



令和6年度森林資源調査手法の複合利用に関する評価検証委託事業 報告書

2025/2/28

株式会社NTTデータ

社会基盤ソリューション事業本部 ソーシャルイノベーション事業部

アセットビジネス統括部 アセットビジネス担当

NTT DATA

1

業務の概要

1. 実施事項
2. 実施フロー
3. 実施エリア

2

実施結果報告

1. 衛星画像の取得
2. 樹種分類精度の検証
3. 樹高・樹冠高の
推定精度の検証
4. 立木本数・樹冠投影面積の
推定精度の検証

3

総評

1. 総括
2. 光学衛星データに基づく
森林資源調査手法の導入に
関する課題整理



業務の概要

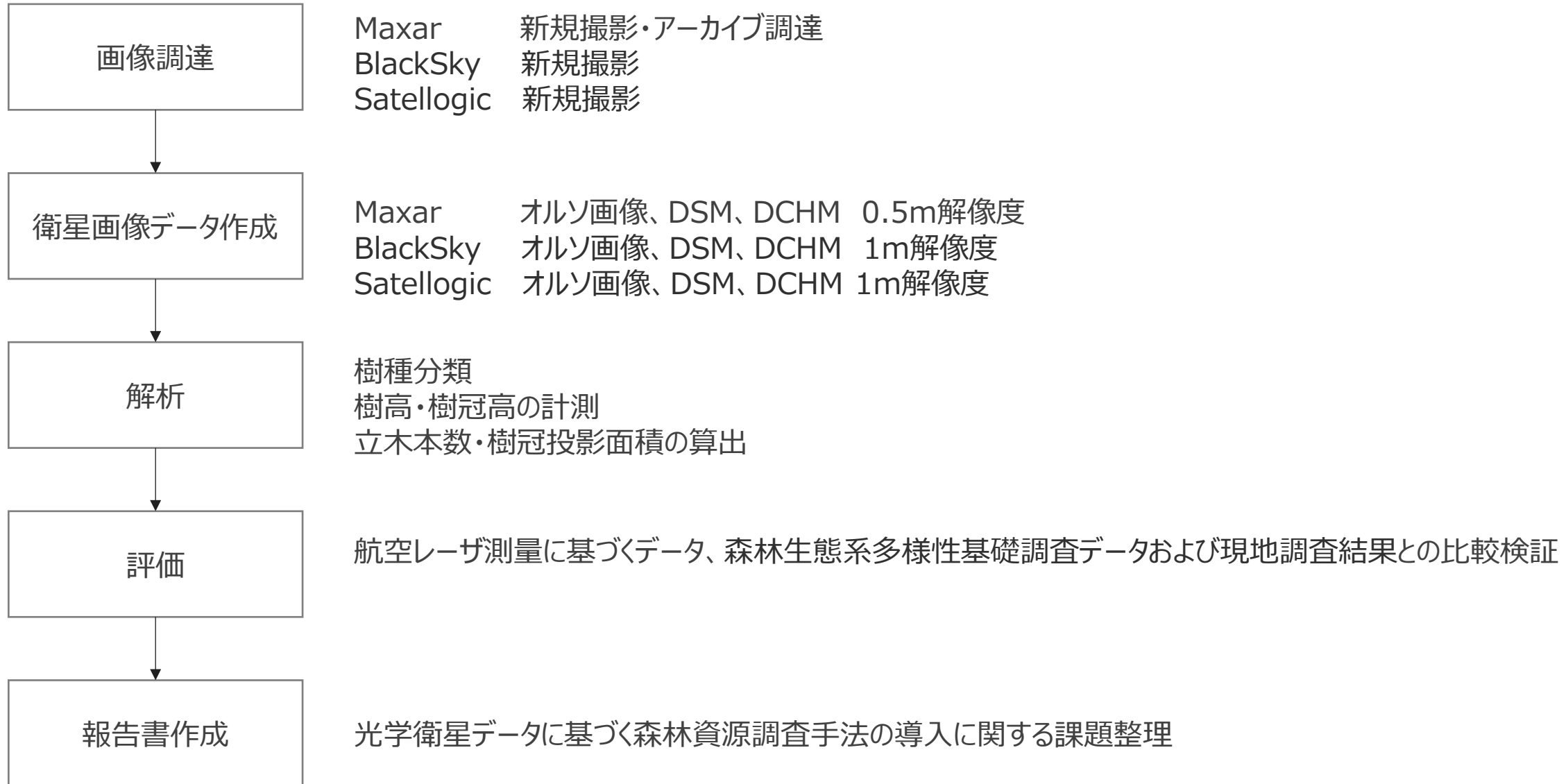
1. 実施事項



表1-1 実施事項

#	項目	実施内容
1	樹種分類精度の検証	・Maxar衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種画像分類を実施し、衛星画像そのもののポテンシャル評価を行うとともに、航空レーザ測量結果に基づく林相図（貸与データ）を教師データ作成に活用した上で樹種画像分類を実施する。 ・樹種分類に適した撮影時期を明らかにし、精度の向上も図るため、異なる時期に撮影された複数の画像を使用する。 ・航空レーザ測量結果に基づく貸与データと比較検証し、樹種分類図の精度を10mメッシュの単位で評価する。
2	樹高・樹冠高の推定精度の検証	・樹高・樹冠高の計測に適した撮影条件（解像度、撮影角度、枚数、撮影時期等）を考慮し、Maxar、BlackSky、Satellogicの3つの衛星で新規撮影を行う。 ・撮影した画像からDSMを作成した上で、航空レーザ測量に基づくDEM（貸与データ）との差分結果からDCHMを作成する。 ・航空レーザ測量に基づく解析結果および森林生態系多様性基礎調査データと比較し、精度を評価。樹種や地形の特性による精度の違いを検証する。
3	立木本数・樹冠投影面積の推定精度の検証	・AIを用いて、Maxar衛星画像から樹冠ポリゴンを自動で抽出し、立木本数および樹冠投影面積の推定を行う。 ・森林生態系多様性基礎調査データと比較し、精度を検証する。
4	光学衛星データに基づく森林資源調査手法の導入に関する課題整理	・光学衛星データが技術的に活用可能かを検討するとともに、活用するにあたっての課題を整理し、報告書としてまとめる。 ・森林の解析に知見を持つ一般財団法人リモート・センシング技術センター（RESTEC）より、評価および報告書執筆の助言を得る。有識者の見解も踏まえて、衛星データの活用ポテンシャルを示す。

2. 実施フロー



- 1) 複数樹種を確認できること
- 2) 衛星画像の複数時期のアーカイブデータを使用できること
- 3) 森林生態系多様性基礎調査データが存在すること

拡大図

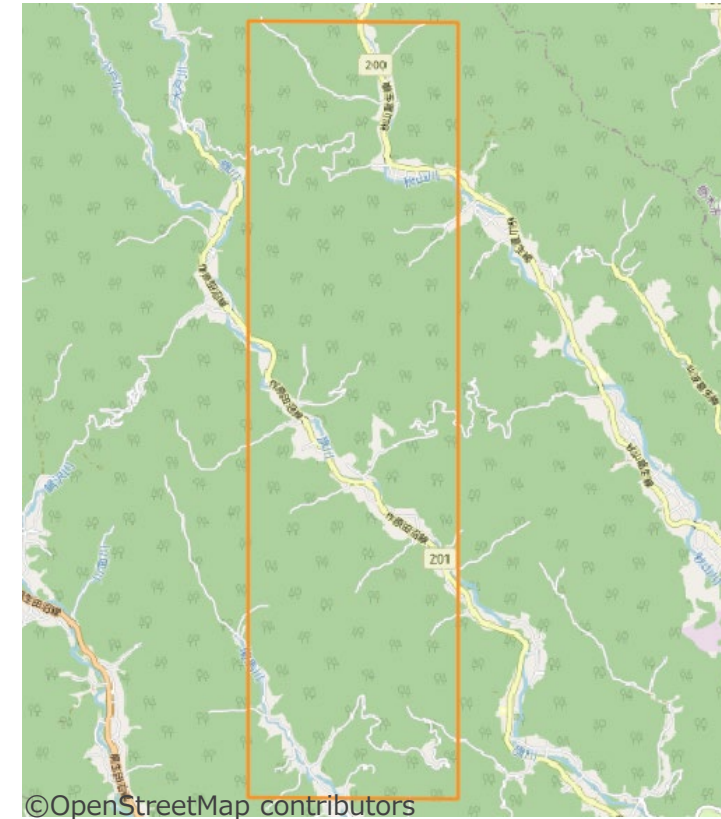


図1-1 実施エリア

5



実施結果報告

本検証では、異なる特長を持つ以下の3つの衛星を使用いたしました。今後は高解像度かつ高頻度な3次元観測が可能な国産の次期光学衛星の打ち上げが予定されているため、これを見据えて、近い特徴を持つ衛星を選定しております。

表2-1 各衛星のスペック

衛星	種別 (サイズ)	運用基数 (2025年 1月時点の情報)	地上解像 度	撮影幅／ シーンサイズ	バンド	特徴
Maxar	中型／ 大型	6基	30cm～ 40cm	10km～17.7km	4バンド／8バンド※1 (衛星により異なる)	・アーカイブが豊富にある。 ・商用衛星で世界最高解像度を有する。 ・単木単位で樹木を捉えることが可能。 ・同一軌道のステレオ撮影に対応。 ・4バンド/8バンドを有する。
Satelloptic	小型	約20基	70cm	5km～7km	4バンド	・新規撮影を安価に迅速に実施できる。 ・アーカイブは少ない。 ・異なる軌道からのステレオ撮影に対応。 ・4バンドを有する。
BlackSky	小型	約14基	約1m	4km×4km (シーンサイズ) ※2	3バンド	・新規撮影を安価に迅速に実施できる。 ・同一軌道の最大5枚のステレオ撮影に対応。 ・3バンドのみ。

※1 各衛星のセンサが観測する太陽光を反射した光（電磁波）は、人間の目に見える可視光に加え、近赤外線や紫外線などの異なる波長域を含みます。その波長域ごとの電磁波データをバンドと呼びます。
各画像に含まれるバンドの種類は、以下の通りです。 3バンド画像: Blue、Green、Red 4バンド: Blue、Green、Red、NIR（近赤外）
8バンド: Coastal Blue、Blue、Green、Red、Yellow、NIR1（近赤外1）、NIR2（近赤外2）、Red Edge

※2 任意のAOIの形状・面積での撮影ではなく、シーン単位での撮影となるため、AOIを包含するシーン数で発注を行う必要がある。

1. 衛星画像の取得 | 実施結果



それぞれの衛星で新規撮影を実施いたしました。Maxarについては、解析用として複数時期のアーカイブ画像※1も取得しております。

表2-2 衛星画像の取得結果

衛星	取得方法	撮影日時	雲量	オフナディア角※2	撮影モード	用途
Maxar	新規撮影	2024/11/9 10:22	5%	24.3°	ステレオ※3（2方向）	樹高の計測
	新規撮影	2024/11/9 10:23	0%	28.6°	ステレオ（2方向）	樹高の計測
	アーカイブ	2019/10/16	1%	25°	単画像	樹冠ポリゴン抽出
	アーカイブ	2024/03/11	0%	28°	単画像	樹種分類
	アーカイブ	2019/05/24	0%	15°	単画像	樹種分類
Satellogic	新規撮影	2024/9/2 13:37	4%	9.59°	単画像（Low off nadir）	樹種分類 樹高の計測
	新規撮影	2024/11/4 14:14	0%	11.36°	単画像（Low off nadir）	
	新規撮影	2024/9/2 13:43	6%	21.17°	単画像（High off nadir）	
	新規撮影	2024/10/2 13:29	0%	23.11	単画像（High off nadir）	
BlackSky	新規撮影	2024/11/24 13:34	0%	27.2°／19.0°／9.8°／ 1.3°／10.0°	ステレオ（5方向）	樹種分類 樹高の計測
	新規撮影	2024/11/25 12:56	0%	23.3°／15.9°／10.7° ／12.5°／19.2°	ステレオ（5方向）	

※1 過去に撮影され、蓄積された衛星画像。

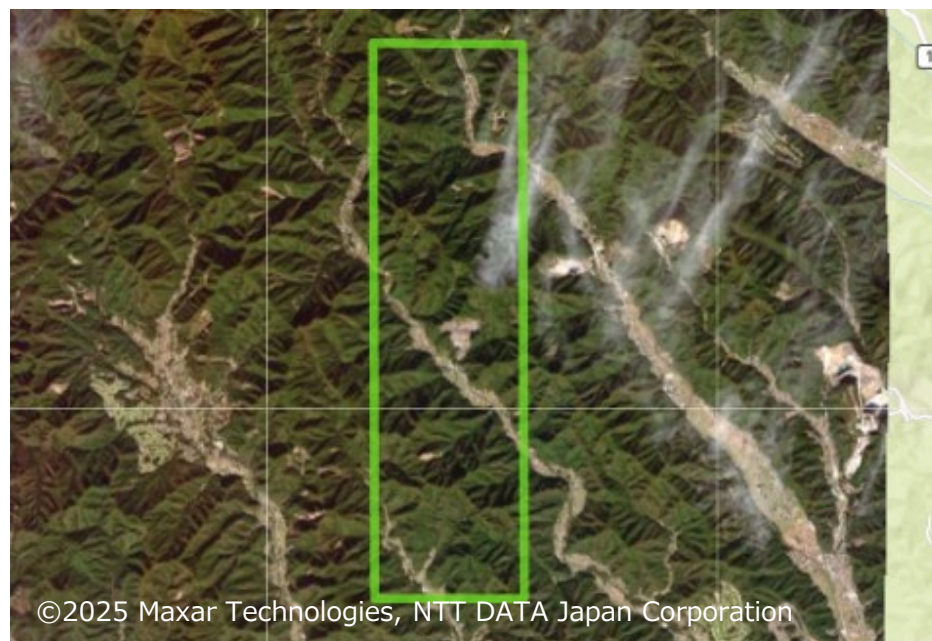
※2 衛星から地上を撮影する際の角度（衛星直下の方向と、衛星から観測・撮影する方向のなす角）をオフナディア角という。

※3 同一地点を異なる角度から撮影した対となる画像。ステレオ視（立体視）の原理を用い地形や地物の3次元測定（高さの測定）を行うことで3次元データを作成する処理に使用される。

1. 衛星画像の取得 | 実施結果

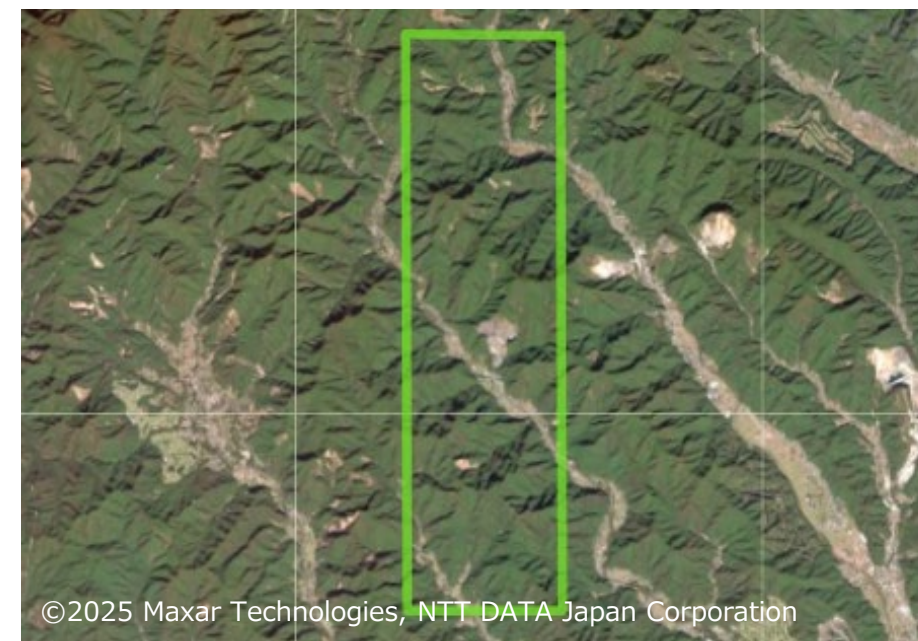
Maxar衛星による新規撮影結果は、以下のとおりです。複数回撮影を行い、雲量※¹が少ない2024年11月9日の画像を選定いたしました。

ステレオ撮影 1枚目



☒	WV03	2024/11/09	5.0%	24.3°	⊖
Image ID: 104001009E6F		Max GSD: 0.36m			
AE00		Sun Elevation: 34.7°			
Image Clouds: 0.9%		Max Target Azimuth: 1.2°			
Image Off Nadir: 24.4°					
Bands: 8-BANDS		Browse: view			

ステレオ撮影 2枚目



☒	WV03	2024/11/09	0.0%	28.6°	⊖
Image ID: 104001009D2		Max GSD: 0.39m			
37A00		Sun Elevation: 34.8°			
Image Clouds: 0.0%		Max Target Azimuth: 4.9°			
Image Off Nadir: 28.7°					
Bands: 8-BANDS		Browse: view			

図2-1 Maxar衛星による新規撮影結果

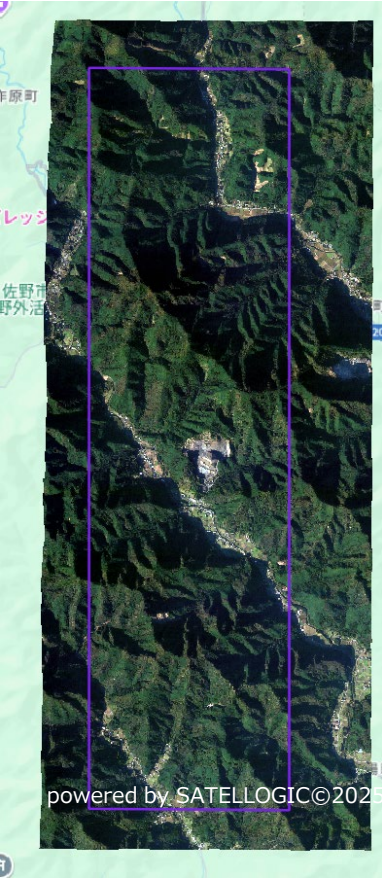
※1 衛星による観測の特質上、撮影時に雲が写る場合がある。今回は雲量10%以下を選定基準とし、画像を取得した。

1. 衛星画像の取得 | 実施結果



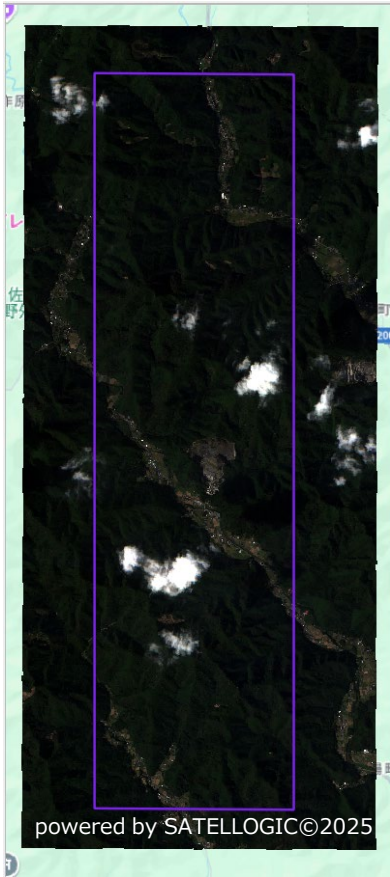
Satellogic衛星による新規撮影結果は、以下のとおりです。角度の差をつけて、単画像で複数回の撮影を行いました。
Low off nadirは9月2日と11月4日、High off nadirは9月2日と10月2日の画像で、AOIをカバーしています。

Low off nadir



撮影日	雲量	オフナディア角
2024/9/2 13:37	4.43%	9.59°
2024/11/4 14:14	0%	11.36°

High off nadir



撮影日	雲量	オフナディア角
2024/9/2 13:43	6.22%	21.17°
2024/10/2 13:29	0%	23.11

図2-2 Satellogic衛星による新規撮影結果

BlackSky衛星による新規撮影結果は、以下のとおりです。
1回の撮影で5方向からの画像を取得できますが、2日続けて観測機会に恵まれたため、2回撮影を行いました。
なお、1シーンのサイズで撮影を行ったため、AOIのうち一部分の取得となります。



撮影日	雲量	オフナディア角
2024/11/24 13:34	0%	27.2°/19.0°/9.8°/ 1.3°/10.0°
2024/11/25 12:56	0%	23.3°/15.9°/10.7°/ /12.5°/19.2°



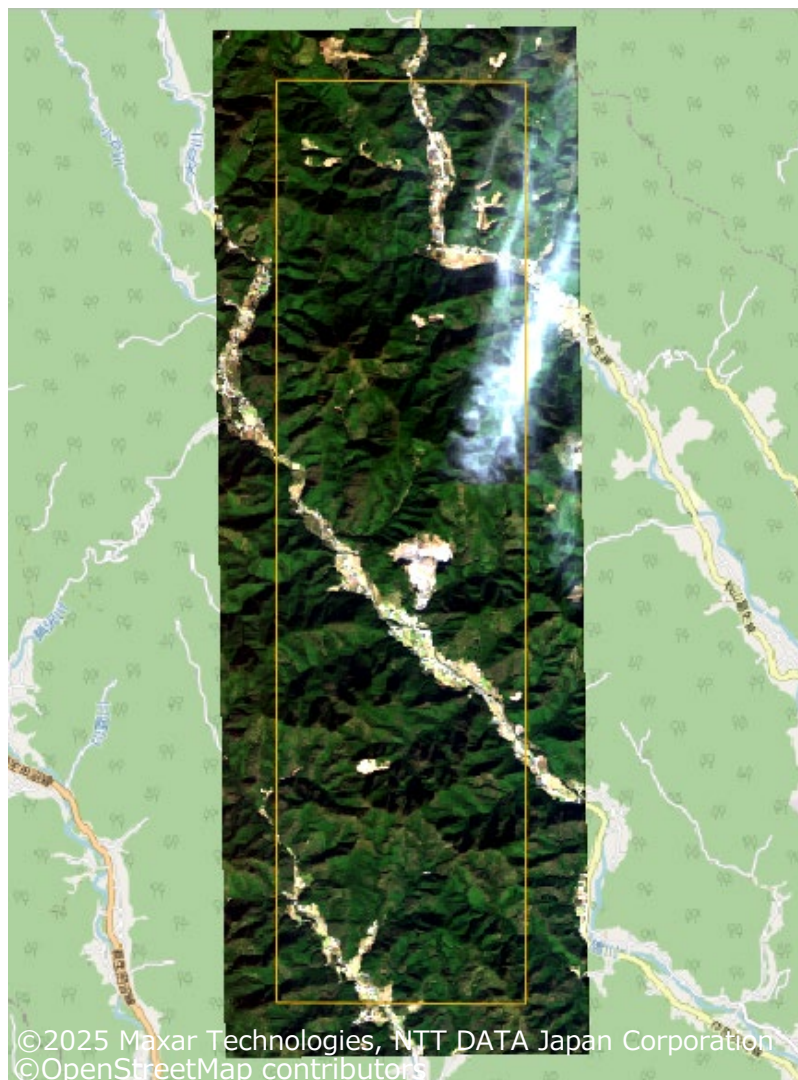
撮影日	雲量	オフナディア角
2024/11/25 12:56	0%	23.3°/15.9°/10.7°/ /12.5°/19.2°
2024/11/25 12:56	0%	23.3°/15.9°/10.7°/ /12.5°/19.2°

図2-3 BlackSky衛星による新規撮影結果

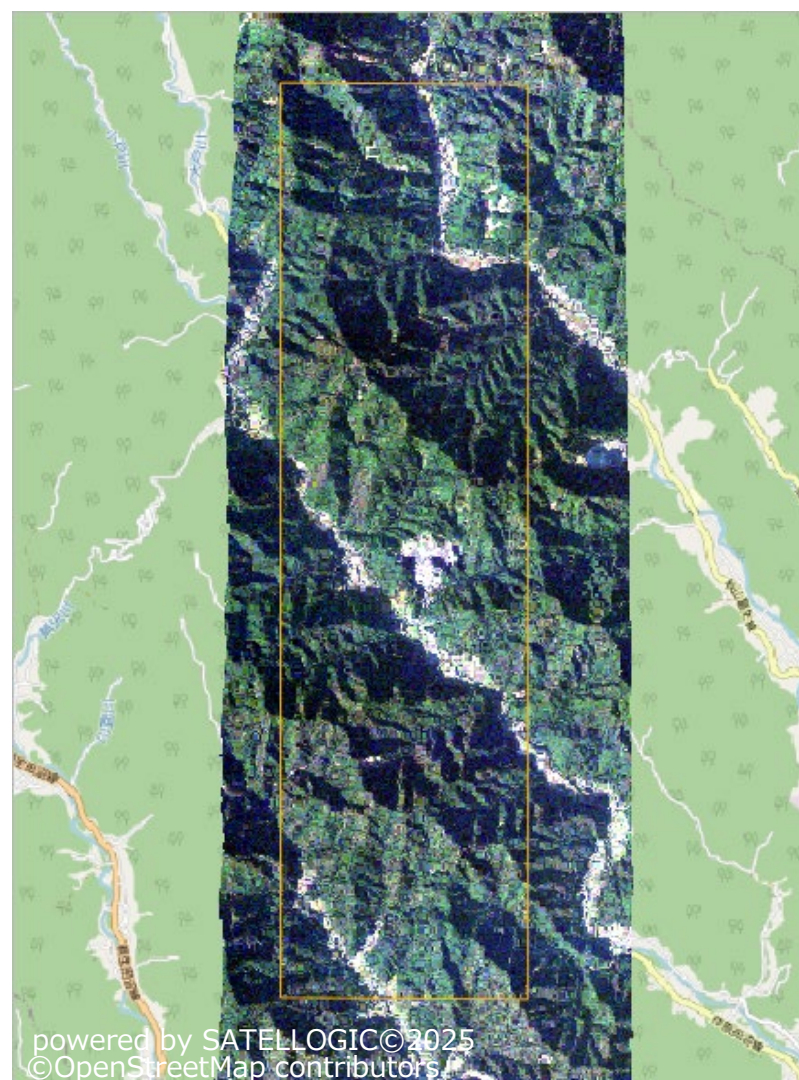
1. 衛星画像の取得 | 実施結果

作成したオルソ画像は、以下のとおりです。

Maxar



Satellogic



BlackSky



図2-4 各衛星画像から作成したオルソ画像

樹冠ポリゴンの抽出を行う上で必要となるプロダクトおよび条件を整理いたしました。

表2-3 樹冠ポリゴンの抽出に必要なプロダクトおよび条件

プロダクト	解像度	バンド数	撮影時期	撮影角度
オルソ画像	30cm～40cm *単木単位で識別する必要があることから、樹冠のサイズを考慮して解像度を選択する必要があり、高解像度画像が必須。	4バンド *植生に対し強い反応を示す近赤外が必須。	5月～9月	10°以内の直下視に近い画像

樹種分類を行う上で必要となるプロダクトおよび条件を整理いたしました。

表2-4 樹種分類に必要なプロダクトおよび条件

プロダクト	解像度	バンド数	撮影時期	撮影角度
オルソ画像	30cm～40cm *樹種分類を行う上では、樹冠の形状や色を識別する必要があるため、高解像度画像が必須。	4バンド ※植生に対し強い反応を示す近赤外が必須	春夏秋冬の画像があることが望ましい。最低でも夏の画像は必須。	20°以内

樹高・樹冠高の計測を行う上で必要となるプロダクトおよび条件を整理いたしました。

表2-5 樹高・樹冠高の計測に必要なプロダクトおよび条件

プロダクト	解像度	バンド数	撮影時期	撮影角度
DSM	1m以内	問わない	5月～9月	撮影角度が異なる画像が豊富にあるほど、死角がなく精度の高いDSMを作成することができる。ステレオ（2枚）での撮影であっても、適切な撮影角度および視差角を指定することで、DSMを作成できるが、部分的に欠損が生じる場合がある。

1. 衛星画像の取得 | 評価

今回は11月に撮影が完了しましたが、本来は影が少ない5月～9月に撮影することが理想的です。
また、時間帯によっても影の影響は異なるため、影が伸びやすい朝や夕方の時間帯は避けることを推奨いたします。

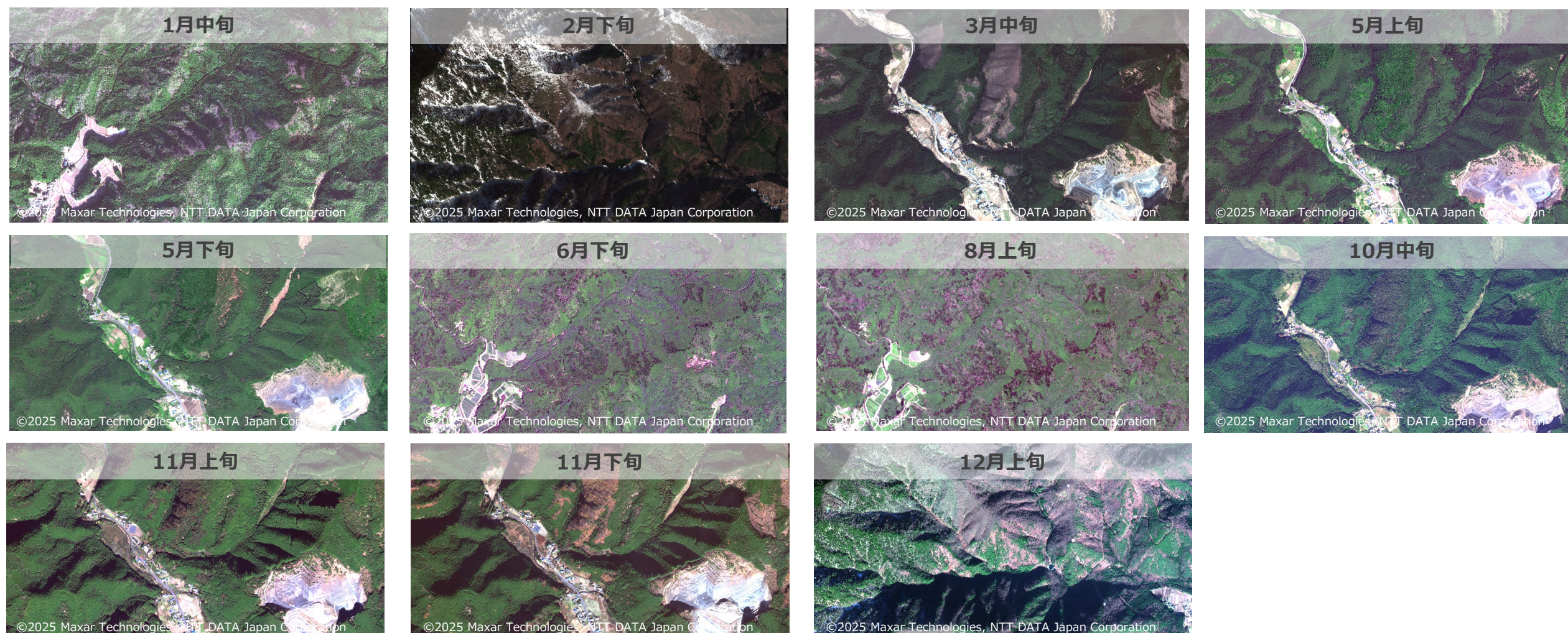


図2-5 各衛星画像から作成したオルソ画像

前述の選定条件に従って、以下の衛星画像データを選定して、樹種分類を行いました。

表2-6 樹種分類に使用したデータ

衛星	取得方法	データ種別	解像度	バンド数	撮影日	撮影角度
Maxar	アーカイブ	オルソ	40cm 40cm	4バンド 8バンド	2024/03/11 2019/05/24	28° 15°

AOIの下部40%程度を学習エリアとして教師あり分類に使用し、AOIの上部60%程度を解析エリアとして精度検証を行いました。
最適な分類手法を検証するため、一般に広く活用されている3つの手法を用いて実施しております。
精度検証を行う際は、解析エリア内の10mメッシュ（95,370個）内の代表樹種を比較いたしました。

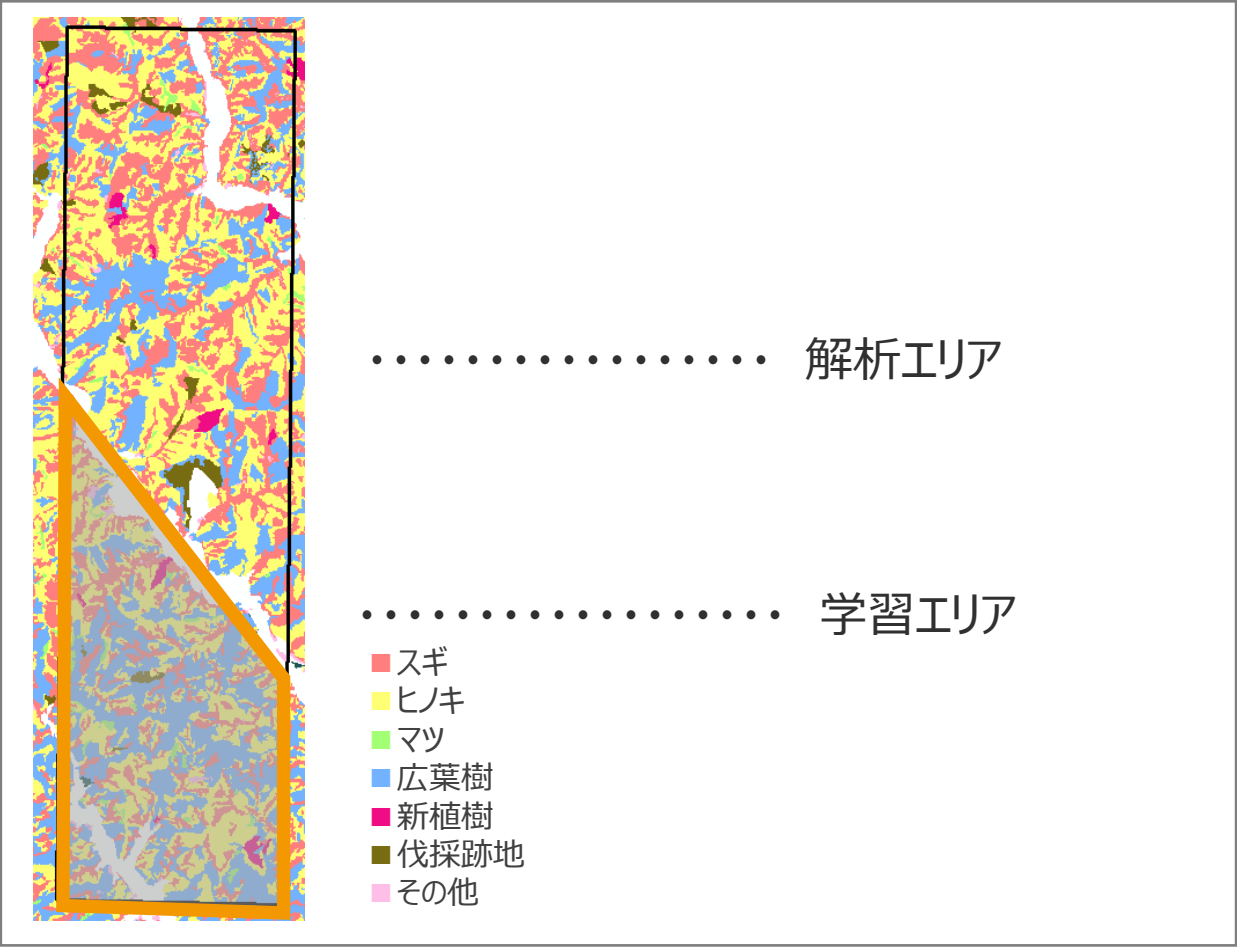


表2-7 分類手法

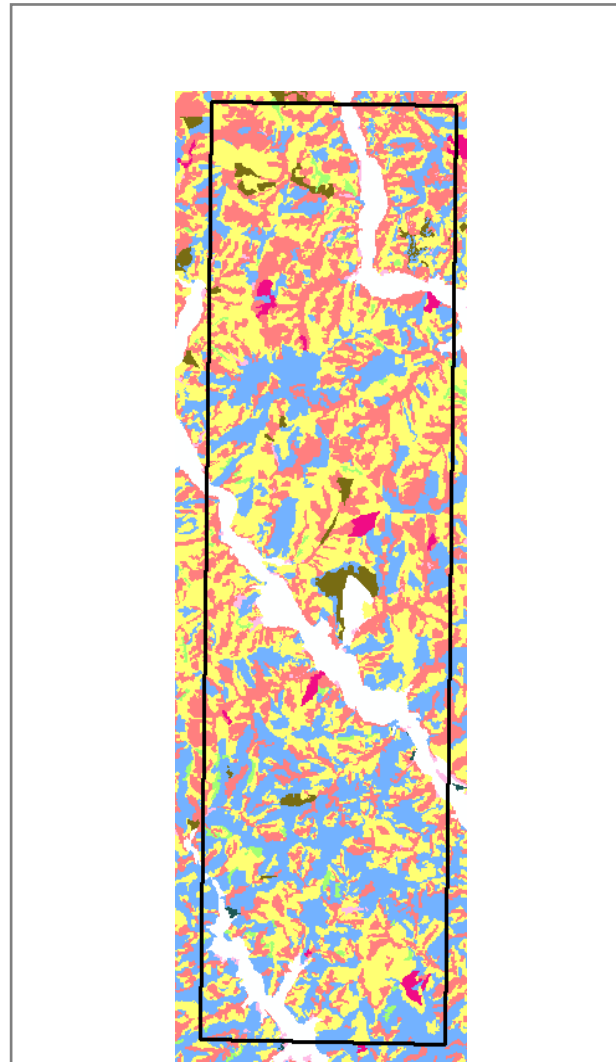
No.	名称
1	マハラノビス距離（Mahalanobis Distance）
2	最尤法（Maximum Likelihood ）
3	ニューラルネットワーク（Neural Net）

図2-6 学習エリアと解析エリア

2. 樹種分類精度の検証 | 各手法による分類結果

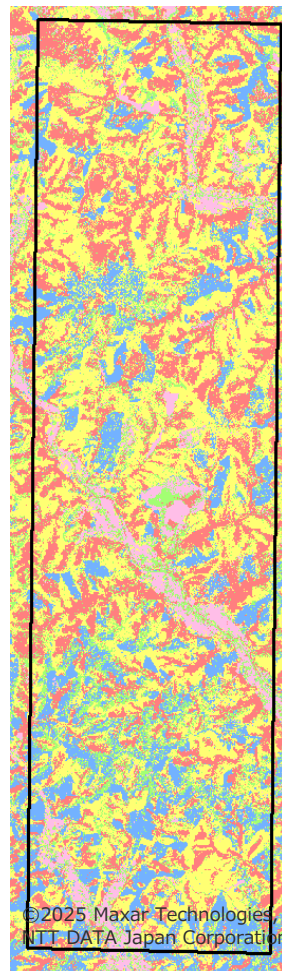
航空レーザ測量結果に基づく林相図（正解データ）と、各手法による衛星画像の分類結果は、以下のとおりです。

航空レーザ測量の林相図（正解データ）

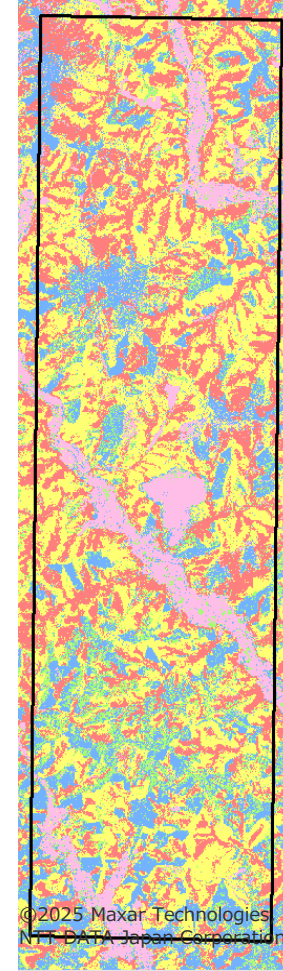


衛星画像の分類結果

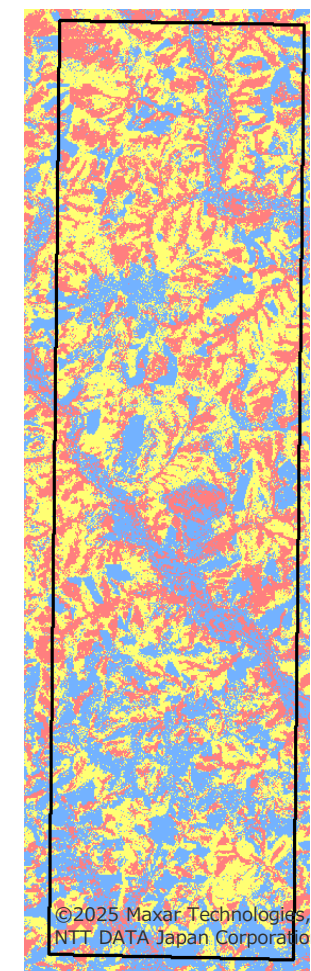
マハラビス距離



最尤法



ニューラルネットワーク



- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

2. 樹種分類精度の検証 | 各手法による分類結果



航空レーザ測量結果に基づく林相図（正解データ）と、各手法による衛星画像の分類結果は、以下のとおりです。

表2-8 マハラノビス距離の分類結果

		正解データ					
		スギ	ヒノキ	アカマツ	広葉樹	竹	All
解析結果	スギ	28,567	2,760	3	433	0	31,763
	ヒノキ	2,645	35,860	55	3,871	0	42,431
	アカマツ	866	796	152	2,146	0	4,320
	広葉樹	134	217	39	15,753	0	16,143
	竹	385	138	5	185	0	713
	All	32,597	39,771	614	22,388	0	95,370

正解率：84.6%

表2-9 最尤法の分類結果

		正解データ					
		スギ	ヒノキ	アカマツ	広葉樹	竹	All
解析結果	スギ	29,492	3,044	22	617	0	33,175
	ヒノキ	2,118	34,817	109	1,761	0	38,805
	アカマツ	168	262	457	3,185	0	4,072
	広葉樹	346	1,381	16	16,361	0	18,104
	竹	473	267	10	464	0	1,214
	All	32,597	39,771	614	22,388	0	95,370

正解率：85.1%

表2-10 ニューラルネットワークの分類結果

		正解データ					
		スギ	ヒノキ	アカマツ	広葉樹	竹	All
解析結果	スギ	29167	2,758	44	501	0	32,470
	ヒノキ	2,747	35,959	232	1,602	0	40,540
	アカマツ	0	0	0	0	0	0
	広葉樹	683	1,054	338	20,285	0	22,360
	竹	0	0	0	0	0	0
	All	32,597	39,771	614	22,388	0	95,370

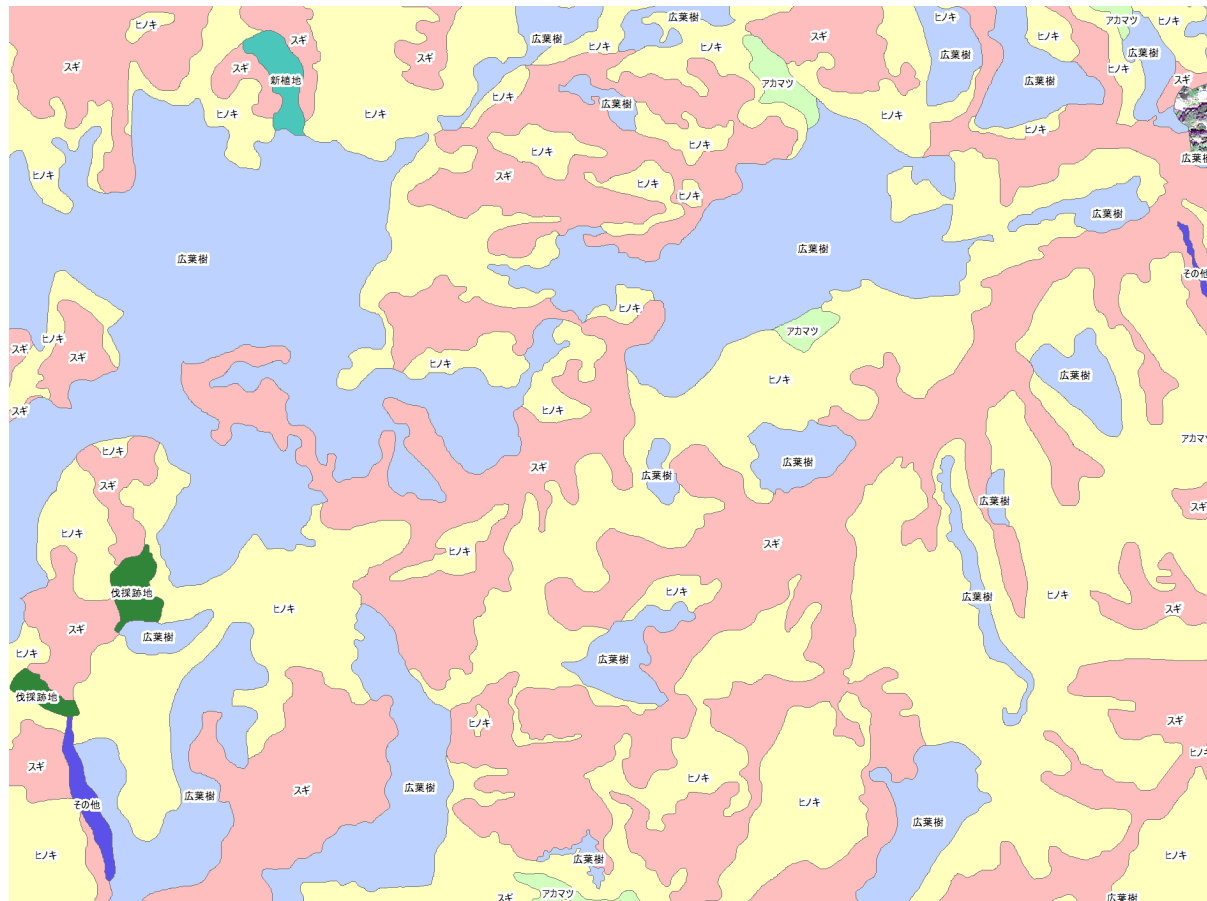
正解率：89.9%

- 正しく樹種分類できたメッシュの数
- 異なる樹種に分類されたメッシュの数

2. 樹種分類精度の検証 | 分類手法の評価

3つの手法のうち、ニューラルネットワークによる分類結果が最も航空レーザ測量結果に基づく林相図と近い結果となりました。教師学習による分類を行う際は、この手法を用いることが適切と考えられます。

航空レーザ測量（正解データ）



衛星画像の分類結果（ニューラルネットワーク）

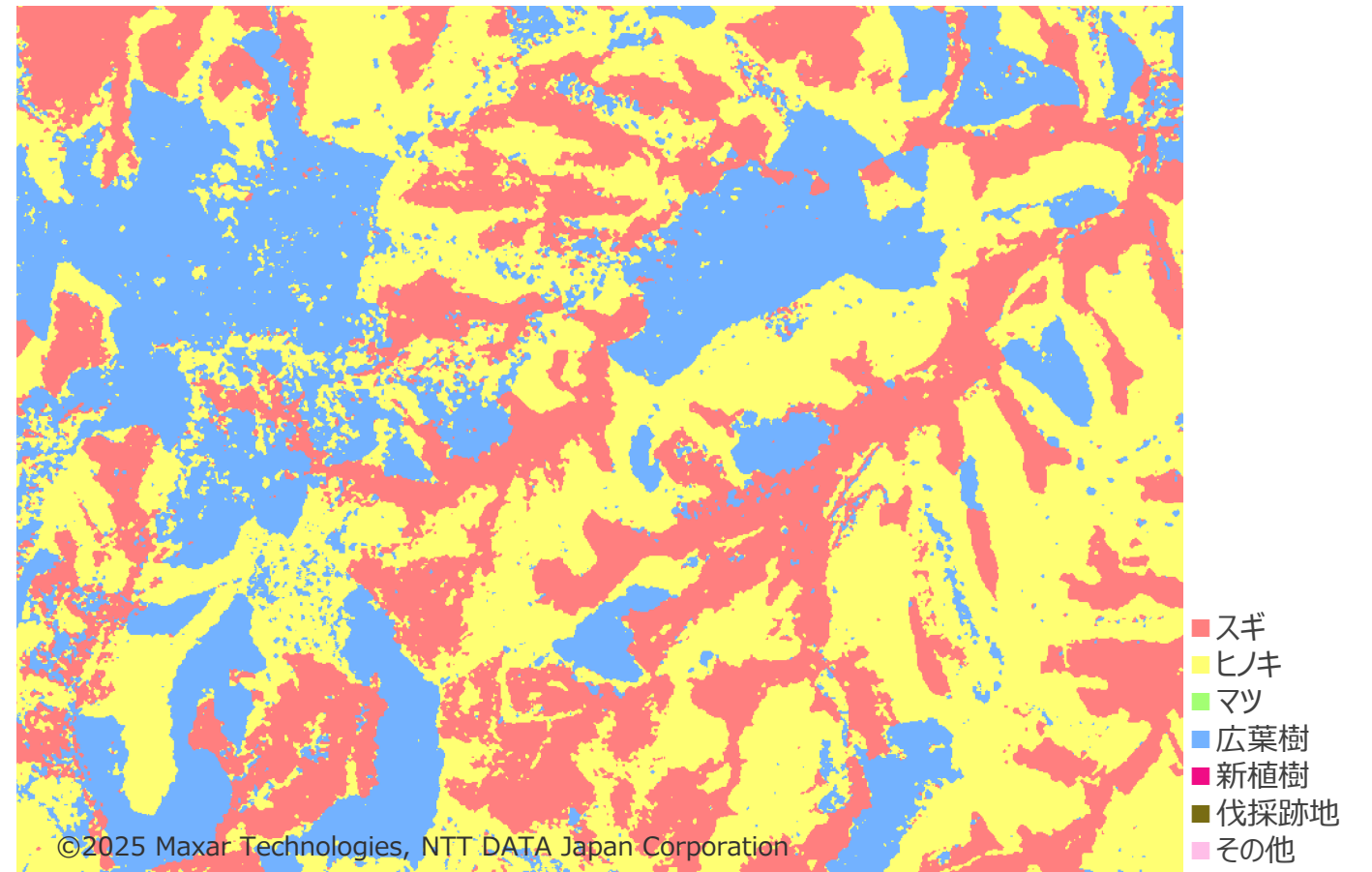


図2-8 航空レーザ測量とニューラルネットワークによる衛星画像の分類結果の比較

2. 樹種分類精度の検証 | 実施方法（使用する教師データの比較）



①航空レーザ測量結果に基づく林相図（貸与データ）を教師データとした樹種分類を実施するとともに、光学衛星画像データのポテンシャルを評価するため、②Maxar衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種分類も実施いたしました。

表2-11

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を教師データとした樹種分類

Type	分類する樹種
1	スギ
2	ヒノキ
3	アカマツ
4	広葉樹
5	竹

表2-12

②Maxar衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種分類

Type	分類する樹種※1
1	スギ
2	ヒノキ
3	広葉樹
4	竹

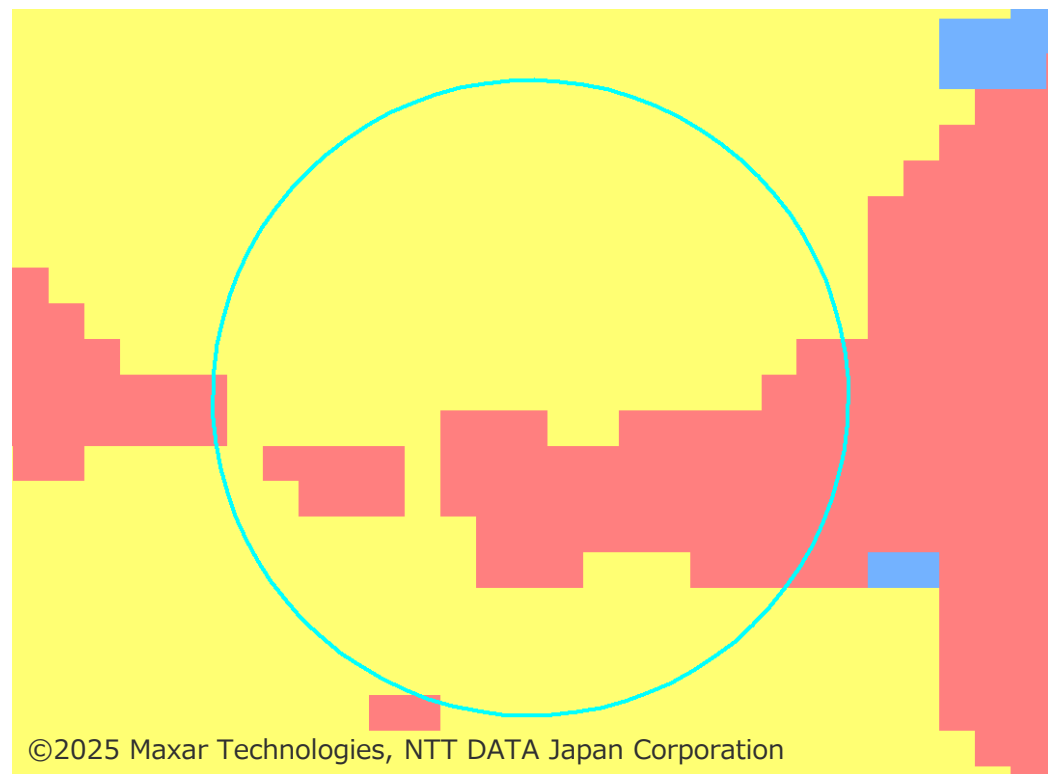
※1 航空レーザ測量に基づく林相図には、「新植地」、「伐採跡地」、「その他」が含まれているが、教師データ②においては対象外とした。

2. 樹種分類精度の検証 | 教師データごとの樹種分類結果（検証エリア1）

教師データごとの樹種分類結果は、以下のとおりです。

いずれもスギとヒノキの境界を捉えています。①航空レーザ測量結果に基づく林相図を教師データとして樹種分類を行った結果の方が、より正解データ（航空レーザ測量結果）に近い結果が得られました。

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を
教師データとした樹種分類結果



②Maxar衛星画像の目視判読結果を
教師データとした樹種分類結果

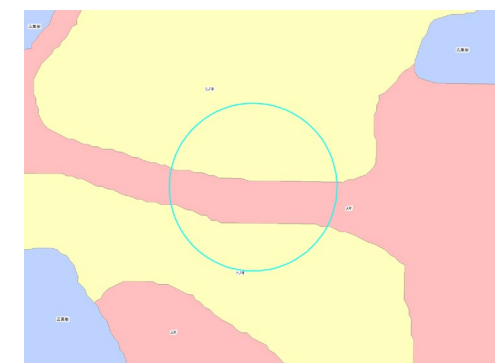
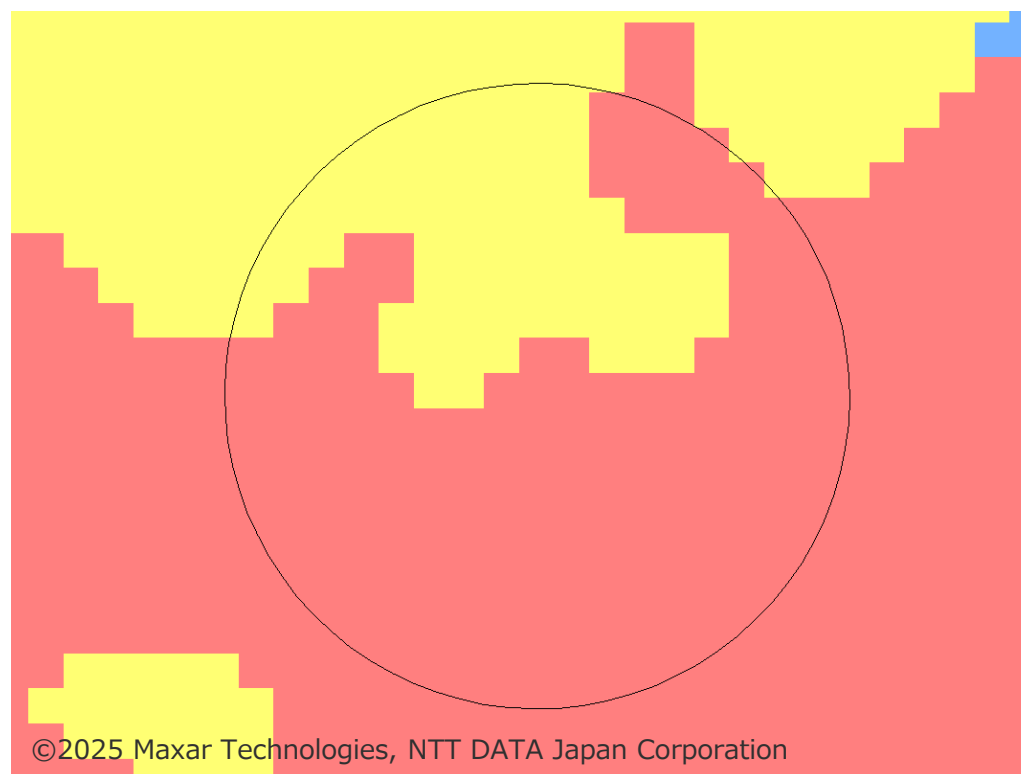


図2-13
航空レーザ測量結果に基づく林相図
（正解データ）

- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

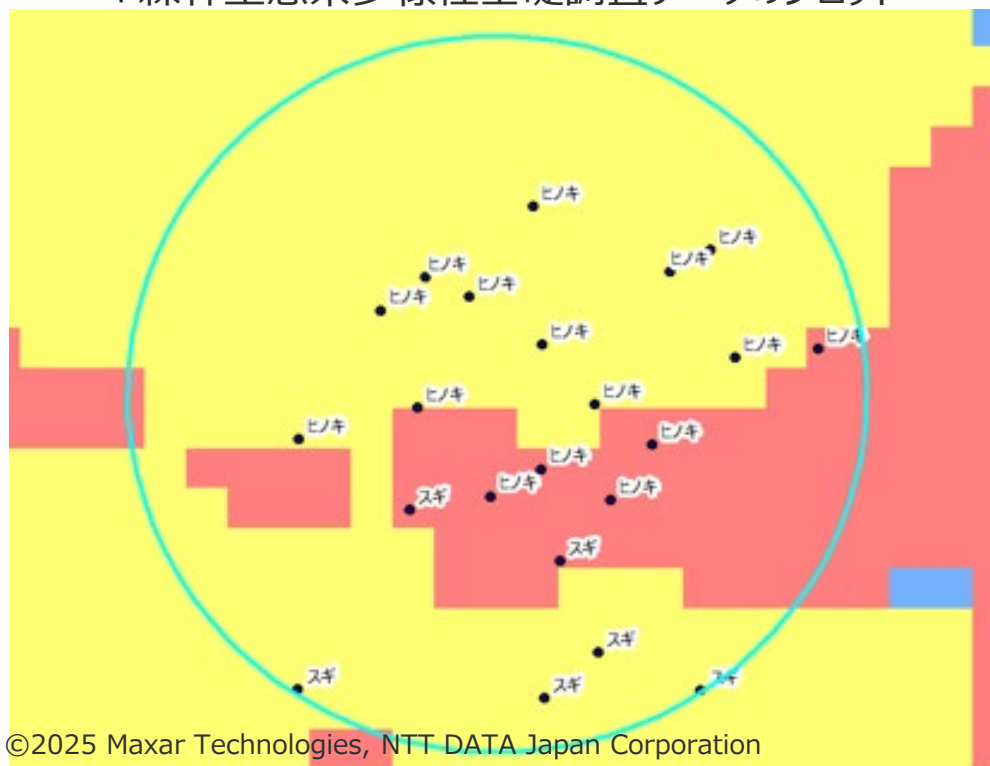
図2-9 異なる教師データによる樹種分類結果（検証エリア1）

2. 樹種分類精度の検証 | 教師データごとの樹種分類結果（検証エリア1）

教師データごとの樹種分類結果と、森林生態系多様性基礎調査データのプロットの比較を以下に示します。②では、特にスギとヒノキの境目部分でスギを優先的に取得する傾向が見られます。目視判読による図化の段階で、衛星画像の特性である木の倒れこみ※1や解像度の影響により、樹種の境目の判断にばらつきがあったことで、結果に影響が及んだことが考えられます。

※1 一度の撮影で広範囲にわたるエリアを撮影する衛星画像の特性上、各画像上の中心地点から離れるほど樹木などの立体物は、撮影角度の影響により斜めに倒れこんだ状態に映る。

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を
教師データとした樹種分類結果
+森林生態系多様性基礎調査データのプロット



②Maxar衛星画像の目視判読結果を
教師データとした樹種分類結果
+森林生態系多様性基礎調査データのプロット

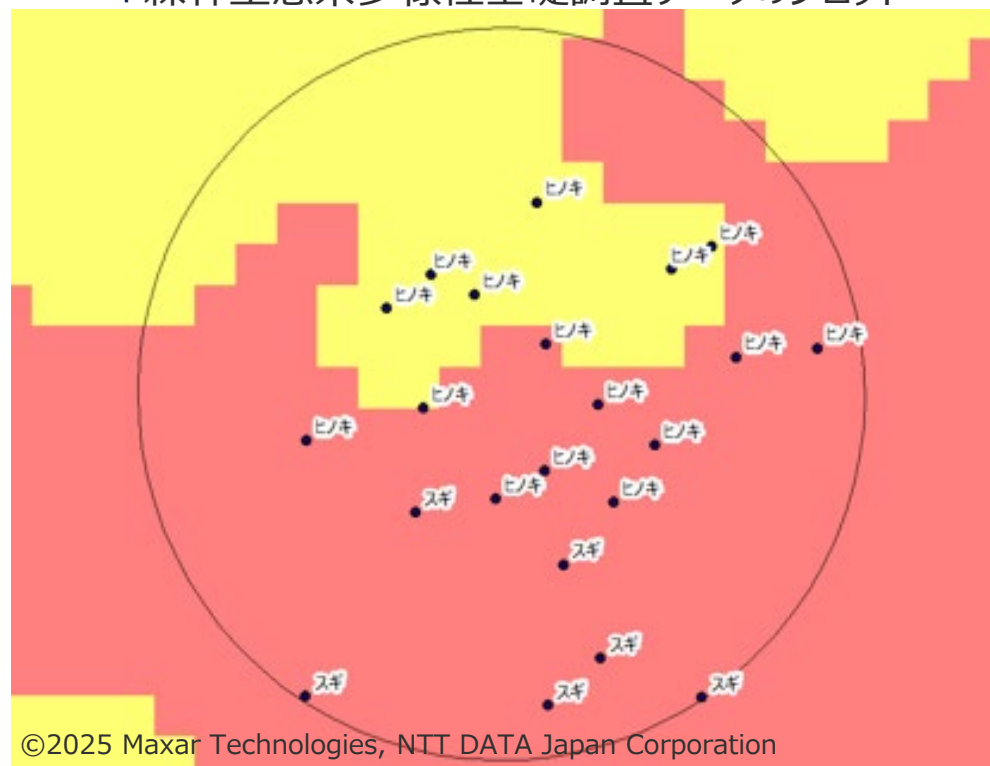


図2-15
分類に使用した衛星画像

- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

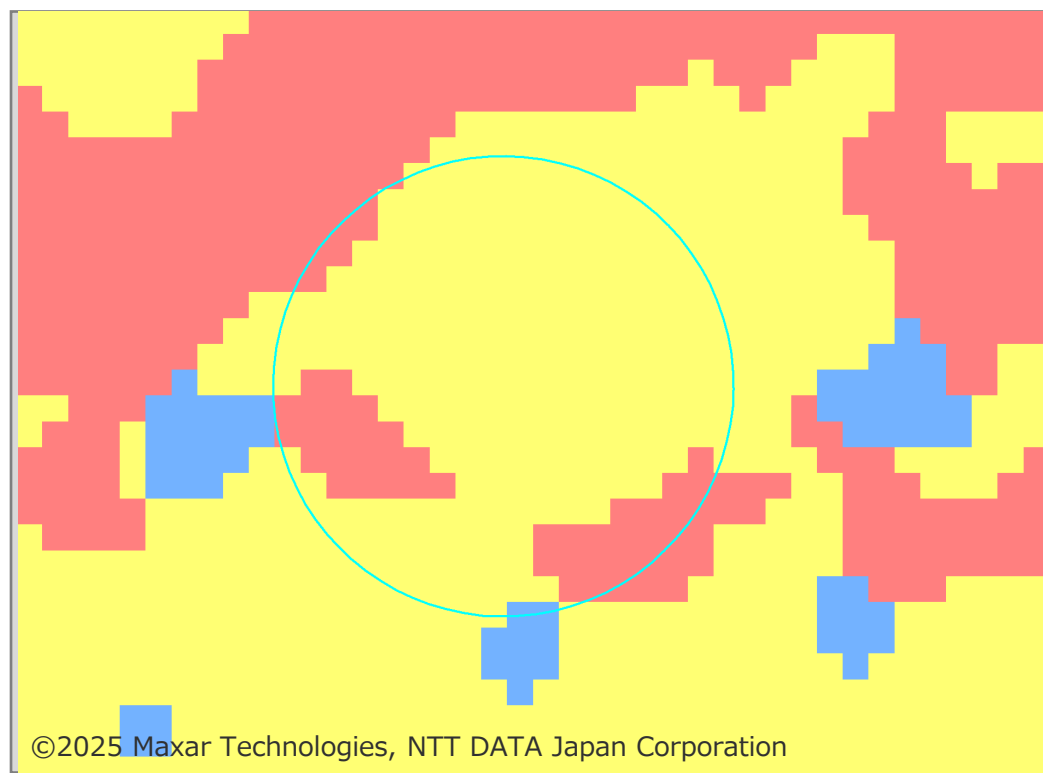
図2-10 異なる教師データによる樹種分類結果と森林生態系多様性基礎調査データのプロット（検証エリア1）

2. 樹種分類精度の検証 | 教師データごとの樹種分類結果（検証エリア2）

教師データごとの樹種分類結果は、以下のとおりです。

今回の樹種分類②では、スギとヒノキの境目部分でスギを優先的に取得する傾向が表れました。衛星画像の場合、木の倒れこみによってスギ・ヒノキの混ざる領域ではその境目が不明瞭になりやすく、精度に影響を及ぼしたと推察されます

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を
教師データとした樹種分類結果



②Maxar衛星画像の目視判読結果を
教師データとした樹種分類結果

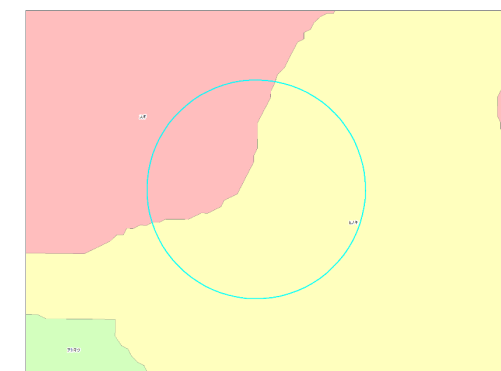
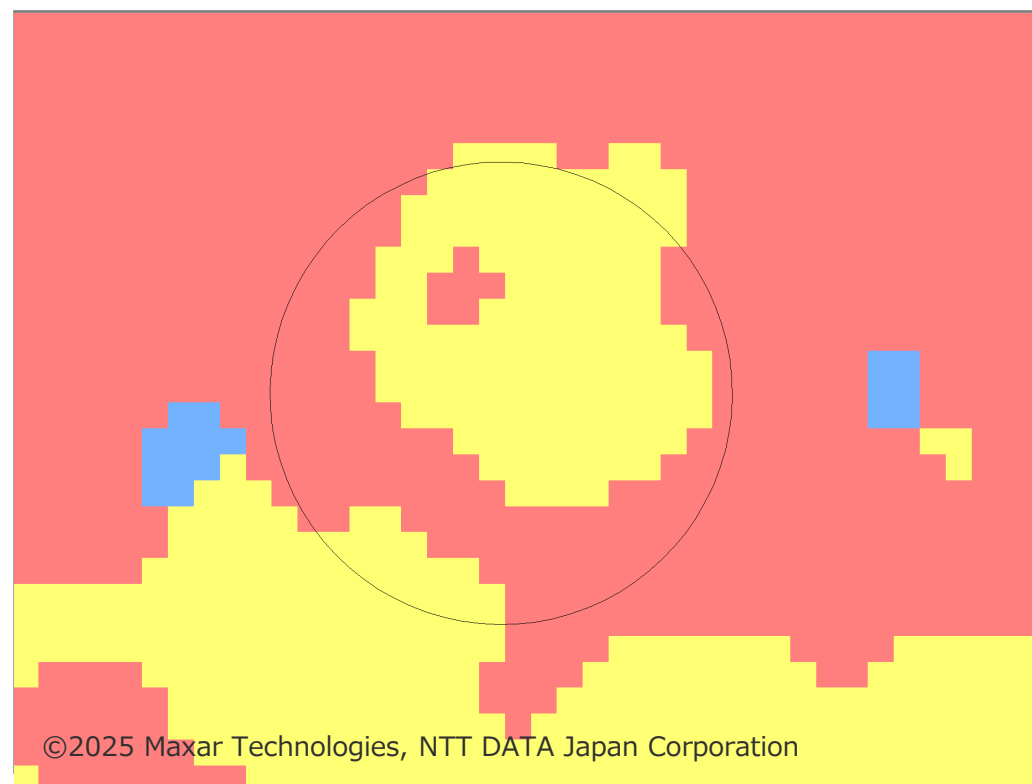


図2-17
航空レーザ測量結果に基づく林相図
（正解データ）

- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

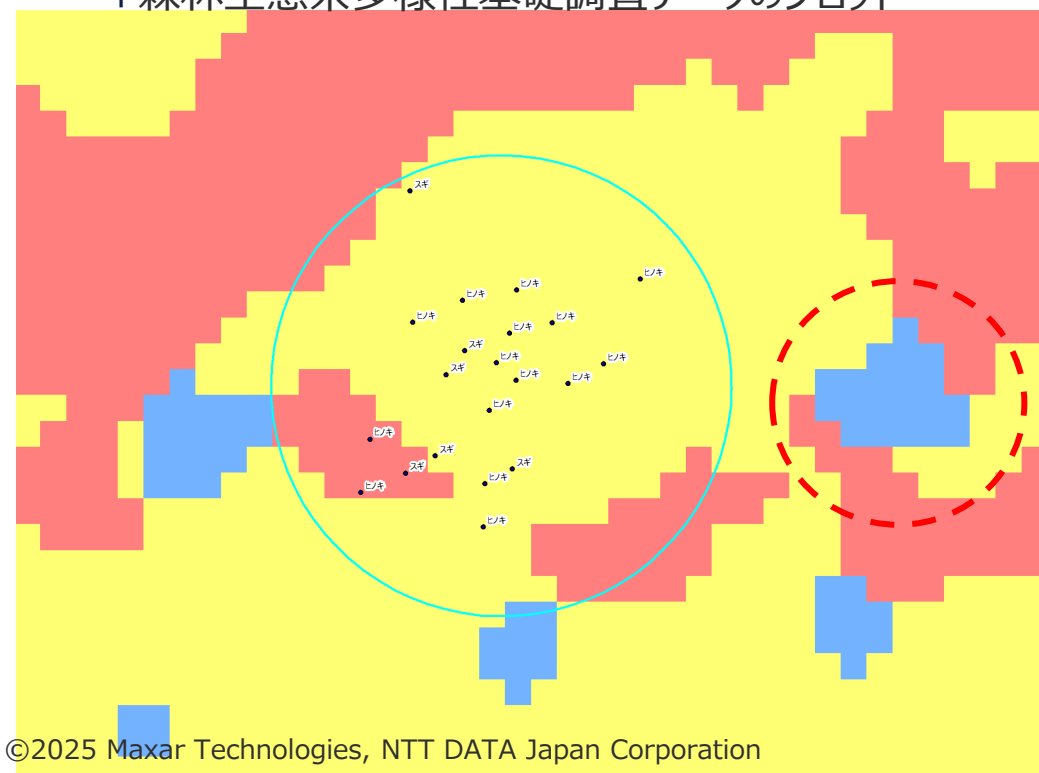
図2-11 異なる教師データによる樹種分類結果（検証エリア2）

2. 樹種分類精度の検証 | 教師データごとの樹種分類結果（検証エリア2）

教師データごとの樹種分類結果と、森林生態系多様性基礎調査データのプロットの比較を以下に示します。

①②ともに基礎調査の結果と概ね同じ結果となりました。①では、プロット外に分布している小規模な広葉樹（赤枠部分）も検出することができます。

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を
教師データとした樹種分類結果
+森林生態系多様性基礎調査データのプロット



②Maxar衛星画像の目視判読結果を
教師データとした樹種分類結果
+森林生態系多様性基礎調査データのプロット

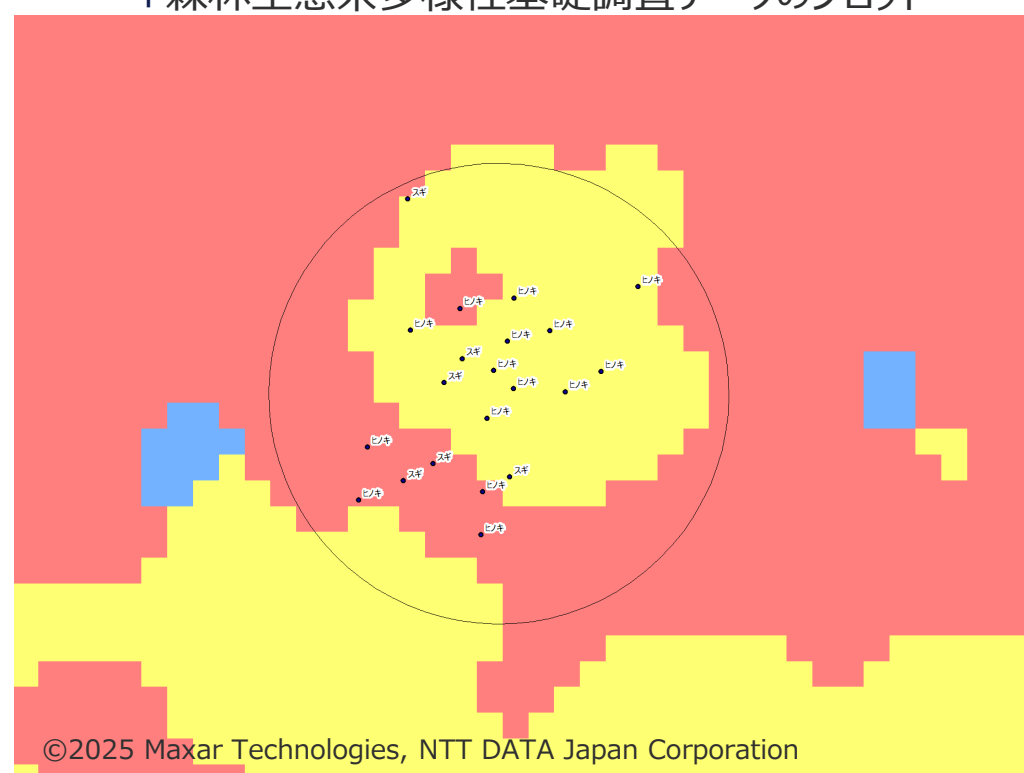


図2-19
分類に使用した衛星画像

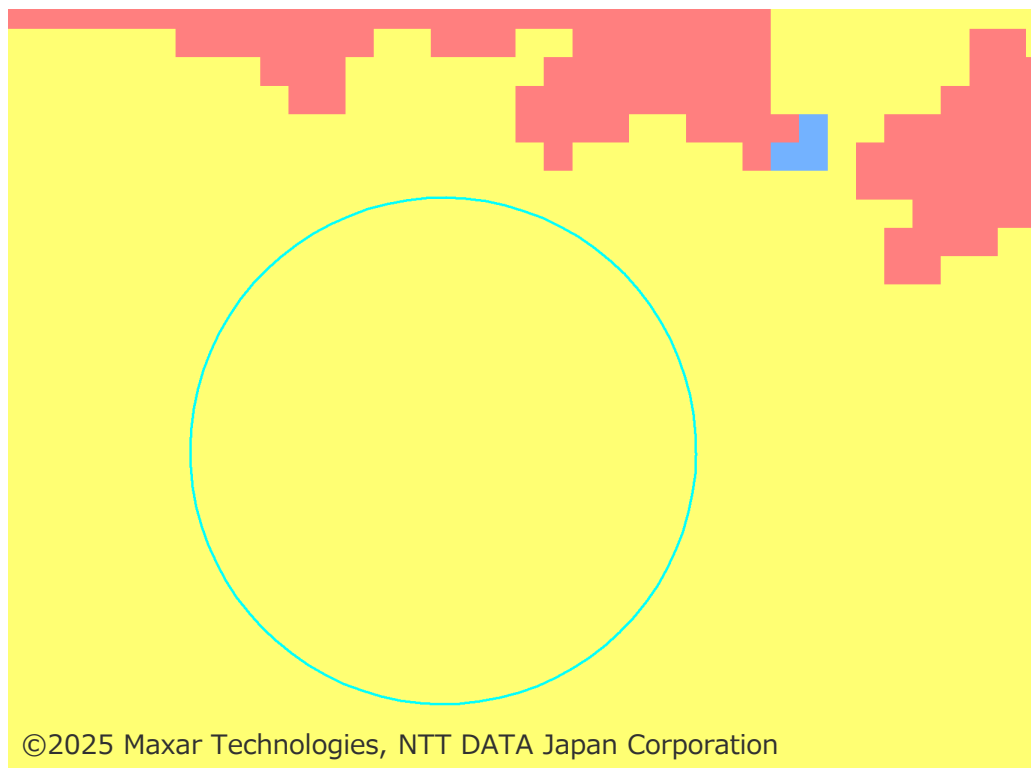
- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

図2-12 異なる教師データによる樹種分類結果と森林生態系多様性基礎調査データのプロット（検証エリア2）

2. 樹種分類精度の検証 | 教師データごとの樹種分類結果（検証エリア3）

教師データごとの樹種分類結果は、以下のとおりです。①②で大きく異なる結果となりました。

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を
教師データとした樹種分類結果



②Maxar衛星画像の目視判読結果を
教師データとした樹種分類結果

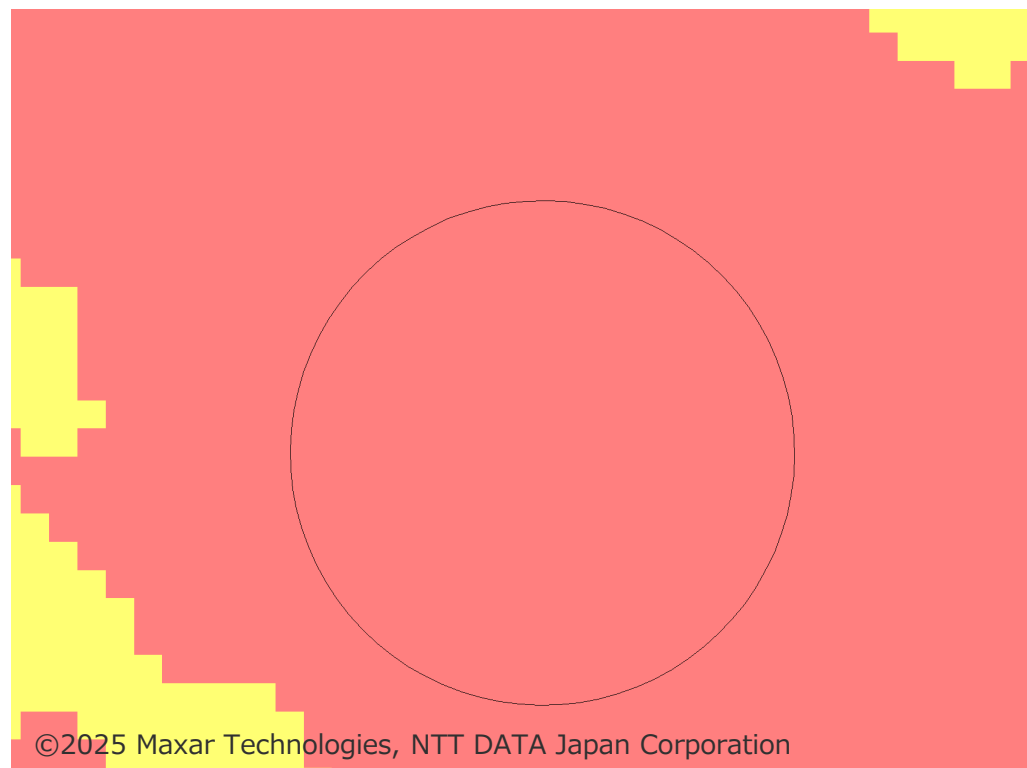


図2-13 異なる教師データによる樹種分類結果（検証エリア3）

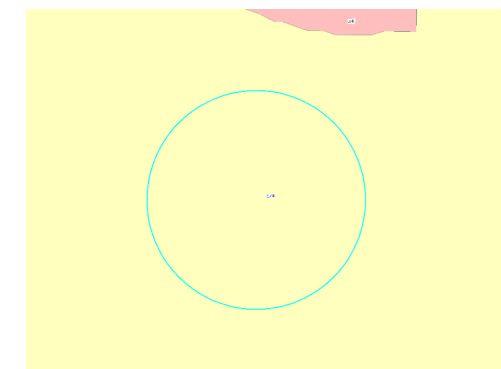


図2-21
航空レーザ測量結果に基づく林相図
（正解データ）

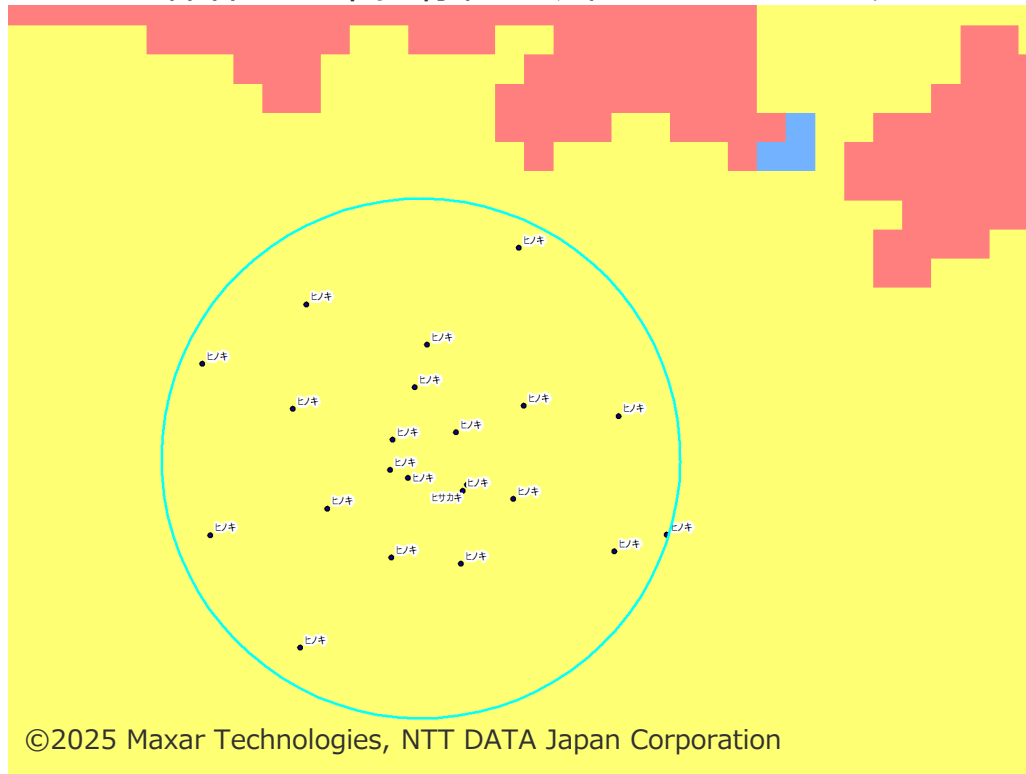
- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

2. 樹種分類精度の検証 | 教師データごとの樹種分類結果（検証エリア3）

教師データごとの樹種分類結果と、森林生態系多様性基礎調査データのプロットの比較を以下に示します。

①の方が基礎調査と近い結果となりました。衛星画像で木と木の間に隙間があるヒノキをスギと誤判読した結果が教師データに含まれたことが、②を行った結果の精度が低下した要因だと推察されます。

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を
教師データとした樹種分類結果
+森林生態系多様性基礎調査データのプロット



②Maxar衛星画像の目視判読結果を
教師データとした樹種分類結果
+森林生態系多様性基礎調査データのプロット

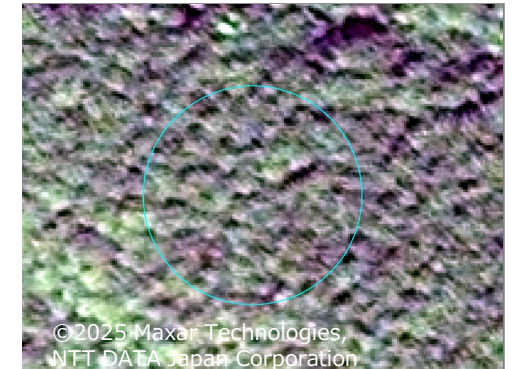
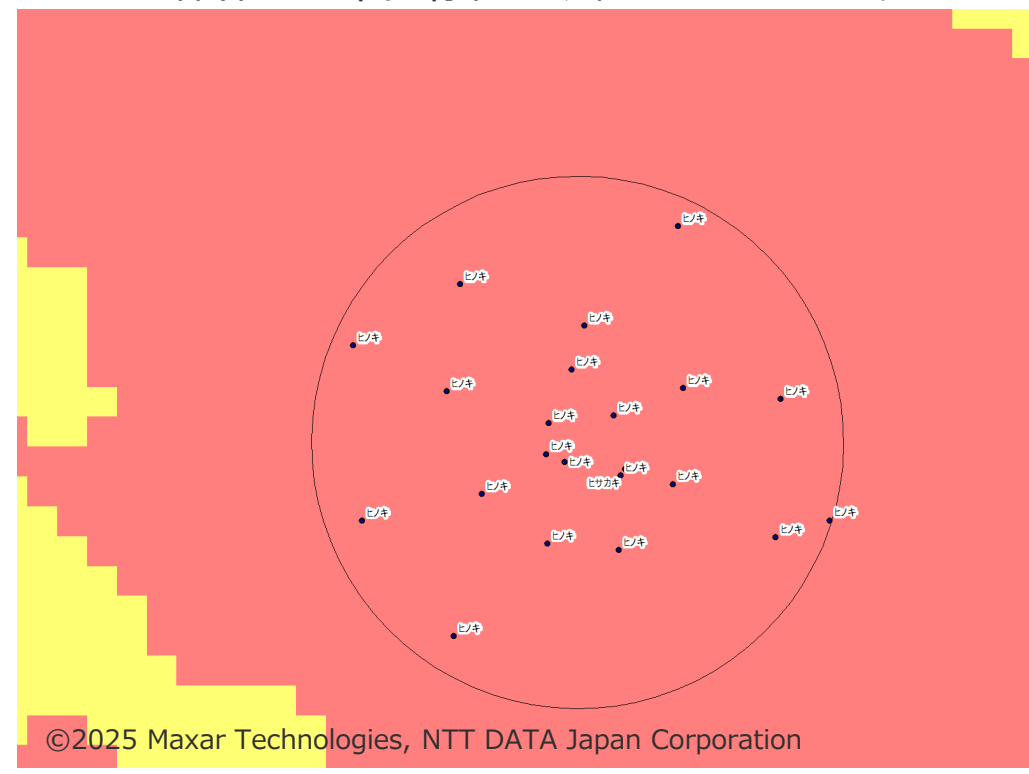


図2-23
分類に使用した衛星画像

- スギ
- ヒノキ
- マツ
- 広葉樹
- 新植樹
- 伐採跡地
- その他

図2-14 異なる教師データによる樹種分類結果と森林生態系多様性基礎調査データのプロット（検証エリア3）



航空レーザ測量結果に基づく林相図を正解とした①、Maxar衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種分類結果②、それぞれの精度検証結果を以下に示します。定量的にも、②に比べて①の精度が高い結果となりました。衛星画像を解析する地域の周辺において、航空レーザ測量結果がある場合は、それを活用すると効果的です。また、それがない場合は、複数時期・多方位から撮影した衛星画像を活用し、より詳細な目視判別を実施することで、②の精度を高めていくことが期待できます。

表2-13

①航空レーザ測量結果に基づく林相図を教師データとした樹種分類結果

		正解データ					
		スギ	ヒノキ	アカマツ	広葉樹	竹	All
解析結果	スギ	29167	2,758	44	501	0	32,470
	ヒノキ	2,747	35,959	232	1,602	0	40,540
	アカマツ	0	0	0	0	0	0
	広葉樹	683	1,054	338	20,285	0	22,360
	竹	0	0	0	0	0	0
	All	32,597	39,771	614	22,388	0	95,370

正解率：89.9%

表2-14

②Maxar衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種分類結果

		正解データ					
		スギ	ヒノキ	アカマツ	広葉樹	竹	All
解析結果	スギ	31,453	10,362	518	2,875	0	45,208
	ヒノキ	1,014	29,236	43	3,240	0	33,533
	アカマツ	0	0	0	0	0	0
	広葉樹	130	53	53	16,273	0	16,629
	竹	0	0	0	0	0	0
	All	32,597	39,771	614	22,388	0	95,370

正解率：80.7%

Maxar衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種分類結果よりも、航空レーザ測量結果に基づく林相図を教師データとした樹種分類結果の方が、より精度高く分類を行うことができました。既存の林相図とほぼ合致しており、全体としては非常に高い精度を達成しました。課題があった部分については、以下の対策を講じることにより、改善が可能と考えられます。

表2-15 樹種分類における課題と対策

No.	課題	理由	対策
1	出現頻度が低い樹種への対応	アカマツは学習データが少なかったため、他の樹種と比較すると精度が劣った。新植地は学習していなかったため、分類時に判断がつかず、他の樹種とみなされた。	アカマツを識別するためのパラメータを把握するため、追加の検証を実施。
2	単木で存在する樹種の扱い	今回の手法は画素単位での分類であったため、例えば航空レーザ測量に基づく林相図ではスギとされている領域に、影で正しく分類できない画素や、他の樹種の画素が混ざることがある。	航空レーザ測量に基づく林相図のように、一様な樹種になるよう画像処理を行う。ただし、過度な適用をすると、現実から乖離する場合があるため、納品物の定義について事前に発注者と合意する必要がある。

以下のデータを使用し、樹高・樹冠高の推定精度の検証を行いました。

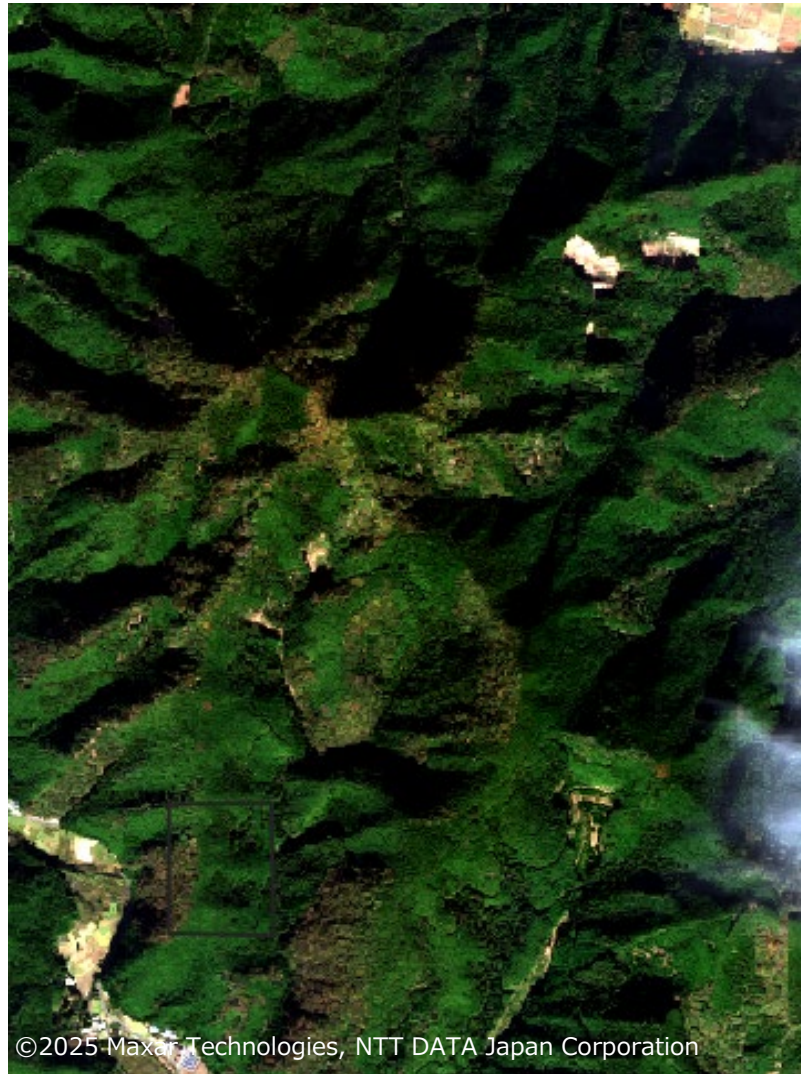
表2-16 樹高・樹冠高の計測に使用したデータ

リソース	取得方法	画像の解像度	DSMのメッシュ サイズ	データ種別	撮影日
Maxar	新規撮影	30cm～50cm	50cm	DSM	2024/11/9
Satellologic	新規撮影	50cm～70cm	1m	DSM	2024/9/2, 10/12, 11/4
BlackSky	新規撮影	1m	1m	DSM	2024/11/24, 11/25
航空レーザ測量	貸与データ	－	50cm	DTM	－

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 実施方法

衛星画像から作成したDSMと、航空レーザ測量に基づくDEM（貸与データ）の差分から、DCHMを作成いたしました。

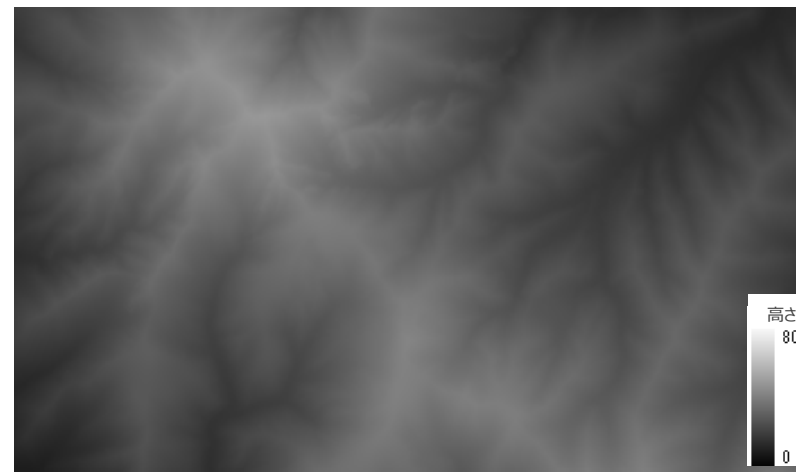
衛星画像



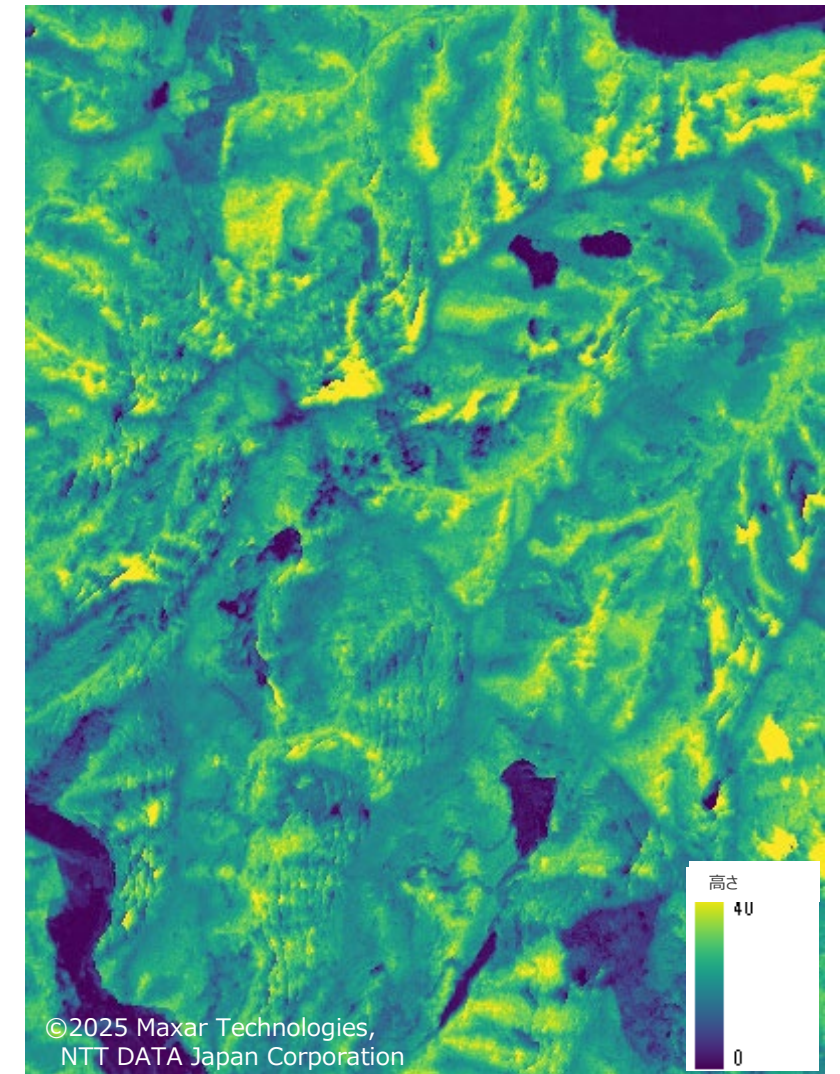
衛星 DSM



航空レーザ測量 DTM（貸与データ）



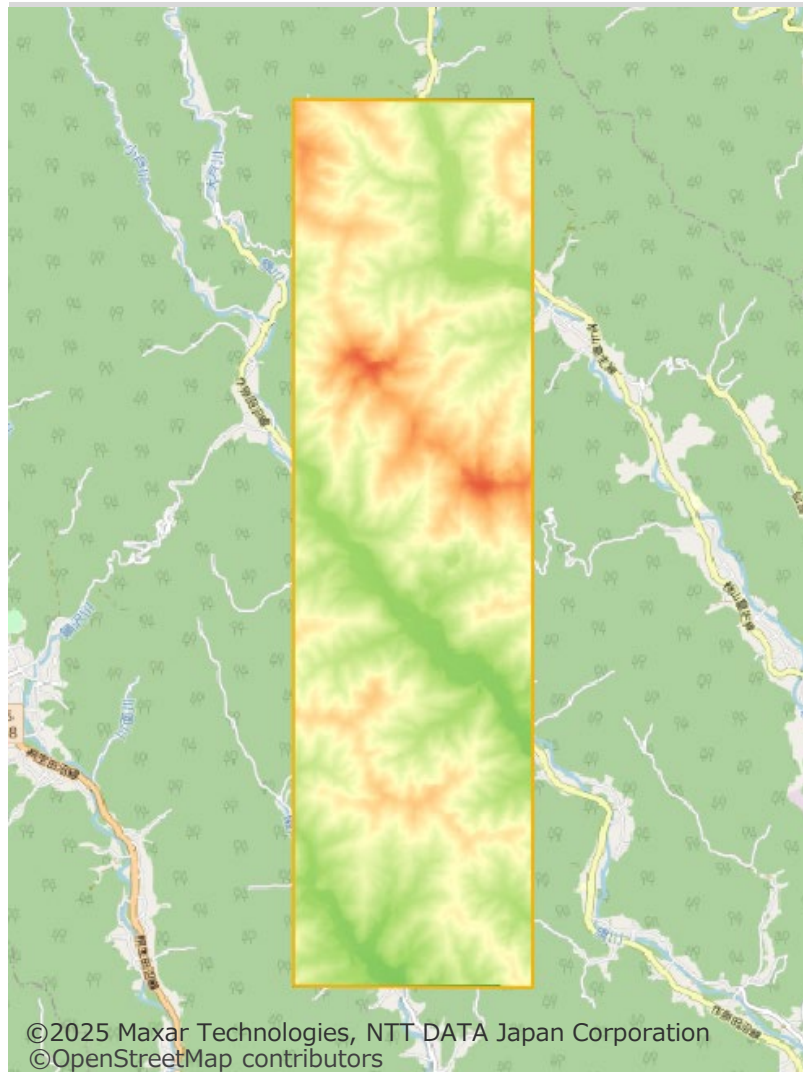
衛星 DCHM



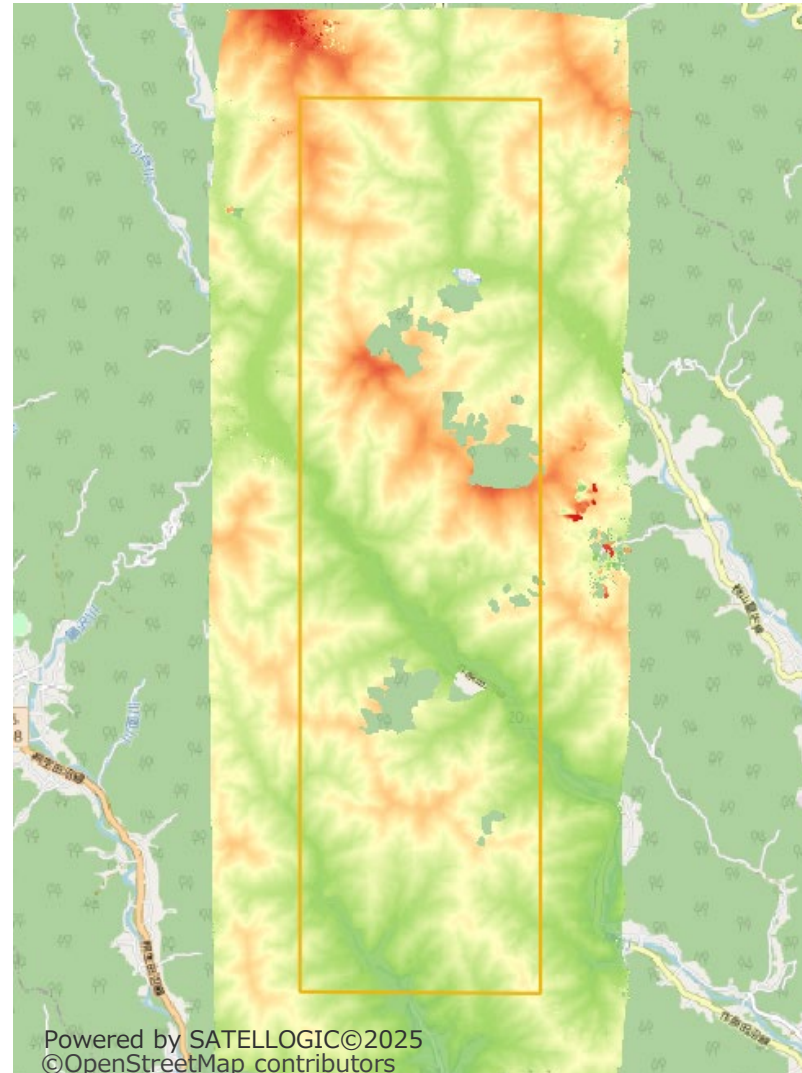
3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 実施結果

それぞれの衛星画像から作成したDSMは、以下のとおりです。

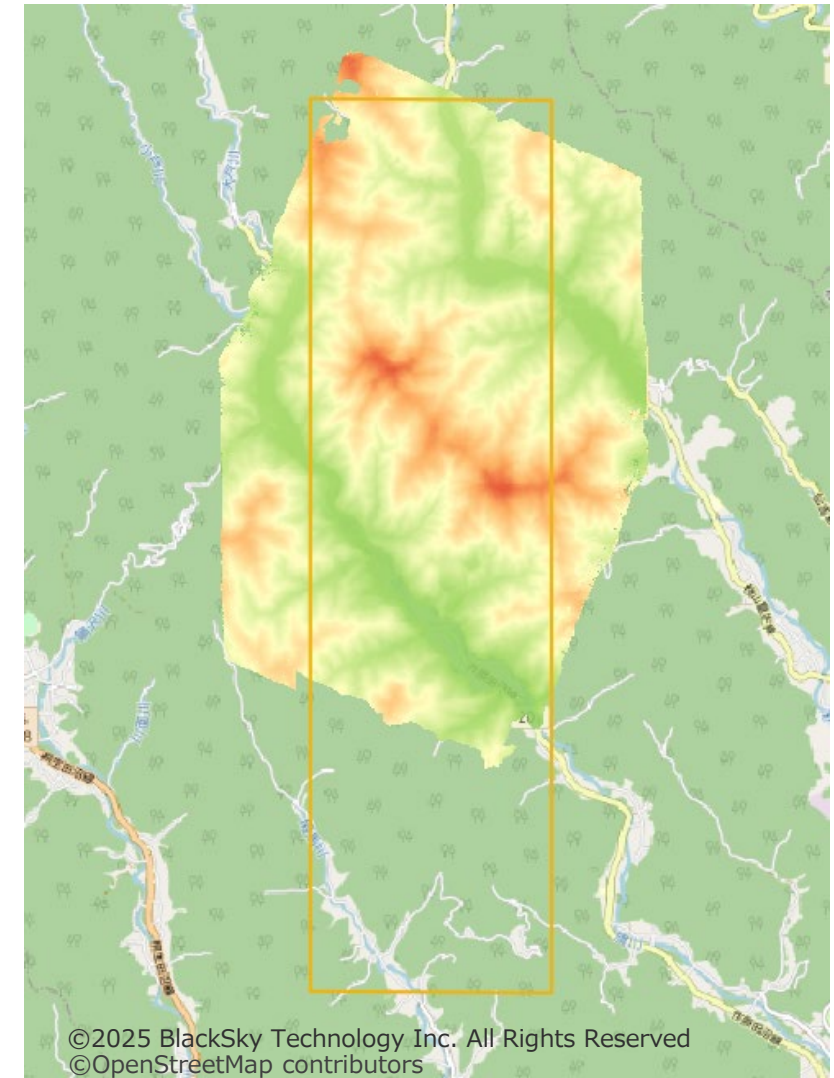
Maxar DSM



Satellogic DSM



BlackSky DSM

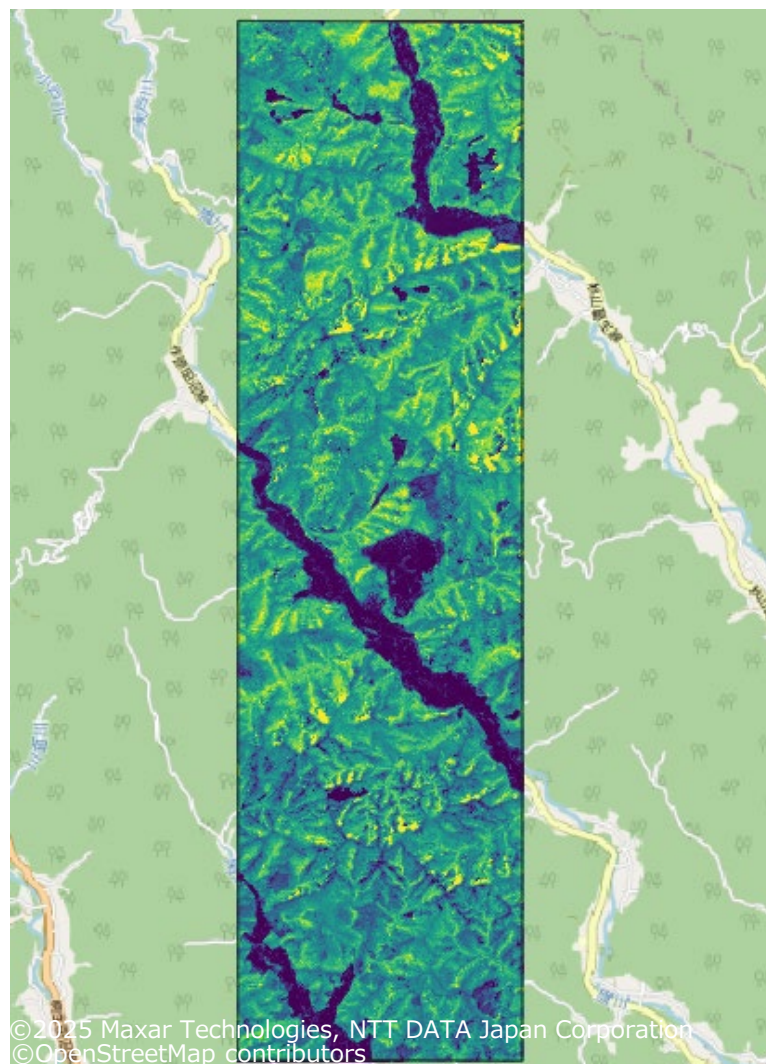


高さ(m)
800
0

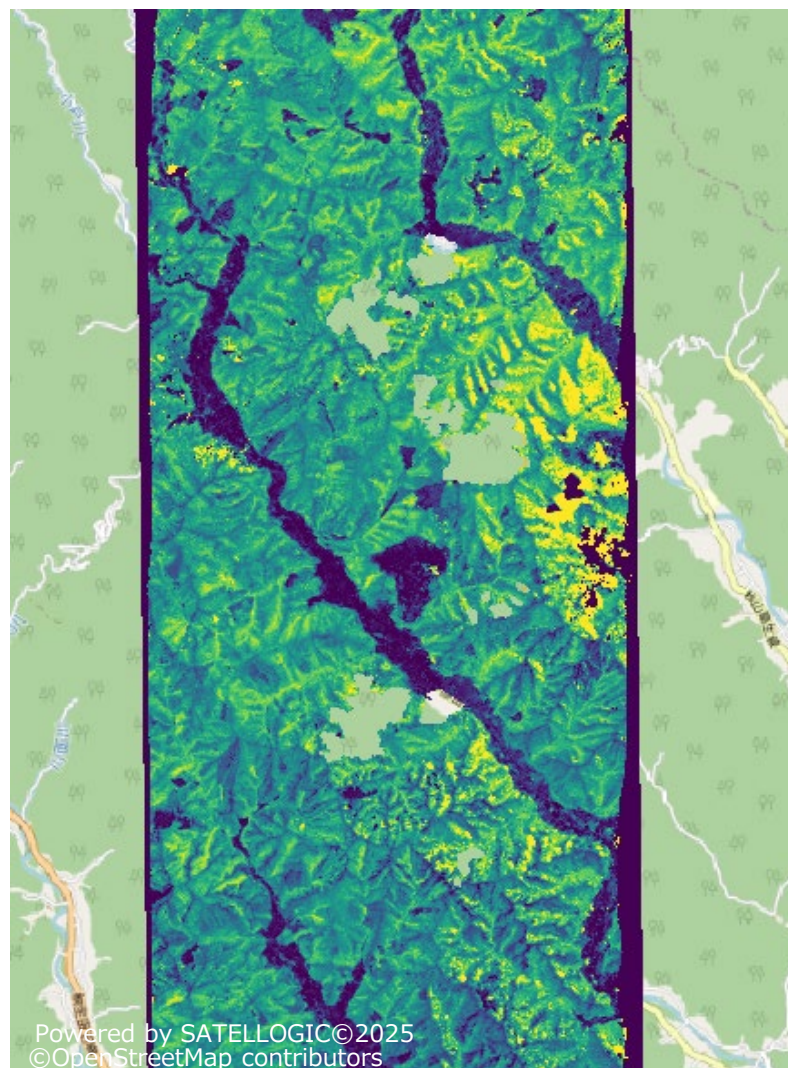
3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 実施結果

それぞれの衛星画像から作成したDCHMは、以下のとおりです。

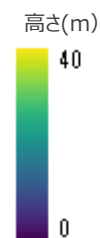
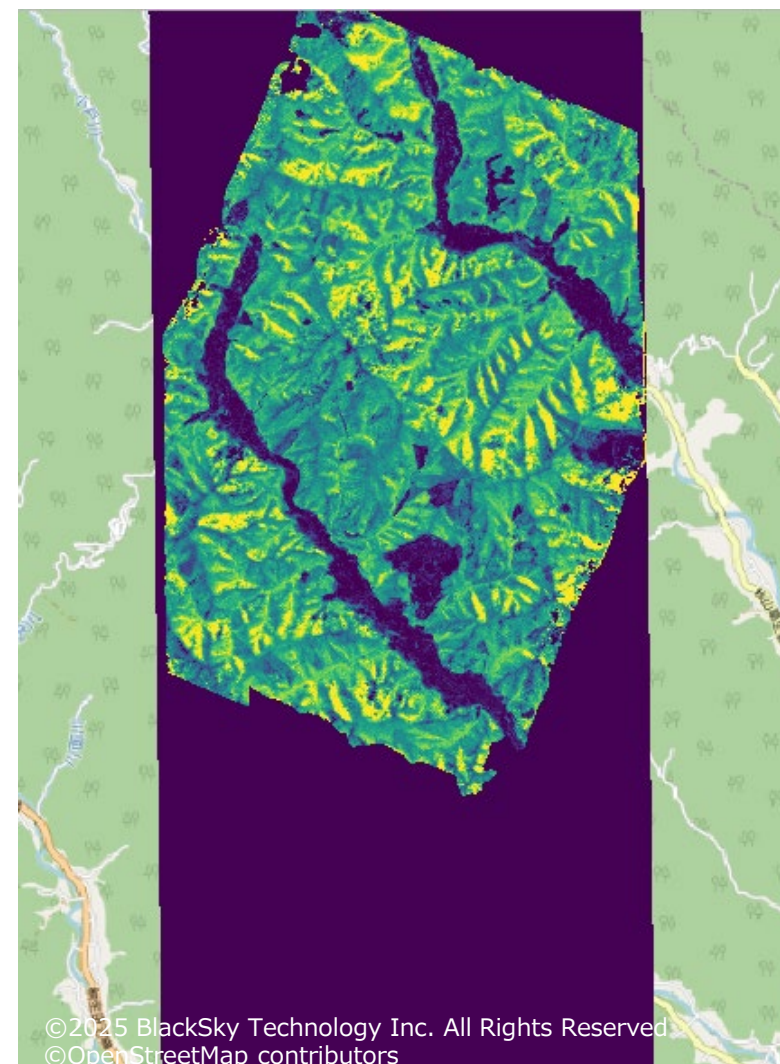
Maxar DCHM



Satellogic DCHM



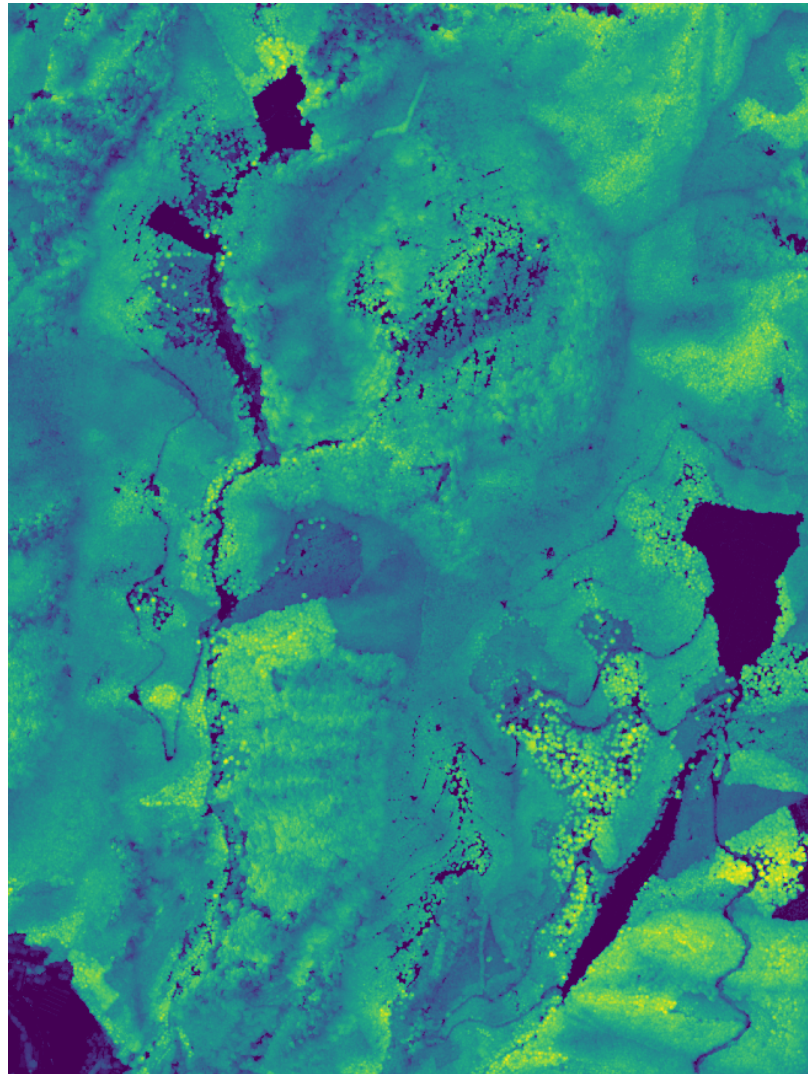
BlackSky DCHM



3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

航空レーザ測量によるDCHMと、Maxar衛星画像から作成したDCHMの比較を以下に示します。

航空レーザ測量 DCHM



Maxar DCHM

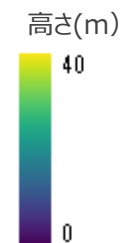
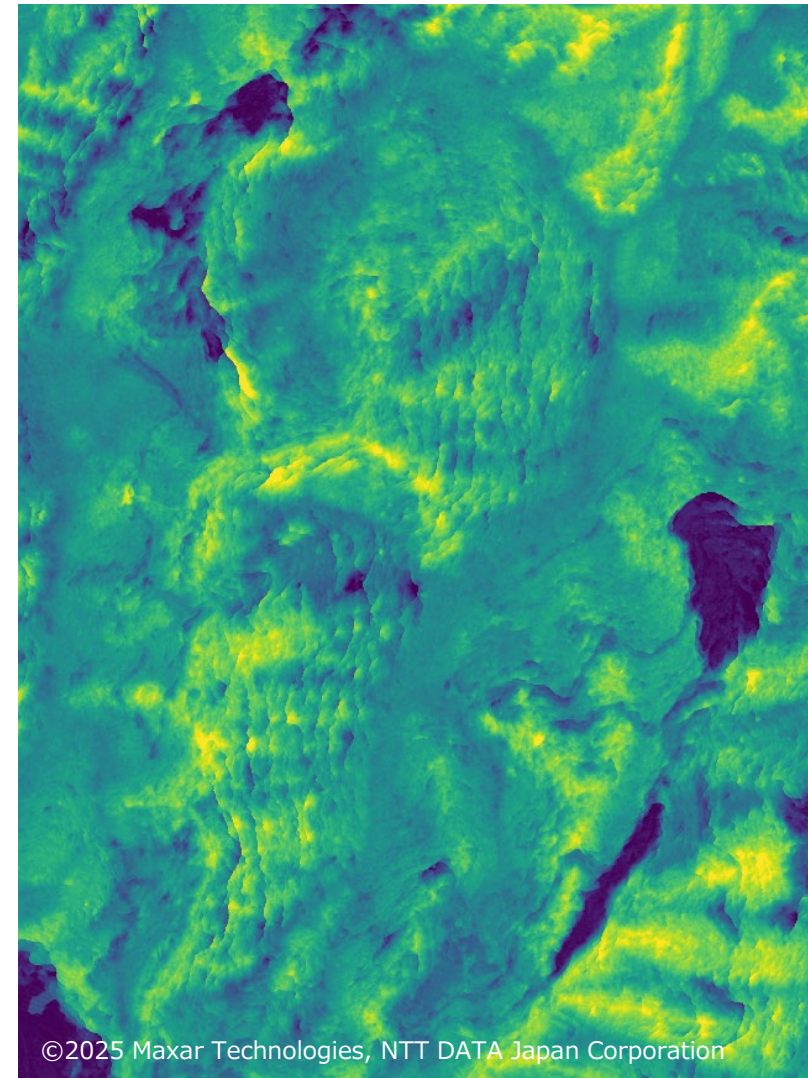
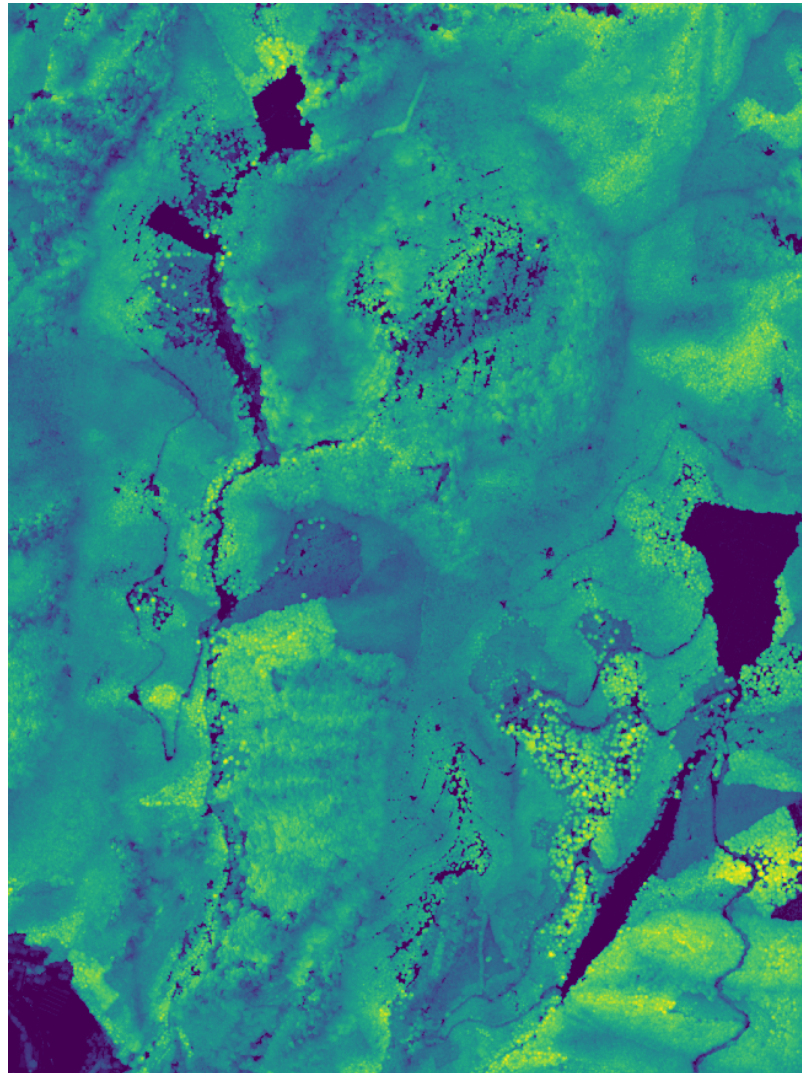


図2-18 航空レーザ測量によるDCHMと、Maxar衛星画像から作成したDCHMの比較

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

航空レーザ測量によるDCHMと、Satellogic 衛星画像から作成したDCHMの比較を以下に示します。

航空レーザ測量 DCHM



Satellogic DCHM

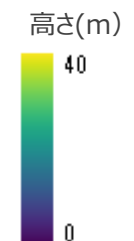
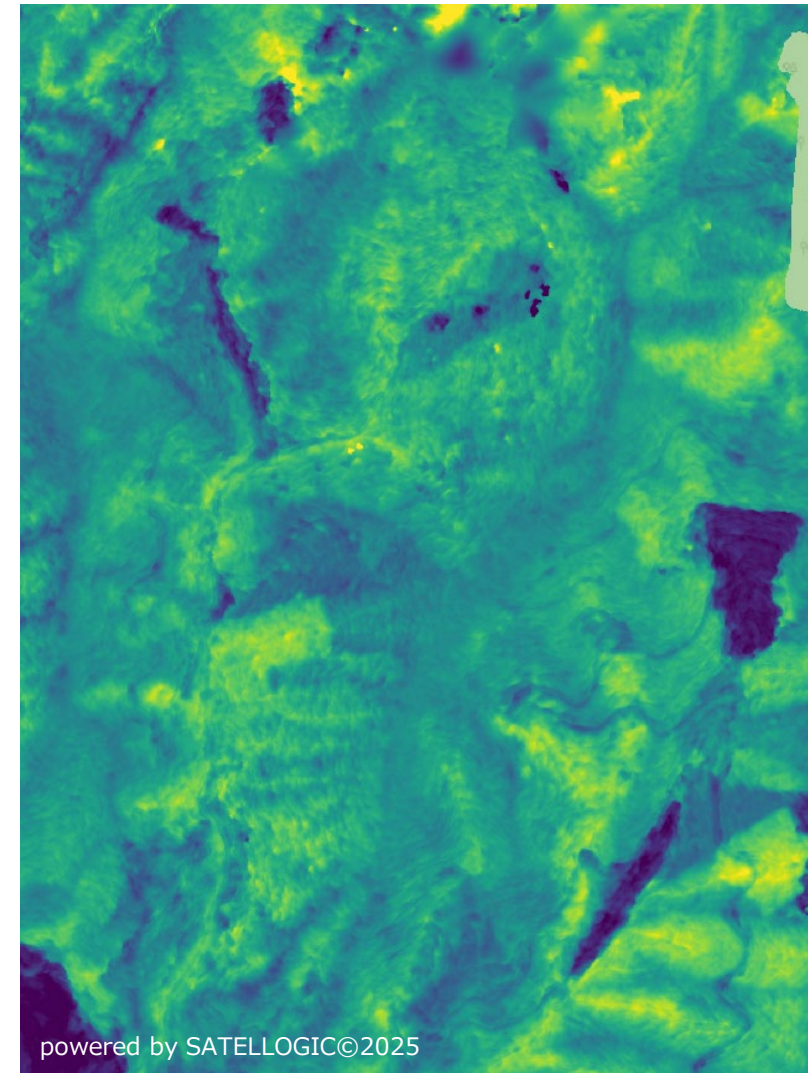
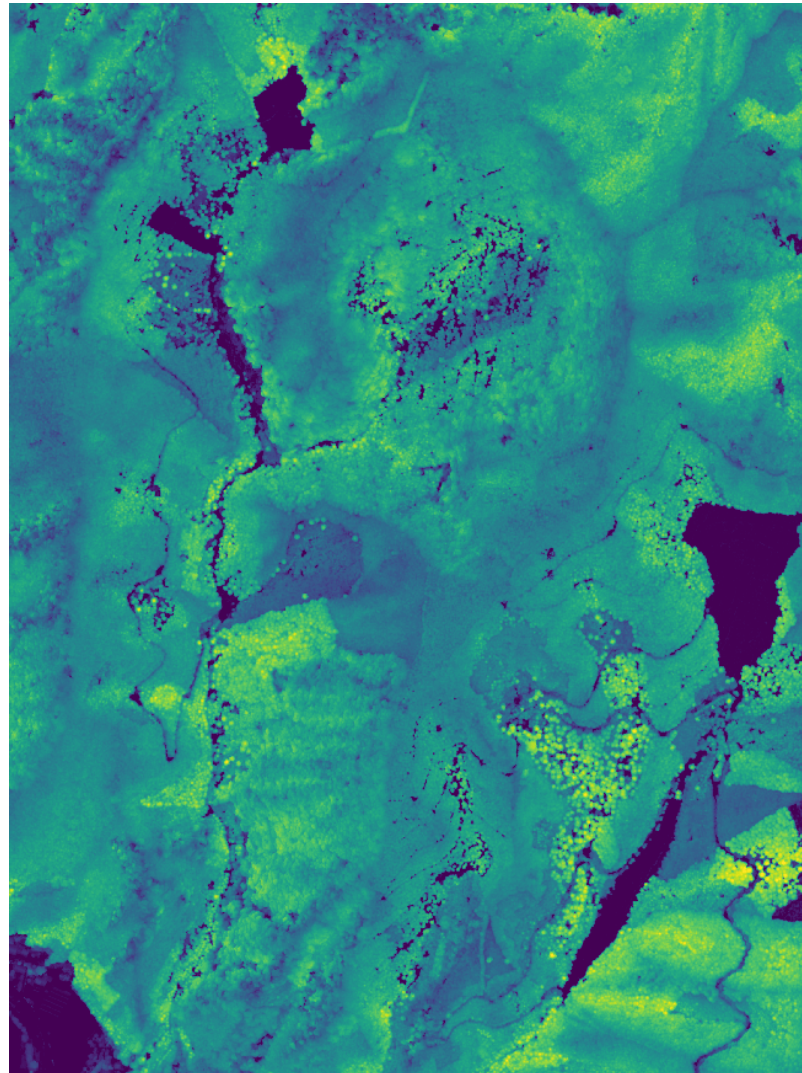


図2-19 航空レーザ測量によるDCHMと、Satellogic衛星画像から作成したDCHMの比較

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

航空レーザ測量によるDCHMと、BlackSky衛星画像から作成したDCHMの比較を以下に示します。

航空レーザ測量 DCHM



BlackSky DCHM

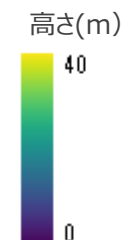
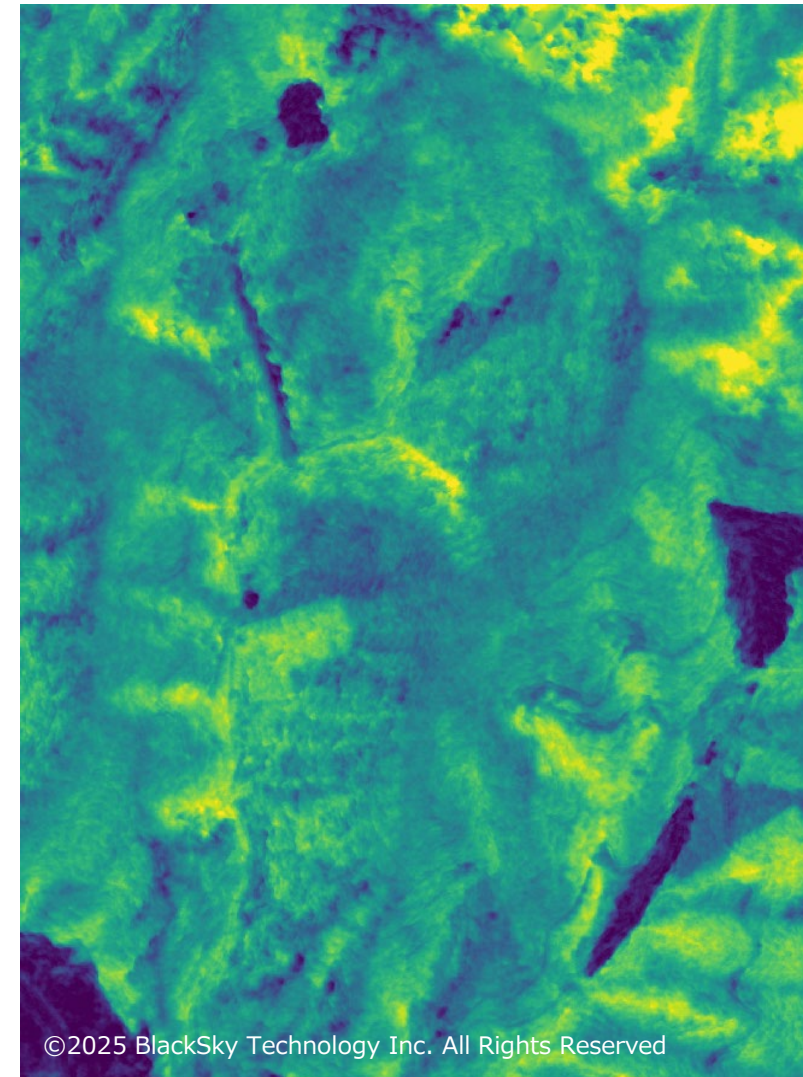
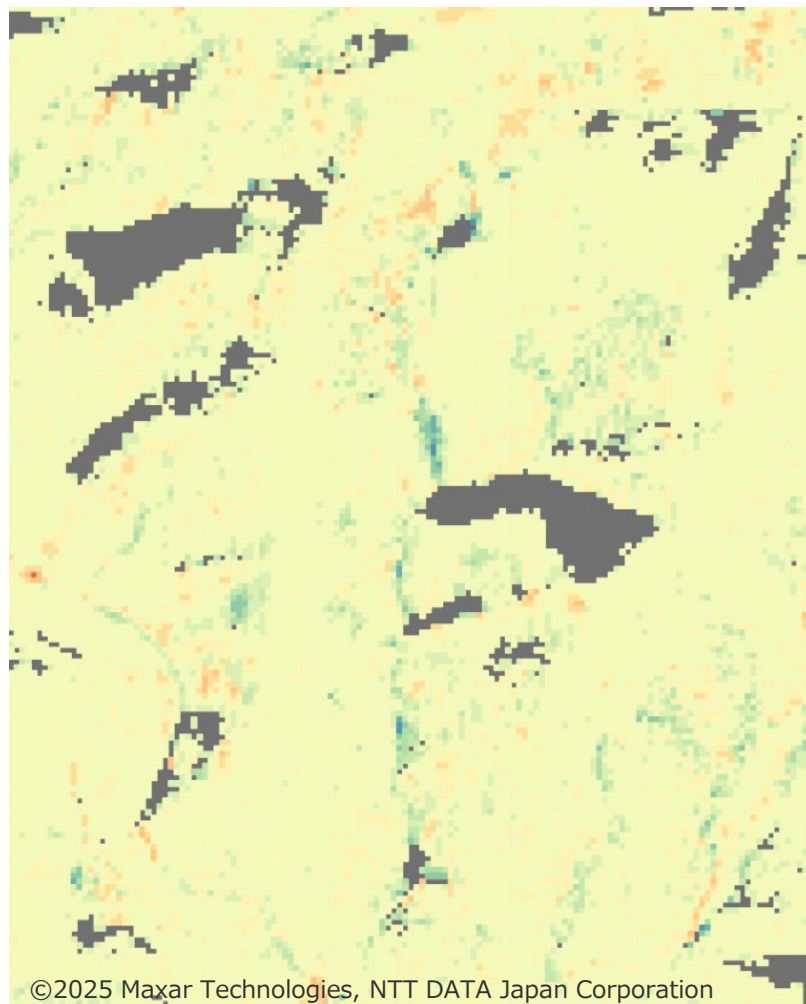


図2-20 航空レーザ測量によるDCHMと、BlackSky衛星画像から作成したDCHMの比較

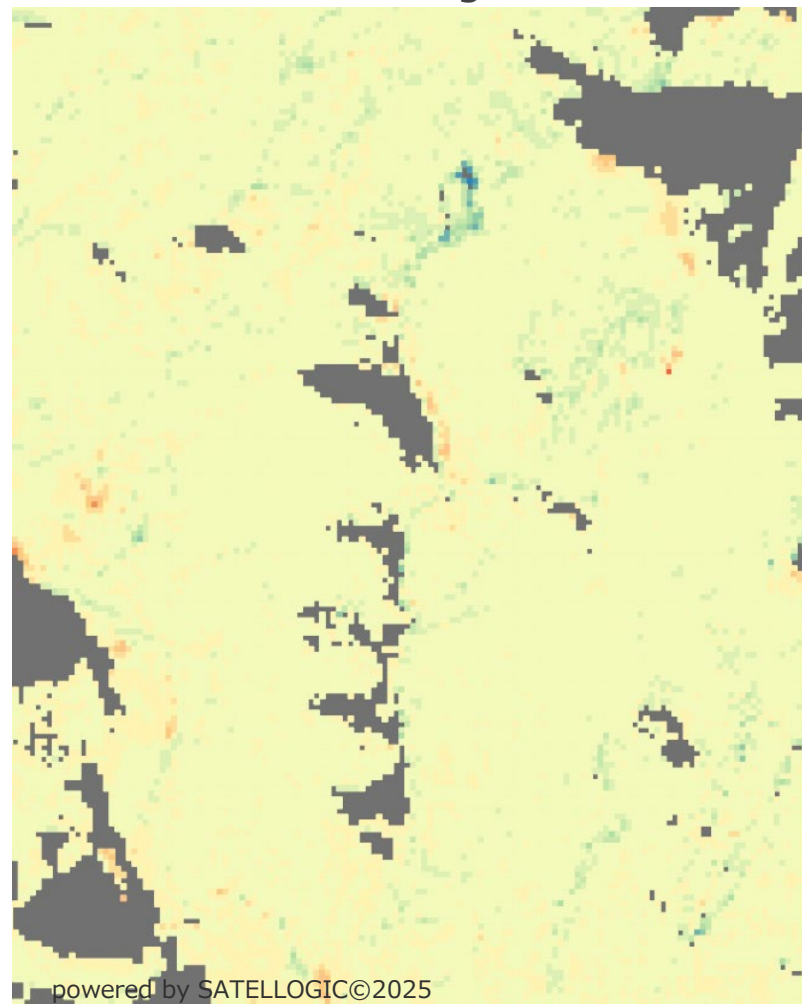
3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

衛星画像から作成したDCHMー航空レーザ測量に基づくDCHMの計算式で差分を求め、分布を10mメッシュ※¹で示しました。

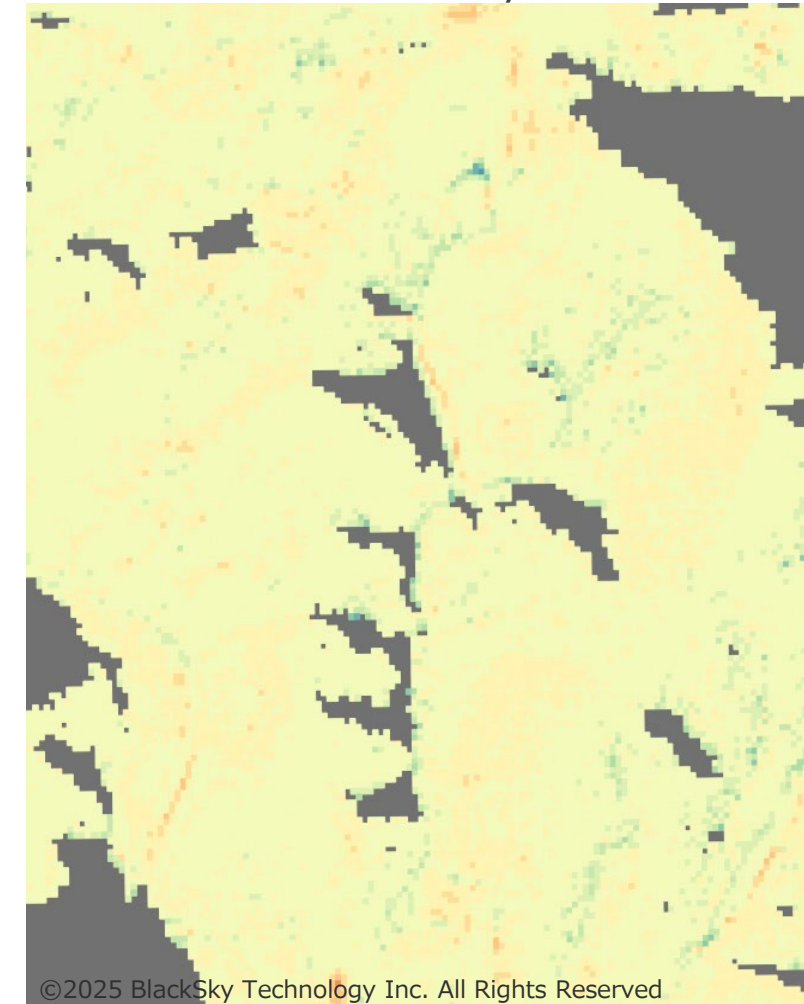
Maxar



Satellogic



BlackSky



差分 (m)

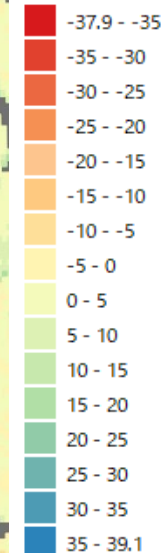


図2-21 衛星由来のDCHMと航空レーザ測量由来のDCHMの差分

※1 雲や影の影響により、DCHMを正しく計測できなかった箇所はエラーとして扱い、評価対象外とした。

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

航空レーザ測量との相関を確認するため、10mメッシュごとの樹種別・統計別・衛星別にDCHMの相関を示します。

衛星別：BlackSkyの相関が高く、ばらつきが小さい傾向にありました。
直下を含む5方向からの撮影により、精度よくDCHMを表していることがうかがえます。

統計別：P48に記載

樹種別：pct98での評価に限り、ヒノキ・広葉樹に比べて、スギの場合の値のばらつきが少ない傾向があることがうかがえます。

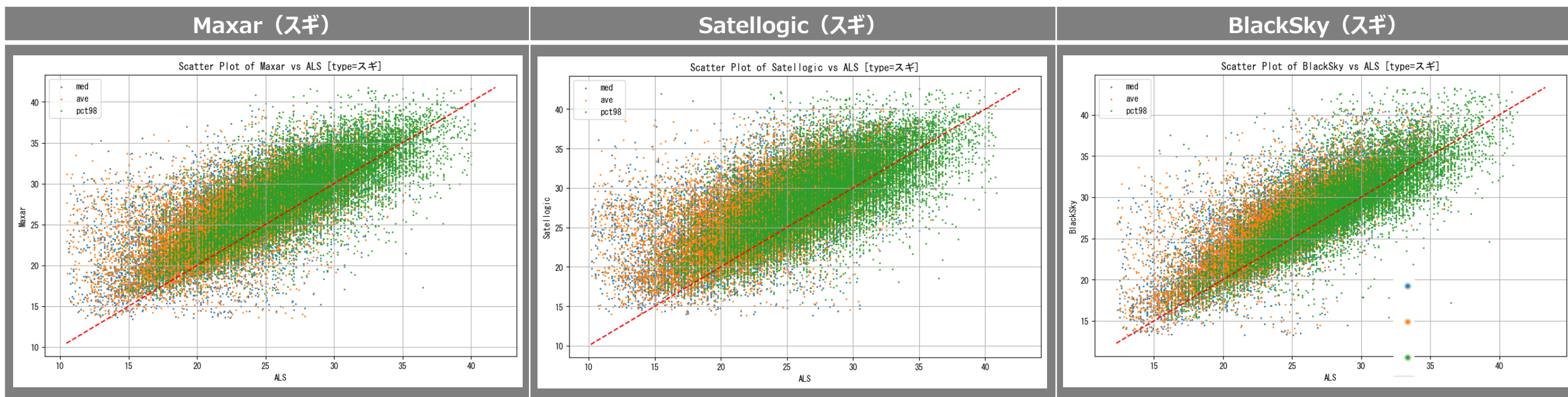


図2-22 樹高の精度評価 (スギ)

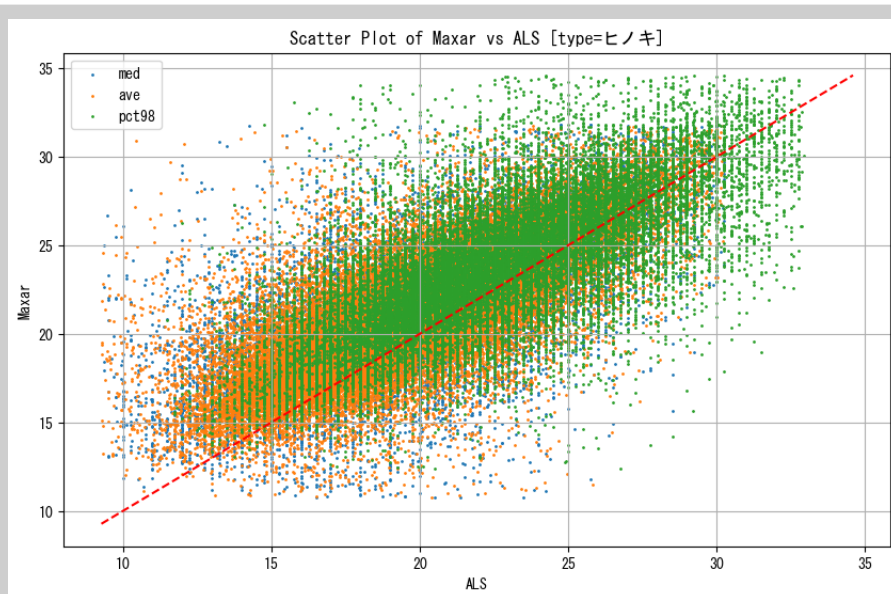
■ 中央値 ■ 平均 ■ 98パーセンタイル

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

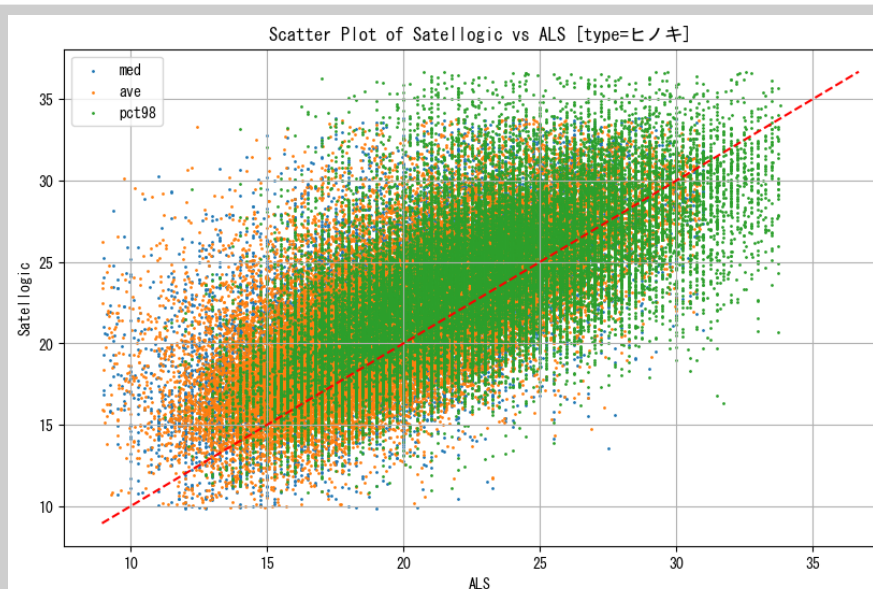


ヒノキの樹高・樹冠高の評価は、以下のとおりです。

Maxar (ヒノキ)



Satellogic (ヒノキ)



BlackSky (ヒノキ)

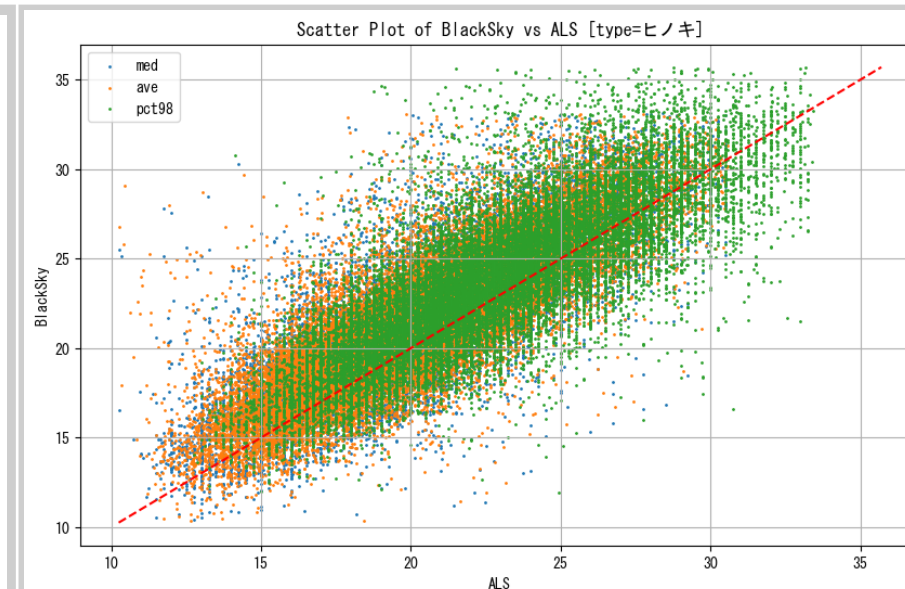


図2-23 樹高の精度評価 (ヒノキ)

■ 中央値 ■ 平均 ■ 98パーセンタイル

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価



広葉樹の樹高・樹冠高の評価は、以下のとおりです。

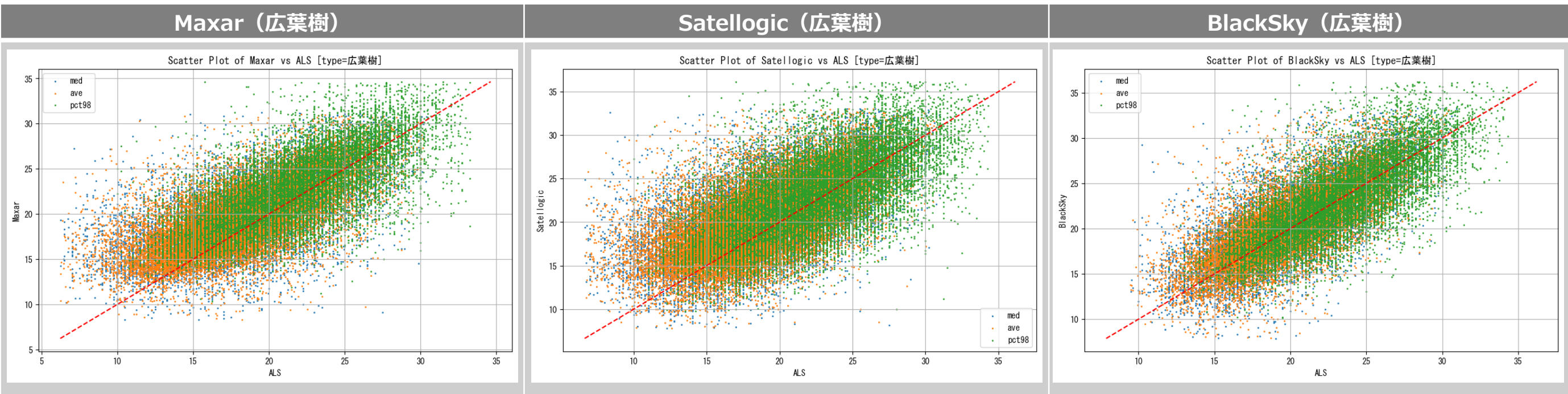


図2-24 樹高の精度評価 (広葉樹)

■ 中央値 ■ 平均 ■ 98パーセンタイル

森林生態系多様性基礎調査の現地調査データと、衛星画像（Maxar）由来のDEMによる樹高の比較を行った結果、樹種による違いはなく、いずれの場合も高い相関が見られました。

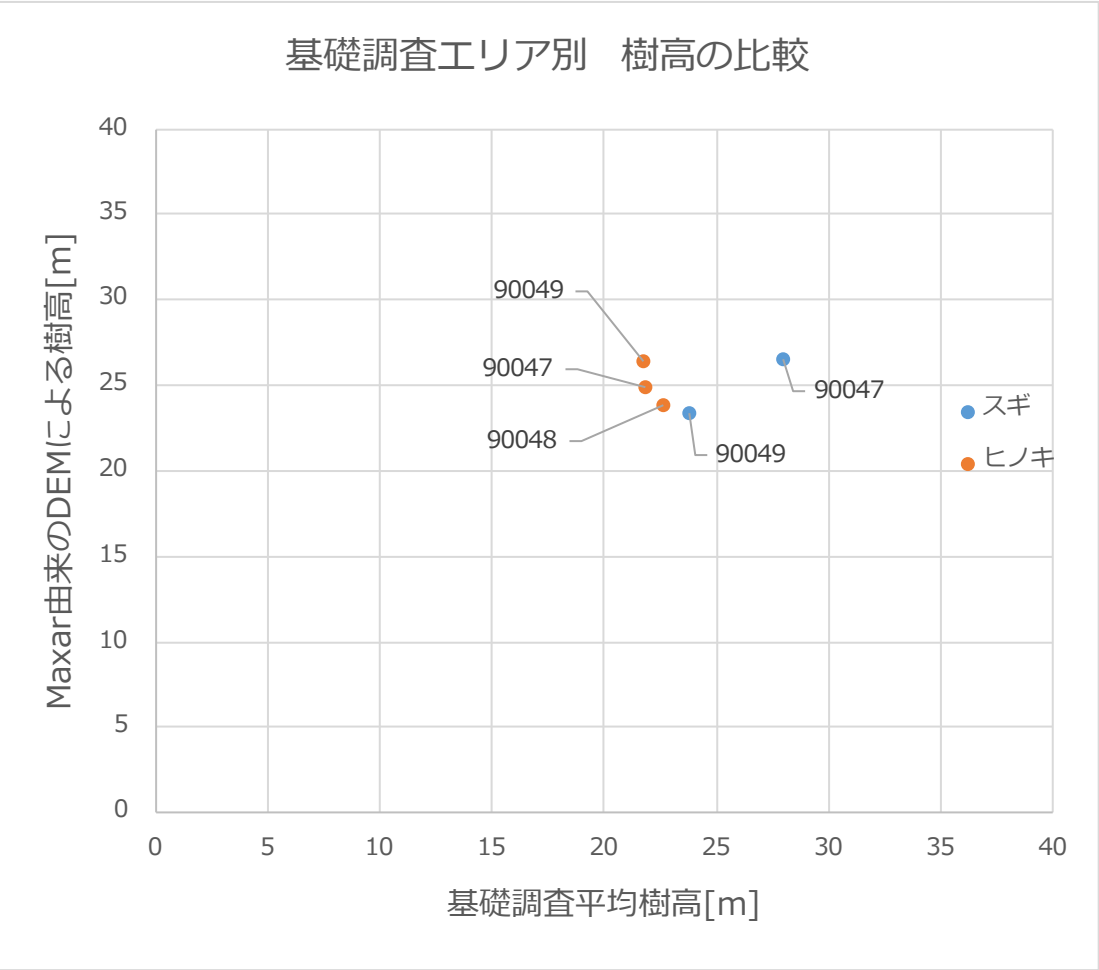


図2-25 基礎調査エリア別 樹高の比較

表2-17 基礎調査エリア別 樹高の比較

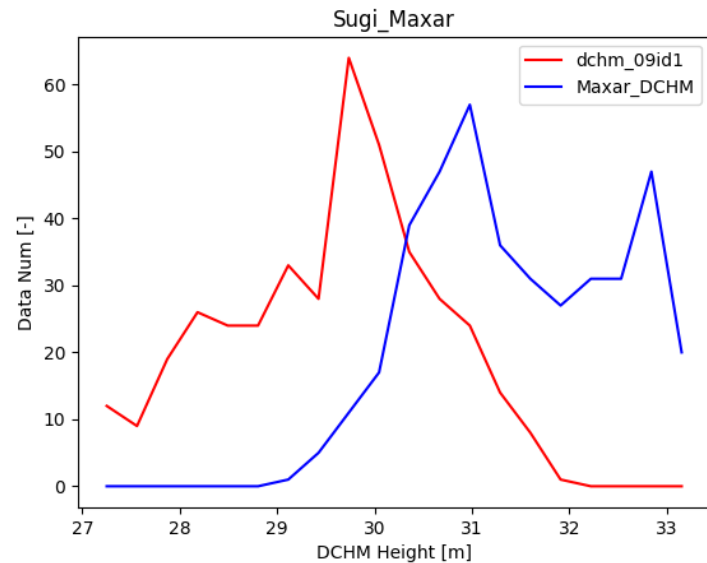
格子点ID	樹種	基礎調査結果 (平均)	Maxar由来の DEMによる樹高 (平均)
90047	スギ	27.97m	26.48m
90047	ヒノキ	21.85m	24.90m
90048	ヒノキ	22.64m	23.83m
90049	スギ	23.82m	23.40m
90049	ヒノキ	21.71m	26.37m

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

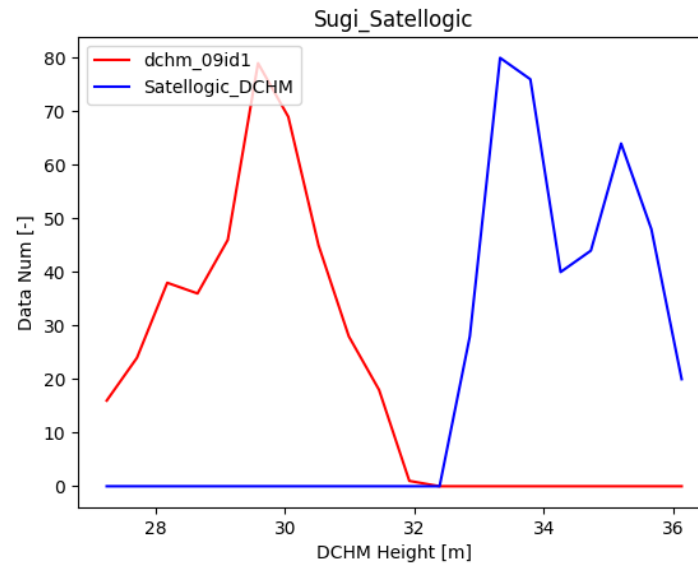


10mメッシュ内のDCHMのヒストグラムを樹種ごとに出した結果は、以下のとおりです。

Maxar (スギ)



Satellogic (スギ)



BlackSky (スギ)

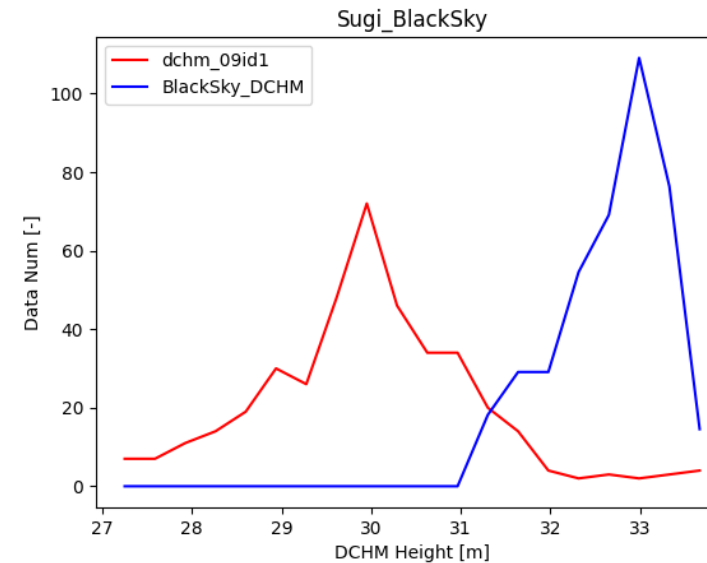
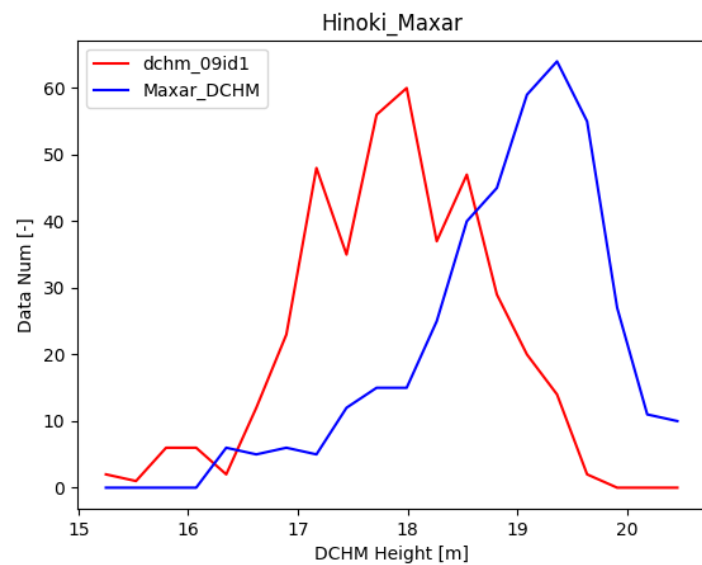


図2-26 10mメッシュ内のDCHMのヒストグラム (スギ)

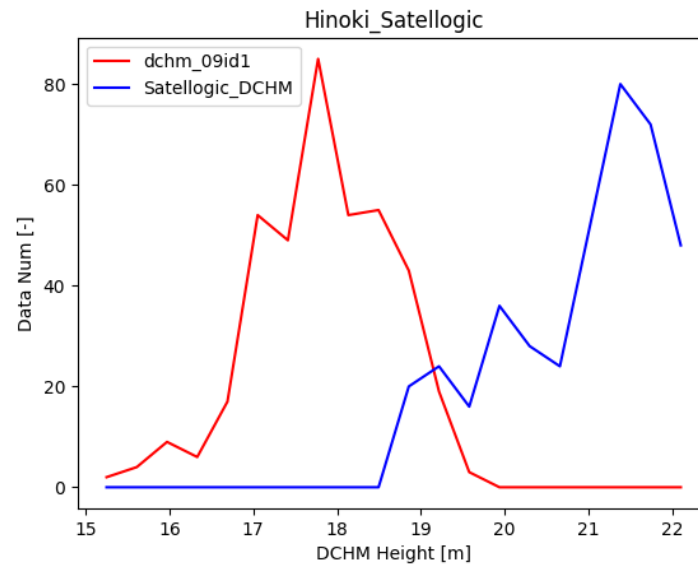
3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

10mメッシュ内のDCHMのヒストグラムを樹種ごとに出した結果は、以下のとおりです。

Maxar (ヒノキ)



Satellogic (ヒノキ)



BlackSky (ヒノキ)

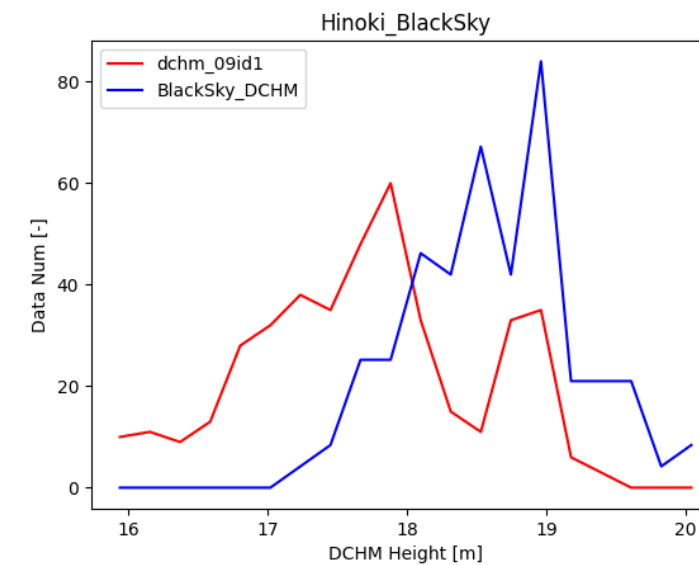
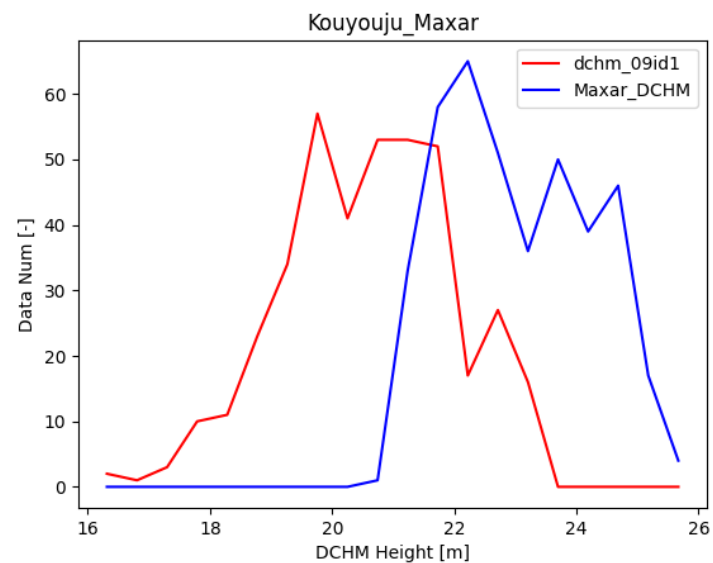


図2-27 10mメッシュ内のDCHMのヒストグラム (ヒノキ)

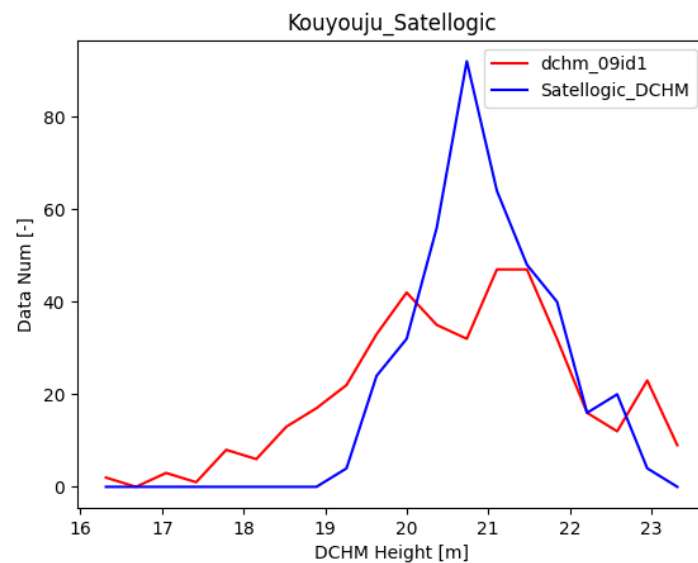
3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価

10mメッシュ内のDCHMのヒストグラムを樹種ごとに出した結果は、以下のとおりです。

Maxar (広葉樹)



Satellopic (広葉樹)



BlackSky (広葉樹)

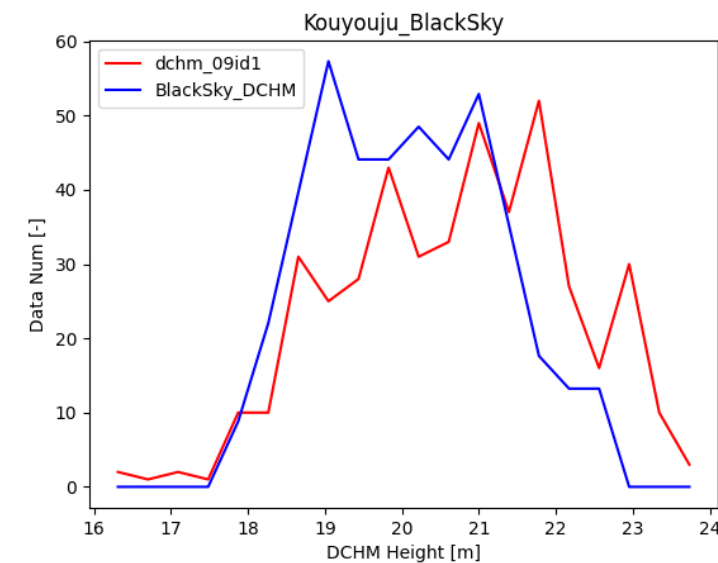


図2-28 10mメッシュ内のDCHMのヒストグラム (広葉樹)

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価（航空レーザ測量と衛星のDCHMの差分）

衛星画像から作成されたDCHMの場合、木の間の“へこみ”部分が高い値になる傾向があります。

10mメッシュ内での比較検証では、衛星画像から作成されたDCHMの場合、航空レーザ測量に比べて平均値、中央値がとも高くなる傾向が見られました。一方、樹頂点近くの値を選ぶ98パーセンタイルでの評価では、木の間の“へこみ”部分の違いの影響が少ないため、相関が高い傾向にあることが考えられます。

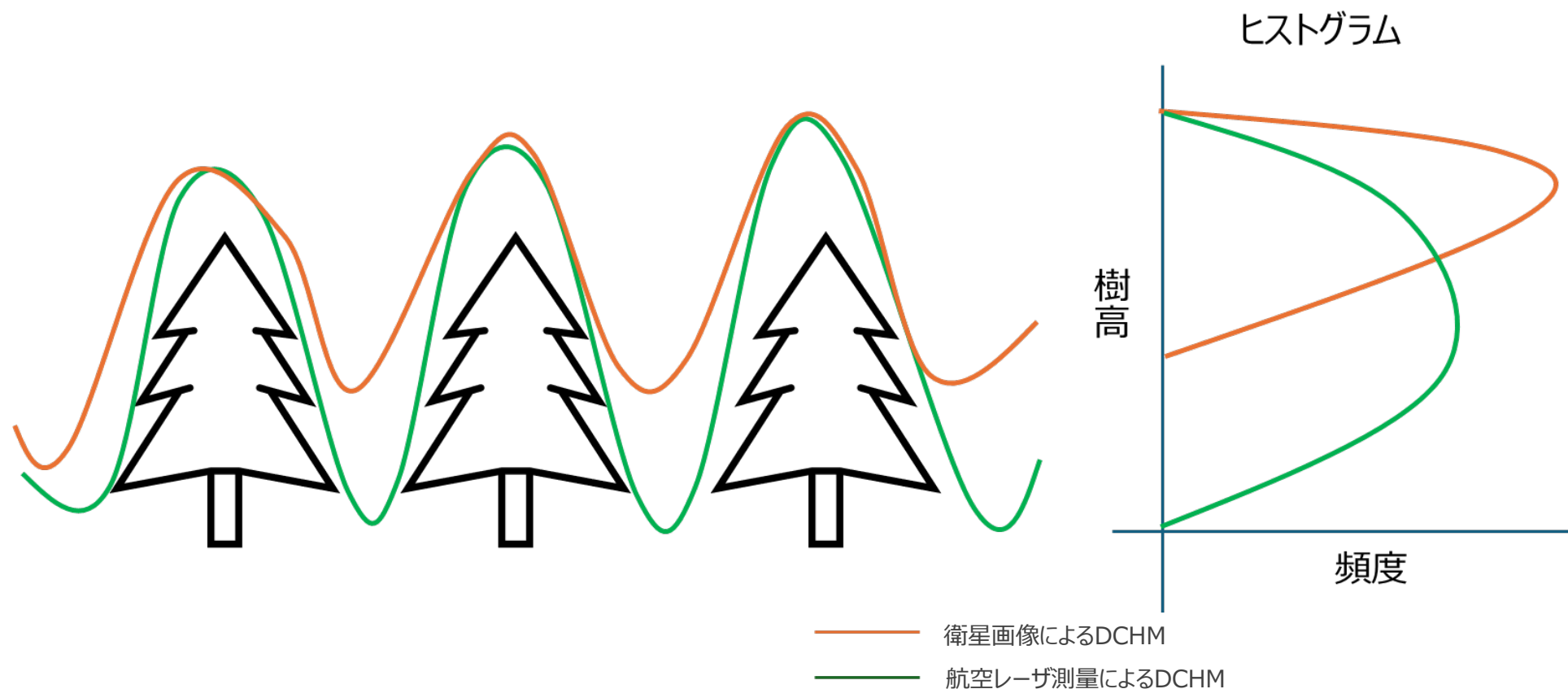


図2-29 衛星由来のDCHMと航空レーザ測量由来のDCHMの違い

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価（航空レーザ測量と衛星のDCHMの差分）



10mメッシュごとのpct98の値の差分平均※1を算出した結果は以下の通りです。
全体的に、衛星由来のDCHMの方が航空レーザ測量由来のDCHMより数十cm～1.5m程度高い傾向が見られます。衛星ごとで比べると、BlackSkyによるDCHMの差分平均が最も小さい傾向が見られます。落葉する秋～初冬の衛星画像を用いてDCHMを作ったため、スギ・ヒノキに比べて広葉樹が低い値になったと考えられます。

表2-18 10mメッシュごとのpct98の値の差分平均

	全体	スギ	ヒノキ	広葉樹
Maxar-航空レーザ測量	1.33m	1.65m	1.27m	1.14m
BlackSky-航空レーザ測量	0.75m	0.77m	1.1m	0.06m
Satellogic-航空レーザ測量	1.19m	1.39m	1.34m	0.74m

※1 10mメッシュごとに、衛星画像から作成されたDCHMの98パーセンタイル値から航空レーザ測量から作成されたDCHMの98パーセンタイル値を引いた値を出し、平均した値。

3. 樹高・樹冠高の推定精度の検証 | 評価（樹木の成長率の推定）



航空レーザ測量によるDCHMと、衛星画像から作成したDCHMが大きくなる原因として、樹木の成長が考えられたため、検証を行いました。以下の方法で2年間の成長率を求めた結果、40cm～60cm程度と推測され、誤差の理由である可能性があります。

表2-19 地位IIIの場合の林齢60年生前後の成長率の計算結果一例

調査地点	36.472271, 139.5106
樹種	スギ
地位曲線	栃木県の地位曲線のデータを入手することができなかったため、立木幹材積（東日本編）に従って栃木県と群馬県を同じ地方として整理することとし、ここでは、群馬県ホームページ 林業試験場報告 令和4年度業務報告にて森林科学係が公開している「収穫予想表の更新等に関する研究」を参考にした。樹高：21m、植樹年：1960年とした場合、収穫予想表の更新等に関する研究に記載されている「上層樹高及び林齢と昭和63年群馬県収穫予想表地位曲線（スギ）」より地位IIIとなる。
樹高	21m（現地調査結果に基づく）
計算方法	$HT=a\times(1-E(b+c\times(t-5)))$ に、HT=上層樹高、a=地位級Ⅲ:32.4067、b=-0.0944、c=-0.0226、t=林齢（50、55、60、65）を用いて、林齢50年から65年までを5年おきに計算

表2-20 地位IIIの場合の林齢60年生前後の成長率の計算結果一例

樹齢	樹高（m）	樹高／年（m／年）	2年間の成長（m）
50年樹高	19.526	0.308	0.616
55年樹高	20.902	0.275	0.551
60年樹高	22.131	0.246	0.492
65年樹高	23.229	0.220	0.439



以下のデータを使用し、立木本数・樹冠投影面積の推定精度の検証を行いました。

表2-21 立木本数・樹冠投影面積の計測に使用したデータ

リソース	取得方法	データ種別	解像度	バンド	撮影日	撮影角度
Maxar	アーカイブ	オルソ画像	40cm	8バンド	2019/5/24	15度

4. 立木本数・樹冠投影面積の推定精度の検証 | 実施方法

Maxar衛星画像で予め他のエリアで教師学習を行ったAIを活用し、今回の衛星画像に対して適用いたしました。対象エリア全域の樹冠ポリゴンを自動で抽出し、立木本数および樹冠投影面積の推定を行っております。

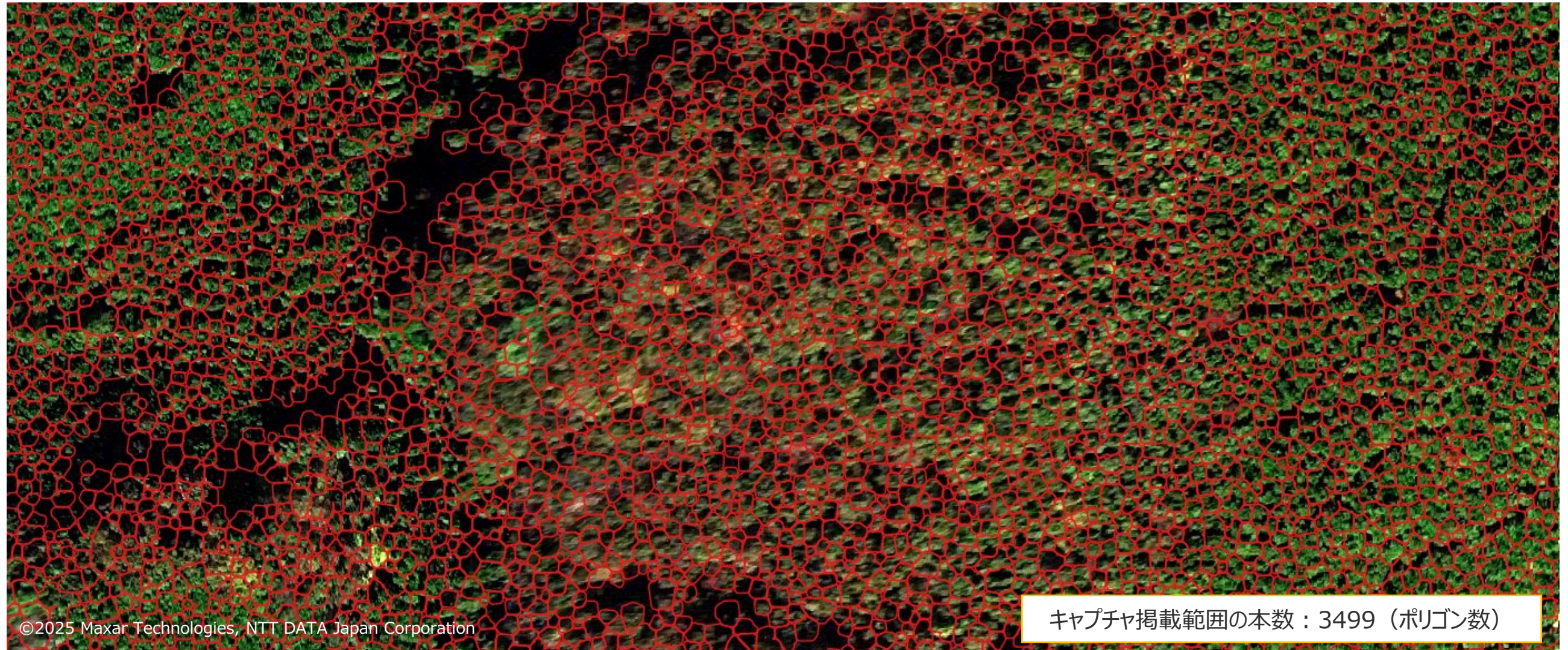


図2-30 樹冠ポリゴンの抽出に使用したオルソ画像

4. 立木本数・樹冠投影面積の推定精度の検証 | 実施結果



AIによる抽出結果は、以下のとおりです。



4. 立木本数・樹冠投影面積の推定精度の検証 | 評価

栃木県が航空レーザを解析した際の現地調査データと、本検証でMaxar衛星画像からAIを用いて計測した立木密度を比較すると、立木密度が高くなるほど、相関がないという結果となりました。AIの学習が少ないため、計測結果にバイアスがかかっていることが原因と推察されます。今後、様々な樹種・密度のエリアで教師データを増やすことにより、改善することが期待できます。

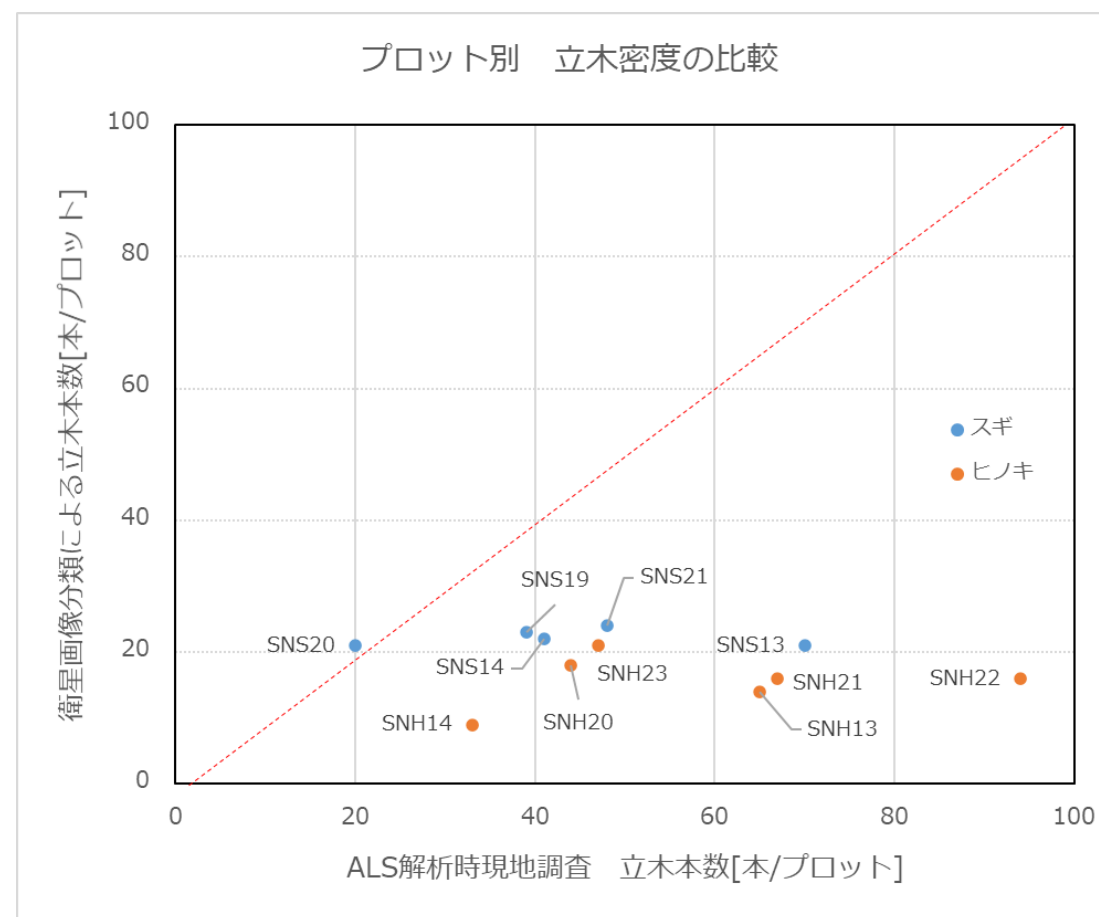


図2-32 プロット別 立木密度の比較

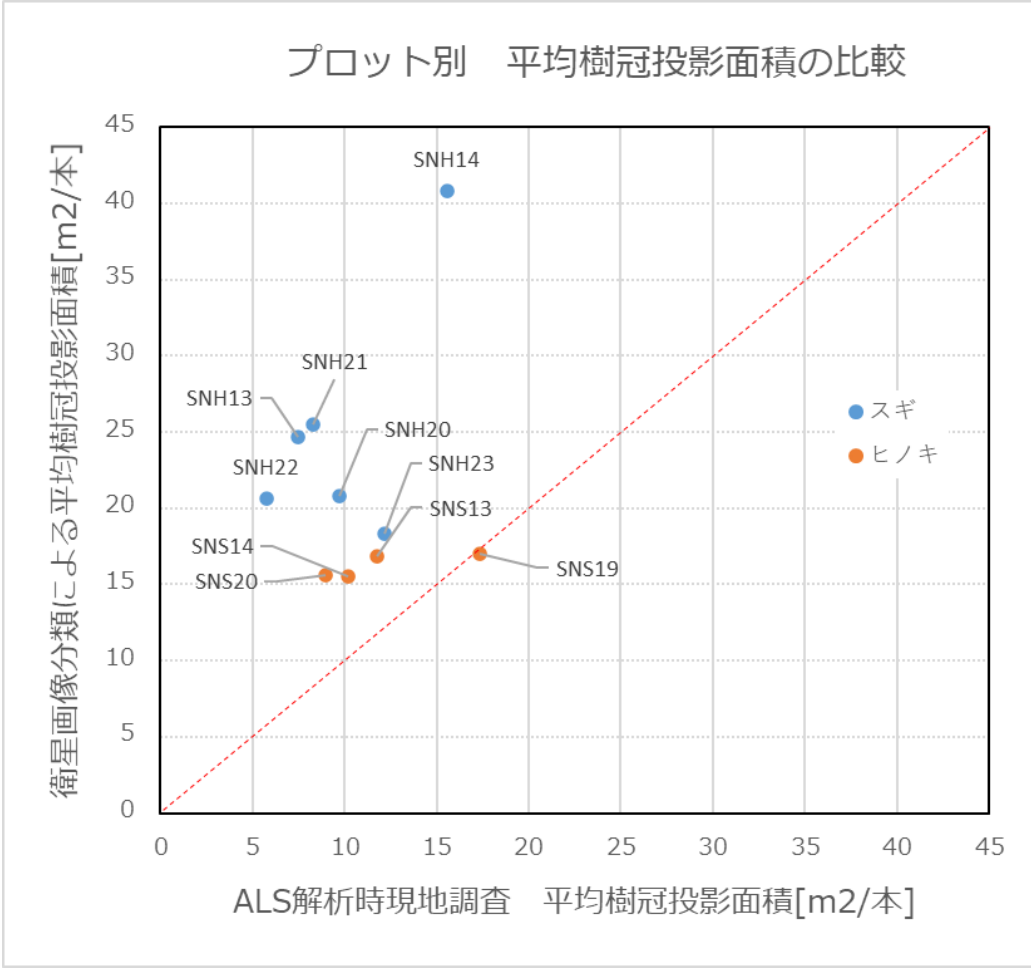


森林生態系多様性基礎調査の現地調査結果と、本検証でMaxar衛星画像からAIを用いて計測した立木密度を比較いたしました。AIによる計測結果が現地調査結果と比べて2倍以上の開きがある結果となりました。これについても、教師学習の偏りが原因と推察されます。

表2-22 森林生態系多様性基礎調査の結果と、Maxar衛星画像からAIを用いて計測した結果の比較

調査地点ID	森林生態系多様性基礎調査の結果	Maxar衛星画像からAIを用いて計測した結果
90047	22本	51本
90048	21本	48本
90049	21本	48本

平均樹冠投影面積についても、森林生態系多様性基礎調査の現地調査データと、栃木県が航空レーザを解析した際の現地調査データを比較しました。立木本数の評価結果と同様、教師学習の偏りが原因と推察されます。





総評

持続的な森林資源情報の更新、コスト効率化などの課題を解決するための手段として、光学衛星画像データの活用は有効と考えられます。

表3-1 本検証についての総括

観点		結論
衛星画像の取得		✓ いずれの衛星でも、期間内に新規撮影を行い画像を取得することができた。
精度	樹種分類	✓ 航空レーザ測量結果に基づく林相図を教師データとした樹種分類結果は、 89.9%の高い精度 であった。 ✓ 衛星画像の目視判読結果を教師データとした樹種分類の精度は80.7%であった。
	樹高・樹冠高の計測	✓ いずれの衛星でも、衛星由来のDCHMの方が航空レーザ測量由来のDCHMより数十cm～1.5m程度高い傾向となった。特に、 3次元観測に適した撮影により作成したDCHMは、より高い精度が確認できた。
	立木本数・樹冠投影面積の計測	✓ 高解像度衛星を用いて、AIによる樹冠ポリゴンの抽出が可能であることを確認 ✓ 現時点では精度に課題があるが、学習を増やすことで改善できる可能性あり
対応エリア		✓ 精度よく樹種分類や樹高・樹冠高の計測を行うためには、航空レーザ測量結果に基づくデータが必要 航空レーザ測量実施エリアにおける情報更新の手段として、光学衛星データを活用することが望ましい
コスト		✓ 衛星による撮影・データ作成費用は、 航空レーザ測量の1/5程度 エリアは広域であるほどコストメリットは大きくなる。 ✓ 国産の次期光学衛星の打ち上げ後は、 更なる撮影費用の低減も期待 できる。

航空レーザ測量結果と光学衛星データの併用により、継続的な森林情報の更新とコスト効率化を実現

2. 光学衛星データに基づく森林資源調査手法の導入に関する課題整理

本検証で明らかとなった課題については、**衛星の基数増加、性能向上および技術改良により改善が可能**と考えられます。

表3-2 光学衛星データに基づく森林資源調査手法の導入に関する課題整理

観点		課題	対策
衛星画像の取得		✓ 解析に最適な時期や時刻に観測できない場合がある	✓ 海外の衛星コンステレーションの増加、国産の次期光学衛星の打ち上げにより解決されることが期待できる
精度	樹種分類	✓ アカマツ・竹の分類は、他の樹種よりも精度が劣る ✓ 衛星画像の目視判読結果を教師データとした際の分類精度が低い	✓ アカマツ・竹の学習量を増やし、樹種が識別しやすい時期の衛星画像を使用して分類する ✓ 判読に揺らぎが生じることがないよう、マニュアルを充実し、複数の衛星画像を活用して判読を行う
	樹高・樹冠高の計測	✓ 雲や影の影響により、衛星由来のDCHMが正しく計測できない場合がある	✓ 3次元データの作成に適した条件で撮影を行う
	立木本数・樹冠投影面積の計測	✓ AIの学習が少ないためバイアスがかかり、計測結果に影響を及ぼしている	✓ 様々なエリアで学習を行うことで、精度を改善する
対応エリア		✓ 解析を行うためには航空レーザ測量に基づくデータを使用することが望ましいが、全国を網羅していない ✓ 3次元観測を行うための衛星リソースが不足しており、全国のデータを作成することはできない	✓ 国土地理院等のオープンデータの活用可能性を検討 - 将来的にはJAXAのレーザ高度計も活用 ✓ 海外の衛星コンステレーションの増加、国産の次期光学衛星の打ち上げにより解決されることが期待できる
コスト		✓ 目的に応じて、複数の衛星画像を取得する必要がある ✓ 3次元観測を行うため、新規撮影費用が必要	✓ 国産の次期光学衛星の打ち上げ後は、高解像度かつ3次元データの作成に適した画像が定常的に蓄積されるため、これを活用する



本製品に関するご質問・サンプルデータのご要望等は、下記HPよりお気軽にお問合せ下さい。
<https://www.aw3d.jp/contactform/>

