

(領域気候モデル用) 湖沼凍結モデルの開発

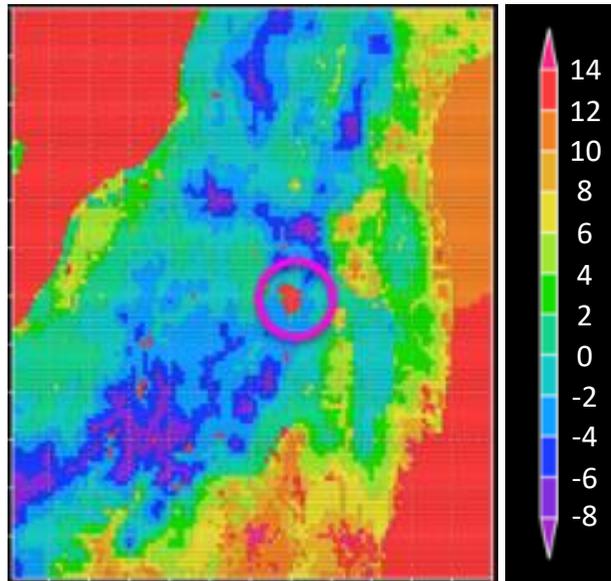
大泉 三津夫・浦田 知哉 (気象大学校)
水口知世 (佐賀地方気象台)

発表内容

- 1. 研究の背景・目的
- 2. モデルの概要と結果
 - 2.1 オフライン版
 - 2.2 NHRCM結合

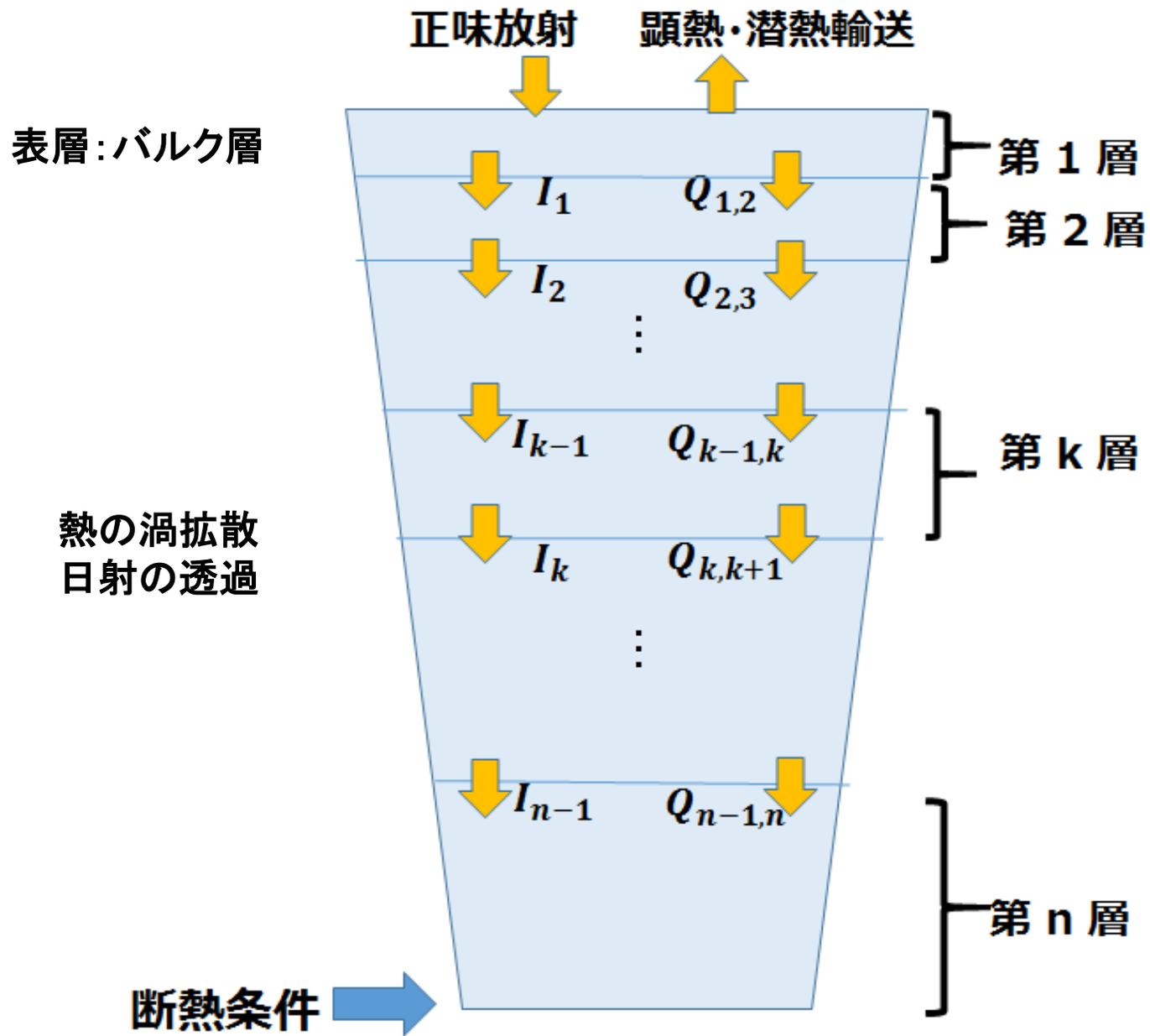
NHRCM

陸面過程に湖沼モデルが組み込まれておらず
湖面水温には同緯度の海面水温(SST)の平均値に基づく温度が使用されていた

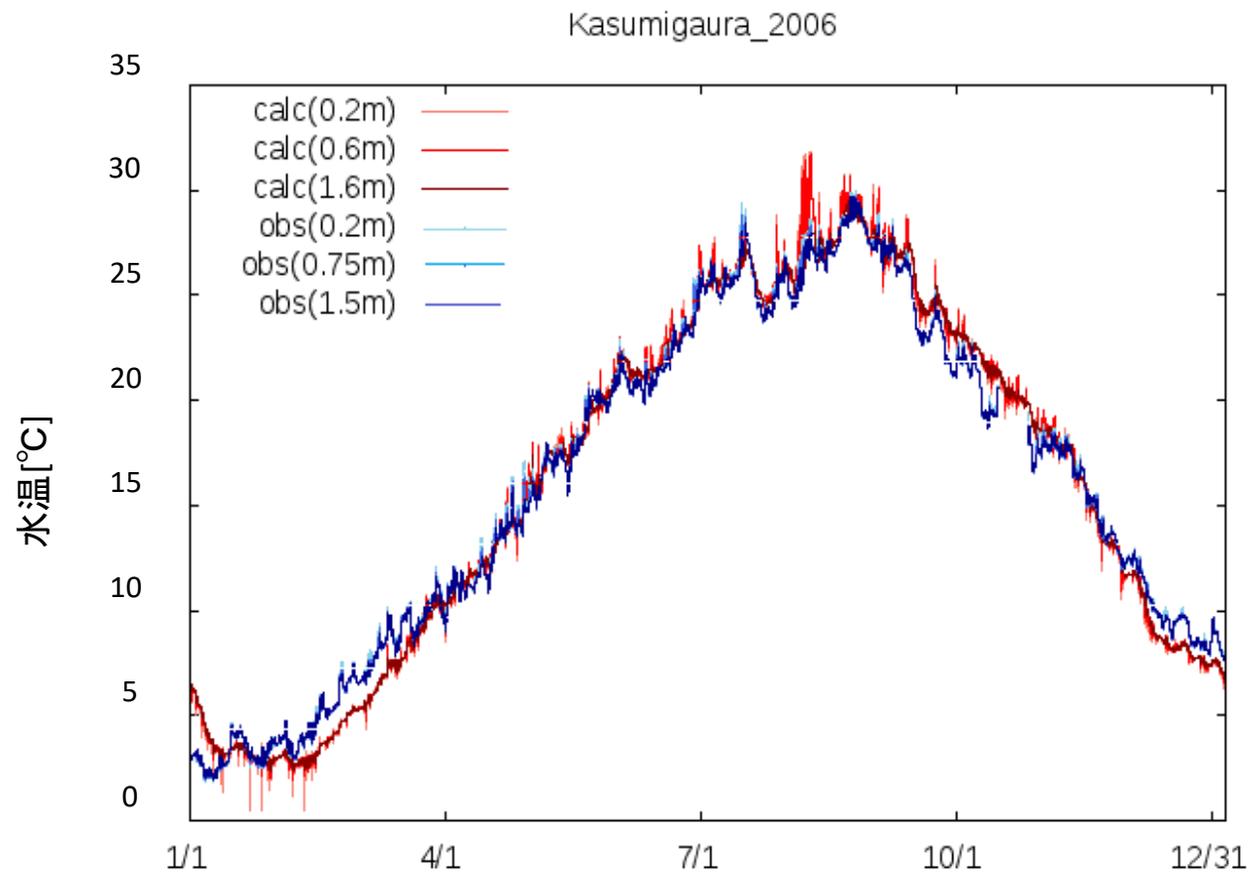


湖沼モデルの開発（田村モデル）
＜田村（17年、ヤマセ研究会）＞

猪苗代湖付近の地表面温度分布図
(同緯度のSSTを湖面水温として使用した場合)



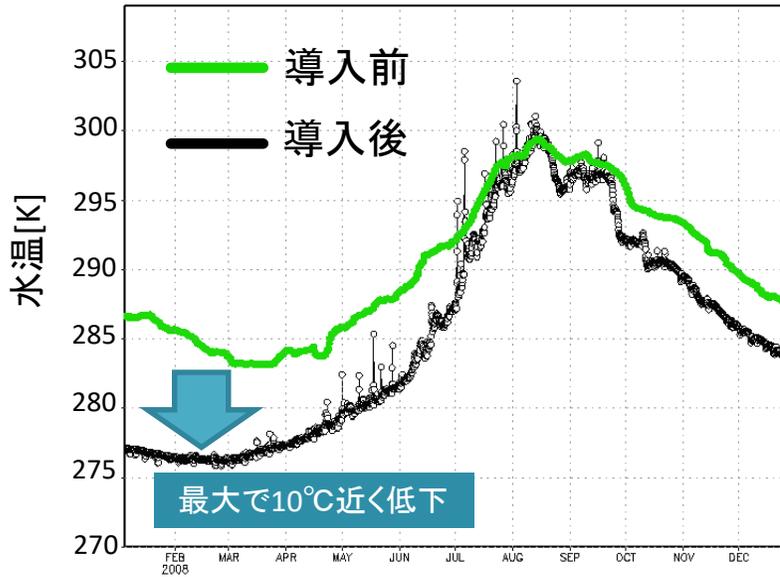
田村モデルの概要



霞ヶ浦の湖面水温 (オフライン版)

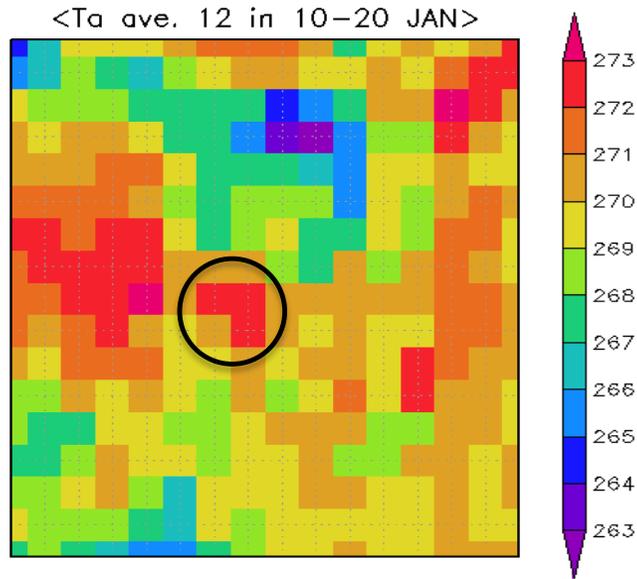
青が観測値、
赤が計算結果

NHRCMでの田村モデルのパフォーマンス <大泉・田村(17年ヤマセ研究会)>

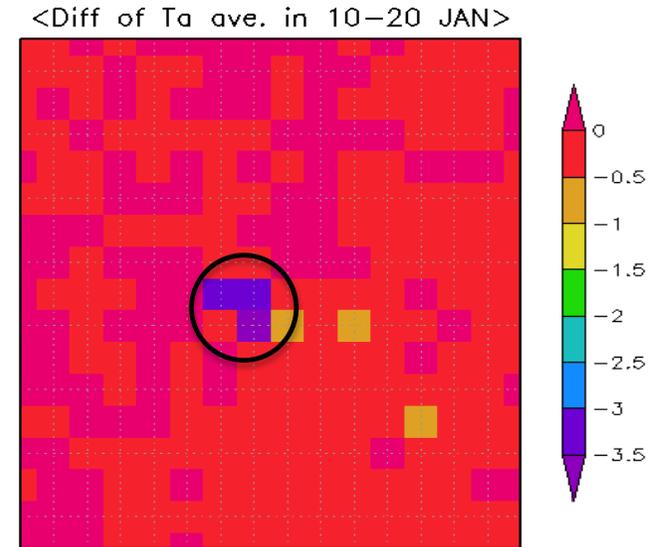


湖面水温へのインパクト(猪苗代湖)

田村モデル導入後の温度分布



気温差(導入後-導入前)の分布



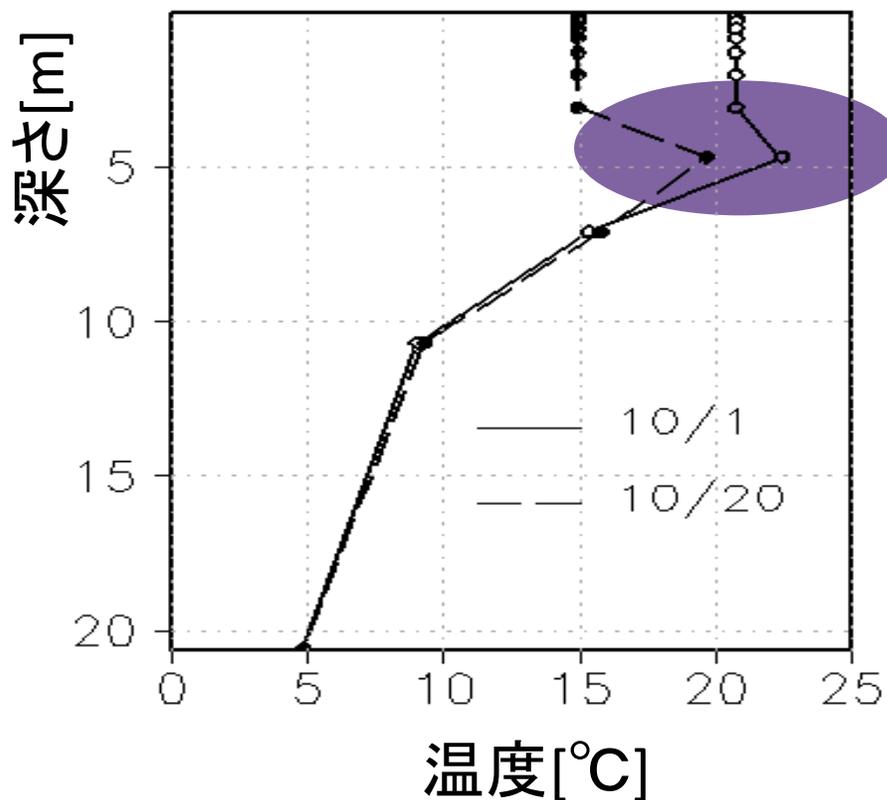
湖周辺の地上気温(1月)へのインパクト

屈斜路湖での実験結果

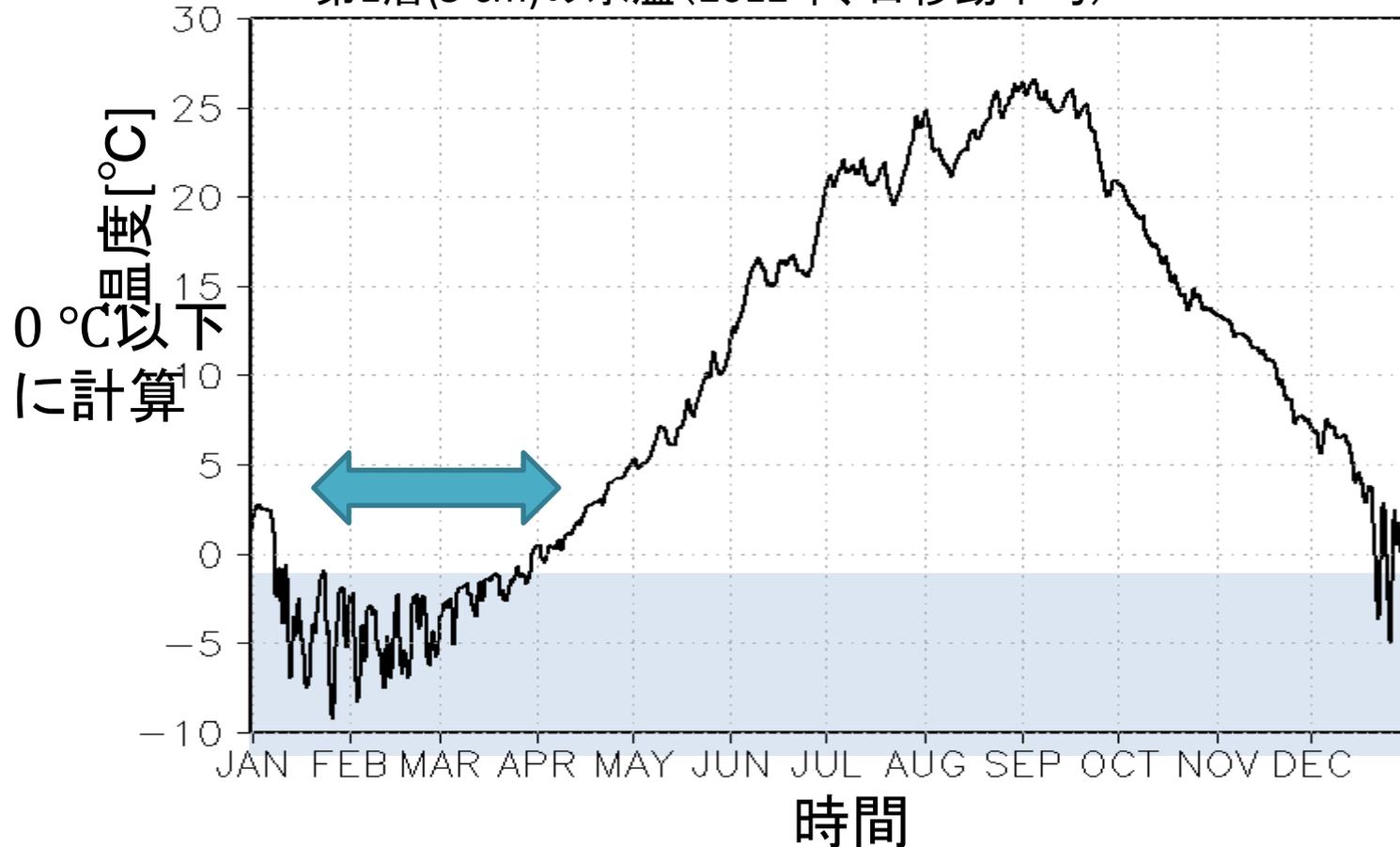
モデル: 田村モデル
期間: 2012年

! 不安定層が長期間存在
! 冬季に水温が 0°C を下回る

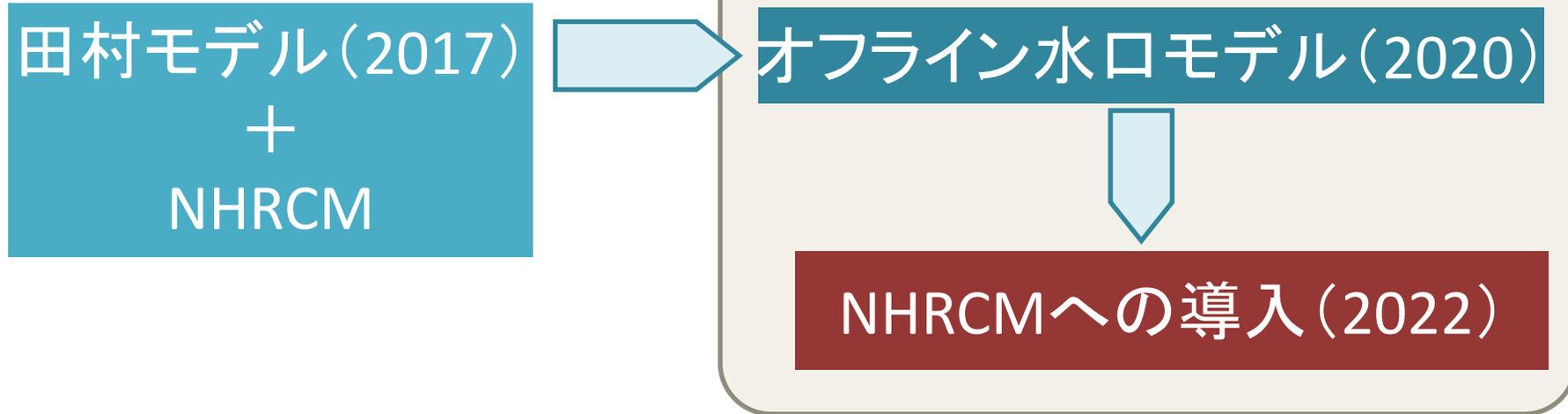
モデルの計算結果
2012年10月(9時)の鉛直水温分布



第1層(5 cm)の水温(2012年、日移動平均)



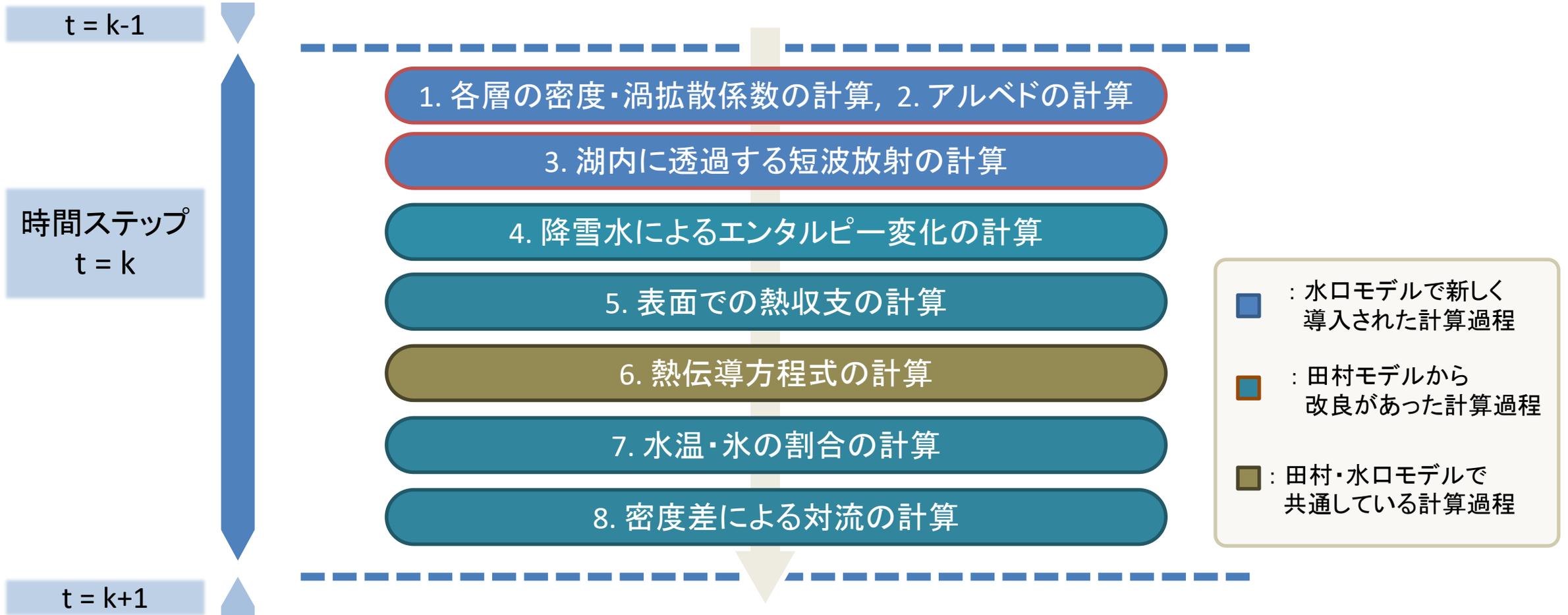
本研究の目的



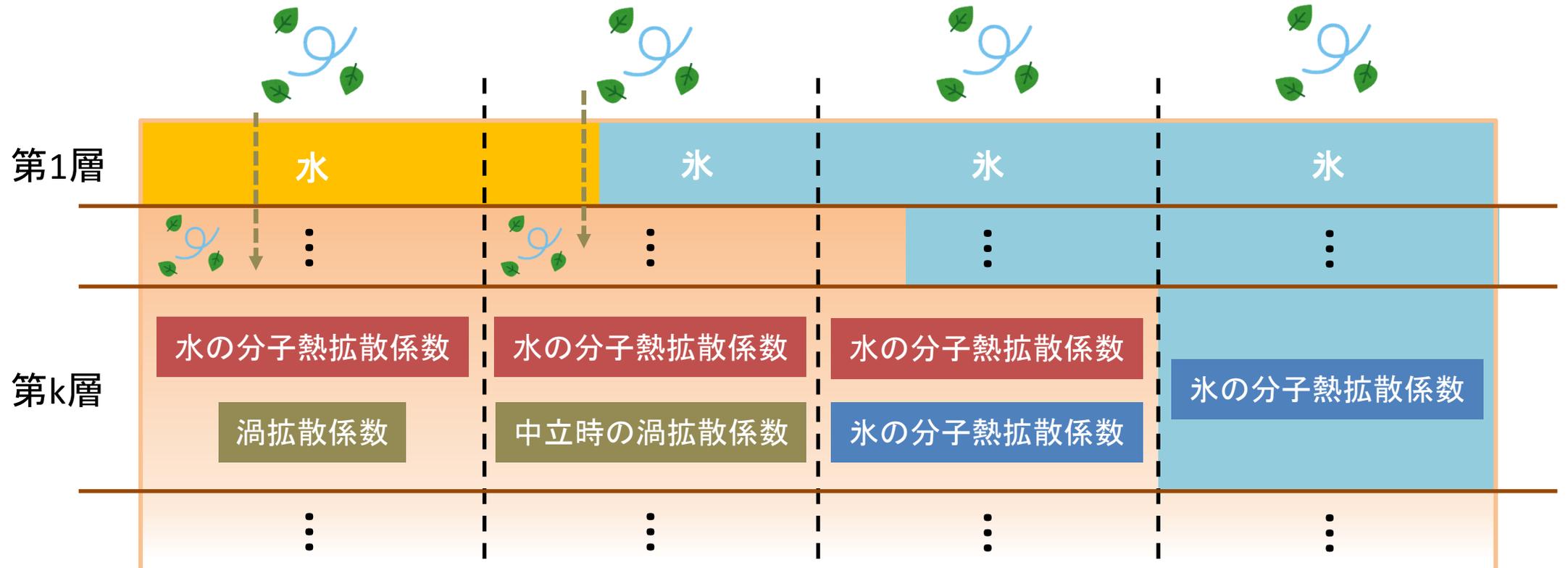
発表内容

- 1. 研究の背景・目的
- 2. モデルの概要と結果
 - 2.1 オフライン版
 - 2.2 NHRCM結合

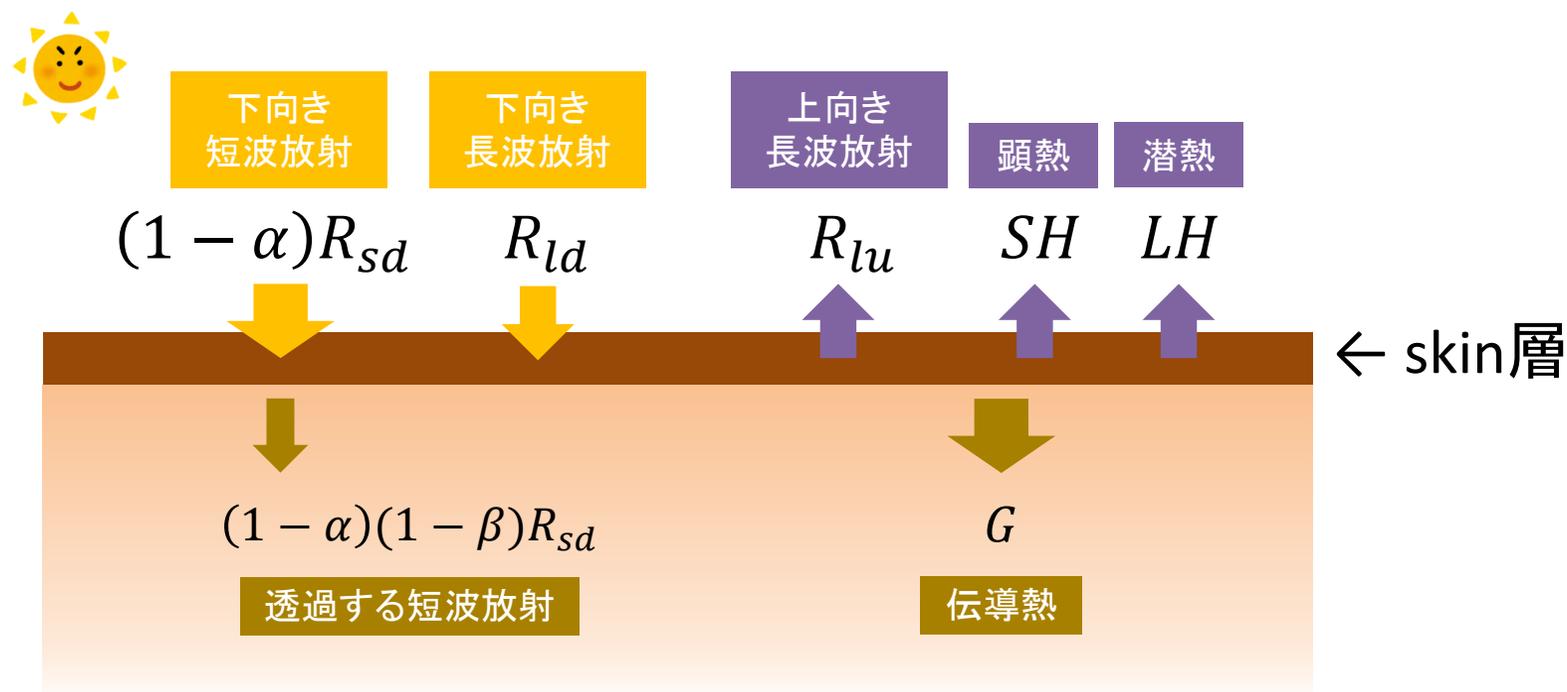
湖沼凍結モデルの諸過程 (NCAR CLM4-LISSSを参照)



水と氷の分布と熱拡散係数の計算方法



表面熱収支 (skin温度の診断)



$$0 = \beta(1 - \alpha)R_{sd} + R_{ld} - R_{lu} - SH - LH - G \quad (\alpha: \text{アルベド}, \beta: \text{透過率})$$

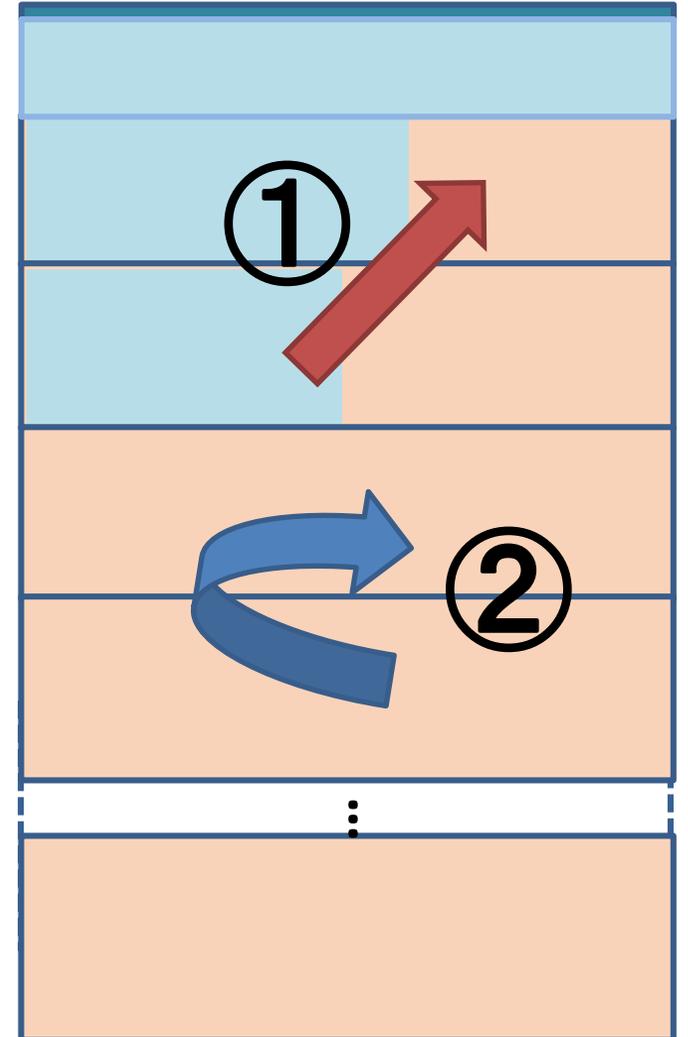
対流過程

1. 下層でできた氷の浮上
2. 水の層での不安定解消

A: 密度傾度から対流を生じさせる



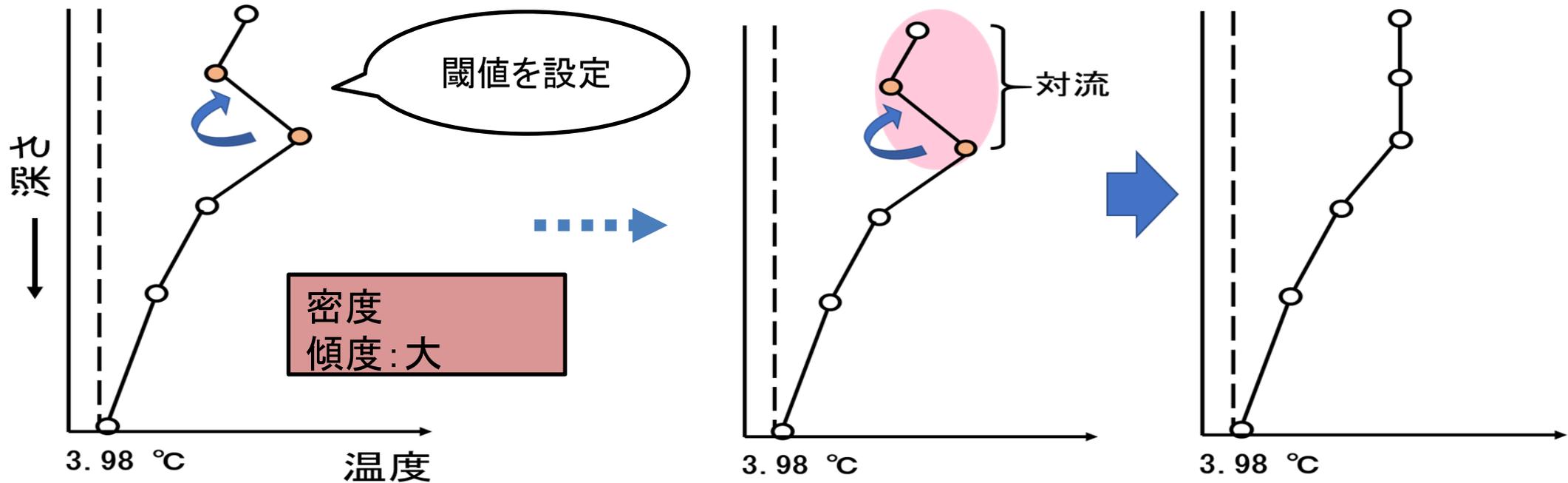
B: 4 °C付近で温度分布から対流を生じさせる



2. 水の層での不安定解消

A: 密度傾度による対流

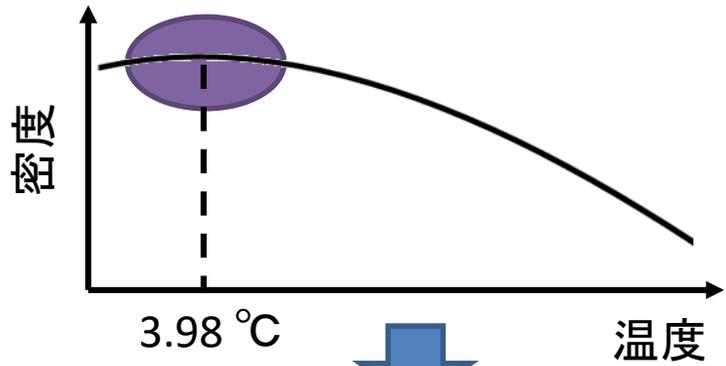
- |密度傾度|が大きい場合 ➡ 不安定となっている層間から水の最上層まで混合を行う



- |密度傾度|が小さい場合 ➡ 不安定となっている層間で混合を行う

B: 4 °C付近での対流

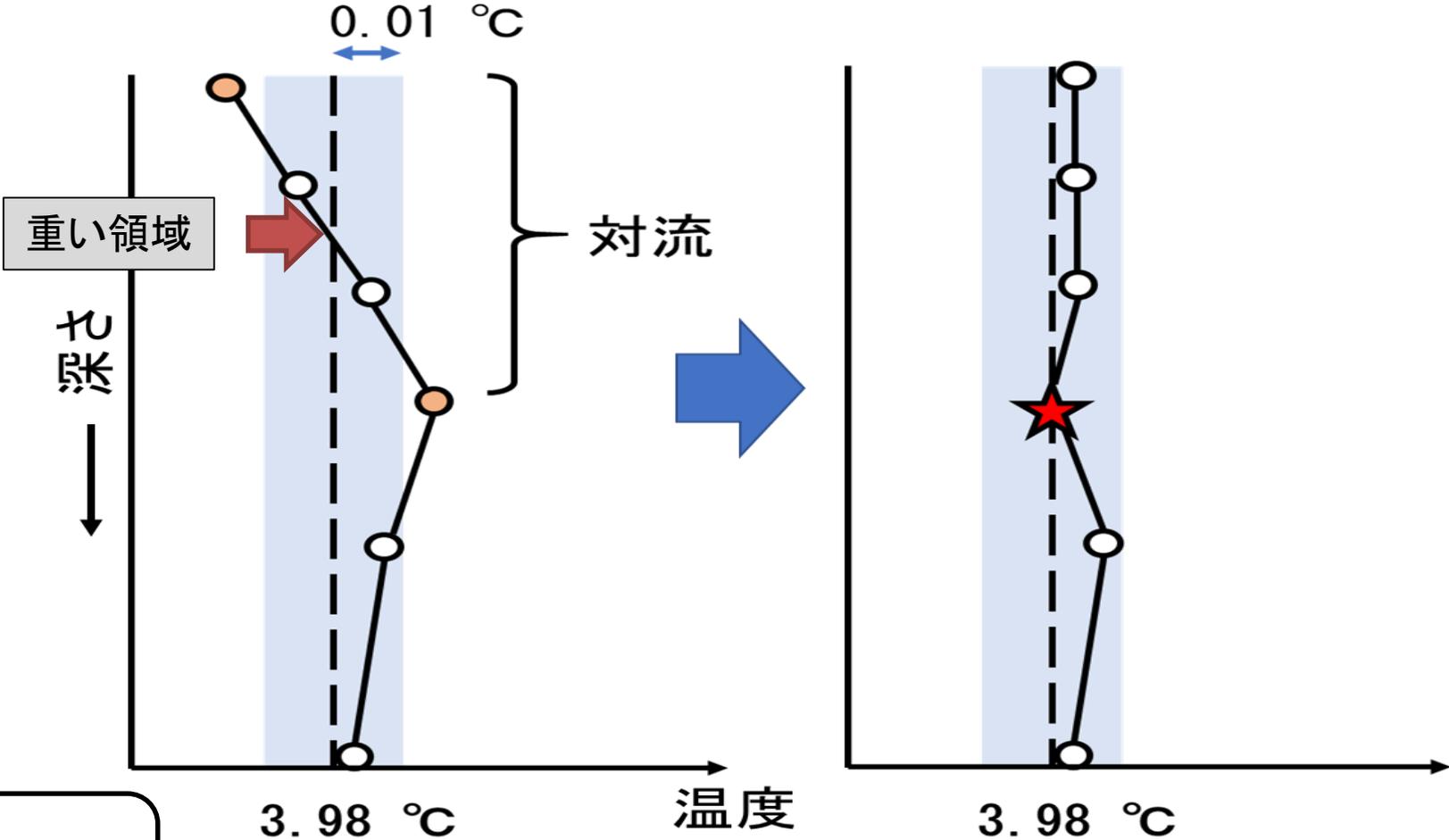
対流が駆動されない



4 °Cをはさむ分布
に着目

対流

- 最下層を3.98 °Cとする
- 残りの層は等温とする



線形近似した場合

検証対象の湖



- **洞爺湖**

比較的南に位置するため、結氷しない

- **屈斜路湖**

北に位置し水深が浅いため、ほぼ毎年結氷する

- **摩周湖**

北に位置するが水深が深く熱容量が大きいため、年によって結氷の有無が異なる

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
結氷の有無	○	○	×	○	×	×	×	○	○

北海道立総合研究機構 気候変動適応策文献紹介シリーズ 第5回

https://www.hro.or.jp/list/environmental/research/ies/katsudo/kikou/kikou_05.html

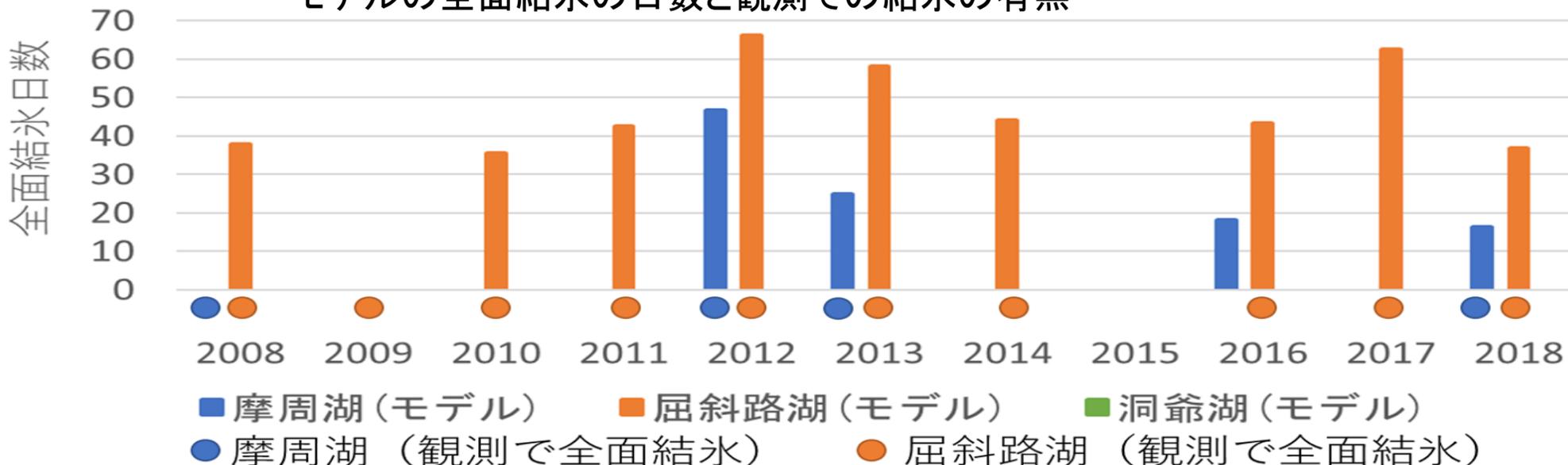
実験条件

- 検証対象の湖：摩周湖、屈斜路湖、洞爺湖
- 大気強制力： 気圧、水蒸気圧、気温、風速、降水量（アメダス＋官署）、
日射・長波放射（毎時推定）
湿球温度（相対湿度より）
- 対象アメダス：川湯（摩周湖・屈斜路湖）、
大岸（洞爺湖）
- 再現期間：2004年～2018年
- モデルの積分時間間隔：（1800秒）→ 180 秒
- 層の厚さ：第1層 0.05 m 公比 1.5
- 計算初期日：2004年1月1日
- 水温初期値：3.9 °C（全層）
- 初期値の影響が残らないように、助走ラン期間（7年間）を設ける

全面結氷の有無

「モデルでの全面結氷」は
第1層が全て氷、とする
 $f_{i1} = 1$

モデルの全面結氷の日数と観測での結氷の有無



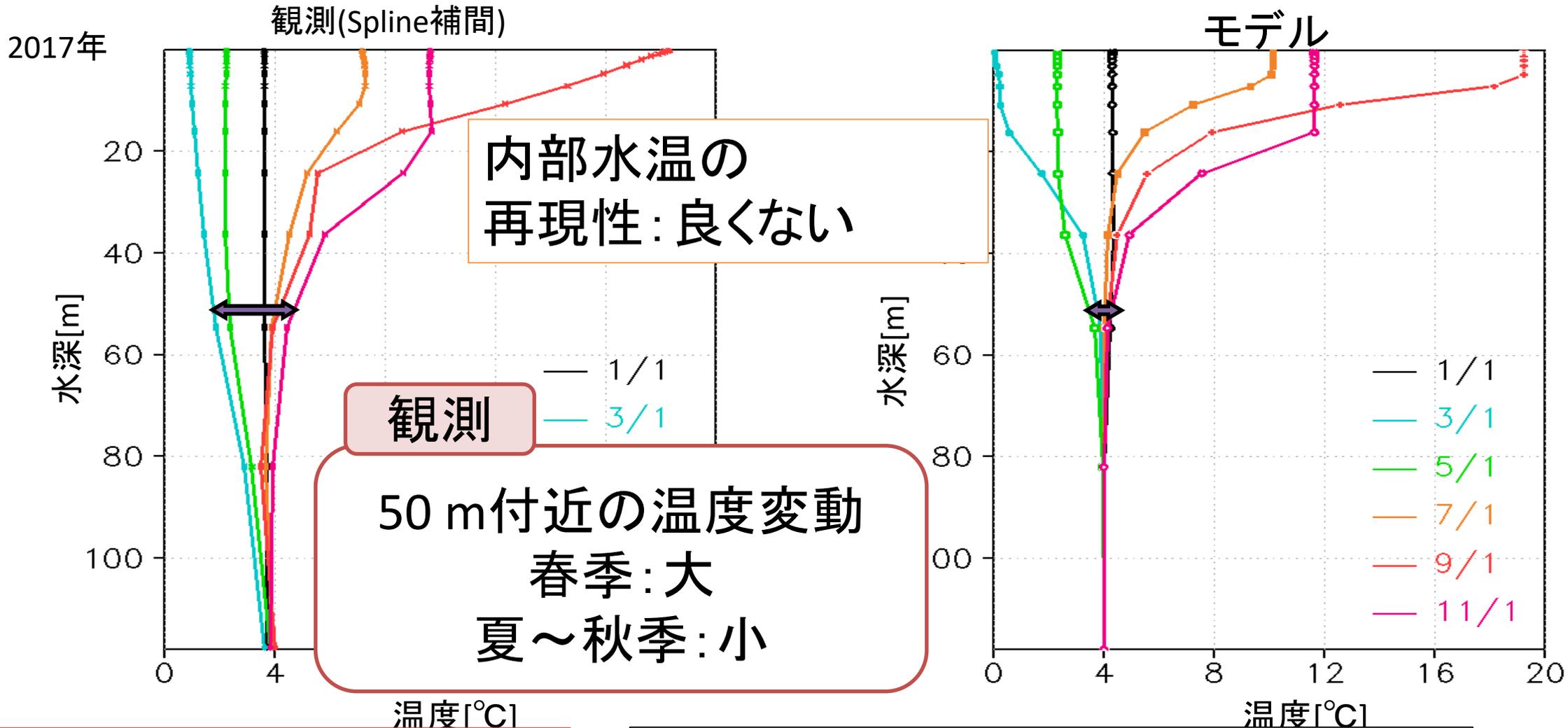
全体の
整合率
91%

全面結氷の有無を基準としたモデルと観測の正誤表

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
摩周湖	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○
屈斜路湖	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
洞爺湖	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

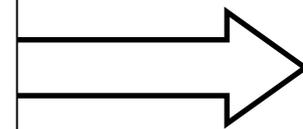
結氷する湖、結氷しない湖の再現が可能に

観測とモデルの比較 (摩周湖)

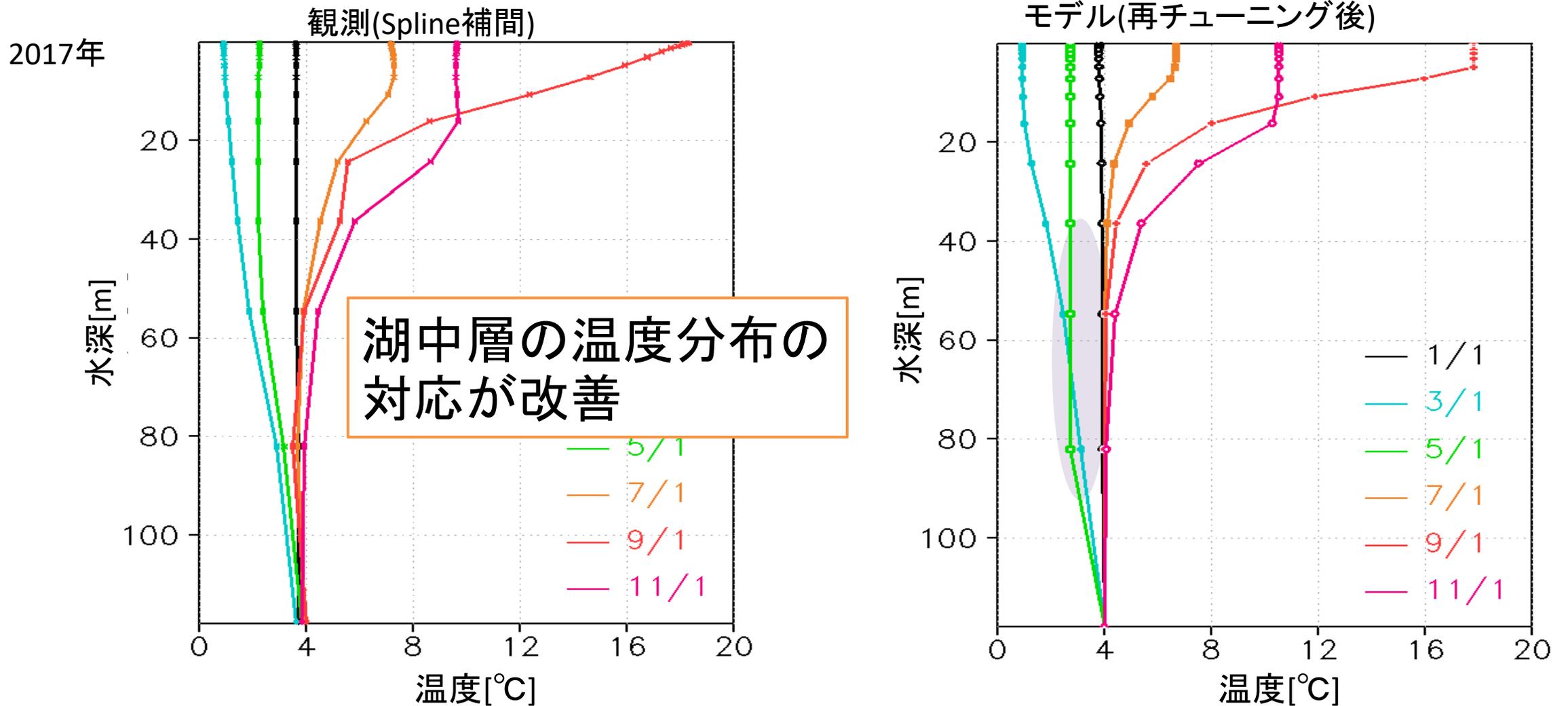


深い湖ではモデルの
中下層での熱輸送: 弱

温度構造の再現性向上を目指した
パラメータの再チューニング



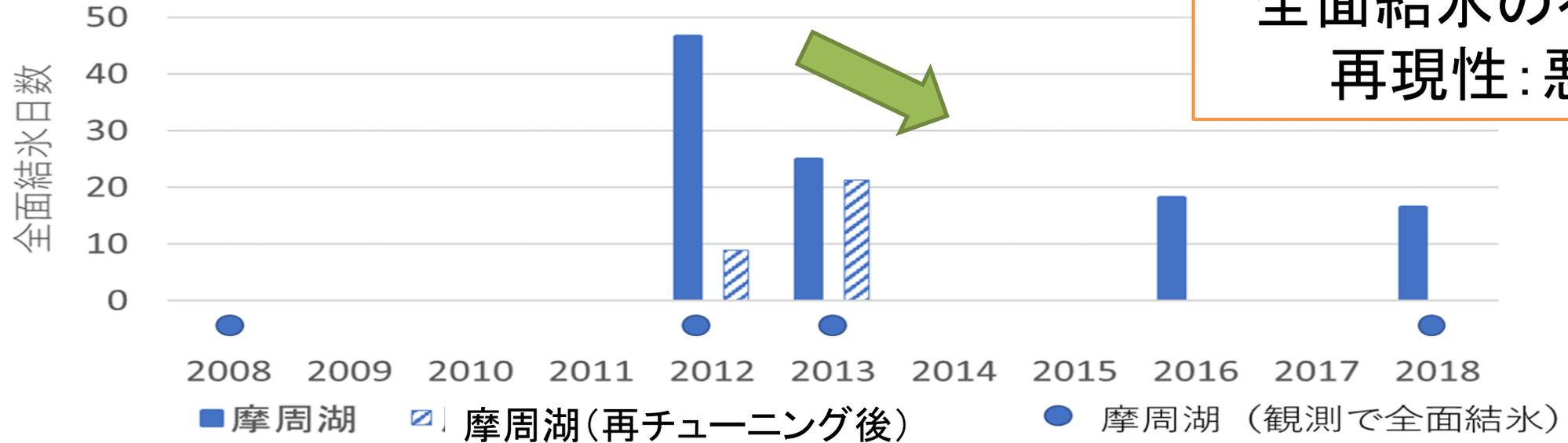
内部温度構造の改善



- 先行研究:CLM4-LISSSでは、深い湖での内部の温度構造の再現性向上のために全ての層間の渦熱拡散係数を一律に大きくしていた
- 本研究では、深さ方向への減衰係数を小さくしている

水口モデルでのまとめ

モデルの全面結氷の日数 (再チューニング後の全面結氷日数)



全面結氷の有無の
再現性:悪化

全面結氷日数に主眼
を置いた設定

内部の温度構造を
改善させた設定

内部温度構造の再現性:悪

全面結氷の有無の再現性:悪

モデルのチューニングパラメータ

※全面結氷する日数を基準とする

層の
設定

渦熱
拡散

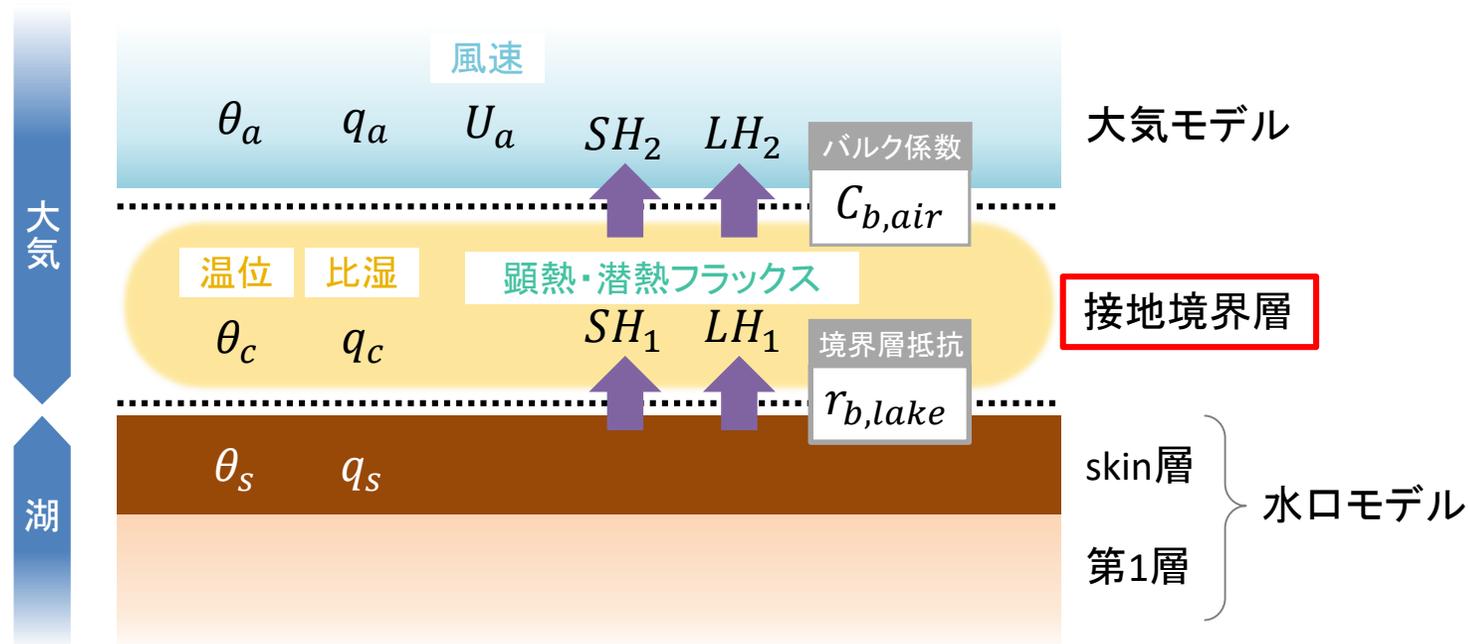
パラメータ	感度実験結果
第1層目の厚さ $D(1)$	やや減
層の深度方向への公比 r $D(k) = D(1)r^{k-1}$	増加
吸光因子 β	横ばい
均質密度場での渦熱拡散係数 $K0$ の減衰係数に係るパラメータ P_{K^*}	増加
深さに依存する渦熱拡散係数のパラメータ P_{kceddy}	減少
氷の下部で駆動させる $K0$ に対する係数 P_{K0}	減少
氷のアルベドの a_0	やや増
氷の対流に関するパラメータ $P_{icemove}$	増加
水の消散係数	やや増
氷の消散係数	やや減
水に対する氷のバルク係数の比	やや増
湖の形状(円柱状、円錐状)	横ばい

発表内容

- 1. 研究の背景・目的
- 2. モデルの概要と結果
 - 2.1 オフライン版
 - 2.2 NHRCM結合

NHRCMとの結合

新たに追加したインターフェース：湖面での顕熱・潜熱フラックスの調整



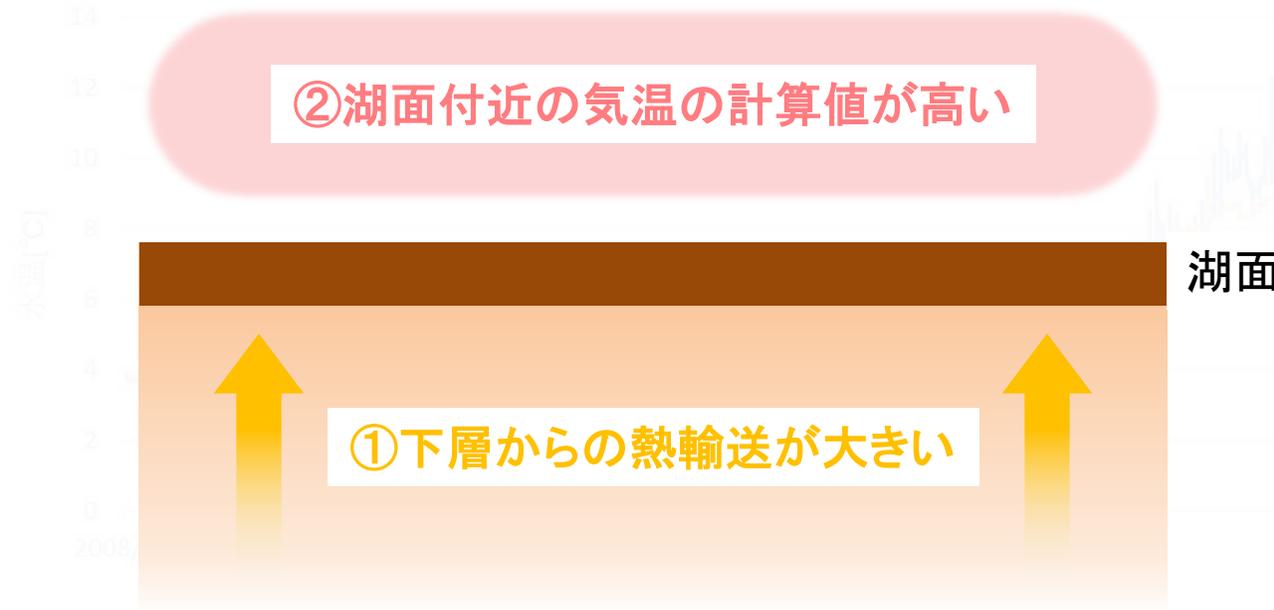
接地境界層を考え、 $SH_1 = SH_2, LH_1 = LH_2$ が成り立つように温位・比湿を算出

結果と考察 ①湖面水温



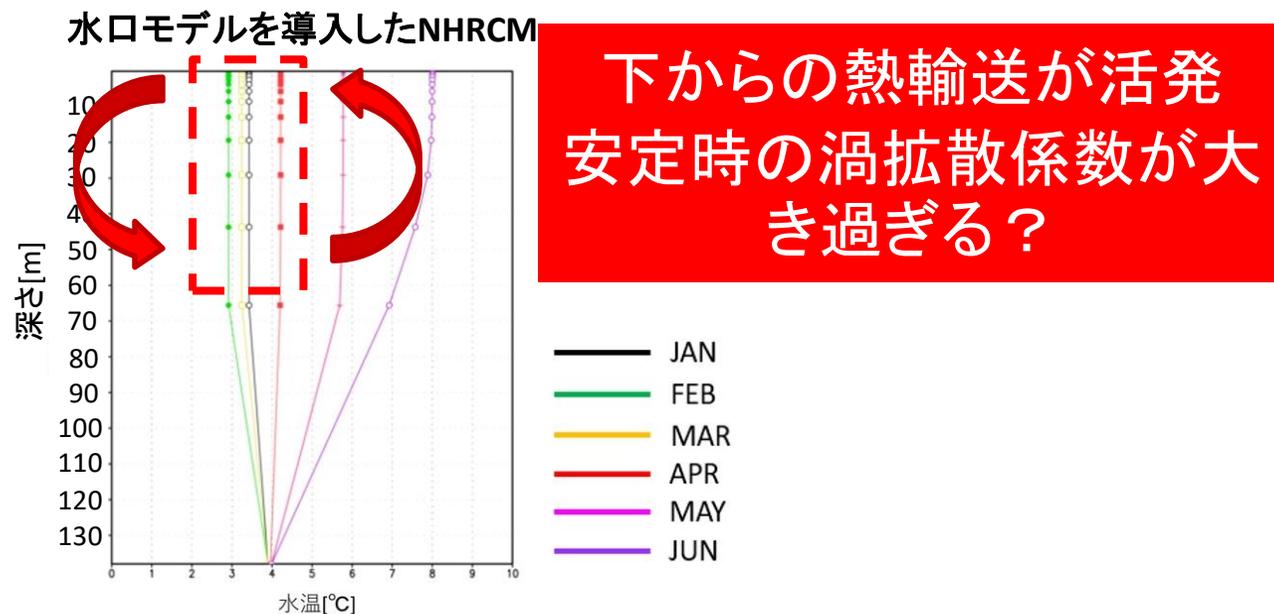
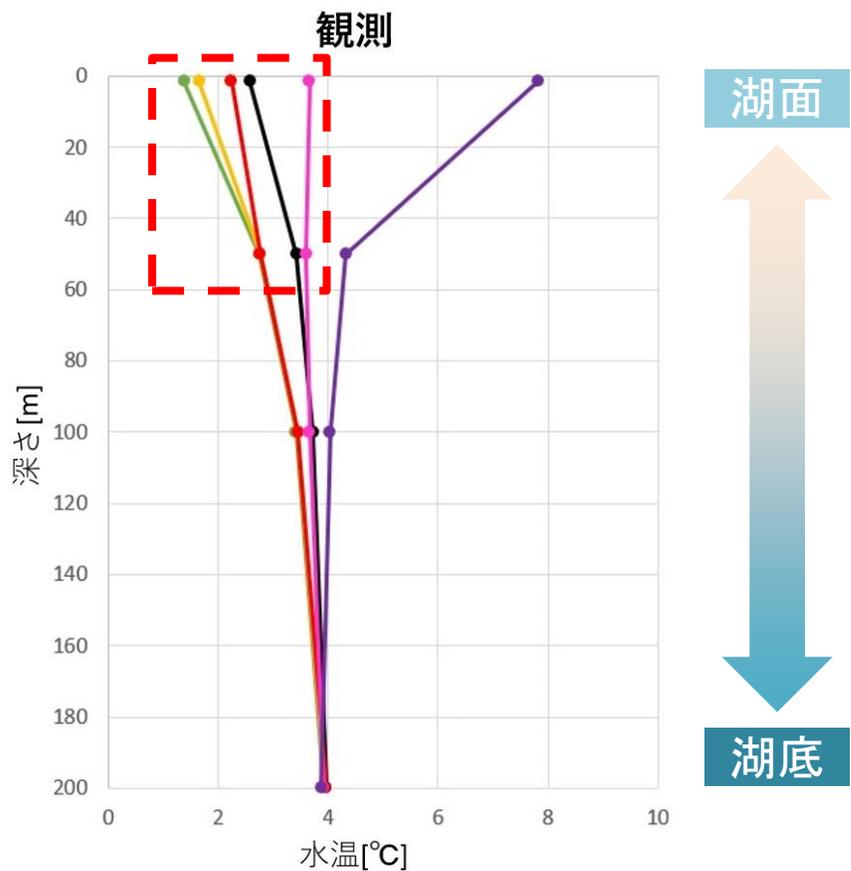
- ・ 冬季の水温計算値が観測値より高い(結氷せず)
- ・ 水温計算値の日変化が観測値よりも小さい

結果と考察 湖面水温が高い



- ・ 冬季の水温計算値が観測値より高い(結氷せず)
 - ・ 水温計算値の日変化が観測値よりも小さい(スキン温度の効果が出ていない)

結果と考察 水温の鉛直分布



下からの熱輸送が活発
安定時の渦拡散係数が大き過ぎる？

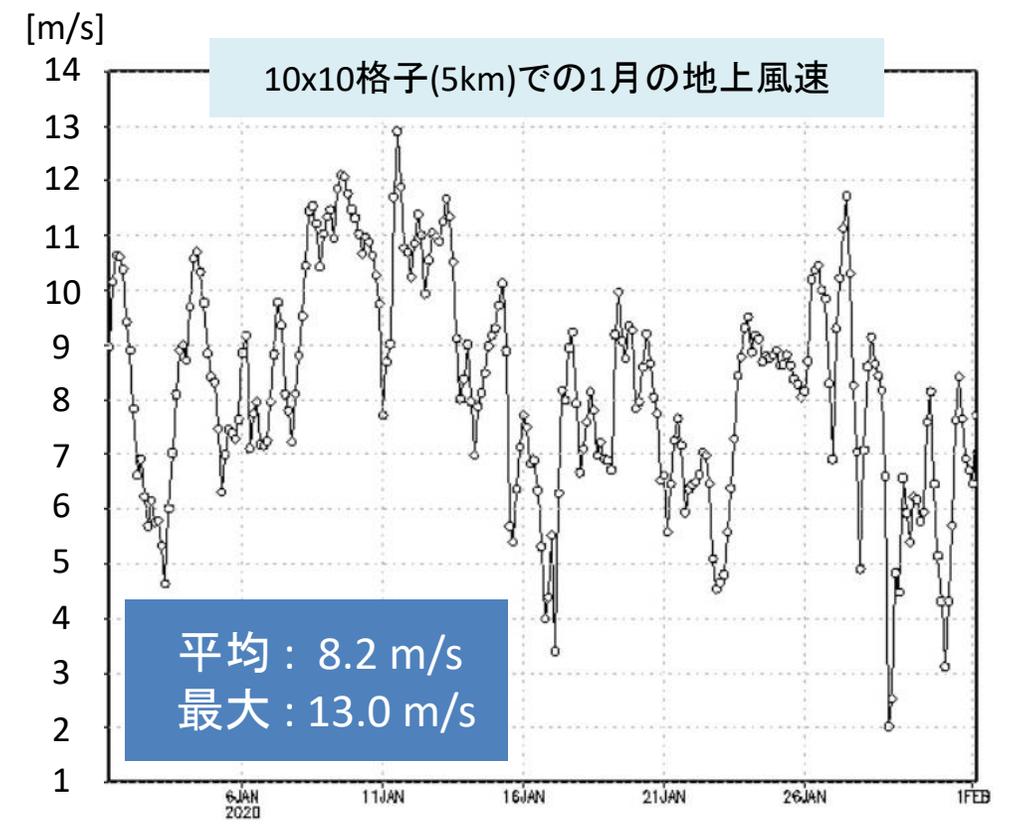
※環境研究所による観測は湖の最新地点(200m)まで行われている一方、本モデルでは平均水深(138m)を用いて計算しているため、縦軸の幅に違いが出ている。

- 湖底に近づくほど水温が 3.98°C に収束
- × 湖面付近での温度傾度が小

川湯でのアメダス観測値(2008年1月、日ごとのデータ)

日	降水量(mm)			気温(°C)			風向・風速(m/s)					日照時間(h)	雪(cm)		
	合計	最大		平均	最高	最低	平均風速	最大風速		最大瞬間風速			最多風向	降雪合計	最深積雪値
		1時間	10分間					風速	風向	風速	風向				
1	0	0	///	-9.5	-2.1	-14.7	1.1	3	北	///	///	南	4.9	1	12
2	0	0	///	-5.4	-2.1	-10.2	2.3	5	北北西	///	///	北北西	4.8	1	12
3	0	0	///	-10.1	-0.5	-16.1	1.1	2	南	///	///	南南東	7.1	1	12
4	0	0	///	-7.6	-0.2	-13.7	2.0	6	北	///	///	北西	4.1	1	12
5	0	0	///	-10.7	-3.0	-16.3	0.9	2	北北東	///	///	南南東	6.9	1	12
6	0	0	///	-9.8	-1.2	-19.6	1.3	3	南	///	///	南	6.4	2	13
7	0	0	///	-9.1	-1.2	-15.8	1.0	3	南南東	///	///	南	6.4	2	13
8	0	0	///	-9.8	-1.8	-18.2	1.1	3	南	///	///	南	6.5	1	13
9	0	0	///	-10.4	-2.2	-19.7	1.9	4	北	///	///	南南東	6.2	0	12
10	0	0	///	-14.0	-4.5	-22.4	1.5	4	南西	///	///	南南東	7.1	1	13
11	0	0	///	-14.3	-4.5	-21.8	1.3	4	北北西	///	///	南南東	6.0	0	12
12	0	0	///	-16.3	-6.9	-23.4	1.6	5	北北西	///	///	南南東	3.6	1	13
13	0	0	///	-9.7	-5.6	-23.9	3.8	7	北北西	///	///	北西	3.0	0	13
14	0	0	///	-7.2	-4.1	-12.1	3.1	6	北北西	///	///	北北西	4.9	7	17
15	0	0	///	-11.3	-3.0	-20.7	1.3	4	北西	///	///	南	6.2	4	15
16	0	0	///	-15.1	-8.4	-23.9	2.2	5	北北西	///	///	北北西	4.2	0	14
17	0	0	///	-16.4	-8.2	-23.9	1.2	3	北北西	///	///	南	6.5	0	14
18	0	0	///	-15.7	-9.6	-23.5	1.7	4	北北西	///	///	南	5.9	0	14
19	0	0	///	-13.5	-8.5	-22.2	2.2	5	北北西	///	///	北北西	2.7	0	14
20	0	0	///	-13.7	-4.7	-20.8	1.2	5	北北西	///	///	南	4.7	1	15
21	0	0	///	-14.7	-10.0	-23.0	1.5	4	北	///	///	北	2.8	1	15
22	0	0	///	-14.1	-4.0	-23.8	1.1	2	南南東	///	///	南	5.8	0	15
23	0	0	///	-12.5	-2.8	-20.7	1.0	3	南	///	///	南	7.4	0	15
24	3	1	///	-6.9	-3.4	-15.8	2.6	8	北	///	///	北北西	0.0	11	25
25	1	1	///	-8.6	-4.7	-11.8	6.8	9	北北西	///	///	北北西	0.5	8	29
26	0	0	///	-8.4	-4.7	-11.8	3.4	7	北北西	///	///	北北西	5.0	1	20
27	0	0	///	-8.4	-4.7	-11.8	0.8	3	北西	///	///	南	3.6	1	18
28	0	0	///	-8.4	-4.7	-11.8	0.9	4	北北西	///	///	北北西	0.9	5	22
29	0	0	///	-8.4	-4.7	-11.8	1.0	2	北西	///	///	南	7.8	0	19
30	0	0	///	-8.9	-2.2	-14.7	0.8	4	北北西	///	///	北東	3.2	1	18
31	0	0	///	-13.0	-9.9	-17.4	1.6	3	北	///	///	北	7.4	1	19

平均 : 1.9 m/s
最大 : 6.8 m/s

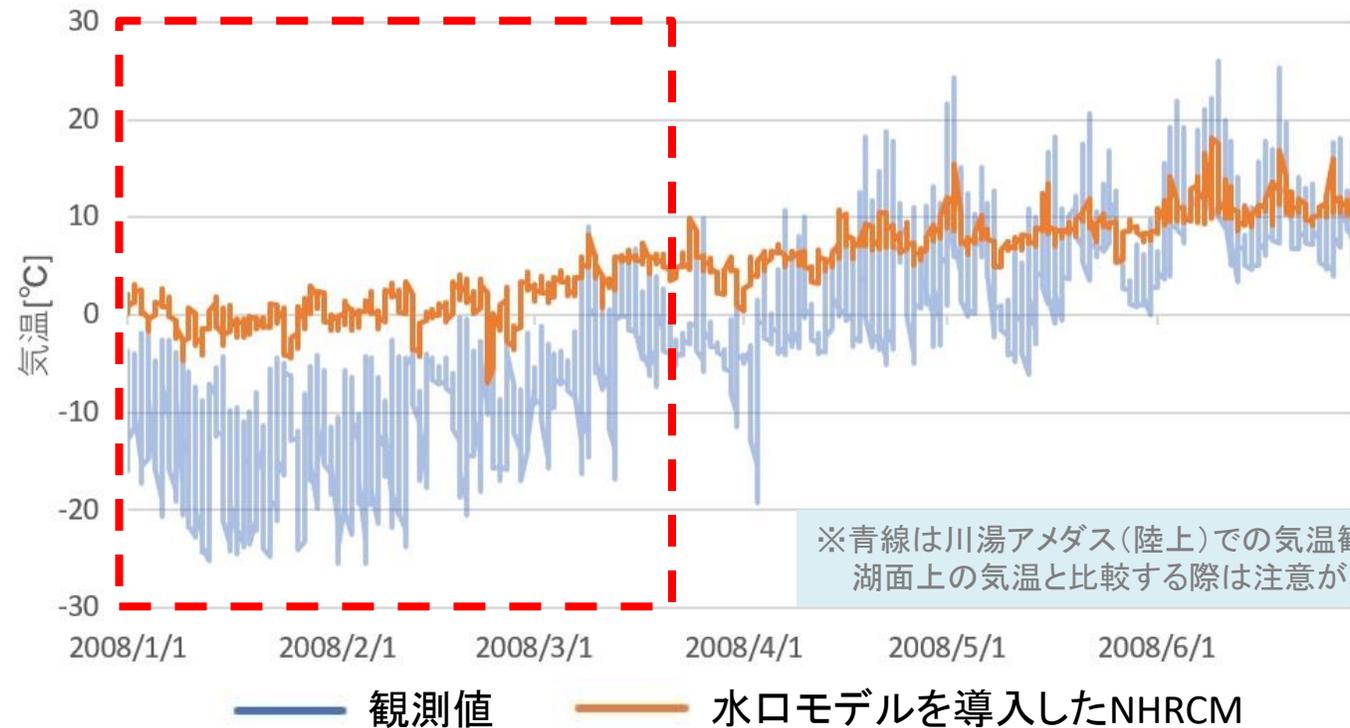


地上風速が、オフラインでのパラメーター調整時に使用していたもの(観測値)に比べて**数倍大きい**

→ NHRCMでの風速にあわせたパラメーター調整が必要か

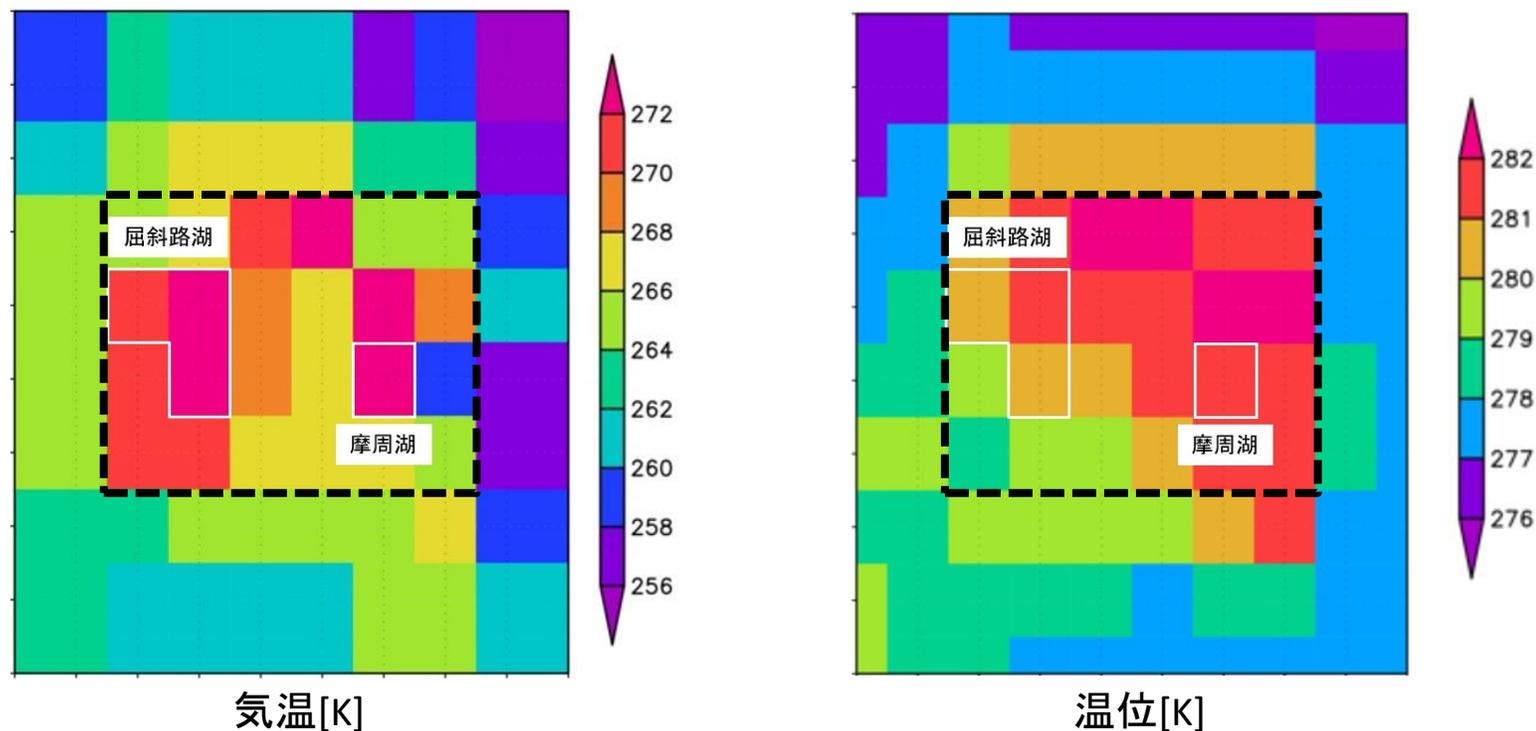
オフラインでの開発(水口, 2020)のパラメーター調整で用いられていた風速値

結果と考察 湖面付近の気温



1月から3月にかけて、観測参考値に比べて計算値が**10°Cほど高い**

結果と考察 気温の水平分布



領域内部の格子で高温になる傾向→計算領域が狭い&水平分解能が低いことが原因か

実験条件 追加実験

計算領域

摩周湖を中心とする**100×100格子**, **水平分解能2km**

前の実験では 10×10格子, 水平分解能5km

積分期間

2019年1月1日から**1週間**、積分時間間隔**8秒**

6か月間

20秒

初期条件 境界条件

気象庁メソ解析データ(MANAL)から作成 ※境界値は**3時間**おきに更新

6時間

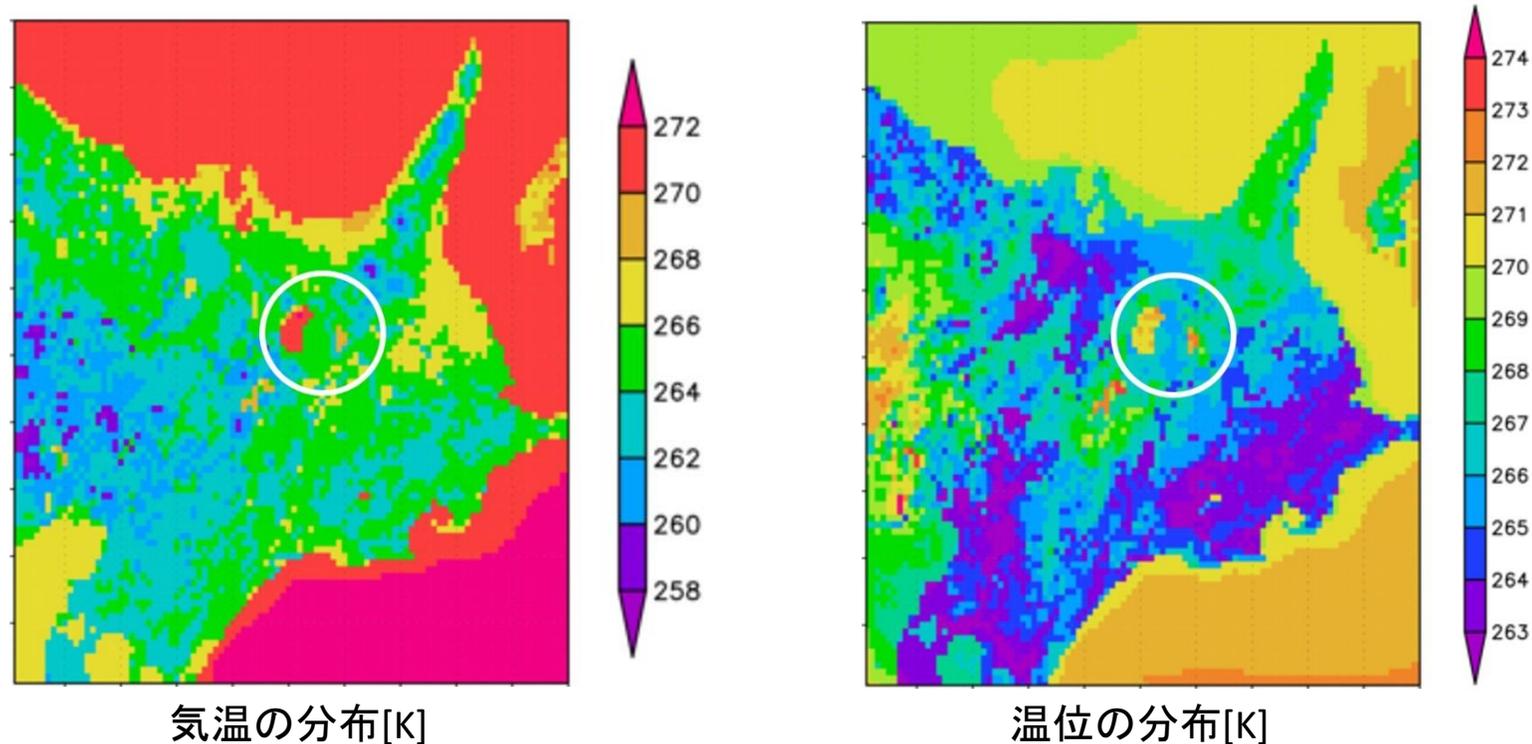
湖の形状

鉛直17層(表層の厚さ0.05m, 下層ほど公比1.5で増加)、面積は一定

検証に用いた観測データ

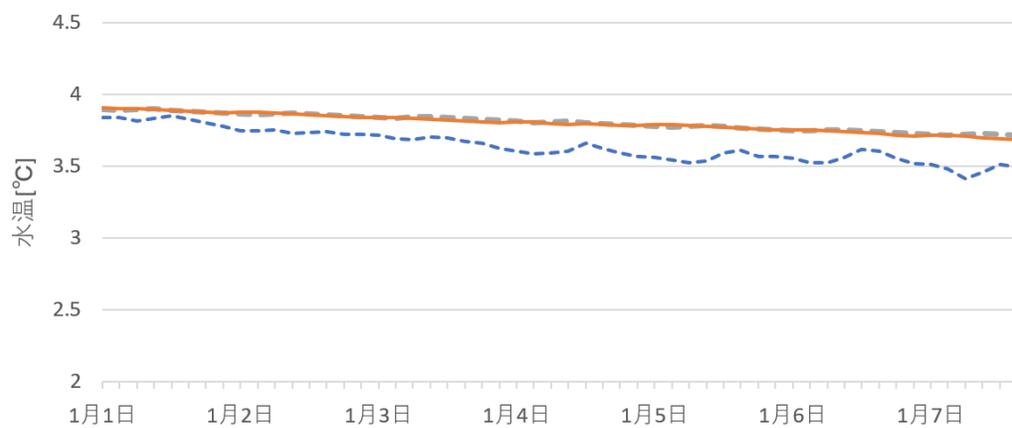
- ・ 国立環境研究所(2004)による摩周湖の水溫測定値(水深0m, 50m, 100m, 200m)
- ・ 気温(川湯のアメダスデータを摩周湖の標高に合わせて補正したもの)

追加実験 結果(気温の水平分布)



先ほどの実験結果で見られた気温の高温域は見受けられない

追加実験 結果(水温・気温の推移)

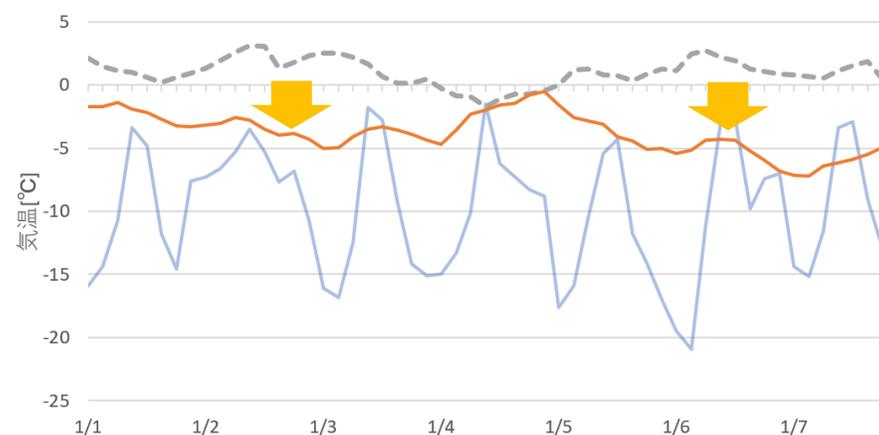


--- 観測参考値

--- 前の実験(10x10格子, 水平分解能5km)

— 追加実験(100x100格子, 水平分解能2km)

湖面水温の推移[°C]



気温の推移[°C]

気温値は先の実験に比べて平均で4.8 °C観測値に近付いた(水温は改善されず)
→長期間積分することで、**気温・水温の計算値の改善が期待できる**

結合モデルでのまとめ

- ・ 6 か月間の小領域低解像度モデルランを行ったところ、水温を十分に再現できなかった
- ・ 原因①: 計算領域や空間解像度が不十分で、気温の計算値に誤差が生じた
→ MPIインターフェースを再調整して並列計算を可能にする(最優先)
- ・ 原因②: 水口モデル内のパラメーターの設定値がNHRCMに適さなかった
→ 感度実験を行ってパラメーター値を再調整する

おわり