

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26281063

研究課題名(和文) 新アグロフォレストリーのための森林・有用植物資源の賦存量の評価・予測モデルの構築

研究課題名(英文) Evaluation and Estimation of Important Plant Resource for new Agroforestry

研究代表者

高木 方隆 (TAKAGI, Masataka)

高知工科大学・システム工学部・教授

研究者番号：50251468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)： UAVによる空撮と地上型LiDARによる三次元計測により、バイオマス量を把握する手法を構築した。三次元計測結果は、ボクセルモデルに変換し、ボクセルにおける幹の計測数から森林材積を推定することでバイオマス量を求めた。従来手法(胸高直径と樹高から推定する手法)と比較したところ、2%の残差で推定することができた。

四国において、439地点の有用植物を採取し、自生環境を評価した。対象とした植物は、ウバユリ、クロモジ、ヒメコウゾ、リョウブである。地形・地質・気象データを用いて解析した結果、ウバユリは高知県は他県に比べて適地性が高いことが判明した。現在、対象地域を設定し、栽培実験中である。

研究成果の概要(英文)： A Quantity of forest biomass was estimated by 3D measurement using aerial photography and ground based LiDAR. The measurement data were converted to voxel model with 10cm resolution. A timber volume was estimated from number of measurement point in each voxel. Suggested method was compared with existing model using tree height and the diameter at breast height. The residual error showed 2%.

Field survey to sample important plants was carried out 439 points in Shikoku area. Sampled plants were "Ubayuri", "Kuromoji", "Himekozo" and "Ryobu". Autogenous land was extracted spatial analysis using topography, geology and meteorology. The results showed "Ubayuri" had a suitable to habitat in Kochi prefecture. Currently, "Ubayuri" is planting to validate in test field.

研究分野：地理情報システム

キーワード：植物資源 バイオマス計測 環境計測 地理情報システム 適地性評価

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

申請者らは、平成 22 年度より、地理情報システムと植物データベースとを組み合わせた LUPINES (Local Useful Plants with Intelligent Network of Exploring Surface) 地域資源活用プラットフォームを開発・実装し、WEB 上に公開している(総務省 SCOPE, 2010)。平成 24 年度にはこの LUPINES を活用し、「救荒植物(災害時食糧として江戸中期に普及)」の自生環境の評価や GIS 上で様々な地域情報を重ね合わせた、地域基盤情報の統合蓄積にもとづく栽培適地選定の方法論を開発し、有望種の薬理活性と、微気象・微地形等の環境要因との関係性についての分析研究も継続している(総務省 SCOPE, 2012)。また平成 23-25 年度には、高知県からの受託で県内の未利用有用植物約 300 種について薬理活性スクリーニングなどの評価を行い、医薬品、健康食品、化粧品素材などの産業応用に向けた優先順位づけを試みた。

これら一連の研究にもとづく今後の植物産業創出に向けては、材料安定供給が鍵となり、賦存量の精確な評価・予測が求められる。しかし、ここでも従来の植物分布調査ではメッシュが粗すぎ、しかもその対象種の多くは期待される有望種とは異なるものであった。さらに、自生地からの「採取」だけでは持続性が担保されないことから、自生地の環境要素から予測される自生適地において計画的な「栽培」が図られねばならない。しかもその自生適地の推定には、皆伐後の林床という、従来では全く想定外の土地の環境評価が必要となっていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、このシステムをベースに、従来の衛星データ(マクロレイヤー)と地上調査データ(ミクロレイヤー)の中間に、新たに低高度空撮立体画像データによるメソレイヤーを設け、森林バイオマスおよび有用資源植物の賦存量の精密な評価・予測モデルを確立することにある。

#### (1) 森林バイオマス賦存量推計モデルの構築

宿毛市に建設中のバイオマス火力発電所の集材圏を中心に、森林の林相や生長量の実地調査と、リモートセンシングデータおよび低高度空撮データとのキャリブレーションを行い、GIS 上での広域および長期にわたる森林資源評価活用モデルを作成する。これは、将来にわたるバイオマス火力発電の普及のための不可欠の基礎となる。

#### (2) 有用植物資源賦存量モデルおよび推定自生適地評価モデルの構築

高知県を中心とする四国を対象に、有用植物 4 種(ウバユリ、クロモジ、ヒメコウゾ、リュウブなど)の自生地調査を行い、従来の蓄積データと合せて、GIS 上で自生適地予測を行い資源としての賦存量を推定する。これは、有

用植物の産業化利用を行う上で不可欠の基礎となるだけでなく、生物の多様性を保護する上で重要な乱獲の抑止に繋がる。また、推定自生適地評価モデルはそのまま栽培適地選定モデルに展開できる。

#### (3) 局所環境要素の詳細分析と植物の活性成分との関係の解明

これまでの研究で、特定種の有用成分の蓄積量が局所環境要素に左右されることが示唆されている。すでに長期観測を始めた高知県内の実験圃場において、局所環境要素の経時観測と、栽培を継続する。特定有用種の比較栽培ならびに活性成分の化学分析を行い、環境要素との相関について統計的な検定を行う

### 3. 研究の方法

#### (1) 低高度空撮データの GIS への組み入れ

日本において、森林バイオマスの賦存量は、航空機 LiDAR 計測で樹木形状データを取得して推定することが盛んに行われているが、グローバルに展開することを考えると、人工衛星画像からの賦存量の推定を実現する。現地踏査による計測とフィールドサーバによる微気象計測(ミクロレイヤー)、自律型模型航空機による低高度画像計測(メソレイヤー)、人工衛星による高高度画像計測(マクロレイヤー)とアメダス気象データ取得を同期して行い、キャリブレーションし、空間解析を行った。人工衛星による画像から得られる地表面からの放射量データを、ミクロレイヤーとメソレイヤーから得た精密な太陽放射スペクトルデータ・植物の反射スペクトルデータ・植物の表面形状データをもとにシミュレーションすることで、衛星画像のみからでも樹種の判別が可能となり、グローバルな森林バイオマス賦存量の推計モデルが実現できる。

#### (2) GIS による植生分布調査と自生適地予測

高知県を中心とする四国 4 県を対象に、有用植物 4 種(ウバユリ、クロモジ、ヒメコウゾ、リュウブなど)の自生地調査を行った。また、JGN-X のサーバ上に構築された植物資源データベース・LUPINES に、継続して調査データを蓄積することで、様々な機関においてデータを参照でき、効率的な調査データの集約が行える環境を整えた。

植生分布調査を行っていない、未調査地域を対象に自生種予測を行い、実地踏査を行うことで推定自生適地モデルを修正し、精度の向上を図る。そして、推定自生適地モデルをもとに有用植物資源の賦存量推計モデルを構築する。また、集積される植生分布調査データ中に、調査者による人為的な偏りを含まないようにするため、GIS を用いて、四国 4 県の地理的な特徴を定量的に捉えた統計データを作成し、調査対象地域に対し衡平な植物分布調査を行った。

### (3) 圃場栽培試験および活性成分分析

微気象計測装置を設置した実験圃場（うち1カ所はWEBカメラを含む）において、有用植物種（高知県の新産業として有望なウバユリ、クロモジ）の試験栽培を継続し、活性成分の化学的分析評価を行った。その結果と、前記方法(1)(2)によるGISデータおよび植物分布調査、植物の活性成分評価を照合し、植物栽培適地の主要指標を得る。得られた指標をもとに、有用植物種の栽培適地予測を行い、実地踏査および化学的分析評価によって、栽培適地予測の精度向上を図る。

## 4. 研究成果

### (1) 森林バイオマス賦存量推計

LiDAR, UAV(Unmanned Air Vehicle)等の測量技術を用いて広範囲の自然環境のボクセルモデルを構築し、森林バイオマスを推定した。従来の手法で求められる森林バイオマス量との比較を行い、ボクセルモデルの有用性を評価した。対象地域は、高知大学演習林のヒノキ林である（高知県香美市土佐山田町上穴内）。

LiDARとUAVを用いてデータを取得することで森林全体の観測を行った。それぞれのデータを統合させるために幾何変換を行う必要がある。幾何変換用基準点データは、GPSで取得した絶対座標データを使用した。

本研究ではボクセルの大きさを10cmとした。これは幾何変換時の精度や、胸高直径等を考慮した際に、誤差が収まる最小の大きさと判断した。高知大演習林ヒノキ林では10cmのボクセルの中に平均で、6点の点群が存在した。

森林バイオマスを推定するためには幹の体積である幹材積を求める必要がある。本研究では一般的に広く用いられているバイオマス量の推定式(式1)を使用した。

$$Bi = V \times I \times Bd \quad (1)$$

V：幹材積 (m<sup>3</sup>)

Bi：バイオマス量 (t)

I：拡大係数 (=1.55)

Bd：容積密度 (=0.407 t/m<sup>3</sup>)

本研究では、各ボクセル内の点群データの割合が葉よりも枝・幹に分類された割合が高いボクセルのみをカウントし、その数にボクセルの体積を乗ずることで幹材積を求めた。しかし、作成したボクセルモデルは樹木の表面のデータのみであるため幹の内部を充填させる必要がある。そのため、各ボクセルのX,Y軸方向に隣り合った4つのボクセルの内3つ以上が幹のボクセルに分類されていれば中央のボクセルも幹に分類することとした。

比較のために、従来の提案された手法も適用した。細田らは樹高と胸高直径から幹材積を1本あたり0.01m<sup>3</sup>程度の誤差で推定することが可能な手法を構築した。この手法と比較すると、+2%程度の誤差で計測することが可能となった。

### (2)有用植物資源賦存量モデルおよび推定自生適地評価モデルの構築

現地調査のため、スマートフォンでの記録用アプリケーションを開発した。開発において使用したのはTitanium Studioというモバイルアプリケーション開発ツールである。入力項目は、PointID,植物名,位置情報,含水率,土壌の硬度,pH,日付,時刻である。また、スマートフォンには写真撮影機能,位置情報,時刻,写真のファイル名を取得する機能が備わっているため、これらの要素はボタンを押すだけで入力する事が出来る。

2014年~2015年にかけて四国における現地調査を実施し、439地点での現地調査とウバユリ,クロモジ,ヒメコウゾ,リョウブなどの植物採取を行った。今回は有用植物の中でも特に、ウバユリに着目して適地性を評価した。ウバユリは、抗高血圧性などの薬理作用が顕著であり、高付加価値商品としての販路が確保されつつある「有望種」の一つである。ウバユリの自生地分布は、この数年間の四国全域にわたる大規模な植物インベントリにより明らかとなっている。

ウバユリの適地性評価のため、GISデータを利用した。利用したGISデータは、地形（標高,地形分類）、気象（年平均気温,年間降水量）、土地被覆（植生分類）である。ウバユリが採取された地点の特徴量を元に、適地性マップを作成した（図1）。

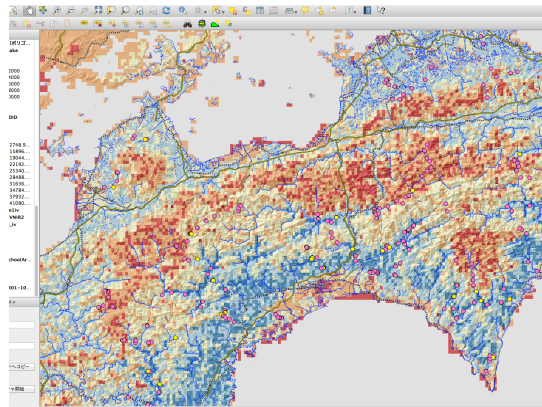


図1 ウバユリの適地性評価マップ  
四国においては、高知県が特に適地性が高いという結果を得ることができた。

### (3)局所環境要素の詳細分析と植物の活性成分との関係の解明

局所環境要素の詳細分析に適した自然環境を表現するデータモデルは、ボクセルモデルである。そこで有用植物栽培のための圃場を設置し、圃場周辺のボクセルモデルを構築した。圃場は、高知工科大学で実施している里山再生プロジェクトの拠点周辺で、香美市土佐山田町中後入地区に位置する。拠点となる古民家周辺は、農地・林地となっているが、

ほとんど活用されていない。林地は、シイ・カシ・クロガネモチなどの常緑広葉樹エリアとスギ・ヒノキなどの常緑針葉樹エリアからなり、ところどころ竹林が侵入している。地形は谷地形で地すべり地形でもあることから地下水が豊富な地域である。そこで、本研究で既にバイオマス量計測に用いた手法を適用して、ボクセルモデルを作成した。

本研究のボクセルの大きさはそれぞれの手法で得た点群の幾何変換精度が最大でも17mmであったため誤差が収まるように10cmとした。属性情報にはボクセルの中心位置の座標、ボクセル内の点群のRGBの平均値、ボクセル内の点群数を付与した。ボクセル内の点群のRGBの平均値を属性値として付与する場合、まず統合した点群データをボクセルに一旦格納し、各ボクセル内に含まれる点群データのRGBの平均値を計算する。その後、格納していた点群データを消去し、RGBの平均値のみを各ボクセルに属性情報として付与させた。このボクセルモデルを用いれば、局所環境要素の解析が可能である。植物の生育における局所環境要素として大きいものは、日射量である。本研究によってボクセルモデルが構築できたので、それを利用すれば、林床部における任意の地点での日射量推定が可能となる。まず日射量を推定する任意地点において、ボクセルモデルから全天球写真が作成できれば、太陽の見かけの位置をその全天球画像に重ね合わせることによって、直達光の放射量と散乱光の放射量を計算することができる。

全天球写真とは、デジタルカメラに円周魚眼レンズを装着し天空の全域を円形の画像1枚に投影した画像である。今回、ボクセルモデル上で任意の視点を選び、Pythonプログラムによって全天球写真と同じ投影画像(以下、仮想全天球画像と呼ぶ)を作成することを試みた。作成する仮想全天球画像は、円周魚眼レンズによって撮影した写真と同じ等立体角投影とした。各ピクセルの座標に対応する視点からの方向ベクトルを用いて、視点から天空までに存在する葉と幹それぞれのボクセルの総数を属性として与える。

各ピクセルに属性値として与える葉と幹それぞれのボクセルの総数は、視点からの方向ベクトルを中心に円柱を発生させ、円柱内に存在する葉と幹それぞれのボクセルの個数とした。ボクセルの大きさが2cmであるため円柱の半径も2cmとした。

視点から天空までに存在する葉と幹それぞれのボクセルの総数を属性として与えた仮想全天球画像は、幹を赤で、葉を緑で表現し、ボクセル数で色の濃さを表現した(図2左)。実際に撮影した全天球写真を図-2右に示す。2枚の画像を比較すると作成した仮想全天球画像は、太い幹だけでなく細い枝の形状まで表現できた。

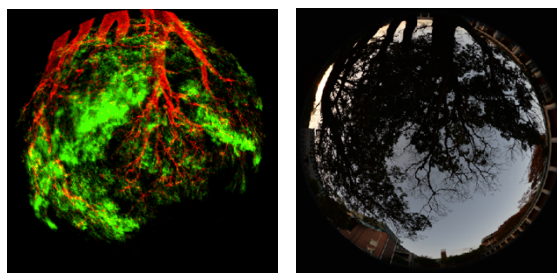


図2 仮想全天球画像と全天球写真

次に日射量推定手法について説明する。まず、日射量を求めたい時刻の地球外スペクトルをSMARTS\_295ソフトウェアにより算出する。次に遮蔽物が存在しない場合の直達光( $S_1$ )と散乱光( $S_2$ )をBouguerの式を用いて求めた。

照度計を用いて2017年1月10日8時30分から16時30分まで1秒間隔で観測を行いシミュレーション結果との比較を試みた。日射量は10分間隔でシミュレートした。照度計は視感度補正がされているため直接比較するのは難しいが、波長がピークになる時刻や大きさが異なる結果となった。誤差の原因には、構築した日射量推定式の精度の他にも、検証日が、点群を取得した2016年11月22日から1か月以上が経過しており、同じ条件での検証が行えていないことが挙げられる。

今回構築したボクセルモデルにより、局所環境要素としての日射量の把握は可能となった。植物の活性成分との比較については、大量に採取したサンプルに対して、活性成分の分析には長時間を要しているため、まだ統計的に有意な特徴を得るまでには至っていない。引き続き成分分析を実行している段階である。

一方、各種有用植物の適地性が認められる地点において、栽培を始めている。本節の最初に紹介した対象地域である。気象ステーションも設置し、高知工科大学にて実施中の里山再生プロジェクトと連携して進めている。

今回、局所環境要素をボクセルモデルで表現する手法を提案することができたが、ボクセルモデルの属性情報は、植生に関する情報のみとなっている。現在、気象ステーションは一機のみのため、局所的な変化を検知できる状況ではない。今後は、小型の気象センサを対象地域に数多く設置し、局所環境要素に関するデータを充実させていく予定である。

2017年度には、続けて科学研究費補助金の基盤研究Bが採択された。そのテーマは、アグロフォレストリーのためのボクセルモデルの構築であり、今回の研究課題を引き継ぐものである。この研究課題の中で、先に述べた小型気象センサによる微気象の特徴を把握するとともに、地下の状態もボクセル化することで適地性評価の精度を高めていきたいと考えている。具体的には、地下水脈、土層厚、土壌分析結果をボクセルモデルに加える予定である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 高橋勇太・高木方隆, ミクセル解析を目的とした Landsat/OLI データと MODIS データの重ね合わせにおける要求精度, 写真測量とリモートセンシング, 査読有り, Vol. 55, No. 6, pp344 - 350, 2016  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40021067719>
  - ② 杉野恭平・高木方隆, 地球観測衛星画像解析における表明形状データの空間分解能についての検討, 写真測量とリモートセンシング, 査読有り, Vol. 55, No. 3, pp191 - 199, 2016
  - ③ Pakoksung Kwanchai and TAKAGI Masataka, Effect of Satellite Based Rainfall Products on River Basin Responses of Runoff Simulation on Flood Event, Modeling Earth Systems and Environment, 査読有り, 2016  
DOI: 10.1007/s40808-016-0200-0
  - ④ Ryousuke Kaneko, Shin AKATSUKA and Masataka TAKAGI, Application of Unmanned Aerial Vehicle Measurement to Estimate Forest Biomass, Internet Journal of Society for Social Management Systems, 査読有り, Vol. sms15, No. 9021, 2015  
<http://kutarr.lib.kochi-tech.ac.jp/dspace/bitstream/10173/1438/1/sms15-9021.pdf>
  - ⑤ Pakoksung Kwanchai and TAKAGI Masataka, Digital Elevation Models on Accuracy Validation and Bias Correction in Vertical, Modeling Earth Systems and Environment, 査読有り, 2015  
DOI:10.1007/s40808-015-0069-3
- [学会発表] (計 4 件)
- ① 藤原匠・高木方隆, ボクセルモデルを用いた日射量推定, 日本写真測量学会平成 28 年度秋期学術講演会, 2016 年 11 月 10 日, 福岡県福岡市
  - ② 兼子瞭介・高木方隆, 三次元ボクセルモデルを用いたバイオマス量の推定, 日本写真測量学会平成 28 年度秋期学術講演会, 2016 年 11 月 10 日, 福岡県福岡市
  - ③ 田中守, 芳香性植物クロモジの機能性, 日本未病システム学会学術総会, 2016 年 11 月 5 日, 福岡県福岡市

- ④ 兼子瞭介・高木方隆, UAV による三次元データを用いた樹木の抽出手法の構築, 生研フォーラム, 2015 年 3 月 3 日, 東京大学生産技術研究所

[図書] (計 1 件)

- ① 渡邊高志, 高知新聞総合印刷, 高知県有用植物ガイドブック, 2016, 470 ページ [産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

[その他]

ホームページ等

現地調査データベース

<http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/takalab/ForestD/>

佐岡プロジェクト

[http://www.infra.kochi-](http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/takagi/Saoka/Welcome.html)

[tech.ac.jp/takagi/Saoka/Welcome.html](http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/takagi/Saoka/Welcome.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高木 方隆 (TAKAGI, Masataka)

高知工科大学・システム工学群・教授  
研究者番号: 50251468

### (2) 研究分担者

田中 守 (TANAKA Mamoru)

高知県立大学・健康栄養学部・助教  
研究者番号: 00612350

渡邊 高志 (WATANABE Takashi)

熊本大学・薬学部・教授  
研究者番号: 70210911

菊池 豊 (KIKUCHI Yutaka)

高知工科大学・地域連携機構・教授  
研究者番号: 80242288

### (3) 連携研究者

大崎 愛弓 (OOSAKI Ayumi)

日本大学 文理学部 准教授  
研究者番号: 50161360

### (4) 研究協力者

稲垣 典年 (INAGAKI Noritoshi)

高知県立牧野植物園

村井 亮介 (MURAI Ryosuke)

高知工科大学 地域連携機構

永野 正朗 (NAGANO Masao)

グリーンエネルギー研究所