

# Production of tree crown map using high resolution satellite imagery

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-10-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Kubo, Mamoru メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00055784">https://doi.org/10.24517/00055784</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



---

高分解能衛星画像を用いた森林樹冠地図の作成

---

1 8 5 8 0 2 5 9

平成18年度～平成19年度  
科学研究費補助金（基盤研究（C））  
研究成果報告書

金沢大学附属図書館



1300-04689-9

平成20年3月

研究代表者 久保守  
(金沢大学・自然科学研究科)

著 者 寄 贈

# 目次

1	はしがき	1
2	研究対象地域	3
3	衛星データ	6
4	現地調査	6
4.1	2006年4月22日(土)	9
4.2	2006年9月20日(水)	11
4.3	2007年5月12日(土)	14
4.4	2007年10月28日(日)	15
5	解析方法と結果	17
5.1	衛星データの樹冠抽出	17
5.2	地上計測データとの照合	19
5.3	スペクトル解析	26
5.4	樹冠地図の3次元表示	28
5.5	魚眼カメラ計測	35
5.5.1	魚眼カメラモデル	35
5.5.2	ステレオ視と3次元座標の算出	38
5.5.3	マルチベースラインステレオ法	39
5.5.4	室内実験結果	39
6	今後の展開	43

# 1 はしがき

本研究では、高分解能衛星による森林の画像データを解析して、樹冠地図を自動的に作成する手法を開発する。森林が国土の67パーセントを占める日本では、温室効果ガスである二酸化炭素の吸収源として森林の役割が期待されており、あらゆる森林の情報を適切に整備し、持続可能な森林経営システムを確立することが求められている。近年、各自治体で地理情報システムの整備が推進され、森林に関する数値情報と地図情報を一元的に管理・分析・処理できる森林GISとして森林計画等に活用されている。一方、衛星リモートセンシングは広域の森林を計測する有力な手段であり、単木レベルで樹冠を判別可能な高分解能衛星データを活用し、正確で効率的な森林データの充実が期待されている。本研究は、衛星データから森林GIS用の樹冠データを自動的に作成するものであり、樹木の位置・大きさ・樹種などの単木レベルの森林資源情報に基づいた森林GISを低コストで実現し、データ整備と更新の問題を解決することを目的とする。

まず、高分解能衛星データを画像処理し、個々の単木樹冠領域を抽出した。次に、地上計測データと位置合わせを行い、単木樹冠画像を取得した。一般的に衛星データと地上計測データとの高精度な照合には、複数の地上基準点が必要であるが、森林の衛星データ内から特徴的な基準点を得ることは難しい。また、地上でGPS測量が高精度に行えるようになったが、衛星データの地理座標情報は不十分であり、画素単位で照合するには容易ではない。本研究では、地上基準点を用いない樹冠マッチング手法を開発した。さらに、地上計測の効率化のために、デジタルカメラを使った3次元森林計測を提案した。

本研究を進めるにあたり、現地調査およびデータ解析には、金沢大学自然科学研究科大学院生の山本英詞君、西川秀君、金珍向さん、工学部4年の高大輔君、北浜昌幸君にご協力を頂きました。ここに感謝申し上げます。

## 研究組織

- 研究代表者：久保守（金沢大学・自然科学研究科・助教）
- 研究分担者：中屋耕（財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・生物環境領域・主任研究員）

## 交付決定額（配分額）

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	1,900,000	0	1,900,000
平成19年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	3,400,000	450,000	3,850,000

## 研究発表

- 西川秀，久保守，村本健一郎，衛星画像からの森林 GIS 用樹冠データの作成，電子往訪通信学会技術報告書 IE2006-30，pp17-21，2006.
- 山本英詞，久保守，村本健一郎，衛星画像と地上計測データの樹冠マッチング，電子情報通信学会技術報告書 IE2006-31，pp23-28，2006.
- Mamoru Kubo, Shu Nishikawa, Eiji Yamamoto, Ken-ichiro Muramoto, Identification of individual tree crowns from satellite image and image-to-map rectification, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, pp1905-1908, 2007.
- 金珍向，久保守，村本健一郎，円周魚眼カメラのマルチベースラインステレオ法による全天3次元計測，情報処理学会研究報告 2008-CVIM-162，pp249-254，2008.

## 新聞掲載

- 北國新聞，平成18年5月31日（水），枝の広がり衛星で把握
- 北陸中日新聞，平成18年6月15日（木），衛星写真から森の樹冠地図



図 1: 研究対象地域

## 2 研究対象地域

研究対象地域は長野県北佐久郡軽井沢町の上信越高原国立公園内に設けられた電力中央研究所の試験林である。ここでは森林による  $\text{CO}_2$  吸収量を評価するための各種測定が継続的に行われており、観測タワーが東西に2つ設置されている。試験林内の樹木の樹高は約16から18メートルであり、毎木調査のために10メートルごとにアルファベットと数字の識別記号を記した杭で区画化され、樹木が番号付けされている。



図 2: 東観測タワーから見た西観測タワーと浅間山 2005-11-17



図 3: 研究対象林の概観 2005-11-17



図 4: 区画化の杭



図 5: 毎木調査番号





図 6: IKONOS パンクロマチック画像：180x150 メートル (C) 日本スペースイメージング株式会社

### 3 衛星データ

解析に使用した衛星データは、2003 年 8 月 25 日 1 時 46 分 GMT に IKONOS 衛星が撮影した空間分解能 1 メートル／画素のパンシャープン画像である。

### 4 現地調査

現地調査は平成 18 年度と平成 19 年度の計 4 回実施した。林冠の上層部を構成する樹木を選定し、樹冠投影図作成のために、各区画内での樹木位置と幹から樹冠外縁までの 8 方位の距離および幹の胸高周囲長を計測した。調査範囲は東西 80 メートル、南北 40 メートルとした。さらに、魚眼レンズを取り付けたデジタルカメラを各杭の上で鉛直上向きに設置して、林内環境を上半球画像として取得した。

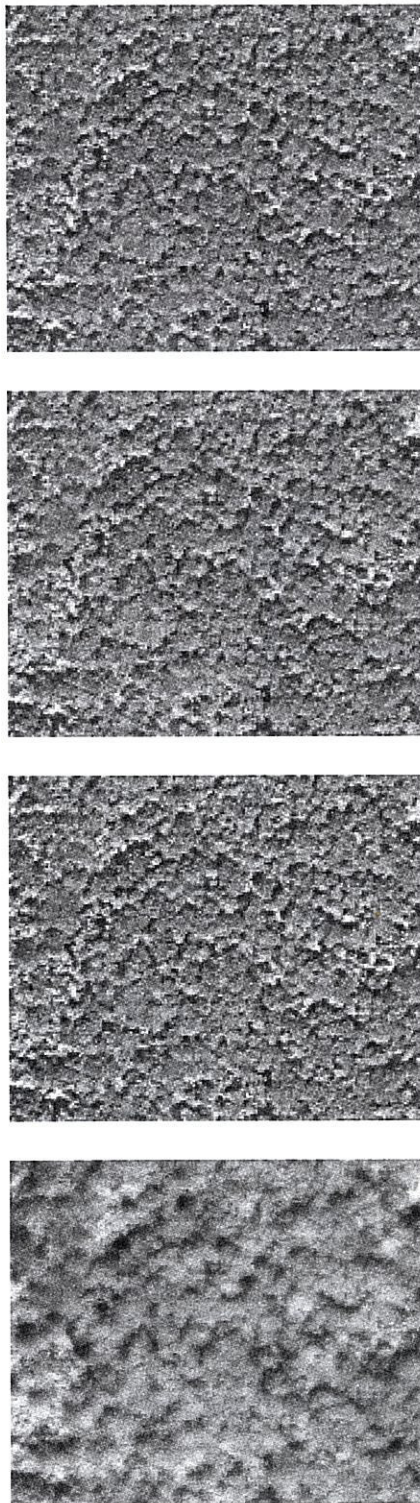


図 7: IKONOS パンシャープンカラー画像：上から青，緑，赤，近赤外 (C) 日本スペースイメージング株式会社

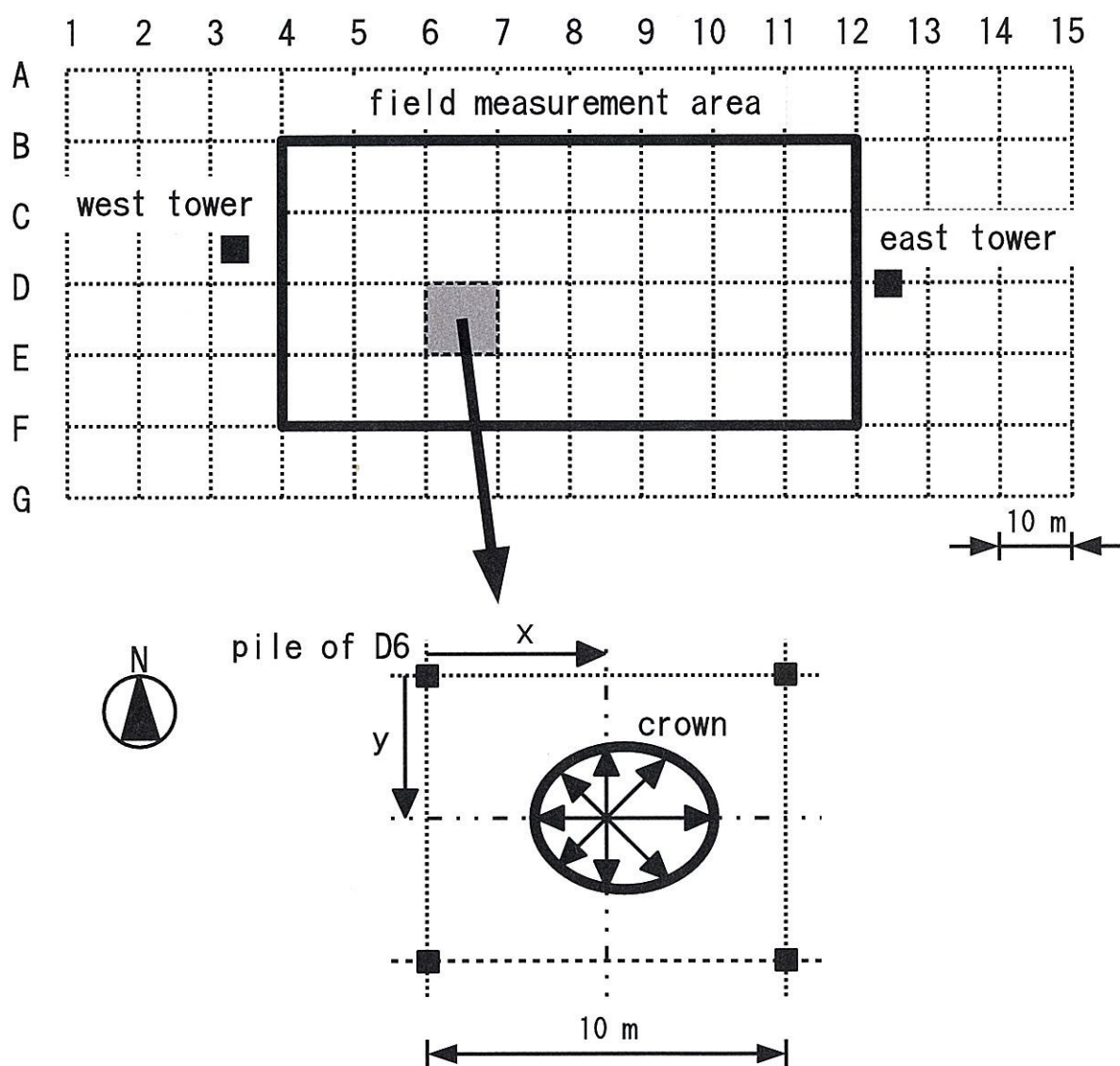


図 8: 現地調査概要

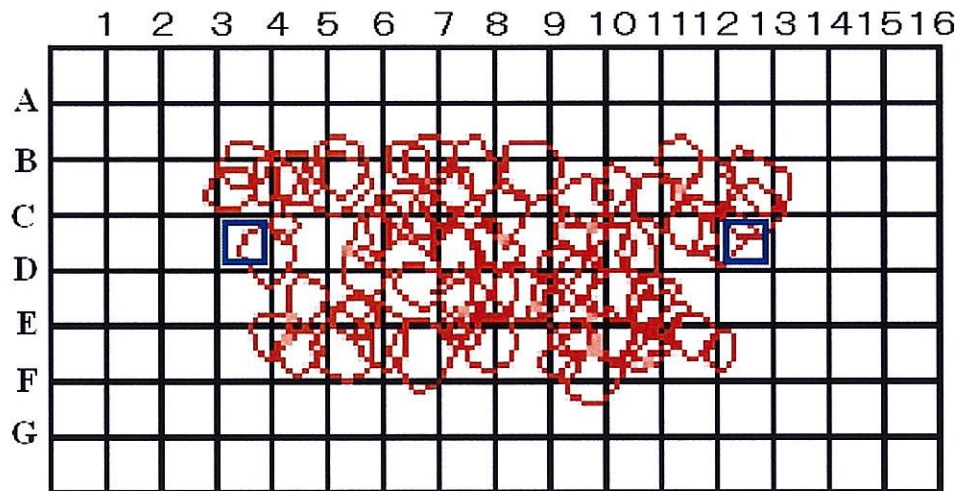


図 9: 2006-04-22 樹冠投影図

#### 4.1 2006年4月22日(土)

調査に使用した機器は次の通り.

- デジカメ Canon QV-4000 (非圧縮 TIFF 2240x1680)
- 魚眼レンズ Raynox DCR-CF185PRO, アダプタ
- GPS GARMIN eTrec Vista-J
- 三脚, 水準器
- 記録メディア CF
- 電池 (カメラ, GPS)
- メジャー 30m, 1.5m
- 方位コンパス
- 野帳, 筆記具, 雑巾, ゴミ袋, テープ
- 地図

合計 60 本を調査した.



図 10: 2006-04-22 林冠画像



図 11: 2006-04-22 現地調査

表 1: 計測データの一部

No.	Pile	X	Y	北	北東	東	南東	南	南西	西	北西	胸高周囲長
81	B3	2.6	6.5	3.2	4.5	4.1	3.0	2.3	2.4	2.7	2.2	0.70
76	B3	6.2	1.5	2.6	3.0	3.1	2.6	3.4	4.0	5.2	4.9	0.66
98	B4	1.3	4.6	3.9	3.5	3.1	2.4	1.9	3.7	3.5	4.9	0.65
124	B4	6.8	3.6	2.8	2.3	2.2	2.5	4.1	5.1	3.9	3.8	0.77
138	B5	1.4	5.4	4.7	6.2	5.7	3.6	4.4	4.1	3.9	4.3	0.94
132	B5	2.5	1.3	4.4	4.8	4.1	4.4	4.8	3.9	5.4	4.8	1.07
186	B6	5.5	1.7	3.3	2.9	2.1	2.3	1.5	3.4	2.8	3.6	0.66
203	B6	8.5	2.9	5.2	5.3	3.5	2.7	2.6	1.8	2.8	4.3	0.82

## 4.2 2006年9月20日（水）

新たに超音波距離計（ピッ距離）を使用した。

- デジカメ Nikon COOLPIX 5000 (RAW 2560x1920)
- 魚眼レンズ Raynox DCR-CF185PRO, アダプタ
- GPS GARMIN GPSmap60CS
- 三脚, 水準器
- 記録メディア CF
- 電池 (カメラ, GPS, ピッ距離)
- メジャー 30m, 1.5m, 超音波距離計 (ピッ距離)
- 方位コンパス
- 野帳, 筆記具, 雑巾, ゴミ袋, テープ
- 地図

2006年4月22日の樹冠投影図と比較すると若干差がみられるが、樹冠外縁部の目視誤差による要因が大きいと考えられる。

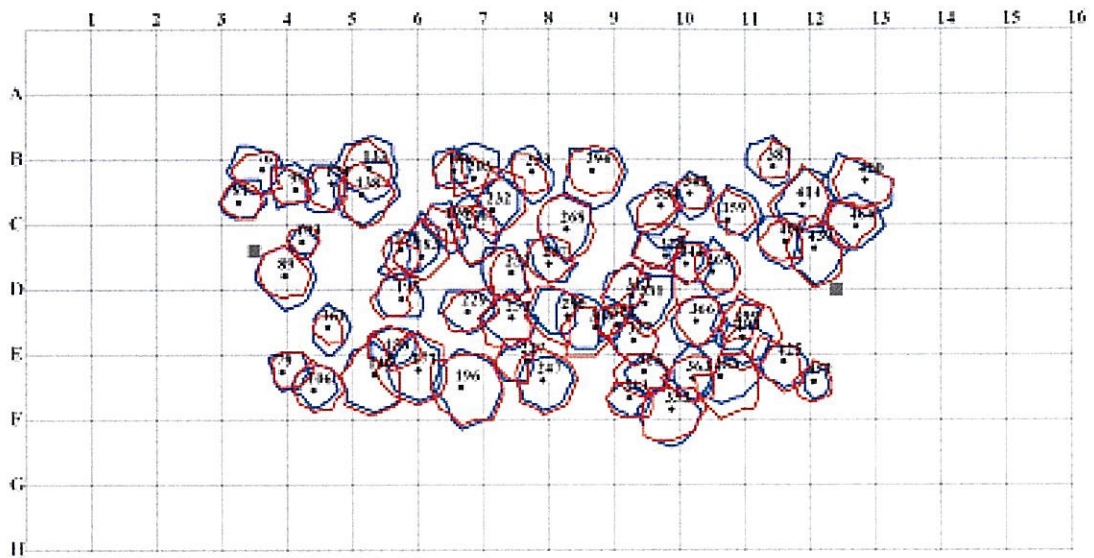


図 12: 2006-09-20 樹冠投影図. 青が 2006-04-22, 赤が 2006-09-20



図 13: 2006-09-20 林冠画像



図 14: 2006-09-20 現地調査





図 15: 2007-05-12 現地調査

### 4.3 2007年5月12日(土)

昨年度の問題点として、選定した樹木が不十分であったこと、樹冠の重なるの把握が未確認であったことがあり、これらに注意して本年度の調査を実施した。

- デジカメ Nikon COOLPIX 5000 (RAW 2560x1920)
- 魚眼レンズ Raynox DCR-CF185PRO, アダプタ
- GPS GARMIN GPSmap60CS
- 三脚, 水準器
- 記録メディア CF
- 電池(カメラ, GPS, ピッチ距離)
- メジャー 30m, 1.5m, 超音波距離計(ピッチ距離)
- 方位コンパス
- 測高棒 MT-12(12m, 3.0kg)
- 野帳, 筆記具, 雑巾, ゴミ袋, テープ
- 地図

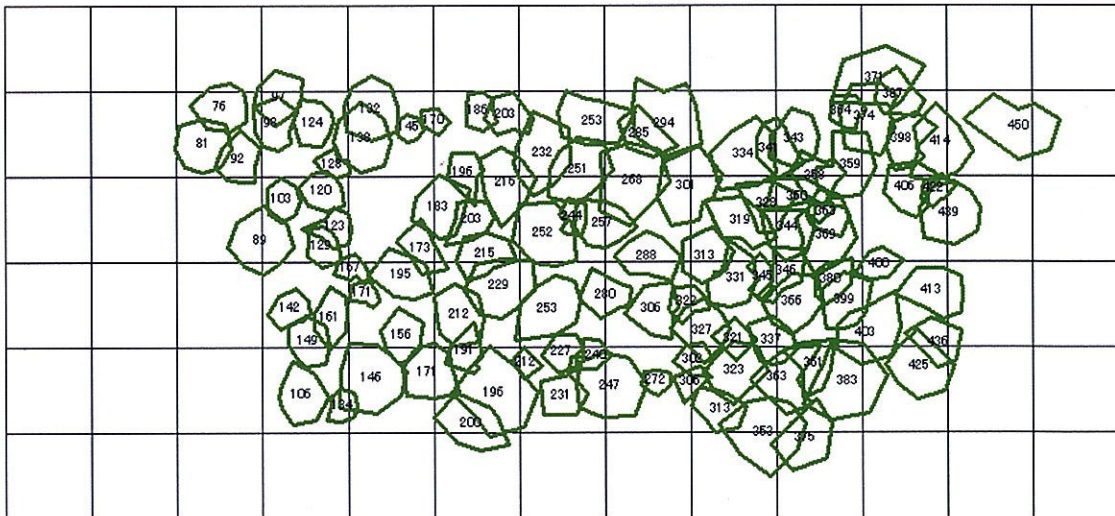


図 16: 2007-10-28 樹冠投影図

#### 4.4 2007年10月28日(日)

衛星データとの照合のために、昨年度は選定から外れた樹木を含め合計 102 本を調査した。

- デジカメ Canon EOS 5D (RAW 4368x2912)
- 魚眼レンズ Sigma 8mm F3.5 EX DG CIRCULAR FISHEYE
- GPS GARMIN GPSmap60CS
- 三脚, 水準器
- 記録メディア CF
- 電池(カメラ, GPS, ピッチ距離)
- メジャー 30m, 1.5m, 超音波距離計(ピッチ距離)
- 方位コンパス
- 測高棒 MT-12(12m, 3.0kg)
- 野帳, 筆記具, 雑巾, ゴミ袋, テープ
- 地図



図 17: 2007-10-28 現地調査

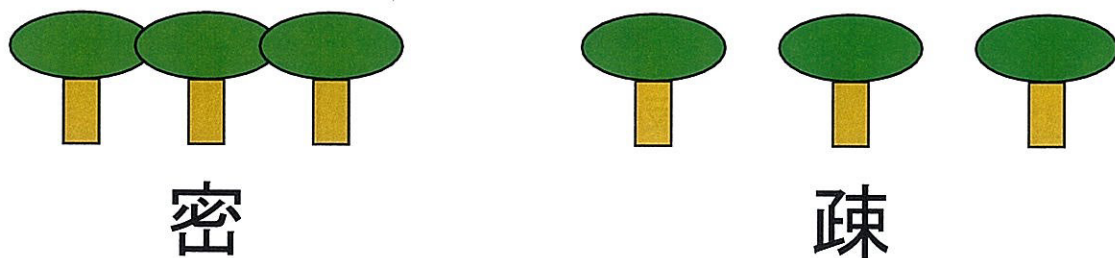


図 18: 密集林と疎林

## 5 解析方法と結果

### 5.1 衛星データの樹冠抽出

従来の衛星データや航空写真の判読では林相区分が行われ、樹種や樹齢、密度などが同一の森林を判別していた。空間分解能1メートル以内の高分解能衛星データでは、樹木一本一本の枝葉の広がりである樹冠の判読が可能である。樹冠は光合成や開花・結実などの繁殖活動が行われる樹木にとって重要な空間である。その形状は、一般的に針葉樹では円錐形、広葉樹では球形やほうき形であるが、孤立木でなければ隣接木との関係により変則的な形になり、輪郭線も不明確となる。

一方で、高分解能データでは、一つの樹冠は複数の画素からなり、各画素が同じ色であるとは限らず、様々な濃淡模様のテクスチャとなり、画素単位の画像処理では単一樹冠の抽出は困難である。

そこで単一樹冠を抽出する画像処理が必要となるが、従来の濃度値の平滑化技術では、その強弱によって樹冠の輪郭がぼやけたり非単峰形になり、基の輪郭を残して単峰形にすることが難しかった。本研究では、Watershed アルゴリズムの平坦化処理により、密集林や広葉樹林でも個々の樹冠の輪郭を残してテクスチャを単峰形にする手法を開発した。

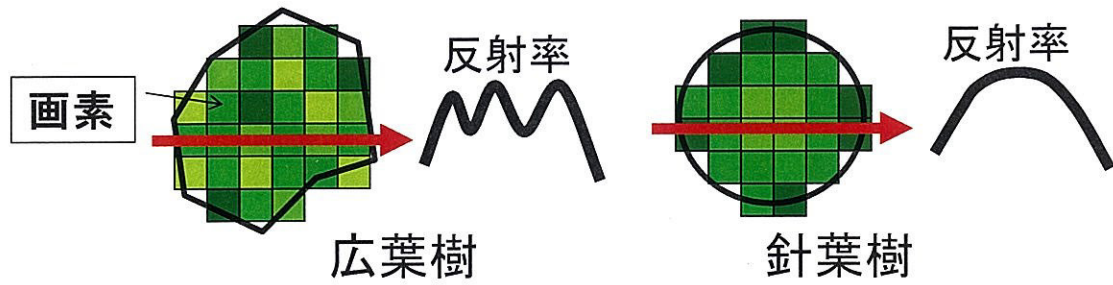


図 19: 広葉樹と針葉樹のテクスチャ



図 20: 単一樹冠を単峰形にする平坦化処理

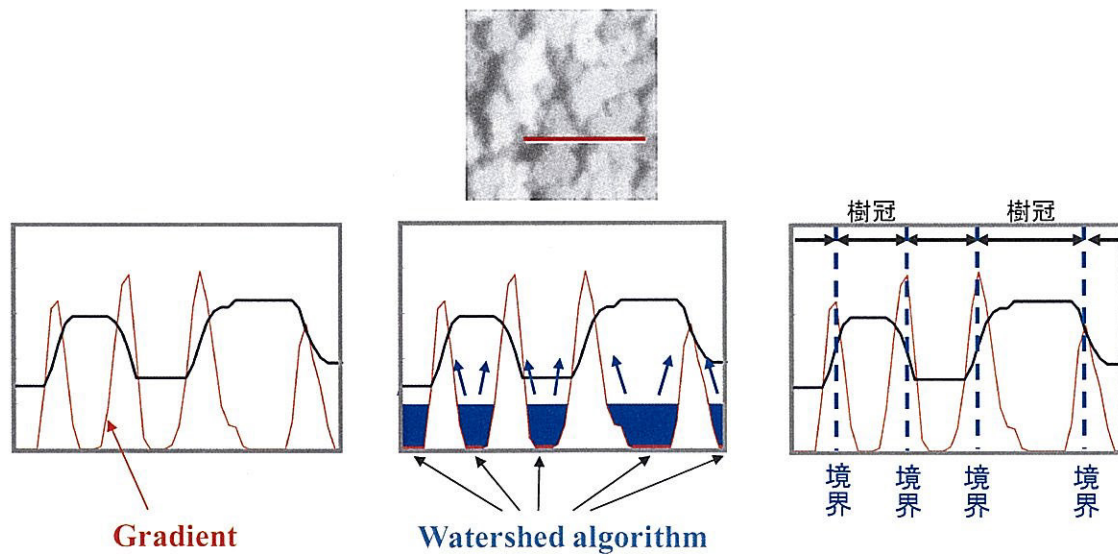


図 21: Watershed アルゴリズムによる衛星画像の樹冠領域抽出

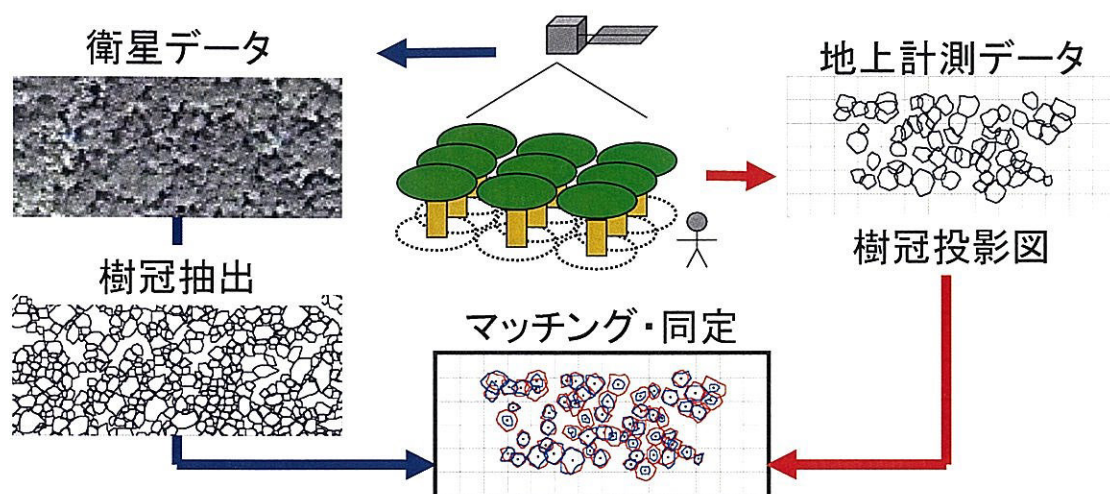


図 22: 衛星データと樹冠投影図の照合

表 2: アフィン変換パラメータのレンジとステップ

Parameter	Range	Step
Translation: $dx, dy$	$-25.0 \leq dx, dy \leq 25.0$	0.1 meter
Rotation : $\theta$	$-5.0 \leq \theta \leq 5.0$	0.5 degree
Scaling : $s$	$-0.90 \leq s \leq 1.10$	0.01

## 5.2 地上計測データとの照合

地上計測データから作成した樹冠投影図と衛星データから抽出した樹冠領域を照合するために、樹冠投影図をアフィン変換し、個々の樹冠の照合が最も適切なパラメータを求める。照合の評価式として個々の樹冠の重なり度の合計を求めて適合度とした。適合度が最大のアフィン変換パラメータでは、東西の観測タワーの位置がほぼ一致した。

アフィン変換は次式の通りである。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} \quad (1)$$

樹冠照合の適合度は次式で評価する。

$$OL[i][j] = \sqrt{\frac{A[i] \cap B[j]}{A[i]} \times \frac{A[i] \cap B[j]}{B[j]}} \quad (2)$$

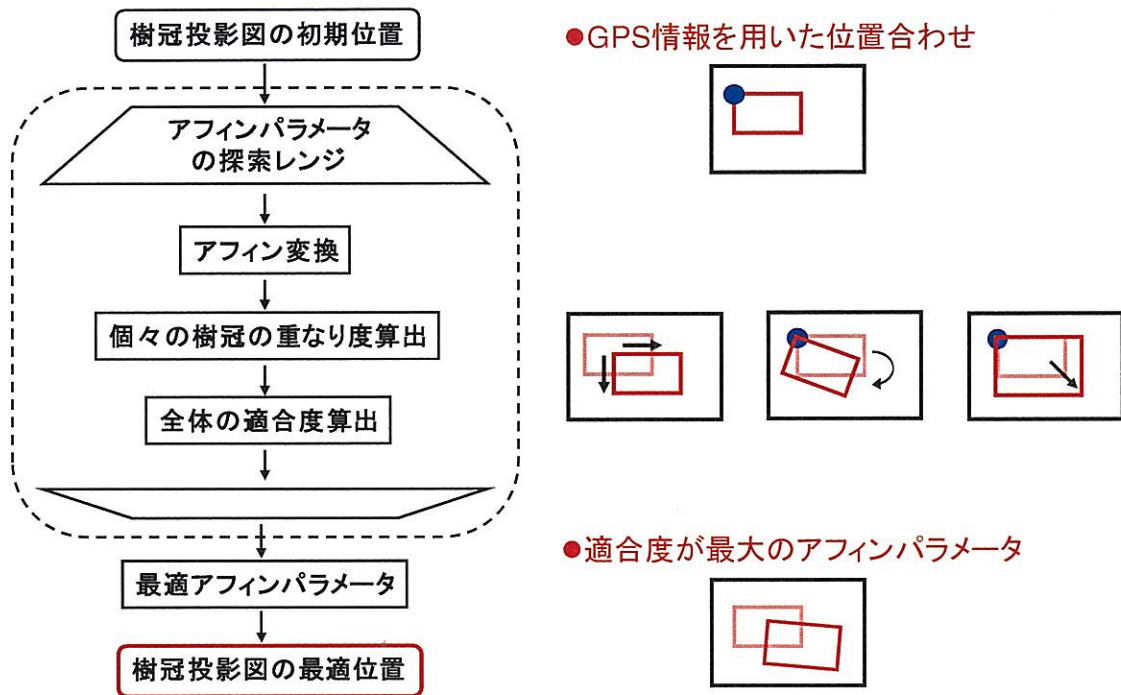


図 23: 照合手順

## 衛星画像

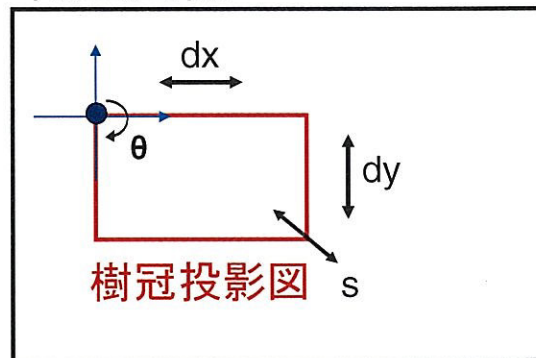


図 24: アフィン変換

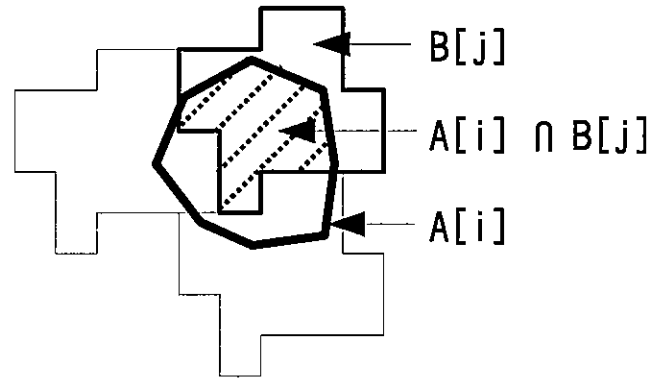


図 25: 樹冠の重なり度  $OL$ .  $A[i]$  は樹冠投影図の樹冠.  $B[j]$  は衛星画像の樹冠領域

表 3: 最大適合度のアフィン変換パラメータ

Translation: $dx, dy$	-2.7, 16.2 meter
Rotation : $\theta$	-1.0 degree
Scaling : $s$	1.01

ここで  $A[i]\{i = 1 \dots N\}$  は樹冠投影図の樹冠で,  $B[j]\{j = 1 \dots M\}$  は衛星画像の樹冠領域である. 複数の領域  $B[k_i]\{k_i = 1 \dots M\}$  の中で最大値を樹冠  $i$  の重なり度とする.

$$OL[i][k_i] \geq OL[i][j] \quad \text{for } j = 1 \dots M. \quad (3)$$

あるパラメータでのアフィン変換における適合度  $P$  を次式で求め, 最大の適合度となるアフィン変換のパラメータを全探索する.

$$P(dx, dy, \theta, s) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N OL[i][k_i]. \quad (4)$$



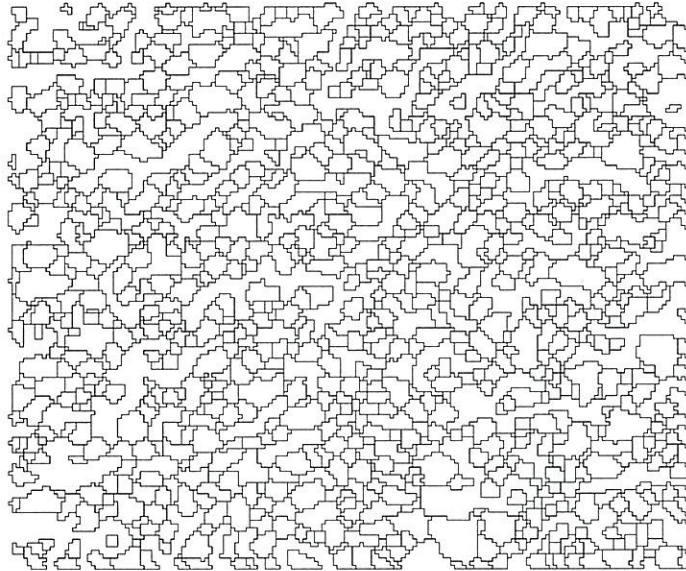


図 26: 衛星画像から抽出された 911 個の樹冠領域

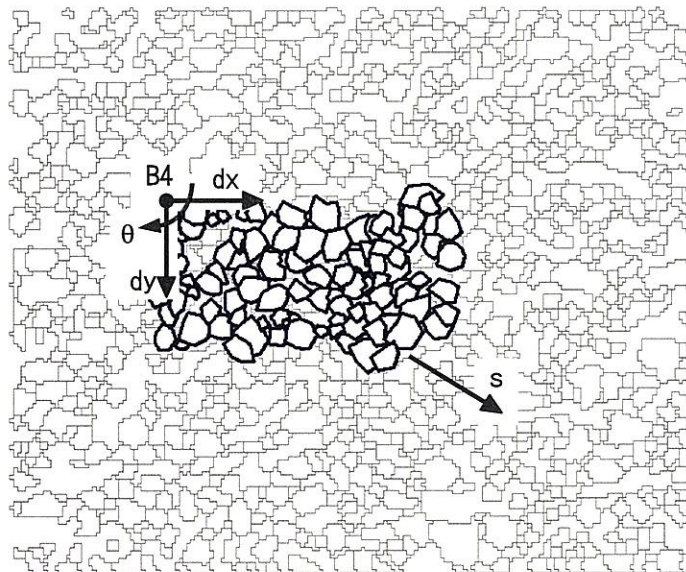


図 27: B4 での GPS 情報を用いた重ね合わせ.  $P = 0.437$

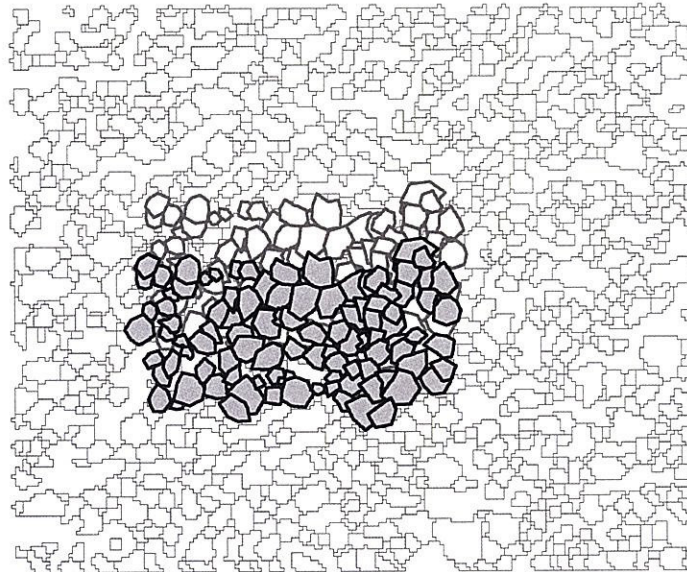
図 28: 最大適合度での重ね合わせ.  $P = 0.509$ 

表 4: 樹種別本数

番号	樹種	本数
1	ダケカンバ	63
2	シラカンバ	15
3	ミズキ	9
4	ヤマハンノキ	6
5	ミズナラ	3
6	ナナカマド	2
7	ウワミズザクラ	1
8	ハルニレ	1
9	カラマツ	2

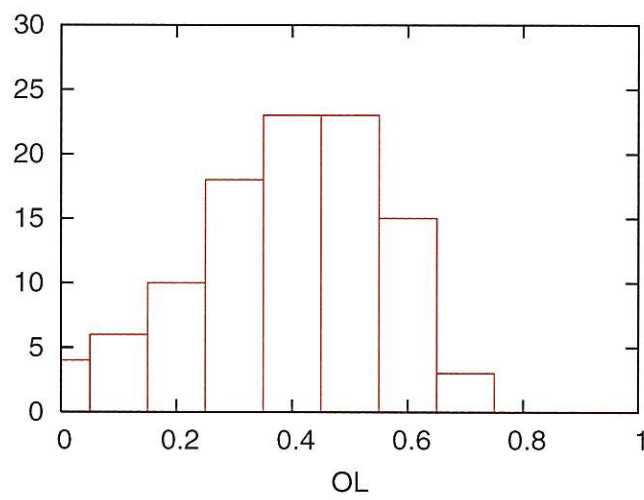
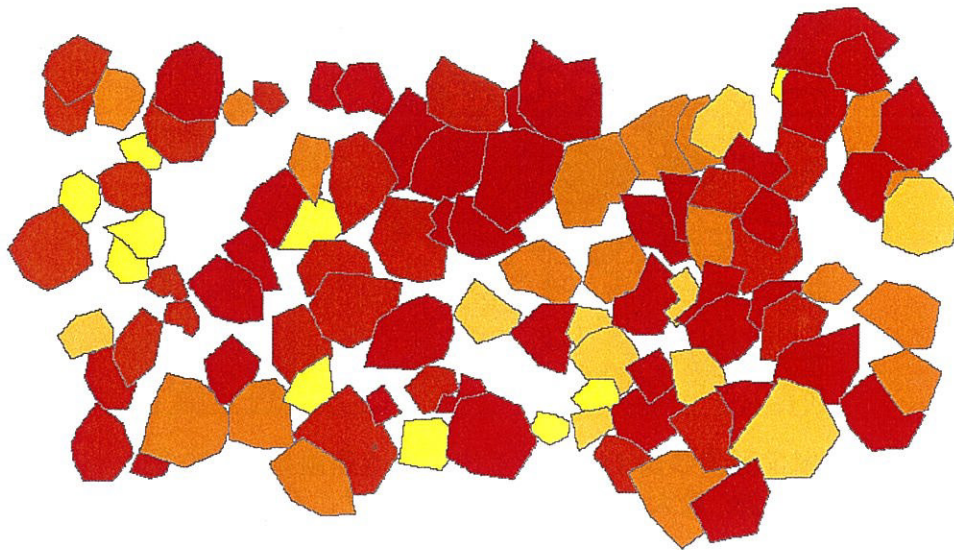


図 29: 初期の重ね合わせでの重なり度  $OL$  分布.  $P = 0.437$

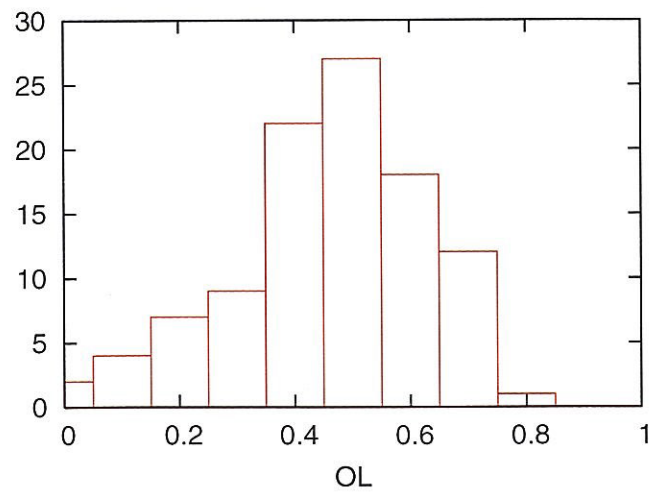
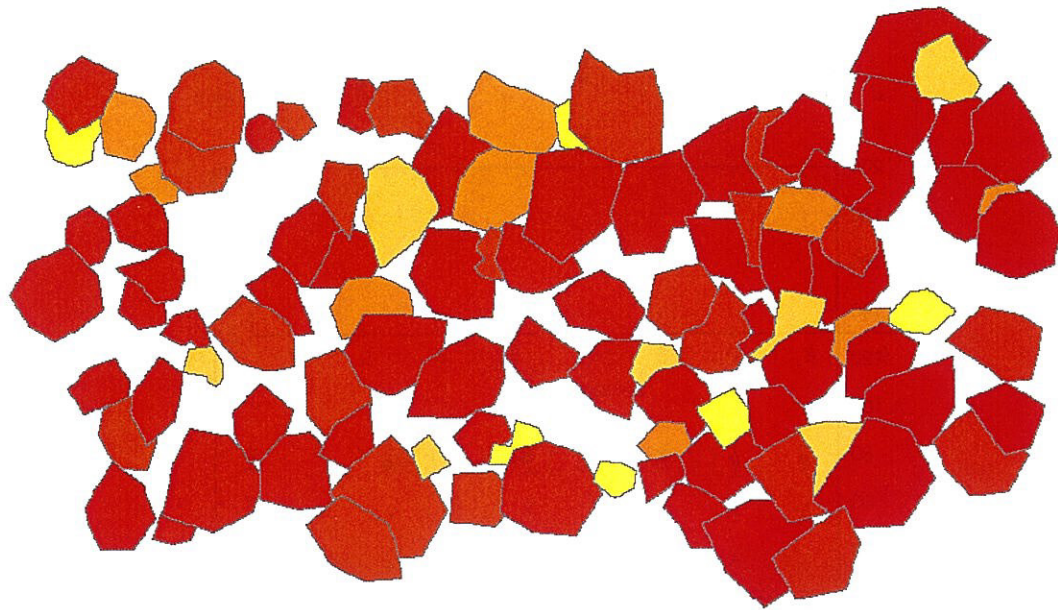


図 30: 最適重ね合わせでの重なり度  $OL$  分布.  $P = 0.509$

### 5.3 スペクトル解析

樹冠投影図の各樹冠に対応する衛星データの画素の各スペクトル値から正規化植生指数を求めた。樹冠単位の方が画素単位よりも樹種ごとの差が大きく、判別に有効であると考えられる。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (5)$$

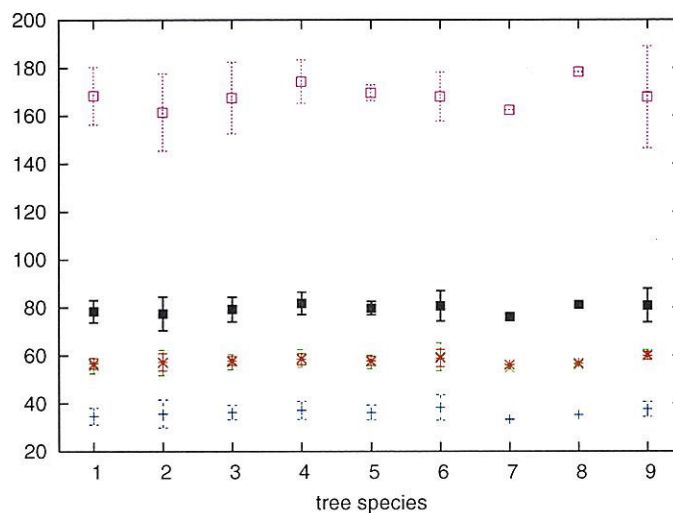


図 31: 樹種別の画素単位でのスペクトル平均値と標準偏差

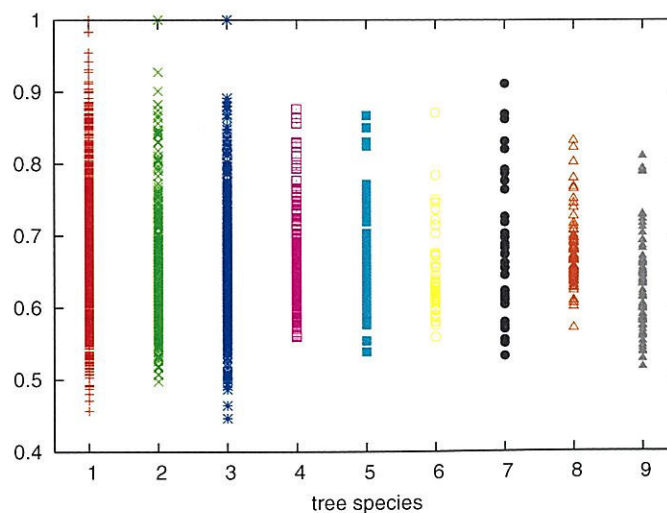


図 32: 画素ごとの NDVI

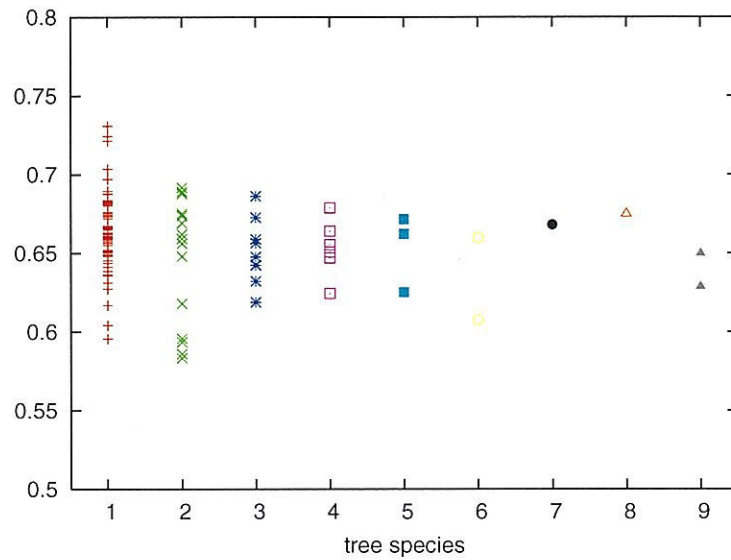


図 33: 樹冠ごとの NDVI

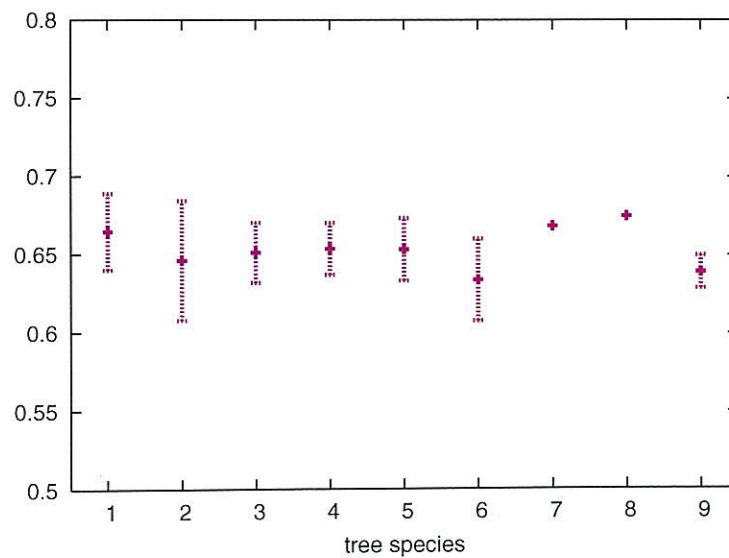


図 34: 樹冠ごとの NDVI 平均値と標準偏差

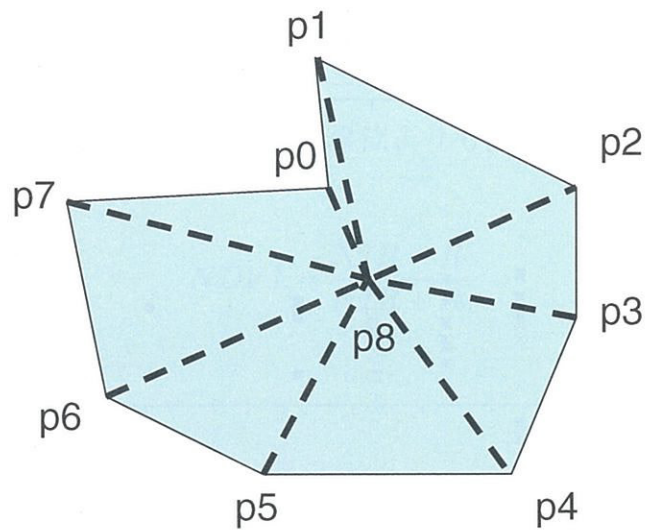


図 35: 樹冠の8角形モデル

#### 5.4 樹冠地図の3次元表示

3次元のコンピュータグラフィックス技法である OpenGL を用いて、樹冠地図を3次元表示した。樹冠を8角形モデルとして照合した衛星データの画素をテクスチャマッピングし、幹は円柱モデルとした。樹木データを3次元化することで、任意の視点からの樹冠地図が表示可能となった。

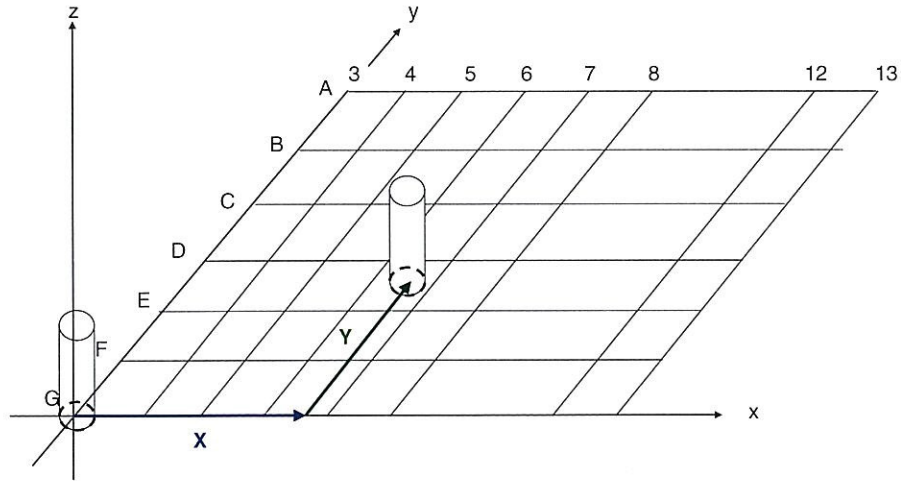


図 36: 幹の円柱モデル

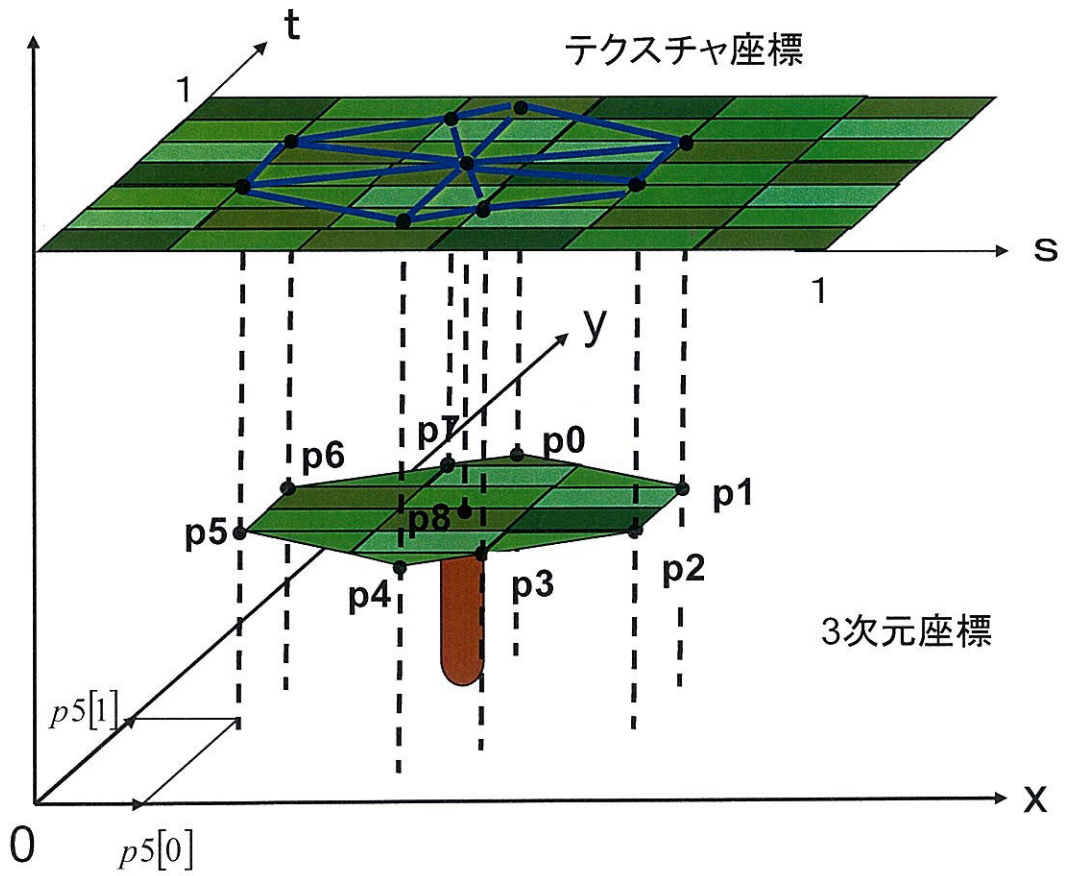


図 37: 樹冠のテクスチャマッピング



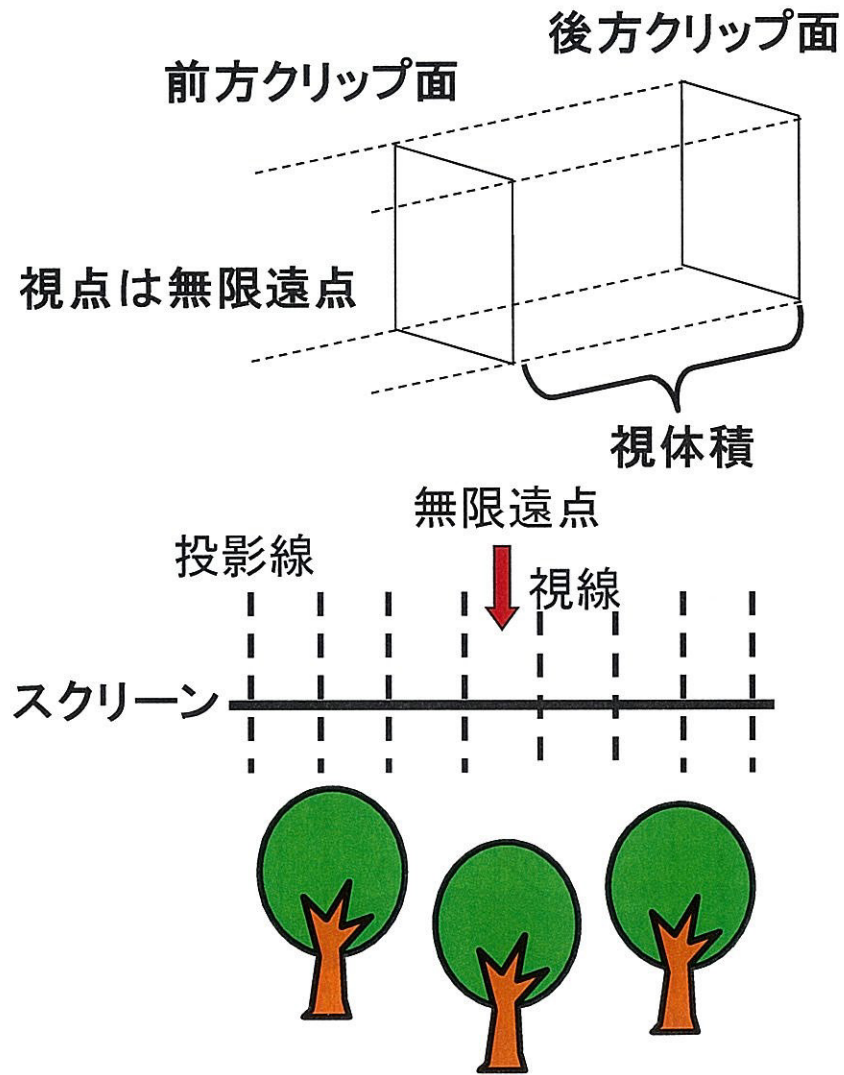


図 38: 正射投影法

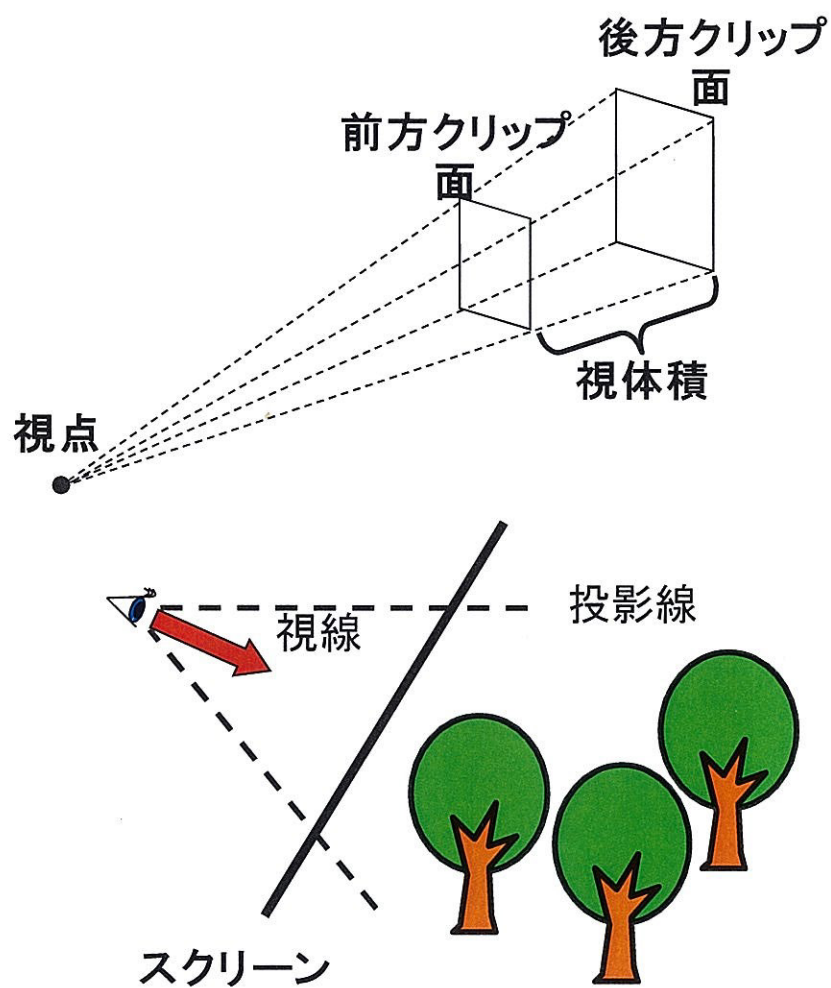


図 39: 透視投影法

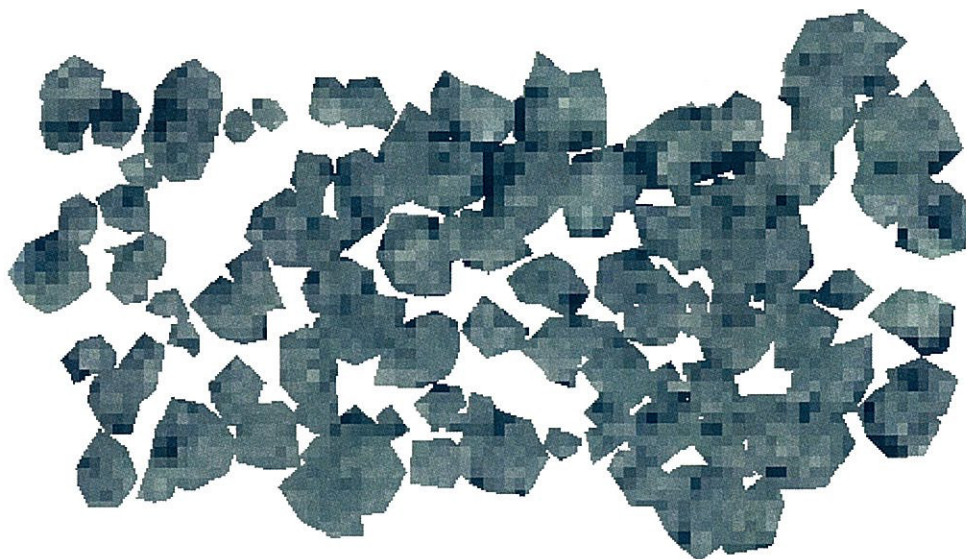


図 40: 8 角形に衛星画像をレンダリングした樹冠地図

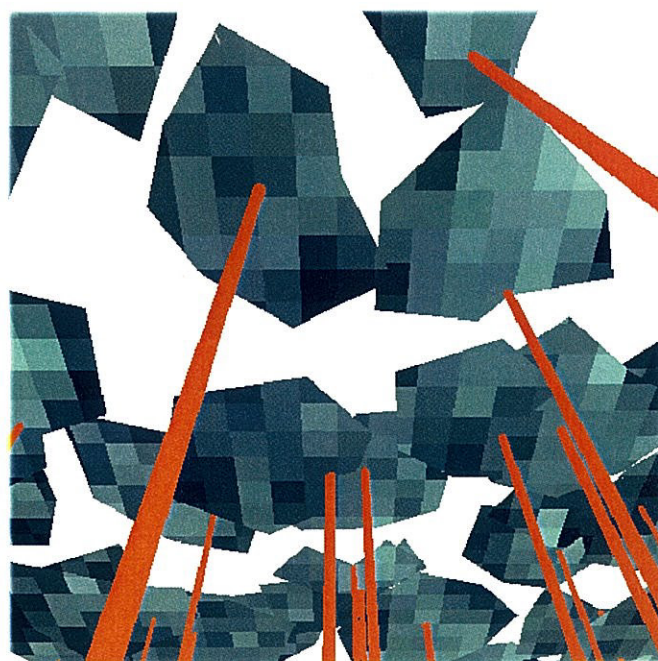


図 41: 林床から林冠を見上げた様子

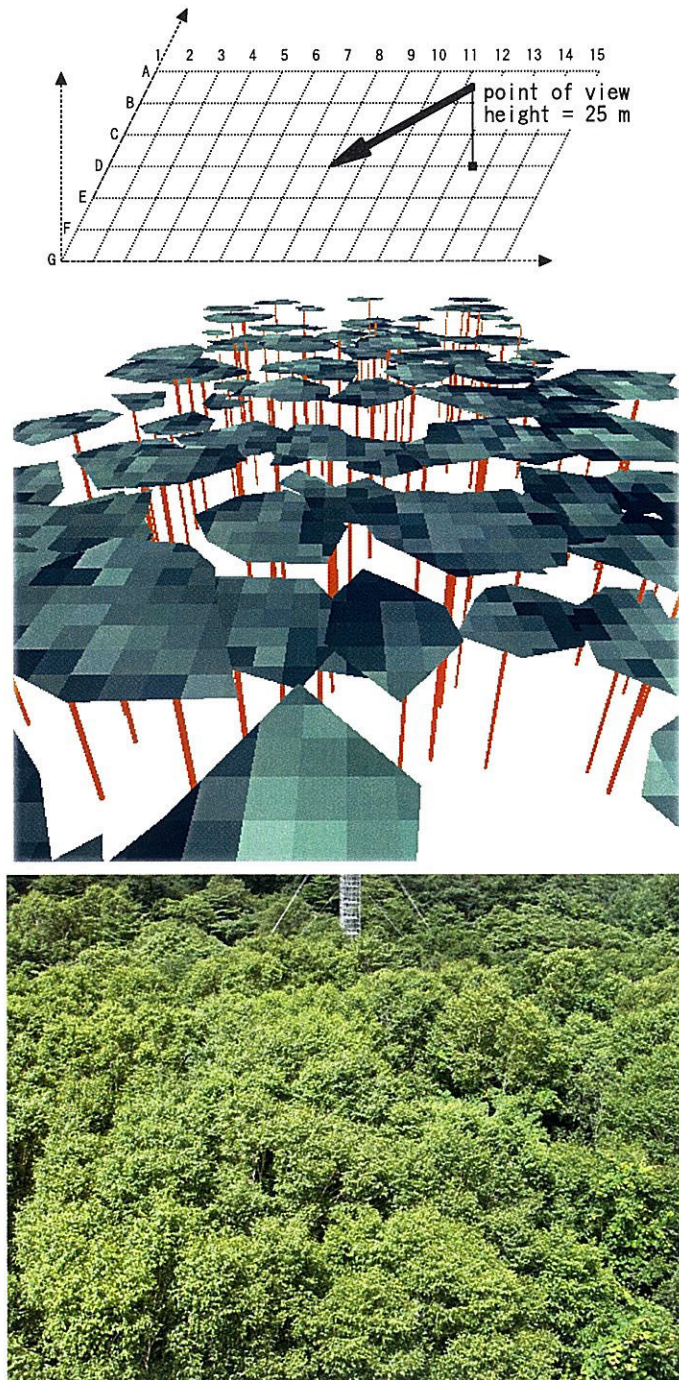


図 42: 実写と3次元樹冠地図

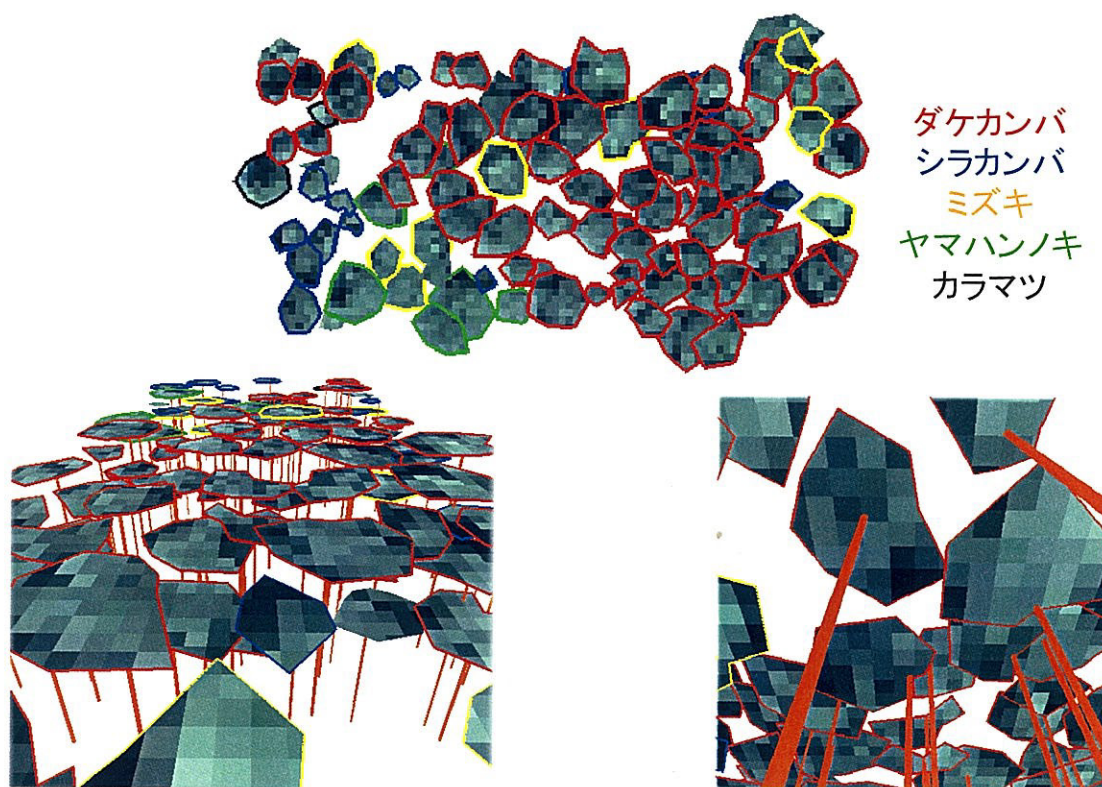


図 43: 樹種別表示

## 5.5 魚眼カメラ計測

視野角 180 度の魚眼レンズ付きカメラを鉛直上向きに林床に設置して林冠を撮影し、樹木の枝葉の 3 次元情報を獲得する。異なるカメラ位置の画像を使用するステレオ視の原理により、対象の 3 次元座標の算出が可能である。本研究では、鉛直方向の光軸上にステレオ視の基線長をとる。この場合、画像中心から放射方向にエピポーラ拘束が成立し、濃度値差の 2 乗和によるテンプレートマッチングにより、対応点探索を行う。さらに、複数のステレオ画像対を使ったマルチベースラインステレオ法により、偽対応を除き正確で高精度な 3 次元座標を算出する。室内実験を行い、算出位置精度を評価した。

### 5.5.1 魚眼カメラモデル

図に世界座標系  $(X_w, Y_w, Z_w)$  におけるカメラ座標系  $(X_c, Y_c, Z_c)$  と対象点の位置関係を示す。世界座標系での対象点を  $P(x_p, y_p, z_p)$ 、カメラの視点を  $T(T_x, T_y, T_z)$  とする。カメラ視線は鉛直上向きとし、カメラ座標系の  $Z_c$  軸を世界座標系の  $Z_w$  軸と一致させ、 $X$  軸と  $Y$  軸の方位も一致させる。つまり、軸周りの回転(ロール, ピッチ, ヨー)はないものとし、 $Z_w = 0$  を地面にとると  $T_z$  は地面からのカメラの高さとなる。ベクトル  $PT$  が  $Z_c$  軸となす角を天頂角  $\theta (0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ)$  とし、ベクトル  $PT$  が  $X_c Y_c$  平面上で  $X_c$  軸となす角を方位角  $\phi (0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ)$  とすると、単位ベクトルは

$$V = [\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta]^T \quad (6)$$

になる。

次に画像座標系  $(u, v)$  の投影面を考え、対象点  $P(x_p, y_p, z_p)$  の投影点を  $P_i(x, y)$  とする。本研究で使用する魚眼カメラは等立体角射影で、投影中心  $(C_x, C_y)$  から投影点  $P_i$  までの像高  $r$  [pixel] と天頂角  $\theta$  の関係は

$$r = \sqrt{2}R \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (7)$$

である。ここで、定数  $R$  [pixel] は天頂角が 90 度のときの像高 (画像半径) である。方位角  $\phi$  は

$$\phi = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (8)$$

である。

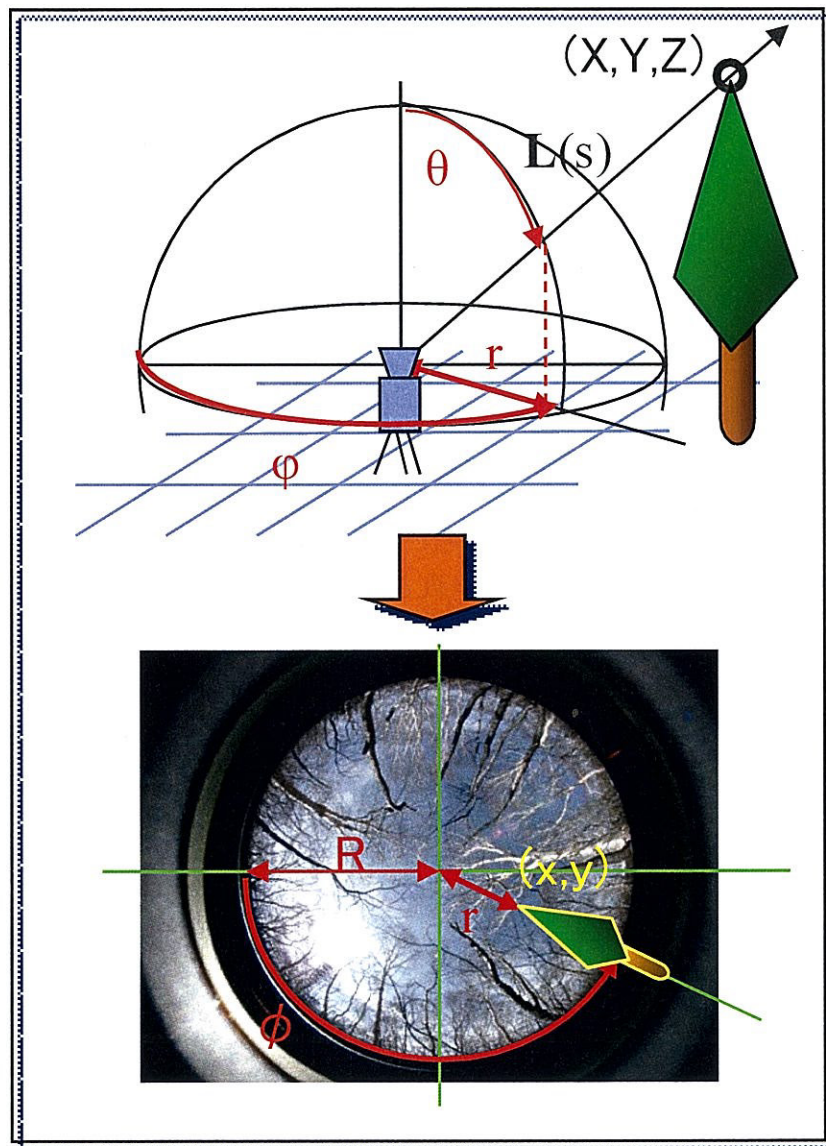
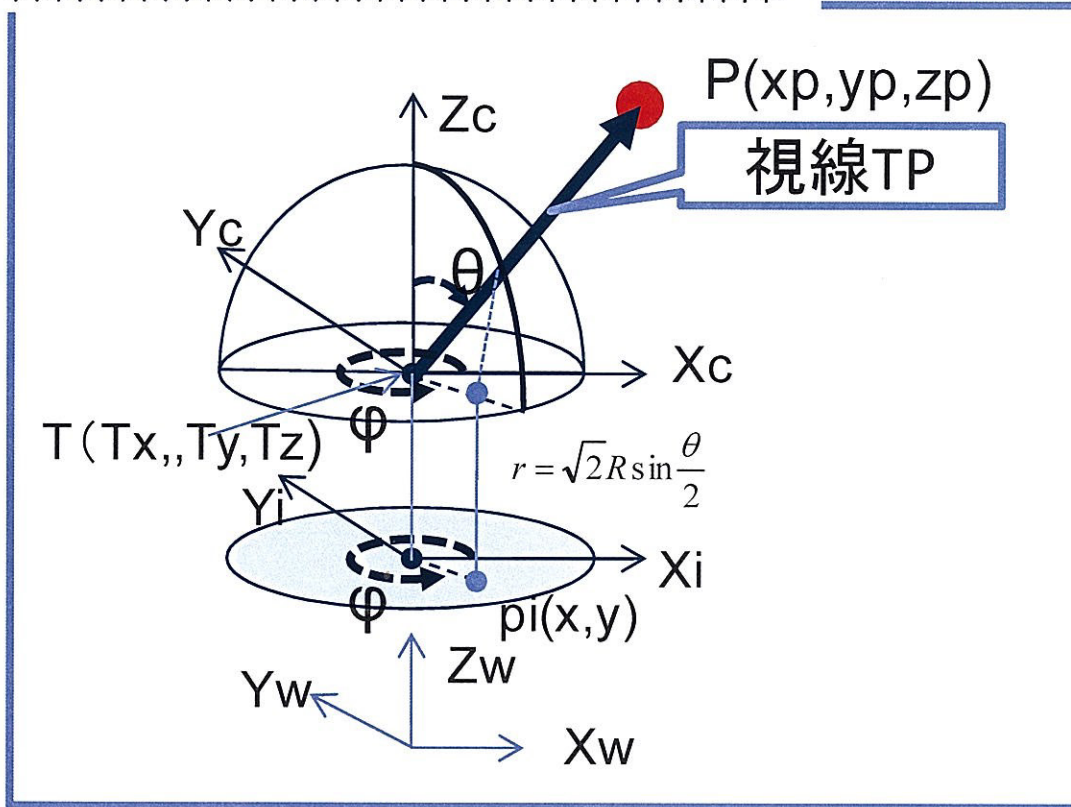


図 44: 魚眼カメラによる樹木計測

## 世界座標系とカメラ座標系



## 画像座標系

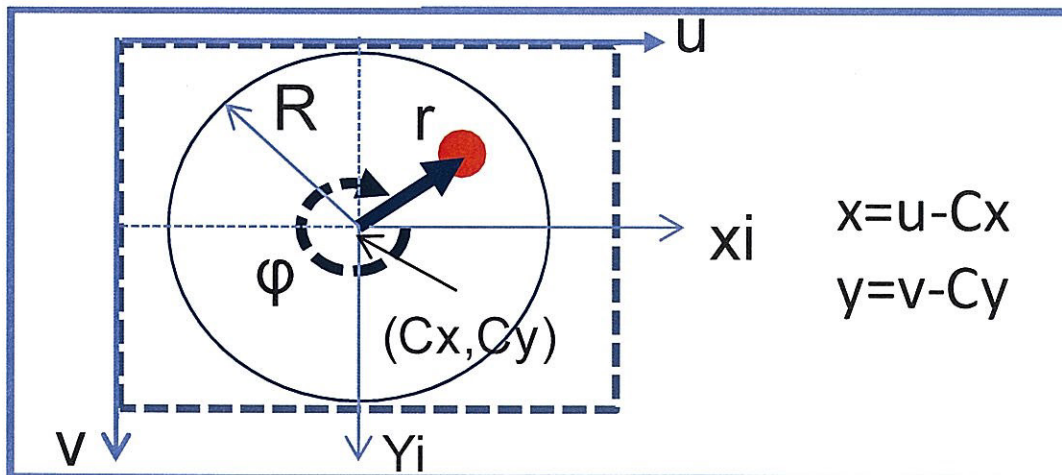


図 45: 魚眼カメラ投影モデル



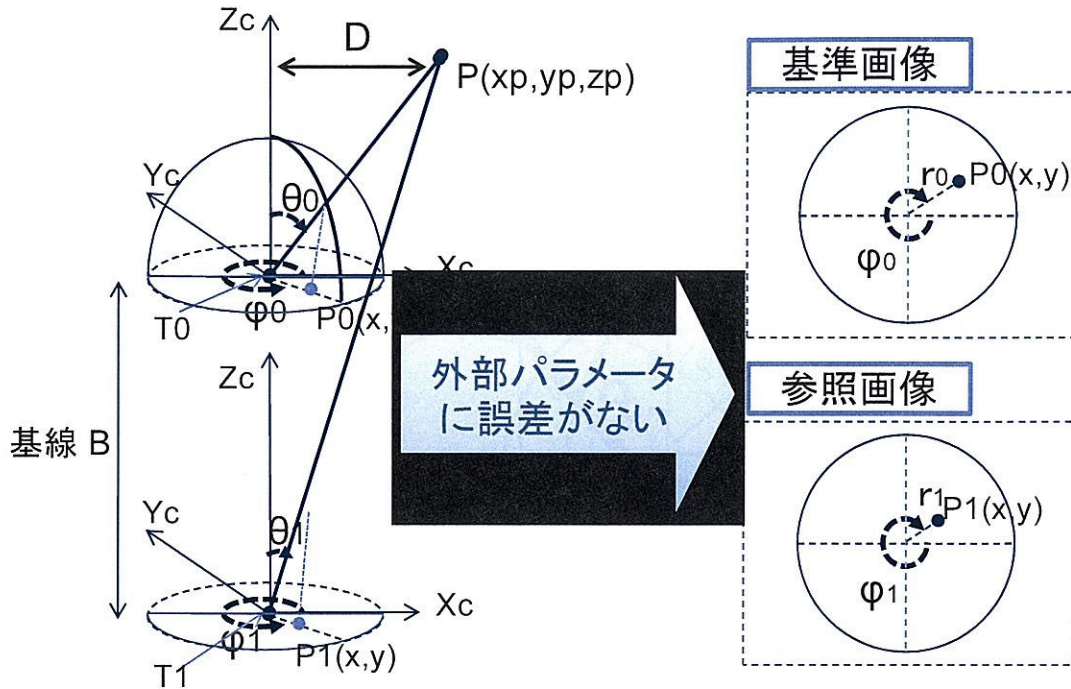


図 46: ステレオ視とエピポーラ拘束

### 5.5.2 ステレオ視と 3次元座標の算出

対象点  $P(x_p, y_p, z_p)$  を、カメラ座標系  $T_0$  と  $T_1$  で撮影したとする。  $T_1$  は  $T_0$  より基線長  $B$  だけ下方にある。2枚の画像対での対応点  $p_0$  と  $p_1$  には以下の関係が成り立つ。

$$\phi_0 = \phi_1 \quad (9)$$

$$r_0 > r_1 \quad (10)$$

$$\Delta r = r_0 - r_1 \quad (11)$$

$$= \sqrt{2}R \left( \sin \frac{\theta_0}{2} - \sin \frac{\theta_1}{2} \right) \quad (12)$$

外部パラメータに誤差がないとすれば、対応点の探索を画像半径方向に沿って、  $0 < r_1 < r_0$  の範囲で探索すればよい。

本研究では取得したステレオ画像対をグレースケースに変換し、次式を評価式としてテンプレートマッチングを行う。

$$SSD(r, \phi; \Delta r) = \sum_{r, \phi \in W} \{f_0(r, \phi) - f_1(r - \Delta r, \phi)\}^2 \quad (13)$$

表 5: 3次元座標値の結果

	$D$ [m]	$X$ [m]	$Y$ [m]	$Z$ [m]	$\theta(\Delta\theta)$ [度]	$\phi$ [度]
実測値	2.478	0.204	2.470	1.780	69.23	85.29
B1	2.583	0.199	2.575	1.698	71.62(0.79)	85.58
B2	2.467	0.189	2.460	1.659	71.64(1.66)	85.60
B5	2.524	0.192	2.517	1.678	71.64(3.99)	85.64
SSSD	2.524	0.192	2.517	1.678	71.64	85.64
	+0.046	-0.012	+0.047	-0.102	+2.41	+0.35

ここで、カメラ座標系  $T_0, T_1$  の画像濃度値をそれぞれ  $f_0, f_1$  とする。注目画素  $(r_0, \theta_0)$  に対してテンプレートとなる領域  $W$  を設定し、その領域内における濃度値差の2乗和  $SSD$  を求める。  $0 < r_1 < r_0$  の範囲で  $SSD$  が最小となる  $\Delta r$  が対応画素  $(r_1, \theta_1)$  である。 $(r_0, \theta_0)$  と  $(r_1, \theta_1)$  より、2つの直線  $PT_0$  と  $PT_1$  が定まり、その交点が対象点  $P$  の3次元座標である。

### 5.5.3 マルチベースラインステレオ法

ステレオ視では基線長が長いほど得られる3次元座標の精度が高くなるが、評価式の極小点が複数できる偽対応の問題が生じやすい。基線長が短くなると極小値が少なく偽対応の問題がなくなるが、得られる3次元座標の分解能が悪くなる。そこで、複数のステレオ画像対を用いるマルチベースラインステレオ法により偽対応点を除き正確で高精度な3次元座標を算出する。カメラ座標系の高さのみを変え、その他の外部パラメータを同一にして複数枚の画像を取得する。各基線長  $B_i$  のステレオ画像対についてテンプレートマッチングを行い、 $SSD_i$  を求める。水平距離  $D$  に対して  $SSSD = \sum_i SSD_i$  を求め、その最小値から3次元座標を確定する。

### 5.5.4 室内実験結果

基線長  $B = 0.04m$  として室内実験を行った。水平距離は+0.046 mの誤差、高さは-0.102 mの誤差であり、光学中心高さの校正を行えば3次元計測が可能であると考えられる。今後は基線を水平方向にとったステレオ視を実施する予定である。

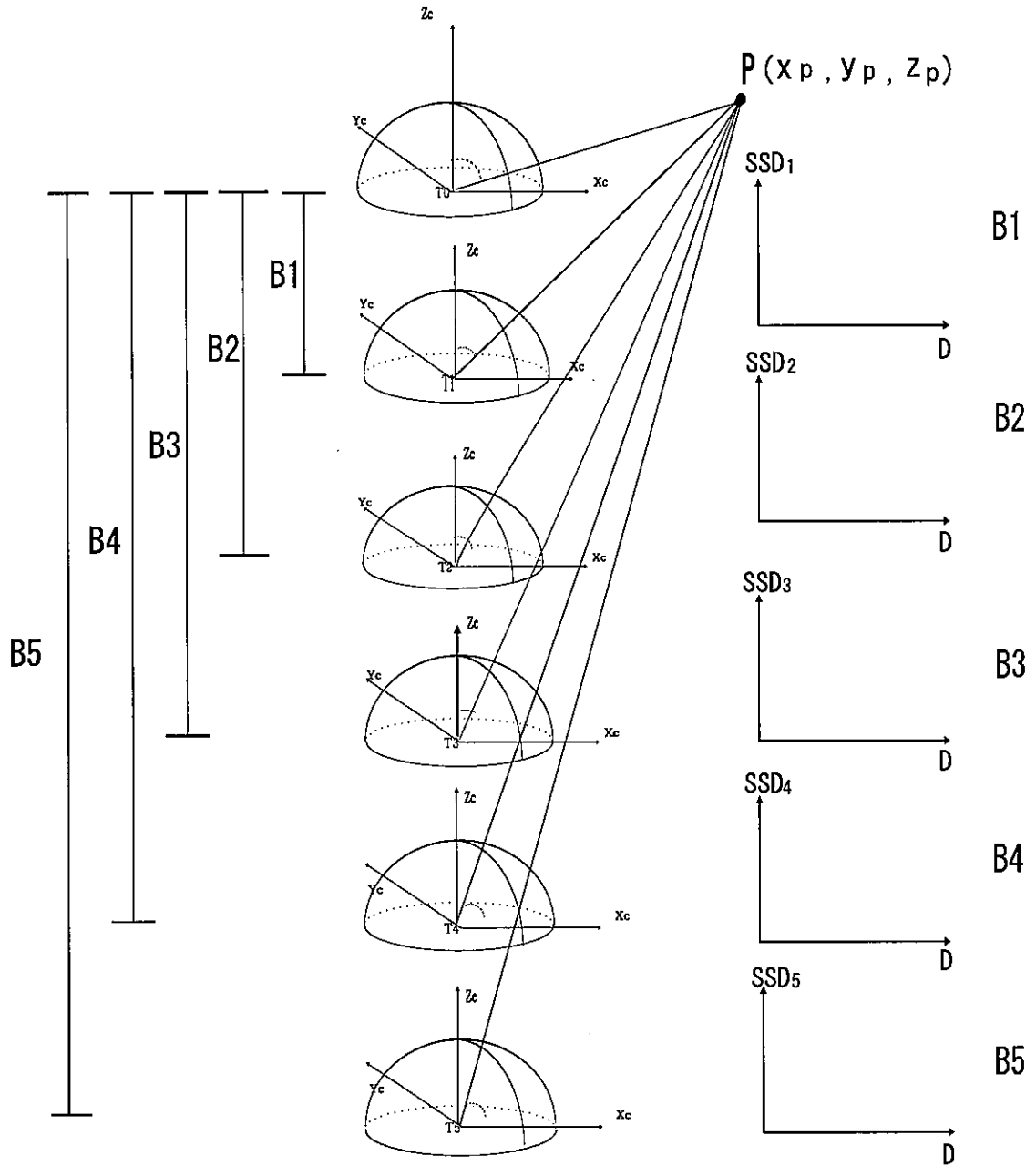


図 47: マルチベースラインステレオ法

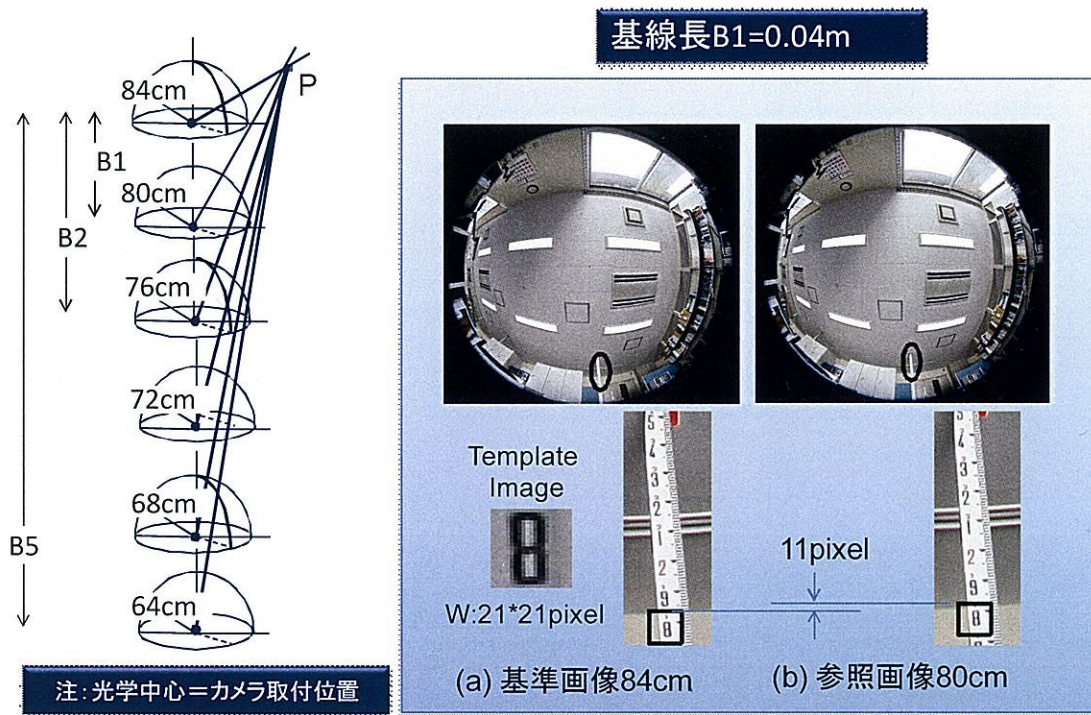
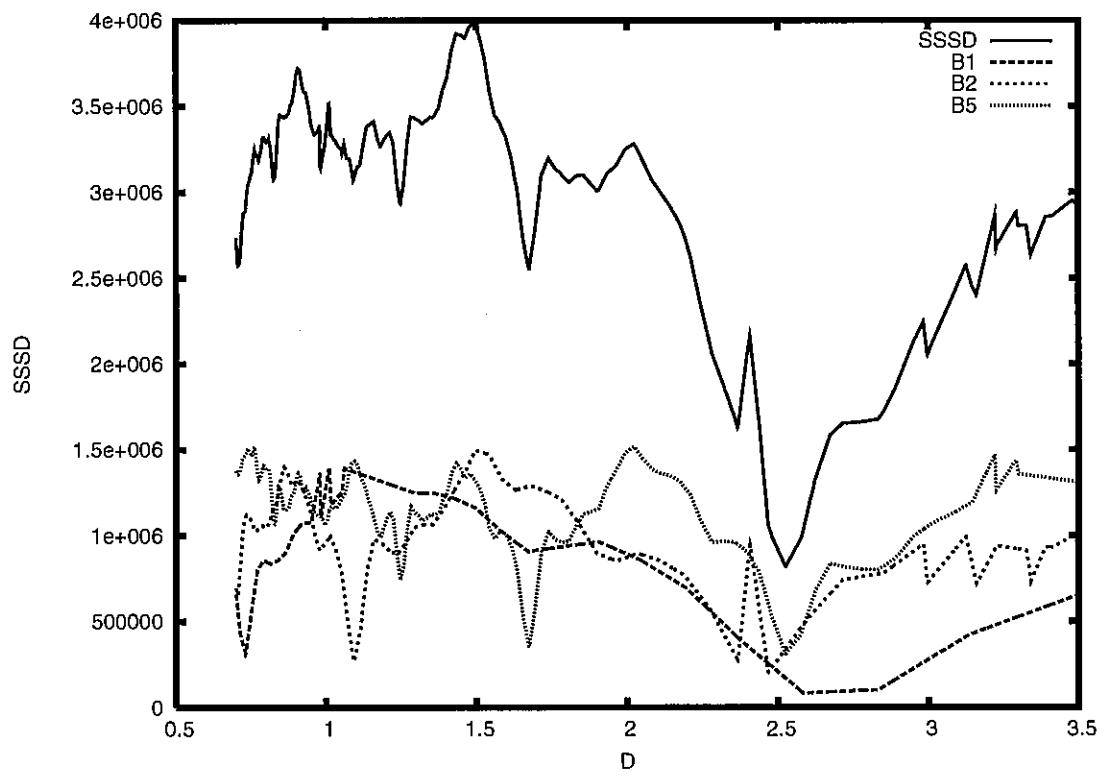


図 48: 室内実験

図 49: 複数基線長による  $D$  と  $SSSD$

## 6 今後の展開

森林の林冠および個々の樹冠の3次元構造を把握することは森林生態系の研究や森林管理において重要な課題であり、多時期の衛星データを使った変動解析と3次元画像計測技術、森林GISとコンピュータグラフィックス技術を融合させ、金沢大学角間キャンパスの里山を対象として、本研究を発展させて3次元森林樹冠地図作成の研究課題に取り組む予定である。