

## 試験研究成果普及情報

部門	森林・林業	対象	普及
課題名：地上レーザ計測やドローンを活用した森林調査技術			
<p>[要約] 見通しの良い森林では、地上レーザ計測装置を使用することで効率的に毎木調査を行うことができる。ドローンの撮影画像からオルソ画像、点群データを作成することで、地ごしらえや下刈りの面積、気象害等による森林被害、海岸砂丘の浸食状況等を効率的に把握することができる。</p>			
キーワード： 地上レーザ計測、ドローン、オルソ画像、点群データ、森林調査			
実施機関名	主 査 農林総合研究センター 森林研究所 協力機関 森林課、各林業事務所、千葉県森林組合		
実施期間	2021年度～2022年度		

### [目的及び背景]

近年、レーザ測量やドローン、GIS（地理情報システム）等の新しい技術を用い、森林調査や森林整備の効率化を目指すスマート林業が全国的に取り組まれている。本県では、令和元年の台風被害を受けて、被害林や重要インフラ周辺の森林整備が急務となっており、森林調査や森林整備を効率的に進めるため、これらの新しい技術の早急な導入が求められている。そこで、森林調査の効率化、災害時の迅速な被害状況の把握及び効率的な森林整備のために、レーザ測量やドローン、GIS等の技術を用いた、千葉県の森林に合った効率的な森林調査技術を明らかにする。

### [成果内容]

- 1 地上レーザ計測装置の一つである OWL（アウル、株式会社アドイン研究所）を森林の毎木調査に使用する場合、低木や林床植生が繁茂して林内の見通しが悪い森林、幹の胸高位置にツルが巻き付いている森林及び地形が複雑な森林では、計測誤差が大きくなる場合や計測ができない場合があるが（図1）、林内の見通しが良く、地形が緩やかで幹にツルが巻き付いていない森林では効率よく毎木調査ができる（表1）。
- 2 OWLを使って平坦で見通しの良い森林研究所内のスギ林 1,200m<sup>2</sup>（立木本数 159本）の毎木調査を行った場合の現地計測時間は30分（1人）で、従来の方法で胸高直径のみを測定した場合の60分（1人）の1/2となり計測時間が大幅に短縮できる。この場合のOWLの計測値の誤差は、従来の方法に比べて立木本数が-1本、平均胸高直径が+1.4cmである（表2）。また、OWLでは胸高直径と同時に樹高、幹の曲がり、立木位置等のデータが取得できる（図2）。
- 3 OWLから出力される立木の位置データは、QGIS等のGISソフトウェア上で表示することができ、森林の管理に活用できる（図3）。
- 4 導入費用については、購入する場合はソフトウェアを含む機器代が459万円、点検

費用として年間 15 万円が必要となる。また、レンタルの場合は、受講料（初回のみ）11 万円、基本レンタル料が 1 回 5.5 万円及び 1 日当たりレンタル料が 1.2 万円となることから（表 1）、調査頻度が高くない場合は必要な時期に機器をレンタルする方が費用を低く抑えられる。

- 5 ドローンと写真測量アプリを使用し、撮影高度 100m、オーバーラップ（飛行コース方向の重複）80%及びサイドラップ（飛行コース間の重複）70%で撮影した画像から、SfM ソフトウェアを使用してオルソ画像を作成すると、GIS ソフトウェア上で地ごしらせや下刈りの実施状況の確認（図 4）、面積測定が可能であることから、森林整備事業の検査等に活用できる可能性がある。
- 6 気象害等により立木が集団で倒伏している森林や山腹崩壊が発生した森林は、従来のように人が現地に立ち入って被害調査を行わなくても、ドローンによる撮影画像から被害状況を容易に把握することができる。撮影画像からオルソ画像を作成し GIS ソフトウェア上に表示することで、被害の面積や延長の計測が可能であり、同様に点群データを作成し点群解析ソフトウェア（Cloud Compare など）を使用することで、点の 3 次元座標から崩壊地の高低差や傾斜、斜距離の計測が可能である（図 5）。
- 7 海岸砂丘の浸食状況は、ドローンの撮影画像から点群データを作成し、点群解析ソフトウェアを使用することで把握できる（図 6）。この場合は、撮影高度を 100m 程度にすると撮影の効率が良い。
- 8 ドローンによる森林の毎木調査手法については、高度 100m 程度の撮影画像から DSM（数値表層モデル）を作成することで上層木の本数についてはある程度把握できる（図 7）。ただし、現状では樹高や胸高直径、撮影画像に写らない下層木については把握できないことから、林分材積の推定は難しい。
- 9 ドローンの導入には、機体の購入に 20～30 万円（税務上の耐用年数は 5 年）、画像処理用 PC の購入に 30～50 万円、オルソ画像、点群データ等を作成するための SfM ソフトウェアの購入に 50 万円以上が必要となる。維持管理経費としては、ドローンの点検、保険に年間 10 万円程度が必要となる。なお、導入費用の中で最も高額な SfM ソフトウェアについては、Open Drone Map というフリーソフトが利用できる可能性がある。

#### [留意事項]

ドローンの運用に当たっては、国土交通省への機体登録が必要であり、人口密集地区（DID）における飛行、目視外飛行等を行う場合には国土交通省の許可承認が必要である。

#### [普及対象地域]

県内全域

[行政上の措置]

効率的な森林整備を進めるため、今後はオルソ画像を使用した森林整備事業の検査等に対応していく必要がある。

[普及状況]

ドローンは3林業事務所に配備済み、オルソ画像等の作成は森林研究所で実施できる体制になっており、ドローンの活用が進みつつある。

[成果の概要]

表1 地上レーザ計測装置 OWL の仕様、特性

項目	仕様・特性など
重量・本体寸法	3.7kg・66×290×148mm
操作方法	・10～15m間隔でボタンを押して1分程度のレーザスキャンを行う
計測できるデータ	・胸高直径、樹高、幹曲がり、材積、立木位置、計測位置、立木及び地形の点群データ
使用に適する森林	・林内の見通しが良く、低木や林床植生、幹に絡むツルなどが繁茂していない森林 ・地形が複雑ではない森林
使用に適さない森林	・低木や林床植生が繁茂し林内の見通しが悪い森林 ・幹の胸高位置にツルが巻き付いている森林 ・地形が複雑な森林
樹高測定	・樹高が20mを越える森林、地上から梢端が見にくい森林では過小評価となる傾向があるため、その場合は樹高のサンプル調査を行い補正が必要
GISとの連携	・立木位置、調査区の位置をシェイプファイルで出力することができ、GIS上で活用できる
導入費用 (令和4年時点)	・購入の場合 360度カメラ付きOWL、OWLマネージャー（ソフトウェア）で459万円 点検費用約15万円（1年点検、消耗品部品交換含む） ・レンタルの場合 初回のみ受講料11万円、基本レンタル料5.5万円+1.2万円×日数

表2 胸高直径の毎木調査における地上レーザ計測装置 OWL と従来の方法との比較

	地上レーザ (OWL)	従来の方法	比較
現地計測時間	30分 (1人)	60分 (1人)	1/2
計測された立木本数	158本	159本	△1本
胸高直径 (平均値±SD)	32.4±10.1cm	31.0±9.4cm	+1.4cm

注1) 調査は、森林研究所内の平坦で見通しの良いスギ林 1,200m<sup>2</sup>で行った

2) 地上レーザ計測は、約10m間隔の21地点で約1分間のレーザスキャンを行う作業

3) 従来の方法は、輪尺を使用して胸高直径階別の本数を計測する作業

4) 地上レーザ計測では、同時に立木位置、樹高、幹曲がり等のデータを取得できる

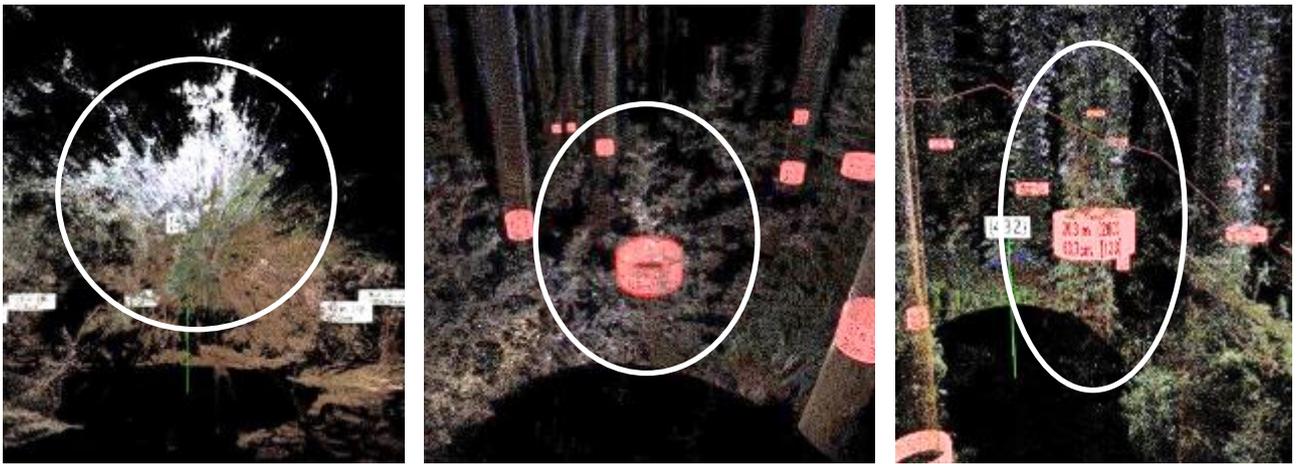


図1 地上レーザ計測装置 OWL で適切に森林調査ができなかった例

- 注1) 左はクロマツと広葉樹が密生した海岸林で、レーザ光の照射が低木に遮られ、計測ができなかった例（放射状に見えるのはレーザ光の反射）
- 2) 中央は低木が繁茂したヒノキ林で、低木を樹高 13.1m、胸高直径 42.5cm の立木として誤認識した例
- 3) 右は幹にツルが巻き付いたヒノキ林で、胸高直径が 63.7cm と過大に計測された例

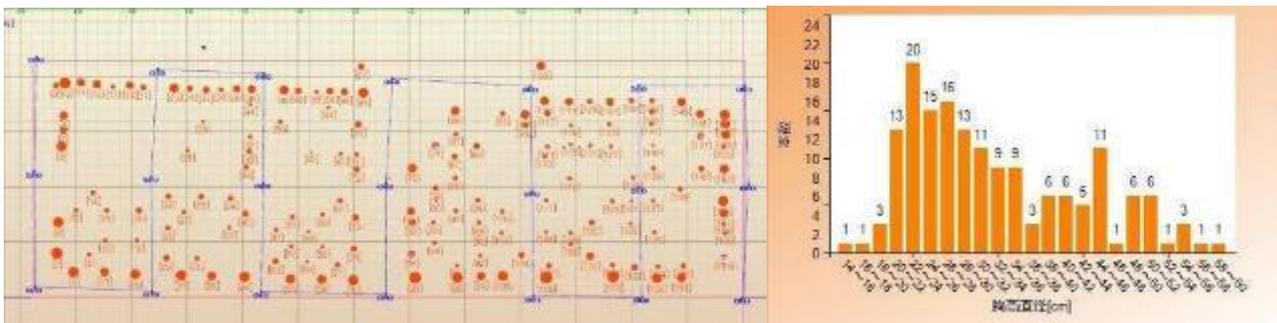


図2 地上レーザ計測装置 OWL を使用して森林研究所内のスギ林を調査した結果

- 注) 上は点群データ、下左は立木配置図、下右は胸高直径階別本数のグラフ

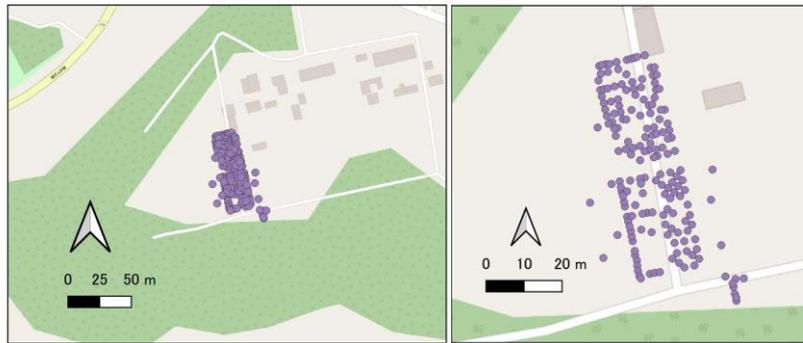


図3 図2のスギ林の立木位置データを QGIS により地図上に表示した画像  
 注) 右の画像は左の画像の縮尺を変えて拡大して表示したもの



図4 ドローンの撮影画像から作成した地ごしらえ実施地のオルソ画像

- 注1) ドローンは Phantom4RTK、飛行アプリは GSRTK、SfM ソフトは Metashape を使用  
 2) 令和4年5月20日に山武市で高度100mから撮影した画像からオルソ画像を作成し、QGISで表示した画像(右の画像は左の白枠部分の拡大)



図5 崩壊地のオルソ画像(左)と、点群データを Cloud Compare で表示した画像(右)

- 注1) 使用機材等は図4注1に同じ  
 2) 令和4年6月29日に君津市亀山で撮影した画像からオルソ画像と点群データを作成し、オルソ画像は QGIS で、点群データは Cloud Compare で表示したもの  
 3) 白丸で囲まれた部分は同じ崩壊地で、右は視点を変えて斜めから見た画像  
 4) Cloud Compare はフリーの点群データ解析ソフトウェア



図6 海岸砂丘の点群データを点群解析ソフトウェアの Cloud Compare で表示した画像

注1) 使用機材等は図4注1に同じ

2) 令和3年2月5日に白子町で高度100mから撮影した画像から点群データを作成した

3) 白矢印は砂丘が浸食されている場所



図7 QGIS上で拡大したオルソ画像（左）と、オルソ画像にDSM（数値表層モデル）から抽出した樹頂点（白丸）を重ねた画像（右）

注1) 使用機材等は図4注1に同じ

2) 令和5年2月3日に富津市で撮影した画像からDSMを作成した

3) 樹頂点の抽出にはQGISのプラグイン（Tree Density Calculator）を使用した

[発表及び関連文献]

- 1 福島成樹、海岸砂丘の3Dモデル化におけるCloud Compareを用いたUAV撮影方法の比較、関東森林研究73:167-168、2022年
- 2 福島成樹、OPEN DRONE MAPとMetashapeで生成したオルソ画像の比較、第134回日本森林学会大会学術講演集、P-068、2023年
- 3 令和5年度試験研究成果発表会（林業部門）

[その他]

- 1 令和2年度試験研究要望課題（提起機関：森林課）
- 2 令和3年度試験研究要望課題（提起機関：北部林業事務所）
- 3 用語説明
  - (1) 地上レーザ計測装置：レーザ光を照射して地物の3次元情報を取得する装置
  - (2) OWL：株式会社アドイン研究所が森林の毎木調査用に開発した地上レーザ計測装置
  - (3) GIS（地理情報システム）：データを地図上で管理、利用するためのシステム
  - (4) オルソ画像：レンズの歪みを補正した地図と同じように扱える写真（画像）
  - (5) 点群データ：X, Y, Zの3次元情報を持った点の集まり
  - (6) SfMソフトウェア：複数の画像からオルソ画像、点群データ等を作成するソフト
  - (7) QGIS：フリーのGISソフト (<https://qgis.org/ja/site/>)
  - (8) Cloud Compare：フリーの点群データ解析ソフト  
(<https://www.danielgm.net/cc/>)
  - (9) DSM（数値表層モデル）：地表面の高さを表した3次元データ
  - (10) OPEN DRONE MAP：フリーのSfMソフトウェア  
(<https://www.opendronemap.org/webodm/>)