

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20580285

研究課題名（和文） 高分解能衛星画像とデジタルカメラを用いた3次元森林樹冠地図の作成

研究課題名（英文） Three dimensional visualization of forest using high resolution satellite image and fish-eye photos

研究代表者

久保 守 (KUBO MAMORU)

金沢大学・電子情報学系・助教

研究者番号：90249772

研究成果の概要（和文）：

本研究では、現地調査した樹木測量データと高分解能衛星データおよび全周魚眼画像を融合して3次元森林樹冠地図を作成する。まず樹木測量データから樹木オブジェクトを作成し、その樹冠部分に衛星画像をテクスチャマッピングして、地理座標系上に3次元森林空間を構築する。次に林床のある1地点から見た円筒投影面と、同一地点で撮影した全周魚眼画像を重ね合わせ、同一樹木を特定する。このような森林の3次元地理情報システムは、森林管理やモニタリングに役立つことが期待される。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we propose to develop a three-dimensional visualization system of forest, using spatial information of individual trees by field measurement, satellite data and fish-eye photos. First, the projected on-ground map of tree crowns was created and corresponded to the crown regions detected from satellite image, by the region matching algorithm. Then, the three-dimensional forest space was reconstructed using individual tree objects with a cylinder and an octagonal plate mapped texture by satellite image. Next, the cylindrical panorama picture was generated by perspective projection, and overlapped hemispherical photo taken by fish-eye camera. This system is useful for forest management and monitoring.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：画像計測

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：森林工学，計測工学，リモートセンシング，地理情報システム（GIS），写真測量

## 1. 研究開始当初の背景

森林の林冠および個々の樹冠は、樹木の光合成の場所であるとともに、隣接する樹冠との競争の場所でもあるため、その3次元構造は森林生態系において重要であり、森林管理のためにも欠かせない情報である。これまで樹冠の立体構造を把握するには、クレーンやタワーを建設して林冠へ直接アクセスしたり、樹冠を刈り取って調べたり、測高棒などを使って樹高や枝・葉の位置を計測していた。これらの作業は、高コストかつ破壊的手法であり、継続的な計測が困難で多大な労力を要していた。林冠を構成する個々の樹冠の階層構造とその分布を3次元で計測する技術の開発が強く望まれている。

近年、地上型レーザスキャナや航空機レーザスキャナを使って森林の林冠構造を計測する試みがなされている。樹高や樹冠面積などの林分パラメータが推定されているが、単木レベルの枝や葉の樹冠構造を把握するまで至っていない。

一方、林冠の光環境および時間変化・季節変化を観測する目的で、林床から上向きにデジタルカメラを設置して林冠を撮影し、林冠全天画像を定期的を取得する研究が実施されている。画像データは自動的な閾値処理がなされ、開空率を算出し、葉面積指数の季節変化を推定する試みがなされているが、3次元樹冠構造を把握するための画像データの解析処理は行われていない。

以上のように、森林の3次元林冠構造の把握は森林生態系の研究や森林管理において大変重要な課題であるにもかかわらず、現状では、個々の樹冠の階層構造とその分布を3次元画像計測する技術は確立していない。

## 2. 研究の目的

森林において林冠構造を単木レベルで立体的に把握することは重要であるが、これまでは樹冠の一部を直接観察するか、測距計などを使って2次元の樹冠投影図や垂直断面図を作成するしかなかった。本研究では、視野角180度のデジタルカメラによるステレオ視の画像計測技術を開発し、これにより作成

する3次元樹冠データと、森林の高分解能衛星データを画像解析して自動的に作成する単木レベルの樹冠投影図とを融合させ、3次元森林樹冠地図を作成する。さらに、作成したデータを効率的に扱う森林GISを構築する。

## 3. 研究の方法

以下の手順で、3次元樹冠地図の作成および森林GISの構築を行う。

(1) 樹木を3次元計測するために、視野角180度のデジタルカメラによるステレオ視の画像計測技術を開発する。円周魚眼レンズで撮影した画像は、通常の画像と異なり、中心から半径方向に円周状に写り込むため、画像の画素位置と実際の3次元座標の対応関係を数式でモデル化する。2枚の撮影画像中の枝や葉の同一対象の画素位置とカメラの相対距離から2本の直線の交点を求め、3次元座標を算出する。室内実験を行い、魚眼レンズおよびステレオ視のカメラパラメータを校正する。

(2) 調査地域の高分解能衛星データから樹冠の輪郭を抽出し、単木レベルの2次元樹冠地図を作成する。樹冠地図をGISソフト用のデータ形式に変換するプログラムを自作する。衛星データの緯度経度情報は地上計測データと単木レベルでは一致しないため、最適な位置合わせを行う手法を開発し、樹冠を高精度に重ね合わせる。両データを融合し、2次元森林樹冠地図を作成する。

(3) 同一の樹冠撮影を3点以上の多視点で実施し、林冠計測に適用するために、多視点画像のステレオマッチングアルゴリズムを開発する。

(4) 調査対象の森林内に計測区域を設定する。樹木計測の基準点を決め、GPSで緯度経度を計測する。2台の魚眼カメラを同一樹木の樹冠が写り込むように上向きに設置し、撮影する。2台のカメラ位置情報および姿勢情報は、3次元座標の計算を簡単にするために、コンパス及び水準器で真北および真上に調整する。ステレオ視の原理で算出した3次元座標から、樹冠の立体構造をコンピュータグラフィックス技法で再現する。樹冠の3次元

座標データから、GIS ソフトで操作可能な3次元オブジェクトファイルを作成するプログラムを自作する。高分解能衛星データと地上計測データから作成した2次元森林樹冠地図と融合させ、各種計測データを可視化した3次元の地理情報システムを構築する。

(5) 可視と赤外の魚眼デジタルカメラを使用して樹冠の3次元画像計測を実施し、樹種ごとのスペクトル特徴量を数値化する。計測実験を継続的に実施し、季節変動や年々変動データを作成する。

(6) 森林の樹木計測においてレーザスキャナを活用するために、全天魚眼デジタルカメラと測距センサを組み合わせた3次元空間計測システムを開発する。

#### 4. 研究成果

(1) 樹木を3次元計測するために、視野角180度のデジタルカメラによるステレオ視の画像計測技術を開発した。この技術では、魚眼レンズを取り付けたカメラを上向きに設置し、林床から林冠をステレオ撮影する。魚眼レンズで撮影した画像の画素位置と実際の3次元座標の対応関係をモデル化した数式のカメラパラメータを室内実験により校正した。2枚の撮影画像中の同一対象点の画素位置とカメラの相対距離から2本の直線の交点を求め、3次元座標を算出した。ステレオ視による3次元座標の算出精度を検証し、樹木計測に応用する際の課題を明らかにした。

(2) 高分解能衛星データから樹冠の輪郭を自動抽出する画像処理ソフトを開発し、単木レベルの2次元樹冠地図を作成した。さらに、GISソフト用のデータ形式に変換する自作プログラムを開発し、GIS樹冠地図データに変換した。現地調査の実施により、森林の水平構造を地上計測し、そのデータから樹冠投影図を作成し、衛星データを重ね合わせた。緯度経度情報が単木レベルでは一致しないため、最適な位置合わせを行う手法を開発し、樹冠を単木レベルで照合した。

(3) 全天ステレオ視の魚眼カメラの位置関係を鉛直軸とする撮影装置と水平軸とする

撮影装置を開発した。鉛直ステレオ視では同一方位のマッチングが容易であり、3点以上の高さで撮影することにより高精度なマルチベースラインが実現できた。水平ステレオ視では、回転する水平の端にカメラを取り付け、一定角度毎に撮影を行うことでマルチステレオ視を実現した。両手法ともに室内実験を行い、ステレオ視による3次元座標の算出精度を検証した。

(4) 高分解能衛星データと地上計測データおよび全天魚眼撮影画像を融合して3次元森林樹冠地図を可視化するシステムを構築した。コンピュータグラフィックス技術を使って、地上計測データから個々の樹木の位置、形、大きさの3次元樹木立体モデルを地理座標系の森林空間内に配置し、高精度に位置合わせした高分解能衛星データを立体モデルの上面に貼り付け、同一地点で地上撮影した全天魚眼画像を全方位円筒画像に変換して立体モデルの側面に貼り付けた。以上の処理により衛星データと魚眼画像および現地計測データを融合した3次元森林樹冠地図を作成した。コンピュータグラフィックス技術により単木レベルの各種データが容易に操作できる森林樹冠データ閲覧システムが構築できた。

(5) 東京大学農学生命科学研究科附属北海道演習林のカラマツ林ではカラマツハラアカハバチが大発生しており、その食害調査において、被害樹木を3次元計測するために、可視と赤外の全天魚眼デジタルカメラによるステレオ撮影と樹高の計測を行った。複数地点の全方位画像中で個々の樹木を対応付ける画像処理方法を開発した。今後、食害状況の変動を把握するために、継続的な計測および定量的な解析を行う予定である。また、対象地域の衛星データを取得して、地上調査と比較検討する予定である。

(6) 森林の樹木計測においてレーザスキャナを活用するために、全天魚眼デジタルカメラと測距センサを組み合わせた3次元空間計測システムを開発した。測域センサを使って垂直断面における天頂角と距離を計測し、自動回転ステージを使って測域センサの方位を回転させた。次に全周魚眼カメラに切り替えて撮影し、同じ天頂角と方位角のカラー画素値を求めた。この計測装置で取得した全

天カラー点群データは、天頂から全側方までの全天環境内の対象物に対する3次元座標とカラー画素値の集まりである。開発した装置を使って室内で計測実験を行い、取得した全天カラー点群データを階層的に構造化するためにクラスタリングの閾値を段階的に変化させる手法を開発し、対象物を認識した。複数地点の計測データを統合して構造データに変換し、全天環境の3次元地図を作成する手法を開発中である。

以上の通り、本研究では、高分解能衛星データと全天魚眼画像および現地調査による地上計測データを融合し3次元樹冠地図を作成し、これらのデータを可視化した森林地理情報システムを開発した。また、魚眼カメラを複数使った全天マルチステレオシステムおよび測距センサを備えた3次元全天空間計測システムを開発した。

今後、魚眼カメラを使った計測実験を継続的に実施し、季節変動データの収集および分析を行い、システムの改良にも取り組む予定である。本研究で開発したシステムは、森林管理での活用が期待される。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- (1) Mamoru Kubo and Ken-ichiro Muramoto, Three dimensional visualization of forest using field measured data, satellite image and fish-eye photo, Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXVIII, Part VIII(2010), 696-699, 査読有
- (2) 久保守, 村本健一郎, 樹木測量データと魚眼画像による森林の可視化, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009 論文集 (2009), 1785-1790, 査読無
- (3) Mamoru Kubo and Ken-ichiro Muramoto, Matching of high resolution satellite image and tree crown map, Proc. Int. Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, Part IV(2008), 1401-1404, 査読有

[学会発表] (計7件)

- (1) 高橋秀暢, 久保守, 村本健一郎, 測域センサと魚眼カメラを用いた全天3次元点群データの取得, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2010年9月11日, 福井工業高等専門学校 (福井県)
- (2) 日下翔太, 久保守, 村本健一郎, 鎌田直人, 複数の森林全方位画像における単木画像の対応付け, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2010年9月11日, 福井工業高等専門学校 (福井県)
- (3) 谷川陽彦, 久保守, 村本健一郎, 拡張現実感を利用した森林調査支援システムにおける魚眼画像と樹木モデルの位置合わせ, 映像情報メディア学会技術報告, 情報センシング研究会・メディア工学研究会, 2010年6月22日, 金沢大学 (石川県)
- (4) 吉本覚, 久保守, 村本健一郎, 上向き魚眼カメラの水平回転移動によるステレオ視, 情報処理学会技術報告, コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2009年11月27日, 石川県地場産業振興センター (石川県)
- (5) 北浜昌幸, 久保守, 村本健一郎, 樹木測量データによる森林空間の可視化と魚眼画像の重ね合わせ, 映像情報メディア学会技術報告, 情報センシング研究会・メディア工学研究会, 2009年6月16日, 金沢大学 (石川県)
- (6) 北浜昌幸, 久保守, 村本健一郎, 森林計測データと3次元表示, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2008年9月13日, 富山大学 (富山県)
- (7) 吉本覚, 久保守, 村本健一郎, 魚眼カメラの平行ステレオ視におけるエピポラ線の検討, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2008年9月13日, 富山大学 (富山県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

久保 守 (KUBO MAMORU)  
金沢大学・電子情報学系・助教  
研究者番号: 90249772