

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00640

研究課題名(和文) 永久凍土融解と北方林の温室効果ガス交換: 土壌・生物過程から大気輸送に至る包括理解

研究課題名(英文) Permafrost degradation and greenhouse gas fluxes in a boreal forest: how the soil and biological processes affect the surface-atmosphere interactions

研究代表者

小林 秀樹 (Kobayashi, Hideki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境変動総合研究センター)・グループリーダー代理

研究者番号：10392961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、北米高緯度に広く分布するトウヒ林で世界に先駆けて野外昇温実験を実施し、景観スケールから境界層を通じた大気輸送に至るまでのCO₂ガス交換過程の流れを包括的に理解することを目的とした。本研究では、先進的な土壌昇温及び永久凍土融解実験システムを開発し地温の上昇と永久凍土の融解がほぼ当初の計画通り実行できたことが確認できた。また、新しい土壌温暖化実験で土壌呼吸の季節変化を解析し、その複雑な振る舞いとその要因を考察した。さらに、渦相関CO₂フラックスの解析を進め、観測サイトでは長期的に秋、冬、春の植物非活動期間の呼吸量が近年上昇していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北極周辺域ではこれまでヒーターなどの人工熱源を使った温暖化影響実験は行われてこなかった。本研究では、2021年度-2022年度に世界に先駆けて温暖化の影響を人工熱源で制御した形で実施する装置の開発と設置を行い、2023年度の実験施行結果から、ヒーター加熱開始から約2ヶ月後の7月には、当初目標としていたコントロール区との比較で約2.5の土壌温度上昇が達成され、活動層の下の永久凍土の融解が進む様子が確認できた。さらに永久凍土融解による生物過程や微気象過程の解明が進められるなど、温暖化によって今後50年の近未来の起こりうる生態系影響の理解が進んだことが学術的・社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this study was to develop the field warming experiment site in spruce forests which is widely distributed at high latitudes in North America, and comprehensively understand the CO₂ gas exchange processes between the land surface and the atmospheric through the boundary layer. In this study, we developed an advanced soil temperature increase and permafrost thaw experimental system, and confirmed that the soil temperature increase and permafrost thaw were carried out almost as planned. In addition, we analyzed seasonal changes in soil respiration using a new soil warming experiment, and considered its complex behavior and its causes. Furthermore, analysis of eddy-correlated CO₂ fluxes revealed that the amount of respiration during periods of plant inactivity in autumn, winter, and spring has increased over the long term at observation sites in recent years.

研究分野：地球環境学

キーワード：北方林 永久凍土 温室効果ガスフラックス 土壌胴体 北極域温暖化

1. 研究開始当初の背景

近年の北半球高緯度の温暖化は全球平均を大幅に上回っており、今後もその傾向が続くと予測されている(北極評議会報告書, 2017, AMAP: Thoman and Walsh, 2019, IARC/UAF 報告書)。例えば、2011-2015年の温度上昇は1900年以降で最も大きく、また2015-2016年のアラスカの冬季は史上最も温暖であった(Walsh et al. 2017, Journal of Climate)。こうした温暖化は永久凍土層の融解を加速させ、土壌環境の変化(一時的に湿潤化、長期的に乾燥化)を引き起こし森林生態系の生存環境を劣化させる可能性がある(Romanovsky et al. 2010, Permafrost Periglac: Tesi et al. 2016, Nature Comm)。また、本研究の調査予定地でも、近年は熱波が頻発しており、2018年と2019年の7月には気温が30℃を超える日が続き、光合成活性の低下や凍土層の融解拡大が確認された。

その一方で大気CO₂濃度の観測によると、過去50年の温暖化で北半球高緯度のCO₂濃度の季節振幅が約50%増加し、高緯度陸域生態系における光合成の活性化(CO₂吸収)に起因すると説明されている(Graven et al. 2013 Science)。しかしながら、冬季の温暖化に伴うCO₂放出量の増加が年間のCO₂放出に無視できない寄与をしており(Natali et al, 2019 Nature Climate Change)、年間正味のCO₂交換量は夏季のCO₂吸収量の増加分が冬季の温暖化による放出増加で相殺されるとの報告もある。また、衛星観測でも温暖化に伴う植生生育期間の増加を示唆する解析事例が存在するが、これは観測条件の季節変化による疑似変動の影響が大きいことがわかってきた。

このように、温暖化が北方林生態系の物質循環過程に及ぼす影響については未だコンセンサスが得られておらず、その正確な予測モデルの開発も進んでいないのが現状である(Fisher et al. 2018 Environ Res Lett)。特に、様々な時間スケールで起こりうる土壌プロセス(凍土融解と地温、土壌水分変動、微生物活性、トウヒ木の細根動態)と植生・大気の相互作用については、ほぼ未解明といって良い。より正確な予測モデルを開発するためには、温暖化の急激な進行を実験的に再現しつつ永久凍土の融解過程と土壌・森林のCO₂ガス吸収・放出の関係を定量化すること。また、温暖化による地温上昇は大気境界層の発達を通じてガス交換の量および輸送過程に影響を与えるため、トウヒ林生態系と自由大気をつなぐ大気境界層の相互作用を含めた温室効果ガスの流れを理解する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、北米高緯度に広く分布するトウヒ林で世界に先駆けて野外昇温実験を実施し、景観スケールから境界層を通じた大気輸送に至るまでのCO₂ガス交換過程の流れを包括的に理解することである(図1)。本研究は米国アラスカ州フェアバンクス郊外のトウヒ林で実施する。研究遂行のために以下の3つの研究テーマを設定する。

テーマ1: 地温昇温の有無による土壌環境の変化と土壌・植生のガス交換の関係解明

テーマ2: 景観スケールでのCO₂ガス交換量の観測とモデル化

テーマ3: 大気境界層・領域気候モデルによるCO₂ガス交換量の流れの解明

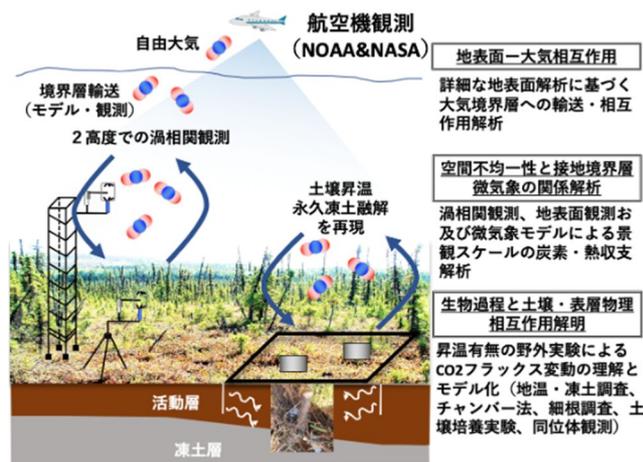


図1 本研究の実施概念図。温暖化による土壌昇温・凍土融解は土壌微生物・植生プロセスを介してCO₂の吸収・放出およびその大気輸送に影響を与える。

本研究は2021年に公表される次期IPCC報告書の、その先を見据えたモデル予測精度向上に資する観測の実施を目的としており、土壌(凍土質、微生物、細根動態)-植生-大気の相互作用の包括的な理解を通じて、今後30-50年程度で起こりうる「急速な温暖化 凍土融解 植生活性・土壌変化(CO₂吸収・放出変化) 大気輸送変化」のメカニズムの定量化を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究では2章で記載の3つの研究テーマを設定し、4年間の計画で研究を行う。当初の計画では初年度(2020年度)は予備調査期間とし、野外昇温実験区画を決定するための予備観測を行う予定であった。しかしCOVID-19の蔓延により海外渡航が困難な情勢であり、かつ、現地協力

者も現地サイトへの立ち入りが大幅に制限されたため、初年度は、これまでに取得したデータの解析やそれらのデータを用いた国際共同研究への参画、現地の高解像度航空写真を用いた、簡易的な予備調査を実施することにした。2021年度は2020年度に引き続き、COVID-19の蔓延により海外渡航が困難な情勢ではあったが、現地協力者の観測サイトへのアクセス状況が改善されたため、現地研究協力者（アラスカ大学フェアバンクス校・Go Iwahana 准教授）との協力のもとで、地温昇温の有無による土壌環境の変化と土壌・植生のガス交換の関係解明のための土壌昇温実験装置及び温室効果ガス観測用のチャンパーシステムの開発を実施した（チャンパーシステムの開発については、研究協力者の北海道大学・低温科学研究所・渡辺教授の支援を受けた。）。2022-2023年度は野外昇温実験を実施した。この野外実験に加えて、トウヒ樹冠と林床レベルの2高度のCO₂交換量の観測（渦相関法）を実施した。この観測データは昇温実験中のリファレンスデータとしてバックグラウンド（昇温実験なし）での生態系総光合成量（GPP）と生態系呼吸量（RE）を評価するために利用した。

4. 研究成果

(1) 先進的な土壌昇温及び永久凍土融解実験システムの開発



図2. 本研究で開発した土壌昇温・凍土融解の野外実験装置の様子。直径6mの外周に1.5mのヒーターを埋設し、その内部を徐々に温暖化させるシステムである。

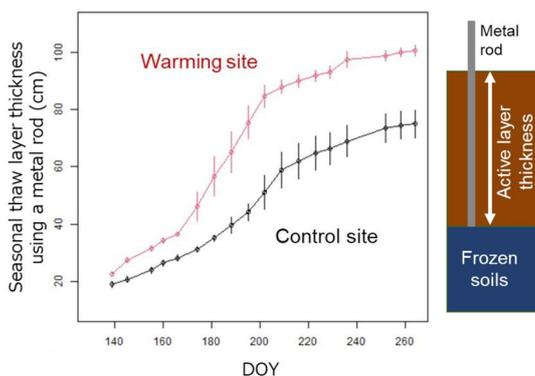


図3 コントロール区と昇温区の土壌季節融解層の厚さの比較。昇温区の方で、永久凍土の融解が進み、春から夏にかけて融解層が厚くなる様子が確認できる。

多いことから、これまでヒーターなどの人工熱源を使った温暖化影響実験は行われてこなかったが、本研究では、2021年度-2022年度に世界に先駆けて温暖化の影響を人工熱源で制御した形で実施する装置の開発と設置を行い、2023年度の実験施行結果から、ヒーター加熱開始から約2ヶ月後の7月には、当初目標としていたコントロール区との比較で約2.5の土壌温度上昇が達成され、活動層の下の永久凍土の融解が進む様子が確認できるなど(図3)、ヒーターによる地温の上昇と永久凍土の融解がほぼ当初の計画通り実行できたことが確認できた。開発したシステムの概要は国内外の学会で公表した(甘田ほか, 2022, 日本生態学会など)

(2) 土壌昇温及び永久凍土融解に伴う温室効果ガスフラックス変動

(1)で詳述した新しい土壌温暖化実験装置によって昇温実験中に観測した自動開閉チャンパー

による土壌呼吸観測値の季節変化を解析したところ、温度上昇に伴って土壌呼吸が単調に上昇するわけではなく、初夏（6月頃）に減少した後、7月以降に増加するという、指数関数モデル(Q10 モデル)から外れる振る舞いが観測された。これは春から夏にかけての活動層の逐次的な融解や、先行して融解した土壌表層の乾燥化が影響しているものと示唆された（図4）。

また、9月から10月の秋の土壌CO₂フラックスの動態を詳細に分析した結果、土壌表層が凍結後も、約2週間にわたって土壌からCO₂が放出されていることが明らかとなった。これは、表層が凍結後も地下部の土壌の凍結が進まない間は微生物や根呼吸の活動が続き、それがCO₂の放出に寄与しているものと推察された。得られた知見を国内外の学会で発表した（Amada et al., 2023 AGU Annual meeting; 小林, 2023, 気象学会統合陸域研究会ほか）。

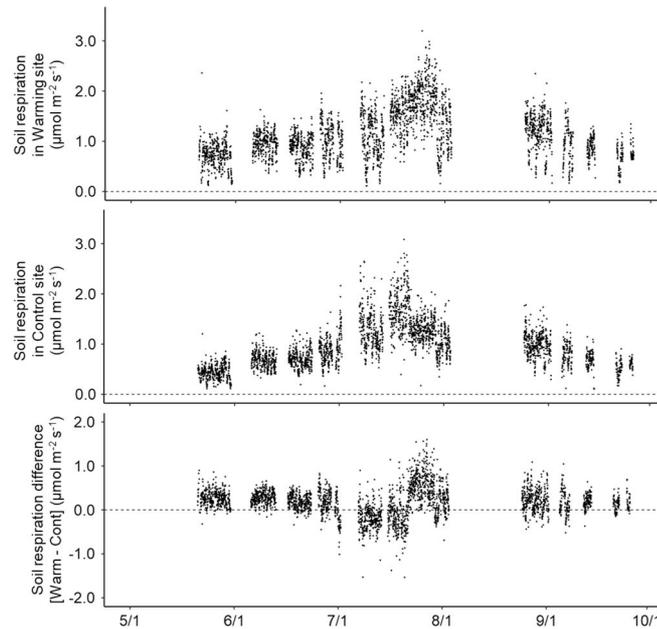


図4 2023年5月～10月における昇温区(上段)とコントロール区(中段)の土壌CO₂フラックスの季節変化の様子。下段は昇温区とコントロール区の差分を示している。

(3) 景観スケールの温室効果ガスフラックスの変動とその要因解析

長期的な温暖化の影響を検討するために、2011年から2022年までの渦相関CO₂フラックスの解析を進めた。この結果、観測サイトでは秋、冬、春の植物非活動期間の呼吸量が近年上昇していることが明らかとなった。これは、土壌深20-40cmのところで冬でも土壌が凍結しない未凍結層が形成されつつあることや、季節的に土壌が融解する活動層が徐々に深くなっていることが影響していると考えられた。こうした影響により、近年CO₂の年間収支が吸収から放出に移行していることが明らかになった(図5左)。この長期トレンドには土壌温度の上昇などが関与している可能性が示唆されているが、温度に対するCO₂交換量は固相・液相の相転移点である0近傍で分散が極大になるなど複雑な振る舞いをすることが明らかとなった(図5右)。ま

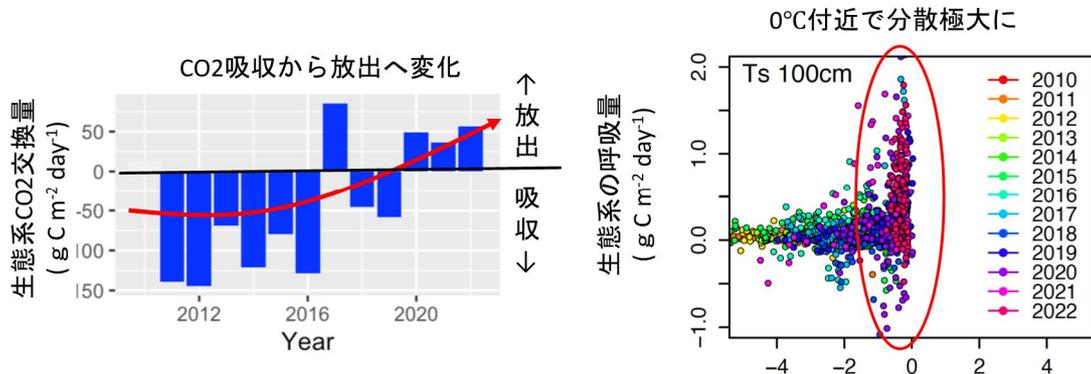


図5. 左：土壌温度の上昇と生態系CO₂交換量の関係。右：生態系CO₂放出と土壌温度(地下100cm)の関係。

た、さらに広域の影響を理解するために国際共同研究に参画し、北極域全体の炭素収支の傾向（吸収・放出）の地理分布の分析に貢献した。広域解析で得られた結果は、近年この生態系がCO₂の放出になっているという、本研究の観測サイトで得られた傾向と矛盾しない傾向であることが明らかとなった。また、春先のCO₂吸収・放出過程に影響を与える雪の消雪過程を事例として境界層相互作用を含めた簡易モデルを開発し、CO₂収支に影響を与える春先の地表面プロセスに日射や積雪深が与える影響を明らかにした(Ikawa et al., 2024)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 18件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Virkkala Anna-Maria, Aalto Juha, Rogers Brendan M., Tagesson Torbern, Treat Claire C., Natali Susan M., Watts Jennifer D., Potter Stefano, Lehtonen Alekski, Mauritz Marguerite...Kobayashi Hideki...	4. 巻 27
2. 論文標題 Statistical upscaling of ecosystem CO2 fluxes across the terrestrial tundra and boreal domain: Regional patterns and uncertainties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 4040 ~ 4059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.15659	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 該当する

1. 著者名 Watts Jennifer D, Natali Susan M, Minions Christina, Risk Dave, Arndt Kyle, Zona Donatella, Euskirchen Eugenie S, Rocha Adrian V, Sonnentag Oliver, Helbig Manuel, Ikawa Hiroki...Kobayashi Hideki...	4. 巻 16
2. 論文標題 Soil respiration strongly offsets carbon uptake in Alaska and Northwest Canada	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 084051 ~ 084051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/ac1222	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 該当する

1. 著者名 Virkkala Anna-Maria, Natali Susan M., Rogers Brendan M., Watts Jennifer D., Savage Kathleen, Connon Sara June, Mauritz Marguerite, Schuur Edward A. G., Peter Darcy, ...Kobayashi Hideki...	4. 巻 14
2. 論文標題 The ABCflux database: Arctic-boreal CO2 flux observations and ancillary information aggregated to monthly time steps across terrestrial ecosystems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth System Science Data	6. 最初と最後の頁 179 ~ 208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/essd-14-179-2022	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 該当する

1. 著者名 Pastorello Gilberto, Trotta Carlo, Canfora Eleonora, Chu Housen, Christianson Danielle, Cheah You-Wei, Poindexter Cristina, Chen Jiquan, Elbashandy Abdelrahman, Humphrey Marty, Isaac Peter, Polidori Diego, Reichstein Markus, Ribeca Alessio... Ikawa Hiroki, Hideki Kobayashi...	4. 巻 8
2. 論文標題 Author Correction: The FLUXNET2015 dataset and the ONEFlux processing pipeline for eddy covariance data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Data	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41597-021-00851-9	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 該当する
1. 著者名 Yi Yonghong, Kimball John S., Watts Jennifer D., Natali Susan M., Zona Donatella, Liu Junjie, Ueyama Masahito, Kobayashi Hideki, Oechel Walter, Miller Charles E.	4. 巻 17
2. 論文標題 Investigating the sensitivity of soil heterotrophic respiration to recent snow cover changes in Alaska using a satellite-based permafrost carbon model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 5861 ~ 5882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-17-5861-2020	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 該当する
1. 著者名 Chu Housen, Luo Xiangzhong, Ouyang Zutao, Chan W. Stephen, Dengel Sigrid, Biraud Sebastien C., Torn Margaret S., Metzger Stefan, Kumar Jitendra, Arain M. Altaf, Arkebauer Tim J., Baldocchi Dennis, Bernacchi Carl, Billesbach Dave, Black T. Andrew, Blanken Peter D., Bohrer Gil...Ikawa Hiroki...Hideki Kobayashi	4. 巻 301-302
2. 論文標題 Representativeness of Eddy-Covariance flux footprints for areas surrounding AmeriFlux sites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 108350 ~ 108350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2021.108350	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 Johnston Alice S. A., Meade Andrew, Ardo Jonas, Arriga Nicola, Black Andy, Blanken Peter D., Bonal Damien, Brummer Christian, Cescatti Alessandro, Duek Jiri, Graf Alexander, Gioli Beniamino, Goded Ignacio, Gough Christopher M., Ikawa Hiroki, Jassal Rachhpal, Kobayashi Hideki...	4. 巻 5
2. 論文標題 Temperature thresholds of ecosystem respiration at a global scale	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Ecology & Evolution	6. 最初と最後の頁 487 ~ 494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41559-021-01398-z	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 Miller Eric A., Iwata Hiroki, Ueyama Masahito, Harazono Yoshinobu, Kobayashi Hideki, Ikawa Hiroki, Busey Robert, Iwahana Go, Euskirchen Eugenie S.	4. 巻 32
2. 論文標題 Evaluating the Drought Code for lowland taiga of Interior Alaska using eddy covariance measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Wildland Fire	6. 最初と最後の頁 1226 ~ 1243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1071/WF22165	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 該当する

1. 著者名 Qu Bo, Roy Alexandre, Melton Joe R, Black T Andrew, Amiro Brian, Euskirchen Eugenie S, Ueyama Masahito, Kobayashi Hideki, Schulze Christopher, Gosselin Gabriel Hould, Cannon Alex J, Detto Matteo, Sonnentag Oliver	4. 巻 18
2. 論文標題 A boreal forest model benchmarking dataset for North America: a case study with the Canadian Land Surface Scheme Including Biogeochemical Cycles (CLASSIC)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 085002 ~ 085002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/ace376	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 該当する

1. 著者名 Kobayashi, H., Y. Kim, T. Nakai, H. Ikawa, N. Shin, K. Noguchi, W. Yang, A. Hama, S. Matsumura, K. Ikeda and R. Suzuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Ecosystem aboveground structures of an open-canopy black spruce forest in interior Alaska for ecosystem modeling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 72-88
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Saito, K., G. Iwahana, H. Ikawa, H. Nagano, and R. Busey	4. 巻 7
2. 論文標題 Spatiotemporally continuous temperature monitoring using optical fibers (Loop1) in the internal forest areas in Alaska for the period from 2015 to 2016	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 58-71
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Saito, K., G. Iwahana, H. Ikawa, H. Nagano, and R. Busey	4. 巻 8
2. 論文標題 Spatiotemporally continuous temperature monitoring using optical fibers (Loop1) in the internal forest areas in Alaska for the period from	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 10-22
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikawa Hiroki, Nakai Taro, Busey Robert C., Harazono Yoshinobu, Ikeda Kyoko, Iwata Hiroki, Nagano Hirohiko, Saito Kazuyuki, Ueyama Masahito, Kobayashi Hideki	4. 巻 60
2. 論文標題 Interannual Variations in Spring Snowmelt Timing of Alaskan Black Spruce Forests Using a Bulk Surface Energy Balance Approach	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023WR035984	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 該当する

1. 著者名 Bowling David R. et al (including Hiroki Ikawa and Hideki Kobayashi)	4. 巻 129
2. 論文標題 Phenology of Photosynthesis in Winter Dormant Temperate and Boreal Forests: Long Term Observations From Flux Towers and Quantitative Evaluation of Phenology Models	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023JG007839	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 Migliavacca Mirco et al (including Hiroki Ikawa and Hideki Kobayashi)	4. 巻 598
2. 論文標題 The three major axes of terrestrial ecosystem function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 468 ~ 472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-021-03939-9	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 該当する

1. 著者名 El-Amine Mariam, Roy Alexandre, Koebsch Franziska, Baltzer Jennifer L., Barr Alan, Black Andrew, Ikawa Hiroki, Iwata Hiroki, Kobayashi Hideki, Ueyama Masahito, Sonnentag Oliver	4. 巻 324
2. 論文標題 What explains the year-to-year variation in growing season timing of boreal black spruce forests?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 109113 ~ 109113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2022.109113	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 Cheng Rui, Magney Troy S, Orcutt Erica L, Pierrat Zoe, K?hler Philipp, Bowling David R, Bret-Harte M Sydonia, Euskirchen Eug?nie S, Jung Martin, Kobayashi Hideki, Rocha Adrian V, Sonnentag Oliver, Stutz Jochen, Walther Sophia, Zona Donatella, Frankenberg Christian	4. 巻 17
2. 論文標題 Evaluating photosynthetic activity across Arctic-Boreal land cover types using solar-induced fluorescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 115009 ~ 115009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/ac9dae	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 Watts Jennifer D. (including Hiroki Ikawa and Hideki Kobayashi)	4. 巻 29
2. 論文標題 Carbon uptake in Eurasian boreal forests dominates the high latitude net ecosystem carbon budget	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 1870 ~ 1889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.16553	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 該当する

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 滝川雅之、Prabir Patra、小林秀樹
2. 発表標題 WRF/Chemを用いた"full-chemistry"モデルの開発: VPRMモデルによる森林起源CO2エミッションの検証
3. 学会等名 大気化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 甘田 岳、伊川 浩樹、渡辺 力、森 章一、斎藤 史明、藤田 和之、小林 秀樹
2. 発表標題 永久凍土上のトウヒ疎林における自動開閉チャンバーによる土壌呼吸測定
3. 学会等名 北海道大学低温科学研究所技術報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Gaku Amada, Go Iwahana, Kyotaro Noguchi, Yojiro Matsuura, Hideki Kobayashi
2. 発表標題 Habitat segregation and trait variations of two Labrador tea species across permafrost gradients in interior Alaska
3. 学会等名 International Boreal Forest Research Association (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Gaku Amada, Hiroki Ikawa, Tsutomu Watanabe, Shoichi Mori, Fumiaki Saito, Kazuyuki Fujita, Hideki Kobayashi
2. 発表標題 Field soil warming effects on soil greenhouse gas fluxes in a sparse conifer forest underlain by permafrost in interior Alaska
3. 学会等名 AGU fall meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hideki Kobayashi, Gaku Amada, G. Iwahana, W. Yang, A. Hama, Y. Kim
2. 発表標題 Seasonal Variations of Spectral Reflectance in Understory Plant Species in a Sparse Black Spruce Forest in Interior Alaska
3. 学会等名 AGU fall meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 甘田岳、野口享太郎、岩花剛、小林秀樹
2. 発表標題 アラスカ内陸部永久凍土傾度における低木イソツツジ亜節2種の細根形質変異
3. 学会等名 第71回日本生態学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ikawa, H., Nakai, T., Harazono, Y., Iwata, H., Nagano, H., Saito, K., Ueyama, M., & Kobayashi, H
2. 発表標題 A Model-aided Analysis on the Spring Snowmelt Timing in Alaskan Black Spruce Forests underlain by Permafrost
3. 学会等名 International Symposium of Agricultural Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Kobayashi, G. Amada, G. Iwahana, W. Yang, A. Hama, Y. Kim
2. 発表標題 Seasonal and spatial variations of spectral reflectance in understory plant communities in open black spruce forests in Interior Alaska
3. 学会等名 The iLEAPS OzFlux Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Kobayashi, G. Amada, G. Iwahana, W. Yang, A. Hama, Y. Kim
2. 発表標題 Temporal and spatial patterns of remote sensing reflectance of understory vegetation in a sparse black spruce in interior Alaska
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 甘田岳、岩花剛、野口享太郎、松浦陽次郎、小林秀樹
2. 発表標題 アラスカ永久凍土傾度におけるイソツツジ亜節2種の個体群と葉形質変異
3. 学会等名 第54回種生物学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Gaku Amada, Go Iwahana, Kyotaro Noguchi, Yojiro Matsuura, Hideki Kobayashi
2. 発表標題 Populations and leaf-trait variations of two Labrador-tea species across permafrost gradients in interior Alaska
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 甘田岳、渡辺力、森章一、斎藤史明、藤田和之、伊川浩樹、岩花剛、永野博彦、野口享太郎、齊藤和之、滝川雅之、小林秀樹
2. 発表標題 アラスカ内陸部クロトウヒ疎林における土壌呼吸速度と土壌昇温実験計画
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林秀樹
2. 発表標題 いま永久凍土上の北方森林生態系に何が起きているのか
3. 学会等名 日本気象学会秋季講演会統合的陸域研究会公開勉強会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 北極環境研究コンソーシアム長期構想編集委員会編(小林秀樹、斉藤和之が編集委員・担当書執筆者として 参画)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 480
3. 書名 北極域の研究: その現状と将来構想	

〔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	伊川 浩樹 (Ikawa Hiroki) (10754393)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道 農業研究センター・主任研究員 (82111)	
研究 分担者	滝川 雅之 (Takigawa Masayuki) (30360754)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境 変動総合研究センター)・グループリーダー (82706)	
研究 分担者	永野 博彦 (Nagano Hirohiko) (40758918)	新潟大学・自然科学系・助教 (13101)	
研究 分担者	野口 享太郎 (Noguchi Kyotaro) (70353802)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主 任研究員 等 (82105)	
研究 分担者	斉藤 和之 (Saito Kazuyuki) (70419133)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動 予測研究センター)・主任研究員 (82706)	

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	酒井 佑慎 (Sakai Yuma) (80862523)	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・准教授 (50102)	

	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	岩花 剛 (Iwahana Go)		
研究協力者	ロバート ブーセイ (Robert Busey)		
研究協力者	渡辺 力 (Watanabe Tsutomu)		

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