

2.6 貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析

諏訪湖を対象とした貧酸素予測ソフトを構築することを目的として、2.5 で抽出した要因と貧酸素水塊の関係について分析した。

2.6.1 貧酸素水塊の発生及び拡大の可能性の程度の分析

貧酸素水塊の発生及び拡大の可能性の程度の分析においては、人による現象理解（**人による手動分析**）と機械による要因抽出（**機械による自動分析**）の二つのアプローチを検討（図 2.46）し、最後に**両者を比較検証**することを基本方針とした。両者はそれぞれ異なる利点を持っている。

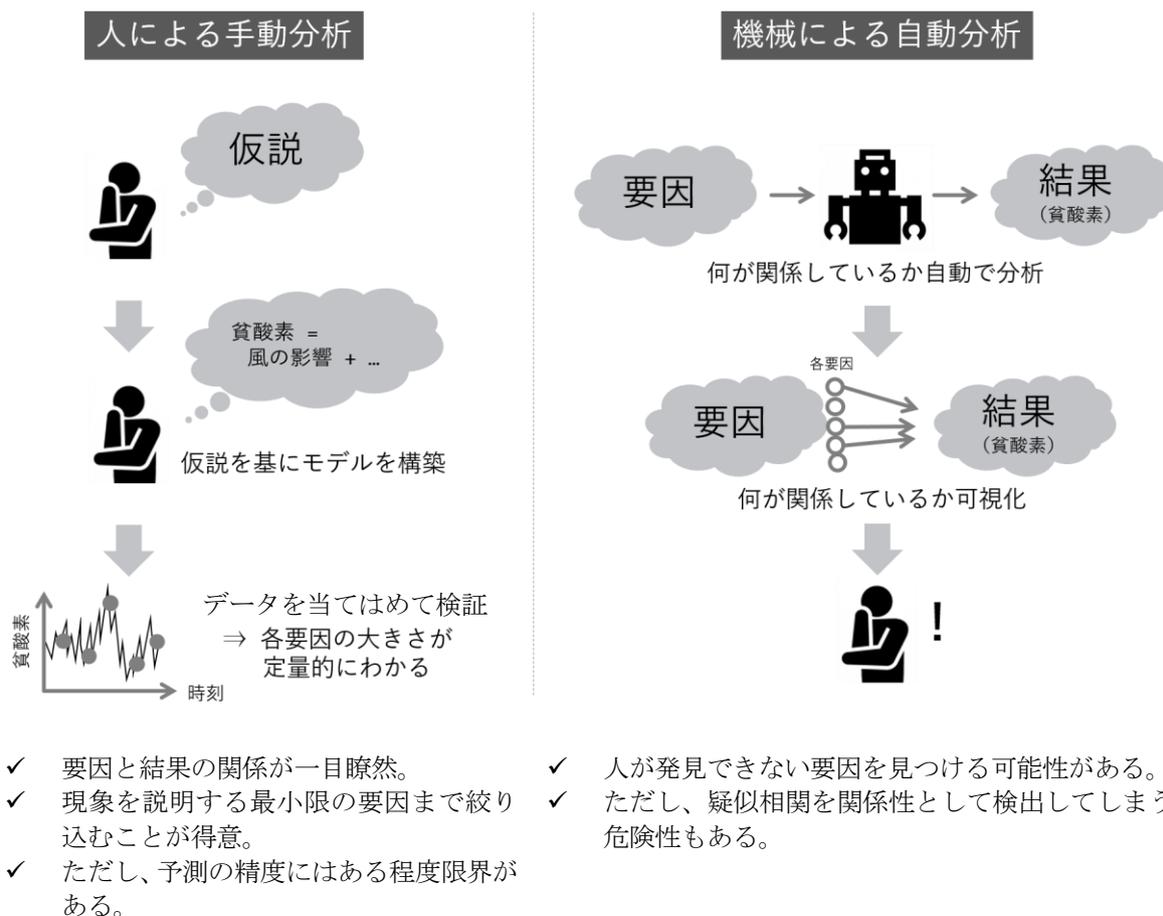


図 2.46 条件分析の全体像

人による手動分析では**仮説検証型の「状態空間モデル」**を用いた解析を行い、機械による自動分析では**判断に至った経緯を可視化可能な「Self-Attention という機構を組み込んだ深層学習モデル」**を用いた解析を行った。

利点の異なる両者を同時に行い比較検証することで、行政利用の時にも説明責任の果たせる成果を出すことが期待できる。

以降にそれぞれの具体的な実施方針を示した。なお、「状態空間モデル」も「深層学習モデル」も 2.5.1 節の「諏訪湖貧酸素水塊モデル」と対比する表現として「統計モデル」という位置づけになる。

(1) 人による手動分析の具体的な実施方針

貧酸素水塊の発生及び拡大状況に及ぼす主要な要因が複数抽出されたことから、これらの複数の要因の組み合わせが定量的にどのように効果を及ぼしているかを分析するため、「状態空間モデル」を用いた仮説検証型の分析を行った。なお、一定期間内の蓄積に係る条件（1週間の累積気温など）も明示的に考慮した。

仮説検証の全体像を図 2.47に示した。まず、主要な要因に対しては人の事前知識を踏まえて要因ごとの関係性を整理した（仮説構築）。これを数式としてモデリングして、データを説明できるように数式を完成させることで、各要因がどれくらいの寄与率で影響を及ぼしているかを算出した。

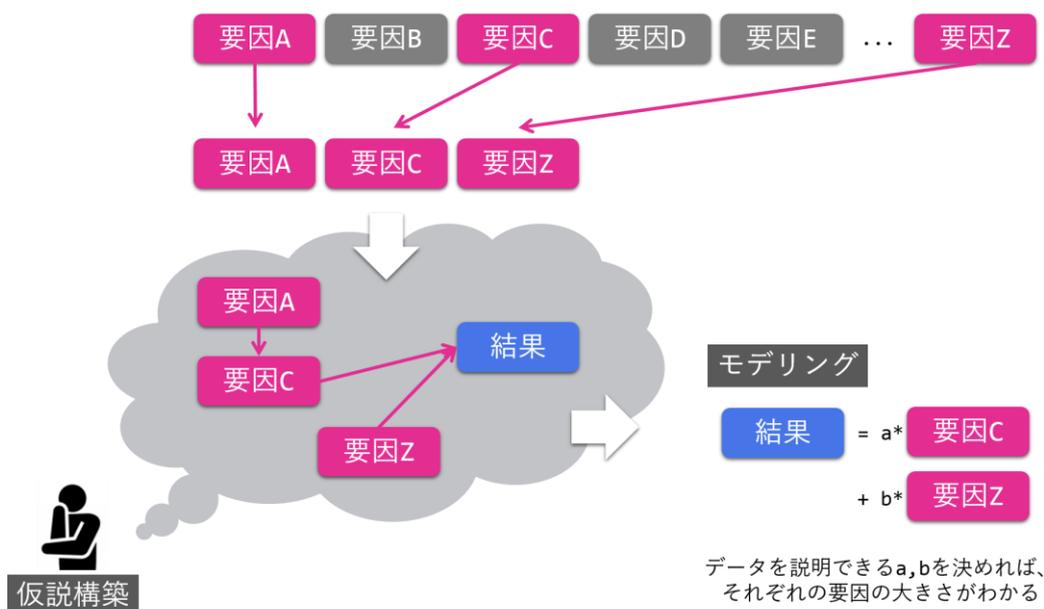


図 2.47 状態空間モデルによる仮説検証の全体像

①. 要因（説明変数・目的変数）の設定

2.5 節の検討により、気温と風が重要な要因であることが確認できた。そこで、貧酸素水塊の規模を表す指標として全域平均の DO 飽和度を選定し、この二変数の寄与を調べることとした。

②. 仮説構築

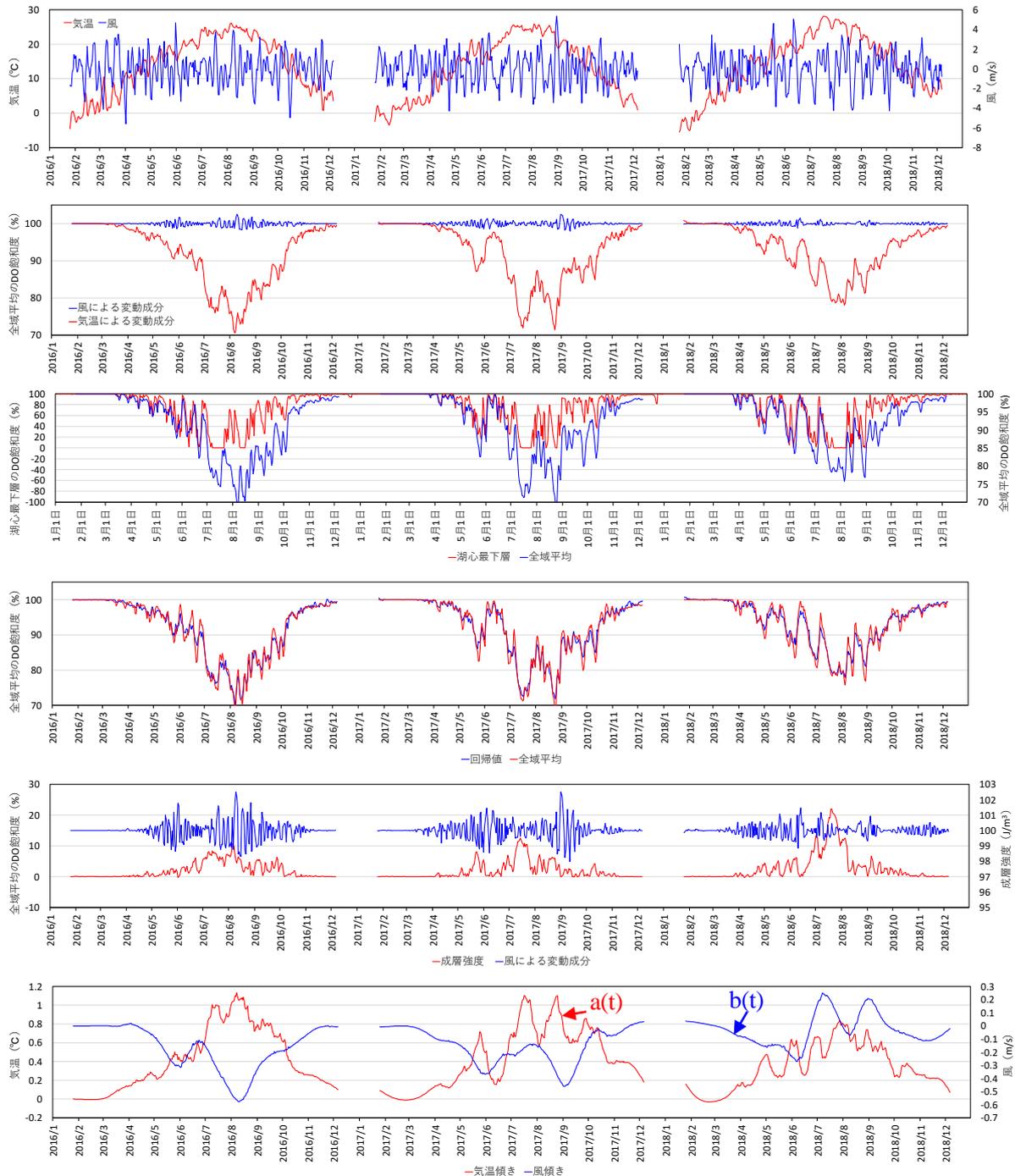
単純な線形結合モデルとした。ただし、躍層の発達に及ぼす気温の影響は躍層の大きさそのものに影響することに加えて、風の応答は湖沼の躍層スケールに応じて変化することから、回帰係数は時間的に滑らかに変化するものとして仮説を立てた。

仮説は以下の方程式としてシンプルに表現された。

$$\text{DO 飽和度} = a(t) \times \text{気温} + b(t) \times \text{風}$$

③. 状態空間モデルによる仮説検証

状態空間モデルをデータにフィットさせた結果を図 2.48に示した。諏訪湖全体の DO 飽和度濃度に及ぼす影響はほとんど気温による影響が支配的であった。風によっても変動するタイミングはあるものの、貧酸素水塊の規模そのものへの寄与は大きくない。図最下段は回帰値である。成層強度は水塊が全水深同じ密度になるように鉛直混合させた場合に係るエネルギーであり、エネルギーの単位として計算されるものである。大きいほど躍層が強いことを示す。



$$\text{DO 飽和度} = a(t) \times \text{気温} + b(t) \times \text{風}$$

図 2.48 状態空間モデルによる成分分解の結果

線形回帰モデルは「DO 飽和度 = $a \times \text{気温} + b \times \text{風}$ 」といったように、係数 a 、 b は一定の値で時間方向に変化しない一つの値であるが、状態空間モデルは「DO 飽和度 = $a(t) \times \text{気温} + b(t) \times \text{風}$ 」というように時間で滑らかに変化する係数を抽出できる。この時間変化は、DO 飽和度の実測と回帰モデルの予測結果の誤差が小さく、なおかつ $a(t)$ 、 $b(t)$ がより滑らかであるようにバランスをとった状態で決まる（ベイズ推定という手法で計算される）。経済指標の季節調整などに使われることのある一般的な解析手法である（季節調整法と呼ばれる手法の総称の一部でもある）。

図 2.48 の最下段は、この時間で変化する係数 $a(t)$ 、 $b(t)$ の様子を可視化したものである。

「風による変動成分」は「 $b(t) \times \text{風}$ 」の計算結果、「気温による変動成分」は「 $a(t) \times \text{気温}$ 」の計算結果、「回帰値」は「 $a(t) \times \text{気温} + b(t) \times \text{風}$ 」の計算結果をそれぞれ図示したものである。「風」「気温」「 $a(t)$ 」「 $b(t)$ 」はそれぞれ具体的な各時間の値を図示しており、それらの四則演算で得られる値を単に図示しただけである。

(2) 機械による自動分析の具体的な実施方針

①. I・機械学習・深層学習とは

AI、機械学習、深層学習の言葉の定義としては、一般的には図 2.49に示されているような説明が様々な場所・資料で述べられている。

人工知能・機械学習・ディープラーニングの関係



図 2.49 AI・機械学習・深層学習の定義⁷

本資料で登場する統計的なモデル（以降にモデル A、モデル B として紹介する）は、全て「深層学習」に分類されるモデルである。

②. 深層学習を用いた将来予測の事例

深層学習は、画像、動画、音声、言語、点群データやその組み合わせに対して、分類・物体検知・マッチング・セグメンテーション・翻訳や変換・生成・ノイズ除去・異常や変化の検知など、様々な分野に応用されている。時系列予測関連の分野でも、ファイナンスから河川水位の予測まで、様々な分野に応用されている。

深層学習はニューラルネットワークという脳をモデル化した手法を大規模にしたもので、インプットとアウトプットを設定するだけでどんな予測器にもなりえるものであり、多様なデータへの適応が可能である。

⁷ 出典：<https://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1709/29/news022.html>

深層学習モデルは、データの中に潜んでいる特徴の発見を自動で行ってくれることで高い予測精度が得られることが特徴の一つに挙げられる。深層学習モデルの一般的な特徴は以下の通りである。

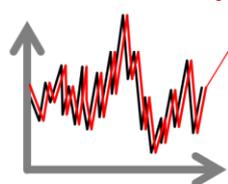
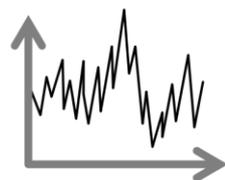
【深層学習モデルの一般的な特徴】

- ① 予測精度が高い・より複雑な予測が可能
- ② 学習データが大量に必要で、データの品質（バランスなど）が重要
- ③ 学習データの品質やモデル構造、学習方法の設計などが悪いと過学習に陥りやすい（初めて体験する状況下で正しい予測を行うことが難しい；汎化性能が低い）

「よい予測モデル」の視点の一つとして、「未知の状況をより正しく予測できること」があげられる。

深層学習モデルは「教えたことを教えた通りに予測すること」は非常に得意であるが、教えていないことを正しく予測できるように育成できるかどうかに対しては、データが不足していたり、偏りがあつたりする場合があることに十分に留意する必要がある（図 2.50参照）。

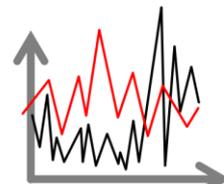
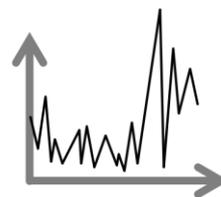
学習させたデータ



予測結果

ばっちり！

初めてみるデータ



うまくいくとは限らない！

図 2.50 過学習のイメージ

2.6.2 貧酸素予測ソフトの全体構成について

本検討の中で構築した予測モデル（以降、分かりやすく区別するため「AIモデル」と表記）は、図 2.51のような全体構成であり、アメダスの点データを一度立体に展開して、この立体的な情報から未来を予測することが特徴である。この AI モデルは、図 2.52に示したように、大きく分けて2つのモデルで構成されている。

モデル A は諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの結果を学習するための構造としているが、諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの結果は DO 濃度実測値とは若干のずれがある。このずれを反映した予測結果を出力するため、モデル A の結果と実測値の両者から予測値を得ることができるモデル B を実装した。

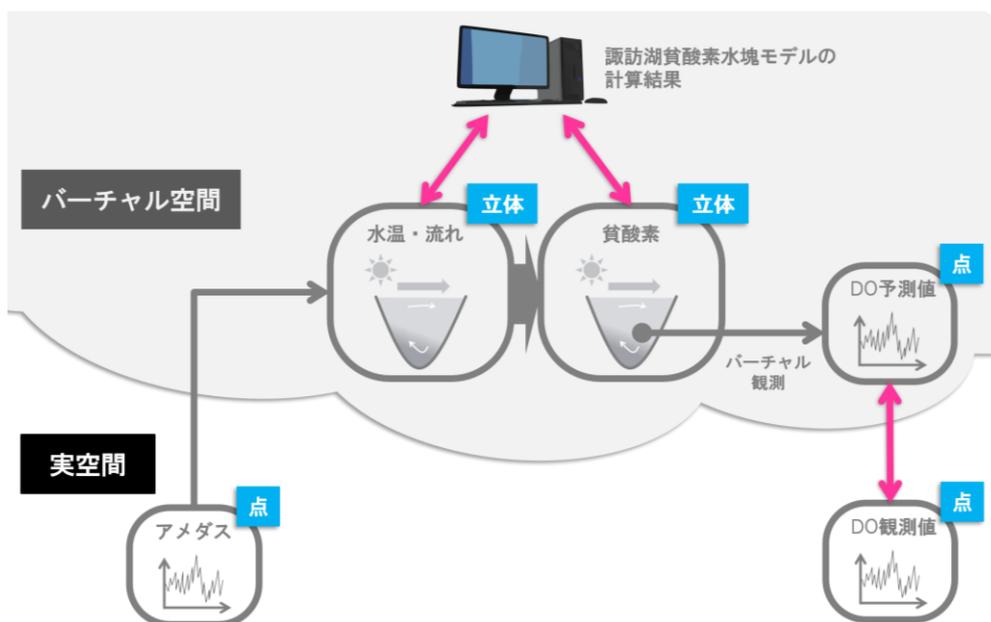


図 2.51 AIモデルの構造

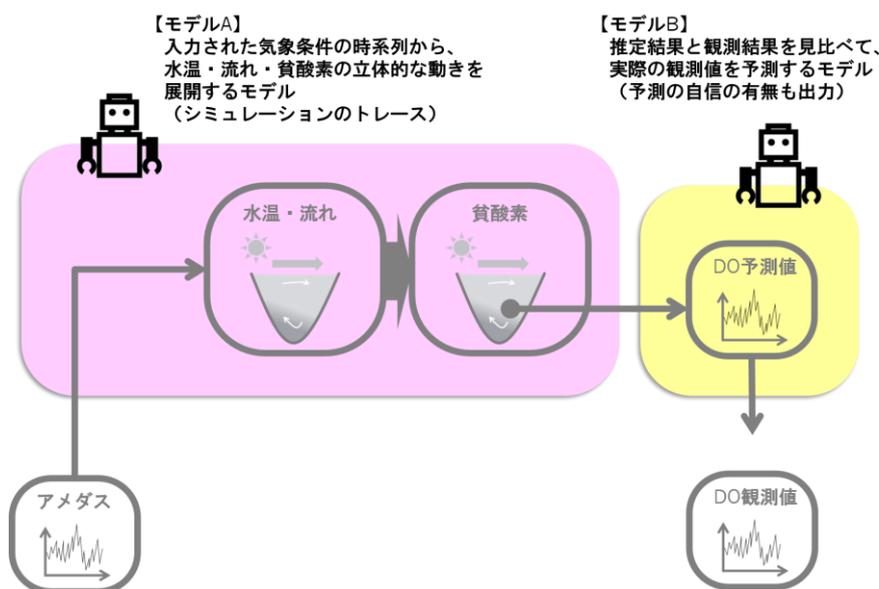


図 2.52 AIモデルの構成（モデル A とモデル B）

なお、モデル A では諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの DO 濃度の計算結果が予測のターゲットとなり、実際の観測している DO 濃度を予測するのはモデル B の役割となる。

また、DO 濃度は水温が変化すると飽和 DO 濃度も変化するため、季節的な変動特性も含まれている。DO 濃度をそのまま教えてしまうと、思わぬ疑似相関を学んでしまう恐れがあることから、モデル A の予測のターゲットとしては DO 飽和度を選定した。

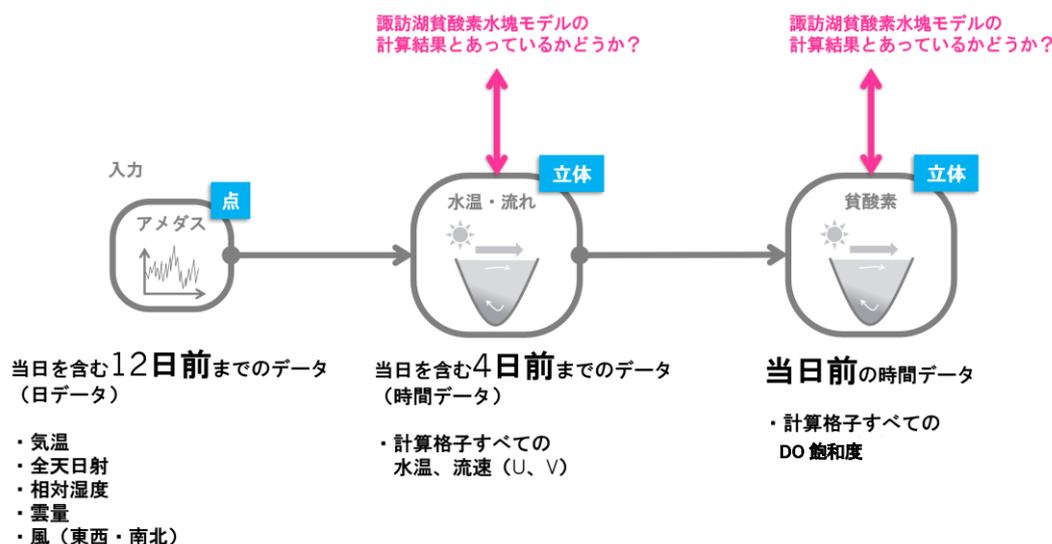
モデル B では実際の DO 濃度の値を直接予測するが、モデル A では DO 飽和度をターゲットに以降の議論を進めていく。

2.6.3 モデル A の予測結果：気象条件のみから流動・貧酸素水塊の時空間を予測

(1) モデル A の特徴

モデル A は気象条件のみから水温・流動・DO 飽和度の立体的な分布とその変遷を予測することを行う。特徴は以下の 2 点であり、入力している情報は図 2.53 の通りである。

- ✓ DO の予測の前に、気象条件から水温・流動の立体構造を展開し、これらの水温・流動から DO 飽和度を立体的に予測する。
- ✓ 様々な入力の情報のどこに着目して予測が行われているかを可視化する仕組みを導入している。



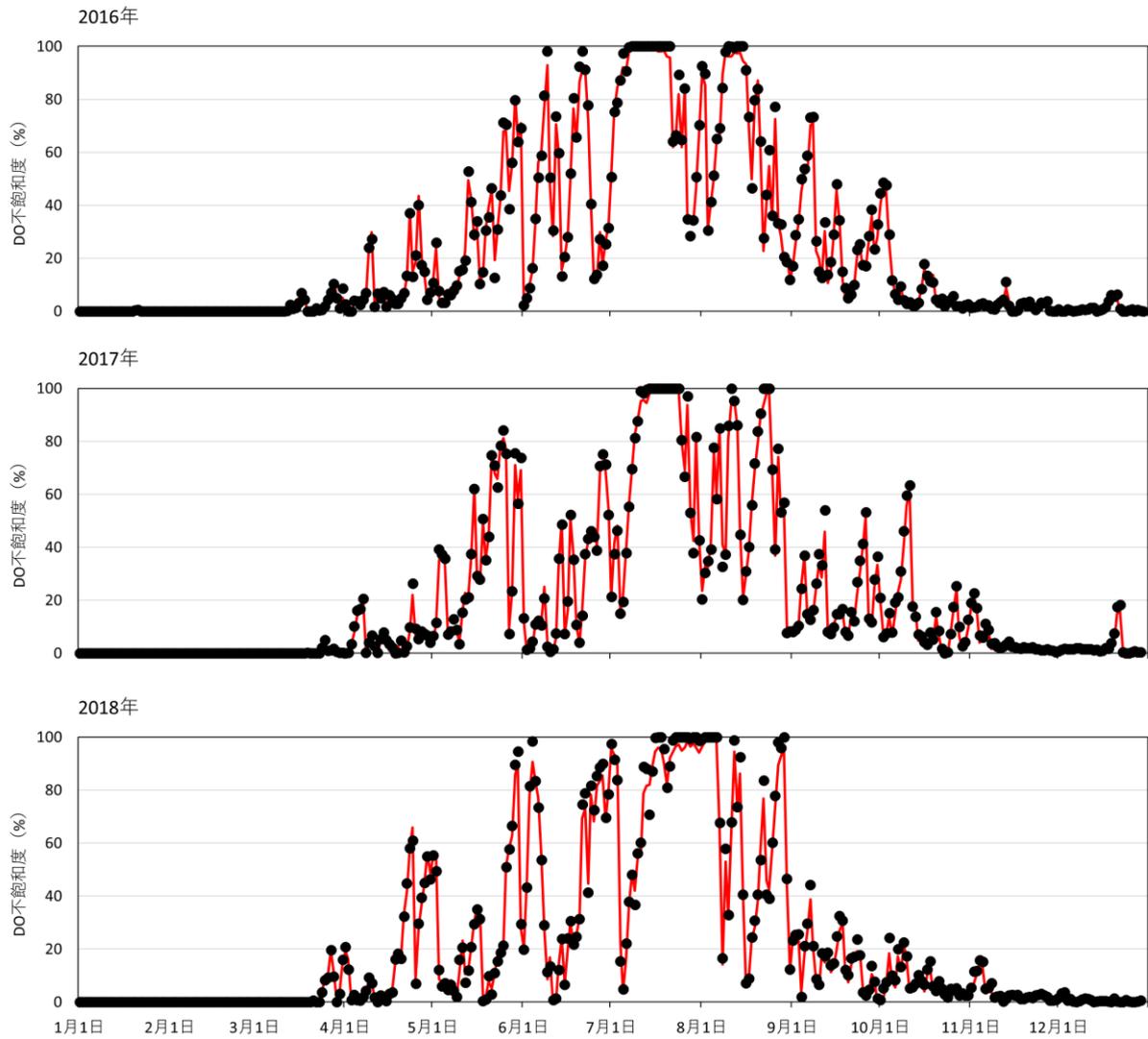
※U は東西方向流速、V は南北方向流速である

図 2.53 モデル A の構成

まずは、水温・流動・DO 飽和度ともに立体的な変遷を予測するので、その予測精度を様々な視点で確認し、最後にどのような視点で予測が行われているかを簡単に分析した。

(2) 湖心での再現性

はじめに、湖心・最下層でのターゲット（諏訪湖貧酸素水塊モデル）とモデル A による予測結果（DO 飽和度として予測）を比較したものを図 2.54 に示した。直近 12 日間の気象条件のみからドラスティックな貧酸素水塊の消長を追跡できている。12 日間はモデルがうまく予測できる最短の期間として設定された。



● : ターゲット、諏訪湖貧酸素水塊による計算結果 (第7層)
 — : モデルA による予測結果 (第7層)

図 2.54 湖心・最下層でのモデル A の再現性

図 2.55には、湖心での水温、水温の偏差、DO 飽和度の鉛直構造の変遷を可視化した。微妙なコンターラインのずれがある箇所も見られるが、全体的な構造の変化についてはよく捉えられていることが確認できる。

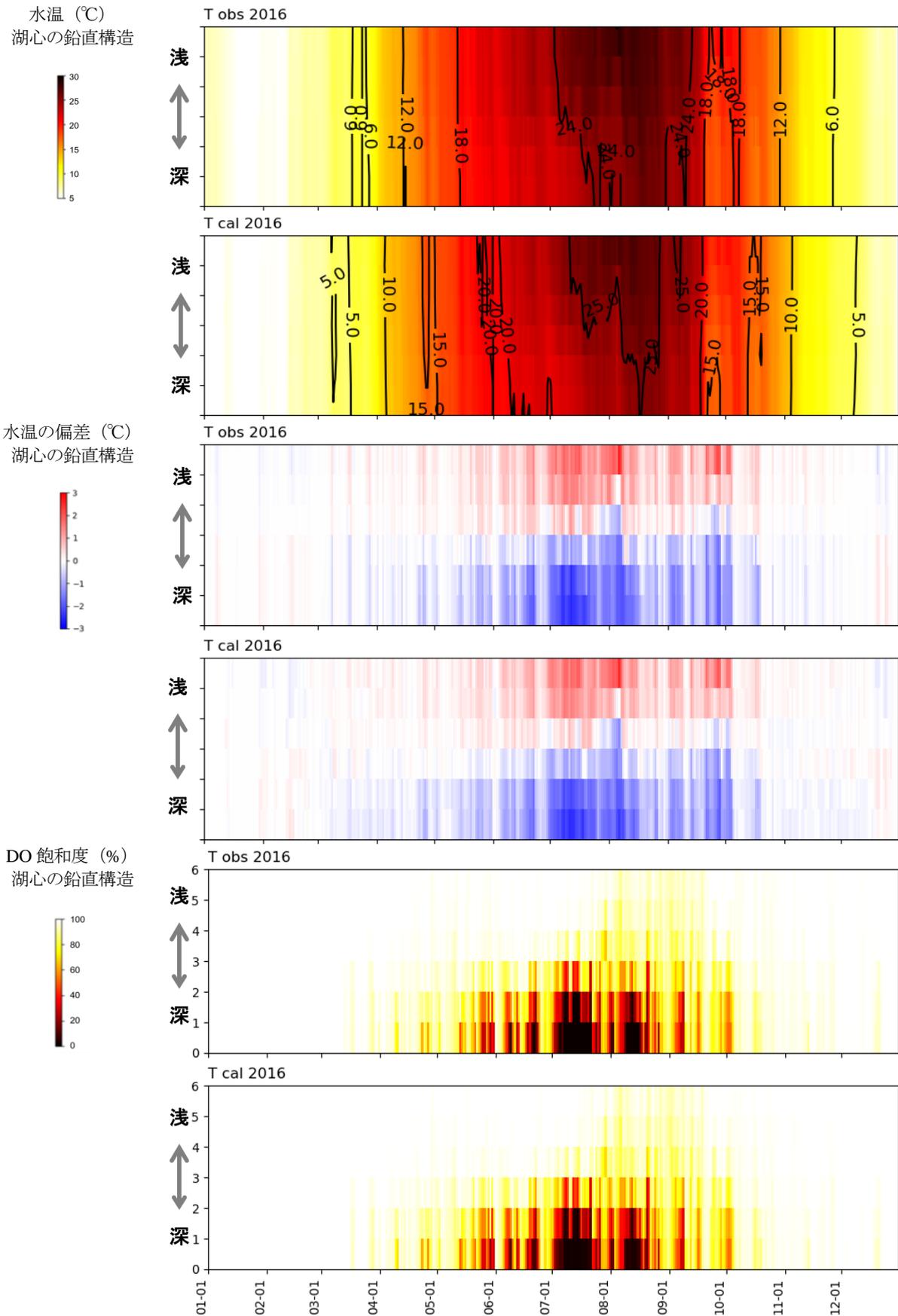


図 2.55 (1) 湖心でのモデル A の再現性 (上段: 諏訪湖貧酸素水塊モデルによる計算結果、下段: モデル A による予測結果; 2016 年)

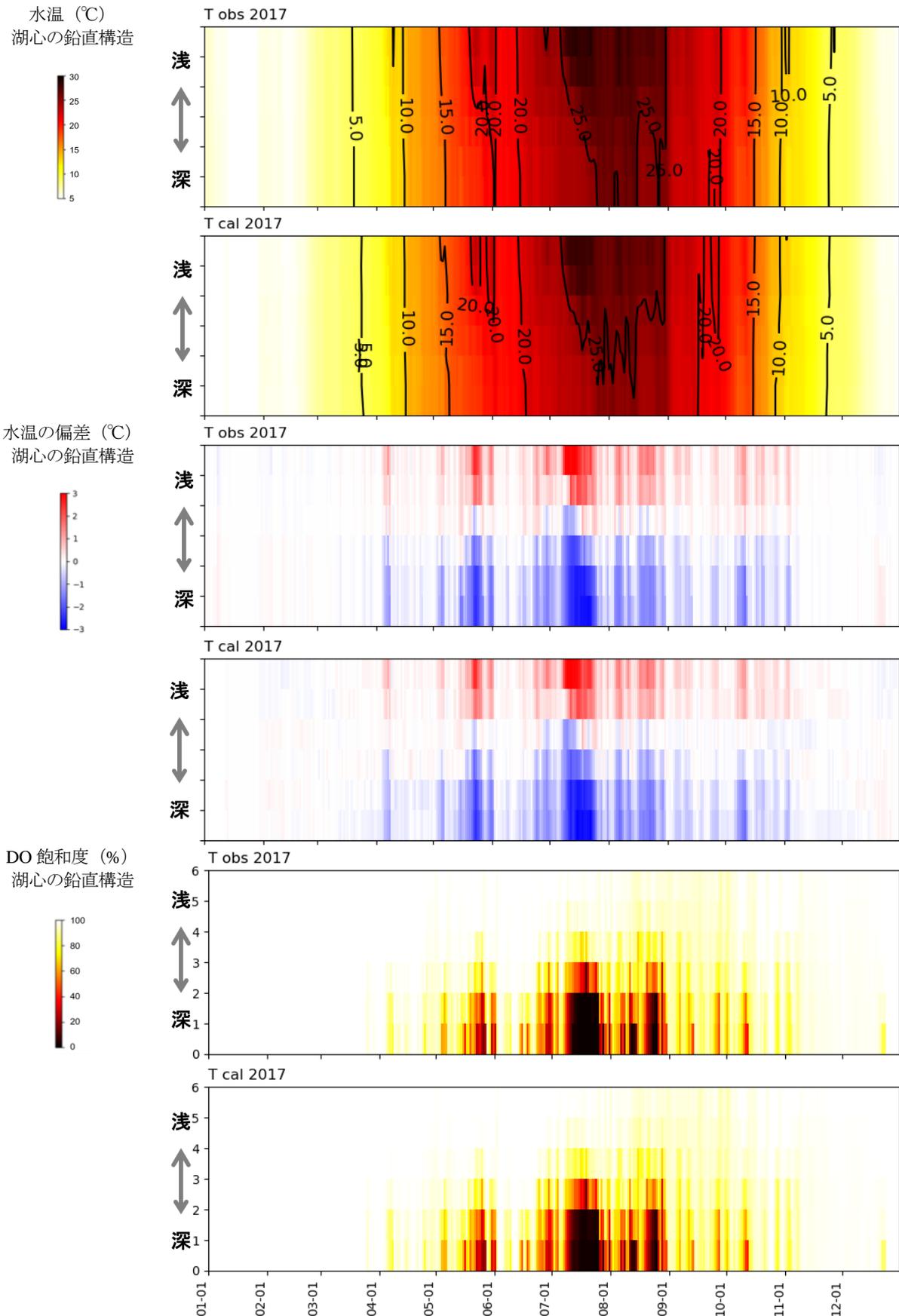


図 2.55 (2) 湖心でのモデル A の再現性 (上段: 諏訪湖貧酸素水塊モデルによる計算結果、下段: モデル A による予測結果; 2017 年)

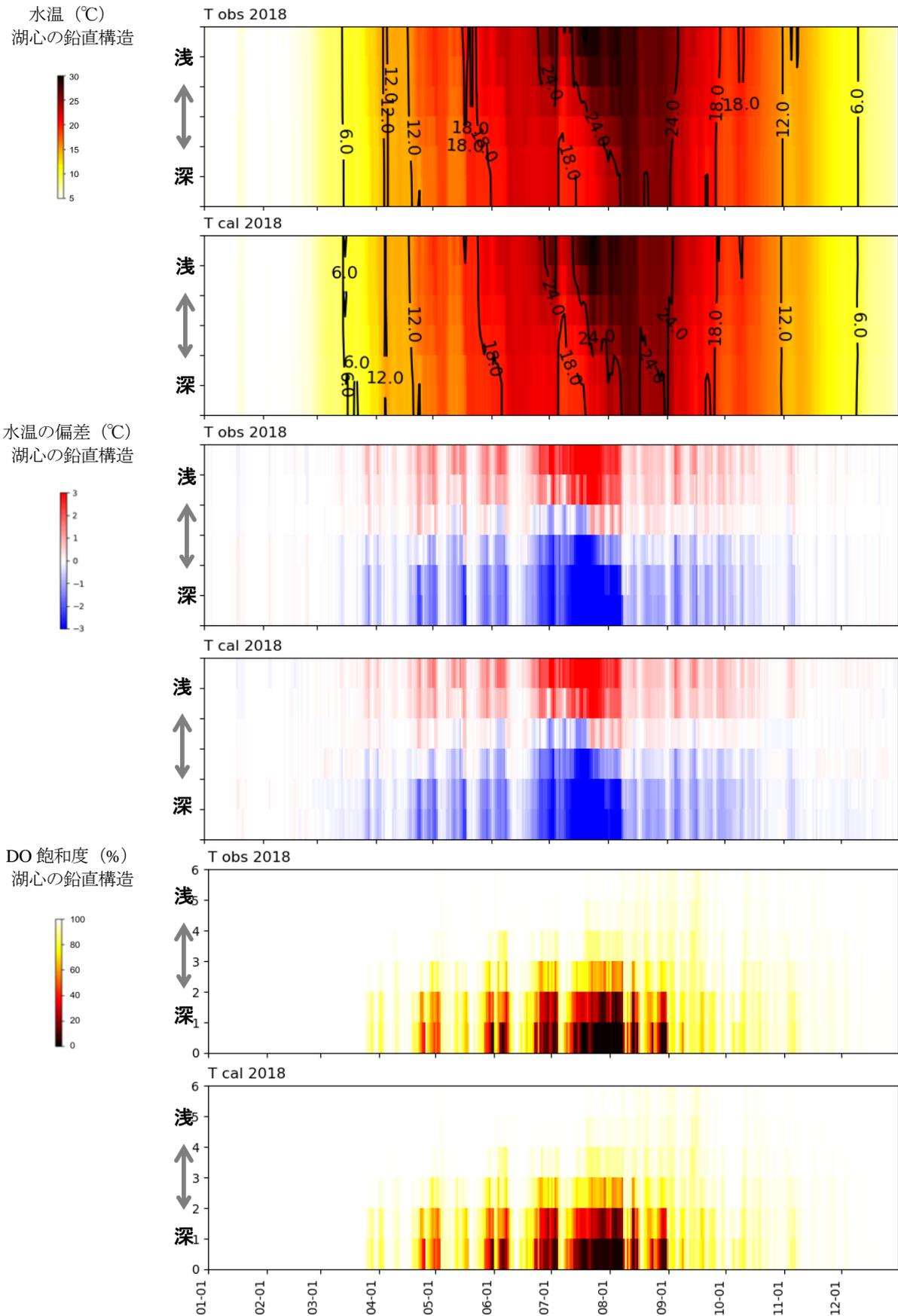


図 2.55 (3) 湖心でのモデル A の再現性 (上段: 諏訪湖貧酸素水塊モデルによる計算結果、下段: モデル A による予測結果; 2018 年)

(3) 平面分布の再現性

流速ベクトルを含む水深別の平面分布の再現性を確認した例を図 2.56に示した。流動や水温、DO 飽和度ともに大まかな構造をとらえられていることが確認できる。第 1 層から第 6 層は、諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの層区分と同じである。

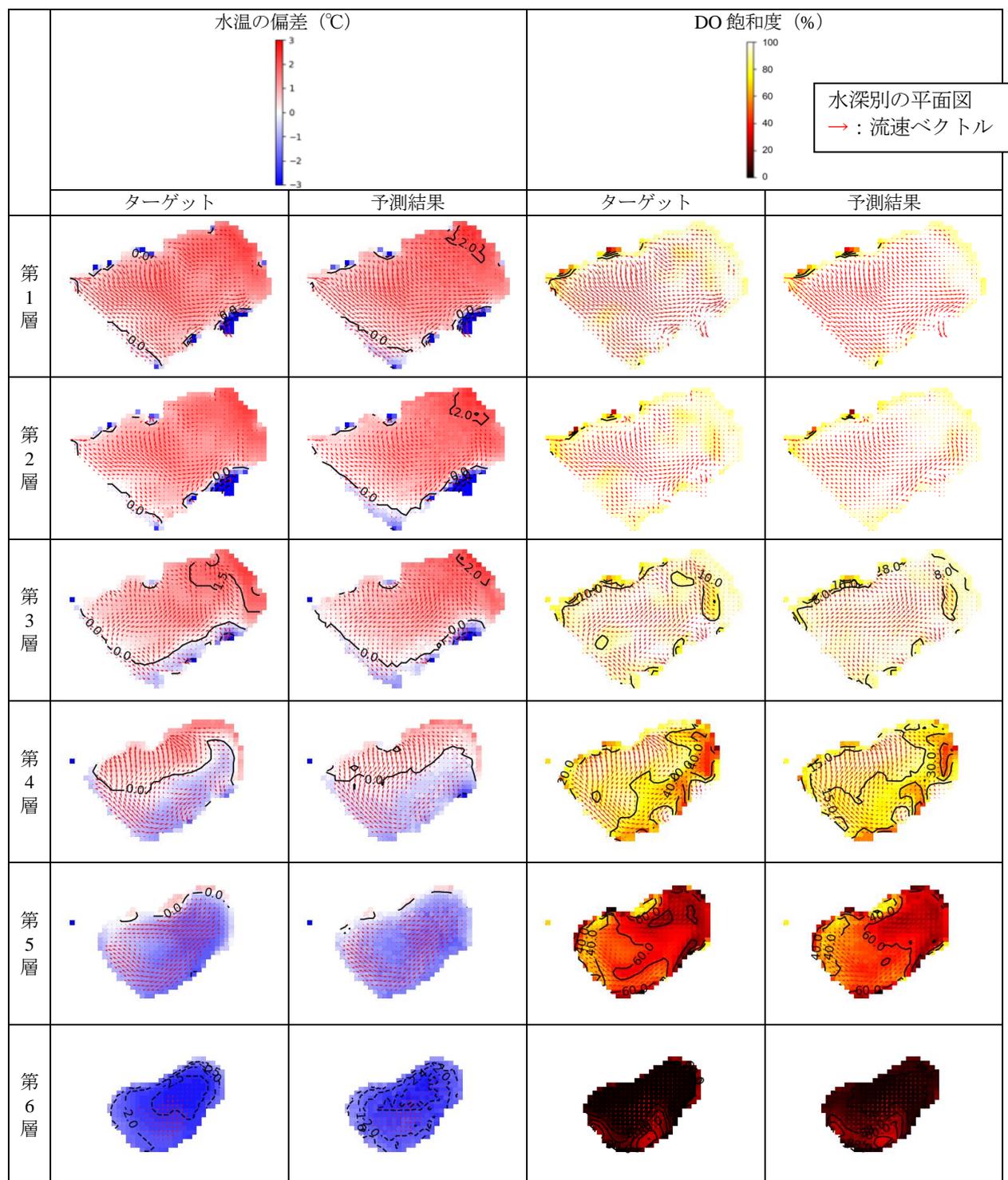


図 2.56 (1) モデル A の平面分布の再現性 (2016 年 7 月 9 日 0 時の例)

※ターゲットは諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの計算結果

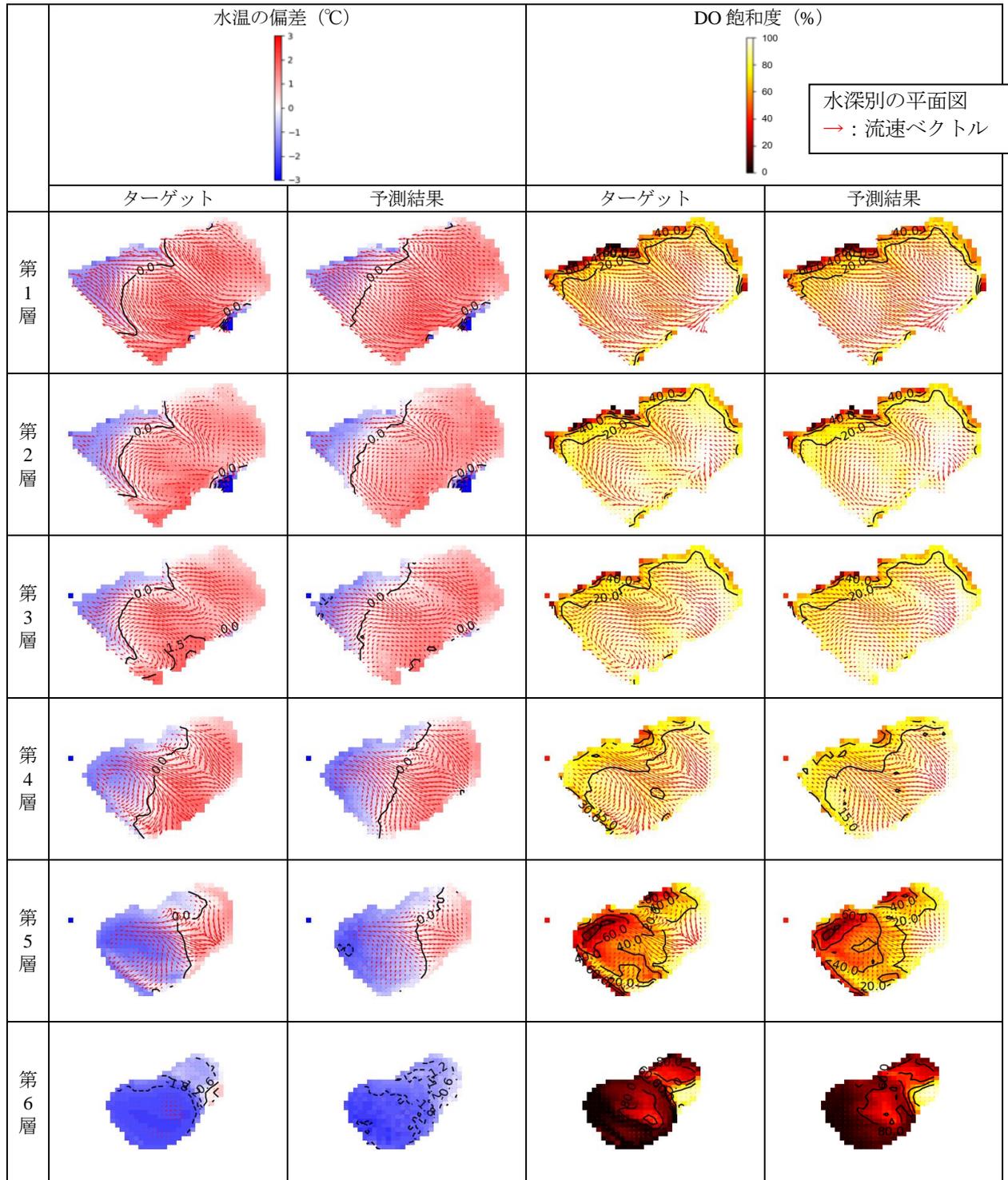


図 2.56 (2) モデル A の平面分布の再現性 (2016 年 8 月 9 日 0 時の例)

※ターゲットは諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの計算結果

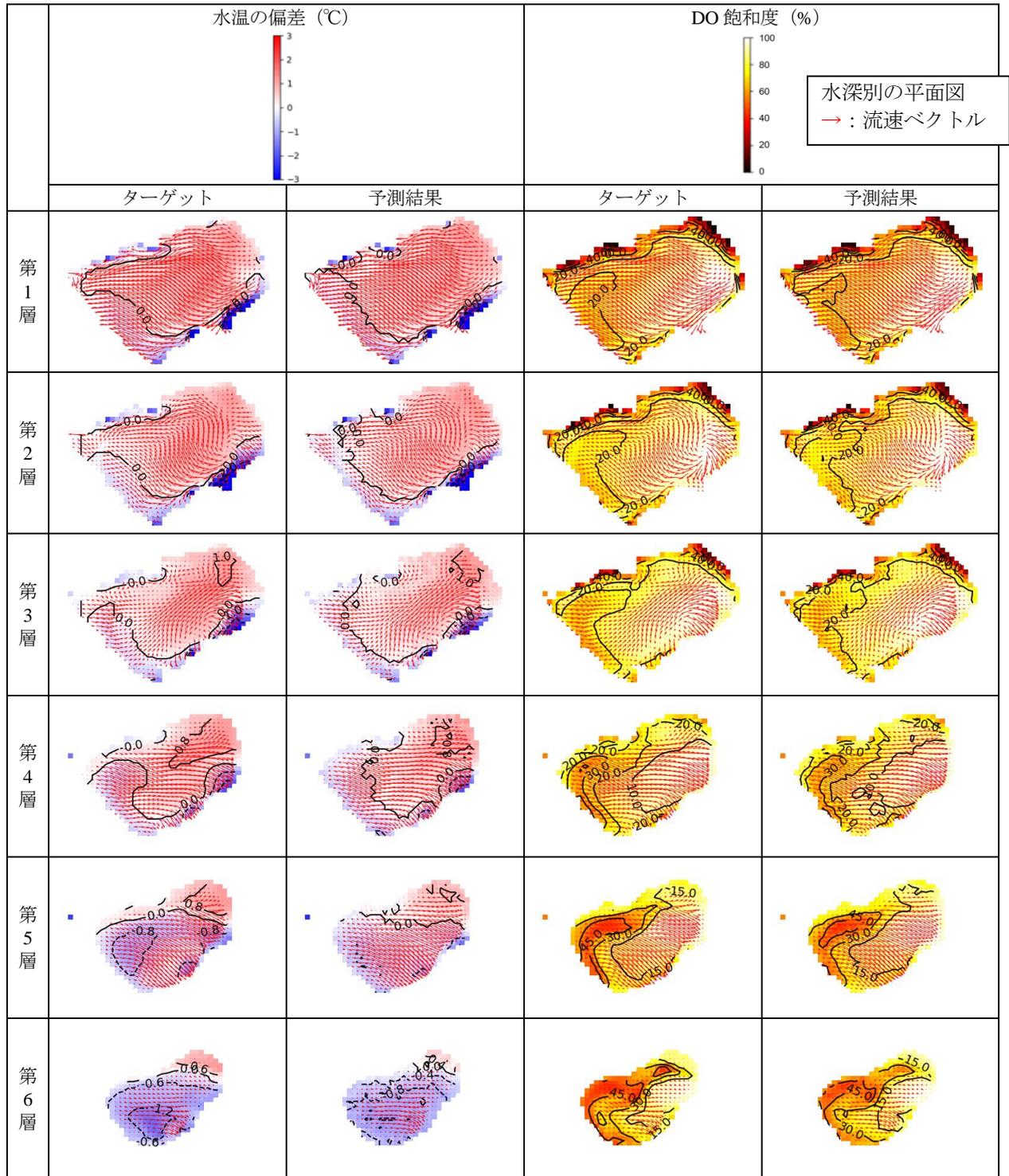


図 2.56 (3) モデル A の平面分布の再現性 (2016 年 8 月 9 日 0 時の例)

※ターゲットは諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの計算結果

(4) 断面分布の比較

モデル A の断面分布の再現性を比較したものを図 2.57に示した。モデル A の水温偏差の予測結果をみると、市松模様のように値がばらつきがちとなっているようであるが、水塊のダイナミックな動きも追跡できていることが確認できる。

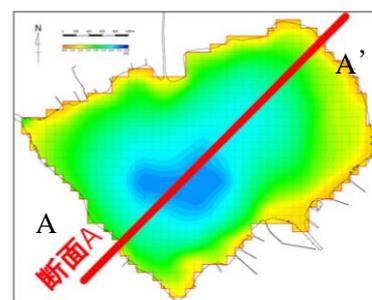
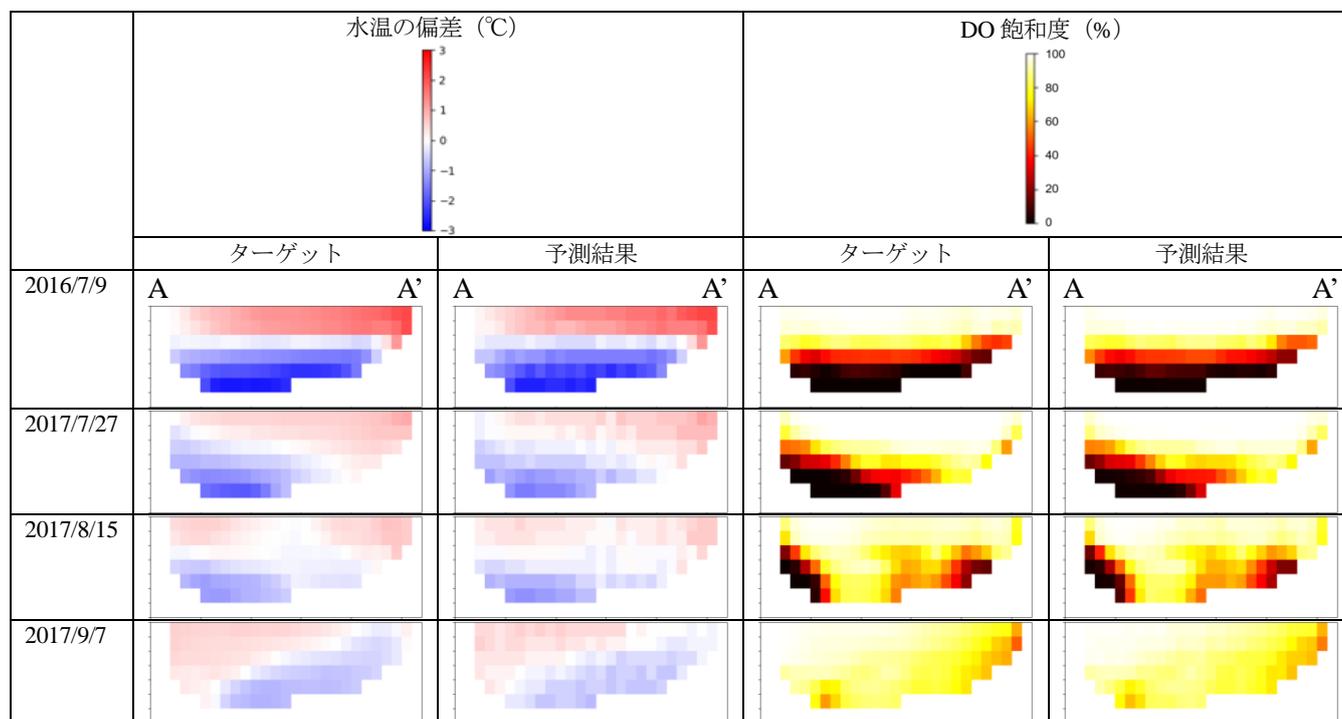


図 2.57 モデル A の断面分布の再現性（一部を抜粋）

※ターゲットは諏訪湖貧酸素水塊予測モデルの計算結果

2.6.4 モデルが注意を向けている情報の可視化

モデル A の特徴の一つはこれまで見てきた通り、気象条件のみから水温・流動（東西・南北方向の流速）などを立体的に展開したうえで予測を行っている点である。もう一つの特徴として、以下に示す予測のプロセスをある程度可視化するための仕組みを導入した。

(1) 注意を向けている情報を可視化する仕組み (Self-Attention)

注意を向けている情報を可視化する仕組みを図 2.58 にイメージ図として示した。

この方法は、例えば「目隠し」のようなことである。例えば車の写っている画像は、車の場所を白く残してそれ以外を黒く隠してもやはり車の画像であるので、目隠ししても当該の画像を正しく車として判定できるように、目隠し（注目度のマッピング）をする仕組みを予測の中にあらかじめ導入している。そうすることにより、例えば「この画像のどの部分を見て車の画像と判断したか？」という問いに対しては、注目度のマップを予測時に確認することで、思った通りの予測ができていないかを確認することができる。

この注目度については、注目している場所は 0、注目していない場所を 1 としておけば、画像と注目度の掛け算を行うことで、計算上の目隠しを実装することが可能となる。

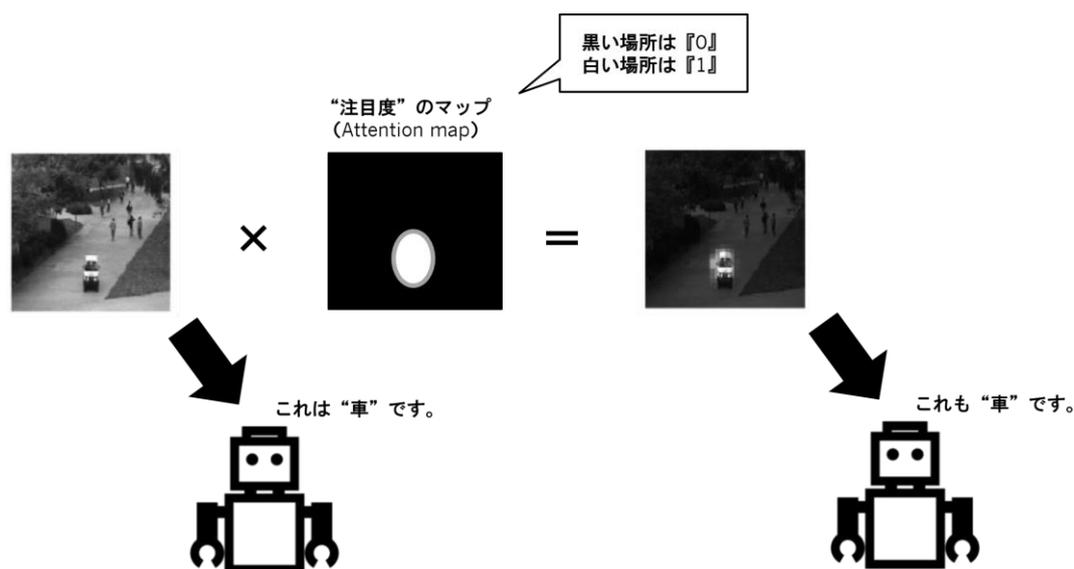


図 2.58 注意を向けている情報を可視化する仕組み

気象条件の場合は、今回のモデルでは 12 日間のベクトルであるので、12 個の注目度を設定しておけば、何日から何日の情報をもとに予測を行っているかを可視化することができる。

(2) 入力情報別の注意を向けている情報の考察

予測に用いる情報の注目度（何日前までの情報に気を配っているか）の変遷を気温、風、流動（東西・南北方向の流速）別に図 2.59に示した。予測に着目している期間を4日間ごと（または1日ごと）に区切って、注目度の季節変動を図 2.59に示した。この図は、注目度が高い場所を予測に用いており、注目度が小さい箇所は予測に用いておらず、適切な箇所に注目しているかどうかで、過学習が回避できているかどうかを確認するものである。

気温については、夏の情報はほとんど無視する明確な季節変動があり、気温が低い時は直近より12日間全体からまんべんなく情報を得て予測を行っている傾向がみられる。

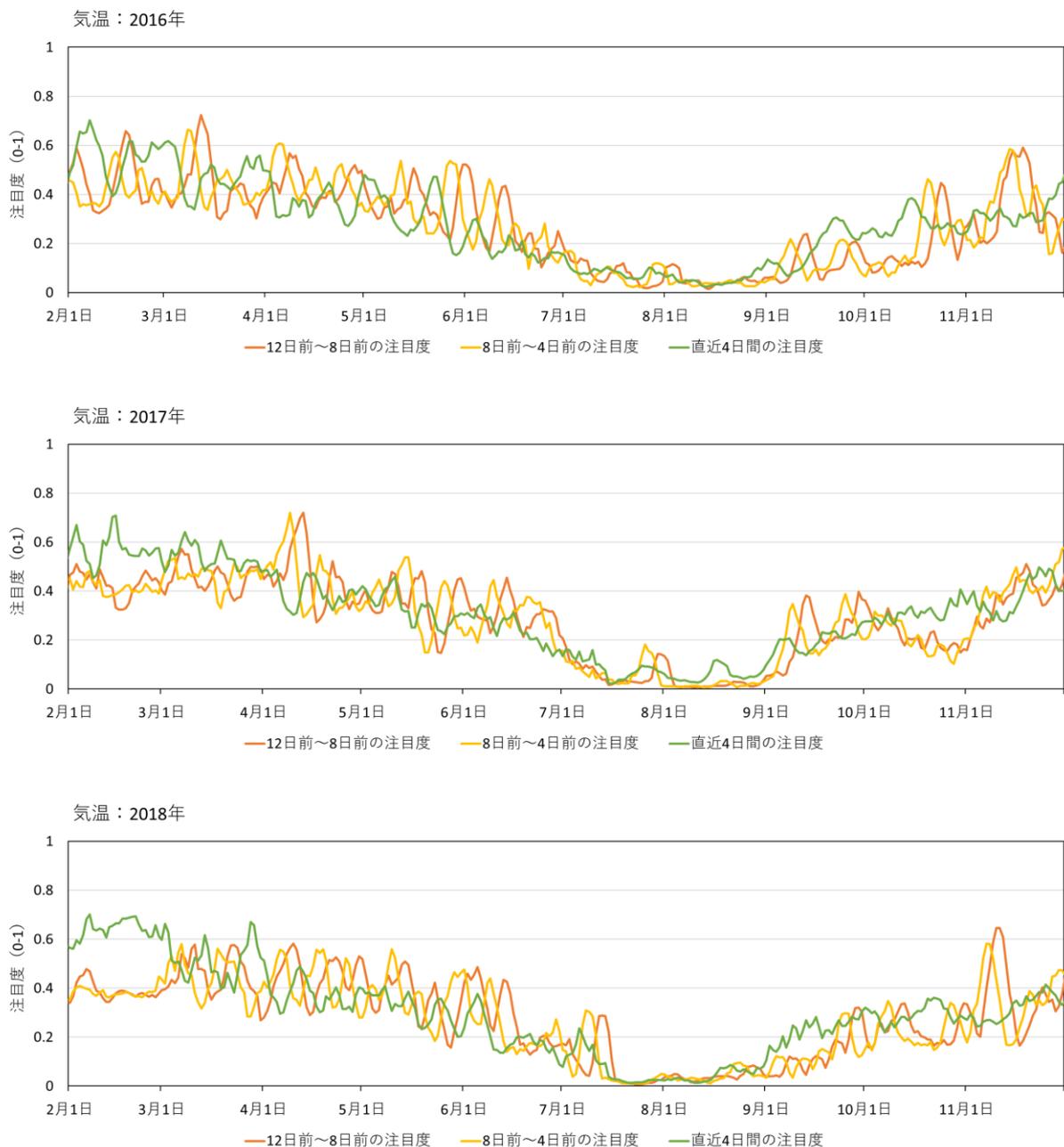


図 2.59 (1) 予測に用いる情報の注目度の変遷（気温に対する注目度）

風速・風向については、直近の情報を比較的重視する傾向がみられる。注目度の変動には明確な季節変動がみられるわけではなく、時々刻々と様々に変化している。

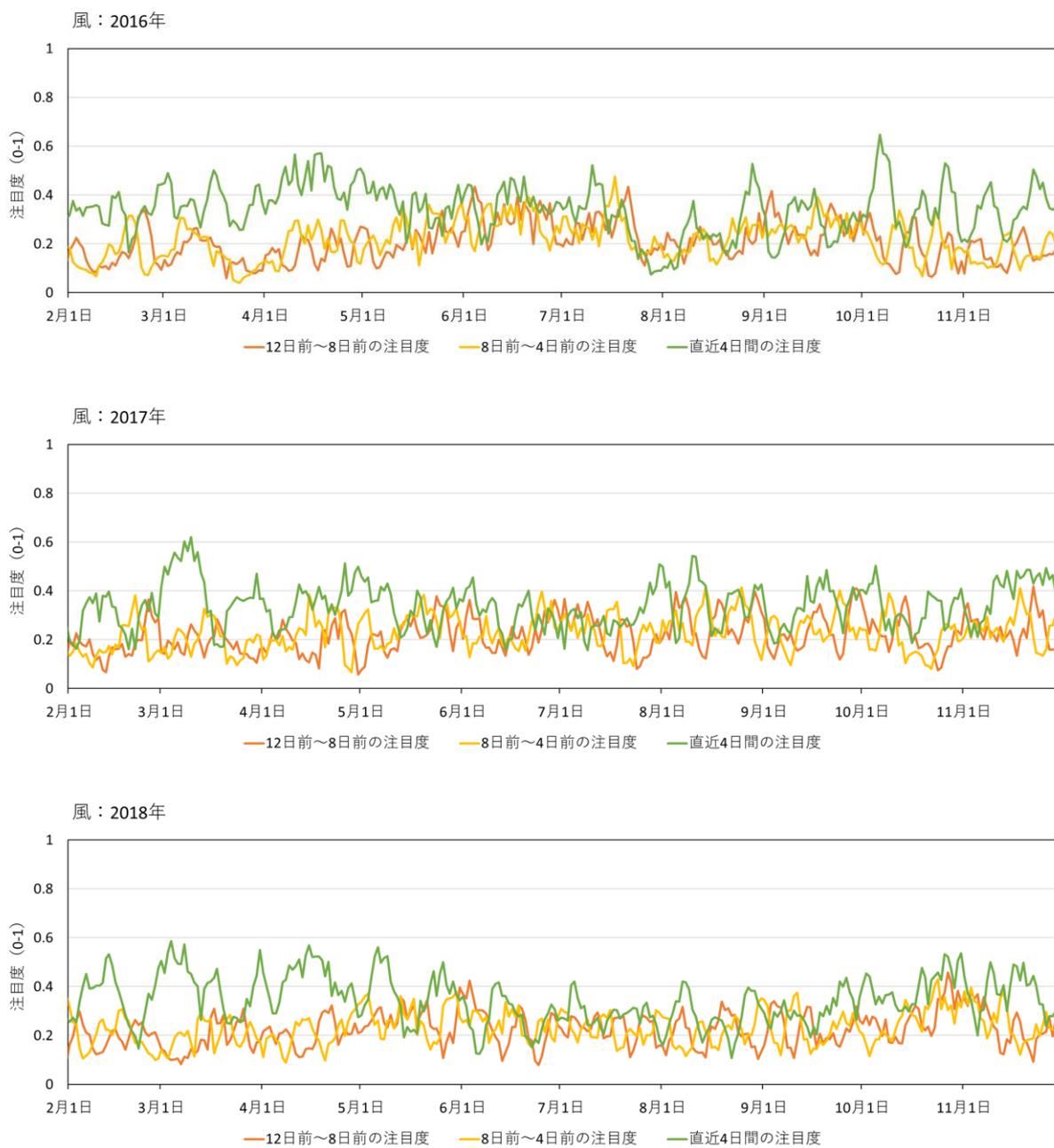


図 2.59 (2) 予測に用いる情報の注目度の変遷 (風に対する注目度)

流動の注目度は、気温・風とは異なり日変動や季節変動はほとんどなく、より日にちが近い情報ほどより注目度が高い傾向にある。

貧酸素水塊は湖内の流動とともに変動するため、流動と DO 飽和度の関係性は常に重要であり、近い日ほどより密接な関係がある。

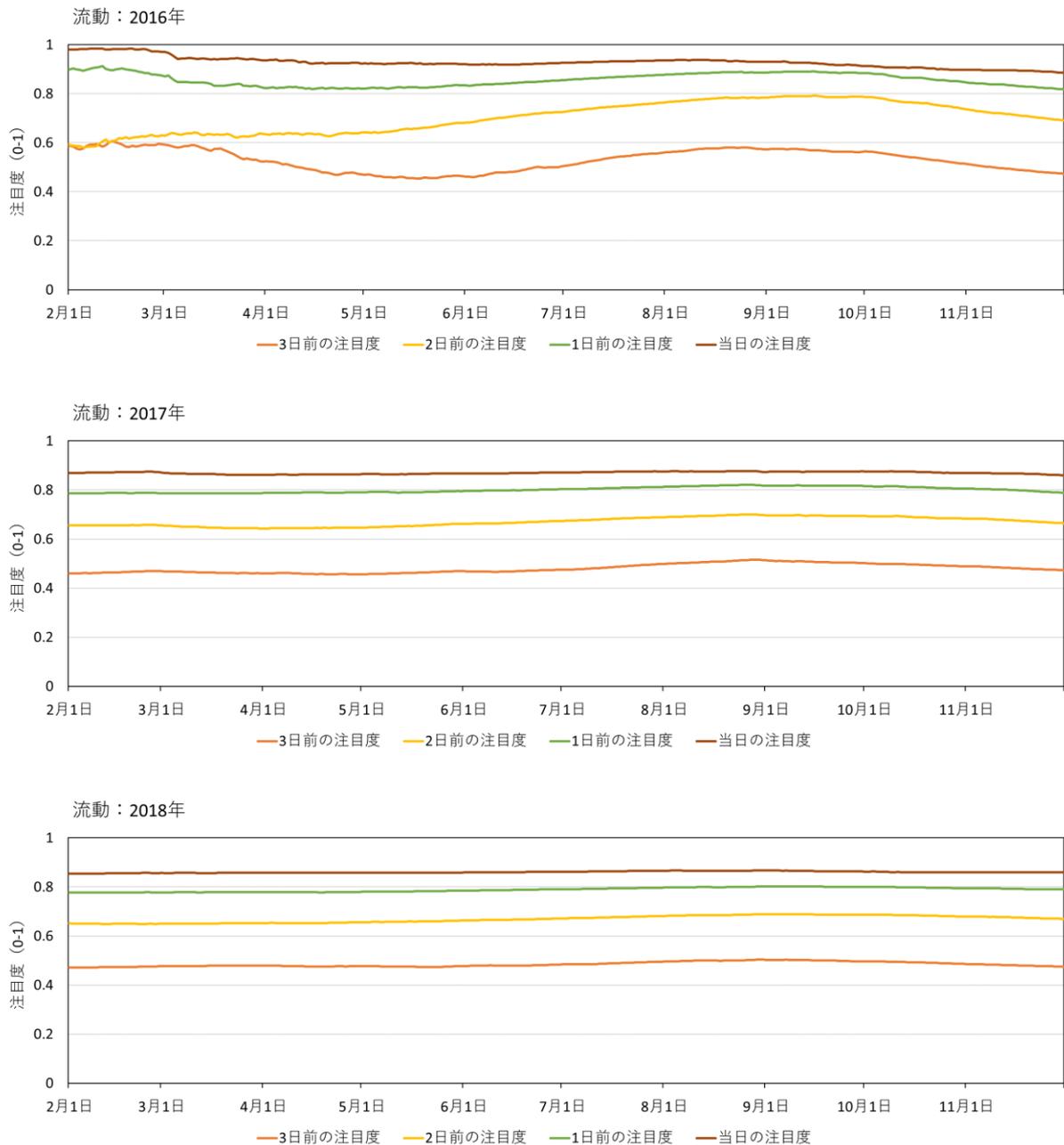
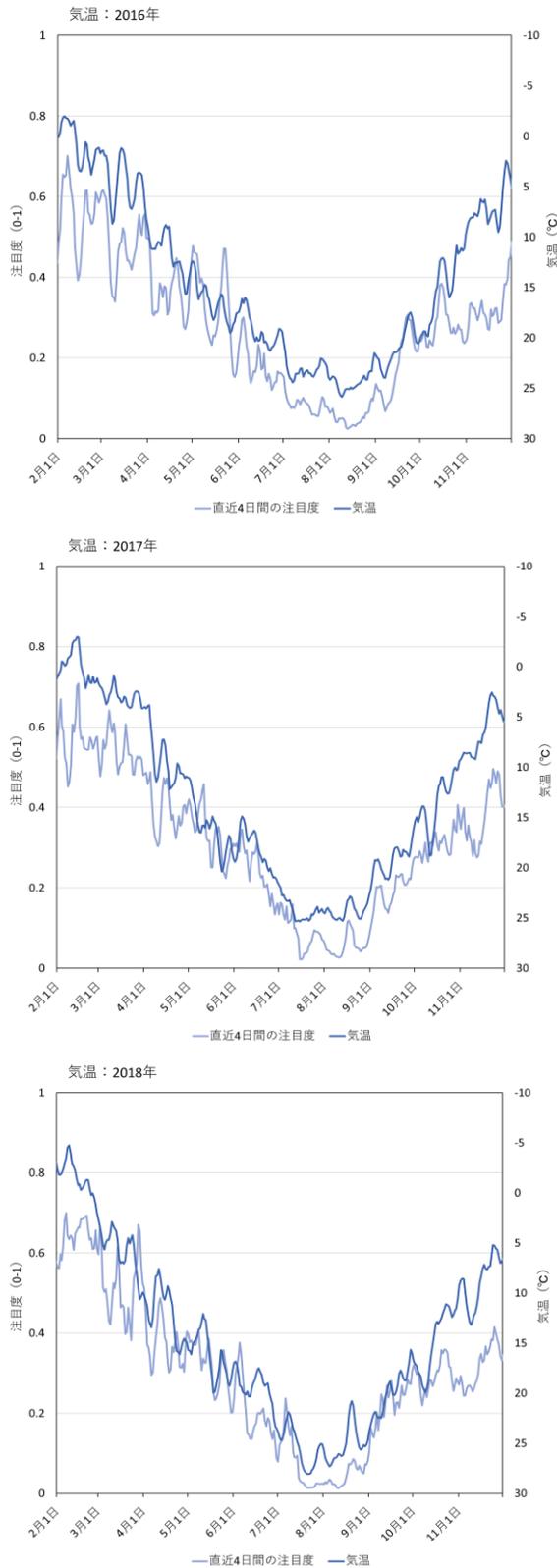


図 2.59 (3) 予測に用いる情報の注目度の変遷（水温・流動に対する注目度）

気温・風については注目度が様々に変化している。この変動とそれぞれのタイミングでの気温・風の値との比較を図 2.60に示した。

気温への注目度と気温の値



風への注目度と風の値

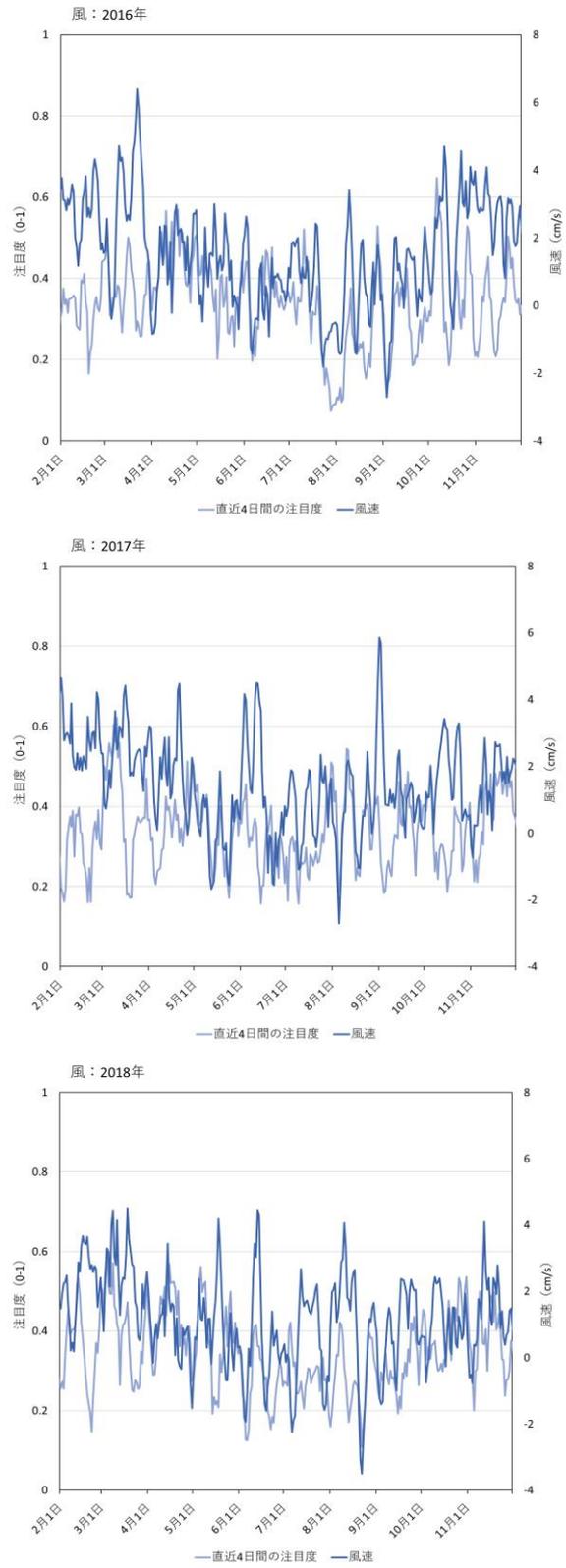


図 2.60 注目度と注目している値の関係（※気象条件は5日間の移動平均）

気温については、気温が低い時ほど注目度が高い（※気温の軸は上下反転させて示した）関係がみられ、年間変動とともに数日間の変動にもよく整合したパターンとなっている。特に、12 日間の期間中に一定の気温が低い情報があるかどうかを見て予測を行っているものと考えられる。

風については、気温ほど明確ではないが、風速のパターンと比較的よく似たパターンとなっており、12 日間のうち、直近に近い期間にある特定の風パターンがないかどうかを見て予測を行っていることが考えられる。

2.6.5 状態空間モデルの知見との比較

状態空間モデルからは、諏訪湖全体での貧酸素水塊の規模としてみると、要因の大半は気温で説明されるという結果（2.5.8 節を参照）であったが、注目度と気温に明確な対応関係があることから、両者は整合している結果を占めていると考えられる。

深層学習が人では発見できないような要因を見つけ出すといったようなところまで至ってはいないが、予測結果としておおむね妥当な結果が得られることは期待ができる。

なお、状態空間モデルは、より自由度の高い線形回帰モデルである。例えば、線形回帰モデル（重回帰モデルを含む）は、モデルは単純な線形結合の式で表現されており、誤差についてはガウス分布として近似されているものを指す。非ガウスの誤差を近似できる線形回帰モデルを GLM（一般化線形モデル）と呼ぶ。さらに、個体差や観測者の癖などの情報もモデルにうまく取り入れることができるものを GLMM（一般化線形混合モデル）と呼ぶ。これに加えて、変数の階層構造を取り扱えるものを階層ベイズモデルや状態空間モデルと呼ぶ。

統計モデリングとは、人が事前知識を用いて「変数 A と変数 B には線形の関係がある」などとモデリングを行い、このモデルにデータがフィットするかどうかを見ることで、仮説検証を行う分析アプローチである。「モデリング」が仮説構築であり、モデルがデータにフィットするかどうかを確認することが検証である。

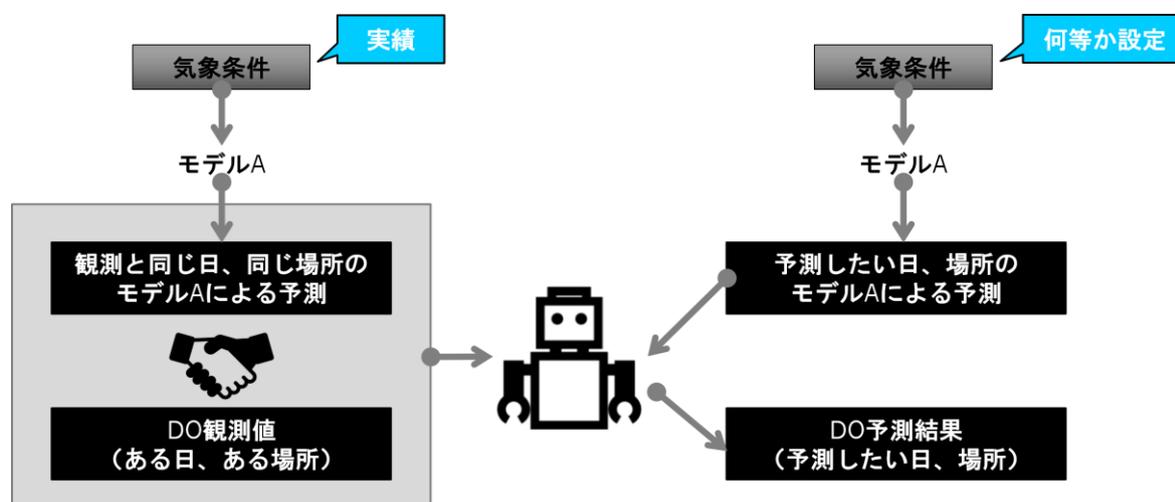
2.6.6 モデルBの予測結果

(1) モデルBの特徴

モデルAの予測は、計算結果を再現するものであったため、実際のDO観測値を用いた学習は行っていない。また、モデルAは観測結果が追加されても予測精度がリアルタイムに向上するということは起こりえない。

そこで、実際のDO観測結果を予測し、また観測結果が追加されるたびに予測精度が更新されていく仕組みを持ったモデルとしてモデルBを導入した。

モデルBの構成は図2.61のとおりである。同じ日時・場所のモデルAによるDO濃度の計算結果（水温とDO飽和度を用いてDO濃度に変換）と観測結果のペアがあるときに、その関係性を用いて、予測したい日時・場所の計算結果から観測結果を出力するモデルである。



※入力には日・座標 (X,Y,Z 軸の値) と DO 濃度を入力する。

図 2.61 モデルBの構成 (入出力の構造)

モデルBは「ニューラル・プロセス (Neural Process)」と呼ばれるモデルを採用しており、これまでの観測結果のばらつき状況などをもとに予測の幅 (分散) も併せて出力することができる⁸。

予測を行うときに日時の情報や場所の情報もインプットするため、近い場所や近い時間の観測結果があれば、予測結果についてもその振れ幅を小さくすることが可能である。

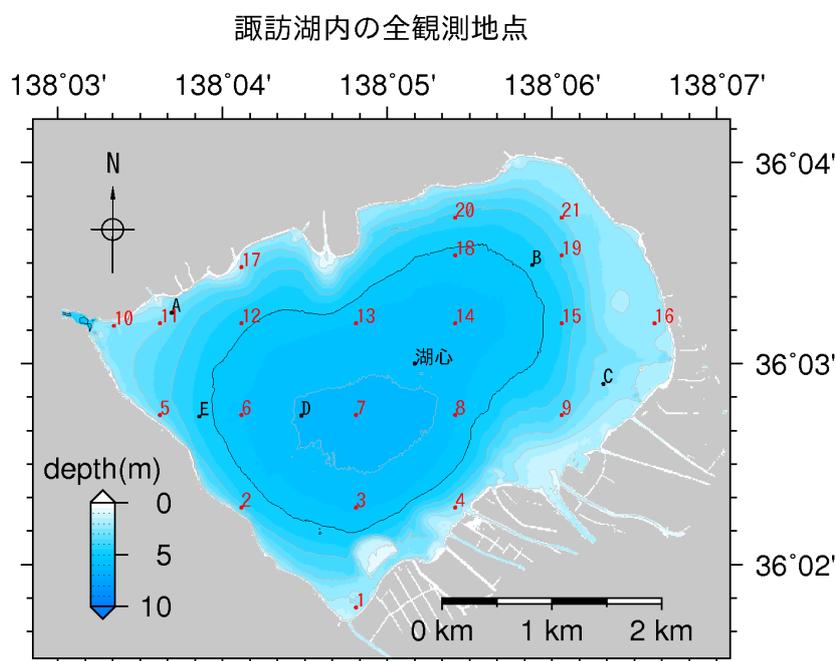
⁸ 予測結果として予測の平均値、分散値の両方をそれぞれ出力する。

(2) モデルBの予測結果

モデルBによる実際の実測値を用いたモデルAの結果の更新の例を図2.63に示した(地点図は図2.62のとおり)。モデルBは連続観測と21地点観測のすべてのデータを用いて学習されており、図には予測結果の可能性の幅も同時に示している。

ただし、連続調査の結果は日周期の時間変動成分が含まれているため、21地点観測を行う時間帯として11時~16時の期間での25パーセンタイル値として丸めた値をモデルBに学習されている。モデルBは原理上分単位、秒単位のすべての情報を個別に取り扱うことが可能であるが、連続調査の10分値を前処理なしに入力すると、夏季のDO濃度の予測結果の可能性の幅が非常に大きく見積もられてしまう傾向があった。これはモデルAが日周期変動を有していないため、実測値の日変動成分が予測の可能性の幅として評価されてしまうことが原因と考えられる。モデルBによる予測の可能性の幅を小さく抑える目的もあり、連続データからは日周期の変動成分は除去することとした(実際にデータを除去したのではなく移動平均した)。

モデルAの結果は、実測値だけでは見えてこない日々のDO濃度の変動を可視化しており、実測値ともおおむね整合しているが、実測値に比べて若干過大となっている。モデルBの結果は、実測値自体の情報も活用することで、夏季のDO濃度をより低く予測することで、モデルAの結果よりも、より実測に近い予測結果を示すことができることが確認できた。9月ごろは十分に観測結果を反映できていないが、観測結果を重視するか計算結果を重視するか、またどの程度の外れ値を除外するかなど、モデルBのバランスをうまく調整することが今後の課題である。



⁹ 実測値に見られる日周期変動は、セイシュ(湖内の躍層がゆらゆらと振動する現象)などによる影響が考えられる。DOセンサの測定水深付近に界面がある場合、界面の上下運動によりDOの値が大きく変動しているものにとらえているものと考えられる。このようなDO濃度の微細な変動を再現するには、より細かい鉛直層分割が必要となることが考えられる。

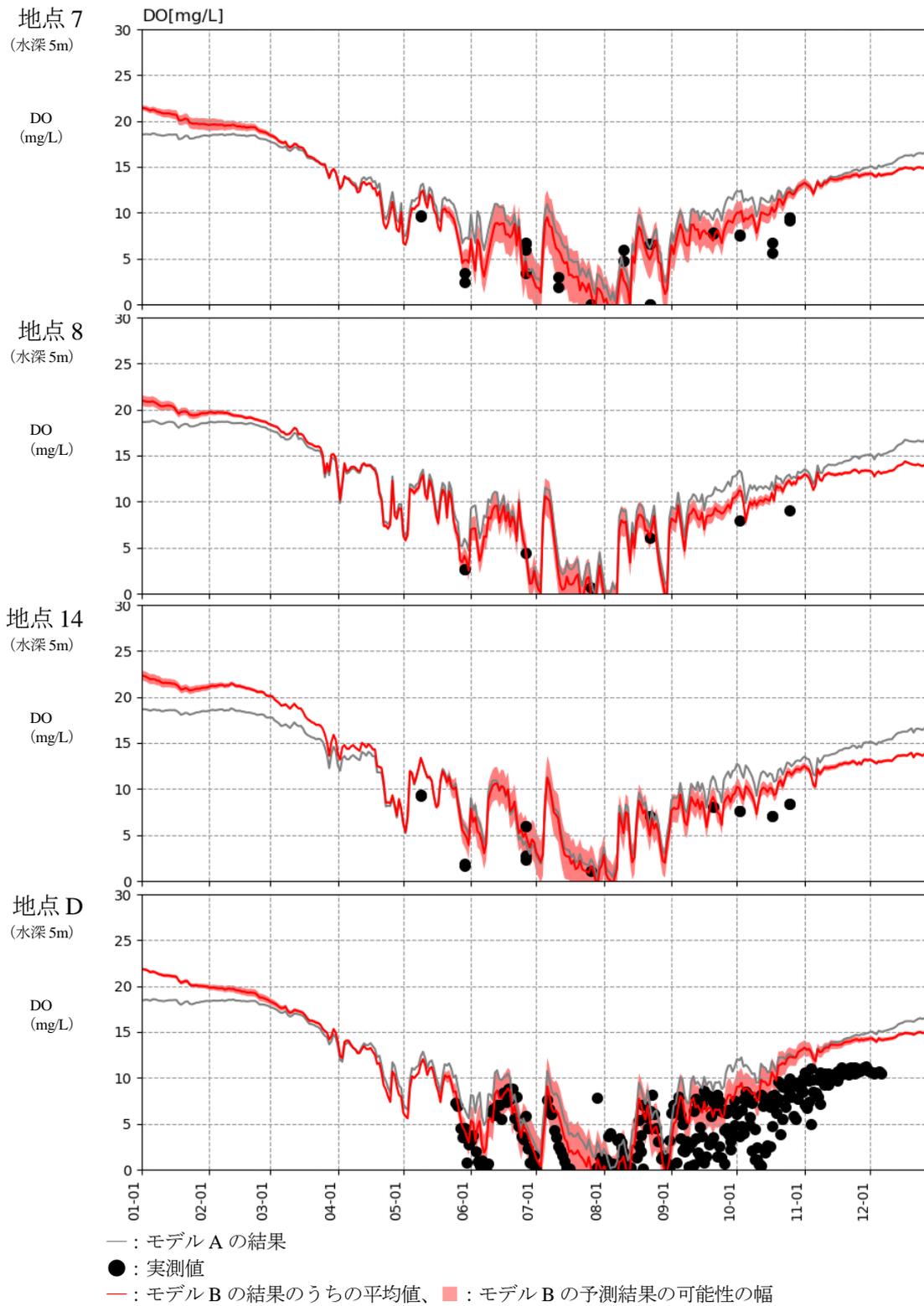


図 2.63 モデル B による実測値を利用した予測結果の更新の例
 (比較的水深の深い地点を抜粋した)

(3) モデルBを用いた観測地点の重要度の評価

モデルBの予測結果は、実測値をより多く入力するほど、また測定頻度や測定期間を増やすほど全体的により実測値に整合する結果を得ることができる。例えば、図2.64に示したように、特定の地点の観測結果をわざと入力しないことで、当該観測地点が貧酸素水塊の評価に与える影響を調べることができる。図の例では、まず左側には、連続観測、21地点観測すべての実測値を反映した貧酸素水塊の容積（DO濃度の3mg/L以下を貧酸素水塊と定義し、諏訪湖全体の容積に対する割合（%））を示した。この容積は手元にある情報量から推察できる最も「真」に近い貧酸素水塊の容積（便宜上、これを尤もらしい貧酸素水塊の容積とする）と考えられる。

一方で、図右側には、連続観測を取りやめた場合を想定して、21地点観測のみの結果から貧酸素水塊の容積を推定した結果を示した。図より、連続観測未実施の場合、前述の尤もらしい貧酸素水塊の容積に比べて過小評価してしまっている期間があることがわかる。この尤もらしい貧酸素水塊の容積と比べた時の差異が大きければ大きいほど、未実施を想定した観測地点の重要度が高いと述べてよいはずである。

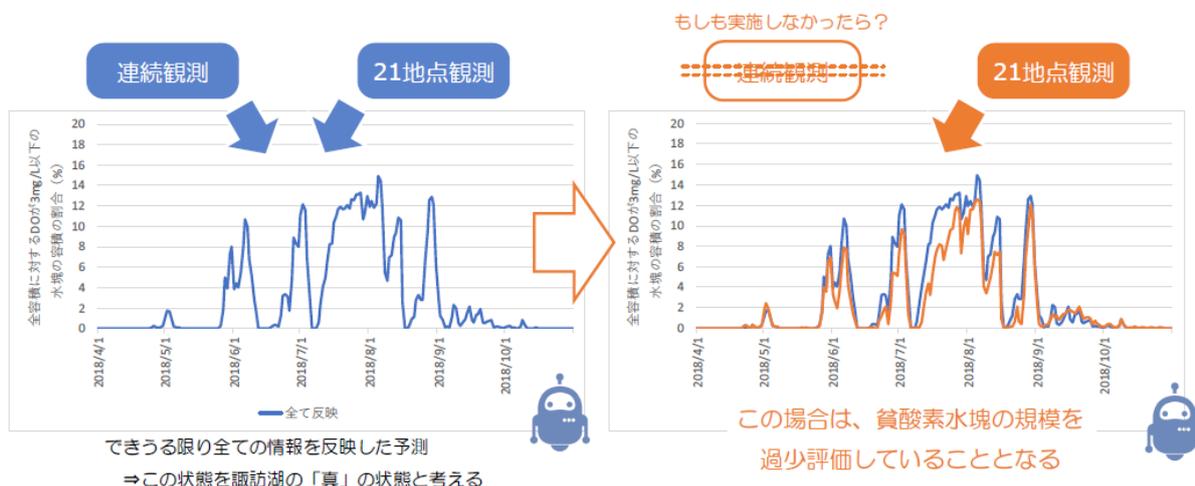
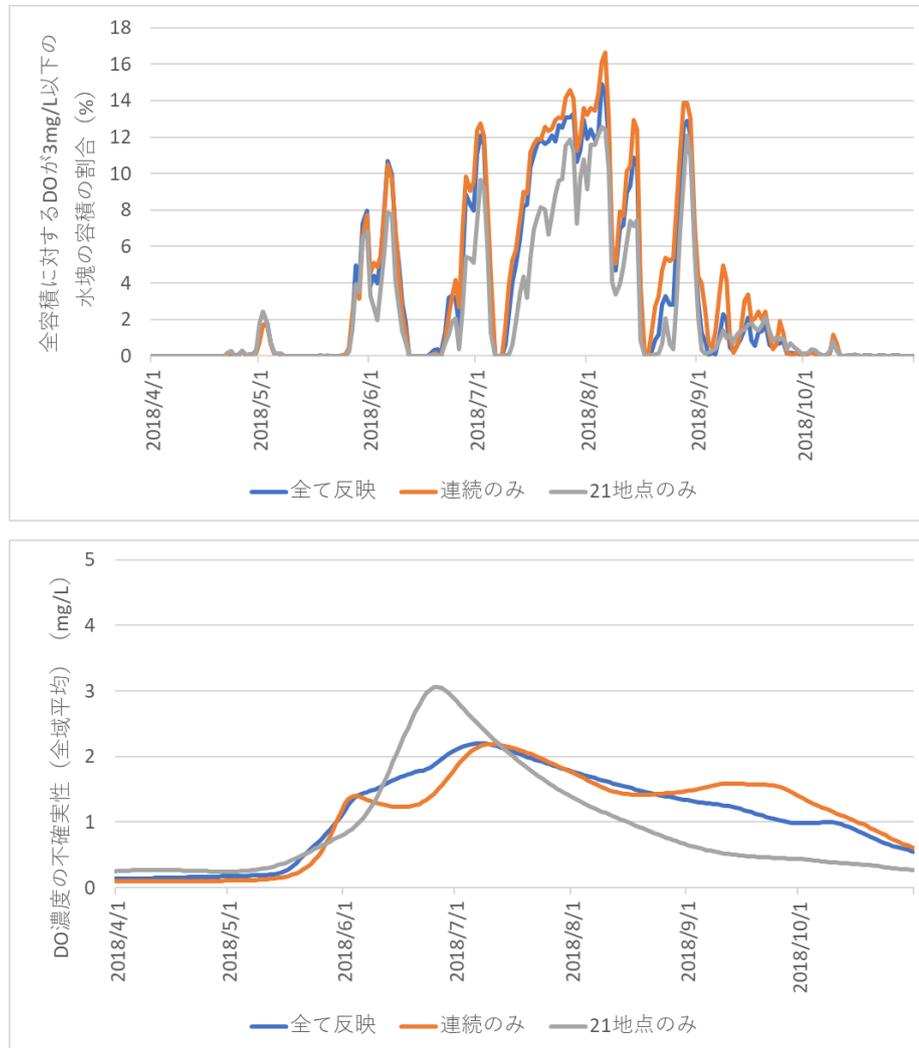


図 2.64 モデルBによる観測の有無による予測結果の変化の実験例

同様の原理で、以下の検討を行った。

- ・連続観測に21地点観測を加えた場合、連続観測のみの場合、21地点観測のみの場合の予測精度の比較
- ・連続観測の地点ごとの重要度
- ・21地点観測の地点ごとの重要度

まず、「連続観測+21 地点観測」「連続観測のみ」「21 地点観測のみ」の3 ケースについて、図 2.64と同様に貧酸素水塊 (3mg/L) の容積割合を比較した結果を図 2.65に示した。なお、図下段は予測の可能性の大きさを比較したものである。



※不確実性が「すべて反映」のほうが「連続のみ」より大きくなる場合があるが、これは連続観測と21 地点観測の観測データに乖離がある場合がみられることが要因と考えられる

図 2.65 「連続観測+21 地点観測」「連続観測のみ」「21 地点観測のみ」の貧酸素水塊容積の比較

「連続観測+21 地点観測」を貧酸素水塊容積の真値と仮定すると、「連続観測のみ」の場合には、容積を過大評価するも大きくミスリーディングすることはないが、「21 地点観測のみ」は規模を大幅に過小評価してしまう場合がある。「21 地点観測のみ」と比べれば「連続観測のみ」のほうが尤もらしい貧酸素水塊をよりの確にとらえることができる可能性が高いと考えられる。

次に、連続観測の地点間の重要度の違いを分析した。貧酸素水塊容積をケース別に比較したものを図 2.66に示した。わかりやすく比較するため、すべての観測結果を反映した貧酸素水塊の容積（尤もらしい貧酸素水塊の容積）との差を各月で集計した結果を図最下段に示した。

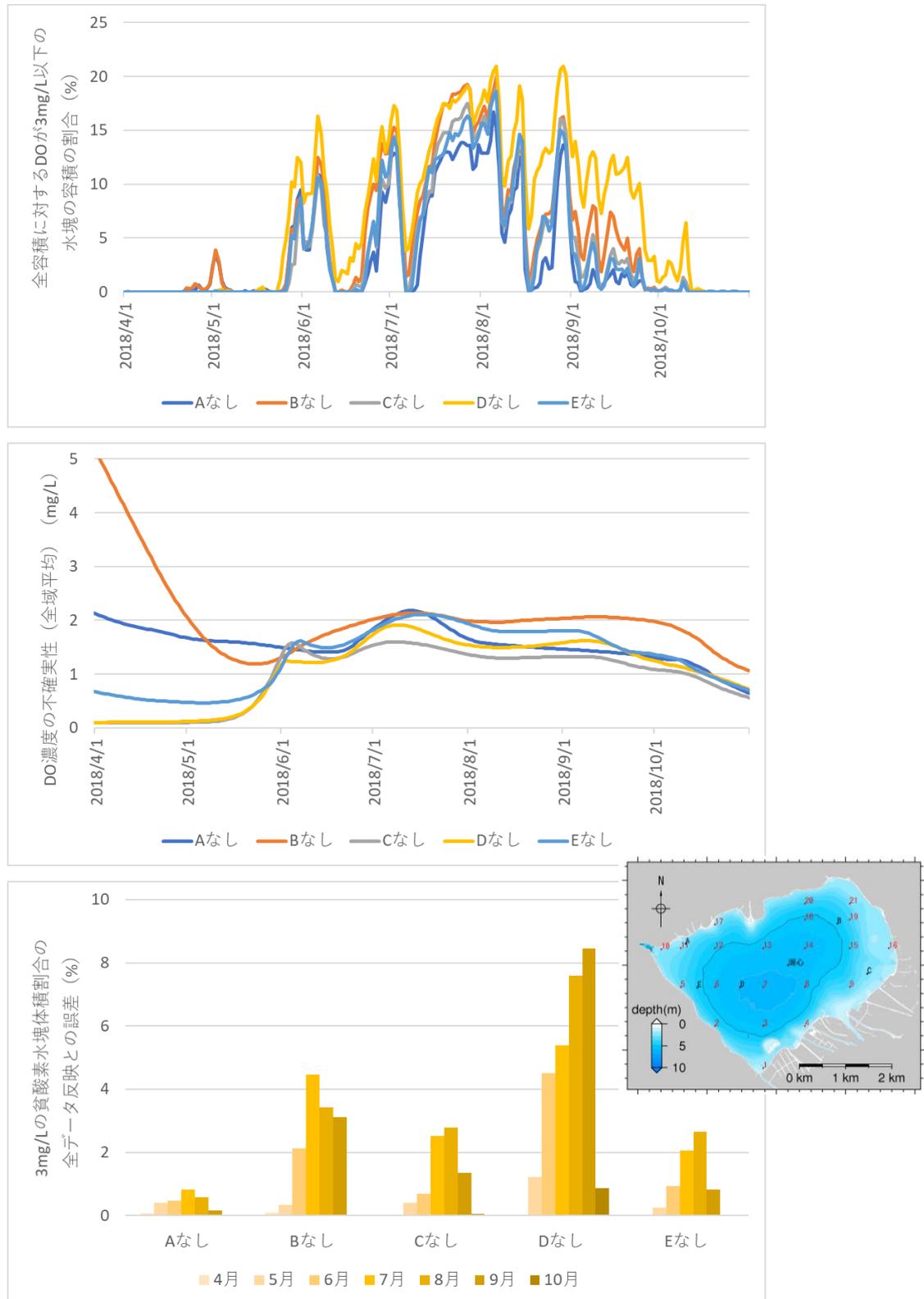


図 2.66 連続観測の各地点の貧酸素水塊容積の比較

地点Dの測定をしない場合、尤もらしい貧酸素水塊の容積との差異が地点A～Eの中で最大となり、貧酸素水塊の全容を捉えるために地点Dの観測は重要であると考えられる。次いで地点Bの差異が大きく、水深が深い地点ほど重要であると考えられる。一方、地点Aは、たとえ測定しなかったとしても、貧酸素水塊の容積そのものの評価にはそれほど影響を与えない。

同様に21地点観測についても図2.66と同様の整理を行い、その結果を図2.68に示し、地点数が多いため重要度の大きさ(尤もらしい容積との差異の大きさ)を地点図に重ねて示した(図2.67)。明確な水深との関係はないが、浅い地点は重要度が低い傾向にある。深い地点である地点7で重要度が低いのは、貧酸素化する頻度が高く変動が相対的に小さいため、あるいは近傍の深い地点でも同様の貧酸素が観測されている可能性が高いため、容積の予測への貢献度がむしろ小さいという可能性が考えられる。言い換えると、常に貧酸素化していることが事前にわかっているのであれば観測する必要はないという意味で、重要度が低くなっている可能性があると考えられる。

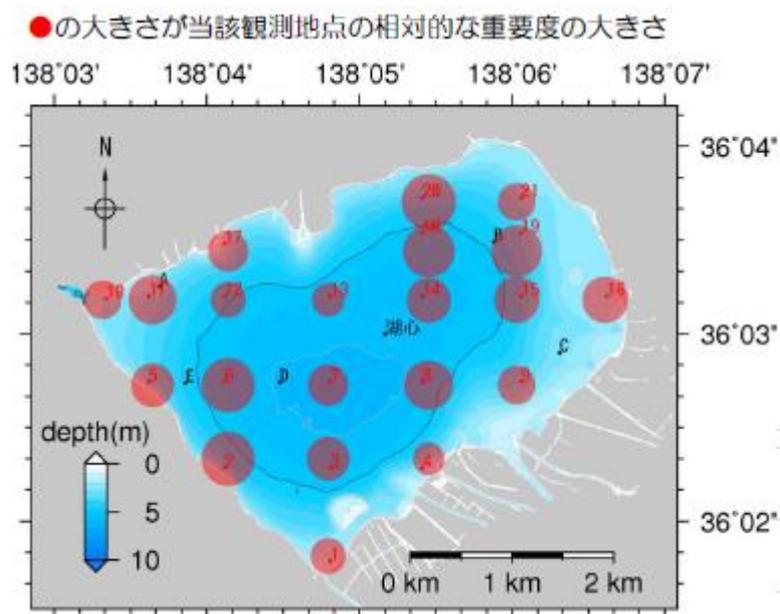


図 2.67 21 地点観測の各地点の重要度の大きさ (尤もらしい容積との差異の大きさ)

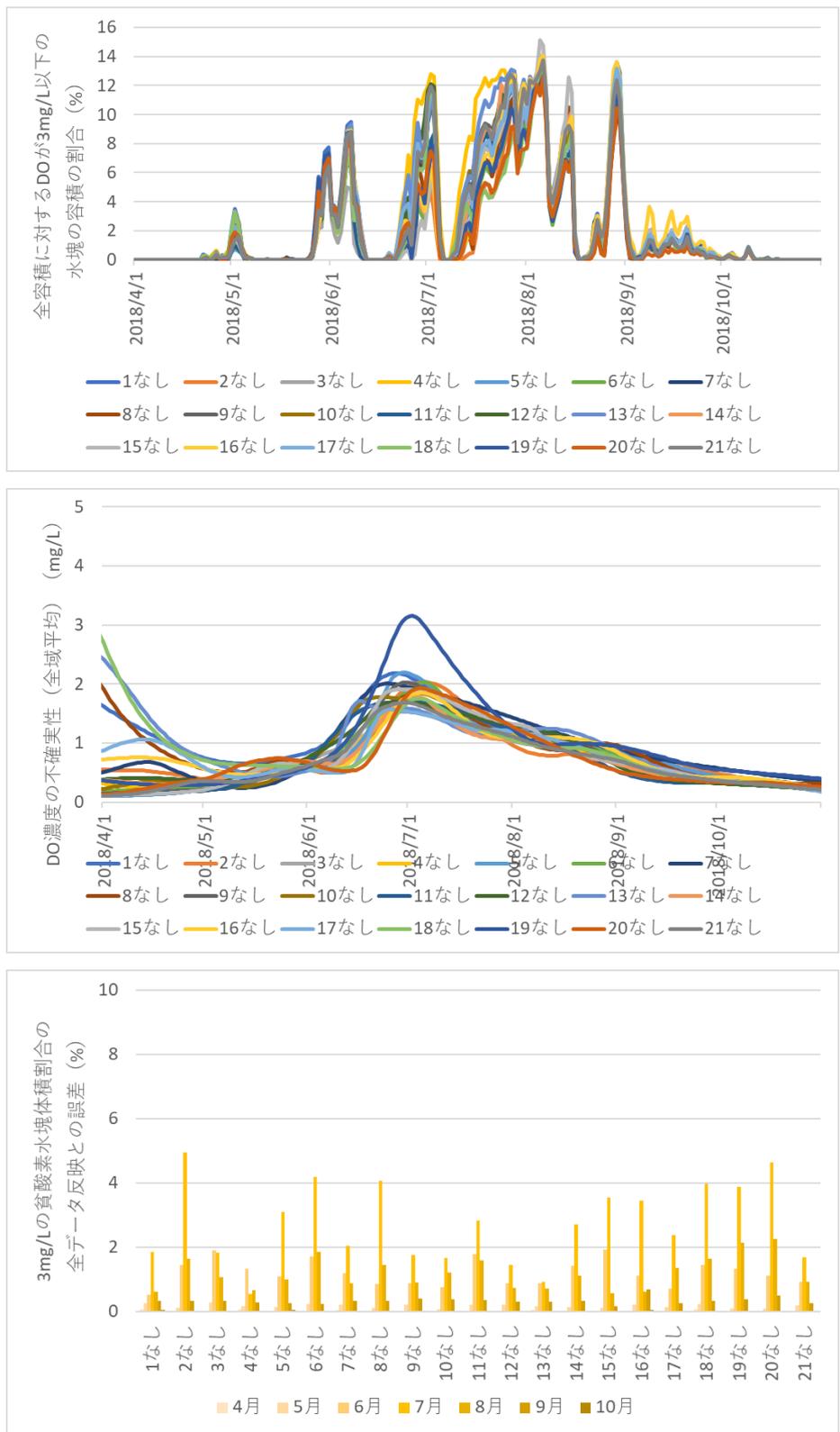


図 2.68 21 地点観測の各地点の貧酸素水塊容積の比較

2.6.7 分析結果の精度を向上させるための工夫

貧酸素水塊の発生及び拡大状況は、「貧酸素水塊シミュレーションモデル」により物理方程式・生化学方程式のもと一定の予測精度で予測される。このモデルによる予測は、未知の気象条件で一定の信頼のおける予測結果を導き出すことができる。

地球温暖化や未曾有の大きな降水などの状況下でも、貧酸素予測ソフトが頑健な予測を行うことを可能とするために、事前に未知の気象条件下での貧酸素水塊の学習を行うことにより、表 2.11に示すように入力条件をランダムに変化させて計算（アンサンブル計算）を行った。対象の項目は、年、風速、気温とした。これにより、貧酸素予測ソフトを用いた将来の予測が、より頑健に行えるようになることが期待できる。

年に関しては、各年の個数が均等になる様にランダムに選択した。

風速に関しては、図 2.69に示すようにアメダス（諏訪）の風向・風速を東方風速・北方風速成分に分解し、それぞれの平年値および平年偏差を求めた後、合成した風速（スカラー風速）の平年偏差の平均値が 3.63m/s であることから、-3.63m/s～+3.63m/s の間でのアンサンブル値を設定値とし加算した。

気温に関しては、図 2.70に示すようにアメダス（諏訪）の年平均気温から回帰式を求め、50年分の気温上昇量から、0°C～1.215°Cの間でのアンサンブル値を設定値とし加算した。

表 2.11に示すようにランダムに変化させた入力条件と、アンサンブル計算の結果を実際の2016～2018年の3か年の条件・結果に加えることで、より幅広い状況の予測が可能となるようにモデル A を学習させた。ただし、表 2.11のうち、ケース 11のみモデル A の学習には用いず、モデル A がケース 11の入力条件で貧酸素水塊シミュレーションモデルの結果を再現できるかどうかを確認した。このような学習データの一部を使わずに、検証に使う手法は「交差検証（クロス・バリデーション）」と呼ばれる方法である。

交差検証の結果の例として、湖心最下層の DO 飽和度を比較したものを図 2.71に示した。初めて見る条件にもかかわらず、湖心の貧酸素化の変遷をよく捉えることができている（相関係数で 0.81）。シミュレーションを活用したデータの増強を行うことで、比較的頑健な予測ができることが実証できたと考えられる。

表 2.11 アンサンブル計算の計算ケース一覧

※風速、気温は対象年の入力条件へ加算。

計算ケース番号	対象年	風速	気温	用途
1	2016	+1.42	—	学習
2	2018	+1.44	—	学習
3	2017	-1.83	—	学習
4	2016	+2.05	+0.13	学習
5	2017	—	+0.77	学習
6	2018	—	+1.05	学習
7	2018	-1.98	—	学習
8	2017	—	+1.05	学習
9	2016	—	+0.48	学習
10	2018	—	+0.54	学習
11	2017	+1.12	+0.35	交差検証

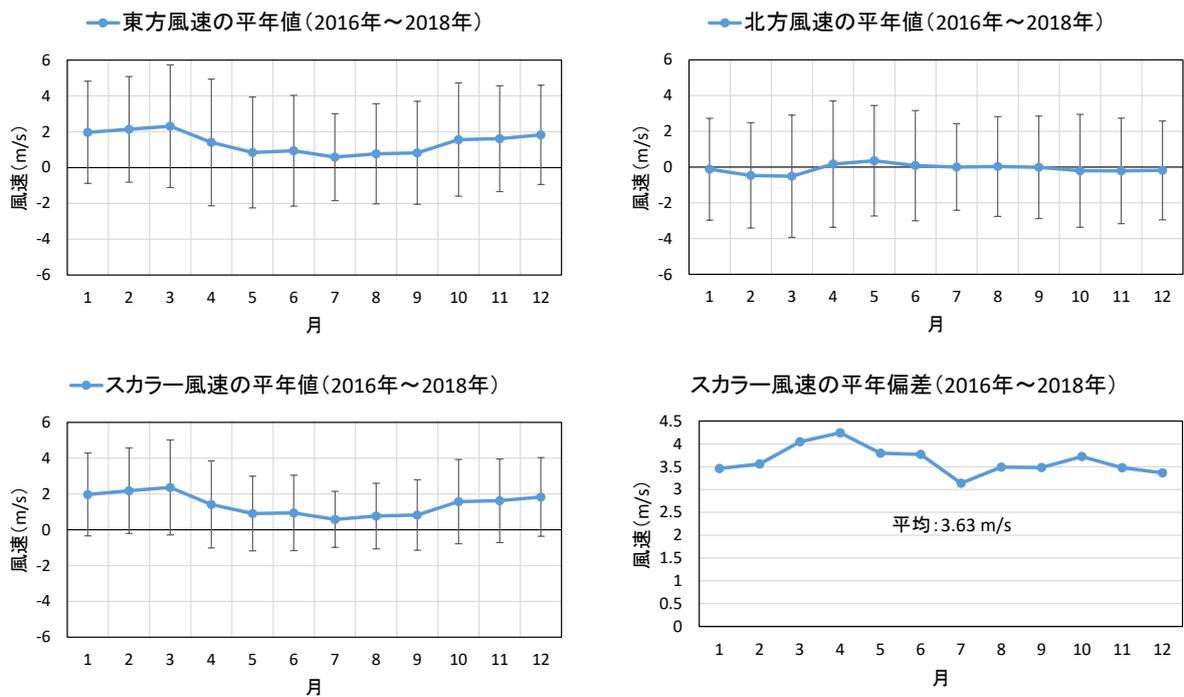


図 2.69 風速の設定根拠(諏訪)

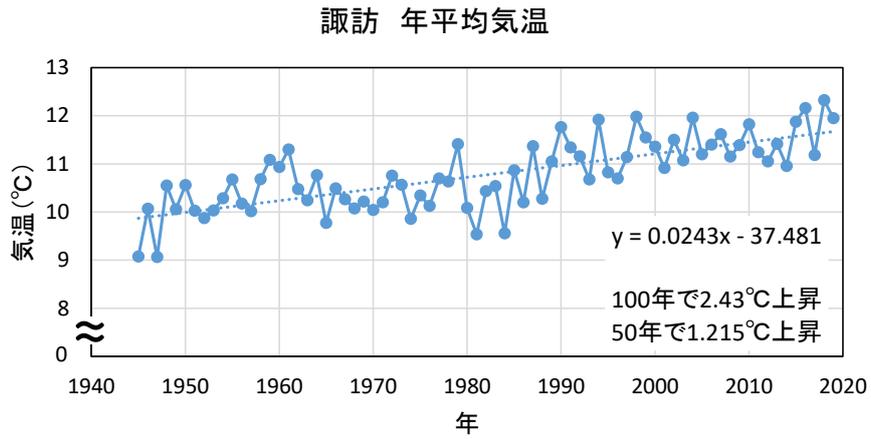


図 2.70 気温の設定根拠(諏訪)

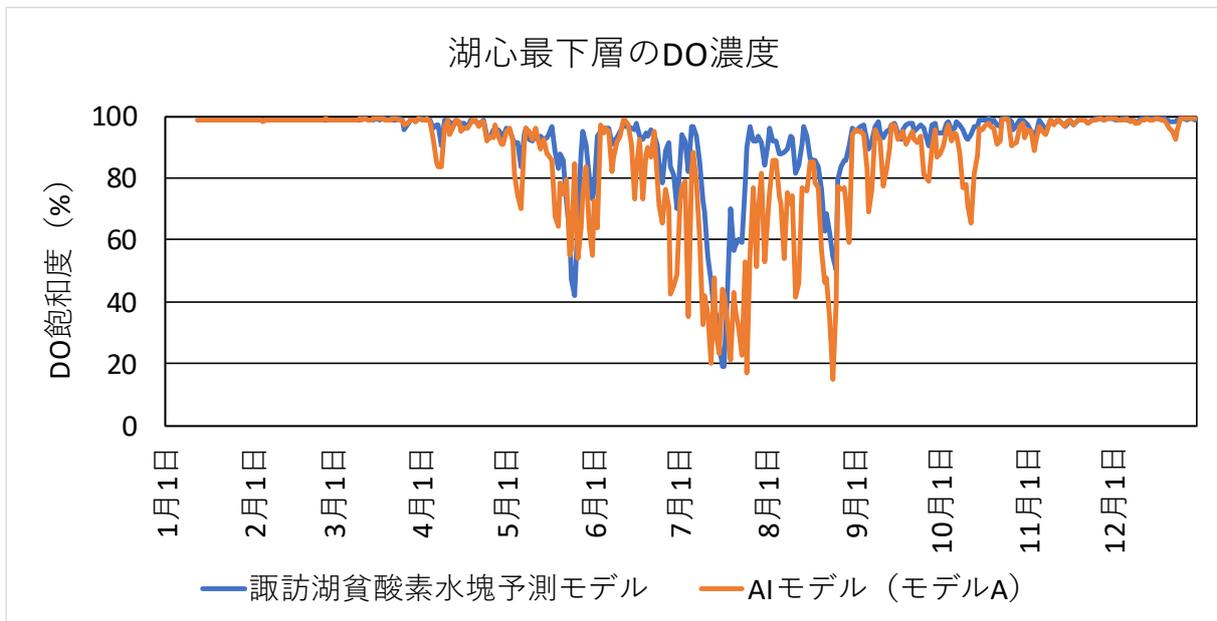


図 2.71 学習に用いていない気象条件(ケース 11)の AI を用いた交差検証の結果

2.6.8 貧酸素予測ソフトの構築（分析結果を活用するための工夫）

分析結果を活用するための工夫として、気象データおよび実測データを準備することで、モデルによる分析～可視化までを含めた貧酸素予測ソフトを構築した。貧酸素予測ソフトが担う目的としては、2週間先の貧酸素水塊の発生又は拡大の状況を予測・可視化することである。貧酸素予測ソフトの概要および表示画面を図 2.72および図 2.73に示す。

なお、貧酸素予測ソフトの使用マニュアルについては、別資料で説明している。



図 2.72 貧酸素予測ソフトの概要

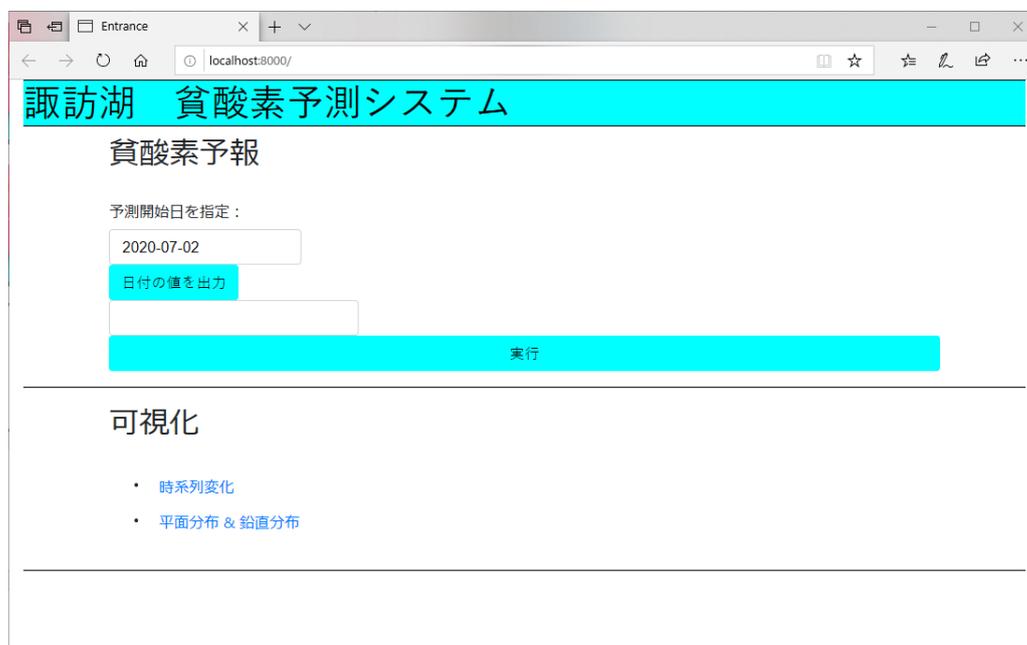


図 2.73(1) 貧酸素予測ソフトの表示画面(トップ画面)

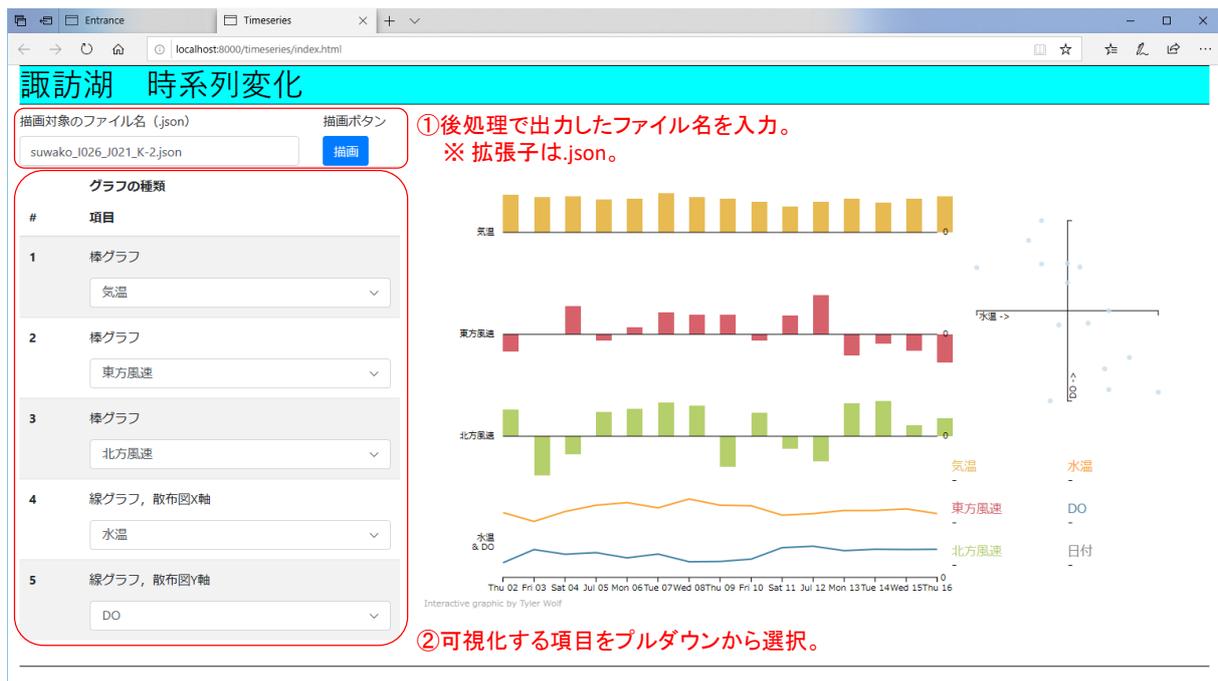


図 2.73(2) 貧酸素予測ソフトの表示画面(時系列変化)

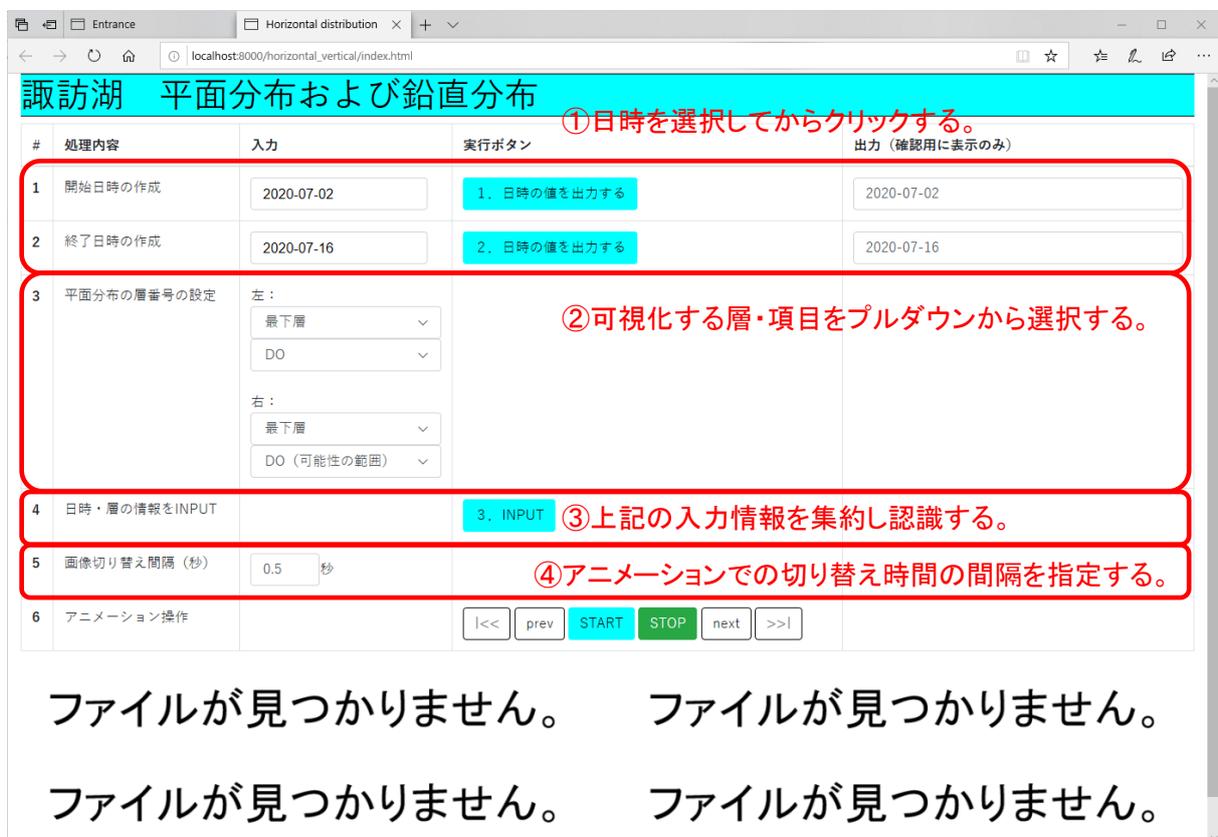


図 2.73(3) 貧酸素予測ソフトの表示画面(平面分布および鉛直分布、上部)

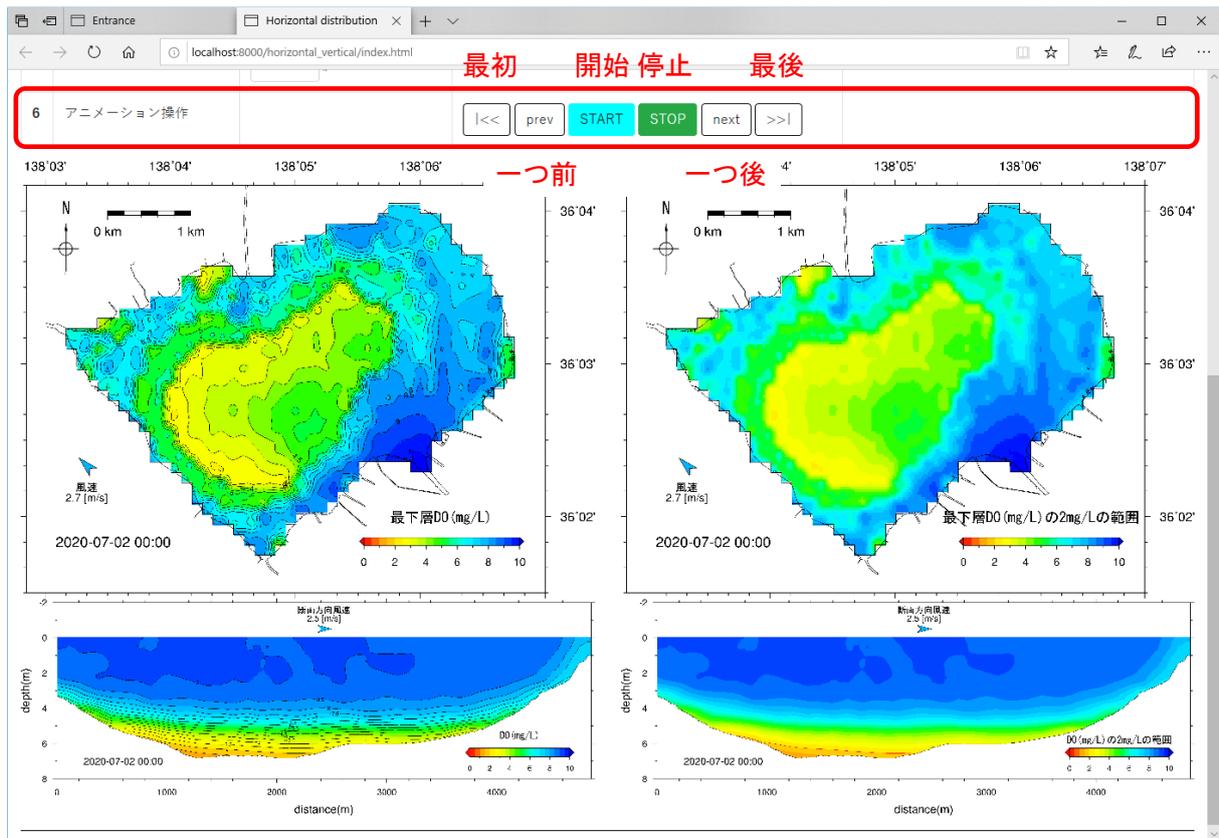


図 2.73(4) 貧酸素予測ソフトの表示画面(平面分布および鉛直分布、下部)

2.7 検討会の開催

2.7.1 日時

令和2年1月7日（火） 13時30分～16時30分

2.7.2 場所

長野県諏訪合同庁舎講堂（5階）

2.7.3 出席者

氏名		所属・役職
委員長	沖野 外輝夫	国立大学法人信州大学 名誉教授
委員	傳田 正利	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 水災害研究グループ 主任研究員
	豊田 政史	国立大学法人信州大学 工学部水環境・土木工学科 准教授
	長濱 祐美	茨城県霞ヶ浦環境科学センター 湖沼環境研究室 技師（任期付研究員）
	宮原 裕一	国立大学法人信州大学 理学部附属湖沼高地教育研究センター 諏訪臨湖実験所 教授
長野県環境部	中島 智章	長野県環境部水大気環境課 水質保全係長
	市川 真吾	長野県環境部水大気環境課 主任

2.7.4 配布資料

- ・ 資料-1：設置要綱
- ・ 資料-2.1：貧酸素水塊の発生及び拡大状況の整理
- ・ 資料-2.2：諏訪湖貧酸素水塊モデルとその計算結果
- ・ 資料-2.3：貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析
- ・ 資料-2.4：貧酸素水塊予測ソフトへの分析結果の反映
- ・ 参考資料-1 仕様書
- ・ 参考資料-2 貧酸素水塊の発生及び拡大状況の整理
- ・ 参考資料-3 諏訪湖貧酸素水塊モデルとその計算結果・

2.7.5 議事

- ・ 貧酸素水塊の発生及び拡大状況の整理
- ・ 諏訪湖貧酸素水塊モデルとその計算結果
- ・ 貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析
- ・ 貧酸素水塊予測ソフトへの分析結果の反映

2.7.6 検討会の様子



2.7.7 指摘と対応

検討会で頂いた指摘と対応は以下のとおりである。

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
1	当事業は専門的、難解なものであるため、3月に一般住民向けの説明会を開催する際は分かり易い説明が必要。(沖野委員)	専門用語等を多用せず、一般の方にわかりやすい資料作成を心掛ける	分かり易い資料の作成とプレゼンを心がける。 一般住民向けの説明会では、前段のモデルの説明等は省略し、分析結果やソフトでどのようなことが分かるか、といった説明に注力したい。詳しい内容については、委員等に相談しながら検討したい。
2	成果が全てまとまった後に説明会を開催する方が効果的ではないか。(沖野委員)	—	当事業は単年度のものであり、貧酸素水塊の発生・拡大条件の分析そのものは、説明会の前に終わらせて、説明会ではその結果を分かり易く伝えることになる。説明会で頂戴した意見については、事業報告書にまとめる形で対応したい。
2. 4 貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析について			
(1)貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析について (資料 2-1)			
3	連続観測の結果から、湖内の流動 (例えば冷たい水の時間ごとの動きなど) は見て取れたか。(宮原委員)	当日の回答通り	連続観測の結果を見ると、特に底層のDO値が頻繁に上下していた。 観測機器の揺れにより数値がぶれている可能性もあるが、連続測定の結果のみでは考察は難しいので、水質予測シミュレーション結果と併せて分析している。 風の動きにより水の流れが起き、冷たい水の偏りが色濃く出ているように考察される。

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
4	4 ページ以降にDOと水温のコンター図が載っているが、図のような状態で固定化されているわけではなく、同日でも時間によって変化するという理解でよいか。 (宮原委員)	指摘の通り	そのとおり。 当初は、連続観測を行った6地点のみの結果で同時刻のコンター図を描いてみたが、測定地点数が少なく、水平分布の把握が困難であったため、21地点の測定結果に、連続観測データの同日12時のものを加えたデータを用いて図を描いている。
5	2017年と2018年の同月のデータを見比べると、貧酸素発生場所が異なるが、その要因は考察できるか。(傳田委員)	2018年7月は明確に気温が高い傾向があり、それに伴って水温躍層も強力になっています。これに時々風の影響が加わって分布状況が変化しているものと考えられる。	おそらく風の影響によるものと考えます。数日間の平均的な風として、諏訪湖は東南東と北西方面の風が卓越しており、より強い風の向きに影響されるものと考察される。
6	年度毎の気象状況の違いを教えてください。 貧酸素水塊の発生時期のみでも構わないので、年度毎の違いや特徴を比較できれば良いと思う。(豊田委員)	2018年7月は明確に気温が高い傾向があり、それに伴って水温躍層も強力になっています。 p.2-115、図2.48などには成層強度なども3か年比較できるように示していますが、2018年7月は他の期間と比べて明確に大きく湖心最下層は長期間の無酸素状態が継続している。	資料2-2の15～17ページに関連データを載せている。両者の違いを明確に示したものではないが、風の状況は東西方向の風が強い。気象に大きな違いはないが、2018年の方が気温が高い。水温にも差が出ており、成層状況が異なるものと想定される。 対応したい。
7	21地点の測定(全域測定)については、2ページに記載のとおり地点によって測定時間に5時間程度の差があり、その間に温度(特に表層の温度)に変化が生じていると思われる。温度補正がされるとより実状に近い値が出せるので、検討できれば良い。 (沖野座長)	表層水温の温度補正を行い、補正前後の図面を比較した例を報告書で示した。	
(2)諏訪湖貧酸素水塊モデルとその計算結果(資料2-2)			

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3	検討内容と今後のスケジュールについて		
8	<p>図 2.2 について、例えば 26 ページではモデルの計算値と連続測定値のトレンドは合っているが、計算値の方が振幅が少ないように見える。シミュレーション上ではどのような形で出ているか。</p> <p>湖岸と沖合では差が出るものか。 (傳田委員)</p>	<p>当日の回答のとおり。ただし、10 分間隔の計算結果においても観測値のような大きな変動は見られないことから、観測値において水塊が鉛直方向にも短時間で変動している状況にモデルが追従できていない可能性が考えられる</p>	<p>モデルの計算値は 1 時間ピッチの計算結果を表示している一方、水位以外の連続測定は 10 分間隔の実測値であることから、計算値に比べて振幅が大きい。</p> <p>湖岸の地点 A が大きくずれている。沖野座長からも指摘があったが、砥川の影響があるものと考えられる。</p>
9	<p>瞬間的な貧酸素水塊の発生について、沿岸部については今回のモデルでは値が均一化されるような状態になっているが、問題ないという考えで進めているということか。(長濱委員)</p> <p>地点 D や湖心など、深い地点のシミュレーション結果は比較的あっているもので、そういった目的であればうまくいっているように感じる。(沖野座長)</p>	<p>本業務においては、湖心部を含む比較的水深の深い場所で生じる貧酸素水塊の発生・拡大に焦点をあてていることから、この計算結果を用いて分析と解析を行うことに問題はないと考える</p>	<p>諏訪湖の地形・気象条件を考慮し、湖心を中心とした深部の貧酸素水塊の挙動に着目している。</p> <p>浅い地点については、ヒシ帯などに影響により貧酸素が見られるなど状況が異なるため、別途考察している。</p>
10	<p>沖合では拡散モデルが合いやすいが、湖心と沿岸部を同様の手法で実施すると、どうしても一致しない。例えば、川から入る水は水温差により塊となって湖に入るため、沿岸部ではより影響が顕著に出るよう感じる。</p> <p>今回の事業内容とは異なるが、この辺りのずれの感度分析を行っていけば、要因が見えてくる可能性があり、今後の課題である。(沖野座長)</p>	<p>今後、河川の流量・水温を精査することにより、河川水の流入による拡散状況の再現精度が向上するものと考えられる</p>	<p>地点 A 付近の塚間川沖の測定結果では貧酸素は見られておらず、その辺りをモデルで再現することについては、詰め切れていない状況である。</p>
11	<p>23 ページの水温の計算値が全体的に高いが、何か要因があるか。(豊田委員)</p>	<p>当日の回答通り</p>	<p>詳細は不明であるが、流入河川の冷たい水が入ってきた可能性が考えられる。</p>

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
12	<p>硫黄系はモデルに要因として含まれているか。(沖野座長)</p> <p>そのようにパラメーターに組み込まれていることを示すためにも、モデルの概念図には、硫化水素等関係する項目を漏れなく記載した方がよい。</p>	<p>モデル概念図の底泥の構成要素中に硫黄系の物質名を記載した</p>	<p>単体では含めていないが。底泥から硫化水素として溶出し、水中で酸素消費物質となる機構をモデルに含めている。</p> <p>追記したい。</p>
(3)貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析 (資料 2-3)			
13	<p>アニメーション (動画) に風のデータを追加して表示してはどうか。風と貧酸素水塊の動きを連動して解釈していくと分かりやすい。(傳田委員)</p>	<p>事業報告会用のパワーポイントにおいて、立体的な貧酸素水塊の境界面 (2,3,4mg/L) に風を加えたアニメーションを掲載した</p>	<p>そのように対応したい。一般住民向けの説明会では風も合わせて表示したい。この他、できれば立体的に表示するなど、可能な限り分かりやすく工夫したい。</p>
14	<p>「不飽和度」という言葉は意味が伝わりづらく、また DO 値が過飽和状態であることを示すことができないので、別の表現を検討されたい。(沖野座長)</p>	<p>全て「DO 飽和度」に修正した</p>	<p>分かり易い別の表現を検討したい。夏場の表層は DO が過飽和状態になっているものと考えている。</p>
15	<p>気温が高いほうが風と流動の関係が高くなる傾向とされているが、そのメカニズムは。(豊田委員)</p>	<p>成層強度を整理し比較を行った。明確な傾向を示す結果ではなかったため、結果は資料編に掲載した</p>	<p>本来であれば表層と底層の水温差や成層強度と比較することが本筋と考えるが、数値を当て込んでみたら、成層強度より気温の方が関係が高い傾向であった。より物理的な考察が行えるよう、検討したい。</p>
16	<p>流動は全層で予測を行っているか。(豊田委員)</p>	<p>解析の対象は水温の第三モードであり、水温の水平的な勾配のようなものを示している。3907 個の全層の値を参照している</p>	<p>今回の予測は 16 ページに記載のモード 3 の値により実施しており、湖内の水温の傾きの動きを立体的に予測することにより行っているが、流動そのものを予測していない。</p>
17	<p>モードの寄与率の推移について説明したほうがよいのではないか。(傳田委員)</p>	<p>資料編に詳細を掲載した</p>	<p>3907 個の格子について分析を行ったところ、モード 4 までで寄与率 95% 程度を示しており、それ以下のものは単体では影響は少ないものと判断した。</p>

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3	検討内容と今後のスケジュールについて		
18	16 ページの図 4.4 で示されている第3モードと第4モードはいずれも水温の水平的な変動ということであるが、その違いは何か。(中島係長)	資料編に詳細を掲載した	ともに水平的な水温差の動きを示しているが、形が複雑であったため、2つのモードに分けている。 第3モードは東側に赤い部分(水温が高い部分)が偏っており、第4モードは南側に偏っている。
19	現在想定されていないことに気付かせることがAI分析のメリットのひとつとっていたが、予想外の要因は無かった印象。今回の検証により「これまで夏場の貧酸素水塊の要因として想定されてきたことが科学的に支持された」という理解でよいか。 なお、第1モード、第2モードは、水温の季節変動によるものであり、例年当たり前のように起きることであるため、外しているということか。(中島係長)	指摘の通り 指摘の通り	そのとおりである。 AIの分析結果が疑似相関に影響を受ける可能性があるため、まずは資料2-3の工程により、人の手でモデルにより解析したところ。 そのとおりである。
20	DO と水温の変化から流動を把握しているが、DO から見た水塊と水温から見た水塊の位置がほぼ一致することについて、もう少し定性的に示せばよい。そうすれば、その後の水温や流動の説明が理解しやすくなると思う。(長濱委員)	風と流動との関係は、報告書 2.5.5 節後半に時期別の周波数の特性と水温躍層などの状態との体系的な比較として図を差し替えた	そのようにしたい。
21	11 ページの風と流動との相関について、1月から3月までの間、風と流動の相関が高いように見えるが、原因として考えられるものはあるか。 夏場のデータのみ取り出しても良いかと思うが、分かりやすく見せ方を変えてはどうか。(長濱委員)	風と流動との関係は、報告書 2.5.5 節後半に時期別の周波数の特性と水温躍層などの状態との体系的な比較として図を差し替えた	不明であるため、検討したい。 風と流動の応答が悪い部分について、どのような気温の構成であったか、可視化できるようにしたい。 対応したい。

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
22	前段で DO 不飽和度と水温構造の比較をする際に処理を行うことで、DO 不飽和度と水温の寄与率が高いことを説明し、その後水温の分布と風の関連を説明することで、論理的につながるのではないかと。(傳田委員)	風と流動との関係は、報告書 2.5.5 節後半に時期別の周波数の特性と水温躍層などの状態との体系的な比較として図を差し替えた 水温と DO 飽和度の比較などは、総合的な分析(2.5.8 節)に反映した	可能であるので、そのように実施したい。
23	水温と DO は一見関係があるように見えるが、直接の関係ではなく、この間に幾つかの要素が含まれており、ここを説明できれば分かりやすいのでは。(沖野座長)	データ分析の前段として、報告書の図 2.30 に各変数の連関図を整理した	流動や風など、因果関係を把握している要素を可視化できるように対応したい。
24	アニメーション(動画)や図面から、上川の冷たい水が影響しているような印象を受けたが、そういった要素は計算に含まれているか。(宮原委員)	河川水温は気温との相関式から設定している	河川水温については気温からの推定値を用いて計算している。ただ、気温との相関から外れたものは含まれていないので、実際の水温が相関から外れている場合は検討する必要がある。
(4)貧酸素水塊予測ソフトへの分析結果の反映(資料 2-4)			
25	モデル A については、流動計算の結果を使って、アメダスの気象データを反映させたという整理でよいか。(傳田委員)	指摘の通り	概要はそのとおりである。詳細は参考資料の 24 ページに記載している。
26	流動計算には河川流量などの項目が計算結果として内蔵されており、それをもとに予測しているということか。(傳田委員)	指摘の通り	予測はアメダスのみで行っている。例えば河川流量などを直接入力しているわけではなく、気象データや雲量など河川流量に関連するような項目をもとに河川水量を推測し、予測を実施している。

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
27	今回は3カ年のデータで予測を実施しているが、過去のデータなどをプレイバックすれば、かなりの学習精度になるか。 (傳田委員)	指摘の通り	気象データを差し替えれば、無数のデータが作成でき、それをもとに学習できることが大きな特徴である。実際ではありえないような気象条件でも計算できるため、過去のみならず、温暖化等将来の気候変動に対する予測にも活用できる。
28	モデル構築に用いたデータの一部を間引き、検証することは可能か。(傳田委員)	2016、2017のみを学習に用いて、2018年の検証は実施済み。報告書において、仮想の気象データなどを活用したバリデーション結果を示した(2.6.7節)	2016年、2017年のデータを学習に用い、2018年の数値を予測するといったバリデーションは検証の中で実施している。 多くのデータを採取すれば、クロスバリデーションに活用することができる。
29	事業の範囲外であるが、ソフトにリアルタイム測定の結果や、アメダス等のデータを自動で取り込んで予測が行われるような機能が組み込まれれば、より効果的なものとなる。 (傳田委員)	技術的に可能であり、報告書において今後の課題として反映した	今回説明した内容は簡易的な形であるので、より良いシステムを検討したい。
30	モデルAとモデルBは一体的なものとして考えてよいか。 (中島係長)	指摘の通り	そのとおりである。
31	気象予報などを踏まえて12日間の将来予想データを与えることができれば、その条件下の将来予測が行えるということか。 茨城県のアオコ予測システムのような運用も可能ということか。 (中島係長)	指摘の通り	そのとおりである。

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3	検討内容と今後のスケジュールについて		
32	16 ページで水温・流動に対する注目度が掲載されているが、予測ソフトに用いる水温や流動の値については、シミュレーションで算出された値に対してどのくらい注目したか、ということでしょうか。(長濱委員)	指摘の通り	そのとおりである。
33	夏場の気温等について、アメダスの実測値より、シミュレーションの値を重要視しているということか。(長濱委員)	指摘の通り	そのようになる。 気温や風などの注目度のつながりについては解析を進める必要があるが、夏場の気温についてはあまり使っていない状態である。
34	DO を求めるため、水温・流動により、気温を含めた動きを見ているという理解でよいでしょうか。(長濱委員)	指摘の通り	そのとおりである。
35	モデルAはもっと長期で学習することができるように思えた。一方で、DO の実測値が多くないことを考えると、モデルAばかりでは学習させても、モデルBの学習量が増えないため、あまり効果がないように感じるが、いかがか。(長濱委員)	連続調査結果は日変動を取り除いた値とし(定点の時間帯と整合させる)、その検討内容を報告書に取りまとめた	ジョイント学習を検討しており、何らかの形で3月までに間に合わせたい。 ただ、観測地点の予測は実施できるが、諏訪湖全体でどのくらい確からしく予測を行えるか、ということは難しい課題である。
36	モデルBに実測値を入れることで、シミュレーションのズレ等を補正できると思うので、できるだけモデルBについて、DO 実測値をもとに多様な学習を行えばよい。(長濱委員)	報告書においてモデル B の学習を再検討した結果を示した (2.6.6(3)節)	承知した。
37	今回の予測ソフトは、いわゆる気象予測、天気予報と同様の仕組みということか。(沖野座長)	傳田委員から解説いただいた通り	気象予測とは違う仕組みである。(いであ) 気象予測は物理的な事象をもとに、風や雲の動きに条件を与えてアンサンブル予測を行うものであるが、今回の予測ソフトは多くの情報をまとめてA Iに学習させ、要約して予測させるものである。(傳田委員)

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
38	20 ページに今後の活用方法について記載されている。諏訪湖では近いうちに底層溶存酸素量の類型指定を行うこととなるが、評価に当たって重点となる地点の絞込みに活用することは可能か。(宮原委員)	原理的には可能であり、将来的にそのような活用を検討していくことも考えられる	具体的な地点についてはまだ検討できていないが、可能である。
39	漁業の観点から重要な水域など、影響の大きい地点の予測をするために活用できることが大切。 例えばリアルタイムでこの地点、水深、この項目の値があれば予測できるといった項目等を抽出できれば、そこに絞った測定が可能となり、効果的と感じる。 県や信大で測定し、予測結果を公表できれば更に良い。(宮原委員)	報告書において今後の課題として反映した	場所のみであればデータ分析は必要ないが、測定のタイミング等を絞り込むにはデータ分析が必要となる。難しいタスクではあるが、希望が持てる内容であるため、考察したい。
40	将来の気象条件を用いた予測例はあるか。 (豊田委員)	仮想の気象条件を用いた検証を行い、報告に反映した (2.6.8 節)	まだ対応できていないため、3月までに実施したい。
41	資料 2-3 水温の偏差について、冬は表層と底層で水温差がないので、偏差の値そのものが小さいのではないか。(豊田委員)	風と流動との関係は、報告書 2.5.5 節後半に時期別の周波数の特性と水温躍層などの状態との体系的な比較として図を差し替えた。これにより、時期による違いを直接確認いただくことが可能となった	応答時間の絞込みができるところまで考察を行いたい。

No	検討会における指摘・意見等	対応	(参考) 当日の回答
2. 3 検討内容と今後のスケジュールについて			
42	<p>水温の偏差を貧酸素水塊に置き替えているが、酸素濃度で貧酸素水塊を定義していないということか。</p> <p>水温の偏差で水塊を捉えているのであれば、夏場の貧酸素が問題となっていない場合においても、水温差で囲われた水塊を貧酸素水塊として解析している可能性もあるのか。</p> <p>実際の貧酸素状態そのものにターゲットを絞ったモデルに補正しなくてもよいのか。</p> <p>では、貧酸素状態を実際のDO値で定義していないが、夏場のDO値を予測できるという整理でよいか。(中島係長)</p>	<p>貧酸素水塊の体積など、様々な指標に対応した解析を検討し報告書に反映した(2.5.6節、2.5.7節)</p>	<p>そのとおり。DO不飽和度と各項目との相関で確認している。</p> <p>そのとおりである。</p> <p>資料の見せ方が悪く、水温差がクローズアップされてしまっているが、あくまでもターゲットは貧酸素水塊であるので、その辺りを分かりやすく整理したい。</p> <p>そのとおりである。</p>

2.8 事業報告会への出席及び成果の説明

「2.2 関連データの収集」～「2.6.8 貧酸素予測ソフトの構築(分析結果を活用するための工夫)」を踏まえ、事業報告会の資料を作成し、事業報告を行った。

2.8.1 日時

令和2年3月24日(火) 13時00分～15時00分

2.8.2 場所

長野県庁西庁舎2階 パソコン実習室

2.8.3 出席者(県関係者)

機関名	職	氏名
環境保全研究所	次長兼企画総務部長	仙波 道則
水・土壌環境部	部長	本間 健
	主任研究員	宮澤 正徳
	研究員	柳町 信吾
	研究員	小澤 秀明
諏訪地域振興局 環境課	担当係長	塩原 健
木曾地域振興局 環境課	課長補佐	胡桃澤 博司
水大気環境課(事務局)	課長	渡辺 ゆかり
	水質保全係長	中島 智章
	担当係長	村上 隆一
	主任	市川 真吾

2.8.4 配布資料

貧酸素水塊の発生及び拡大条件の分析 事業報告会資料(スライドのプリントアウト)

2.8.5 質疑応答

No.	事業報告会における指摘・意見等	当日の回答
1	スライドNo.15の予測結果の動画では、右側(東側)の湖岸で貧酸素水塊が時々留まっているように見えたが、ヒシ帯の影響か。(宮澤主任研究員)	ヒシ帯のデータを反映しているため、その可能性がある。ただし、モデル上ではヒシ帯を変化させることはできない。
2	スライドNo.12のシミュレーションに利用したデータには流向・流速が載っていないが、どのように流動を再現しているのか。(小澤研究員)	シミュレーション内の計算式による計算途中の値として流向・流速といった流動データが得られている。
3	その流向・流速を可視化することは可能か。(柳町研究員)	可能であり、以前、貧酸素水塊の動きと一緒に動画で見ていただいたこともある。しかし、扱う項目が多くなるため、計算に時間がかかる。

4	流向・流速を報告書に載せることは可能か	可能である。
5	住民向けに分かり易い用語で説明して欲しい。酸素飽和度は分かりにくい。（渡辺課長）	<u>溶存酸素（DO）濃度に統一したい。</u>
6	12日前までのデータを入力することで予測が可能との説明だったが、具体的にどうするのか（塩原担当係長）	例えば、7/1に前日までのデータセットを入力しておけば、12日後の7/12までの気温と風を設定することにより7/12までの予測ができる。設定する気象と風は過去の実測値を用いたり、自由に設定可能。
7	雨といった気象条件は入力項目として考えないのか	モデルの操作を考慮し、入力する項目はなるべく少ない方がよいと考え、気温と風に絞った。
8	気象協会の天気予報のデータを入力することは可能か。（宮澤主任研究員）	可能である。自動的にパソコンに取り込むことは自治体の情報セキュリティの関係を整理する必要があるが、手入力も可能な仕様となっている。
9	スライド No.19を見ると規模の大きな河川の河口付近の重要度が比較的小さくなっているが、これは諏訪湖全体の貧酸素水塊の規模の把握を目的に比較したためであり、局所的な影響が反映されていないということか。特定エリアのDOの把握を目的に比較すれば重要度が大きく変わるという理解でよいか。（仙波次長）	そのとおり。何を目的にするかによって重要度は変わるので、その可能性は高いと考える。
10	指摘については、必ずしも事業報告会資料に反映いただく必要はない。場合によっては事業報告書やその資料編に反映いただいても構わない。	