

分光反射によるキャノピー機能特性評価：ファンク
ショナルバイオジオグラフィーへ

メタデータ	言語: ja 出版者: 公開日: 2021-03-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 王, 権 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00027964

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04933

研究課題名(和文) 分光反射によるキャノピー機能特性評価：ファンクショナルバイオジオグラフィーへ

研究課題名(英文) Assessing canopy scale functions through reflected spectra: a road towards functional biogeography

研究代表者

王 権 (Wang, Quan)

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：50402235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：分光特性から個葉およびキャノピーを対象とした構造的、生化学的パラメータの推定は数多く試みられているが、生理応答の推定の研究は極めて遅れている。本研究はキャノピー内部の生理・生化学・構造的要因と分光特性の複雑性起因の解明に挑戦した。対象は温帯落葉広葉樹林、特にブナであり、分光特性と構造、生化学と生理生態パラメータ同時測定にした。分光反射特性に基づいた経験的な指数探索及びPLSR、輻射伝達モデルによる感度分析により光合成能力を表示するパラメータと蒸散を同時に評価可能な指数を開発した。本研究によって、分光特性からキャノピースケールでの生理応答の予測可能性が評価され、特定のバンドも明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により解明した分光反射特性と生理特性との関連性は将来的に生態系スケールでの生理応答の理解に繋がり、地球規模の物質循環メカニズムの解明とFunctional Biogeographyの発展に寄与できる。

研究成果の概要(英文)：Retrieval of leaf or canopy scale structural and biochemical parameters from reflected spectra has been widely attempted in current, while few have ever set eyes on estimating physiological properties yet. In this study, we have challenged to reveal the complicated effects on canopy scale reflectance resulted from within-canopy variations of structural, biochemical and physiological properties. Both empirical approaches and radiative transfer model-based approaches were applied for data analysis, from which indices for tracing photosynthetic parameters (V_{cmax} and J_{max}) and transpiration and PLSR models for transpiration were developed. Sensitivity analysis has further revealed relative contributions of different parameters on each wavelength, from which the bands with more effects from physiological properties were determined. The results obtained from this study should help to pave a way for assessing ecosystem-scale functions from reflected information.

研究分野：森林科学

キーワード：分光反射 生理応答 キャノピー RTM 機能評価

1. 研究開始当初の背景

Functional Biogeography は異なるスケールにおける機能の多様性に関する新たな学問である (PNAS, 2015)。生態系の環境応答の理解及び予測の理論的なベースラインとなり、広い分野での適用が呼びかけられている。リモートセンシングは、時間的動態を含めた地球上の生態系を俯瞰することが可能な唯一の方法であり、広域を対象とした生態系機能評価での需要が高まっている。Functional Biogeography において、分光特性を利用した生理機能の評価は鍵である。

分光特性から個葉およびキャノピーを対象とした構造的、生化学的パラメータの推定が数多く試みられているが、光合成の代謝作用における生理応答の推定に関する研究は極めて遅れており、Gamon et al. (1992) による事例などがわずかにあるだけである。さらに、キャノピースケールでの生理的応答特性と分光反射特性の関係は、個葉スケールでの関係と明らかに異なる。例えば、研究代表者らは平成 27-28 年度挑戦的萌芽研究において、分光反射特性からカルビンサイクルを評価するための研究を行い、個葉スケールでの植物生理応答の違いが分光反射特性に影響を与えることを明らかにした (Wang et al., 2008; 2009) が、キャノピー内の構造および個葉の生化学・生理特性は鉛直・水平方向で著しく不均一であり、複雑なアップスケーリングが必要となる。

個葉スケールからキャノピースケールへのアップスケーリングには、葉の着葉位置、分布、葉角、葉形などの地上部器官の空間的な構成を網羅する情報が必要である。さらに、先方研究 (Wang and Li, 2013) で林冠内における個葉の生化学・生理的特性のばらつきがキャノピースケールにおける反射特性に大きな影響を及ぼすことを明らかにしており、高精度の反射特性シミュレーションには、このばらつきを考慮する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、本研究の主要な課題は、キャノピースケールでの生理的な応答特性と分光反射特性の関係解明である。特に、以下の研究を中心とする：

- (1) 生理応答を評価できる特定波長および植生指数の開発；
- (2) 個葉での特定波長、植生指数は、キャノピースケールでの検証；
- (3) キャノピー内部の生理・生化学・構造的要因のバリエーションとキャノピースケール分光特性の複雑性を引き起こす要因の解明；
- (4) 分光特性からキャノピースケールでの生理応答予測 (Functional Biogeography への挑戦) の可能性評価。

3. 研究の方法

温帯落葉広葉樹、特にブナ林を対象として、個葉からキャノピースケールにおける分光特性と生理応答の関係を明らかにする。キャノピー内の高さ、方位を考慮した様々な環境勾配に沿って異なるレベルで分光特性と生理応答を同時に測定する。個葉で得られた情報をキャノピースケールにアップスケーリングするため、レーザースキャナによる詳細な 3 次元キャノピー構造情報を得る。フィールドで得られた情報を MRTM モデルに実装し、生理応答に対する生理的・生化学的・構造的要因ごとの影響評価 (感度分析) を試みる。

(1) 研究サイト

調査は、静岡大学が有する南アルプスフィールド (中川根) と新潟県苗場山ブナ林を中心に行う (図 1)。苗場山のブナ林は標高 500~1500m に広く分布し、1970 年代には IBP の枠組みにより固定試験地が設置され、現在まで継続調査されている。対象とする苗場山標高 900m の試験地には観測調査用の観測用タワーが設置されている他、基礎的な情報が整備されている。また、試験地は、世界中で 50 の調査サイトが登録されているスペクトラルネットワーク (SpecNet) の日本唯一の登録サイトである。

しかし、2018 年 9 月 30 日の台風 24 号により、観測用タワー 2 基と全ての野外測定機械が全壊するという甚大な被害を受け、その後のデータ収集は断続的になった。

(2) 現地測定

生理生態特性と高分解能分光反射特性の同時測定

個葉スケールおよびキャノピースケールでの生理的、生化学的情報の収集と同時に、それぞれのスケールに応じた高分解能分光反射特性を測定した。キャノピーを 5 層、4 方位の 20 区画に区分し、各区画における微気象 (PAR, RH, T) および葉温とあわせて、葉の生理的 (光合成速度、蒸散速度、最大量子収率)、生化学的 (CN 含有量、クロロフィル量、カロチノイド量、キサント



図 1 研究サイト



図 2 台風 24 号により損害

フィルサイクル色素量、ルビスコ含量)、形態的特性(葉面積、葉厚、比葉面積)、分光反射特性を測定した。

個葉の光合成速度、蒸散速度の測定には、携帯用光合成蒸散測定装置(LI-6400, LICOR)を用い、樹液流量の測定には、シュートスケールでは茎熱収支センサ(桜谷センサ、自作)、幹レベルではグラニエセンサ(自作)を、それぞれ測定した。さらに、キャノピーでのガスフラックスの測定には渦相関システム(LI-7500, LICOR)を用いた。

分光反射特性については、個葉スケールでは携帯型分光測定器(FieldSpec 4, ASD)と人工光源を内蔵したリーフクリップを用いて測定し、キャノピースケールでは APOGEE を用いて連続測定を行った。

3次元キャノピー構造情報の測定

対象試験地における地上レーザー測定により、詳細な3次元構造情報を整備した。地上レーザー測定には、レーザースキャナ(Focus3D, FARO)を使用した。

(3) キャノピースケールでの RTM モデルの構築

キャノピー内垂直方向における葉の特性分布が考慮されたキャノピー放射伝達モデルによって、キャノピースケールでの分光反射特性をシミュレーションした。更に、SCOPE をベースとして、放射伝達とガス交換モデルを融合した多層 SCOPE を発展させた。

(4) データ解析

分光反射指標の探索

総当たり法によって個葉/キャノピー生理パラメータとの相関が最も高い指数を特定した。

PLSR

個葉及びキャノピースケールでの生理パラメータの変化を追跡するために、また、分光反射率もしくは1次微分値を用いた回帰モデルを開発するために、偏最小2乗回帰(PLSR)を利用した。

SCOPE

典型的な温帯落葉広葉樹生態系における水及び炭素循環と分光反射特性の応答を解明するために、新たに開発した多層 SCOPE を使用した。

4. 研究成果

(1) キャノピー内のバリエーション：生化学特性

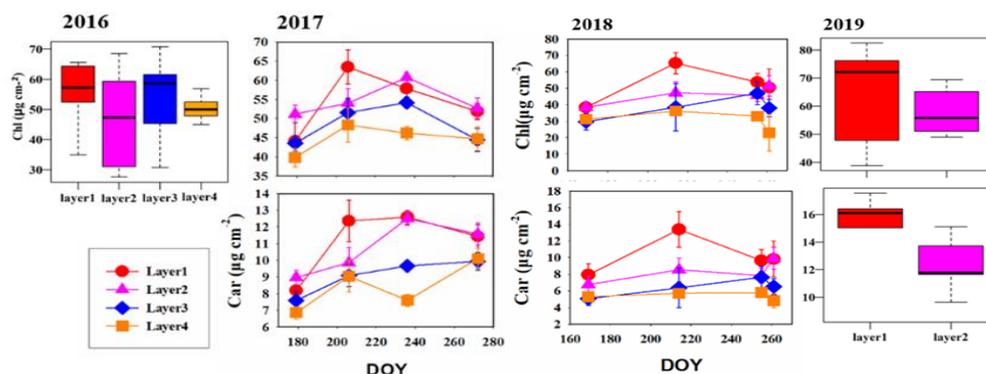


図3 2016年から2019年までに異なる層のChl(chorophyll)とCar(carotenoid)の統計及び季節変化

図3に示したように、2016年と2019年は8月のみに測定を行った。2016年のChlの平均値は45.88から55.29 µg cm⁻²の間で変動し、層と層の間での有意差(p > 0.05)は見られなかった。同様に、2019年において、Chl(それぞれ64.84と57.79 µg cm⁻²)と carotenoid(それぞれ14.66と12.41 µg cm⁻²)の両方ともに顕著な層変化(p > 0.05)見られなかった。2017年と2018年には、ChlとCarの季節変化を測定した。2017年では、ChlとCarは6月中旬から7月までに増加したが、9月からは下降した。Chlの平均値は、2017年には45.21と55.20 µg cm⁻²の間に変動したが、2018年には30.92と54.66 µg cm⁻²の間で変動した。一方、Carの平均値は2017年に8.37と11.52 µg cm⁻²の間で変動し、2018年に5.42と10.83 µg cm⁻²の間に変動しました。ChlとCarの両方ともに、第1層と第2層は第3層と第4層より顕著的に高かった。

(2) キャノピー内のバリエーション：ガス交換特性

図4に、2017年と2018年の6月中旬から9月中旬までの層別の V_{cmax} 及び J_{max} の季節変化を表示した。層別 V_{cmax} の季節変化は2017年において12.29と53.41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の間で変動し、2018年には10.95から56.01 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の間で変動しました。第1層の V_{cmax} 最高平均値は2018年6月に現れた(48.78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。2017年8月と2018年6月に、第1層と第2層の V_{cmax} 値は第3層と第4層の V_{cmax} 値より顕著的に高かった。第3層と第4層の J_{max} 平均値は第1層と第2層の J_{max} 平均値より低かった。一方、 V_{cmax} と J_{max} 両方ともに顕著的な時間変化は見られなかった。

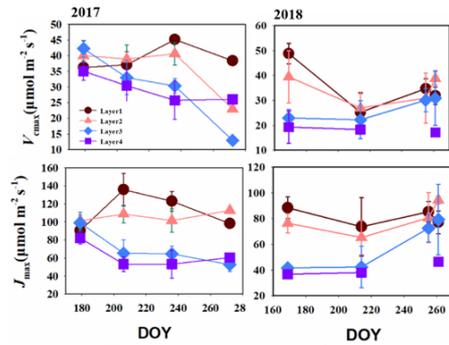


図4 層別 V_{cmax} 及び J_{max} の季節変化

(3) キャノピー内のバリエーション：分光反射特性

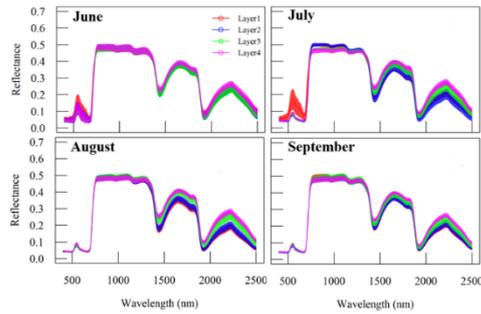
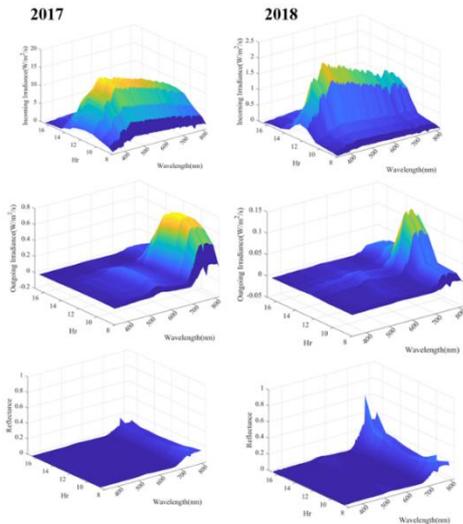


図5 層別の個葉スケールでの反射特性

本研究では、4年の研究期間中、連続的に個葉スケールの反射特性を測定した。2016年と2019年には8月のみ、2017年と2018年には季節変化(6月から9月までに)を測定した。例として、2017年の6月中旬から9月中旬までに測定された層ごとの個葉スケールの反射特性を図5に示した。個葉スケールの反射特性は明らかに、層別に変動した。6月と7月の可視光範囲内(400-700nm)の反射は、第1層はほかの層より高い数字を示した。それに対して、8月と9月には顕著的な差別は見られなかった。多数の波長では平均値は第4層で最高であり、特に赤外短波において(SWIR,1300-2500nm)高い値を示した。反射値は1300nmから2500nmまでの範囲において、第4層から第1層に向かって徐々に減少した。

キャノピー上の入射放射と反射放射は2017年2月から2018年9月までにAPOGEE Spectroradiometerにより自動的にモニターされた。それにより、キャノピースケールの反射率を計算した。ここでは、2017年と2018年の6月のデータを図6に示した。入射放射は400-500nmで最も高く、500nmからは徐々に下降した。一方では、キャノピースケールの反射放射は700-820nm(NIR)の範囲で高く、500-600nmに小さな谷があった。キャノピースケールの反射率は個葉の反射率よりはるかに低かった(<0.2)。

図6 2017年と2018年の6月にキャノピー上の入射放射と反射放射及びキャノピースケールの反射率



(4) キャノピー内のバリエーション：構造特性

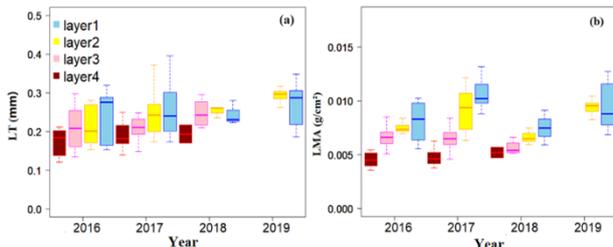


図7 2016から2019において異なる層のLT(Leaf thickness)(a)及びLMA(leaf mass per area)(b)

2016年から2019年までの四年間において、LT値は0.120と0.396mmの間で変動した(図7)。LTの最高平均値は2019年の第2層で見られ(0.295mm)、標準誤差は0.006mmであった。LTの最低平均値は2016年の第4層で見られ(0.168mm)、標準誤差は0.010であった。

第1層から第4層までのLMA値は、2016年に0.0033と0.0103 g cm^{-2} の間で、2017年には0.0038と0.0143 g cm^{-2} の間で、また、2018年には0.0047と0.0092 g cm^{-2} の間で

変動した。LMAの最低平均値は2016年の第4層で見られ(平均値:0.0045 g cm^{-2} 、標準誤差:0.0002 g cm^{-2})、2017年の第1層での最高値(平均値:0.0108 g cm^{-2} 、標準誤差:0.0005 g cm^{-2})の半分以下であった。全体的には、2019年を除いて、LMA値は第1層から第4層に向かって徐々に下降する傾向を示した。

(5) 分光反射特性による生理特性の評価

本研究主な目的の一つはハイパースペクトル情報を利用して、光合成能力を表示するパラメータ V_{cmax} (maximum rate of rubisco carboxylation) と J_{max} (maximum rate of photosynthesis electron transport) を評価する手法の開発である。従って、現在リモートセンシング中もっともポピュラーな経験的方法であるハイパースペクトル植生指数の利用可能性を調査した。気体交換と反射特性の同歩データを含むフィールドデータセットに基づいて、総計10種報告された指数を検証した。それらの RPD 値により、明らかに一つの指数も推薦できないことがわかった (全ての RPD 値は 1.4 未満、図 8)。特に、よく利用される PRI や RVSI のような指数を用いても再現性は悪かった。

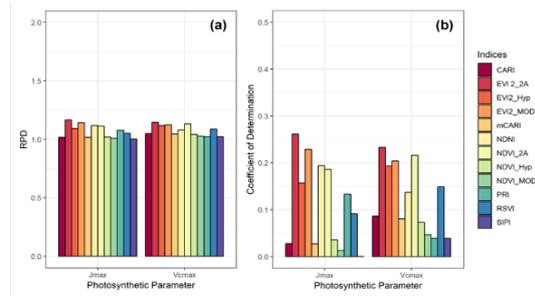


図 8 10 種報告されたハイパースペクトル指数の V_{cmax} と J_{max} 推定精度の検証

本研究では、フィールドデータセットに基づいて新しい指数の開発を試した。結果として、一階導関数スペクトルを利用した $DDn(1831,419)$ と $D(1629,1658)$ はそれぞれ V_{cmax} と J_{max} の一番良い指数だということがわかった。この二つの指数の RPD 値はそれぞれ 1.43 と 1.78 です。これらの結果は、 DDn タイプの指数が、光合成特性を再現するための一般形式として利用できることを示唆する。

蒸散量の従来の野外計測は常に多くの時間を要し、大きな空間もしくは時間スケールでの計測は不可能である場合が多い。本研究では、蒸散量を追跡する上で最適な指標を明らかにするために、異なる波長における反射率を組み合わせた分光反射率もしくは一階微分スペクトルに基づく 10 種類の指標を検討した。結果として、一階微分スペクトルに基づく指標が、反射率に基づく指標よりも、キャノピースケールでの蒸散量を評価する上で有効であった。キャノピースケール蒸散量を追跡する上で最適であった指標は 1 次微分値に基づく $dID(470, 815)$ であり、決定係数は 0.60 であった (図 9)。

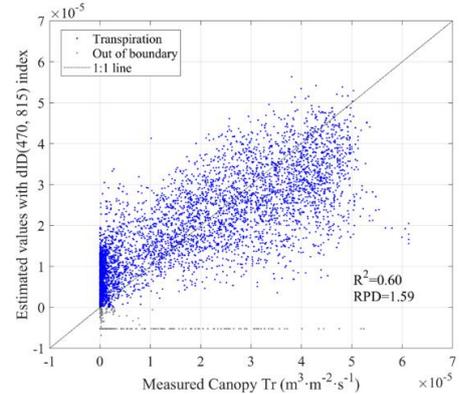


図 9 $dID(470, 815)$ 指数推定された蒸散量の精度評価

さらに、分光反射スペクトルと一階微分スペクトル使用し、それぞれ PLSR 分析した結果、一階微分スペクトルに基づく PLSR モデルの精度は元の分光反射スペクトルに基づく PLSR モデルの精度同じレベルであることを解明した (0.70 vs. 0.69)。しかし、両方ともに一階微分スペクトルに基づく指標より高い推定精度を得られた。

(6) キャノピースケール分光特性の複雑性起因: 輻射伝達モデルに基づく感度分析

本研究は輻射伝達モデルに基づいて、Extended Fourier amplitude sensitivity test (eFAST) 手法を使用し、キャノピースケール分光特性に対して構造、生化学と生理生態パラメータの感度分析を行った。パラメータ以下の通り:

- 個葉: N, Chl, Car, Cw, Cm;
- キャノピー構造: LAI, LIDFa, LIDFb;
- 生理特性: V_{cmax} , Ball-Berry パラメータ m, V_{cmax} , kV_{cmax}

図 10 に示したように、個葉構造パラメータ N は全範囲のキャノピー反射率に対して一定的な影響を持つ (<10%)。キャノピー構造パラメータの影響を受ける反射率は主に 780 の NIR ドメインであった。一方、色素は可視バンド内のキャノピースケール分光特性が大きく影響した。植物生理特性は 450nm と 675nm 辺で一定的な影響を持つ (>5%) ことがわかった。

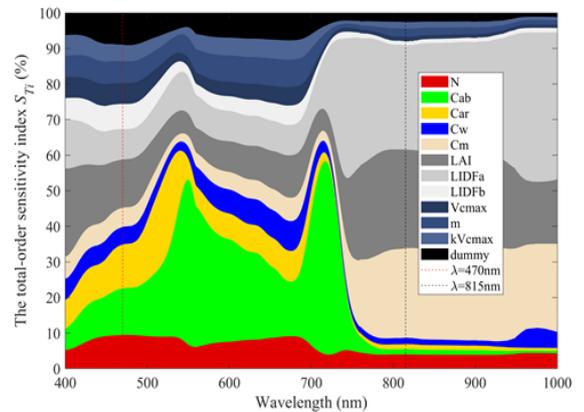


図 10 輻射伝達モデル SCOPE に基づくキャノピースケール分光特性の感度分析

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Jia Jin, Quan Wang	4. 巻 11
2. 論文標題 Evaluation of Informative Bands Used in Different PLS Regressions for Estimating Leaf Biochemical Contents from Hyperspectral Reflectance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	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） 10.3390/rs11020197	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 Jian Jin, Quan Wang	4. 巻 73
2. 論文標題 Informative bands used by efficient hyperspectral indices to predict leaf biochemical contents are determined by their relative absorptions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	6. 最初と最後の頁 616～626
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.08.002	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 Rei Sonobe, Quan Wang	4. 巻 227
2. 論文標題 Assessing hyperspectral indices for tracing chlorophyll fluorescence parameters in deciduous forests	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Management	6. 最初と最後の頁 172～180
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.085	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 Rei Sonobe, Quan Wang	4. 巻 145
2. 論文標題 Nondestructive assessments of carotenoids content of broadleaved plant species using hyperspectral indices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computers and Electronics in Agriculture	6. 最初と最後の頁 18～26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.compag.2017.12.022	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 Rei Sonobe, Quan Wang	4. 巻 37
2. 論文標題 Hyperspectral indices for quantifying leaf chlorophyll concentrations performed differently with different leaf types in deciduous fore	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ecological Informatics	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.1016/j.ecoinf.2016.11.007	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 Rei Sonobe, Quan Wang	4. 巻 9
2. 論文標題 Towards a Universal Hyperspectral Index to Assess Chlorophyll Content in Deciduous Forests	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.3390/rs9030191	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 Jia Jin, Bayu Arief Pratama, Quan Wang	4. 巻 12
2. 論文標題 Tracing leaf photosynthetic parameters using hyperspectral indices in an alpine deciduous forest	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	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) DOI:10.3390/rs12071124	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 Guangman Song, Quan Wang, Jia Jin	4. 巻 11
2. 論文標題 Leaf photosynthetic capacity of sunlit and shaded mature leaves in a deciduous forest	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	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) DOI:10.3990/f11030318	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20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Bayu Arief Pratama, Jia Jin, Rei Sonobe, Quan Wang
2. 発表標題 Informative spectral bands to estimate photosynthesis capacity using hyperspectral reflectance
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Huang Kechao, Quan Wang, Rei Sonobe
2. 発表標題 Vertical variation of PPFD, leaf and air temperature in canopy for a deciduous broad-leaved forest in Nakagawane, Japan
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mingxing Zhang, Jia Jin, Rei Sonobe, Ryouhei Kondo, Kechao Huang, Quan Wang
2. 発表標題 Seasonal dynamics of leaf area index in a typical deciduous forest
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤 凌平, 藺部 礼, 王 権
2. 発表標題 光学的測定による LAI 推定法の比較
3. 学会等名 日本写真測量学会平成30年度秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池 大樹, 園部 礼, 王 権, 花輪 光彦, 飯尾 淳弘
2. 発表標題 ハイパースペクトルリモートセンシングを活用した落葉広葉樹の蒸散速度評価
3. 学会等名 日本写真測量学会平成 30年度秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦 雄太, 園部 礼, 王 権
2. 発表標題 分光反射特性を用いたブナ (Fagus crenata) における生化学特性の把握
3. 学会等名 日本写真測量学会平成 30年度秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rei Sonobe, Quan Wang
2. 発表標題 Assessing leaf photosynthetic capacity using hyperspectral reflectance
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田北斗, 末森風花, 三浦雄太, 園部礼, 王権
2. 発表標題 光合成色素の樹冠内分布と分光特性の関係
3. 学会等名 第7回中部森林学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hong Bo Cheng, Yuta Miura, Rei Sonobe, Quan Wang
2. 発表標題 An improved version of PROSPECT for better retrieval of leaf biochemical properties
3. 学会等名 第7回中部森林学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 園部 礼, 王 権
2. 発表標題 分光反射特性を活用した落葉広葉樹のLeaf mass per area (LMA)推定
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第63回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三浦 雄太, 園部 礼, 王 権
2. 発表標題 樹冠内Rubisco量分布の把握における分光特性の活用
3. 学会等名 日本写真測量学会平成29年度秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 園部 礼, 王 権
2. 発表標題 PROSPECT-Dを用いた落葉広葉樹の生化学特性の評価
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園部礼, 王権
2. 発表標題 分光反射率を用いた落葉広葉樹のクロロフィル量推定
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第61回(平成28年度秋季) 学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中島義明, 榎本正明, 園部礼, 王権
2. 発表標題 分光反射率を用いたヒノキ苗における水ストレスの評価
3. 学会等名 第6回中部森林学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山田真由美, 中島義明, 王権
2. 発表標題 分光反射特性に基づくブナの蒸散量推定
3. 学会等名 第6回中部森林学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池田佳苗, 園部礼, 王権
2. 発表標題 分光反射特性によるブナの時期別クロロフィル推定: PROSPECT-5のinversionから
3. 学会等名 第6回中部森林学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 園部礼, 王権
2. 発表標題 ハイパースペクトルデータを用いたキサントフィルサイクルのエポキシ化率の評価
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Guangman Song, Quan Wang
2. 発表標題 Temporal patterns of leaf photosynthetic and other related traits in a deciduous forest
3. 学会等名 The 6th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園部 礼, 小林 真也, 王 権
2. 発表標題 iPLSを用いた分光反射特性によるブナの蒸散速度評価
3. 学会等名 日本写真測量学会令和元年度秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園部 礼, 王 権
2. 発表標題 クロロフィル含量推定を目的とした分光反射指数の評価
3. 学会等名 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会
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
研究分担者	水永 博己 (Mizunaga Hiromi) (20291552)	静岡大学・農学部・教授 (13801)	
研究分担者	園部 礼 (Sonobe Rei) (40755352)	静岡大学・農学部・助教 (13801)	
研究分担者	飯尾 淳弘 (Iio Atsuhiro) (90422740)	静岡大学・農学部・准教授 (13801)	