

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03356

研究課題名（和文）湿地生態系からのメタン発生に関する新しい理解：大気化学と植物生態学の融合的視点

研究課題名（英文）New insights into the methane emission processes from wetland ecosystems: A concerted activity of atmospheric chemistry and plant ecology researches

研究代表者

高橋 けんし（Takahashi, Kenshi）

京都大学・生存圏研究所・准教授

研究者番号：10303596

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：近赤外レーザー分光法を用いて、森林の河畔湿地におけるメタン発生量の定量化技術を開発した。とりわけ、近年非常に注目されている湿地性樹木の一つであるハンノキからメタンガスが放出されているという現象を対象とし、樹幹表面からの放出速度を季節変動から日変動に至るまでを明らかにすることに成功した。放出量の変動要因を明らかにするために、根圏の土壌水や土壌の化学分析を行うとともに、地下水位や地温の変動などの環境パラメータを測定した。根圏の土壌水に溶存しているメタン濃度と樹幹からのメタン放出速度には強い相関性が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メタンガスは二酸化炭素に次ぐ放射強制力を持つ重要な温室効果気体である。最近見つかったメタン発生源としての湿地性樹木に着目し、放出量を定量化するレーザー計測技術を開発するとともに、放出量の季節変動や気象要素に対する応答を明らかにした。大気中のメタンガス収支の精緻化に貢献する重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：Using near-infrared laser spectroscopy, we have developed a technique for quantifying the amount of CH₄ generated in a riparian wetland of a temperate forest in Shiga prefecture. In particular, our research aimed at estimating in detail the CH₄ emission rate from the stem surface of *Alnus japonica* that is a major tree species in an anaerobic environment. Tree-mediated CH₄ emission is a relatively new phenomenon that has received much attention in recent years. We successfully clarified seasonal to diurnal variations in CH₄ emission rate from *A. japonica*. In order to clarify the factors that control the amount of emission, we performed chemical analysis of soil water in the rhizosphere and surface soils and measured environmental parameters such as soil temperature, air temperature, groundwater level and actinic short-wave radiation. A strong correlation was found between the concentration of CH₄ dissolved in the soil water and the rate of CH₄ emission from the stem surface.

研究分野：大気環境学

キーワード：メタン 湿地生態系 温室効果ガス レーザー分光法 フラックス

1. 研究開始当初の背景

大気中のメタンガス(CH₄)は重要な温室効果気体であり、その発生源の特定と発生量の精密な情報は、温暖化対策の構築の観点からも極めて重要である。大気中のメタンの発生源にはいくつかあるが、自然起源として最大の発生源は湿地であると理解されている。従来、湿地からのメタン発生機構は、嫌氣的な土壌を好むメタン生成菌の存在を中心として構築されており、それゆえ、土壌からのメタン発生に関する研究は極めて多い(Le Mer and Roger, 2001)。一方で、ある種の樹木からメタンガスが大気中へと放出されているという報告が最近になって散見されるようになってきている(Pangala et al., 2014; Rice et al., 2010; Terazawa et al., 2007)。もともと、水稻やある種の水生植物が、土壌中で生成されたメタンガスを根圏から幹・葉へと輸送し、最終的に大気中へと放出することはよく知られており(野内, 2001)。実際、IPCC レポートにおいても、水稻栽培は水田表面からの放出も含め、メタンガスの重要な発生源として認識されている。しかしながら、樹木からのメタンガス放出については現象論的に新しく、そのメカニズムや放出特性(日変化、季節性)はよく分かっていなかった。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、嫌氣的環境で生育する樹木からメタンガスが大気中への放出されるという最近見つけた現象に着目し、樹木およびその近傍の土壌からのメタンガス発生量(フラックス)の精密な連続測定と、発生量の変動特性を支配する環境パラメータの解明、樹木の根圏環境の解析や、樹木の解剖学的な形態観察に基づいた輸送メカニズムの解明、を行うことである。

3. 研究の方法

研究の方法として、大気化学・物理化学を専門とする申請者が得意とする半導体レーザー分光法によるメタンガスのリアルタイム計測と、森林水文学や植物生態学を専門とする研究分担者らが得意とする、チャンバー法によるフラックス計測や光学・電子顕微鏡による形態観察を並行して実施することとした。野外調査地として、京都大学農学研究科が管理する桐生水文試験地(滋賀県大津市, 34.96°N, 135.99°E)にある溪畔湿地を選定した。本調査地には、ハンノキ(*Alnus japonica*)の成木が複数自生しており(図1)、本研究課題が採択される前に実施した予備調査の結果、それらの樹皮からメタンガスが発生していることを見出した。本研究の開始後、2つのサブ課題を実施したので、本稿ではサブ課題ごとに方法を述べる。



図1. 観測サイトの様子

(サブ課題1)

閉鎖循環方式の自動測定チャンバーを独自にデザインし、ハンノキおよび土壌表面に設置した。ハンノキは、胸高直径が比較的近い三つの個体を選んだ。そのうえで、1.65 μmの近赤外半導体レーザーを用いた超長光路吸収分光装置と組み合わせて、メタンフラックスを自動計測するシステムを開発した(図2)。メタン分子は1.65 μm付近に、2ν₃バンドに帰属される吸収があり、吸収断面積は約10⁻²¹ cm²である。1.65 μm付近で反射率を99.99%以上までに高めた特殊な高反射ミラーを用いて、光学キャビティーを構成する。半導体レーザー光を一方のミラーからキャビティー内へ導入する。エンドミラーからの漏れ出し光をフォトダイオードで検出する。我々の半導体レーザー分光装置は、従来のガスクロマトグラフでは困難であった連続計測が可能であり、フラックスの変動特性、特に、季節性から日変動までを精密に定量化することができる。本研究課題の推進期間中は、三つのハンノキの個体各々について30分ごとのフラックスの自動計測を行った。

さらに、地温や土壌水分量などの土壌環境パラメータを連続的に測定するとともに、ハンノキの根圏にある地下水の溶存メタン濃度を分析した。地下水の採水は、ハンノキの一個体につき2つの深度で行い、いずれも30~50 cmとした。採水用の容器をあらかじめ埋設しておき、1か月ほど経過してから採水を開始した(図3)。採水は手動でシリンジを使用して

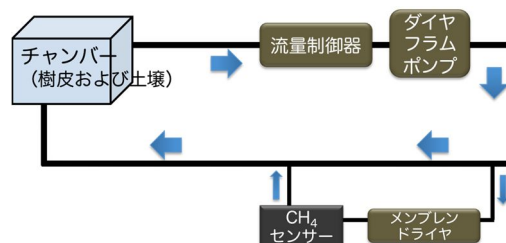


図2. 開発したチャンバーフラックス測定システムのダイヤグラム

行い、ガラスバイアルに封入して実験室へ持ち帰った。地下水サンプルは、採水後、24 時間以内にガスクロマトグラフィー-水素炎イオン化検出器 (GC-FID)を用いて分析を行った。

(サブ課題 2)

根圏の環境解析という観点から、表層土壌の嫌気培養実験や、樹木根そのものの組織観察を実施した。嫌気培養実験では、観測サイトで採取したハンノキの生育地の表層土壌をガラスバイアルに封入し、恒温器内で温度管理を行った。樹木根の組織観察実験は、観測サイトでハンノキの根を掘り出した後、採取試料を実験室へ持ち帰ってから行った。ハンノキは一般に浅根型として認識されているが、観測サイトに自生するハンノキの根の深さ方向の分布特性については詳細な調査を行うに至っていない。本研究課題においては、地表面付近にある根を採取した。実験室では、組織観察のための前処理を行い、実際の観察は、京大農学研究科所有の光学顕微鏡を用いた。



図 3 . 採水器の埋設作業の様子

4 . 研究成果

本研究課題の実施の結果、我々の研究サイトに自生するハンノキの樹皮から放出されるメタンガスの放出特性として、(1) 三つの個体によって個体差が大きいこと、(2) 8 月ごろに極大となる一方で、2 月ごろに極小となるような明確な季節性を示すこと、といった特徴が見いだされた(図 4)。前者に関しては、樹木としての個体差、すなわち、樹木内部のガス輸送効率の違いに起因しているものなのか、あるいは、三つの個体が生育する土壌環境の違いに起因しているものなのか、もしくはそれらの両方に起因するものなのか、という複数のメカニズムの背景が考えられ、非常に興味深い情報である。後者については、30 分間隔という非常に高い計測時間分解能を活かした観測の成果である。既往の研究では、こうした精細な計測結果を示した例はなく、湿地生態系における樹木からのメタンガス放出が、大気中のメタンの供給源としてどの程度寄与するのかをアップスケールする際に、非常に貴重な情報となるものと考えている。

本研究課題では、前章に記載のとおり、地温や降水量といった基本的な微気象パラメータを連続的に観測したほか、根圏で採取した地下水中に溶存しているメタンの濃度の分析や、自記式の水位計による地下水位の連続観測を実施した。そこで、それらの土壌環境要因の変動特性とハンノキの樹皮からのメタンガスの放出特性を比較することにより、放出特性の制御要因について考察した。構造方程式モデリングによる詳細な解析の結果、根圏の地下水の動態、とりわけ、溶存メタン濃度や水位変動が、樹皮からのメタン放出特性に主要な影響を及ぼしていることが分かってきた。

一方、根の顕微鏡観察の結果、細胞間隙の存在を伺わせる事例が見つかった。細胞間隙はガス輸送に関連していると考えられているが(Pangala et al., 2014)、ハンノキの根においてその実態を直接捉えた報告は過去には無く、本研究課題の中で初めてその一端を捉えることができた。今後、採取する根の選別や採取する深度などについてより詳しい実験条件を設定するとともに、根の採取方法の再検討を含めた顕微鏡観察の新しい展開について検討を進めていく予定である。

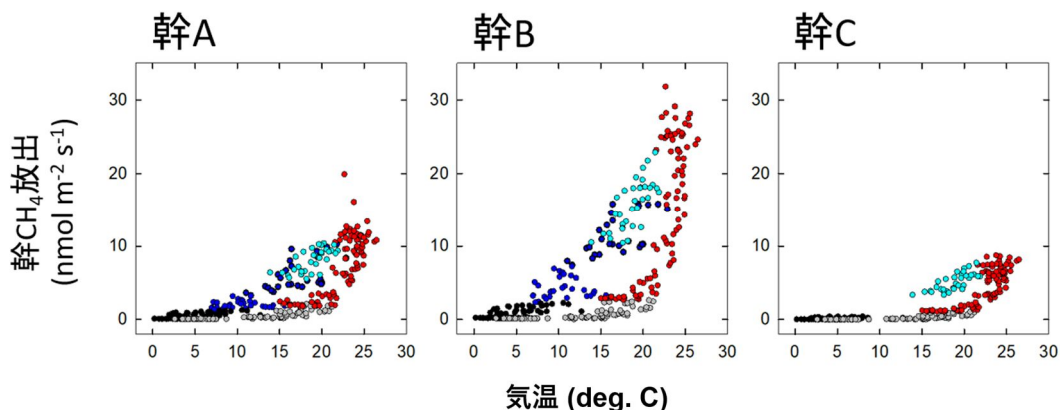


図 4 . ハンノキの三個体の幹から放出されるメタンの季節変動。個々のデータ点は一日平均値。

参考文献

Le Mer and Roger, Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review, *Eur. J. Soil. Biol.* 37, 25-50, 2001.

野内 勇, 湿地・水田から大気への水生植物によるメタン放出機構, 大気環境学会誌 第 36 巻, 第 6 号, A59, 2001.

Pangala et al., 2014; Controls on methane emissions from *Alnus glutinosa* saplings, *New Phytologist*. 201(3), 10.1111/nph.12561.

Rice et al., 2010; Emissions of anaerobically produced methane by trees, *Geophys. Res. Lett.*, 37(3), 10.1029/2009GL041565.

Terazawa et al., 2007 Methane emissions from stems of *Fraxinus mandshurica* var. *japonica* trees in a floodplain forest, *Soil Biol. Biochem.* 39 2689-2692.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mendoza Pascual Milette U., Itoh Masayuki, Aguilar Jaydan I., Padilla Karol Sophia Agape R., Papa Rey Donne S., Okuda Noboru	4. 巻 126
2. 論文標題 Controlling Factors of Methane in Tropical Lakes of Different Depths	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 e2020JG005828
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020JG005828	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

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 K. Takahashi, A. Sakabe, M. Itoh, W. Azuma, M. Tateishi, M. Ataka, Y. Kosugi
2. 発表標題 Methane emission from woody stem and its potential impact on atmospheric methane budget
3. 学会等名 IGAC小委員会およびiLEAPS/IGAC-Japan合同研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂部綾香, 高橋けんし, 東若菜, 伊藤雅之, 小杉緑子
2. 発表標題 温帯林の湿地におけるハンノキ樹幹からのメタン放出の季節変動
3. 学会等名 日本農業気象学会2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Takahashi
2. 発表標題 Application of laser spectroscopy techniques to atmospheric chemistry studies in a forest environment
3. 学会等名 International conference on tropical meteorology and atmospheric sciences (ICTMAS)（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂部綾香, 高橋けんし, 東若菜, 伊藤雅之, 立石麻紀子, 小杉緑子
2. 発表標題 温帯林におけるハンノキ樹幹からのメタン放出に関する研究
3. 学会等名 日本農業気象学会2019年全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenshi Takahashi, Ayaka Sakabe, Masayuki Itoh, Wakana Azuma, Mioko Ataka, Makiko Tateishi, and Yoshiko Kosugi
2. 発表標題 Methane emission from the stems of <i>Alnus japonica</i> in riparian wetlands within a temperate forest catchment
3. 学会等名 The 2018 joint 14 th iCACGP quadrennial symposium and 15 th IGAC science conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. L. Yoshikawa, M. Dannoura ¹ , K. Yasue, T. Shirota, K. Takahashi, T. Morishita, T. Saito, R. Yamamoto, Y. Matsuura, K. Noguchi, C. Hossann, R. W. Ruess
2. 発表標題 Estimating relative contribution of autotrophic respiration to soil respiration in permafrost region of Alaska, using ¹³ C pulse labeling method
3. 学会等名 IBFRA18 (The cool forests conference) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋けんし
2. 発表標題 湿地生態系からのメタン発生に関する最近の知見
3. 学会等名 日本気象学会近畿支部会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Epron, A. Sakabe, K. Takahashi, M. Harada, T. Watanabe, and S. Asakawa
2. 発表標題 Emission of methane from the stems of several Japanese tree species: Variations between species and individuals, and within individuals
3. 学会等名 The 68th Annual Meeting of the Ecological Society of Japan
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhining Liu, Ayaka Sakabe, Yoshiko Kosugi
2. 発表標題 Study on methane fluxes from stem of cypress in an upland temperature forest
3. 学会等名 日本農業気象学会2021年全国大会（国際学会）（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都大学生存圏研究所 大気環境情報分野 ホームページ http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/laeia/members/tkenshi/index.html</p>
--

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	常田 岳志 (Tokida Takeshi) (20585856)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・主任研究員 (82111)	

6. 研究組織（つづき）

	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	坂部 綾香 (Sakabe Ayaka) (40757936)	京都大学・白眉センター・特定助教 (14301)	
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	小杉 緑子 (Kosugi Yoshiko) (90293919)	京都大学・農学研究科・教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関