

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：10101

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2019～2023

課題番号：18KK0317

研究課題名（和文）グローバルな太陽光誘起クロロフィル蛍光の地上観測・モデル・衛星の相互比較

研究課題名（英文）Inter-comparison of solar-induced fluorescence by ground measurement, modeling and satellite on a global basis

研究代表者

加藤 知道（Kato, Tomomichi）

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：60392958

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

渡航期間： 4ヶ月

研究成果の概要（和文）：新しい植生リモートセンシング指標である太陽光誘起クロロフィル蛍光（SIF）は、広域・リアルタイムな生態系光合成量（すなわちCO₂吸収量）の推定に役立つと期待されている。その利用可能性を向上させるために、海外研究者の協力を得ながら、地上観測データベース構築と統合解析、3次元放射伝達モデルによるSIFおよび生態系光合成量の再現、プロセスベース生態系物質循環モデルによるSIFおよび生態系光合成量の再現を行った。開発されたデータベースとモデルは、モデル相互比較プロジェクトにより、今後国際的なコミュニティの中で発展することが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で構築した地上観測データベースや、3次元放射伝達モデル、生態系物質循環モデルは、いずれも国際的なSIF研究においては必須のアイテムである。それらを申請者が中心となり一貫性を保ちながら、海外とコラボ可能な形で開発を進められたことで、国際競争力を得られたことに学術的意義がある。またSIFにとどまらずに、地上観測-衛星観測-モデルの融合研究のモデルケースを提供できたことで、物質循環や気候変動研究への貢献が可能であることに社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：The solar-induced chlorophyll fluorescence has been expected to play an important role on accurately estimating the ecosystem-level photosynthesis, equals to CO₂ uptake, simultaneously on wide spatial scale. To improve the availability of SIF for this purpose, 1) the development of ground-based observational database and synthetic analysis of data, 2) the representation of ecosystem-level SIF and photosynthesis by 3-dimensional radiative transfer model, and 3) the representation of ecosystem-level SIF and photosynthesis by process-based ecosystem model in co-operation by international collaborators. The developed database and models are anticipated to be used effectively in the international community via the model intercomparison projects.

研究分野：環境動態解析

キーワード：リモートセンシング 衛星データ 地上観測 生態系モデル 放射伝達モデル

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

陸域生態系の光合成量を正確に把握することは、温室効果ガスであるCO₂の吸収源の推定精度を向上させることにつながり、将来の地球環境変動を予測する上でも非常に重要である (Fang, Kato et al., 2014, *PNAS*)。その光合成は太陽光を利用するが、利用されなかった光エネルギーの一部 (~3%) は、クロロフィル蛍光として解放される (図1)。このクロロフィル蛍光からもたらされる情報が、光合成機能の評価に利用できることは、個葉の小さいスケールではすでにわかっている。一方で近年では、生態系レベルの大きなスケールにおいても、太陽光に誘起されたクロロフィル蛍光 (Solar-Induced Fluorescence: SIF) と光合成量 (=総一次生産: GPP) との関係が大変強いことがわかっており (図2: Frankenberg et al. 2011 *GRL*; Magney et al, 2020, *PNAS* など)、この SIF を生態系サイズの光合成量の推定に生かすことが非常に期待されている (Porcar-Castell et al., 2021, *Nature Plants*)。

陸域生態系はグローバルな炭素循環のうちで大きなコンパートメントであるが、一方で気候変動や森林伐採等により正味で炭素の放出源になっているとの報告もあり (Pang et al., 2011, *Science*)、当該地域の炭素管理において生態系光合成量 (=CO₂ 吸収量) の正確な把握が必要である。

新しい植生リモートセンシング指標である太陽光誘起クロロフィル蛍光 (SIF) は、広域・リアルタイムな生態系光合成量 (すなわち CO₂ 吸収量) の推定に役立つと期待されている。基課題等ではその SIF に関して、地上観測点の設置、SIF-光合成モデルの開発、衛星 SIF データ利用を、主に国内でリード・アシストしてきた。しかしながら地上観測点の少なさからくる精度の不確実性を克服し、モデル・衛星データのより良い精度検証・利用を行うためには、国際的な統合研究推進が必須であるとの結論に至った。

2. 研究の目的

観測・モデルを組み合わせ SIF の生態系光合成量の推定への利用可能性を解明する統合的研究を行う。

3. 研究の方法

(1) SIF 地上観測データベース構築と統合解析

国内外の渦相関フラックスサイトにおいて、高分解能分光放射計 (QEpro, OceanOptics 社: 波長範囲 730-790nm、全幅半値 0.1nm 程度、波長間隔 0.05nm 程度) と、そこから伸ばした光ファイバー (径 600 μ m、シリカクラッド、NA0.22、ステンレスジャケット) を入射・反射光向けに切り替えするためのスイッチ、さらに野外の複雑な天候から光ファイバー先端を保護し、スペクトルに影響を与えないための風防ガラスドームからなる長期分光放射測定システムを設置する。また、露光時間の調整・スイッチ切り替え・データ取得を制御するためのプログラムを Octave ソフトにて構築し、ノートパソコンにデータを記録する。さらに衛星による SIF 観測は、時間・空間解像度が粗い上、観測時刻が限定されており (13 時半など)、晴天時のデータに限られるなど様々な制約がある。そこで、地上 SIF と、サイト近傍の衛星 GOSAT による SIF 観測値 (直径 10km 円平均値) を比較し、季節変化の再現精度を調べる。

さらに、低分解能分光放射計 (MS-700, Eko ltd.) によってこれまで長期観測された低分解能分光放射データから SIF を推定するための aFLD 法 (area-ratio Fraunhofer Line Depth) を新たに提案する。aFLD 法では吸収帯領域における反射率と SIF 放出量は一定であると仮定し、SIF 放出量は観測される生態系反射スペクトルから、太陽放射の反射放射量を差し引いた分として表される。

(2) 3次元放射伝達モデルによる SIF および生態系光合成量の再現

SIF の個葉における生成を取り扱うプロセスモデルと、それが生態系・大気圏外へ輸送されるまでを取り扱う森林 3次元放射伝達モデル FLiES (Kobayashi et al., 2012, *AFM*) を結合させた、SIF による光合成量の生物・物理過程を正確に再現するモデル FLiES-SIF を構築する。SIF 観測量に対する森林構造や太陽と観測点の位置関係、森林植生指標 LAI (Leaf Area Index) の与える影響を詳細に調べる。また、岐阜県高山の落葉広葉樹林で、タワー観測によって取得された環境データとの比較も行いながら 地上観測、衛星観測、モデル計算値の同時比較を実施し、モデルの有効性を確かめるとともに今後の改善点を調べる。

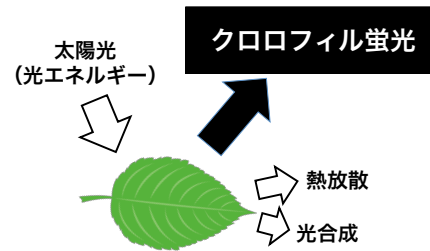


図1. 太陽光誘起クロロフィル蛍光の放出

A Chlorophyll a fluorescence at 755 nm, June 2009 through May 2010 average

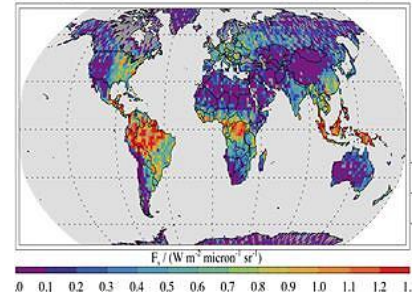


図2. 衛星 GOSAT による SIF 年間値

(3) プロセスベース生態系物質循環モデルによる SIF および生態系光合成量の再現

陸域生態系の炭素・窒素循環を再現するプロセスベースの VISIT に、SIF を取り扱うモジュールを追加し、光合成・SIF の両方を同時に計算可能な VISIT-SIF を利用し、地上や衛星の SIF をデータ同化する仕組みを構築する。それにより VISIT-SIF による推定と地上衛星観測の SIF の差が最小化されるように、パラメータが最適化される。本研究では、東アジアの代表的な植生タイプである水田において、VISIT-SIF による SIF データ同化を行い、GPP の推定精度向上の可能性について検討した。VISIT-SIF は、気象データ、植物生理学的パラメータ、サイトパラメータを入力として光合成プロセスや土壌プロセスに基づいて、生態系レベルでの炭素、窒素、水、エネルギー循環を計算可能なモデルである。そこに、SIF 計算に関する光化学的過程と幾何学的過程を組み込んだバージョン (VISIT-SIF) で 2018 年から 2020 年までの SIF と GPP の計算を行った。入力として、気象データは本サイトでの記録された気温、降水量、日射、比湿、風速を用いた。植物生理パラメータは後述のモデルパラメータ最適化により調整した。

4. 研究成果

(1) SIF 地上観測データベース構築と統合解析

高分解能分光計 (QEpro または HR4000, Ocean Insight 社; 全幅半値 0.3-0.6nm) による、長期連続運用システムによる SIF 観測ネットワークの構築を行なっている。これまで申請者の研究室を中心として各種予算によってサイト (寒帯常緑針葉林 (アラスカ・フェアバンクス: 海洋研究開発機構小林秀樹博士管理 2018-)、温帯常緑針葉林 (大津市: 国立環境研究所野田博士管理 2018-)、温帯落葉針葉林 (富士吉田市: 国立環境研究所両角博士管理 2021-)、温帯落葉広葉林 (高山市 以降北大研究室管理 2018-)、亜熱帯常緑広葉林 (沖縄県国頭村 2019-)、水田 (つくば市 2019-)、コムギ畑 (札幌市 2017-2019)、湿地 (美唄市 2019-2020)、若齢落葉針葉林 (幌延町) 2022-2023)、熱帯常緑広葉林 (マレーシア・パソ 2022-) が構築されてきた (図 5)。それにより、同様の機器による統一した観測・計算方法による主要生態系タイプの高精度 SIF データベースが完成した

(図 6; 一つの研究グループとしては世界でも最多地点で観測)。水田・湿地サイトでは、赤領域 SIF (O2B バンド)・近赤外領域 SIF (O2A バンド) が共に GPP との間で強い線形の相関を示した (Buareal et al., 2023, AFM; Buareal et al., 2024 in revision)。また落葉広葉林サイトでは、林内の複数高度における上下方向の SIF の推定を行い、GPP との間で正の相関があることがわかり、SIF による GPP の再現可能性が高いことがわかった (Morozumi et al., 2023, RSE)。

さらに GOSAT 1 号機プロダクト (2009 年-2019 年) から得られた結果と地上観測の結果を直接比較した。衛星の視野は直径約 10 km の円で、地上観測点周辺を分散かつまばらに抽出しているため、平均季節変化を比較すると、SIF の平滑化曲線は TKY において衛星データは地上データを再現できていた。

このため地上観測データによる衛星データの校正への利用価値が期待される。しかし、MSE では地上で見られるような季節変化が衛星では明瞭ではなかった。これは、市街地や常緑樹を含む周辺の森林が視野内に混在してしまっているためと予想される。また水田以外の様々な地上観測点を網羅するのは困難なため、今後衛星データ点数を増やし、かつ土地被覆による抽出処理によって、地上データとの整合性を高める必要があると示唆された。

低分解能分光放射計データに新たに開発した aFLD 法を利用し算定された SIF と、QEpro から非線形 SFM 法を用いて算定された SIF の比較では、中程度の相関係数が見られた。これは MS700 と QEpro では観測箇所が異なること、設置方角が異なること (北向きに QEpro、南向きに MS700)、データ取得時刻が異なること等の観測誤差が含まれるためと考えられる。しかしながら、aFLD 法では、観測サイト・計算手法によらず校正係数が 0.045~0.076 の範囲で変動しており、その一貫性が維持されている。したがって、MS700 から計算された SIF を校正することができていることを示した。QEpro による SIF で校正された MS700 の SIF について、2009 年から 2019 年までの 11 年間のデータを調べた。その結果、SIF の変異 (アノマリー) は、拡張正規化植生指数 EVI の変異と一致し、また渦相関法による GPP や衛星 OCO-2 による SIF プロダクト (GOSIF) との年々変化における相関も高く、本アプローチが有効であることを証明した

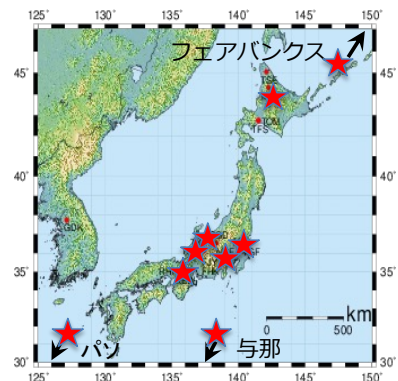


図 5. 地上 SIF 観測網

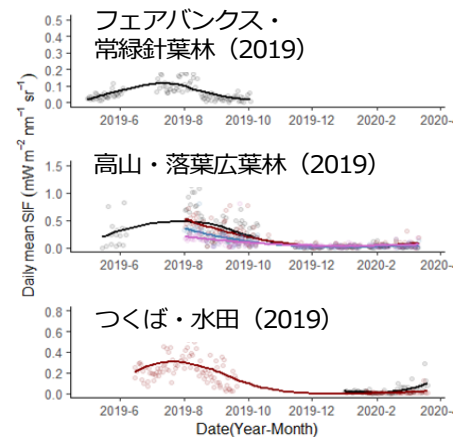


図 6. 地上 SIF 観測データ

(Nakashima et al, 2021, JPR)。

(2) 3次元放射伝達モデルによる SIF および生態系光合成量の再現

三次元森林放射伝達モデル FLiES-SIF の基本構造を決定し、記述論文が出版された (Sakai, Kobayashi, Kato, 2020, GMD)。落葉広葉樹林 TKY について、地上観測と FLiES-SIF による日中の SIF の比較すると夏場については、日々の環境の変動に伴う SIF の変化をモデルでも捉えられており SIF 観測データの再現性は高い。しかし、春先から初夏、晩夏から秋にかけて FLiES-SIF は SIF 観測量を過大評価しており、この結果をカメラの画像を含めて分析したところ、SIF の地上観測地点の展葉は群落全体の展葉よりも遅く、今回のシミュレーションで使用した群落平均の春の LAI の上昇とタワー周辺の LAI 上昇の差によることが明らかとなった。特に春先の DOY145 頃は群落平均の LAI は 2~3 であるのに対して、SIF の観測地点の葉群は展葉の開始期であった。感度分析の結果も示すように、LAI が 2~3 の領域は LAI に対する SIF の感度が高い領域であり LAI フェノロジーの不一致が比較結果に影響を与えていると考えられた。さらに、春先や秋の葉は光合成能力が夏場と比べて低く、葉の PAR 吸収率も小さいためシミュレーションで仮定した夏場の葉の条件を用いると、APAR を過大評価することで SIF も過大評価されることが考えられる。今後は、観測等によって葉の光吸収率や反射率の季節性を調べることで、推定精度の向上を検討する。放射伝達モデルについては、国際的なモデル比較プロジェクト SIF-MIP2 (Dr. Nick Parazoo, NASA/JPL がリード) が進行中であり、その中で国際的な共同研究が推進される予定である。

(3) プロセスベース生態系物質循環モデルによる SIF および生態系光合成量の再現

VISIT-SIF モデル (Miyachi et al., in submission) による推定値と観測値を比較し、誤差を最小化するようにモデルパラメータを最適化した。最適化手法にはベイズ最適化を用いた。本研究での最適化スキームでは推定値と観測値との Root Mean Standard Error (RMSE) を最小化するように、シミュレーションを複数回行い、より良いパラメータを探索、更新することで最適値を得た。対象パラメータとして、4 つの植物生理パラメータ (nitrogen content attenuation:, nitrogen-photosynthetic capacity, canopy-top leaf nitrogen, non-photosynthetic leaf nitrogen) を選定した。VISIT-SIF によってシミュレーションした SIF と観測値との比較結果を示す (図 7)。デフォルトパラメータによる推定値と観測値の比較では決定係数 R^2 は 0.37、最適化したパラメータでは R^2 は 0.60 となり、パラメータの最適化によって SIF の再現性は向上した。さらに最適化により右図の各点は 1:1 ラインへ近づき、SIF 強度の再現性も向上した。本研究での最適化は樹冠上部での窒素含有量に関するパラメータ (canopy-top leaf nitrogen) を調整することで実現しているが、葉の窒素量は最大カルボキシル化速度に影響を与える。Nortonらのモデルパラメータの最適化に関する研究でも、最大カルボキシル化速度を調整することで最適化パラメータを得ており、本研究と整合する。

VISIT-SIF によってシミュレーションした GPP と観測値との比較でも、デフォルトパラメータによる推定値と観測値の比較では決定係数 R^2 は 0.47 から 0.68 へ向上し、SIF の RMSE を最小化することによって GPP の推定精度は向上した。これにより、SIF はモデルによる光合成シミュレーションを向上させるための指標として有用であることが示された (Fan et al, in prep.)。

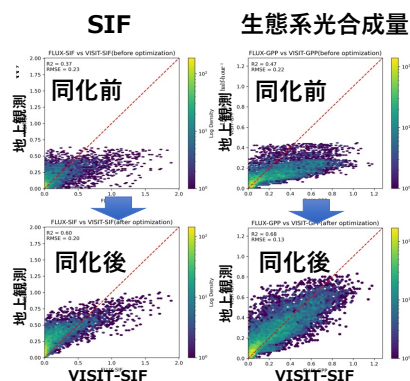


図 7. VISIT-SIF による地上 SIF 観測データと渦相関 GPP 生態系光合成量の再現

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Morozumi Tomoki, Kato Tomomichi, Kobayashi Hideki, Sakai Yuma, Nakashima Naohisa, Buareal Kanokrat, Nasahara Kenlo Nishida, Akitsu Tomoko Kawaguchi, Murayama Shohei, Noda Hibiki M., Muraoka Hiroyuki	4. 巻 284
2. 論文標題 Contributions of the understory and midstory to total canopy solar-induced chlorophyll fluorescence in a ground-based study in conjunction with seasonal gross primary productivity in a cool-temperate deciduous broadleaf forest	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 113340 ~ 113340
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rse.2022.113340	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 Nakashima Naohisa, Kato Tomomichi, Morozumi Tomoki, Tsujimoto Katsuto, Akitsu Tomoko Kawaguchi, Nasahara Kenlo Nishida, Murayama Shohei, Muraoka Hiroyuki, Noda Hibiki M.	4. 巻 134
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 713 ~ 728
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10265-021-01322-3	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 Sakai Yuma, Kobayashi Hideki, Kato Tomomichi	4. 巻 13
2. 論文標題 FLiES-SIF version 1.0: three-dimensional radiative transfer model for estimating solar induced fluorescence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 4041 ~ 4066
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/gmd-13-4041-2020	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 Buareal Kanokrat, Kato Tomomichi, Morozumi Tomoki, Ono Keisuke, Nakashima Naohisa	4. 巻 336
2. 論文標題 Red solar-induced chlorophyll fluorescence as a robust proxy for ecosystem-level photosynthesis in a rice field	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 109473 ~ 109473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2023.109473	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 Morozumi Tomoki, Kato Tomomichi, Kobayashi Hideki, Sakai Yuma, Tsujimoto Katsuto, Nakashima Naohisa, Buareal Kanokrat, Lan Wu, Ninomiya Hideki	4. 巻 339
2. 論文標題 Row orientation influences the diurnal cycle of solar-induced chlorophyll fluorescence emission from wheat canopy, as demonstrated by radiative transfer modeling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 109576 ~ 109576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2023.109576	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30件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 MOROZUMI T., Noda H., Kato T., Kobayashi H., Sakai Y., Takahashi Y.
2. 発表標題 Research Presentation A modeling study for forest structure effect on Solar-Induced chlorophyll Fluorescence in a relatively sparse canopy of the temperate larch forest in Mt. Fuji, Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 MOROZUMI T., Noda H., Kato T., Kobayashi H., Sakai Y., Nakashima N., Buareal K., Ono K., Nasahara K.N., Akitsu T.K., Murayama S., Muraoka H.
2. 発表標題 Evaluation of GOSAT-2 SIF with ground-based SIF in three common vegetation types
3. 学会等名 IWGMS-18 (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 MOROZUMI T., Kato T., Kobayashi H., Sakai Y., Nakashima N., Buareal K., Nasahara K.N., Akitsu T.K., Murayama S., Noda H., Muraoka H.
2. 発表標題 what extent did understory vegetation contribute to the sun-induced chlorophyll fluorescence observed above the forest?
3. 学会等名 INTECOL2022 (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 MOROZUMI T., Noda H., Takahashi Y., Kato T.
2. 発表標題 Red and far-red solar-induced chlorophyll fluorescence responding to air temperature, humidity, and leaf growth in a Japanese larch forest site on a spring-summer transition
3. 学会等名 AsiaFlux 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 MOROZUMI T., Noda H., Kato T., Kobayashi H., Takahashi Y., Matsumoto K.
2. 発表標題 Full-spectral observation of leaf-level chlorophyll fluorescence to bridge the gap between tower and satellite observed solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) in a temperate deciduous forest and a subtropical evergreen forest in Japan
3. 学会等名 The iLEAPS-OzFlux Joint Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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、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、押尾 晴樹、吉田 幸生
2. 発表標題 Estimation of leaf-level SIF from observed SIF for the reliable GPP calculation by remote sensing data in a cool temperate-deciduous broadleaf forest
3. 学会等名 JpGU Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 両角 友喜、加藤 知道、野田 響、高橋 善幸
2. 発表標題 Evaluation of Solar Induced chlorophyll Fluorescence using the sub-nanometer spectroscopy above the canopy of deciduous needleleaf forest in the north-slope of Mt. Fuji, central Japan
3. 学会等名 JpGU Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuma Sakai, Hideki Kobayashi, Tomomichi Kato, Tomoki Morozumi, Naohisa Nakashima, Kenlo Nishida Nasahara, Tomoko Akitsu, Shohei Murayama, Hibiki M Noda, Hiroyuki Muraoka, Toshiyuki Ohtsuka, Shinpei Yoshitake, Kouki Hikosaka, Haruki Oshio, Yukio Yoshida
2. 発表標題 Investigation of the relationship between observed SIF and broadband SIF for the reliable GPP calculation in a cool temperate-deciduous broadleaf forest
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Kanokrat Buareal, Naohisa Nakashima, Yuma Sakai, Hideki Kobayashi, Kenlo Nishida Nasahara, Tomoko Akitsu, Shohei Murayama, Hibiki Noda, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Seasonal variation in Solar Induced chlorophyll Fluorescence from canopy-top, middle and bottom layers as a potential proxy of gross primary productivity in a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama, Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naohisa Nakashima, Tomomich Kato, Tomoki Morozumi, Katsuto Tsujimoto, Tomoko K. Akitsu, Kenlo N. Nasahara, Shohei Murayama, Hiroyuki Muraoka, Hibiki M. Noda
2. 発表標題 Retrieving solar-induced chlorophyll fluorescence from multilayers in a deciduous forest with low resolution field-measured spectra over the past decade
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Naohisa Nakashima, Buareal Kanokrat, Kitpanuwat Tanatarakeree, Hideki Kobayashi, Yuma Sakai, Katsuto Tsujimoto, Hibiki M. Noda, Yoshiyuki Takahashi, Kentaro Takagi, et al
2. 発表標題 Ground based observation of solar induced chlorophyll fluorescence using a fine resolution spectrometer across multiple sites in cool temperate to sub-tropical ecosystems, Japan
3. 学会等名 iLEAPS-Japan 研究集会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Katsuto Tsujimoto, Kanokrat Buareal, Naohisa Nakashima, Yuma Sakai, Hideki Kobayashi, Kenlo Nishida Nasahara, Tomoko Akitsu, Shohei Murayama, Hibiki Noda, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Seasonal variation in Solar Induced chlorophyll Fluorescence detected by multi-vertical layer spectroscopy in a canopy of cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama, Gifu
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kitpanuwat Tanatarakeree, Tomomichi Kato, Tomoki Morozumi, Kanokrat Buareal, Masahito Ueyama, Naohisa Nakashima, Hideki Ninomiya, Wu Lan, Takashi Hirano
2. 発表標題 Ground-Based Measurement of Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence in Wetland by High-Spectral Resolution
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 両角友喜, 加藤知道, 小林秀樹, 酒井佑禎, 辻本克人, 中島直久, ビュワイール・カノクラット, 烏蘭, 二宮秀輝, 水野ゆかり
2. 発表標題 コムギ窒素施肥処理区における群落条構造とクロロフィル濃度から受ける光合成指標SIFへの影響
3. 学会等名 日本農業気象学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideki Kobayashi, Yuma Sakai, Tomomichi Kato
2. 発表標題 Simulation of sun-induced chlorophyll fluorescence in spatially heterogeneous plant canopies
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Hideki Kobayashi, Yuma Sakai, Kanokrat Buareal, Katsuo Tsujimoto, Lan Wu, Hideki Ninomiya and Yukari Mizuno
2. 発表標題 Assessing the effect of nitrogen addition treatment on Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence on winter wheat in Japan: Field-based detection and radiative modelling
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naohisa Nakashima, Tomoki Morozumi, Kanokrat Buareal, Tomomichi Kato, Katsuo Tsujimoto, Tomoko Akitsu, Kenlo Nasahara, Keisuke Ono, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Challenging the detection of solar-induced fluorescence from lower resolution field-measured spectrum in Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田 響、大政 謙次、彦坂 幸毅、市井 和仁、小林 秀樹、加藤 知道、村岡 裕由
2. 発表標題 陸域植生SIF / PRIの高分解能観測衛星の開発
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naohisa Nakashima, Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Katsuto Tsujimoto, Tomoko Kawaguchi Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Detection of solar-induced fluorescence from lower resolution field-measured spectra over the past decade in deciduous forest in Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kitpanuwat Tanatarakeree, Tomomichi Kato, Tomoki Morozumi, Naohisa Nakashima, Kanokrat Buareal, Lan Wu, Masahito Ueyama, Takashi Hirano and Hideki Ninomiya
2. 発表標題 Continuous Ground Measurement of Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence and Its Link to Ecosystem-Level Photosynthesis in Wetland by High Resolution Spectrometer
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naohisa Nakashima, Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Katsuo Tsujimoto, Tomoko Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara and Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Detection of solar-induced fluorescence from lower resolution field-measured spectra over the past decade in deciduous broad-leaf forest in Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanokrat Buareal, Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Naohisa Nakashima and Keisuke Ono
2. 発表標題 Ground-based observation on Solar-induced chlorophyll fluorescence in rice ecosystem with high-spectral resolutions
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoki Morozumi, Kanokrat Buareal, Katsuto Tsujimoto, Lan Wu, Hideki Ninomiya, Yukari Mizuno, Tomomichi Kato
2. 発表標題 Field-based detection of Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence for remote-sensing of the photosynthetic activity in winter wheat with Nitrogen addition treatments in Hokkaido
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 KANOKRAT BUAREAL, Tomoki Morozumi, Tomomichi Kato, Keisuke Ono
2. 発表標題 Solar-induced chlorophyll fluorescence in rice paddy field ecosystem detected by high spectral resolution
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤知道
2. 発表標題 太陽光誘起クロロフィル蛍光による生態系光合成量推定 - CO2吸収量を宇宙から測る
3. 学会等名 日本農業気象学会北海道支部大会（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 両角友喜, 加藤知道, 辻本克斗, プアリアル・カノクラット, 酒井佑楨, 小林秀樹, 奈佐原顕郎, 秋津智子・村山昌平, 野田響, 村岡裕由
2. 発表標題 本州中部冷温帯林における太陽光誘起クロロフィル蛍光観測の手法検討および日中・季節変動
3. 学会等名 日本農業気象学会北海道支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoki Morozumi , Tomomichi Kato, Katsuto Tsujimoto, Kanokrat Buareal, Yuma Sakai, Hideki Kobayashi, Kenlo Nishida Nasahara, Tomoko Akitsu, Shohei Murayama, Hibiki Noda, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 The temporal variation of Solar Induced Fluorescence detected by the canopy spectroscopy in cool-temperate broad leaf deciduous forest in central Japan
3. 学会等名 Asiaflux 2019-20th Anniversary- (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanokrat Buareal, Tomomichi Kato, Tomoki Morozumi, Keisuke Ono
2. 発表標題 Ground based measurement of solar-induced chlorophyll fluorescence dynamics in rice paddy field ecosystem
3. 学会等名 Asiaflux 2019-20th Anniversary- (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanokrat Buareal, Tomomichi Kato, Keisuke Ono
2. 発表標題 Ground-based Measurement of Solar-induced Chlorophyll Fluorescence with High-resolution Spectrum in Paddy Field Ecosystem
3. 学会等名 15th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanokrat Buareal, Tomomichi Kato, Keisuke Ono
2. 発表標題 Solar induced chlorophyll fluorescence for detecting ecosystem photosynthetic activity by high resolution spectrum measurement in a paddy field in Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
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
デルパール ニコラ (Delbart Nicolas)	パリ大学・Departement of Geographie・Professor	
プルター ベンジャミン (Poulter Benjamin)	アメリカ航空宇宙局・Goddard Space Flight Center・ Scientist	
ヤン シー (Yang Xi)	バージニア大学・Department of Environmental Sciences・ Associate Professor	

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			
米国	NASA			