

森林管理のための森林立木三次元地図の構築と立木情報の抽出

○近藤修平(アドイン研究所兼森林再生システム), 福田 英幸(筑波大学),
塩沢恵子, 望月寿彦(アドイン研究所兼森林再生システム), 坪内孝司 (筑波大学),
富村周平, 中西修一, 望月亜希子(森林再生システム),
千葉幸弘(森林総合研究所), 佐々木浩二(アドイン研究所), 速水亨(森林再生システム)

Forest 3D Mapping and Tree Sizes Measurement for Forest Management

○Shuhei KONDOU (AdIn Research, Inc. and Forest Revitalization System Corp.), Hideyuki FUKUDA (University of Tsukuba),
Keiko SHIOZAWA and Toshihiko MOCHIZUKI (AdIn Research, Inc. and Forest Revitalization System Corp.),
Takashi TSUBOUCHI (University of Tsukuba),
Shuhei TOMIMURA, and Shuichi NAKANISHI and Akiko MOCHIZUKI (Forest Revitalization System Corp.),
Yukihiro CHIBA (Forestry and Forest Products Research Institute), Kouji SASAKI (AdIn Research, Inc.)
and Tohru HAYAMI (Forest Revitalization System Corp.)

Abstract: A portable 3D scanning device is developed to save heavy labors of manual tree measurements in forest. The device consists of a 2D lidar and a rotating table. The lidar on the table is rotated with the scanning plane placed vertically so that the device covers wide measurement space.. We focus on improvement of accuracy of Diameter at Breast Height.

1. はじめに

森林の資源管理は、木材資源の管理やCO2固定量の推定などの面からその重要性が年々増している。しかし、人工林における樹木資源量に関するデータは、簡易な器具を用いていまだ人手で計測しているのが現状であり、多くの作業時間が必要であることや計測者のスキルによる計測値のバラつきが多いという問題が指摘されている。そのため、計測の機械化による時間短縮、データの均質化が求められている。筆者らは、実際に山林で使用することを前提として、小型軽量で移動しながら自動的に森林の樹木形状や毎木位置、毎木の直径などのデータを取得できる装置の研究開発を行っている。

本研究は、森林管理業務におけるニーズに対し、近年精力的に研究されている移動ロボット分野の環境認識技術を適用できないかということから始まった。計測装置としては、測域センサ・回転駆動体・加速度センサ・デジタルカメラ・小型計算機を一体としたものを想定している。坪内らは、測域センサで複数地点の環境空間を三次元的に走査した距離データを用い、2つの地点で得た距離データのうち、同一の対象物に対する距離データを空間的に重ね合わせる(スキャンマッチング)手法に基づく SLAM 問題を扱っている[2]。森川は、ステレオカメラを用いた同様の研究も行っている[3]。本研究は、ロボット工学分野で盛んに研究されている SLAM 手法を応用できる分野である。本稿では、樹木情報を取得するための三次元マップの構築を目的とする。実用上は、立木位置誤差 10cm 以下、胸高直径の計測誤差 2cm 以下であればよいとされる。本研究においてもこれを最終的な目標精度とする。

これまでに筆者らは平地林、斜面林において三次元計測をおこない、森林の三次元マップの合成と立木の胸高直径（地上 1.2m 付近の直径）を算出した[5,7]。

しかし、樹冠構造の把握するためには森林の上部まで計測する必要があるが、従来の揺動機構を用いた 3 次元計測装置では高さ方向の計測角は $\pm 45^\circ$ 程度が構造限界であり、その計測角の狭さが問題となっていた。そこで計測装置を高さ方向の計測角を広く取れる構造に改良し、傾斜林における立木の胸高直径について検証した。

2. 計測装置

2.1 計測装置

筆者らは装置の回転機構の違いによる効果を調べるため、Fig.1,2 のような三脚設置型のタイプの異なる揺動機構[6]と首振機構を持った計測装置を製作し、三重県大台町の森林内で計測を行った。

測域センサは北陽電機製 UTM-30LX を使用している。UTM-30LX の視野角は 270 度、測距精度は 0.1~10m で $\pm 30\text{mm}$ 、10~30m で $\pm 50\text{mm}$ 、ステップ角は 0.25 度である。

揺動機構においては測域センサの取り付け角度は 45° 度であり、計測範囲は水平方向 約 270° 、垂直方向 $\pm 45^\circ$ 範囲が計測可能であり、首振機構は測域センサを 10° 傾け固定し、水平方向 270° 、垂直方向 $-90^\circ \sim +135^\circ$ の範囲が計測可能となっている。

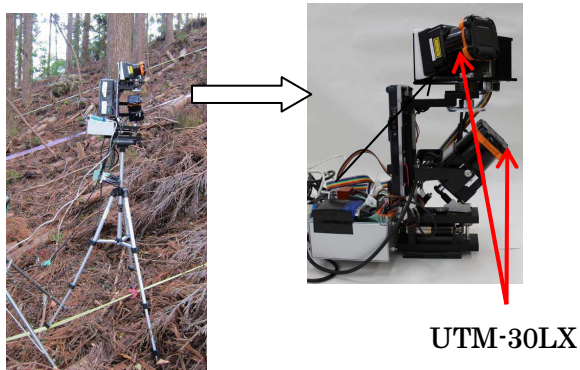


Fig.1 The equipment for measurement

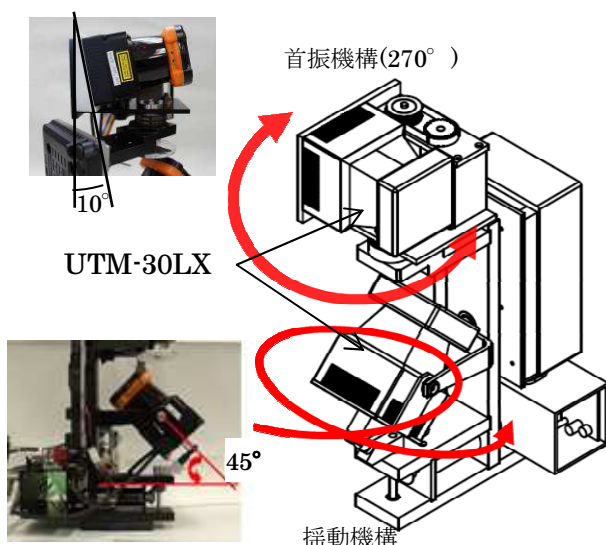


Fig.2 Two kinds of equipment for measurement

2.2 計測結果

Fig.3,4 に 1 点から計測した結果を示す。Fig.3 を見ると、首振機構の場合は立木の上部まで点群が存在し、森林の上層構造までサンプリングしていることがわかる。しかし、揺動機構では上層部はサンプリングできていない。また、Fig.4 は立木周囲の点群を胸高部分(高さ 120cm)で水平面に切り表示したものである。これを見ると、首振機構の点群は円の周りに集まっているものの、揺動機構の方は雲のようになっており立木の断面を成していない。

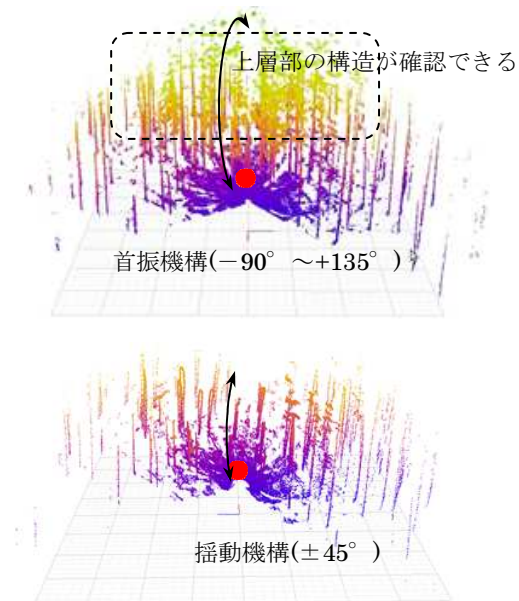


Fig.3 measurement result (overview)

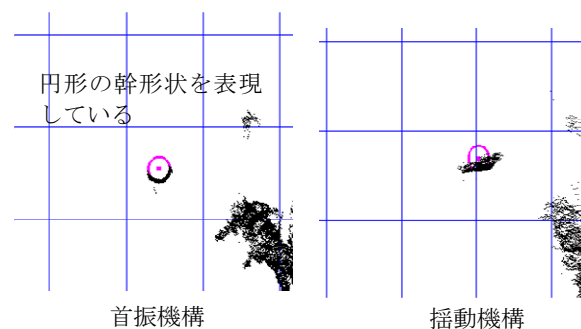


Fig.4 measurement result (Tree at breast height)

これは、揺動機構では同じ場所をスキャンするにも上から下へスキャンする場合と下から上へスキャンする場合でズレが発生しており、原因として測域センサのレーザ光芒の形状が異なることや、機構パラメータが多く正確にキャリブレーションできないことが考えられる。それぞれの機構における特徴を Table1 に記す。

Table1. Feature of two kinds of equipment

	首振機構	揺動機構
計測範囲	垂直方向に広い	垂直方向に狭い
スキャン時間	1~2 分	20~30 秒
精度	良い	雲のような分布となる
その他	機構パラメータが少なく、キャリブレーションが容易	機構パラメータ、測域センサのスキャン方向の影響が複雑になる。

3.4 胸高直径の補正

測域センサはレーザを照射し、エコーを見る仕組みのためレーザの光芒が距離に応じて拡散し変化する場合、角度誤差を生じる。3.3 で直径が大きめに出る現象をこの拡散であると考え、距離に応じて線形に点の位置を円の中心にシフトするように補正した。その結果、誤差 2cm 以下になる立木比率が 87%に向上した。

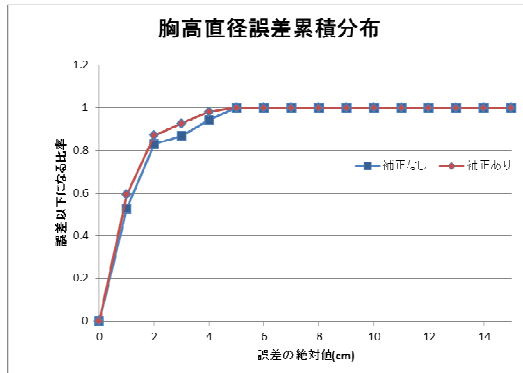


Fig.9 Cumulative distribution of modified DBH

4. まとめ

今回は、測域センサと首振機構により 3 次元計測を可能にする装置を用いて胸高直径の計測を行った。計測の結果、計測装置からおおよそ 6m 程度までは円柱近似でも 90%近い立木が誤差 2cm 未満の精度で直径を求められることがわかった。しかし、それ以上の距離ではバラつきが大きいことから円近似による計算は困難と見られる。現在 5m 間隔の計測であるので問題は発生しないが、計測する間隔を広げる場合、円近似のみではなく幹と見られる点密度の高い領域の幅を直径とする方法や、[5]で開発した ICP を用いマップを生成、及びその重ね合わせたデータから直径導出手法の適用などが必要になる。

また、胸高直径だけでなく、Fig.10 に示すような上層の点群から樹冠構造も数値化する必要があり、樹冠構造を表現するデータ処理手法について検討していく必要がある。

現在、マルチエコー対応の測域センサを搭載した首振機構の装置を開発中であり、今後それを使い、より詳細なデータを取得する予定である。

本研究は農林水産省の「新たな農林水産を推進する実用技術開発事業」の一環としておこなわれた。

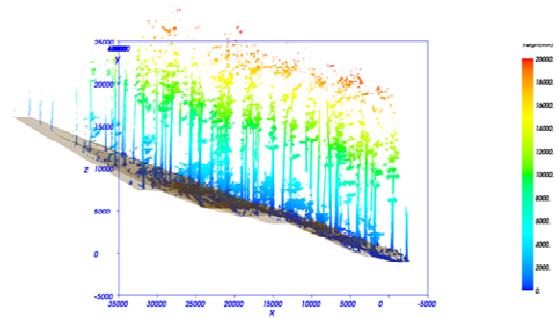


Fig.10 Point cloud of tree crown structure

参考文献

- [1] H.-G.MAAS et al. "Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data", International Journal of Remote Sensing, Vol.29, No.5, pp.1579-1593, 2008.03.10.
- [2] 竹内, 坪内, "移動ロボットによる環境地図生成のための三次元化NDTを用いた高速三次元スキャンマッチング", 第11回 ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.252-257, 2006. (日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 ロボメック表彰受賞[2007年5月])
- [3] 森川, "ステレオビジョンを使った屋外自律走行用ロボットの為の障害物検出", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 2009.
- [4] 特願2008-237029号 「樹木情報計測方法, 樹木情報計測装置, プログラム」
- [5] 近藤, 塩沢, 望月, 坪内, 他, "ICPを応用した森林内立木群の三次元マップの構築", 第28回日本ロボット学会学術講演会講演概要集, 2010
- [6] 松本, 吉田, 森, 油田, "回転式揺動機構とSCIP-3Dコマンドシステムを用いた三次元測域センサモジュール", 日本機械学会論文集(C編)75巻760号, 2009
- [7] 近藤, 塩沢, 望月, 坪内, 他, "ICP を応用した傾斜地三次元立木マップの構築", 第12 回計測自動制御学会(SICE) システムインテグレーション部門講演会(SI2011), 2011.
- [8] Takashi Tsubouchi, Asuka Asano, et al. "Forest 3D Mapping and Tree Sizes Measurement for Forest Management based on Sensing Technology for Mobile Robots", The 8th International Conference on Field and Service Robotics (FSR2012)