

令和 3 年 6 月 13 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03365

研究課題名(和文) 大気化学と先進的遺伝子解析の融合による森林生態系の温室効果気体動態評価の高精化

研究課題名(英文) Studies for better understandings of dynamics of greenhouse gases in forest ecosystems through the fusion of atmospheric chemistry and advanced genetic analysis

研究代表者

村山 昌平 (Murayama, Shohei)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・総括研究主幹

研究者番号：30222433

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：岐阜県高山市冷温帯落葉広葉樹林において、大気および土壌空气中温室効果気体および酸素濃度、土壌中無機態窒素濃度等の季節変動や空間変動の観測を行った。当森林土壌は、CH<sub>4</sub>の吸収源であり夏季の乾燥時に尾根部で強まること、土壌呼吸に伴うO<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の交換比は平均で $1.14 \pm 0.01$ の値を示し夏季に高くなること、谷部では土壌pHや硝酸態窒素濃度が高いこと等が明らかになった。これらの変動に対する土壌微生物代謝の寄与を調べるために、土壌試料を採取して遺伝子解析を行った結果、尾根部の土壌浅層においてメタン酸化菌の活性が高く、谷部で硝化菌の活性が高いこと等が明らかになり、上記濃度変動と整合的な結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、森林生態系における温室効果気体(GHG)の時空間変動の要因を明らかにするために、気象や土壌環境要素等との相関解析だけでなく、先進的遺伝子解析を導入することにより、対象とする生態系におけるGHG生成・吸収に寄与する土壌微生物種を特定することができた。今後、これらの微生物種の代謝の環境依存性を明らかにすることにより、従来ブラックボックスとして扱われていた土壌圏におけるGHG生成・吸収機構についての定量的な理解が深まり、気候変動に伴う陸域生態系におけるGHG収支予測の高精度化や効果的な気候変動対策の策定への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：Measurements of concentrations of greenhouse gases and oxygen in atmosphere and soil air and inorganic nitrogen in soil were made in a cool-temperate deciduous forest in Takayama, Japan to examine their seasonal and spatial variations. The results showed that (1) the soil at the site was a sink for atmospheric methane and it was enhanced at the ridge during dry periods in summer, (2) The -O<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub> exchange ratio for soil respiration was  $1.14 \pm 0.01$  and its maximum occurred in summer, and (3) the valley was characterized by high pH, nitrate nitrogen concentration, and nitrification rate. To investigate the contribution of soil microbial activities to these changes, we performed high-throughput sequencing of 16S rRNA derived from the soil samples. As a result, the metabolic activations of aerobic methane oxidizers and nitrifiers were found at the upper layers of the ridge and valley soils, respectively, which is consistent with the aforementioned results of geochemical parameter changes.

研究分野：大気科学、炭素循環

キーワード：温室効果気体動態評価 森林生態系 土壌微生物代謝 先進的遺伝子解析 異分野融合

## 1. 研究開始当初の背景

IPCC 報告書では、気候変動と大気中二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度の増加に伴う将来の陸域生態系による全球炭素固定量予測が示されているが、今世紀末にかけて炭素固定量が増大するものから、固定量が減少し放出に転じるものまでであり不確かさが非常に大きい。大気中温室効果気体(GHG)の増加に伴う気候変動予測の高精度化や気候変動に対する効果的な緩和策・適応策の策定は、喫緊の課題であり、これらの課題解決に向けて陸域生態系における CO<sub>2</sub>を初めとする GHG の収支の将来予測の高精度化が不可欠である。陸域生態系のうち、森林は全陸域植物バイオマスの 45% を占めるため、森林生態系における収支変動メカニズムを理解することは重要である。そのためには各 GHG の生成・吸収等の森林生態系における各プロセスに分離し、それぞれについて変動要因を明らかにする必要がある。

従来、得られた観測データを基に、気象要素や土壌環境要素、葉面積指数等の生物変数等との関係を経験式で近似し、森林生態系の各プロセスのモデル化が行われている。このように経験式を用いて、森林生態系の複雑な系を単純化しモデル化する手法は、観測された現象のシミュレーションや変動要因の解析のために有効である。しかし、経験式により GHG の生成・吸収プロセスをブラックボックス化して捉えることになる。気候変動等に対する応答予測の高精度化のためには、従来のパラメータだけでは不十分である可能性があり、生成・吸収プロセスの理解の深化が必要である。特に森林生態系における GHG の生成・吸収への土壌微生物代謝の寄与についての理解は不十分な部分が多い。どのような微生物が、どのようなプロセスにより GHG を生成・吸収しているのか、またどのような環境因子により生成・吸収強度が制御されているのかについて、理解の深化が必要とされている。

## 2. 研究の目的

森林生態系における土壌微生物による GHG の生成・吸収機構を解明し、大気化学的観測データとの比較より、当生態系における GHG 収支に対する微生物代謝の寄与を明らかにする。本研究では、大気化学的アプローチと、近年、進展が著しい遺伝子解析技術の融合により、森林生態系における GHG の動態評価の高精度化を図ることを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) 研究対象の岐阜県高山市の観測サイト(TKY: 36°08'N, 137°25'E, 1420 m)は、樹高 15~20 m のダケカンバやシラカンバ、ミズナラ等から成る樹齢 60 年以上の冷温帯落葉広葉樹林であり、例年 5 月に展葉、10 月に落葉し、12 月後半~4 月初めまで積雪が見られる。当観測サイトにおいて、大気 - 森林生態系間の CO<sub>2</sub> フラックスおよび林内外の大気中 CO<sub>2</sub> 濃度、気象要素、土壌環境要素等の連続観測を継続して行った。2020 年 7 月からはレーザー分光分析計により林内外の大気中メタン(CH<sub>4</sub>)濃度の連続観測を行った。また、研究期間中の年 3~4 回異なる季節に尾根部、斜面部、谷部において異なる深度の土壌空気試料を採取して GHG 濃度の時空間変動観測を行うとともに、地表面にクロードチャンバーを設置して、チャンバーの蓋を閉じたあと、複数回チャンバー内空気を採取して、各 GHG 濃度の時間変動より、各 GHG の土壌フラックスを求めた。採取した試料の濃度分析は、研究室において CO<sub>2</sub> 濃度については凝縮気化法、CH<sub>4</sub>・亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)濃度についてはガスクロマトグラフィーにより行われた。

(2) 土壌呼吸に伴う O<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub> 交換比(Oxidative Ratio : OR =  $-\Delta O_2 / \Delta CO_2$  (mol/mol))を高精度で観測するため、尾根部において、成分別を抑えた土壌チャンバー空気採取装置を用いて空気採取を行った。具体的には、土壌チャンバーの空気出入口と試料採取容器の出入口を、外部リークのないダイアフラムポンプ、過塩素酸マグネシウムを封入した除湿管、および背圧弁を介して分岐なく接続し、採取容器内に一定圧力でチャンバー内空気を循環通気させることで、試料を採取容器内に加圧・除湿採取した。本装置を用いた試料採取は、2019 年 2 月、4 月、7 月および 11 月と、2020 年 7 月および 11 月、2021 年 2 月の計 7 回行い、各回の採取は、チャンバーを閉じた直後から 7 分間隔で 5 本行った。得られた試料の O<sub>2</sub> 濃度と CO<sub>2</sub> 濃度を質量分析計により分析し、両濃度の変動比から OR を決定した。

(3) 尾根部および谷部の表層土壌(0-5 cm)に対して、現地培養法の 1 つであるレジソコア法を用いて窒素変換速度(純無機化速度、純硝化速度)の測定を行った。本法は、埋設したコア中の無機態窒素(アンモニア態および硝酸態窒素)の増減から窒素変換速度を算出するものである。2018 年 6 月から 2019 年 6 月までの 1 年間、2~3 か月ごとにレジソコアの作成・埋設と回収を繰り返し、窒素変換速度の季節変化を調べた。また、1~2 か月ごとに表層土壌(0-5 cm)を採取し、含水比や土壌 pH とともに無機態窒素濃度を測定した。さらに、土壌深度による違いを明らかにするため、2018 年の 6 月と 10 月、2019 年の 2 月と 4 月において尾根部の 2 深度(0-5、30-35 cm)および谷部の 3 深度(0-5、30-35、75-80 cm)から土壌を採取し、同様に無機態窒素濃度等を測定した。また、2019 年 4 月を除く 3 回については、採取した土壌を用いて、赤外線ガス分析計を用いた通気法による微生物呼吸速度(CO<sub>2</sub> 放出速度)の測定と、ATP 法による微生物バイオマス量の推定を行った。

(4) 土壌における微生物群集構造の推移を解明するため、2018年5月と10月、2019年2月と4月、7月に上述の通り深度ごとに採取した尾根部と谷部の土壌試料を対象として、次世代シーケンサー解析を行った。採取した土壌より微生物核酸(DNAとRNA)をビーズ細胞破砕法および溶菌法の併用により抽出・精製した。得られた核酸試料を鋳型に用い、16S rRNA(細菌・古細菌)と18S rRNA(真核生物)のV4領域を標的として、PCRまたはRT-PCRによる増幅反応を行った。増幅産物を磁気ビーズ法およびゲル抽出法により精製し、蛍光による核酸定量を行なった後、次世代シーケンサーMiSeqによる大規模塩基配列解読に供した。各試料から増幅断片を数万リード解読し、遺伝子配列解析パイプライン(ソフトウェア mothur による非特異的配列除去やソフトウェア QIIME による微生物系統解析等)によって、微生物多様性の解析( $\alpha$ 多様性指数決定、主座標分析)および微生物種(Operational taxonomic unit [OTU])の同定を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 図1に尾根部・斜面部および谷部における深度別土壌空気中CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O濃度の変動を示す。CO<sub>2</sub>濃度については、大気中濃度(約410 ppm)と比べて著しく高濃度になっており、土壌はCO<sub>2</sub>の強い放出源になっていると考えられた。地温が高い夏季に根呼吸および有機物分解が活発になり、高濃度になる明瞭な季節変動を示しており、チャンバーを用いて観測されたCO<sub>2</sub>土壌フラックスも夏季に極大を示した。尾根部・斜面部では、概ね深層ほど高濃度になる傾向を示したが、谷部では20 cm、35 cmで最高濃度を示した。以下に示すように尾根部と谷部では土壌の鉛構造が異なるため、拡散強度やCO<sub>2</sub>生成強度の鉛直分布が異なり、このことがCO<sub>2</sub>濃度の鉛直分布の違いの原因になっていることが推察された。

CH<sub>4</sub>濃度については、大気中濃度(約1900 ppb)と比べて著しく低濃度になっており、土壌はCH<sub>4</sub>の強い吸収源になっていると考えられた。谷部を除き、深層ほど低濃度になる傾向が見られ、同じ深度で比較すると、尾根部が斜面部、谷部より濃度が低かった。明瞭な季節変動は見られなかったが、谷部においては70 cmにおいて秋～冬に高濃度が見られCH<sub>4</sub>生成が起こっていることが示唆された。一方、チャンバーを用いて観測されたCH<sub>4</sub>土壌フラックスは、夏季に吸収が強まる季節変動を示し、斜面部や谷部と比較して尾根部での吸収強度が強かった。また、大気中CH<sub>4</sub>濃度の連続観測からは、図2に示すように上層と比べて地表付近で低濃度になる濃度差が見られ、地温が高いほど濃度差が増大する相関関係が見られ、夏季に吸収強度が強まる現象と整合的であった。これらの結果は、CH<sub>4</sub>の吸収強度は土壌の表層付近で顕著であり、その季節変動を土壌フラックスの季節変動は反映していると推察された。また、上層と比べて地表付近の濃度差は、5 cmの土壌水分と負の相関を示し、

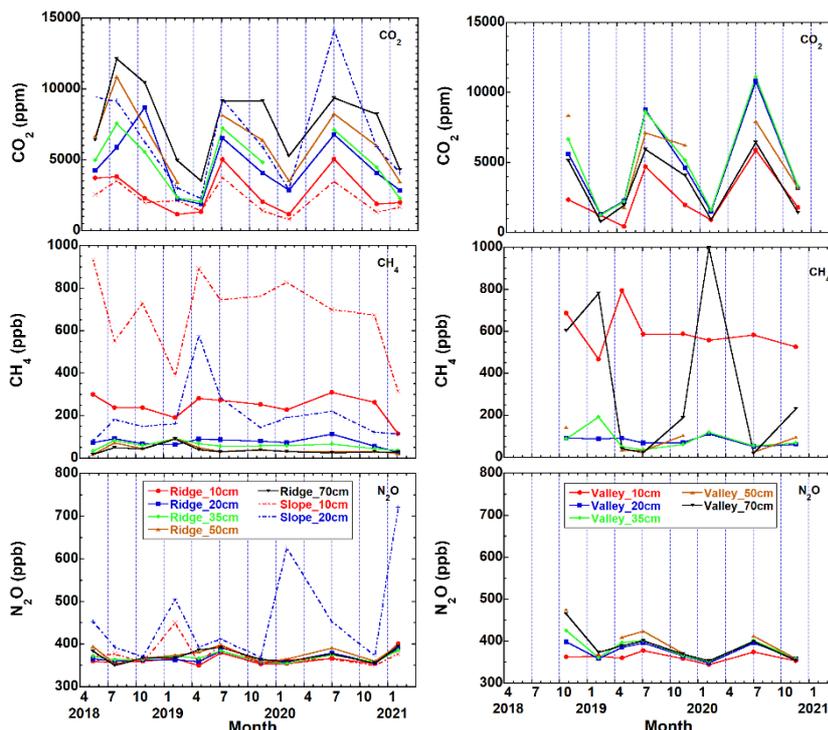


図1. (左図)尾根部(Ridge)・斜面部(Slope)および(右図)谷部(Valley)の各深度における土壌空気中(上)CO<sub>2</sub>、(中)CH<sub>4</sub>、(下)N<sub>2</sub>O濃度の変動。

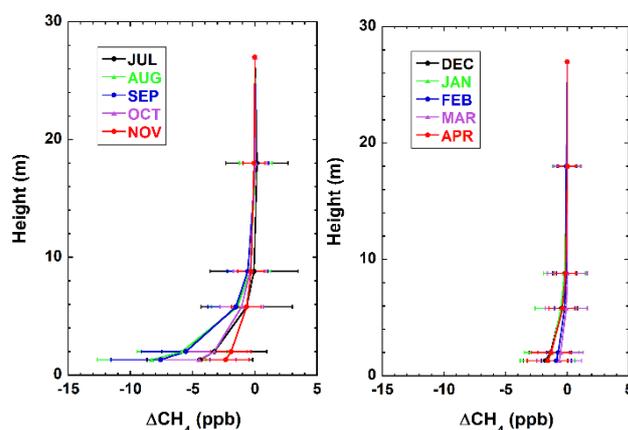


図2. (左図)2020年7月～11月、(右図)2020年12月～2021年4月の各月の地上27mを基準とした各高度の平均的なCH<sub>4</sub>濃度差。横線は平均値に対する±1σを表す。

これらの結果は、CH<sub>4</sub>の吸収強度は土壌の表層付近で顕著であり、その季節変動を土壌フラックスの季節変動は反映していると推察された。また、上層と比べて地表付近の濃度差は、5 cmの土壌水分と負の相関を示し、

乾燥時に増大する傾向を示したが、尾根部と比べて斜面部、谷部の土壌水分は高いため、尾根部で CH<sub>4</sub> 吸収強度が強いことと整合的であった。

土壌中の N<sub>2</sub>O 濃度は大気中濃度(約 330 ppb)よりやや高く、土壌は弱い放出源となっていたと考えられた。浅層と比べて深層で高濃度の傾向が見られた。夏季にやや高濃度になる傾向が見られたが、季節変動は不明瞭であった。斜面部では冬季に著しい高濃度が見られ、N<sub>2</sub>O の生成が顕著であったことが示唆された。

(2) 土壌チャンバーを閉じた後のチャンバー内空気中の O<sub>2</sub> 濃度および CO<sub>2</sub> 濃度は、時間の経過とともにそれぞれ減少および増加し、濃度の変動量は土壌呼吸が活発になる夏季に大きかった。7 回の観測で得られた O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> 濃度の全データに対する回帰直線の傾きとして得られた観測期間平均の OR は 1.14±0.01 であり、2004-2005 年の期間に同観測サイトで行った土壌チャンバー実験で得られた 1.11±0.01 の値よりもやや高い値を示した(図 3)。また同時に分析したアルゴン(Ar)濃度には対流圏大気中で生じ得る範囲を超えた大きな変動が見られ、本装置では成分分別を完全には抑制できなかったことが明らかになった。この分別は Ar 濃度を用いることで評価・補正することが可能であり、同補正を適用した場合の観測期間平均 OR は 1.15±0.01 となる。

また、本研究で得られた OR、および上述の過去の観測による OR を月別に見ると、夏季に OR がやや高い値を示す傾向が見られた(図 4)。このことから、夏季には冬季に比して土壌微生物活動が活発になることで、O<sub>2</sub> をより多く消費する難分解性の有機物の分解が促進されている可能性が考えられるが、メカニズム解明のためには今後の更なる検証が必要である。

(3) 尾根部や谷部の表層土壌(0-5 cm 層)は黒ボク土特有の黒い土壌であったが、尾根部の 30-35 cm 層および谷部の 75-80 cm 層は明るい茶褐色を呈していた。谷部の 30-35 cm 層は表層と同様の黒色土壌であったことから、同じ深度であっても地形の違いによって火山灰や表層物質の移動・蓄積に違いがあることが考えられた。表層土壌について見ると、尾根部は谷部に比べて土壌 pH が低く、硝酸態

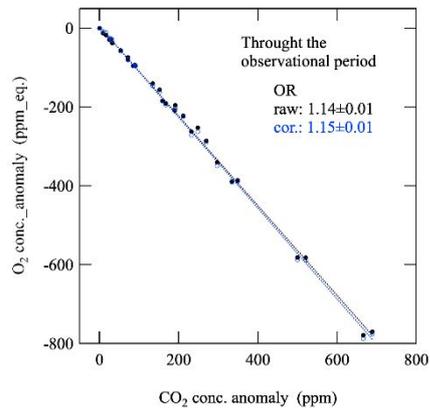


図 3. 土壌チャンバー観測から得られた O<sub>2</sub> 濃度と CO<sub>2</sub> 濃度の関係。チャンバーを閉じた後に最初に採取した試料の O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> 濃度値からの偏差について、全 7 回の観測結果を重ねて示す。黒丸は分析結果、青丸は成分分別を補正した後の結果である(本文参照)。

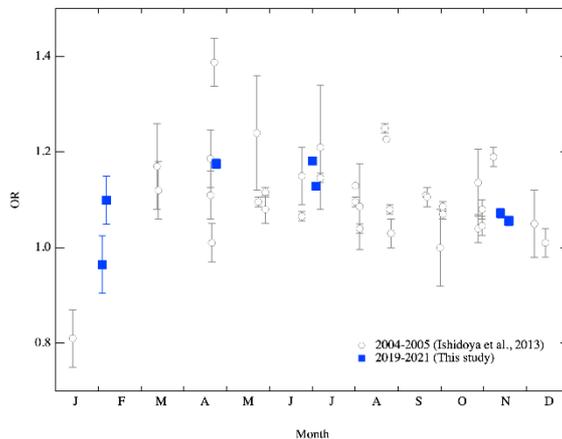


図 4. 本研究および過去の観測で得られた OR の季節変動。

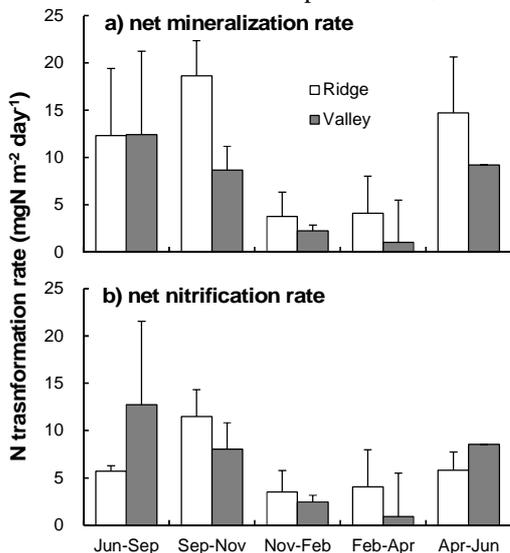


図 5. 尾根部(Ridge)および谷部(Valley)の表層土壌における a)純窒素無機化速度、b)純硝化速度の季節変化。

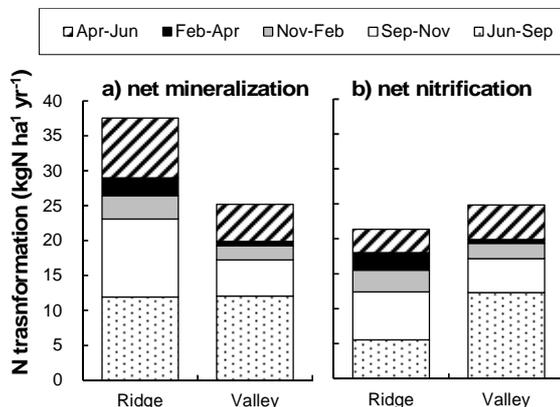


図 6. 尾根部(Ridge)および谷部(Valley)の表層土壌における a)年間純窒素無機化量、b)年間純硝化量。

窒素濃度も低かった。深さによる違いについては、尾根部 30-35 cm および谷部 75-80 cm の茶褐色土壌層には表層の黒色土壌と比べて硝酸態窒素がほとんど含まれていなかったが、アンモニア態窒素は表層の 30-40% に相当する濃度が見られた。

土壌微生物呼吸速度および微生物バイオマスは地形による差は無かったが、土壌深度に伴って減少する傾向が見られた。レジンコア法の結果、微生物群集による純窒素無機化速度は尾根部で高く、谷部で低いことが示された。一方で純硝化速度は逆に谷部で高かったことから、谷部では有機物の分解によって生じたアンモニア態窒素が速やかに硝酸態へと変換される(硝化率が高い)ことが確認できた(図 5、6)。無機化及び硝化速度はいずれも 6 - 9 月や 9-11 月期に大きく、積雪に覆われる期間では小さくなっていた(図 6)。谷部では特に 6-9 月期が占める割合が大きく、夏季に多くの窒素が無機化・硝化されることが示された。

(4) 1年間を通して深度ごとに抽出した森林土壌の DNA および RNA を用いて、次世代シーケンサーによる細菌・古細菌(16S rRNA)と真核生物(18S rRNA)の大規模解析を行なった。16S rRNA の主座標分析の結果、上部 2 深度(0-5、30-35 cm)では、尾根部と谷部での違いはほぼ見られず、深度ごとに類似の群集構造を示した。また DNA と RNA の解析結果を比較したところ、RNA 解析結果では  $\alpha$  多様性指数のひとつである  $1/\text{Simpson}$  が低く、主座標分析でも RNA と DNA のプロットが離れていたことから、特定の微生物種が代謝活性を有していることが示された。一方で、下部 1 深度(75-80 cm)では、DNA と RNA の解析でともに季節により群集構造が大きく変動することが示された。OTU 解析の結果、好氣的メタン酸化細菌の RNA 発現量が上部 1 深度(0-5 cm)、特に尾根部において高く、尾根部のメタン消費活性が高いと推定した大気メタン濃度追跡結果を支持した。さらに、硝化菌(アンモニア酸化古細菌、亜硝酸酸化細菌)は谷部で RNA 発現が上昇しており、これは谷部において検出された高い硝酸態窒素濃度と高い硝化活性の結果と一致していた。既知のメタン生成菌はほぼ検出されなかったが、未培養アーキアの系統群が下部 1 深度(75-80 cm)で代謝活性化しており、メタン生成に関与していることが示唆され、図 1 に見られた谷部 70cm の  $\text{CH}_4$  の高濃度の原因であると推察された。加えて、18S rRNA 解析により、上部 1 深度(0-5 cm)は多様な真核生物が劇的に季節変動し代謝活性種と存在種が異なること、下部 2 深度(0-35、75-80 cm)での真核生物群集は季節変動をほぼ示さず比較的安定であることが見出された。

< 引用文献 >

IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 1535 pp.

Ishidoya, S., Murayama, S., Takamura, C., Kondo, H., Saigusa, N., Goto, D., Morimoto, S., Aoki, N., Aoki, S., and Nakazawa, T.,  $\text{O}_2:\text{CO}_2$  exchange ratios observed in a cool temperate deciduous forest ecosystem of central Japan, *Tellus B*, 65, 2013, 21120, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v65i0.21120>.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nagai S., Saitoh T.M., Yoshitake S.	4. 巻 63
2. 論文標題 Cultural ecosystem services provided by flowering of cherry trees under climate change: a case study of the relationship between the periods of flowering and festivals.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Biometeorology	6. 最初と最後の頁 1051-1058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00484-019-01719-9	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 Cao R., Chen, S., Yoshitake S., Ohtsuka T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Nitrogen deposition and responses of forest structure to nitrogen deposition in a cool-temperate deciduous forest.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f10080631	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 Chen S., Cao R., Yoshitake S., Ohtsuka T.	4. 巻 279
2. 論文標題 Stemflow hydrology and DOM flux in relation to tree size and rainfall event characteristics.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology.	6. 最初と最後の頁 107753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2019.107753	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 村山昌平	4. 巻 77
2. 論文標題 安定同位体を用いた森林生態系における炭素循環の解明	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 低温科学	6. 最初と最後の頁 27-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/lowtemsci.77.27	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 石戸谷重之	4. 巻 54
2. 論文標題 大気主成分組成の高精度観測に基づくCO2循環と気候変動の評価 地球温暖化の実態解明を目指して	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊 環境管理	6. 最初と最後の頁 14-20
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 -

1. 著者名 He Liyuan, Lai Chun Ta, Mayes Melanie A., Murayama Shohei, Xu Xiaofeng	4. 巻 27
2. 論文標題 Microbial seasonality promotes soil respiratory carbon emission in natural ecosystems: A modeling study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 3035 ~ 3051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.15627	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 Ohtsuka Toshiyuki, Tomotsune Mitsutoshi, Ando Masaki, Tsukimori Yuki, Koizumi Hiroshi, Yoshitake Shinpei	4. 巻 12
2. 論文標題 Effects of the Application of Biochar to Plant Growth and Net Primary Production in an Oak Forest	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 152 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f12020152	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 Tanazawa Yumina, Tomotsune Mitsutoshi, Suzuki Takeshi, Koizumi Hiroshi, Yoshitake Shinpei	4. 巻 26
2. 論文標題 Photosynthetic response of young oaks to biochar amendment in field conditions over 3 years	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 116 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2020.1866231	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 Cao Ruoming, Chen Siyu, Yoshitake Shinpei, Ohtsuka Toshiyuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Organic and inorganic nitrogen deposition in an urban evergreen broad-leaved forest in central Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Pollution Research	6. 最初と最後の頁 488 ~ 496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apr.2020.12.009	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 Kato Yuki, Tomotsune Mitsutoshi, Shiote Fumiya, Koyama Yuta, Koizumi Hiroshi, Yoshitake Shinpei	4. 巻 26
2. 論文標題 Comparison of inter-annual variation in net primary production among three forest types in the same region over 7 years	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 110 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2020.1857006	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 Naohisa Nakashima, Tomomichi Kato, Tomoki Morozumi, Katsuto Tsujimoto, Tomoko Kawaguchi Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara, Shohei Murayama, Hiroyuki Muraoka, Hibiki M. Noda	4. 巻 -
2. 論文標題 Area-ratio Fraunhofer Line Depth (aFLD) method approach to estimate solar-induced chlorophyll fluorescence in low spectral resolution spectra in a cool-temperate deciduous broadleaf forest	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 in press
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 -

〔学会発表〕 計22件(うち招待講演 1件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 塩手文也、友常満利、加藤夕貴、今吉健斗、小泉博、吉竹晋平
2. 発表標題 冷温帯落葉広葉樹林における夏季と冬季の土壌呼吸の日変化の違い
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤夕貴、友常満利、塩手文也、小山悠太、小泉博、吉竹晋平
2. 発表標題 同一地域の異なる森林タイプにおける7年間にわたる炭素収支の比較
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Cao R., Chen S., Yoshitake S., Ohtsuka T.
2. 発表標題 Nitrogen deposition to an urban forest site near a city park in central Japan.
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshitake S., Tomotsune M., Koizumi H., Ohtsuka T.
2. 発表標題 Three-year 's responses of soil nutrients and microbial community to the biochar amendment in a warm-temperate deciduous forest in Japan.
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato Y., Tomotsune M., Shiote F., Koyama Y., Koizumi H., Yoshitake S.
2. 発表標題 Inter-annual variations in biometric-based net primary production and heterotrophic respiration among three different forest types over 7 years in a cool-temperate zone, Japan.
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai Y., Kobayashi H., Kato T., Tsujimoto K., Nasahara K.N., Akitsu T., Murayama S., Noda H., Muraoka H., Ohtsuka T., Yoshitake S., Kikosaka K.
2. 発表標題 Validation of simulated SIF and GPP by the 3D radiative transfer model FLiES-SIF: A case study in a cool temperate deciduous forest.
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石戸谷重之、菅原敏、遠嶋康徳、後藤大輔、村山昌平、坪井一寛、丹羽洋介、青木伸行
2. 発表標題 大気中アルゴン濃度の高精度観測に基づく海洋貯熱量および大気拡散分離の評価
3. 学会等名 第24回大気化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Murayama, S., Kondo, H., Ishidoya, S., Maeda, T., Yamamoto, S., Saigusa, N., Muraoka, H.
2. 発表標題 Long-term variations in the carbon budget and the atmospheric CO2 concentration detected from 26-year observation in a cool-temperate deciduous forest at Takayama
3. 学会等名 AsiaFlux 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kondo, H., Murayama, S., Ishidoya, S., Maeda, T., Saigusa, N., Yamamoto, S.
2. 発表標題 Reanalysis of 20 years data at TKY
3. 学会等名 AsiaFlux 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kondo, H., Murayama, S., Ishidoya, S., Maeda, T., Saigusa, N., Yamamoto, S.
2. 発表標題 Long-term measurement of CO2 flux and micro meteorology at the central mountainous area in Japan
3. 学会等名 15th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山昌平、石戸谷重之、近藤裕昭、山本晋、宇佐美哲之、中澤高清、青木周司、森本真司、坪井一寛、松枝秀和、石島健太郎、村岡裕由
2. 発表標題 飛騨高山森林観測サイトにおける大気中温室効果気体濃度およびCO2安定同位体比の長期観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤裕昭、村山昌平、前田高尚、石戸谷重之、三枝信子、山本晋
2. 発表標題 産総研高山サイト(TKY)における長期の微気象観測(1) 気温・放射・LAIの年平均値の年々変動
3. 学会等名 日本気象学会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Murayama, S. Ishidoya, T. Maeda, H. Kondo, S. Yamamoto, N. Saigusa, H. Muraoka
2. 発表標題 Long-term variations of the carbon budget and the meteorology parameters detected from 25-year observation in a cool-temperate deciduous forest at Takayama
3. 学会等名 The 3rd Seminar of International Symposium of River Basin Studies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉竹晋平、陳思宇、大塚俊之
2. 発表標題 冷温帯落葉広葉樹林において樹幹流が土壌圏の炭素動態と微生物群集に及ぼす影響
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山昌平、近藤裕昭、石戸谷重之、前田高尚、山本晋、三枝信子、村岡裕由
2. 発表標題 飛騨高山冷温帯落葉広葉樹林で観測された炭素収支の年々変動および長期トレンド
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村山昌平、石戸谷重之、堀知行、吉竹晋平、前田高尚
2. 発表標題 飛騨高山冷温帯落葉広葉樹林サイトにおける大気中メタン濃度の連続観測
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石戸谷重之、遠嶋康徳、石島健太郎、菅原敏、丹羽洋介、後藤大輔、村山昌平、坪井一寛、青木伸行、中村貴
2. 発表標題 大気中アルゴン・窒素比を用いた大気ポテンシャル酸素の変動要因の評 - 季節変動と緯度分布 -
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井佑禎、小林秀樹、加藤知道、両角友喜、中島直久、辻本克斗、奈佐原顕郎、秋津朋子、村山 昌平、野田響、村岡裕由、大塚俊之、吉竹晋平、彦坂幸毅
2. 発表標題 Validation of FLiES-SIF; 3D radiative transfer model to estimate the observed Sun-induced chlorophyll fluorescence from top of canopy, at Takayama
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内宏太、塩手文也、今吉健斗、吉竹晋平
2. 発表標題 バイオチャー散布が樹木細根動態に与える影響
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西貝竜太、塩手文也、今吉健斗、吉竹晋平
2. 発表標題 樹幹流とリター浸出液が土壌の炭素循環に与える影響 - 3つの森林タイプでの比較 -
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山昌平、石戸谷重之、堀知行、吉竹晋平、前田高尚
2. 発表標題 飛騨高山冷温帯落葉広葉樹林観測サイトにおける大気中メタン濃度の連続観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山昌平、坪井一寛、石島健太郎、石戸谷重之、松枝秀和、森本真司、佐藤幸隆、幸田笹佳、雪田一弥、佐藤祥平、池田諒、洞口拓也
2. 発表標題 南鳥島及び飛騨高山落葉広葉樹林観測サイトにおいて観測された大気中二酸化炭素安定同位体比の変動の比較
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021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	石戸谷 重之 (Ishidoya Shigeyuki) (70374907)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究グループ長  (82626)	
研究分担者	堀 知行 (Hori Tomoyuki) (20509533)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員  (82626)	
研究分担者	吉竹 晋平 (Yoshitake Shinpei) (50643649)	早稲田大学・教育・総合科学学術院・専任講師  (32689)	

	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
研究協力者	青柳 智 (Aoyagi Tomo) (10812761)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員  (82626)	

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
---------	---------