

衛星画像を用いた 5m メッシュ標高データ整備のための技術開発

実施期間	令和 7 年度
基本図情報部地図情報技術開発室	大久保 弘樹
	藤原 博行 神山 優恵
	長野 玄 野口 真弓
基本図情報部画像調査課	平家 護 飯村 元紀

1. はじめに

国土地理院では、標高のメッシュデータ（以下「標高データ」という。）として「基盤地図情報（数値標高モデル）」を日本全国で整備し提供を行っている。整備手法や標高点格子の間隔により、高さ精度の異なる様々な種類の数値標高モデル（Digital Elevation Model, 以下「DEM」という。）を提供しており、標高点格子の間隔による分類では 1m メッシュ、5m メッシュ及び 10m メッシュの 3 種類がある。このうち 5m メッシュ DEM は、航空レーザ測量（DEM5A）及び空中写真測量（DEM5B 又は DEM5C）により国土のおおむね全域を網羅しているが、主に離島や北海道・東北地方の山間部など一部で未整備の地域が存在する。

5m メッシュ DEM 未整備地域の全域で航空レーザ測量又は空中写真測量を実施するには、航空機の運航コストや離島へのアクセスが課題となる。近年、人工衛星による観測は高分解能化・高頻度化がますます進んでおり、標高データ整備に衛星画像を利用することで、これらの課題を解決し航空機による従来手法を補完することが期待できる。

そこで本技術開発では、5m メッシュ DEM の未整備地域に対し、衛星画像を用いた標高データ整備を実現することを目標に、必要な技術要素の調査検討を実施した。本稿では、その概要を報告する。

2. 技術開発の全体概要及び検証地域の設定

本技術開発は（1）衛星画像を用いた標高データ整備に関する検討、（2）標高データの処理（フィルタリング）に関する技術開発、（3）評価用標高データ及び関係文書（「衛星画像を用いた 5m メッシュ標高データ作成作業要領（案）」及び「暫定歩掛（案）」の 2 文書をいう。）の作成の 3 段階で実施した。実施フローと各検討項目の概要は図-1 のとおりである。

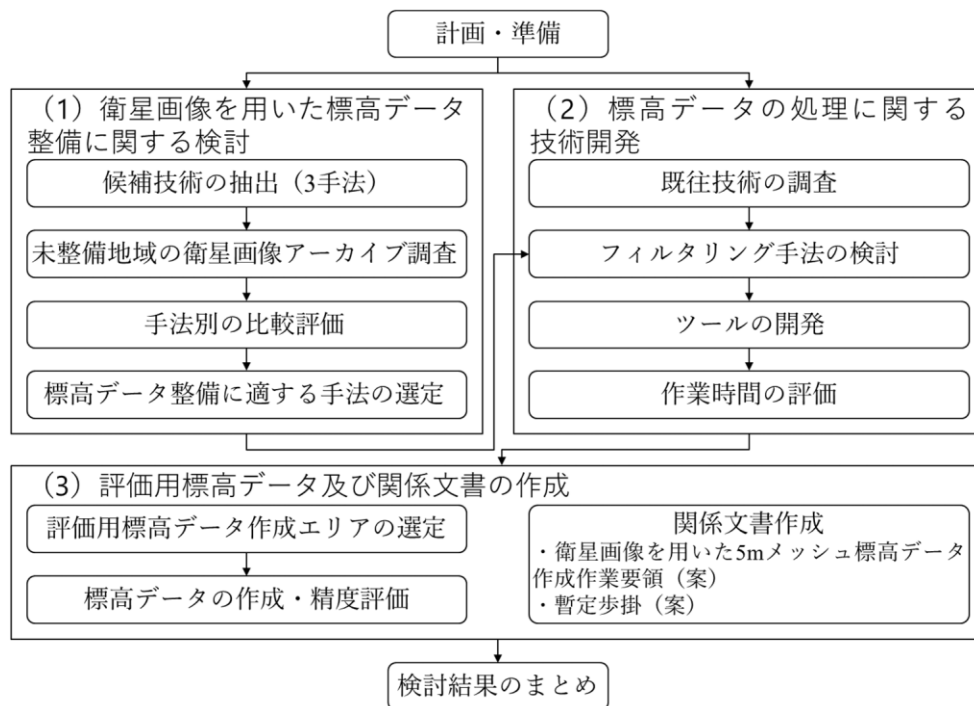


図-1 本技術開発の実施フローと各検討項目の概要

本技術開発で作成する標高データの高さ精度は、RMS 誤差 1.4 m 以内（DEM5C と同程度）から 3.0 m 以内を目標とした。作成した評価用標高データの精度検証は既存の DEM5A との比較により行う。このため検証地域は DEM5A が整備済みであること、5m メッシュ DEM 未整備地域と類似する地理的条件を有すること及び各種衛星画像のアーカイブデータが存在することを考慮し、図-2 に示す北海道渡島半島の江差町周辺を設定した。次章以降では、当該検証地域に対する上記（1）から（3）の各項目の検討結果を述べる。

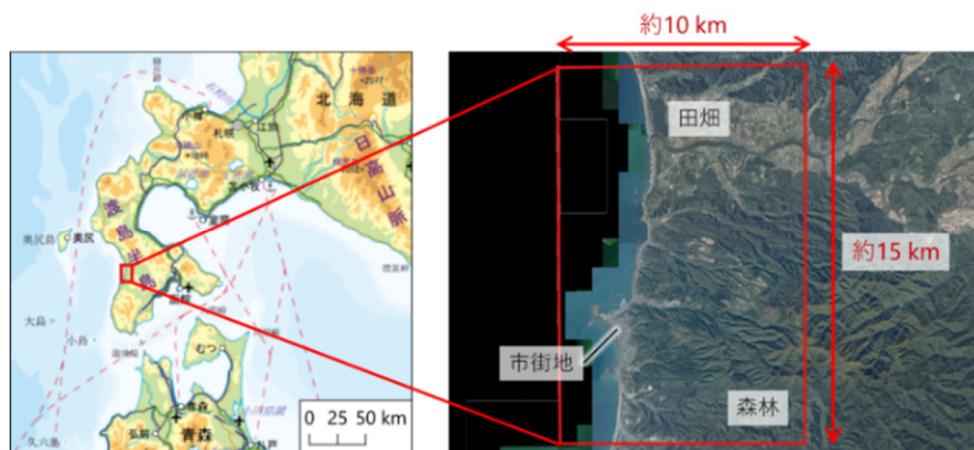


図-2 本技術開発の検証地域：北海道江差町周辺（背景：地理院地図）

3. 衛星画像を用いた標高データ整備に関する検討

現在利用可能な衛星画像及び標高データ整備技術の組合せの中から、(A) 高分解能光学衛星画像を用いたステレオマッチング、(B) 高頻度で撮像できる小型光学衛星画像を用いた SfM / MVS による 3 次元形状復元計算、(C) SAR 衛星画像を用いた干渉 SAR (InSAR) による標高推定の 3 手法を選定し、

標高データの整備に関する検討を実施した。各手法に対して、得られる標高データの精度、衛星画像アーカイブデータの入手可能性及び標高データ整備に要する想定コスト（衛星画像の購入コスト及び人的コスト）を調査し、比較評価を行った。

3.1 標高データ整備手法の比較

上記（A）から（C）の3手法での比較結果を表-1に示す。なお、比較条件が完全には同一でない場合もあるため、本稿においては定性的な評価として記載した。

表-1 衛星画像を用いた標高データ整備手法の比較結果

手法	使用した衛星の 名称	高さ精度 (DSM)	衛星画像の 入手可能性	衛星画像の 購入コスト	人的コスト (作業時間)
(A) ステレオ マッチング	SPOT 衛星 Pléiades 衛星	○	○	○	△
(B) SfM / MVS	SkySat 衛星	○	○	×	○
(C) 干渉 SAR	TerraSAR-X 衛星 ALOS-2 衛星	×	△	○	○

手法（A）では、作成する 5m メッシュ DEM の位置精度及び高さ精度を満たすために高分解能の光学衛星画像を使用することとした。分解能 1.5 m の SPOT と分解能 0.5 m の Pléiades の 2 衛星を選定し、撮影された画像をステレオマッチングに用いた。SPOT 衛星画像は Pléiades 衛星画像と比較して分解能が低いものの、5m メッシュ DEM 未整備地域におけるアーカイブ画像がより多く存在する。人的コストの面では他手法に比べ、空中三角測量の際の手作業をやや多く要した。

手法（B）では小型衛星コンステレーションの利点の一つである高頻度観測に注目し、多数の画像が必要な SfM / MVS 処理を実施した。2026 年 3 月までに合計 21 機が打ち上げられている小型衛星コンステレーションであり、分解能が約 0.6–0.9 m である SkySat 衛星を選定した。SfM / MVS 処理の結果、重複するシーン数が多い範囲では 3 次元点群データが生成されたが、重複シーン数が少ない範囲では点群が生成されず、又はノイズが多く発生した。標高データの欠損や異常値を抑えつつ高さ精度を確保するには、特徴点マッチングに適した撮影条件の画像 10 シーン以上が必要であると見られた。後述のとおり、手法（A）では衛星画像 3 シーン以上で標高データ作成が可能と評価したことから、SfM / MVS 処理の手法は衛星画像の購入コストの面で不利であると判断した。

手法（C）では光学衛星とは異なり、電波（マイクロ波）を自ら照射しその反射情報を用いる SAR の方法を検討した。マイクロ波の波長が異なる TerraSAR-X と ALOS-2 の 2 衛星の SAR 画像からそれぞれ標高データ作成を試行した。TerraSAR-X は解像度が 1–2 m（Spotlight モード）と高いが、植生の影響を受けやすい X バンド（波長約 3 cm）を用いており、本検討でも森林や田畑等の植生域では干渉画像が得られなかった。ALOS-2 は解像度が 3 m（Stripmap モード）であるが、L バンド（波長約 24 cm）であることから植生の影響を受けにくい。干渉処理の結果、ALOS-2 衛星画像では全域で標高データが得られたが、標高値の RMS 誤差は数十メートルと他手法に比べ大きく劣っていた。衛星の軌道間距離が長く取れば高さ精度の改善が期待できるが、一般に、ALOS-2 を含む大型の SAR 衛星は差分干渉処理や時系列解析のため軌道間距離が短くなるよう軌道制御されている。そのため、軌道間距離の長い観測ペアの入手には時間を要する可能性がある。一方、撮影日間隔が離れることでコヒーレンスが低下し、欠損値の増加など標高データの品質が低下することも考慮する必要がある。以上により、干渉 SAR の手法は標高データの高さ精度及び品質確保の観点で難があると評価した。

表-1 の比較結果から，衛星画像を用いた標高データ整備には，高分解能光学衛星画像を用いたステレオマッチング（手法（A））が最適であると判断した．次節では，手法（A）のうち Pléiades 衛星画像を用いた標高データの作成及び精度検証結果について詳述する．

3.2 Pléiades 衛星画像を用いたステレオマッチングの詳細

光学衛星画像を用いたステレオマッチングのため，検証地域において Pléiades 衛星 6 シーン分のパンクロマチック画像とマルチスペクトル画像（青，緑，赤及び近赤外の 4 バンド）を用意した．標高データはパンクロマチック画像を基に，写真測量ソフトウェアを使用して次の i. から iv. の手順で作成した．なお，ステレオマッチングで得られる標高データは建築物や樹木等の高さを含んだ数値表層モデル（Digital Surface Model，以下「DSM」という．）である．マルチスペクトル画像は後述の NDVI（正規化植生指数）算出や水部の判読等に用いた．

- i. 地理院地図（オルソ画像）から画像基準点を 4 点取得した．また，衛星画像 6 シーン間でタイポイントを自動発生させ，目視による選点を行った．
- ii. 取得した画像基準点とタイポイントを用いて空中三角測量を実施した．
- iii. 空中三角測量後の衛星画像間において，自動標高抽出により複数（計 15 ペア分）の DSM を作成した．
- iv. 各 DSM から異常値やノイズと見られる外れ値を除去した上で，高さの平均値を取得し，最終的な DSM を得た．なお，作成した DSM（以下「PléiadesDSM」という．）のメッシュサイズは経緯度 0.08 秒（約 2 m）間隔と 0.2 秒（約 5 m）間隔とで出力を行った．

作成した 2m メッシュ PléiadesDSM の一部を図-3 に示した．今回は衛星画像 6 シーン（15 ペア）を使用することでほとんど欠損値のない DSM が得られたが，山間部や建築物の陰などの隠蔽領域（オクルージョン）や被雲などによる標高データの欠損の発生を軽減するためには，3 シーン（3 ペア）以上の衛星画像が必要であると評価した．

PléiadesDSM の高さ精度の検証を行うため，検証点と作成した DSM の較差（PléiadesDSM の標高値－検証点の DEM5A 標高値）を求めた．検証点は地理院地図（ズームレベル 17）に表示されている標高点又は基準点とし，図-2 の地域から約 100 点を取得した．衛星画像から作成した DSM は森林域とそれ以外の地域で精度に差が生じることが考えられたため，検証点の土地被覆は地理院地図（オルソ画像）上で確認し，検証対象を森林域と森林域以外（草地，裸地及び道路）に区分した．検証点との較差の評価結果を表-2 に示す．裸地や道路等の地表高は捉えられている一方，森林域での大幅な精度低下は樹高の影響が考えられ，森林域を中心にフィルタリング手法の検討を行う必要があることが確認された．

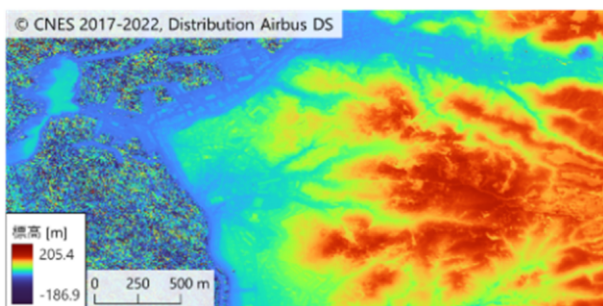


図-3 PléiadesDSM の一部（江差町役場付近）

表-2 検証点との較差の評価結果

	森林域以外	森林域
較差の平均	-0.56 m	10.82 m
較差の RMS 誤差	0.88 m	11.41 m

※2m メッシュ PléiadesDSM の楕円体高を「ジオイド 2024 日本とその周辺」により標高値へ変換して比較した．以後同様である．

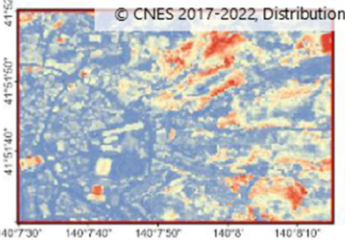
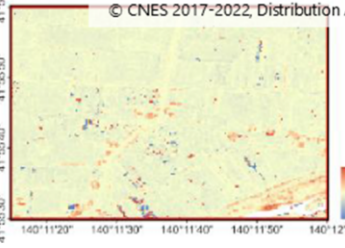
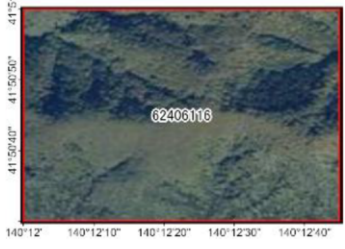
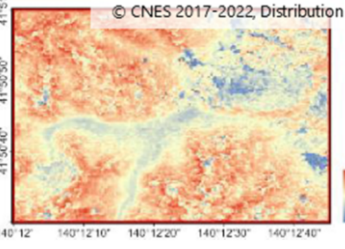
4. 標高データの処理に関する技術開発

前章で検討された、Pléiades 衛星画像を用いたステレオマッチングにより生成される PléiadesDSM を入力として、DEM を効率的に整備するためのフィルタリング手法の検討及び技術開発を行った。

4.1 地域特性ごとの PléiadesDSM 差分の評価

フィルタリング手法の検討に先立ち、PléiadesDSM と DEM5A の地表高との差分を地域特性ごとに評価した。地域特性の分類は、市街地、田畑及び森林域の 3 種とし、検証地域からこれらの特性を主として含む 3 次メッシュ各 1 面を選定した。表-3 に、地域特性ごとの PléiadesDSM と DEM5A との差分の分析結果を示した。

表-3 地域特性ごとの PléiadesDSM と DEM5A との差分

主な地域特性	地理院地図（オルソ画像）	差分の分布	差分の評価
市街地			平均 : 4.74 m RMS 誤差 : 7.10 m 人工構造物のフィルタリングが必要である。
田畑			平均 : -0.79 m RMS 誤差 : 3.97 m マッチングノイズが目立つ。
森林域			平均 : 17.43 m RMS 誤差 : 19.06 m 地表面に到達している点がほとんどない。

地域特性ごとの差分評価の結果、マッチングノイズの発生傾向や PléiadesDSM の地表面への到達度が特性により異なることが確認された。特に、密な森林域では地表面へ到達した点がほとんど見られなかった。これらを踏まえ、フィルタリングは地域特性ごとに手法の評価、検討を行うこととした。

4.2 既存フィルタリング手法の検討

次に、航空レーザ測量における既存のフィルタリング手法を PléiadesDSM に適用し、精度検証を実施した。検討した手法は、3次元点群処理ソフトウェア（以下「点群処理ソフト」という。）を用いた自動・手動フィルタリング及び Progressive Morphological Filter（以下「PMF」という。）によるフィルタリングの二つである。点群処理ソフトとして、本検討では Terrasolid 社の TerraScan を用いた。また、

PMF (Zhang et al., 2003) とは、二値画像の形状を変形・強調する演算処理である Morphological Filter を 3 次元点群に対して拡張し開発された、LiDAR データから地表点を自動抽出する手法である。上記 2 手法についてそれぞれ 3 次メッシュ 5 面程度を選定し、PléiadesDSM のフィルタリングを試行した。さらに、地域特性ごとの精度を検証するため、図-4 のように目視による分類を実施した。フィルタリング後の標高データと DEM5A との差分を算出し、分類した地域特性ごとに RMS 誤差により精度を評価した。精度評価及びフィルタリング手法間の比較の結果を表-4 に示す。

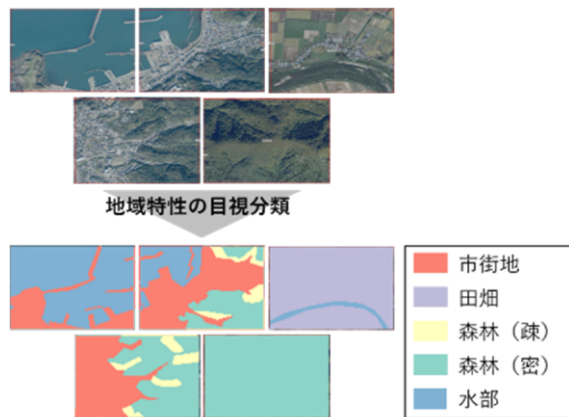


図-4 地域特性の分類の概略図

表-4 既存フィルタリング手法での精度評価・比較

地域特性	差分の RMS 誤差	
	点群処理ソフト	PMF
市街地	1.80 m	2.28 m
田畑	1.26 m	1.58 m
森林（疎）	3.08 m	3.99 m
森林（密）	5.37 m	15.76 m

※異なる 3 次メッシュ間での比較も含まれている。

フィルタリング後の精度を地域特性ごとに評価した結果、市街地や田畑では DEM5A との差分の RMS 誤差が 3.0 m 以内となったが、森林域では RMS 誤差が 3.0 m を超えた。また、フィルタリング手法間の精度を比較すると、全ての地域特性において点群処理ソフトが PMF より RMS 誤差が小さく、高い精度を示した。この差異について、PMF によるフィルタリングでは大規模建築物等が十分に除去されずに残存している箇所が確認された一方、点群処理ソフトを用いたフィルタリングでは目視修正を併用することで、市街地における大規模建築物等も適切に除去できていた。以上により、精度面での課題が残る森林（密）を除く地域特性については、点群処理ソフトを用いたフィルタリング手法を採用し、以降の検討を行うものとした。森林（密）地域については次節で追加の検討結果を述べる。

4.3 森林（密）地域におけるフィルタリング

4.3.1 森林域のフィルタリング手法検討と評価

密な森林域については、樹木の影響を受けることで地表面の直接観測が難しいため、航空レーザ測量における既存の手法では高精度のフィルタリングが困難であることが分かった。そこで本検討では、樹高を推定し間接的に地表高を得る、又は補足ポイントを追加し既存データを補完するという二つのアプローチにより森林域の DEM 作成を試みることにした。これらのアプローチに基づき、五つの手法による森林域のフィルタリングを検討した。5 手法の概要と評価結果は表-5 のとおりである。

表-5 試行した森林域のフィルタリング手法概要と評価結果

手法概要	アプローチ	主な課題	RMS 誤差	評価
(a) PléiadesDSM と DEM10B による樹高推定	樹高推定	実質的に DEM10B を再生成する構造となり、改善しない	8.41 m	精度改善は限定的
(b) JAXA 樹高データを用いたフィルタリング	樹高推定	谷部での過小評価、時期差・整備範囲の制約	7.62 m	一部改善するが谷部で誤差大
(c) PléiadesDSM と DEM10B の混合点群への PMF 適用	補足ポイント追加	地表点不足を解消できず、地表到達点の欠如が残る	14.7–18.8 m	精度が低く有効性は限定的
(d) 立体視による等高線及びブレイクラインの導入	補足ポイント追加、樹高推定	図化誤差（約 7 m）と図化不良箇所あり	-	精度確保が困難
(e) 機械学習（ランダムフォレスト回帰）による樹高推定	樹高推定	未知領域での精度低下、NDVI 低値領域で誤差残存	3.96 m	最も良好で実用性が高い

手法（a）では、まず PléiadesDSM と DEM10B の差分を取り、ローパスフィルタによる平滑化処理を施したものを推定樹高とする。その後、PléiadesDSM から推定樹高を差し引くことで、DEM の作成を試みた。作成した DEM は DEM10B の誤差をそのまま踏襲するような精度を示した。これは、本処理フローにフィルタ工程を含むものの、その性質上、最終的には DEM10B を生成するフローと同義であるためである。このため本手法では精度の改善効果は限定的であると判断した。

手法（b）では、宇宙航空研究開発機構（JAXA）地球観測研究センター（EORC）が公開している、複数の衛星観測データから日本全国の樹高を 10 m 解像度で推定した樹高マップ（以下「JAXA 樹高データ」という。）を利用した。PléiadesDSM から JAXA 樹高データを差し引いて得た DEM を評価したところ、尾根部では一定の改善が確認できたが、谷部周辺では DEM5A より高い標高値を示す傾向が強かった。このことから、JAXA 樹高データが谷部で樹高を過小評価している、又は PléiadesDSM が谷部を過大評価している可能性が考えられる。また、データ作成時期の差異による土地被覆の改変（伐採等）が精度に影響している箇所も確認された。作成時期差や JAXA 樹高データの整備範囲による制約等を考慮すると、本手法は単独で高精度な地表推定を行う手法としては限界があると評価した。

手法（c）では、PléiadesDSM に地表面情報を補完するため DEM10B の標高点を混合し、この混合点群データを入力として PMF によるフィルタリングを再試行した。本手法は前節での PMF から一定の改善効果を示したが、DSM から地表点を得られない根本的課題を解消するには至らず、実用的手法としての有効性は限定的であると判断した。

手法（d）では、DEM10B を基に作成した尾根線・谷線を参照しながら、Pléiades 画像ペアを用いた立体視により谷線、標高点及び林相の代表樹高を図化し、これらのデータを基に DEM の作成を目指した。だが、谷線及び標高点の図化精度を DEM5A と比較したところ、標準偏差で約 7 m の誤差が確認され、地表面を立体視で図化できていない不良箇所が一部存在することが分かった。このため本手法は補助的手段としての可能性はあるものの、高精度な地表取得としての実用性は低いと判断した。

表-5 のとおり，森林（密）地域に対するフィルタリング手法（a）から（d）はいずれも地表推定精度の十分な改善には至らなかった．一方，機械学習による樹高推定（手法（e））は，地形・植生など複数の特徴量を用いて間接的に樹高を推定することで，既存手法の限界要因を補完し，最も良好な地表推定精度を示した．手法（e）については次項でより具体的に述べる．

4.3.2 機械学習による樹高推定

PléiadesDSM のフィルタリングにおける樹高推定手法として，機械学習の活用を検討し，ランダムフォレスト（Breiman, 2001）回帰を採用した．ランダムフォレスト回帰とは，複数の決定木を構築し，それらの予測の平均を最終予測とする手法である．各決定木は学習時に特徴量の一部をランダムに抽出して構築されるため，非線形データに対する適応力が高いこと，特徴量間の相互作用を自動的に考慮できること及び過学習に対して比較的強い耐性を持つことがランダムフォレスト回帰のメリットとして挙げられる．最終的な樹高推定モデルの機械学習に用いたパラメータ等は，表-6 のとおりである．

ランダムフォレスト学習の前処理として，PléiadesDSM のノイズ・異常標高値の除去を行った．具体的には表-6 のとおり，標高値（Z 値）が一定の範囲外である点の除去及び SOR（Statistical Outlier Removal（Rusu et al., 2008），統計的外れ値除去）フィルタの適用を実行した．

学習地域（正解データ作成箇所）の選定に当たっては，k-medoids 法（Kaufman and Rousseeuw, 1987）によるクラスタリングを実施した．k-medoids 法は，クラスタ内の代表点として実データから「メドイド（他点との距離が最も小さい点）」を選択する手法であり，外れ値に強く実際の分布特徴を保持しやすいという利点がある．検討の結果，メドイド（本検討では，クラスタ数 $k=2$ ）及び主成分分析における第 1 成分（PC1）の最大・最小側の両端点に該当する地域を学習に用いることとした．PC1 の両端点は，本手法の場合，地形条件の極端なパターン（急斜面及び緩斜面等）に相当する．選定した地域の樹高の正解データは PléiadesDSM - DEM5A とした．

ランダムフォレストで推定する量（目的変数）は 5m メッシュの DCHM（Digital Canopy Height Model, 数値樹冠高モデル）であり，表-6 のように地形・植生を表す複数の特徴量を説明変数とした．なお，NDVI（Normalized Difference Vegetation Index, 正規化植生指数）とは植生の活性度を示す指標であり，マルチスペクトル衛星画像の近赤外バンド及び赤色バンドの値を用いて計算できる．NDVI が低い地域では予測の誤差が大きかったことから，樹高推定結果を参照しないよう設定するなどの後処理を実施した．

表-6 樹高推定モデルの機械学習に用いたパラメータ等

項目		内容
前処理		・ Z 値フィルタ ($-10\text{ m} < Z < 1,000\text{ m}$) ・ SOR フィルタ (近傍点数 $k = 20$, 標準偏差の倍率 $\alpha = 0.6$)
学習地域 選定	クラスタリング 説明変数	・ DEM10B ・ Slope10m : DEM10B から算出した傾斜角度 ・ $\sin(\text{Aspect10m})$: DEM10B から算出した傾斜方位の正弦 ・ $\cos(\text{Aspect10m})$: DEM10B から算出した傾斜方位の余弦
	選定方針	クラスタ代表 (k -medoids, $k = 2$) と PC1 の最大・最小側
ランダム フォレスト 学習設定	目的変数	DCHM (5m)
	特徴量 (説明変数)	・ DCHM (10m) = PléiadesDSM - DEM10B ・ Slope10m : DEM10B から算出した傾斜角度 ・ $\sin(\text{Aspect10m})$: DEM10B から算出した傾斜方位の正弦 ・ $\cos(\text{Aspect10m})$: DEM10B から算出した傾斜方位の余弦 ・ NDVI (中央値) : 衛星画像 6 シーンの NDVI の中央値
	学習設定 (ハイ パーパラメータ)	・ 決定木の数 : 200 ・ 木の最大深さ : 10
後処理		・ NDVI が 0.6 未満の地域では, 樹高推定結果を参照しない ・ NDVI が 0.6 以上かつ予測された地表高と DEM10B との差の絶対値が 20 m 以上のポイントは, ノイズとして除外する ・ TIN (2 m) タイル補間 ・ 欠損値の穴埋め (最近傍補間) ・ スムージング処理 1) モルフォロジー演算による微凹凸のスムージング 2) Guided Filter (エッジ保持平滑化) による平滑化 3) 異方性拡散処理による平滑化 ・ リサンプリング処理 (5 m)

樹高推定モデルによるフィルタリングの結果, DEM5A との差分の RMS 誤差は 3.96 m となった. 一方, 本検証で使用したデータは特定地域における植生構造や地形条件に限定されており, 樹種構成や樹冠密度などの多様性を十分には網羅していない. このため, 今後はより多様な地域において樹高推定を実施し, 本モデルの汎用性と適用限界を検証する必要がある. 具体的には, 植生構造や地形条件の異なる複数地域において本モデルを評価し, 諸条件の類似した地域においては安定した推定精度が得られるかを確認すること, 条件の大きく異なる地域では追加的に学習データを取得し, 新たにモデルを構築・検証すること等が重要となる. 以上により, 本項で検証した手法は有効ではあるものの, 植生・地形条件の多様性を考慮した追加検討が不可欠であり, 樹高推定モデルの精緻化には更なる地域拡張及び学習データの蓄積が求められる.

4.4 標高データ処理工程の小括

森林域に対するフィルタリングでは, 機械学習による樹高推定を適用した後も, ノイズや植生指数

のしきい値処理の影響により局所的なばらつきが残存する場合があった。そこで、機械学習による地表高推定結果と元の PléiadesDSM をオリジナルデータ（LAS 形式）として混合し、点群処理ソフトによるフィルタリング作業に供する統合的なフローを構築した。標高データ処理フロー全体の概略図を図-5 に示す。点群処理ソフトによるフィルタリング手順は 4.2 節と同様であるが、手動修正の際、森林域では樹高モデルの結果を優先し、森林域の外では PléiadesDSM 由来の点群を優先する方針とした。

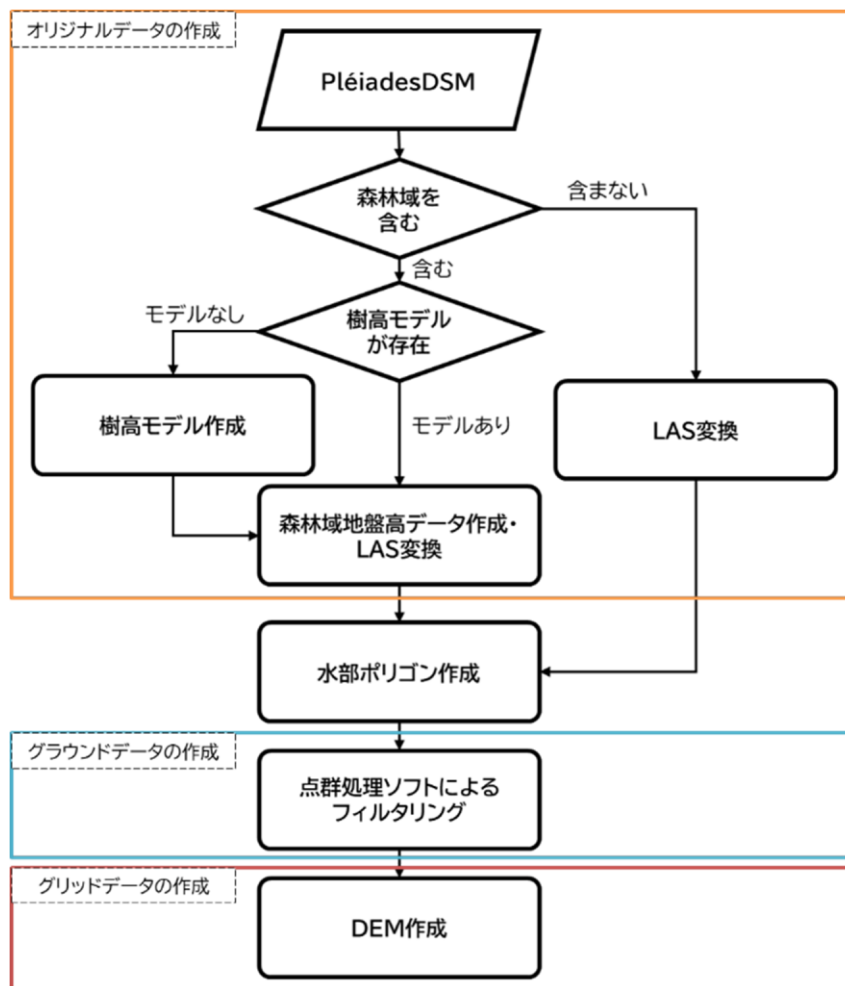


図-5 標高データの処理フロー

本章の技術開発成果として、標高データの自動処理に係る部分についてツールを作成した。当該ツールのうち、樹高モデル及び森林域地盤高データ作成の部分は Python ベース、点群処理ソフトの自動フィルタリングに関する部分は TerraScan のマクロファイル形式とした。また、開発した手法によるフィルタリング処理に要する作業時間を地域特性ごとに評価した。

5. 評価用標高データ及び関係文書の作成

前章までに開発した標高データ整備技術を用いて、北海道江差町周辺で対象範囲を設定し、5m メッシュ DEM の評価用標高データ（以下「評価用 DEM」という。）の作成を実施した。作成した評価用 DEM と既存の DEM5A との比較を実施し、高さ精度（RMS 誤差）及び地域特性別の誤差傾向を評価した。また、標高データ作成工程と検証結果を踏まえ、「衛星画像を用いた 5m メッシュ標高データ作成作業要領（案）」を作成した。さらに、Pléiades 衛星画像を用いたステレオマッチング手法及び図-5

の標高データ処理フローにかかる人的コスト（作業時間）について、本検討での実績値を基に「暫定歩掛（案）」として地域特性ごとに整理した。本章では、評価用 DEM の精度検証結果を述べる。

評価用 DEM の作成対象範囲は、図-2 の検証地域から地域特性のバランス等を考慮し、3 次メッシュ 42 面（陸地面積約 30 km²）を選定した。使用した衛星画像は 3.2 節と同じ Pléiades 衛星画像 6 シーンである。対象範囲を図-6 に、これまでに述べた手法で評価用 DEM を作成した結果を図-7 に示した。

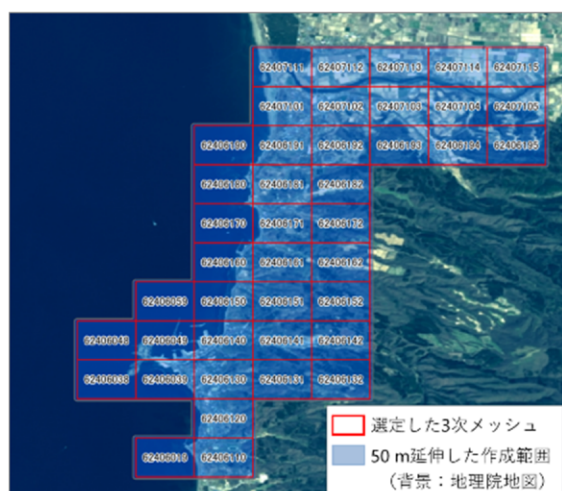


図-6 評価用 DEM の作成対象範囲

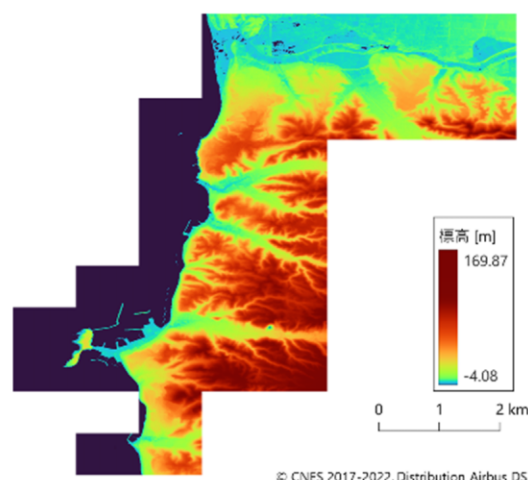


図-7 衛星画像を用いて作成した評価用 DEM

最後に、対象範囲で作成した評価用 DEM の精度検証を行った。検証に当たり、評価用 DEM と既存の DEM5A との差分を求めた。算出した差分を図-8 に、差分のヒストグラムを図-9 に示す。この差分情報を用いて対象範囲全域で計算した RMS 誤差は 2.70 m であった。

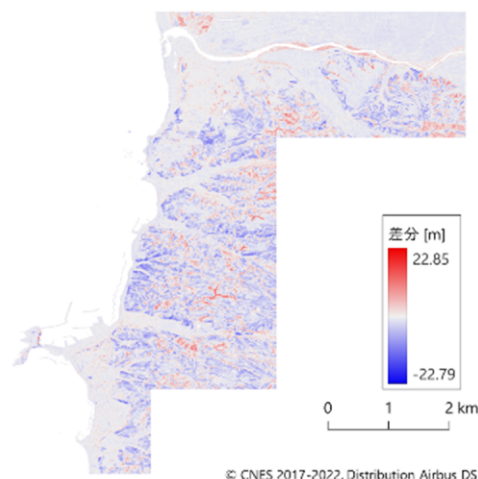


図-8 評価用 DEM と DEM5A との差分

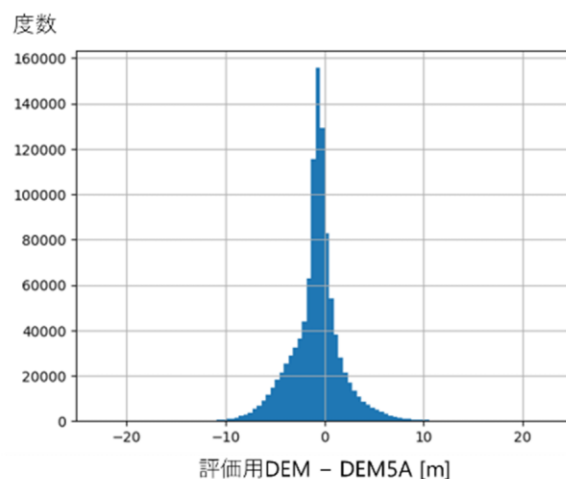


図-9 差分のヒストグラム

さらに、地域特性ごとに精度を評価するため、評価用 DEM の作成対象範囲を図-10 のように市街地、田畑、森林（疎）及び森林（密）の 4 区分に目視により分類した。地域特性ごとに算出した RMS 誤差は表-7 のとおりであった。市街地及び田畑においては RMS 誤差が DEM5C と同程度の 1.4 m 以内を達成した。一方、森林域では RMS 誤差が目標とした 3.0 m を 40 cm 程度超える結果となった。

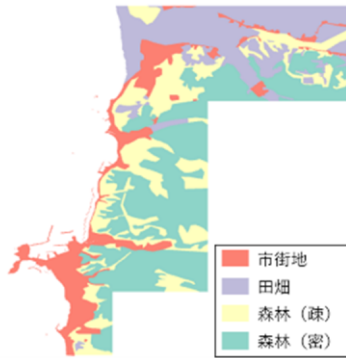


図-10 評価用 DEM 作成対象範囲の地域特性分類

表-7 地域特性ごとの評価用 DEM 精度検証結果

地域特性	差分の RMS 誤差
市街地	1.19 m
田畑	1.14 m
森林（疎）	3.12 m
森林（密）	3.40 m

6. まとめと展望

本稿では、衛星画像を活用した 5m メッシュ標高データの整備に係る技術的な可能性の検証結果について報告した。衛星画像を用いた標高データ整備に関する検討（3 章）においては、3 手法の比較・評価の結果、Pléiades 衛星画像を用いたステレオマッチングが実用性と精度の両立という点で優れた手法であると判断した。標高データの処理に関する技術開発（4 章）では、地域特性ごとに PléiadesDSM の効率的なフィルタリング手法を検討した。市街地、田畑及び森林（疎）の地域については点群処理ソフトによる既存の自動・手動フィルタリング手法が安定して地表面を推定できることが確認された。一方、森林（密）地域では、地表点がほとんど得られないために従来の手法では十分な精度を確保できないことが明らかとなった。この課題に対し、複数の特徴量から樹高を推定する機械学習（ランダムフォレスト回帰）の手法を開発した。本技術開発の成果として、機械学習による森林域の推定地表高と点群処理ソフトによる自動・手動フィルタリングを組み合わせた標高データの処理フローを構築した。評価用標高データ及び関係文書の作成（5 章）では、北海道江差町周辺の対象範囲約 30 km²において、既存の DEM5A との比較により高さ精度及び地形特性ごとの誤差を検証した。その結果、評価用 DEM の全域における RMS 誤差は 2.70 m となり、目標とした RMS 誤差 3.0 m 以内を達成した。一方、森林域については、機械学習モデルの導入により作業時間の短縮効果は得られたものの、高さ精度の観点では課題が残る結果となった。最後に、検討結果を基に関係文書として「衛星画像を用いた 5m メッシュ標高データ作成作業要領（案）」及び「暫定歩掛（案）」を取りまとめた。

以上により、衛星画像を用いた 5m メッシュ標高データ整備は、航空レーザ測量及び空中写真測量による従来手法を補完し、5m メッシュ DEM 未整備地域に適用できる可能性を示した。一方で、植生状況や急な地形変化に伴う精度劣化などの技術的課題も確認された。衛星画像を活用した 5m メッシュ DEM 整備の実用化に向け、機械学習モデルの最適化、植生や地形状況の異なる他地域への適用可能性などを引き続き追加検証していく。

参考文献

- Breiman, L. (2001): Random Forests, Machine Learning, 45, 5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- Kaufman, L. and Rousseeuw P.J. (1987): Clustering by Means of Medoids, Data Analysis based on the L1-Norm and Related Methods, 405–416.
- Rusu, R.B., Marton, Z.C., Blodow, N., Dolha, M., and Beetz, M. (2008): Towards 3D Point cloud based object maps for household environments, Robotics and Autonomous Systems, 56(11), 927–941.
doi:10.1016/j.robot.2008.08.005

宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター ALOS 利用研究プロジェクト担当 (2016) : データセット | ALOS@EORC ホームページ (高解像度森林地上部の炭素蓄積量・バイオマス・材積・樹高), https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/biomassmap/japan_biomassmap_j.htm (accessed 31 Mar. 2026).

Zhang, K., Chen, S.C., Whitman, D., Shyu, M.L., Yan, J., and Zhang, C. (2003): A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4), 872–882. doi:10.1109/TGRS.2003.810682