

令和元年6月20日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18716

研究課題名（和文）航空LiDARデータと高分解能画像による単木レベルでの森林資源解析システムの構築

研究課題名（英文）Construction of forest resource interpretation system at the individual tree level using airborne laser data and high-resolution images

研究代表者

トウ ソウキウ（DENG, SONGQIU）

信州大学・先鋭領域融合研究群山岳科学研究所・研究員

研究者番号：00772477

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：航空レーザやドローンレーザデータから精密3D樹冠抽出手法を開発した。そして、レーザデータと高分解能航空写真の組み合わせによる単木レベルでの樹種分類方法を確立した。針葉樹林では単木の抽出率と樹種分類はいずれも90%以上の精度となり、実用化目標の80%以上を達成した。さらに、樹種別の単木樹冠情報を広域に使用して、林分単位での森林バイオマス推定手法を確立した。これらの研究成果は国際英文学術誌にオープンアクセスで掲載され、専門分野の国際学会で講演し、高い評価を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3D情報を持つレーザデータから開発した高精度な単木樹冠抽出手法、樹種分類方法とバイオマス推定方法を用いて、森林調査をせずに森林資源現況とバイオマスが客観的かつ広域的に推定・区分できることから、多大な労力と費用を要している森林調査を基本にした資源把握が効率的になり、コストの削減効果が大きい。解析精度が実用化レベルに達成したため、日本の林業成長産業化に貢献できる。また、日本の森林だけではなく、人工林面積が増えている中国、熱帯広葉樹林の東南アジア、針葉樹天然林の広がる北米など諸外国の森林にも応用可能なことから、国際共同研究に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：An accurate tree crown detection method was developed using airborne and drone laser scanning data. Then, we established a tree species classification method at the individual tree level by combining laser data and high resolution aerial images. In coniferous forests, the accuracies of single tree extraction and tree species classification are both more than 90%, achieving the target of practical use level. Furthermore, we have developed a method for estimating forest biomass at the stand level using single-tree crown information of different species at the large scale. These research results were published in international English journals with open access, and our oral presentations at the international 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 航空レーザ 高分解能画像 精密樹冠抽出 樹種分類

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

森林資源調査の基本は、どの樹種が、どこに、どれだけの量があるかを調べることであるが、林道から離れた奥地森林では現況把握が困難である。一方、持続的な森林経営を行う上で、奥地森林も含めた広域の森林現況を正確に捉えることは森林管理において必要な情報である。現場では森林管理に携わる森林官や技術者が減少しており、広域の森林現況を客観的に上空から把握できるリモートセンシング技術に対する期待が大きい。

近年、航空機に搭載されるレーザースキャナ (Laser Scanner) は先端的な計測技術として注目されている。本研究の海外研究協力者であるフィンランド国測地学研究所の Yu Xiaowei 教授は航空レーザデータから解析した樹高モデル CHM (Canopy Height Model) を用いて新しい 3D 樹冠抽出アルゴリズムを開発した。しかし、この単木樹冠抽出技術は適用できる森林が疎から中密度の針葉樹人工林に限定され、日本や中国にある高密度な森林では樹冠が重なり区別することが難しく、新しい抽出手法の開発が不可欠であることを提示した。

また、ヨーロッパや北米の森林と違い、日本や中国や東南アジアにある森林は林分の構成が複雑で、森林資源の把握に対して精度の高い樹種分類技術が必要である。研究代表者は予備実験で 3 バンドのデジタルオルソ画像とレーザデータから解析した反射強度や樹冠の傾斜データなどを組み合わせることで、単木レベルでの樹冠分類ができることを発見した。しかし、この樹冠分類技術は異なる林相を持つ人工林や天然林などへの適用とその精度の検証が必要である。

### 2. 研究の目的

持続的な森林経営を行う上で、広範囲な森林資源量を正確に算出することは森林管理において必須の基礎情報である。森林調査を行わずに、広域の森林において樹種別本数や森林資源の内容を精度よく把握できれば、森林管理が格段に効率化するだけでなく、地球環境モニタリングや再生可能エネルギー資源利用に極めて有効である。

研究代表者は高分解能画像から、樹頂点と単木樹冠情報の抽出と樹種判読を行った。しかし、2D 情報を持つ衛星画像や航空写真から単木樹高と DBH の推定は不可能である。上記課題を解決するために、本研究は、これまでの研究成果を発展させ、航空機 LiDAR データとマルチスペクトル画像の組み合わせから樹種別の立木位置、本数、樹高、DBH、材積とバイオマスを推定することができ、広域で多様な森林に適用される森林資源解析システムを確立する。

### 3. 研究の方法

本研究は、まず、信州大学農学部構内演習林を中心として、3D 情報を持つ航空機 LiDAR データと高分解能画像を用い、MATLAB と IDL による単木レベルでの高精度な樹頂点と 3D 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、検証用の四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、開発した画像解析手法によって、森林資源解析の広域展開を行う。さらに、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。最後に、国有林と公有林の森林 GIS データを用い、リモートセンシングデータから解析した結果を検証することで、高精度な森林資源解析システムを確立する (図参照)。

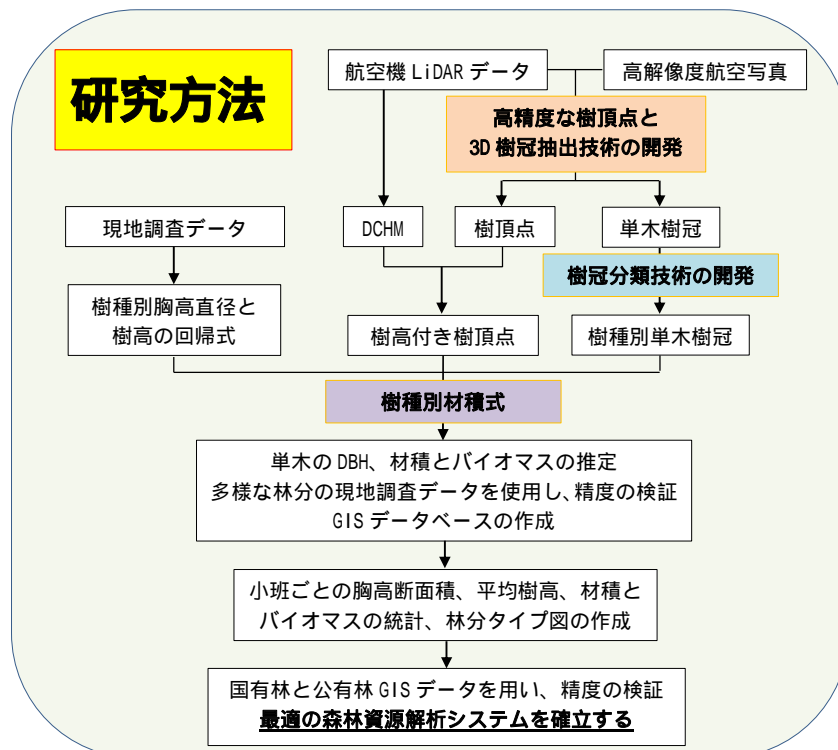


図 研究全体の流れ

#### 4. 研究成果

(1) H28 年度は多様な林相を持つ信州大学農学部構内演習林を中心として、航空レーザデータから 3D 樹冠抽出手法を開発した。単木の抽出率は林班によって 71.78%~99.17%であった。そして、航空レーザデータと高分解能航空写真の組み合わせによる単木レベルでの樹種分類方法を確立した。24 個の分類器の中で、二次のサポートベクターマシンは 90.8%の全体精度であり、樹冠分類に一番良い方法であることがわかった。さらに、航空レーザデータと高分解能航空写真を組み合わせて、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。現地調査で 235 本の上層木の DBH、樹高と位置を調査して、GIS データベースを作成した。航空レーザデータと航空写真から抽出した 69 個のパラメーターを用いて、3 種類の針葉樹と 10 種類の広葉樹を分類した。全体精度は 50%であった。研究成果として論文の作成と共に特許申請を行った。論文は海外英文学術誌 Remote Sensing (ISSN 2072-4292)にオープンアクセスで掲載された。そして、第 6 回中部森林学会大会と第 128 回日本森林学会大会で研究成果を口頭発表した。招待講演は 2016 年 7 月に東京で開催した第 2 回先進光学衛星利用ワークショップで講演した。

(2) H29 年度は立木密度と冠層構造が異なるカラマツ人工林を中心として、ドローンレーザデータを用いて H28 年度に開発した樹冠抽出技術を改善した。単木の抽出率は林分構造によって 78.4%~99.3%であった。推定した単木胸高直径の平均偏差は 0.16~0.43cm であり、単木材積の平均偏差は 0.012~0.026m<sup>3</sup>であった。そして、改善した樹冠抽出技術で航空レーザデータから広葉樹天然林の単木抽出を試した。航空レーザデータの点密度が不足のため、広葉樹樹冠の抽出が難しいことがわかった。点密度の高いドローンレーザデータを用いて広葉樹の単木抽出を要検討である。さらに、広葉樹天然林の樹種分類結果を改善するため、355 本サンプル木の追加調査とマルチスペクトルカメラのドローン撮影を実施した。研究成果として論文は The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences にオープンアクセスで掲載された。そして、第 7 回中部森林学会大会、国際写真測量学会の ISPRS SPEC3D Workshop と第 129 回日本森林学会大会で研究成果を口頭発表した。

(3) H30 年度は H29 年度に確認できた航空レーザデータの点密度が不足の原因で広葉樹樹冠の抽出が難しいことを改善するため、アファンの広葉樹天然林を中心として、点密度の高いドローンレーザデータを用いて単木の抽出を試した。落葉期のドローンレーザデータから上層木の単木位置と樹高の把握はできた。そして、異なるレーザセンサ(地上レーザ、バックパックレーザ、ドローンレーザ)を用いて冠層構造が異なる森林で単木の胸高直径、樹高と材積の把握精度を比較した。さらに、最先端である SLAM レーザシステムを用いてヒノキ人工林の単木抽出と胸高直径と樹高計測技術を開発した。単木の抽出率は全木 91.2%と上層木 100%であり、単木胸高直径と樹高の平均偏差は 1.6cm と 0.5m であった。研究成果として論文の作成と共に特許申請を行った。論文は国際英文学術誌 International Journal of Remote Sensing と Forest Ecosystems にオープンアクセスで掲載された。そして、第 130 回日本森林学会大会で研究成果を口頭発表した。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

Liang X., Wang Y., Pyoralala J., Lehtomaki M., Yu X., Kaartinen H., Kukko A., Honkavaara E., Issaoui E.I. A., Nevalainen O., Vaaja M., Virtanen J.P., Katoh M., Deng S., 2019. Forest in situ observations using unmanned aerial vehicle as an alternative of terrestrial measurements. Forest Ecosystems, 6: 20. DOI: 10.1186/s40663-019-0173-3 査読有

Gao T., Zhu J., Yan Q., Deng S., Zheng X., Zhang J., Shang G., 2018. Mapping growing stock volume and biomass carbon storage of larch plantations in Northeast China with L-band ALOS PALSAR backscatter mosaics. International Journal of Remote Sensing, 39: 7978-7997. DOI: 10.1080/01431161.2018.1479793 査読有

Deng S., Katoh M., Takenaka Y., Cheung K., Ishii A., Fujii N., Gao T., 2017. Tree species classification of broadleaved forests in Nagano, central Japan, using airborne laser data and multispectral images. ISPRS Archives, XLII-3/W3: 33-38. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W3-33-2017 査読有

Katoh M., Deng S., Takenaka Y., Cheung K., Oono K., Horisawa M., Hyypä J., Yu X., Liang X., Wang Y., 2017. Development of smart precision forest in conifer plantation in Japan using laser scanning data. ISPRS Archives, XLII-3/W3: 95-100. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W3-95-2017 査読有

Takenaka Y., Katoh M., Deng S., Cheung K., 2017. Detecting forests damaged by pine wilt disease at the individual tree level using airborne laser data and WorldView-2/3 images over two seasons. ISPRS Archives, XLII-3/W3: 181-184. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W3-181-2017 査読有

Gao T., Xu B., Yang X., Deng S., Liu Y., Jin Y., Ma H., Li J., Yu H., Zheng X., Yu

Q., 2017. Aboveground net primary productivity of vegetation along a climate-related gradient in a Eurasian temperate grassland: spatiotemporal patterns and their relationships with climate factors. *Environmental Earth Sciences*, 76: 56. DOI: 10.1007/s12665-016-6158-4 査読有

Deng S., Katoh M., Yu X., Hyyppä J., Gao T., 2016. Comparison of Tree Species Classifications at the Individual Tree Level by Combining ALS Data and RGB Images Using Different Algorithms. *Remote Sensing*, 8: 1034. DOI: 10.3390/rs8121034 査読有

Gao T., Zhu J., Deng S., Zheng X., Zhang J., Shang G., Huang L., 2016. Timber production assessment of a plantation forest: An integrated framework with field-based inventory, multi-source remote sensing data and forest management history. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52: 155-165. DOI: 10.1016/j.jag.2016.06.004 査読有

[学会発表](計13件)

DENG SONGQIU, KATOH MASATO (2019) Forest resource interpretation at the individual tree level using a SLAM laser scanning system. 第130回日本森林学会大会、2019年3月20日-23日、新潟コンベンションセンター「朱鷺メッセ」、新潟県。

加藤正人、鄧送求、堀澤正彦、伊藤隆明、大野勝正(2019) レーザセンシングによるスマート精密林業技術の実践。第130回日本森林学会大会、2019年3月20日-23日、新潟コンベンションセンター「朱鷺メッセ」、新潟県。

トウソウキュウ・加藤正人・中山智仁・竹中悠輝・張桂安・岩塚伸人・堀澤正彦・南都寛(2018) Detection of thinning trees using UAV laser data. 第129回日本森林学会大会、2018年3月26日-29日、高知大学、高知県。

加藤正人・トウソウキュウ・竹中悠輝・張桂安・大野勝正・堀澤正彦(2018) レーザ計測によるスマート精密林業の開発。第129回日本森林学会大会、2018年3月26日-29日、高知大学、高知県。

Deng S., Katoh M., Takenaka Y., Cheung K., Ishii A., Fujii N., and Gao T. (2017) Tree species classification of broadleaved forests in Nagano, central Japan, using airborne laser data and multispectral images. ISPRS SPEC3D Workshop (国際学会), October 25-27, 2017, Jyväskylä, Finland.

Katoh M., Deng S., Takenaka Y., Cheung K., Oono K., Horisawa M., Hyyppä J., Yu X., Liang X., and Wang Y. (2017) Development of smart precision forestry in a Japanese conifer plantation using laser scanning data. ISPRS SPEC3D Workshop (国際学会), October 25-27, 2017, Jyväskylä, Finland.

Takenaka Y., Katoh M., Deng S., and Cheung K. (2017) Detecting forests damaged by pine wilt disease at the individual tree level using airborne laser data and WorldView-2/3 images over two seasons. ISPRS SPEC3D Workshop (国際学会), October 25-27, 2017, Jyväskylä, Finland.

中山智仁・トウソウキュウ・加藤正人・岩塚伸人(2017) ドローンレーザによる精密な森林資源把握と定性間伐の検討-長野県塩尻市奈良井国有林を事例として-。第7回中部森林学会大会、2017年10月21日-22日、福井市地域交流プラザ、福井県。

トウソウキュウ・加藤正人(2017) Species classification of natural broad-leaved forests in Afan Woodland using airborne laser data. 第128回日本森林学会大会、2017年3月26日-29日、鹿児島大学、鹿児島県。

竹中悠輝・加藤正人・トウソウキュウ(2017) WorldView-2を用いた松本市の松枯れ被害把握。第128回日本森林学会大会、2017年3月26日-29日、鹿児島大学、鹿児島県。

トウソウキュウ・加藤正人(2016) Comparison of tree species classifications at the individual tree level by combining ALS data and true color orthoimages using different algorithms. 第6回中部森林学会大会、2016年10月22日-23日、三重大学、三重県。

竹中悠輝・加藤正人・トウソウキュウ(2016) Worldview-2 データを用いた松本市の松枯れ被害の把握。第6回中部森林学会大会、2016年10月22日-23日、三重大学、三重県。

井辻康大・加藤正人・トウソウキュウ(2016) WorldView-2 画像と航空機 LiDAR データを用いた雨水被害の解析。第6回中部森林学会大会、2016年10月22日-23日、三重大学、三重県。

[産業財産権]

出願状況(計3件)

名称: 伐採木の確認方法及び確認装置

発明者: 加藤正人、トウソウキュウ

権利者: 信州大学

種類: 特許

番号: 特願 2019-001419

出願年：2019  
国内外の別： 国内

名称：間伐木の選定方法及び選定装置  
発明者：加藤正人、トウソウキユウ  
権利者：信州大学  
種類：特許  
番号：特願 2018-215554  
出願年：2018  
国内外の別： 国内

名称：森林資源情報算定方法及び森林資源情報算定装置  
発明者：加藤正人、トウソウキユウ  
権利者：信州大学  
種類：特許  
番号：特願 2016-227207  
出願年：2016  
国内外の別： 国内

〔その他〕

ホームページ等  
研究室

<http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/agriculture/lab/finfo/>  
トウソウキユウ

<http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/agriculture/lab/finfo/intro/member/new/soukyu/Soukyu.htm>

第2回先進光学衛星利用ワークショップ（招待講演）

[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/conf/workshop/jalos3ws\\_2016jul.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/conf/workshop/jalos3ws_2016jul.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 研究協力者

研究協力者氏名：Yu Xiaowei

ローマ字氏名：(Yu Xiaowei)

研究協力者氏名：Gao Tian

ローマ字氏名：(Gao Tian)

研究協力者氏名：Liang Xinlian

ローマ字氏名：(Liang Xinlian)

研究協力者氏名：Wang Yunsheng

ローマ字氏名：(Wang Yunsheng)

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。