



大規模観測×先端シミュレーションで読み解く 気候変動時代の河川水リスク ～渇水・高水温予測と適応策～

寒地土木研究所寒地水圏研究グループ水環境保全チーム

星野 剛



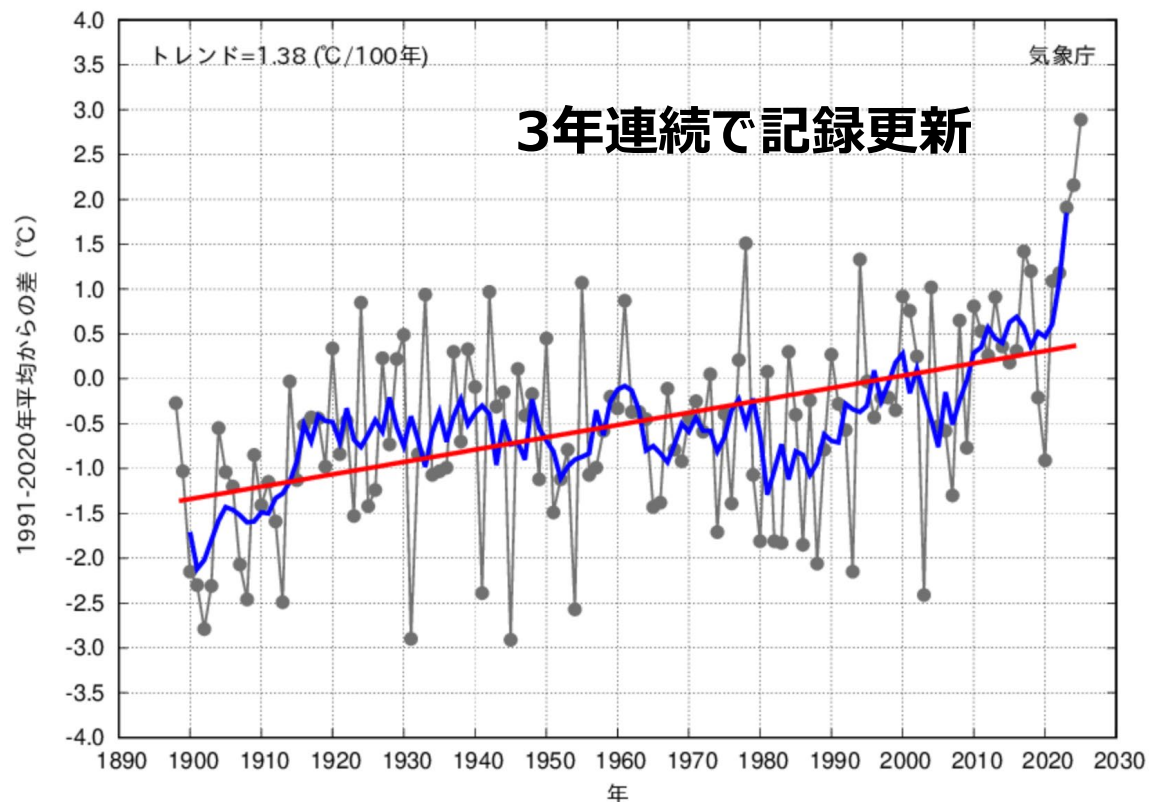
気候変動により
河川環境はどのように
変化するのか？



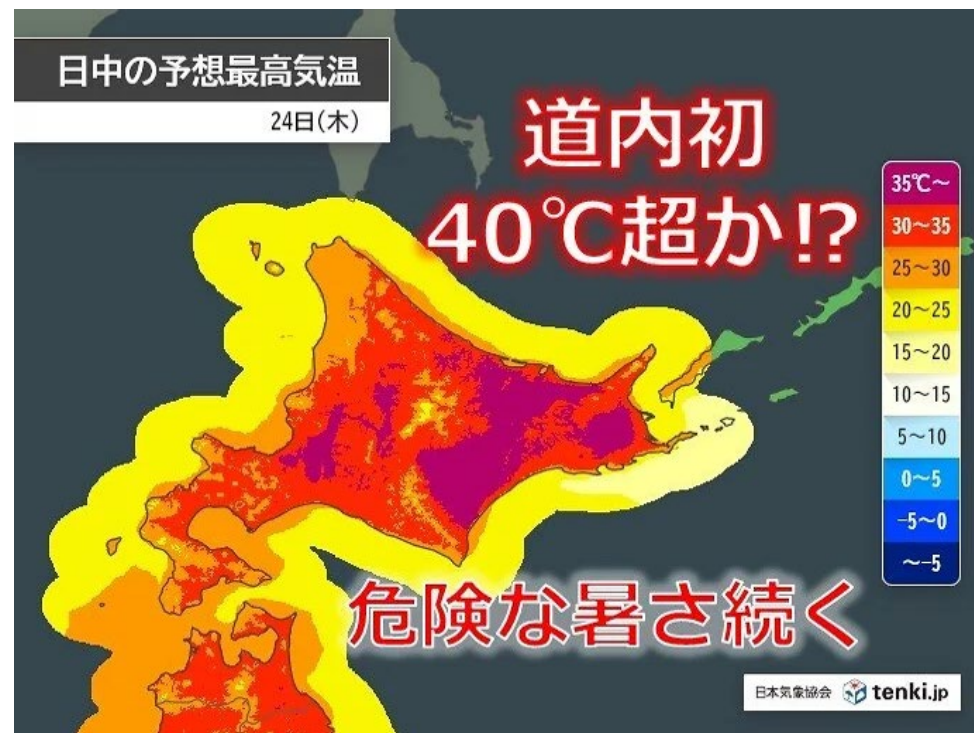
2025年の猛暑

- 7月の平均気温の記録更新（2位は2024年、3位は2023年）
- "温暖化影響なければほぼ起こり得ず"
- 猛暑による酸欠が原因と見られる魚の大量死も発生（島根県、北海道函館市）

日本の7月平均気温偏差



北海道でも40℃に迫る

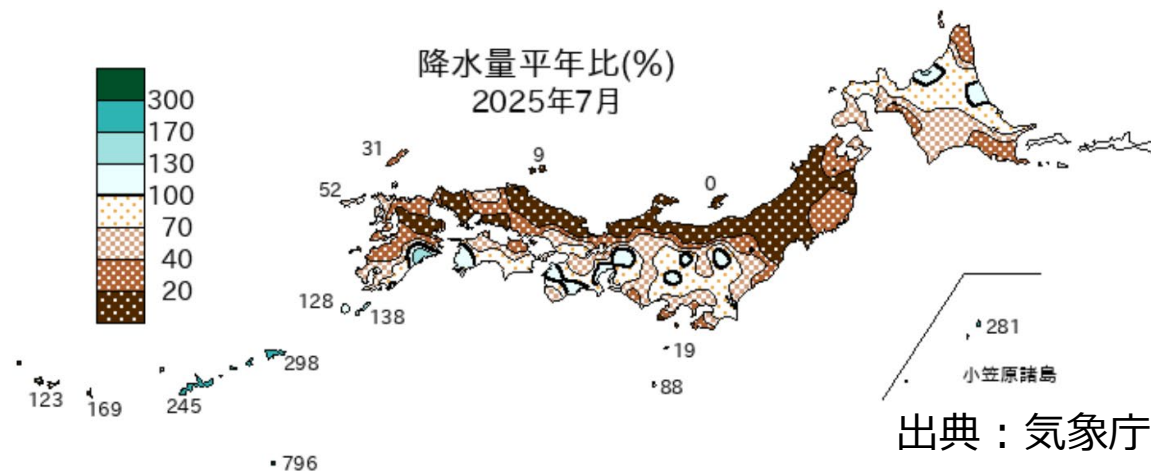


2025年の渇水

渇水リスクの顕在化

- ・ 国交省は渇水対策本部を設置して対応
- ・ 新潟県上越市では31年ぶりの節水要請
- ・ 兵庫県加古川では16年ぶりの取水制限

少雨の記録更新（東北、北陸など）



節水チラシ

節水への協力をお願いいたします

この夏からの少雨傾向により、ダム貯水率が低下するなど、渇水傾向がつづいている地域があります。
渇水傾向にある地域にお住いの皆様におかれましては、特に節水へのご協力をお願いします。

各家庭においてお願いしたい具体的な節水の取り組み

トイレの使い方

大小レバーの使い分けを
しっかり行いましょう。

大8リットル、小2リットルを
使用するため、適切なレバー
の使用で約2リットルの節水
になります。（メーカーによる違いあり）



お風呂は“湯はり”で

シャワーを1分間使用すると
約10リットルの水を使います。

シャワーより「湯はり」の方
が使用する水は少なくなります。

残り湯を洗濯、散水等に使えば、約90リットルの節水になります。



洗車は“バケツ”を使って

ホースからの流し洗いでは
約90リットルの水を使います。

バケツを使えば約30リットル
ですみ、約60リットルの節水
になります。



食器洗いは“ため洗い”で

食器洗いを「ため洗い」にすると
約80リットルの節水になります。

油污れのひどいものはあらかじめ
紙などで拭き取りましょう。



歯磨きは“コップ”を使って

水を流しながら歯磨きをすると
約6リットルの水を使います。

コップを使えば約0.6リットルです
み、約5リットルの節水になります。



その他

節水アダプターや節水型
シャワーヘッドを使うと水の
勢いを変えずに水の量を減らす
ことが出来ます。

また、井戸水、雨水、湧水等を利用
すると節水になります。



熱中症予防や感染症対策にもご注意ください。

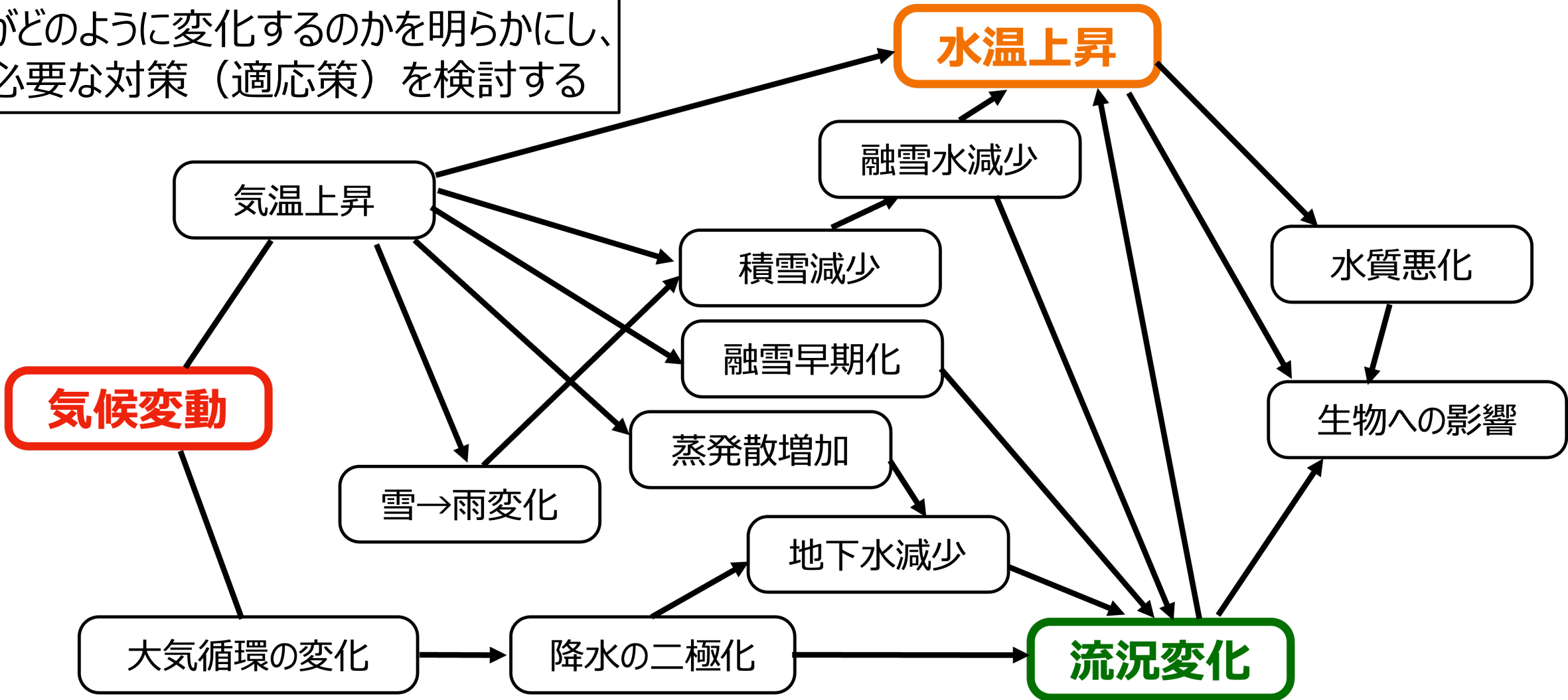
出典：国交省

気候変動が河川の流況・水温に影響するメカニズム

研究目的

気候変動に伴う河川の流況や水温がどのように変化するかを明らかにし、必要な対策（適応策）を検討する

気候変動の影響がどのように作用するかは、それほど単純ではない



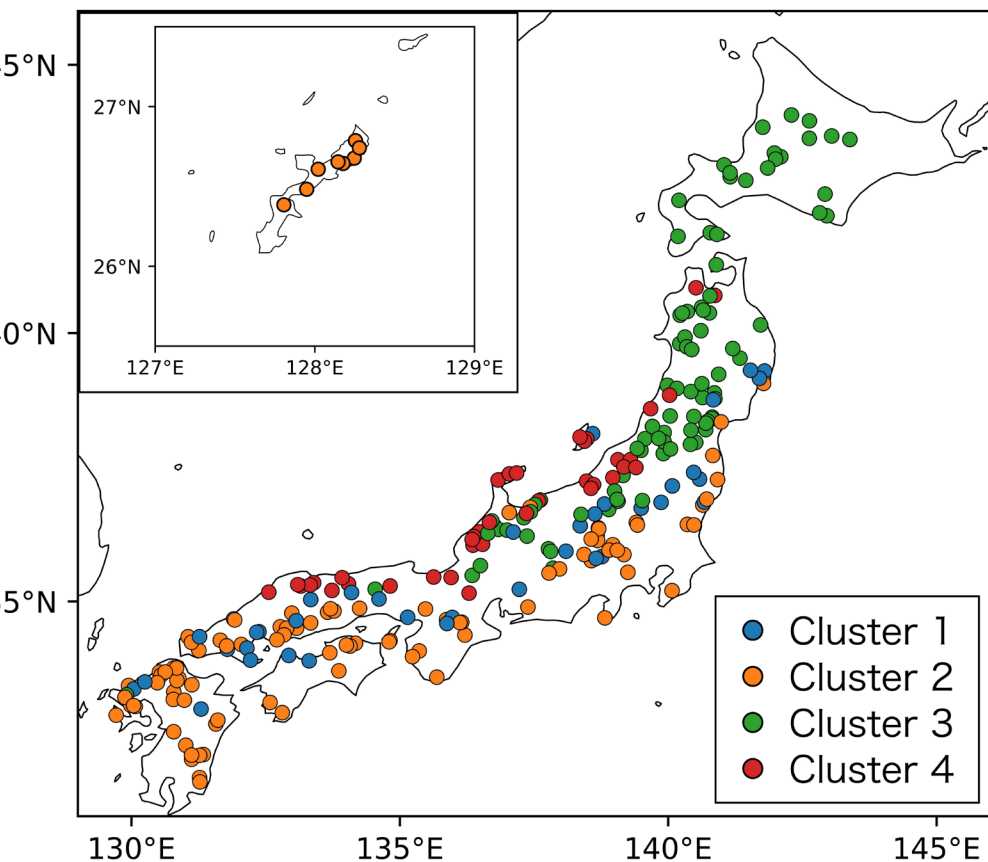
河川流況の 将来変化



河道への流出パターンは変化しているか？

- ダム流入量データを用いて流出パターンを分類した。
- トレンド分析により気候変動の影響が既に生じているかを調べた。

クラスター分類結果

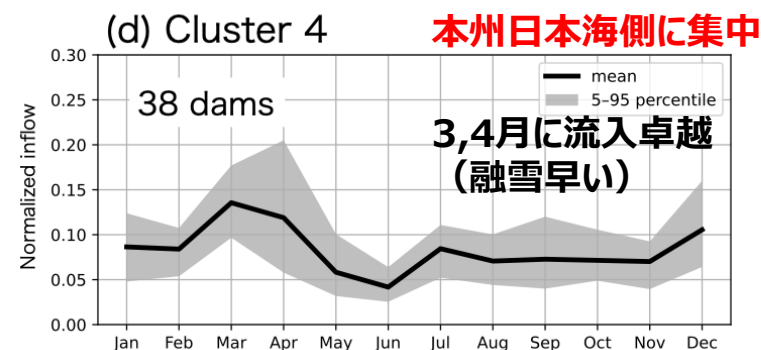
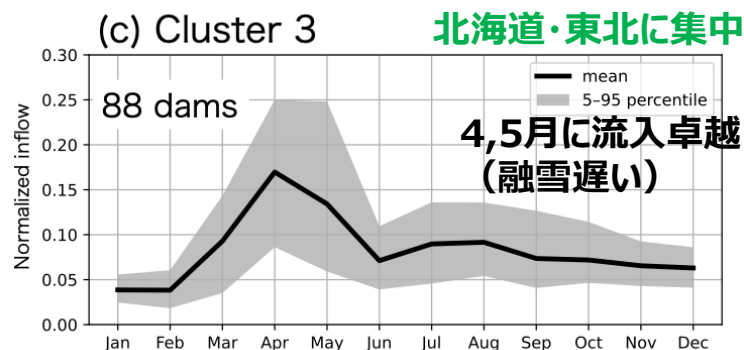
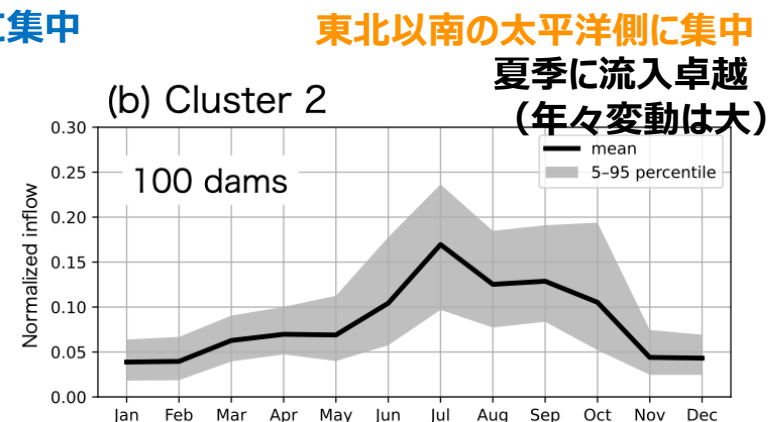
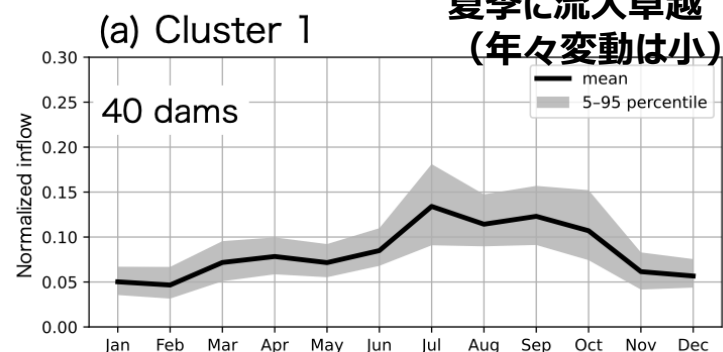


使用データ

ダム諸量データベースの月流入量

※上流にダムが存在するダムは除外（自然流出に着目するため）

正規化流入量

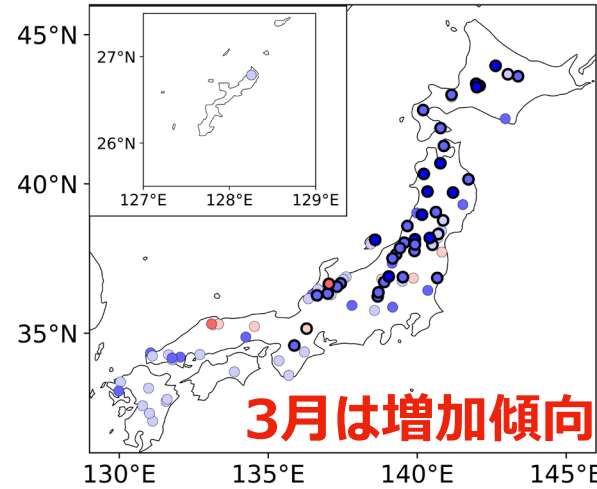


ダム流入量を用いた流出パターンとトレンド分析

トレンド分析結果

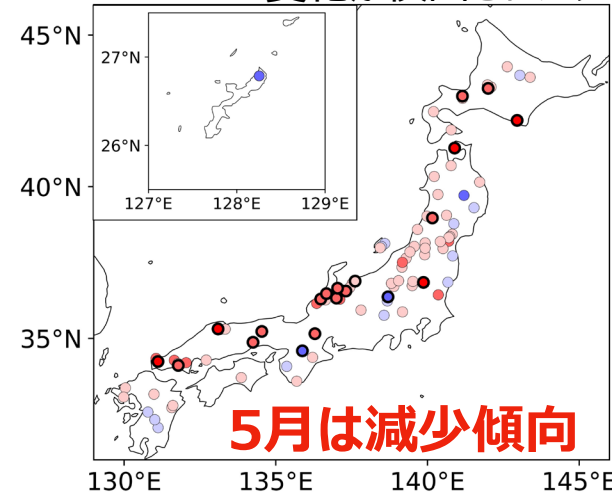
(左軸) 折れ線グラフ：変化率の
平均値と10-90パーセンタイル幅 (右軸) 棒グラフ：有意な変化
を示すダムの占める割合

Mar

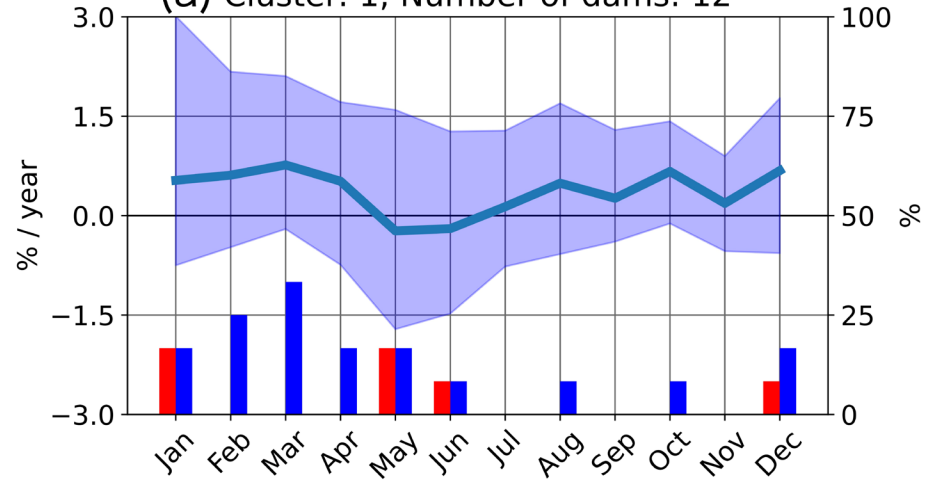


太枠は有意水準10%で
変化が検出されたダム

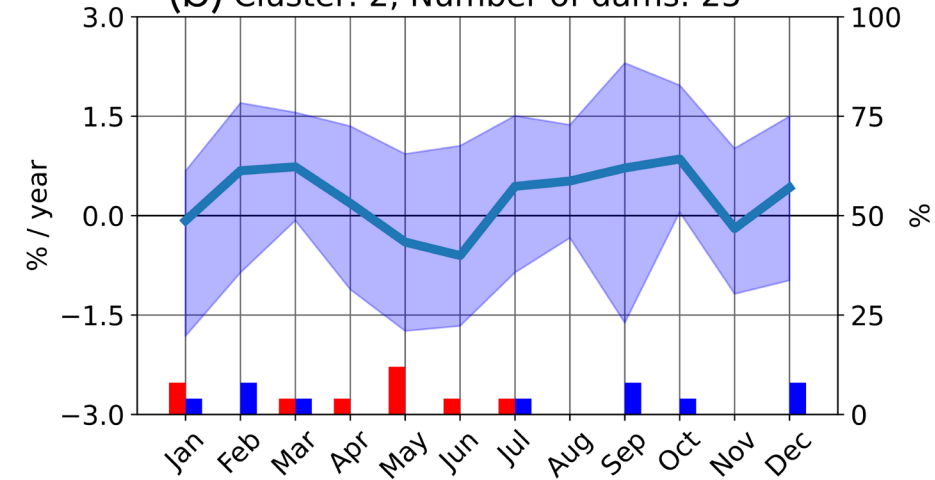
May



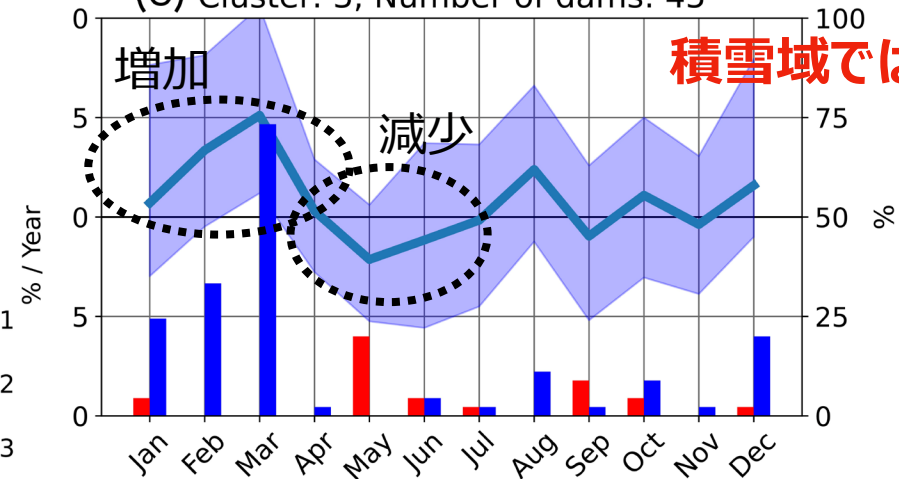
(a) Cluster: 1, Number of dams: 12



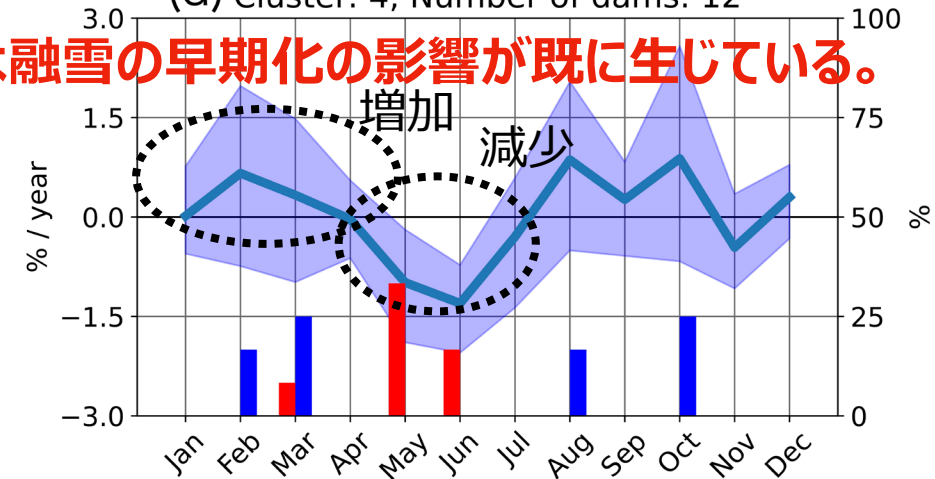
(b) Cluster: 2, Number of dams: 25



(c) Cluster: 3, Number of dams: 45



(d) Cluster: 4, Number of dams: 12



積雪域では融雪の早期化の影響が既に生じている。

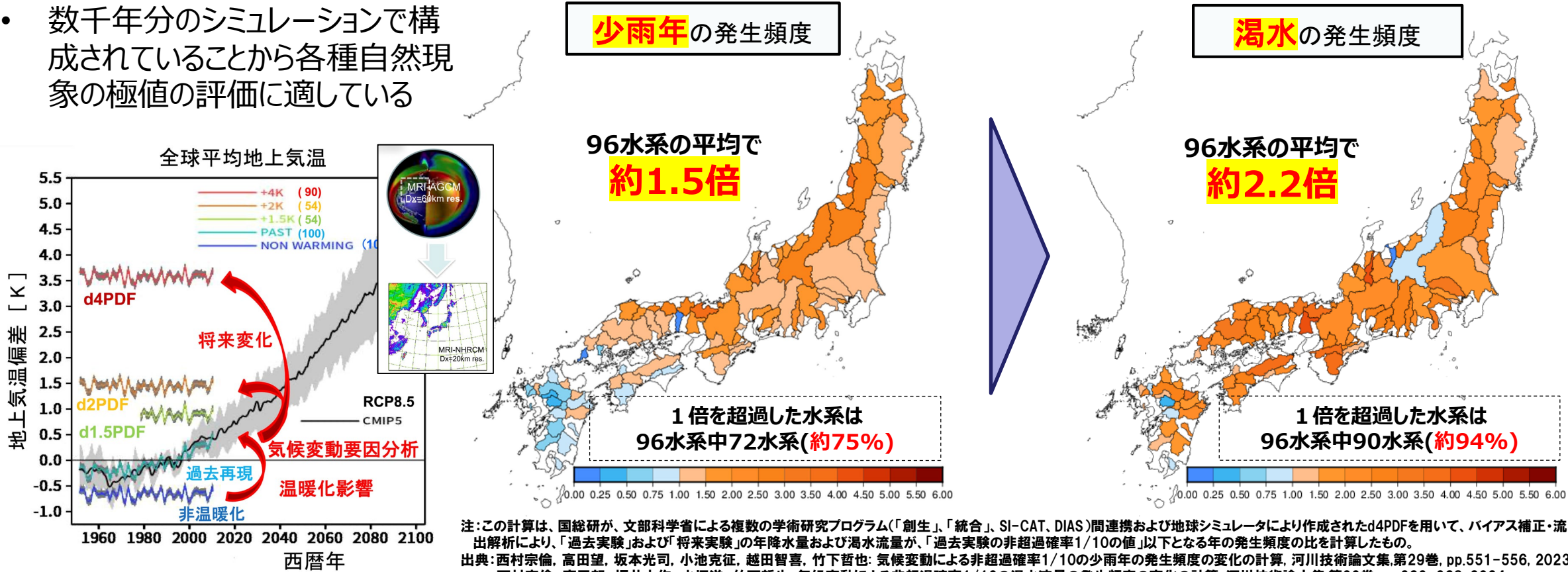
d4PDFを用いた渇水将来予測

国総研による試算（西村ら, 2024）

d4PDFとは

- 気候モデルにより作成された各種気候条件下における気象データ
- 数千年分のシミュレーションで構成されていることから各種自然現象の極値の評価に適している

➤ 産業革命以降、地球の平均気温が**2℃**上昇した場合の非超過確率1/10の**少雨年**の発生頻度は**約1.5倍**、**渇水**の発生頻度は**約2.2倍**と試算されている。



注: この計算は、国総研が、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により作成されたd4PDFを用いて、ハイス補正・流出解析により、「過去実験」および「将来実験」の年降水量および渇水流量が、「過去実験の非超過確率1/10の値」以下となる年の発生頻度の比を計算したもの。
出典: 西村宗倫, 高田望, 坂本光司, 小池克征, 越田智喜, 竹下哲也: 気候変動による非超過確率1/10の少雨年の発生頻度の変化の計算, 河川技術論文集, 第29巻, pp.551-556, 2023.
西村宗倫, 高田望, 坂井大作, 水垣滋, 竹下哲也: 気候変動による非超過確率1/10の渇水流量の発生頻度の変化の計算, 河川技術論文集, 第30巻, pp.363-368, 2024.

積雪地域のダム管理への影響

過去・将来気候データ



- 過去気候
 - 2℃上昇気候
 - 4℃上昇気候
- 各720年

気象データ

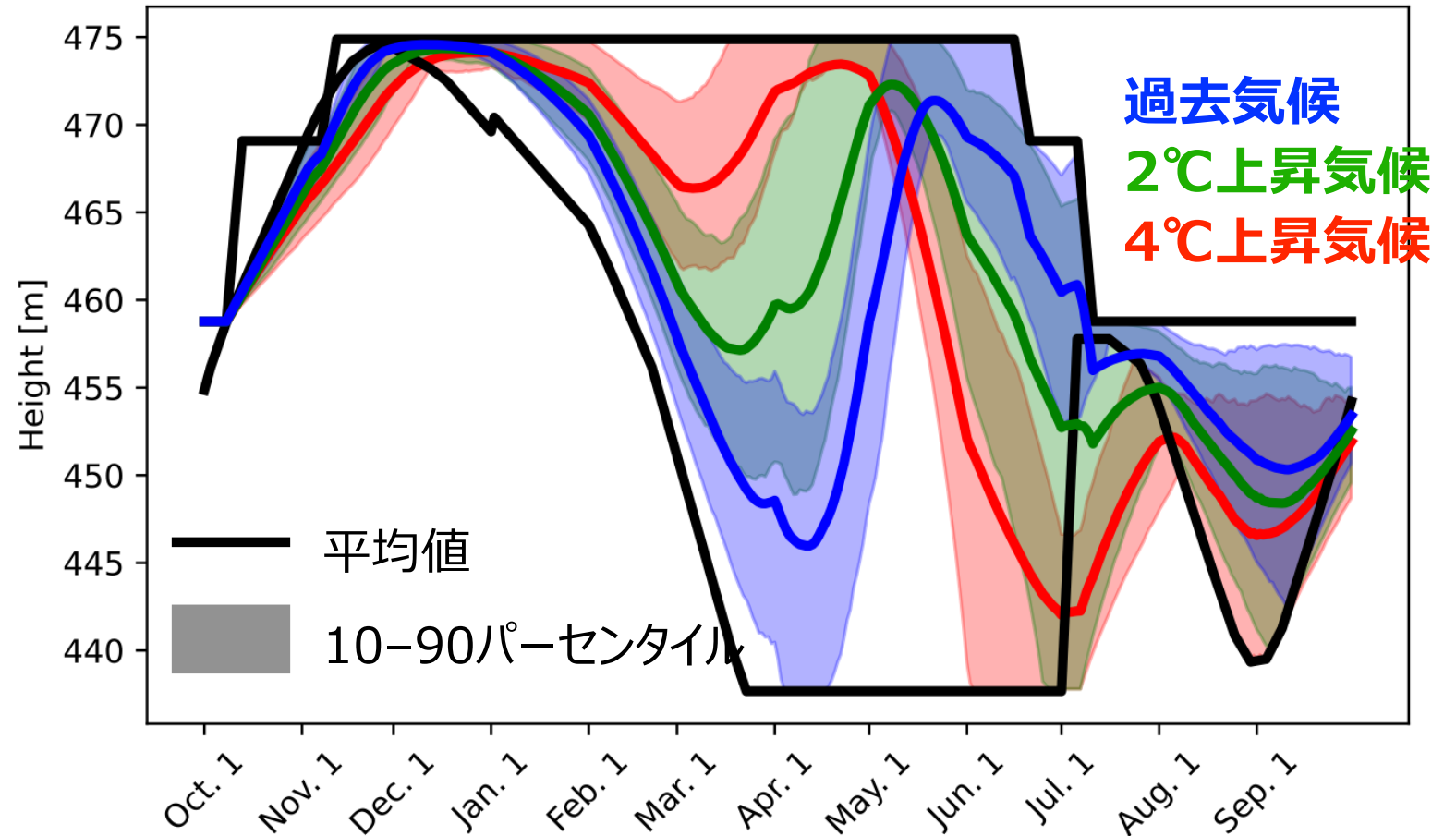
積雪融雪・降雨流出
モデル

ダム流入量

ダム操作モデル

ダム貯水位

ダム貯水位シミュレーション結果（豊平峡ダム）



将来の気候では融雪の早期化のため確保水位を下回る頻度が増加
→ 操作ルールの変更が必要となることを示唆

河川水温の 将来変化

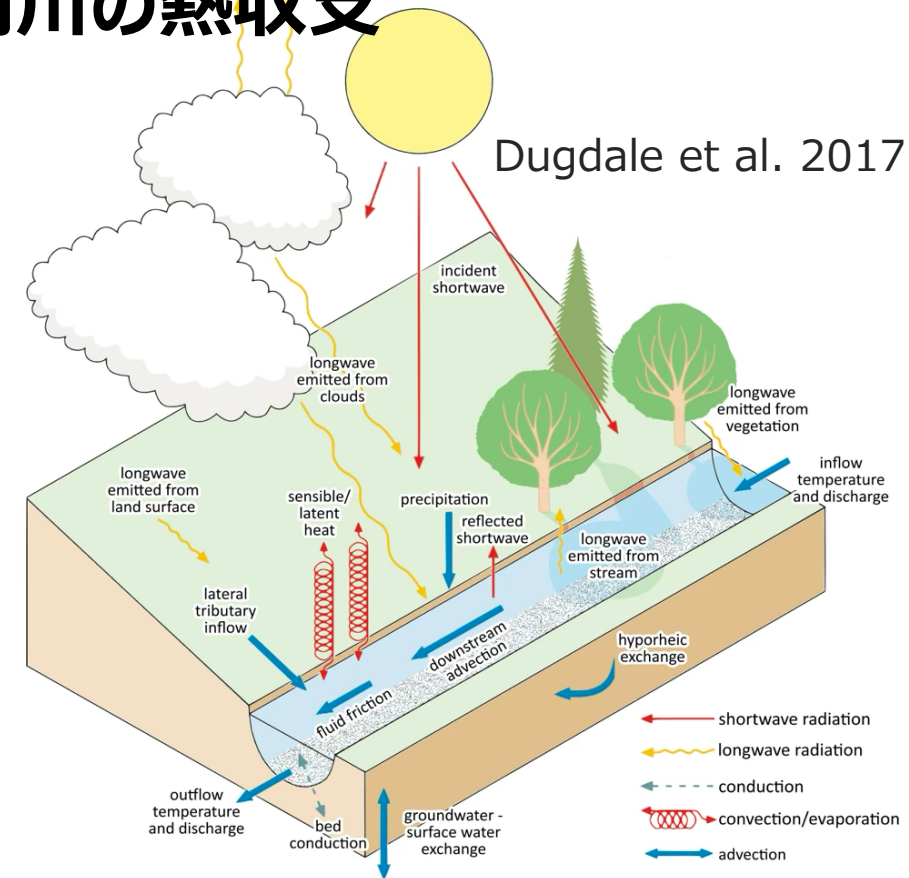


河川水温予測における課題

- 水温観測データが少ない（連続観測が少ない）
- 流域全体の水循環の把握が困難（水の起源と量が重要）
- 入手可能なデータから水温の将来予測や人為的な水管理の影響を反映可能なモデルがない（熱収支を解くのが困難）

実用的な水温予測手法と水循環の可視化手法の開発を通して、水温の将来予測や人為的な操作の影響を把握する

河川の熱収支



水温予測に必要なとなる 入力データ

気象に関するデータ
気温、日射量、風速、雲量など
河川に関するデータ
流量、水深、水面幅など

河川水温の将来予測に関する研究

研究内容

- 実用的な河川水温予測手法の開発
- 水温予測手法を活用した検討

活用 1 : 過去の河川水温の復元

活用 2 : 河川水温の将来変化予測

活用 3 : ダム放流操作による水温低減効果の把握

実用的な水温予測モデルの開発

やりたいこと

- 任意地点における水温の過去復元や将来予測
- ダム操作などの人為的操作の影響の把握

簡便かつ応用が効くモデル

モデルが満たすべき条件

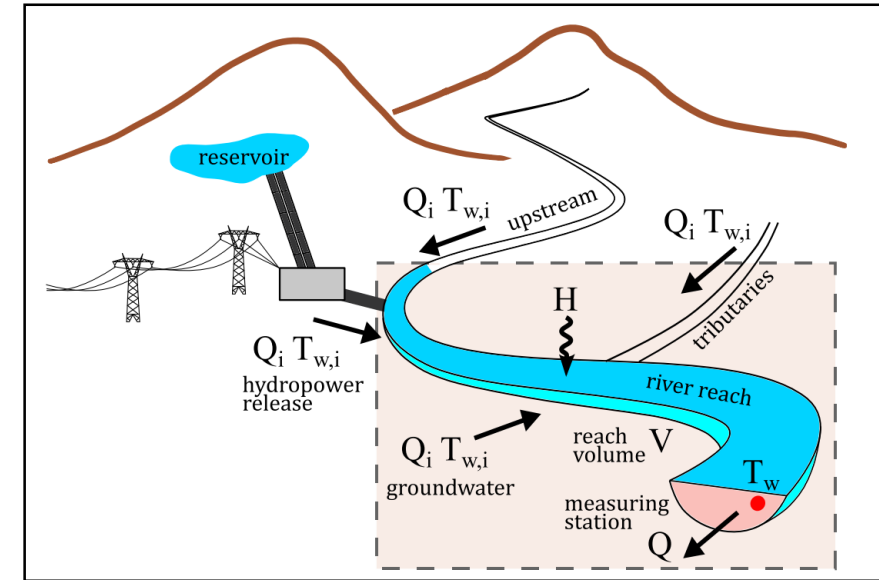
- 容易に入手可能な入力データ
- 気候の違いやダム操作などを反映可能なモデル

Air2streamモデル

- 入力データは**気温**と**流量**のみ
- 気候の違いや上流のダム操作の影響を反映可能なモデルへと拡張

→ 改良版Air2streamモデルを構築

Air2streamモデル概念図



Toffolon and Piccolroaz, 2015

Air2streamモデルの基本式

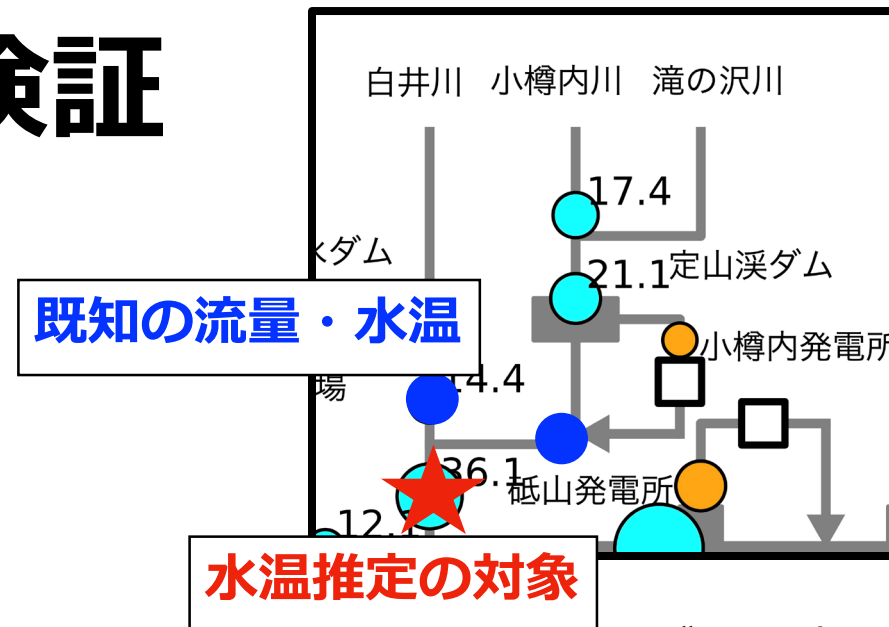
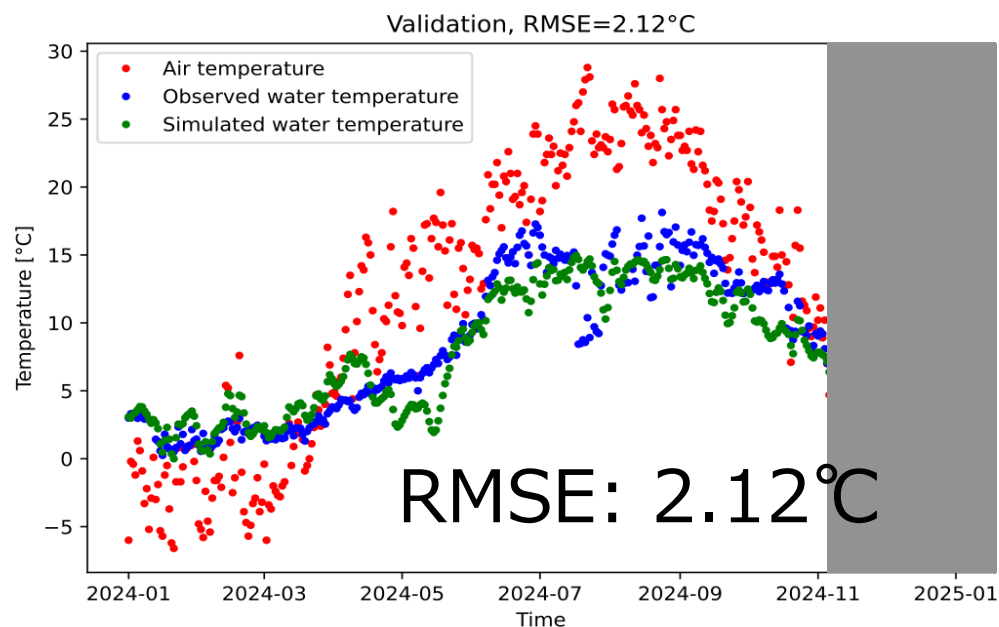
$$\underbrace{\rho c_p V \frac{dT_w}{dt}}_{\text{水温時間変化}} = \underbrace{A H}_{\text{河川の面積}} + \underbrace{\rho c_p \left(\sum_i \underbrace{Q_i T_{w,i}}_{\substack{\text{上流の流量} \\ \text{上流の水温}}} - \underbrace{Q T_w}_{\substack{\text{対象地点の流量} \\ \text{対象地点の水温}}} \right)}_{\text{大気との正味の熱交換量}}$$

水温予測モデルの妥当性検証

上流にダムを有する地点の水温予測 (白井川 一の沢地点)

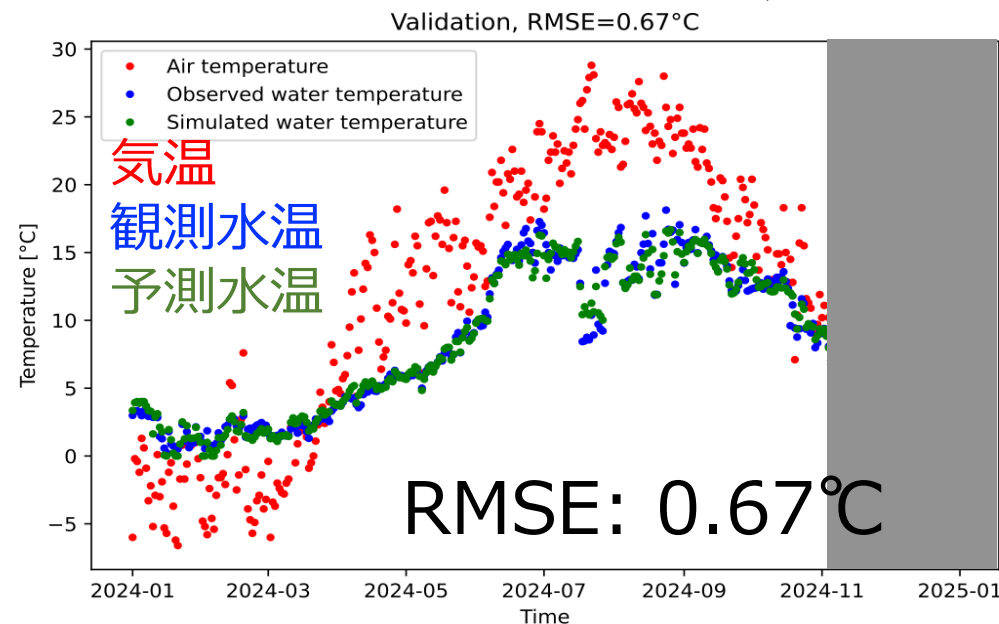
ダム放流量・放流水温の考慮により
予測スキルは大幅に向上

オリジナルAir2stream



改良版Air2stream

ダム放流量と放流水温を
境界条件として入力

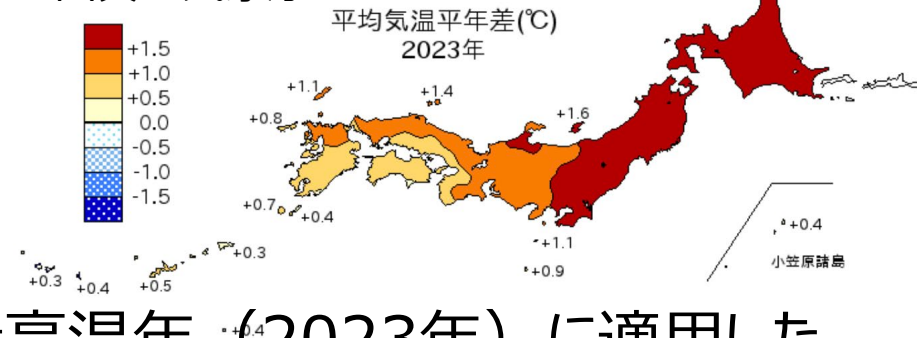


水温予測モデルの妥当性検証

極端高温年（2023年）における水温予測 （石狩川 伊納地点）

2002–2021年の観測データでキャリブレーションし、
2023年の水温を予測

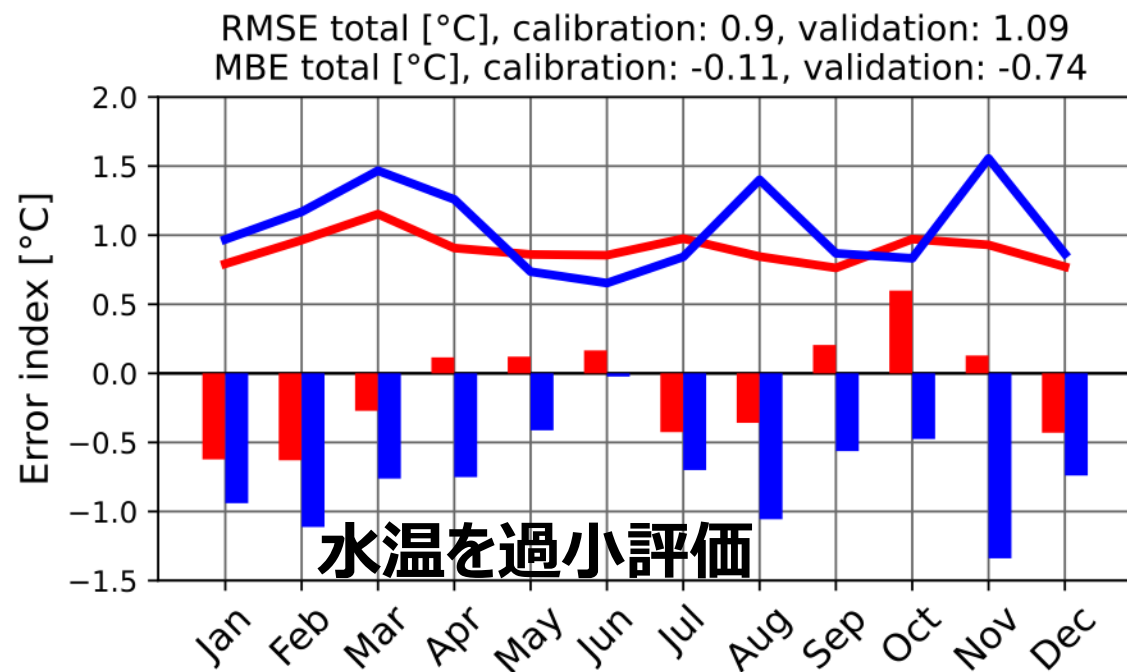
出典：気象庁



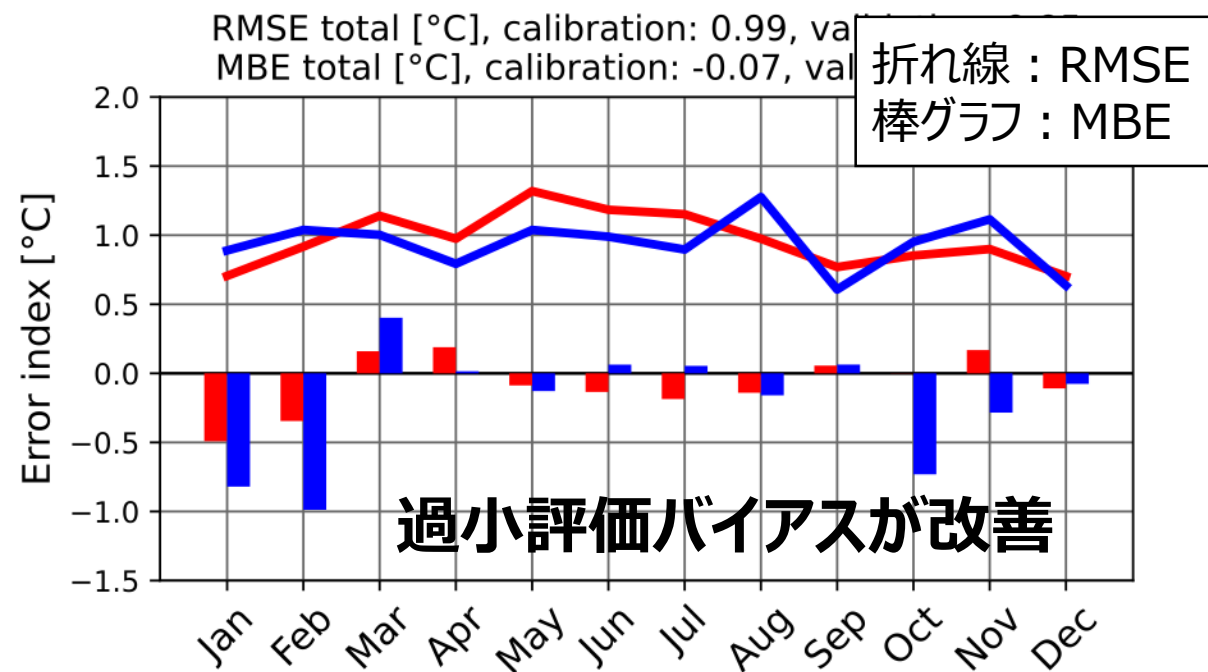
極端高温年（2023年）に適用した
結果、オリジナルは過小評価されていた
が改良版ではバイアスが大きく減少

→ 改良版は気候変動後にも適用可能

オリジナルAir2stream



改良版Air2stream



河川水温の将来予測に関する研究

研究内容

- 実用的な河川水温予測手法の開発
- 水温予測手法を活用した検討

活用 1 : 過去の河川水温の復元

活用 2 : 河川水温の将来変化予測

活用 3 : ダム放流操作による水温低減効果の把握

過去水温の復元

- 水温は気温や流量と比べると観測データが著しく少ない
- 気温と流量の観測データから過去の水温の復元を試みる

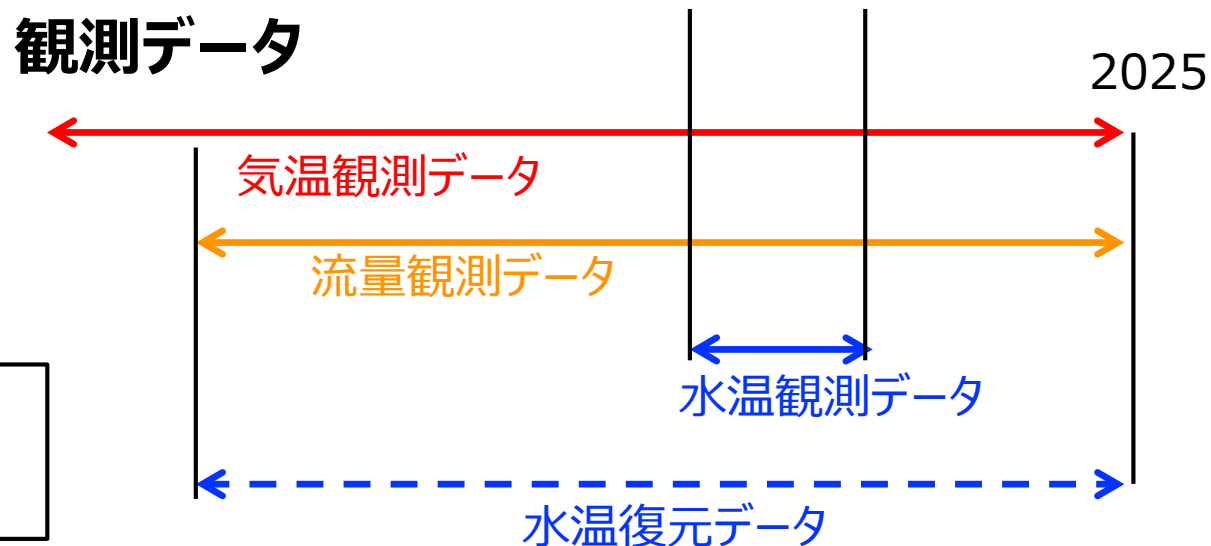
水温復元フロー

①水温データが観測されている期間でモデルを水温予測モデルを構築



②気温と流量データを水温予測モデルに入力し過去の水温データを復元

①気温・流量・水温観測データが存在する期間で水温予測モデルを構築



②気温・流量データが存在する期間の水温を復元

過去水温の復元

- ・ 豊平川（幌平橋地点）を対象に水温を復元
- ・ 年間を通して気温・水温ともに上昇傾向
- ・ 5月は水温の上昇が最も顕著（融雪の早期化による流量減少と気温の上昇の両方の影響）

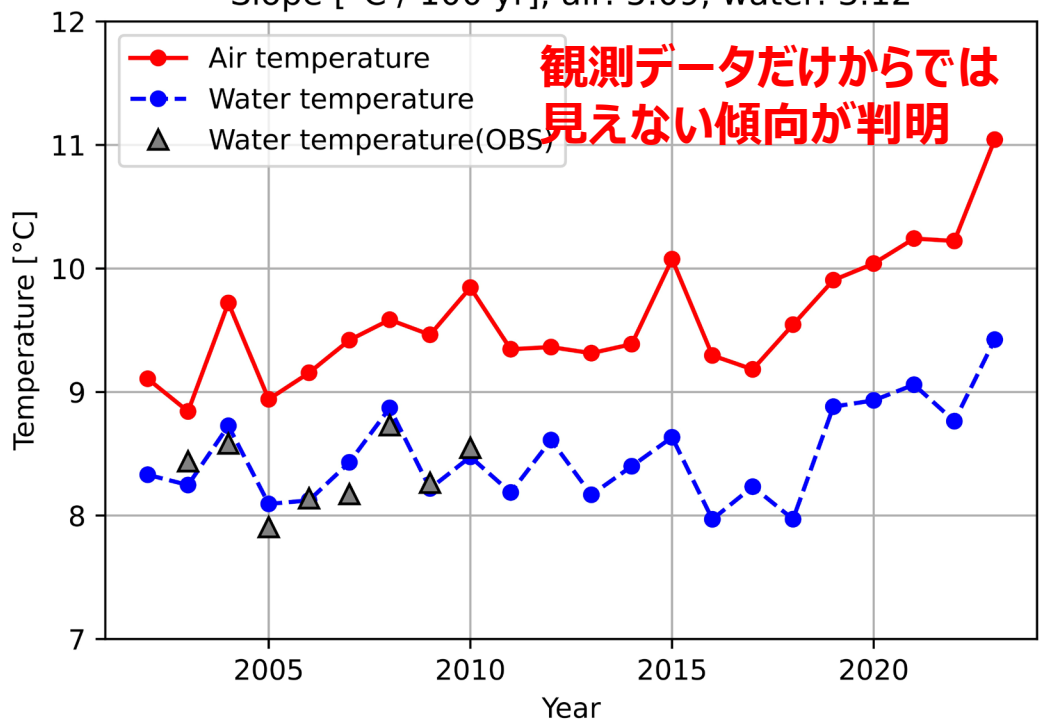
観測データ

- ・ 気温（札幌）～2025
- ・ 流量（藻岩）2002～2023
- ・ 水温（幌平橋）2003～2010

2002-2023の水温データを復元

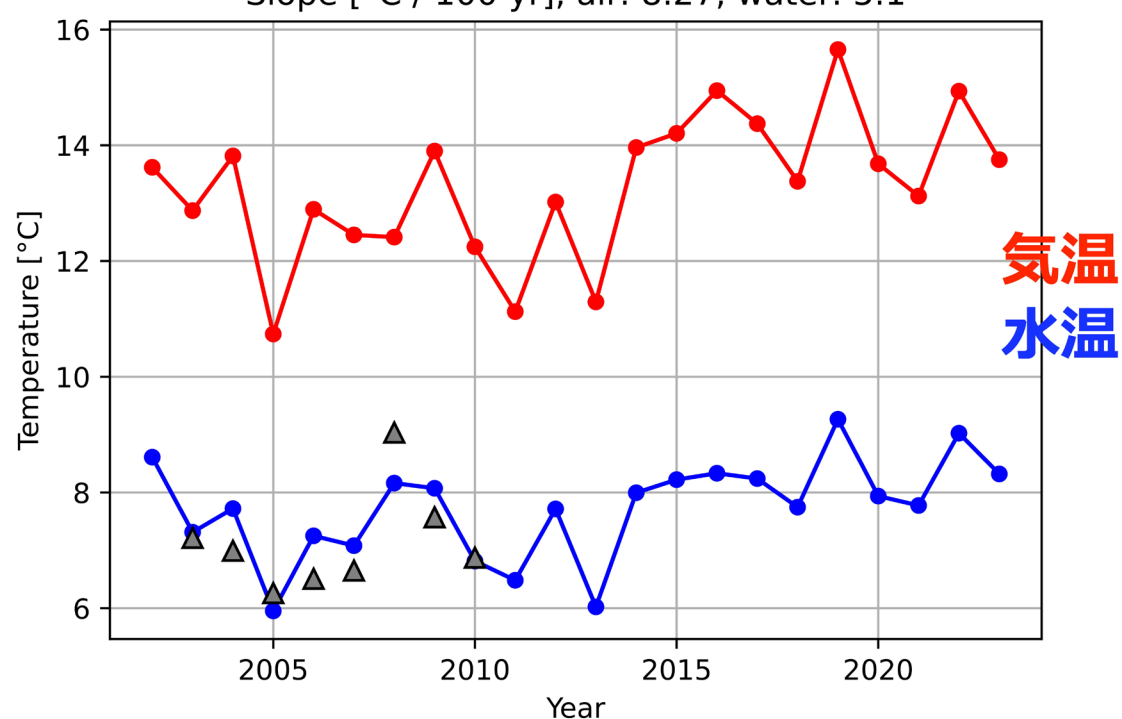
年平均水温

Slope [°C / 100 yr], air: 5.09, water: 3.12



月平均水温（5月）

Slope [°C / 100 yr], air: 8.27, water: 5.1



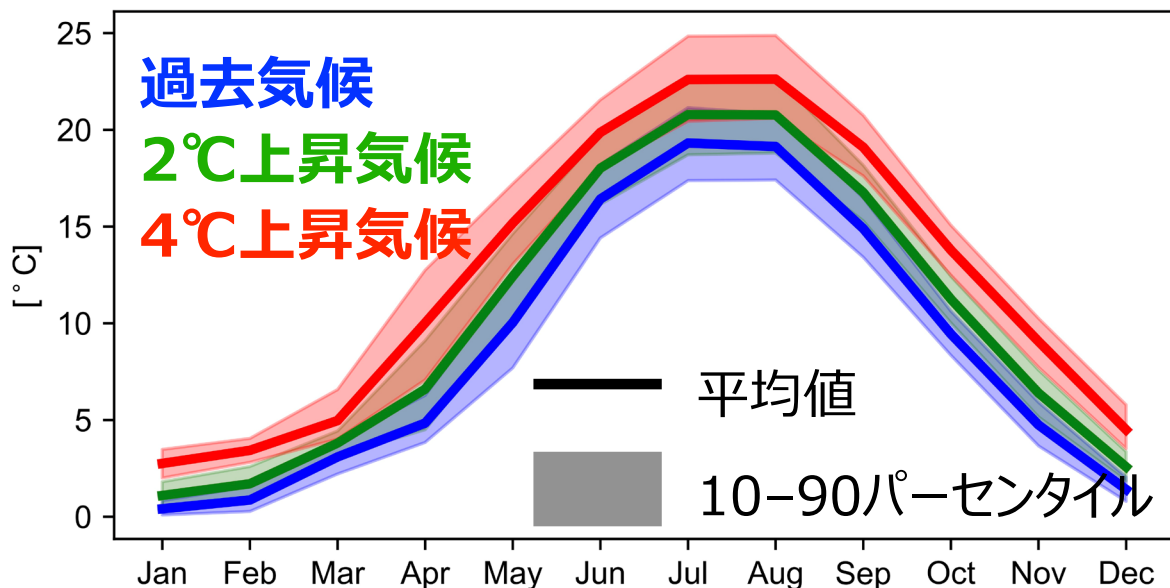
河川水温の将来予測

- 気候予測データ(d4PDF)を入力に、石狩川（伊納）の水温を予測
- 全ての月で水温は上昇
- 流量の減少が顕著な5月に水温上昇は最も大きい

入力データはd4PDFの気温と流量
(国総研水循環研より提供を受けた)

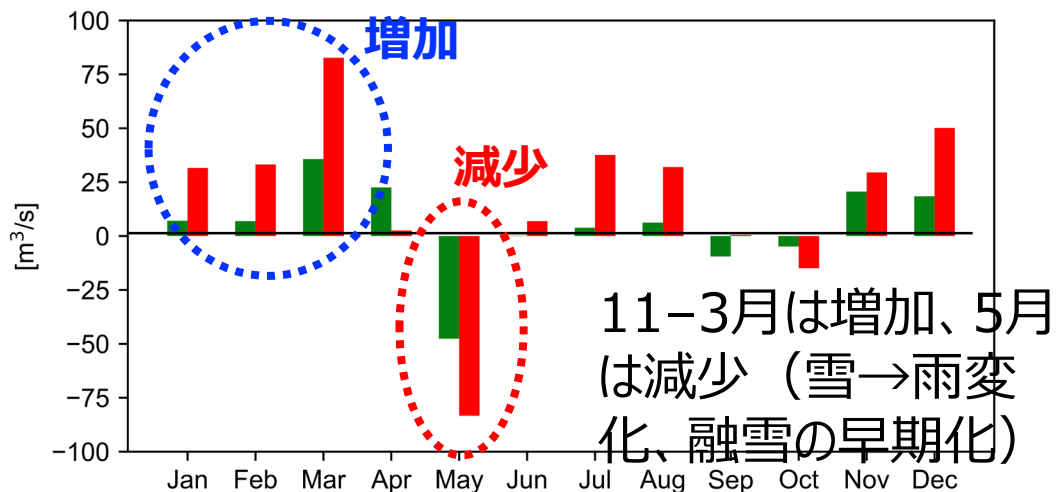


月平均水温

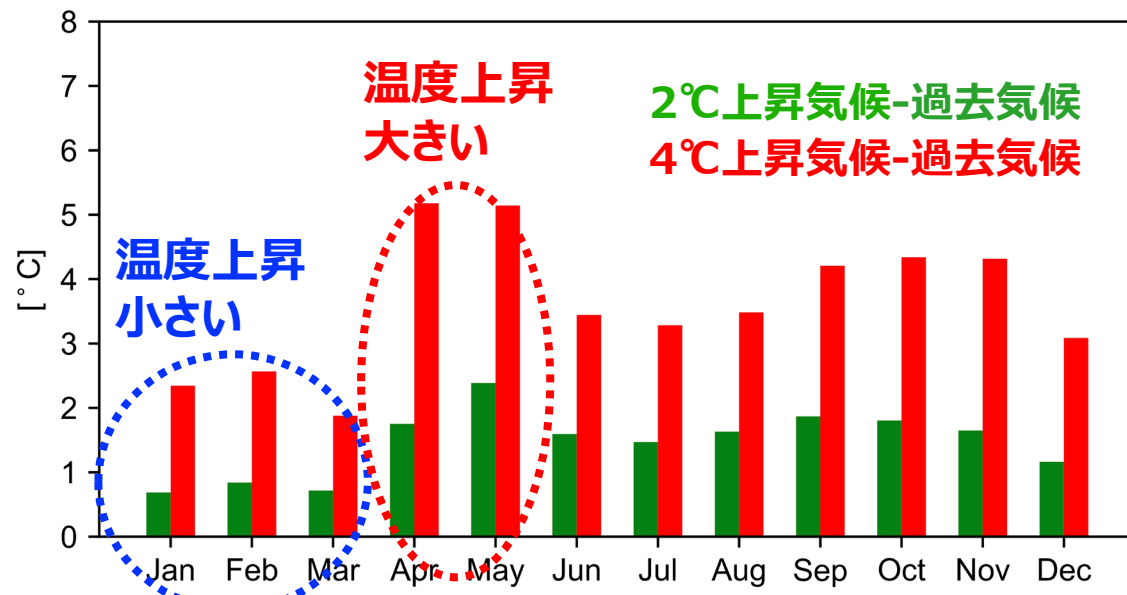


流量の変化量

2℃上昇気候-過去気候
4℃上昇気候-過去気候



水温の変化量

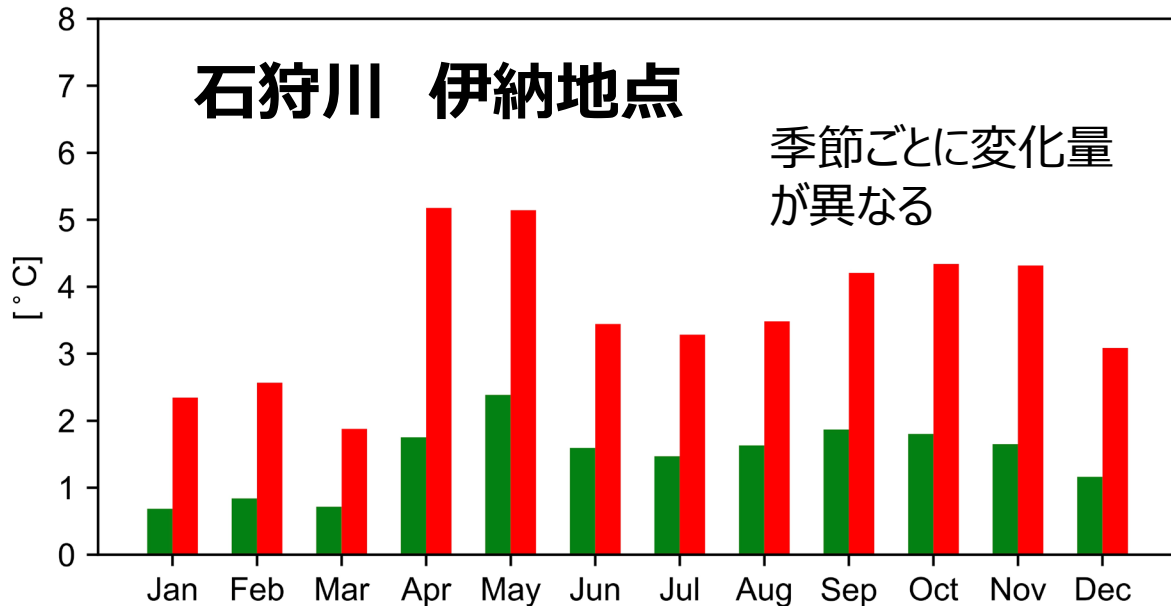


河川水温の将来予測

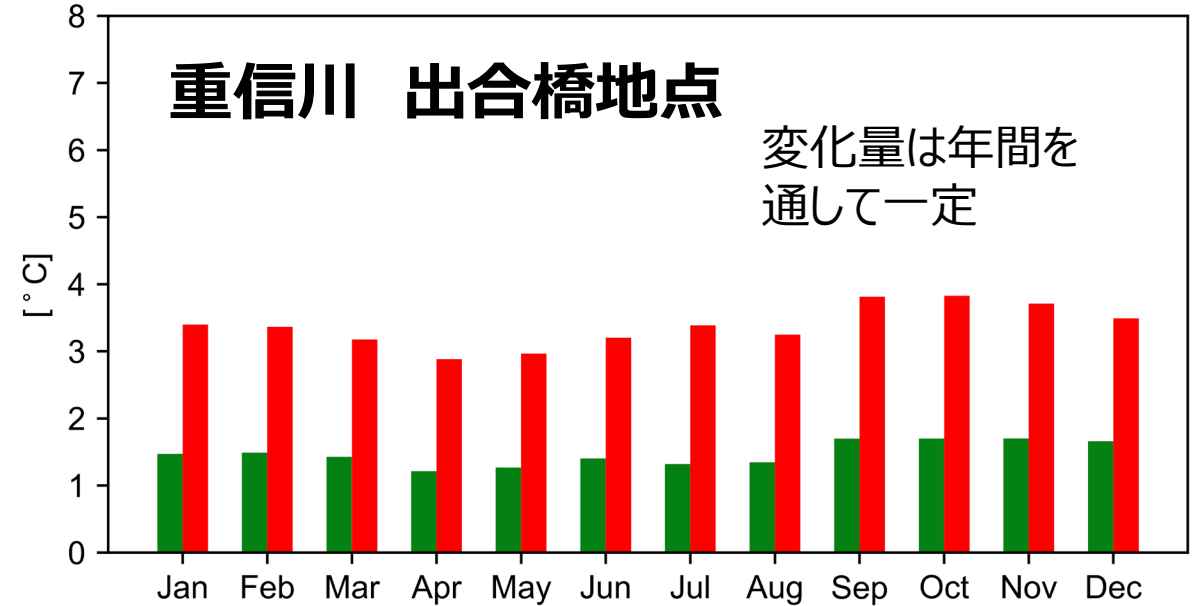
地域別の昇温量の比較（石狩川、重信川）

- 多雪地域と少雪地域で水温変化の特徴は異なる
- 地域ごとの水文特性の変化を踏まえた水温予測が必要となることを意味する

多雪地域



少雪地域

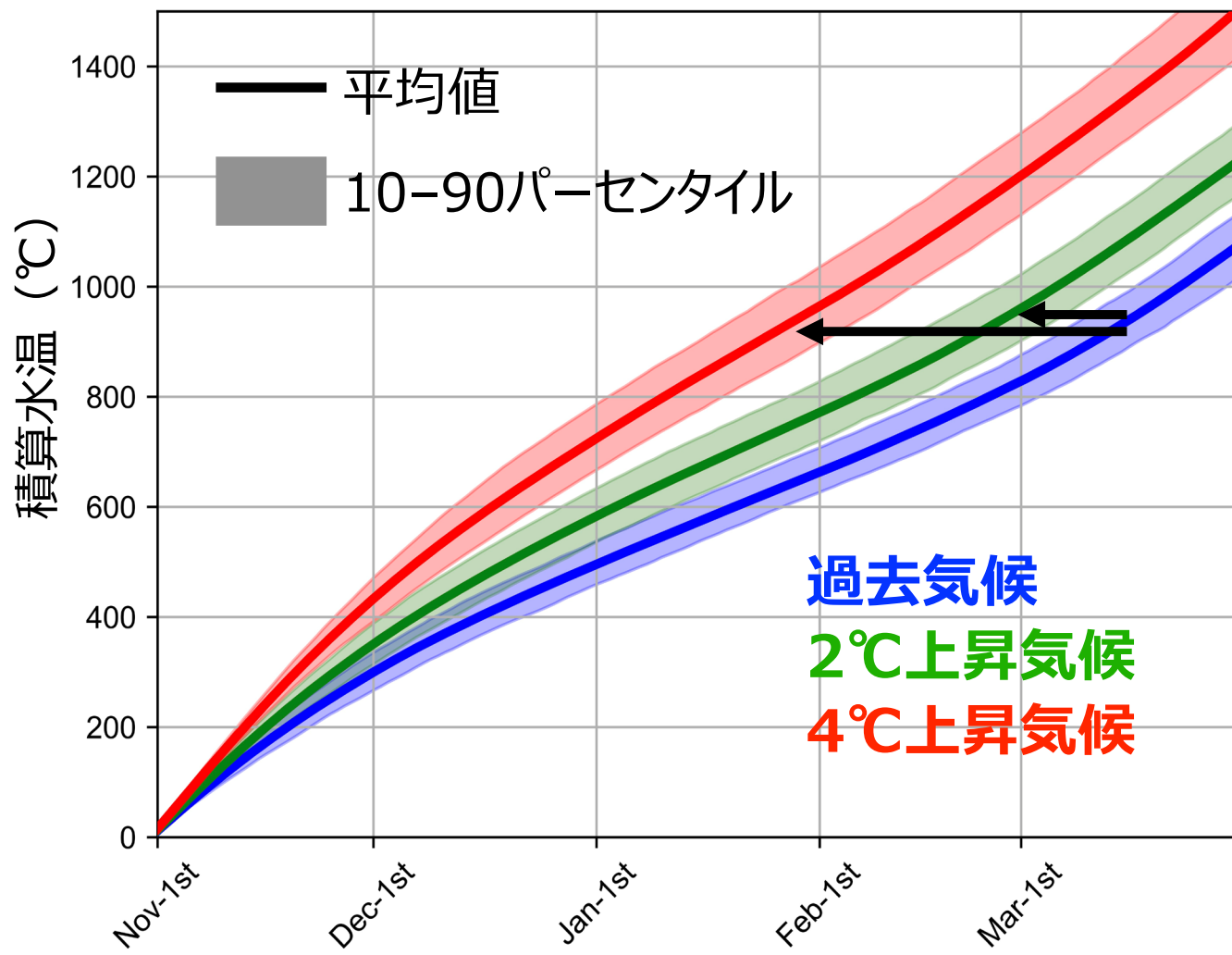


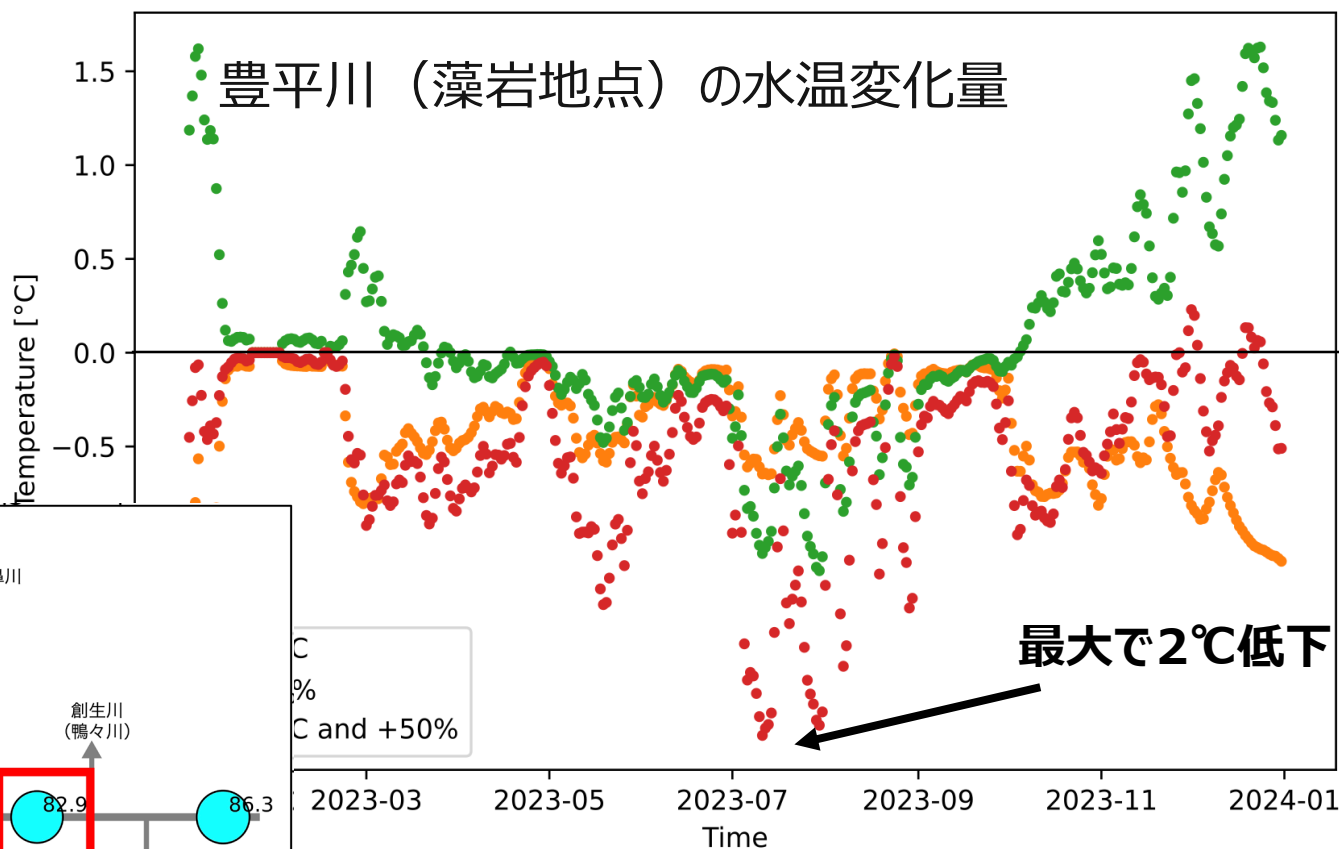
生物への影響（サケ稚魚浮上への影響）

- 水温の上昇はさまざまな水生生物に影響する
- サケの浮上（孵化後に餌を求めて活発に動き出すこと）のタイミングは産卵床の積算温度で決まる
- 気候変動に伴い浮上時期は最大で1ヶ月半程度早まる
- 沖合に出る際の海水温が低いことによる餌不足により生存が困難となる可能性

この他にも水温変化は環境・利水面で数多くの影響があると思われる

積算水温（石狩川伊納地点）

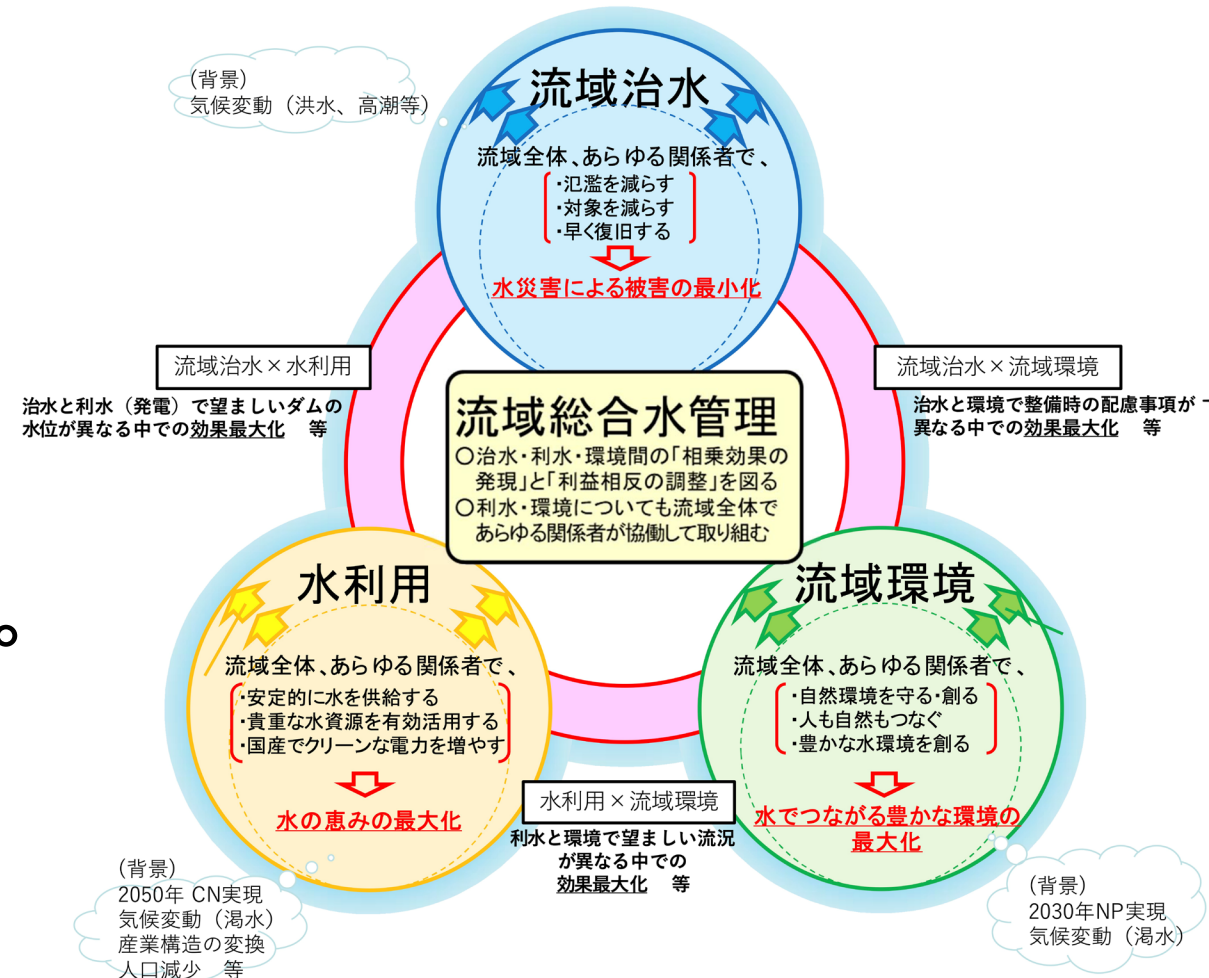




まとめ

- 気候予測データの活用や影響評価のツールにより流況や水温の将来変化が予測できるようになってきた。
- 流況や河川水温の変化は既に生じている。
- 気候変動の激化に伴いそれらの傾向は今後より強まることが予想される。
- 河川ごとの具体的な影響を把握した上での対策の立案が求められる。

流域総合水管理



出典：国交省

関連論文

HOSHINO, T. ANNUAL PATTERNS OF MOUNTAIN RUNOFF AND ITS LONG-TERM TRENDS IN JAPAN BASED ON DAM INFLOW DATA. HYDROLOGICAL RESEARCH LETTERS, 19(3), 149–155, 2025.

KOSHIDA, Y., MIYAMOTO, H., HOSHINO, T., HIRABAYASHI, Y. LONG-TERM TREND ANALYSIS OF EQUILIBRIUM WATER TEMPERATURE IN JAPAN OVER THE RECENT DECADES. HYDROLOGICAL RESEARCH LETTERS, 19(3), 208–215, 2025.

星野 剛, 越田 裕斗, 宮本 仁志, 日本における平衡水温の長期変化傾向とその要因分析, 土木学会論文集, 81 巻, 16 号, 2025

布川雅典, 星野 剛, 山田 嵩, サケ産卵床環境からみた水温上昇のサケ個体群への影響, 北海道開発技術研究発表会論文, 2024

ご清聴ありがとうございました

星野 剛

hoshino-t@ceri.go.jp

