

## 第2章 水文・水理観測 第8節 河川・流域の水循環の観測

### 目次

第8節	河川・流域の水循環の観測 .....	1
8.1	総説 .....	1
8.2	健全な水循環の維持又は回復の観点からみた流域水循環の観測 .....	1
8.3	気候変動による気象・水文データの変化の検知・把握 .....	4
8.3.1	モニタリングによる検知・把握 .....	4
8.3.2	気候変動予測モデルの予測結果の利用による将来気候の把握 .....	6

令和3年4月 版

## 第2章 水文・水理観測

### 第8節 河川・流域の水循環の観測

#### 8.1 総説

##### <考え方>

水は、生命の源であり、絶えず地球上を循環し、大気、土壌等の他の環境の自然的構成要素と相互に作用しながら、人を含む多様な生態系に多大な恩恵を与えると同時に、循環する過程において、人の生活に潤いを与え、産業や文化の発展に重要な役割を果たしている。水がもたらす様々な恩恵を将来にわたり享受していくためには、水循環（水が蒸発、効果、流下、又は浸透により、海域に至る過程で、地表水又は地下水として河川の流域を中心に循環すること）の状態を把握し、健全な水循環（人の活動及び環境保全に果たす水の機能が適切に保たれた状態での水循環）を維持又は回復させることが重要となる。河川水や地下水はこの水循環の一部であり、我々はこれを継続的に利用することができる。河川・水資源の計画・管理によって、水のストックの把握だけでは不十分であり、水循環のフローを把握しなければならない。また、現代においては、農業用水・都市用水・発電用水等の取水や下水、農業排水等の排水による人工の水循環も、流域水循環において大きな影響を与えており、それらの把握も重要となる。また、流域内の個々の水循環過程は、上流域からのゆっくりとした地下水流出が間欠的に降雨を貯留して水資源の重要な要素を構成する一方で、地下水の過剰な汲み上げが地盤沈下や治水・利水・環境面での様々な弊害をもたらすなど、自然的側面のみならず社会的側面も含めて深く互いに密接に関連しあっていることを理解することが重要である。

流域水循環の把握は、カテゴリ1の既存の観測網のみから行うのは事実上不可能であるため、必要に応じてカテゴリ2および3.2の追加的な観測を行い、最終的にはこれら全ての観測値を用いた解析（水収支解析や水循環シミュレーション等）により推定するのが一般的手法である。したがって、追加観測の対象（浸透能力、地下水位等）や観測場所、観測時期等は、既存の観測網と用いる解析手法を考慮して決められる。

本節は、河川・流域での水循環を総合的に把握する典型的な事例として、健全な水循環の維持又は回復のための調査及び気候変化の影響調査で必要となる観測を取り上げて、その目的に応じた留意事項を記述する。

#### 8.2 健全な水循環の維持又は回復の観点からみた流域水循環の観測

##### <考え方>

1960年代後半以降急速に進んだ都市への人口や産業の集中、都市域の拡大、産業構造の変化、その一方で中山間地や農村での過疎化、高齢化等の進行、更に近年の気候変化等を背景に、平常時の河川流量の減少、湧水の枯渇、各種排水による水質汚濁、不浸透面積の拡大による都市型水害等の問題が顕著となってきている。

これらの問題は、保水・遊水機能の低下、地表水と地下水の連続性の阻害等に起因しており、流域全体を視野に入れた水循環の健全化への早急な対応が求められる事例が増えてきている。

上記の背景の下で、健全な水循環、すなわち、「人の生活や産業活動等に果たす水の役割と自然環境に果たす水の役割が適切なバランスで保たれている状態」を維持又は回復していくための流域マネジメントが、都市河川流域を中心として必要となる場合がある。流域マネジメントには、水循環に関係する様々な主体（住民、NPO、事業者、国や地方自治体の関係行政機関等）が参画することが望まれ、流域水循環の把握はここでの共通認識・目標を醸成し共有するための基礎的情報として必要とされる。

流域水循環は、降水、蒸発散、浸透、地下水流動、河川流出といった過程から成る自然の水循環と、上水道、工業用水道、下水道、農業用排水路等を経由して流れる人の生活や産業活

動等による水循環に大きく分けることができる。対象とする河川流域内に存在するこれらの水循環過程やそれら相互の関連性について、過去から現在に至る変化の実態や経緯及び将来動向の把握が求められることが多い(図 2-8-1)。たとえば、自然の水循環に着目した場合、都市化等の流域の改変以前に流域に備わっていた保水・遊水機能の把握は流域マネジメントにおいて重要な基礎情報となる。

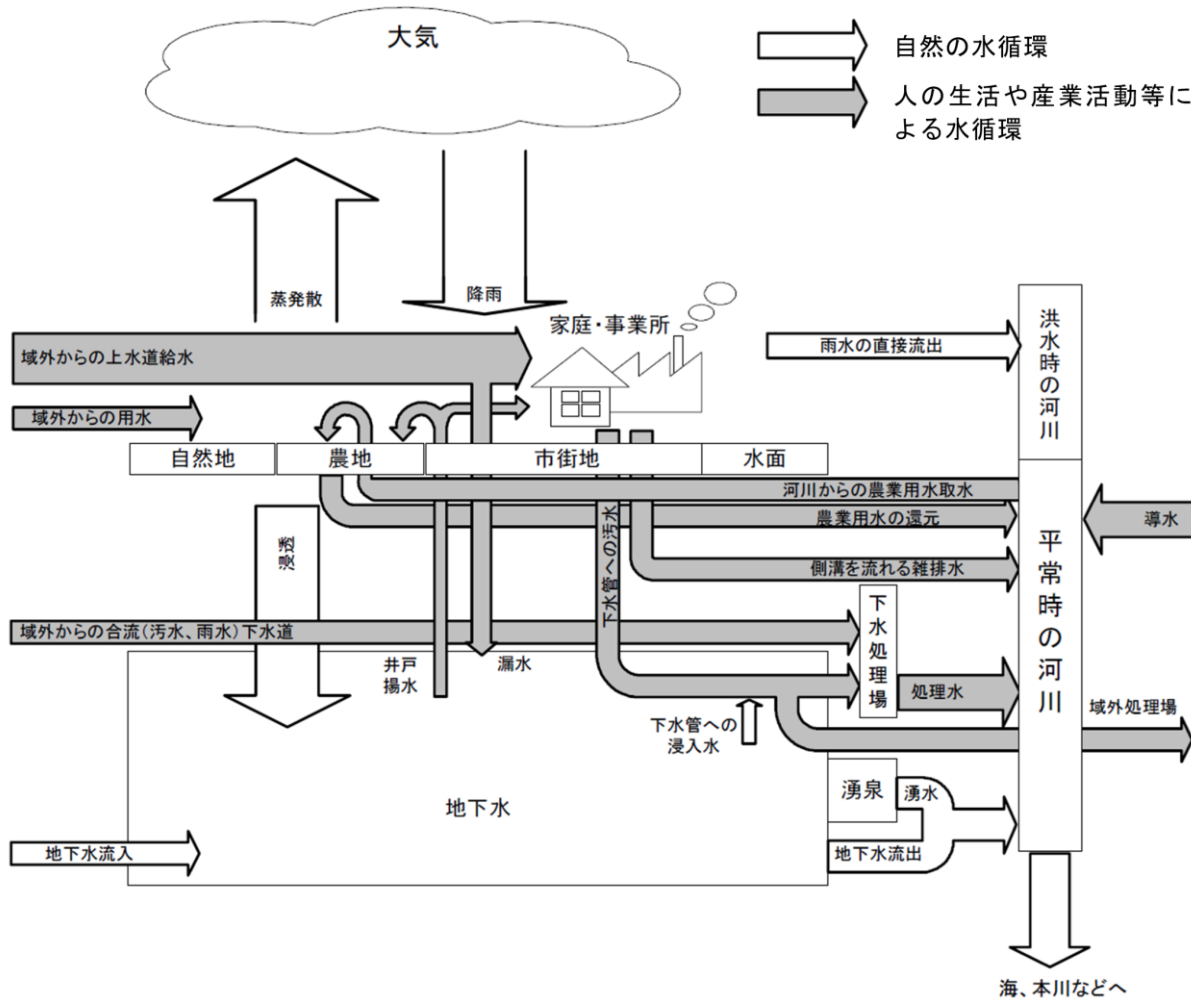


図 2-8-1 流域水循環系を構成する水循環要素の分類例

出典：健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：

健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて、2003.

<標準>

保水・遊水機能等の流域規模での直接的な観測が困難な機能の把握を含めて、水循環を総合的かつ客観的に把握するための手段としては、既存の気象水文観測、地形・地質、土壌等の資料を用いた年間水収支法、若しくは、水循環シミュレーション（第 3 章 第 2 節 流出解析参照）により総合的に把握し分析することを標準とする。

<推奨>

雨水浸透施設による流域での平均浸透強度を精度よく設定する必要があるときは、現地浸透試験(カテゴリ 2：特定目的観測)を実施し、得られた結果から平均浸透強度を設定することが望ましい。

### <例 示>

対象とする河川流域内に存在するこれらの水循環の過程やそれら相互の関連性を示すことを目的として、年間水収支法若しくは水循環シミュレーションによる解析結果について、図2-8-2に示すように、各構成要素の定量的な年間水収支関係を図示する方法がある。

この水収支の関係図について、過去から現在、将来にわたって変化する状況を示すことで、健全な水循環の維持又は回復における課題を把握する手段とすることができる。

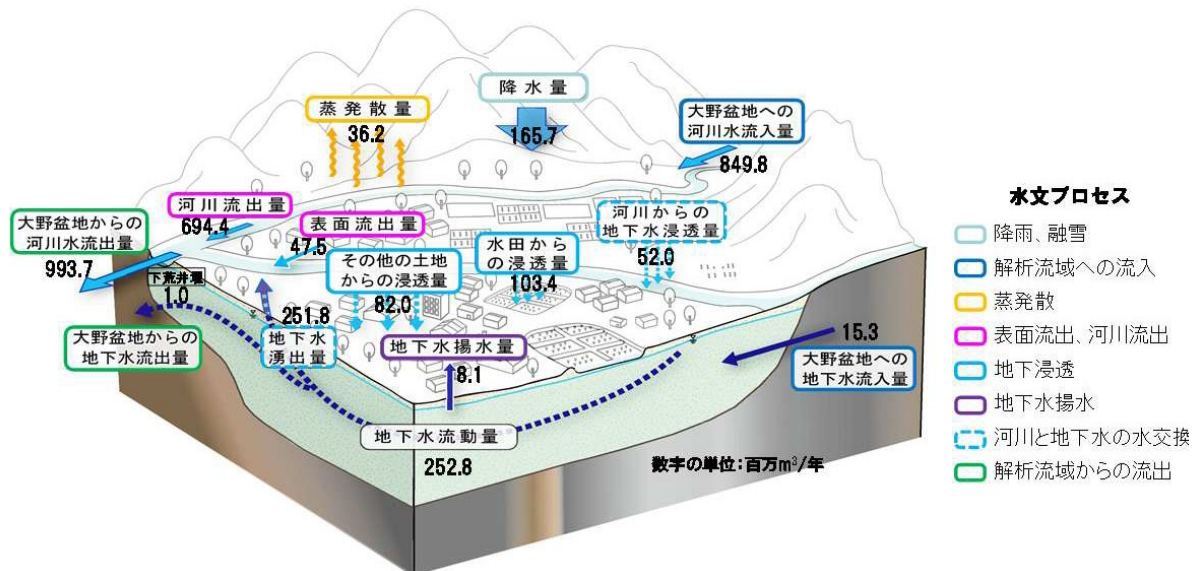


図 2-8-2 水循環解析による水の収支の例

出典：「水循環解析に関する技術資料」：

国土技術政策総合研究所 2016.

### <関連通知等>

- 1) 特定都市河川浸水被害対策法，平成 15 年 6 月 11 日，法律第 77 号，最終改正：平成 23 年 8 月 30 日法律第 105 号.
- 2) 健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて，平成 15 年 10 月，健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議.
- 3) 水循環基本法，平成 26 年 4 月 2 日，法律第 16 号，最終改正：平成 27 年 9 月 11 日法律第 66 号
- 4) 雨水の利用の推進に関する法律，平成 26 年 4 月 2 日法律第 17 号，最終改正：平成 27 年 9 月 11 日法律第 66 号.
- 5) 雨水の利用の推進に関する基本方針，平成 27 年 3 月 10 日国土交通省告示第 311 号
- 6) 水循環基本計画，令和 2 年 6 月 16 日閣議決定.

### <参考となる資料>

特に都市域における健全な水循環系の確保に資する具体的な技術の詳細、たとえば、雨水貯留浸透施設の設計のための詳細な調査手法、浸透能力やその効果（平均浸透強度）を概算する簡便法、並びに、都市域における流域水循環系のシミュレーション手法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (社)雨水貯留浸透技術協会：増補改訂雨水浸透施設技術指針（案）調査・計画編，2006.
- 2) 雨水浸透施設の整備促進に関する手引き（案）～浸透能力の低減を見込んだ効果把握及び維持管理の考え方について～，平成 22 年 4 月，国土交通省都市・地域整備局下水道部，同河川局治水課.

- 3) 「都市小流域における雨水浸透，流出機構の定量的解明」研究会：都市域における水循環系の定量化手法：水環境系の再生に向けて，（社）雨水貯留浸透技術協会，2000.

日本の水需給や水資源開発の現状、および水循環系構成要素の水利用量等といった水資源利用状況に関するデータ等について取りまとめた情報として、下記の資料が参考となる。

- 4) 日本の水資源の現況，国土交通省水管理・国土保全局水資源部
- 5) 雨水の利用の推進に関するガイドライン（案），平成30年6月，国土交通省水管理・国土保全局水資源部
- 6) 流域マネジメントの手引き，平成30年7月，内閣官房水循環政策本部事務局
- 7) 水循環解析に関する技術資料，平成30年3月，国土技術政策総合研究所

### 8.3 気候変動による気象・水文データの変化の検知・把握

#### <考え方>

気候変化には、数年スケールで発生を繰り返しているエルニーニョ・ラニーニャ現象や北極振動等、様々な自然的要因によるものが含まれる一方、ヒートアイランドや地球温暖化等、人為的要因による影響が大きいものも存在する。特に、地球温暖化は不可逆性と予想される影響の大きさ・深刻さから、地球規模で人間社会・経済にも大きな影響を与える重要な課題である。沿岸域や洪水氾濫原、急傾斜地は、海面水位の上昇、大雨の頻度増加、台風の激化等により、水害、土砂災害、高潮災害等が頻発・激甚化するとともに、降雨の変動幅が拡大することに伴う渇水の頻発や深刻化が懸念されている。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書では、気候変動の影響は、たとえ温室効果ガスの人為的な排出が停止したとしても、何世紀にもわたって持続するだろう、とされており、多くの適応及び緩和の選択肢は気候変動への対処に役立つが、単一の選択肢だけでは十分ではないと指摘されている。一方、緩和策への取組や社会条件の変化等不確実性がある中で、外力変化の予測値にも大きな幅が存在する。このように、気候変化の予測等に不確実性がある中で適応策を検討するためには、今後の観測データや知見の蓄積に応じて適応策の内容や組合せを適切に見直していく順応的な対応が必要不可欠である。

気候変動による気象・水文データの変化を検知・把握するためには、モニタリングによる手法と、気候変動予測モデルの予測結果を利用する手法等が考えられる。

#### <参考となる資料>

- 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，平成26年，UNEP，WMO.
- 2) 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】，平成22年，国土交通省河川局.

#### 8.3.1 モニタリングによる検知・把握

##### (1) モニタリングする気象・水文データの項目

#### <標準>

モニタリングは、観測値を用いることを原則とし、対象とする気象・水文データの項目は、気温、降水量、降雪量・積雪量、河川流量、潮位、蒸発散量等より、流域特性や観測状況に応じて適切に選択することを基本とする。

これらの項目をモニタリングするに当たっては、カテゴリ1に求められる観測データの長期にわたる一定レベル以上の品質の確保を標準とする。これらの項目の観測手法や最低限確保すべき品質とそのためデータの照査の手法については、本章第2節～第5節に詳述され

ているので、その基準に従って観測・照査を行うことを標準とする。

#### <例 示>

積雪・融雪変化のモニタリングは、ダム管理用観測等、カテゴリ-2 特定目的観測に分類される積雪深・密度観測や衛星リモートセンシングによる積雪域変化図等を用いることができる。精度の高い観測値が得られない場合は、地上気温の観測値と現在気候条件下での大気大循環モデル（以下、GCM という。）出力値から第3章 水文解析 第2節 2.3.4 積雪・融雪量の推定に記載した手法で計算することで仮想的な観測値を得た上で、将来気候条件下での計算結果と比較することにより、積雪・融雪変化を評価したり、長期流出への影響を予測する手法が用いられることがある。

### (2) モニタリング検討地点の選定

#### <標準>

モニタリング検討地点は、次の各項を考慮して選定することを標準とする。

- 1) 解析による変化の有無の検知のため、極力、長期間の観測資料があり、かつデータの品質が高いと考えられる観測所を選定すること。
- 2) 人為的影響ができるだけ少ない観測所を選定すること。  
例えば河川流量については、取排水、流況調節、土地利用・植被変化等の人為的影響ができるだけ少ない上流域での観測所を含めて選定しておくことで、気候変化の影響を検知しやすくすることができる。

### (3) モニタリングした気象・水文データの分析

#### <標準>

モニタリングした気象・水文データの分析に当たっては、一般に次の事項について検討することを標準とする。

- 1) 時系列の傾向（経年変化）
- 2) ある閾値以上の生起回数

1)、2) の検討を行う際には、統計処理に十分なサンプル数を確保した上で、統計的な有意性を検定することを標準とする。なお、統計学的な分析を行うに当たっては、第3章 水文解析 第1節 水文統計解析 の基準に従うものとする。

#### <例 示>

年最大流量等の極値の経年変化を分析する場合において、統計的に有意な関係を把握するための工夫を例示する。

単独の観測点における年最大流量のみを分析対象としてしまうと、仮に温暖化により年最大流量が増加傾向にあったとしても、温暖化による増加傾向が、年最大流量の年ごとの変動に対して極めて微小であることと観測年数の少なさから、統計的には有意性が検出されないことが想定される。このような事態を避けるため、複数の観測点を対象にすることでサンプル数を増やしたり、観測期間を分割しその期間内で一定以上の流量が発生した年数を分析したり、年最大流量の順位を分析したりする等の工夫を用いることが多い。

年最大流量等の極値以外の統計値を分析する場合においても、統計的に有意な経年変化を把握するために、その特性に応じた工夫を用いることが多い。

なお、短期間でのデータによる統計解析結果の信頼性に限界があることを考慮し、その解析結果の定量的な評価については十分慎重に吟味するのがよい。

#### <関連通知等>

- 1) 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】，平成 22 年，国土交通省河川局。

#### <参考となる資料>

具体的な河川流域における気候変化影響の検知・把握の検討事例として、下記の資料が参考となる。

- 1) 四国地方の気候変動レポート 2010，平成 23 年 9 月，国土交通省四国地方整備局，p. 42.
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所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，2013.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部：気候変動適応策に関する研究－「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発」の成果をコアとして－，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告書，第 56 号，2017.
- 4) 文部科学省・気象庁：気候変動観測・予測評価レポート，2020.

### 8. 3. 2 気候変動予測モデルの予測結果の利用による将来気候の把握

#### <考え方>

気候予測は、物理法則を定式化した気候変動予測モデルを用いて、空気中の温室効果ガスやエアロゾルなどの濃度が今後どのように変化するかというシナリオを基に数値シミュレーションを行うことが一般的である。気候変動予測モデルの予測結果の利用にあたっては不確実性が大きいことに留意して取り扱う必要がある。特に、大雨や渇水等の極端現象を取り扱う場合には、現況再現性がより低くなることから、不確実性がさらに大きくなることを踏まえた分析が必要となる。

これらの気候変動予測モデルの予測結果の利用にあたっては、気候変動予測モデルの開発状況や、温暖化に関連する将来のシナリオの想定について最新の動向に留意する必要がある。また、単一の気候変動予測モデルの予測結果のみを用いるのではなく、複数の異なる気候変動予測モデルの予測結果を用いたり、同一気候変動予測モデルでも条件を変えて計算した複数の予測結果を用いたりする等、予測結果の不確実性を評価することが必要である。

将来の降雨の予測を行うためにはシナリオの特徴を把握しておくことが重要であり、温暖化に関連するシナリオは、予測の不確実性が大きなことや、今後の温室効果ガスの排出量の動向に依存することに留意が必要である。

#### <例 示>

##### 1) 気候変動予測モデル

気候変動予測モデルには、全球を対象として計算する大気大循環モデル（GCM）がある。現状では、気候変動予測モデルの空間分解能は、気象研究所が開発した最も緻密なモデル（気象研究所 MRI-AGCM3.2S）であっても、20km 四方の分解能となっている。

河川流域スケールにおける予測では細かな空間分解能が必要となるため、力学的ダウンスケールとバイアス補正を行い、河川流域の影響予測を実施する場合もある。

GCM の粗い空間分解能で表された予測結果から、特定の地域を対象とし、地形や土地利用など

の地域特性を詳細に考慮し、より細かい空間分解能の予測結果を求める「ダウンスケーリング」が行われている。ダウンスケールした予測結果として既に一般に公開されているものには、日本付近の領域を対象とし、5km 四方・2km 四方の分解能を有する気象庁気象研究所が開発した非静力学地域気候モデルによる事例等がある。

大型計算機の発展や数値計算アルゴリズムの進化によってモデルの不完全性や初期値の不確実性を考慮した複数のモデルを使ったマルチモデルアンサンブル予測が行われており、さらにこれまでにない多数のアンサンブル実験が行われている。その結果極端現象の再現と変化について議論が可能となっている。

気候変動予測モデルの予測結果には、現在気候（地球温暖化の影響なしの気候）を再現したときに見られる系統誤差（バイアス）の存在がある。このバイアスの影響を少なくするため、現在気候の再現結果と観測値との相違から系統誤差を分析し、その結果をもって将来気候の予測値の補正（バイアス補正）を実施することや、バイアスを打ち消すため気候変動予測モデルによる現在気候と将来気候の計算結果の比較し、その比較結果から得られた降雨量の変化倍率等を現在の観測値に乗ずることで将来気候の状況を想定する事例もある。

河川流域での大雨を対象とした将来気候の予測では、気候変動予測モデルによる予測と過去水文資料から求めた現在気候の流域平均降雨発生頻度から系統誤差を求める場合がある。このとき用いる観測資料は、一般にカテゴリー 1 の観測資料を用いればよい。

## 2) 温暖化に関するシナリオ

温室効果ガスの排出量の予測には社会的・経済的な側面の将来予測が必要であり、将来社会についていくつかの典型的なパターンを想定した上でシナリオが定められている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が平成 25 年に発表した IPCC 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書では、SRES シナリオに変わる気候変化の予測のための新たなシナリオとして、RCP（代表的濃度経路）シナリオを用いた予測結果が示された。RCP シナリオは 4 つの温室効果ガス濃度に対応したシナリオで、それぞれ RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5、RCP2.6 と呼ばれる。複数のモデルによる産業革命前と比較した 2100 年時点での全球平均気温の上昇予測によると、最も上昇が大きい RCP8.5 シナリオで 2.6℃～4.8℃の範囲に入る可能性が高いという結果になっている。

また、令和元年 9 月に IPCC 総会で受諾された海洋・雪氷圏特別報告書では、2100 年までの 1986 年～2005 年に対する平均海面水位の予測上昇範囲は、RCP8.5 では 0.61～1.10m、RCP2.6 では 0.29～0.59m とされ、これまでの報告書から上方修正されている。

## 3) シナリオに基づく将来気候予測

地球温暖化の影響を評価し、適応策を策定するには、気候変動予測とそれに伴う不確実性の定量評価が不可欠である。文科省・気候変動リスク情報創生プログラムにおいて、高解像度全球大気モデル及び高解像度領域大気モデルを用い、これまでにない多数（最大 100 メンバ）のアンサンブル実験を行うことによって、確率密度分布の裾野にあたる極端気象の再現と変化について、十分な議論ができる「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（以下、「d4PDF」という。）」が整備、公表された。d4PDF の結果を用いることで気候変化による自然災害がもたらす未来社会への影響についても確度の高い結論を導くことが可能となる。防災、都市計画、環境保全等に関わる様々な地球温暖化対策のために、その基礎となる気候予測データとなる。共通の予測データを用いることで、諸問題間および地域間で整合した温暖化対策の実現が期待できる。d4PDF の仕様は次のとおりである。

- 水平解像度約 60km の気象研究所全球大気モデル MRI-AGCM3.2 を用いた全球気候実験は過去実験、4℃上昇実験、2℃上昇実験、非温暖化実験の 4 種類行われており、全球気候実験を水平解像度 20km で日本域を対象とする気象研究所領域気候モデル NHRCM を用いた領域ダウンスケールも行われている。水平解像度 20km の領域ダウンスケール実験における



メンバ数は以下の通りである。

過去実験：1950年～2011年×50メンバ（合計3,000年）

4℃上昇実験：2050年～2111年×90メンバ（合計5,400年）

2℃上昇実験：2030年～2091年×54メンバ（合計3,240年）

- 4℃上昇実験はRCP8.5シナリオの21世紀末相当の予測結果であり、1850年の産業革命前の気温と比較して4℃上昇した場合を計算している。
- 2℃上昇実験はRCP8.5シナリオの2040年相当の予測結果であり、1850年の産業革命前の気温と比較して2℃上昇した場合を計算している。
- さらに、水平解像度20kmのダウンスケーリング実験を水平解像度5kmで気象研究所領域気候モデルNHRCMを用いた領域ダウンスケール実験も行われている。

#### <関連通知等>

- 1) 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】，平成22年，国土交通省河川局。
- 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，平成25年，UNEP，WMO。
- 3) 海洋・雪氷圏に関する特別報告書 政府決定者向け要約，2019，IPCC。

#### <参考となる資料>

d4PDFの結果を用いて力学的ダウンスケールとバイアス補正を行い降雨水量の将来予測を行い、洪水流量予測に活用した事例として下記資料が参考となる。

- 1) 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 令和2年6月 国土交通省北海道開発局

d4PDFは文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」、「統合」、SI-CAT、DIAS）間連携および地球シミュレーターにより作成されたものであり、その実験デザイン等の詳細は以下のサイトが参考となる。

- 2) [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 \(d4PDF\)](#)

d4PDFの力学的ダウンスケーリング実験デザイン等の詳細および実験結果を用いて全国の降雨量変化倍率の将来予測を行った事例は、下記資料が参考となる。

- 3) 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（国土交通省水管理・国土保全局）