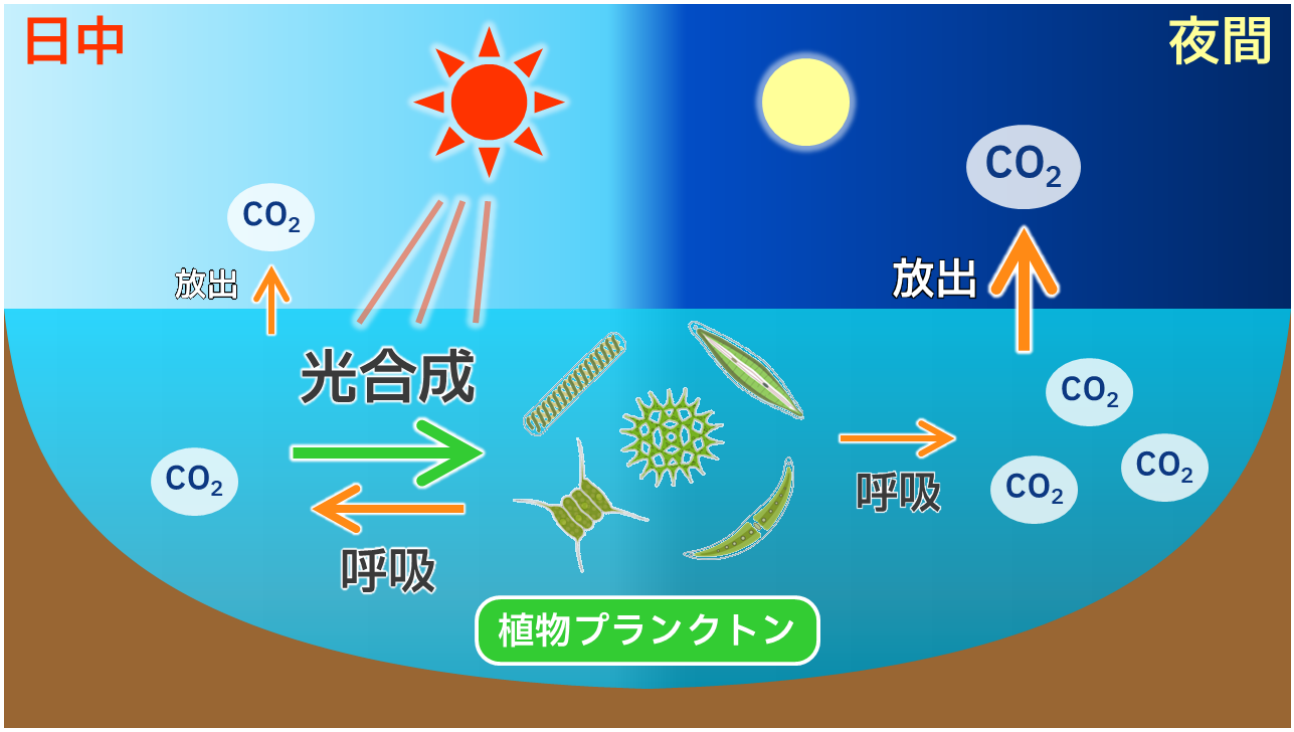
ため池表層水の CO_2 分圧の日内変動を解明

―季節によってパターンが異なる―

概要

京都大学生存圏研究所 伊藤雅之 准教授、同大学大学院農学研究科 坂部綾香 助教、同 山本彦 博士後期課程学生、兵庫県立大学環境人間学部 奥勇一郎 准教授、姫路科学館 宮下直也 主事らの研究グループは、ため池表層水における二酸化炭素（CO_2）分圧（pCO_2）※1 の日内変動とその季節変動について明らかにしました。湖沼や貯水池は重要な温室効果ガスである CO_2 の放出源として知られており、湖沼や貯水池の pCO_2 は日内変動することが確認されているものの、その観測データは不足しています。そのため、既往研究で示された変動パターンが普遍的なものであるかは明らかになっておらず、湖沼や貯水池からの CO_2 放出量を高精度に推定する上での妨げとなっていました。本研究グループは、兵庫県のため池※2 において、1 年間のうち 170 日以上にわたり、30 分間隔で表層水の pCO_2 を測定し、pCO_2 は年間を通じて朝に最大、午後に最小となることと、これらの時間帯は夏に早く、冬に遅くなることを解明しました。この成果は、湖沼や貯水池から放出される CO_2 の量を正確に評価するための重要な知見となります。本研究成果は、2026 年 11 月 11 日に国際学術誌「*Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*」にオンライン掲載されました。



水中の CO_2 動態の日内変動の概念図。光合成と呼吸によって水中の CO_2 が消費または生成され、pCO_2 が連続的に変化する。本研究により、日内変動とその季節変動が明らかになり、湖沼から大気へ放出される CO_2 の量をより高精度に評価するために必要な観測の時間間隔や頻度が示された。

©宮下直也／図中イラスト（一部）の出典：研究ネット（https://www.wdb.com/keng/illust）

１．背景

CO_2は、地球温暖化に関わる重要な温室効果ガスです。湖沼や貯水池などの陸上の水域は、周辺から流れ込む有機物の分解や、水中の生物の活動を通じてCO_2を生成し、大気中へ放出します。湖沼や貯水池から大気中に放出されるCO_2の量は、年間 0.32 Pg C[※3]に及ぶとも推定されており、これら陸上の水域におけるCO_2の動態を把握することは、地球規模の炭素循環を理解するうえでも重要です。

水中の CO_2は、生物の呼吸[※4]や有機物の分解によって生み出される一方で、植物プランクトン[※5]などの光合成[※6]によって消費されます。そのため日中は光合成が呼吸を上回るときに水中のpCO_2は低下しますが、夜間は光合成が行われず、呼吸などによりCO_2が生成され、pCO_2は上昇します。

しかし、日の出や日没の時刻・日照時間・水温は季節とともに変わるため、水中の生物活動に影響し、pCO_2の日内変動パターンも季節によって変化する可能性があります。そのため、測定する時刻や間隔を考えずに観測を行うと、それぞれの季節のpCO_2変化の特徴を捉えられず、放出量評価の誤差につながるおそれがあります。しかしながら、年間を通じて昼夜のpCO_2変化を詳しく調べた研究は国内外でほとんど報告されておらず、その動態は未解明となっています。

このような課題に対して、本研究は兵庫県のため池において表層水のpCO_2を高頻度・高時間分解で観測することで、pCO_2の日内変動やその季節ごとの変動パターンの違いを明らかにすることを目的として行われました。日本には瀬戸内少雨地域を中心に 15 万個以上のため池があり、農業用水の確保に利用されています。本研究は、こうした小規模でありながら数の多い水域が地域や地球規模の炭素循環に及ぼす影響を明らかにする上でも重要なものです。

２．研究手法・成果

本研究グループは、兵庫県姫路市の姫路科学館に隣接する「ため池（上池）」（図 1a）を対象に、2022 年 9 月から 2023 年 8 月まで観測を実施しました。合計 170 日以上にわたり、表層水のpCO_2を 30 分間隔で測定するとともに、光合成有効放射量（PAR）[※7]や水温のモニタリングも行った結果、主に次の 4 点が明らかになりました。

① 表層水中のpCO_2は朝に高く、午後に低くなる

年間を通じて、pCO_2は朝に最大となり、午後に最小となる傾向が確認されました（図 1b）。昼夜のpCO_2変化の幅は季節によって異なり、夏に大きく、冬に小さくなる傾向がありました。この変化には PAR や日照時間の季節変化が影響していると考えられました。

② pCO_2が最大・最小となる時刻は季節によって変わる

pCO_2が最大となる時刻と最小となる時刻は、夏に早く、冬に遅くなる傾向が見られました（図 1b）。この変化には、日の出の時刻や水温などの季節的な変化が影響していると考えられました（図 2）。

③ PAR や水温がpCO_2の日内変動に与える影響は季節によって変わる

PAR や水温は、光合成や呼吸などの生物活動にかかわるため、水中の CO_2の増減に影響します。その影響について調べたところ、PAR は全ての季節でCO_2の消費に寄与していたのに対し、水温は秋に CO_2消費、春と夏に CO_2生成に寄与していました。

④ 測定する時刻や頻度が、年間の評価精度に影響する

表層水の年間平均pCO_2は、1,517 µatm でした。大気とつり合うためのpCO_2はおよそ 400 µatm であり、水面から大気へ CO_2を放出する傾向にあることが分かりました。一方、昼夜の変化を考慮せずに限られた時刻の測定値から年間平均を推定すると、最大で 40%の過小評価または 60%の過大評価が起こりうることが分かりました。また、pCO_2の測定間隔を 6 時間以内（1 日 4 回以上）とすることで、誤差を 5%以内に抑えられることが明らかになりました。

３．波及効果、今後の予定

本研究は、水中の CO_2 が日内で大きく変動することと、その変動パターンが季節によって異なることを初めて詳細に示しました。また、湖沼や貯水池などから大気へ放出される CO_2 の量をより正確に評価するために必要な観測の時間間隔や頻度も示したことで、水域からの CO_2 放出量推定の高精度化に貢献するものです。特に、限られた観測データを用いて CO_2 の動きを評価する場合は、6 時間以内の測定間隔で観測を行い、昼夜の変化や季節による違いを考慮することが重要だということが明らかになりました。

今後は、異なる地域や規模、水質の水域でも同様の観測を行い、今回明らかになった変化の特徴がどこまで共通するのかを調べる必要があります。また、日射や水温などの環境要因、植物プランクトンなどの生物活動および CO_2 の関係をさらに詳しく調べることで、湖沼や貯水池が炭素循環に果たす役割の理解が進むことが期待されます。

４．研究プロジェクトについて

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業（課題番号：20H03109、20K15636、23KK0194、25K15427）、同二国間交流事業（課題番号：JPJSBP120258602）ならびに木下記念事業団（学術研究活動助成事業）の支援を受けて実施されました。

＜用語解説＞

※1 CO_2 分圧（pCO_2）

水中に溶けている CO_2 の状態を表す指標の一つ。水中の pCO_2 が大気中より高い場合、水面から大気へ CO_2 が放出されやすい状態となる。ただし、実際の放出量は風速などにも左右される。

※2 ため池

かんがい用水を確保するために造成される農業用貯水池。日本に 15 万個以上現存する。

※3 Pg C（ペタグラムカーボン）

炭素換算（物質量 1 mol あたり 12 g）の重量。1 Pg は 10^{15} g（10 億トン）を表す。

※4 呼吸

生物が生命活動に必要なエネルギーを得る過程。酸素（O_2）を消費して、CO_2 が放出される。

※5 植物プランクトン

水中で浮遊生活を送り、光合成を行う藻類や細菌。

※6 光合成

植物プランクトンなどが光のエネルギーを利用して有機物と O_2 を作るはたらき。CO_2 が消費される。

※7 光合成有効放射量（PAR）

植物が光合成を行うために利用する、波長 400nm～700nm の光量。

＜研究者のコメント＞

本研究は、身近な「ため池」に着目することで、貯水池の炭素動態の詳細な日中変動を初めて示しました。筆頭著者の宮下さんが、職場に隣接する「ため池」で、仕事の合間の昼休みを中心に地道な観測を続けた成果が実り、著名な国際誌に掲載されたことを大変嬉しく思います。面積の大きい湖に比べて注目されにくく、観測データが少ない小さな水域の観測から、炭素動態の高精度な評価に必要な観測の時間間隔や頻度を示すことができました。（伊藤雅之）

＜論文タイトルと著者＞

タイトル：Diel and Seasonal Variation in Surface-Water CO2 Partial Pressure in an Agricultural Reservoir in Japan（日本の農業用貯水池（ため池）における表層水 CO_2 分圧の日内変動および季節変動）

著　　者：Naoya Miyashita, Gen Yamamoto, Ayaka Sakabe, Yuichiro Oku, and Masayuki Itoh

掲 載 誌：*Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 131, e2026JG009684.

DOI：10.1029/2026JG009684

＜参考図表＞

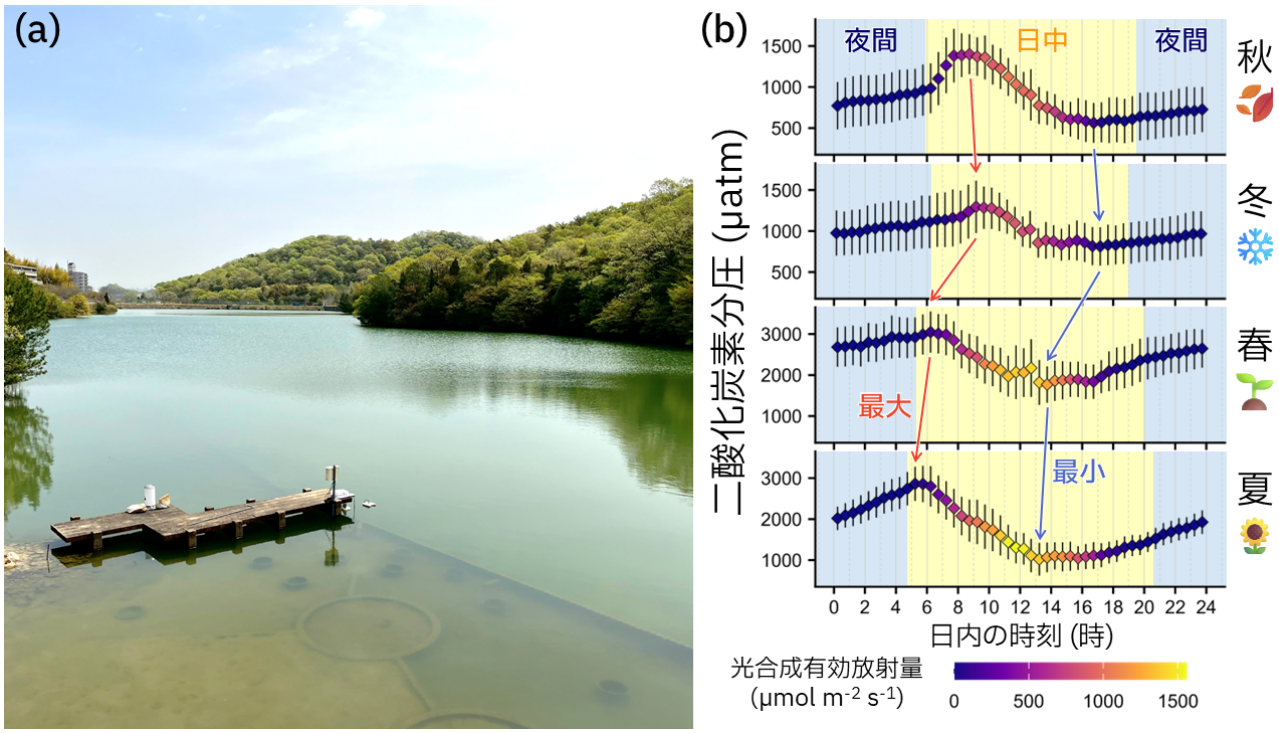


図 1　（a）サンプリング地点付近の様子（b）池表層水における季節ごとの pCO_2 の日内変動

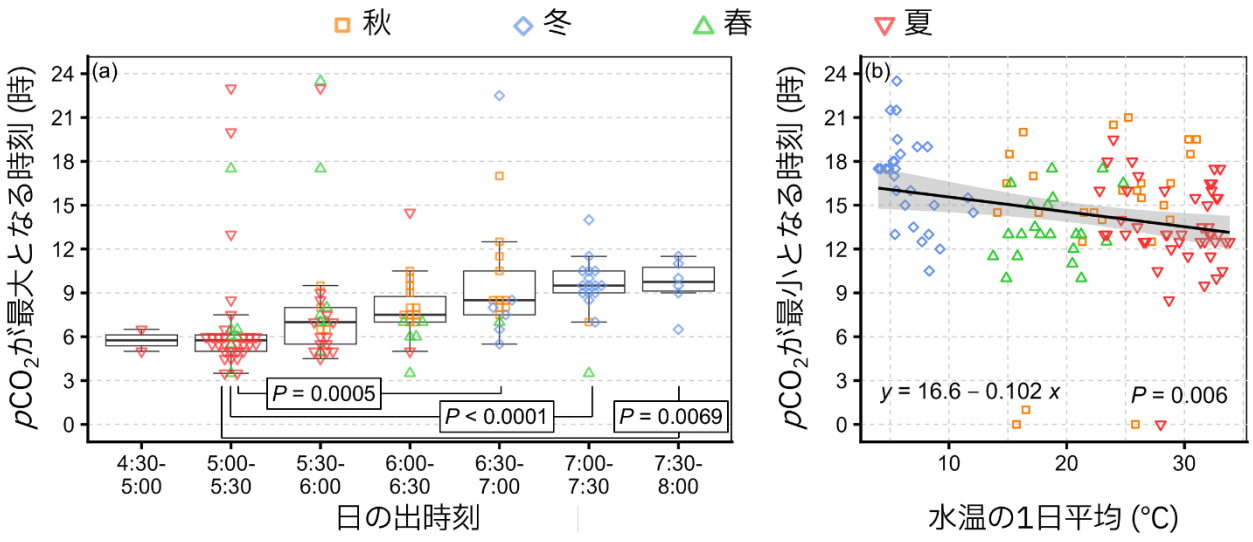


図 2　（a）pCO_2 が最大となる時刻と日の出時刻の関係（b）pCO_2 が最小となる時刻と水温の 1 日平均の関係