

国土地理院 5m 数値標高モデルの精度はどの程度か？

－作成方法と地形の影響－

津田 高明

はじめに ー国土地理院の「数値標高モデル」とはー

林業の効率化を目指したスマート林業の取組みが全国で進められていますが、この取組みのひとつに、数値標高モデル(Digital Elevation Model, 以下「DEM」)の活用があります。DEMは地表面の標高をデジタル形式で表現したデータで、これを解析することで森林作業に必要な路線図の作成や、無人航空機等から得られる数値表層モデル(Digital Surface Model, 以下「DSM」)と組み合わせることで樹高の推定が出来ます(図-1)。

DEMは無人機を含めた航空機から得られる航空写真やレーザ測定の結果を基に作成されますが、一番手軽に利用できるものとして国土地理院が公開しているDEMがあります。無償で利用でき、かつ広範囲に整備されているのが特長です。国土地理院のDEMはサイズの異なる2種類のメッシュがあり、全国を網羅した10mメッシュ(DEM10B)と、取得範囲が限られるが高精度な5mメッシュがあります。さらに、5mメッシュDEMには航空レーザ測量を基に作成されたもの(DEM5A)、地上画素寸法20 cmの航空写真から作成されたもの(DEM5B)、地上画素寸法40 cmの航空写真から作成されたもの(DEM5C)の3種類があります(国土地理院 2022)。5mメッシュDEMは、北方四島を除く北海道の土地面積の37%をカバーしており、DEM5Aが最も広く、DEM5Cは主に森林域をカバーしています(図-2)。

国土地理院メッシュ DEM の標高精度

国土地理院DEMの標高精度に関する報告を表-1に示します(国土地理院 2022)。DEMの概略的な精度については国土地理院から公表されており、5mメッシュのDEMのうち最も精度が低いDEM5Cは10mメッシュのDEM10Bよりも3倍強の精度の高さがあります。また、航空レーザ測量から作成されたDEM5AはDEM5Cの約4倍程度の精度の高さがあり、同じ5mメッシュのDEMでも作成方法で標高精度が異なっている状況です。

別の報告では、国土地理院とは別の事業で得た航空レーザ測量より作成した0.5~1.0mメッシュDEMと、国土地理院のDEM5A, 5B, 10Bを比較した場合、DEM5Aは国土地理院の公表値と同程度の誤差だったものの、DEM5Bでは5m以上の誤差の出現割合が18%、DEM10Bでは同13~28%ありました(古屋・齋藤 2022)。DEM10Bについては、別の報告例でも平均6~13mの誤差がみられています(齋藤 2012; 蝦名 2022)。このように、国土地理院のDEMといっても、基にしたデータや作成方法により、標高の精度に大きな違いがあります。

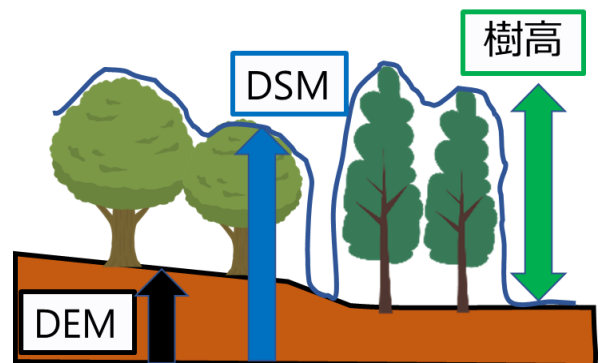


図-1 DEM と DSM を利用した樹高計測の仕組み

DSM(樹冠を含む表層の標高データ)からDEM(地表面の標高データ)の差分を取ることで、樹高が計算できる。

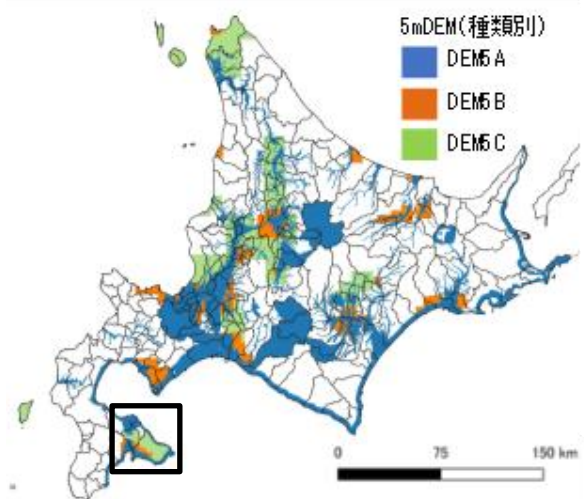


図-2 国土地理院 DEM の北海道での整備状況

図中の黒枠は、調査対象地を示す。

表-1 国土地理院 DEM の標高精度に関する報告

DEM(作成方法)	国土地理院※1	古家・齋藤(2022) ※2	齋藤 (2012) ※3	蝦名 (2022) ※4
DEM5A (レーザ測量)	0.3m 以内 (計測点なし 2.0m)	全て 2.0m 以内	-	-
DEM5B (写真 20cm)	0.7m 以内 (対 標高点)	誤差 \geq 5m の出現割 合 : 18%	-	-
DEM5C (写真 40cm)	1.4m 以内 (対 標高点)	-	-	-
DEM10B (等高線)	5.0m 以内 (対 標高点)	誤差 \geq 5m の出現割 合 : 13~28%	6.02m (実測との誤 差の平均値)	13m (実測との誤差 の平均値)

※1 : 国土地理院が公表している標高精度 (標準偏差) 国土地理院(2022)

※2 : 古屋・齋藤(2022)の分析結果

※3 : 齋藤(2012)の分析結果

※4 : 蝦名(2022)の分析結果

5mDEM の標高精度には何が影響? - 作成方法と地形 -

林業の分野でDEMを利用する場合は、実際の地形とDEMとの誤差を考慮して、目的を達成可能か判断する必要があります。DEMの誤差に関する既往の報告では地形との関連が指摘されており、尾根や谷部、それらに隣接する斜面位置で誤差が大きかったと報告されています(古屋・齋藤 2022)。しかし、これらの地形区分で誤差が大きかった要因、すなわち、DEMで再現できていない地形の特長は具体的には明らかにされていませんでした。そこで、標高精度と地形状況等の関連を把握するため、作成方法の異なる3種類の5mDEMの標高精度を、現地での測量結果と比較しました。

調査は北海道南部の亀田半島にある北海道渡島東部道有林にて(図-2の黒枠内で囲った箇所)、2022年8月24-25日に測量調査を行いました。5mDEMの種類毎に1箇所ずつ選定し、DEM5Aはトドマツ人工林、DEM5Bはブナ林、DEM5Cは植栽されたトドマツの低木林とブナ林が接する箇所を対象としました。各DEMは全て2016年に作成されています。また、DEM5Aは2012年に国土地理院が実施したレーザ点密度0.3点/m²のレーザ測量から作成されています。測量調査では、全球測位衛星システム(Global Navigation Satellite System, 以下「GNSS」)受信機(R2, Trimble社)を設置して緯度経度及び標高を取得した後、そこからレーザ距離計(Trupulse360R, Laser Technology社)を用いて10mおきに測点を設定し、測点間の距離と方位から緯度経度と標高を取得しました。さらに、測点を得た進行方向と直角する形で測線を設置し、5mおきに緯度経度と標高を取得しました(図-4, 5, 6, 各測線にはLから始まる番号を設定)。各調査地での測点数は、DEM5AとDEM5Cで75点、DEM5Bで65点としました。そして測量結果の標高を真値として、DEMの数値との差分を計算することによりDEMの誤差を算出しました。

各5mDEMの誤差分布を図-3に示します。誤差の指標であるRMSE(二乗平均平方根誤差)は、DEM5Aで

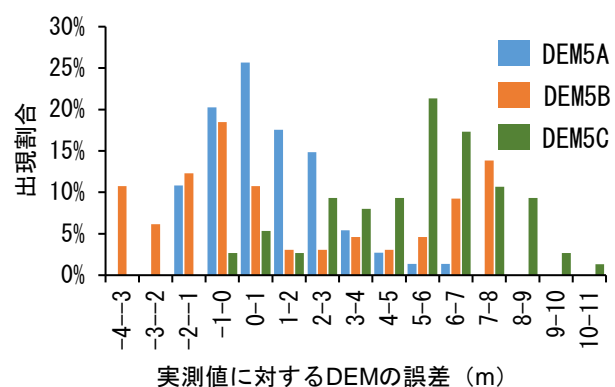


図-3 各 DEM における標高誤差の分布
津田・滝谷 (2023) より作成

1.93m, DEM5Bで4.02m, DEM5Cで5.81mであり, レーザ測量を基にしたDEM5Aが最も精度が高い結果でした。誤差分布をみると, DEM5Aでは-2.0~+2.0m以内に集中していました。DEM5Bでは-2.0~+2.0mの出現割合が高いものの, +6.0~+8.0mの出現割合も高い分布でした。DEM5Cは+5.0~+7.0mの出現割合が高い分布でした。以上から, レーザ測量から得たDEM5Aは写真測量から得たDEMよりも精度が高かったといえます。森林地帯など地表が直接見えない箇所の標高については, 写真測量では樹木の樹高を勘案して取得するのに対し, レーザ測量は植生を透過し直接的に標高を取得できるため, 写真測量よりも細かい地形を捉えやすいと報告されています(一社)日本林野測量協会 2018)。この標高の取得方法の違いが標高精度の違いに反映されたと考えられます。

DEM5Aにおける測点別の誤差の絶対値と, 測線L3及びL13の横断面を図-4に示します。各測点の絶対誤差は2.0m以内が多いものの, L10-L15の東側にて4.0m以上の測点が見られました。誤差が小さかったL3と, 誤差が大きかったL13の実測値及びDEMの標高変化に着目すると, L3での実測値の地形は, 一定の斜度で東側に下がっていく斜面となっており, DEMも実測値とほぼ同じ地形でした。一方, L13での実測値では, 東側で平坦地から下方に傾斜が急にきつくなる地形(遷急点)がありましたが, DEMではほぼ平坦な地形となっており, 実際の地形とDEMが乖離していました。

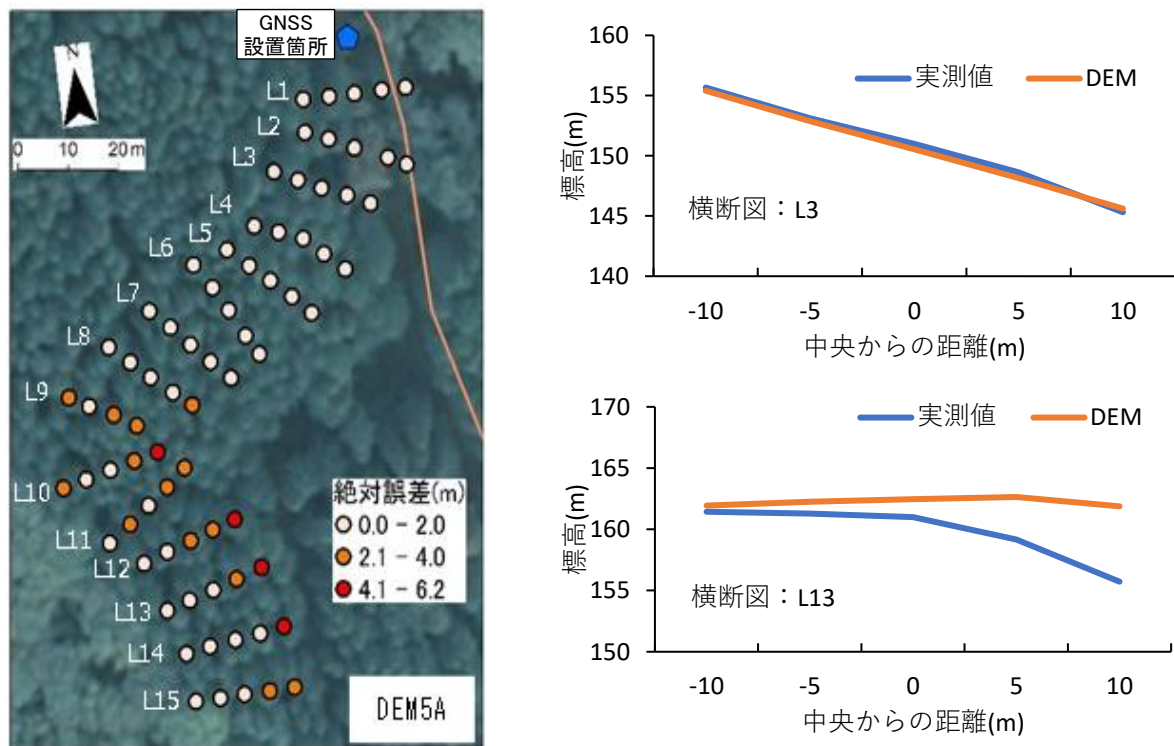


図-4 DEM5Aにおける測点別の誤差の絶対値(左)とL3及びL13の横断面(右)

津田・滝谷(2023)より作成

次に, DEM5Bにおける測点別の誤差の絶対値とL6の横断面, 中央部(左右から3列目)の縦断面を図-5に示します。ここでは, L10~L13で絶対誤差が4.0m以上となっていました。誤差が小さかったL6の実測値及びDEMの標高変化をみると, 実測では東側になだらかに高くなる地形であり, DEMもほぼ一致していました。一方, 中央部の実測値及びDEMの標高変化に着目すると, 実測値ではL1から90~100mの地点で傾斜が急にきつくなる地形(遷急点)があり, 標高が終点まで約10m下がる地形でしたが, DEMではL1から80mまでの斜度を終点まで保っており, 実際の地形と乖離していました。

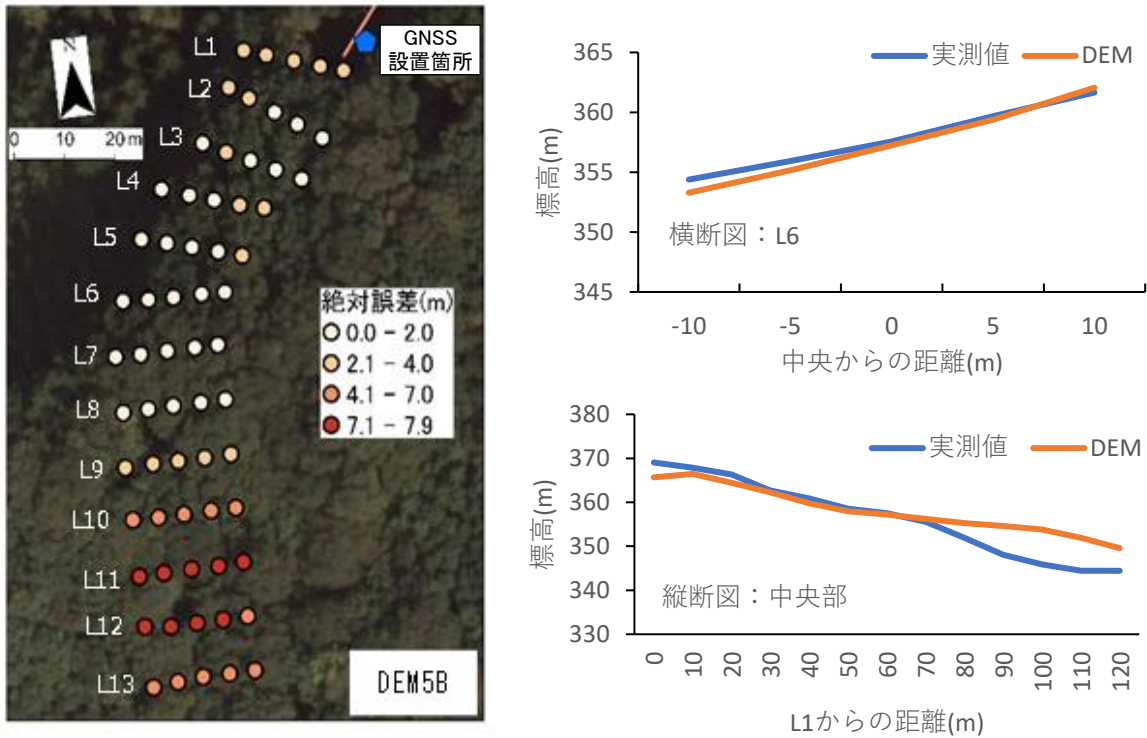


図-5 DEM5Bにおける測点別の誤差の絶対値（左）とL6の横断面図（右上）、中央部（左右から3列目）の縦断面図（右下）

津田・滝谷（2023）より作成

最後に、DEM5Cにおける測点別の誤差の絶対値とL11の横断面図、中央部（左右から3列目）の縦断面図を図-6に示します。ここでは、L4以降絶対誤差が大きくなり、L7以降は東側に絶対誤差が7.0m以上の地点がみられました。L11の測線図からは、樹冠下となる測点で誤差が大きくなっており。この状況がL7からL15

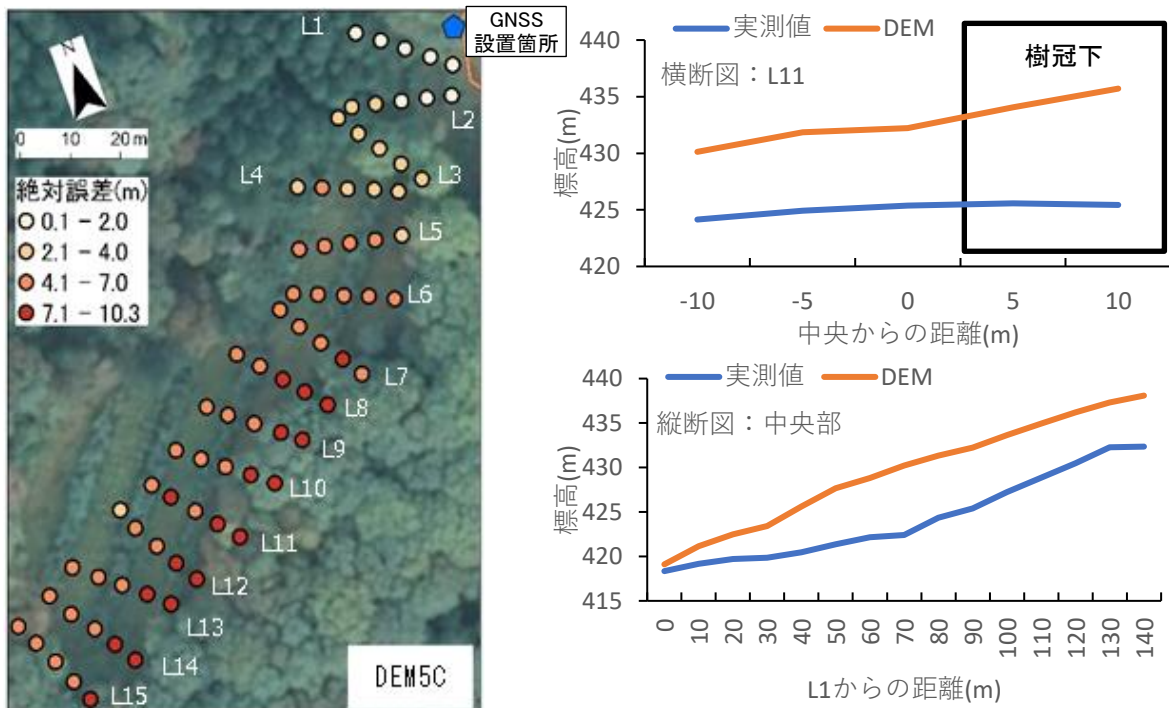


図-6 DEM5Cにおける測点別の誤差の絶対値（左）とL11の横断面図（右上）、中央部（左右から3列目）の縦断面図（右下）

津田・滝谷（2023）より作成

まで続いていました。また、中央部(左右から3列目の測点)の実測値及びDEMの縦断面図に着目すると、実測値ではL1から70m付近で、斜面上部から見て傾斜が急に緩くなる地形(遷緩点)でした。しかし、DEMでは実測値よりも全体的に標高が高く、L1から終点まで一定の斜度となっていました。

以上から DEM の標高精度に対する地形の影響をまとめると、各 DEM とも、遷急点や遷緩点といった傾斜の変換点が多い地形では、標高精度が低い可能性があります。DEM の作成は、標高の取得地点がない地域を周囲の測点で近似することから、レーザ測量であっても計測地点がなければ傾斜の急な変化を捉えることは困難です。本研究で最も精度の高い DEM5A においても、レーザ点密度は 0.3 点/m²と森林地帯で推奨される 4 点/m² ((一社)日本林野測量協会 2018) よりもかなり少ないため、傾斜変換点付近での計測点が少なかったことが標高精度に影響したと考えられます。一方、地形変化が少ないなだらかな平地地や丘陵地では、レーザ点密度が小さい DEM5A や DEM5B でも比較的精度よく利用できるでしょう。DEM5C では、樹冠が発達した林分での精度が特に低いことから、森林資源量の推定に必要な樹高計測への利用は誤差が大きい可能性があります。一方、測量した区間全体での大まかな地形変化は表現できているので、森林作業道等の概略ルートの選定では利用できるでしょう。

おわりに

国土地理院による航空レーザ測量の範囲は広がっており、森林域で推奨されるレーザ点密度 4 点/m²での測量が令和 4 年度に渡島半島全域で実施され、令和 5 年度には日高、十勝、釧路、根室で実施される予定です(国土地理院 2023)。それ以外でも市町村や道有林などでレーザ測量が実施されています((公財)日本測量調査技術協会 2023)。これらの最新の計測状況を踏まえて、対象地域で利用可能な DEM の精度を予め確認することが重要です。

本研究では、北海道渡島総合振興局東部森林室には林小班の情報や路線図の提供等、格別の便宜を図っていただきました。ここに記して御礼申し上げます。

(森林経営部経営グループ)

引用文献

- 蝦名益仁 (2022) 地形モデルの違いによる UAV 空撮画像を用いた樹高計測精度. 光珠内季報. 201: 6-10
- 古家直行・斎藤丈寛 (2022) 数値表層モデルを用いた資源推定において利用可能な標高モデルが及ぼす影響. 北方森林研究. 70: 73-76
- 一般社団法人 日本林野測量協会 (2018) 森林分野における空中写真の利活用. 5pp
- 国土地理院 (2022) 基盤地図情報 (数値標高モデル) で提供しているデータについて.
<https://fgd.gsi.go.jp/otherdata/spec/DEMgaiyo.pdf> (参照 2022 年 11 月 13 日)
- 国土地理院 (2023) 国土地理院撮影・航空レーザ範囲.
https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/kihonsatsuei/index_photo_area2.html (2023 年 6 月 26 日参照)
- 公益財団法人 日本測量調査技術協会 (2023) 航空レーザ測量データポータルサイト.
<https://www.sokugikyo.or.jp/laser/> (2023 年 6 月 26 日参照)
- 齋藤仁志 (2012) LiDAR データを用いた林道設計手法と作業道配置手法の開発. 宇都宮大学農学部演習林報告. 48: 71-110
- 津田高明・滝谷美香 (2023) 国土地理院 5m メッシュ数値標高モデルにおける作成方法と地形が標高精度に及ぼす影響. 北方森林研究. 71: 11-14