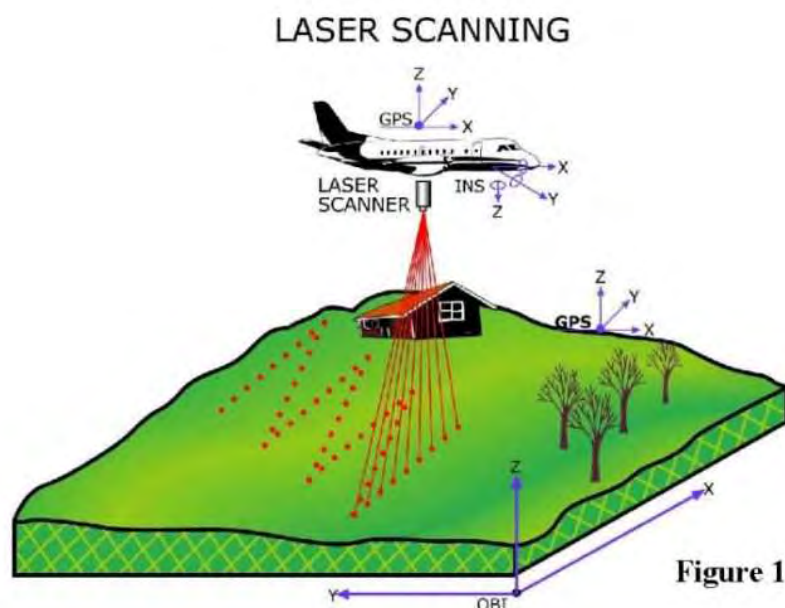


3. 航空機 LiDAR による森林計測

航空機 LiDAR のしくみ

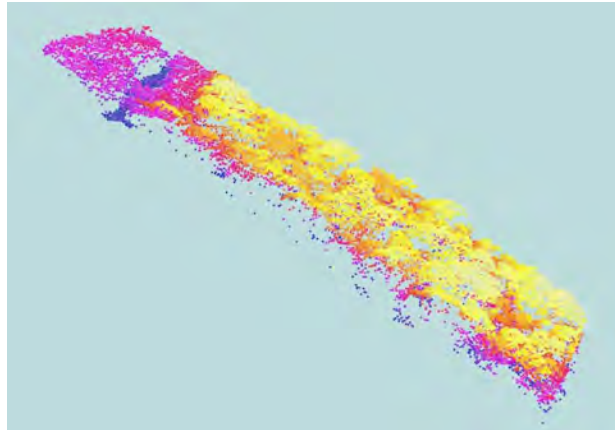
LiDAR (Light Detection and Ranging) とは、レーザスキャナからレーザ光線を計測したい対象に照射し、反射して戻ってくる時間をもとに対象までの距離を計測するとともに、GNSS(GPS や GRONASS など)受信機、IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) といった計測者の正確な位置情報を取得できる機器を組み合わせることによって、計測したい対象の 3 次元空間中での位置をきわめて高精度に得ることを可能とする光学的リモートセンシング手法です。

航空機 LiDAR 計測は、航空機 (固定翼ないし回転翼) にこれらの計測機器を搭載し、上空から地表面に対してレーザパルスを照射し、地盤ないし地表にある樹木等の地物から反射するレーザ反射を取得し、同時に取得する航空機の位置情報をもとに地盤面や地物の 3 次元位置情報を得る技術です。



<https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap214/p214.htm>

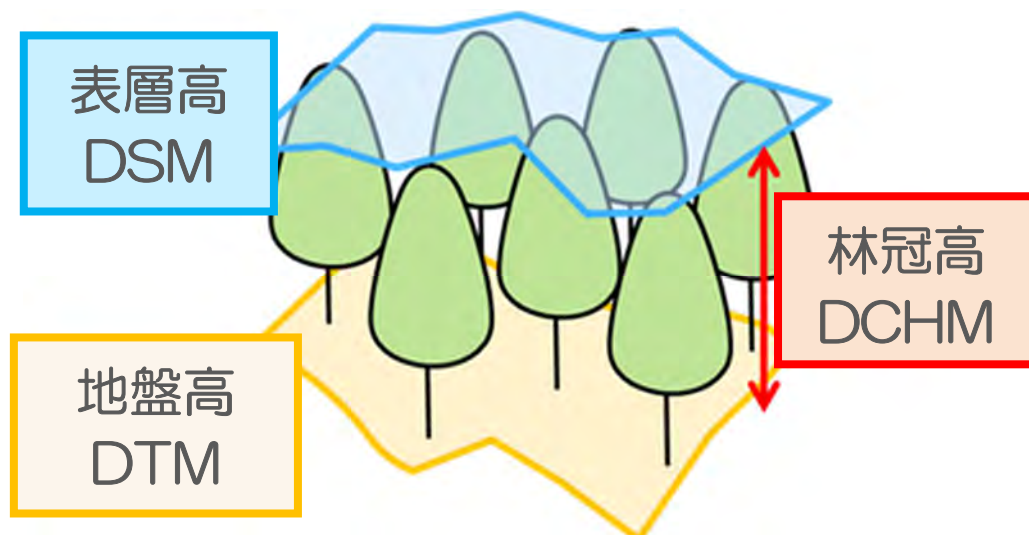
航空 LiDAR 計測のイメージ



航空 LiDAR 計測で得られる 3 次元点群データのイメージ

航空 LiDAR 計測データによる地表面からの反射点群データのうち、地盤から反射されたデータをつなぎ合わせて地盤標高データ (DTM, digital terrain model) を、植生や建物なども含む地表物から反射された点をつなぎ合わせて表層標高データ (DSM, digital surface model) を作成できます。DSM から DTM を差し引くことによって地表物の高さが算出できます。特に森林エリアでは地表物高を林冠高 (DCHM, digital canopy height model) と呼び、森林資源量の把握等に利用することが可能です。

DCHM は、主林木平均樹高や上層樹高を直接示すものではありませんが、両者には強い正の相関があると考えられることから、簡易な補正により DCHM から主林木平均樹高等を推定することが可能です。そのほか、単木の樹高、樹頂点位置、立木本数、樹冠サイズ等も推定可能で、レーザ光の反射特性から樹種の判定も可能になってきました。



航空機 LiDAR 計測データ活用にあたっての留意点

航空機 LiDAR 計測データの仕様の違い

我が国において航空機 LiDAR データが本格的に取得されるようになったのは 1990 年代後半と最近のことであり、またこの間、照射点密度の飛躍的な増加や反射強度分布（ウェーブフォーム）の記録が可能になるなど様々な技術的な進展が見られます。このようなことから、現在都道府県で利用可能な航空機 LiDAR 計測データには様々な仕様（スペック）のものがみられます。

現在、国土交通省が管轄する計測の場合、LiDAR 照射点密度が 1 点/m²となっている場合が多くみられます。

森林域の場合、「高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き」（林野庁, 2018 年）によれば、計測密度が 4 点/m²以上であれば単木解析による材積推定、1 点/m²以上であれば、エリアベース解析による材積推定と記載があります。また、森林環境保全整備事業実施要領のうち路網の整備に関する仕様に点密度を 4 点/m² 以上という記載が見られます。

近年はレーザスキャナの性能が飛躍的に向上し、10 点/m² 以上のより高密度なレーザ計測も実施されています。

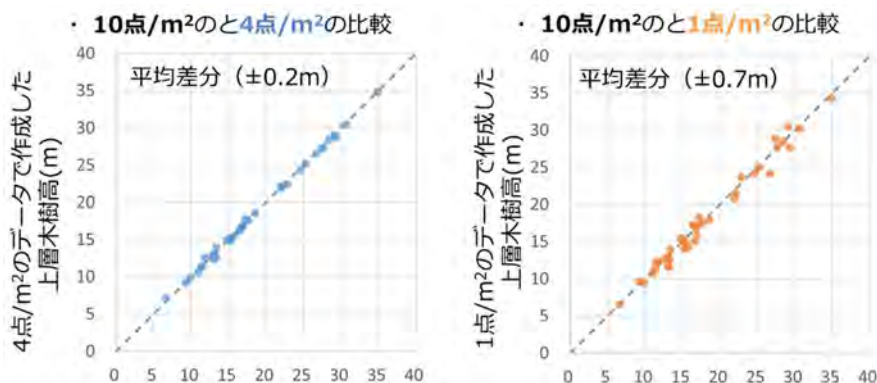
レーザデータの仕様は、計測時点の機器の性能、利用目的や予算（コスト）によって様々なものがありますので、既存のアーカイブデータを利用する場合には、注意が必要です。

コラム：照射点密度 1 点/m² のデータはどの程度「使える」？

照射点密度の比較

現在のところ、航空 LiDAR 計測の整備状況は、各都道府県によって異なります。照射点密度 4 点/m² のデータが整備されていない場合、1 点/m² のデータから実用に耐えるような地位指数の計算が可能であれば、既存のアーカイブデータを有効に活用することができます。

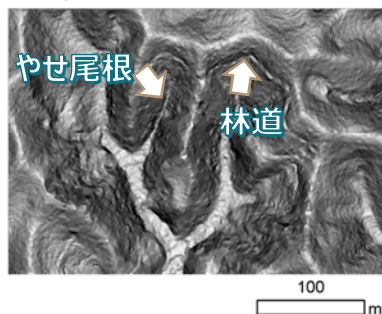
点密度 10 点/m² をから作成した上層貴樹高データを真値と仮定し、点密度 1 点/m² と 4 点/m² のデータからそれぞれ推定した上層木平均樹高を比較してみました。1 点/m² のデータから作成した上層木樹高でも平均 ±0.7m の差分で推定できていることから、上層木平均樹高の推定は 1 点/m² でも十分可能という結果となりました。



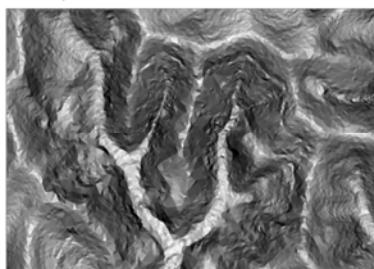
照射点密度 1 点/m² を利用する場合の注意点

まず点密度が違えば、見た目にどのような違いが生じるのかを下図に示しました。微地形を見てみると、点密度が 10 点、4 点/m² までは林道ややせ尾根が視認できますが、1 点/m² になると分かり難くなっています。

10点/m²（元データ）



4点/m²



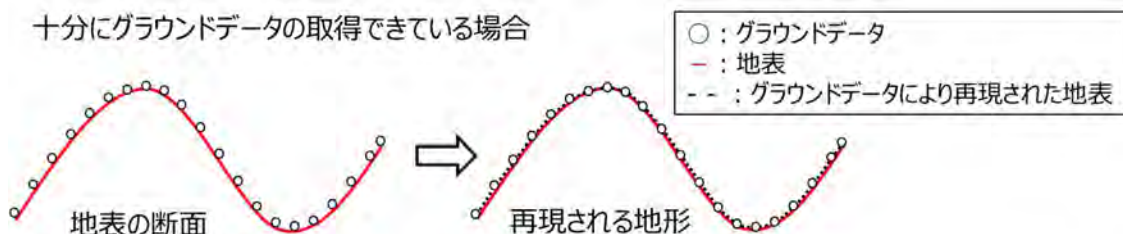
1点/m²



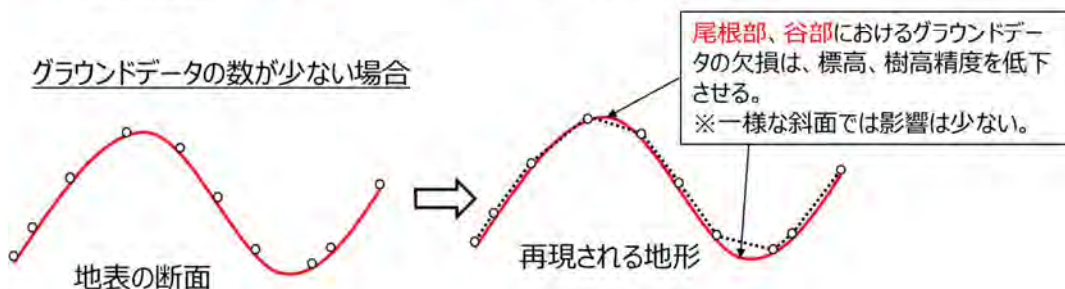
注) 10 点/m² の LiDAR データをもとに 4 点、1 点に間引いて作成

この微地形による影響のイメージを下図で説明します。前提として、一般的に照射点密度が高ければ地盤面に到達するデータ（グラウンドデータ）を十分得ることができ、照射点密度が低ければグラウンドデータが少なくなります。十分にグラウンドデータがあれば、地形はより正確（高精度・高精細）に再現されます。一方、データが少ない場合、とくに尾根や谷部のような地形の変曲点でグラウンドデータが取れていなければ、地形がうまく再現できません。そのため、尾根や谷部での上層木樹高の推定精度が低くなると考えられます。一方、一様な斜面ではその影響は少ないと考えられます。

十分にグラウンドデータの取得できている場合



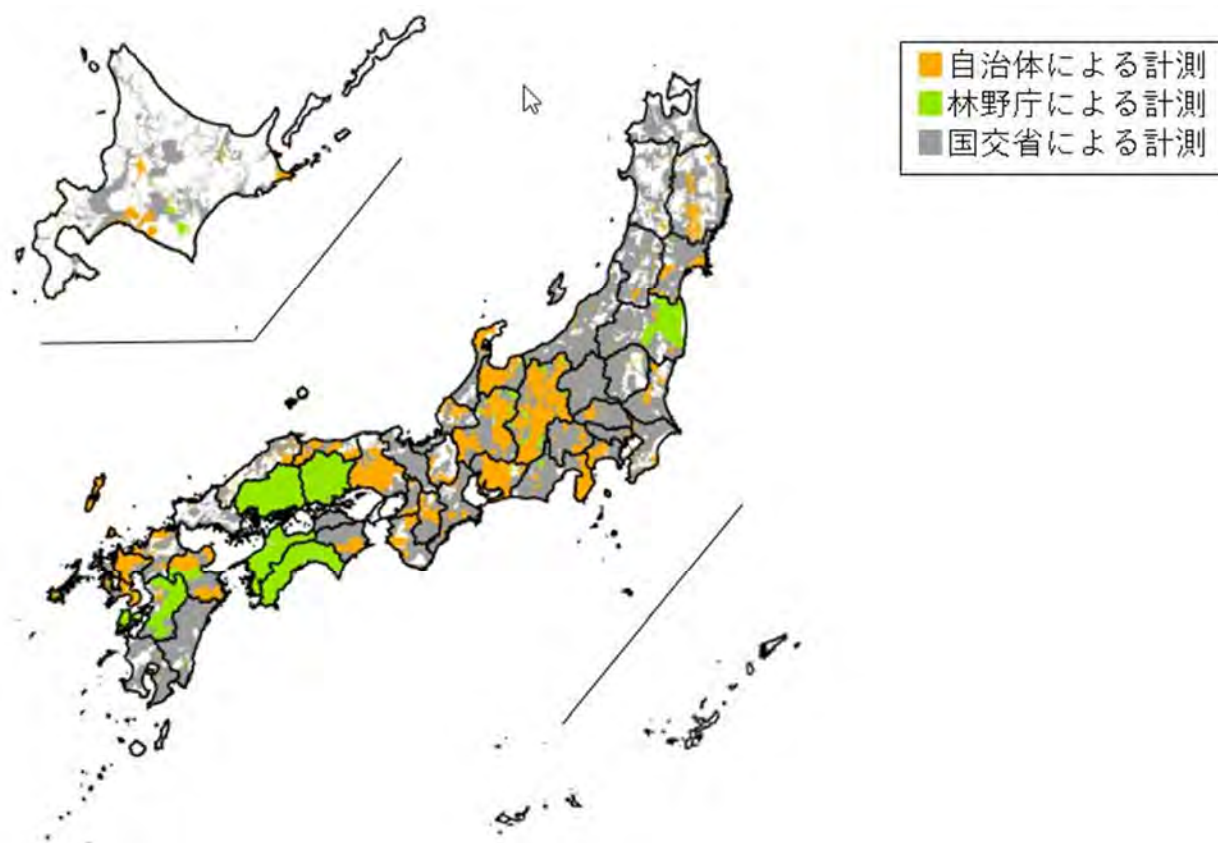
グラウンドデータの数が少ない場合



航空 LiDAR 計測の整備状況は、各都道府県によって異なります。4 点/m² がまだ十分に整備されていない場合、1 点/m² でも地位指数を計算できれば、LiDAR データをより広い範囲で活用できます。1 点/m² で林分の地位指数は推定可能ですが、地形が急に変わる箇所（例えばやせ尾根や V 字谷）では DTM の再現がうまくできない場合があり、このような場所では、LiDAR の DCHM に誤差が生じやすいということに留意してください。

全国の航空機 LiDAR 計測データ整備状況と利用方法

解析を行いたい対象エリアにおいて、自ら取得した航空機 LiDAR 計測データを有していない場合、既存のアーカイブデータを確認し、条件に見合うデータがあれば所定の手続きを経ることによって利用することが可能です。

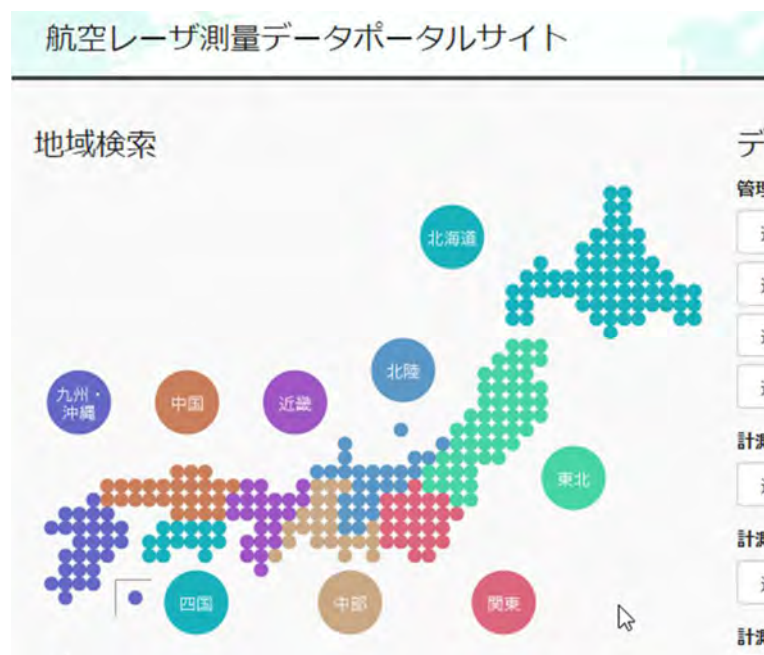


我が国における航空レーザ計測の実施状況（2002 年から 2020 年）

出典：（公財）日本測量調査技術協会 空中計測マッピング部会レーザWG

全国の航空機 LiDAR 計測データは、公益財団法人日本測量調査技術協会の「航空測量データポータルサイト」で閲覧・検索することができます。検索画面で対象エリアと観測日、管理者や作業会社を入力します。

国や都道府県が計測を行った公共測量のデータはオープンになっていて、国土地理院のワンストップサービスを利用して入手することが可能です。対象エリア、観測日、管理者などの情報に基づいて無償利用できるか確認し、手順に従って申請します。



出典：公益財団法人日本測量調査技術協会 <https://sokugikyo.or.jp/laser/>

アーカイブデータの入手先

■ 国土地理院窓口：応用地理部

「航空レーザ計測成果の利用申請」を入手後、データ範囲図（参考 1 を参照）とあわせて送付（2022.1.31 現在）

■ 各都道府県：担当窓口

参考 1

別紙1：利用するデータ範囲

借用申請範囲（●●県●●町を含む範囲）



借用申請データ（下記の公共測量成果について利用を申請いたします。）

- ・XXXXXXXX 周辺における航空レーザ測量および詳細DEM作成業務
- ・H24|XX 砂防レーザ計測業務（XX 川流域）
- ・H24|XX 砂防レーザ計測業務（XX 川流域）
- ・平成20年度|XX 地方整備局管内氾濫解析基礎資料作成業務

航空 LiDAR 計測でよく使われる用語

用語	略語	解説
Light Detection And Ranging	LiDAR	航空機や車両などに搭載したレーザ測距計で対象物までの距離を計測する。 航空機搭載の場合、GNSS（GPS などの位置計測システム）で機体の 3 次元位置を計測、IMU(Inertial Measurement Unit：)で機体の傾きを計測することで、航空機と対象物までの距離を精度高く計測できる。
Inertial Measurement Unit	IMU	慣性計測装置。INU (Inertial Navigation Unit)、IGU (Inertial Guidance Unit)、IRU (Inertial Reference Unit) ととも呼ばれる。ジャイロスコープと加速度計を使用して回転と加速度を検出。これにより航空機の傾きを計測
Digital Elevation Model	DEM	数値標高モデルの総称。DTM と同じ意味の言葉として使われることもある。 国土地理院の DEM の説明では、DTM を指している。
Digital Terrain Model の略	DTM	地盤高。地盤の標高で、植生や建物など地物の高さは含まれていない。地形解析ではこの DTM を使う。
Digital Surface Model	DSM	地盤の上の植生や建物などの地表物を含んだ地表面の表層標高。
Digital Canopy Height Model	DCHM	森林を対象とした場合、DSM と DTM の差から算出できる林冠高。CHM(Canopy Height Model)と呼ばれることもある。

新規計測時に留意すべき事項

新規に航測会社へ LiDAR 計測を依頼する場合、計測時の仕様に加えて、納品物の仕様もあらかじめ検討しておく必要があります。LiDAR 計測データからは、直接取得されるレーザ点群データだけでなく、それに対してフィルタリング等の様々な処理・加工を行うことにより、DTM、DSM、DCHM、樹頂点など様々なデータを得ることができます。

発注仕様を検討する際に参考になるのが、「森林資源データ解析・管理 標準仕様書案 ver1.2」[標準化事業検討委員会, 解析・管理分科会, 計測分科会, 2022]です。

この仕様書案は、適切な森林管理や需要に応じた木材生産を可能にするため、レーザ計測データの解析及び管理について、現状と課題・問題点の整理とその改善・解決策や方向性を取りまとめるとともに、それを踏まえた最適な解析及び管理手法の標準化を検討することを目的としています。

この森林資源データ解析・管理 標準仕様書案に合わせつつ、地位指数の計算にも必要なデータセットを納品することが望ましいと考えられます。

森林資源データ解析・管理の標準化仕様案 2022年3月現在の Ver1.2 によれば、

- ・計測時の仕様については、森林資源解析で地盤面での点密度が $4 \text{ 点}/\text{m}^2$ 以上が適していること
- ・森林資源データ解析・管理では、下図に示した、森林資源量計測データである「**計測範囲ポリゴン**」、「**樹種ポリゴン**」、「**単木ポイント**」、そして森林資源量計測データを合成・集計して得られる「**森林資源量集計ポリゴン**」、「**解析範囲ポリゴン**」、地形情報データとして「**標高 (DEM)**」（本手引きでは DTM と呼んでいる）、「**傾斜**」、「**微地形図**」、「**路網**」が必要

となっています。

地位指数の計算には、**DCHM**（TIF 画像が望ましい）が必須になりますので、忘れずにリストに加えましょう。また、現地の状況を確認するためには、DCHM、DTM（DEM）はもちろんのこと、**DSM**（TIF 画像が望ましい）が有用ですので、この標高データも納品リストに加えましょう。いくつかの成果は中間的に作成されるのでそれらは忘れずに納品成果物にしましょう。コスト増にはならないはずですので、依頼先に確認してみましょう。

■ 標準仕様書が対象とする森林資源量データ

名称		データイメージ	
森林資源量集計データ	森林資源量集計ポリゴン	森林資源量集計メッシュ 	森林資源量集計○○ポリゴン (小班, 地番, 林相など)
	解析範囲ポリゴン		
更新		複数の計測データをひとつの集計データに合成する。 	
森林資源量計測データ	樹種ポリゴン		
	単木ポイント		
	計測範囲ポリゴン	2023年 UAV写真 	2020年 航空レーザ計測

■ 標準仕様書が対象とする地形情報データ

名称		データイメージ	
地形情報データ	標高(DEM)		
	傾斜		<= 10 10 - 15 15 - 20 20 - 25 25 - 30 30 - 35 35 - 40 > 40
	微地形図		
	路網		

4. 地位指数分布図作成の前提条件

条件

- ・対象とする樹種はスギ人工林とヒノキ人工林です
- ・以下のデータが必須です
 - 森林簿 GIS : 林齢と樹種が格納されている GIS ポリゴン
 - LiDAR データ : 1 m メッシュサイズ以上の DTM(*digital terrain model*, 地盤高)と DSM (*digital surface model*, 表層高) 、もしくは DCHM
- ・地位指数図のメッシュサイズは 20m を想定しています

作業環境

使用するソフトウェア :

QGIS バージョン 3.16 (長期安定版) : 無料 3.16.16 で操作確認済み
Microsoft Excel 2013 より新しいバージョン

使用する PC の推奨スペック等 :

ストレージ : 高速 HDD や SSD
RAM : 8 GB 以上

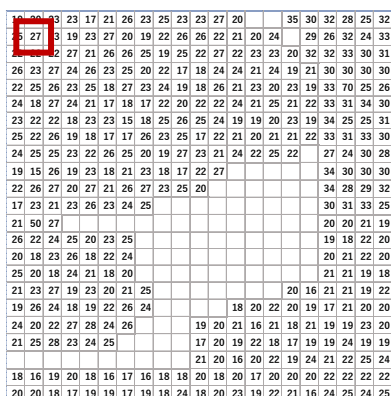
5. 地位指数分布図作成のながれ

- LiDAR 納品物にどのようなデータがあるか確認しましょう
- データの所持や今後の撮影の有無など状況に応じた地位指数図作成のながれを確認します

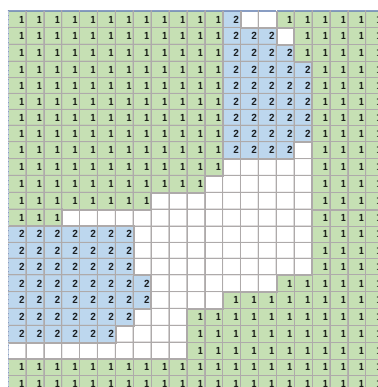
まず、土台となる 20m メッシュの正方形ポリゴンを対象エリアで作成したうえで、上層木平均樹高（以下「Ht」）、樹種（スギ・ヒノキ）、林齢の 3 種類の 20m メッシュの分布図を作成します。これら 3 つの情報に、樹高成長曲線をあてはめて地位指数分布図を作成します。

図 a, b, c に示したような 20m メッシュの H t 分布図、樹種分布図、林齢分布図と地位指数曲線を使い、図 d に示したような 20 m メッシュの地位指数分布図を作成します。

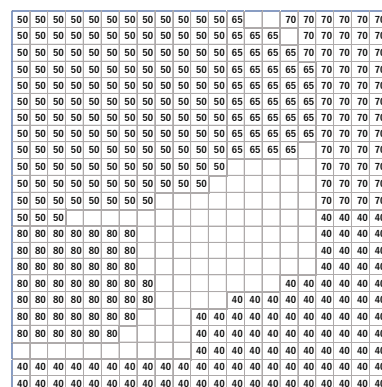
地位指数曲線については、樹種ごとに（必要であればさらに地域別に）準備しましょう。既存のものを使ってもよいですし、LiDAR の高さデータを活用して新しく作成することも可能です。



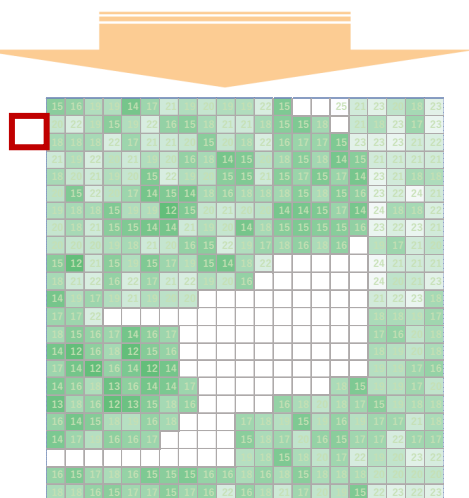
a. LiDAR Ht 分布図のイメージ



b. 樹種分布図のイメージ



c. 林齢分布図のイメージ



d. 地位指数分布図のイメージ



各分布図の作成のながれ

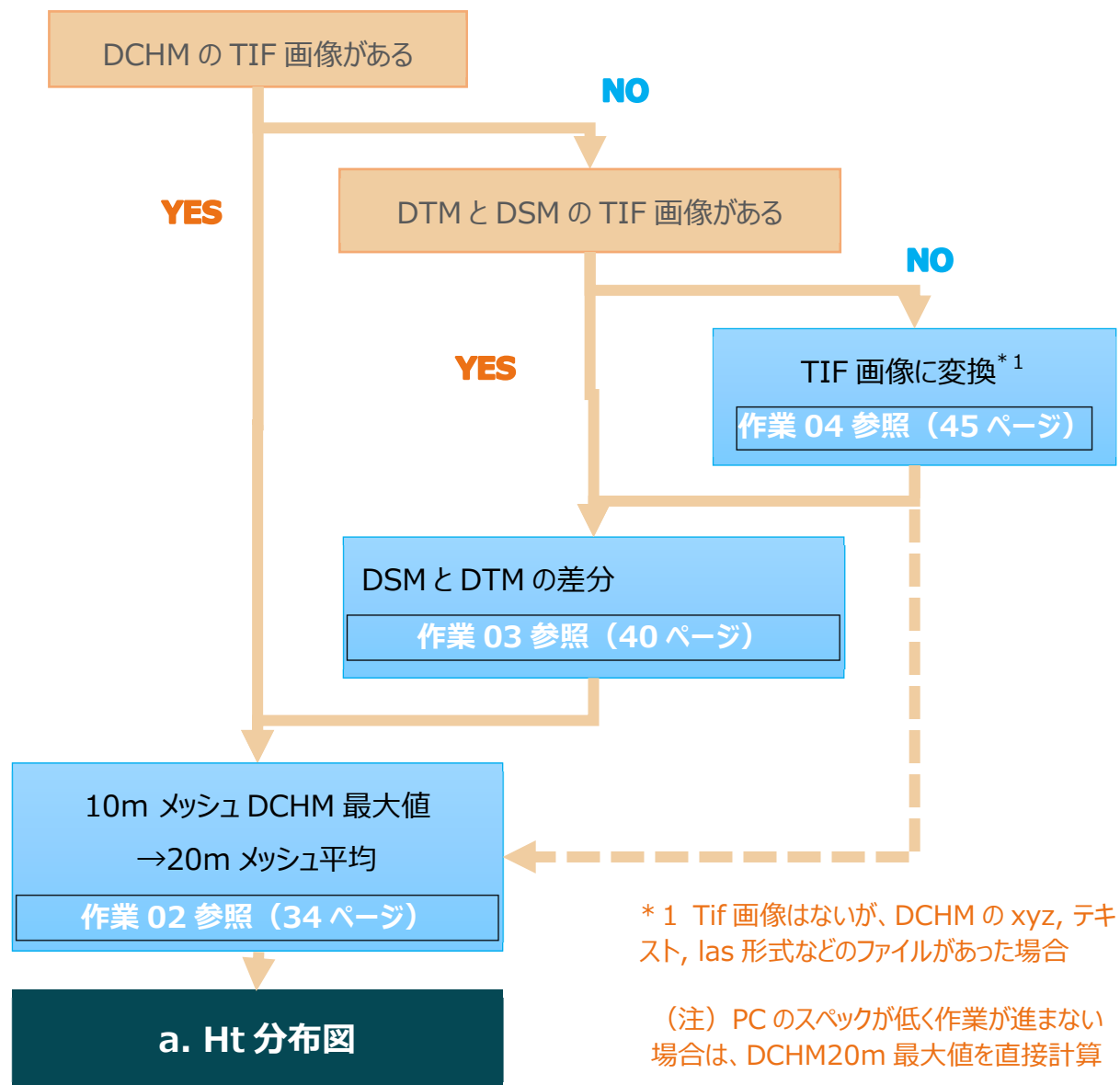
地位指数分布図の作成においては、まず手持ちの航空機 LiDAR 計測データがどのような仕様のものであるかによって処理の手順が変わってきます。特に（２）で示したフローに従って、手持ちデータの内容を確認し、作業を進めていきます。

（１）格納ポリゴン：20m 四方のメッシュ

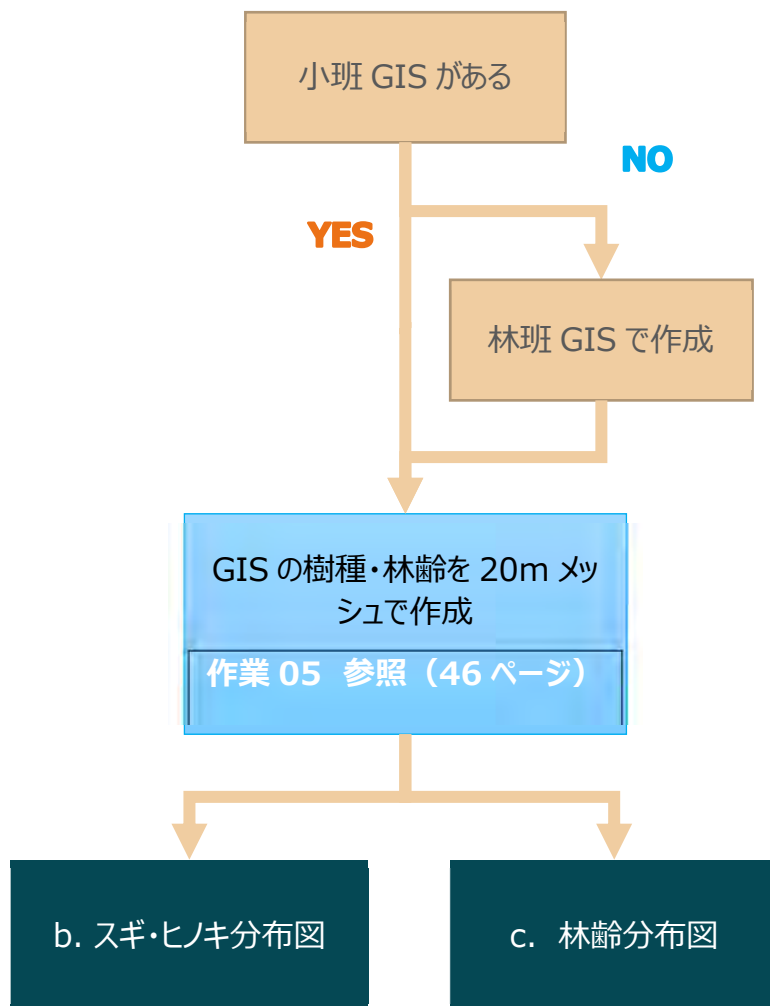
土台となる 20m メッシュポリゴンは、平面直角の原点から作成されます。必要な場合は森林 GIS フォーラムに問い合わせれば、データを利用できます。航測会社も所有していますので納品物リストに加えてもよいでしょう。全国共通の 20m メッシュから必要なエリアを抜き出します。 ← **作業 1 参照（29 ページ）**

ージ）

(2) 上層木平均樹高の計算・分布図作成の方法



(3) 樹種・林齢分布図の作成



(4) 地位指数曲線・分布図の作成

