

ドローンLiDARを用いた森林のモニタリング手法の開発

MATLAB EXPO 2024

トヨタ自動車株式会社 先進技術統括部
西田 晃史

トヨタ環境チャレンジ2050

ゼロへのチャレンジ



ライフサイクルCO₂
ゼロチャレンジ



新車CO₂
ゼロチャレンジ



工場CO₂
ゼロチャレンジ

TOYOTA 
ENVIRONMENTAL
CHALLENGE 2050



プラスへのチャレンジ



水環境インパクト
最小化チャレンジ



循環型社会・システム構築
チャレンジ

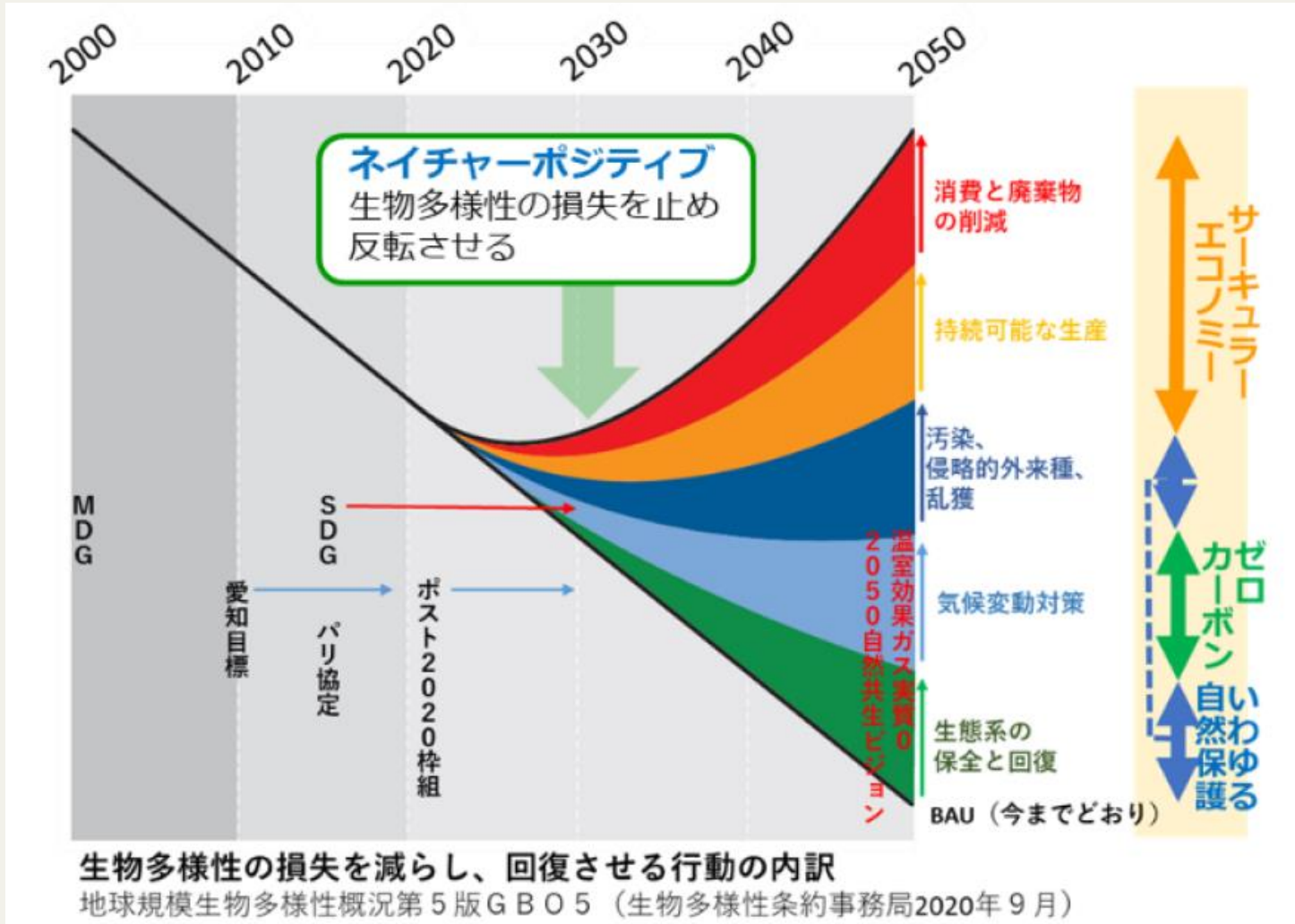


人と自然が共生する
未来づくりへのチャレンジ

今回のテーマ「ネイチャーポジティブ」

ネイチャーポジティブとは

2022年12月 COP15 (生物多様性条約第15回締約国会議) で「昆明・モントリオール生物多様性枠組」採決
2023年3月 日本で「生物多様性国家戦略2023-2030」閣議決定



ネイチャーポジティブへの取り組み

人と自然が共生する未来づくりへのチャレンジ

トヨタ環境チャレンジ2050

自然保全活動の輪を地域・世界とつなぎ、そして未来へつなぐ



Toyota Argentina S.A. (TASA)のサラテ工場敷地(上)、トヨタ・サラテ自然保護エリアのラグーン(右)

2030マイルストーン

国内12カ所
他の地域7カ所 **自然と共生する工場の実現**

NGOなどと
連携し貢献 **生物多様性の保護活動**

未来を担う
ECO人材を **社内外で育む施策の拡充**

工場や技術開発拠点、社有林で
生物多様性の保全活動を実施



トヨタテクニカルセンター下山
森林と水田の様子



びおとーぶ堤
ビオトープの全景



トヨタの森
サイトで確認された希少種シデコブシ
(環境省レッドリスト2020準絶滅危惧)



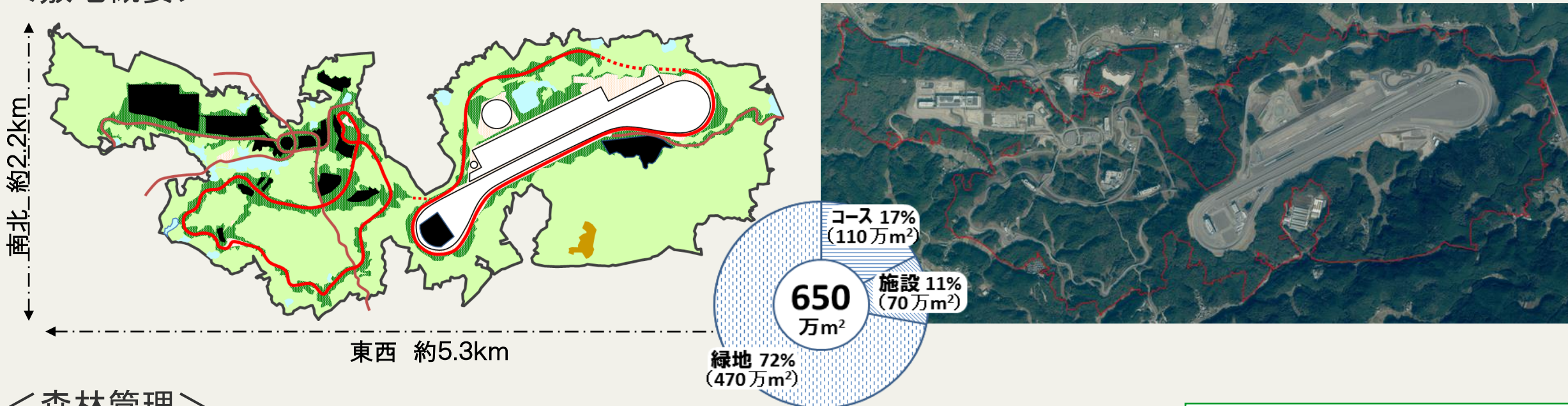
トヨタ三重宮川山林
間伐後の森林の様子

2023年10月 上記の4サイトで環境省から
「自然共生サイト*」の認定を取得

* 「民間の取組等によって生物多様性の保全が図られている区域」を国が認定する制度

森づくりの取り組み事例 トヨタテクニカルセンター下山

<敷地概要>



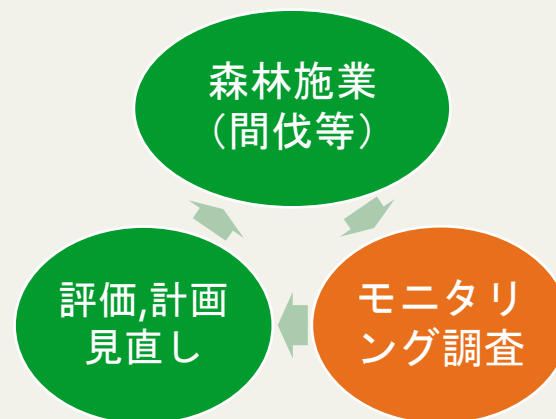
<森林管理>



光の入らない間伐遅れの人工林



間伐より下層植生が回復



森林管理のサイクル

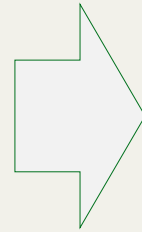
【課題】
広大な森林の管理には、膨大な時間とコストが必要

先進技術の活用により、効率化の余地がある**モニタリング調査に着目**し、DX化を検討した。

森林のモニタリング調査

現状の調査手法

調査区画の森林の状態（本数密度、樹高、胸高直径等）を**人力で計測**する調査を実施。木を1本ずつ計測するため**労力がかかり、調査範囲が限定的**。



目指す姿

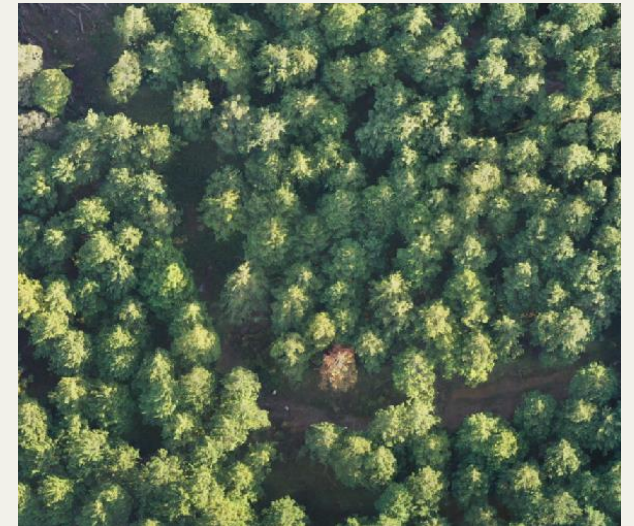
ドローン等のリモートセンシング機器を活用し、**広域の森林の状態を効率的に計測**する。

<手段>

林野庁「国有林材の販売に係る収穫調査等の効率化手法検討委託事業」の報告書にて**ドローンや航空LiDAR**を使用した本数密度、樹高、胸高直径の計測・推定方法が示されていたので参考とした。

<前提条件>

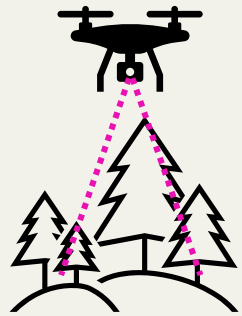
トヨタテクニカルセンタ一下山の森林は大部分がスギとヒノキを中心とした人工林のため、**計測対象はスギとヒノキ**から取り組む。



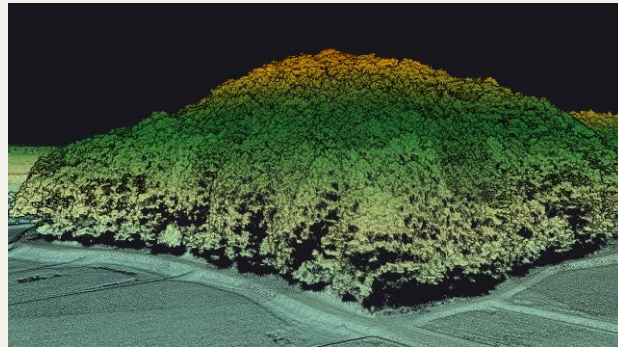
上空から見た森林の様子

全体概要

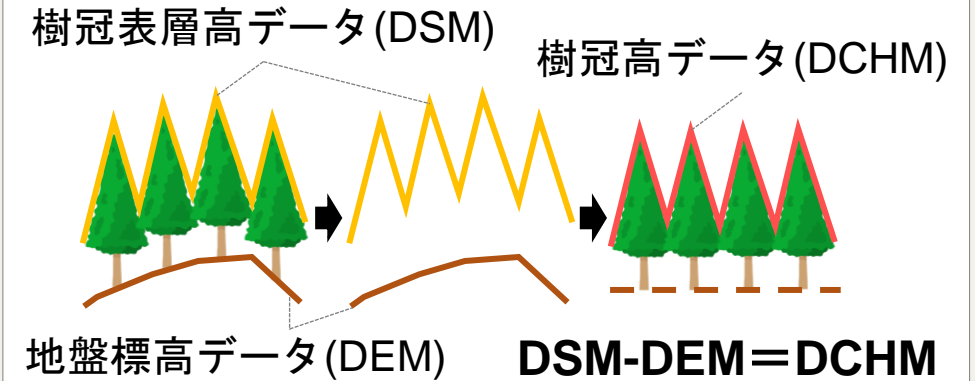
ドローンLiDAR計測



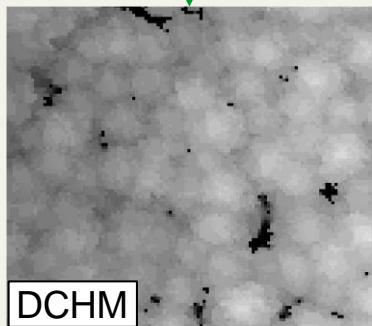
点群データ処理



森林データ解析

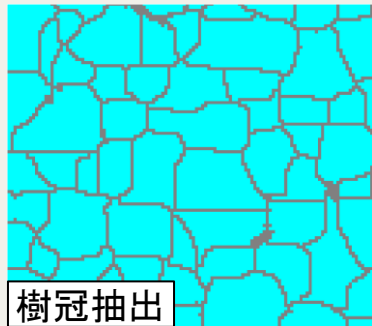


DSM : Digital Surface Model
DEM : Digital Elevation Model
DCHM : Digital Canopy Height Model



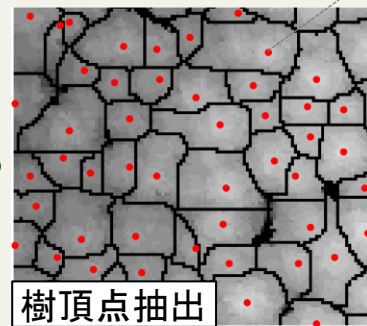
DCHM

Watershed法



樹冠抽出

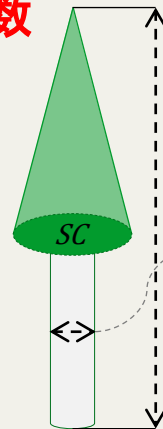
Hill-Climbing法



樹頂点抽出

①本数

②樹高



③胸高直径

$$推定式 : d = a \times SC^b \times h^c$$

d : 胸高直径、 SC : 樹冠投影面積、 h : 樹高、 a, b, c : 定数

※林野庁報告書より参照

今回はMATLAB®で実施した「森林データ解析」処理をクローズアップして紹介する。

計測条件

スギ・ヒノキ林を対象に5つの調査区画を設定し、検証を行った。

精度確認のため、ドローンLiDARと地上LiDARの2つの方法で計測した。

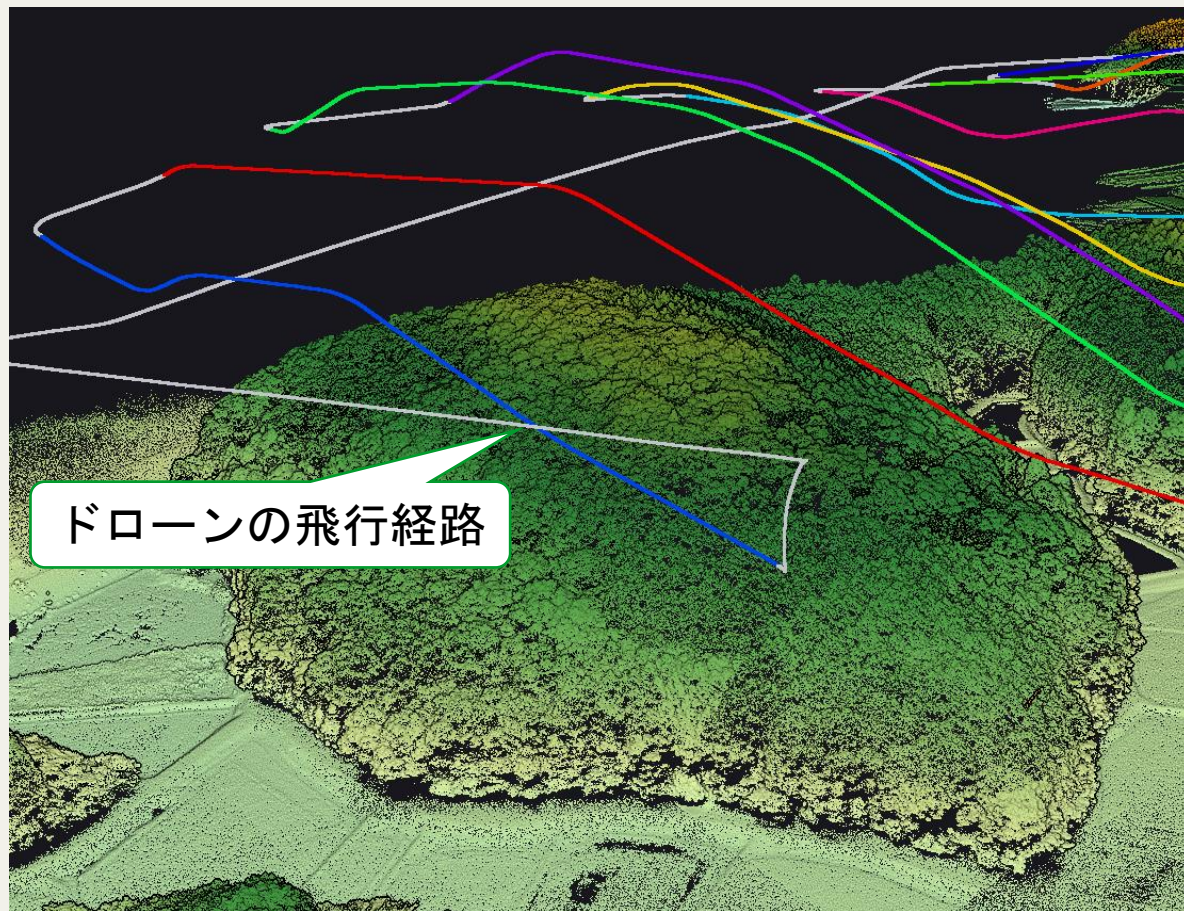
<調査区画>

区画番号	樹種	計測面積
1	スギ	15m×15m
2	スギ	15m×15m
3	スギ	15m×15m
4	ヒノキ	15m×15m
5	ヒノキ	15m×15m

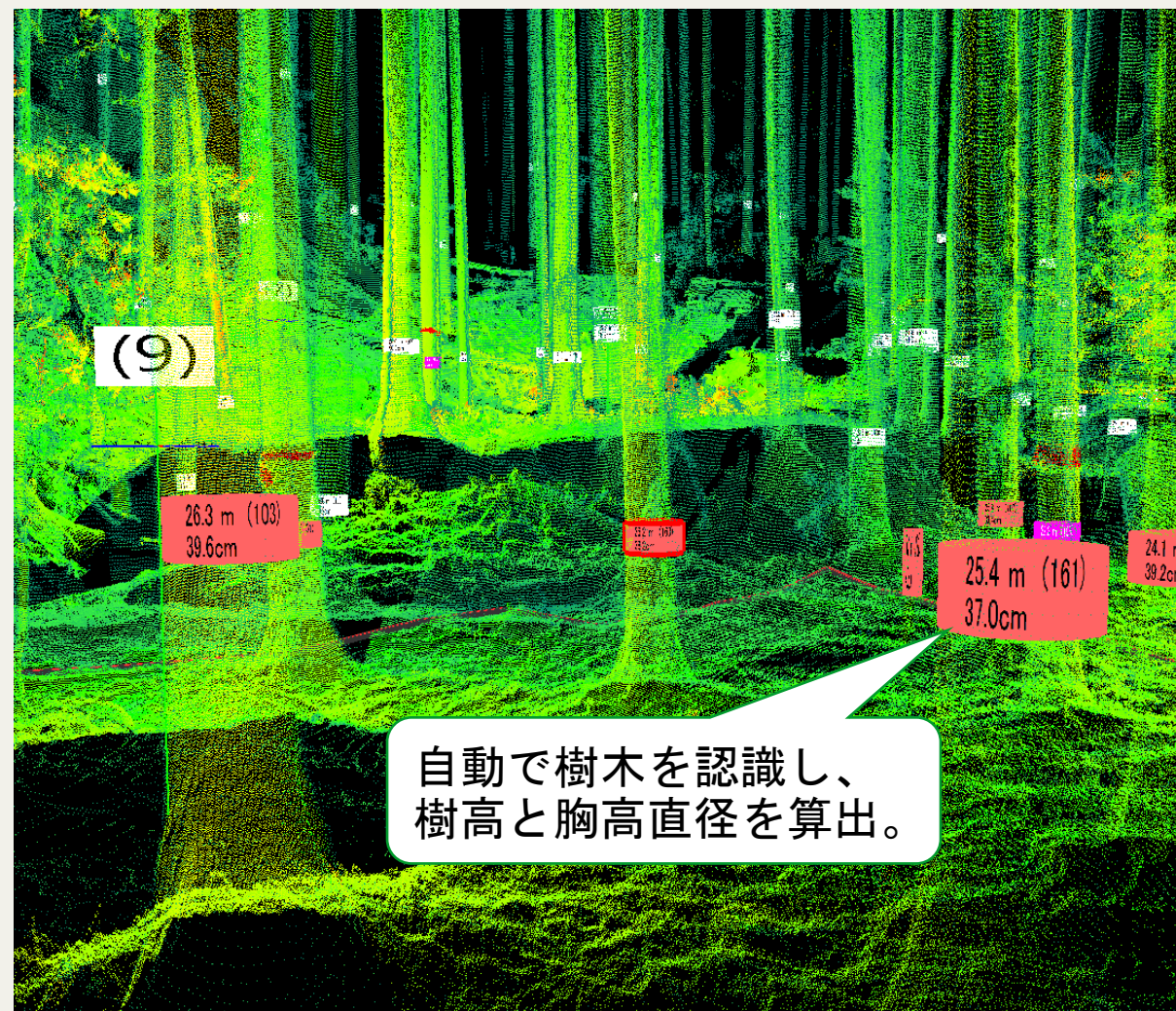
<計測機器>

ドローンLiDAR		
機器名	YellowScan Mapper	
会社名	YellowScan	
主なスペック	波長：905 nm ショット数：240,000/sec エコー数/ショット：2まで スキャナー視野角：81.7°	
ドローン		
機器名	Matrice 300 RTK	
会社名	DJI	
主なスペック	最大飛行時間：55分 最大ペイロード：2.7 kg 最大風圧抵抗：15 m/秒 最大飛行速度：23 m/s (Sモード)	
地上LiDAR		
機器名	森林3次元計測システム OWL	
会社名	株式会社アドイン研究所	
主なスペック	ポイント点数：43,200点/sec 1,944,000点/スキャン 検出保障精度：0.1～30m (白ケント紙) 測距精度0.1～10m：±30mm	

計測結果



ドローンLiDAR



地上LiDAR

森林データ解析

枝葉に遮られ地面へ到達するレーザーが少なく、データの欠損が発生。

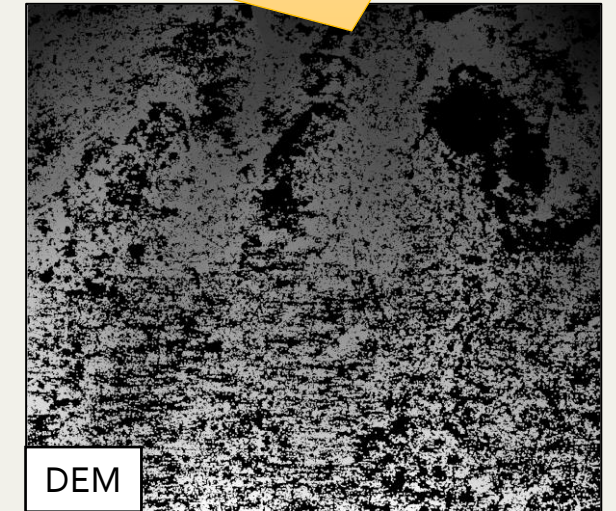
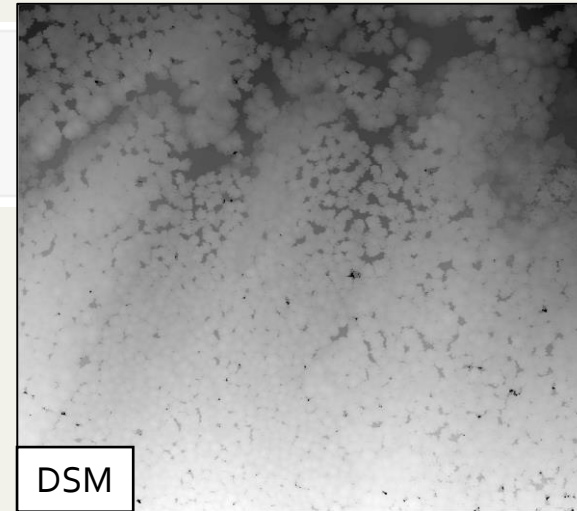
```
% DSM,DEM 読み込み
```

```
[DSM,R_DSM] = readgeoraster(DSM_filepath);
```

```
[DEM,R_DEM] = readgeoraster(DEM_filepath);
```

GeoTIFF形式のためreadgeoraster関数を使用。
位置情報は後述の解析で使用。

Mapping Toolbox™



```
% DEM 内挿補間
```

```
[x,y] = meshgrid(1:size(DEM,2),1:size(DEM,1));
```

```
xq = reshape(x,[],1);
```

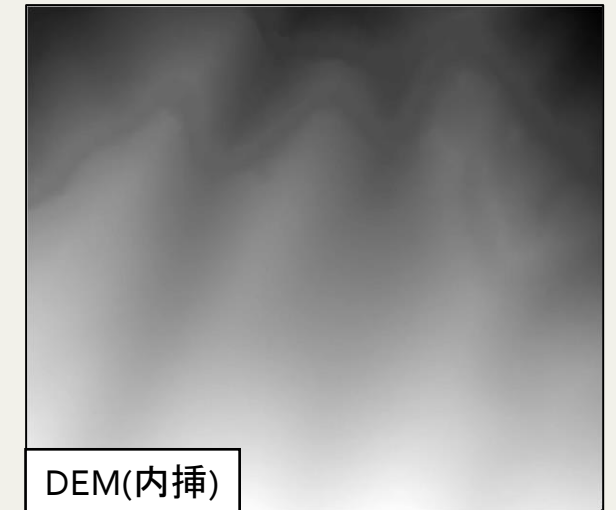
```
yq = reshape(y,[],1);
```

```
vq = double(reshape(DEM,[],1));
```

```
F = scatteredInterpolant(xq(vq~=0),yq(vq~=0),vq(vq~=0),'natural','none');
```

```
v = F(xq,yq);
```

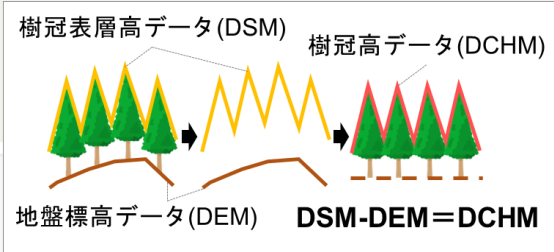
```
DEM_itp = reshape(v,size(x,1),size(x,2));
```



森林データ解析

```
% DCHM = DSM - DEM  
DCHM = DSM - DEM_itp;
```

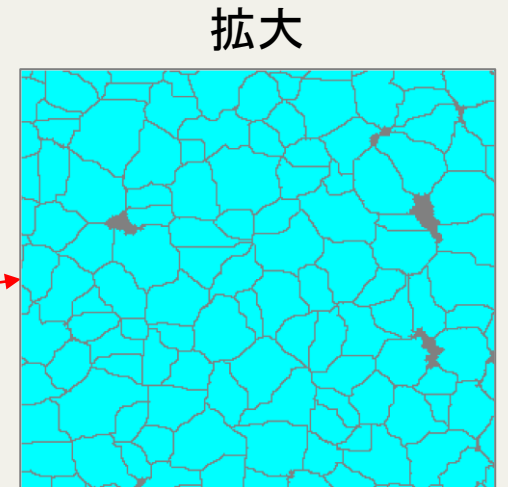
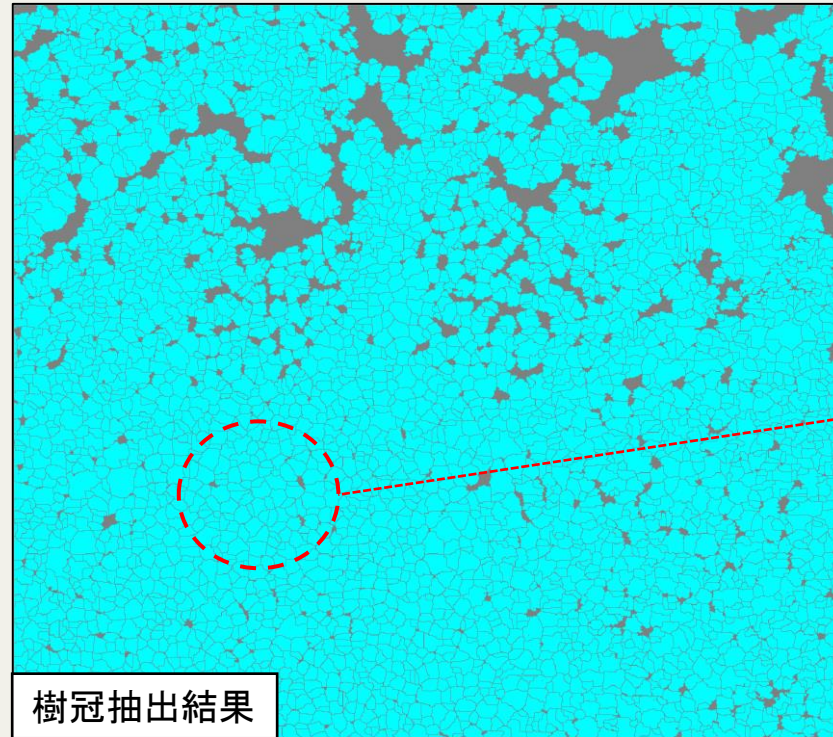
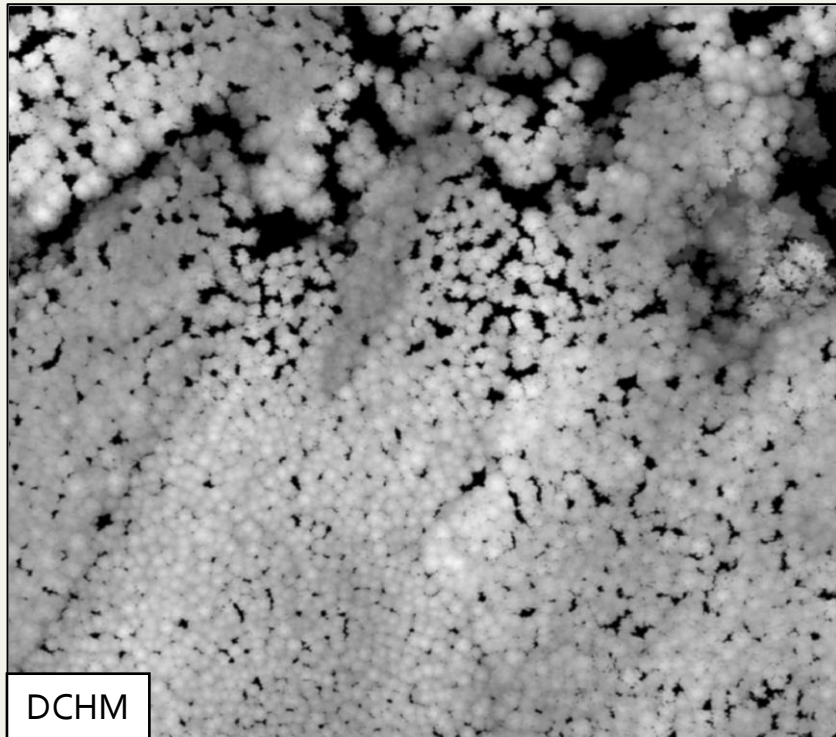
```
% 樹冠抽出  
L = watershed(-DCHM,8);
```



watershed関数の集水域検出を利用して樹冠を抽出。DCHMを反転させることで樹冠部に集水させる。



Image Processing Toolbox™



森林データ解析

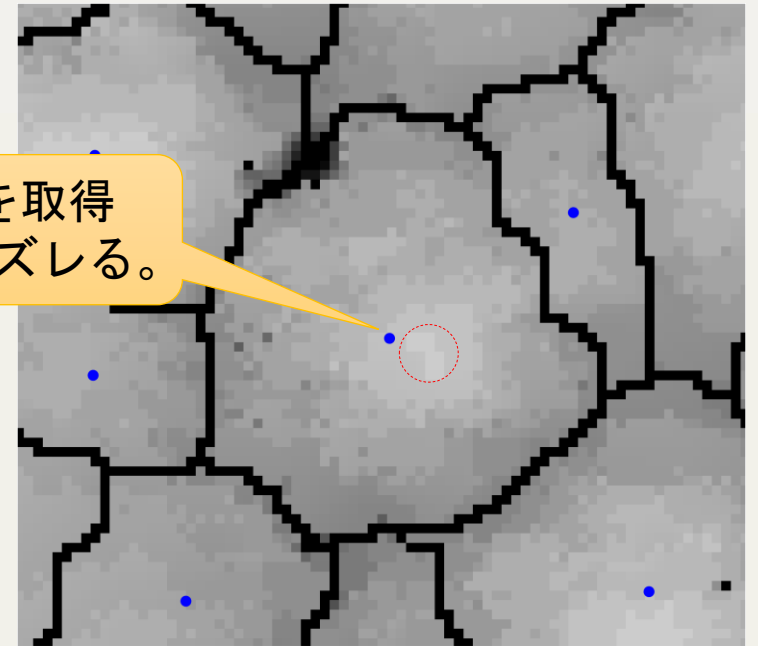
```
% 樹頂点抽出 (各エリアの中心点)
stats = regionprops(L,{'Centroid','Area'});
centroids = cat(1,stats.Centroid);
Areas = cat(1,stats.Area);
```

```
for k=1:size(centroids,1)
    % インデックスとして使用するので中心点座標を四捨五入
    p = round(centroids(k,:));

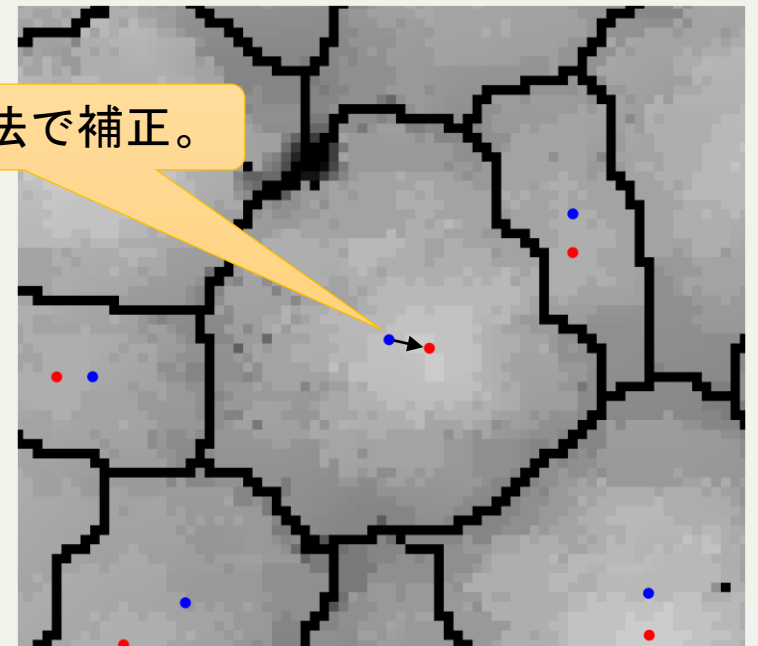
    % Hill-Climbingで樹頂点を探索
    A = HillClimbing(DCHM,p(1),p(2));

    % 樹頂点位置を記録
    centroids2(k,1) = A.position(1);
    centroids2(k,2) = A.position(2);
end
```

Centroidは領域の重心を取得するため、樹頂点からズレる。



HillClimbing法で補正。



The screenshot shows the MathWorks File Exchange interface. The main content is for a submission titled "Hill Climbing Algorithm: A Simple Implementation" by Seyedali Mirjalili. It includes a 5-star rating (6 reviews), download statistics (1.2K downloads, updated 2/12/2020), and a license link. A red dashed arrow from the code block above points to the "HillClimbing" function name in the code, which is highlighted in red in the original image.

森林データ解析

```
for k=1:size(centroids2,1)
    % 樹頂点位置を記録
    [xWorld, yWorld] = intrinsicToWorld(R_DSM,centroids2(k,1),centroids2(k,2));

    % 樹高 h
    h = DCHM(centroids2(k,1),centroids2(k,2));

    % 樹冠投影面積 SC
    SC = Areas(k) * R_DSM.CellExtentInWorldX * R_DSM.CellExtentInWorldY;

    % 胸高直径
    d = a * SC^b * h^c;
end
```

DSMの位置情報を用いて樹頂点のインデックス情報を座標系へ変換。

Mapping Toolbox™

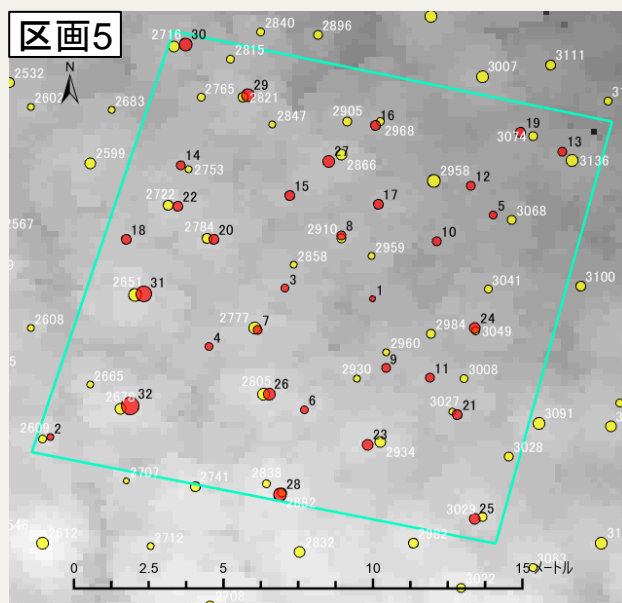
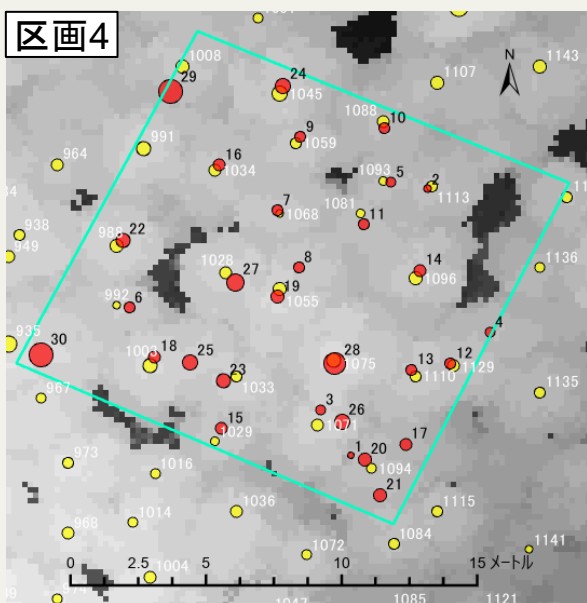
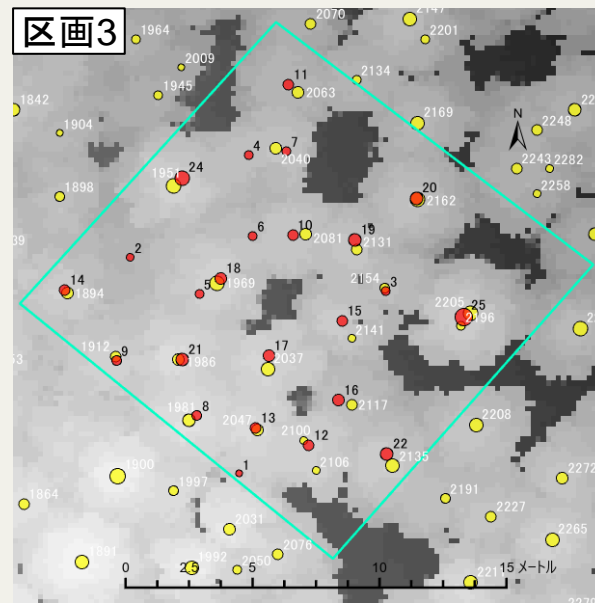
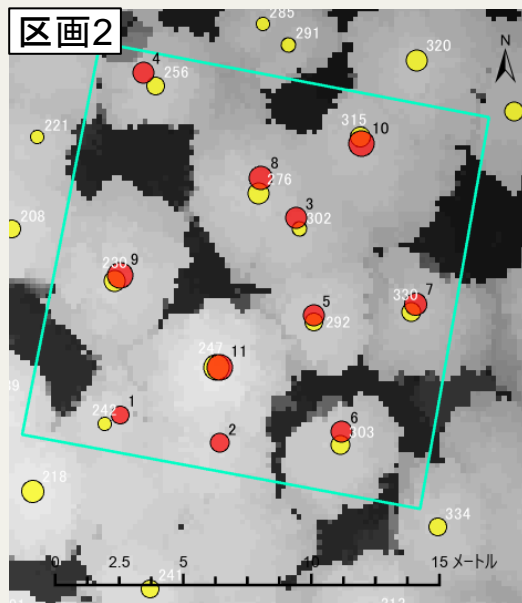
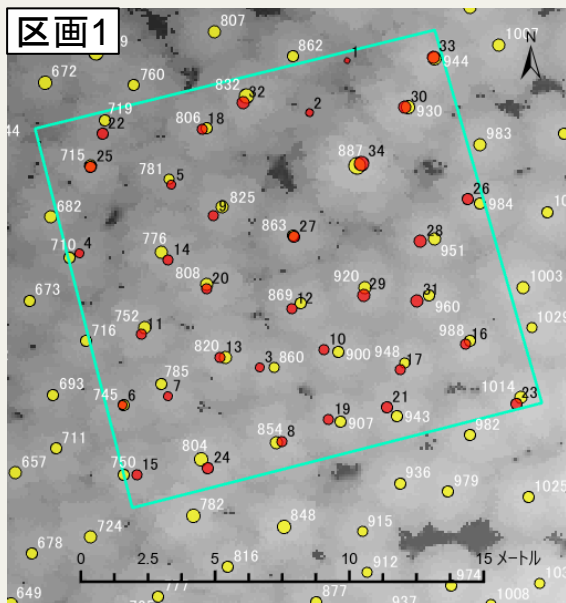
DSMの位置情報を用いて樹冠投影面積を計算。

Mapping Toolbox™



	1	2	3	4	5
1	x	y	樹高	樹冠投影面積	胸高直径
2	24972.377	-189087.233	22.94531015	7.21	25.64219742
3	24970.277	-189090.533	25.96451593	4.8	23.94653813
4	24969.677	-189092.833	28.62894671	8.34	29.84992171
5	24971.177	-189097.933	26.77050841	12.2	32.5703663
6	24969.677	-189100.433	24.89702459	2.38	18.82896372
7	24970.677	-189102.133	23.7220725	3.1	19.98901126

精度検証 ①本数



計測範囲
● 地上LiDAR検出木
● ドローンLiDAR検出木

※円の大きさは計測した胸高直径を表示

<検出結果>

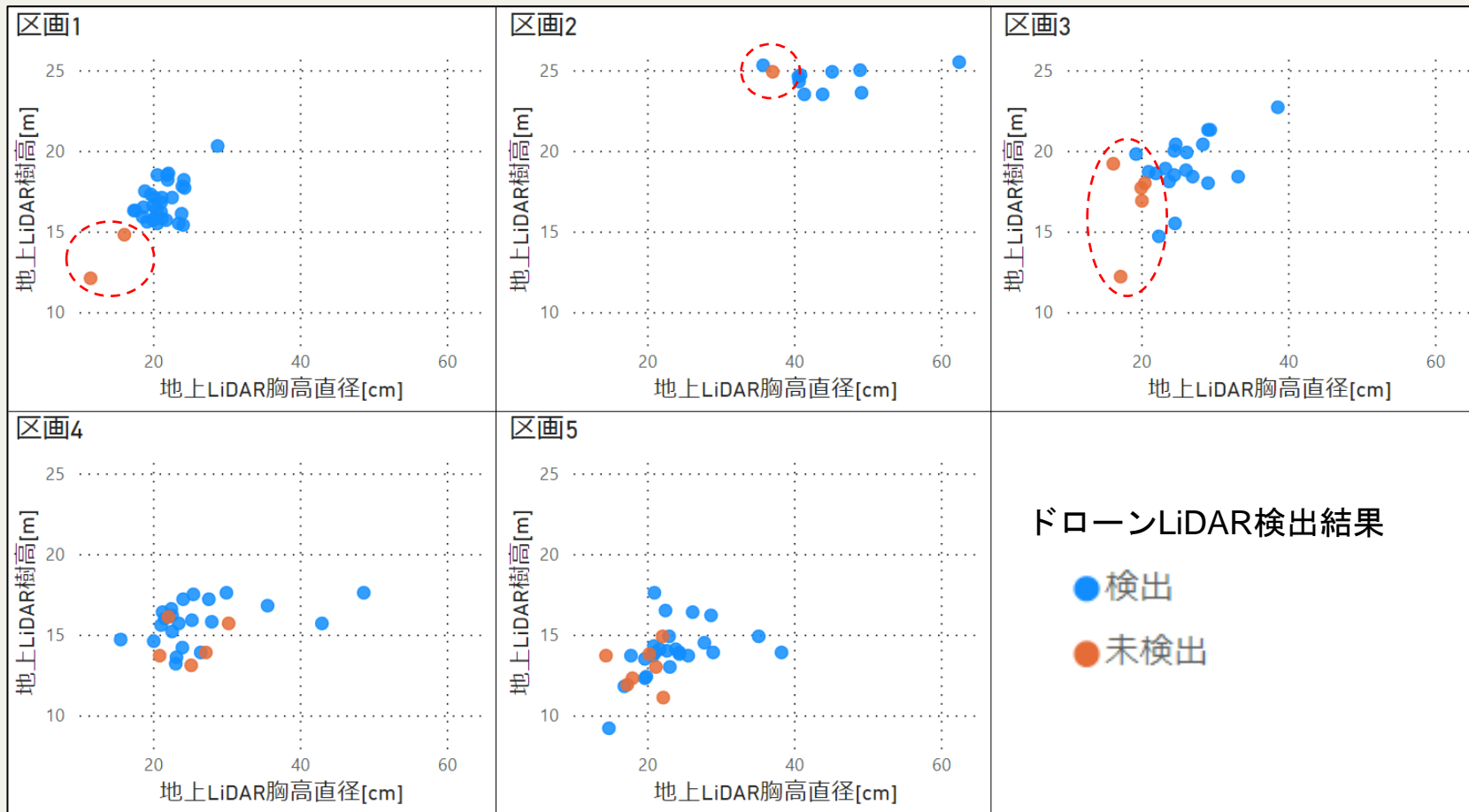
区画番号	樹種	地上LiDAR	ドローLiDAR	検出精度	
		検出本数	検出本数	検出率(%)	誤差率(%)
1	スギ	34	32	94.1	9.2
2	スギ	11	10	90.9	
3	スギ	24	21	87.5	
4	ヒノキ	27	22	81.5	15.5
5	ヒノキ	32	36	112.5	

スギ : 精度○ (一定数の未検出の傾向有)
 ヒノキ : 精度△ (バラつきが発生)

精度検証 ①本数

<ドローンLiDARの未検出木の傾向分析>

スギ



ヒノキ

スギの未検出木は樹高が低く、
胸高直径が小さい傾向がある。
被圧木（成長が遅れた個体）は
周囲の樹木に覆われ上空から確
認しにくい。

ドローン計測の特性と一致
する傾向が確認できた。

ドローンLiDAR検出結果

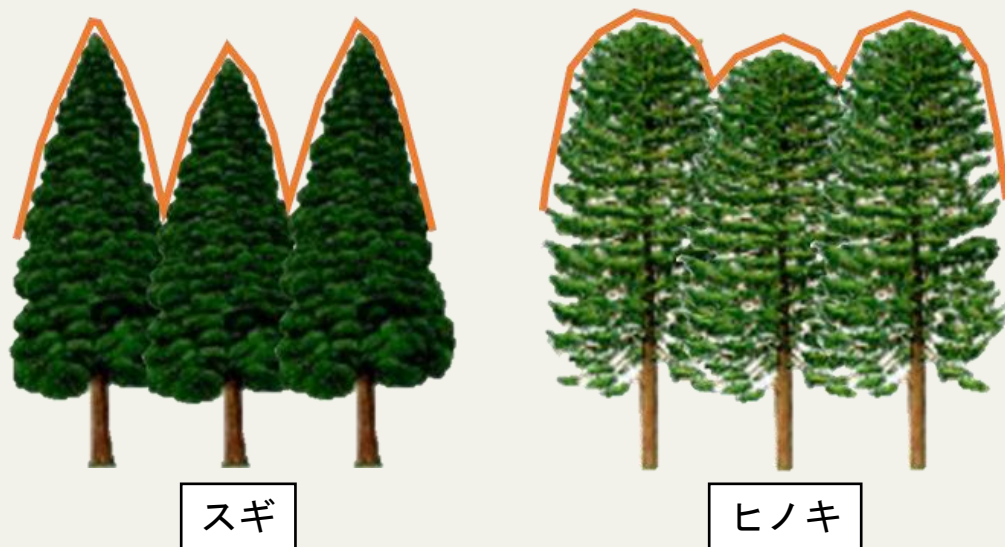
- 検出
- 未検出

ヒノキは特定の傾向が確認でき
なかった。

精度検証 ①本数

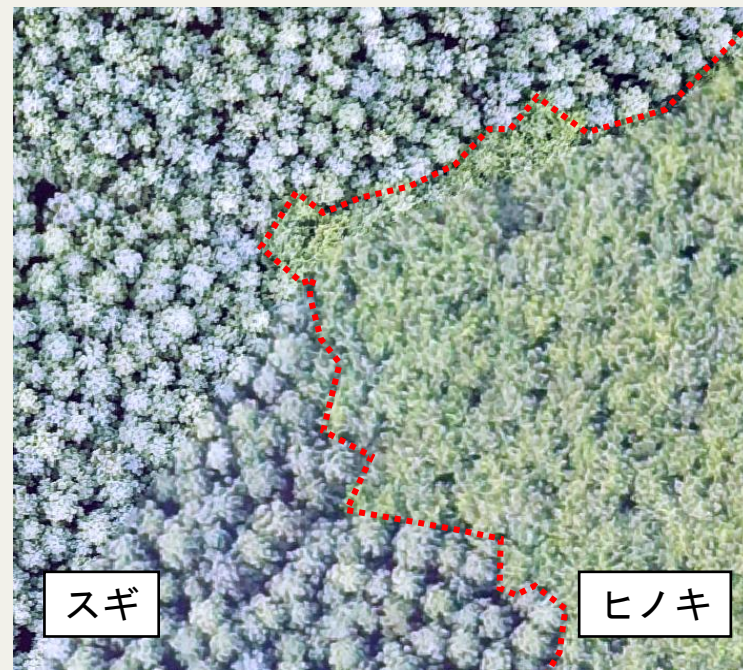
<スギとヒノキの樹冠形状の違い>

イラスト出典元：[木の情報発信基地 \(https://wood.jp/\)](https://wood.jp/)



ヒノキはスギと比べると**鈍頂円錐形**の樹冠形状の特徴が見られる。

<スギとヒノキの上空からの見え方の違い>

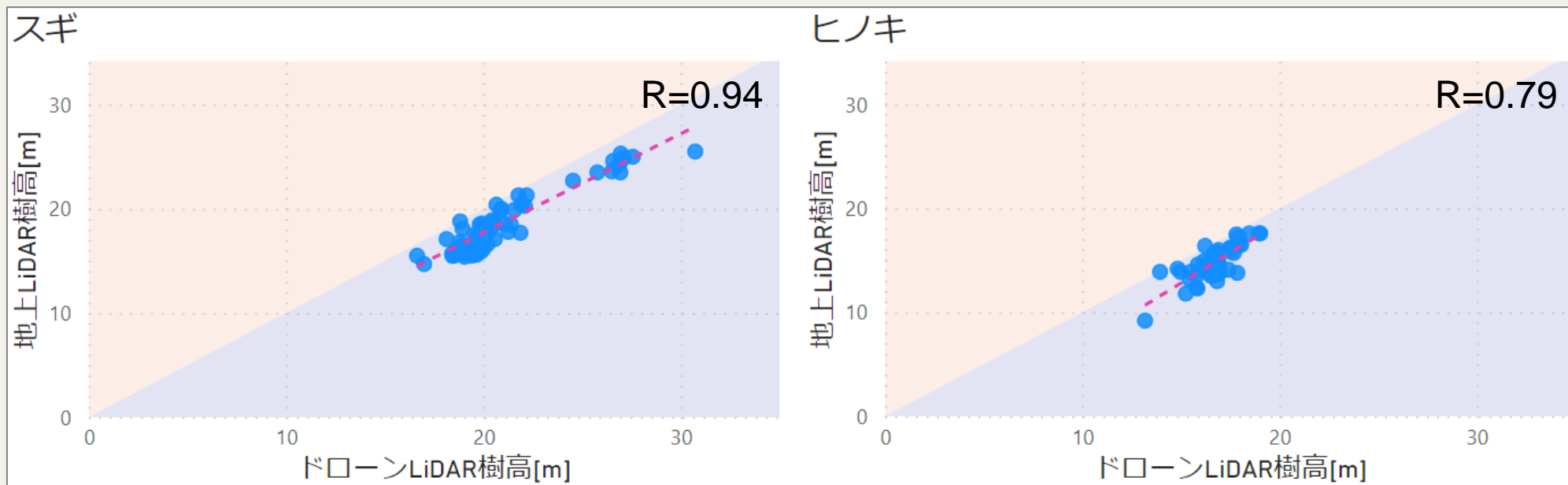


ヒノキはスギに比べると樹冠形状を**上空から識別しにくい**傾向が見られる。

ヒノキの樹冠形状はスギよりも識別が困難であると考えられるため、**樹種の判別と解析手法の改良**が必要である。

精度検証 ②樹高

<樹高の相関>



スギ、ヒノキ共に強い相関が見られる。
ドローンの方が2m程度高く樹高を計測する傾向が見られる。

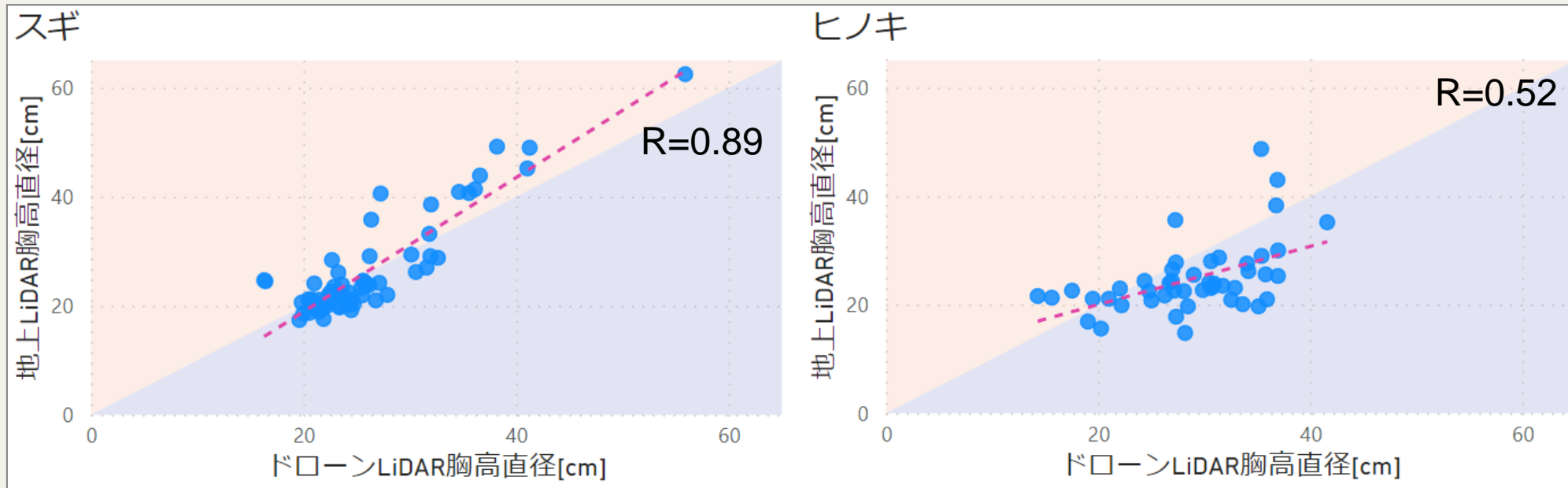
上部は届きにくい



地上LiDARは地上から上部へレーザを照射するため、樹頂点へ届きにくい特性がある。
機器の特性と一致する傾向のため、ドローンLiDARの樹高の計測精度は高いと判断する。

精度検証 ③胸高直径

<胸高直径の相関>



スギは強い相関が見られるが、ヒノキは相関が弱い。

スギは相関が強く、計測精度が高いと判断する。
ヒノキは樹冠の検出精度が悪いことが胸高直径の推定精度を低下させていると考えられるため、本数の検出精度の改善が必要である。

検証結果

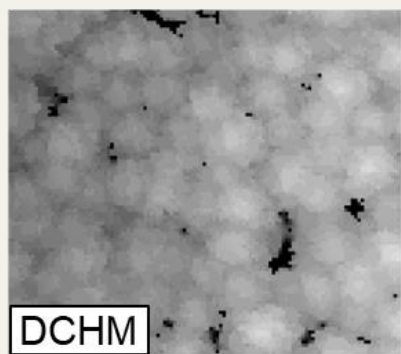
<結果まとめ>

計測項目	スギ	ヒノキ
①本数	○高精度	△樹冠形状による検出精度に課題
②樹高		○高精度
③胸高直径		△検出精度不足による精度悪化



【残課題】
ヒノキの解析手法を改良し、
検出精度を改善する。

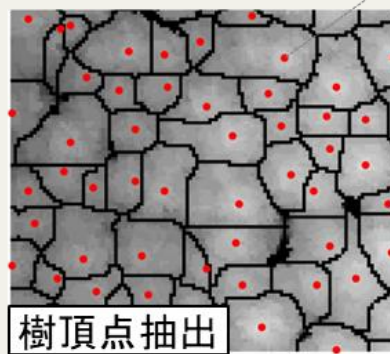
<今後の検討事項>



DCHM



樹冠抽出

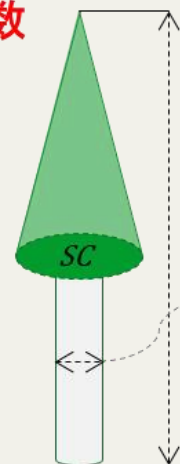


樹頂点抽出

①本数

②樹高

③胸高直径



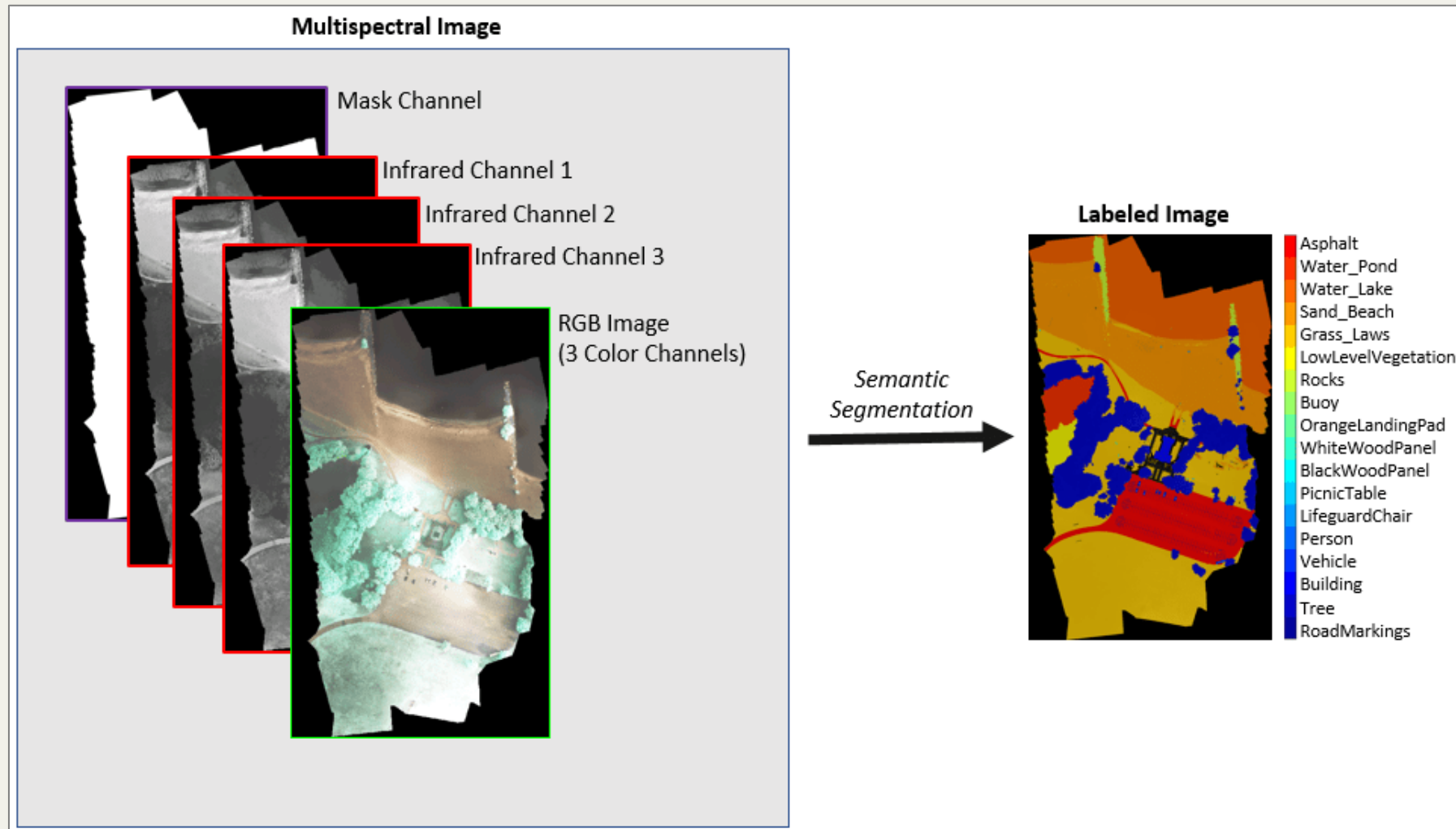
樹種判別

ヒノキの解析手法の改良

樹種判別の検討状況

アプローチ：深層学習を使用したマルチスペクトルイメージのセマンティックセグメンテーション

<https://jp.mathworks.com/help/vision/ug/multispectral-semantic-segmentation-using-deep-learning.html>

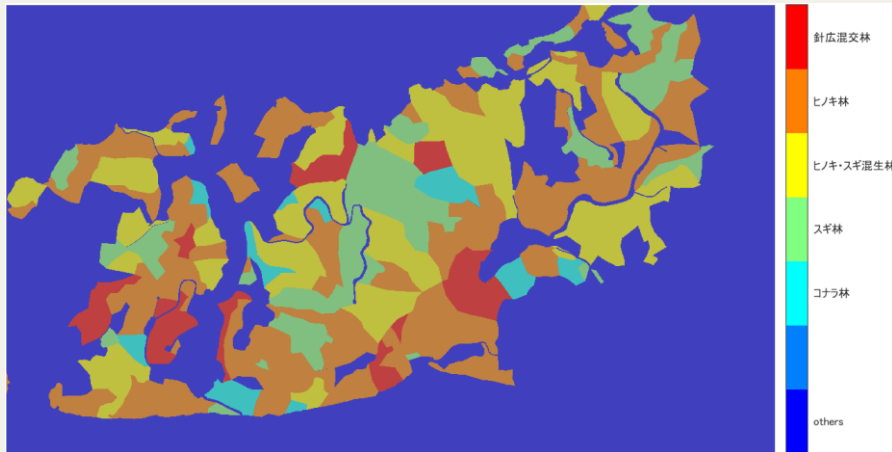


樹種判別の検討状況

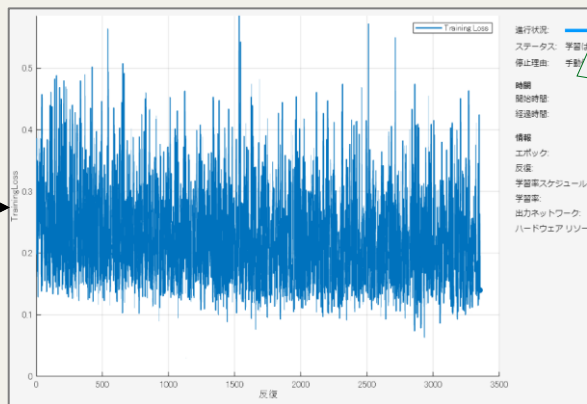
マルチスペクトルイメージ (GeoTIFF)



林相ポリゴンファイル (shp)



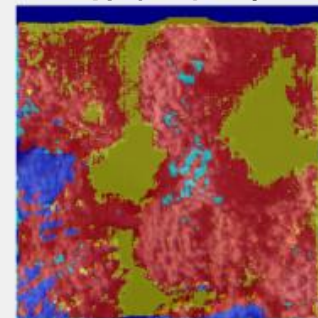
U-Netによる転移学習



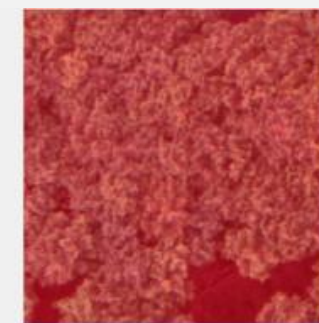
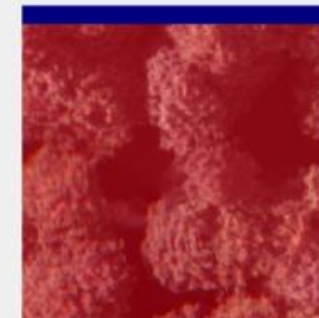
学習が収束しない...

<学習過程>

推論結果



教師データ

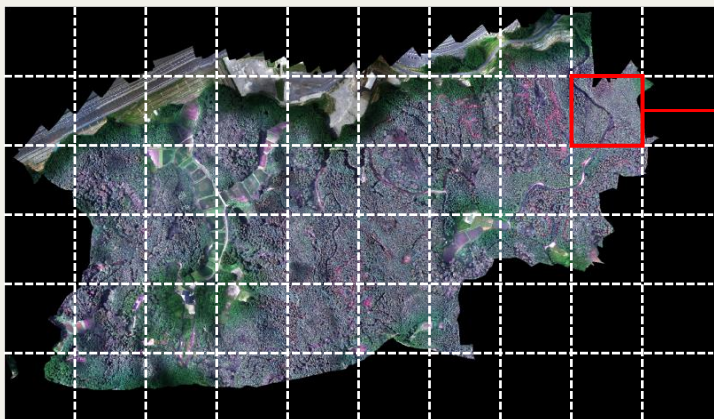


影の部分が誤ってセグメンテーションされている

推論の分解能が高すぎる可能性があるため別のアプローチを検討した。

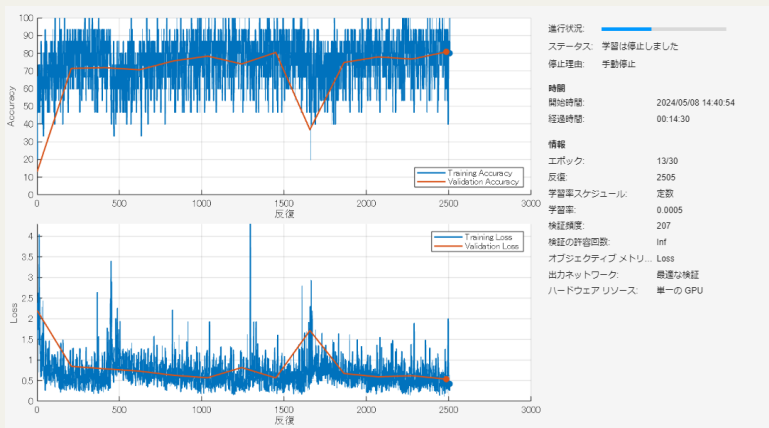
樹種判別の検討状況

アプローチ：画像パッチ分類による識別



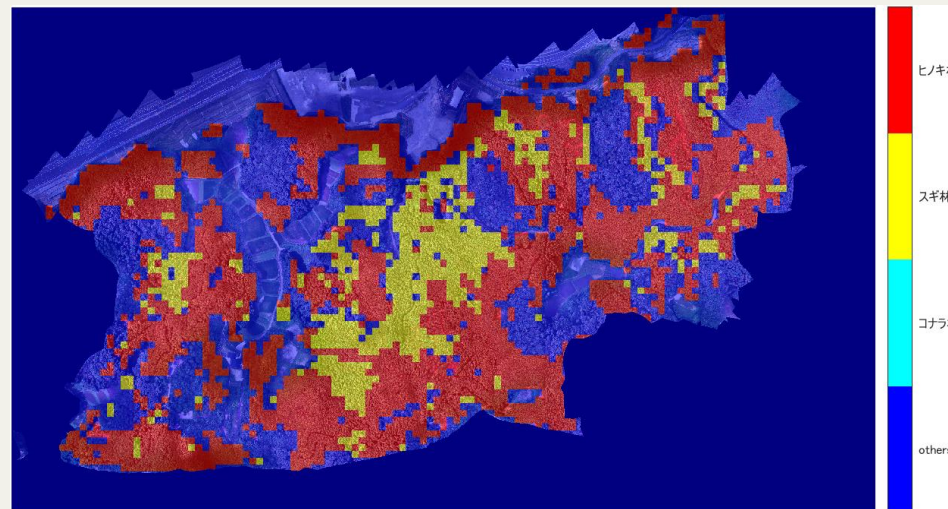
- スギ
- ヒノキ
- コナラ
- その他

ResNet-18による転移学習



不安定ながら学習している
 様子が確認できた。

＜推論結果＞



真のクラス	others	619	1	80	88.4%	11.6%
	コナラ林	49		5		100.0%
	スギ林	36	96	30	59.3%	40.7%
	ヒノキ林	46	9	361	86.8%	13.2%
		82.5%		90.6%	75.8%	
		17.5%		9.4%	24.2%	
	others	コナラ林	スギ林	ヒノキ林	予測されたクラス	

教師データが多いヒノキの精度は良いが、教師データの少ないスギ、コナラの精度が悪い。

教師データの拡充により
 精度向上の可能性はある。

まとめ

結論

- 今回構築した森林データの解析ロジックについて一部で課題は残ったが、**有効性を確認**できた。
- 今後は精度改善を進め、**森林のモニタリング調査への実用化**を検討する。

MATLAB®の利点

- 豊富なToolBoxにより多様なデータ形式にシームレスに接続し、多様なアルゴリズムを簡単に使用することができる。
- ヘルプやWEBサイトに活用事例やサンプルコード、学習コンテンツが豊富に掲載されており、すぐに試して学ぶことができる。