

令和 2 年 9 月 9 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01933

研究課題名(和文) アグロフォレストリーのための統合ボクセルモデルの構築

研究課題名(英文) Integrated Voxel Modeling for Agro-Forestry

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：山林の有効な利用と環境保全のため、山林をボクセルモデルで表現し、樹木の成長、林内の下層植生の成長を予測するシステムを目指している。本研究では、UAVを用いた空撮による樹冠の三次元構造計測、地上LiDARによる樹木の三次元構造計測、林内の気象計測、ボーリング調査による地盤内部計測を実施し、それらをボクセルモデルで統合させた。UAVによる空撮は、月2回実施しており、季節変化や経年変化が追跡できる。ボクセルモデルを利用し、間伐による風環境の変化のシミュレーションが可能となっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

耕作放棄地や放置林を対象に、植物だけでなく、地中の情報や気象の情報をボクセルモデルに入力して、環境を評価する例は他に見られない。現在は、葉の面積、幹の体積、地質、土質、気象の情報が入力されているが、今後、土壌化学成分や土壌細菌などに関する様々な物理量をボクセルモデルに入力することで、生態系や環境の変化を予測する仕組みが構築できると期待している。

生態系や環境の変化を予測できれば、有用植物の自生適地が評価できるため、コストをかけずに生産することが可能になる。

研究成果の概要(英文)：An environment of mountain should be represented by VOXEL for agro-forestry and forest conservation. The VOXEL will be used to predict growth of trees and plants. In this study, 3D structure of forest canopy was observed by aerial photograph, inner forest structure was observed by ground based LiDAR, atmosphere in the forest was monitored by weather station and underground was surveyed by boring. All data were integrated to the VOXEL. Aerial photographs were taken twice a month. A seasonal change and aging change can be detected. Generated VOXEL was used for simulation of wind environmental change by logging trees.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：森林環境評価 ボクセルモデル フェノロジー

1 研究開始当初の背景

申請者らは、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地域資源活用プラットフォーム (LUPINES) を開発・実装し、Web 上に公開している (総務省 SCOPE, 2010)。次にこの LUPINES を活用し、救荒植物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)。さらに、地球観測衛星データ・UAV による空撮画像・地上レーザー測量データを統合し、植生の三次元構造を表現するボクセルモデルを生成し、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・予測モデルを構築した (科学研究費補助金 基盤 B, 2014)。

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、安定供給が鍵となり、有用植物の林床部での栽培適地性評価・予測が求められる。現時点では、地表から得られた情報のみで植生の三次元構造を把握し、評価・予測しているが、精度の高い自生適地性評価のためには、植生・地形・地質・土質・土壌・地中水・気象等の三次元構造も把握する必要が出てきた。植生構造と地中構造を同一ボクセルモデルで表現することで、自生適地性が高精度で評価できるだけでなく、樹木の伐採に伴う日射量や微気象、土壌水分の変化予測も可能となる。したがって、様々な間伐状態における林床を予測できることから、精緻な環境評価と共に持続可能なアグロフォレストリーの計画が可能となる。

2 研究の目的

25ha の実験フィールドにおいて、植生ボクセルは、UAV による空撮画像・地上レーザー測量・地上写真測量、地中ボクセルは、土壌分析・ボーリング調査、微気象ボクセルは、気象センサネットワークを用いて構築する。それぞれのデータは、点群密度が異なるが、それぞれのデータ項目に応じた空間的補間手法を適用し、1m 分解能のボクセルモデルを完成させる。

構築された統合ボクセルモデルを用いて自然環境の変化予測が実施できることを目的とする。自然環境の予測は、有用植物の適地性において、気象や土壌の項目を加えた精密な評価が可能となる。具体的には、林床部での日射量は、ボクセルモデルから簡単に予測することを可能にする。したがって、樹木の伐採後の状況も予測可能となり、最適な土地利用計画が策定できる。モデルの検証には、実際に樹木の伐採を行い、各種観測データを用いて比較する。

3 研究の方法

UAV による空撮画像、LiDAR による地上レーザー測量、地上写真測量による植生構造の三次元ボクセルモデルを構築する。それぞれのデータを統合するため、空撮画像のための対空標識、地上レーザー計測と地上写真測量のための反射板を設置し、GPS とトータルステーションにより基準点測量を実施する。

UAV による空撮は、植物の生態学的な季節変化 (フェノロジー) を見るため、ひと月 2~3 回実施した。対象エリアは約 300x300m の範囲である。対地高度 80m と設定し、撮影はオーバーラップ率 85% 以上確保するため、1 回のフライトで約 200 フレームの画像を取得した。

ボーリング調査は 100m × 100m あたり 1 点の空間密度で行う予定であったが、平成 30 年の西日本豪雨により、実験フィールドは相当数の倒木被害を受け、平成 30 年度は実施できなかった。したがってボーリング調査は、対象範囲を狭くし、密度にして 200mx200m あたりに 3 本とする。ボーリング深さは、基岩層が確認できるまでとした。ほとんどのボーリング地点で、基岩層までの深さは、約 10m で

あった。標準貫入試験による N 値を土壌の物理性データとしてボクセルモデルに入力する。地中ボクセルモデル構築については、ボーリング調査を行い、それに基づいてボクセル化する。調査深度は、基岩層までとした。

土壌分析地点をノードとする気象センサネットワークにより経時変化情報を取得する。時間密度は5分おきとした。観測項目は、気温、気圧、風向・風速、日射等である。なお、気温については、観測データを空間的補間法によりボクセルモデルに付与する。

4 研究成果

(1) UAV による植物フェノロジー観測結果

UAV による空撮画像は、三次元解析 (SfM) を行い、三次元点群データを生成させ、オルソ画像に変換した。全ての点群データとオルソ画像は、ファイルサーバーにアーカイブし、ホームページで公開している [1]。全 44 回分の空撮画像である。

UAV によって取得された空撮画像は、気象によって光源の状況が異なり、明度補正と色補正が必要となる。晴天時は、日向の光源が太陽で、日陰の光源が青空であることから色補正は困難である。今回は、曇天時の画像を用いて解析を行うことにした。曇天時においても各ポイントに置いて天空率が異なることから明度に差が生じる。つまり空の開けた箇所は明るく、空の狭い箇所は暗い。そこで点群データを用いて各ピクセルにおける天空割合算出し、それをもとに明度補正を行なった。色補正については、年間を通して色の変化が最も少ないヒノキを標準木とした。つまり、各シーンにおける標準木の色が一致するように RGB ごとにリニアストレッチ処理を行い、色補正した。明度補正と色補正後の画像を図 4.1 に示す。これにより、各ピクセルでの明度の変化と色相の変化を解析することができる。



図 4.1 明度補正と色補正を施した空撮画像

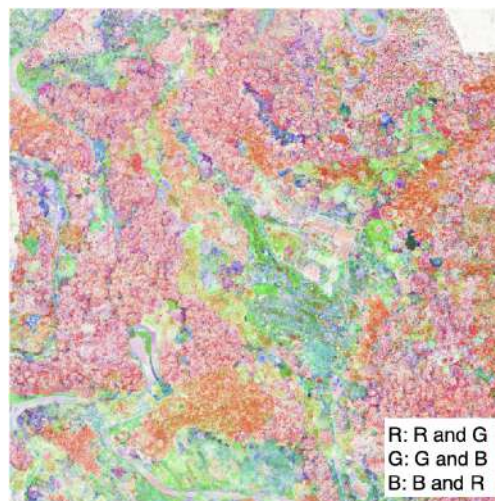


図 4.2 各ピクセルにおける RGB のバンド間相関画像

次に 1 年間の曇りの観測 17 シーンを用いて、経時変化量を用いた RGB 各バンド間相関画像を作成した。バンド間で求めた相関係数を R-G, R-B, B-G の順に R, G, B のバンドそれぞれに割り当て、RGB 各バンド間相関画像を作成した (図 4.2)。樹種ごとに RGB 各バンド間相関画像を見ると、赤い地点の多くはモウソウチクやマダケなどの初夏に黄葉イベントのある竹類が含まれている。そして深緑色に分類された植生は、秋に紅葉イベントのあるイロハカエデが分類され、緑はクリ、コナラ、といった

落葉樹が分類されており、フェノロジーにより変化するバンド間の相関係数が近いグループを分類することはできた。その一方で樹種毎に分類することはできなかった。例えば、色の経時変化量が小さいスギとヒノキは複数の色が混在するため、判別しづらい結果となった。

(2) 植生ボクセルと気象ボクセルの構築

森林ボクセルの構築については、LiDAR による地上レーザー測量は、森林内部では見通しがきかないため、広域観測が困難である。そこで、ボクセルモデルの構築範囲を 70m x 50m に絞って地上レーザー測量を実施した。対象領域を絞ったが、森林の密度が高く、一度に広範囲のデータ取得が困難なため、6箇所地上レーザー測量を実施した。それぞれの測量に得られる点群データは、基準点測量のデータを利用して幾何補正を行い、地上座標に変換した。その際の精度は、最大で 2cm である。10cm のボクセルを構築するのに可能なレベルである。

LiDAR によって得られた点群データは、座標情報の他に、RGB の色情報、法線ベクトルの情報を持っている。RGB は、光源や距離によってデータのばらつきが発生することから、法線ベクトルを用いて点群が葉かどうかを判別した [2]。教師データを用いて検証したところ、90% 以上の精度を有することが確認された。その点群データを 10cm のボクセルに変換したものが、図 4.3 である。葉の点群を緑に、それ以外を黄色で示している。

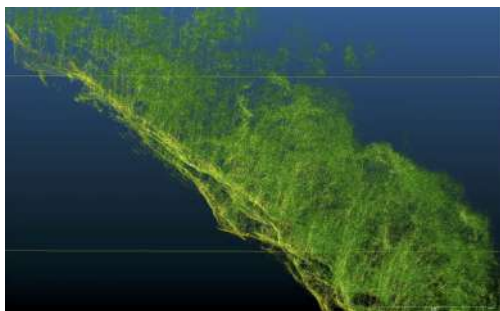


図 4.3 構築された森林構造のボクセルモデル

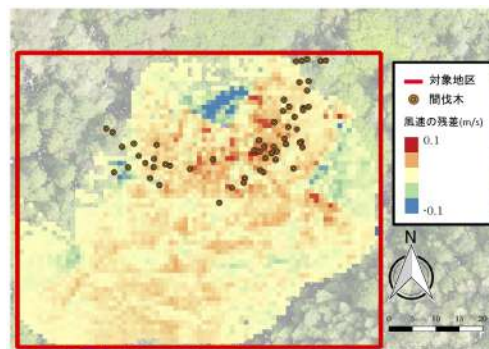


図 4.4 流体解析による間伐後の風環境の変化

2019 年 2 月に対象地域において間伐を実施した。2018 年に構築した植生ボクセルモデルと 2019 年に改めて構築した植生ボクセルモデルを用いて、幹材積の変化を求めた。その結果、11 本の樹木が伐倒されたことが、ボクセルモデルのみから判定され、現地の状況と一致することが確認された。

森林ボクセルモデルを用いて、気象シミュレーションを行った。流体解析ソフトである Open Flow を使い、ボクセルモデルに風を吹き込み、どのような風圧になるかを解析した。ボクセルモデルを用いて、間伐前後で風速にどのような変化が発生するか、地図上にマッピングした (図 4.4)。南から水平に風速 1m/s の風を入力した結果である。除伐したポイントを◎印でプロットしている。間伐によって全体的に風速が増しているが、特に除伐した樹木の北側で風速が増していることが分かる。したがって、植生ボクセルモデルがあることで、間伐による風環境の影響評価が可能であることを示唆している。現在、気象観測データをボクセル化し、シミュレーション結果と照合することで検証している。間伐前の気象状態と間伐後の気象状態が一致しないため、完全な検証とはならないが、年間や月間の平均値で検討することを予定している。

(3) ボーリングによる地中ボクセルの構築と土壌分析結果

図 4.5 は、ボーリング調査の位置図である。地質調査の結果、表層近くの地下 0 m 1 m では粘土質の粘土が確認された。地下 1 m 2 m では、礫や転石等の粒度の大きい土質となっていた。地下 2 m 6 m 付近の間では、粘土質の砂岩・砂礫が確認された。地下 7 m 以下からは赤色チャートが確認された。また、掘削時は 2.5 m 3 m 地点で地下水が確認された。

ボーリング孔においては、水位計を設置し、水位の経時変化を観測している。気象観測結果と合わせてその変化をグラフ化すると、降水量と水位変化は、相関が認められた。



図 4.5 ボーリング調査地点



図 4.6 1m 深地温マップ

地下水脈の流れを把握するため、2017,2018 年度に 1 m 深地温探査を実施した。1 m 深地温探査とは、地下 1 m 深さの温度を測定し、周辺と温度が異なる箇所がないかを探るものである。夏季は、上昇した地温の熱を流動地下水が奪う事で周辺よりも温度が低くなり、冬季では、流動地下水の方が周辺の地温より高くなる。測定温度より流動地下水が存在している可能性がある地点の把握が可能となる。今回は、49 測点で実施した。2018 年冬季に観測した結果を図 4.6 に示す。温度が高い地点を赤く、低い地点を青く示しており、どちらも赤が濃くなるほど水脈があると予想されるゾーンである。夏期の観測を含めた 2017 年度以来の結果を比較すると、中心部に赤色が分布しているという点で一致しており、中心部に浅い水脈が存在する可能性が高いと見られた。

土壌化学分析は、UAV 観測を行なっているエリアを対象に計 21 カ所の土壌を採取した。今回の対象地域からは、Fe, Mn, Nacl は、全ての採取地点で検出されなかった。そこで、土壌の基本成分である P, K, Ca, Mg について、平地と斜面で差異はあるのか、平均値と標準偏差値を用いて比較した。その結果 Ca の平均値は、平地の方が大きい標準偏差が大きく、特徴としては言えない状況であった。P は斜面の方が大きく、標準偏差は大きくないので特徴と言える。この特徴が地形に由来するものなのか確認する必要がある。K、Mg はともに平地と斜面で平均値の差が小さいので地形的な差異はなかった。

参考文献

- 1) <https://sites.google.com/view/satoyama-pj/観測データ>
- 2) 高木方隆, 赤塚慎, 須内洸介, “佐岡地区里山研究フィールドにおける森林の保全と自然環境のモデル化”, 高知工科大学紀要, Vol.16, No.1, 99-103, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takumi FUJIWARA, Shin AKATSUKA, Ryosuke KANEKO and Masataka TAKAGI	4. 巻 11
2. 論文標題 Construction method of voxel model and the application for Agro-Forestry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Internet Journal of Society for Social Management Systems	6. 最初と最後の頁 112 - 121
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 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 -
1. 著者名 Pakoksung Kwanchai, Takagi Masataka	4. 巻 21
2. 論文標題 Mixed Zero-Inflation Method and Probability Distribution in Fitting Daily Rainfall Data	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 63 ~ 80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4186/ej.2017.21.2.63	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 本田 理恵, 林 諒	4. 巻 7
2. 論文標題 時空間変動データからのホットスポット自動抽出・要約システムの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 宇宙科学情報解析論文誌	6. 最初と最後の頁 33 - 42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20637/JAXA-RR-17-009/0004	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 -
1. 著者名 竹内悠一郎・古沢浩・吉村耕平・那須清吾	4. 巻 32
2. 論文標題 台風期の高知市における気候変動の影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 環境共生	6. 最初と最後の頁 18 - 30
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 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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Masataka TAKAGI
2. 発表標題 Mapping Tender Green and Autumn Color by Satellite Data Fusion
3. 学会等名 GCOM PI workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林諒, 本地理恵, 佐藤晋介, 村田健史, 村永和哉, 鶴川健太郎, 佐々浩司, 村田文絵
2. 発表標題 時系列3次元グリッドデータからのホットスポット自動抽出
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡 真如, 川上 利次, 高野 一隆, 上津原 太一, 木村 穰
2. 発表標題 GNSS測量における位置誤差と面積誤差との関係
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 湯浅 美咲, 矢島 由寛, 松岡 真如
2. 発表標題 UAVデータによる人工林の樹冠投影図の作成
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 高橋遥, 高木方隆
2. 発表標題 ボクセルモデルを用いた高瀬地区における危険ブロックの推定
3. 学会等名 宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原匠, 高木方隆
2. 発表標題 葉面積指数推定に向けたボクセルモデル作成手法
3. 学会等名 宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高知工科大学フィールドデータベース https://sites.google.com/view/kochi-gis/home 里山工学における成果 https://sites.google.com/view/mstakagi/satoyama

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	古沢 浩 (Furusawa Hiroshi) (20282684)	高知工科大学・環境理工学群・教授 (26402)	

6. 研究組織（つづき）

	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	松岡 真如 (Matsuoka Masayuki) (50399325)	高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授 (16401)	
研究 分担者	本田 理恵 (Honda Rie) (80253334)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授 (16401)	
研究 協力者	村井 亮介 (Murai Ryosuke)	高知工科大学・地域連携機構・助手 (26402)	