

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03025

研究課題名（和文）空と陸の次世代レーザセンシング統合による立木の高精度な品等区分技術の開発

研究課題名（英文）Development of high-precision classification technology for standing trees by integrating next-generation airborne and ground based laser scanning

研究代表者

加藤 正人（Kato, Masato）

信州大学・学術研究院農学系・教授

研究者番号：40345757

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円

研究成果の概要（和文）：日本の国土の約70%は森林である。しかし、森林資源を十分に活用できていないのが我が国の現状である。林野庁、自治体、林業事業体は広域の森林について、その資源量と品等区分の両方の価値情報を求める声が高い。既存の森林調査法は人手に頼った標本調査であり、パラツキや見落としによって、調査コストに対して得られる情報量や精度が低く、正確に資源量を評価できないことが問題とされている。本研究では空（ドローン）と陸（地上携帯）からの次世代レーザセンシングを統合することで、樹冠と幹の3D情報から高精度な品等区分を可能にする技術開発を進め、森林全体の資源量と価値を算定し、林業成長産業化への突破口とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本技術は、レーザ計測から高精度な樹冠と幹の樹幹抽出から、単木区分と幹の細り（任意の直径、曲がり）を算出して、価値の高い建築用構造材（A材丸太）の丸太の立木品等区分が可能になった。極めて有効な自動分類技術であると共に、国際的にオリジナルな研究開発であり、特許出願を予定している。

研究成果の概要（英文）：About 70% of Japan's land area is forest. However, the current situation in Japan is that forest resources are not fully utilized. The Forestry Agency, local governments, and forestry business entities are highly demanding information on the value of both the amount of resources and product categories for wide-area forests. The existing forest survey methods are sample survey that rely on manual labor due to variations in accuracy among surveyors and oversight of trees, the amount of information and accuracy obtained relative to the survey cost is low, and the amount of resources cannot be accurately evaluated. is considered a problem.

In this research, by integrating next-generation laser scanning from drone and ground mobile, we will promote the development of technology that enables highly accurate product classification from 3D information on tree crowns and trunks. Calculating the amount and value of resources will be a breakthrough for turning forestry into a growth industry.

研究分野：森林科学

キーワード：レーザセンシング ドローン スマート林業 リモートセンシング

### 1. 研究開始当初の背景

戦後 50 年かけて植栽した 1000 万 ha の針葉樹人工林が収穫期を迎えている。日本は世界的にも有数の資源国として大きな可能性を秘めているにもかかわらず、森林調査は人手によるサンプル調査で行われており、労力の割に得られる情報精度がアバウトであり利用面では発展途上と言える。一方で、北欧や北米、オセアニアの林業先進国では、航空レーザ計測による科学的な森林資源算定方法（Area-based 法）が 2000 年代から導入され、生産性の高い基盤情報として活用されている。

日本の森林所有者は山岳地形で森林所有面積が小さく、林業収入が期待できないことなどもあり、自家山林への関心が極めて低い。林業の成長産業化に向けて、海外と同様に森林現況を正確に捉えること、木材の品質と価格の品等区分情報から適正な販売価格を算定することは、林業収入と持続可能な森林経営に不可欠な情報である。

申請者はこれまでに、人工衛星、航空機、ドローンのリモートセンシング技術とレーザ計測技術を組み合わせ、3D 情報から高精度な樹冠抽出、樹高から材積までの森林資源量を算定する革新的な技術を開発した（研究業績 4）。さらに、精密な森林資源情報をもとに間伐の選木方法（研究業績 8）、伐採木の確認方法（研究業績 11）を開発している。

しかし、森林資源活用に最も必要とされる立木の品等区分技術については、林野庁、自治体、林業事業体が求めるニーズを満たすだけの技術が確立されていない。但し、問題点は以下のように明確であることから、これらを同時に解決することで、林業の成長産業化を加速させられると考えている。

- ① 空から航空機やドローンで広域森林をレーザ計測して資源量算出ができるようになったが、幹情報を直接計測できない。
- ② 地上レーザの計測は測定位置での小面積の範囲で立木位置や幹直径の形状情報を得ることができるが広がり無く、樹高や樹冠情報は計測できない。
- ③ ドローンと地上のレーザサンサは、種類と測定方法、放射される点群密度と分布、得られるデータの質と量、位置精度も異なることからデータ統合は取り組まれていない。

### 2. 研究の目的

収穫期を迎えた日本の 1 千万ヘクタールの人工林に対して、空からのレーザセンシングと地上レーザセンシングを組み合わせることで、両者の利点を生かして森林全体の資源量と品等区分を行い、立木価格を算定することである。

これによって、森林所有者や林業事業体に高精度な森林資源量にもとづいた森林の適正価格を提示でき、地域全体の森林管理・収穫・販売計画に生かせることから林業成長産業化へ貢献できる。

### 3. 研究の方法

本研究は森林所有者と森林管理者、林業事業体に対して、森林の正確な資源量と立木の品等区分情報を提供する。そこで、平地林で開発したドローンレーザや地上携帯レーザ点群データの統合技術を山岳森林で応用・開発し、森林全体の 3D マッピングを作成して、精度の高い品等区分技術を開発する。これによって、科学的で高精度な森林の資源と価値の収穫情報を、森林管理署と森林組合、地方自治体に提供し、森林管理と木材増産に向けた林業成長作業化に貢献する。

解析手順は以下の通りである。研究のフローを図-3に示す。

- (1) 山岳森林の間伐などの収穫予定調査地において、ドローンレーザと地上携帯レーザを用いて計測する(令和2~4)。
- (2) 予備実験の平地の人工林で開発したドローンと地上携帯レーザの3D点群データの統合技術を山岳森林の3D点群データに応用開発する(令和2~4)。
- (3) 3Dレーザ点群データから単木の3Dマッピングを作成する(令和2~4)。
- (4) 品等に影響する幹の障害箇所を抽出する(令和2~4)。
- (5) 単木ごとに幹直径を10cm単位で根元から上部まで算定し、作図する(令和2~4)。
- (6) 樹高をもとに4m標準の採材で、末口直径と元口直径の比、曲がりと幹の障害箇所を基準に、品等(A~C材)を半自動区分する技術を研究分担者が開発する(令和2~4)。
- (7) 品等ごとに木材単価を乗じて積算することで、森林全体の価値を算定する(令和2~4)。
- (8) 森林組合所有の採材・自動検尺機能を持つハーベスタで収穫作業を行い、次世代レーザセンシングの品等区分算定値との比較・検証を行う(令和2~4)。
- (9) 樹種や林齢、蓄積の異なる森林で、同様の次世代レーザセンシングによる品等区分算定とハーベスタ収穫での造材歩留まりなどの現実値との比較事例を増やすことで、収穫予定地の資源量と収穫量、品等区分と森林の価格算定技術を改善する(令和3~4)。
- (10) 得られた森林情報を普及機関に提供・検証することで利用技術を確立する(令和3~4)。
- (11) 技術の実用化と普及にむけて解析技術の国際シンポジウム、技術講習会の開催、専用のホームページを開設し、研究成果を情報発信する(令和3~4)。

#### 4. 研究成果

令和2~3年度は 研究フィールドの長野県大町市及び岐阜県飛騨市において、ドローンレーザを用いて計測して、高精度な樹冠抽出から、広域の広葉樹林をレーザ計測データから、独自のアイデアと分類法から三次元空間上に単木区分と樹形把握する技術を開発した。極めて有効な省力化技術であると共に、国際的にオリジナルな研究開発であり、特許出願した(特願 2021-105040)。発明の名称は、森林資源情報算定装置、算定方法およびプログラムである。

本技術は、価値の高い広葉樹の単木レベルでの樹種分類は、家具や工芸など多方面でニーズは高いが、解析技術の難易度は極めて高い。当該発明は、広域の広葉樹林を、現地調査をせずにレーザ計測データから、独自のアイデアと分類法から三次元空間上に単木区分と樹形把握する技術です。広葉樹資源の有効活用に貢献できる国際的にオリジナルな技術である。

令和4年度は スマート林業と製材・建築のデータ連携に取り組んだ。ドローンとモバイルレーザを用いて、高精度な樹冠と幹の樹幹抽出から、森林をデジタル在庫として三次元空間上に単木区分と樹形抽出、幹の細り(任意の直径、曲がり)を算出する技術を開発した。これによって、建物の梁や柱で使用する構造材の丸太の立木品等区分が可能になった。極めて有効な省力化技術であると共に、国際的にオリジナルな研究開発であり、特許出願を予定している。

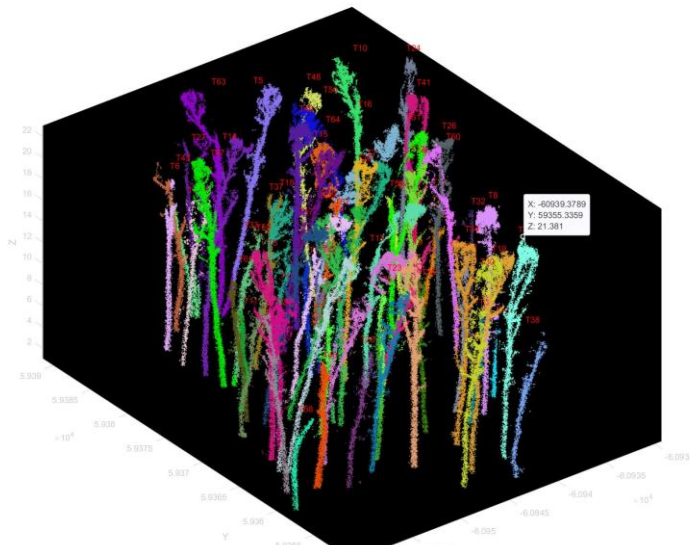


図1 レーザ計測データから広葉樹林の3D単木区分と樹形区分技術の開発  
 今まで困難であった幹から枝葉までを単木ごとに区分する技術を国内初で開発した。  
 (特願 2021-105040)

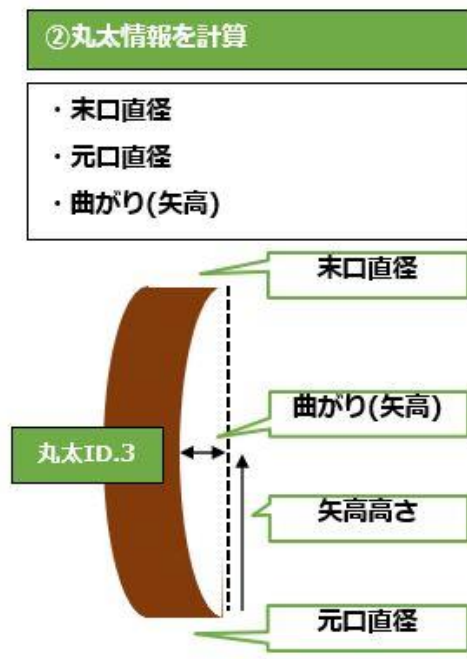


図2 レーザ計測から高精度な樹冠と幹の樹幹抽出から、建物の梁や柱で使用する構  
 造材の立木品等区分のシミュレーションプログラムを開発した。特許出願を予定している。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Samli Junttila, T. Holtta, E. Puttonen, M. Katoh, M. Vastaranta, H. Kaartinen, M. Holopainen, H. Hyyppa	4. 巻 255
2. 論文標題 Terrestrial laser scanning intensity captures diurnal variation in leaf water potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rse.2020.112274	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 (59)Samli Junttila, T. Holtta, E. Puttonen, M. Katoh, M. Vastaranta, H. Kaartinen, M. Holopainen, H. Hyyppa	4. 巻 255
2. 論文標題 Terrestrial laser scanning intensity captures diurnal variation in leaf water potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 112274
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rse.2020.112274	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

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中川太人・藤平光 希・加藤正人 ・トウソウキユウ
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 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 殷暁・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 唐澤亮・加藤 正人・トウソウキュウ・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 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 時におけるブ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 中川 太人・加藤 正人・トウソウキョウ
2. 発表標題 UAV画像を用いた造林木位置推定手法の検討
3. 学会等名 第133日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川 真海・加藤 正人・トウソウキョウ
2. 発表標題 SfM解析を用いた広葉樹立体モデル作成時のプレ画像除去による精度変化
3. 学会等名 第133日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 唐澤 亮・加藤 正人・トウソウキョウ
2. 発表標題 DEMデータを用いた高性能林業機械使用基準マッピング
3. 学会等名 第133日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 殷 暁・トウソウキョウ・加藤 正人
2. 発表標題 レーザ計測による樹木の直径と材積の誤差検証
3. 学会等名 第133日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹中悠輝・トウソウキュウ・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日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤平光希・トウソウキュウ・加藤正人
2. 発表標題 拡張現実感(AR)を応用した単木情報表示技術の検討
3. 学会等名 第133日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

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 国立大学法人信 州大学
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 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 国立大学法人信 州大学
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 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	権利者 国立大学法人信 州大学
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

産業財産権の名称 林相区分作成方法及びプログラム	発明者 加藤正人、トウソウ キュウ、竹中悠輝	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-038748	出願年 2023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
研究 分 担 者	トウ ソウキユウ  (Deng Songqiu)  (00772477)	信州大学・先鋭領域融合研究群山岳科学研究所・研究員     (13601)	

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