

令和 2 年 4 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K18718

研究課題名（和文）同位体情報を活用した森林群落スケールのメタン交換量の変動要因の解析

研究課題名（英文）Analysis of controlling factors of ecosystem-scale methane exchange in forests using isotope information

研究代表者

坂部 綾香（Sakabe, Ayaka）

京都大学・白眉センター・特定助教

研究者番号：40757936

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：温帯ヒノキ林では、生態系スケールのメタン交換量は、観測システムの測定精度に近い小さなものであった。しかし、林床ではメタン吸収が、流域内の湿地に生育するハンノキ樹幹からは湿地土壌よりも大きなメタン放出が観測され、林内ではダイナミックなメタン動態が存在していた。さらに、これらのメタン交換量は、環境条件の変化に鋭敏に反応していた。熱帯泥炭湿地林でも、環境条件の変化に応じた生態系メタン交換量の明確な季節変化が検出された。今後、気候変化に森林におけるメタン動態がどのような応答を示すのか予測するために、明らかになった環境応答性をモデルに組み込む必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

森林は、水分不飽和な土壌でのメタン吸収のために、メタン吸収源として期待されている。しかし、実際の森林におけるメタン動態は複雑に放出と吸収が混在しており、その向き、大きさは環境条件によってダイナミックに変化することが示された。森林生態系スケールと森林内の構成要素ごとのメタン交換量の環境応答性を調べることで、森林生態系がメタン収支に果たす役割の理解を進めることができた。

研究成果の概要（英文）：In a temperate cypress forest, the observed ecosystem-scale CH₄ flux was small and close to the detection limit of the measurement system. However, CH₄ uptake was observed in forest floor and higher CH₄ emission was observed from the stem of *Alnus japonica* growing in riparian wetland than surrounding soils, and dynamic change in CH₄ dynamics existed in the forest. Furthermore, these CH₄ exchange rates were sensitive to the changes in environmental conditions. In peat swamp forest, a clear seasonal variation in ecosystem-scale CH₄ exchange rates was detected in respond to changes in environmental conditions. Therefore, these environmental responses need to be incorporated into future models in order to predict how CH₄ dynamics in forests will respond to climate change.

研究分野：森林における温室効果ガス交換量

キーワード：メタン 渦相関法 簡易渦集積法 チャンバー法 温帯ヒノキ林 熱帯泥炭湿地林

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

メタンは二酸化炭素に次ぐ人為起源の温室効果ガスである。自然生態系におけるメタン放出源・吸収源の理解は不足しており、近年の大気中メタン濃度の変動理由も完全には明らかになっていない。森林は、水分不飽和な土壌におけるメタン吸収のために、一般的にはメタンの吸収源と認識されているが、フィールド観測に基づく実態把握が進んでいない。林内には湿潤なエリアも存在し、メタン放出が起こっていると考えられる。近年、土壌のみならず樹幹からメタンが放出されることも明らかになっており (Terazawa et al., 2007; Gauci et al., 2010) 周辺の土壌よりも樹幹からのメタン放出の方が大きい例も報告されている (Pangala et al., 2013)。さらに、熱帯林では、シロアリといったメタン放出源も存在しており、林内では多様なメタン放出源と吸収源が混在しており、森林におけるメタン動態の理解を困難にしている。森林がメタン収支に果たす役割を明らかにするには、微気象学的な手法によって生態系スケールのメタン交換量を観測するとともに、チャンバー法によって土壌、幹といった林内の構成要素ごとのメタン動態を把握する必要がある。特に、熱帯林では観測データが不足しており、メタン動態の理解が進んでいない。

一方で、チャンバー法によってガス交換量を測定できるサンプル数は限られているため空間代表性を持たず、生態系スケールのガス交換量へのアップスケールはしばしば困難であるという課題がある。メタンの炭素安定同位体比は、濃度フラックスでは得られない起源や反応履歴についての情報を与える。そのため、林内の構成要素ごとにメタン生成・酸化履歴を反映した異なる同位体比を持つと考えられる。そこで、同位体情報を活用することで、林内の構成要素におけるメタン動態が生態系スケールのメタン交換にどのように寄与しているのか明らかにできるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

森林におけるメタン動態を理解するために、生態系スケールのメタン交換量と林内の構成要素ごとのメタン交換量を観測し、環境要因をあわせて観測することで、各スケールでのメタン交換量の制御要因を明らかにする。さらに、メタンの炭素安定同位体比の情報を利用して、生態系スケールのメタン交換量が林内のどの構成要素からの寄与を反映しているのか調べる手法を確立する。

3. 研究の方法

滋賀県南部に位置する温帯ヒノキ林において、簡易渦集積法による生態系スケールのメタン交換量の観測を行った。さらに、林内の構成要素ごとのメタン放出・吸収プロセスを解明するために、動的閉鎖チャンバー法による土壌におけるメタン交換量、流域内の湿地畦畔域に生育するハンノキ樹幹からのメタン交換量の観測を行った。メタン交換量の変動要因を調べるために、気象条件、土壌環境条件の観測も併せて行った。湿地では、地下水を採取し、溶存メタン濃度の測定、樹液流速の観測も行った。異なる気候帯、森林タイプにおけるメタン交換量を調べるために、インドネシアの中カリマンタンに位置する熱帯泥炭湿地林においても、渦相関法による生態系スケールのメタン交換量の観測を行った。本試験地においても、気象条件、土壌環境条件の観測を併せて行った。これらの観測は、研究期間全体を通じて継続して行った。

マレーシアの熱帯雨林では、シロアリからのメタン放出の寄与が重要と考えられる。本試験地においては、メタンの炭素安定同位体比を用いたメタン放出源の特定のために、可搬型の簡易渦集積法の観測システムを用いた森林から運ばれる空気のサンプル、静的閉鎖チャンバー法の観測システムを用いたシロアリの巣から放出される空気のサンプルを行った。サンプルした空気

は真空引きしたバイアルに加圧封入後持ち帰り、実験室に持ち帰った後、メタン濃度、メタンの炭素安定同位体比の分析を行った。

4. 研究成果

滋賀県南部の温帯ヒノキ林における生態系スケールのメタン交換量は、簡易渦集積法によるフラックス測定システムの検出限界に近い、非常に小さな規模のメタン交換量が観測された。夏から秋にかけて弱い放出源となる傾向が示された。本試験地では、先行研究より、土壌からのメタン交換量が重要な要素として着目されてきたが (Itoh et al., 2007; Sakabe et al., 2015, 2016)、流域内の畦畔域に生育するハンノキの樹幹から、表面積当たりで周辺の湿地土壌よりも大きなメタン放出が起こっていることが明らかになった。これまで見逃されていた樹木を介したメタン放出のメカニズムを解明するために、ハンノキの樹幹に動的閉鎖チャンバーを設置し、樹木を介したメタン放出量を連続観測した。幹メタン放出の規模、季節変化、環境応答性を明らかにすることを目的として、通年観測データを取得した。幹メタン放出は、土壌中の溶存メタン濃度と樹液流速の変化に応じた季節変化を示し、幹メタン放出量は夏に最大、冬に最小となることが明らかになった。落葉期にも幹メタン放出は観測された。幹メタン放出は、地温と高い相関を示し、両者の関係は反時計周りのヒステリシスを示した (図1)。幹メタン放出は溶存メタン濃度とも高い相関を示した。地温は土壌でのメタン生成を制御し、地温上昇からメタン生成までに遅れがあるため、ヒステリシスを示すと考えられた。幹メタン放出と樹液流速の相関は低かった。これらの結果から、地中のメタンがガス態で分子拡散により樹体内の空隙を幹まで輸送されていると考えられた。一方で、幹メタン放出は、日変化を示したことから、一部は地下水に溶存したメタンが樹液流によって輸送されていると考えられた。

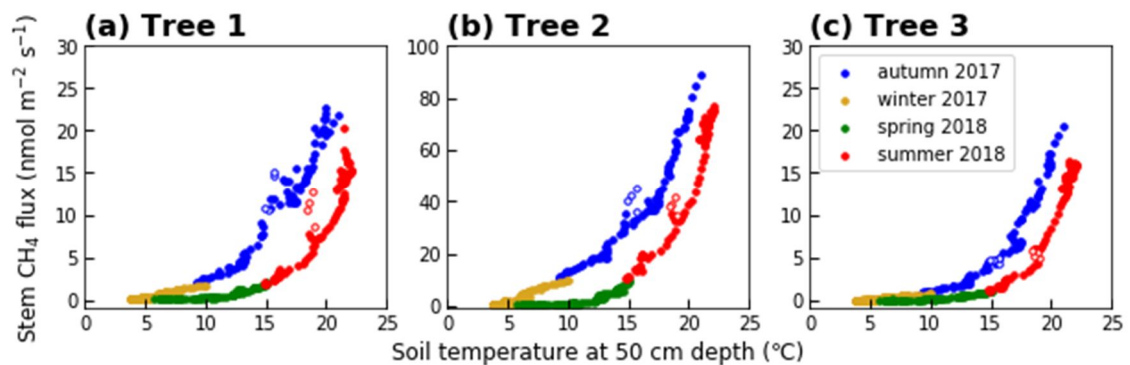


図1 3本のハンノキ樹幹からのメタンフラックスと地温の関係。色は季節を表す。

本研究によって、土壌のみならず、これまで見逃されていた幹からのメタン放出も生態系スケールのメタン交換量に寄与している可能性が示唆された。今後、蓄積された生態系スケールとコンパートメントごとのメタン交換量のデータをもとに、生態系スケールで実際に各コンパートメントからの寄与がどれほどあるのか定量的な解析を進めることが課題となる。また、林内に多く存在する木質リター、立ち枯れからのメタン交換量の評価も今後の課題であると考えられる。

インドネシアの中カリマンタンに位置する熱帯泥炭湿地林においても、生態系スケールのメタン交換量を観測した結果、乾季と雨季の水位の変化が生態系スケールのメタン交換量の季節変動をもたらしていることが明らかになった。乾季にメタン吸収が観測され、雨季には徐々にメタン放出へと移り変わる様子が明らかになった。メタン放出レンジは、北方の泥炭湿地に比べて小さく、有機物の質の違いの影響が大きいことが示唆された。年間のメタン放出量は、地球温暖

化係数を考慮しても、二酸化炭素の数パーセント以下であることが分かった。本研究によって、地下水位の上昇に伴うメタン放出の増加が観測されたが、先行研究により地下水位の低下は二酸化炭素の放出増加をもたらすこと、排水路からのメタン放出が増加することが報告されているため、泥炭炭素を保存するには、泥炭湿地林を未排水の高い地下水位のまま保存することが重要であると考えられた。これらの結果を論文にまとめ、かく乱の影響を受けていない熱帯泥炭湿地林は、生態系スケールで雨季に小さなメタン放出源となるという結果を国際誌に投稿した (Sakabe et al., 2018, *Global Change Biology*)。また、土壌からのメタン交換量を観測するために、チャンバーの製作、現場でのチャンバーベースの設置といった準備作業を進めた。今後、さらなる林内のメタン動態の解明に向けてチャンバー法による土壌・幹におけるメタン交換量の観測を行う予定である。

メタンの炭素安定同位体比の情報を利用して、生態系スケールのメタン交換量が林内のどの構成要素からの寄与を反映しているのか調べる手法を確立することを目的として、マレーシアの熱帯雨林で、可搬型の簡易渦集積法の観測システムを構築して現場に持ち込み、森林から運ばれる空気をサンプルし、チャンバー法によりシロアリの巣から放出される空気の採取を行った。サンプルした空気のメタン濃度、メタンの炭素安定同位体比分析を行い、キーリングプロットにより、シロアリの巣から放出されるメタンの炭素安定同位体比を算出した。その結果、シロアリの巣から放出されるメタンの炭素安定同位体比は同位体分別が大きく、大気から大きく異なる値をとった。一方で、森林から運ばれた空気のサンプルは、メタンの炭素安定同位体比が大気の数値とほぼ同じであり、シロアリの巣から放出されるメタンの影響を検出することはできなかった。今後、さらにサンプルするタイミングを増やし、林床から地上 50m まで林内の鉛直方向の空気をサンプルし、メタンの炭素安定同位体比に変化が見られるか調べるとともに、シロアリの巣の他に、メタン交換量に寄与すると思われる土壌水分状態の異なる複数地点の地表面、葉、幹からの空気もサンプルし、メタンの炭素安定同位体比を分析することで、林内のどこで生成されたメタンがどれほど消費されて、メタン交換量に寄与しているか考察することが課題である。

一連のフィールド観測により、滋賀県南部の温帯ヒノキ林も、インドネシアの中カリマンタンに位置する熱帯泥炭湿地林も、森林生態系スケールでは弱いメタン放出源、あるいはメタン吸収源であったが、季節変化の様子、制御要因は森林タイプによって異なっていた。温帯ヒノキ林では、高温多湿な夏にメタン放出源となり、熱帯泥炭湿地林では水位が上昇する雨期にメタン放出源となった。さらに、温帯ヒノキ林では、林内の構成要素ごとのメタン動態を調べた結果、これまで着目していた土壌のみならず、樹幹表面からもメタン放出が起こっていることが明らかになった。生態系スケールのメタン交換量の変動規模は小さいが、林内では構成要素ごとに異なる制御要因を持ったダイナミックなメタン動態が存在することが明らかになった。林内にはまだ発見されていないメタン放出源が存在している可能性もある。特に、メタン放出源となる可能性が指摘されている立ち枯れ (Carmichael et al., 2017)、木質リター (Warner et al., 2017) からのメタン交換量に着目する必要があると考えられる。また、メタンの炭素安定同位体情報を用いた各構成要素からのメタン放出の寄与の推定は、今後サンプル回収、サンプル対象をさらに増やして、更なる手法の検討を行う必要がある。

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 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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Ayaka Sakabe, Masayuki Itoh, Takashi Hirano, Kitso Kusin
2. 発表標題 Ecosystem-scale methane flux in tropical peat swamp forest in Indonesia
3. 学会等名 日本生態学会大会
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、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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenshi Takahashi, Ayaka Sakabe, Masayuki Itoh, Wakana Azuma, Mioko Ataka, Makiko Tateishi, 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 14th iCACGP quadrennial symposium and 15th IGAC science conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Hirano, Ryuichi Hirata, Kiwamu Ishikura, Masayuki Itoh, Ayaka Sakabe, Frankie Kiew, Guan Xhuan Wong, Lulie Melling, Kitso Kusin
2. 発表標題 Carbon balance of tropical peat ecosystems in southeast Asia
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masayuki Itoh, Ayaka Sakabe, Yoshiko Kosugi, Takashi Hirano
2. 発表標題 Effects of inter-annual climate difference on hydrologic and biogeochemical controls on methane dynamics in forest ecosystems
3. 学会等名 The 3rd Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science Present and Future of Humanosphere Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂部綾香
2. 発表標題 樹木を介した土壌圏から大気圏へのメタン放出
3. 学会等名 大気-森林-土壌循環ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂部綾香、伊藤雅之、Kushin Kitso、平野高司
2. 発表標題 熱帯泥炭湿地林における群落スケールメタンフラックスの解明
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayaka Sakabe, Masayuki Itoh, Takashi Hirano, Kitso Kusin
2. 発表標題 Seasonal variations of methane flux in tropical peat swamp forest in Indonesia
3. 学会等名 AsiaFlux (国際学会)
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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋けんし、坂部綾香、伊藤雅之、岩田拓記、安宅未央子、小杉緑子
2. 発表標題 長光路レーザー吸収分光による大気微量成分の超高感度検出とフラックス測定への応用
3. 学会等名 日本分光学会
4. 発表年 2019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