

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03350

研究課題名（和文）太陽光誘起クロロフィル蛍光による光合成量評価能力の統合解析

研究課題名（英文）Comprehensive analysis on the estimation potential of photosynthesis by solar induced chlorophyll fluorescence

研究代表者

加藤 知道（Kato, Tomomichi）

北海道大学・農学研究院・准教授

研究者番号：60392958

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：陸域生態系の光合成量の把握は、CO₂吸収による気候変動緩和効果の見積もりのために非常に重要である。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の推定に非常に役立つと期待されており、SIFの利用可能性を向上させるため、個葉-生態系スケールの観測と3次元放射伝達モデルの開発・検証を行った。その結果、SIFの光等の環境要因による挙動を明らかにし、さらにそれらを元にした生態系光合成量の推定について、高低解像度システムの協働による新しいアプローチの提案と、それらを再現する3次元放射伝達モデルの開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で着目した太陽光誘起クロロフィル蛍光を、個葉から生態系レベルの幅広い空間スケールで、生態系光合成量の推定に活かせることがわかったことで、温室効果ガスである二酸化炭素の陸域生態系によるシンク活動をより正確に推定できる可能性が高いことを示したところに学術的な意義がある。

そのことは現在の生態系による二酸化炭素吸収量の把握だけではなく、生態系CO₂循環モデルの精度向上のためにも利用でき、将来の気候変動予測向上にも繋がるために、非常に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Solar-induced fluorescence (SIF) has been recognized to be a strong proxy to represent the photosynthesis at ecosystem-level simultaneously. To maximize the advantage of SIF, multiscale observations have been conducted, and discovered its behaviors under various environmental conditions, like as light condition. Additionally, the 3 dimensional radiative transfer model for SIF was developed and validated in field site. Those would give us a more chance to explorer the ecosystem level photosynthesis over wide area via SIF.

研究分野：生態系生態学

キーワード：リモートセンシング CO₂吸収量 生態系タイプ 生態系モデル 分光観測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

陸域生態系の光合成機能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*)。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。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、パルス変調測定 (PAM) 法などで個葉の小さいスケールではすでにわかっている。

一方で最近では、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きており (Frankenberg et al. 2011, *GRL*; Yang et al., 2015, *GRL* など)。この SIF を普遍的な指標として、生態系レベルの光合成量の評価に生かすことが非常に期待されている。しかしながら、SIF の利用可能性をさらに向上させるためには、いくつかの根本的な課題を解決する必要である。

2. 研究の目的

SIF の生態系光合成量の推定への利用可能性を向上させるために、地上+衛星観測・室内実験・モデルを組み合わせ以下の 3 つの統合的研究を行う。

- (1) SIF 生成・放出・消散に関するプロセスの検証
- (2) SIF-光合成機能関係の制御要因の解明
- (3) SIF モデルによる生態系光合成量の再現

3. 研究の方法

(1) SIF 生成・放出・消散に関するプロセスの検証

光合成回路での吸収光エネルギーの分配経路 (光化学系・蛍光・熱放散など) 割合を決定するプロセスを解明するために、室内実験及び野外観測を行う。光合成蒸散測定装置・パルス変調クロロフィル蛍光測定装置 (PAM)・分光放射計を利用し、量子収率・蛍光収率・光化学反射指数 (PRI)・色素と環境要因の関係を調べ、解明したプロセスをモデル化する。

(2) SIF-光合成機能関係の制御要因の解明

国内の渦相関フラックスサイト (水田 (つくば市 MSE)、湿地 (美唄市 BBY)、落葉広葉林 (高山市 TKY)) で、高分解能分光計 (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 μm、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 (LEONI 社特注) 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。

(3) SIF モデルによる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。本研究では、それを利用し、TKY における再現実験を行う。

4. 研究成果

(1) 光化学系 II の修復を阻害する薬剤（リンコマイシン）を、シロザの葉に与えて強光照射を行い、光合成・蛍光・反射スペクトルの同時測定を行った。その結果、強いストレスを受けた葉では、予想通り、光合成速度とクロロフィル蛍光の関係が負になり、通常の葉における関係とは逆になることが明らかとなった。測定された蛍光と PRI の値を Hikosaka and Noda (2019) のモデルに適用し、光合成の効率を推定した結果、関係は弱かったものの、ストレスによる光合成速度の低下を予測することができ、モデルには一定の有用性があることが明らかとなった。

(2) 高波長分解能分光放射計による SIF 地上観測のための機器設置・管理・データ処理のプロトコルを確立した。また複数のサイトにおいて、地上観測 SIF と渦相関法から得られた総一次生産 (GPP) との関係調べた。水田・湿地サイトでは、赤領域 SIF (02B バンド)・近赤外領域 SIF (02A 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., 2021 投稿中; Tanatakereree et al., 2021 準備中)。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。

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 (Nakashima et al, 2021, JPR, accepted)。

(3) 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)。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。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hikosaka Kouki, Noda Hibiki M.	4. 巻 42
2. 論文標題 Modeling leaf CO ₂ assimilation and Photosystem II photochemistry from chlorophyll fluorescence and the photochemical reflectance index	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 730 ~ 739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.13461	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 Liu Zhili, Hikosaka Kouki, Li Fengri, Jin Guangze	4. 巻 34
2. 論文標題 Variations in leaf economics spectrum traits for an evergreen coniferous species: Tree size dominates over environment factors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Functional Ecology	6. 最初と最後の頁 458 ~ 467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1365-2435.13498	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 Yoshinaka Kenta, Nagashima Hisae, Yanagita Yusuke, Hikosaka Kouki	4. 巻 121
2. 論文標題 The role of biomass allocation between lamina and petioles in a game of light competition in a dense stand of an annual plant	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annals of Botany	6. 最初と最後の頁 1055 ~ 1064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/aob/mcy001	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 Kohzuma Kaori, Hikosaka Kouki	4. 巻 498
2. 論文標題 Physiological validation of photochemical reflectance index (PRI) as a photosynthetic parameter using Arabidopsis thaliana mutants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 52 ~ 57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2018.02.192	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 Ozaki Hiroshi, Oguchi Riichi, Hikosaka Kouki	4. 巻 131
2. 論文標題 Dependence of functional traits related to growth rates and their CO2 response on multiple habitat climate factors across Arabidopsis thaliana populations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 987 ~ 999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-018-1058-1	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 Hikosaka Kouki, Noda Hibiki M.	4. 巻 42
2. 論文標題 Modeling leaf CO2 assimilation and Photosystem II photochemistry from chlorophyll fluorescence and the photochemical reflectance index	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 730 ~ 739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.13461	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 Kumarathunge Dushan P., Medlyn Belinda E., Drake John E., et al.	4. 巻 222
2. 論文標題 Acclimation and adaptation components of the temperature dependence of plant photosynthesis at the global scale	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 768 ~ 784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.15668	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 Wang Qing-Wei, Daumal Maya, Nagano Soichiro, Yoshida Naofumi, Morinaga Shin-Ichi, Hikosaka Kouki	4. 巻 132
2. 論文標題 Plasticity of functional traits and optimality of biomass allocation in elevational ecotypes of Arabidopsis halleri grown at different soil nutrient availabilities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 237 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-019-01088-9	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 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Yuma Sakai, Hideki Kobayashi, Tomomichi Kato, Kastuto Tshujimoto, Kenro Nishida-Nasahara, Tomoko Akitsu, Syohei Murayama, Hibiki Noda, Hiroyuki Muraoka, Toshiyuki Ohtsuka, Sinphei Yoshitake, Kouki Hikosaka
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 AGU Fall meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻本 克斗, 彦坂 幸毅
2. 発表標題 クロロフィル蛍光と分光反射指数を用いて異なる光合成能力の葉の光合成速度を推定する
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouki Hikosaka
2. 発表標題 The relationship between photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence: an overview
3. 学会等名 The 83rd Annual Meeting of the Botanical Society of Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 彦坂幸毅
2. 発表標題 光阻害葉における光合成速度・クロロフィル蛍光・光化学反射指数の関係
3. 学会等名 東北植物学会第9回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 由紀子(東北大学大学院), 辻本 克斗(東北大学大学院), 小川 哲(ソニーIP&S(株)), 野田 響(国立環境研究所), 彦坂 幸毅(東北大学大学院)
2. 発表標題 PRI(光化学反射指数)と NPQ の関係の種間差 とその補正法の検討
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)
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, 酒井佑禎, 小林秀樹, 奈佐原頭郎, 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

1. 発表者名 林 悠介・村上和隆・劉 治彦・市井和仁
2. 発表標題 衛星観測クロロフィル蛍光の導入による光合成量推定精度の向上
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第65回 (平成30年度秋季) 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noda HM, Kosugi Y, Tsujimoto K, Hikosaka K, Matsunaga T
2. 発表標題 Seasonal changes in SIF in a warm-temperate evergreen coniferous forest in Japan
3. 学会等名 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noda HM, Hikosaka K, Oshio H, Yoshida Y, Miyauchi T, Saito M and Matsunaga T,
2. 発表標題 On-going Challenges and Future Perspective of Satellite Based Solar-induced Chlorophyll Fluorescence
3. 学会等名 OzFlux-AsiaFlux Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noda HM, Kosugi Y, Hikosaka K, Tsujimoto K, Yoshida Y, Oshio H, Matsunaga T
2. 発表標題 Phenological changes in SIF and carbon flux in a warm-temperate evergreen forest in Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noda HM, Yoshida Y, Oshio H and Matsunaga T
2. 発表標題 Phenological changes in GOSAT SIF in temperate vegetations in Japan
3. 学会等名 International Network on Remote Sensing of Terrestrial and Aquatic Fluorescence (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑田清史, 野田響, 小杉緑子, 饗庭正寛, 中路達郎, 辻本克斗, 彦坂幸毅
2. 発表標題 温帯ヒノキ林における太陽光誘起クロロフィル蛍光の環境依存性
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田響, 彦坂幸毅, 吉田幸生, 押尾晴樹, 宮内達也, 松永恒雄
2. 発表標題 GOSAT衛星で観測された太陽光励起クロロフィル蛍光の温帯域における季節変動
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 小林 秀樹, 永井 信, Kim Yongwon, Yang Wei, 加藤 知道, 池田 教子, 伊川 浩樹, 永野 博彦, 鈴木 力英
2. 発表標題 野外型分光データを利用したアラスカ内陸部のクロトウヒ林の季節変化の観測
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第65回(平成30年度秋季)学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 秀樹, 永井 信, 金 龍元, Yang Wei, 池田 教子, 伊川 浩樹, 永野 博彦, 斉藤 和之, 鈴木 力英
2. 発表標題 野外型分光データを利用した永久凍土上のアラスカ・クロトウヒ林の季節変動の観測
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 彦坂幸毅
2. 発表標題 植物葉群における葉間窒素分配の最適性
3. 学会等名 第9回日本光合成学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上妻馨梨・彦坂幸毅
2. 発表標題 反射分光を用いた植物ストレスのリモートセンシング
3. 学会等名 第9回日本光合成学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuto Tsujimoto, Kouki Hikosaka
2. 発表標題 Estimating leaf photosynthesis of C3 plants grown under different environments from photochemical reflectance index (PRI) and Chl fluorescence
3. 学会等名 1st Asia-Oceania International Congress on Photosynthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上妻馨梨・彦坂幸毅
2. 発表標題 反射分光を用いた光合成挙動のリモートセンシング
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑田清史・野田響・小杉緑子・饗庭正寛・中路達郎・辻本克斗・彦坂幸毅
2. 発表標題 温帯ヒノキ林における太陽光誘起クロロフィル蛍光の環境 依存性
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田 響・彦坂 幸毅・吉田 幸生・押尾晴樹・宮内 達也・松永 恒雄
2. 発表標題 GOSAT 衛星で観測された太陽光励起クロロフィル蛍光の温帯域における季節変動
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上妻馨梨・彦坂幸毅
2. 発表標題 反射分光を用いた植物の強光乾燥ストレス応答の検出
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019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光合成活性診断
3. 学会等名 愛媛大学植物工場研究センター先端技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuma Sakai, Tomomichi Kato, Katsuto Tsujimoto, Hideki Kobayashi, Kenlo Nishida Nasahara, Tomoko Akitsu, Shohei Murayama, Hibiki Noda, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Constructing the simulation model to estimate the SIF using remote sensing data
3. 学会等名 American Geophysical Union 2018 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomomichi Kato, Hideki Kobayashi, Yuma Sakai, Hibiki Noda, Tatsuya Miyauchi, Kenlo Nishida Nasahara, Tomoko Akitsu, Shohei Murayama, Hiroyuki Muraoka
2. 発表標題 Bottom-up and top-down approach investigations on solar induced fluorescence for estimating the photosynthesis at ecosystem scale by both ground-based measurement and modeling
3. 学会等名 American Geophysical Union 2018 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 知道, 水野 一樹
2. 発表標題 Relationship in anomalous changes in solar-induced chlorophyll fluorescence to the environmental factors for last 10 years,
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒井 佑禎, 加藤 知道, 辻本 克斗, 小林 秀樹, 奈佐原 顕郎, 秋津 朋子, 村山 昌平, 野田 響, 村岡 裕由
2. 発表標題 The simulation model of energy partition in leaf scale to estimate GPP from SIF
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 F. Stuart Chapin III、Pamela A. Matson、Peter M. Vitousek、加藤 知道	4. 発行年 2018年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 608
3. 書名 生態系生態学(第2版)	

〔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	彦坂 幸毅 (Hikosaka Kouki) (10272006)	東北大学・生命科学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	小林 秀樹 (Kobayashi Hideki) (10392961)	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 (82706)	
研究分担者	市井 和仁 (Ichii Kazuhito) (50345865)	千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授 (12501)	
研究分担者	野田 響 (Noda Hibiki) (60467214)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員 (82101)	

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