

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15870

研究課題名（和文）ドローンレーザと多波長センサによる単木レベルでの広葉樹林資源量解析技術の開発

研究課題名（英文）Development of broadleaved forest measurement technology at the individual tree level using UAV-based laser and multispectral data

研究代表者

トウ ソウキュウ（DENG, SONGQIU）

信州大学・先鋭領域融合研究群山岳科学研究拠点・特任助教

研究者番号：00772477

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：高点密度の落葉期ドローンレーザ点群から精密広葉樹単木抽出手法を開発した。そして、ドローンレーザデータから解析した単木情報と高分解能UAV多波長画像を用いて単木レベルでの樹種分類方法を確立した。解析精度について、全木の抽出率と正確率は94.6%と89.6%であり、上層木の抽出率と正確率は96.6%と94.3%であった。そして、全樹種の上層木の分類精度は約73%～86%であった。さらに、単木情報を広域に適用し、林分単位での森林材積推定手法を確立した。これらの研究成果は知財になる特許出願を行い、国際英文学術誌にオープンアクセスで掲載され、専門学会で発表し高い評価を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ドローンレーザデータとUAV多波長画像の組み合わせから樹種別の立木位置、樹高、胸高直径と材積を算出することができ、林層構造が複雑な広葉樹林にも適用できる森林資源解析技術を開発し、広葉樹資源の有効活用にご貢献できる。本研究で開発した広葉樹林の樹種別資源量を高精度に把握し、森林調査をせずに毎木の森林資源量が客観的かつ広域的に把握できることから、コストの削減効果が大きい。解析精度が実用化レベル以上に達成したため、日本の林業成長産業化にご貢献できる。また、日本の森林だけではなく、広葉樹林の広い中国や東南アジアなど諸外国の森林にも応用可能なことから、国際共同研究にも貢献できる。

研究成果の概要（英文）：A highly accurate method of individual broadleaved tree detection was developed using UAV laser scanning data with high point density collected during leaf-off periods. Then, we established a tree species classification method at the individual tree level by combining the information of detected trees and high-resolution UAV multispectral imagery. The single tree detection and correction rates for all trees are 94.6% and 89.6%, whereas they are 96.6% and 94.3% for upper trees, respectively. Additionally, the accuracy of tree species classification on upper trees is between 73%-86%. Furthermore, we have developed a method for estimating forest volume at the stand level using the single-tree information of different species at the large scale. These research results were registered as patents and published on international English journals with open access, and our oral presentations at the specialized conferences were highly acclaimed.

研究分野：森林計測学

キーワード：森林計測 リモートセンシング ドローンレーザ 多波長画像 広葉樹単木解析 樹種分類

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

日本の森林面積(2,512万ha)のほぼ半分は天然林(1,300万ha)である。天然林の多くは広葉樹林(1,105万ha)であり、高い生物多様性を保持している。一方、2025年までに木材自給率50%達成を目標として、針葉樹の素材生産量と需要量が増加している。さらに、広葉樹の需要量と用途が拡大しており、その森林資源情報が求められている。

近年、最先端の計測技術として、ドローン(UAV)に搭載した小型レーザスキャナシステム(以下、ドローンレーザ)が開発され、点密度の非常に高い点群データ(100点以上/m²)の獲得ができ、安価で多時期撮影することが可能となった。ドローンレーザ計測では、林層構造が複雑な天然林や複層人工林における下層にある広葉樹の解析が期待できる。さらに、ドローンに同時搭載した近赤外線カメラにより撮影した画像との組み合わせで単木レベルでの樹種別森林資源の把握も可能となる。しかし、これまでドローンレーザデータを用いた単木レベルでの広葉樹林資源計測に関する研究がほとんどなく、新しいセンサーとして、広葉樹林解析への適用とその精度の検証が急務である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでの研究成果を発展させ、高点密度でありながら安価であるドローンレーザデータとUAVマルチスペクトル(Multi-spectral)画像の組み合わせから樹種別の立木位置、本数、樹高、胸高直径(DBH)と材積を算出することができ、林層構造が複雑な広葉樹林にも適用できる高精度な森林資源解析技術を開発することである。具体的には：高精度(数センチ)の3D情報を持つドローンレーザデータと高分解能UAVカメラ画像を用いて、密度に影響されない広葉樹天然林から、精度の高い単木樹冠抽出手法と樹種分類技術を開発する；抽出した樹種別の立木位置と3D樹冠情報をもとに、単木レベルでの樹高、DBHや材積などを推定する；立木密度、林層構造と樹種組成の異なる検証用試験地のデータを用いて、開発した画像解析技術を検証し、最適の解析手法を確立する。

3. 研究の方法

本研究は、長野県や岐阜県内にある数ヶ所の広葉樹天然林を中心として、精密3D情報を持つドローンレーザデータと高分解能(数センチ)UAVマルチスペクトル画像を用い、MATLABプログラムによる高精度な単木樹冠の抽出と樹種分類を行うオリジナル手法を開発する。次に、検証用の三つ試験地のデータを利用し、開発した画像解析技術を検証する。そして、単木レベルでの樹種別立木位置、本数、DBH、樹高、材積とバイオマスを含むGISデータベースを作成する。さらに、立木密度や林層構造などが解析精度に与える影響を分析し、林層構造の異なる森林に対応する最適の解析手法を確立する(図-1)。

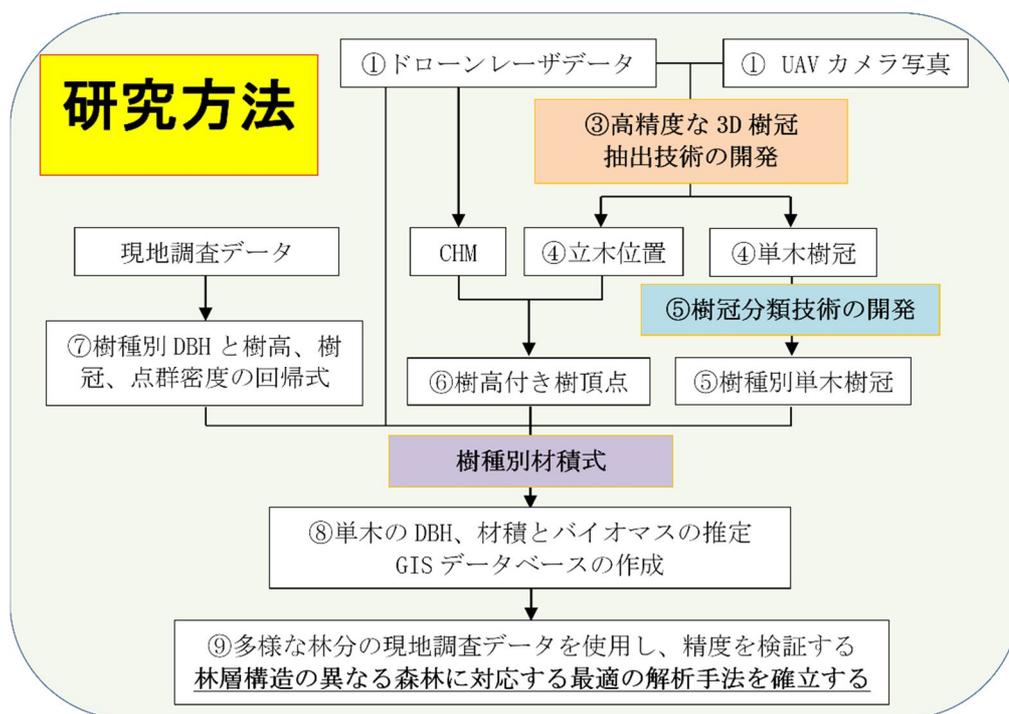


図 - 1 研究全体の流れ

4. 研究成果

(1) 令和1年度は大町市と下諏訪町にある広葉樹天然林を中心として、多様な樹種を含む5ヶ所で着葉期と落葉期のドローンレーザデータと UAV マルチスペクトル画像を取得し、すべての対象地で現地調査を実施した。毎木調査で4831本の上層木の樹種、胸高直径と位置を調査して、GIS データベースを作成した(図-2)。そして、落葉期のドローンレーザデータを用いて広葉樹単木解析手法を開発した(図-3)。さらに、多時期のマルチスペクトルカメラ画像と機械学習を用いてアファンの森における広葉樹天然林の樹種分類を試した。全体精度は86%であった。研究成果として論文の作成と共に学会発表を行った。

(2) 令和2年度は大町市の社と二ツ屋、麻績村と木島平村にある広葉樹天然林を中心として、多様な樹種を含む4ヶ所で落葉期のドローンレーザデータを取得し、すべての対象地で現地調査を実施した。樹種、胸高直径と位置を調査して、GIS データベースを作成した。そして、これらの落葉期のドローンレーザデータを用いて広葉樹単木解析技術を改善した(図-4)。解析精度について、胸高直径が10cm以上の単木抽出率は90%以上であり、抽出正確率は97%以上であった(図-5)。研究成果として、知財になる特許出願を行った上で、第10回中部森林学会大会で口頭発表をした。

(3) 令和3年度は飛騨市宮川町にある広葉樹天然林を中心として、多様な樹種を含む5ヘクタールの面積で落葉期のドローンレーザと紅葉期のマルチスペクトル画像を取得し、その中で約0.7ヘクタールの対象地で毎木の現地調査を実施した。樹種、胸高直径と位置を調査して、GIS データベースを作成した。そして、これらの落葉期のドローンレーザデータを用いて広葉樹単木解析技術を改善し、紅葉期のマルチスペクトル画像と機械学習を用いて単木樹種分類技術を開発した。解析精度について、ドローンレーザから解析した全木の抽出率と正確率は94.6%と89.6%であり、上層木の抽出率と正確率は96.6%と94.3%であった。そして、マルチスペクトル画像を用いた全樹種の分類精度は約73%であった。研究成果として論文の作成と共に特許申請と学会発表を行った。

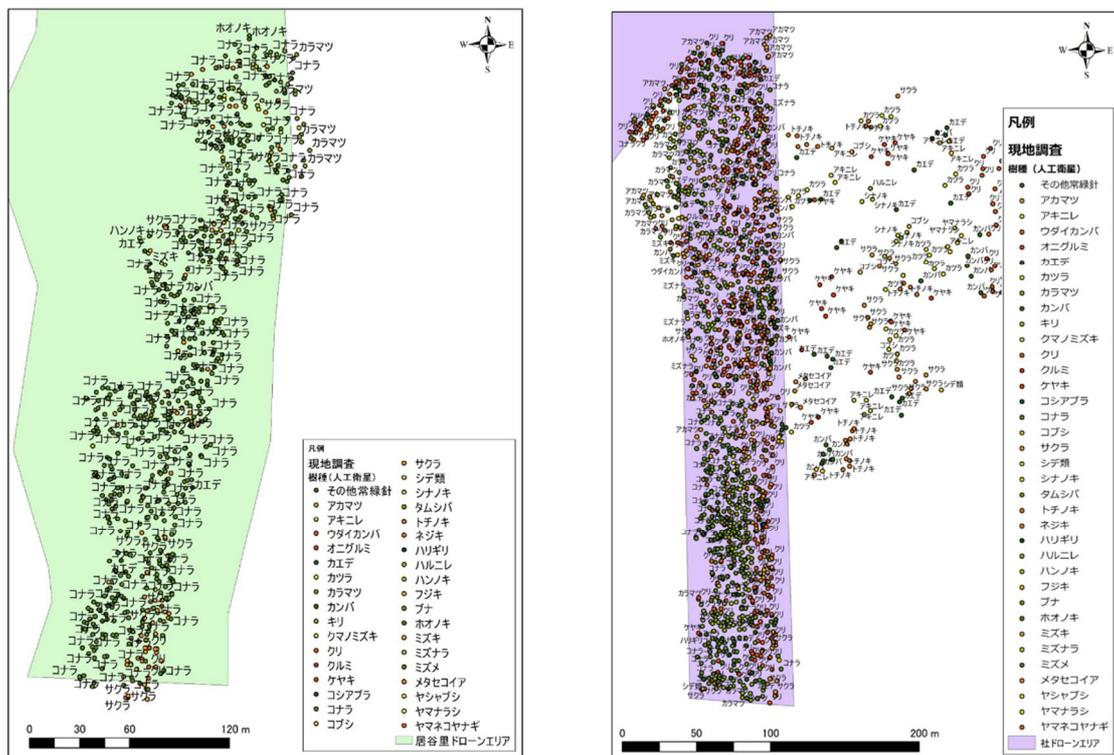


図-2 現地調査結果から作成したデータベース

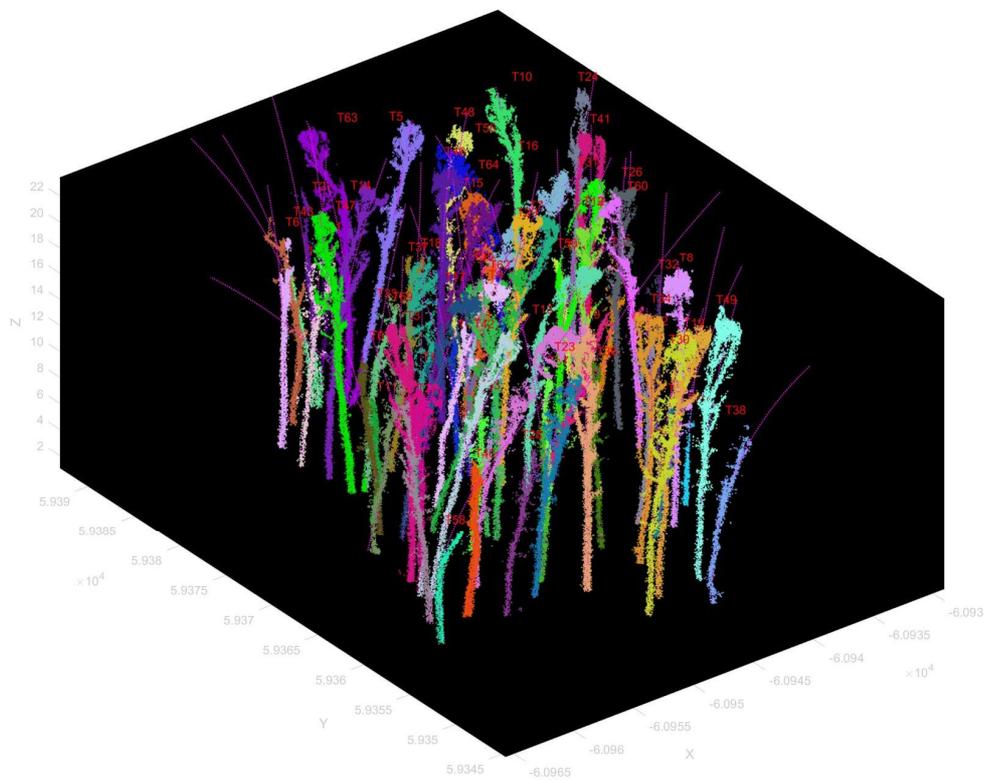


图 - 3 单木解析结果

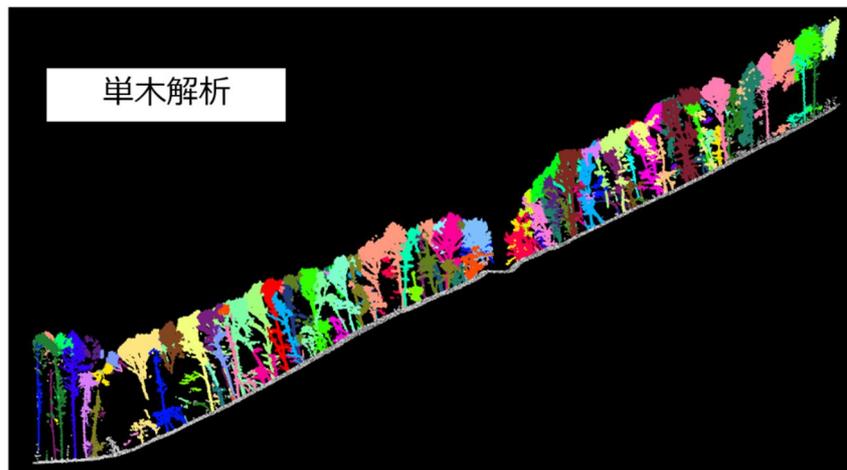
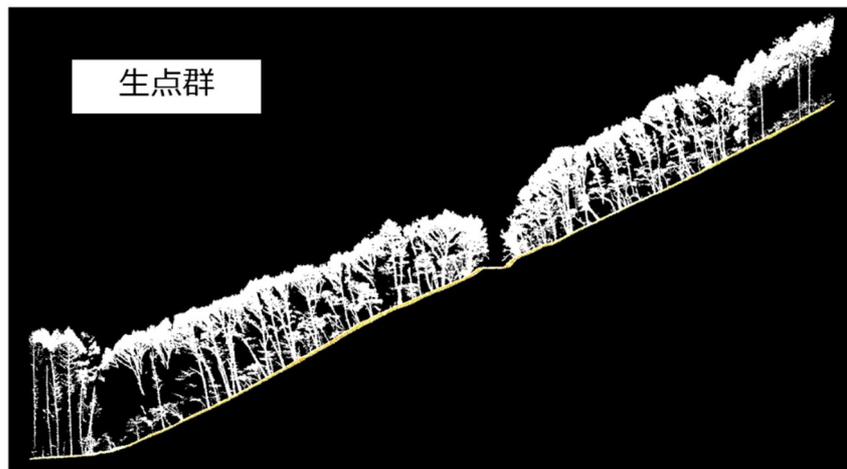
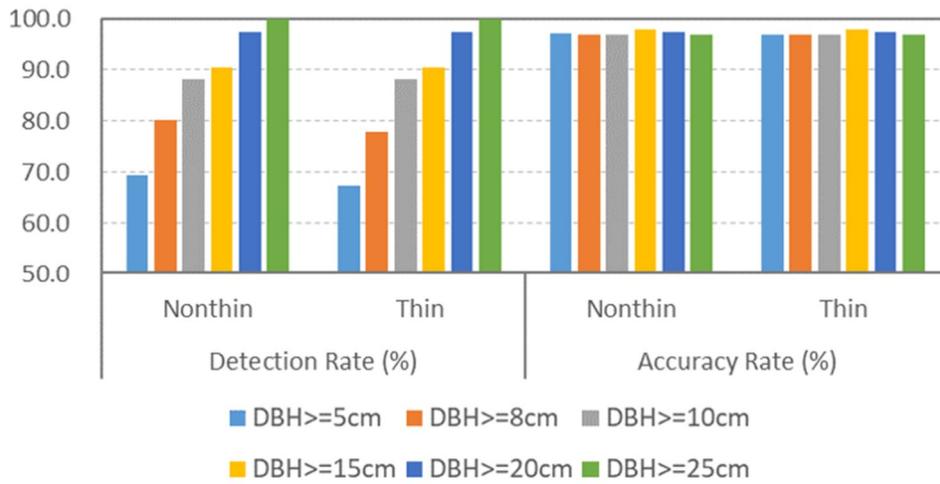
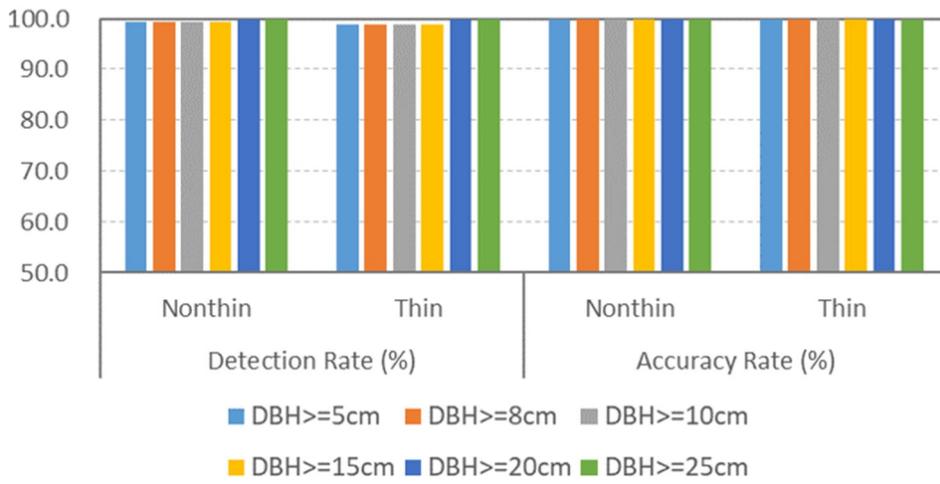


图 - 4 单木解析断面图

Yashiro Plot



Futatsuya Plot



Kijimadaira Plot

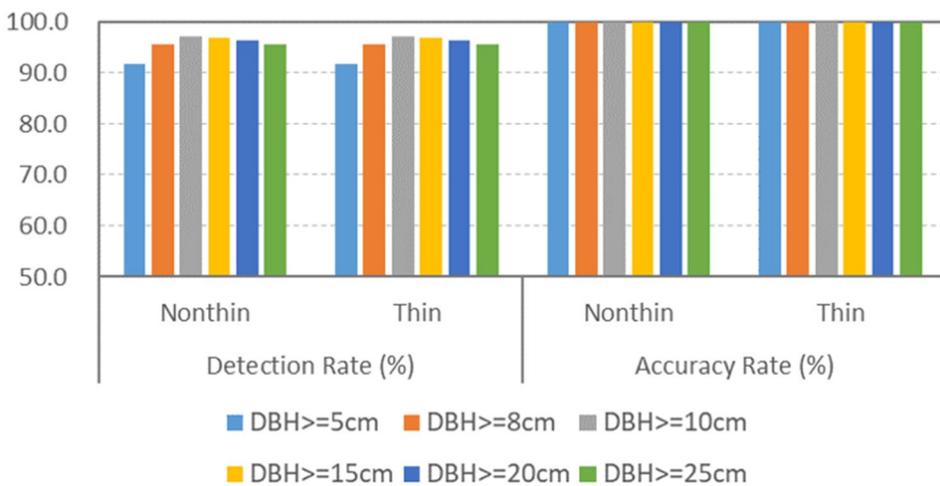


图 - 5 单木解析精度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Duncanson L., Kellner J., Armston J., Dubayah R., Minor D., Deng S., et al	4. 巻 270(112845)
2. 論文標題 Aboveground biomass density models for NASA's Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) lidar mission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rse.2021.112845	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 林悠介・トウソウキュウ・加藤正人・中村良介	4. 巻 55
2. 論文標題 ディープラーニングによる針葉樹の単木樹冠検出と樹種分類	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 森林計画学会誌	6. 最初と最後の頁 3-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20659/jjfp.55.1_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 Yu Y., Gao T., Zhu J., Wei X., Guo Q., Su Y., Li Y., Deng S., Li M.	4. 巻 e2212
2. 論文標題 Terrestrial laser scanning-derived canopy interception index for predicting rainfall interception	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecohydrology	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eco.2212	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20件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 トウソウキュウ・加藤正人
2. 発表標題 普及型UAVによる森林資源量と病虫被害木の把握
3. 学会等名 2021年度森林計画学会春季シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹中悠輝・トウソウキュウ・中川太人・竹田慎二・加藤 正人
2. 発表標題 UAVを用いた広葉樹天然林の資源調査
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陌間芳野・加藤正人・鄧送求・岩塚伸人
2. 発表標題 ドローンをを用いたクマ剥ぎ被害の把握と被害木の自動抽出
3. 学会等名 第 11回中部森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志鎌大成・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 ドローンをを用いた森林境界明確化の検討
3. 学会等名 第 11回中部森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川真海・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 SfM解析を用いた広葉樹立体モデル作成時におけるプレ画像の除去による精度変化
3. 学会等名 第 11回中部森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 殷暎・トウソウキュウ・加藤正人
2. 発表標題 地上レーザデータによる計測した樹木の直径と材積の誤差検証
3. 学会等名 第 11回中部森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川太人・藤平光希・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 アルゴリズムの違いによる造林木位置推定結果の比較検証
3. 学会等名 第 11回中部森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 唐澤亮・加藤正人・鄧送求・堀澤正彦・南都寛
2. 発表標題 DEMデータを活用した高性能林業機械使用基準マッピング
3. 学会等名 第 11回中部森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鄧送求・竹中悠輝・加藤正人・増井僚・岩塚伸人
2. 発表標題 Individual tree detection of broadleaved forests using leaf-off UAV laser data
3. 学会等名 第 10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林悠介・鄧送求・加藤正人・中村良介
2. 発表標題 ディープラーニングを用いた針葉樹の単木樹冠および樹種同時推定
3. 学会等名 第10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川太人・藤平光希・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 UAVを用いた植栽苗木自動抽出手法の開発
3. 学会等名 第10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 御園大輔・加藤正人・鄧送求・藤田幸人
2. 発表標題 GeoEye-1衛星画像を用いたナラ枯れ被害地抽出方法の検討
3. 学会等名 第10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮島希実・加藤正人・トウソウキュウ・藤平光希
2. 発表標題 機械学習を用いたマツ枯れ被害木の半自動抽出 -長野県上田市の事例-
3. 学会等名 第10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川真海・加藤正人・鄧送求
2. 発表標題 スマートフォンカメラを用いた広葉樹の立体モデル作成
3. 学会等名 第10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹中悠輝・鄧送求・加藤正人・長澤幸一・増井僚
2. 発表標題 高分解能人工衛星、航空レーザ、3種類のドローンを用いた広葉樹の資源解析 -長野県大町市、下諏訪町の事例
3. 学会等名 第10回中部森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井望祿・トウソウキュウ・加藤正人・石井敦司
2. 発表標題 マルチスペクトルカメラ画像と機械学習を用いた広葉樹の樹種分類 -C.W.ニコル・アフアの森を事例として-
3. 学会等名 第9回中部森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林悠介・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 Deep Learningによる針葉樹の単木抽出および樹種分類
3. 学会等名 第9回中部森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川太人・トウソウキュウ・加藤正人
2. 発表標題 ドローンによる造林地検査の省力化技術の開発 -植栽苗木の判別・抽出とha本数測定-
3. 学会等名 第9回中部森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦野陽平・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 ドローンを用いた定性と列状間伐木の画像抽出
3. 学会等名 第9回中部森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤平光希・加藤正人・トウソウキュウ
2. 発表標題 機械学習による針葉樹の樹種分類 -信州大学構内演習林の事例-
3. 学会等名 第9回中部森林学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 森林被害木自動検出方法およびプログラム	発明者 加藤正人、藤平光希、トウソウキュウ、竹中悠輝	権利者 信州大学、精密林業計測（株）
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-006647	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 森林資源情報算定装置、算定方法およびプログラム	発明者 加藤正人、トウソウキュウ、竹中悠輝	権利者 信州大学、精密林業計測（株）
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-105040	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 植栽木自動検出装置、検出方法及びプログラム	発明者 加藤正人、中川太人、藤平光希、トウソウキュウ、竹中悠輝	権利者 信州大学、精密林業計測（株）
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-70641	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
フィンランド	フィンランド国立測地研究所 (FGI)			
中国	中国科学院瀋陽応用生態研究所	南京林業大学	中南大学	