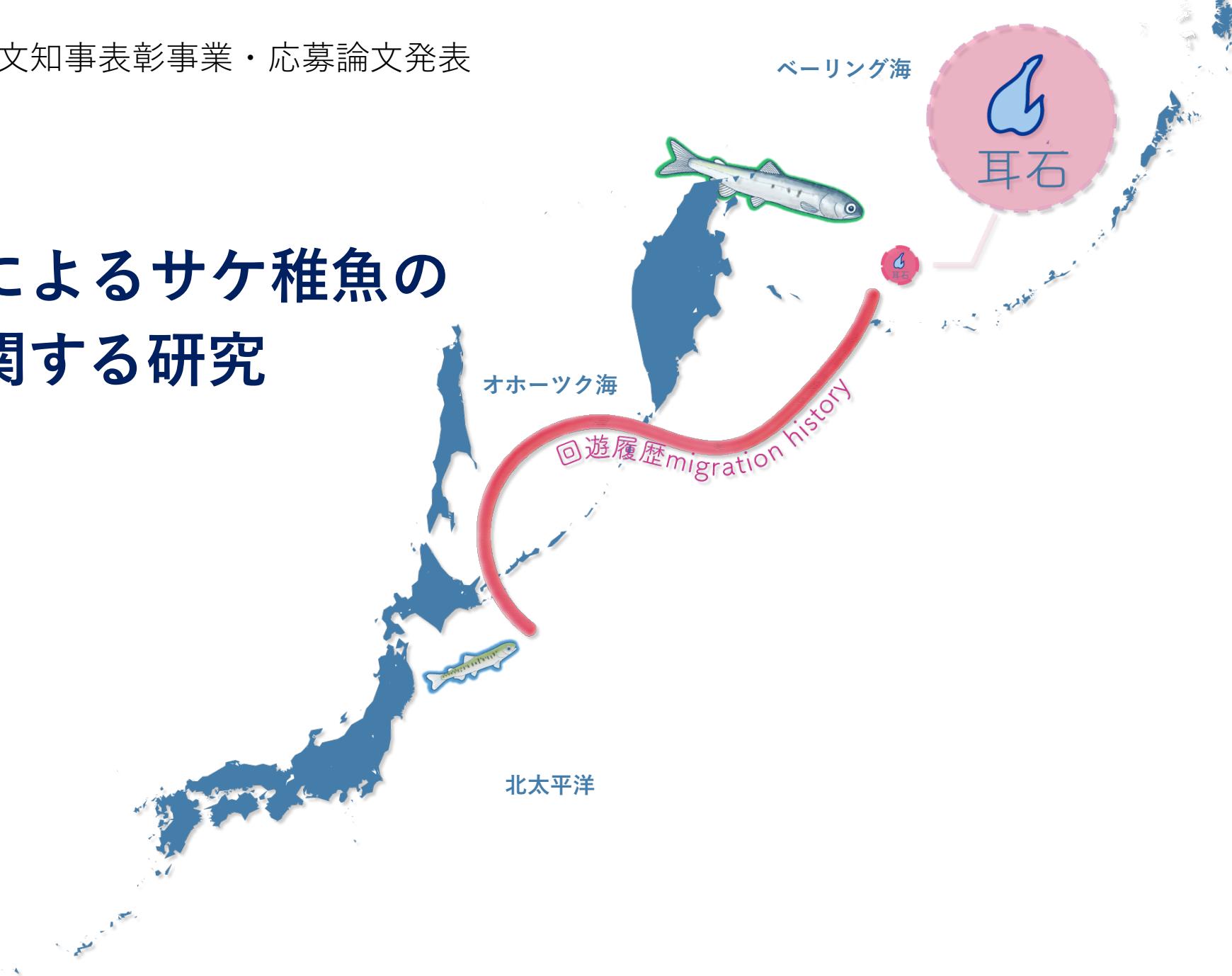


耳石安定同位体比によるサケ稚魚の 回遊履歴の復元に関する研究

勾 玉暁

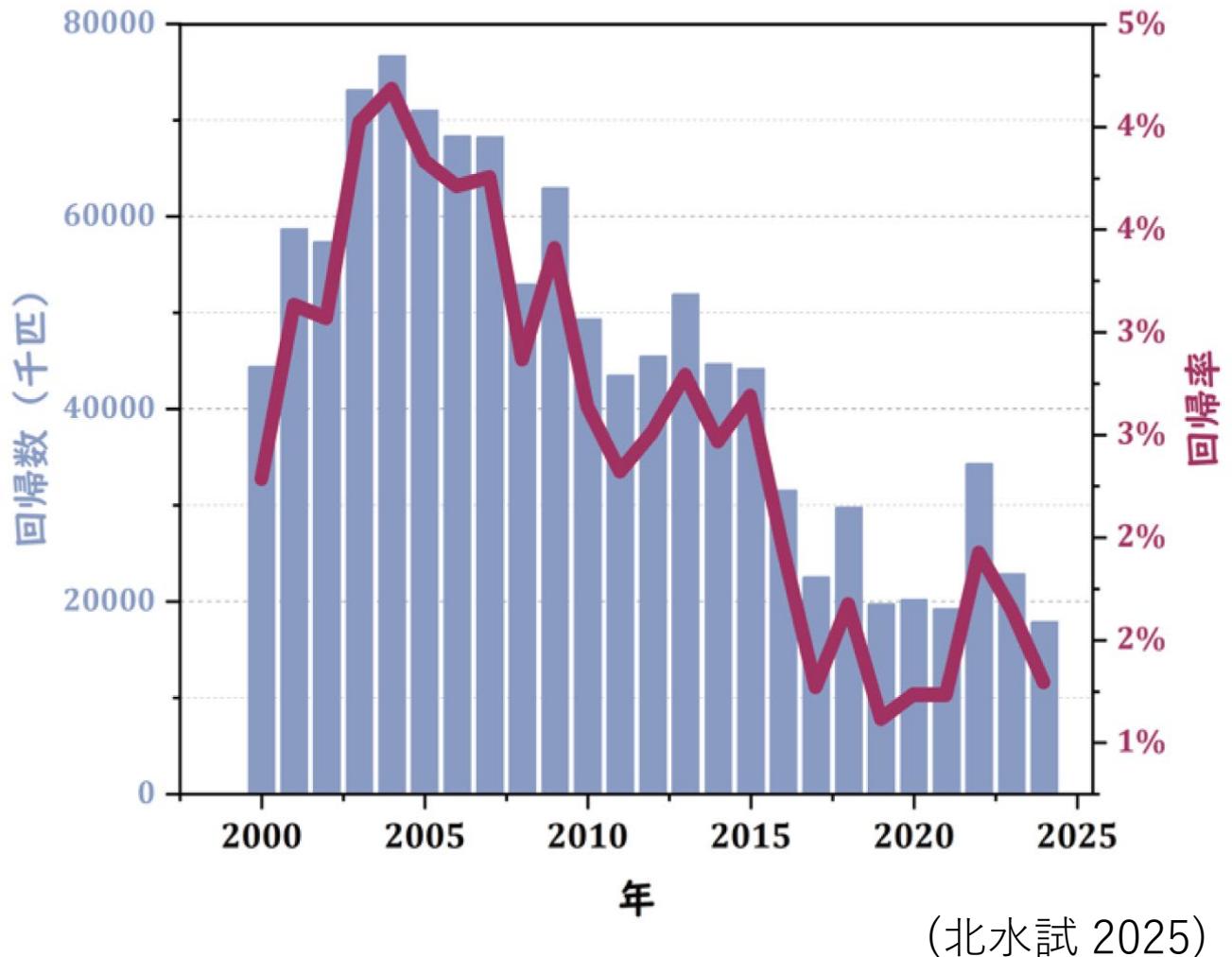
東京大学・大気海洋研究所



日本系サケの大回遊・追跡が困難



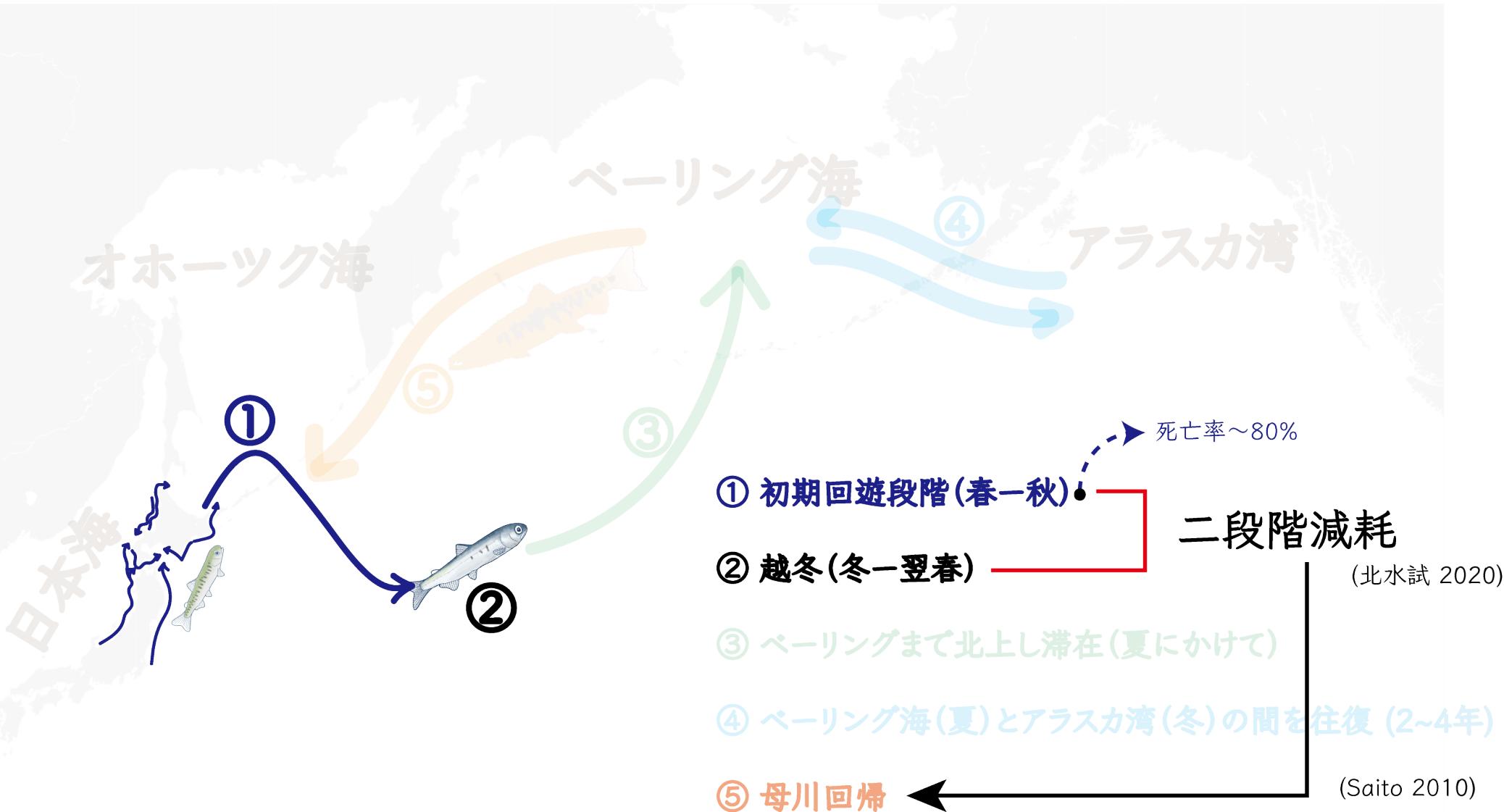
来遊資源量の減少が推移..



資源量の減少要因

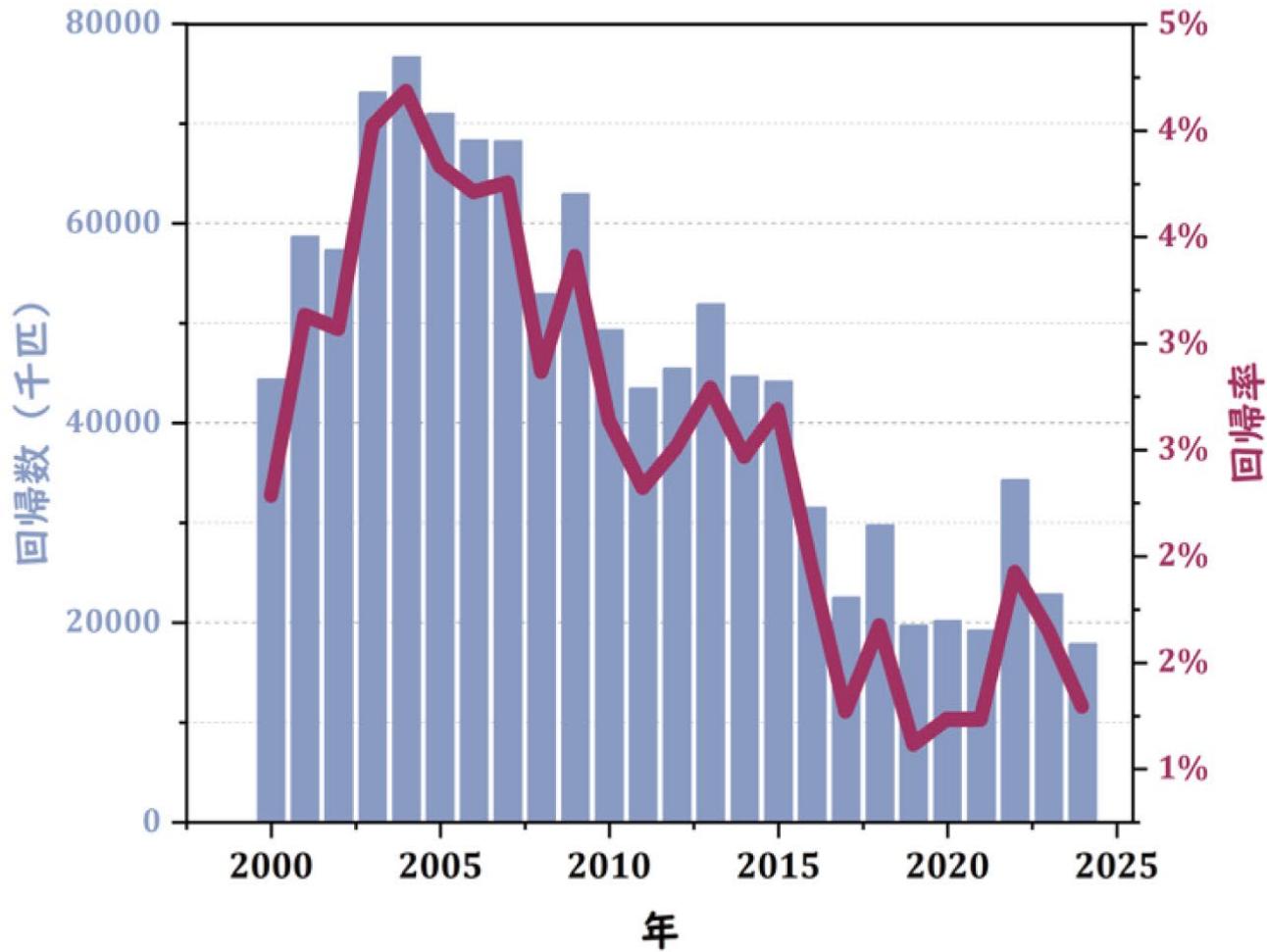
⇒

初期回遊中の減耗



初期減耗の要因の解明

⇒ 回遊履歴を知る



→ 回遊中稚魚の大量減耗



1. 経験水温
2. 生息海域
3. 代謝状況
4. 越冬期の知見

...

耳石アプローチによる回遊履歴復元



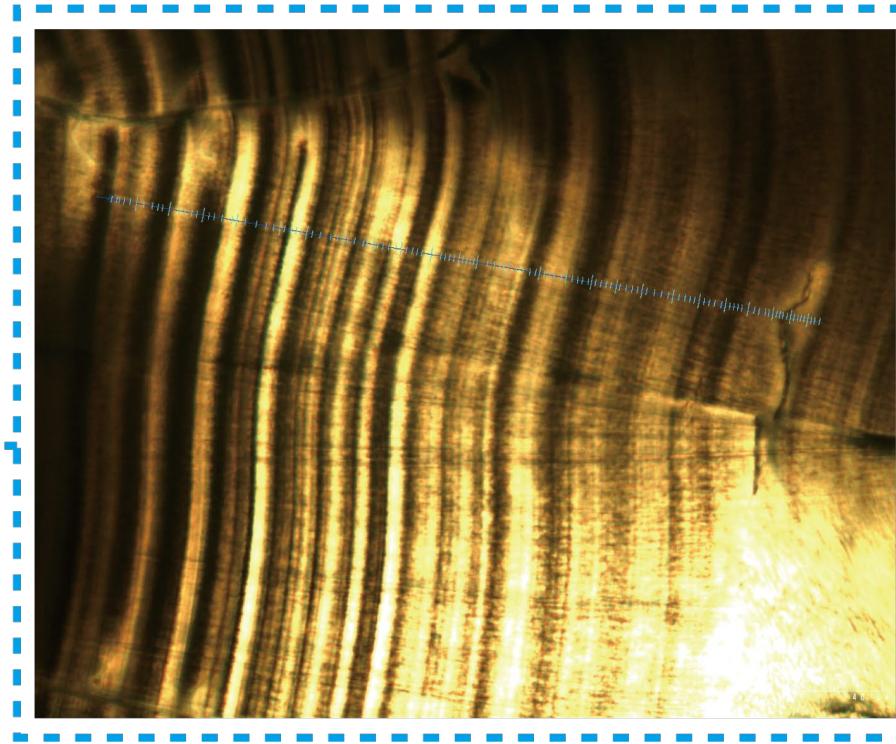
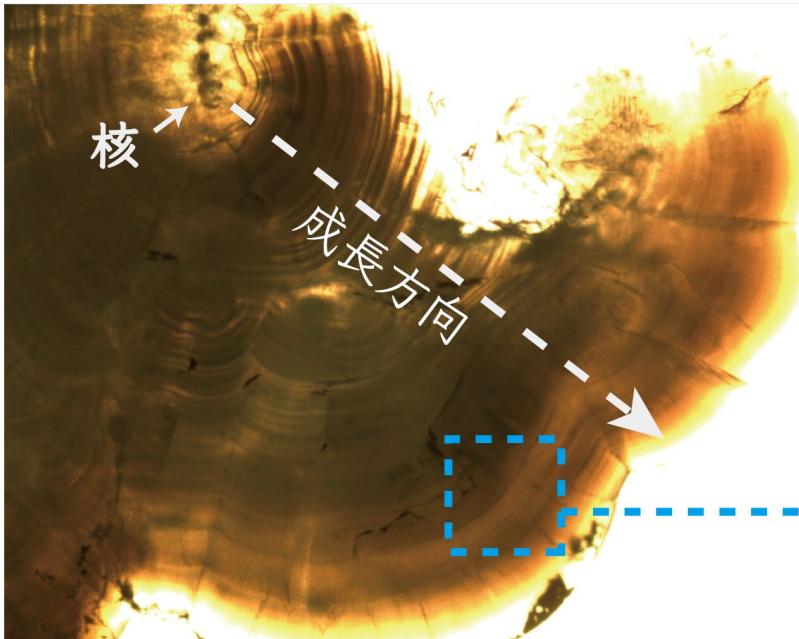
- ・魚類の内耳にある
- ・概日リズムで輪紋を沈着する
- ・生息環境から元素を取り入れる



生物由来の“追跡用口ガード”として使用

時系列で復元可能

日齢および回遊時期がわかる



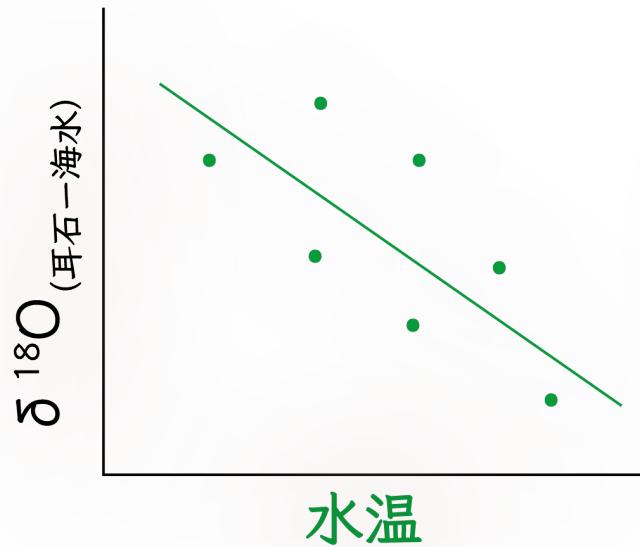
酸素同位体比手法によって環境履歴がわかる

経験温度および塩分が復元できる

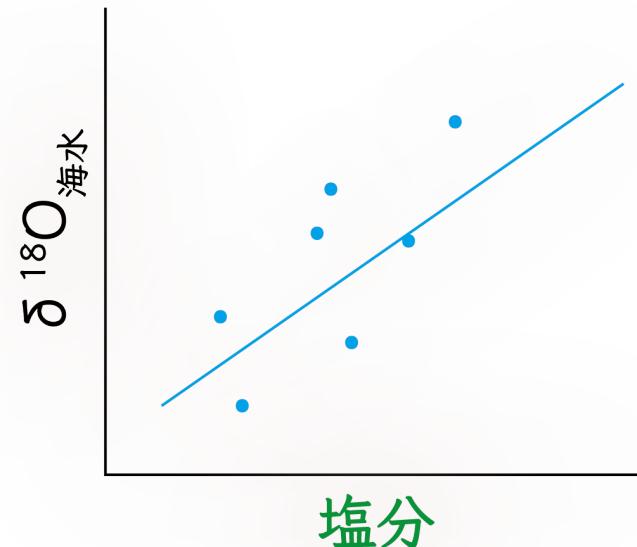
$$\delta^{18}\text{O}_{\text{耳石}} = (-0.186 \times \text{水温}) + (0.41 \times \text{塩分}) + 3.219$$

(Gou et al. 2022)

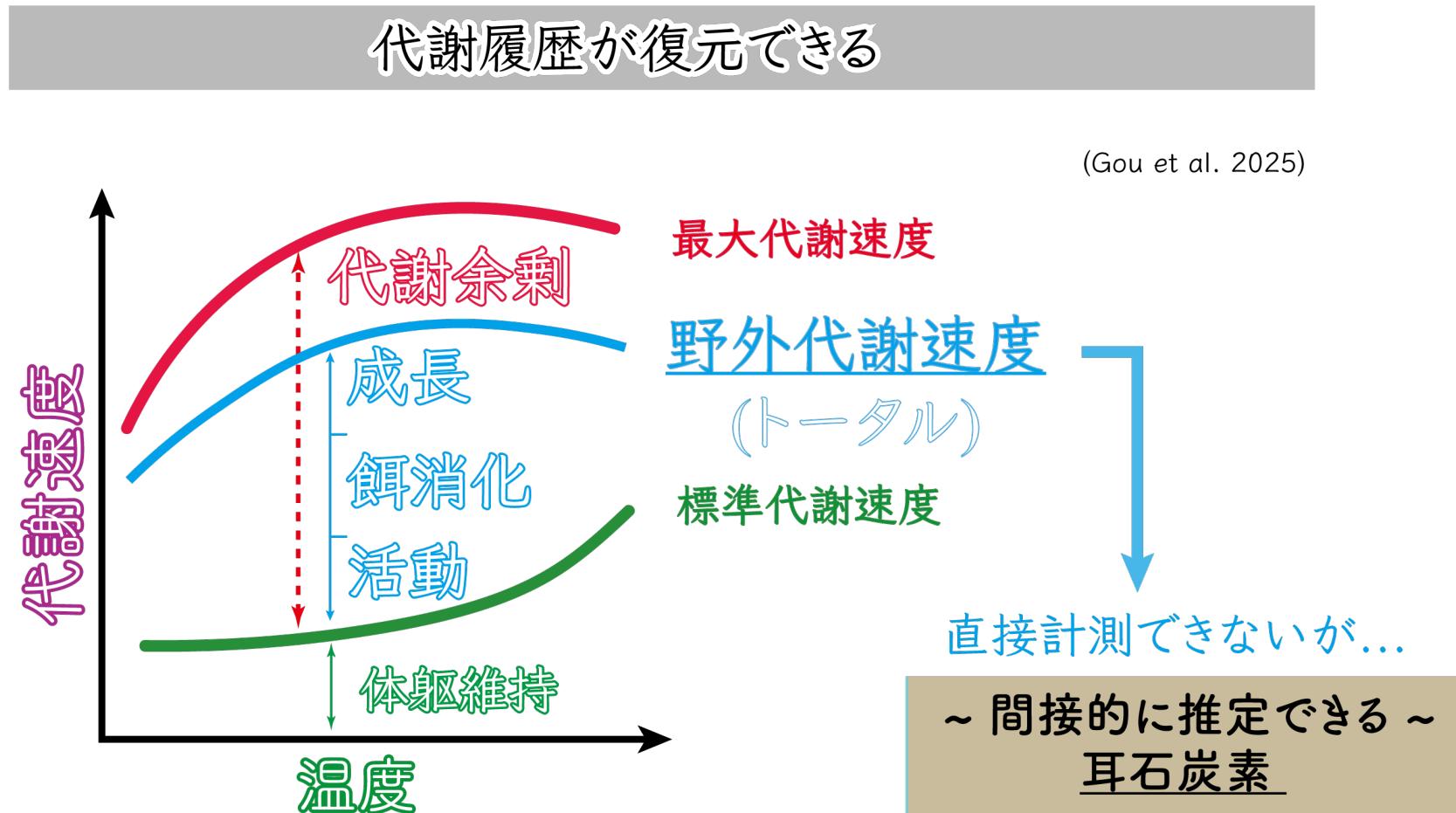
耳石 $\delta^{18}\text{O}$ の温度依存性



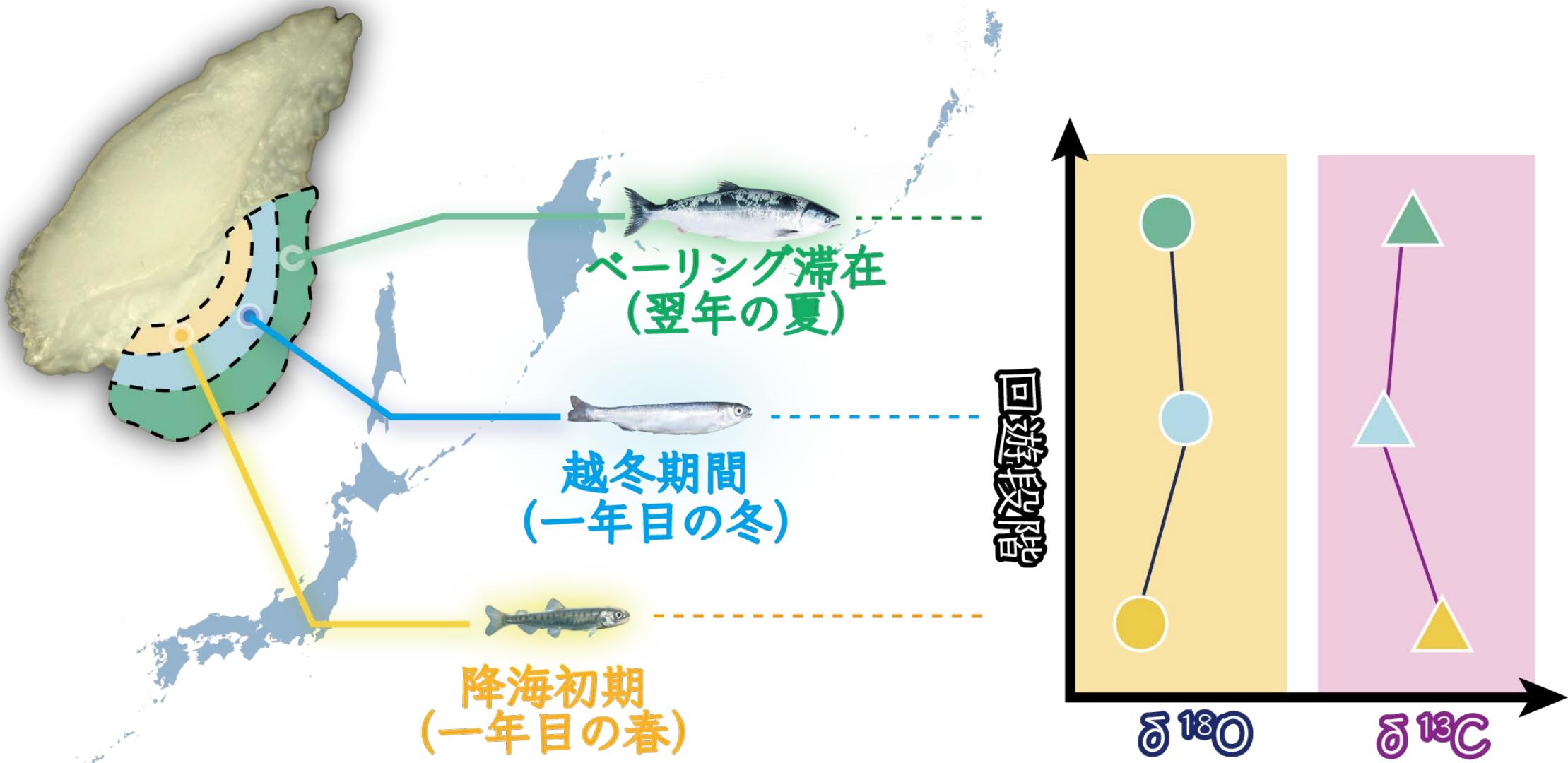
海水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$ の塩分勾配



炭素同位体比手法によって代謝履歴がわかる



目的：サケの回遊中の経験環境と代謝履歴を解明する



アジア系サケの耳石を使用

〈材料方法〉

2020と2021年7月下旬

ペーリング海西側 (175°W)で採集

海洋年齡1年 (age 0.1) • 耳石9個

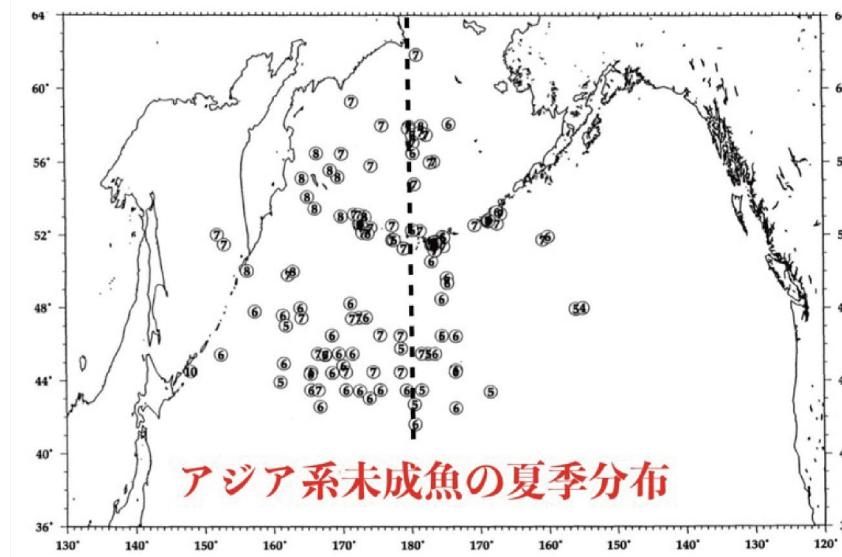
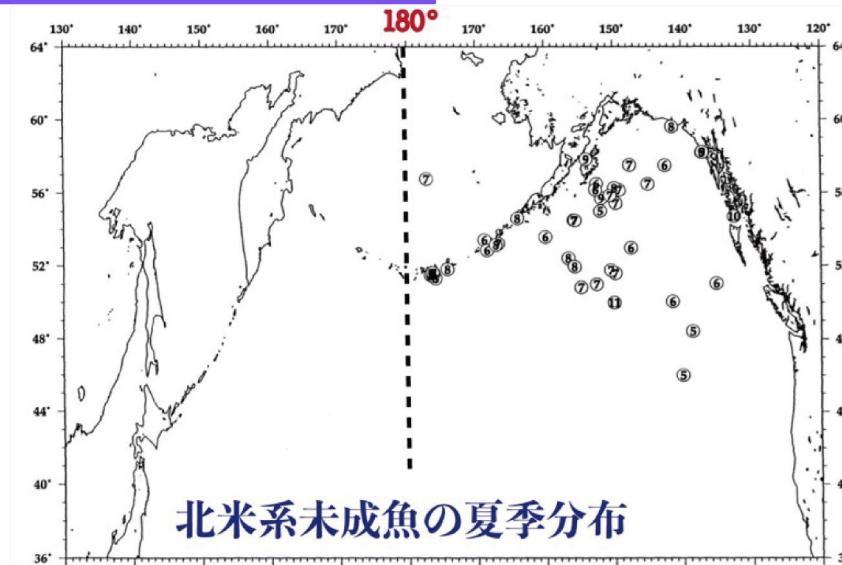


推測の起源：

アジア系サケ

(日本沿岸/カムチャツカ東沿岸)

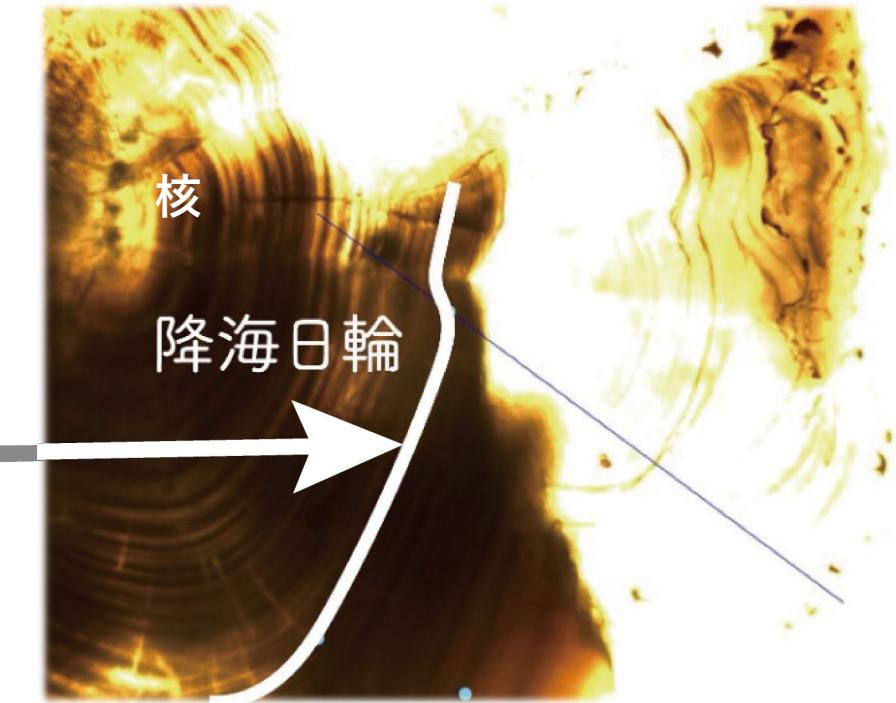
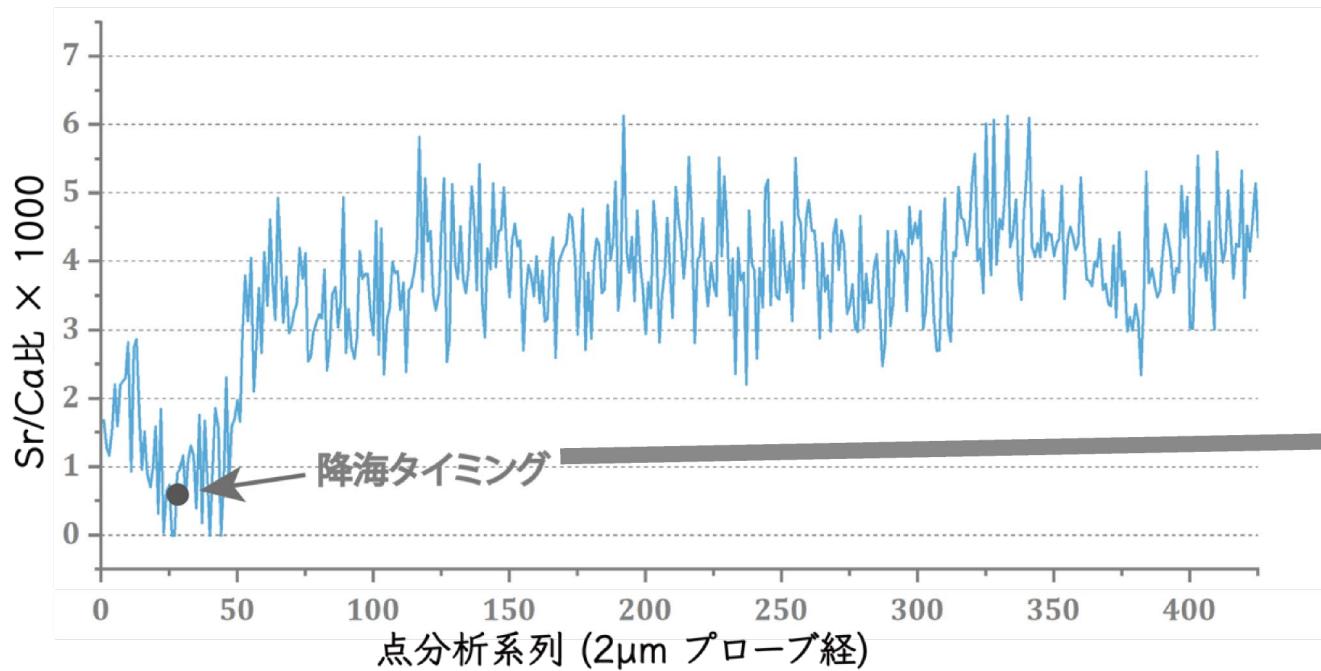
(Myers et al. 1996, Crane and Seeb, 2000, FRA, 2006, Urawa et al. 2004, 2012)



coded-wire tag データ, 1956–1995, Myers et al. 1996

EPMAによる降海タイミング確認

<結果>



海水中のストロンチウム含量が高い

⇒

海洋生活期を表す耳石部分を確かめる

日輪査定

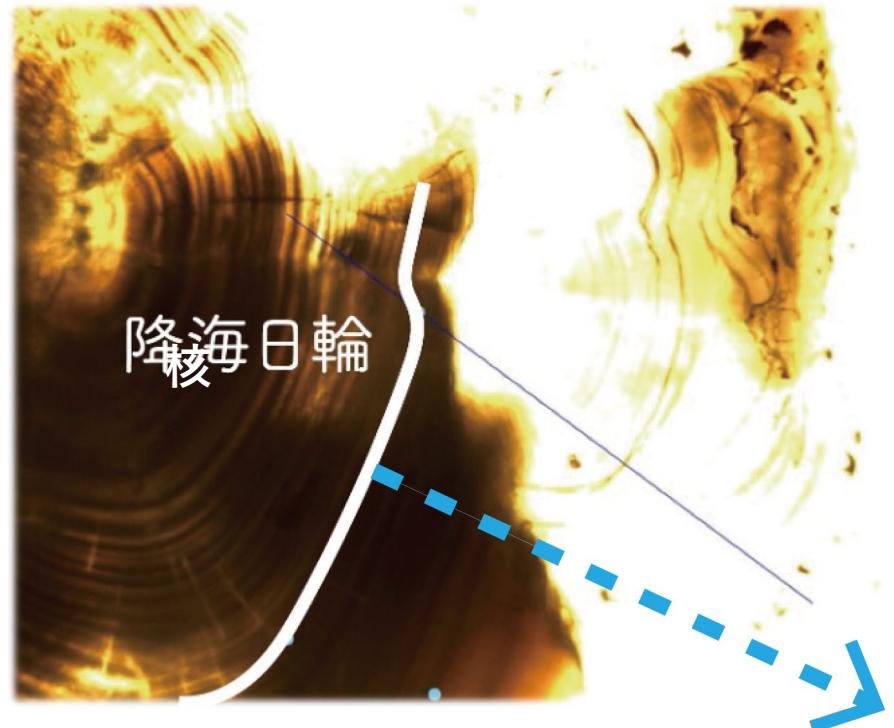
<結果>

降海タイミング：
5月中旬–7月下旬



日本とロシアの放流時期に含まれている

(Radchenko et al., 2013, Urawa et al., 2018)

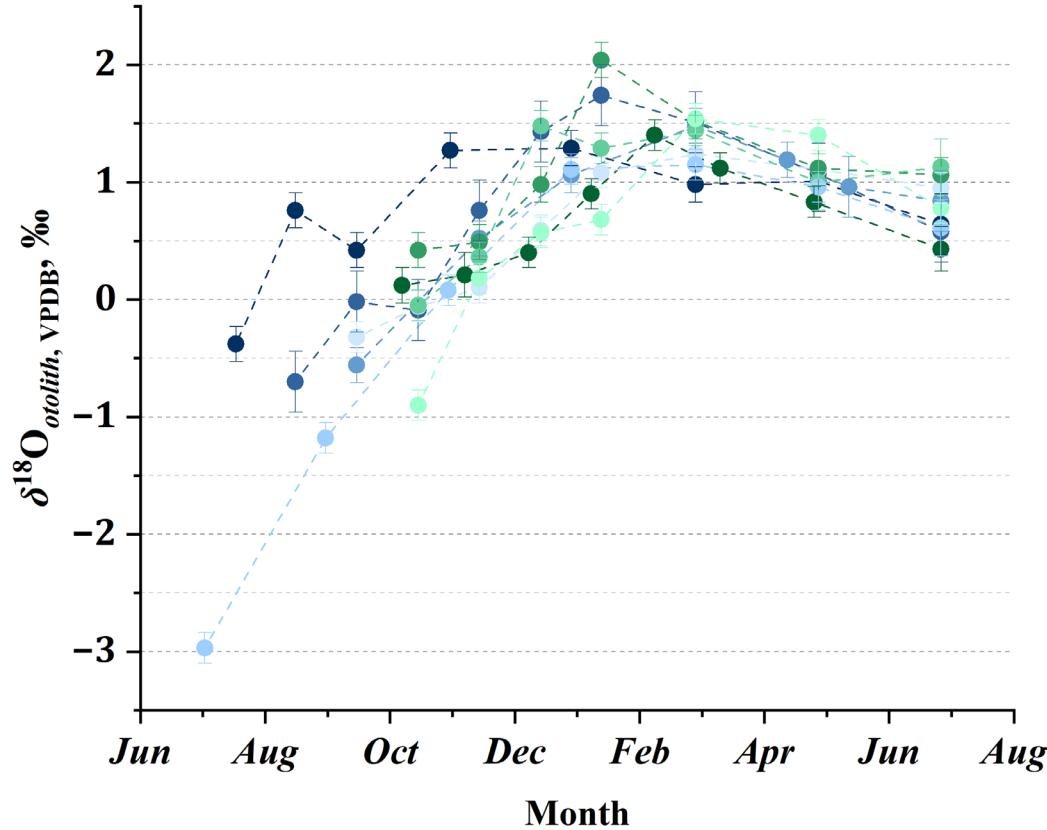


縁辺まで日輪本数を数える



1ヶ月の解像度で耳石を切削

耳石 $\delta^{18}\text{O}$ の実測値 <結果>



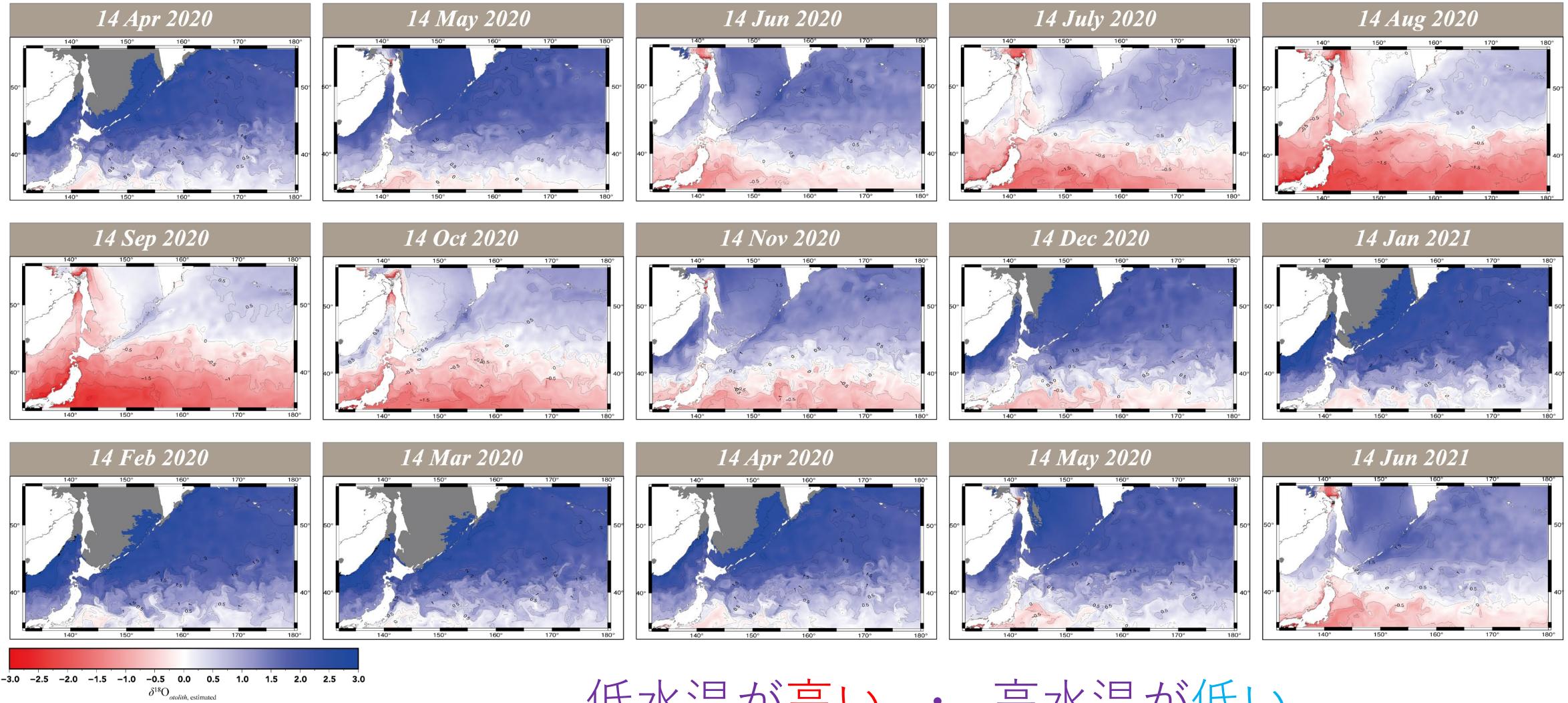
耳石酸素同位体比値の季節変化

降海翌年の2月頃上昇して
下がるようなトレンドを確認

耳石 $\delta^{18}\text{O}$ の推測値

<方法>

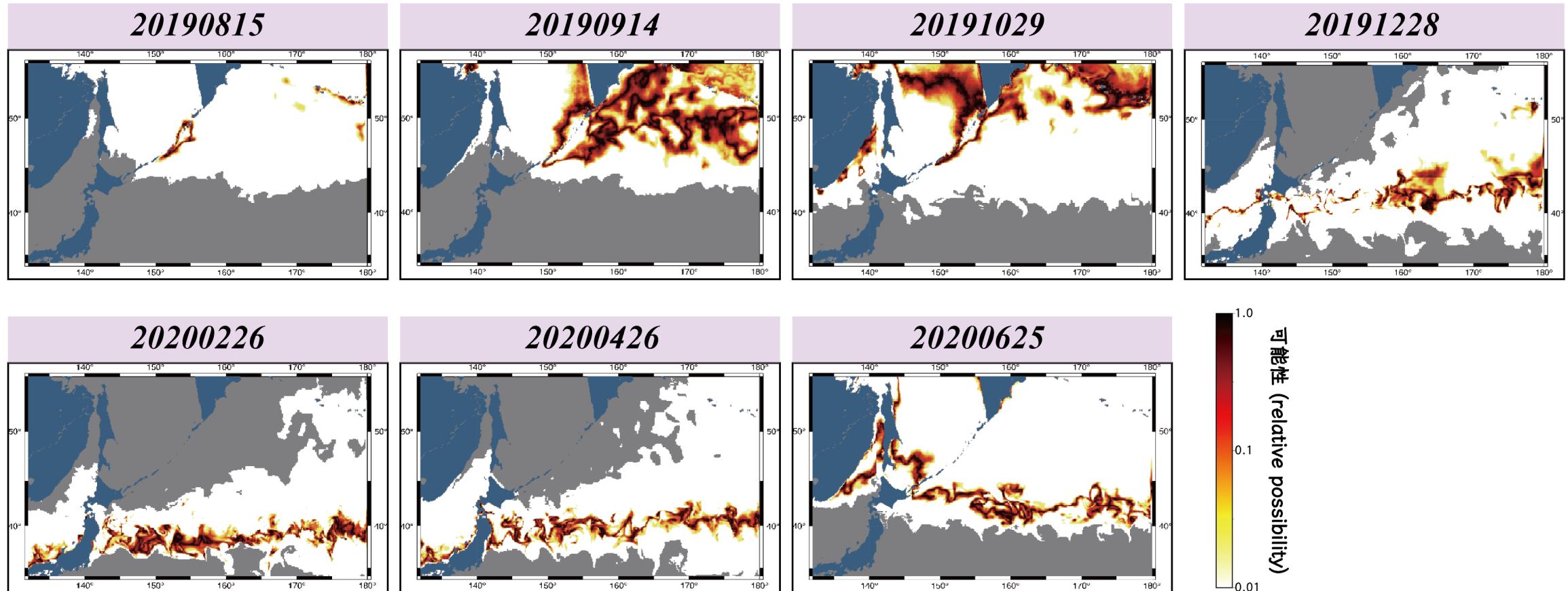
$$\delta^{18}\text{O}_{\text{耳石}} = (-0.186 \times \text{水温}) + (0.41 \times \text{塩分}) + 3.219$$



低水温が高い • 高水温が低い

耳石 $\delta^{18}\text{O}$ (実測値-推測値)

<結果.考察>



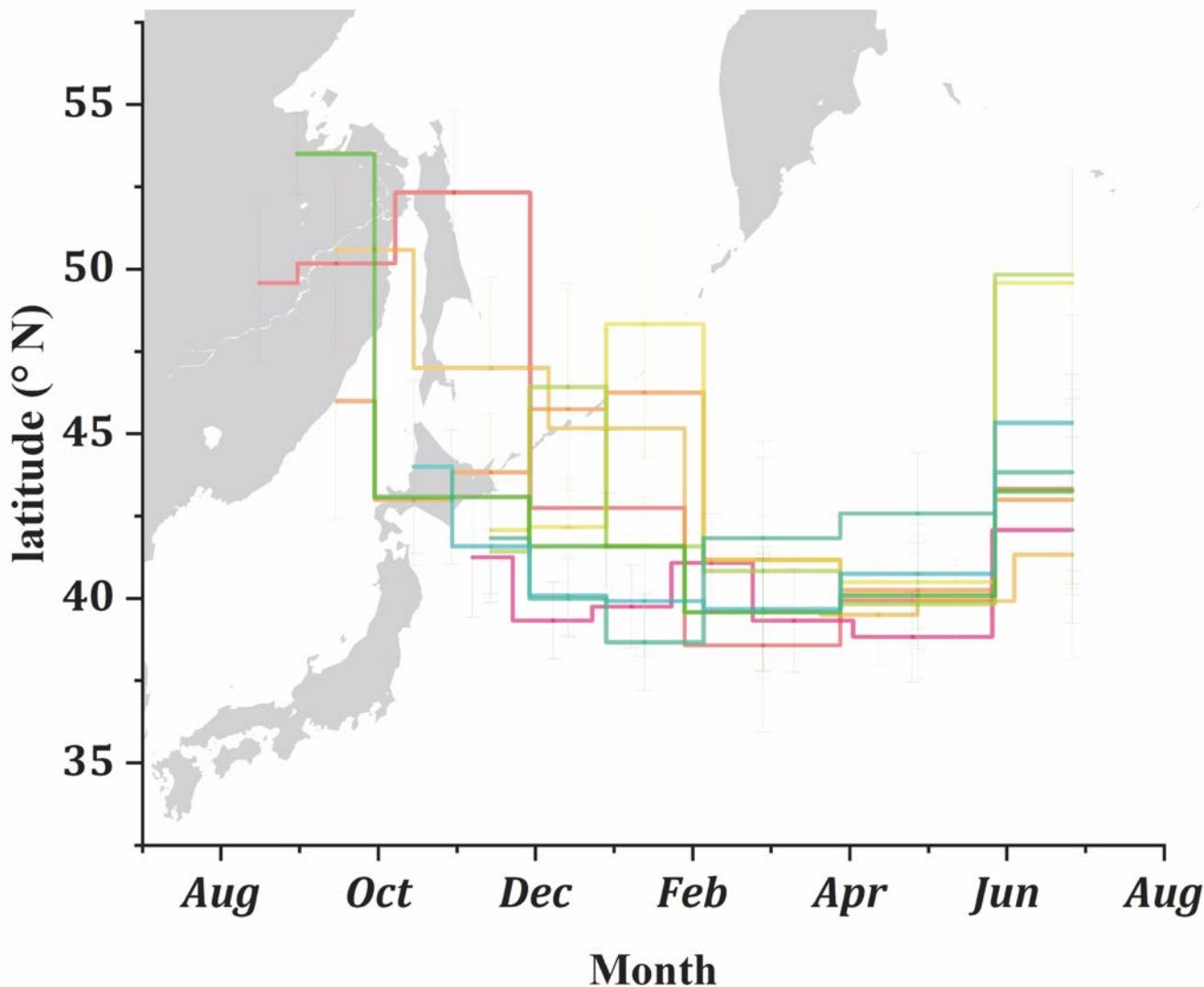
東西方向の精度が悪い
(Aono et al., 2024, Sakamoto et al., 2025)



緯度だけを抽出

回遊緯度を再現できた

＜結果.考察＞



北西太平洋まで南下する
(10月～翌年の2月)

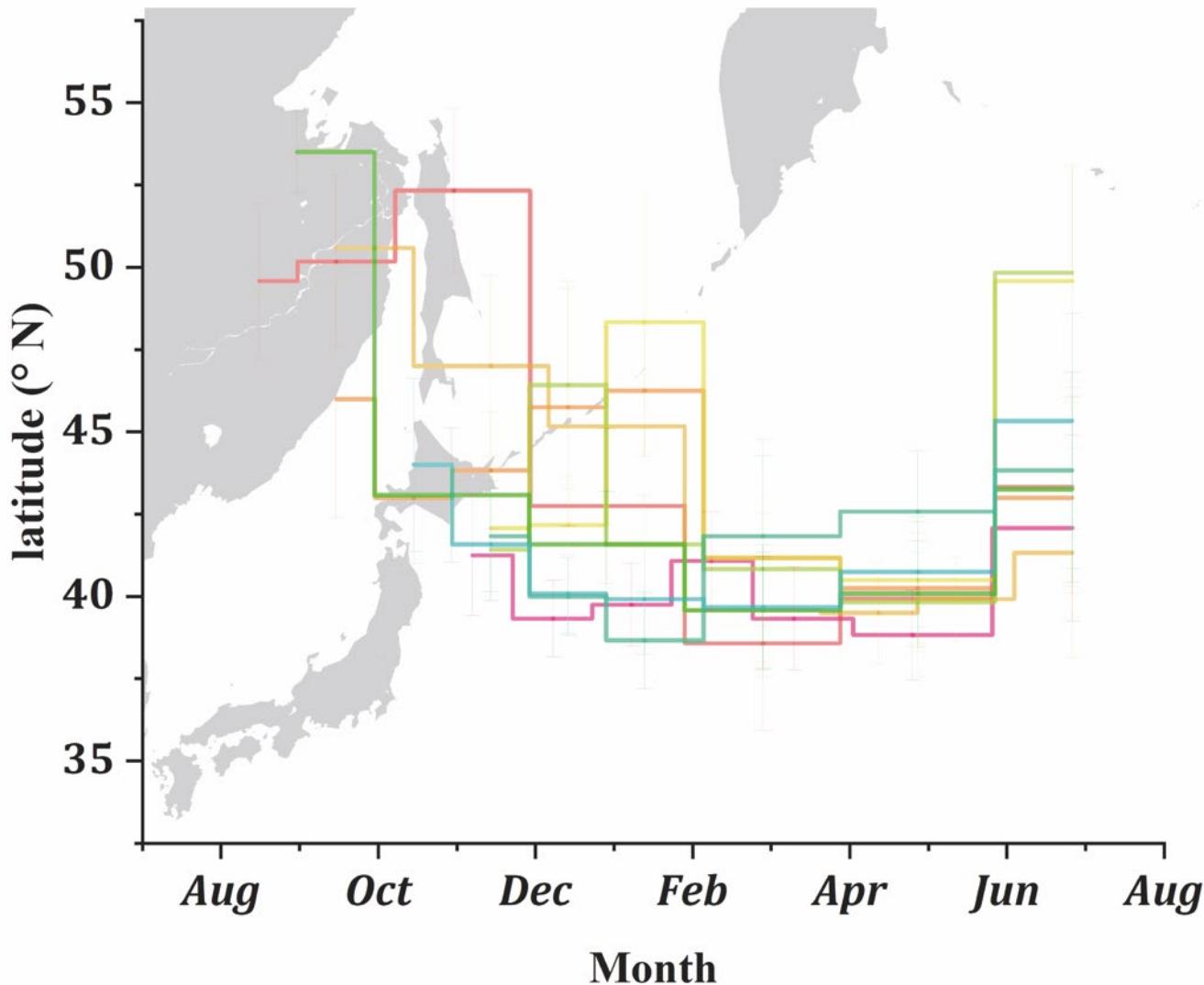
南下メカニズムについて、過去の考察では、、

日本系サケ稚魚はロシア系より
先に太平洋側まで移動するであろう。

(浦和 2000)

越冬海域の緯度は従来の知見よりも南偏

〈結果・考察〉



**$40 \pm 2^\circ$ Nの
限られた海域で合流**

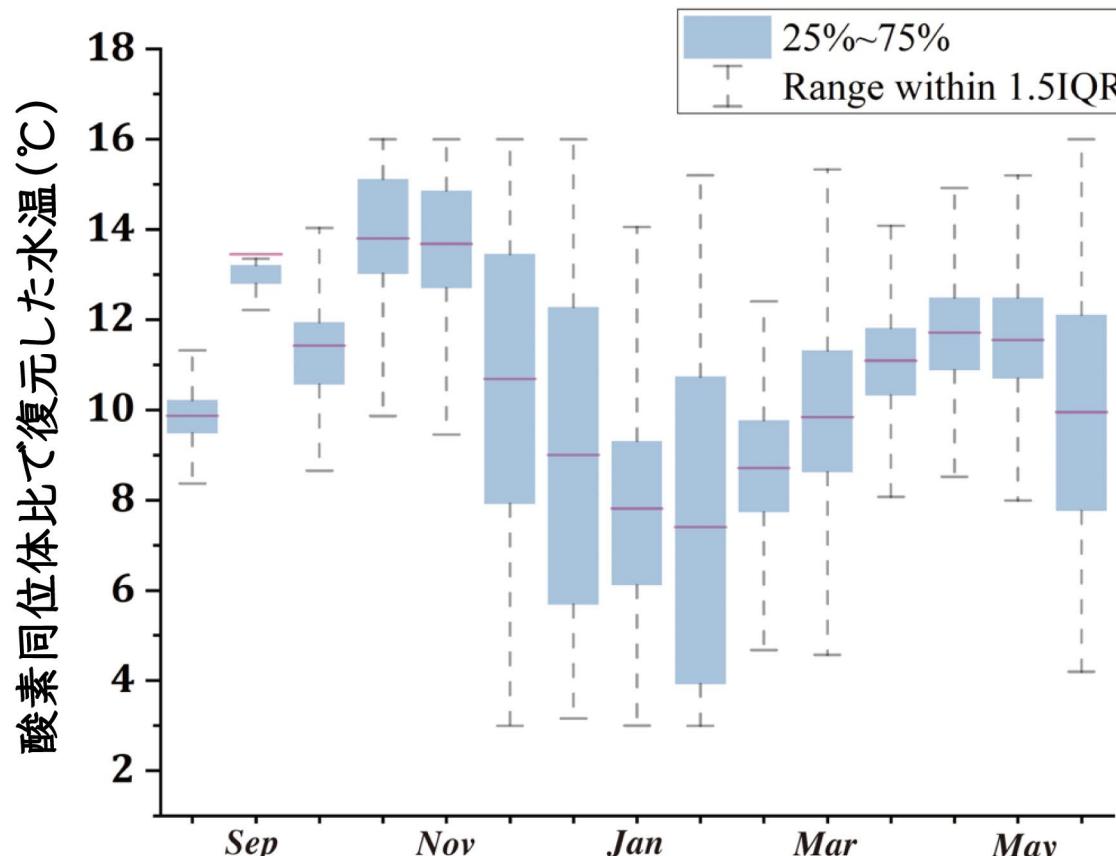
越冬海域について、先行研究では、、

42–45° Nで越冬する

(Nagasawa 2000)

時期ごとの水温履歴を復元した

<結果>



時系列で復元した水温

主に 4.0 – 15.6°C の水温を経験した

水温の低下時期：10月～翌年2月

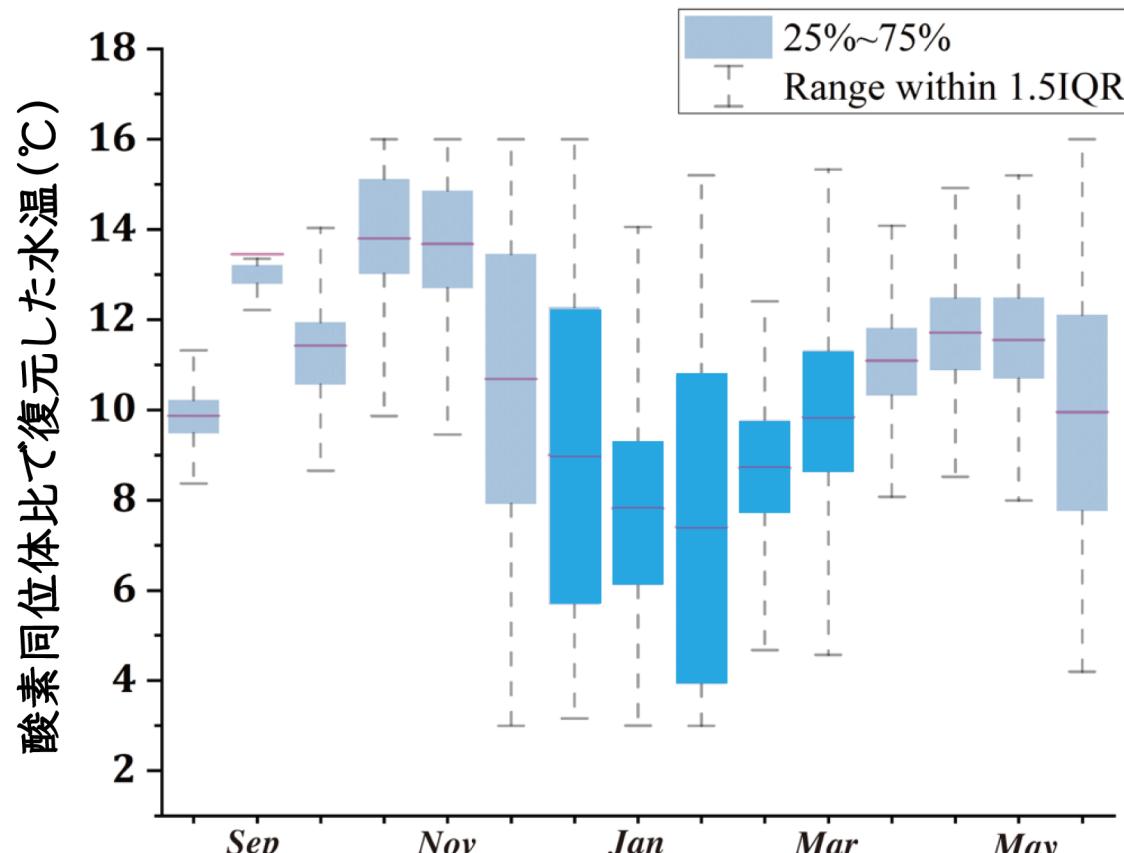


推定生息地の水温変化トレンドと一致

(Kitada et al. 2023)

想定されてきた越冬水温範囲よりも広かった

<結果.考察>



冬期の経験水温は、

3.9 – 8.0°C

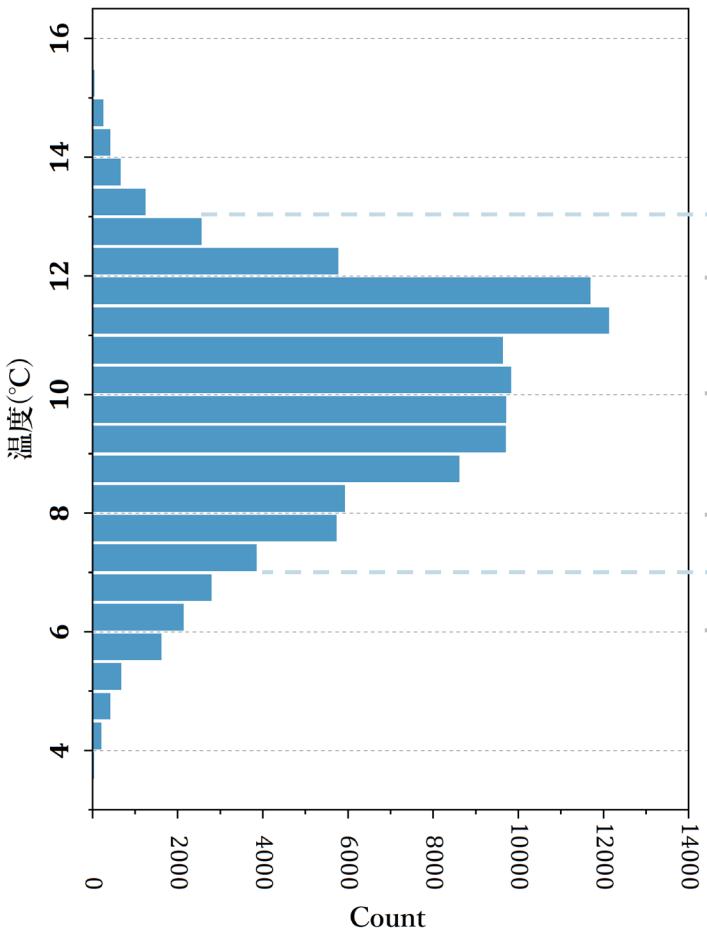
(Ueno et al., 1997; Ishida et al., 1998; Nagasawa et al., 2000)

4.0 – 10°C

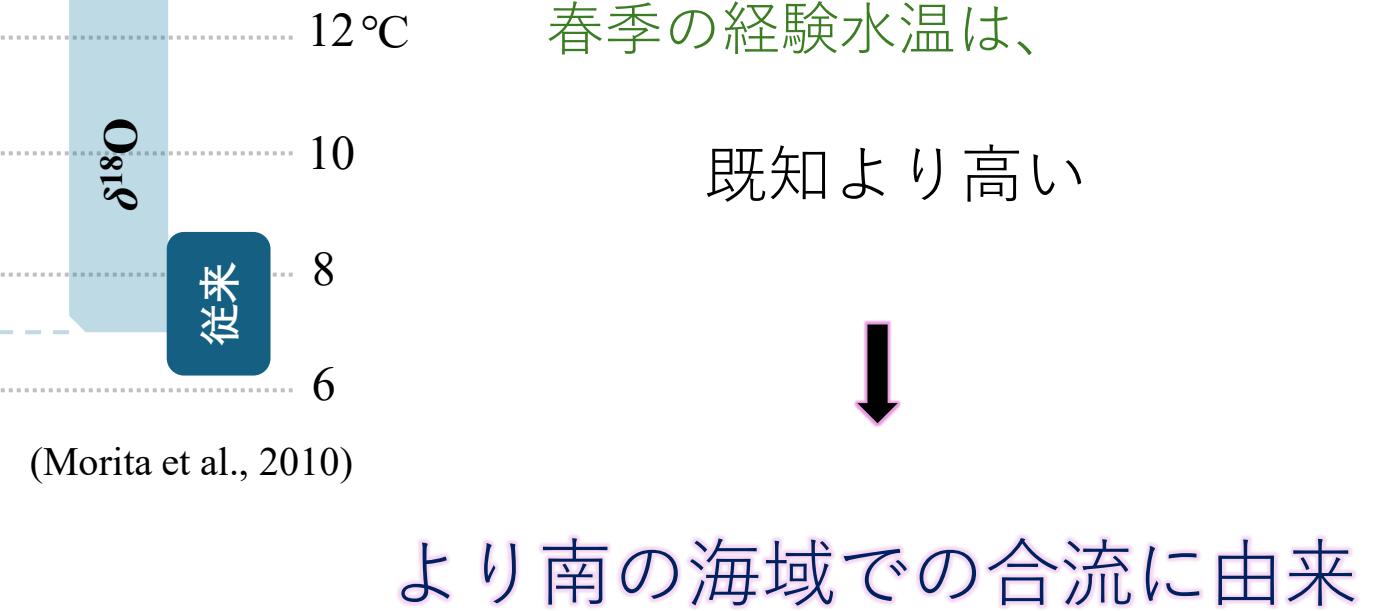
南下時期のばらつきに由来

春の経験水温も従来の想定よりも広い

＜結果・考察＞



$\delta^{18}\text{O}$ による復元した春季水温



$\delta^{18}\text{O}$ 手法により <まとめ>

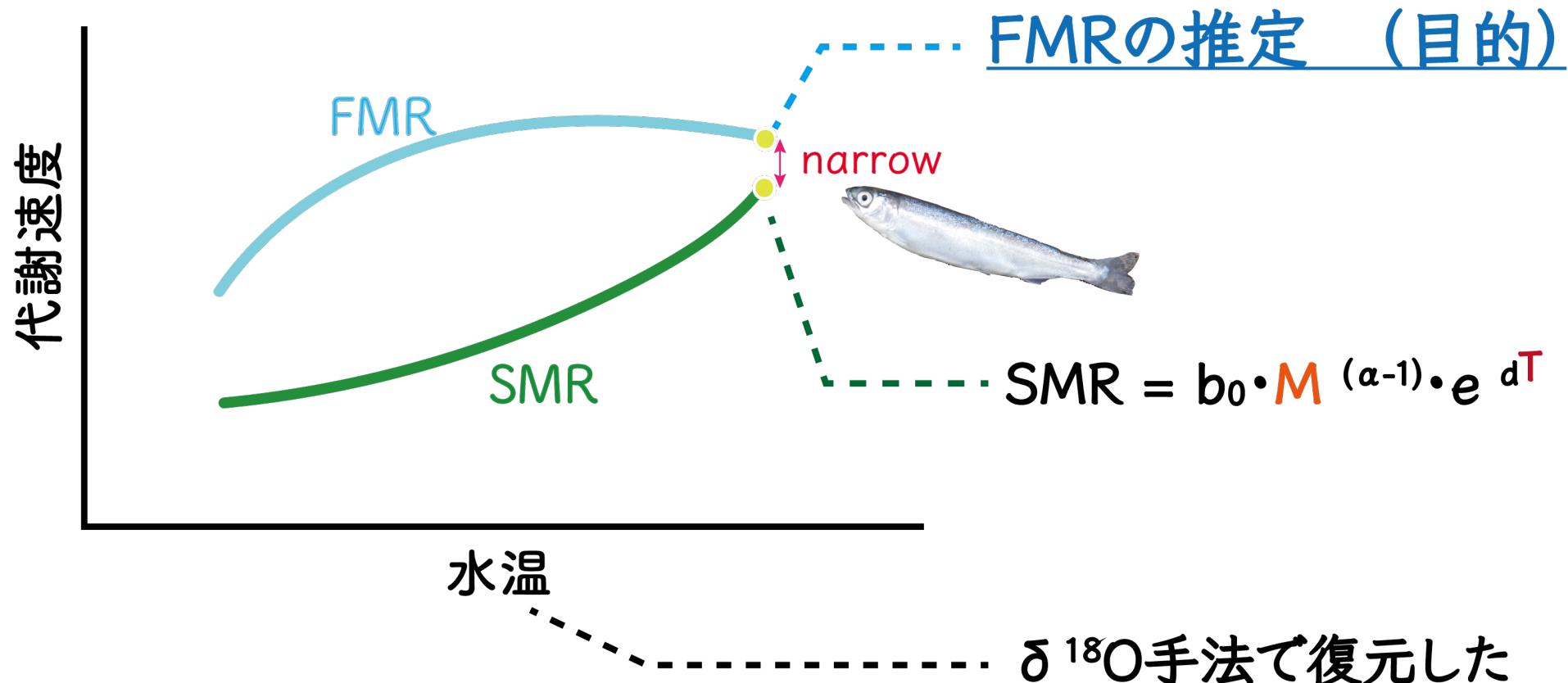
- ① サケ稚魚の経験緯度・経験水温を個体レベルで復元した
- ② 越冬期の合流海域は先行研究の想定よりも南に位置する可能性がある
- ③ 冬と春の経験水温は既知の水温範囲より広いことが示された

耳石灰素同位体比による代謝状況の推定

<背景>

降海初期の減耗 \Rightarrow 高水温では、代謝余裕が限られる

(Iino et al. 2022, 2024)



耳石炭素同位体比によるFMRの推定手法

<背景>

耳石炭素同位体比

餌の炭素同位体比

溶存無機炭素の同位体比

$$\delta^{13}\text{C}_{otolith} = \underline{C_{\text{resp}}} \times \delta^{13}\text{C}_{\text{diet}} + (1 - C_{\text{resp}}) \times \delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} + \varepsilon$$

(Kalish, 1991; McConaughey et al. 1997)



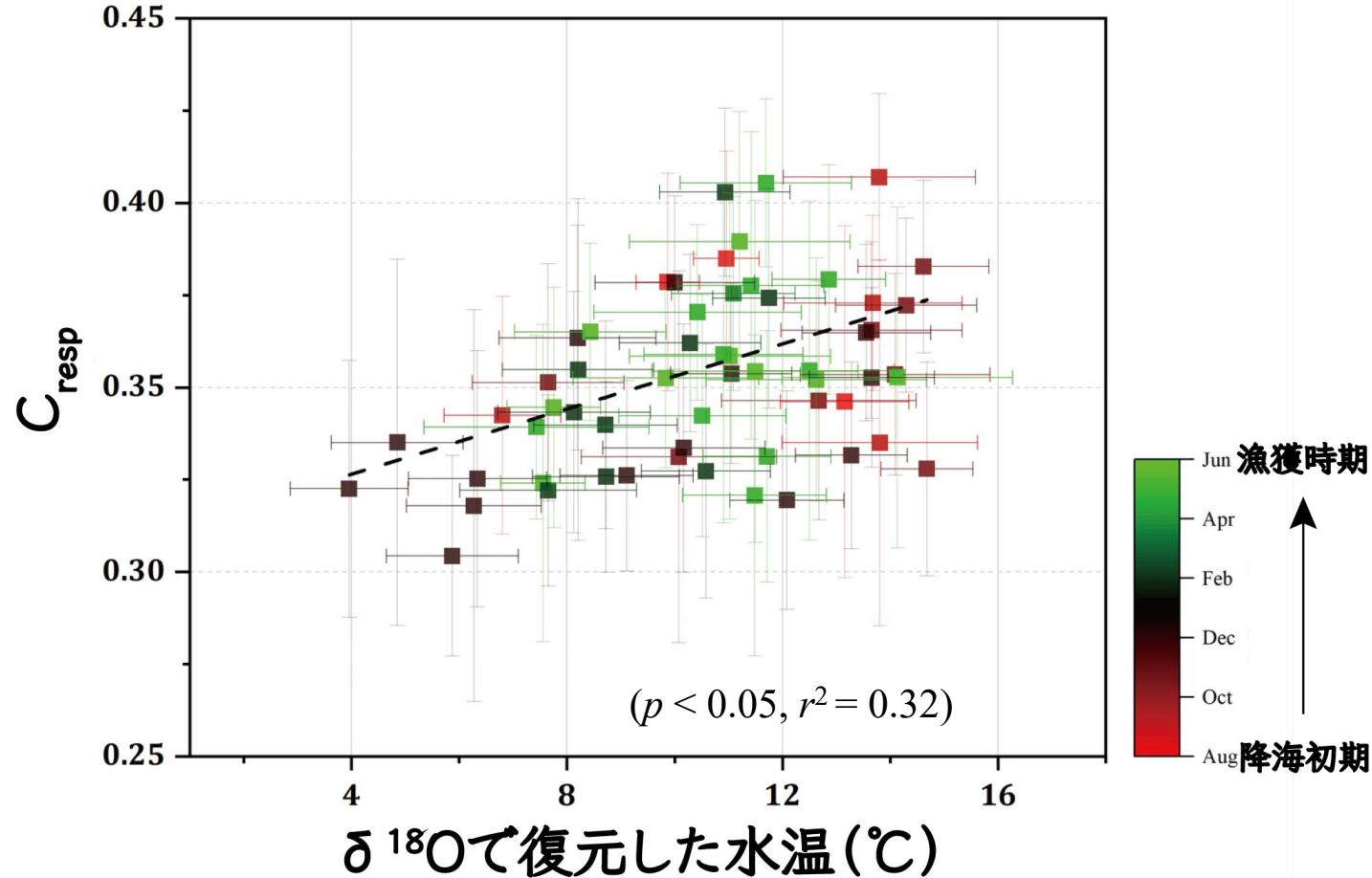
$$C_{\text{resp}} = C (1 - e^{(-k \times \text{代謝速度})})$$

野外代謝速度を反映

(Chung et al. 2019, 2020, Gou 2025)

C_{resp} と水温は正の相関

<結果.考察>

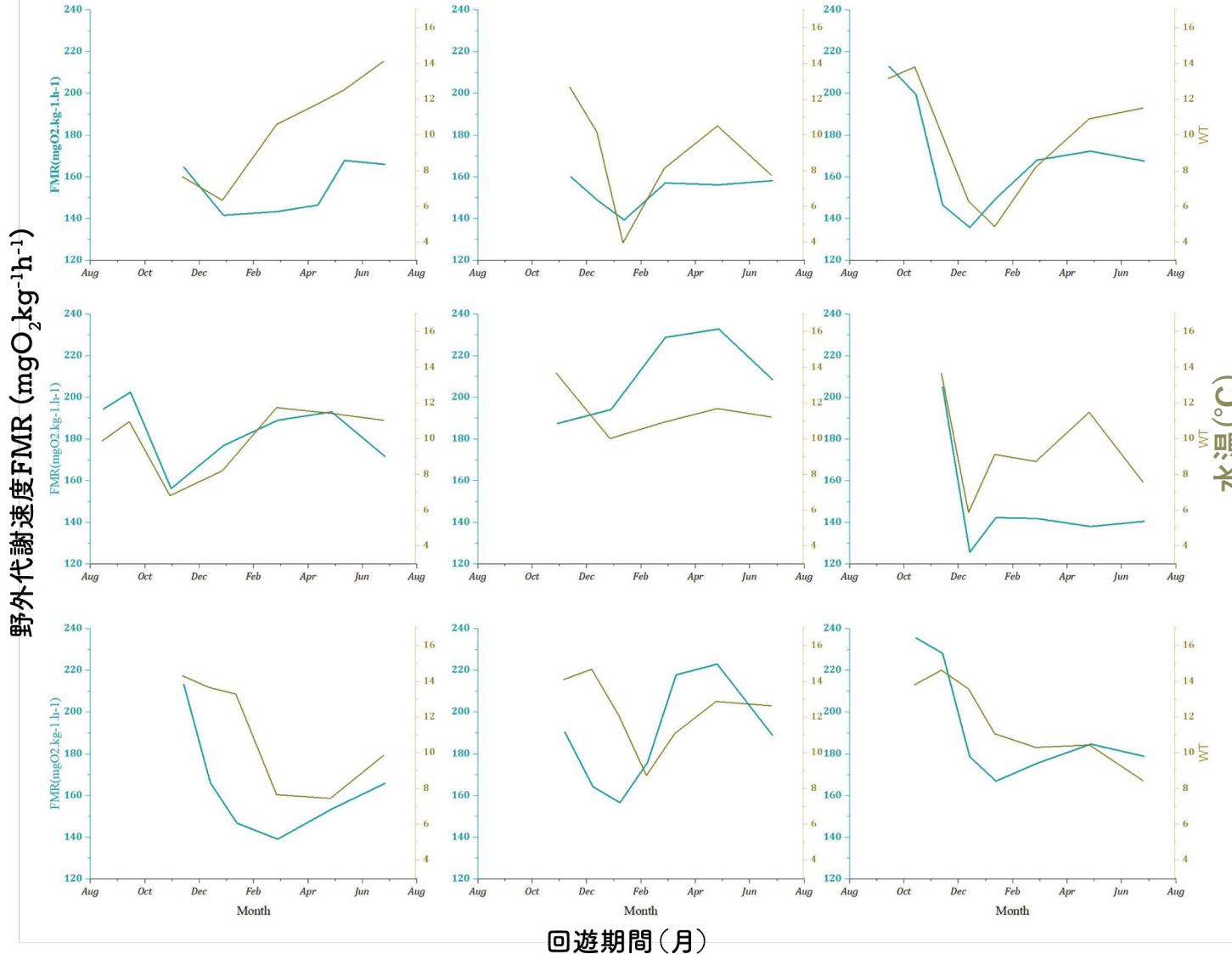


▶ 水温との正相関

▶ 降海直後に高い
翌年春季に中間
冬期間には低い

復元した代謝速度と水温は正の相関

<結果.考察>



▶ 個体レベルで復元した

▶ 魚種間の比較ができない



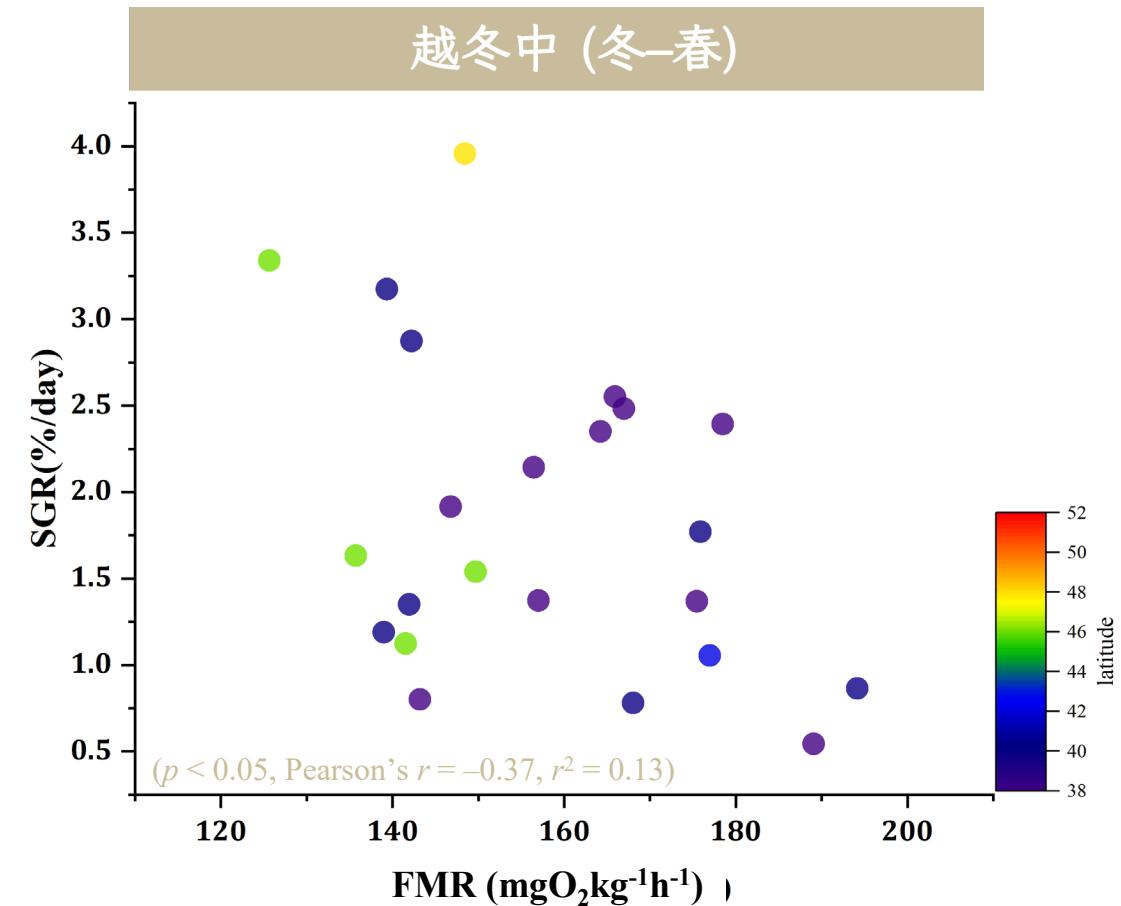
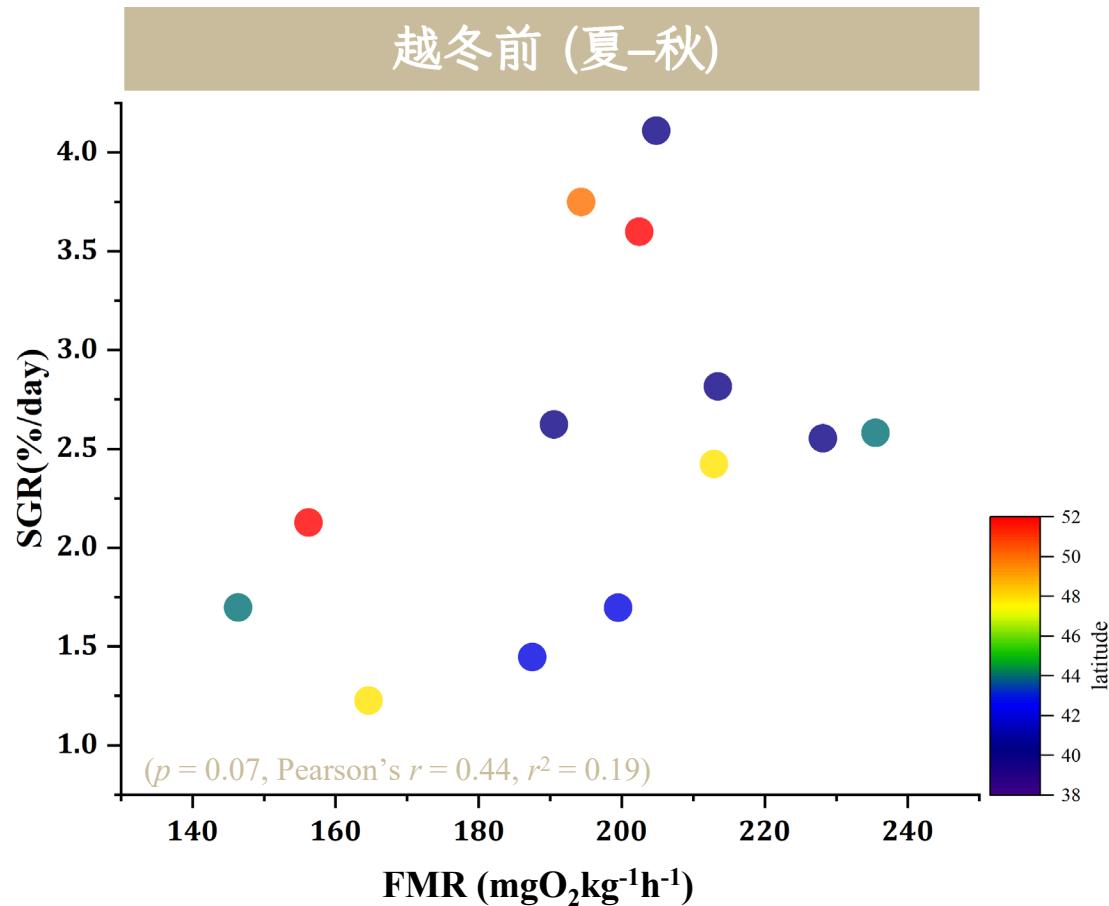
FMRデータが少ない

(Groot et al., 2024)

FMRが水温と正の相関

越冬前と越冬中で異なるFMRと成長速度の関係

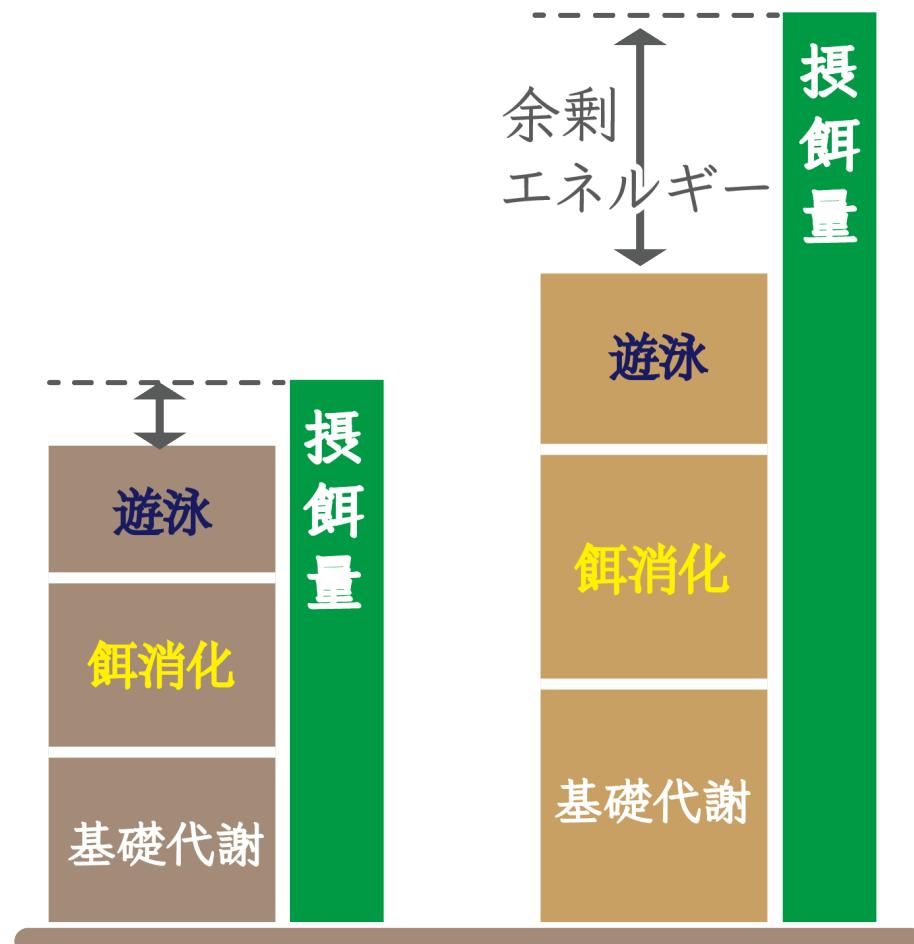
<結果.考察>



餌環境の違いに由来すると考えられる

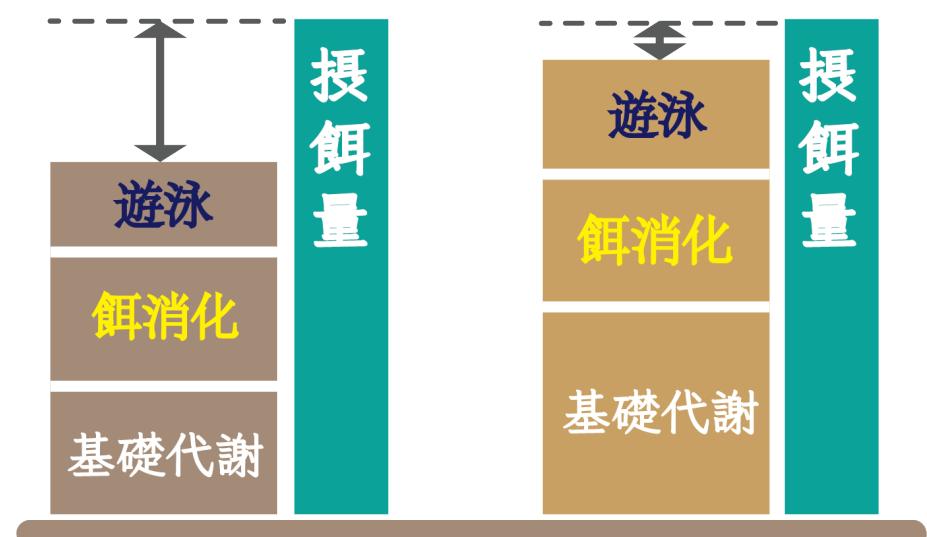
<結果.考察>

夏場の餌環境（良い）では、



代謝の高い個体は餌を多く摂取

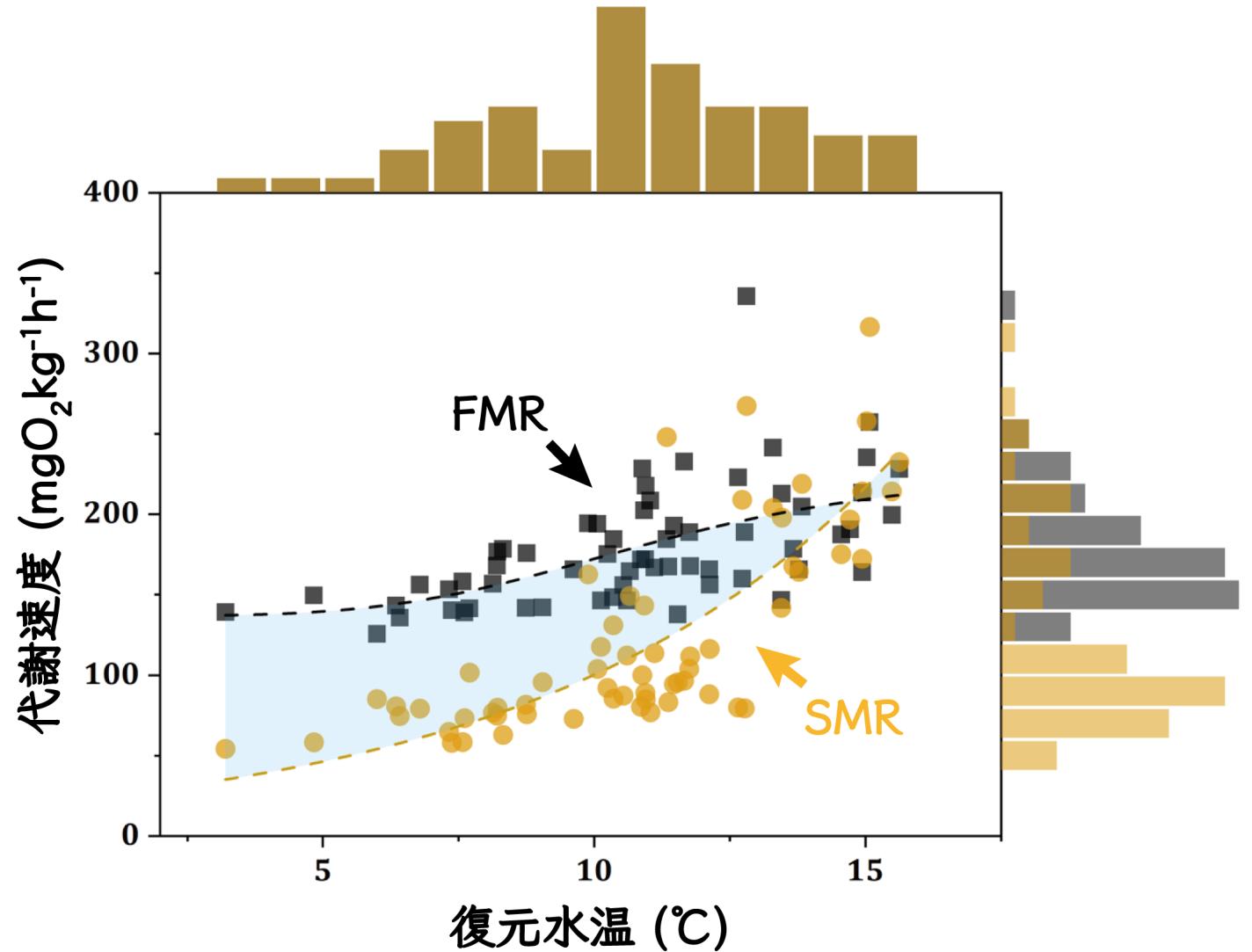
冬場の餌環境（悪い）では、



代謝の低い個体の方が相対成長が速い

高温条件下では代謝余裕が限られる \Rightarrow 減耗

<結果・考察>



高水温では、
FMRとSMRは近い値

初期降海の高水温環境では
減耗しやすい

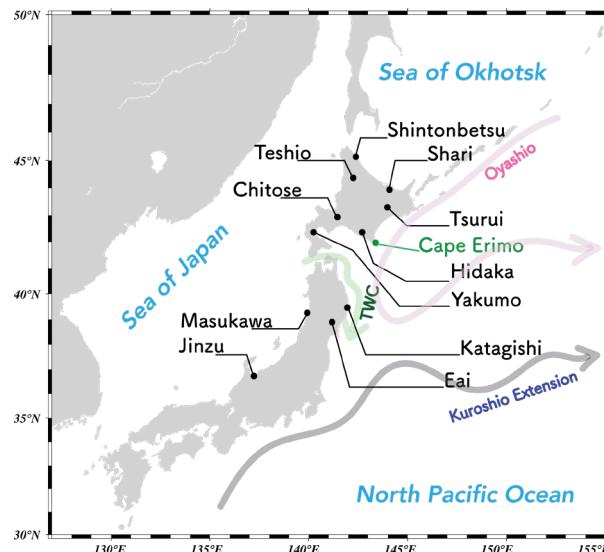
$\delta^{13}\text{C}$ 手法により <まとめ>

- ① 初期回遊中のFMRと成長速度の関係を評価した
⇒ 餌環境によって関係性が変わる可能性を示唆

- ② 初期降海時期の高水温下では、代謝余裕が限られていた
⇒ 初期減耗と密接に関連していると考えられる

本研究の結論

- ▶ 稚魚期の経験水温を復元できた (4.0–15.6°C)
(耳石酸素同位体)
- ▶ 越冬海域はより南の40° N付近で滞在した
- ▶ 冬前後の代謝－成長の関係が異なることから餌環境が違うと示唆
(耳石炭素同位体)
- ▶ 初期生活期では、高水温での代謝余裕が狭いため減耗しやすい



本法の応用例

由来のわかる個体により、系群ごとの経路の解明

成魚へ応用することで、回帰経路や索餌海域の推定