

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 7 日現在

機関番号：64303

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05774

研究課題名(和文)湖沼の炭素・窒素循環を駆動するメタン栄養食物網のグローバルパターン解明

研究課題名(英文) Latitudinal pattern of methanotrophic food webs driving carbon and nitrogen cycling in lakes

研究代表者

奥田 昇 (Okuda, Noboru)

総合地球環境学研究所・研究部・准教授

研究者番号：30380281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：異なる気候帯に属する湖沼のメタン動態、メタン酸化細菌(MOB)叢およびメタン栄養食物網の気候応答を理解するために、熱帯のフィリピン・セブンレイク、亜熱帯の台湾・翡翠水庫、温帯の琵琶湖において比較調査を実施した。翡翠水庫では、厳冬年と暖冬年で一回循環と部分循環を交互に繰り返し、暖冬年後の成層期にメタン貯留が発達するとともに、嫌氣的メタン酸化菌が優占した。翡翠水庫の暖冬年はセブンレイクス、厳冬年は琵琶湖のメタン・MOBの鉛直プロファイルと似たパターンを示した。しかし、メタン栄養食物網には明瞭な緯度間変異がみられなかったことから、低緯度湖沼ほどメタンの大気放出ポテンシャルが高くなると示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、熱帯湖沼は周年成層が発達する部分循環湖とみなされていたが、本研究により、熱帯湖沼もモンスーンの影響で循環すること、また、全循環の有無は深度依存であることを明らかにした。季節風や台風などの物理攪乱時に大気放出されるメタンフラックスを定量的に評価するために、高時間解像度観測とメタン生成・消費のプロセス研究が今後の課題として挙げられた。我が国では、温暖化に伴う湖沼の循環不全と底層の貧酸素化が懸念されており、琵琶湖では、全循環が停止する異常事態も発生している。本研究による熱帯・亜熱帯湖沼の知見は、将来的に予想される温帯湖沼の熱帯化が生態系および社会に及ぼすインパクトを予測する上で有用である。

研究成果の概要(英文)：Comparative study was conducted in three lakes, temperate Lake Biwa in Japan, subtropical Fei-Tsui Reservoir (FTR) in Taiwan and tropical Seven Lakes in the Philippines, to understand ecosystem responses, especially of CH₄ dynamics, methane oxidizing bacteria (MOB) communities and methanotrophic food webs, to climate changes across latitudinal gradient. The FTR alternated between monomictic and meromictic lakes when winter was cold and warm, respectively. During stratification period following the warm winter, CH₄ storage developed and anaerobic MOB dominated in profundal waters. Vertical profiles of methane concentrations and MOB communities in the Seven Lakes were similar to those of FTR in warm years, while the Lake Biwa resembled the FTR in cold years. However, there was no marked latitudinal variation in methanotrophic food webs in relation to their reliance on methane production, suggesting that lakes in lower latitude have the higher potential for atmospheric CH₄ emission.

研究分野：水域生態学

キーワード：メタン栄養食物網 メタン酸化細菌 メタン動態 NC10 窒素補給 一回循環湖 部分循環湖 緯度間変異

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

湖沼は、高い温室効果をもつメタンの主要な自然放出源である。湖底で生成する溶存メタンを好気・嫌氣的に同化する微生物機能群をメタン酸化細菌(以下、MOB)とよぶ。MOBを起点としたメタン栄養食物網は、メタン由来有機炭素を湖沼生態系の炭素循環に組み込むことによって、メタンの大気放出を抑制する「天然の炭素リサイクルシステム」とみなすことができる。MOBの研究は、寒帯・温帯湖沼で精力的に進められているものの、細菌叢およびその生態系機能の緯度間変異に関する知見は限定的である。気候変動下にある熱帯・亜熱帯湖沼のメタン動態とその環境応答メカニズムを理解することは、全球的なメタン収支の将来予測に資する知見を提供すると期待される。

さらに、研究代表者は、先行研究により、既知のMOBに加えて、脱窒機能とメタンリサイクル機能を併せもつ嫌氣的 MOB (NC10) が湖沼の深底層に生息することを世界で初めて報告した。気候変動環境下における本分類群の長期動態および生理生態を明らかにすることは、メタン栄養食物網を介した湖沼の炭素・窒素循環に関する理解を深化させると期待される。

2. 研究の目的

本研究は、熱帯域のフィリピンに位置する7つの熱帯火山湖沼群セブンレイクス、亜熱帯域の台湾に位置する翡翠水庫、および、温帯域の琵琶湖を対象として、溶存メタンとMOB叢の鉛直プロファイル、および、メタン栄養食物網の経時的な観測調査を行い、気候変動に対する湖沼生態系の環境応答メカニズムを理解し、湖沼のメタン動態の将来予測に資する学術的知見を集積することを目的とする。

3. 研究の方法

亜熱帯域に位置する最大水深113.5mの人工湖である翡翠水庫では、研究代表者らの先行研究により2012年からメタン栄養食物網に関する調査が開始された。この先行研究により、翡翠水庫では、厳冬年に湖水が全循環する一方、暖冬年には部分循環することによって深水層に十分な酸素が供給されないため、翌シーズンの夏季成層期に深水層の貧酸素化が進行することで高濃度のメタン貯留が発達することを報告した(Itoh et al. 2015)。さらに、この湖水の酸化還元環境の季節変動にตอบสนองして、MOB叢の鉛直分布がダイナミックに変動することを報告した(Kobayashi et al. 2016)。Type Iは酸化還元境界層に分布するのに対して、熱帯湖沼でしばしば優占することが知られているType IIは酸化層に幅広く分布すること、さらに、嫌氣的メタン酸化を担うNC10は基質となるメタンと亜硝酸が豊富に存在する深水嫌気層に分布することを明らかにした。以上の知見を踏まえて、本研究では、気候変動に伴う冬季の寒暖がメタン栄養食物網の発達過程に影響するという作業仮説を立て(Itoh et al. 2017)、長期観測結果に基づいて本仮説の検証を試みた。特に、部分循環による深水層の還元環境の指標となるNC10の細胞密度をCARD-FISHにより計数し、その鉛直・季節動態を追跡した。本研究では、溶存メタン濃度およびMOB組成の鉛直プロファイル、動物プランクトンの脂肪酸分析に基づくメタン栄養食物網の解析を継続した。本研究では、新たに、強還元環境下にある湖底泥中のMOB・メチル栄養細菌の群集動態および遺伝子発現量に基づく増殖活性を評価するための連続培養実験を実施した。2017年12月に採集した湖底泥試料を用いて、嫌気条件下でメタン添加の上、培養した。MOB叢を調べるために、細菌の16S rRNAを標的としたプライマー515F・806Rで増幅したリードの塩基配列を次世代シーケンサーMiseq(Illumina)で解読し、レファレンス配列表SILVA132を用いて、メタン酸化・メチル栄養細菌の相対出現頻度を調べた。さらに、増殖活性の指標として、16S rRNAの転写量を測定した。

熱帯域に位置するフィリピンの7つの火山湖沼群からなるセブンレイクスは、表面積が1km²程度かそれ以下の小型湖沼群であるが、水深は7mから131mまで大きく変異する。2016年10月から2018年12月まで7湖沼でCTDを用いた物理環境観測を行った後、水深が深い上位3湖沼(カリバト湖:131m, パンディン湖:62m, ヤンボ湖:26m)について、2018年4月から2019年2月まで毎月、表層から近底層まで7-8層の湖水の溶存メタン濃度を測定し、鉛直プロファイルの季節変動を調べた。また、2019年2月にカリバト湖とパンディン湖で4層、ヤンボ湖で3層から微生物DNA試料を採集し、次世代シーケンサーを用いた細菌・古細菌群集のアンプリコン解析、MOBの指標遺伝子である*PmoA*のクローンライブラリ作成、CARD-FISHによるMOB3型(Type I, Type II & NC10)の計数を行った。アンプリコン解析とCARD-FISHは、翡翠水庫と共通の手法を用い、クローンライブラリ作成は、Kojima et al. (2014)に従った。さらに、食物網におけるメタン栄養寄与率を評価するために、2018年と2019年の雨季成層期(8月)と雨季から乾季への移行期(2月)に動物プランクトン体組織中の分類群特異的脂肪酸を分析・同定した。

温帯域に位置する最大水深104mの琵琶湖では、2016-2018年の成層最終期の12月および2019年の成層盛期の10月に北湖の第一湖盆(2016年は最深点周辺、2017-2019年は琵琶湖環境研究センターの今津沖中央定点)で観測調査を実施した。CTDプロファイラーで物理環境計測後、表層から近底層まで7層で採水を行い、溶存メタン濃度、硝酸濃度、各種微量元素濃度を分析するとともに、各層のバクテリア群集のアンプリコン解析を行った。また、食物網におけるMOB生産寄与率を評価するために、動物プランクトンを採集し、分類群特異的脂肪酸を分析・同定した。

4. 研究の成果

1) 翡翠水庫

本研究により、2015年から2019年まで観測を継続した結果、2015年、2016年、2018年は厳冬年で湖水が全循環する一方、2017年は部分循環した(図1a)。冬季循環に続く夏季成層期の深水層では、2017年のみ高濃度のメタン貯留が発達した(図1b-c)。このメタンの鉛直パターンに連動して、NC10が深水層に高濃度で分布することが明らかとなった(図1d)。

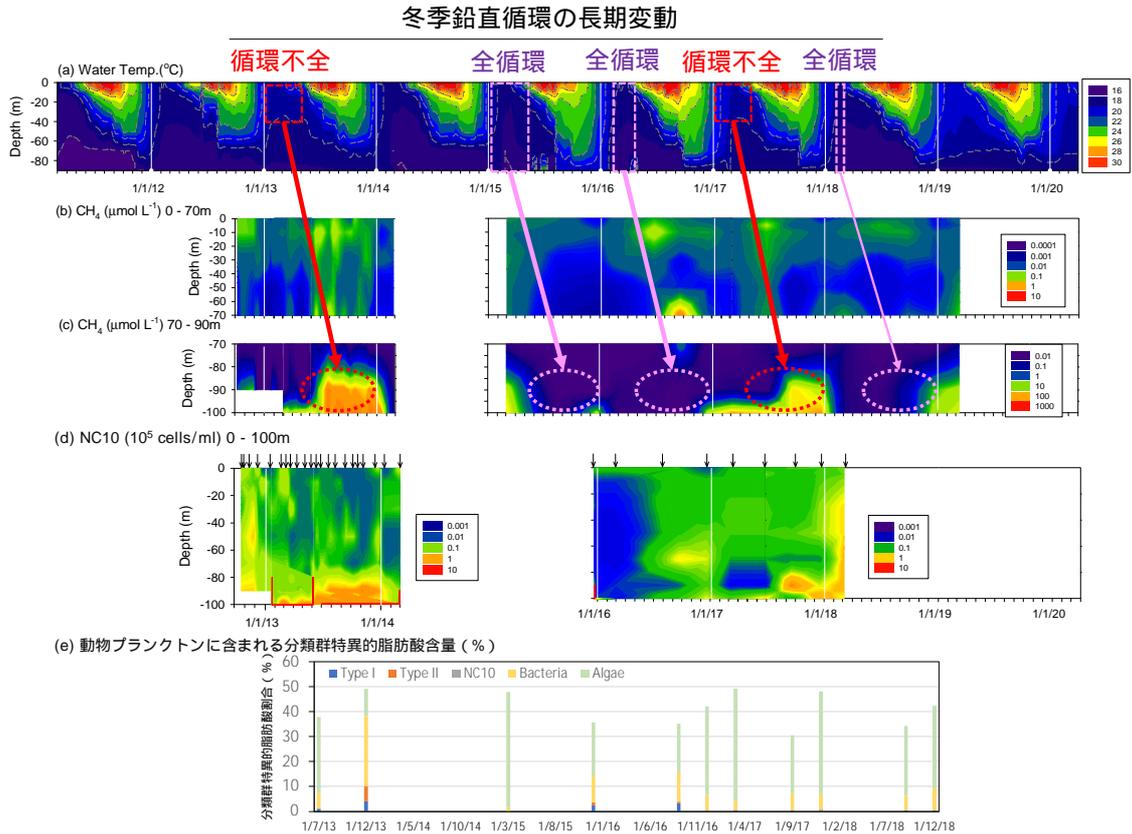


図1 翡翠水庫の水温(a)、溶存メタン濃度(b-c)、NC10の細胞密度(d)の鉛直プロファイル、および、動物プランクトンに含まれる分類群特異的脂肪酸含量(e)の季節・年変動

動物プランクトン体組織に含まれる分類群特異的脂肪酸の分析に基づいて、MOB生産への寄与率を推定したところ、メタン貯留が発達する2013年には10%を超えるMOB由来脂肪酸が検出されたのに対し、2017年の寄与率は1%に満たなかった(図1e)。また、NC10由来の脂肪酸は2017年に0.3%検出されるのみだった。動物プランクトンにおける藻類および細菌由来の脂肪酸含量が大きな季節・年変動を示したことから、表層の藻類生産と底層の細菌生産の相対的豊度に応じて、摂食活動をシフトさせる可能性が示唆された。また、NC10の出現頻度と動物プランクトン体内のNC10由来脂肪酸含有率に相関がみられないことから、嫌気層で生産・リサイクルされるメタン由来炭素は表層食物網に連動しないと結論された。

次に、強還元な湖底環境においてメタン酸化を担う細菌の群集動態と増殖活性を評価するために連続培養実験を実施したところ、培養開始後、Type IIのBeijerinckiaceaeとメチル栄養細菌のMethylphilaceaeが優占した(図2右図)。本実験条件下で、NC10はゲノムレベルで検出限界以下であったが、転写産物に基づく増殖活性は認められた(図2左図)。培養器に注入したメタンのヘッドスペース内に微量な酸素の増加が観察されたため、酸素存在下で他のMOBに対して競争的に不利なNC10が増殖できなかったと推察される。酸素増加の要因は培養器内に漏洩する僅かな光によって光合成微生物が増えたと考えられ、装置の暗所密閉性を改善することがNC10の生理生態を解明する実験の課題と位置づけられた。

熱帯と亜熱帯の境界領域に位置する翡翠水庫の長期観測調査により、気候変動にตอบสนองして湖沼が一回循環と部分循環を交互に繰り返すことでメタン貯留やMOB叢がダイナミックに変動するという仮説が支持された。

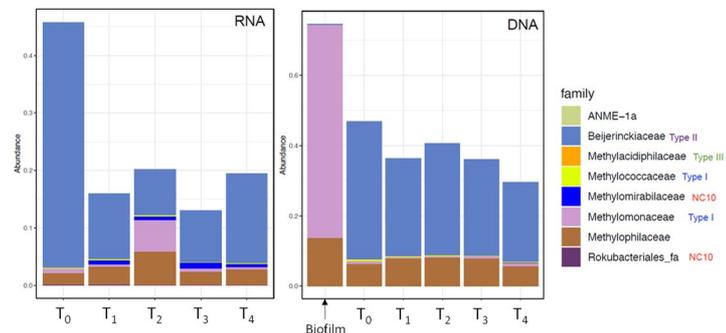


図2 翡翠水庫の湖底泥に生息するメタン酸化・メチル栄養細菌の連続培養実験における16S rRNA遺伝子のリード数相対頻度(右図)および転写量(左図)の経時変化(T₀=培養開始日、T₄=26日後)。生物膜は培養95日後に形成された試料から採取

温暖化に伴う湖沼の貧酸素化やメタン貯留の発達度を評価する生物指標として、NC10 の時空間分布を調べることに有用性が示唆された。

2) セブンレイクス

セブンレイクス周辺では、高温多雨な南西モンスーンと冷涼・乾燥な北東モンスーンが交互に繰り返される。南西モンスーン期(4-10月)には、温度成層が発達し、躍層下は著しく貧酸素化した(図3)。しかし、北東モンスーンによる気温の低下と強い季節風によって、1-2月にかけて湖水の循環が観察された。最も深いカリバト湖とパンディン湖は部分循環しかしなかったが、それより浅い湖沼は全循環した。古典的な湖沼学では、熱帯湖は部分循環湖とみなされてきた。しかし、本研究は、熱帯域にも明瞭な季節性が存在し、気温低下や季節風が湖水循環の駆動力となりうることを実証した。

さらに、溶存メタンの鉛直プロファイル調べたところ、一回循環湖のヤンボ湖では循環期にメタン貯留が消失するのに対し、部分循環湖のカリバト湖とパンディン湖では、循環期も底層のメタン貯留が残存し、その濃度は成層期に1000 $\mu\text{mol/L}$ を超えた(図4)。しかし、成層期にもメタン貯留が部分的に崩れる現象が観察され、台風などの物理攪乱に伴う移流および底層への酸素供給によりメタンが消費されている可能性が示唆された。以上より、熱帯部分循環湖では、メタン貯留が恒久的に底層に封じ込められているだけでなく、気象などの物理攪乱イベントによって、大気放出されることが示唆された。大気放出量を定量的に評価するには、時間解像度の高い鉛直プロファイルを観測することと底層への酸素供給時のメタン酸化速度を実測することが今後の課題である。

さらに、循環期直後のメタン代謝に関する微生物群の鉛直プロファイル調べたところ、部分循環湖の底層では、メタン生成古細菌が優占し、嫌氣的メタン酸化を担う NC10 がかなり高頻度で出現することが判った(図5)。一方、酸化的な表層ではメチル栄養細菌 *Methylacidifilaceae* が優占した。部分循環湖の底層は無酸素の強還元状態となっており、水柱でのメタン生成活性が極めて高いと推察された。また、嫌気層でのメタン酸化は、主に、NC10 が担うと考えられる。しかし、動物プランクトンへの MOB 寄与率は高くても1%強であり、NC10 の寄与率も最大で1.1%であった(図6)。調査湖沼が富栄養から中栄養であるため、表層の餌利用可能性が高いことと無酸素環境での摂餌に生理コストが伴うため、動物プランクトンは専ら表層生産に依存することが示唆された。

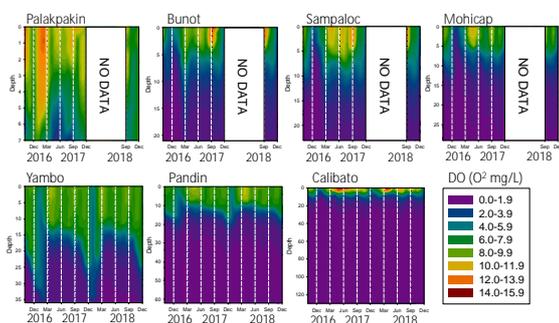


図3 セブンレイクスにおける溶存酸素濃度の鉛直プロファイルの月変動

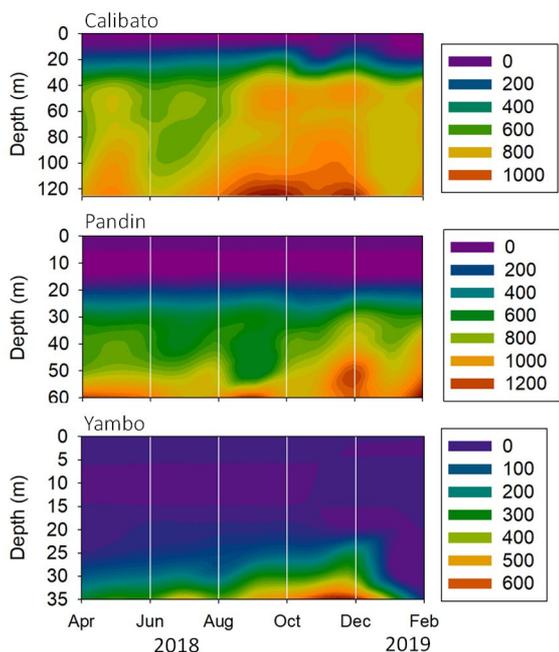


図4 3湖沼における溶存メタン濃度の鉛直プロファイルの月変動

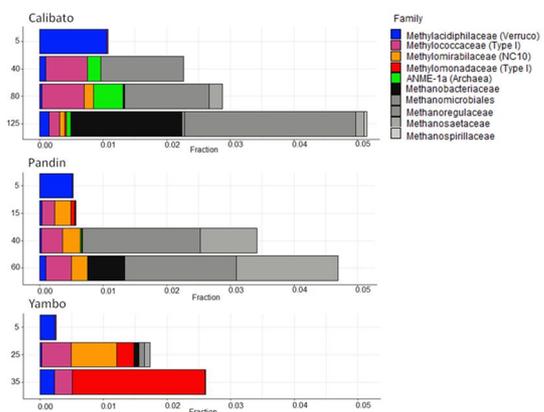


図5 3湖沼におけるメタン代謝関連細菌・古細菌の深度別相対出現頻度

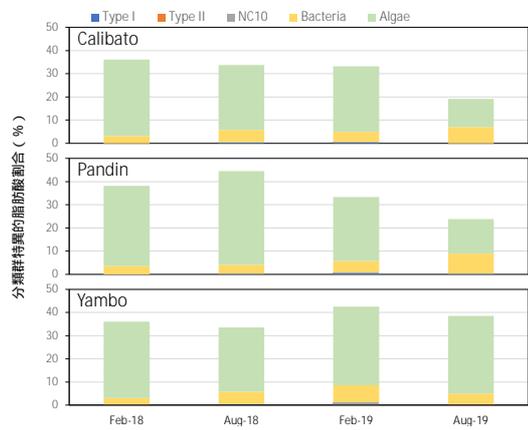


図6 3湖沼の動物プランクトンに含まれる分類群特異的脂肪酸含量の季節・年変動

3) 琵琶湖

2018年の冬季には、琵琶湖の観測史上初めて全循環が観測されなかったため、翌年の成層期の近底層の溶存酸素濃度は例年より低い値を示した(図7a)。しかし、溶存メタン濃度は2016年を除いて、深水層で急速に減衰した(図7b)。底層の酸化還元環境を考慮すると、メタン生成は主に湖底泥中で起こると推察される(Tsutsumi et al. 2012)。また、湖底で生成されたメタンは水柱でMOBにより速やかに消費されるため、湖底からの大気放出フラックスは無視できる。他方、表層で観察されるメタン垂極大は、近年、多くの湖沼や海洋で報告されている酸化的メタン生成によるものと推察され、翡翠水庫の事例と同様(Ito et al. 2015)、琵琶湖におけるメタン大気放出の主要なプロセスを担うと示唆された。2016年は、水深90mでメタン極大が観察されたが、この年は2017-2019年とは異なる第一湖盆最深部で観測調査が実施された。本地点周辺では、湖底湧水がスポット的に噴出していることが観察されており、湧水由来メタンの可能性が示唆された(熊谷道夫氏私信)。従って、2016年のデータを他年と比較するには、地点間の違いに留意する必要がある。

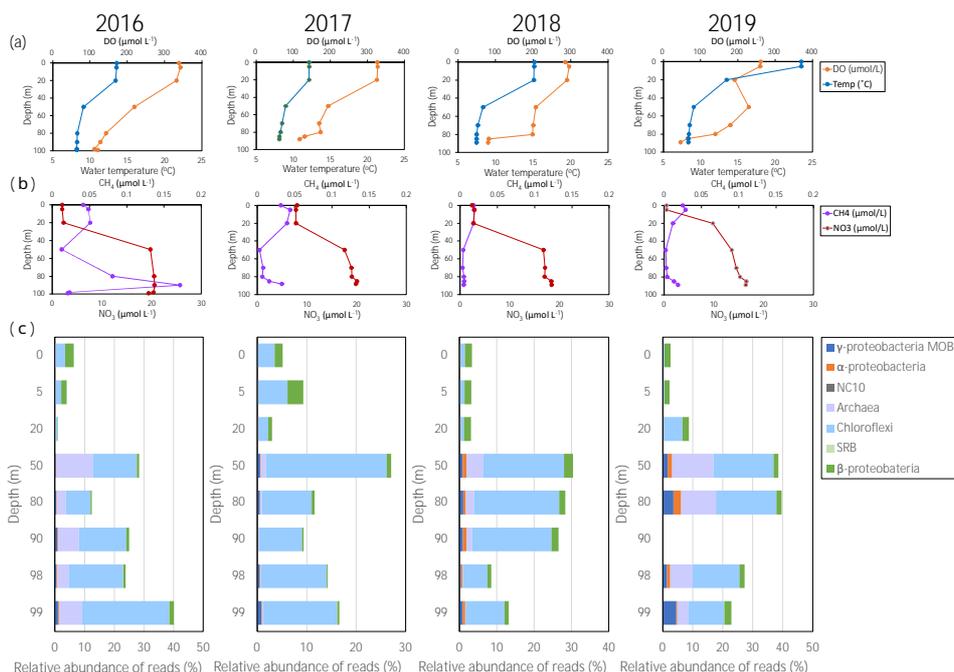


図7 琵琶湖の物理環境(a)・化学環境(b) および、メタン代謝関連細菌・古細菌の深度別相対出現頻度の年変動

続いて、翡翠水庫・セブンレイクスと同じプロトコルを用いて微生物アンプリコン解析を実施した。解析に供試した32試料中31試料から16S rRNA配列データを得た。全リード数564.8万のうち約14%の80万がメタン生成・資化に関する可能性があり、4.3万が γ -プロテオバクテリア(Type I含む)、 α -プロテオバクテリア(Type II含む)、NC10門のMOBで、10.8万が古細菌だった(図7c)。NC10は2016、2017年のみ水柱に低密度で存在が確認された。その他のMOBは、底層から水深50mまで酸化的な水柱に分布の中心が認められ、Type Iを含む γ -プロテオバクテリアが最大4.5%の頻度で出現した。懸濁態有機物の脂肪酸分析でも、Type I由来の脂肪酸が最大2%検出されており、両者の結果に整合性が認められた。

メタン資化古細菌は、底層よりも水深50~70mの中層にMOBを上回る量が確認された。この他、メタンモノオキシゲナーゼ遺伝子が報告されているクロロフレクサス門細菌やMOBと酸化還元反応やC-1炭素源を共有する可能性のある細菌(硫酸還元菌SRB、 β -プロテオバクテリア)も検出された。クロロフレクサス門細菌のリード数はメタン生成・資化関連細菌群の70%を占め、50m以深で優占した。

動物プランクトンの脂肪酸組成の経年変化を調べたところ、いずれの年も藻類由来脂肪酸が20-40%程度を占め、生食物網が卓越していることが判った(図8)。Type I由来の脂肪酸含量が多くても2%未満であることからメタン栄養食物網の寄与は小さいと結論される。なお、2018年には、NC10由来脂肪酸が0.1%検出された。琵琶湖では、還元的な湖底泥中での生息が報告されているが(Kojima et al. 2012)、アンプリコン解析の結果を勘案すると、低密度ながら水柱にもNC10が存在することが実証された。

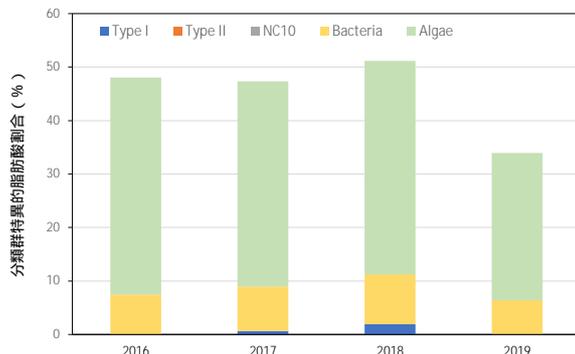


図8 琵琶湖の動物プランクトンに含まれる分類群特異的脂肪酸含量の季節・年変動

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 12件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Itoh Masayuki, Kojima Hisaya, Ho Pei-Chi, Chang Chun-Wei, Chen Tzong-Yueh, Hsiao Silver Sung-Yun, Kobayashi Yuki, Fujibayashi Megumu, Kao Shuh-Ji, Hsieh Chih-hao, Fukui Manabu, Okuda Noboru, Miki Takeshi, Shiah Fuh-Kwo	4. 巻 32
2. 論文標題 Integrating isotopic, microbial, and modeling approaches to understand methane dynamics in a frequently disturbed deep reservoir in Taiwan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 861～871
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11284-017-1502-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Iwata Hiroki, Hirata Ryuichi, Takahashi Yoshiyuki, Miyabara Yuichi, Itoh Masayuki, Iizuka Kotaro	4. 巻 169
2. 論文標題 Partitioning Eddy-Covariance Methane Fluxes from a Shallow Lake into Diffusive and Ebullitive Fluxes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Boundary-Layer Meteorology	6. 最初と最後の頁 413～428
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10546-018-0383-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okuda Noboru, Sakai Yoichiro, Fukumori Kayoko, Yang Shao-Min, Hsieh Chih-hao, Shiah Fuh-Kwo	4. 巻 802
2. 論文標題 Food web properties of the recently constructed, deep subtropical Fei-Tsui Reservoir in comparison with the ancient Lake Biwa	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 199～210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10750-017-3258-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Chikaraishi Yoshito, Ohkouchi Naohiko, Murakami Aya R., Tayasu Ichiro, Togashi Hiroyuki, Okano Jun-ichi, Sakai Yoichiro, Iwata Tomoya, Kondoh Michio, Okuda Noboru	4. 巻 7
2. 論文標題 Integrated trophic position decreases in more diverse communities of stream food webs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2130
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-017-02155-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Peralta, E. M., H. J. A. Guerrero, C. G. S. M. Arce, J. J. A. Domingo, M. A. Maute, M. D. S. San Miguel, E. M. C. Trino, I. B. B. De Jesus, J. C. A. Briones, F. S. Magbanua, N. Okuda, R. D. S. Papa	4. 巻 1
2. 論文標題 Prevailing environmental conditions influence mollusk diversity and distribution around Talim Island of Laguna de Bay (Luzon Is., Philippines)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Antoninus Journal	6. 最初と最後の頁 31 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 岩田拓記, 平田竜一, 高橋善幸, 伊藤雅之, 宮原裕一, 飯塚浩太郎, 小林大曙, 佐藤媛香, 中澤琴美, 常田岳志	4. 巻 43
2. 論文標題 微気象学的手法と生物地球化学的手法を統合した浅い中緯度湖からのメタン放出の評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 関東の農業気象	6. 最初と最後の頁 9 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ko Chia-Ying, Iwata Tomoya, Lee Jun-Yi, Murakami Aya, Okano Junichi, Ishikawa Naoto F., Sakai Yoichiro, Tayasu Ichiro, Itoh Masayuki, Song Uham, Togashi Hiroyuki, Nakano Shinich, Ohte Nobuhito, Okuda Noboru	4. 巻 70
2. 論文標題 Assessing alpha and beta diversities of benthic macroinvertebrates and their environmental drivers between watersheds with different levels of habitat transformation in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine and Freshwater Research	6. 最初と最後の頁 504 ~ 504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1071/MF18031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sakabe Ayaka, Itoh Masayuki, Hirano Takashi, Kusin Kitso	4. 巻 24
2. 論文標題 Ecosystem-scale methane flux in tropical peat swamp forest in Indonesia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 5123 ~ 5136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.14410	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ho, P.-C., N. Okuda, T. Miki, M. Itoh, F.-K. Shiah, C.-W. Chang, S. S.-Y. Hsiao, S.-J. Kao, M. Fujibayashi & C.-H. Hsieh	4. 巻 61
2. 論文標題 Summer profundal hypoxia determines the coupling of methanotrophic production and the pelagic food web in a subtropical reservoir	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Freshwater Biology	6. 最初と最後の頁 1694 ~ 1706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/fwb.12809	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi, Y., H. Kojima, M. Itoh, N. Okuda, M. Fukui, F.-K. Shiah	4. 巻 11
2. 論文標題 Abundance of planktonic methane-oxidizing bacteria in a subtropical reservoir	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plankton & Benthos Research	6. 最初と最後の頁 144 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sakabe, A., Kosugi, Y., Okumi, C., Itoh, M., Takahashi, K.	4. 巻 121
2. 論文標題 Riparian wetlands affect the seasonal variations of watershed-scale methane budget in a temperate monsoonal forest	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 1717 ~ 1732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2015JG003292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chow, M. F., Shiah F. K., Lai, C. C., Kuo, H. Y., Wang, K. W., Lin, C. H., Chen, T. Y., Kobayashi, Y., Ko, C. Y.	4. 巻 75
2. 論文標題 Evaluation of surface water quality using multicariate statistical techniques: a case study of Fet-Tsui Reservoir basin, Taiwan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 1 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12665-015-4922-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mendoza, M. U., Briones, J. C. A., Itoh, M., Padilla, K. S. A. R., Aguilar, J. I., Okuda, N., Papa, R. D. S.	4. 巻 148
2. 論文標題 Small Maar Lakes of Luzon Island, Philippines: Their Limnological Status and Implications for the Management of Tropical Lakes . A Review	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Philippine Journal of Science	6. 最初と最後の頁 559 ~ 572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Peralta Elfritzson M., Batucan Leocris S., De Jesus Irisse Bianca B., Triño Ellis Mika C., Uehara Yoshitoshi, Ishida Takuya, Kobayashi Yuki, Ko Chia-Ying, Iwata Tomoya, Borja Adelina S., Briones Jonathan Carlo A., Papa Rey Donne S., Magbanua Francis S., Okuda Noboru	4. 巻 80
2. 論文標題 Nutrient loadings and deforestation decrease benthic macroinvertebrate diversity in an urbanised tropical stream system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnologica	6. 最初と最後の頁 125744 ~ 125744
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.limno.2019.125744	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Peralta, E. M., A. E. Belen, G. R. Buenaventura, F. G. G. Cantre, K. G. R. Espiritu, J. N. A. De Vera, C. P. Perez, A. K. V. Tan, I. B. B. De Jesus, P. Palomares, J. C. A. Briones, T. Ikeya, F. S. Magbanua, R. D. S. Papa, N. Okuda	4. 巻 73
2. 論文標題 Stream benthic macroinvertebrate assemblages reveal the importance of a recently established freshwater protected area in a tropical watershed	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Pacific Science	6. 最初と最後の頁 305 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mendoza, M. U., J. I. Aguilar, K. S. A. R. Padilla, M. Itoh, N. Okuda, R. D. S. Papa	4. 巻 41
2. 論文標題 The biogeochemical cycling of methane (CH ₄) in lakes Calibato, Pandin and Yambo: Implications on the lakes' carrying capacity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the National Academy of Science & Technology Philippines	6. 最初と最後の頁 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Peralta E., F. S. Magbanua, J. C. A. Briones, N. Okuda, R. D. S. Papa	4. 巻 41
2. 論文標題 Disentangling multiple stressors and highlighting the importance of freshwater protected area in highly urbanized watersheds in the Philippines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the National Academy of Science & Technology Philippines	6. 最初と最後の頁 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計43件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Iwata, H., Hirata, R., Takahashi, Y., Itoh, M., Iizuka, K., Miyabara, Y., Kobayashi, D., Tokida, T.
2. 発表標題 Evaluation of methane emission from a mid-latitude lake with the eddy covariance technique
3. 学会等名 Physical Processes in Natural Waters (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Iwata, H., Hirata, R., Takahashi, Y., Itoh, M., Iizuka, K., Nakazawa, K., Satoh, H., Kobayashi, D., Tokida, T.
2. 発表標題 Evaluation of methane emission from a mid-latitude lake with the eddy covariance technique
3. 学会等名 AsiaFlux Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩田拓記, 平田竜一, 高橋善幸, 宮原裕一, 伊藤雅之, 飯塚浩太郎
2. 発表標題 渦相関法により測定された浅い湖からのメタン放出の拡散とバブル放出への分離
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤媛香, 岩田拓記, 伊藤雅之, 宮原裕一, 中澤琴美
2. 発表標題 諏訪湖における湖水中のメタン動態
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aguilar JF, Cootauco P, DE Guzman JAT, Mauricio PA, Remperas C, Okuda N, Papa RDS.
2. 発表標題 Monsoon-driven variations in the vertical profile of the Seven Maar Lakes of San Pablo, Laguna: Diving deeper in the limnology of tropical maar lakes
3. 学会等名 Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences (FIMFS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mendoza MU, Padilla KSA, Aguilar JF, Itoh M, Okuda N, Papa RDS.
2. 発表標題 What can we learn from determining methane concentrations in freshwater lake ecosystems?
3. 学会等名 Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences (FIMFS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mendoza MU, Tordesillas DT, Padilla KSA, Aguilar JI, Okuda N, & Papa RDS.
2. 発表標題 Then & now: What has changed in the Twin Lakes of San Pablo, Laguna, Philippines (2008 vs 2018)?
3. 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Padilla KSA, Aguilar JI, Mendoza MU, Okuda N, & Papa RDS.
2 . 発表標題 Vertical distribution of methane-oxidizing bacteria in tropical Maar Lakes Yambo, Pandin, and Calibato in San Pablo, Laguna
3 . 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Okuda, N.
2 . 発表標題 The adaptive watershed governance: science for society
3 . 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (招待講演)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Papa RDS, Aguilar JFI, Cootauco PAB, De Guzman JAP, Mauricio PAC, Remperas CTA, Okuda N.
2 . 発表標題 Monsoon-based variations in the vertical profile of selected limnological parameters in in the Seven Maar Lakes (SML 's) of Laguna (Luzon Is., Philippines): A unique insight into the limnology of tropical maar lakes
3 . 学会等名 Congress of International Society of Limnology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Aguilar, J. F., K. S. A. Padilla, M. U. Mendoza, N. Okuda & R. D. S. Papa
2 . 発表標題 Are the 'Twin Lakes' of San Pablo 'identical'?
3 . 学会等名 Congress of International Society of Limnology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Okuda, N.
2 . 発表標題 Methanotrophic food webs as a carbon recycling system in lakes under climate changes
3 . 学会等名 The 1st Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (招待講演)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 De Jesus, I. B., O. L. A. Privaldos, A. S. Borja, F. S. Magbanua, R. D. S. Papa, T. Iwata & N. Okuda
2 . 発表標題 A pioneer in tropical streams: determination of phosphorous and nitrogen uptake in Silang-Santa Rosa watershed, Philippines
3 . 学会等名 48th Annual National Convention of the Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Peralta, E., Batucan L. S. Jr., Briones, J. C. A, F. S. Magbanua, R. D. S. Papa, Magbanua F. S. & N. Okuda
2 . 発表標題 Benthic macroinvertebrates assemblages and biological metrics in relation to land cover and environmental factors in Silang-Santa Rosa subwatershed, Philippines
3 . 学会等名 48th Annual National Convention of the Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Okuda, N.
2 . 発表標題 Toward the adaptive watershed governance to enhance biodiversity-driven nutrient cycling and human well-being
3 . 学会等名 The 16th World Lake Conference
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名	Trino, E. M. C., I. B. B De Jesus, E. M. Peralta, H. J. A. Guerrero, C. G. S. M. Arce, J. J. A. Domingo, M. A. Maute, M. D. S. San Miguel, J. C. A. Briones, F. S. Magbanua, A. C. Santos-Borja, R. D. S. Papa & N. Okuda
2. 発表標題	Biodiversity Assessment of Littoral Macrozoobenthos in Laguna de Bay, Philippines
3. 学会等名	The 16th World Lake Conference
4. 発表年	2016年

1. 発表者名	田岡作, 岩田拓記, 宮原裕一, 平田竜一, 高橋善幸, 伊藤雅之
2. 発表標題	湖からの拡散による温室効果ガスの放出のモデル検証
3. 学会等名	日本農業気象学会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Iwata, H., Nakano, W., Stepanenko, V., Kobayashi, D., Taoka, T., Itoh, M., Miyabara, Y., Hirata, R., Takahashi, Y.
2. 発表標題	Simulation of methane dynamics in a mid-latitude eutrophic lake with constraints using incubation data
3. 学会等名	AsiaFlux (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Okuda, N., Millette, M., Aguilar, J., Padilla, K., Briones, J., Papa, R., Itoh, M., Fujibayashi, M., Tu, T-H., Lin, L-H., Wang, P-L., Kobayashi, Y., Austria, E., Shiah, F-K.
2. 発表標題	Methanotrophic food webs in tropical lakes: a preliminary report
3. 学会等名	日本陸水学会 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1 . 発表者名 Okuda, N., M. U. Mendoza, J. I. Aguilar, K. S. A. R. Padilla, J. C. A. Briones, R. D. S. Papa, M. Ito, M. Fujibayashi, T.-H. Tu, L.-H. Lin, P.-L. Wang, Y. Kobayashi, E. Austria & F.-K. Shiah
2 . 発表標題 Methanotrophic food webs in tropical lakes
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Okuda, N
2 . 発表標題 Watershed governance: a case in the Lake Biwa Watershed
3 . 学会等名 RIHN International Symposium: Fair use of multiple resources in cross-scale context (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Padilla KSAR, Mendoza MU, Aguilar JI, Austria ES, Lin LH, Tu TH, Shiah FK, Papa RDS, Okuda N
2 . 発表標題 Vertical profiles of methane-oxidizing bacteria in selected tropical maar lakes of San Pablo, Laguna, Philippines
3 . 学会等名 Graduate Scholars ' Conference
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Mendoza MU, Aguilar JI, Padilla KSAR, Itoh M, Okuda N, Papa RDS
2 . 発表標題 Exploring methane (CH ₄) storage in small tropical lakes
3 . 学会等名 Graduate Scholars ' Conference
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Aguilar JI, Mendoza MU, Padilla KSAR, Papa RDS, Okuda N
2 . 発表標題 Long-term limnological monitoring revealed the spatio-temporal patterns of the Seven Maar Lakes (SML ' s) of Laguna
3 . 学会等名 Graduate Scholars ' Conference
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Peralta, E. M., L. S. Batucan Jr., A. E. Belen, I. B. B. De Jesus, T. Ishida, C.-Y. Ko, Y. Kobayashi, T. Ikeya, Y. Uehara, T. Iwata, A. S. Borja, J. C. A. Briones, F. S. Magbanua, R. D. S. Papa, N. Okuda
2 . 発表標題 Multiple stressors and protection efforts in highly urbanized watersheds in the Philippines
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Gregorio, J. A. N., E. M. Peralta, I. B. B. De Jesus, T. Ikeya, J. C. A. Briones, R. D. S. Papa, F. S. Magbanua, N. Okuda
2 . 発表標題 Benthic macroinvertebrate assemblages and water quality reflect the impacts of land use and land cover in Marikina Watershed, Philippines
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Peralta EM, Magbanua FS, Briones JCA, Okuda N, Papa RDS
2 . 発表標題 Carbon and nitrogen stable isotopes reveal impacts of human activities on community assemblages and food web structures in Laguna de Bay and Marikina Watershed
3 . 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Padilla KSAR, Aguilar JI, Mendoza MU, Okuda N, Papa RDS
2 . 発表標題 Vertical distribution of methane-oxidizing bacteria in tropical Maar Lakes Yambo, Pandin, and Calibato in San Pablo, Laguna
3 . 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Mendoza MU, Tordesillas DT, Padilla KSAR, Aguilar JI, Okuda N, Papa RDS
2 . 発表標題 What has changed in the Twin Lakes of San Pablo, Laguna, Philippines (2008 vs 2018)?
3 . 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Okuda, N.
2 . 発表標題 The adaptive watershed governance: science for society
3 . 学会等名 Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Peralta, E. M., F. S. Magbanua, J. C. A. Briones, N. Okuda, R. D. S. Papa
2 . 発表標題 Stream benthic macroinvertebrate assemblages reflect anthropogenic impacts and protection status of in the two watersheds of Laguna de Bay, Philippines
3 . 学会等名 Annual Convention of the Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences (FIMFS)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Aguilar, J. F., P. Cootauco, J. A. T. DE Guzman, P. A. Mauricio, C. Remperas, N. Okuda, R. D. S. Papa R
2 . 発表標題 Monsoon-driven variations in the vertical profile of the Seven Maar Lakes of San Pablo, Laguna: Diving deeper in the limnology of tropical maar lakes
3 . 学会等名 Annual Convention of the Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences (FIMFS)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Mendoza, M. U., K. S. R. Padilla, J. Aguilar, M. Itoh, N. Okuda, R. D. S. Papa
2 . 発表標題 What can we learn from determining methane concentrations in freshwater lake ecosystems?
3 . 学会等名 Annual Convention of the Federation of Institutions for Marine and Freshwater Sciences (FIMFS)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Okuda, N.
2 . 発表標題 Watershed governance to enhance social-ecological health
3 . 学会等名 World Lake Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Okuda, N.
2 . 発表標題 The adaptive watershed governance: linking local and global scales
3 . 学会等名 International Symposium of Future Earth (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Peralta, E. M., C. B. Bacinillo, J. C. A. Balani, S. E. Basmala, E. J. S. S. Calalin, M. A. G. Calleja, J. B. C. Go, M. T. S. Gosiengfiao, F. A. T. Valdecanas, J. N. Gregorio, N. Mendoza, T. Ishida, F. S. Magbanua, J. C. A. Briones, R. D. S. Papa, N. Okuda
2 . 発表標題 Littoral food web analysis: Stable isotopes reveal anthropogenic impacts on <i>Oreochromis niloticus</i> and its food sources in Laguna de Bay
3 . 学会等名 Fisheries Science Conference
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Aguilar, J. F., K. S. A. Padilla, M. U. Mendoza, N. Okuda, R. D. S. Papa
2 . 発表標題 Are the 'Twin Lakes' of San Pablo 'identical'?
3 . 学会等名 Congress of International Society of Limnology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Papa R. D. S., J. F. I. Aguilar, P. A. B. Cootauco, J. A. P. De Guzman, P. A. C. Mauricio, C. T. A. Remperas, N. Okuda
2 . 発表標題 Monsoon-based variations in the vertical profile of selected limnological parameters in in the Seven Maar Lakes (SML 's) of Laguna (Luzon Is., Philippines): A unique insight into the limnology of tropical maar lakes
3 . 学会等名 Congress of International Society of Limnology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Guinto, M. M. V., H. A. Guerrero, J. C. A. Briones, R. D. S. Papa, N. Okuda
2 . 発表標題 Zooplankton Community Structure in the Littoral Zones of Laguna de Bay reflects Land Cover and Nutrient Loading in nearshore areas
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Peralta, E. M., C. Bacinillo, J. C. Balani, S. Basmala, E. J. S. Calalin, M. A. Calleja, J. B. Go, M. T. Gosiengfiao, F. A. Valdecanas, J.-A. Gregorio, N. Mendoza, T. Ishida, F. Magbanua, J. C. Briones, R. D. Papa, N. Okuda
2. 発表標題 Stable Isotopes Reveal Anthropogenic Impacts on the Littoral Food Webs of Laguna de Bay, Philippines
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田昇
2. 発表標題 琵琶湖の流域と地域の問題を解決する取り組み
3. 学会等名 八郎瀧・八郎湖学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田昇, Irisse Bianca De Jesus, Osbert Leo A. Privaldos, 岩田智也, 上原佳敏, 石田卓也, 浅野悟史, 尾坂健一, 藤吉麗, 由水千景, 陀安一郎, Jonathan Carlo A. Briones, Francis S. Magbanua, Maria Pythias B. Espino, Adelina C. Santos-Borja, Rey Donne S. Papa
2. 発表標題 フィリピン・ラグナ湖流域の栄養循環：琵琶湖流域との比較
3. 学会等名 水文科学会学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田昇, 小野寺真一, 伴修平
2. 発表標題 琵琶湖流域の栄養循環：統合的理解を目指して
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	伊藤 雅之 (Itoh Masayuki) (70456820)	兵庫県立大学・環境人間学部・准教授 (24506)	
研究 分担者	藤林 恵 (Fujibayashi Megumu) (70552397)	九州大学・工学研究院・助教 (17102)	
研究 協力者	池谷 透 (Ikeya Tohru)		
研究 協力者	尾坂 兼一 (Osaka Ken'ichi)		
連携 研究者	小林 由紀 (Kobayashi Yuki) (80759457)	山口大学・医学(系)・講師 (15501)	