実施するかについて、検討する。

検討に当たっては、流域の開発の見通し、投資能力、時間・費用等の観点からの具体的な目標等を考慮しつつ、手順の案を複数立案することが重要である。

4. 3. 2 実施手順の評価

立案した複数の実施手順の評価を行う。

実施手順の評価に当たっては、前述の4. 2 適応策の組合せの評価と同様の手法で行う。

実施手順の評価の際には、洪水被害の低減効果を早期に発現させるとともに、上下流や左右岸などの治水安全度のバランスをどのように段階的に向上させていくか等の観点を念頭に置くことが重要である。

4. 3. 3 実施手順の策定（ロードマップの作成）

4. 3. 2で述べたような評価を踏まえて実施手順を策定し、ロードマップを作成する。

ロードマップには、時間・費用等の観点からの具体的な目標、実施する適応策の内容、場所、効果等の概

要を記載するとともに、適応策を実施する手順をわかりやすく示すことが重要である。

5. 国内のリスク評価・適応策検討事例

国内の水害リスクの評価の代表例としては、内閣府中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」における利根川・荒川の洪水あるいは東京湾の高潮に対する検討事例が挙げられる⁴⁾。

国土交通省としては、社会資本整備審議会より平成 20 年 6 月に「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）」⁵⁾を受け、適応策を具体的に進めているところである。例えば、気候変化にともない増加していると考えられるゲリラ豪雨対策として、精度の高い降雨観測が可能な X バンド MP レーダを整備するなどの事業を進めている⁶⁾。また、適応策の推進には地域毎の具体的な検討・議論が重要であるが、例えば、近畿地方整備局では、大阪都市圏を対象に「地球温暖化に伴う大規模水害対策検討会」⁷⁾を開催し、大規模水害による壊滅的な被害を回避し、局地的な大雨による犠牲者ゼロを目指すため、中長期的な視点から具体的な適応策を検討している。

6. おわりに

本稿で紹介した「洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン」は、海外向けのガイドラインではあるが、国内においても気候変化に対する適応策の検討は、初歩的な段階といえる。したがって、我が国においても、このガイドラインも参考にしつつ、地域毎にリスク評価に基づく適応策の検討を進めるとともに、学術的にも本分野の研究を進展させることが重要である。

引用文献

1. 国土交通省河川局 (2010) 洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン【日本語版】，http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/pdf/guigelines_jpn.pdf
2. IPCC 第 4 次評価報告書。
3. River Bureau, MLIT (2010) Practical Guidelines on Strategic Climate Change Adaptation Planning -Flood disasters -, http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/pdf/guigelines_eng.pdf
4. 内閣府中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/index.html>
5. 社会資本整備審議会 (2008) 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/toshintext.pdf
6. 木村周二 (2011) X バンド MP レーダの整備状況，土木施工，52(8)，pp.106-109.
7. 地球温暖化に伴う大規模水害対策検討会について，http://www.kkr.mlit.go.jp/river/daikibosuigai/index_daikibo.html