

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07771

研究課題名（和文）3次元地上レーザーデータを用いた樹木間競争指標の開発

研究課題名（英文）Developing tree competition index using 3D terrestrial laser scanner

研究代表者

加藤 顕（Kato, Akira）

千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授

研究者番号：70543437

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：地上レーザーを用いて3次元データを取得し、樹木の競争状態を把握することを目的とする。具体的には、地上レーザーによる3次元データから森林内の構造分布を把握し、構造から競争関係を指標化する。様々な樹種や林齢の林分構造を比較し、競争状態と構造の違いを関連付けて解析した。森林の競争状態が把握できれば、森林管理に有効な、高度な森林情報を提供できる。ボクセル解析を用いてフラクタル次元を計算し、森林構造の発達段階が異なる樹種で比較した結果、樹種とは関係なく競争状態を指標化できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

競争指標は地域や樹種に特化しない汎用性の高い指標が望まれている。本研究で3次元データを用いた汎用的な競争指標を確立したことで、得られた知見をそのまま現場で実装できる。さらに、枝打ちや間伐等による樹木管理の効果を評価できるため、学術的意義も高い。従来の経験則に基づいた森林管理よりも、より確かな情報による森林計画を行うことができる。3次元データは地上レーザー以外にもドローンなど様々な方法で容易に取得できるようになっているため、今後3次元データの利用拡大に伴い、本研究の成果の社会的意義が高まる。

研究成果の概要（英文）：Tree competition is evaluated by 3D data using terrestrial laser scanner (TLS). Under forest canopy 3D data is acquired by TLS and analyzed to understand the spatial complexity of forest for tree competition. The data taken over different species and different age stands were compared relative to their vertical strata. There was a relationship between the number of fractal and forest complexity irrelevant to forest species through the voxelization process which generates different size of voxels and applied the voxels on 3D discrete points. As a result, this research found the fractal dimension is a useful indicator to understand the state of forest competition.

研究分野：森林科学

キーワード：3次元 階層構造 レーザー リモートセンシング フラクタル 垂直分布 自己間引き ボクセル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、国有林では単一樹種の一斉林を部分皆伐や間伐を行い、広葉樹を植林することで複層林化した針広混交林とし、多様性のある森林を整備している(文献1)。森林構造の垂直分布が複雑になると、そこに住む動物種の種多様性を増す(文献2)ため、森林構造が変化することで、動物の生息環境を多様化できると考えられる。森林の3次元構造を把握することは、森林遷移を研究対象とする森林生態学や人工林の生育環境を整備する森林計画学では重要なテーマである。しかし、これまで森林構造を大まかな垂直分布としてしか把握していなく、その各階層の定義も林分によって異なるため、解析が難しい。特に垂直構造の発達、光に対する樹木の個体間競争の結果であり、光に対して各個体が構造を発達させ形作られたものである。本研究では個体間競争、すなわち3次元構造を考慮した競争過程を明らかにしたい。

樹木の個体成長は、立木の空間分布、個体間競争、生育する環境条件によって影響を受ける(文献3)。これまでの研究では、個体間競争を表す「競争指数」は、立木の空間分布を考慮した距離従属競争指標で評価されてきた。立木の空間分布は集中分布から一様分布へと樹木が成長するに従い変化する。そのパターンを決める要因は、根元の位置だけではなく、樹木構造の発達に伴う空間を占める割合と関係があると考え、2次元では把握できなかった3次元での空間占有率を決める樹木の成長戦略を本研究では読み解いていきたい。

これまでの競争指標では人が測定できる範囲での樹木データしか用いてこなかったが、リモートセンシングデータが利用され、樹木の空間的広がりを考慮するようになった。例えば、空中写真や高解像度衛星画像による樹木間距離、樹冠投影面積を用いて競争指数の指標化できる。しかし、上空からのデータでは森林内部の状況がわからないため、森林内部の状況も正確に把握できる地上レーザーによる3次元データ(文献4)を活用し、これまで測定できなかった森林の構造配置をより正確に把握したい。

本研究の特徴は、個体間競争を把握するために3次元データを利用して、競争状態を把握し、異なる森林構造で解析することにある。個体間競争を定量化するために、1960年代以降から競争指標(Competition Index)の開発がさかんに行われた。幹直径が地形の影響を受けにくいいため、幹直径を主体に指標が開発されてきた。パイプモデル(文献5)により、幹直径から樹冠容量を推定する手法も検討され、幹直径だけでは把握しきれない光環境による樹冠や樹形の大きさが注目されるようになった。しかし、樹冠など人の手で計測が不可能な場所にあるため、魚眼画像で得られる空隙率から間接的に推定するしか推定できなかったが、本研究では3次元データを利用することで、競争関係を3次元データから直接把握できるようにする。3次元データから樹冠体積に注目した競争状態を把握する手法も提案され、対象とする樹木の樹冠位置とその上方に位置する樹冠の割合で個体間競争を定量化する手法がある(文献4)。さらにラッピング法(文献6)や α -shape法(文献7)などの手法により3次元データからより正確に林冠部の3次元占有率も計算できるようになった。3次元データでは樹冠部だけではなく、森林全体も取得できるため、本研究では森林全体の競争状態に注目した指標の開発を行った。

競争指標は地域や樹種に特化しない汎用性の高い指標が望まれている。3次元データを用いた汎用的な競争指標が確立できれば、得られた知見をそのまま現場で実装できるため、有用な研究となる。さらに、枝打ちや間伐等による樹木管理の効果を把握できるため、従来の経験則に基づいた森林管理よりも、より確かな情報による森林計画を行うことができる。

2. 研究の目的

本研究は、地上レーザーを用いて3次元データを取得し、樹木の競争状態を把握することを目的とする。具体的には、地上レーザーで取得できる3次元データから森林内の構造分布を把握し、構造から競争関係を指標化する。様々な樹種や林齢の林分構造を比較し、競争状態と構造の違いを関連付けて解析する。森林の競争状態が把握できれば、森林管理に有効な、高度な森林情報を提供できる。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地

針葉樹と広葉樹といった形状が明らかに異なる樹種を対象に、単一樹種が群生している林分でデータ取得を行った。研究対象地域は埼玉、東京、長野、滋賀と全国様々な場所であり、データ取得許可が得られた地域で調査を行った。針葉樹であるスギ(*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)、カラマツ(*Larix kaempferi*)のデータを埼玉県東京大学秩父演習林で取得した。落葉広葉樹であるコナラ(*Quercus serrata*)は、東京都野山北六道山公園の里山林、滋賀県東近江市永源寺森林組合の里山林でデータを取得し、ミズナラ(*Quercus crispula* Blume)は、筑波大学八ヶ岳演習林でデータを取得した。間伐などの人的影響がなく、公園や演習林として長期間保護された自然林に近い場所を研究対象地として選定した。データ取得時期は研究期間中である2016年~2018年の着葉期である夏から秋に調査した。埼玉県は東京大学秩父演習林で2016年7月にスギ・ヒノキ・カラマツ林を中心にデータ取得を行った。スギ林が5カ所、ヒノキ林が3箇所、カラマツ林で3箇所試験区を設定し、2016年6月~7月に調査を行った。東京都では東京都立野山北・六道山公園(武蔵村山市)を調査対象地とし、標高約150m~200mの丘陵地にある平坦な地形でコナラが優占する二次林で調査を行った。コナラ林を中心に14箇所試験区を設定し、2018年6月に調査を行った。長野県では筑波大学八ヶ岳演習林を調査対象地とし、標高約1400mで八ヶ岳の麓に位置し、平均斜度約5%のほぼ平坦な地形である。ミズナラ林を中心に

16 箇所試験区を設定し、2018 年 8 月に調査を行った。滋賀県は滋賀県東近江市永源寺森林組合を研究対象地とし、コナラが優占する起伏がある丘陵地の傾斜面で 8 箇所試験区を設けて、2016 年 9 月に調査を行った。

(2) 研究装置とデータ取得方法

地上レーザーは SICK LMS511(SICK 社製、図 1)を使用した。SICK LMS511 センサーは水平方向にレーザーを照射するラインスキャナーであるが、センサーを縦置きにし、回転台を取り付け 3 次元レーザースキャナーとした。持ち運び可能なバッテリーを動力源として、林内でデータ取得した。1 箇所からのレーザー照射では影になる部分があるため、各試験区の対象木を中心に三角形となるようにセンサーを配置し、影となる場所が無いようにデータを補完した。各センサーを設置する際に、設置箇所から見て視野が十分に確保できる場所(下層植生に覆われていない場所)を注意深く選んだ。3 箇所のセンサー間距離を 10m 以上離し、対象木周辺半径 10m をカバーした。異なる 3 箇所で取得した 3 次元データは自動データマッチング処理で、1 つのデータに結合した。



図 1.本研究で使用した地上レーザーセンサーである SICK LMS511 と回転台、三脚

(3) 3 次元データ処理

本研究ではすべての対象地で同じ条件でデータを取得できるようにし、異なる樹種で取得したデータから構造の違いを比較した。さらに、様々な点密度で得られるデータを比較するため、3 次元データにボクセル法(文献 8)を適用し、箱状構造に変換したデータを用いた。ボクセル法は、様々な密度で取得される 3 次元点群を正規化するには最適な手法である(図 2)。

得られた 3 次元データから、樹木の各部分に分けて解析するのが理想的であるが、各部分に分ける汎用性の高い解析手法がなく、手作業でデータを分けるしかない。さらに広葉樹など不定形な構造を分けるのは難しい。本研究では各部に分けることにこだわらず、林分全体の 3 次元データを考慮した競争指数を解析する手法を検討した結果、フラクタル次元に注目した。

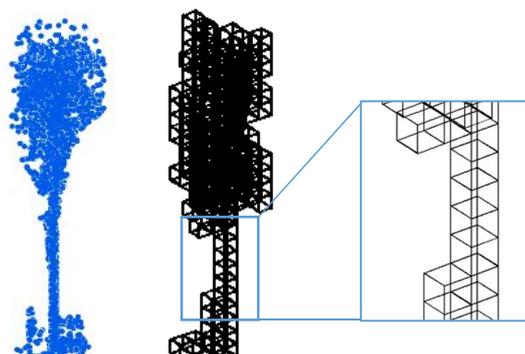


図 2.本研究で使用したボクセル法の説明図

フラクタル解析は単純な以下の式で表せ、この関係式からフラクタル次元を表す係数を求めることができる(文献 9)。フラクタル次元は自己間引きの法則で用いられる手法であり、最適な密度空間を保つ自然状態を把握するには重要な指標である(文献 10)。自己間引きの法則とは、自然状態の一斉林において樹木個体が成長するに従い、その個体群密度を自ら調整する法則である。平均個体重を m 、個体密度を N とすると、定数 a 、 γ を使い以下のような関係式が成り立つ。

$$m = a \times N^\gamma \quad (1)$$

この際、べき乗係数となる γ の値は $-3/2$ に近い値をとり変動することが知られている。自己間引きの法則のべき乗係数 $\gamma = -3/2$ が樹冠フラクタル次元と直線的な関係にあることがわかる。樹冠フラクタル次元とは、樹冠体積と葉量とをべき乗関数で表した際のべき乗係数であり、平均樹冠体積を V_c 、平均葉量を m_L とすると、樹冠フラクタル次元 D 、定数 b を用いて以下のような関係が成り立つ。

$$v_c = b \times m_L^{3/D} \quad (2)$$

この関係を利用し、樹冠の中での葉のつき方から自己間引きの法則が説明されるが、このままこの理論を適用すると、3 次元データを樹冠部だけ分けて、抽出して解析しなければならないため、より汎用性の高い手法として本研究では様々なボクセルサイズからフラクタル次元を導くという方法で対象木全体のフラクタル次元を求めた。本研究では様々な解像度(1cm, 2.5cm, 5cm, 7.5cm, 10cm, 12.5cm, 25cm, 50cm, 75cm, 1m)のボクセル構造を 3 次元データから作成し、箱が 3 次元空間で占める数を数え、その箱の大きさ(解像度)と数(ボクセル数)とのべき乗関係から森林全体のフラクタル次元を計算し、樹種による違いを比較した。本手法を式で表すと以下のようになる(文献 2)。

$$N = a \times V^\gamma \quad (3)$$

定数 a 、 γ として、 N はボクセル数、 V はボクセルの大きさである。

前処理として、地上レーザーによって取得された 3 次元データから、3 つのセンサーで囲まれた場所を 20m x 20m の正方形で切り出し、切り出したデータから地形図である Digital Terrain Model (DTM)を自動で作成した。地形要因の影響を無くすために、DTM を用いて、すべての点群の標高値を引いたデータを作成した。さらに、地形から反射したレーザーデータを除くために、地上から 50cm 以上のみのデータを用いてフラクタル次元の解析を行った。

4. 研究成果

本研究では針葉樹であるスギ・ヒノキ・カラマツについて、広葉樹ではコナラ・ミズナラにつ

いて樹高の違う林分で比較した。現地で取得された3次元データの樹種別の違いを図3で示す。

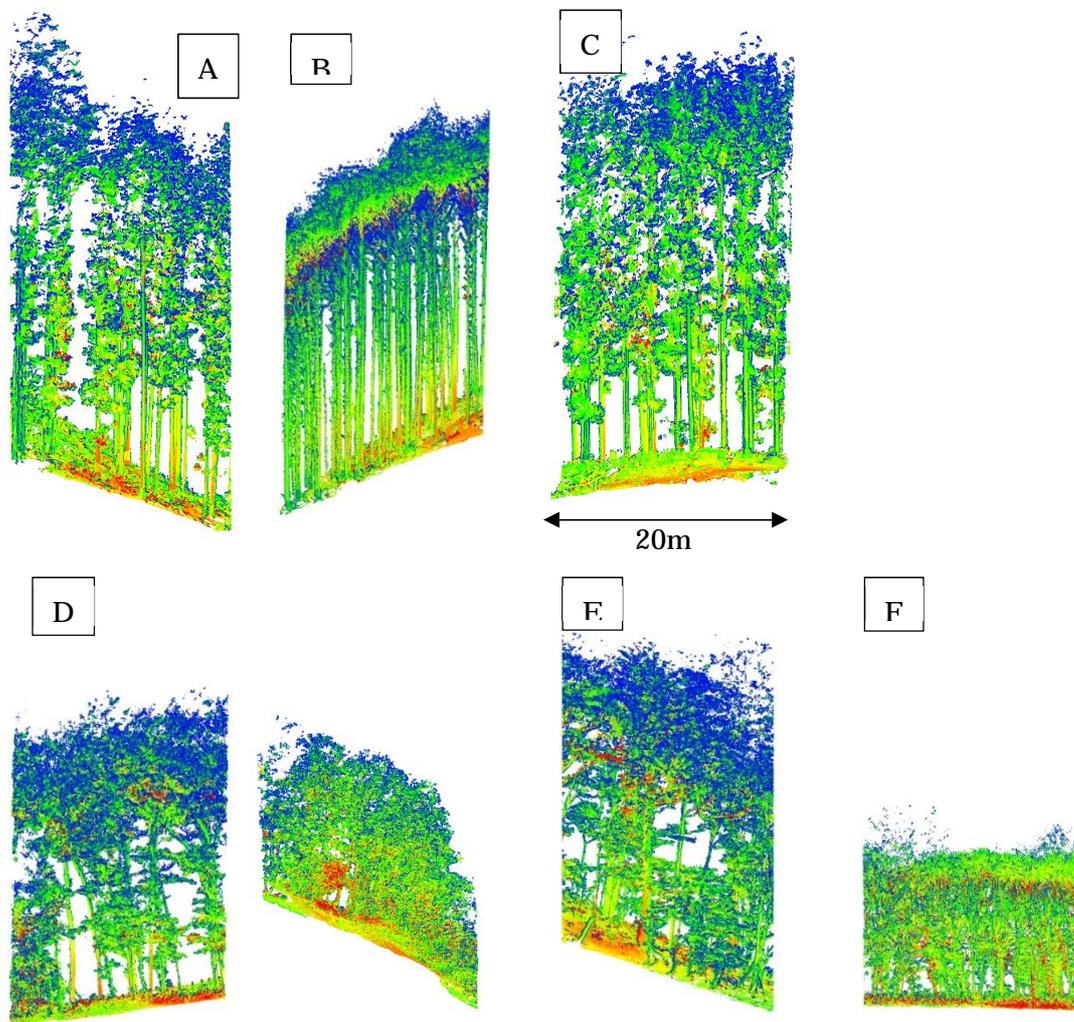


図3. 樹種別3次元データによる樹木形状の違い(A:スギ、B:ヒノキ、C:カラマツ、D:コナラ
左:斜面影響の少ない試験区、右:斜面影響の大きい試験区、E:ブナ、F:ミズナラ)点の色は
センサーからの距離を表し、長い順に青~緑~赤である。

本報告書では代表的な結果のみ掲載する。林分の垂直構造が異なる代表的な2つの試験区を各種用意し(図4)べき乗関係を把握した(図5)。垂直分布が異なる林分を選んだ理由として、同じ種でも複層構造がある林分と高木層の単層しかない林分とでは競争状態が異なると仮定したためである。

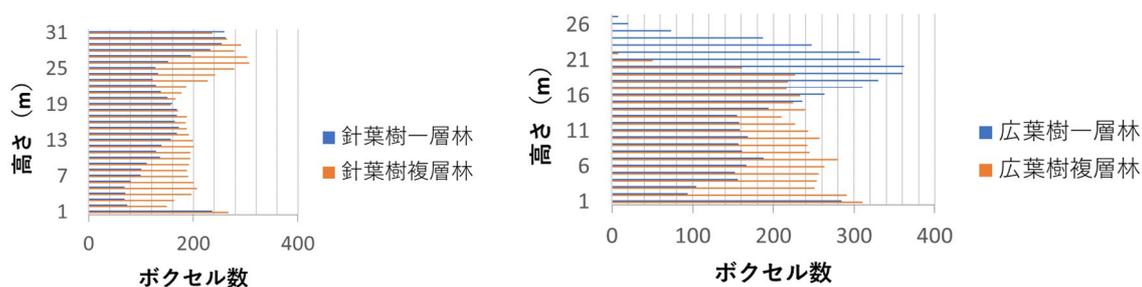


図4. 垂直構造が異なる代表的な林分のボクセル垂直分布(左:針葉樹の例、右:落葉樹の例)

図5より単層から複層になるに従い、当てはめた累乗式(3)の γ がスギは-1.425から-1.493へ、ヒノキは-1.456から-1.473へ、カラマツは-1.439から-1.496へ、ミズナラは-1.603から-1.599へ、コナラは-1.448から-1.55へ、ブナは-1.461から-1.512へと値が減少した。ミズナラ以外はすべて γ 値が減少するという結果を得た。ミズナラの変化量は小さいため、統計検定を行った結果、有意差がないと判定されたため、すべての γ 値が減少する傾向があるという結果を得た。 $-3/2$ が最適な関係だと考えると、複層林化するに従いフラクタル次元が $-3/2$ に近づき、競争状態が安定化していくと考えられる。本解析手法を用いることで、森林構造の最適な個体間間隔を指標として比較することができた。

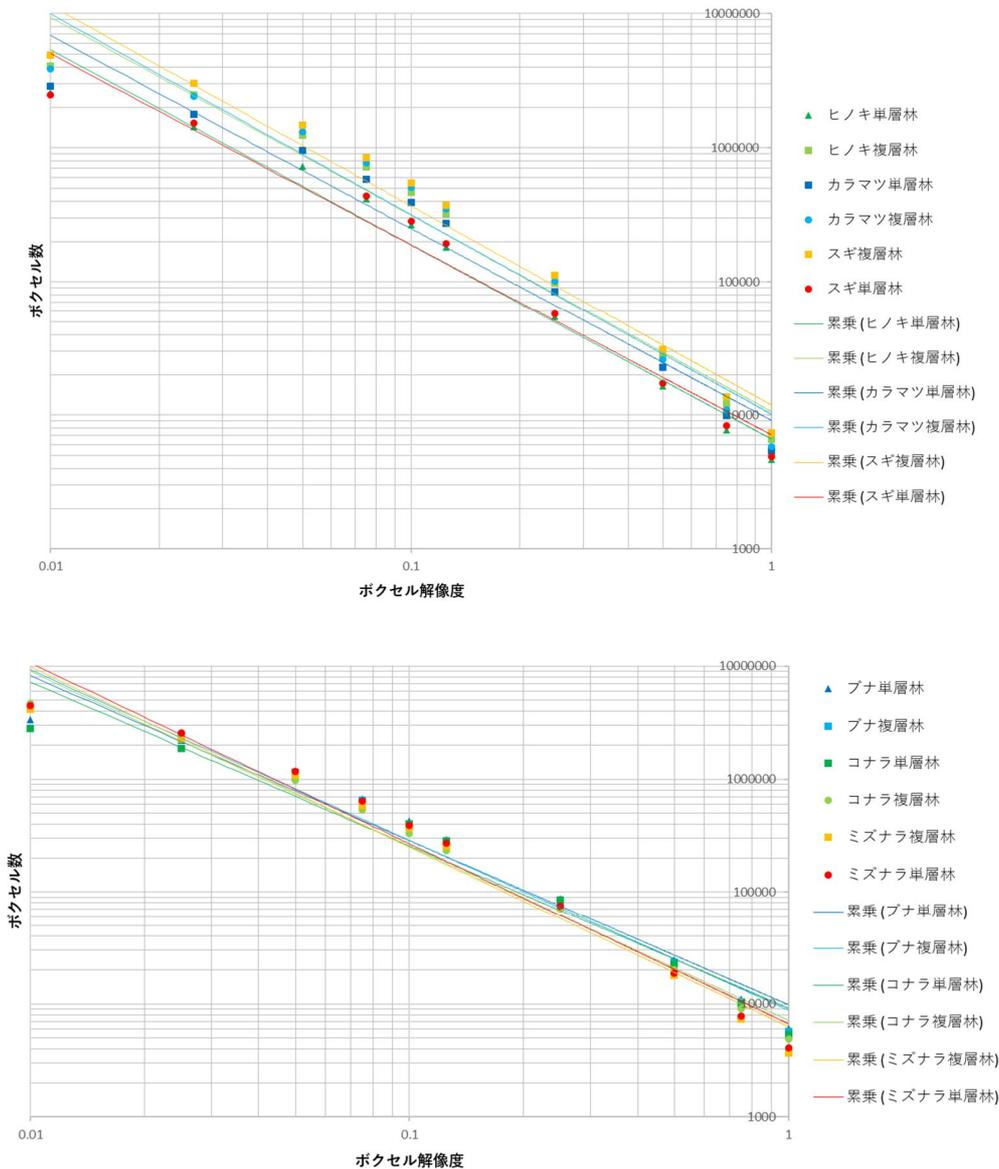


図5. 樹種別ボクセルによるべき乗関係（上：針葉樹、下：広葉樹）

本研究よりフラクタル次元を用いることで3次元データから林分の最適密度である森林構造を評価する手法を確立できた。解析では様々なボクセルサイズを用いて計算したが、ボクセルサイズを最大1mとした場合、幹部では1mと同等の構造物があったとしても葉部では葉1枚と比較して1mは過大サイズとなる。共通のボクセルサイズで解析するよりも様々な部位に応じたボクセルサイズを当てはめ、フラクタル次元を解析する手法を検討する必要がある。今後解析手法を改良していきたい。さらに、今回競争関係を γ 値が $-3/2$ となる場所が最適な競争状態だと想定したが、 $-3/2$ について最適な密度かどうかは経験的知見を持って議論する必要がある。しかしながら、こうしたフラクタル次元という指標が競争指標として3次元データを用いたひとつの方法として有用であることがわかった。

引用文献

- 1) 林野庁, 平成 2015 年度森林白書(アクセス日 2020 年 3 月 30 日)
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/zenbun.html>
- 2) Turner, M.G. *et al.*, Landscape Ecology in Theory and Practice 2001, Springer, NY.
- 3) 宮本麻子&天野正博, 森林総合研究所研究報告 1(2), 163-178, 2002
- 4) Seidel, D. *et al*, For Ecol Manage 261, 2123-2132, 2011
- 5) Shinozaki. *et al*, Jap. J. Ecol. 14, pp.97-105, 1964
- 6) Kato, A., *et al.*, Remote Sensing Environment 113:1148-1162
- 7) Metz, J., Forest Ecology and Management 310: 275-288, 2013
- 8) Popescu S.C. & Zhao, K., Remote Sensing of Environ 112(3): 767-781, 2007
- 9) 大澤晃, 樹冠の3次元構造と自己間引き過程, 日本生態学会誌 46:97-102, 1996
- 10) Zeide B, & Pfeifer P, Forest Science 37:1253-1265, 2008

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 7件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hudak Andrew T, Kato Akira, Bright Benjamin C, Loudermilk E Louise, Hawley Christie, Restaino Joseph C, Ottmar Roger D, Prata Gabriel A, Cabo Carlos, Prichard Susan J, Rowell Eric M, Weise David R	4. 巻 -
2. 論文標題 Towards Spatially Explicit Quantification of Pre- and Postfire Fuels and Fuel Consumption from Traditional and Point Cloud Measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forest Science	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.org/10.1093/forsci/fxz085	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 Kato Akira, Thau David, Hudak Andrew T., Meigs Garrett W., Moskal L. Monika	4. 巻 237
2. 論文標題 Quantifying fire trends in boreal forests with Landsat time series and self-organized criticality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 111525 ~ 111525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.rse.2019.111525	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 加藤 顕, 田村 太壱, 市橋 新, 小林 達明, 高橋 輝昌	4. 巻 45
2. 論文標題 地上レーザーを用いた階層構造と植被率の自動解析手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本緑化学会誌	6. 最初と最後の頁 121 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7211/jjsrt.45.121	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 Kato Akira, Wakabayashi Hiroyuki, Bradford Matt, Hudak Andrew, Moskal L. Monika, Watanabe Manabu	4. 巻 -
2. 論文標題 Accurate Ground Positioning Obtained From 3d Data Matching Between Airborne and Terrestrial Data for Ground Validation of Satellite Laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE IGARSS International	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) 10.1109/IGARSS.2019.8898335	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 Kato Akira, Moskal L. Monika, Batchelor Jonathan L., Thau David, Hudak Andrew T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Relationships between Satellite-Based Spectral Burned Ratios and Terrestrial Laser Scanning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 444 ~ 444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.3390/f10050444	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 加藤 顕	4. 巻 11
2. 論文標題 特集 応用が広がるレーザーセンサー 森林モニタリングのためのレーザーセンサー活用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 月刊OPTRONICS	6. 最初と最後の頁 129 - 133
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 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 A.Kato, A.Osawa, A.T.Hudak, C.A.Silva, L.M. Moskal	4. 巻 2017
2. 論文標題 Fractal dimension of trees using a terrestrial laser scanner	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Silvilaser 2017	6. 最初と最後の頁 113-113
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 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 該当する

1. 著者名 C.A. Silva, A.T. Hudak, L. Vierling, C. Klauberg, A.Kato, A.Cardil, A.Weiskittel	4. 巻 2017
2. 論文標題 Estimating individual tree aboveground carbon in a fast-growing Eucalyptus spp. forest plantation from airborne lidar data using a mixed-effects model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Silvilaser 2017	6. 最初と最後の頁 169-169
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 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 該当する

1. 著者名 A.Kato, H.Wakabayashi, M.Bradford, M.Watanabe, and Y.Yamaguchi	4. 巻 2017
2. 論文標題 Tropical forest disaster monitoring with multi-scale sensors from terrestrial laser, UAV, to satellite radar	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE IGARSS 2017	6. 最初と最後の頁 2883-2886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IGARSS.2017.8127600	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 JTS. Sumantyo, N.Imura, S.Onishi, T.Yasaka, RH.Triharjanto, K.Ito, S. Gao, K.Namba, N.Hattori, F. Yamazaki, C.Hongo, A.Kato, L.Perissin	4. 巻 2017
2. 論文標題 L Band Circularly Polarized SAR Onboard Microsatellite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE IGARSS 2017	6. 最初と最後の頁 5382-5385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IGARSS.2017.8128220	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 加藤 顕、若林裕之、早川裕式、小花和宏之、JTS. Sumantyo	4. 巻 2017
2. 論文標題 Google Earth Engineと地上レーザーによる森林災害モニタリング	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本写真測量学会 平成29年次学術講演会要旨集	6. 最初と最後の頁 91-92
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 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29件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 加藤 顕、龍原 哲
2. 発表標題 無償データ用いてWeb上で解析できる森林計画ツールの開発
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kato, A
2. 発表標題 Quantifying fire trends from time-series analysis
3. 学会等名 The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2019 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤 颯, 田村 太壱, 市橋 新, 小林 達明, 高橋 輝昌
2. 発表標題 地上レーザーを用いた階層構造と植被率の自動解析手法
3. 学会等名 第50回日本緑化工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato Akira, Wakabayashi Hiroyuki, Bradford Matt, Hudak Andrew, Moskal L. Monika, Watanabe Manabu
2. 発表標題 Accurate Ground Positioning Obtained From 3d Data Matching Between Airborne and Terrestrial Data for Ground Validation of Satellite Laser
3. 学会等名 IEEE IGARSS
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato, A., Hudak, A., Batchelor, J., Moskal, L.M., and Weise, D.
2. 発表標題 Fire Monitoring using 3D data from Drone based PhoDAR and Terrestrial Laser Scanner
3. 学会等名 International Association Wildland Fire (IAWF) conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato, A., Hudak, A., Moskal, L.M., Meigs, G., and Krawchuk, M.
2. 発表標題 3D fire severity measurement using terrestrial laser scanner to quantify landscape patterns of tree mortality and survival
3. 学会等名 the US-IALE (International Association of Landscape Ecology) 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato, A., Wakabayashi, H., Osawa, A., Watanabe, M., Moskal, L.M., and Hudak, A.
2. 発表標題 Forest Fire Disaster Assessment using ALOS 2 and Terrestrial Laser Scanner
3. 学会等名 ForestSat 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 顕、若林裕之
2. 発表標題 地上レーザーによる森林災害評価法
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 黒宮健佑、加藤 顕、江口則和、石田 朗
2. 発表標題 地上レーザーによる立木密度の材積への影響評価
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 神宏樹、加藤 顕、高知
2. 発表標題 地上レーザー測量による 3 次元データを用いた競争指数の開発
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 浅見晟吾、加藤 顕、市橋 新
2. 発表標題 全方位画像を用いた森林内構造の把握
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 A.Kato
2. 発表標題 Forest Disaster Monitoring using GEE and 3D data
3. 学会等名 Google Earth Engine Mini Summit 2018 in Tokyo (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A.Kato
2. 発表標題 Estimaing Ecosystem Serivces using 3D Remote Sensing Data
3. 学会等名 CU-MU Joint Symposium 2018 Toward the Research & Innovations for Food and Global Health (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A.Kato
2. 発表標題 Forest disaster monitoring using ALOS 2 and Terrestrial Laser Scanner
3. 学会等名 地球観測ミッション合同PIワークショップ (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A.Kato
2. 発表標題 Forest Disaster Monitoring using multi scale and multi platform technology
3. 学会等名 Urban Ecosystem Services Workshop, Nanjin University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A.Kato, A.Osawa, A.T.Hudak, C.A.Silva, L.M. Moskal
2. 発表標題 Fractal dimension of trees using a terrestrial laser scanner
3. 学会等名 Silvilaser 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 C.A. Silva, A.T. Hudak, L. Vierling, C. Klauberg, A.Kato, A.Cardil, A.Weiskittel
2. 発表標題 Estimating individual tree aboveground carbon in a fast-growing Eucalyptus spp. forest plantation from airborne lidar data using a mixed-effects model
3. 学会等名 Silvilaser 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 A.Kato, N.Eguchi, and L.M.Moskal
2 . 発表標題 Monitoring Deer Damage Loss using 3D data from UAV-SfM and Terrestrial Laser Scanner
3 . 学会等名 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 A.T.Hudak, B.C.Bright, A.Kato, L.M.Moskal, and R.Ottmar
2 . 発表標題 Spatially explicit estimation of fuel consumption from pre- and post-fire traditional and point cloud measurements of fuels
3 . 学会等名 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 A.Kato, H.Wakabayashi, M.Bradford, M.Watanabe, and Y.Yamaguchi
2 . 発表標題 Tropical Forest Disaster Monitoring with Multi-scale Sensors from Terrestrial Laser, UAV, to satellite radar
3 . 学会等名 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 JTS. Sumantyo, N.Imura, S.Onishi, T.Yasaka, RH.Triharjanto, K.Ito, S. Gao, K.Namba, N.Hattori, F. Yamazaki, C.Hongo, A.Kato, L.Perissin
2 . 発表標題 L Band Circularly Polarized SAR Onboard Microsatellite
3 . 学会等名 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 A.Kato, T.Allouis, T.Urushisaki, and M.Koike
2. 発表標題 Tree Growth Detection Power using Yellowscan UAV Laser
3. 学会等名 Yellowscan International User Forum, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤 顕、若林裕之、早川裕式、小花和宏之、JTS. Sumantyo
2. 発表標題 Google Earth Engineと地上レーザーによる森林災害モニタリング
3. 学会等名 日本写真測量学会 平成29年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤 顕、小花和宏之、早川裕式
2. 発表標題 無人航空機 (UAV) と地上レーザーを用いた熱帯林モニタリング
3. 学会等名 第 26 回 日本熱帯生態学会年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 加藤 顕、早川裕式、小花和宏之
2. 発表標題 無人航空機とレーザーを用いた自然災害地評価
3. 学会等名 日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 A. Kato, M. Watanabe, H. Wakabayashi
2. 発表標題 Monitoring forest disaster from high precision UAV-SfM and TLS technologies
3. 学会等名 3rd EARSeL Workshop SIG on Forestry (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田村太巻、加藤 顕
2. 発表標題 3次元点群データを用いた森林構造の把握
3. 学会等名 第128回日本森林学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多賀瑞希、加藤 顕
2. 発表標題 Google Earth Engine を用いた亜寒帯林における森林火災モニタリング
3. 学会等名 第128回日本森林学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤 顕、陶山健一郎、南藤和也、田原美穂、八島大三
2. 発表標題 無人航空機と地上レーザーによる大規模森林モニタリング
3. 学会等名 第128回日本森林学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

WWF Webinar (招待講演, 2017年2月28日)
<http://bit.ly/2IzKfPW>

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