

令和 6 年 9 月 19 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02318

研究課題名（和文）作物の葉群 - 根群システムにおける生理生態・統御機構の光センシング技術の開発

研究課題名（英文）Development of optical sensing technology for eco-physiological functions and their integrated controls of crop leaf-root systems

研究代表者

安武 大輔 (Yasutake, Daisuke)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：90516113

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）：作物の生産性を決定づける葉と根の生理生態機能を、透過・反射光スペクトル情報を利用してセンシングする4つの課題に取り組んだ。課題1では、葉群の透過光スペクトルから得られる近赤外放射と光合成有効放射の比から葉面積指数の時間変化を評価した。課題2では、葉における波長400-900 nmの反射光スペクトルを利用して、光合成能力である最大カルボキシル化速度と最大電子伝達速度を推定した。課題3では、水耕栽培における根群のハイパースペクトル画像から、根齢の時空間分布を可視化した。課題4では、さらに根バイオマス情報としての乾物重の推定モデルを構築し、高い推定精度（決定係数0.89）を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

課題1は作物の葉面積指数の非破壊連続推定を可能とし、森林を対象とした既往手法が小規模作物にも適用可能であることを学術的に示した。課題2は、既往手法と比べて狭い波長域（400-900 nm）を使用した場合でも、個葉の光合成能を高精度に推定できた点で学術的意義がある。課題3と4では、生育状態の根群を連続観察する点が先行研究も無く世界初の取り組みであることに加え、養水分吸収や成長状態と関連が深い根の年齢（根齢）と乾物重の推定手法を確立した点で学術的に強い先進性と独自性が存在する。

以上の成果は、作物の生理生態情報に基づいた適切な環境調節・栽培管理による作物生産の効率化に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）： We conducted 4 tasks for sensing the physiological and ecological functions of leaves and roots, which determine crop productivity, using transmitted and/or reflected light spectral information. In Taks 1, temporal change in leaf area index was estimated based on the ratio of near-infrared radiation to photosynthetic active radiation calculated from the transmitted light spectrum of leaves. In Task 2, the maximum carboxylation rate and the maximum electron transfer rate, which are photosynthetic capacities, were estimated using the reflected light spectrum in leaves from wavelength of 400 to 900 nm. In Taks 3, the spatio-temporal distribution of roots was visualized by hyperspectral imaging in hydroponic cultivation. Finally, in Taks 4, a model for estimating root biomass (dry weight) from hyperspectral images was further developed, achieving as high estimation accuracy with a determination coefficient of 0.89.

研究分野：生物環境工学

キーワード：透過光 反射光 スペクトル 非破壊連続計測 葉面積指数 光合成能 根齢 根バイオマス

1. 研究開始当初の背景

葉と根は、植物体の構成物質を体内に取込む役割(前者は光合成、後者は養水分吸収)をもつ最重要器官であり、これらの生理生態機能の状態が植物の成長を強く支配する。それゆえ農業生産において実施される栽培管理は、作物の実栽培規模(葉群、根群)の光合成や養水分吸収に働きかけるものが多い。とくに、効率的生産として期待される施設農業は、環境調節という栽培管理を通じた生理生態機能の制御を志向する。その最適化のためには生産現場で生理生態機能の情報を取得できる計測が必須となる。その一つのアプローチとして、近年はデバイスの高度化・低廉化、および情報処理能力の向上を背景に、「光」を利用した葉群・根群の非破壊計測(光センシング)に大きな期待が集まっている。

2. 研究の目的

作物の生産性を決定づける葉と根の生理生態機能を、最先端の「光センシング」とデータ解析手法を応募者独自の技術と融合させることで取得する技術開発を行う。具体的には、葉および根を対象とした主に以下 4 つの課題に取り組み、透過・反射光スペクトル情報を利用した生理生態情報のセンシング技術を開発することを目的とする。

葉群における透過光のスペクトルを利用した葉面積指数の推定

近年、葉が反射・透過した光のスペクトル特性から植物の生理生態情報を評価する研究が報告されている。しかしながらこれらの研究の多くは広域な植生を対象にして、上空から広範囲の測定が可能な反射光のスペクトルを用いており、群落表層の情報のみを反映すると考えられる。一方、小規模な作物群落を対象とする場合は、反射光よりも群落全層を通過する透過光のスペクトルを利用する方が群落情報をより反映する可能性がある。重要な生理生態情報の一つで、高精度の推定が要求される葉面積指数(LAI)も、反射光スペクトルを利用した推定では、葉の重なりが反映されないために精度面で未だ課題が残る。新たな LAI 推定法として、Kume et al. (2011)は透過光スペクトルから算出される $NIRt / PART$ (近赤外放射と光合成有効放射の比)による推定を森林を対象に提案しており、作物群落においてもその利用が期待される。そこで本研究では、作物群落における透過光のスペクトル特性を調査し、その利用例として $NIRt / PART$ による LAI の推定が作物群落でも可能かどうか調べて、透過光スペクトルを利用した生理生態情報評価の有用性を検証した。

葉における 400-900 nm の反射光スペクトルを利用した光合成能力の推定

最大カルボキシル化速度 (V_{cmax}) と最大電子伝達速度 (J_{max}) は作物の光合成反応を記述する上で重要なパラメータであるがその測定には時間を要するため、迅速かつ高精度な推定技術が志向されている。近年、400-2400 nm の反射スペクトルから V_{cmax} 、 J_{max} が瞬時に推定できることが報告された (Serbin et al., 2012)。しかしながら、スペクトル測定に利用される分光器は、一般的に測定波長域が広いほど高価であるため、本技術の実用化のためには、より狭い波長域による推定が望まれる。そこで本研究では、イチゴ個葉を対象に 400-900 nm の反射スペクトルを利用した V_{cmax} 、 J_{max} の推定を試みた。

根群におけるスペクトル画像解析による根齢の時空間分布の推定

水耕栽培において、栽培期間を通じた根の RGB 画像から根の乾物重を推定することが可能であるが、これは根全体の成長状態のみを推定しており、根の養水分吸収能力と関連が深い年齢(根齢)などの詳細な高次元成長状態の評価についてのアプローチが必要である。近年は根の評価方法において、生理生態情報を非破壊的に取得できる技術として期待されているハイパースペクトルイメージング(HIS)技術の応用が試みられている (Nakaji et al., 2008)。そこで本研究では、NFT 水耕栽培において携帯型ハイパースペクトルカメラを用いた根の反射スペクトルの計測法を構築した。それを用いて栽培期間を通して根群の反射スペクトルを計測し、その特性に基づいて根の高次元成長状態として根齢の時空間分布を可視化した。

根群の反射光スペクトルを利用した乾物重推定モデルの構築

根の高次元成長状態の情報として、根齢の次にバイオマスの定量化に着目した。根の乾物重を高精度に推定することを目的として、計測波長をより効率的に利用した部分的最小二乗回帰(PLSR)を用いて、根の反射光スペクトルから乾物重を推定するモデルを構築した。

3. 研究の方法

葉群における透過光のスペクトルを利用した葉面積指数の推定

材料植物はホウレンソウ (*Spinacia oleracea*) を用いた。NFT (薄膜水耕)栽培ベッドにおいて、栽培パネルの一穴に 3 つの苗を定植し、1~7 週間程度栽培した。

透過光スペクトルに加え、従来の LAI 推定に用いられる反射光スペクトル、および PAR の減

衰割合を測定し、LAI との関係と比較した。実験期間は 2020 年 11 月 25 日～2021 年 1 月 17 日で、1 群落は (45 cm × 75 cm) の栽培パネル (30 穴) とした。透過光スペクトルは、マルチチャンネル分光器 (BIM-6002A-10-S03L00F05G02, Brolight Technology) の受光部を真上に向け、群落上部と底部 (栽培パネルから高さ約 50 cm と 6 cm) の光スペクトルをそれぞれ測定し、 $NIR_t / PART_t$ を算出した。また、マルチチャンネル分光器と自作の標準拡散板により群落の反射光スペクトルを測定し、植生指標である NDVI を算出した。PAR の減衰割合は光量子センサ (PAR-O2D, 株式会社リード) によって群落上部の PAR ($PARI$) に対する底部の PAR ($PART$) の割合 ($PART / PARI$) を測定した。その後、破壊計測により計測した LAI と各指標 ($NIR_t / PART_t$, NDVI, および $PART / PARI$) の関係を調べた。

葉における 400-900 nm の反射光スペクトルを利用した光合成能力の推定

九州大学園場内の高軒高温室で栽培したイチゴ (*Fragaria × ananassa* Duch. 'Fukuoka S6') を材料植物として用い、2022 年 3 月 4-6, 14-16, 21-23, 28-30 日の午前中に実験を行った。個葉反射スペクトル (R_{leaf}) の測定は、ハイパースペクトルカメラ (Specim Ltd., Specim IQ) を用いた。 R_{leaf} の測定後 30 秒以内に、熱画像カメラ (CHINO, CPA-0150J) を用いて葉温 (T_{leaf_spe}) を測定した。 R_{leaf} , T_{leaf_spe} の測定後 3 日以内に、携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-COR, Li-6400XT) を用いて V_{cmax} , J_{max} を 1 点法により測定した (De Kauwe et al., 2016)。その後、 V_{cmax} , J_{max} の温度依存性をアレニウス式によって回帰し (Bernacchi et al., 2003), T_{leaf_spe} における V_{cmax} , J_{max} を算出した。これらのデータセットの 70% ($n = 200$) を利用して、部分最小二乗回帰 (PLSR) により R_{leaf} から V_{cmax} , J_{max} , T_{leaf_spe} を推定するモデルを構築し、残り 30% ($n = 87$) のデータセットに適用することで、モデルの精度の検証を行なった。

根群におけるスペクトル画像解析による根齢の時空間分布の推定

九州大学伊都キャンパスの高軒高ハウス内にある NFT 水耕栽培ベッドで行った。材料植物はホウレンソウ (*Spinacia oleracea*, 品種 '早生クローネ') を用いており、2021 年 11 月 9 日から 12 月 20 日において栽培した。NFT ベッドの下から透明なアクリル板、フィルムおよび培養液を透過して根を撮影するようにハイパースペクトルカメラを設置した。栽培期間中に 1 日 1 回撮影し、同一根の反射スペクトルデータを 4 ピクセル抽出し、反射スペクトルの平均を求めた。さらに、各波長間の反射率の比と定植後日数の相関係数を求めることで、異なる成長段階の根の分類に最適な反射率比を算出した。得られた最適反射率比で分類した根をそれぞれ異なる色を付けた False Color 画像を作成した。

根群の反射光スペクトルを利用した乾物重推定モデルの構築

実験場所および材料植物の準備は、と同様である。ただし、撮影した根を分光画像に映った形状に維持したままサンプリングするために、根を一方向に下流部に流せるように成長させ、各個体の間に隔板 (2.5 cm ごとに印を付けた) を設置した。各個体の根は長さ 2.5 cm ごとに 1 サンプルとし、1 個体あたり 9 サンプルに分けた (24 個体, 合計 216 サンプル)。収穫する前にハイパースペクトルカメラで根を撮影し、収穫した根を印に沿って切断して乾物重を測定した。撮影した画像から各サンプルの反射スペクトルを抽出し、カメラセンサ由来のノイズ除去のために 420 - 950 nm のデータをモデル構築に使用した。各サンプルの反射スペクトルと乾物重を併せたデータセットを用意し、その 8 割をモデルの構築に用いた。また、PLSR に入力する各スペクトルデータは標準化を行い、平均値が 0, 標準偏差が 1 のデータセットに変換した。さらに、各波長がモデルの推定精度に及ぼす影響の評価は、推定における各波長の重要性を示す指標である変数重要度 (VIP; Variable Importance of Projection) を用いて行った。このように構築された PLSR モデルに対して、データセットの残り 2 割を用いて推定精度を検証した。

4. 研究成果

葉群における透過光のスペクトルを利用した葉面積指数の推定

図 1 に LAI と透過光スペクトル ($NIR_t / PART_t$), 反射光スペクトル (NDVI), および PAR の減衰割合 ($PART / PARI$) の関係を示す。NDVI および $PART / PARI$ と比較して、 $NIR_t / PART_t$ は生育中期以降 ($LAI > 2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) に LAI と線形関係が強く、生育中期以降の LAI 推定においては透過光のスペクトル利用が有用であることを示した。しかし $NIR_t / PART_t$ は生育初期 ($LAI < 1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) の LAI 増加には停滞が見られることから、生育段階によって LAI 推定方法を使い分けることで、全生育期間で高精度の LAI 推定ができると考えられる。

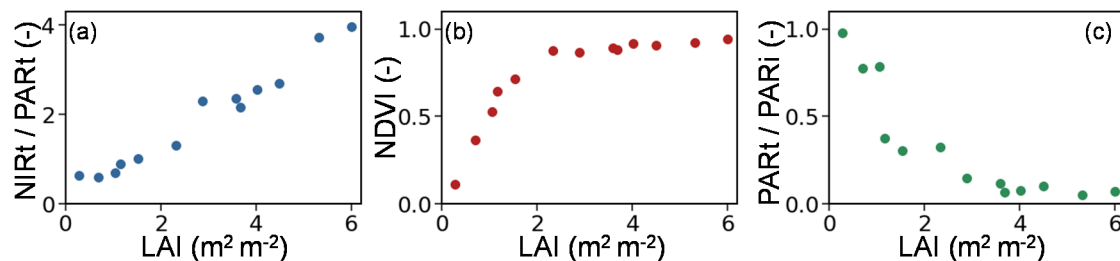


図1 透過光スペクトル (a), 反射光スペクトル (b), および PAR の減衰割合 (c) と LAI の関係 (n=13)

葉における 400-900 nm の反射光スペクトルを利用した光合成能力の推定

V_{cmax} , J_{max} の推定値と実測値の間の決定係数 R^2 は 0.66-0.71, 二乗平均平方根誤差 RMSE% は 11.42-14.02% であり, 本研究と同様に 400-900 nm の R_{leaf} を用いた先行研究 (Dechant et al., 2017) と同等の推定精度を示した. この推定精度は 400-2400 nm の R_{leaf} を用いた先行研究 (Serbin et al., 2012) には劣るものの良好な値であることから, 400-900 nm の R_{leaf} を用いても V_{cmax} , J_{max} が推定できる可能性が示唆された.

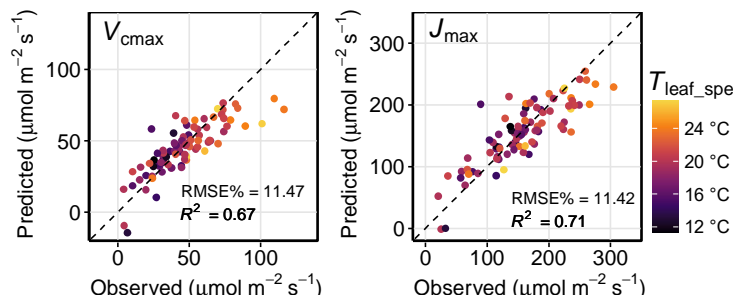


図2 V_{cmax} , J_{max} の実測値と PLS 回帰モデルによる推定値の関係. カラースケールは葉温を表す.

根群におけるスペクトル画像解析による根齢の時空間分布の推定

定植後日数に伴う根の反射スペクトルは, 可視光領域では 680 nm あたりに反射率の谷が観測され, 植物の成長に伴って谷の落ち込みが大きくなる傾向を示した. 近赤外領域では 870 nm あたりに反射率のピークが観測された. 定植後日数と一番強い相関を持つ反射率比は 446 nm と 648 nm における反射率の比 (R_{446}/R_{648}) と算出された. 次に, R_{446}/R_{648} を用いて根の成長を三段階に分類し, それぞれ False Color 画像に赤色, 黄色, 青色を付けた (図 3). 根の成長 (株元からの距離) または重なりが増加に伴って, 根の False Color が赤色から黄色, 最後に青色になることが見られたため, R_{446}/R_{648} は異なる成長段階の根を分類できる可能性があると考えられる.

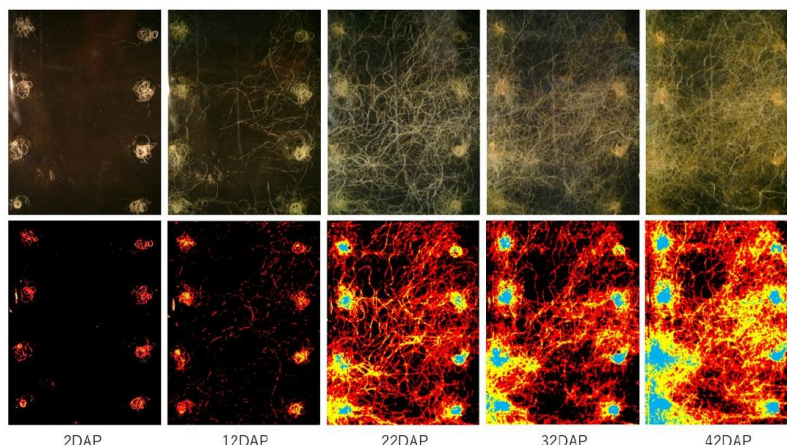


図3 定植後経過日数 (DAP) に伴う根の RGB 画像 (上部) と R_{446}/R_{648} を用いて根の年齢 (発生後日数) を分類した False Color 画像 (下部).

根群の反射光スペクトルを利用した乾物重推定モデルの構築

図 4 に, 乾物重の実測値と PLSR モデルを用いた推定値の関係を示す. 本モデルは高い推定精度 ($R^2 = 0.89$) を示したが, 乾物重の実測値が 0.02g より小さい場合, プロットの多くは $\pm 30\%$ の増減範囲を超えており, 相対誤差が大きかった. これは, 根の乾物重が小さいサンプルは画像中に占める割合が小さいため, 根を背景と分離する際に生じた誤差が, 推定精度に大きく反映されたためであると考えられる. 一般に VIP が 0.8 以上の波長は, 推定に高い重要性を示すと考えられる. 本モデルの VIP は 520 nm ~ 620 nm 以外の波長において, 全て高い VIP (0.8 以上) を示した. これは, 乾物重の変動により, 反射率が増加または減少する傾向を示した波長域とほぼ一致した (図略). また, 460 と 950 nm 付近に VIP のピークが観測されたため, 本モデルの構築にあたって, 460 と 950 nm 付近の反射率が特に重要とされた. これらの波長は栽培パネルの反射波長域に存在するため, 根の重なりが増加に伴い透過率が低下することが, 根の乾物重の推定に大きい影響を与えたと考える.

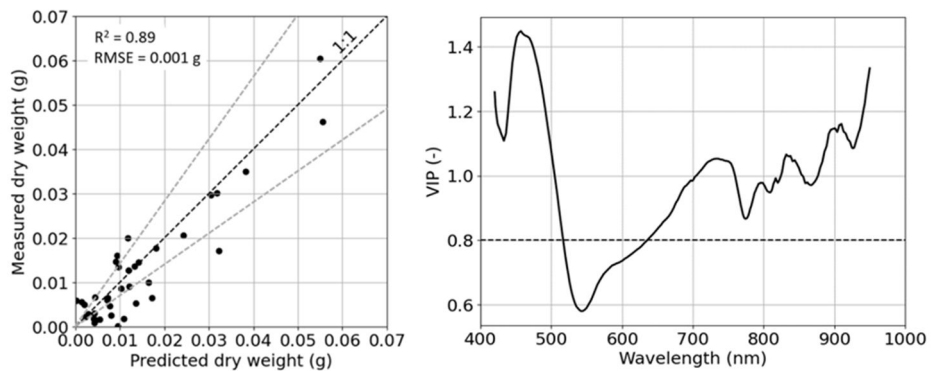


図4 根の乾物重の実測値とPLSRモデルを用いた推定値の関係(左)および根の乾物重の推定モデルにおける各波長の変数重要度(VIP)(右).左パネル中の灰色点線は、1:1線の±30%の増減範囲を示す.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nomura K., Yasutake D., Kaneko T., Iwao T., Okayasu T., Ozaki Y., Mori M. and Kitano M.	4. 巻 289
2. 論文標題 Long-term estimation of the canopy photosynthesis of a leafy vegetable based on greenhouse climate conditions and nadir photographs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 110433
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scienta.2021.110433	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 Nomura K., Yasutake D., Kaneko T., Takada A., Okayasu T., Ozaki Y., Mori M. and Kitano M.	4. 巻 283
2. 論文標題 Long-term compound interest effect of CO2 enrichment on the carbon balance and growth of leafy vegetable canopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 110060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scienta.2021.110060	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 YASUTAKE Daisuke, NOMURA Koichi, KOBAYASHI Kaito, I Kengo, MATSUMOTO Koji, IWAO Tadashige, MORI Makito, KITANO Masaharu	4. 巻 60
2. 論文標題 Analyzing the Carbon Partitioning Characteristics and Their Dependence on Leaf Growth Stage in Chinese Chive Using ^{13}C Tracer Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environment Control in Biology	6. 最初と最後の頁 39～42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2525/ecb.60.39	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 Nakai Hiromi, Yasutake Daisuke, Kimura Kensuke, I Kengo, Hidaka Kota, Eguchi Toshihiko, Hirota Tomoyoshi, Okayasu Takashi, Ozaki Yukio, Kitano Masaharu	4. 巻 196
2. 論文標題 Dynamics of carbon export from leaves as translocation affected by the coordination of carbohydrate availability in field strawberry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental and Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 104806～104806
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.envexpbot.2022.104806	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 Nomura Koichi, Wada Eriko, Saito Masahiko, Yamasaki Hiromi, Yasutake Daisuke, Iwao Tadashige, Tada Ikunao, Yamazaki Tomihiro, Kitano Masaharu	4. 巻 57
2. 論文標題 Estimation of the Leaf Area Index, Leaf Fresh Weight, and Leaf Length of Chinese Chive (<i>Allium tuberosum</i>) Using Nadir-looking Photography in Combination with Allometric Relationships	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 HortScience	6. 最初と最後の頁 777 ~ 784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21273/HORTSCI16569-22	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 Tanizaki Tsukasa, Yokoyama Gaku, Kitano Masaharu, Yasutake Daisuke	4. 巻 36
2. 論文標題 Contribution of diffusional and non-diffusional limitations to the midday depression of photosynthesis which varies dynamically even under constant environmental conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Agrophysics	6. 最初と最後の頁 207 ~ 212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.31545/intagr/151055	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 Yamaguchi Hiromu, Yasutake Daisuke, Hirota Tomoyoshi, Nomura Koichi	4. 巻 58
2. 論文標題 Nondestructive Measurement Method of Leaf Area Index Using Near-infrared Radiation and Photosynthetically Active Radiation Transmitted through a Leafy Vegetable Canopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 HortScience	6. 最初と最後の頁 16 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21273/HORTSCI16761-22	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 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 平島彩香, 安武大輔, 広田知良, 岡安崇史, 伊藤次郎
2. 発表標題 3Dカメラで計測した個葉の傾きを考慮した葉面受光量およびガス交換特性の推定
3. 学会等名 日本農業気象学会九州支部2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口洋夢, 安武大輔, 広田知良
2. 発表標題 作物群落における400-1000 nmの透過光を用いたLAIの非破壊推定法
3. 学会等名 日本農業気象学会九州支部2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 次郎丸雪依, 山口洋夢, 安武大輔, 広田知良
2. 発表標題 ハウレンソウ群落内における鉛直方向の光強度の減衰 - 群落の成長に伴った減衰の挙動 -
3. 学会等名 日本農業気象学会九州支部2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安武大輔
2. 発表標題 植物生産環境・生理生態情報の「見える化」と「使える化」を目指して
3. 学会等名 日本生物環境工学会九州支部2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口洋夢, 安武大輔, 広田知良
2. 発表標題 ハウレンソウ群落における400-1000 nmの透過光を用いたLAIの長期連続推定
3. 学会等名 日本農業気象学会2022年全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子諄, 安武大輔, 横山岳, 山口洋夢, 広田知良
2. 発表標題 NFT水耕栽培における根群の反射スペクトル解析による高次元成長状態の可視化
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安武大輔
2. 発表標題 九州大学における生物環境工学教育研究の取り組み
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口洋夢, 横山岳, 小野信太郎, 安武大輔, 広田知良
2. 発表標題 イチゴ葉における400-900 nmの反射スペクトルを利用した光合成能力の推定 - 葉温が精度に及ぼす影響 -
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 307. 安武大輔, 北内拓樹, 野村浩一, 北野雅治, 岡安崇史, 尾崎行生, 広田知良
2. 発表標題 NFT水耕栽培における根群の成長モニタリングシステム - 地上部も含めた統合評価に向けて -
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤寿樹, 安武大輔, 横山岳, 北野雅治, 野村浩一, 広田知良
2. 発表標題 二つ葉の異なる成長段階における光合成モデルパラメータの分布
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安武大輔
2. 発表標題 データ駆動型農業の実現に向けて農業気象関連情報を如何に取得して使うか考える：気温および光合成を例にして
3. 学会等名 日本農業気象学会九州支部2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤寿樹, 安武大輔, 野村浩一, 山根信三, 北野雅治, 横山 岳, 広田知良
2. 発表標題 二つの葉の成長に伴う光合成産物分配の動態
3. 学会等名 日本生物環境工学会九州支部2022年熊本大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口洋夢, 横山岳, 小野信太郎, 安武大輔, 広田知良
2. 発表標題 キュウリ個葉における400 - 900 nmの反射・透過・吸収スペクトルを用いた光合成能力の推定
3. 学会等名 日本農業気象学会2023年全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子諄, 安武大輔, 横山岳, 広田知良
2. 発表標題 根群の反射スペクトルを利用した乾物重の推定モデルの構築
3. 学会等名 日本生物環境工学会2023年豊橋大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安武大輔, 佐藤寿樹, 野村浩一, 山根信三, 北野雅治, 横山岳, 広田知良
2. 発表標題 二ラにおける光合成産物の器官別分配特性は葉の成長に伴って変動する - 炭素安定同位体を用いた実験 -
3. 学会等名 日本生物環境工学会2023年豊橋大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子諄, 安武大輔, 横山岳, 広田知良
2. 発表標題 根群の反射スペクトルを利用した乾物重推定モデル - 部分的最小二乗回帰による推定精度の向上 -
3. 学会等名 日本生物環境工学会九州支部2023年北九州大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子諄, 安武大輔, 横山岳, 広田知良
2. 発表標題 RGBカメラとスペクトルカメラを使用した根の乾物重の推定精度の比較
3. 学会等名 日本農業気象学会2024年全国大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学 気象環境学研究室
http://www-met.bpes.kyushu-u.ac.jp/

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	佐合 悠貴 (Sago Yuki) (20648852)	山口大学・大学院創成科学研究科 准教授 (15501)	
研究分担者	江口 壽彦 (Eguchi Toshiki) (40213540)	九州大学・実験生物環境制御センター・准教授 (17102)	
研究分担者	北野 雅治 (Kitano Masaharu) (30153109)	高知大学・IoP共創センター・特任教授 (16401)	

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