

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420491

研究課題名(和文) 寒冷地域を中心とし永久凍土融解を考慮した閉鎖性水域から大気へのメタン発生量の推定

研究課題名(英文) Evaluation of methane flux from an enclosed water body in a cold region

研究代表者

中山 恵介(Nakayama, Keisuke)

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：60271649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、地球規模での環境変動が問題となっており、局所豪雨に伴う大洪水のような災害が世界各地で数多く報告されるなど、降水パターンの変化も指摘されている。これらの要因は二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガスの増加である可能性が指摘されている。閉鎖性水域内におけるメタンの生成機構は複雑であるため、定量的に生成量を明らかにした研究例は少ない。そこで本研究では、既往の研究でメタンの生成環境に影響を及ぼすと指摘されている硫酸塩およびDO濃度に着目し、底泥からのメタン発生量および好気状態におけるメタン酸化量を推定・モデル化した。

研究成果の概要(英文)：Sulfate and DO were both shown to influence the methane production, which suggests that clarifying the role of sulfate and DO in the methane production may allow modelling of the differences in methane emission. Therefore, we conducted field observations in Lake Abashiri, which is a typical brackish lake. Sulfate concentrations decreased rapidly from 900 mg/L at the top of the benthic sediment to nearly 0 mg/L at a sediment depth of 0.05 m. Accordingly, the methane production was almost uniform across sediment depths of 0.05 to 0.25 m, 1400 to 1800 micro mol m²/d. The methane production was a function of DO concentrations at the sediment surface and can be modelled by a logistic function; constant production at 1400 micro mol m²/d for DO concentrations of 0.0 to 3.0 mg/L, and rapidly decreasing to 0 micro mol m²/d over DO concentrations of 3.0 to 6.0 mg/L, which was verified by using a simple one-dimensional vertical methane model with a good agreement with filed observation results.

研究分野：水工学

キーワード：成層場 3次元数値計算モデル メタン DO 貧酸素 内部波

1. 研究開始当初の背景

温暖化や降水パターンなどの環境変化が問題となっており、要因は二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガスの増加である可能性が指摘されている。メタンは大気中の寿命が約10年と二酸化炭素の5~200年ほど長くはないが、温室効果が二酸化炭素の約25倍であるため、大気中のメタン濃度の増加に伴い温暖化が急激に促進される可能性がある。北極圏では、メタンの発生量が地球全体の1/4~1/3以上であると指摘されている。地球温暖化に伴い永久凍土から貧酸素水が融解すると、湖沼の底層に成層の効果により蓄積され嫌気状態を作り出し、粒状態有機物が分解されることにより栄養を過度に放出し富栄養化を促進してしまうことが指摘されている。その結果、粒状態有機物を多く含む底泥中においてメタン生成菌の活動が活発化し、メタン発生を促進すると考えられている。その中でもアラスカ地方は北極圏の中では低緯度に位置することから、永久凍土の融解の影響を受けた閉鎖性水域が多く存在しており、気候変動の影響を受けやすい地域であると言える。そのため、北極圏におけるメタン排出量の高精度な推定は急務であると考えられる。

これまでの研究では、例えば閉鎖性水域や湖沼におけるメタン発生速度は溶存酸素濃度の関数である可能性が示されている (Maruya & Nakayama et al., GRL, 2013 in preparation)。さらに、水面直下におけるメタン濃度が分かれば、大気中に放出されるメタン発生量の推定は可能となっている。しかし、湖沼底層の貧酸素水塊内で発生したメタンが、内部流動をとおしてどの程度の値で水面直下に存在するかについては十分な研究が進んでいない。その理由としては、貧酸素水塊の発生が密度差に起因する成層場において発生するものであり、成層場特有の現象である内部波の挙動と鉛直フラックスの関係が明確となっていないことに起因する。

一般的に閉鎖性水域では、成層場の流れが大きな影響を及ぼしており、風による湧昇現象、成層場における内部波の砕波のような強非線形な現象が解明されなければならないことが指摘されている (Nakayama & Imberger, L&O, 2009; Stevens et al., JFM, 1996; Nakayama et al., JGR, 2012)。さらに、北極圏独特の現象として、結氷は大気との交換を抑制するだけでなく、底面からの地熱の影響により底層から成層場が形成されることにより富栄養化が促進される等も考慮する必要があると考えられる。しかし、結氷の影響も考慮した上で、どのように長期的な物質輸送が発生しているかを定量的に評価できていない。そこで、近年問題となっている気候変動の影響も考慮し、寒冷地域を中心とした閉鎖性水域における貧酸素水塊・メタンの現地観測を中心として、長期的な水環境の検討を行う必要があると考えら

れる。

2. 研究の目的

世界におけるメタン排出量の1/4~1/3以上は北極圏からの排出であると言われている。メタンの主たる発生源は湿地・湿原・湖沼であり、地球規模の環境変動による永久凍土の融解により、それらの面積は増加傾向にある。特に湖沼の数および面積は急増しており、メタンの排出推定量が過小評価である可能性がある。湖沼から大気へのメタン放出量推定には水面直下のメタン濃度が必要であるが、鉛直フラックスに対して抑制効果を持つ成層の効果が高精度に推定できないため正確な評価が進んでいない。そこで本研究では、北極圏における湖沼から大気へのメタン放出量を高精度に推定するため、湖沼の水面直下におけるメタン濃度を計測し、将来予測を行うことが可能となるモデルを作成することを目的とする。

3. 研究の方法

現地観測を中心とし、数値実験による詳細な理解・検証を実施した。現地観測では、寒冷地域における閉鎖性水域を対象とし、貧酸素水塊とメタンの発生および内部流動に関する計測を実施した。大気へのメタン放出量推定に必要な水面直下のメタン濃度を推定するために、底層におけるコアの採取および室内実験によるメタンガス発生量の計測を実施した。そして、数値計算モデルを利用した実現象および室内実験結果の解析・検討を実施した。

(1) 現地観測と解析

長期的な計測として水温チェーンを用いた計測を行うこととする。対象は計測器の管理が容易な北海道における湖沼とする。多項目系や乱流計測の観測について、結氷期も含めて実施する。順調に観測が進む場合、出来る限り多くのデータを取得できるように力を注いだ (図-1)。

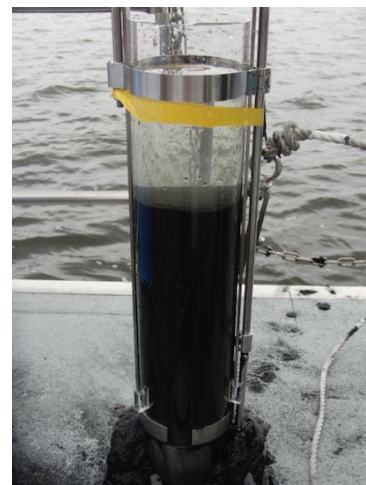


図-1 不攪乱コアによる底泥

(2) 数値実験

オブジェクト指向型 3 次元モデル (新谷・中山, 水工学論文集, 2009) を利用して現地観測結果の再現を行い, 観測で得られなかった全域における鉛直フラックスなどの項目の解析を実施した。オブジェクト指向型 3 次元モデル並列計算が可能なモデルとなっており, 多くの外力条件での多量なケースの計算が可能であるという特徴を持つ。数値計算モデルで再現できないメッシュグリッドサイズ以下の現象に関して, 室内実験の結果も利用してモデル化を行い高精度に鉛直フラックスを推定し, 長期における計算が可能な鉛直 1 次元モデルを開発した。

4. 研究成果

IPCC は今世紀末までに海面水位が 0.26~0.82 m 上昇, 気温が 0.3~4.8 °C 上昇する可能性を指摘している。また, 2011 年 7 月にタイの Chao Phraya 川流域で発生した局所豪雨に伴う大洪水のような災害が世界各地で数多く報告されるなど, 降水パターンの変化も指摘されている。これらの要因は二酸化炭素, メタンなどの温室効果ガスの増加である可能性が指摘されている。二酸化炭素は大気中の寿命が 5~200 年ほどといわれており, 一方, メタンは非常に反応性が高く不安定な分子である大気中の OH ラジカルと反応することで消失するため, 大気中の寿命は約 10 年といわれている。しかし, メタンの温室効果は二酸化炭素の約 25 倍であるため, 大気中のメタン濃度の増加に伴い温暖化が促進される可能性がある。

大気へのメタン放出源は湿地や湖沼などから放出される自然起源と水田, 反芻動物やガス, 石油などのエネルギー関連などから放出される人為起源の 2 つに分けることが出来る。この全放出量の内, 自然起源である湿地および湖沼からのメタン放出量は 110~240 Tg CH₄ yr⁻¹ と報告されており, 湿地からのメタン放出量が 109 Tg CH₄ yr⁻¹, 湖沼からのメタン放出量が 8~48 Tg CH₄ yr⁻¹ であるといわれている。しかし, 閉鎖性水域内におけるメタンの生成機構は複雑であるため, 定量的に生成量を明らかにした研究例は少なく, 既往の研究における閉鎖性水域からの大気へのメタン放出量の推計値にはばらつきが存在する。そのため, 閉鎖性水域からの放出量を推定するにはメタン生成機構を理解した上で, メタン生成量を明らかにすることが重要である。そこで本研究では, 既往の研究でメタンの生成環境に影響を及ぼすと指摘されている硫酸塩および DO 濃度に着目し, 底泥からのメタン発生量および好気状態におけるメタン酸化量を推定・モデル化した (図-2)。さらに, 鉛直 1 次元モデルを作成することにより, 長期間における再現計算が可能となった。

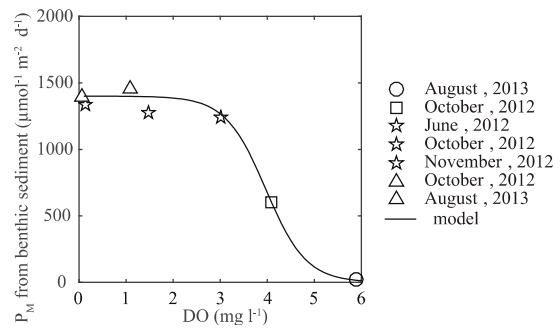


図-2 底層からのメタンフラックスと DO

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 件)

中山恵介, 藤原建紀, 藤井智康, 小林健一郎, 中島祐輔, 佐藤啓央, 貯水池における出水時の成層場鉛直混合に関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, pp.1-979-1_984 (2017)
田多一史, 中山恵介, 所立樹, 渡辺謙太, 桑江朝比呂, 春季出水期におけるコムケ湖の水質変動解析と大気-海水間 CO₂ フラックスの推定, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.72, No.2, pp.1_1015-1_1020 (2016)

中山恵介, 吉江祐人, 新谷哲也, 柿沼太郎, H.D. Nguyen, 佐藤之信, 駒井克昭, 強非線形強分散 3 層モデルを用いた成層湖応答解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.1_793-1_798 (2015)

新谷哲也, 中山恵介, 生物の細胞組織構造を模した流体シミュレーターの設計と検証, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.1_751-1_756 (2015)
K. Nakayama, T. Shintani, K. Shimizu, T. Okada, H. Hinata and K. Komai, Horizontal and residual circulations driven by wind stress curl in Tokyo Bay, Journal of Geophysical Research, Vol.119, pp.1977-1992 (2014)

小窪一毅, 中山恵介, 新谷哲也, 大塚淳一, 渡部靖憲, 柿沼太郎, 駒井克昭, 清水健司, 異なる斜面勾配における内部ケルビン波の碎波により誘起される流れ, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.1_201-1_206 (2014)
吉江祐人, 丸谷靖幸, 中山恵介, 駒井克昭, 新谷哲也, 渡辺謙太, 一見和彦, 桑江朝比呂, コムケ湖における水質及び流動特性の解明, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.1_1185-1_1190 (2014)

(学会発表)(計 件)

無し。

〔図書〕(計 件)
無し.

〔産業財産権〕
無し.

〔その他〕
無し.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中山恵介 (Nakayama, Keisuke)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60271649