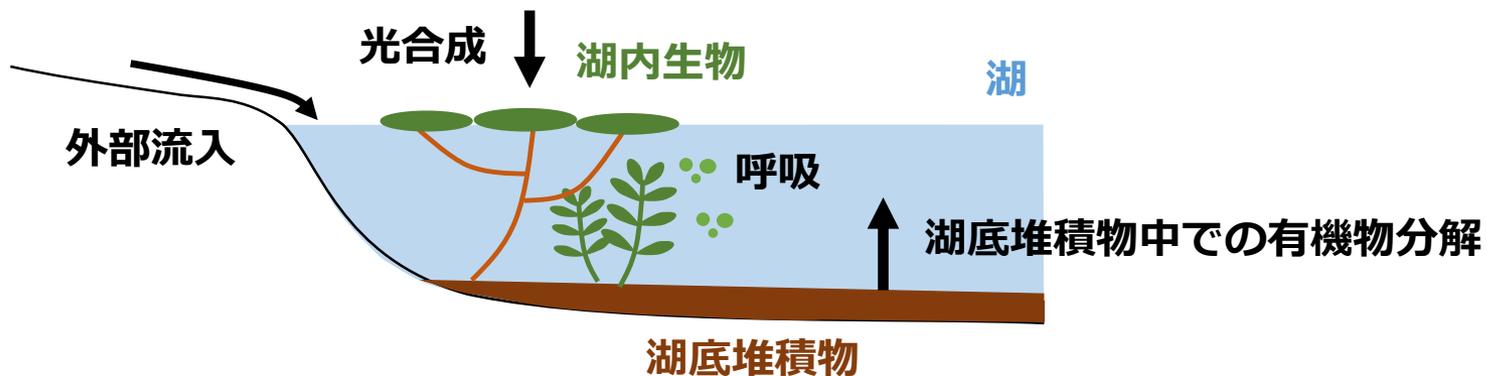


浅い富栄養湖における表層正味生産と 湖—大気間の二酸化炭素交換の 長期変動

24SS602F 奥西亮介



- ・ 二酸化炭素 (CO_2) は重要な温室効果ガス
- ・ 湖は地表と大気間の温室効果ガス交換において重要 [Shao et al, 2015]



→ プロセスの**正味の結果**として湖が CO_2 の**放出源**・**吸収源**が決定

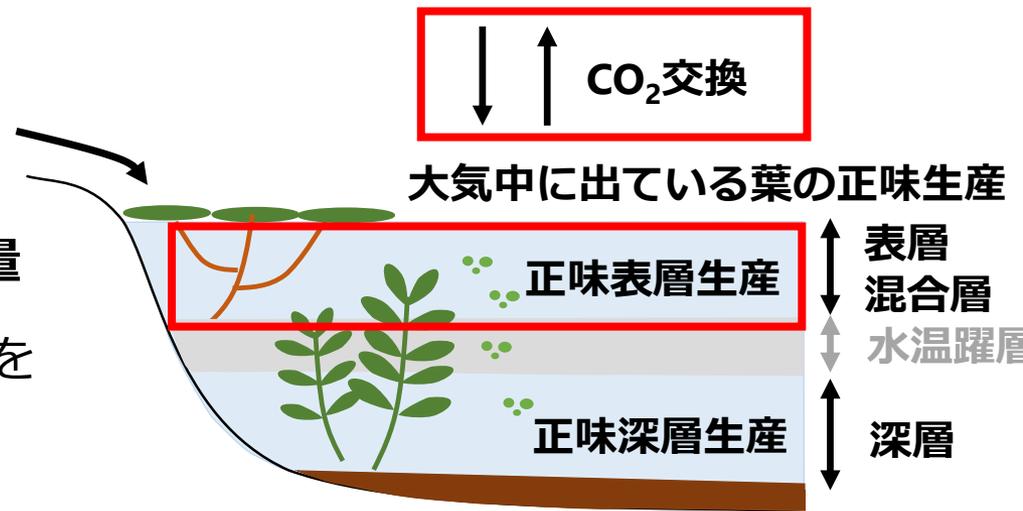
渦相関法でCO₂交換のホットスポットである湖岸や浅い湖の測定が重要

植物プランクトン増殖、水生植物が多く繁茂する夏季に、
明確な日変化とCO₂の吸収傾向 [Okunishi et al., 2025; Shao et al., 2015]

湖と大気間のCO₂交換の変動や制御要因を詳細に理解するために、
光合成や呼吸などの湖内プロセスの寄与の把握が必要

渦相関法によるCO₂交換測定：

湖内のプロセスや外部流入の結果
として起こる水面での正味の交換量
→ 各プロセスのCO₂交換への寄与を
直接評価できず



溶存酸素日変化法：表層混合層の溶存酸素濃度日変化に基づく**光合成、呼吸推定**

- ・ 表層混合層に着目
- ・ 湖内の上下の混合が制限されていると仮定

溶存酸素日変化法による代謝推定

季節スケール：水温や日射、植物プランクトンの遷移に対応

[Laas et al, 2012 ; Richardson et al, 2017]

年スケール：栄養塩に対応 [Richardson et al, 2017]

溶存酸素日変化法の課題

浅い湖・湖岸への適用で、鉛直混合など**物理的要因**などにより推定精度が低下

表層の溶存酸素濃度変化に、**深層の影響**や系統的な誤差 [Brother et al, 2017]

目的

諏訪湖において、渦相関法による**CO₂交換測定**と**溶存酸素日変化法**を組み合わせて、**表層の光合成、呼吸の変動**を踏まえた、**湖と大気間のCO₂交換の長期変動**の解明

- 溶存酸素日変化法の**浅い湖への適用**や**物理的要因**の検証
- 湖岸および湖心における**光合成、呼吸の制御要因**を解明
- 渦相関法によるCO₂交換測定と組み合わせて、**湖と大気間のCO₂交換への寄与**を評価

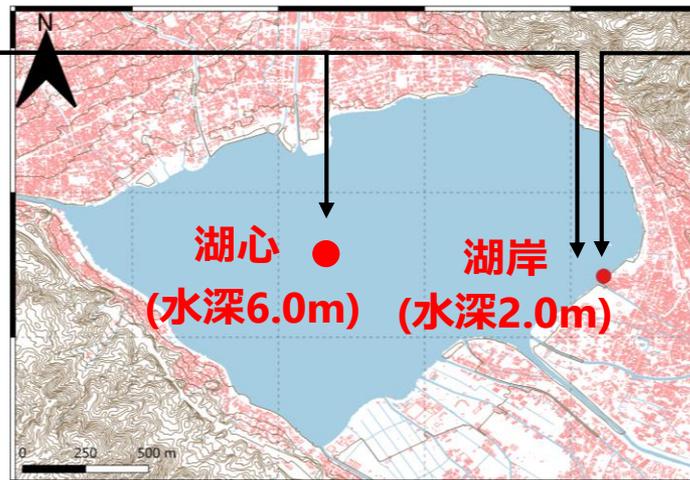
観測サイト：諏訪湖

- ・ 浅い富栄養湖（平均水深4.3m）
- ・ 夏季にヒシ（浮葉植物）、クロモ・マツモ（沈水植物）などが繁茂

観測項目（30分平均）

湖内環境

- ・ 水温，溶存酸素濃度
- 湖岸：3深度
- 湖心：5深度
- ・ クロロフィルa
(植物プランクトン量)



気象

- ・ 気温，日射，風速

渦相関観測

- ・ CO₂交換

湖内環境

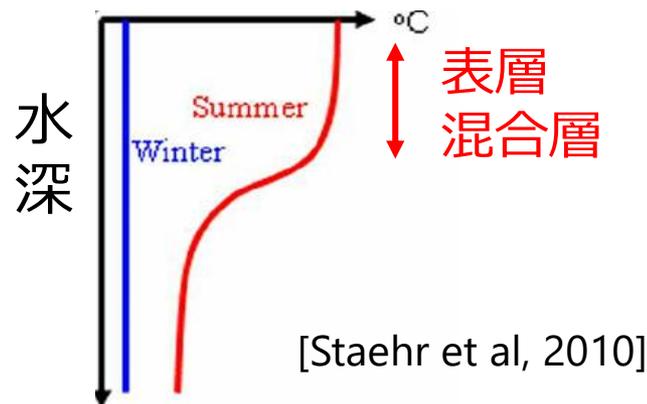
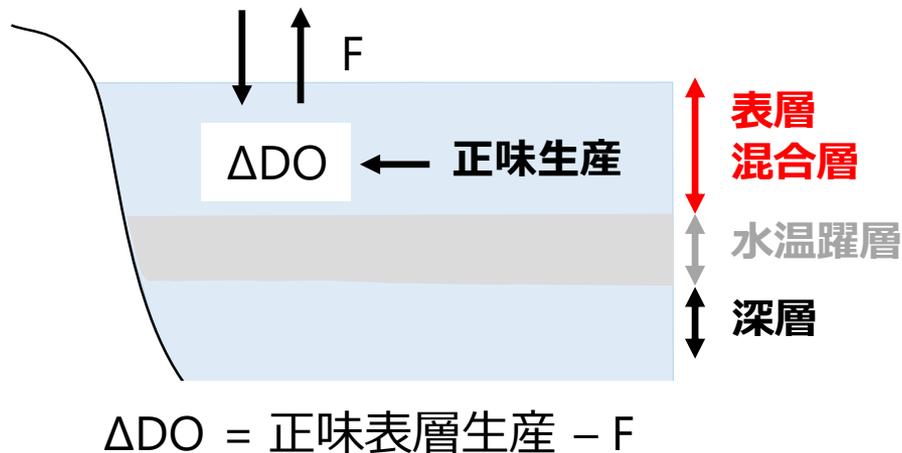
- ・ 溶存CO₂濃度
(2025年5月～)

解析期間

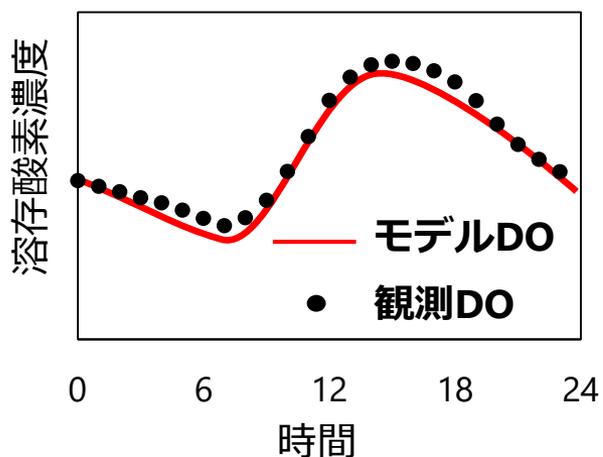
代謝の推定：2016年-2024年

溶存CO₂濃度と溶存酸素濃度の関係：2025年

表層混合層の溶存酸素濃度日変化から表層の光合成・呼吸・正味生産を推定



LakeMetabolizer [Winslow et al, 2016]



溶存酸素濃度の時間変化を予測するモデル

$$DO_t = DO_{t-1} + \text{光合成} - \text{呼吸} - F + \text{差}$$

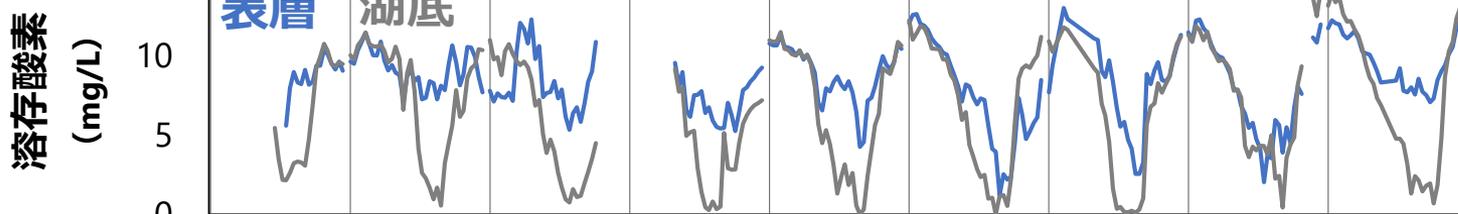
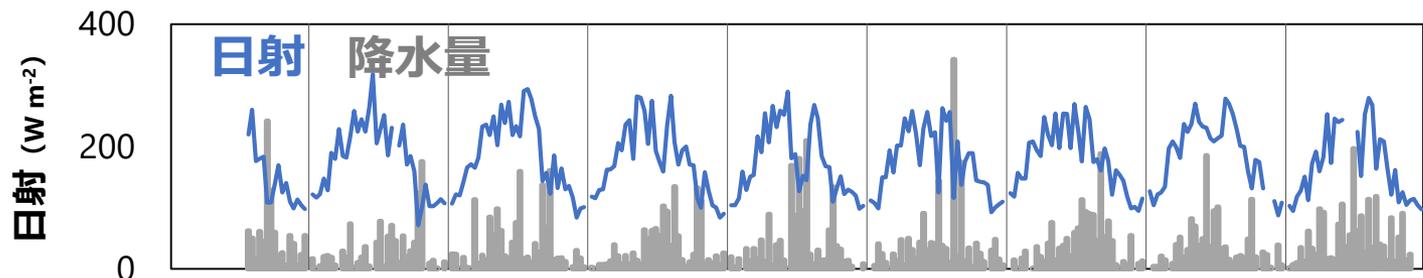
$$\text{光合成} = \iota \text{ 日射} \quad \text{呼吸} = \rho \log(\text{水温})$$

観測DOとの差が最小となるようパラメータ(ι , ρ)推定

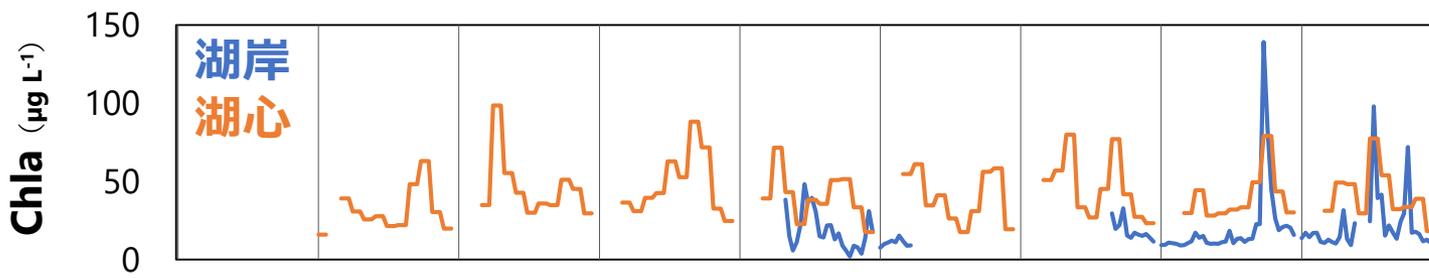
観測DOとモデルDOの相関が低い日は除外

代謝欠測値はランダムフォレスト回帰で補間

結果 | 気象・湖内環境の時間変化



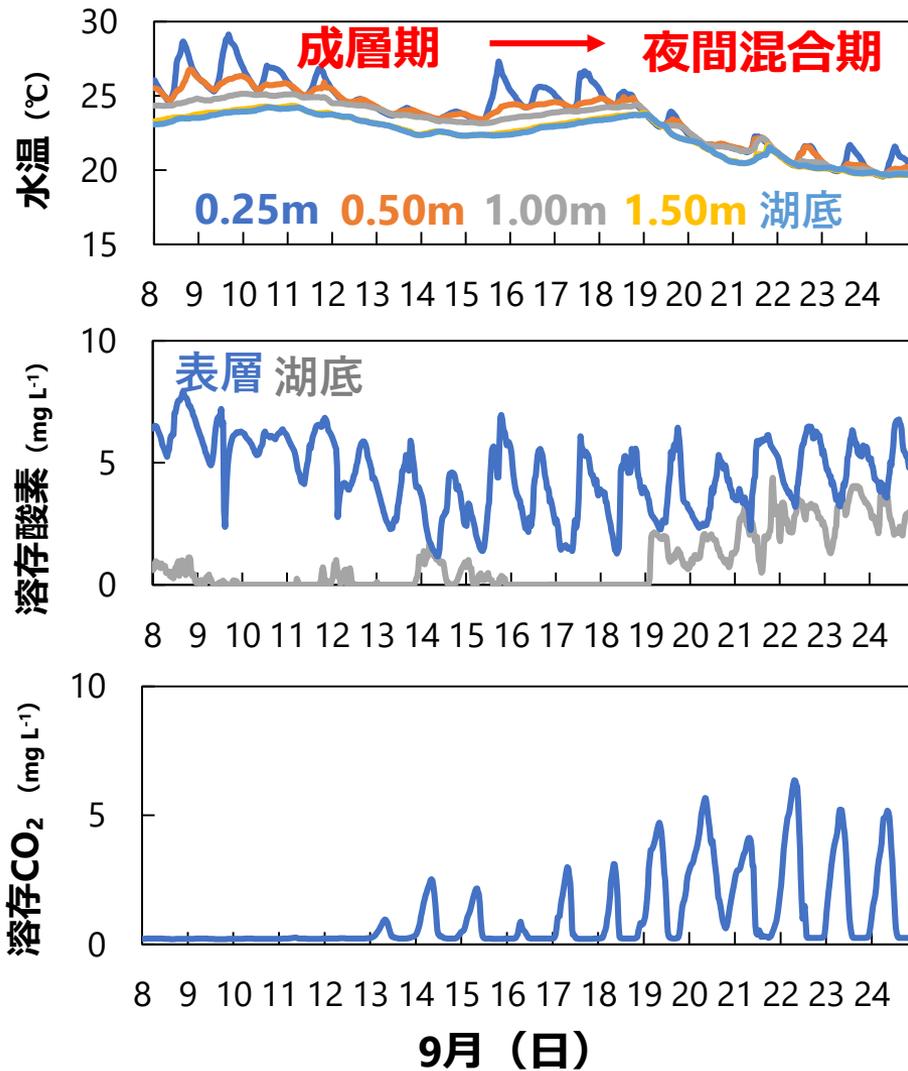
溶存酸素濃度
夏に湖底ほど低下



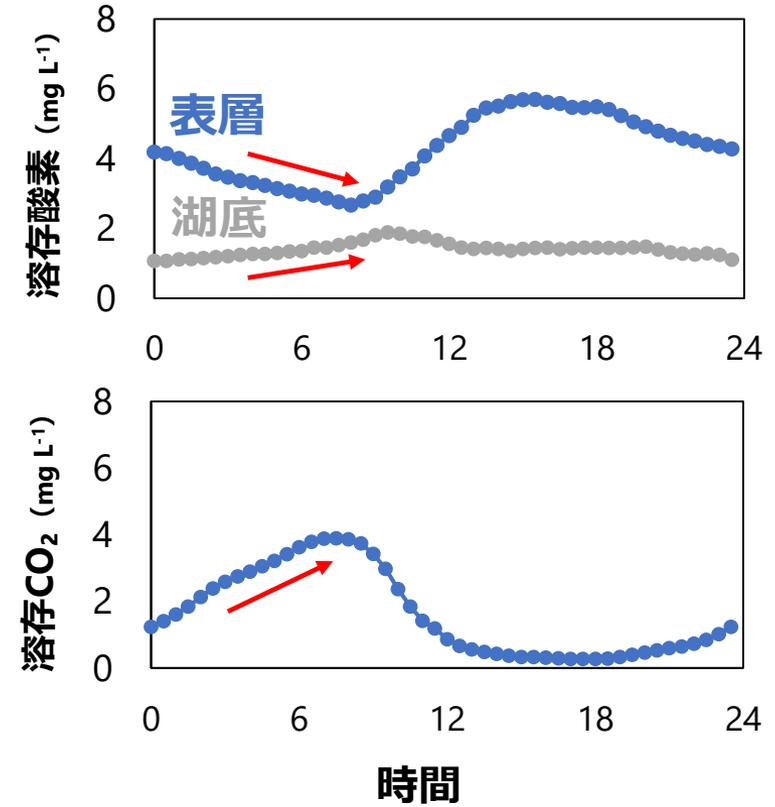
Chla濃度
湖心：春と秋に極大



湖岸の水生植物
21,22年：ヒシ繁茂
→ 23年刈り取り
24年：沈水植物
クロモからマツモ



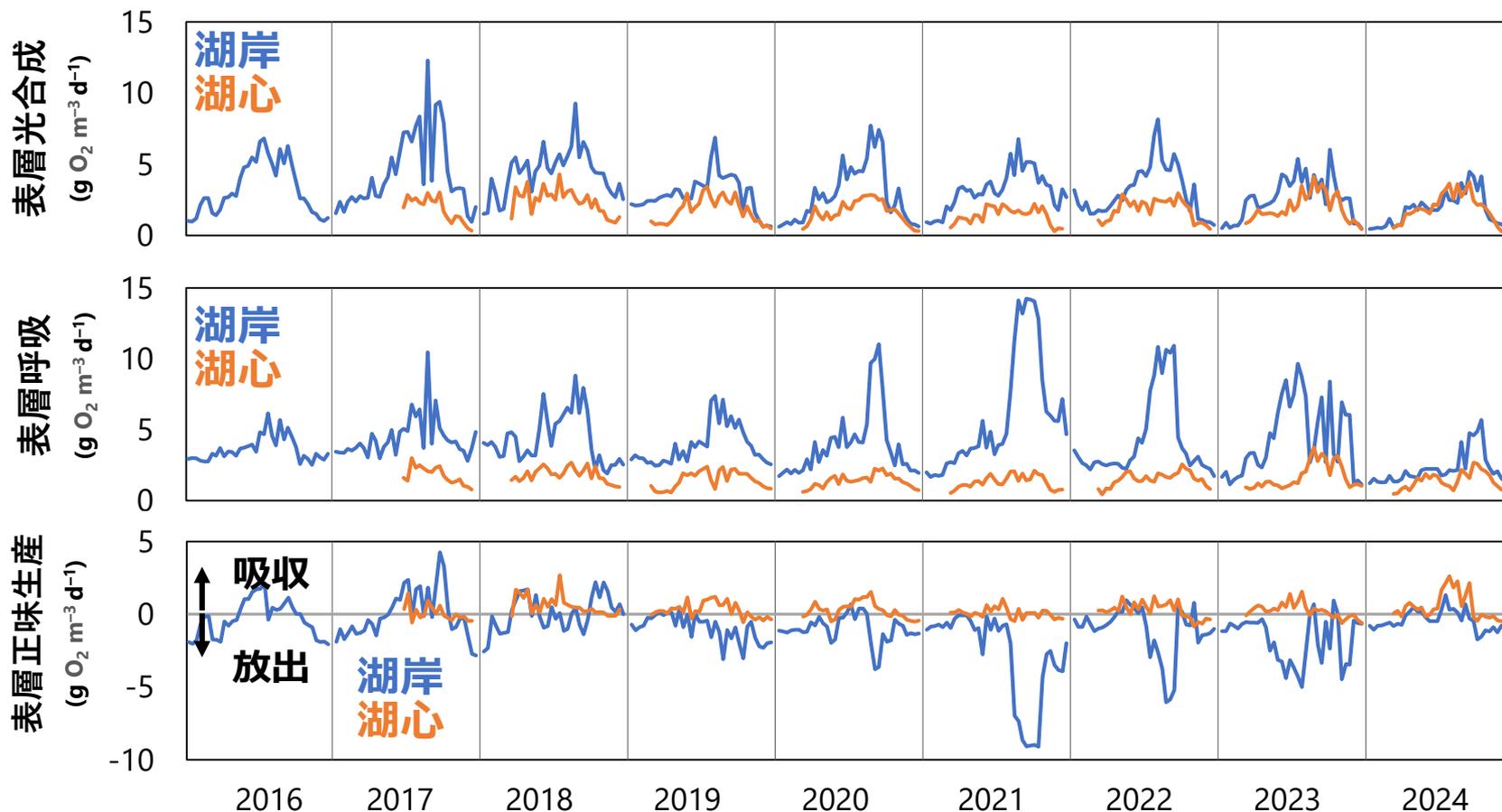
夜間混合期 (9/13~)



湖底の高CO₂・低酸素水が表層に輸送
 → 表層酸素濃度変化に夜間混合の影響

夜間混合の影響を光合成・呼吸の推定から除去

→湖底の溶存酸素濃度上昇時、前後の呼吸のパラメータを内挿する手法を適用

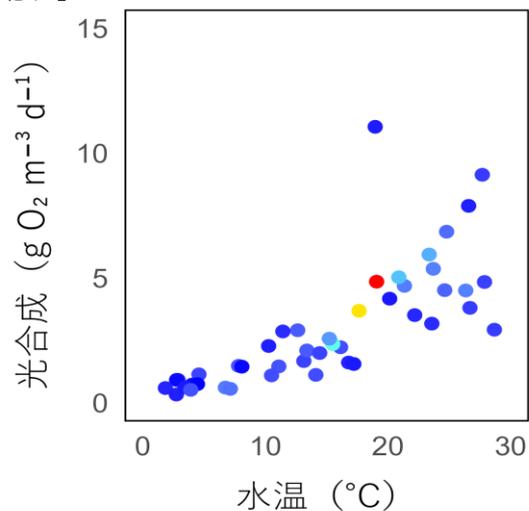


光合成・呼吸：湖岸・湖心ともに夏に最大、湖岸 > 湖心

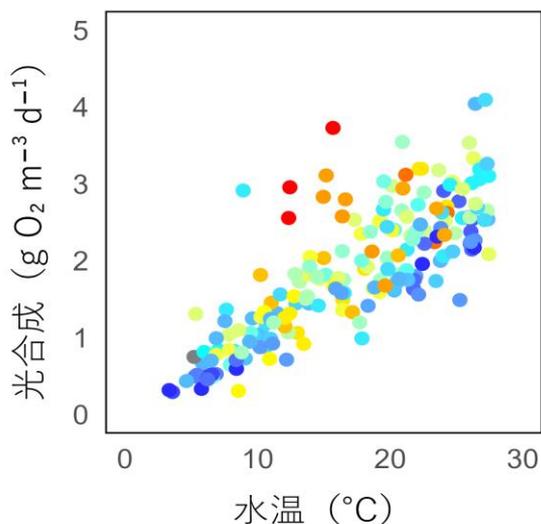
正味生産：湖心 → どの年も冬正味CO₂生成、夏CO₂吸収

湖岸 → 季節変化が年によって異なる

湖岸



湖心



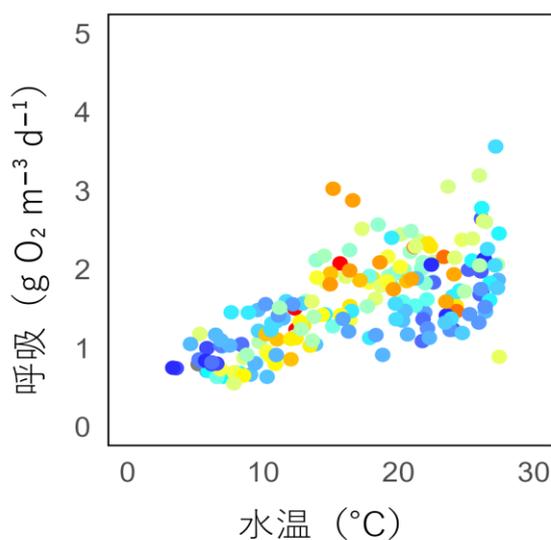
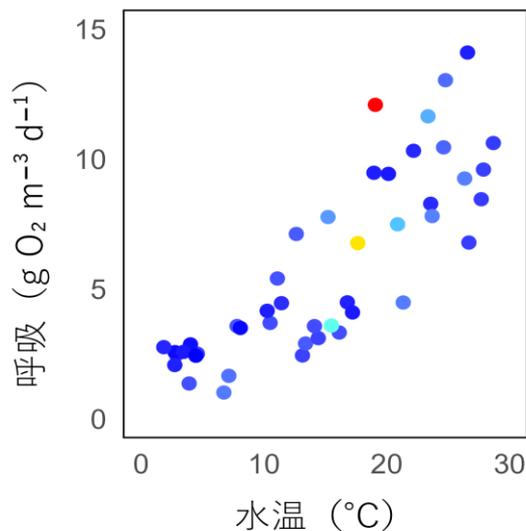
湖岸湖心

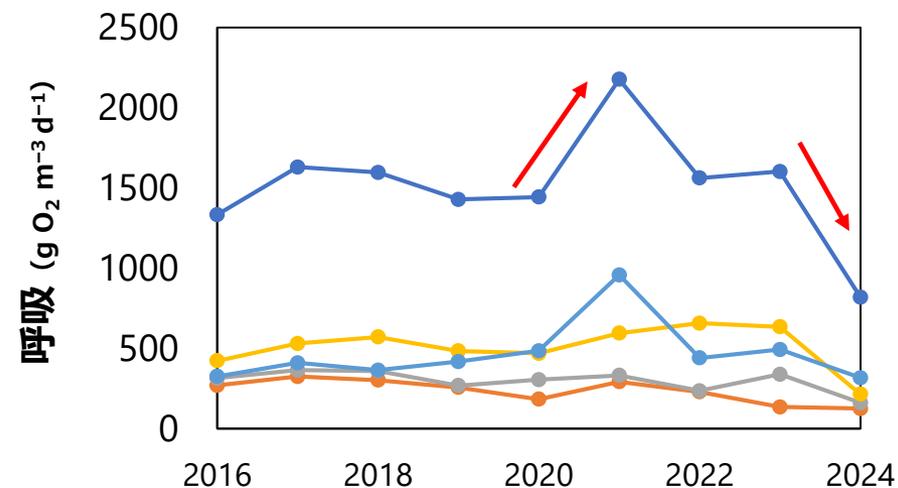
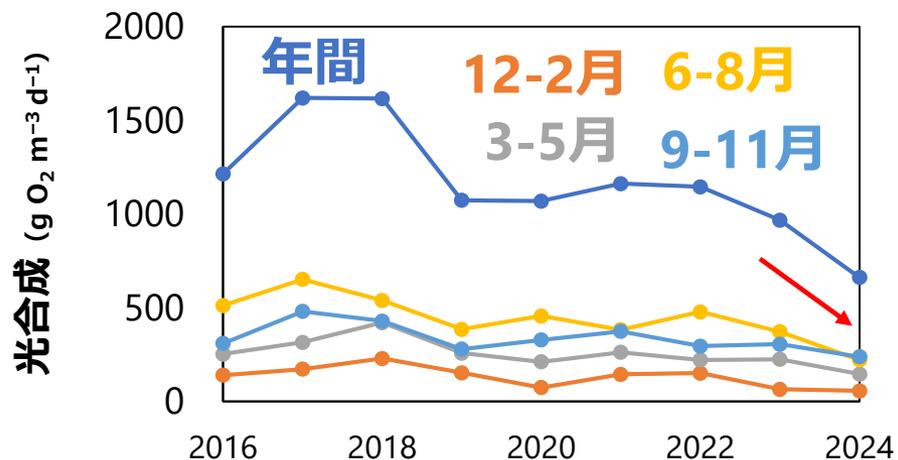
光合成・呼吸：
水温の上昇に
伴って増加

Chlaとの関係

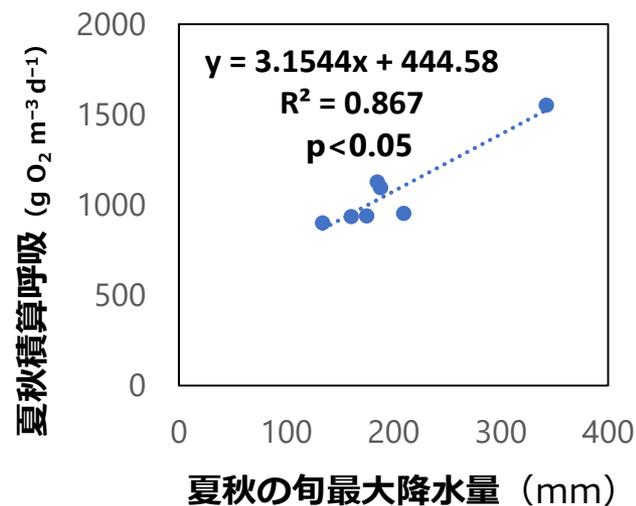
湖心

植物プランクトン
量に依存傾向





・呼吸：流域河川からの有機物流入の影響



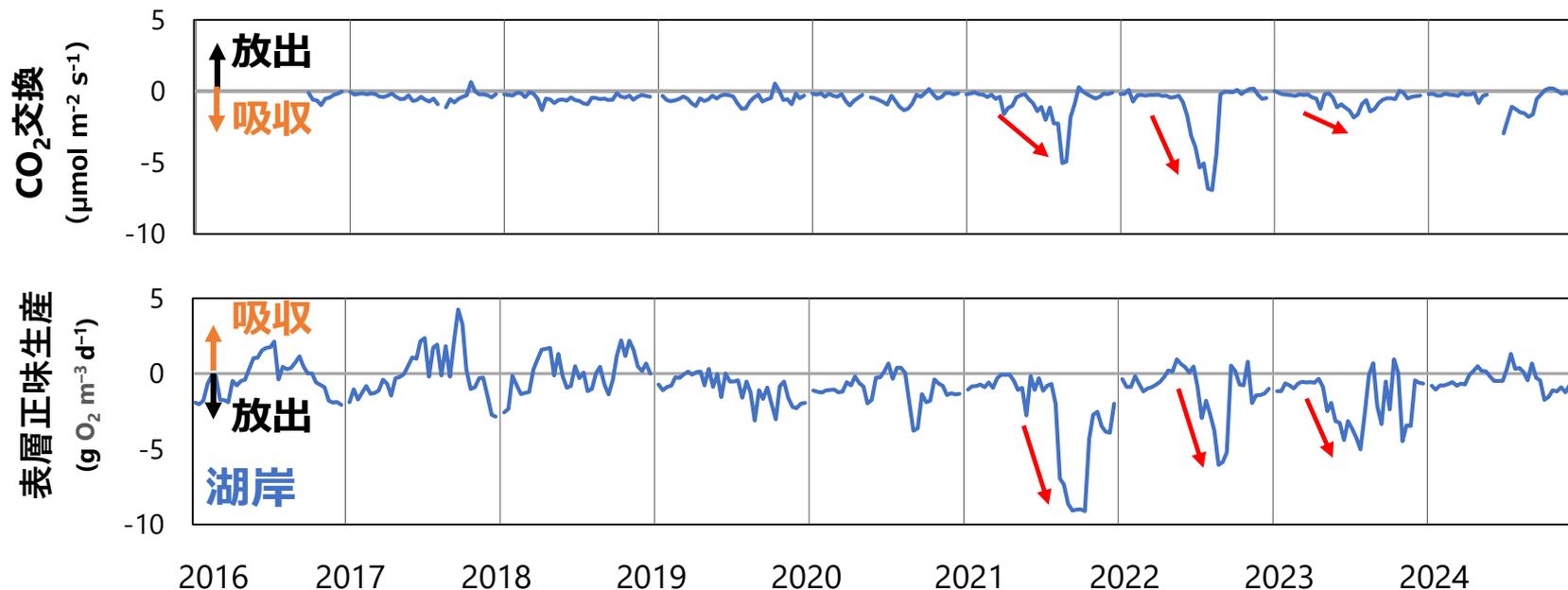
降水量大
→呼吸大

・2024年光合成・呼吸が小

→ 2024年以降湖岸の沈水植物がクロモからマツモに遷移

光合成能力：クロモ > マツモ

(Van et al., 1976; Alzurfi et al., 2019)



CO₂交換：湖岸に浮葉植物のヒシが多く繁茂、大気中に出ているヒシの葉の光合成

表層正味生産：ヒシが繁茂すると、正味CO₂生成

→ 表層外のヒシ由来の有機物の湖水表層への供給増加の可能性
(枯死したヒシの分解、水中根からの滲出など)

まとめ

- ・ 溶存酸素日変化法の浅い湖への適用や物理的要因の検証
秋の夜間混合期、**湖底の溶存酸素濃度**を用いて、混合の影響を受けている
データ除外
- ・ 湖岸および湖心における光合成、呼吸の制御要因を解明
光合成・呼吸：**湖岸では有機物流入や種の変化の影響**
湖心では植物プランクトン量の影響
- ・ **渦相関法によるCO₂交換測定との関連**
ヒシの大気中の葉のCO₂吸収卓越し、**湖表面での交換は吸収**
ヒシの繁茂により**湖水表層では正味CO₂生成（有機物供給増加の可能性）**

結論

湖と大気間のCO₂交換の長期変動は、主にヒシの繁茂に制御される。ただし、ヒシの繁茂が正味CO₂生成を促進しており、湖と大気間のCO₂交換の理解には、ヒシから表層への作用の理解が必要である