

気候変動による水資源への影響評価 ガイドライン

令和 8 年 8 月

国土交通省 水管理・国土保全局

水資源部 水資源計画課

はじめに

令和7年6月に「流域総合水管理」の答申が出された。「流域総合水管理」は、流域を単位として流域治水・水利用・流域環境について、流域のすべての関係者が連携し、水の恵みの最大化等を図っていく取り組みである。この取り組みを行ううえでは、関係者間で議論を重ねて合意形成を図ることが重要であるが、水利用については、その議論の土台として、データに基づく流域の水資源の現状と将来について共通認識を持つことが有効である。

この共通認識を形成するうえで考慮すべき重要な背景として水資源政策が、人口増加や経済成長に伴う需要の拡大に対応することを主眼とした「需要主導型」から、水インフラの老朽化や地震等の大規模災害、そして気候変動に対応する「リスク管理型」へと移行していることが挙げられる。リスクマネジメントを行ううえでは、将来起こりうるリスクを想定し、その被害の大きさや発生の可能性等を客観的に評価する「リスクアセスメント」が不可欠となるが、水資源を巡るリスクの一つである気候変動リスクについては、河川流量の変化やその発生確率等を定量的に評価することが可能となってきた。この点では、洪水や高潮などの分野での取り組みが進んでおり、これらの分野では、将来の気候予測を多数のデータで表現した d4PDF 等のデータを活用することによりリスクの定量化を行い、適応策や施設整備計画の立案等を行っている。

一方、水資源分野においては、このような評価手法の確立が遅れていた。その背景には、水資源への影響が、降水量や蒸発散量の変化、積雪・融雪過程の変化、流域特性との複合的な相互作用など、多様な物理プロセスが絡み合う複雑な現象であることが挙げられる。さらに、渇水の発生は洪水のような短期的な極値現象とは異なり、より長い時間スケールにわたる連続的な水収支の変化として現れるため、異なる方法論が求められることも背景の一つである。

しかしながら、近年における水資源分野における気候変動影響の定量的評価に関する技術的知見が着実に蓄積されてきた。さらに、水資源については現時点で洪水のように気候変動による影響が顕在化しているものではないが、その影響への備えを先送りすることは、将来の水利用や社会経済活動に深刻な影響を及ぼすおそれがある。本ガイドラインは、こうした状況を踏まえ、現時点における技術的知見を整理・体系化し、気候変動によって水資源の供給可能量等にどのような影響が生じるのかを流域レベルで評価する手法をとりまとめたものである。

リスクや予測は元来不確実なものである。気候変動に関しては、d4PDF 等現在の科学技術によりその不確実性の幅を示すことが可能となってきた。こうした不確実性を前提としつつ、それを正しく理解し、上述の流域総合水管理やリスク管理型の水マネジメントに組み込んでいくことが現在求められており、またそれは新たなチャレンジでもある。

本ガイドラインが、水資源に関わる関係者に広く参照され、流域総合水管理における水利用の議論を一步でも深め、具体的な取組につながることを期待するものである。

目 次

1. ガイドラインの位置づけ	1
2. 本ガイドラインの構成と活用にあたっての基本的事項	3
3. 気候変動による水資源への全国的な影響	7
4. 気候変動による水資源への影響評価手法	14
4.1 影響評価の手順	14
4.2 現状把握	16
4.3 気象要素への影響把握	21
4.3.1 気象要素への影響把握の基本的な考え方	21
4.3.2 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（d4PDF）の利用	22
4.3.3 バイアス補正	25
4.4 河川流量への影響把握	28
4.4.1 流出計算	28
4.4.2 河川流量への影響	34
4.5 水資源管理への影響把握	36
4.5.1 水運用計算	36
4.5.2 水資源管理への影響	39
5. 評価結果の活用イメージ	42
5.1 近年深刻な渇水が発生している流域	45
5.2 水需要が大きい流域	46
5.3 将来降雪や融雪の影響が大きく現れる可能性がある流域	47
5.4 将来水資源が増加する可能性がある流域	48
用 語 集	52

1. ガイドラインの位置づけ

- 本ガイドラインは、気候変動による水資源への影響について評価手法等に関する現時点の知見をとりまとめたものである。
- 本ガイドラインを参考に、気候変動による水資源への影響に関する評価結果が流域の関係者間で共有され、流域総合水管理において気候変動による影響を踏まえた水資源の有効利用に資する取組が推進されることを想定している。

【解説】

<背景・目的>

気候変動は、将来、無降雨日数の増加、積雪量の減少・融雪の早期化などの降水パターンの変化や蒸発散量の増加による河川流量の減少等の流量パターンの変化を引き起こすと言われており、従来どおりの水資源の利用が困難になるおそれがある。

このため、各流域において気候変動がもたらす影響について関係者間で問題意識を共有した上で、限りある水資源の有効活用に向けた議論を進めていく必要がある。

令和6年に閣議決定された水循環基本計画においても、「気候変動による水資源への影響予測の不確実性が大きく、定量的な評価を行うまでの精度には至っていないが、将来の気候変動リスクに対して対策が手遅れにならないよう、渇水リスクに関する調査・検討を加速化する」ことが明記されているところである。

そこで本ガイドラインでは、最新の技術的知見に基づき、気候変動による水資源への全国的な影響を整理するとともに、各流域でその影響を算出・評価する手法を体系的に整理し、とりまとめるものである。

本ガイドラインでは、降水・河川流量・ダム貯留水といった供給側（以下、供給側）の将来変化を対象としてとりまとめている。

本ガイドラインを活用した影響評価を行うことで、将来の水資源量の変化傾向等が明らかとなることから、流域総合水管理において気候変動による影響を踏まえた水資源の有効利用に資する取組として、各流域の関係者間で評価結果や問題意識が共有され、当面のソフト対策や制度的な課題も含めた議論が行われることを想定している。

なお、本ガイドラインに基づき影響評価を行う主体としては、流域総合水管理に係る取組の担い手の一員であり、観測データや施設情報等を保有する河川管理者が適任であると考えられるが、地域の実情に応じた丁寧な議論が必要になると考えられることから、当面の間は、全国109の一級水系のうち一部の水系を対象として、国の河川管理者が評価を行うことを想定している。

<需要側の扱い>

気候変動による水資源への影響を踏まえた適応策の検討にあたっては、供給側と需要側の将来変化を考慮した総合的な評価が必要である。しかし、気候変動の影響を反映した需要推計手法は現時点で確立されていないことから、本ガイドラインでは需要側の変化は対象としていない。

一方で、気候変動への備えを進めることは重要であることから、まずは本ガイドラインを用いて供給側の変化を把握した上で、関係者間で議論を進めていく必要がある。なお、その際には、

地域の実情に応じて社会情勢の変化等を反映した需要側の変化も考慮した議論を行うことが期待される。

◆留意事項◆

✓本ガイドラインに基づく評価結果は、流域の関係者が連携した既存施設の有効活用等による総合的な水のマネジメントの推進において活用されることを想定しているものであり、評価結果をもって直ちに施設計画に用いることは想定していない。

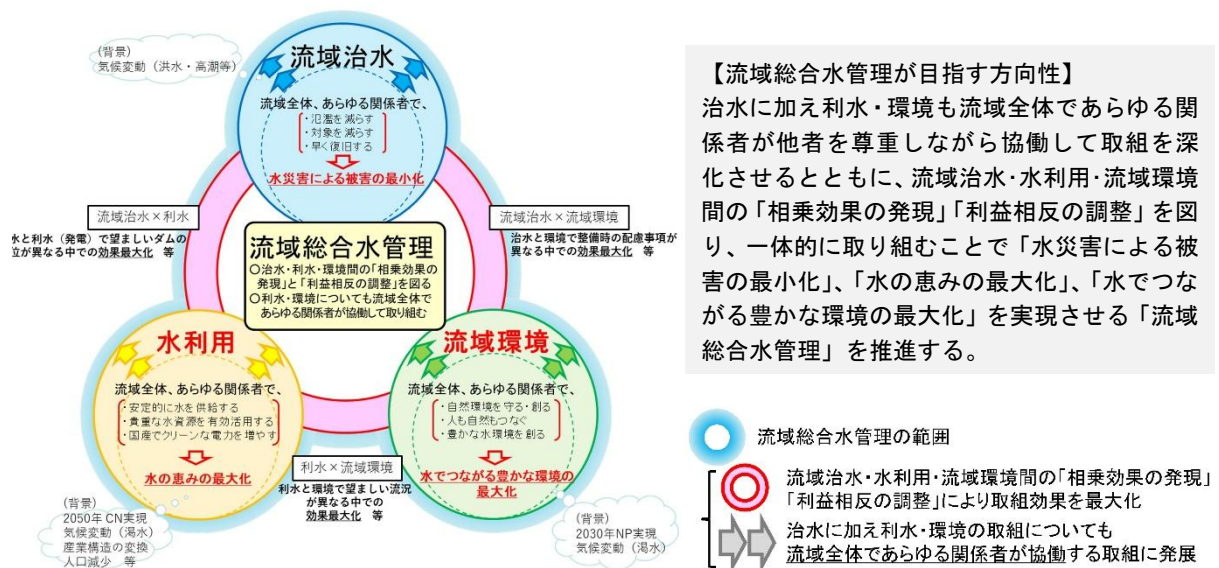


図 1.1 流域総合水管理のイメージ

出典：「流域総合水管理のあり方について」答申参考資料、R7.6

2. 本ガイドラインの構成と活用にあたっての基本的事項

- 本ガイドラインでは、読者の理解を助けるため、まず、気候変動による水資源への全国的な影響について記載した後、各流域で実施する影響評価手法について記載した。
- さらに、各流域の状況に応じて様々な議論が円滑に進むよう、参考として評価結果の活用イメージも併せて記載した。

【解説】

＜本ガイドラインの構成＞

各流域で気候変動による水資源への影響について関係者間で様々な議論を進めていくため、本ガイドラインは、以下の流れで構成されている。

まず Step1 では、気候変動による水資源の全国的な影響を概観し、その傾向を把握することが重要である。このため、各種報告書や既往研究で示されている気候変動による水資源への全国的な影響を整理した（第3章）。

Step2 では、各流域の課題等を明らかにするため、気候変動による水資源への影響評価を実施することが重要である。このため、各流域で気候変動による水資源への影響を定量的に評価する手法とその評価結果の例について解説した（第4章）。

Step3 では、各流域において評価結果を関係者間で共有した上で、地域の実情に応じた課題や適応策の検討などの幅広い議論が行われることを想定している。本ガイドラインの対象は Step2 の影響評価の実施までであり、その先の議論については各流域の判断に委ねられるものであるが、議論の参考となるよう、評価結果の活用イメージも併せて示した（第5章）。

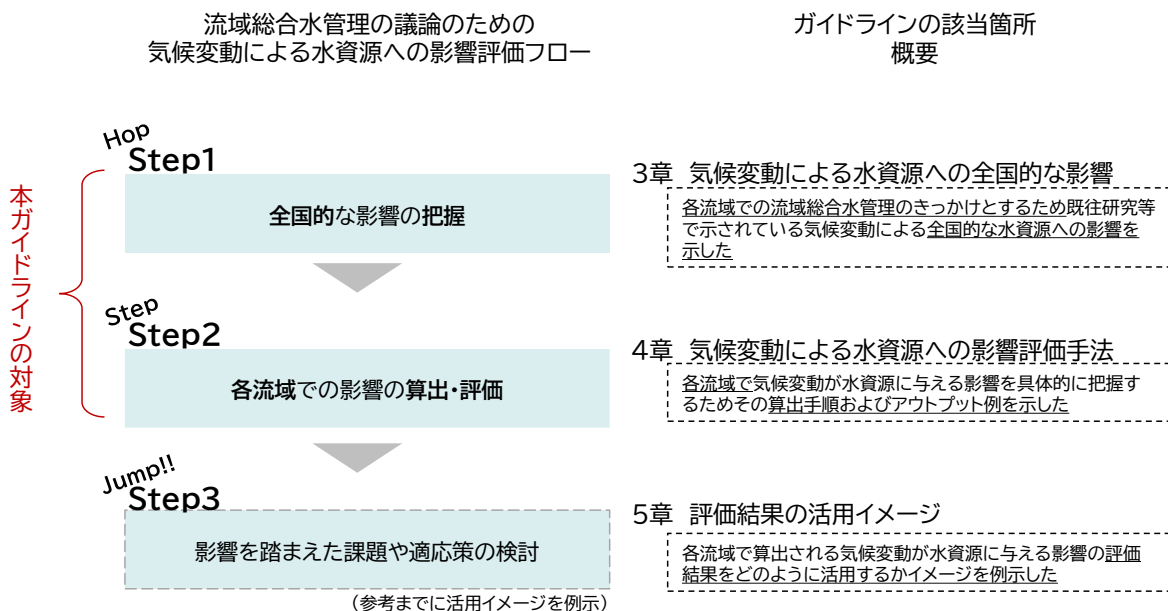


図 2.1 本ガイドラインの構成

＜基本的事項＞将来予測に用いるデータの特徴

- 本ガイドラインでは、主に d4PDF（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）を用いた将来予測結果を掲載しているため、d4PDF について詳細に解説した 4 章 3 節 2 項をまず参照されたい。
- d4PDF の将来実験のデータは特定の年次を指すものではない。
- d4PDF は多数のアンサンブル（複数回の実験例）を用いることにより、単一の結果ではなく、不確実性の幅を考慮した情報を提供するものである。

本ガイドラインでは、主に d4PDF（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）を用いた将来予測結果を掲載している。（d4PDF の詳細は 4 章 3 節 2 項参照）

d4PDF には過去実験と将来実験（2℃上昇実験、4℃上昇実験）のデータが含まれており、本ガイドラインでは将来実験のデータとしては主に 2℃上昇実験のデータを用いている。2℃上昇実験では 4℃上昇シナリオ（RCP8.5）における 2040 年、4℃上昇実験では 4℃上昇シナリオ（RCP8.5）における 2090 年の温室効果ガス等の予測値を境界条件として計算された気温や降水量等の気象データが用いられている。

また、d4PDF には上記のシナリオに基づく同一条件下での複数年分のデータが含まれている。例えば、「d4PDF_5kmDDS_JP」の将来データには、将来起こりうる 732 年分のデータが含まれているが、それぞれが同じシナリオの下で起こり得る別々のケースを示しており、特定の年次を指すものではない。このため、d4PDF を用いた分析では、将来実験の結果が顕在化する時期やそこに至るまでの途中経過については把握することができない。経年的な変化傾向を把握する必要がある場合には、d4PDF に加え、「全球及び日本域における 150 年連続実験データ」を用いることも有効な手段となりうる。

d4PDF は多数のアンサンブル（複数回の実験例）を用いることにより、単一の結果ではなく、不確実性の幅を考慮した情報を提供するものである。各流域においてこれらの結果を活用するにあたっては、このような不確実性を踏まえ、平均値、最大値、最小値等に注目するなど不確実性の幅を考慮した上で議論を進める必要がある。

なお、本ガイドラインは、現時点における最新の技術的知見の一部をとりまとめたものであり、今後の技術的知見の進展や地域の実情に応じてガイドラインに記載のない手法を用いて評価を行うことを妨げるものではない。

＜基本的事項＞人為的要素の影響

- 本ガイドラインでは自然流量と人為的要素が含まれた河川流量があるため、人為的要素が含まれるものについては、その旨を明記している。

評価結果には、ダム操作や取水等の人為的要素が含まれている河川流量と含まれていない河川流量（自然流量）があり、水資源への影響を適切に解釈するためには人為的要素が含まれているかどうかを把握することが重要である。そのため、本ガイドラインで示す評価結果のうち、人為的要素が含まれるものについては、その旨を明記することとした。

【コラム1】気候モデル/温室効果ガス排出シナリオ/気候予測データセットについて

■気候モデル

気候モデルとは、大気や海洋の物理法則を方程式で表し、気候の変化を数値計算するモデルの総称であり、全球の気候予測では気象研究所が開発したMRI-AGCM3.2（水平解像度 60km／高解像度版 20km）が中核的に用いられている。ただし、河川流域スケールでは、その出力を境界条件として日本域を高解像度で詳細化

（力学的ダウンスケーリング）したNHRCM

（気象研究所非静力学地域気候モデル、水平解像度 20km/5km/2km）が用いられる。

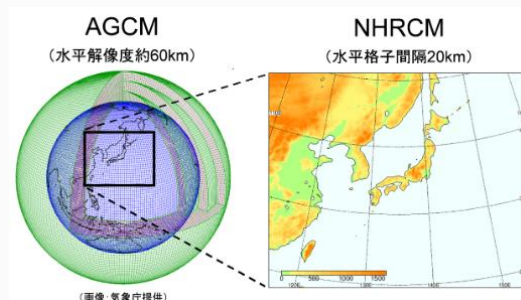


図 2.2 MRI-AGCM3.2 と NHRCM

■温室効果ガス排出シナリオ

気候モデルを用いた将来予測では、2100 年頃の温室効果ガスの大気中濃度と、現在からその濃度に至るまでの温室効果ガス排出の経年変化を仮定した代表的濃度経路（RCP）シナリオが用いられている。RCP2.6は低位安定化シナリオとも呼ばれ、産業革命以前と比べて世界の平均地上気温の上昇を 2℃未満に抑えることを目指す想定であり、2℃上昇シナリオ（以下、

「2℃上昇シナリオ（RCP2.6）」と表記）といわれ、温室効果ガスの排出抑制対策を定めたパリ協定における 2℃目標に対応する。また、RCP8.5は高位参照シナリオとも呼ばれ、追加的な緩和策を取らない場合を想定しており、4℃上昇シナリオ（以下、「4℃上昇シナリオ（RCP8.5）」と表記）といわれる。

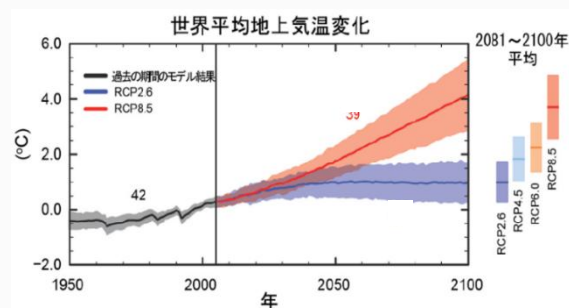


図 2.3 シナリオ毎の世界平均地上気温の変化

■気候予測データセット（d4PDF 等）

気候モデルに温室効果ガス排出シナリオを条件として与えた予測計算が行われており、下表に示す気温や降水量などの気候予測データセットが公表されている。

表 2.1 MRI-AGCM3.2 及び NHRCM に関連する気候予測データセットの概要

データセット	排出シナリオ	解像度
全球及び日本域気候予測データ （高解像度実験）	RCP2.6・RCP8.5	全球:20km 日本域:5km/2km
マルチシナリオ・マルチ物理予測データ	RCP2.6・RCP4.5・RCP6.0・RCP8.5	全球:60km 日本域:20km
全球及び日本域150年連続実験データ	RCP2.6・RCP4.5・RCP6.0・RCP8.5	全球・日本域:60km/20km
全球及び日本域確率的気候予測データ （d4PDFシリーズ）	RCP8.5の2090年(+4℃)/2040年(+2℃)/2030年 (+1.5℃)の温室効果ガス濃度	全球:60km 日本域:20km
全国版d4PDFダウンスケーリングデータ （d4PDF_5kmDDS_JP）	RCP8.5の2090年(+4℃)/2040年(+2℃)の温室効果 ガス濃度	日本域5km

（引用文献）

「気候予測データセット 2022 解説書」、「日本の気候変動 2025」の記述を要約・再構成

【コラム 2】気候モデルの予測データが持つ不確実性

■不確実性の定義^[1]

「確実性」とは、どのような事象(事態)が起こるかどうかが確定的に分かっている場合、一方で「不確実性」とは、起こりうる幾つかの事象(事態)は分かっているが、どの事象(事態)がどのような確率＝可能性で発現するかが定量的に分かっていない場合をいう。

■不確実性の 3 要因^[2]

気候モデルによる温暖化予測では「不確実性」は避けられず、予測結果と合わせて考慮すべき要素となり、以下に示す 3 要因に整理される。

①「排出シナリオ」に起因する不確実性

今後の社会・経済の動きによって、温室効果ガスの排出量は大きく変わり、将来の気候は「どのような社会を選ぶか」によって左右される。

- 例として、d4PDF の場合は、4℃上昇シナリオ (RCP8.5) における 2040 年時点の温室効果ガス等の予測値を境界条件とした予測結果(2℃上昇実験)と、2090 年時点の温室効果ガス等の予測値を境界条件とした予測結果(4℃上昇実験)となる

②「モデルの応答」に起因する不確実性

気候モデルは物理法則に基づいて作られており、雲や降水、海洋との相互作用などを完全に表現することは難しく、モデルの構造そのものに起因して将来変化の出方が異なる。

- 例として、d4PDF の場合は、多様なモデル応答の全体を表現するものではなく、気象研究所全球大気モデル MRI-AGCM3.2 による全球実験と日本域を対象とする NHRCM 領域実験を組合せたモデル構造に伴う単一のモデル実験に基づく予測結果となる

③「気候の内部変動」に起因する不確実性

同じ温暖化条件でも、年ごとの気温や降水の現れ方には自然なばらつきが生じる。

- 例として、d4PDF の場合は、2 つの摂動(予測計算の初期値等に与える微小差)と 6 種類の大気海洋結合モデルで予測された海面水温(SST)を組み合わせた計 12 メンバについて、各メンバ 61 年分、合計 732 年分の年毎に異なる予測結果となる

■不確実性を踏まえることの意義

d4PDF は単一モデルによる予測となるため、「モデルの応答」に起因する不確実性を一部取り込むために、6 種類の予測された海面水温を用いている。一方、「気候の内部変動」に起因する不確実性については、2 つの摂動のアンサンブルデータにより表現しており、さらに、「排出シナリオ」に起因する不確実性は、1.5℃上昇、2℃上昇、4℃上昇の複数シナリオを用いることで表現している。

ただし、d4PDF を用いる場合でも、使用するメンバ数や採用するシナリオによって、結果に反映される不確実性の範囲は異なる。そのため、使用するデータの特性と、そこに含まれる不確実性を理解した上で評価結果を解釈することが重要である。

(引用文献)

[1]「ケインズの蓋然性論とナイトの不確実性論:奇跡の1921年を考える」を要約・再構成

[2]文部科学省・気象庁『日本の気候変動2025 (詳細版)』コラム1「将来予測の不確実性」(pp.27-29)を要約・再構成

3. 気候変動による水資源への全国的な影響

- これまでの観測結果によると、無降水日数の増加や積雪量の減少といった変化傾向が確認されている。
- 将来、気候変動の影響により、積算降水量の変化は小さいが、50mm/日未満の降水量が減少し、50mm/日以上降水量が増加するなど降水パターンの極端化が進む。
- また、本州以南の地域では年最深積雪深及び降雪量が減少し、全国的に蒸発散量は増加する。
- 渇水流量（1/10 渇水流量）は 109 水系のうち 6 水系で増加、71 水系で減少し※、平均では 0.79 倍になるとの予測があり、また渇水の長期化や同時生起も予測されている。

※1%以内の増減を変化なしとした場合

【解説】

<全国的な影響の概要>

一般的に、気候変動による気温の上昇は、大気中の飽和水蒸気量を増加させ、蒸発散量を増大させると言われている。このことは雨の降り方の変化などにも影響しており、極端な大雨の発生頻度の増加や雨の降らない日数の増加、日降雪量 20cm 以上の日数の減少といった変化傾向が、これまでの観測結果から明らかとなっている。^[1]

そこで本章では、気温、降水量、降雪・積雪量、蒸発散量、河川流量について、これまでの観測結果から明らかになっている内容に加え、将来予測として示されている内容を、各種報告書や既往研究等から引用する形で整理し、気候変動による水資源への影響を概観することとした。なお、将来の予測結果は、過去実験と将来実験の比較により、変化傾向を示したものである。

<気温>

- ✓日本国内の都市化の影響が比較的小さい 15 地点で観測された年平均気温については、1898～2024 年の間に 100 年当たり 1.40℃の割合で上昇している。^[1]
- ✓20 世紀末（1980～1999 年の平均）と比べた 21 世紀末（2076～2095 年の平均）の気温は、2℃上昇シナリオ（RCP2.6）では約 1.4℃上昇すると予測されている。^[1]
- ✓河川流域を対象にした既往研究によると、4℃上昇シナリオ（RCP8.5）における 2℃上昇時の将来実験※の年平均気温の 109 水系平均値が、過去実験に対して約 2.0℃上昇すると予測されている。^[4]

※以下、「将来実験」のみの場合は「4℃上昇シナリオ（RCP8.5）における 2℃上昇時の将来実験」を示す。

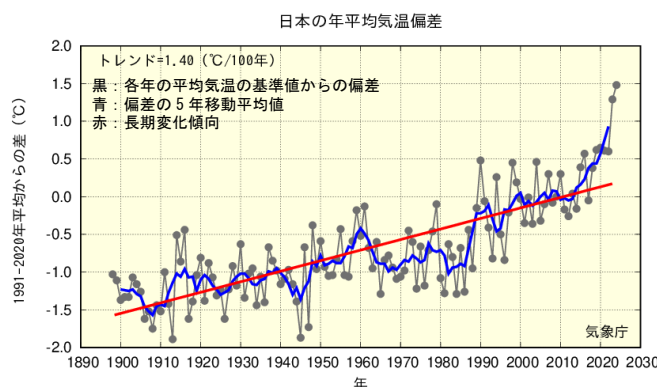


図 3.1 日本の年平均気温偏差の経年変化
(1898～2024)^[1]

年平均気温の変化

将来実験－過去実験

109 水系平均
約 2.0℃上昇

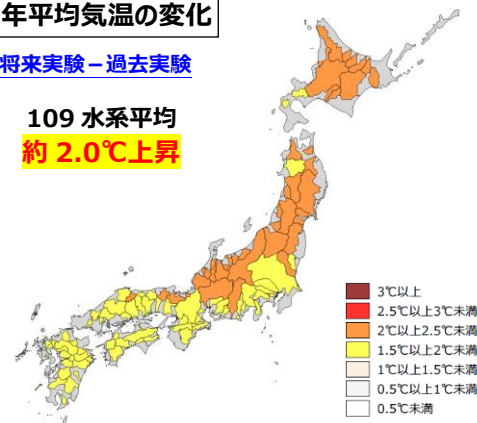
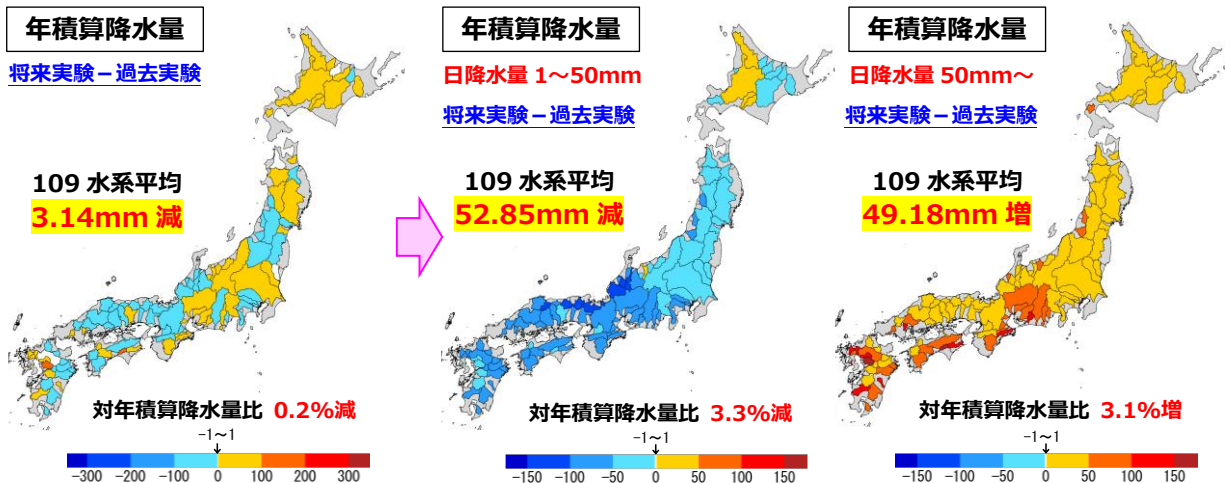
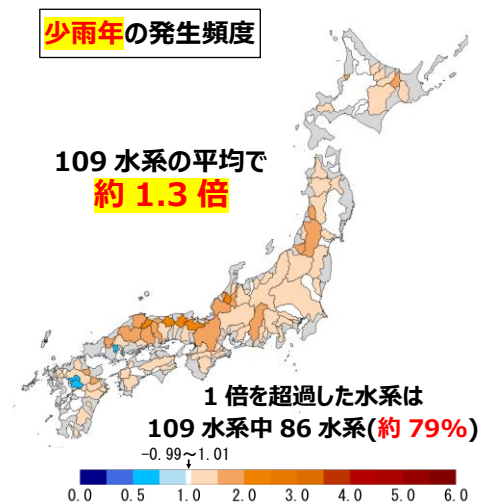
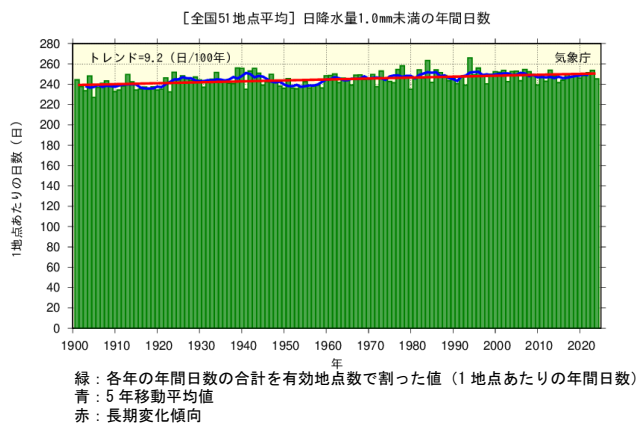


図 3.2 年平均気温の変化
(将来実験－過去実験)^[4]

<降水量>

- ✓気象庁の全国 51 観測所における観測によると、1901 年から 2024 年の期間、日降水量 1.0mm 未満の無降水日は増加しており、増加率は 100 年あたり 9.2 日となっている。^[1]
- ✓将来的には、無降水日は2℃上昇シナリオ (RCP2.6) では有意な変化傾向が確認されていないものの、4℃上昇シナリオ (RCP8.5) では、20世紀初めから約9.1日増加すると予測されている。^[1]
- ✓河川流域を対象にした既往研究によると、将来実験による 10 年に 1 回の確率で発生する少雨年の発生頻度は、過去実験に対して約 1.3 倍になると予測されている。^[2]
- ✓さらに年積算降水量の 109 水系平均値は、過去実験に対して 3.14mm 減少すると予測されている。特に、日降水量が 1～50mm の年積算降水量が 52.85mm 減少するのに対し、日降水量 50mm 以上の年積算降水量が 49.18mm 増加すると予測されており、降水パターンの極端化が予測されている。^[2]



年積算降水量の変化は小さいが、50mm/日未満の降水量が減少し、50mm/日以上降水量が増加する。
 ⇒降水パターンの極端化が予測されている。
 年積算降水量：2023 年の我が国の年降水量 約 1,585mm（出典：令和 6 年版日本の水資源の現況）
 ※本研究は気候変動による全国的な影響を検証したものであり、各流域での評価を対象としたものではない。

図 3.5 年積算降水量の変化（将来実験－過去実験）^[2]

<降雪・積雪量>

- ✓最深積雪は、1962 年以降、日本海側の各地域で減少傾向が確認されている。^[1]
- ✓将来的には、2℃上昇シナリオ（RCP2.6）において、本州以南の地域で年最深積雪深及び降雪量が減少すると予測されている。^[1]
- ✓一方で、本州の山間部や北海道の内陸部等の一部地域では、極端な大雪時の降雪量が増加する可能性も示されている。^[1]
- ✓河川流域を対象にした既往研究によると、将来の降雪・積雪量の減少は、春先の融雪流出の減少・前倒しにつながり、特に中部・北陸から東北の多雪地帯において基底流量（夏～秋季の自然流量）の低下を引き起こす可能性も示されている。^[3]

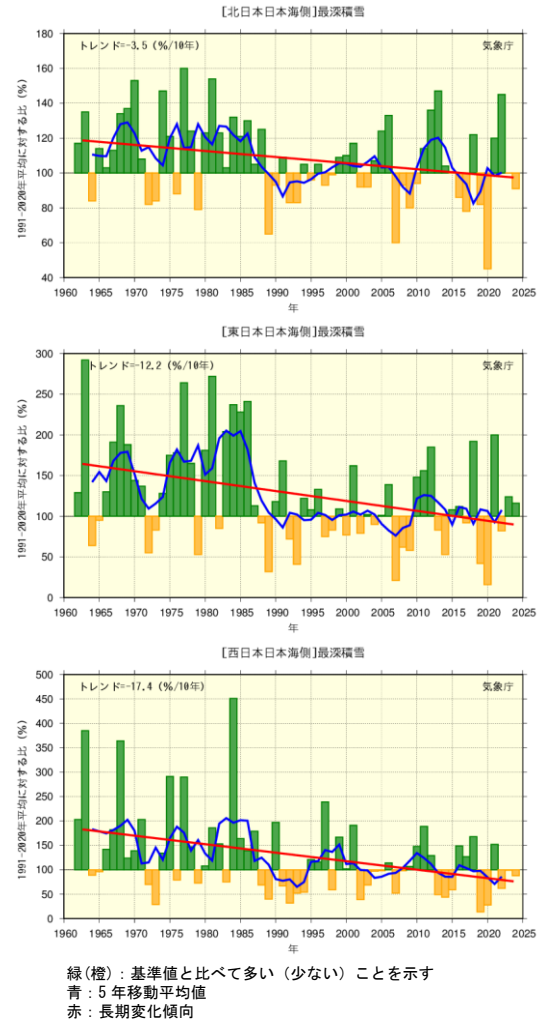
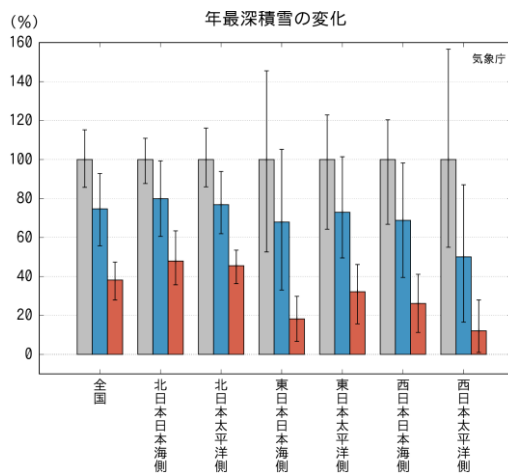


図 3.6 日本の年最深積雪の基準値に対する比率の経年変化（1962～2024 年）及び全国及び地域別の年最深積雪の将来変化^[1]

<蒸発散量>

- ✓蒸発散量については、全国的な変化傾向を示すデータは揃っていない状況である。
- ✓河川流域を対象にした既往研究によると、将来実験では、年蒸発散量の 109 水系平均値は、過去実験に対して 44.51mm 増加すると予測されている。^[2]

※本研究は気候変動による全国的な影響を検証したものであり、各流域での評価を対象としたものではない。

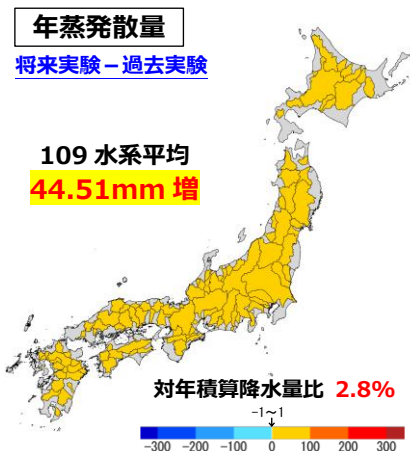
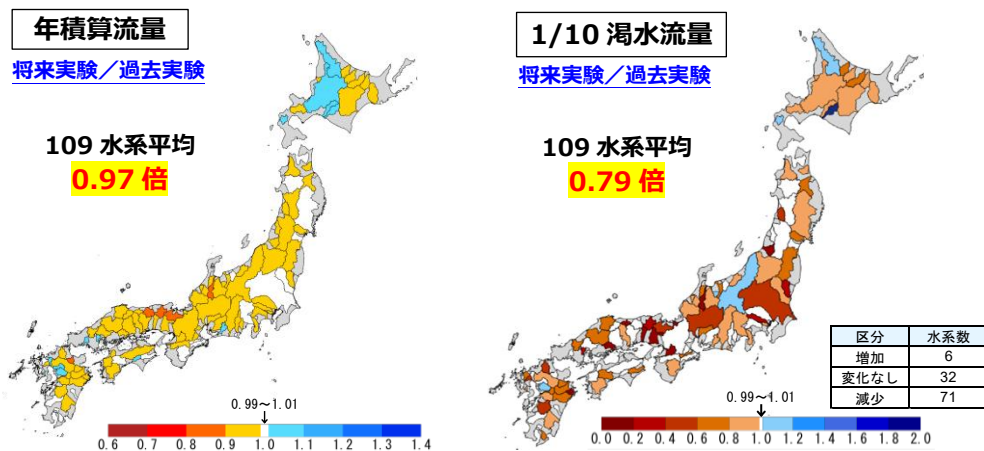


図 3.7 年蒸発散量の変化（将来実験－過去実験）^[2]

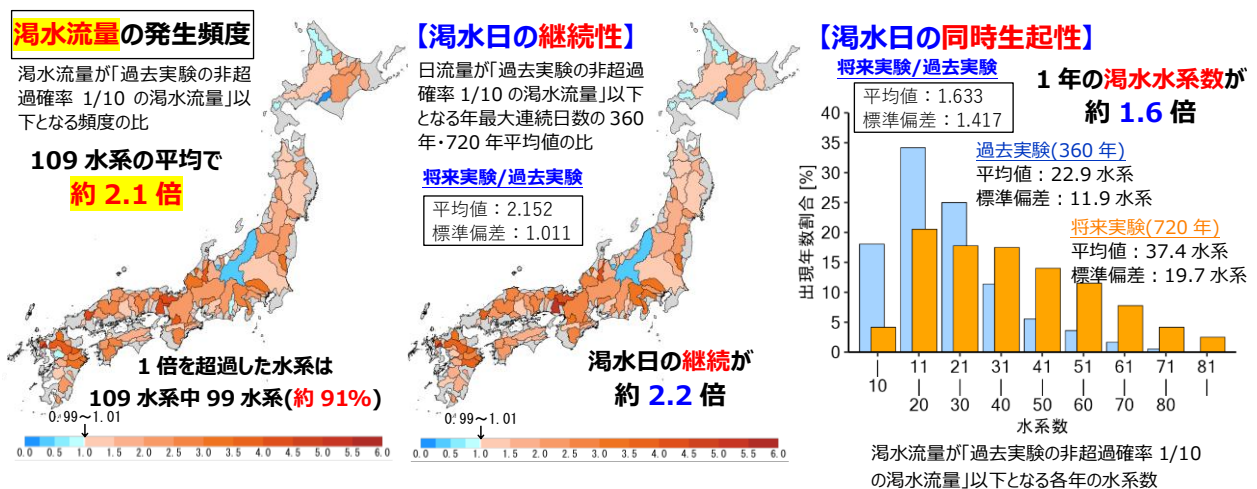
<河川流量>

- ✓観測流量は、ダム操作など地域固有の人為的要素を含むため、全国的な変化傾向を把握することは困難な状況である。
- ✓河川流域を対象にした既往研究によると、将来実験では、年積算流量の109水系平均値は、過去実験に対して0.97倍になると予測され、10年に1回の頻度で発生する渇水流量（1/10 渇水流量）は過去実験に対して将来実験が0.79倍になると予測されている。さらに1/10 渇水流量を下回る渇水流量の発生頻度は、109水系平均で約2.1倍である。^[2]
- ✓特に、1/10 渇水流量については、1%以内の増減を变化なしとした場合、6水系で増加、71水系で減少することが予測されている。^[2]
- ✓さらに、日流量が1/10 渇水流量を連続して下回る日数は過去実験に対して約2.2倍（渇水の長期化）に増加し、その水系数も約1.6倍に増加（渇水の同時生起性）すると予測されている。^[2]



※本研究は気候変動による全国的な影響を検証したものであり、各流域での評価を対象としたものではない。

図 3.8 河川流量の変化（将来実験／過去実験）^[2]



※本研究は気候変動による全国的な影響を検証したものであり、各流域での評価を対象としたものではない。

図 3.9 渇水の発生頻度と継続性、同時生起性（将来実験と過去実験の比較）^[2]

＜季節別の気温・降水量の概要＞

- ✓将来の気温は全ての季節で上昇すると予測される。中でも秋季と冬季の上昇幅が大きく、全国的に概ね 2℃以上となる。一方、夏季は全国的に概ね 1.5℃以上 2℃未満、春季は北海道・東北・北陸で 2℃以上、その他の地域で 1.5℃以上 2℃未満の上昇となる。
- ✓将来の流域平均降水量は、春季と冬季に全国的に増加傾向を示す水系が多い一方、秋季は概ね全国的に減少傾向となる。秋季は、降水量の減少に加え、気温上昇に伴う蒸発散量の増加も見込まれるため、水資源量の減少がより大きくなると予測される。

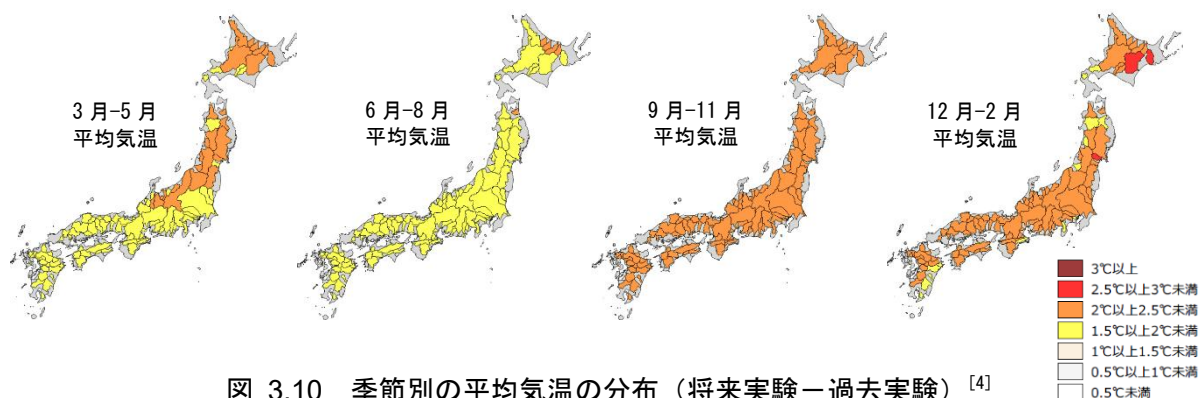


図 3.10 季節別の平均気温の分布（将来実験－過去実験） [4]

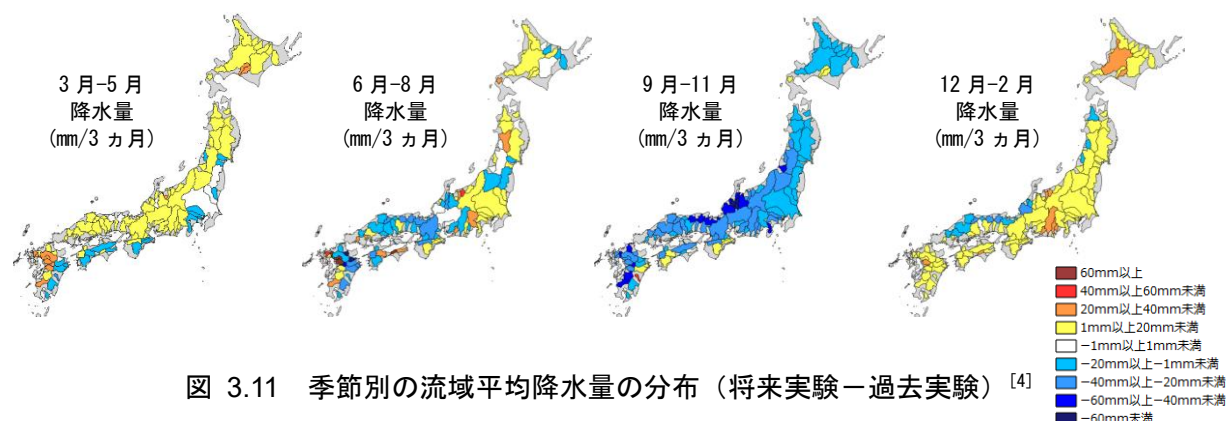


図 3.11 季節別の流域平均降水量の分布（将来実験－過去実験） [4]

図 3.10、図 3.11 は、全国 109 水系を対象に、過去実験と将来実験それぞれの平均気温と流域平均降水量の差分を 3 か月ごとに整理した結果（過去実験・将来実験のいずれも 12 メンバの全予測結果を対象に平均化して差分したもの）

（引用文献）

- [1] 「日本の気候変動 2025 ―大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書―」（令和 7 年 3 月 26 日）
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2503/26a/ccj2025.html>
- [2] 西村宗倫，高田望，坂本光司，嶋谷祐馬，柴川大雅，因幡直希，仲江川敏之，池淵周一，竹下哲也
「WBC-d4PDF5km(2022)を用いた気候変動による渇水への影響のマクロ的評価」
土木学会論文集(地球環境)Vol.81, No.27(2025)、引用した図は本ガイドライン作成時に一部改変している。
- [3] 田中賢治「超高解像度気候モデルと将来土地利用変化を用いた日本の水資源量の長期変化予測」
土木学会論文集 B1(水工学)Vol.77, No.2(2021)
- [4] 国土技術政策総合研究所によりバイアス補正された過去実験及び将来実験のデータセットに基づき作成

◆留意事項◆

- ✓気象要素（降水量、蒸発散量等）は、将来の不確実性を考慮するため、複数の予測結果を組み合わせた予測（アンサンブル予測）に基づき評価したものである。蒸発散量は土地利用の影響を受けるなど、社会・経済条件等の人為的要素により変化する側面もあるが、当該予測は人為的要素の変化は考慮していない。
- ✓河川流量には、降水や蒸発散、地形・地質等の自然的要素と、土地利用、ダムの補給・貯留、取水・還元等の人為的要素が複合的に影響している。一方、上述の予測では、ダム操作や取水を一定のルールに基づき考慮しているものもあるが、実態に即したダム操作や取水は考慮されていない。また、渇水時には、被害軽減のため、節水協力や他水系からの水融通などの対策が講じられるため、そのような突発的な対応による人為的要素も含まれていない。
- ✓様々な人為的要素の変化により予測結果に変化が生じる可能性があるため、このようなデータの特性を理解した上で、全国的な傾向を示した予測結果として解釈する必要がある。

【コラム 3】日本周辺の海面水位の上昇

海面水位の変化は、直接的には水資源に影響を及ぼさないが、海面水位の上昇は海水の遡上範囲を拡大し、河川下流域での水利用（取水）に対して影響を及ぼす可能性がある。

（引用文献）「気候変動影響評価報告書 詳細（2025 年度版）」R8.2，環境省

■既往の観測結果

日本沿岸の海面水位は、1980 年代以降、地球温暖化の影響による上昇傾向が現れている。気象庁と国土地理院が連携し、全国 13 地点の検潮所に GPS 観測装置を設置して地盤上下変動の影響を除外した精密な観測を実施しており、その結果、2004～2024 年の期間で地盤変動補正後の年平均上昇率は年 3.4mm と算出している。

日本沿岸の平均海面水位には、人間活動ではなく自然変動によると考えられる十年規模の長周期変動が見られており、1930 年頃・1950 年頃・1970 年頃に水位が高くなる現象が観測されているが、1980 年代後半以降は、この自然変動よりも地球温暖化による上昇の影響が顕著になってきている。

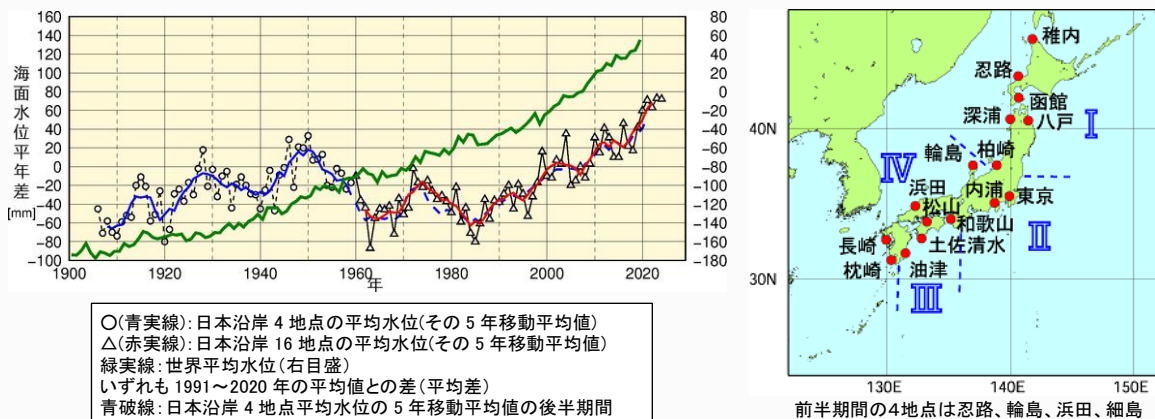


図 3.12 日本沿岸の海面水位の経年変動（1906～2024 年）

■将来予測結果

近未来（2031～2050 年）の日本沿岸の平均海水面は、20 世紀末（1986～2005 年）と比較して、RCP8.5（4℃上昇シナリオ）では 0.19m、RCP2.6（2℃上昇シナリオ）では 0.17m の上昇が予測されており、近未来においては両シナリオ間の差は小さく、将来において一定程度の上昇は避けられないとしている。

表 3.1 20 世紀末(1986～2005 年)を基準にした海面水位上昇量の将来予測(m)

	シナリオ	海域 I	海域 II	海域 III	海域 IV	4 海域平均	(世界平均)
2031～2050 年 平均	2℃ 上昇	0.16 (0.14-0.21)	0.17 (0.14-0.22)	0.16 (0.12-0.22)	0.16 (0.13-0.21)	0.17 (0.14-0.21)	0.16 (0.14-0.21)
	4℃ 上昇	0.19 (0.16-0.24)	0.19 (0.16-0.24)	0.18 (0.14-0.23)	0.19 (0.16-0.24)	0.19 (0.16-0.24)	0.19 (0.16-0.23)
2081～2100 年 平均	2℃ 上昇	0.40 (0.30-0.55)	0.40 (0.30-0.56)	0.39 (0.29-0.55)	0.40 (0.31-0.56)	0.40 (0.30-0.55)	0.41 (0.32-0.57)
	4℃ 上昇	0.67 (0.55-0.87)	0.68 (0.56-0.88)	0.67 (0.55-0.87)	0.69 (0.57-0.89)	0.68 (0.56-0.88)	0.67 (0.55-0.87)

（引用文献）

「日本の気候変動 2025」(第 9 章 海面水位)の記述を要約、図表はいずれも同資料からの抜粋

4. 気候変動による水資源への影響評価手法

4.1 影響評価の手順

○各流域では、実績データに基づく現状把握を行った上で、d4PDF を用いた気象要素への影響評価、流出計算による河川流量への影響評価、水運用計算による水資源管理への影響評価を行うことを基本とする。

【解説】

＜影響評価の手順の概要＞

まず4章2節では、実績資料に基づき、降雨・流量等の季節変化及び経年変化傾向、ダム運用実績並びに水資源利用の実態等の現状把握を行う必要があることを記載した。その上で4章3節では、外力条件となる気象要素について、将来の不確実性を踏まえ、アンサンブル予測値にバイアス補正を施した値を用いて影響を把握することを記載した。4章4節では、河川流量について、流域特性や水利用形態等に応じて、集中型または分布型の流出計算モデルを構築し、ダム地点や利水基準地点における影響を把握することを記載した。4章5節では、水資源量について、ダムの補給・貯留ルールや取水・還元等の諸条件を加味した水運用計算を実施することにより、自然的要素に人為的要素を加味した影響を把握することを記載した。

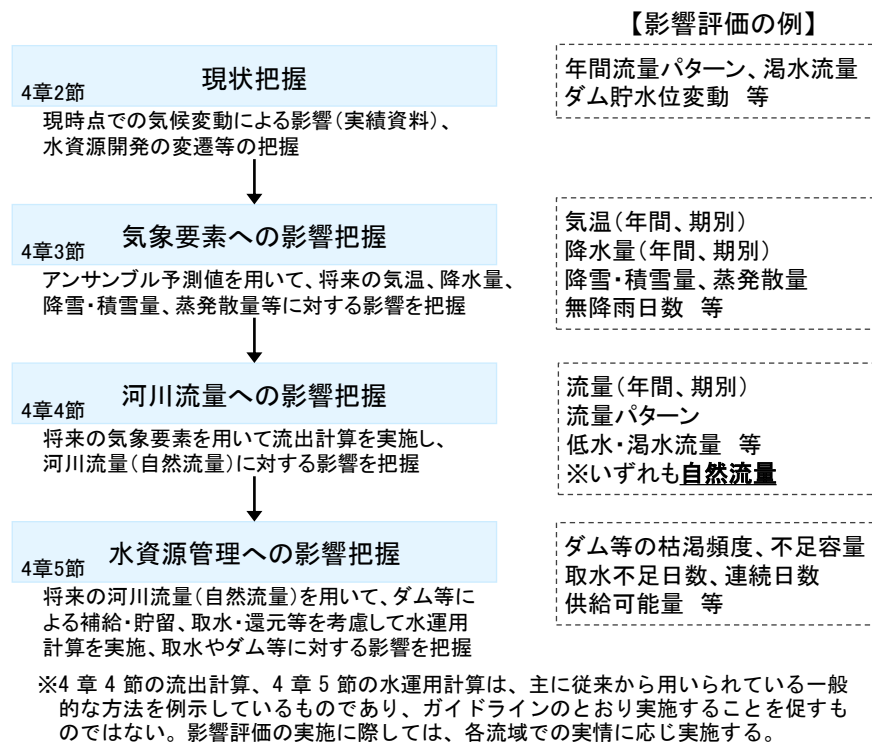


図 4.1 各流域での影響評価の手順と評価結果の例

これらの手順を踏むことによって、各段階において、降水量や無降雨日数の変化、低水・渇水流量や流量波形の変化、ダム等の枯渇頻度や供給可能量等を定量的に評価でき、より具体的な議論や適応策の検討を行うことが可能となる。なお、影響評価に当たっては、必ずしも定量的な評価に限らず、変化傾向の把握にとどまる場合であっても有効な手段となりうる。

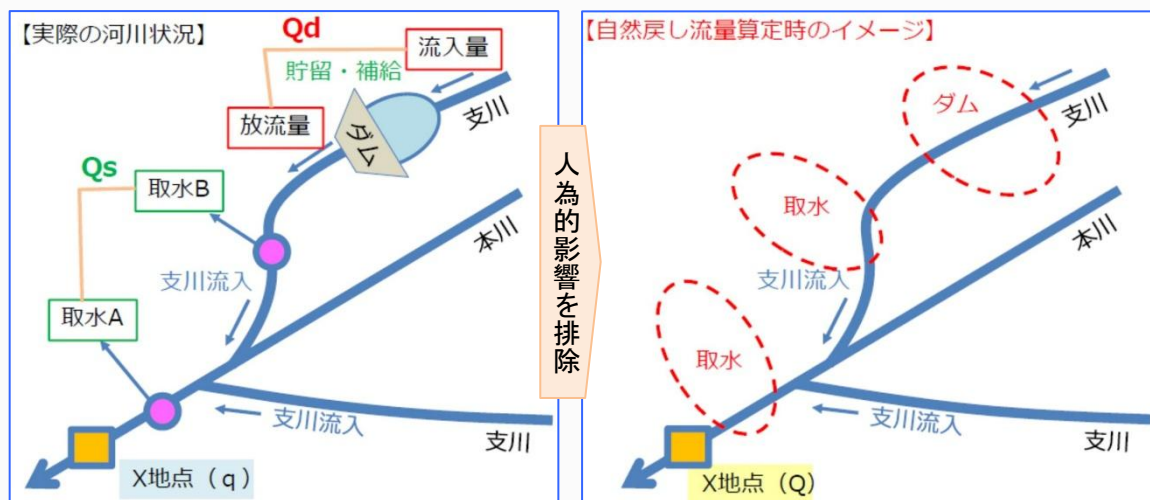
ここで整理した手順のうち4章4節「河川流量への影響把握」と4章5節「水資源管理への影響把握」については、従来から用いられている一般的な手法を主に整理したものであり、地域の実情に応じて各流域で評価手法を取捨選択することが重要である。

【コラム4】自然流量の算定（流量戻し）

自然流量は、実際の取水やダム操作等の人為的影響を排除した流量であり、図4.2に自然流量の算定イメージを記載する。なお、流下距離の長い河川では、自然流量の算出において、流下時間等に配慮が必要である。

表 4.1 自然流量算出に必要な主なデータ

項目	内容
地点流量	<u>流量観測地点の日流量データ</u> - 原則として実測値とし、欠測がある場合は欠測補填を行う。 - 欠測補填は流域特性が類似する近傍観測所の比流量、もしくは相関式等により行う。
取水量	<u>水道、工業用水、農業用水等の日取水量データ</u> - 原則として実績取水量を利用する。 - 実績取水量がない場合は、水利権量等を用いる。
ダム流入・放流量	<u>ダム流入量・放流量の日データ</u> ダム管理年報等により流入量・放流量を把握する。



【X地点の観測流量】 q

【ダムの影響量】＝放流量－流入量＝ Q_d （「－」貯留、「＋」補給）

【取水量】ダム地点～X地点＝取水量A＋取水量B＝ Q_s

【X地点自然流量】 $Q = q + Q_s - Q_d$

図 4.2 自然流量の算定イメージ

4.2 現状把握

○将来予測を実施する前に、まずは観測結果に基づき、これまでの降水量や流量等の経年変化及び季節変化を定量的に整理するとともに、ダム運用実績、取水量・取水期間等の水源状況を踏まえ、流域における水資源の利用実態を把握する。

【解説】

<現状把握の概要>

将来予測を行う前に、まずはこれまでに生じている降雨・河川流況などの変化やダムの開発など水資源の変遷を整理し、過去から現在までの変化傾向を把握することが重要である。それによって、次節以降で行う現在から将来の変化傾向を把握する際にも、過去からの変化傾向との違いを意識でき、評価結果をより深く理解することが期待できる。

観測データについては、箇所毎に観測開始時期が異なる場合もあるが、可能な限り長い期間のデータを取得することが望ましい。その際、時系列のデータを前期と後期に分けて、それぞれの期間の平均値やデータの変動性（変動幅、標準偏差）等を把握することが望ましい。

また、気候変動に伴う気温の上昇や降水量・蒸発散量の変化は、年間を通じて一様に現れるものではなく季節変動も大きいことから、過去から現在までの水文・気象状況の変化傾向を把握する際には、年平均値や年間の合計値のみを確認するのではなく、融雪期やかんがい期などの特定の時期にも着目し、季節ごとの変化を踏まえた資料整理を行うことが重要である。その際、各期間の結果に統計的に有意な違いがあるのかどうかを確認するため、有意差検定を行うことが望ましい。ここでは、気象要素、各種水文量毎に、整理項目と着眼点などを記載する。

＜気象要素の整理＞

✓整理項目

- ・年別・月別の平均気温、最大積雪深、降水量等を整理する。

✓着眼点

- ・気象要素については、年別・月別で整理することで、年別では経年変化を、月別では季節的な変化傾向を把握することができる。
- ・なお、年最大積雪深は一度に極端な降雪があった場合に大きな値を示すため、1シーズンの降雪量を確認したい場合は累計降雪量を確認するとよい。

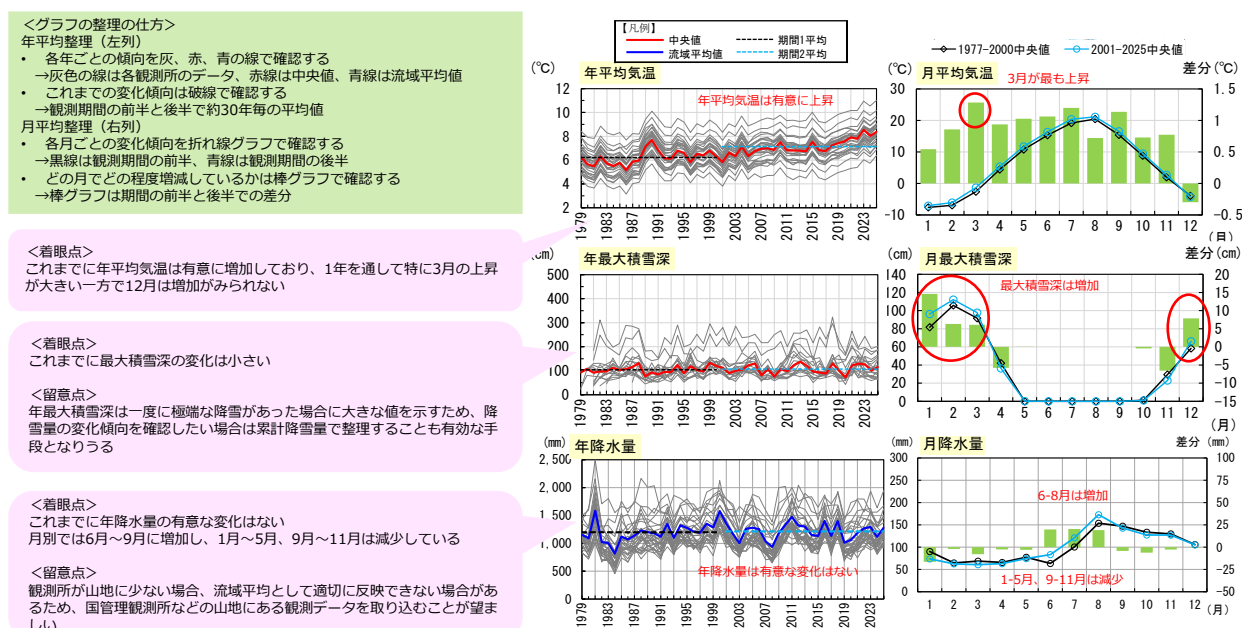


図 4.3 気象の整理イメージ

＜河川水文量の整理＞

✓整理項目

- ・渇水流量（年間・夏季・冬季）、渇水流量の生起時期、ダム開発水量、利水容量、データの変動性（変動幅、標準偏差）、日・年平均流量（流出高）等を整理する。

✓着眼点

- ・渇水流量は夏季と冬季を分けて整理することで、融雪による影響が平均化されることなく明瞭に把握できる場合がある。渇水流量の月別の生起回数からは、渇水の発生時期や頻度の変化傾向を読み取ることができる。また、渇水流量のデータの変動性（変動幅、標準偏差）を数値化しておくことが望ましい。
- ・なお、実績流量の整理を行う場合には、取水やダム操作等の人為的要素が含まれるデータであることが多いため結果の解釈が難しくなるが、国や都道府県等が所管するダムの開発状況（利水容量）の変遷などと併せて確認を行うことで、人為的要素の影響をより明瞭に把握できる場合がある。

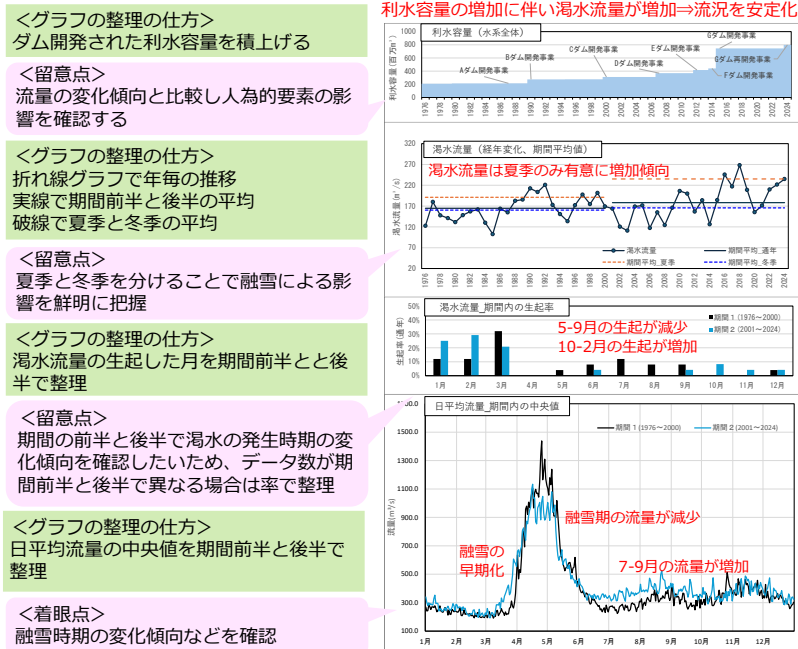


図 4.4 流量の整理イメージ

＜ダム水文量の整理＞

✓ 整理項目

- ・貯水位（貯水池運用）、ダム流入量等を整理する。

✓ 着眼点

- ・最上流部にあるダムの流入量に着目することで、人為的要素による影響を抑えた自然的要素に近い水文量を把握することができる。夏季の無降雨日の長期化による貯水位の低下や、冬季の融雪の早期化・減少に伴う貯水位変化や貯水位低下などが確認できる。
- ・また、時系列データを用いて、流入量から算定する流出高と流域平均降水量をプロットした散布図を作成することで流出率の変化等を把握することができる。

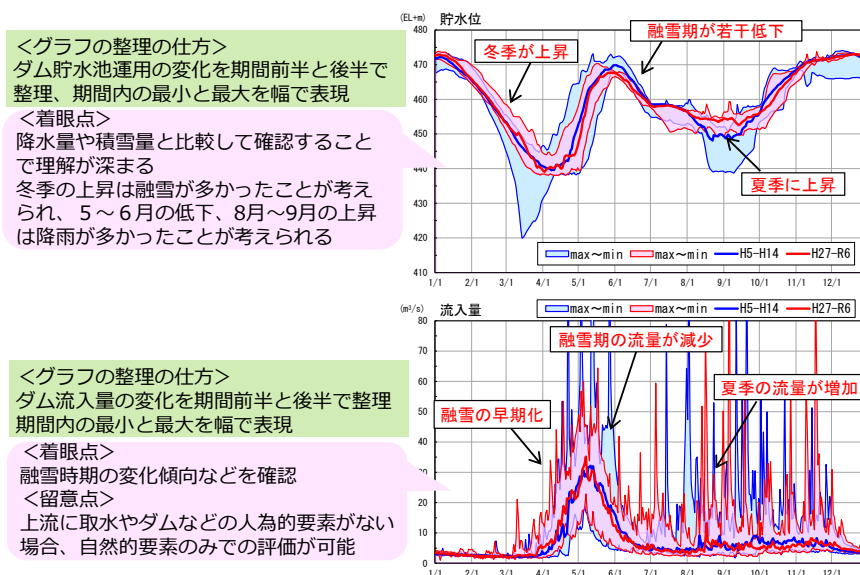


図 4.5 ダム貯水位と流入量の整理イメージ

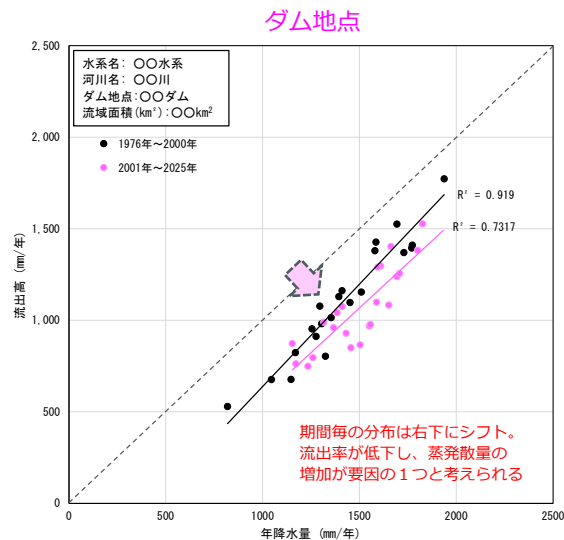


図 4.6 ダム地点における年降水量～流出高（流出率）の整理イメージ

◆留意事項◆

- ✓実績流量は、ダムによる補給と貯留、水利用のための取水と還元等の人為的要素を含んでいる。そのため、実績流量により気候変動影響の概略を推定することは可能であるが厳密ではない。特に水利用が多い流域は、人為的要素の影響が大きくなる。
- ✓代表地点の選定においては、正常流量基準地点など各流域において低水管理上代表となる地点を基本とする（長期間のデータ取得が可能な地点を選定）。人為的要素を排除した結果を見るためには、ダム操作や取水の影響のない、上流のダム地点流入量を見ることも有効である。
- ✓変化傾向の有意性を確認するため、有意差検定を行う。ただし、「有意でない＝変化なし」ではない。
- ✓山間部の降水量を適切に評価するためには、アメダスのみではなく国土交通省等の雨量計を併用することが望ましい。積雪地域では河川流量に融雪が影響するため、降水量の観測時期と融雪により河川流量が増加する時期が異なる。

【コラム 5】気候変動影響評価における「再解析データ」の活用

気候変動の影響評価においては、将来の評価だけでなく、観測データによる過去の傾向の把握も重要となる。

しかし、観測手法の進歩により、時期によって観測方法や観測密度が異なる問題がある。そのため、観測データに物理モデルを組み合わせる再解析し、データの長期均一性・高品質性を考慮された「再解析データ」が近年、公開されている。

西村ら¹⁾は、「再解析データ」の DSJRA-55²⁾の 55 年間の年降水量に対し、増減傾向を把握するため、日本陸域の格子毎（格子数：14082）及び 109 の一級水系毎に一次相関分析を行い、一定の回帰係数（増減傾向）を持つ格子・流域の存在を定量的・視覚的に示している。

その結果、例えば、一次相関式の回帰係数が -2.0mm/年 とは 50 年間で年降水量 100mm の減少を意味するが、このトレンドを下回る格子が 29.93%、流域は 26.61%を占めることが確認された。

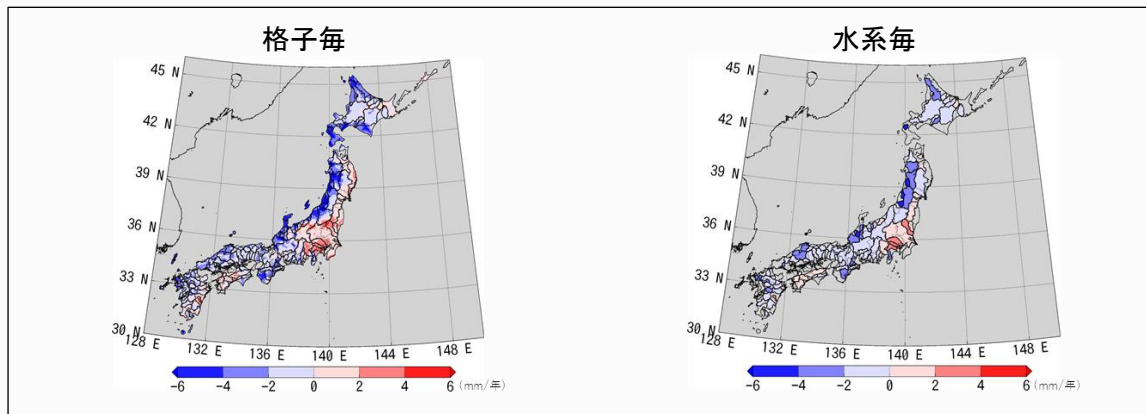


図 4.7 DSJRA-55 の年降水量に対する一次相関分析の回帰係数の分布図¹⁾

表 4.2 DSJRA-55 の年降水量に対する一次相関分析の回帰係数の割合¹⁾

一次相関式の 回帰係数 (mm/年)	格子毎 (全格子数：14082)		流域毎 (全流域数：109)	
	格子数	割合	流域数	割合
-4.0 未満	1262 格子	8.96%	5 流域	4.59%
-4.0 以上 -2.0 未満	2953 格子	20.97%	24 流域	22.02%
-2.0 以上 0.0 未満	5310 格子	37.71%	56 流域	51.38%
0.0 以上 2.0 未満	3519 格子	24.99%	18 流域	16.51%
2.0 以上 4.0 未満	960 格子	6.82%	6 流域	5.50%
4.0 以上	78 格子	0.55%	0 流域	0.00%

(引用文献)

1)西村宗倫, 因幡直希, 西原大貴, 高田望, 柴川大雅, 仲江川敏之, 山本陽子: DSJRA-55 を用いた年降水量のトレンドの全国的把握と Mann-Kendall 検定および地域 Kendall 検定, 河川技術論文集, 第 32 巻, pp.631-636, 2026.

2)JRA-55 領域ダウンスケーリング(DSJRA-55),
https://www.data.jma.go.jp/jra/html/DSJRA-55/index_ja.html

(執筆) 国土技術政策総合研究所河川研究部

4.3 気象要素への影響把握

4.3.1 気象要素への影響把握の基本的な考え方

- 気候変動による気象要素への影響を把握する際には、多数のアンサンブル実験によって将来の不確実性を考慮できる d4PDF を用いることを基本とする。
- 蒸発散量については、経験則に基づく推定手法のほか、d4PDF に含まれる上向き潜熱フラックス値を用いることも有効である。

【解説】

＜気象要素への影響把握の概要＞

気候変動による水資源への影響を評価する際には、まず、流出計算の外力条件となる気象要素の将来変化を把握する必要がある。一般的に、将来の不確実性を考慮した手法として複数の予測結果を組み合わせたアンサンブル計算が用いられていることから、本ガイドラインでは、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として開発された d4PDF を用いることを基本とする。

流出計算を行う際に必要となる気象要素としては、降水量、蒸発散量等が挙げられる。特に、蒸発散量については、気温、日射量、雲量、風速等を用いて経験則に基づき推定する手法のほか、d4PDF に含まれる上向き潜熱フラックス値を用いて算出することも有効である（「＜参考＞上向き潜熱フラックス値の蒸発散量への換算」参照）。ただし、現行の d4PDF では水田など土地利用の実態が十分に反映されていないことから、そのような土地利用が大半を占めている場合には注意が必要である。

なお、d4PDF から得られる予測値には、地形表現の限界や物理過程の近似等に起因する系統的な誤差（バイアス）が含まれるため、観測値を用いたバイアス補正を実施したうえで、流出計算に用いることが望ましい。

これらの流出計算の外力条件としての整理に加え、気候変動による気象要素への影響を可視化することで、評価結果に対する理解が進むことが期待されるため、その概要を把握しておくことが重要である。

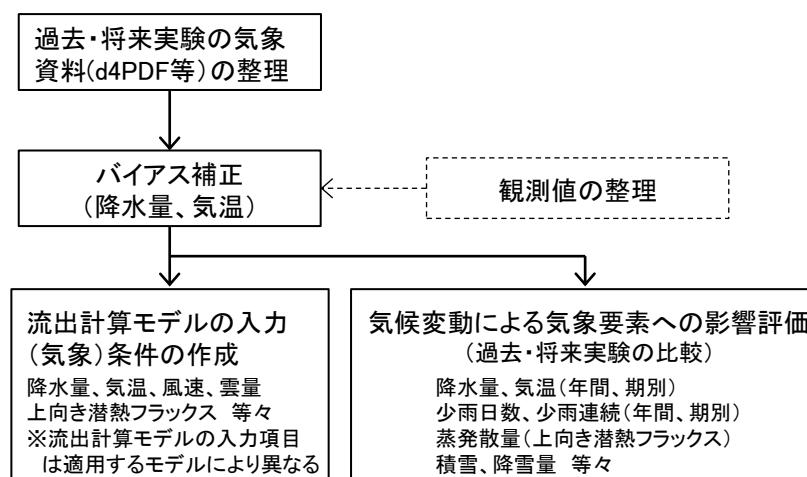


図 4.8 気象条件作成、気象要素への影響把握の手順

4.3.2 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（d4PDF）の利用

- d4PDF を用いることにより、4℃上昇シナリオ（RCP8.5）において全球平均地上気温が 2℃ 上昇あるいは 4℃上昇した時の影響を定量的に評価することが可能となる。
- なお、d4PDF の活用にあたっては、12 メンバ（アンサンブルの個数）全てのデータを用いることを基本とする。

【解説】

<d4PDF の概要>

d4PDF（database for Policy Decision making for Future climate change）は、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として開発されたものであり、文部科学省によって開発された DIAS（データ統合・解析システム）の中でデータセットが公開されている。

d4PDF は、水平解像度 60km の全球モデル MRI-AGCM3.2 を用いた全球実験から、日本域をカバーする 20km 解像度まで力学的ダウンスケーリングが行われた領域実験のデータであり、実験は、地球温暖化が進行し全球平均地上気温が産業革命前より 1.5℃・2℃・4℃上昇した場合の将来実験データが格納されている。

- ・ **過去実験**：1951-2010 年の各年の温室効果ガス等の観測値を境界条件として計算された気温や降水量等の気象データ
- ・ **将来実験**：1.5℃、2℃、4℃上昇実験があり、それぞれ 4℃上昇シナリオ（RCP8.5）における 2030 年、2040 年、2090 年時点の温室効果ガス等の予測値を境界条件として計算された気温や降水量等の気象データ

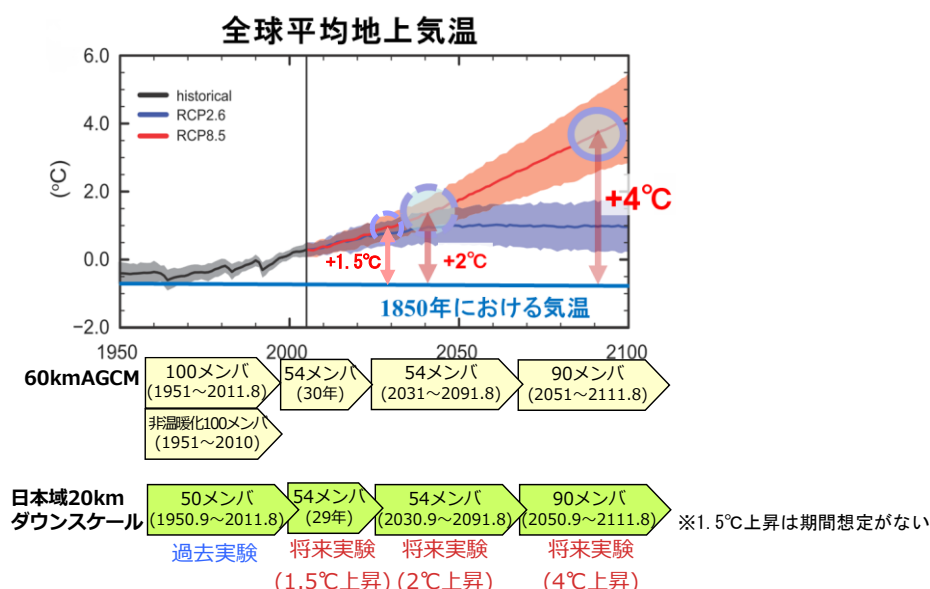


図 4.9 d4PDF の実験デザイン

出典：気候予測データセット 2022 解説書, 気象庁, 令和 4 年 12 月に加筆

<全国 5km メッシュアンサンブルデータ (d4PDF_5kmDDS_JP)>

前述の日本域 20km の d4PDF のデータを用いて、過去実験と 2℃上昇実験、4℃上昇実験それぞれの海面水温(SST)と摂動の組合せから 12 メンバを選び、5km メッシュでダウンスケーリ

ングを行った全国 5km メッシュアンサンブルデータ「d4PDF_5kmDDS_JP」が公開されており、過去実験、将来実験ともに、12 メンバ×61 年の 732 年分のデータセットが含まれている。

各メンバにおける 61 年間の計算では、温室効果ガス濃度の経年変化は一定値（例えば 2℃上昇実験であれば 2040 年時点）に固定しつつ、SST については 1951～2010 年の観測値に基づく年々変動のパターンを反映している。これにより数年規模の海面水温の高低変動等の自然変動を考慮し、温暖化影響と自然変動を組合せた気候変動の表現としている。

当該モデルにより提供される気象データは、気温、降水量を中心に多岐にわたるため、気候変動による気象要素への影響の把握や流出計算モデルに与える気象条件を設定する際には、気温や降水量、蒸発散量（上向き潜熱フラックス）に関する項目等を抽出して整理する必要がある。

予測の信頼性を向上させるため、d4PDF の活用にあたっては、12 メンバ（アンサンブルの個数）全てのデータを用いることを基本とする。

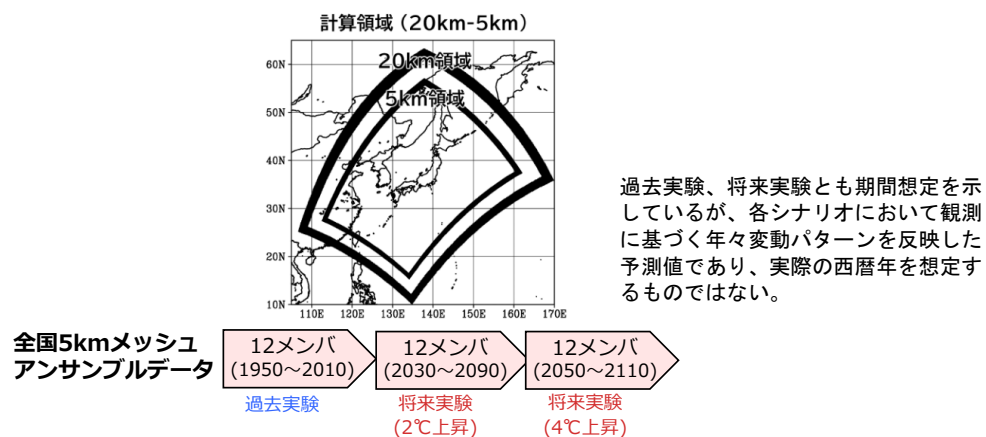


図 4.10 全国 5km メッシュアンサンブルデータ(d4PDF_5kmDDS_JP)

出典：「全国 5km メッシュアンサンブル気候予測データ」利用手引き, 第 4 版, 2025.10.20 に加筆

表 4.3 d4PDF_5kmDDS_JP による提供データ（1 時間間隔、1 日間隔）

項目	単位	備考	項目	単位	備考
降水量（雨＋雪＋霰（ひょう））	mm	30分間隔もあり	上向き潜熱フラックス	W/m ²	
降雨量	mm		上向き顕熱フラックス	W/m ²	
降雪量	mm		全雲量	0-1	
降霰量	mm		上層雲量	0-1	
地上気温	K	地上 1.5m	中層雲量	0-1	
風速（モデル x 方法）	m/s	地上 10m	下層雲量	0-1	
風速（モデル y 方法）	m/s	地上 10m	雲水量	kg/m ²	1 日間隔のみ
海面校正気圧	hPa		可降水量	mm	
地上気圧	hPa		地表面温度	K	
地上 (1.5m) 湿数	K	気圧－露点温度	土壌第 1 層の温度	K	
地上面上向き長波放射フラックス	W/m ²		土壌第 2 層の温度	K	
地上面上向き短波放射フラックス	W/m ²		積雪被覆率	%	
地上面下向き長波放射フラックス	W/m ²		積雪水当量	kg/m ²	
地上面下向き短波放射フラックス	W/m ²		積雪深	m	
地表面直達日射フラックス	W/m ²		暑さ指数	—	WBGT（湿球黒球温度）
地表面散乱日射フラックス	W/m ²				

赤字：流出計算に設定することが多い項目

＜参考＞上向き潜熱フラックス値の蒸発散量への換算

蒸発散は水が蒸発するときに奪う熱（潜熱）によって生じるため、潜熱フラックス（単位面積・単位時間当たりの熱輸送量）を水の気化熱で除することで、蒸発散量に変換できる。

$$E = \lambda E \div \lambda$$

E ：蒸発散量 [kg/m²/s = 水の密度 1000kg/m³を踏まえると mm/s に相当]，

λE ：潜熱フラックス [W/m² = J/m²/s]， λ ：気化熱※ [J/kg]

※気化熱 λ について

気化熱の実務上の値：2.45MJ/kg (=2.45×10⁶ J/kg、気温 20℃の場合)

λ の温度依存式(Harrison 1963 / FAO-56)： $\lambda = 2.501 - 2.31 \times 10^{-3}T$ [MJ/kg] (T ：気温℃)

（事例）高山ダム流域における蒸発散量算定手法の比較

木津川水系高山ダムを対象に、以下の 3 手法で算定した年蒸発散量を比較した結果を図 4.11 に示す。3 手法でデータのばらつきに多少の違いは見られるものの、年蒸発散量は 600～800mm 程度で推移しており、年単位で見れば大きな違いはないことが確認される。

- ①水収支法：流域平均雨量－ダム地点流量（※土壌水分量の変化は考慮していない）
- ②気温等（SI-CAT データ（気候モデル出力値））を用いて、Penman 法に古藤田の補正を適用して推定した値
- ③上向き潜熱フラックス（SI-CAT データ）を気化熱で除して推定した値

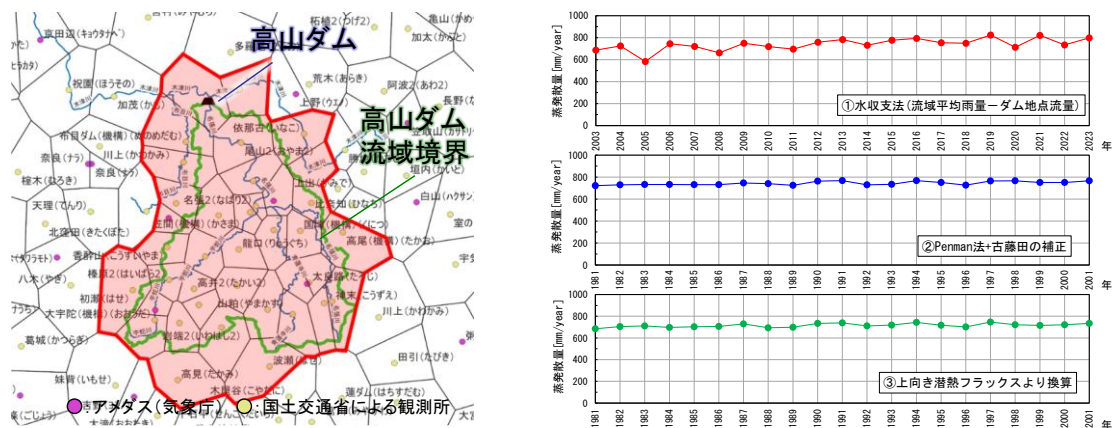


図 4.11 高山ダム流域における算定手法の違いによる年蒸発散量の比較結果

◆留意事項◆

- ✓d4PDF には過去実験と将来実験（2℃上昇実験、4℃上昇実験）のデータが含まれており、本ガイドラインでは将来実験のデータとしては主に 2℃上昇実験のデータを用いている。2℃上昇実験では 4℃上昇シナリオ(RCP8.5)における 2040 年、4℃上昇実験では 4℃上昇シナリオ(RCP8.5)における 2090 年の温室効果ガス等の予測値を境界条件として計算された気温や降水量等の気象データが用いられているが、将来実験の結果は特定の年次を指すものではない。
- ✓このため、d4PDF を用いた分析では、将来実験の結果が顕在化する時期やそこに至るまでの途中経過については把握することができない。
- ✓経年的な変化傾向を把握する必要がある場合には、d4PDF に加え、「全球及び日本域における 150 年連続実験データ」を用いることも有効な手段となりうる。

4.3.3 バイアス補正

○d4PDF 等の気候モデルの予測値には、観測値に対する系統的な誤差が存在するため、気候モデルの予測値を使用する際には、観測値を用いた補正(バイアス補正)を行うことが望ましい。
 ○なお、日降水量と日平均気温については、バイアス補正されたデータが DIAS 上で公開されているので、それらのデータを利用することができる。

※系統的な誤差：偶発ではなく繰り返した場合に同じ方向にずれる誤差（一方向の連続した偏り）

【解説】

＜バイアス補正＞

d4PDF_5kmDDS_JP 等のデータには、系統的な誤差（バイアス）が含まれている。この気象データを用いて流出計算を行う際には、観測値を用いてモデル値のバイアスを取り除くための補正（バイアス補正）を行うことが望ましい。ただし、過去実験と将来実験の結果を比較して変化傾向を把握するだけであれば、両者の比較によりバイアスが相殺されるとみなして、バイアス補正を回避する考え方もある。

バイアス補正に用いる気温や降水量の観測値については、全国の地上観測網により稠密な観測資料が長期間蓄積されており、観測値との比較によりバイアス補正が可能となる。一方、蒸発散量は直接観測された資料が十分に整備されていない。蒸発散量については、ダム上流部に雨量計が十分に設置されている場合には、水収支（降水量・ダム流入量）から算出した年単位程度の蒸発散量を用いて妥当性を確認する手法もあるが、流域平均降水量を適切に把握するために必要な山間部における雨量観測資料が十分に整備されている流域は限定的である。

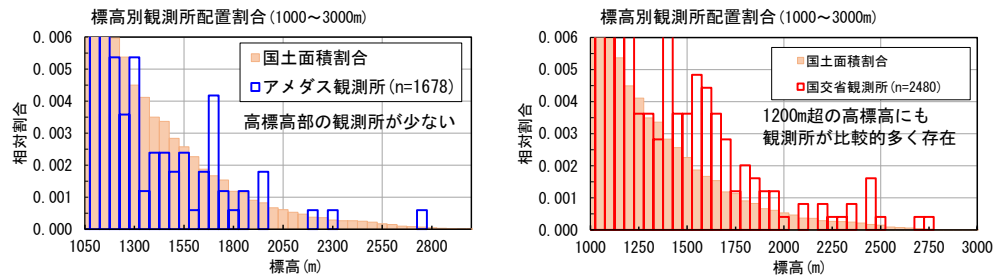
そのため、流出計算モデルに与える気象データについては、降水量及び気温をバイアス補正した値を設定し、蒸発散量（上向き潜熱フラックス）等については、気候モデルの予測値を補正せずに用いることが一般的である。

なお、日降水量及び日平均気温については、国土技術政策総合研究所によりバイアス補正された過去実験及び将来実験のデータセットが DIAS で公開されている（コラム 6 参照）。本ガイドラインではバイアス補正ツールの提供は想定していないが、このデータセットを活用することで日降水量及び日平均気温についてはバイアス補正值を利用することができる。

また、その他の項目のバイアス補正については、観測値の有無など地域の実情に応じて利用者側で適宜バイアス補正を行うことが望ましい。

＜雨量観測資料＞

気象庁が観測・データ公開しているアメダスは、山間部の観測所が十分でないという課題がある（図 4.12 参照）。バイアス補正や流出計算モデルに与える流域平均降水量を算定する際には、このような観測値の課題を踏まえて、アメダスだけでなく国土交通省の観測資料など、山間部の観測値を収集することや、降雪のための補正を行うことが重要である。



出典：アメダス観測所：気象庁ホームページ、国交省観測所：国土交通省水文・水質データベース
国土面積割合：国土数値情報「標高・傾斜度3次メッシュデータ(G04-a, 2011年度版)」国土交通省

図 4.12 アメダス及び国交省観測所の標高の相対割合

◆留意事項◆

- ✓ アンサンブル予測値は、複数の初期条件、将来シナリオ、モデルによる幅を持つ予測値であり、そのばらつきから将来変化の幅や不確実性を評価するものである。d4PDF_5kmDDS_JP は日本周辺を対象にした気候モデルであり、海面水温や将来シナリオの組合せは考慮しているが単一モデルに依存しているため、モデル固有のバイアスが残る。

【コラム 6】 WBC-d4PDF5km(2022) (バイアス補正後データセット)

気候モデルには、バイアス（観測値と再現計算の誤差）があるため、そのバイアスを統計的に補正するバイアス補正が広く行われている。

国土技術政策総合研究所では、「全国版 d4PDF ダウンスケーリングデータ」をバイアス補正したデータセット「WBC-d4PDF5km(2022)」を開発し、2025 年 2 月に DIAS で公開（URL：https://search.diasjp.net/ja/dataset/d4PDF_BiasCorrection_202502）した。更には、手法やバイアス量の特徴を記したディスクリプション論文を 2025 年 6 月に公開している。

■WBC-d4PDF5km(2022)の概要

対象データ 日降水量、日平均気温

計算地点 降水量：756 地点、気温：576 地点

計算年数 過去実験：360 年、将来実験（2℃上昇実験、4℃上昇実験）：720 年

■バイアス補正手法の概要

バイアス補正には、九州大学渡部哲史准教授開発の Dual-Window 法を適用した。Dual-Window 法は、期間移動窓と順位移動窓の 2 つの窓で、解析値と観測値の累積相対度数の整合を図る手法であり、若干のバイアスを許容する代わりに、気候モデルの期間連続性と将来トレンドの双方の保存を特徴とする。

■バイアスの解消率の概要

図 4.13 に示すように、年降水量の絶対平均値は 228.93 mm から 19.69 mm に、年平均気温の絶対平均値は 0.51℃から 0.01℃となり、バイアスの解消率はそれぞれ 91%、98%であった。

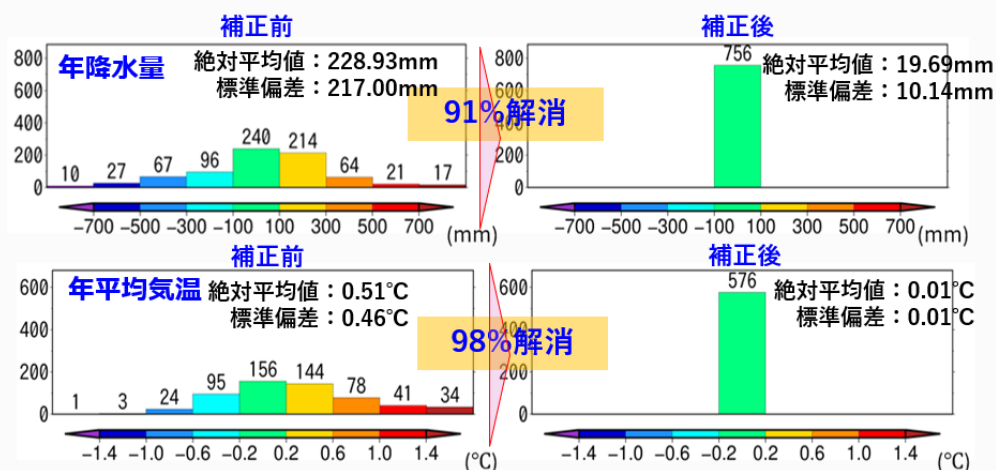


図 4.13 バイアス補正前後の（解析値－観測値）の頻度分布（上段：年降水量、下段：平均気温）

（引用文献）

西村宗倫，高田望，因幡直希，坂本光司，柴川大雅，吉田翔，三浦悠，渡部哲史，仲江川敏之，竹下哲也「全国版 d4PDF ダウンスケーリングデータのバイアス補正データの開発と公開」河川技術論文集，第 31 巻，pp.421-426，2025。

（執筆）国土技術政策総合研究所河川研究部

4.4 河川流量への影響把握

Od4PDF の過去実験と将来実験における気象条件を用いて流出計算を行い、気候変動による河川流量（自然流量）の変化を把握する。

○本ガイドラインでは、一般的に用いられている流出計算方法を主に記載したが、気候変動による水資源への影響を考える上で特に押さえておくべきポイントも併せて整理した。

4.4.1 流出計算

Od4PDF の過去実験と将来実験における降水量、蒸発散量等を入力条件として、流域特性等を踏まえて流出計算モデルを選択し、現在と将来の河川流量（自然流量）を算定する。

○流出計算モデルの再現性は、実績の気象条件を入力した検証計算結果に対して、Nash-Sutcliffe 効率係数（NSE）、平均相対誤差(MRE)、Kling-Gupta 効率係数（KGE）などの指標を用いて評価し、特に低水部の再現性に留意してモデルを構築することが望ましい。

【解説】

＜流出計算モデル＞

河川流量の算定に一般的に用いられている流出計算モデルとしては、ダム地点や利水基準地点等において、数 10km²～数 100km²程度のまとまった流域に分割する集中型モデルと、数 100m～1km 程度のメッシュに細分する分布型モデルが存在する。

集中型モデルは、取り扱いが容易で、地形や土地利用が単調な流域では良好な再現性が得られる。低水流出計算では 3 段もしくは 4 段タンクモデルの適用事例が多い。

分布型モデルは取り扱いが煩雑になるが、細分化したメッシュ毎に地形や地質、土地利用等の条件を与えるため、精緻な解析が可能であり、流域面積が大きく、地形や地質、土地利用等が多様な流域においては適用性が高い。分布型モデルは、さらに概念モデル、物理的モデル（陸面過程モデルを含む）に分類される(表 4.4 参照)。

流出計算の実施に際しては、個別流域の流域特性、水利用形態、渇水実績や渇水時の影響等を踏まえてモデルを選択する必要がある。

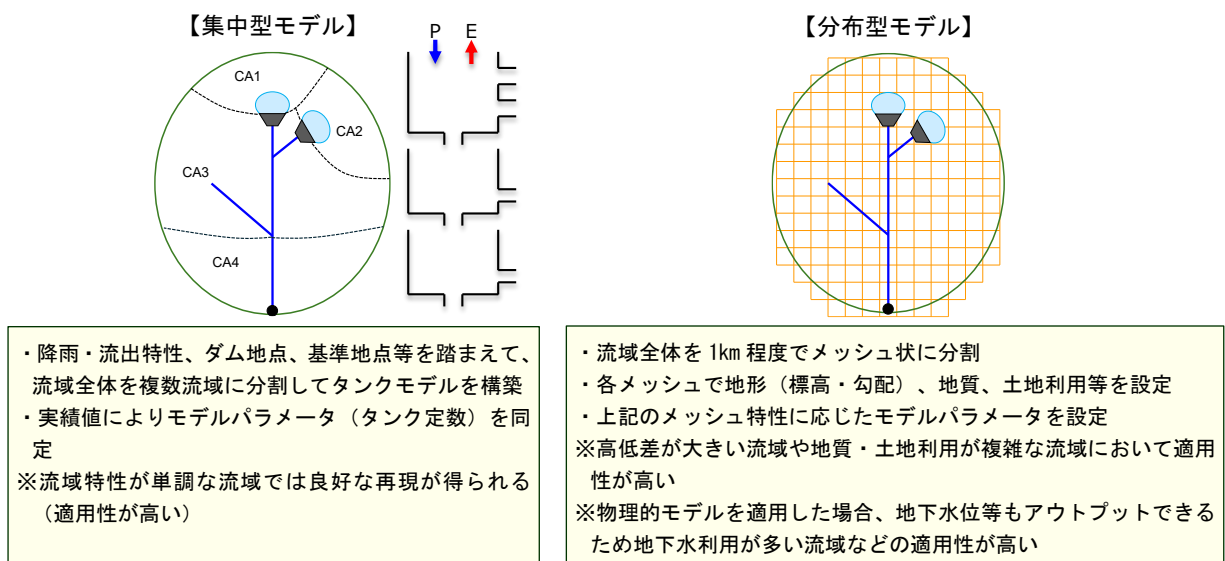


図 4.14 流出計算モデル（集中型モデルと分布型モデル）のイメージ

＜流出計算モデルの再現性の評価＞

一般的に、流出計算モデルを構築する際には、モデル内のパラメータを適宜調整した上で、モデルの検証計算を行い、個別流域におけるモデルの再現性を確認することになる。特に、低水流出は、中間流出や基底流出といった長期的かつ緩慢な水文過程に支配され、さらには、ダム等の水運用や取水・還元に伴う人為的影響を受けやすいことから、降雨応答が明瞭な高水部と比べて再現精度の確保が難しい。

このため、再現計算では、原則として人為的影響を除いた自然流量と比較する。その上で、Nash-Sutcliffe 効率係数 (NSE)、平均相対誤差(MRE)、Kling-Gupta 効率係数 (KGE) 等の指標によりモデルの再現性を評価し、その結果を踏まえてパラメータを最適化し、モデルを構築することが望ましい。

◇Nash-Sutcliffe Efficiency(NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_c(i)\}^2}{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_{av}\}^2}$$

$$q_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_o(i)$$

N : 計算時間数

$q_o(i)$: i 時の実測流量

$q_c(i)$: i 時の計算流量

q_{av} : 実測流量の平均値

◇平均相対誤差 (MRE)

$$MRE = \frac{1}{N} \sum \frac{|Q_{w,obs} - Q_{w,sim}|}{Q_{w,obs}}$$

$Q_{w,sim}$: 解析平均流量

$Q_{w,obs}$: 実測平均流量

N : MRE の計算に用いるデータ数

◇Kling-Gupta Efficiency (KGE) (クリング・ガプタ効率係数)

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$$

r : 観測値と計算値のピアソン相関係数

$\alpha = \sigma_{sim}/\sigma_{obs}$: ばらつき比(計算値の標準偏差／観測値の標準偏差)

$\beta = \mu_{sim}/\mu_{obs}$: バイアス比(計算値の平均／観測値の平均)

3つの成分がすべて1のとき、KGE=1 (完全一致) となる。

(引用文献)

- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. : River flow forecasting through conceptual models part I —A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282–290, 1970
- 小槻峻司, 田中賢治, 小尻利治「気候変動が日本の水資源に与える影響水系 (I)」*水文・水資源学会誌*, vol.26, No3, 2013
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., Martinez, G. F. : Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 80-91, 2009

＜分布型モデルの分類＞

一般的な分布型モデルの分類と各モデルの特徴を表 4.4 に示す。

分布型モデルは、モデルの構造により、概念モデル、物理的モデル、陸面過程モデル※に分類される。分布型モデルを適用する際には、流域特性に加え、地下水への影響、森林整備効果の評価等、必要とする結果を踏まえてモデルを選択する必要がある。

例えば、地下水利用が多い流域や、代替水源として地下水の利用を検討する流域においては、地下水位の予測が可能な物理的モデルの適用性が高いと考えられる。また、森林整備による水源涵養の向上等を検討する場合は、陸面過程モデルの適用性が高いと考えられる。なお、モデルの出力がメッシュ単位の流出量までとなる場合には、別途河道モデルと合わせ流量に変換する必要がある。また、SiBUC では入力値として時間単位のデータが必要となる。

※陸面過程モデルは物理的モデルの一種だが、大気と陸面の放射収支の扱いなどで精緻化されており、取り扱いがより複雑となるため区分している。

表 4.4 分布型流出計算モデルの分類と各モデルの特徴

区分		概念モデル	物理的モデル		陸面過程モデル
モデル構造		水循環を簡略化した関係式で表現（経験的）	物理法則（保存則）に基づき表現（物理的・理論的）		地表面や地中の放射収支・水収支・熱収支に特化した解析（物理的・理論的）
モデル例		土研タンク ^[1]	WEP ^[2]	H08 ^[3]	SiBUC ^[4]
入力	気象	降水、気温、湿度、風速、日照時間	降水、気温、湿度、風速、日照時間	降水、気温、湿度、風速、気圧、短波・長波放射 等	
	流域	貯留高、透水係数 等	土地利用（山林・市街地・農地等）、葉面積指数、植生高、被覆率、土壌層厚、間隙率、土壌水分ポテンシャル、透水係数、含水率、栽培種※、かんがい効率※、生活・工業用水※、地下水依存度※ 等（※H08）		
	河道	河道諸元	河道諸元（幅、延長等）、取水量		—
出力	熱収支	—	短波放射、長波放射、顕熱・潜熱フラックス	顕熱・潜熱フラックス、地中熱フラックス	顕熱・潜熱フラックス、地中熱フラックス、水体水温
	陸面水文	蒸発散量、流出量（表面・中間・基底）、積雪・融雪量	蒸発散量、土壌水分量、流出量（表面・中間・基底）	蒸発散量、土壌水分量、流出量（表面・中間・基底）、積雪・融雪量	
	河道追跡	河川流量	河川流量		別途モデルが必要
	需要量	—	—	かんがい要求水量	
メリット		・必要データが少なく、モデル構築が比較的容易 ・計算負荷が比較的小さい	・物理法則に基づくため、降雨→浸透→地下水→河川流出の因果関係が説明可能 ・気象条件に加えて、土地利用等、流域条件の変化に対応でき、それによる蒸発散量、地表面・基底流出量の変化が評価可能		・大気と陸面の水収支・熱収支の再現性が高く、水体の熱的な状態量を評価可能
デメリット		・モデル定数を観測値に基づき設定し、物理的根拠がない	・土壌特性、地質、植生等の必要データが多い ・モデル構造が複雑 ・計算負荷が大きい		・短・長波放射や大気圧等の必要データ多い ・河道モデルとの組み合わせが必要

（引用文献）

[1] 吉野文雄，吉谷純一，堀内輝亮「分布型流出モデルの開発と実流域への適用」，土木技術資料 32-10，1990

[2] 独立行政法人土木研究所水工研究グループ水理水文チーム「WEP モデル解説書（試用版）」，2002.10 月

[3] 花崎直太「H08 マニュアル利用編 第 2 版」，2018 年

[4] 田中賢治「陸面過程モデル SiBUC を用いた気候変動影響評価例」水資源分野における気候変動への適応策のあり方検討会資料 3

【コラム 7】 SiBUC モデル

SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy) は、京都大学防災研究所の田中賢治氏らが開発した陸面過程モデルである。Sellers らが提案した生物圏モデル SiB を基礎とし、従来の陸面過程モデルでは省略されてきた都市および水体の効果を組み込むことで、陸面の多様性をより精緻に表現することを目的としている。SiBUC は、一つの格子内を「植生地」「都市」「水体」の 3 区分に分類し、それぞれの領域で独立に水・熱フラックスを計算したうえで、面積割合で加重平均した値を大気側へ受け渡す「モザイクモデル」構造を有する。これにより、農地・市街地・湖沼が混在する日本の流域の地表面特性を表現している。

■モデルの特徴と基本諸元

植生地モデルは SiB2 をベースとし、葉面・地面における放射収支（2 流近似）、顕熱・潜熱フラックス、乱流輸送過程、および土壌水分の鉛直移動を物理的に扱う。葉面積指数（LAI）やグリーンネスなど衛星リモートセンシングデータを取り込むことで、現実の植生状態に応じたパラメータ推定が可能である。

かんがい地については、水田では維持すべき湛水深、畑地では目標土壌水分量を設定し、これらを下回る場合にはかんがい取水によって水供給がなされるようモデル化されている。さらに、水稻成長モデルと結合することで、作付期間や生育段階に応じたかんがい需要量を計算することができる。都市キャノピーモデルは舗装面による蒸発抑制と顕熱の増大、人工排熱を表現し、水体モデルは湖面や貯水池の水温・蒸発を扱う。

出力は顕熱・潜熱に加え、表面流出量と基底流出量を含むため、分布型流出モデル（1K-FRM 等）や数値予報モデル（JSM、ARPS）と容易に結合でき、流域水循環から大気陸面相互作用まで幅広い解析に利用されている。

表 4.5 SiBUC モデルの基本諸元

項目	内容
ベースモデル	SiB (Simple Biosphere) / SiB2
構 造	モザイクモデル（植生・都市・水域の 3 分類を面積荷重平均）
主要物理過程	放射収支（2 流近似）、顕熱・潜熱、乱流輸送、土壌水分鉛直移動
人為的水操作	かんがい取水（水田の湛水深／畑地の土壌水分を目標値に制御）
流出出力	表面流出量、基底流出量（河川流モデルへ受渡し可能）

■適用上の留意点

低水流出計算に SiBUC を適用する場合、流域内のかんがい取水・ダム操作・導水といった人為的水操作を河川流モデル側で適切に取り扱うことが鍵となる。土地利用や土壌のパラメータは Ecoclimap 等の全球データセットでも一定の精度が得られるが、現地のボーリングデータや農業統計に基づく設定により再現性は向上する。SiBUC は、モザイク構造とかんがいモデルを併せ持つことから、農地と都市が混在する日本の中小流域における渇水管理や気候変動下の水資源評価に有効な陸面過程モデルといえる。

（引用文献）

- ・ 田中賢治「SiBUC 公式ページ（京都大学防災研究所）」
- ・ Tinumbang and Tachikawa, HRL, 20(2), 2026
- ・ 萬・松原・立川：分布型水循環モデル，水文・水資源学会，2014

【コラム 8】 全球水資源モデル H08

H08(エイチ・オー・エイト)は、国立環境研究所(NIES)が中心となり開発した全球水資源モデルであり、世界の自然の水循環と人間の水利用・水管理を全球 0.5 度（赤道付近で約 50km 四方）の空間解像度、日単位の時間解像度で計算するモデルである。ソースコードはオープンソースとして公開されており、Linux 環境で利用可能となっている。また、日本域に対しては、空間解像度 1 分(2km)のモデルでの適用実績を有している。

■モデルの特徴と基本構造

H08 は 6 つのサブモデルで構成されている。

- ・陸面過程サブモデル：気象条件から地表面の水熱収支を計算し、蒸発散量・土壌水分量・流出量などを算出する。
- ・河川サブモデル：一定流速を仮定して流出量を河道網に沿って流下させ、流量を計算する。
- ・作物成長サブモデル：H08 はかんがい農地の土壌水分量の不足分から農業用水需要量を求める。この際に必要な世界の農事歴は、作物収量を最大にする期間から求めている。
- ・貯水池操作サブモデル：一般化された操作規則を用いて、世界主要ダムでの貯水・放流を行う。
- ・環境流量サブモデル：河川生態系の維持に必要な河川流量を推定する。
- ・取水サブモデル：農業・工業・生活用水の需要を満たすため、利用可能な水源から取水する。なお、工業・生活用水は、AQUASTAT*の国別取水量を人口分布に基づいて各格子に配分する。
*国連食糧農業機関のデータベース

■入力条件

- ・気象：降水量、気温、相対湿度、風速、気圧、下向き短波放射(日射量)、下向き長波放射
- ・地理：アルベド、傾斜、土壌、地質、河道網、導水路網、貯水池、かんがい農地、栽培種作付け強度(二期作)、かんがい効率、生活用水、工業用水、取水の地下水依存度、GDP

■水リスクへの適用

H08 はダムや運河などのインフラの効果も考慮しながら、水資源量と水利用量を時空間詳細に計算できる。このため、様々な水資源リスク指標を算出できる。H08 は東京大学等が開発したグローバル水リスク評価のオンラインプラットフォーム「Water Security Compass」のベースモデルとなっている。

(引用文献)

- ・全球水資源モデル H08 のホームページ <https://h08.nies.go.jp>
- ・グローバル水リスク評価のオンラインプラットフォーム Water Security Compass <https://water-sc.org>

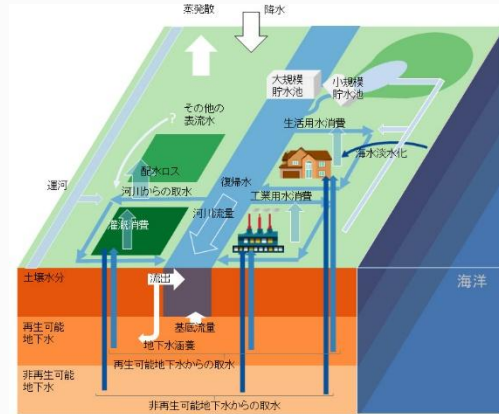


図 4.15 全球水資源モデル H08 における水循環・水利用・水管理の模式図

【コラム 9】気候変動影響評価のための雪水文モデル (WEB-DHM-S)

気候変動による降雪・積雪・融雪・流出の変動特性を評価するには、観測データがない将来も含めた推定手法の確立が必要である。積雪山岳地域では、積雪から融雪までの過程は、人工衛星で得られる積雪面積データを用いて精度よく推定されるが、将来気候には適用できない。また降雪量は、観測、モデル推定値ともに不確実性が大きく、温暖化によって降雪が降雨になる影響の評価も必要となる。

そこで、降雪量を不確実性を含むシグナルと捉え、積雪、融雪、流出を表す物理的モデルに入力して積雪域と流出量を推定し、これらが観測と一致するように降雪の不確実性を補正する手法が国立研究開発法人 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)によって開発されている。その中核をなすのが「降雪・積雪・融雪を含む地表面での水エネルギー収支を考慮した分布型水循環モデル(WEB-DHM-S)」である。

本モデルは、気象庁などから提供される世界的にも利用可能な大気強制力データ（降水量・風向・風速・気温・日射・長波放射）を入力して地表面の状態量を逐次更新するため、過去データによる校正・検証で、長期間安定計算が可能となる。これにより、写真のような山岳地域での降水、積雪、融雪、河川流出について、WEB-DHM-S を用いた図 4.16 のフローを構築することで推定可能になる。

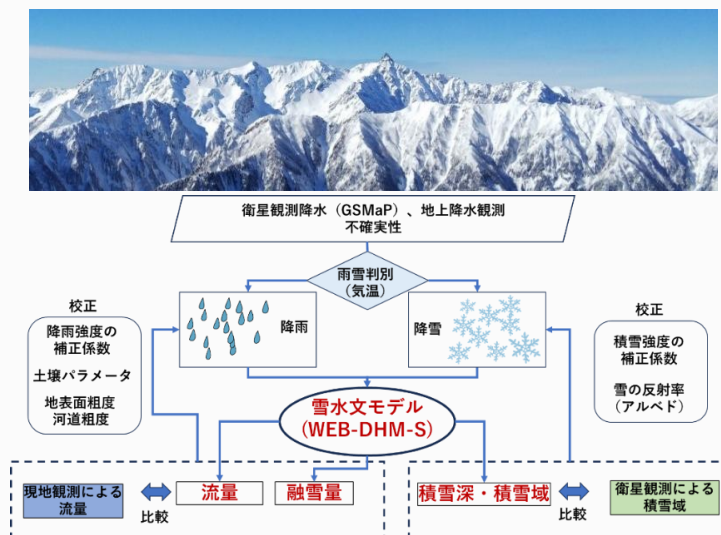


図 4.16 WEB-DHM-S の構築フロー

過去から現在は気象庁の長期再解析データ(JRA3Q)と観測雨量を入力することで高精度に、将来は CMIP6 や d4PDF のアンサンブル予測を入力することで降雪・積雪・融雪量の分布や河川流量を不確実性の幅を持って定量的に高時間、高空間分解能で推定できる。これにより水資源管理、融雪水の発電利用、観光産業に与える影響等を総合的に評価できるようになる。

(引用文献)

Naseer, A., Koike, T., Rasmy, M., Ushiyama, T., & Shrestha, M. (2019). Distributed hydrological modeling framework for quantitative and spatial bias correction for rainfall, snowfall, and mixed-phase precipitation using vertical profile of temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 4985–5009. <https://doi.org/10.1029/2018JD029811>.
 Tamakawa, K., Nakamura, S., Nyunt, C. T., Ushiyama, T., Rasmy, M., Kubota, K., Naseer, A., Ikoma, E., Nemoto, T., Kitsuregawa, M., & Koike, T. (2024). Investigation of an Ensemble Inflow-Prediction System for Upstream Reservoirs in Sai River, Japan. *Water*, 16(18), 2577. <https://doi.org/10.3390/w16182577>.

(執筆)土木研究所 ICHARM

4.4.2 河川流量への影響

○流出計算で得られる河川流量（自然流量）を視覚的に整理することで、人為的な要素を除いた流量波形の季節変化や豊水・平水・低水・渇水流量といった流況の変化など、気候変動による河川流量（自然流量）への影響をより詳細に把握することができる。

【解説】

＜河川流量（自然流量）の整理方法＞

表 4.6、図 4.17 は、d4PDF（アンサンブル予測値）を用いた河川流量の予測結果の整理方法の一例を示したものである。表上段の黄色部は、12 メンバについて 61 年×365 日（暦により最大+15 日）の日単位流量を出力したものである。これに対し、表右側にはメンバごとに日集計・月集計・年集計を行った結果を、表下段には全 12 メンバを統合した各年・各日の平均・最大・最小を整理している。これにより、年・季節単位での流量変動と、アンサンブルとしてのばらつきの双方を把握できる。下段のグラフは、過去実験と将来実験の流量波形の変化を比較したものである。なお、過去実験については図を煩雑にしないため、平均のみを示しているが、将来実験と同様に最大・最小の幅を有している。

このように、アンサンブル予測値を用いて流出計算を行うことで、12 メンバ×61 年=732 年分（1～12 月の場合は 12 メンバ×60 年=720 年）の流量波形の予測結果が得られ、幅を持った評価が可能となる。予測結果のデータのばらつきについては、①全メンバの日データから最大・最小を抽出し、極大・極小の幅を把握する場合、②各メンバの最大値・最小値をそれぞれ平均し、平均的な最大・最小の幅を把握する場合、③各メンバの平均値の最大・最小の幅を把握する場合など複数の整理が考えられるため、地域の実情に応じて適切な方法を選択する必要がある。

表 4.6 河川流量（予測結果）の整理イメージ

60年×365日															表 4.6 河川流量（予測結果）の整理イメージ														
メンバ	流出計算アウトプット(日単位)			日集計						月集計			年集計																
	1年目	2年目		60年目	平均	最大	最小		平均	最大	最小		平均	最大	最小	豊水	平水	低水	渇水										
	1/1～12/31	1/1～12/31		1/1～12/31	1/1～12/31	1/1～12/31	1/1～12/31		1月～12月	1月～12月	1月～12月		平均	最大	最小	平均/大/小	平均/大/小	平均/大/小	平均/大/小										
CC_m101																													
CC_m105																													
	12メンバ×60年×365日 〔12メンバ×60年× 月平均・最大・最小 豊平低渇 等〕			メンバ毎の各日の60年の 平均・最大・最小						メンバ毎の各月平均の 60年の平均・最大・最小			メンバ毎の各年 平均の60年の 平均・最大・最小			メンバ毎の各年の豊平低渇の 60年の平均・最大・最小													
MR_m105																													
	1/1～12/31	1/1～12/31		1/1～12/31	1/1～12/31	1/1～12/31	1/1～12/31		1月～12月	1月～12月	1月～12月		平均	最大	最小	豊水	平水	低水	渇水										
平均	全メンバをまとめた各年の			—	②	②	—	②	②	—	②	②	←	丸数字は上記文中、及び															
最大	各日の平均・最大・最小			③	①	—	③	①	—	③	①	—	③	①	—	下図中の①～③に対応													
最小				③	—	①	③	—	①	③	—	①	③	—	①														

注) d4PDFは、9月始まり、8月終わりの61年の実験データのため、1/1～12/31で集計する場合は60年の出力となる

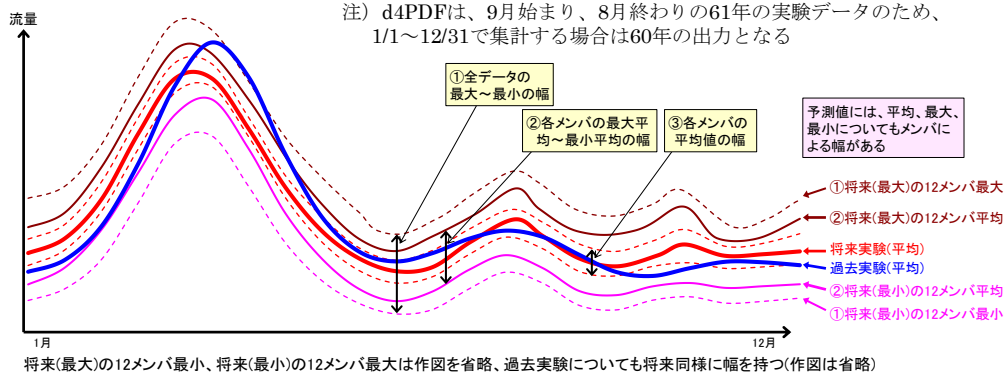
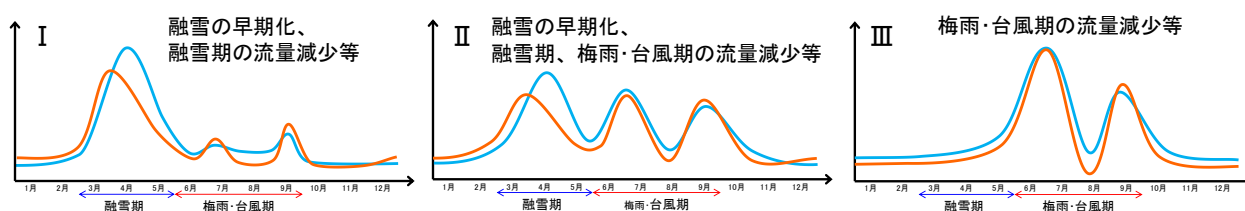


図 4.17 流量波形の変化（過去実験・将来実験）

＜評価結果の解釈＞

河川流量の流量波形については、北海道から東日本の日本海側で主にみられる融雪期の流量が多い流域（図 4.18Ⅰ）、西日本の日本海側で主にみられる融雪期と梅雨・台風期の流量増がそれぞれある流域（図 4.18Ⅱ）、九州や四国、西日本の太平洋側で主にみられる梅雨・台風期の流量が多い流域（図 4.18Ⅲ）などが挙げられる。流量波形については、各流域の流量特性を踏まえ、融雪の早期化や梅雨期の流量の極端化等に注目して整理を行い、平均的な流量波形の変化や異常渇水年における変化等を把握する。

また、日単位の流量の変化だけでなく、月平均値(中央値)、月最大・最小流量など、月単位で集計した変化を比較することも有効な手段となりうる。



※水色：過去実験、オレンジ：将来実験をイメージ

図 4.18 年間の流量波形のイメージと着眼点の例

図 4.19 左図は流況（豊平低渇）の比較図である。水利用への影響の観点からは、低渇水時の流量減少の程度を定量的に示すことが重要となる。また、流量波形と同様、流況の変化についても幅を持った評価が可能であり、幅の取り方についても複数あるため、地域の実情に応じて適切な方法を選択する必要がある。

図 4.19 右図は 12 メンバ毎の年平均流量の 61 年平均を示しており、エラーバーは各メンバの 61 年最大・最小を示した評価結果のイメージである。例えば、将来実験の評価結果の中から最も厳しい河川流況を把握することもできる。

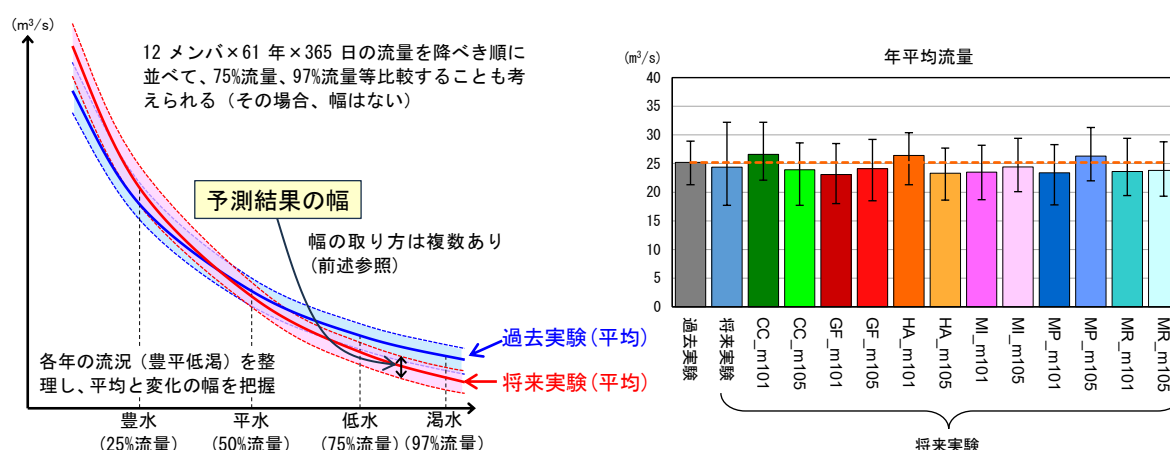


図 4.19 流況（低水・渇水流量等）の変化（過去実験・将来実験）

◆留意事項◆

- ✓ 流出計算結果には、降水量等の気象条件の不確実性に加えて、流域特性の設定や流出過程のモデル化、初期条件等に起因する不確実性が含まれる。

4.5 水資源管理への影響把握

- ダム操作や取水・還元量等の人為的要素を考慮した水運用計算を行うことにより、供給側の影響（供給可能量の変化、ダム等の枯渇の期間・頻度等）を把握することができる。
- 本ガイドラインでは、一般的に用いられている水運用計算方法を記載しているものであり、地域の実情に応じて本ガイドラインに記載のない手法で計算を行っても構わない。

4.5.1 水運用計算

- ダム操作や取水・還元量等の人為的要素を考慮した水運用計算を行うことにより、供給側の影響（供給可能量の変化、ダム等の枯渇の期間・頻度等）を把握することができる。

【解説】

＜水運用計算の手順＞

各基準地点の自然流量（流出計算結果）および確保流量（維持流量・取水量等）を確認する。水運用計算では、自然流量が確保流量を下回る場合にダムから補給を行い、年間を通じたダムの貯水位や基準地点での河川流量を求める。これにより、供給可能量、ダム等の水資源開発施設の容量割れ（枯渇）の期間・頻度等の供給側の影響を把握することができる。

なお、本ガイドラインでは、一般的に用いられている水運用計算方法を記載しているものであり、地域の実情に応じて本ガイドラインに記載のない手法で計算を行っても構わない。

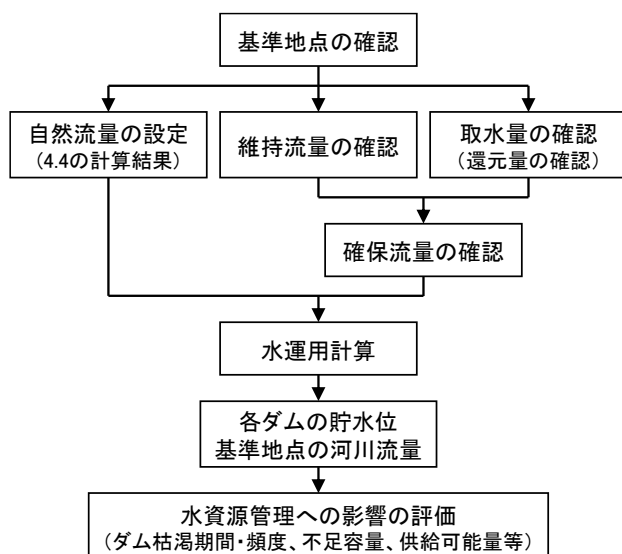


図 4.20 水運用計算の手順

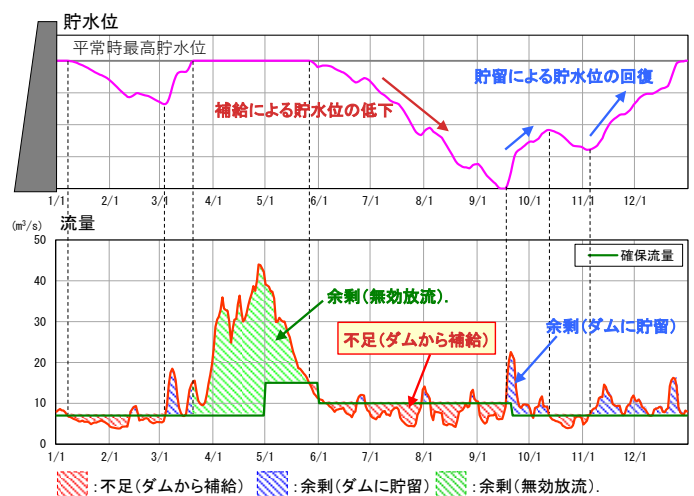


図 4.21 補給・貯留の計算イメージ

＜取水地点・取水量の設定＞

取水地点は利水計画等で設定されている取水地点、もしくは実取水地点とするのが一般的である。また、各種用水の取水量は、水利権に基づく設定を基本としつつも、流域において実態に即した取水量を設定することが望ましい。

農業用水は消費量を除き河川に還元されるが、流域内で反復利用されることが多いため、還元量や還元地点の設定は容易ではないことが多い。しかし、農業用水は季節変動が大きいいため、実態把握に努め、水運用計算に反映することが望ましい。

＜シリーズ運用とプール運用＞

ダム等の水資源開発施設が複数ある流域では、複数施設を同時に運用計算するプール運用方式と、施設を順番に運用するシリーズ運用方式がある。両運用方式による水運用計算の概念図を図4.23に示す。

プール運用方式は、施設能力に応じた補給・貯留の分担により、複数施設を効率的に運用できる一方、シリーズ運用方式では、後発施設の安全度が低下し、水資源開発能力に差が生じやすい特徴がある。水運用計算では、運用実績や両計算方法の特徴に留意しつつ、地域の実情に応じて運用方法を選択することが望ましい。

＜複数施設による補給・貯留分担＞

ダム等の水資源開発施設が複数あり、プール運用方式により水運用計算を実施する場合は、残容量・空容量比率等、地域の実情に応じて設定することが望ましい。

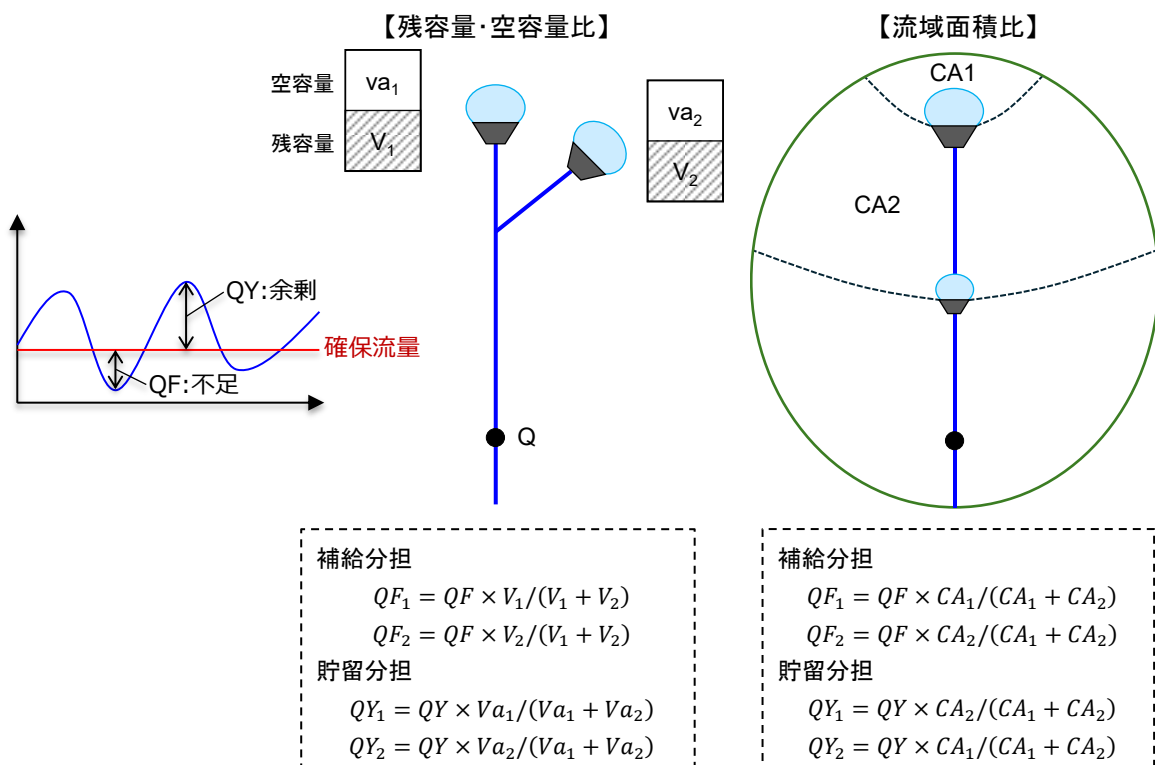
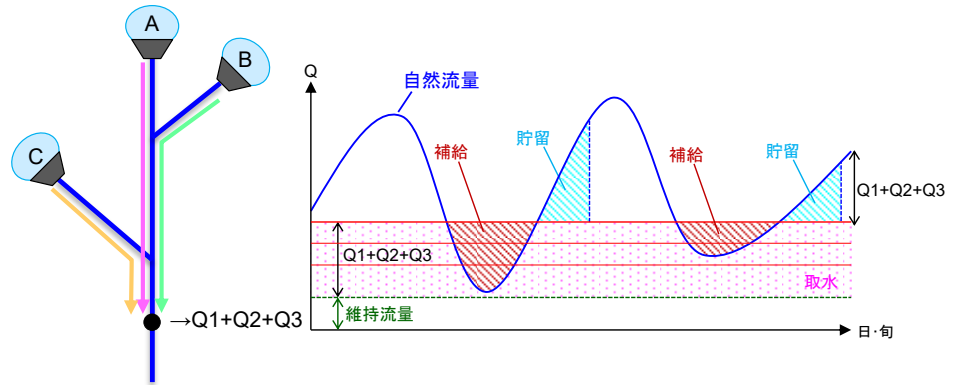


図 4.22 複数施設による補給・貯留分担の例

【プール運用】

複数ダムの水運用計算を一括して実施する。

基準地点の不足・余剰に対して、複数ダムが分担して補給・貯留を行う。



【シリーズ運用】

先行施設の運用後の流量を用いて後発施設の水運用計算を行う。

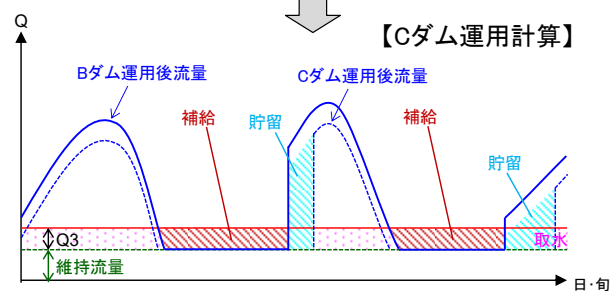
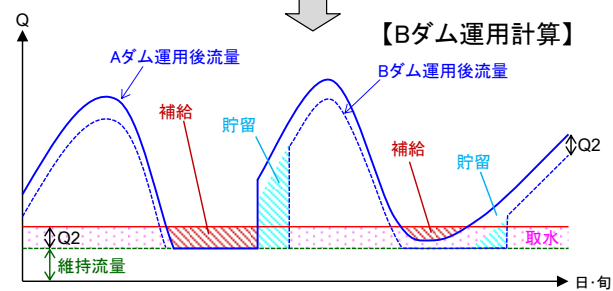
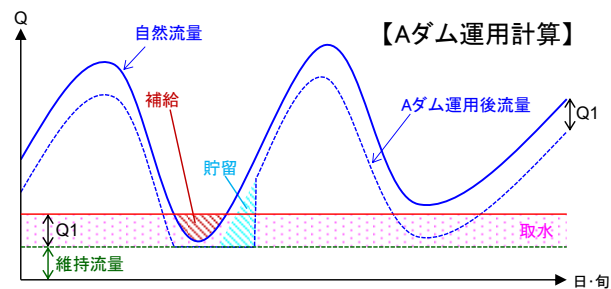
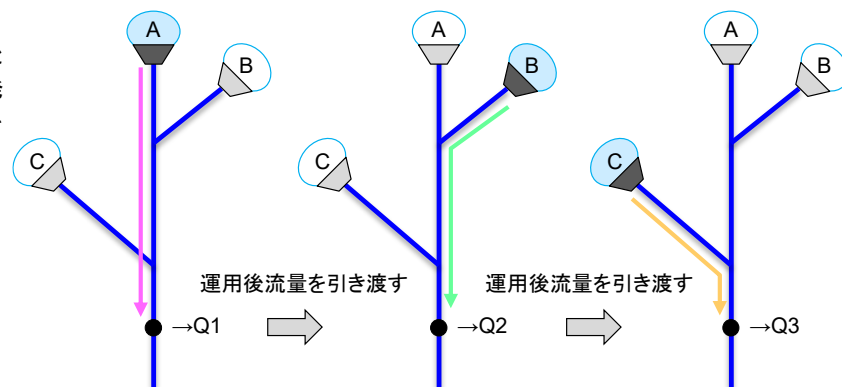


図 4.23 シリーズ運用・プール運用の水運用計算概念図

4.5.2 水資源管理への影響

○水運用計算を行い、現在と将来の河川流量やダム等の貯水池運用（貯水位変動パターンの変化）等を整理することで、ダム枯渇期間・頻度、不足容量や供給可能量など、気候変動による水資源管理への影響をより詳細に把握することができる。

【解説】

＜水資源管理への影響把握（河川流量と貯水池運用の整理）＞

過去実験と将来実験から算定した河川流量（自然流量）を用いて水運用計算を行うことで、河川流量（自然流量）への影響評価と同様に、12 メンバ×61 年×365 日の人為的要素を考慮した河川流量やダム等の貯水量を算定することができる。これにより、貯水位変動パターンや基準地点流量の変動パターン、ダム等の枯渇期間・頻度（利水安全度）、不足容量、1/10 渇水年等における供給可能量等を把握することができる。

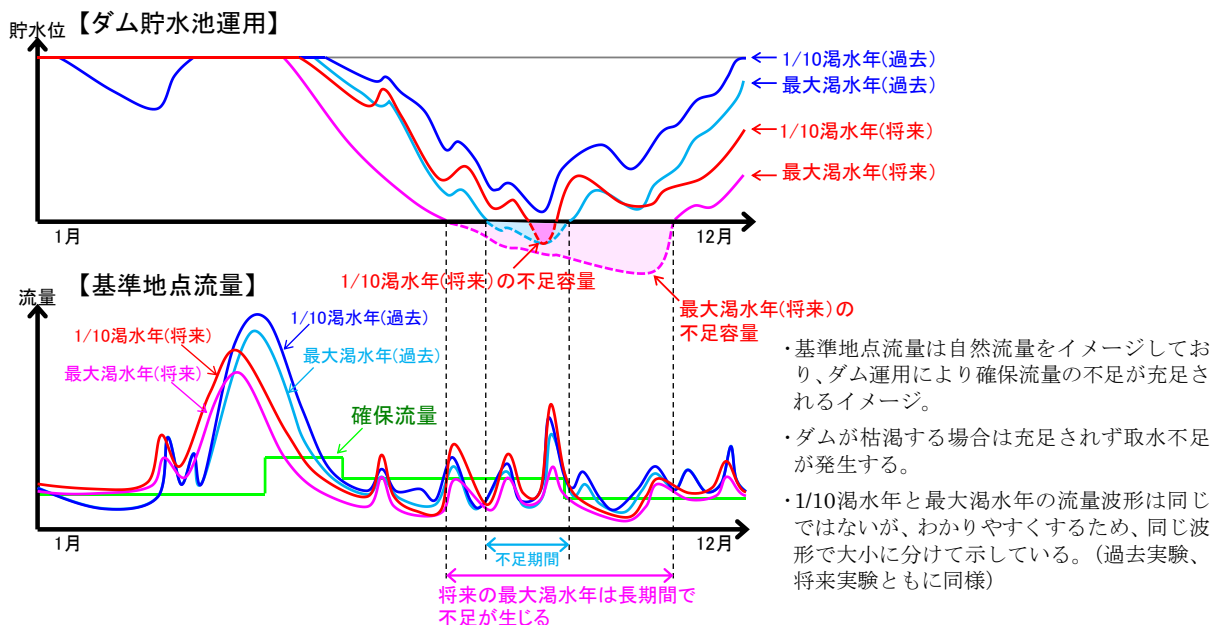


図 4.24 貯水池運用及び基準地点流量の評価結果のイメージ

図 4.25 は過去実験と将来実験の結果について、月平均流量と月最小流量の整理イメージを示している。月平均や月最小で整理することで、流量変化を定量的に把握しやすくなる。

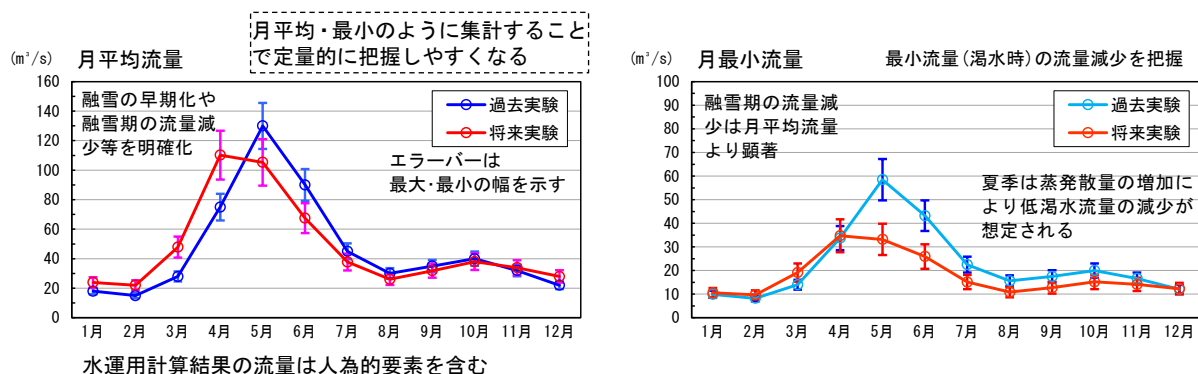


図 4.25 月平均流量・月最小流量の整理イメージ

図 4.26 は、1/10 渇水年のダム貯水池の残容量・不足容量、1/10 渇水年及び最大渇水年の枯渇期間、供給可能量の評価結果のイメージを示している。利水計画の基準となる 1/10 渇水年におけるダムの不足容量や枯渇期間、供給可能量等についても複数メンバによる予測値（アンサンブル予測値）を用いた水運用計算により幅を持った形で出力されるため、地域の実情に応じて平均値や最大値の結果を活用する。

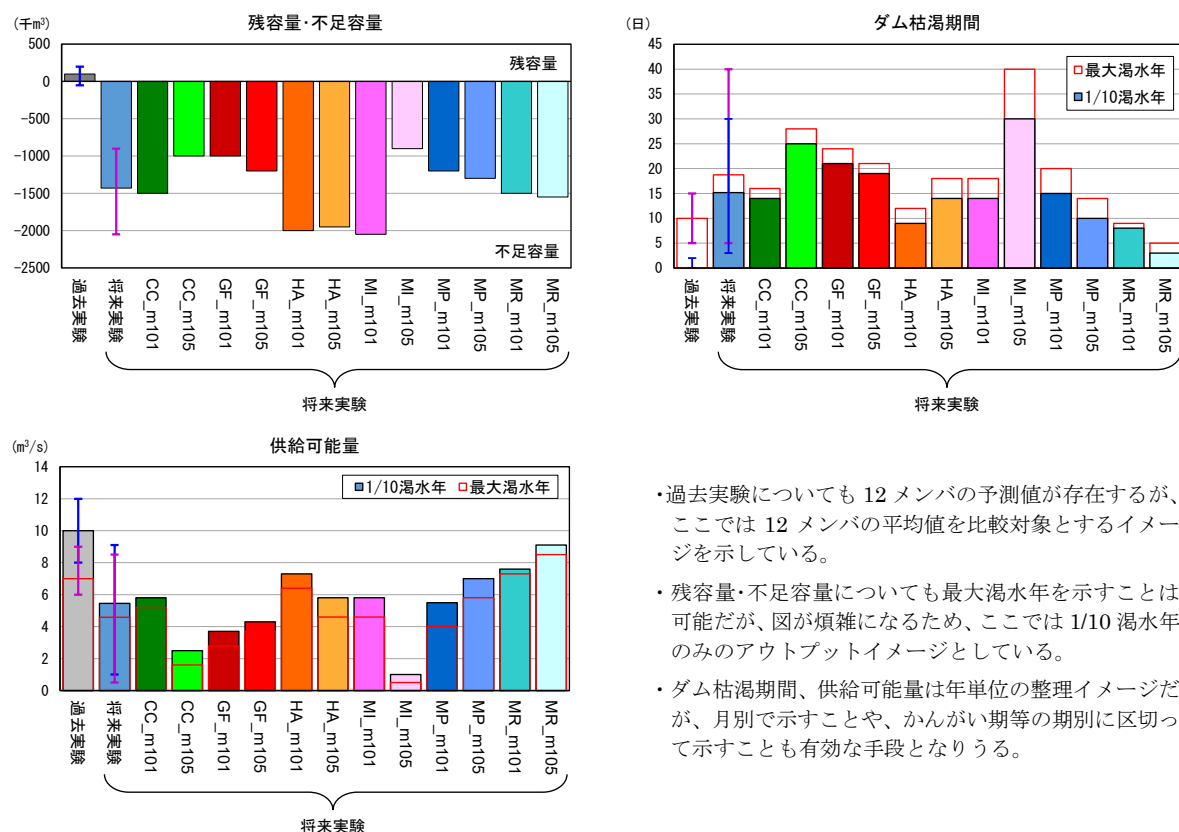


図 4.26 不足・残容量、ダム枯渇期間、供給可能量の評価結果イメージ

◆留意事項◆

- ✓ 水運用計算は、水資源開発施設の運用及び取水量を一定のルールに基づき設定するとともに、残流域流量については流出計算結果を用いて実施するものである。一方、実際の運用においては、その時々気象予報等を踏まえてダム運用や取水が行われ、また残流域流量も推定値であることから、水運用計算の結果と実運用との間には一定の乖離が生じ得る。
- ✓ 2℃上昇実験は 4℃上昇シナリオ (RCP8.5) における 2040 年、4℃上昇実験は 4℃上昇シナリオ (RCP8.5) における 2090 年の温室効果ガス等の予測値を境界条件とした計算結果であるため、本ガイドラインに基づく影響評価結果は特定の年次を指すものではない。このため、水資源開発基本計画（通称：フルプラン）で示されている供給可能量及び需要量とは将来の捉え方（フルプランでは現状や将来人口等を踏まえて将来予測を行うのに対して、本ガイドラインの評価結果では、今後の世界が 4℃上昇シナリオ (RCP8.5) どおりに推移すると仮定した場合の気温や降水量等を用いた計算を行う）が異なることから、両者を直接的に比較できるものではない。本評価結果は、将来における供給可能量の増減傾向を把握するための参考情報として活用されるべきものである。

【コラム 10】供給可能量の算出方法

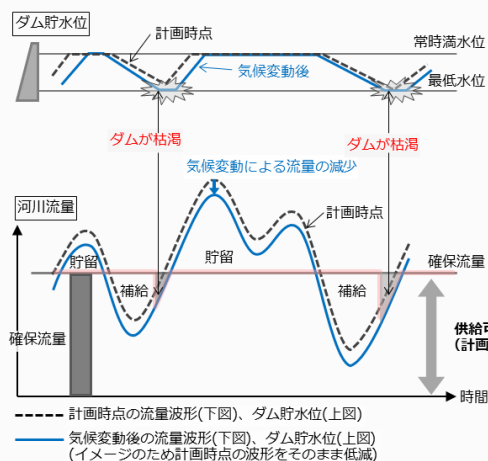
供給可能量の算出方法は「水需給バランス評価の手引き(R6.3)」に準じるが、ここでは d4PDF のアンサンブルデータを用いた供給可能量の算出手順を整理した。

なお、d4PDF では 12 メンバ×61 年の予測結果を出力するため、STEP1 では各年（1 年）の供給可能量の算出方法を整理し、STEP2 では算出した複数年の供給可能量から 1/10 安全度等の供給可能量を算出する方法を整理した。

STEP1：供給可能量の算出

計画規模を上回る渇水に対し、利水計算のトライアルにより計画補給量や利水基準点の確保流量を低減し、ダム等が枯渇しない補給量を供給可能量として算出する。これにより、d4PDF のアンサンブルデータ各年における気候変動後の供給可能量を算定する。

手順①：過不足の評価



手順②：供給可能量の算出

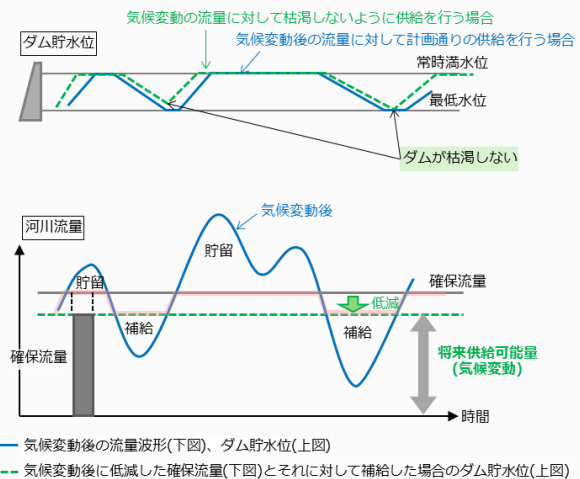


図 4.27 気候変動後の供給可能量の算定イメージ

STEP2：アンサンブルデータから算出される将来供給可能量の処理

STEP1 で算出した供給可能量に対して、以下の処理を施し、気候変動前後の変化量を最終的に評価する。

【順位評価】：過去実験と将来実験の評価期間における各年の供給可能量を昇順に並べ、評価対象の安全度に対応する順位の値を比較する（例：評価期間 60 年で 1/10 安全度をみる場合は、各期間の下位 6 番目の供給可能量を比較する）。この方法によると、特定年の流量波形を確認することが可能である。

【確率評価】：各年の供給可能量を確率紙にプロットし、Weibull 分布等による統計処理で求めた曲線を用いて、任意の確率に対応する値を比較する。なお、確率評価では外挿により、1/1000 確率等のプロット範囲外の確率規模に対する供給可能量の変化を評価できる。

5. 評価結果の活用イメージ

○気候変動による水資源への影響評価結果については、流域総合水管理の水利用の取組として、流域の関係者間で共有されることがまずは重要であり、必要に応じて供給者側及び需要者側のそれぞれの立場から課題や適応策について平時から議論を深めていくことが想定される。

○本ガイドラインでは、対象流域毎に活用例を記載したが、これらは一例であり、地域の実情に応じて幅広い議論が進められることが望ましい。

【解説】

＜水資源への影響評価結果と適応策の関係＞

本ガイドラインに基づく影響評価を実施することで、将来の降水量、河川流量（自然流量）、ダム貯水量など様々な評価結果を得ることができる。それらの評価結果については、各流域における流域総合水管理の取組として、流域の関係者間でわかりやすい形で共有されることがまずは重要であり、その上で、必要に応じて水資源の供給者側及び需要者側のそれぞれの立場から、地域の実情に応じて課題や適応策について平時から議論を深めていくことが想定される。例えば、渇水対応タイムラインが作成されている水系では、タイムラインで整理されている対応策を参考に議論が進められることも想定される。

特に、「近年深刻な渇水が発生した流域」、「水需要の大きい流域」、「将来降雪や融雪の影響が大きく現れる可能性がある流域」、「将来水資源が増加する可能性がある流域」では、現に水資源に対して課題がある、あるいは将来、水資源に変化が生じる可能性があると考えられることから、水資源の有効活用に向けた幅広い議論が行われることを期待している。

本ガイドラインでは、各流域での議論の参考となるよう、近年深刻な渇水が発生している流域などガイドラインの活用が期待される流域を対象として、活用イメージを5章1節～4節で例示することとした。ただし、ここで例示した適応策を検討しなければならないということではなく、各流域の課題解決に向けて必要となる議論が進められることを期待している。

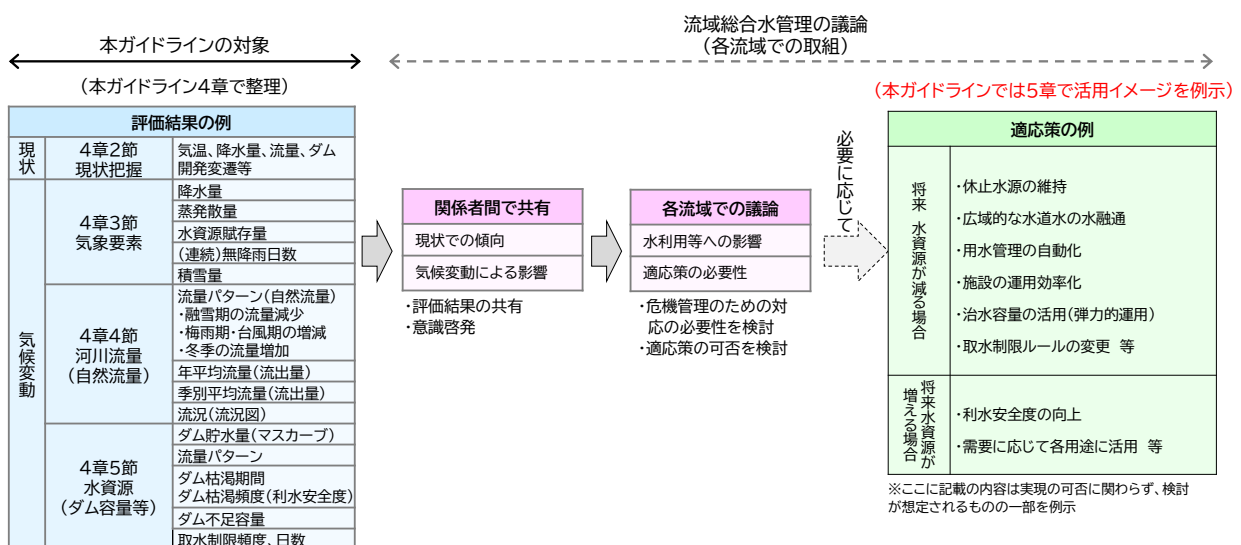


図 5.1 気候変動による水資源への影響に関する取組（議論）の進め方イメージ

表 5.1 本ガイドラインの活用が期待される流域と議論のポイント（イメージ）

ガイドラインの活用が期待される流域	想定される議論のポイント(イメージ)
5章1節 深刻な渇水が発生している流域	・近年発生した渇水が将来どのように変化するか ・将来の傾向を踏まえ、現在の渇水対応の改善点があるか
5章2節 水需要が大きい流域	・将来の供給可能量がどのように変化するのか (各流域で水利用のあり方を検討する際の参考として活用)
5章3節 融雪の影響が大きくなる可能性がある流域	・季節毎の流量波形が将来どのように変化するのか ・季節毎の流量変化を考慮した適応策の検討が必要か
5章4節 水資源が増加する可能性がある流域	・年間を通じた流量波形がどのように変化するのか ・更なる水資源の有効活用が可能か

<参考>

本ガイドラインでは、主に水資源の量に着目して全国的な影響や影響評価手法の整理を行ったところであるが、環境省がとりまとめた気候変動影響評価報告書^{*}によると、全国の河川において、水温・濁度の上昇や、それに伴う水質変化・貧酸素化・異臭味の増加が予測されている。また、既往研究では、水質、水温、さらには生物への影響も報告されている。(コラム 12～14 参照) 地域の課題は様々であると考えられるが、このような観点も場合によっては参考になると考えられる。

^{*} (引用文献)「気候変動影響評価報告書 総説 (2025 年度版)」R8.2, 環境省

◆留意事項◆

- ✓議論の内容によっては、ダム開発時における計算結果と気候変動による水資源への影響評価結果とを併せて参照することが、検討の参考として有効な手段となりうる。
- ✓流域総合水管理（水利用）等において、気候変動による影響や適応策の議論を具体的に進めるにあたっては、モデルを用いた定量的な予測・評価が重要である。一方、モデルによる予測は、気象要素の設定、流出計算、水運用計算の各検討過程において、実態との間に誤差を生じることから、予測結果は不確実性を有する。この点に留意し、適応策等の検討においては、複数のシナリオを想定するなど、状況の変化に柔軟に対応できる対策を検討することが望ましい。
- ✓気候変動による水資源への影響は、本来、供給側と需要側の将来の変化を踏まえて総合的に検討されることが望ましいが、本ガイドラインでは需要側の変化は対象としていない。供給側の変化を把握するだけでも、水資源への影響を一定程度把握することができるが、適応策の検討にあたっては需要側の変化も含めて検討を行うことがより望ましい。

【コラム 11】気候変動の適応**■気候変動の緩和と適応**

地球温暖化の対策には、その原因物質である温室効果ガス排出量を削減する（または植林などによって吸収量を増加させる）「緩和」と、気候変化に対して自然生態系や社会・経済システムを調整することにより気候変動の悪影響を軽減する（または気候変動の好影響を増長させる）「適応」がある。

■適応がなぜ必要か

IPCC WGI 第六次評価報告書によると、世界平均気温は、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続け、向こう数十年の間に二酸化炭素及びその他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21 世紀中に、産業革命以前と比べ 1.5℃および 2℃を超えると報告されている。

緩和の効果が現れるには長い時間がかかるため、早急に大幅削減に向けた取り組みを開始し、それを長期にわたり強化・継続していかなければならないが、最大限の排出削減努力を行っても、過去に排出された温室効果ガスの大気中への蓄積があり、ある程度の気候変動は避けられない。気候変動によって、異常気象が将来は頻繁に発生したり深刻化したりすることが懸念されており、変化する気候のもとで悪影響を最小限に抑える「適応」が不可欠である。

（引用文献）

・「気候変動適応情報プラットフォーム」の記述を要約

5.1 近年深刻な渇水が発生している流域

○近年深刻な渇水が発生している流域では、再度災害防止の観点から、渇水対応の振り返りや改善策を検討するだけではなく、本ガイドラインに基づく評価を行うことで、将来起こりうる深刻な渇水の影響をあらかじめ把握することができる。

○例えば、現行の取水制限ルールを維持した場合の将来の取水制限日数やダム枯渇期間等を把握し、取水制限の開始のタイミングや基準、取水制限率の見直しなど課題と適応策の方向性について議論することが想定される。

【解説】

将来、河川流量が減少した場合、確保流量に対する不足が生じやすくなることから、ダム等による補給の開始時期が早まるとともに、総補給量が増大する可能性がある。さらに渇水が発生した場合には、取水制限の開始時期が早まり、取水制限期間が長期化することに加え、ダム等の貯水量が枯渇し、取水不足が生じることも想定される。

そこで、再度災害防止の観点から、過去の渇水対応の振り返りや改善策の検討にとどまらず、本ガイドラインに基づく評価を行い、例えば、取水制限の開始時期、取水制限期間、取水制限日数やダム枯渇発生頻度等を整理することで、将来起こりうる深刻な渇水の影響をあらかじめ把握することができる。

これらの結果を流域の関係者間で共有し、将来起こりうる渇水の影響について理解を深めるとともに、例えば、現行の取水制限ルールを前提とした課題を整理し、取水制限の開始時期や基準の見直し、取水制限率の設定のあり方等の適応策について議論することが想定される。

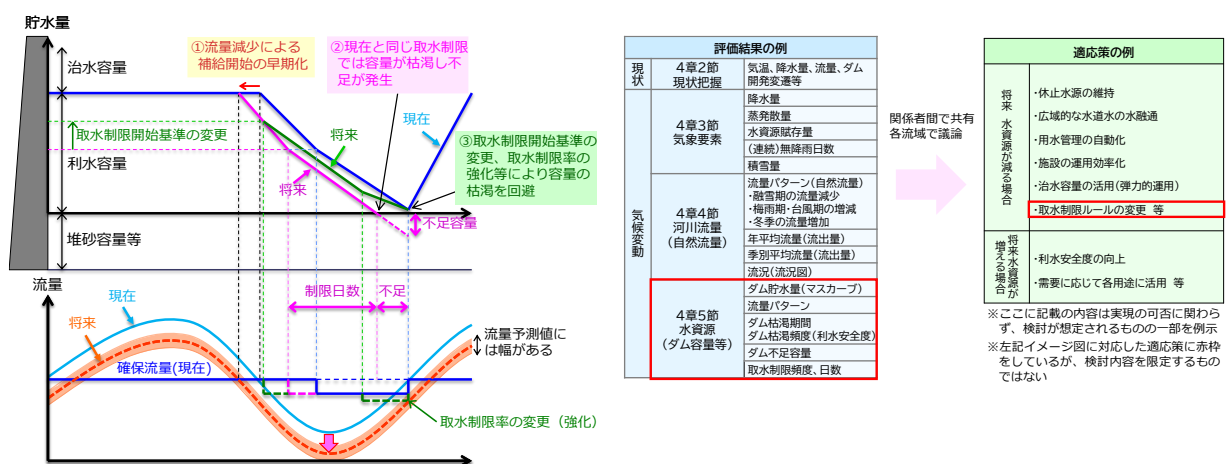


図 5.2 深刻な渇水が発生している流域における運用見直しの検討イメージ

5.2 水需要が大きい流域

○水需要が大きい流域では、供給可能性が減少した場合に国民の暮らしや社会経済に影響を与える可能性があるため、本ガイドラインに基づく評価を行うことで、気候変動の影響に備え供給可能性の変化等について把握することができる。

○例えば、供給可能性が減少する場合には、ダム枯渇期間等の影響の程度を把握するとともに、現状の水利用を前提とした場合の課題を整理し、休止水源の維持や広域的な水道水の水融通や施設の運用効率化等の適応策について議論することが想定される。

【解説】

大都市圏を含む流域等、人口及び産業の集積により水需要が大きい流域においては、将来、河川流量の減少に伴い供給可能性が減少した場合、国民の暮らしや社会経済活動に影響を及ぼすことが想定される。

そこで、気候変動による影響に備えるため本ガイドラインに基づく評価を行うことで、例えば、供給可能性や河川流量の変化やダム枯渇発生頻度など、将来生じる供給側への影響を把握することができる。

これらの結果を流域の関係者間で共有し、将来の供給可能性の変化による影響について理解を深めるとともに、例えば、現状の水利用を前提とした課題を整理し、休止水源の維持や広域的な水道水の水融通、施設の運用効率化を通じた無効放流の最小化等の適応策について議論することが想定される。

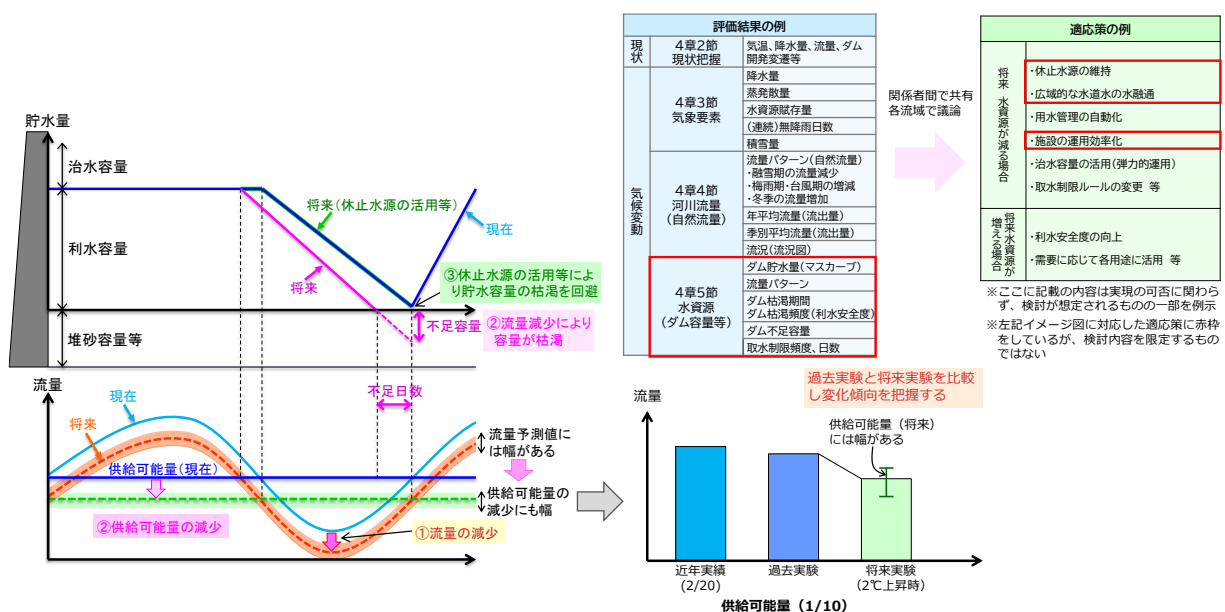


図 5.3 水需要が大きい流域における供給可能性の検討イメージ

5.3 将来降雪や融雪の影響が大きく現れる可能性がある流域

○降雪が多い地域では、気候変動の影響により降雪や融雪に変化が生じ、河川流量等にも大きな影響が生じる可能性があるため、本ガイドラインに基づく評価を行うことで、降雪や融雪の変化による河川流量等への影響をあらかじめ把握することができる。

○例えば、河川流量の増減の時期及び増減量（流量波形の変化）等を把握し、農業用水管理の自動化による節水、治水容量の活用（弾力的運用）等の適応策について議論することが想定される。

【解説】

降雪が多い地域においては、降雪量の減少や気温上昇に伴う融雪時期の変化により、河川流量が変化することが想定される。具体的には、降雪量の減少及び融雪時期の早期化により冬季の流量が増加する一方、農業用水の取水量が増加する春先に河川流量が減少することで、ダム等による補給量が増大することが想定される。

そこで、本ガイドラインに基づく評価を行うことで、例えば、河川流量の増減の時期及び増減量（流量波形の変化）、ダム等における無効放流の発生時期等、気候変動による降雪や融雪の影響をあらかじめ把握することができる。

これらの結果を流域の関係者間で共有し、降雪や融雪の変化による影響について理解を深めるとともに、例えば、現状の水利用を前提とした課題を抽出し、農業用水管理の自動化による節水、治水容量の活用（弾力的運用）等の適応策の必要性等について議論することが想定される。

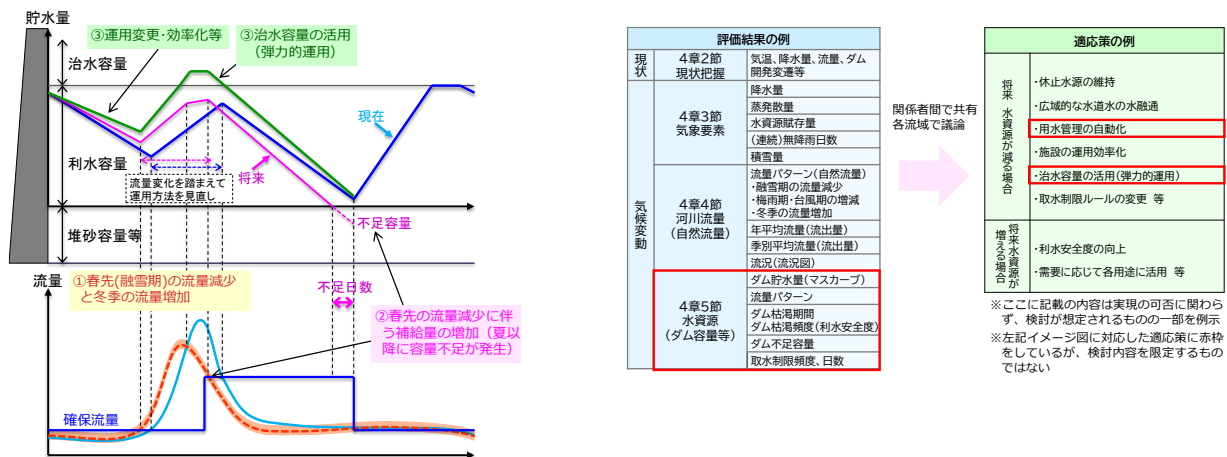


図 5.4 将来降雪や融雪の影響が大きく現れる可能性がある流域における
運用見直しの検討イメージ

5.4 将来水資源が増加する可能性がある流域

- 気候変動の影響により水資源が増加する可能性もあり得ることから、そのような流域では流量の季節変化などをあらかじめ把握しておくことができる。
- 例えば、流量波形の季節変化を把握し、新たに生まれる可能性がある水資源について、既往の水利用に対する利水安全度の向上や、需要に応じた各用途への活用など水資源の有効活用について議論することが想定される。

【解説】

気候変動の影響により、梅雨期及び台風期の降水量が増加することなどで河川流量（自然流量）が増加し利用可能な水資源量が増加することも想定される。

このように、気候変動の影響により水資源が増加する可能性もあり得るため、本ガイドラインに基づく評価を行うことで、例えば、流量波形の季節変化から新たに生まれる水資源を把握することができる。

これらの結果を流域の関係者間で共有し、流量パターンの変化による影響について理解を深めるとともに、例えば、新たに生まれる可能性がある水資源について、既往の水利用に対する利水安全度の向上や、需要に応じた各用途への活用など水資源の有効活用について議論することが想定される。

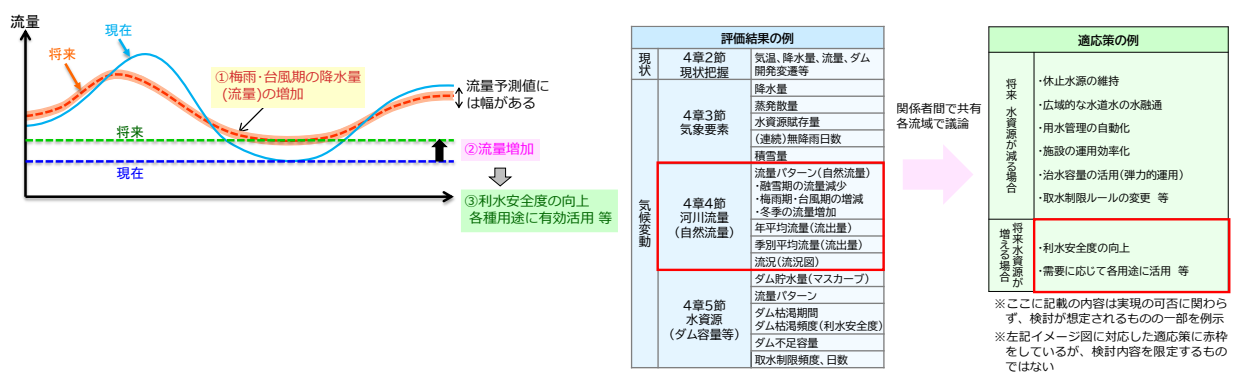


図 5.5 将来水資源が増加する可能性がある流域における有効活用の検討イメージ

【コラム 12】気候変動による河川水質への影響

河川において気候変動の影響を考える際、豪雨や洪水の増加が注目されることが多い。一方で、降雨量の減少や渇水発生頻度の変化が河川水質に及ぼす影響についても把握していく必要がある。河川水質は、流域からの汚濁負荷量だけではなく、河川流量によっても変化する。一般に、河川流量が増加すると汚濁物質は希釈され、河川流量が減少すると濃度が高くなる傾向がある。しかし、その関係は流域の土地利用状況によって異なることが知られている。

北村ら¹⁾は、ある河川をケーススタディーとして、流量と水質の関係を解析し、森林流域と市街地流域で異なる特徴がみられることを報告している。解析の結果、森林流域では、河川流量が減少しても水質は大きく変化しない。一方、市街地流域では、流量が減少すると COD や全窒素 (T-N) 濃度が上昇する。河川流量が減少すると、河川水に占める下水処理水の割合が相対的に高くなることが、濃度上昇の一因と考えられている。

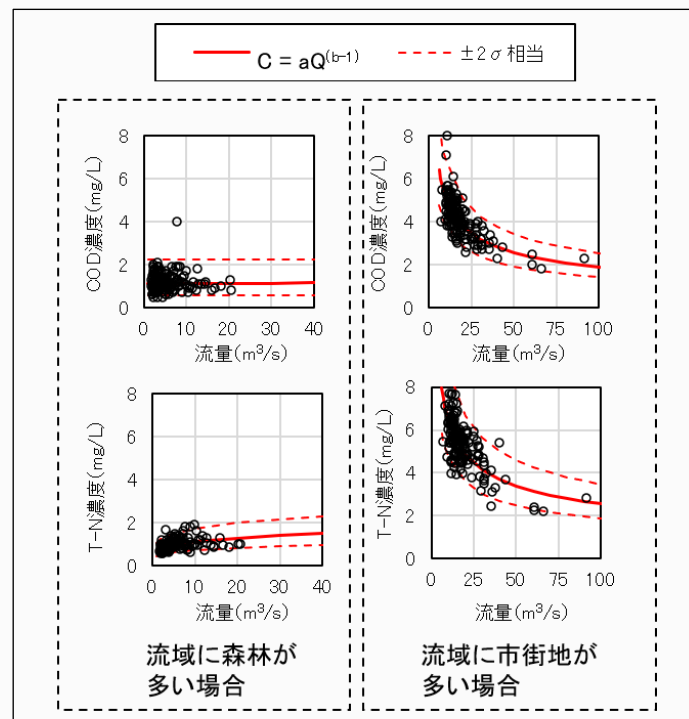


図 5.6 河川流量と COD、T-N 濃度の散布図¹⁾

(引用文献)

北村友一, 阿部翔太, 岡安祐司 土木学会論文集特集号 (環境工学), Vol.81, No.25, 25-25033, 2025

(執筆) 土木研究所水質チーム

【コラム 13】気候変動に伴う気温上昇と流量変化が河川水温に与える影響

河川水温は生物、水質、農業等に影響する重要な環境指標であり、気温や日射等の気象条件と、河川流量や河川水の起源（降雨、融雪、地下水）等の水文条件により決まる。気候変動による気温上昇により全国的な水温上昇が予想されるが、流量パターンの変化や減少等の水文的影響も受けることから、その上昇量は地域や河川の特徴によって異なると予想される。

星野・西村¹⁾は d4PDF²⁾に基づいた過去・将来実験の気温と河川流量³⁾から水温の将来変化を予測した。その結果、積雪地域の河川では融雪の早期化に伴う融雪末期（5 月）の流量減少が水温の顕著な上昇をもたらし、小規模河川では渇水時の流量低下が月最高水温を大きく上昇させるなど、水文的特徴や河川規模の違いにより将来の水温上昇の特徴が異なることを示した。

- ✓ 水温は気温と強い相関を有する
- ✓ 同一気温では低流量時に水温が高い

○：日平均
□：月平均

・各プロットの色分けは流量規模の違い
・数字は月を意味する

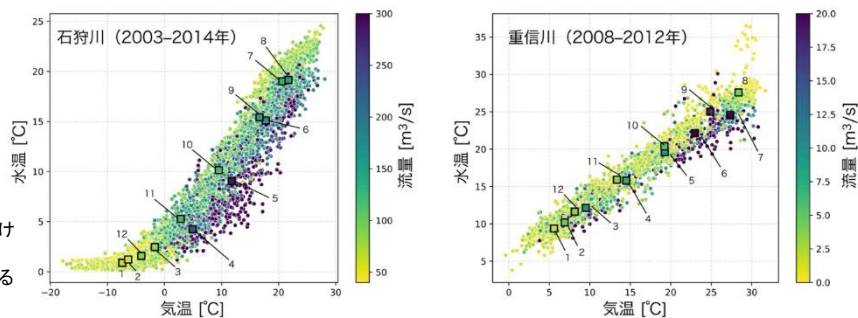


図 5.7 観測データに基づく気温と水温と流量の関係（参考文献 1)の図を一部改変）

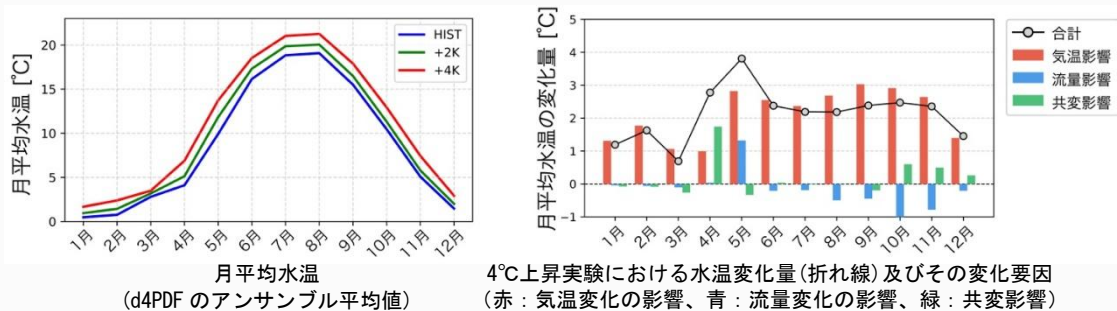


図 5.8 石狩川における過去・将来実験の月平均水温(左)とその変化量および変化要因(右)¹⁾

将来気候では融雪の早期化に伴い融雪末期（5 月）に流量が減少することで、顕著な水温上昇を引き起こし、冬季は気温の影響を受けづらいため昇温量が小さいことがわかる。

（引用文献）

- 1) 星野剛，西村宗倫：日本における河川水温の将来変化予測とその要因分析，土木学会論文集，投稿中。
- 2) Kawase, H., Nosaka, M., Watanabe, S. I., Yamamoto, K., Shimura, T., Naka, Y., Wu, Y. H., Okachi, H., Hoshino, T., Ito, R., Sugimoto, S., Suzuki, C., Fukui, S., Takemi, T., Ishikawa, Y., Mori, N., Nakakita, E., Yamada, T.J., Murata, A., Nakaegawa, T., Takayabu, I.: Identifying robust changes of extreme precipitation in Japan from large ensemble 5-km-grid regional experiments for 4K warming scenario, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 128, 2023.
- 3) 西村宗倫，高田望，因幡直希，坂本光司，柴川大雅，吉田翔，三浦悠，渡部哲史，仲江川敏之，竹下哲也：全国版 d4PDF ダウンスケーリングデータのバイアス補正データの開発と公開，河川技術論文集，Vol.31, pp. 421-426, 2025.

（執筆）寒地土木研究所水環境保全チーム

【コラム 14】 中小河川の渇水が河川生物に及ぼす影響とその回復

1. はじめに

近年、気候変動による無降雨日の増加等により、河川での渇水がひどくなり、一時的に流れを失う「瀬切れ（断流）」の発生が世界的に報告されている。日本の河川では明確な流況の季節変化があり、その変化に適応した水生昆虫が数多く生息しているが、これらの水生昆虫が瀬切れに対してどのような応答を示し、その後どのように回復するかの知見は乏しいのが現状である。

2. 瀬切れにより生じる 40℃を超過する水温と低酸素

岐阜県各務原市の自然共生研究センターを流れる実験河川（川幅 3～5m）において、夏季に 1 週間の低水とその後の渇水（ゼロ流量）を人為的に発生させ、瀬切れが生じることを確認した。これにより、淵などに残る水塊（孤立水塊）では生物の生存にとって厳しい条件となることが示された。

✓水温の上昇：流れが失われたことで孤立水塊では、日射の影響を強く受け水温が 40℃を超過する地点が確認された。

✓溶存酸素の枯渇：水の停滞と高温、微生物などの呼吸に伴い、夜間の溶存酸素濃度（DO）は測定限界に近い 0.1 mg/L 未満まで低下し、ほぼ無酸素状態となった。

このような中小河川における渇水は、「高温」と「低酸素」という複合的な環境要因を通じて、流水環境に適応した水生昆虫の個体数および種数を一時的にほぼゼロ（死滅に近い状態）まで減少させた。

3. 生活史により異なる個体群の回復

瀬切れ（断流）後に再び通水されることで、水生昆虫の個体数や種数は約 4 週間で対照区と同水準まで回復したが、回復の度合いは種ごとの生活史特性に応じて異なることが示された。

例えば、年に複数回、卵から成虫になる種では迅速に回復したが、成長や羽化の時期が揃う種では、瀬切れが成長期と重なることで、次の世代が育つまでの数ヶ月以上の長期にわたり個体数が回復しなかった。

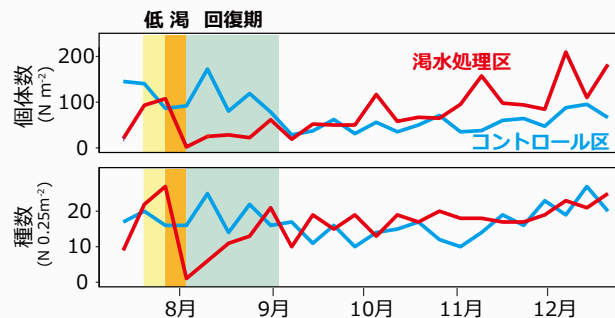


図 5.9 瀬切れ後の水生昆虫の個体群の回復

4. 結び

本研究の結果は、中小河川では短期間の瀬切れであっても高温・低酸素という劇的な変化が水生生物に対して大きな影響を与えることを示している。流れが戻ることで、個体数や種数が約 4 週間で回復したが、長期的な影響を受ける種も存在した。

（引用文献）

Nakagawa and Mori T (2026) Effects of phenological and drying-resistance traits on insect population trajectories after short experimental flow cessation. *Freshwater Science* 45(2).

（執筆）土木研究所自然共生研究センター

用語集

あ行

RCP（Representative Concentration Pathways：代表的濃度経路）

RCP シナリオとは、IPCC 第 5 次評価報告書の気候モデル予測で用いられる温室効果ガスの代表的な濃度の仮定（シナリオ）を指す。RCP シナリオは大気中の温室効果ガスの濃度が放射強制力に与える影響の大きさをもとに特徴づけられ、それぞれ RCP8.5（高位参照シナリオ）、RCP6.0（高位安定化シナリオ）、RCP4.5（中位安定化シナリオ）、RCP2.6（低位安定化シナリオ）と呼ばれ、産業革命以前と比較した今世紀末の放射強制力の目安がそれぞれ 8.5W/m²、6.0W/m²、4.5W/m²、2.6W/m² となるシナリオに対応している。

（引用文献）

「IPCC 第 5 次評価報告書の概要－第 1 作業部会（自然科学的根拠）－」2014 年，環境省
「気候変動影響評価報告書 総説（2025 年度版）」R8.2，環境省

表 RCP シナリオの概要

名称	産業革命以前と比較した放射強制力の目安	2100 年における各種の温室効果ガス濃度(二酸化炭素濃度に換算)	濃度の推移
RCP8.5 (高位参照シナリオ)	2100 年において 8.5W/m ² を超える	約 1,370ppm を超える	上昇が続く
RCP6.0 (高位安定化シナリオ)	2100 年以降約 6.0W/m ² で安定化	約 850ppm (2100 年以後安定化)	安定化
RCP4.5 (中位安定化シナリオ)	2100 年以降約 4.5W/m ² で安定化	約 650ppm (2100 年以後安定化)	安定化
RCP2.6(RCP3-PD) (低位安定化シナリオ)	2100 年以前に約 3W/m ² でピーク、その後減少、2100 年頃に約 2.6W/m ²	2100 年以前に約 490ppm でピーク、その後減少	ピーク後減少

（引用文献）「気候変動影響評価報告書 総説（2025 年度版）」R8.2，環境省

アンサンブル・メンバ

アンサンブルは、気候の将来予測のために並行して走らせたモデルシミュレーションのグループを指し、それぞれのシミュレーションをアンサンブルメンバ（またはメンバ）という。アンサンブルメンバ間における結果のばらつきは、不確実性の推定を与える。同じモデルだが初期条件に小さな摂動（揺らぎ）を与えたアンサンブルは、モデル内部の気候変動性に関連した不確実性の特性のみを示す。一方、複数のモデルによるシミュレーションを含むマルチモデルアンサンブルは、モデルの違いの影響をも含んでいる。なお、d4PDF はシングルモデルアンサンブルである。

（引用文献）

「気候変動 2007 影響、適応と脆弱性 日本語版（気候変動に関する政府間パネルの第 4 次評価報告書に対する第 2 作業部会の報告）」環境省
「令和 7 年度数値予報解説資料集（数値予報課）」R8.3，気象庁情報基盤部

維持流量

動植物の保護、漁業、景観、流水の清潔の保持（水質）等の観点から河川の正常な機能を維持するために必要な流量。これに水利流量（水利用）を加えたものが正常流量となる。

（引用文献）「正常流量検討の手引き（案）」H19.9，国土交通省河川局河川環境課

上向き潜熱フラックス →P24 を参照

温室効果ガス排出シナリオ

将来の社会・経済の動きに応じた温室効果ガス排出量の想定。IPCC 第 5 次評価報告書では RCP シナリオが示されており、IPCC 第 6 次評価報告書では RCP に社会経済の発展傾向を詳細に仮定した叙述的シナリオ（SSP：Shared Socio-economic Pathways、共有社会経済経路）を組合せた SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5 の 5 つのシナリオが示されている。温室効果ガス排出シナリオは、気候予測の境界条件となり、これに起因する不確実性が生じる（不確実性の 3 要因の一つ→P6 を参照）。

（引用文献）「IPCC 第 6 次評価報告書の概要－第 1 作業部会（自然科学的根拠）－」2023 年 8 月暫定版，環境省

表 SSP シナリオの概要

名称	内容
SSP1：持続可能性重視	環境の限界を尊重しより包括的な開発。物質的成長を抑え資源/エネルギーの集約度を下げる。
SSP2：中間型	歴史的なパターンから大きく変化しない。
SSP3：地域間競争	ナショナリズムの復活により分断された世界。国内/地域問題を重視。消費は物質集約的。
SSP4：不平等社会	不平等や格差が拡大する世界
SSP5：化石燃料依存	急速な技術、経済、社会の発展。資源・エネルギーの大量消費。

か行

海面水温（SST）

気候の内部変動を表現するための条件。d4PDF では 6 種類の海面水温（SST）と 2 つの摂動の組合せにより計 12 メンバを構成する。

過去実験・将来実験 →P22 を参照

確保流量

ダム等の水資源開発施設の運用において、河川の基準地点において設定する確保すべき流量。ダム等の運用前流量が確保流量を下回る場合、その不足分をダム等から補給する。
→確保流量のイメージは P39（図 4.24）を参照

渇水対応タイムライン

渇水関係機関の連携のもと作成する渇水の深刻度の進展と影響・被害を想定した「渇水シナリオ」と、渇水による被害の軽減と最小化のための対策等を時系列で整理した「行動計画」で構成するもの。

（引用文献）「渇水対応タイムライン作成のためのガイドライン（初版）」H31.3，国土交通省水資源部

渇水流量（1/10 渇水流量）

渇水流量は、低水時の流量を表す指標の一つであり、1 年を通じて 355 日はこれを下回らない

流量（365 日分の流量データを大きい順に並べて 355 番目の流量）。

1/10 渇水流量は、10 年に 1 回の頻度で発生する規模の渇水流量を指し、例えば、本ガイドライン 4 章 4 節 2 項で示したように 60 年分の流量データがある場合、各年の渇水流量のうち、6 番目に小さい流量（ $6/60=1/10$ ）が 1/10 渇水流量となる。

（引用文献）「水文観測業務規程細則」H26.3.20，国水情第 45 号，国土交通省 水管理・国土保全局通達

基準地点

ダム等の水資源開発施設を運用する際に補給・貯留の判断を行うために設定する地点。一般的にはダム等の補給対象となる取水がある地点、もしくはその上流において、流量が把握できる地点に設定する。基準地点では確保流量や維持流量等を設定し、ダム等の運用前流量が確保流量より小さい場合（不足がある場合）は補給を行い、取水を考慮した後も維持流量より大きい場合（余剰がある場合）は貯留を行うなどの運用を行う。

基底流量

河川流量のうち、降雨に直接依存せず、地下水等に涵養された緩やかな流出成分。融雪・積雪量の減少、蒸発散量の増加等により低下する可能性がある。

供給可能量

河川の自流、地下水、ダム等のすべての水源から供給可能な水量の合計。10 年に 1 回の頻度で発生する渇水(1/10 渇水)や、既往最大渇水などを定義して具体的な量を算定する。

→算定方法はコラム 10（P41）を参照

さ行

最大渇水年

任意に設定した期間において最も大きな渇水となる年。渇水の定義は様々な考え方があるが、水資源開発計画（利水計画）においては、ダム等の必要容量が最大となる年を最大渇水年とするのが一般的である。

自然流量 →P15 を参照

シリーズ運用 →P38 を参照

蒸発散量

地表面・水面からの蒸発と植物から放出される蒸散の合計。水資源開発においては、将来の気温上昇により蒸発散量が増加し、降水量が大きく変わらなくても利用可能な水資源量が減少すると予測されている。

た行

ダウンスケーリング

全球気候モデルなど、水平方向の解像度が数十 km から数百 km のシミュレーション結果から数 km 単位の局所的な現象を解析する方法であり、統計的ダウンスケーリングと力学的（物理的）ダウンスケーリングに大別される。

統計的ダウンスケーリングは、既存の観測データから局所的な場と大規模場との統計的な関係を求め、その関係の仮定を元に全球気候モデルによる大規模な気象データのシミュレーション結果の空間詳細化を行う手法である。

力学的ダウンスケーリングは、全球気候モデル等の粗い解像度（計算格子）のシミュレーション結果を初期条件・境界条件として、解像度の高い領域モデルによりシミュレーションを行い、空間詳細化を行う手法である。

（引用文献）有馬雄祐，大岡龍三，菊本英紀，山中徹「力学的ダウンスケーリングによる近未来標準気象データ作成に関する研究」生産研究，66 巻 1 号(2014)

中間流出

降雨から河川への流出経路は、表層流、中間流、地下水流として河川に流出する。このうち、表層流は地表面から直接流出し、中間流、地下水流は地中に浸透して河川に流出する。中間流は、降雨が地中に浸透した後、地下水面に達する前の比較的浅い土層中を側方に移動し、河川に流出する成分を指す。

DIAS（Data Integration and Analysis System：データ統合・解析システム）

文部科学省主導の下、JAMSTEC や東京大学等が運用する地球環境情報基盤。気象・水文・衛星などの観測データや気候予測データを統合・解析し、情報提供しており、d4PDF のデータセットや、WBC-d4PDF5km(2022)（バイアス補正済みデータ：日降水量・日平均気温）等が公開されている。

d4PDF →P22 を参照

な行

内部変動

同じ温暖化条件でも、年ごとの気温・降水の現れ方に自然に生じるばらつき。不確実性の 3 要因の一つ。

は行

バイアス補正 →P25 を参照

不確実性 →P6 を参照

不足容量・残容量

ダム等の水資源開発施設において、確保流量を満足させるために不足した容量。10年に1回の頻度で発生する渇水（1/10 渇水）や、既往最大渇水等を定義して具体的な容量を算定する。

→不足容量のイメージは P39（図 4.24）を参照

プール運用 →P38 を参照

補給・貯留

ダム等の水資源開発施設において、ダム運用前流量が確保流量を下回る際にダムから水を供給すること（補給）と、余剰流量をダムに貯めること（貯留）。

→補給・貯留のイメージは P36（図 4.21）を参照

ま行

水運用計算 →P36 を参照

水資源・水資源管理

水資源は、広義には地球上に存在するすべての水を指すが、一般的には河川水や地下水など水道用水や工業用水、農業用水に利用可能な淡水を指し、本ガイドラインでは、このうちの河川水を対象としている。

水資源管理は、様々な捉え方ができるが、本ガイドラインでは、ダム等の運用や取水等の人為的要素を「水資源管理」と表記し、降水量や河川流量（自然流量）といった自然的要素と区別して、その影響評価方法を示している（4章5節）。

無降水日（無降雨日）

降水がない日を指すが、本ガイドラインでは、文部科学省・気象庁の資料を引用して、日降水量が 1.0mm 未満の日を無降水日と定義している。

（引用文献）「日本の気候変動 2025」R7.3，文部科学省・気象庁

メンバ →アンサンブルを参照

ら行

力学的ダウンスケーリング →ダウンスケーリングを参照

利水安全度

水資源開発における水供給の安全の度合い。任意期間（年）におけるダム等の水資源開発施設の枯渇頻度で表し、例えば「1/10 安全度」であれば、10年に1回の渇水においても水供給ができることを示す。

利水計画・利水計算

利水計画は、ダム等による水資源開発計画を指し、水道用水、工業用水、農業用水等の各種用水が安定的に取水できるように施設規模とその運用計画等を定める。一般的には、10年に1回程度の渇水に耐えられるように施設規模や運用計画を策定する。

利水計算は、施設規模や運用計画を策定するために実施する水運用計算であり、基準地点、維持流量、確保流量等を設定して実施する。 →P36（4章5節1項）を参照

利水容量

ダム等の水資源開発施設において、水供給のために確保する貯水容量。多目的ダムでは、利水用容量の他、砂を貯めておくための堆砂容量、洪水調節を行うための治水容量等がある。発電容量は利水容量に含まれるが、水道用水、工業用水、農業用水等を供給するための利水容量と区分して表記している施設もある。

水資源分野における気候変動への適応策のあり方検討会

本ガイドラインの検討経緯

第1回

日 時：令和8年4月17日（金）14：00～15：30

議 事：気候変動による水資源への影響評価について（全国的な影響）

第2回

日 時：令和8年5月15日（金）13：00～15：00

議 事：気候変動による水資源への影響評価について（個別流域における影響評価手法）

第3回

日 時：令和8年6月24日（水）13：00～15：00

議 事：気候変動による水資源への影響評価について
（気候変動による水資源への影響評価ガイドライン（案）について）

第4回

日 時：令和8年7月8日（水）13：00～15：00

議 事：気候変動による水資源への影響評価について
（気候変動による水資源への影響評価ガイドライン（案）について）

委員名簿

大谷 武彦	東京都水道局 総務部 施設計画課長
（座長）沖 大幹	東京大学大学院 工学系研究科 教授
滝沢 智	東京都立大学 都市環境学部 特任教授
立川 康人	京都大学大学院 工学研究科 教授
田中 賢治	京都大学防災研究所 水資源環境研究センター 教授
仲江川 敏之	気象研究所 気候環境研究部 部長
松岡 賢	福岡市水道局 浄水部 水管理課長

（敬称略）

（五十音順）

気候変動による水資源への影響評価ガイドライン

令和8年8月

国土交通省 水管理・国土保全局 水資源部 水資源計画課

〒100-8918

東京都千代田区霞が関2-1-3

電話：03-5253-8111
