

マレーシアのアブラヤシ管理におけるリモートセンシングの活用

*Application of Remote Sensing for Oil Palm Management in Malaysia*竹 内 渉[†]
(TAKEUCHI Wataru)

I. はじめに

マレーシアは、インドネシアに次ぐ世界第2位のパームオイル生産国であり、世界の35%程度の市場規模を誇る。1960年代以降国策としてアブラヤシの植林が行われてきたが、アブラヤシは30年程度で寿命を迎えるため、国全体のアブラヤシが再植林の時期を迎えており、GISを利用した効率的な管理運営に大きな期待が集まっている。大部分を占める国有地のアブラヤシは、マレーシア連邦土地開発公社(FELDA)によって管理がなされている。植林をする際には計画に基づいた設計図が用意されているが、現場のテラス作成の土木工事では精密な測量ではなく、現場作業員の勘と経験に頼った施工と植林が行われているのが現状である。

そこで、衛星測位技術GNSSを用いて植林のための測量を行い、リモートセンシングやUAVから作成された地形情報を3次元GIS上に表現し、テラス施工と植林を効率的に管理する方法を開発することとなった。また、ALOS2 PALSAR2データを用いたアブラヤシのバイオマスと収量の計測、ガノデルマに感染したアブラヤシの検知、フィールドサーバと衛星データから得られる農業気象情報の推定についても検討した。

II. UAVを用いた地形情報の計測

テストサイトはクアラランプールから東に200km程度に位置するクラウ(Krau)である。写真-1は、クラウのアブラヤシ植林現場(北緯4度、東経102.5度)の様子を示している。写真中央から右にかけて比高30m程度のテラスが広がり、およそ2mおきにアブラヤシが植林されている。5年程度で樹高20m程度の成木になる。

アブラヤシが寿命を迎える、あるいは病害虫の影響を受けて生産が期待されなくなると、いったんアブラヤシは切り倒され、再植林が行われる。その時、ブル



写真-1 クラウのアブラヤシ植林現場の様子(北緯4度、東経102.5度。写真中央から右にかけて比高30m程度のテラスが広がり、およそ2mおきにアブラヤシが植林されている。5年程度で樹高20m程度の成木になる。)

ドーザやバックホウを用いた作業が行われるが、これらの重機にはGPS機器が搭載されており、作業記録をもとに外注人件費が支払われている。現場の作業員は、マレー人ではなく、スリランカ、インド、カンボジアなど周辺国からの出稼ぎ労働者であることが多い。

テラスの整備には、計画に基づいた設計図が用意されているが、実際の現場では精密な測量は行われておらず、現場作業員の勘と経験に頼った施工がなされている。そのため、どの程度正確に整地されているかを確認する必要がある。

GeoEyeやALOS PRISMなどステレオ撮影機能を用いれば、テラスの整備具合をDEMデータによって確認することができるが、雲による影響が大きい点、必要となる空間解像度が1m程度であること、費用がかさばることなどが障壁となり、利用は見送られた。

一方で、FELDAでは、数年前から固定翼UAV(senseFly社、eBee)を導入して現場の様子を撮影していたが、可視画像を目視判読するのみであった。そこで、図-1に示すように、UAVから撮影された可視

[†]東京大学生産技術研究所



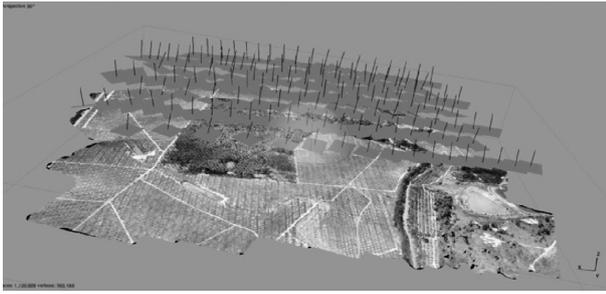


図-1 UAV から撮影されたクラウのアブラヤシ植林現場の様子 (Photoscan pro を用いて SfM 解析を行い、地形、アブラヤシの樹高、単木抽出による本数の計測を行った。)

画像に対して、3次元測量 Structure from Motion (SfM) を導入し、地形、アブラヤシの樹高、単木抽出による本数の計測を行った。使用した機材は、Canon PowerShot S100 であり、高度およそ 200 m から撮影し、空間解像度 5 cm のモザイク画像を周囲 2 km にわたって作成した。

地上検証点 (GCP) を用いて位置精度を計測した結果、東西方向に 2.2 m、南北方向に 1.5 m、鉛直方向に 2.0 m 程度の誤差が生じていることが明らかとなった。図-2 に示すように得られた地形データは、従来のブループリントで用いられていた標高図 20 m に比べると十分に高い空間分解能を有するため、テラス施工の効率化に大きく寄与することが判明した。本サイトでは、2016 年 7 月から行われる新規植林工事において、従来のブループリントと UAV から得られた地形データを組み込んだ新しいブループリントの両方を比較した検証実験が行われる予定である。また、新規に植林されるアブラヤシは、携帯型の GNSS 受信機を用いて、数 cm 精度で植付け位置を確認しながら作業を行う予定である。

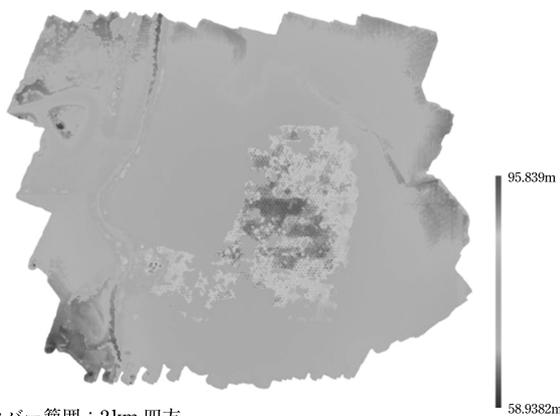


図-2 クラウのアブラヤシ植林現場で撮影された UAV から作成した地形データ

III. ALOS2 PALSAR2 を用いたパームオイルの収量予測

ブループリントに高精度地形データを組み込み、GNSS 受信機を用いて再植林を行ったのち、アブラヤシの生育状況を把握するためには、定期的に観測を行う必要がある。アブラヤシの生育は、気象、土壌、水利条件によって左右されるが、順調に生育すると、再植林から 3 年程度でほぼ毎月オイルを収穫できるようになる。アブラヤシは広範に分布するため、リモートセンシングを用いたバイオマス、収量の予測は、費用対効果の観点から期待が大きい。収量の予測は、基本的には地上バイオマスの計測によって行うことが可能であると考えられる¹⁾。

図-3 は、クラウのアブラヤシの樹齢と ALOS2 PALSAR2 の HH 偏波 (2015 年 5 月 24 日撮影 Ascending path) との関係を表している²⁾。樹齢データは 2014 年 12 月から 2015 年 3 月にかけて計測された。樹齢の増大とともに HH 偏波が大きくなる、すなわちバイオマスが大きくなることを示している。樹齢が 20 年程度のサンプルについて、HH の値に大きなばらつきがみられるが、これは、起伏の影響を受けているものと考えられる。先の UAV 観測から得られた地形情報をもとに、レイオーバーによる過大評価を軽減することができると思われる。アブラヤシの収量はバイオマスと高い相関を示すことが知られているため、PALSAR2 観測結果から統計的にアブラヤシの収量を推定することができると期待される。

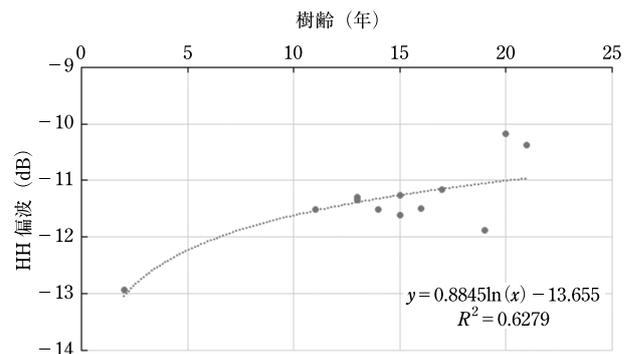


図-3 クラウのアブラヤシの樹齢と ALOS2 PALSAR2 の HH 偏波との関係

IV. アブラヤシ病原菌ガノデルマの検知

マレーシアのアブラヤシにおいて大きな問題であるのが、病原菌であるガノデルマ (*Ganoderma boninense*) である³⁾。1980 年代に海岸線沿いに植林されたアブラヤシを中心に発症が始まった。発症したアブラヤシを焼却処分すれば、効果的な駆除が可能であると考えら

れているが、大規模な野焼きは法律で禁止されているため、発症したアブラヤシを現場で細かくチップ状に碎いて土中埋設処理する、あるいはトラックで遠方に運搬する、などの処理が全国的になされた結果、ガノデルマは全国のアブラヤシに蔓延した。ガノデルマに感染したアブラヤシは収量が徐々に減少し、やがて枯死する。



写真-2 ガノデルマに感染し枯死したアブラヤシ。

写真-2 に示すように、枯死したアブラヤシは枝がしおれて樹冠が著しく小さくなるのがわかる。観測モードにも依存するが、PALSAR2の標準的な解像度である5~10mが確保されれば、ガノデルマにより枯死したアブラヤシを検知することはさほど難しくないと考えられる。

一方で、写真-3 に示すように、軽症の状態でもアブラヤシを発見することができれば、感染の拡大防止に資する情報となる。筆者らは、2016年3月にハイパースペクトル計(ADS社 Handheld2)を用いて葉面のスペクトル計測を実施したが、ほかの報告事例⁴⁾と同じように、感染したアブラヤシでは近赤外の反射率が低下するという結果を得ることができた。実務への応用を視野に入れると、衛星あるいはUAVからの観測が必要不可欠であることから、空間分解能について検討が必要であると考えている。

V. フィールドサーバを用いた衛星降雨プロ

アブラヤシの生育は、気象、土壌、水利条件によって左右されるため、広域でこれらの情報が得られれば、再植林の際に適地を選択するための指針を作成できる。そこで、写真-4 に示すように、FELDAの協力を得て、クラウのアブラヤシ林の中にフィールドサー



写真-3 ガノデルマに感染した軽症のアブラヤシ(左写真に示すように、軽症の場合は、薬液注入の後、盛土をして養生する。壊死した場合はチップにして、乾燥させ、右写真に示すように、土中に埋める。法律の規定でその場での燃焼は認められておらず、輸送費用の問題で現場投棄せざるをえない。)

バを設置し、デジタルカメラ画像、気温、相対湿度、土壌水分、風向・風速、日射量、降水量を現場観測するとともに、衛星から得られる降雨分布図 Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)、気象衛星ひまわりから得られる地表面温度との相互比較を行った。設置したフィールドサーバは、X-ability社製であり、太陽光パネルから電力を供給することが可能であるため、フィールドサーバを固定する直径5cm長さ3m程度の鋼管が手に入れば、無電源地域でも設置が可能である。また、携帯電話回線経由でデータをX-ability社のサーバに送信し、準実時間で各種データをウェブ経由で取得することができる⁴⁾。



写真-4 クラウに設置したフィールドサーバ(デジタルカメラ画像、気温、相対湿度、土壌水分、風向・風速、日射量、降水量を観測できる。)

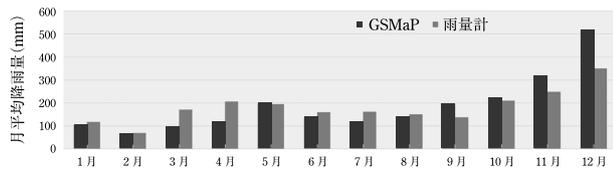


図-4 クラウに設置した2010年から2015年にかけての現地雨量計降雨データと衛星観測降雨データ GSMaP との月平均での比較

広域に分布するアブラヤシ園の降雨状況を把握するために、衛星から得られる降雨分布図 GSMaP を使用した。GSMaP は、JAXA が世界の雨分布を準実時間（観測から約4時間遅れ）で1時間ごとに複数の衛星（GPM-Core GMI, TRMM TMI, GCOM-W AMSR2, DMSP シリーズ SSMIS, NOAA シリーズ AMSU, MetOp シリーズ AMSU, 静止気象衛星 IR）を利用して提供しているプロダクトであり、無償で利用することができる⁵⁾。これに加えて、2010年から2015年にかけて同現場の雨量計で計測された毎時の降雨データが FELDA から提供され、GSMaP と比較した結果、図-4 のような結果が得られた。

アブラヤシ園での降水量は、年間を通じて多く、年間積算降水量は2,400 から3,000 mm である。緩やかな乾季と雨季があるが、11月から12月にかけての雨季には、月に300 から500 mm の降水量があることがわかる。GSMaP と雨量計データとの相関は高く ($R=0.82$)、2乗平均誤差は65.9 mm であった。アブラヤシが植林されている地域には、気象観測装置は疎に配置されていることから、衛星観測降雨データは、効果的に使用できるものと考えられる。

VI. おわりに

本報では、マレーシアのアブラヤシ管理において、衛星あるいは UAV からのリモートセンシングにより、地形、樹高、GNSS との連携による植付け位置推定、地形、パームオイルの収量予測、ガノデルマに感染したアブラヤシの検知、フィールドサーバとの連携による降雨情報などが得られ、FELDA によって進みつつある実務利用について紹介を行った。

大学や研究機関で行われている研究を実務に利用するためには、現場で生じるさまざまな問題に対処する力、英語による国際的な意思疎通能力、実務での要求事項と研究開発要素とのすり合わせ、空間情報工学、農学をはじめとした科学的知見に基づいた幅広い知識が求められる。リモートセンシングが真に应用されて役に立つには、現場の要求に対応し続けられる努力が必要であると考えられる。

なお、本研究は、宇宙航空研究開発機構 JAXA が主宰するアジア・太平洋地域宇宙機関会議 (Asia-Pacific Regional Space Agency Forum : APRSAF) で採択された「SAFE~宇宙技術による環境監視~」の一環として実施されました。

引用文献

- 1) Morel, A.C. et. al : Estimating aboveground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR data, *Forest Ecology and Management* 262(9), pp.1786~1798 (2014)
- 2) Darmawan, S. et. al : An investigation of age and yield of fresh fruit bunches of oil palm based on ALOS PALSAR2 *Malaysian Journal of Remote Sensing* 5(2), pp.57~65 (2016)
- 3) Liaghat, S. et. al : Early detection of basal stem rot disease (Ganoderma) in oil palms based on hyperspectral reflectance data using pattern recognition algorithms, *International Journal of Remote Sensing* 35(10), pp. 3427~3439 (2014), DOI: 10.1080/01431161.2014.903353.
- 4) X-Ability : <http://x-ability.co.jp/> (参照 2016年7月7日)
- 5) JAXA EORC GSMaP : http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm (参照 2016年7月7日)

[2016.8.5.受理]

竹内 渉



略 歴

1975年 石川県に生まれる
 1999年 東京大学工学部土木工学科卒業
 2010年 東京大学生産技術研究所人間・社会系部
 門准教授
 現在に至る