

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21380095

研究課題名（和文）生態系における微量気体動態の飛躍的把握にむけた TDLS の活用

研究課題名（英文）Use of Tunable Diode Laser Spectrophotometer (TDLS) for the understanding of trace gas dynamics in ecosystems

研究代表者

小杉 緑子 (KOSUGI YOSHIKO)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：90293919

研究成果の概要（和文）：本研究は、重要な温室効果ガスのひとつであるにもかかわらず森林におけるシンク/ソースについての情報が圧倒的に不足している CH_4 等の微量ガスについて、Tunable Diode Laser Spectrophotometer (TDLS) を様々な活用した連続観測により飛躍的に情報量を増やし、森林生態系における動態に迫ることを目的としている。1) 森林内の各コンパートメント（不飽和土壌・葉群・幹）における CH_4 の吸収ないし放出速度の自動開閉閉鎖循環式チャンバー法による連続観測、2) 渦集積（REA）法による樹冠上フラックス連続観測、3) 森林内外の CH_4 濃度プロファイルの連続観測システムを立ち上げ、一年以上にわたるモニタリング結果を得た。

研究成果の概要（英文）：This research project aims to investigate the strategies of the use of tunable diode laser spectrophotometer (TDLS) for the understanding of trace gas dynamics in the forest ecosystem. Trace gases such as CH_4 are important greenhouse gases and their dynamics should be understood, although the information about source/sink and their dynamics is very limited in the forest ecosystems. We established the systems for measuring 1) chamber scale CH_4 emission or absorption rate from each compartment of the forest ecosystem such as unsaturated soil, foliage, stem, 2) canopy CH_4 flux with REA method, and 3) vertical profile of CH_4 concentration, and continued the monitoring for more than one year.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2009 年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2010 年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
年度			
年度			
年度			
総 計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林科学

キーワード：TDLS、 CH_4 動態、渦集積法、チャンバー法、レーザー分光法、微量ガス

1. 研究開始当初の背景

森林生態系における CH_4 など微量ガスの動態についての情報は、その重要性にもかかわ

かわらず非常に不足しているのが現状である。

現在のところ、森林生態系を含む不飽和土壌は CH_4 の 30Tg/yr（6%）の吸収源として、

一方で湿地土壌は 115Tg/yr (22%) の放出源として機能すると見積もられている (Le Mer and Roger, 2001)。しかしながら、実際の森林における動態に関する情報は少ない。既存のガス濃度計の応答速度や分解能の限界と収支の微妙さから観測が圧倒的に困難であるため、これまでに樹冠上フラックスの連続観測例はほとんどない。森林における CH_4 フラックスはこれまで土壌圏を中心として、土壌チャンバーより採取したガスを実験室に持ち帰ってガスクロマトグラフ分析計 (GC) により濃度変化を分析することによって評価されてきたが、このような方法によって得られる情報は自ずと限られてきた。土壌圏フラックスは生成・消費・放出の複雑なメカニズムが連動し大きな不均一性を有する (Itoh et al, 2007, 2008) ため、森林現地での多点・連続チャンバー観測による飛躍的な情報量増加が今後の研究の推進に不可欠である。さらに最近、樹木を含む植物葉が CH_4 を放出しているという報告 (Keppler et al, 2006) がなされ、大きな話題となり物議を醸しているが (e.g., Vigano et al, 2008, Wang et al, 2008, Beerling et al, 2008)、いずれの研究においても手法の制約から、生きた植物葉群からのフラックスを実際の生態系において連続観測するには至っておらず、植物体におけるシンク/ソースの実態は依然謎に包まれている。代表者らはここ数年来、GC などの既存の装置を用いて CH_4 動態に関する様々な研究を進めると同時に、その画期的に速い応答速度や測定 of 簡便性ゆえに情報の飛躍的な増加と研究の変革をもたらすであろう TDL S 方式微量ガス分析装置の開発動向に注意を払ってきた。また分担者のひとり、大気化学の分野において、レーザー分光技術を用いた大気微量ガス成分の高感度計測装置の開発と実用化に深く関わってきた。そこで我々は複合領域研究チームを結成し、既に TDL S プロトタイプ機の精度と安定性の検証実験を繰り返すとともに、実際の森林サイトにおいて様々な試験試行を開始している。このような経緯から我々は、現状での TDL S 装置を用いて、生態系における微量ガス動態の把握にむけたいくつかの非常に有効な研究戦略を提示・検証することが可能であると判断し、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、重要な温室効果ガスのひとつであるにもかかわらず森林におけるシンク/ソースについての情報が圧倒的に不足している CH_4 等大気中の微量気体動態について、Tuneable Diode Laser Spectrophotometer (TDL S) を様々な活用した連続観測により飛躍的に情報量を増やし、温室効果ガスの森林

生態系における動態に迫るための斬新なシステムと研究戦略の開発と提示を目的としている。

3. 研究の方法

研究方法は、下記のシームにしたがった。

(1) 森林内の各コンパートメントにおける吸収ないし放出速度を、濃度計に TDL S を用いた自動開閉の閉鎖循環式チャンバー法により連続観測する。これらの情報と、本サイトにてこれまで展開してきた CH_4 動態に関する研究結果を併せて解析し、森林内部におけるシンク/ソースと決定要因を明らかにする。
(2) また同時に、森林内外 5 高度における大気 CH_4 濃度プロファイルを連続測定する。また、渦集積 (REA) 法による樹冠上フラックス連続観測結果、および環境省の提供する大気汚染物質広域監視システムによる近隣地域の大気 CH_4 濃度等の情報と併せて解析し、 CH_4 の濃度プロファイルおよび収支の変動とシンク/ソースの関係について明らかにする。また CO_2 との比較から CH_4 動態の特徴を抽出する。

本研究の対象となる森林サイトは、桐生森林水観測は滋賀県南部 (34° 96' N, 135° 99' E) に位置する桐生水文試験地 (KEW) ヒノキ林である。同試験地では 1972 年より現在に至るまで 30 余年に及ぶ水文観測が行われている (Kosugi et al. 2006)。また 1994 年に現在の微気象観測塔が設置され、森林樹冠上での熱・水・二酸化炭素交換速度の連続自記観測や森林内外の微気象についての詳細な観測が継続されており、森林樹冠上における熱・水・二酸化炭素フラックスについての詳細がこれまでに明らかになっている (高梨ら 2003, Takanashi et al. 2005, Kosugi et al. 2007, Saigusa et al. 2008, Hirata et al. 2008)。また土壌・幹・葉群に大型の自動開閉式チャンバーを設置し、これらコンパートメントでの CO_2 のシンク/ソースを連続自記観測するシステムが導入されており、生態系呼吸についての詳細な情報を有している。切り替えシステムによる連続自記観測は森林内部における CO_2 濃度プロファイルにもおよび、 CO_2 のシンク・ソースおよび内部動態について研究を行っている (Ohkubo et al. 2007, 2008)。また樹冠上光合成過程や生態系呼吸各要素についてのチャンバー法による長期観測 (三谷ら 2005)、リモートセンシング技術を用いた光合成特性の把握 (中西ら 2005, Nakaji et al. 2008) など、 CO_2 動態に関連する様々な研究を展開中である。同時に、ここ数年来本サイトでは土壌圏における CH_4 動態についての先進的な研究がおこなわれてきた (伊藤ら、2005, Itoh et al. 2007, 2008) 経緯があり、これらの情報が利用可能となる。

4. 研究成果

計画段階ではCH₄だけでなく¹³CO₂も対象に研究計画を設定していたが、実際に配分された予算では¹³CO₂用の分析計を購入するのに十分ではなかったことなどの現状に鑑み、初年度より対象をCH₄に特化して集中的に研究を行ってきた。

(1) 森林内の各コンパートメント（不飽和土壌・葉群・幹）におけるCH₄の吸収ないし放出速度の自動開閉閉鎖循環式チャンバー法による連続観測

(2) 渦集積（REA）法による樹冠上フラックス連続観測

(3) 森林内外のCH₄濃度プロファイルの連続観測

等のシステムを立ち上げ、一年以上にわたる森林生態系における統合的なモニタリング結果を得た。また平成22年度には、アラスカ大学 UAF UAF タワーサイトの研究グループとの連携による、渦相関法による樹冠上フラックスとREA法との比較検証の試みも行った。

(1)について、検証の過程で、正確なフラックス把握にはセル内のH₂O濃度変動の影響を厳密に考慮することが必須であることを明らかにした。現在までのところ葉・幹では目だったシンク/ソースは観測されず、不飽和土壌では降雨や気温に対して複雑にシンク強度が変動すること、土壌圏CH₄吸収および放出速度はCO₂に比べて、土壌水分に対する依存性が非常に高いこと、などがわかってきた。

(2)の樹冠上での観測からは、シンク/ソースが長期的には季節の移り変わりに連動し、またより短期間には降雨パターンの変動に連動し、ダイナミックに変動する様子が明らかになった。

また同時に、1)の観測による土壌圏フラックスの変動幅は、2)の観測による樹冠上フラックスの変動幅を説明するほどの大きさではなく、伊藤らの先行研究が強く示唆するように点在する湿地における大きなソースとその変動が鍵を握っていることが強く示唆される結果となった。

(3)の観測結果からは、CH₄はCO₂に比べて濃度の時空間分布の不確実性が高く、またより広域での濃度変動との関連性も強いことから、乱流観測の前提から外れるケースを濃度の時空間分布より厳密に判定していく必要があることが明らかになった。

現在までに我々はTDLS装置を用いたいく

つかの観測システムの開発と提示・検証に成功し、またいくつかの世界初の長期観測を軌道に乗せた。成果の一部について13件の学会発表を行うとともに、関連学術雑誌に投稿中である。

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）

〔学会発表〕（計13件）

①金澤瑛、小杉緑子、高橋けんし、坂部綾香：ヒノキ林におけるチャンバー法によるメタンフラックス及びメタン濃度プロファイルの観測 日本農業気象学会 2011年全国大会 2011.3.18 鹿児島大学（鹿児島）

②坂部綾香、小杉緑子、豊谷憲、植山雅仁、高橋けんし、金澤瑛、伊藤雅之：REA法によるヒノキ林樹冠上メタンフラックス観測 日本農業気象学会 2011年全国大会 2011.3.18 鹿児島大学（鹿児島）

③高橋けんし、小杉緑子、金澤瑛、坂部綾香：近赤外レーザーによる暖温帯ヒノキ林におけるメタンフラックスの長期観測 第16回大気化学討論会 2010.11.17-19 首都大学（東京）

④望月智貴・植山雅仁・豊谷憲・安田倫己・高橋善幸・奥村智憲・東野達・谷晃：富士吉田カラマツ林のモノテルペンフラックス測定、生物起源微量ガスワークショップ 2010、2010.11.15-16、京都大学（京都）

⑤Takahashi K., Kosugi Y., Kanazawa A., Sakabe A., Ueyama A., Hamotani K., Itoh M., Kamakura M. Methane flux measurements by diode laser spectroscopy in a Japanese cypress forest. Symposium on the usage of new techniques to understand gas exchange and carbon dynamics in the forest ecosystem, 2010.11.1、京都大学（京都）

⑥Kanazawa A., Kosugi Y., Takahashi K., Sakabe, A.: Measurements of methane flux from soils, foliage and trunk, by automated closed chamber method in a Japanese cypress forest, Symposium on the usage of new techniques to understand gas exchange and carbon dynamics in the forest ecosystem, 2010.11.1、京都大学（京都）

⑦Sakabe A., Kosugi Y., Hamotani K., Ueyama M., Takahashi K., Kanazawa A., Itoh M.: Relaxed eddy accumulation system using tunable diode laser spectroscopy methane analyzer for measuring methane flux over an evergreen coniferous forest canopy, Symposium on the usage of new techniques to understand gas exchange and carbon dynamics in the forest ecosystem, 2010.11.1、

京都大学（京都）

⑧ Kamakura M., Kosugi Y., Kanazawa A., Takahashi K.: Measurements of methane flux from alive leaves of tree species using gas exchange chamber with a tunable diode laser spectroscopy CH₄ analyzer, Symposium on the usage of new techniques to understand gas exchange and carbon dynamics in the forest ecosystem、2010.11.1、京都大学（京都）

⑨ 高橋けんし: 微量気体の安定同位体計測へのレーザー分光法の応用、京都大学農学研究科研究会「安定同位体を用いた物質循環研究の最前線」、2010.10.1、京都大学（京都）

⑩ 植山雅仁・鱧谷憲・西村渉・高橋善幸: 簡易渦集積法を用いた群落スケールでの森林のメタンフラックス計測、2010年日本地球化学会年会、2010.9.7-9、立正大学（埼玉）

⑪ 高橋けんし、小杉緑子・金澤瑛: レーザー分光法を用いた微量ガス計測技術の諸様式とその森林・大気的气体交換研究への応用、日本農業気象学会、2010.3.17、名城大学（愛知県）

⑫ 金澤瑛・小杉緑子・高橋けんし: ヒノキ林における自動開閉チャンバーによる土壌メタンフラックス及びメタン濃度プロファイルの観測、日本農業気象学会、2010.3.17、名城大学（愛知県）

⑬ 坂部綾香・小杉緑子・鱧谷憲・植山雅仁・高橋けんし・西村渉・金澤瑛: TDLS 式 CH₄ 濃度計を用いた REA 法によるヒノキ林樹冠上 CH₄ フラックスの連続観測、日本農業気象学会、2010.3.17、名城大学（愛知県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小杉 緑子 (KOSUGI YOSHIKO)
京都大学・農学研究科・助教
研究者番号: 9 0 2 9 3 9 1 9

(2) 研究分担者

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: 1 0 3 0 3 5 9 6
鱧谷 憲 (HAMOTANI KEN)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・講師
研究者番号: 3 0 2 6 4 8 1 5
(H21→H22: 退職)
植山 雅仁 (UEYAMA MASAHIRO)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・助教
研究者番号: 6 0 5 0 8 3 2 7

(3) 連携研究者

高梨 聡 (TAKANASHI SATORU)
森林総合研究所・気象環境研究領域・研究員
研究者番号: 9 0 4 2 3 0 1 1

伊藤 雅之 (ITO MASAYUKI)

農業環境技術研究所・物質循環研究領域・特別研究員

研究者番号: 7 0 4 5 6 8 2 0