

令和2年度

航空レーザー計測を活用した
収穫調査実証等委託事業

報 告 書

航空レーザー解析データの取りまとめ手順参考資料
(森林管理署・局向け)

令和3年3月

林野庁

目 次

はじめに	1-1
1. 航空レーザ解析結果の取りまとめ	1-2
1.1 収穫調査復命書作成のフロー	1-2
1.2 レーザ解析の発注	1-3
1.2.1 発注時の仕様	1-3
1.2.2 樹頂点データ、精度検証結果の確認	1-6
1.2.1 収穫調査対象小班による資源情報集計	1-9
1.3 復命書の添付資料への取りまとめ	1-17
1.4 採材シミュレーションによる出材量予測	1-18

はじめに

国有林野事業では、森林の多面的機能を持続に発揮させるため、林分の状況や立地条件などに応じて必要な間伐を実施し、適切かつ効率的な施業を推進している。このような中、限られたマンパワーに対応しつつ、収穫調査を効率的かつ適切に実施していくことが重要な課題となっている。

「令和元年度リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討委託事業」において、航空機によるレーザ計測技術を立木の調査に活用することで、調査の効率化を図りつつ、一定の精度で単木及び林分材積を推定できる可能性が示された。

本事業は、令和元年度事業で検証した航空レーザによる収穫調査手法を実際に国有林野事業に導入して製品生産箇所の調査結果報告書を作成するとともに、国有林野事業における航空レーザ計測技術の活用について追加の検討を行った。

本マニュアルは、この事業の成果のうち、航空レーザ解析を委託し、樹頂点や精度検証結果を受領後に、収穫調査復命書の添付書類作成に必要な情報を取りまとめるまでの手順と様式の一例を示すものである。

1. 航空レーザ解析結果の取りまとめ

1.1 収穫調査復命書作成のフロー

航空レーザ計測データを用いた収穫調査復命書等の取りまとめフローを図 1-1 に示す。本参考資料では、レーザ解析の発注時から復命書の作成までの手順の一例を記載した。

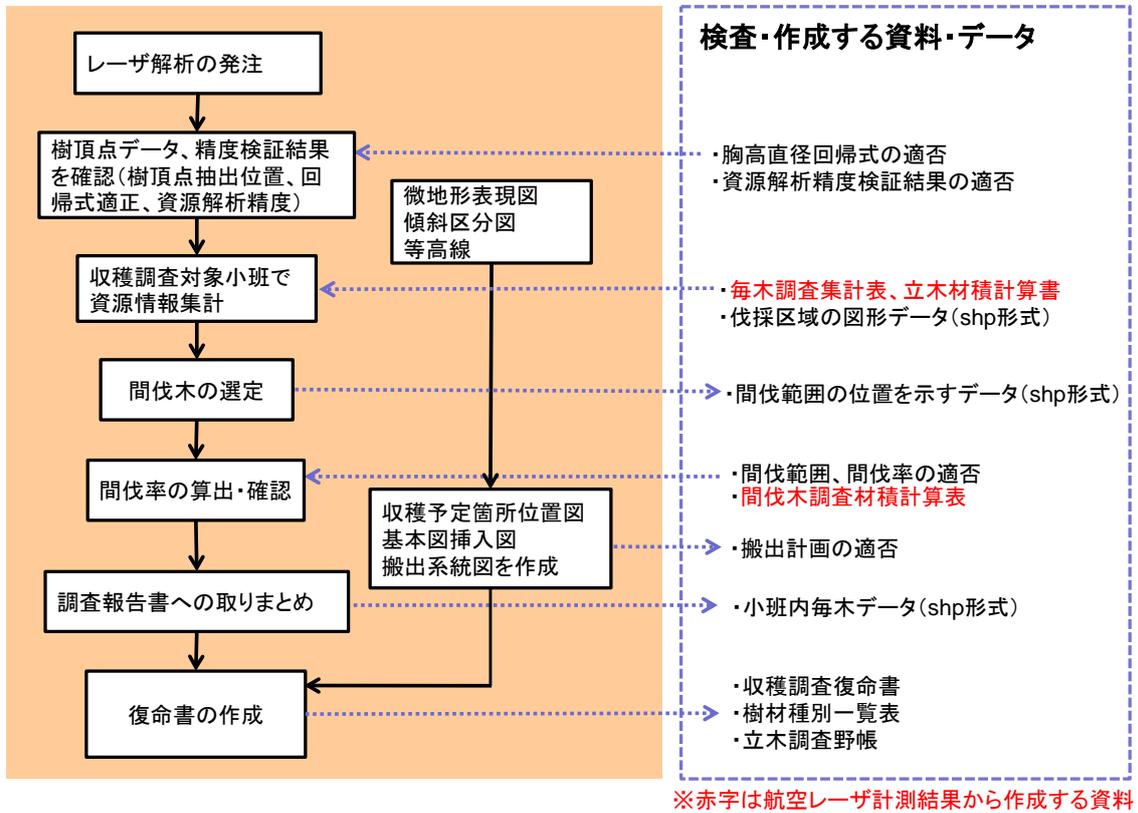


図 1-1 収穫調査復命書作成のフロー

1.2 レーザ解析の発注

1.2.1 発注時の仕様

航空レーザ解析を実施者に発注する際に、仕様書に記載すべき項目の一例を以下に示す。

1. 森林資源解析

航空レーザ計測結果と現地調査から、以下の森林資源情報を整備する。

(1) 現地調査の実施

航空レーザ解析結果の検証と胸高直径の推定等のため、スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツなどについて現地調査を行う。現地調査は、円形の調査プロット（水平面積：概ね0.01～0.04ha）を設け、プロットの中心の位置座標をGNSSにより記録し、胸高直径6cm以上の樹木を対象として、樹種、樹木本数、樹高、胸高直径、枝下高を計測する。また、調査プロットの階層構造植被率、間伐等の実施状況などを記録し、概況をデジタルカメラ等で記録する。調査結果はshape形式（ポイントデータ）でとりまとめる。

調査プロットは、林齢や樹高、立木密度が異なる林分を選定し、若齢林や壮齢林など地域に成立している様々な林分を網羅するように設定するものとする。

調査箇所は、地域特性を考慮し〇〇箇所程度を目安とし、監督職員と協議の上、決定するものとする。なお、監督職員が認める場合には、受託者が保有する推定式や、近隣の民有林で作成された推定式を利用することができる。

(2) 森林資源情報解析

① 樹冠高データ(DCHM)の作成

航空レーザ計測データのファーストパルスやオンリーエコーの点群データを用いて樹冠表層面の高さ（標高値）のモデルである樹冠表層高データ（DCSM: Digital Canopy Surface Model）を作成する。DCSMの作成では植生のデータを正確に取得するため、鉄塔や送電線など植生より高い位置にある点群はフィルタリングにより除去する。さらに、地盤標高データ（DEM）との差分により、樹冠高データ（DCHM: Digital Canopy Height Model）を作成する。

② 林相識別図の作成

レーザ計測データから反射強度と樹冠高データ等を活用し、林相を明瞭に識別できる画像（林相識別図）を作成する。

③ 林相区分図の作成

林相区分図の作成に際して、林相識別図やオルソ画像を用いて目視判読により林相図を作成する。林相の区分はスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、広葉樹、竹林、その他の7項目程度とし、最小抽出面積は20m四方（1/5,000図上で4mm四方）とする。

④ 樹頂点位置の抽出と立木本数の算定

スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツについて、レーザ計測データを解析して樹頂点の位置を抽出し、単木位置情報をshape形式で整備して、立木本数を計測するものとする。

⑤ 樹高の計測

スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツについて、樹頂点位置の樹冠高データから、単木毎の樹高を計測する。

⑥ 胸高直径の推定

スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツについて、現地調査の結果と樹冠高データ（DCHM）から算出した樹冠投影面積、樹冠表面積等の情報を基に重回帰分析を行い、単木毎の胸高直径を推定する。

⑦ 材積の算出

航空レーザ解析で得られた樹高と胸高直径から、スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツそれぞれの単木ごとの材積を算出する。

⑧ 荒廃森林の抽出

航空レーザ解析で得られたスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの単木データ、林分データ等を用い、人工林の森林資源状況を示す指標値として、収量比数、相対幹距比、形状比、樹冠長を算出する。

⑨ データの検証

スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツについて、レーザ計測データの解析結果と、調査プロットの現地調査結果を比較し、レーザ計測データを活用した解析結果と現地状況の整合性について検証する。目標とする解析平均誤差は監督職員と協議のうえで決定するものとする。

*平均誤差率は、現地調査結果を100%としたときに100%からの差の絶対値で算出する。

2. 地形情報解析

(1) グリッドデータ作成

グリッドデータは、グラウンドデータから内挿補間を用い0.5mグリッドで作成するものとする。データ形式は、XYZをカンマ区切りで記録したCSV形式（メッシュ構造）、およびXYZをスペース区切りで記録したテキスト形式とする。

(2) 微地形表現図の作成

航空レーザ計測にて作成したグリッドデータをもとに、各種地形フィルタの計算を行い、この計算結果から地形の凹凸を視覚的に表現した詳細な地形表現図（微地形表現地図）を作成するものとする。同図の作成においては、計算パラメータを検討の上、森林内の地形等、等高線では表せない微地形を分かり易く表示することを目的として、下記に留意して作成するものとする。

- ・地上開度・地下開度を考慮した画像であること
- ・傾斜の違いを色の濃淡で表現すること
- ・尾根は明度を高く、谷は明度を低く表現すること
- ・標高に関わらず、低地でも山地でも微地形を表現できること

- ・同一手法で、大地形・中地形・微地形とも把握できること
- ・立体感があること
- ・白黒印刷でも地形表現が可能なこと
- ・等高線図等との重ね合わせ図が作製できること
- ・地上解像度 0.5mであること

(3) 傾斜区分図の作成

地盤データから、地形の傾斜を解析し、傾斜区分図を作成するものとする。傾斜の区分は、①0° 以上 15° 未満、②15° 以上 30° 未満、③30° 以上 35° 未満、④35° 以上の4区分とする。

(4) 等高線データ作成

航空レーザ計測により得られたデータを基に、主曲線間隔 1 m、計曲線間隔 5 mとする等高線図を作成する。また、等高線はスムージング処理を実施し、滑らかな等高線を作成する。

(5) 路網現況データの作成

本事業で作成した微地形表現図を活用して、林道や林業専用道（規格相当を含む。以下同じ）をトレースして既設路網データを作成する。

3. 成果品

本業務の成果品は下記のとおりとする。

(1) 地形解析

- ① 微地形表現地図（tiff 形式）
- ② 傾斜区分図（tiff 形式）
- ③ 路網データ（shape 形式）

(2) 森林資源解析

- ① 調査報告書の電子データ（PDF 形式およびオリジナル）
- ② 林相識別図（tiff 形式）
- ③ 林相区分図（shape 形式）
- ④ 樹頂点ポイントデータ（shape 形式、樹高、胸高直径、樹冠長率、材積、樹種、林小班 ID などの情報を属性に含む）
- ⑤ 森林資源情報データ（shape 形式および Excel 形式）
- ⑥ 現地調査野帳（PDF 形式および Excel 形式）
- ⑦ 現地写真（jpeg 形式）

(3) 報告書 1 式… 2 部

1.2.2 樹頂点データ、精度検証結果の確認

(1) 樹頂点データの確認

樹頂点データの確認では、樹頂点の抽出具合が、適当であるかを判断しなければならない。後述の精度検証結果の確認のうち、立木本数が現地調査とどの程度一致するかに加えて、樹頂点データと、林相識別図やオルソ画像との重ね合わせにより、過剰もしくは過小でないかを確認することも必要となる。ただし、レーザ解析の樹頂点とオルソ画像の樹頂部は、データ由来が異なることから位置に差異が生じることを把握しておかなければならない。

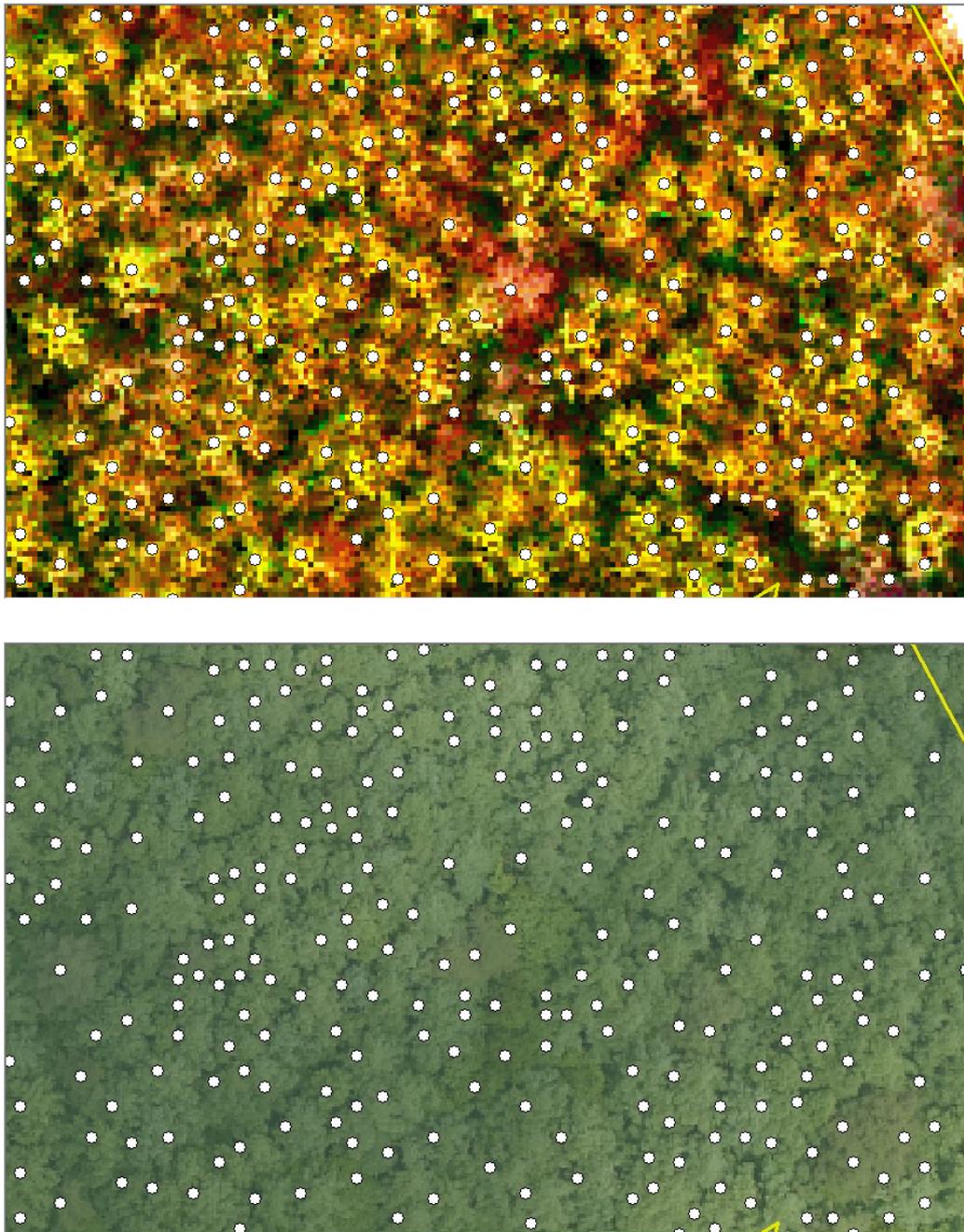


図 1-2 樹頂点の抽出状況

(2) 精度検証結果の確認

精度検証結果では、現地プロット調査の結果と航空レーザ解析の結果を比較して平均誤差率やR²値、RMSEなどから、樹高や胸高直径、材積などが現地調査結果と大きく乖離しないかを確認する。さらに、選択した胸高直径推定回帰式は現地に適合するものであるかを確認する。

精度検証に使用する指標を以下に示す。

① 現地比 (%)

レーザ計測による解析結果と現地調査結果の比で計算され、解析結果が現地調査結果と比べて過小の場合 100%以下、過大の場合 100%以上を示す。

$$\text{現地比} = \frac{\hat{y}}{y} \quad \text{レーザ計測による解析結果: } \hat{y} \quad \text{現地調査結果: } y$$

例：レーザ計測による推定樹高 22(m) 現地調査樹高 20(m)

現地比 22/20=110%

② 誤差率 (%)

レーザ計測による解析結果と現地調査結果との差の比率を示す数値で、差と現地調査結果との比で計算される。

$$\text{誤差率} = \left| \frac{\hat{y} - y}{y} \right| \quad \text{レーザ計測による解析結果: } \hat{y} \quad \text{現地調査結果: } y$$

例：レーザ計測による推定樹高 22(m) 現地調査樹高 20(m)

誤差率 |22-20|/20= 10%

③ RMSE

二乗平均平方根誤差 (Root Mean Squared Error) であり、解析結果が現地調査結果からどの程度かい離しているかを示す。0 に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。平均誤差率が相対的な誤差の率を表しているのに対し、RMSE は誤差の絶対値を示している。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\hat{y}_k - y_k)^2} \quad \text{レーザ計測による解析結果: } \hat{y} \quad \text{現地調査結果: } y$$

調査地点数: N

例：すべての現地調査プロットで、レーザ計測による推定樹高と現地調査樹高の差が 2(m)の場合、RMSE=2

④ R(相関係数)

2つのデータ群の相関の強さを表す。相関係数は-1.0~+1.0の値をとり、マイナスの場合は負の相関、プラスの場合は正の相関を表す。精度に明確な基準はないが、「絶対値 0.7 以上：強い相関がある、絶対値 0.4 以上：比較的強い相関がある、絶対値 0.2 以上：弱い相関がある、絶対値 0.2 未満：ほとんど相関がない」と考えられている。

これらの指標をもとに、現地調査とレーザ解析の精度検証結果を確認する。精度検証の様式として本事業での例を示す。精度の合格基準については、具体的な規定がないため、ここでは記載しない。

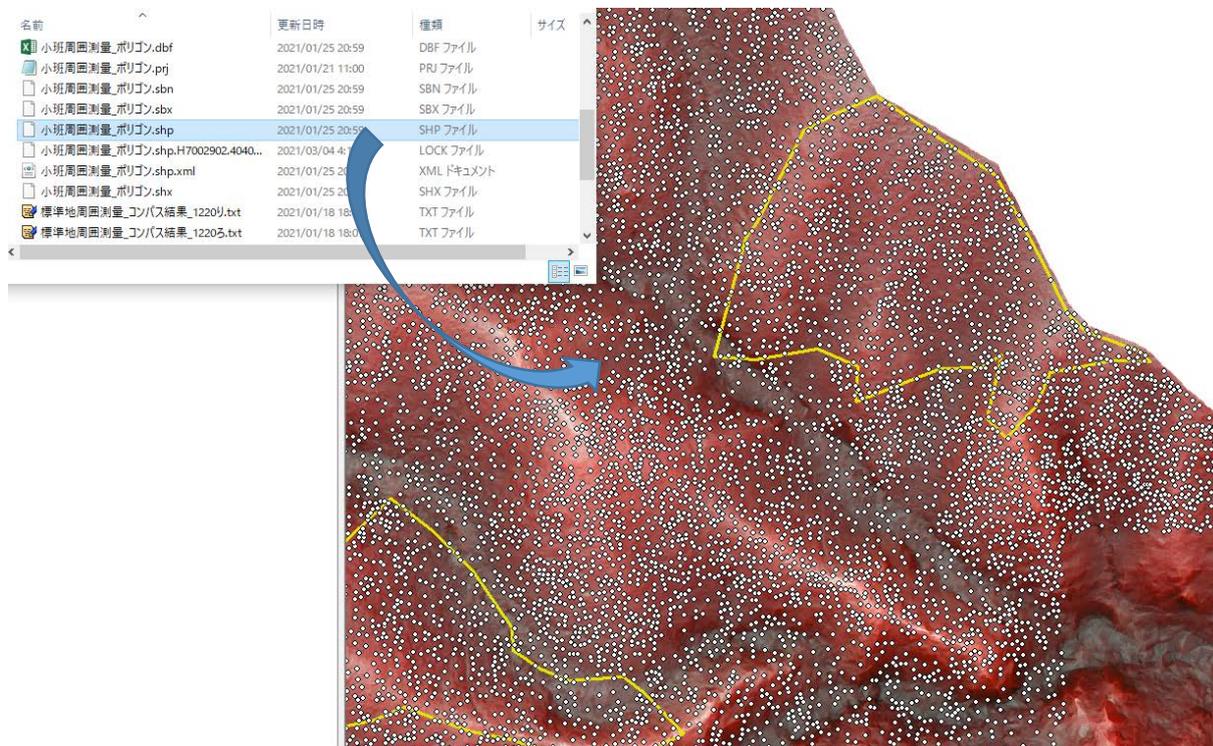
表 1.1 精度検証の様式の一例

プロット名	現地調査 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	① 現地比	② 誤差率
K01	30.4	29.1	96%	4%
K02	31.3	30.9	99%	1%
K03	26.5	28.8	109%	9%
K04	25.2	25.0	99%	1%
K05	22.0	22.9	104%	4%
K06	26.1	23.9	92%	8%
K07	20.8	21.5	104%	4%
K08	23.0	21.9	95%	5%
K09	22.2	23.6	106%	6%
K10	26.9	25.5	95%	5%
K11	20.6	20.3	98%	2%
K12	22.5	22.0	98%	2%
K13	17.7	18.8	106%	6%
K14	16.8	15.7	94%	6%
K15	28.1	27.9	99%	1%
平均	24.0	23.8		4.3%
		④ R	0.96	
		③ RMSE	1.19	

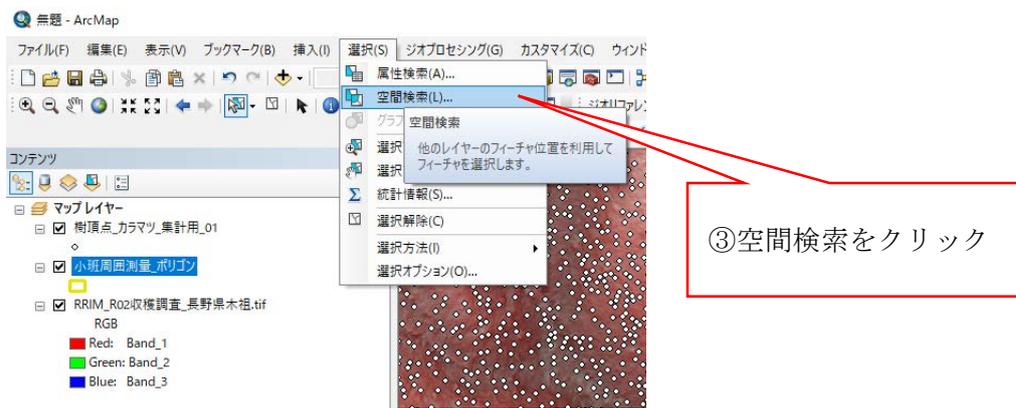
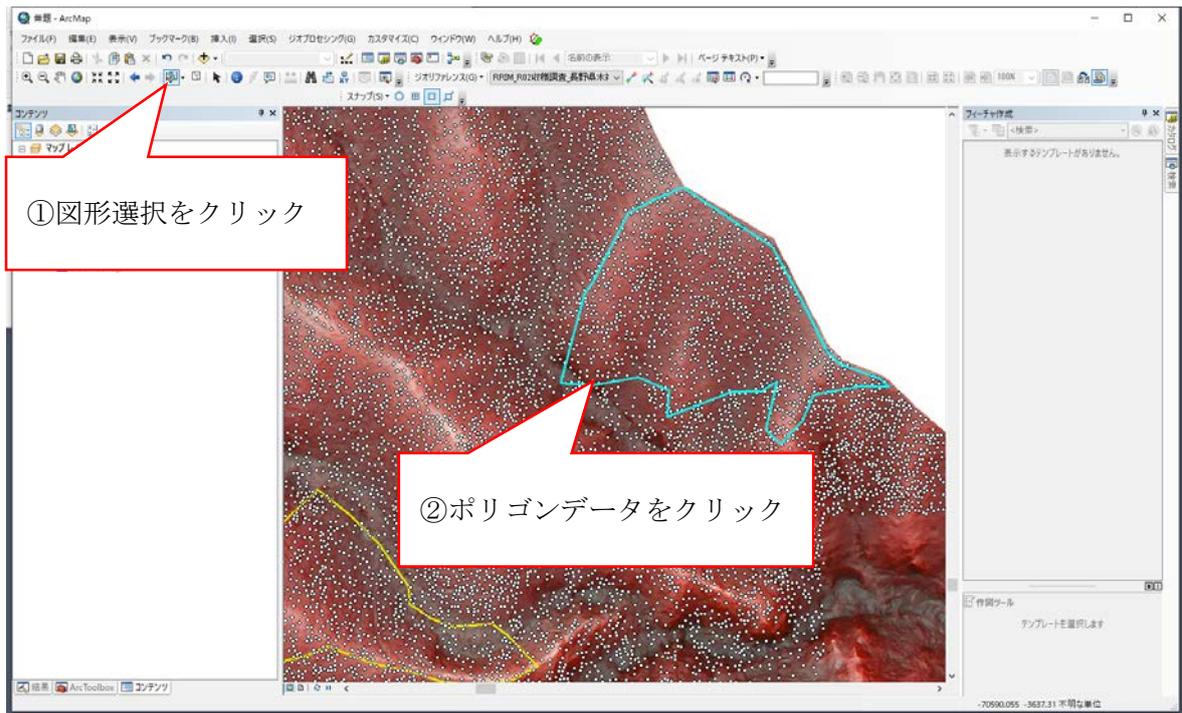
1.2.1 収穫調査対象小班による資源情報集計

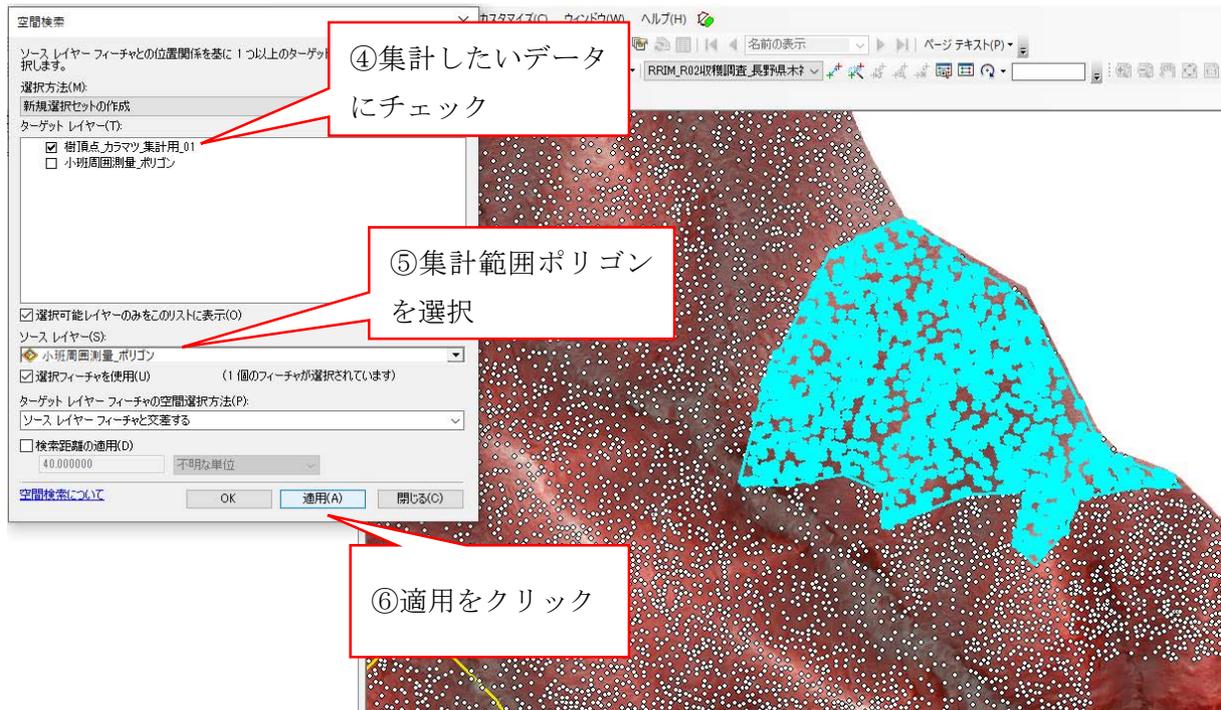
(1) 樹頂点データの集計

shp形式データは、ファイルが.shp、.dbf、.shx、.prjなど複数ファイルで1つのデータとして構成されている。このうち、樹頂点データ、集計区画ポリゴンデータの.shpファイルを、QGISやArcGISなど、GISソフトウェア上にドラッグアンドドロップして図形を表示する。

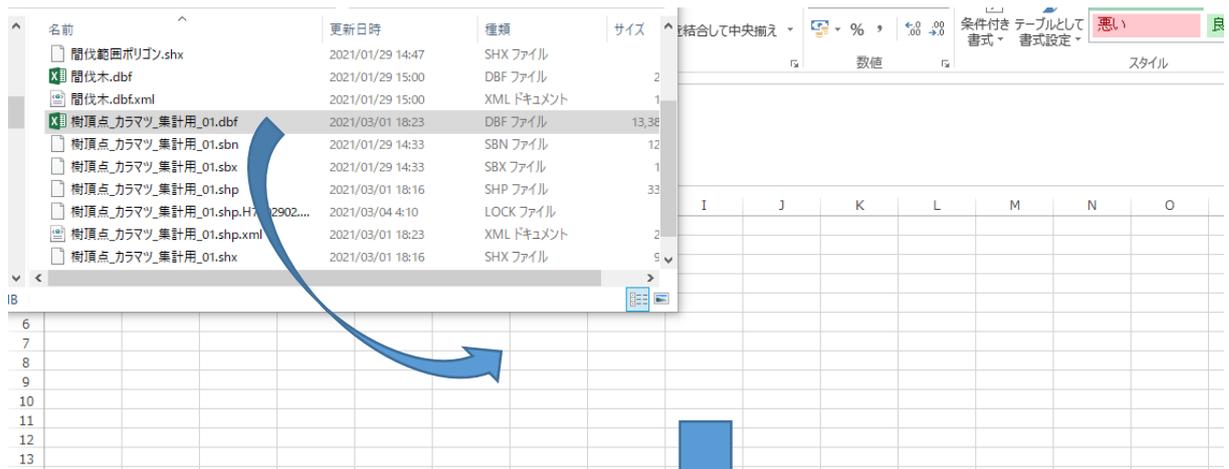


このポリゴンを選択し、データ内に含まれる樹頂点を空間的に検索し、別途shpファイルとして出力する。





出力した集計区画内の樹頂点shpファイルのうち、.dbfファイルを空白のエクセルブックにドラッグアンドドロップすると、属性情報を表示できる。このブックを.xlsxで新規保存すると、集計区画内の資源量をエクセル上で集計できる。



	A	B	C	D	E	F	G	
1	FID treeeto	樹高	樹冠長率	樹冠面積	胸高直径	材積	樹種ID	樹種
2	12268	8.3	76.7	13.0	20.4	0.131	4	カラマツ
3	12269	8.3	81.8	10.8	19.2	0.116	4	カラマツ
4	12270	3.2	64.8	14.8	17.7	0.037	4	カラマツ
5	12271	6.5	57.4	10.5	18.2	0.081	4	カラマツ
6	12272	7.0	84.5	16.8	21.5	0.122	4	カラマツ
7	12273	26.9	30.7	35.5	35.7	1.297	4	カラマツ
8	12274	25.2	7.5	6.5	20.2	0.411	4	カラマツ
9	12275	26.9	62.5	31.0	34.2	1.204	4	カラマツ
10	12276	20.4	94.9	28.8	31.6	0.774	4	カラマツ
11	12255	29.4	95.2	23.3	31.6	1.162	4	カラマツ
12	12256	28.1	96.2	38.3	36.9	1.444	4	カラマツ
13	12257	26.8	17.1	5.5	19.4	0.405	4	カラマツ
14	12258	5.9	81.3	4.8	13.7	0.042	4	カラマツ
15	12259	9.2	88.6	22.8	25.0	0.208	4	カラマツ
16	12260	3.1	64.1	10.8	15.9	0.029	4	カラマツ

なお、GIS上でポリゴンデータに樹頂点の情報を集計することもできるが、のちに収穫調査復命書の様式に単木情報を取りまとめることを考えれば、エクセル形式でデータを出力するほうが整理しやすい。

(2) 間伐木の選定および間伐率算出

GIS上で樹頂点データと林相識別図やオルソ画像、微地形表現図などを利用して間伐木の選定を行うことができる。

列状間伐の場合には、間伐列に相当するポリゴンデータを新規作成し、ポリゴン内の材積や本数を集計して、間伐率を算出し、ポリゴンの増減や移動、幅の調整で間伐率を調整する。

①カタログをクリック

②SHP 保存先フォルダで右クリック

③クリック

④ファイル名入力

⑤ポリゴンを選択

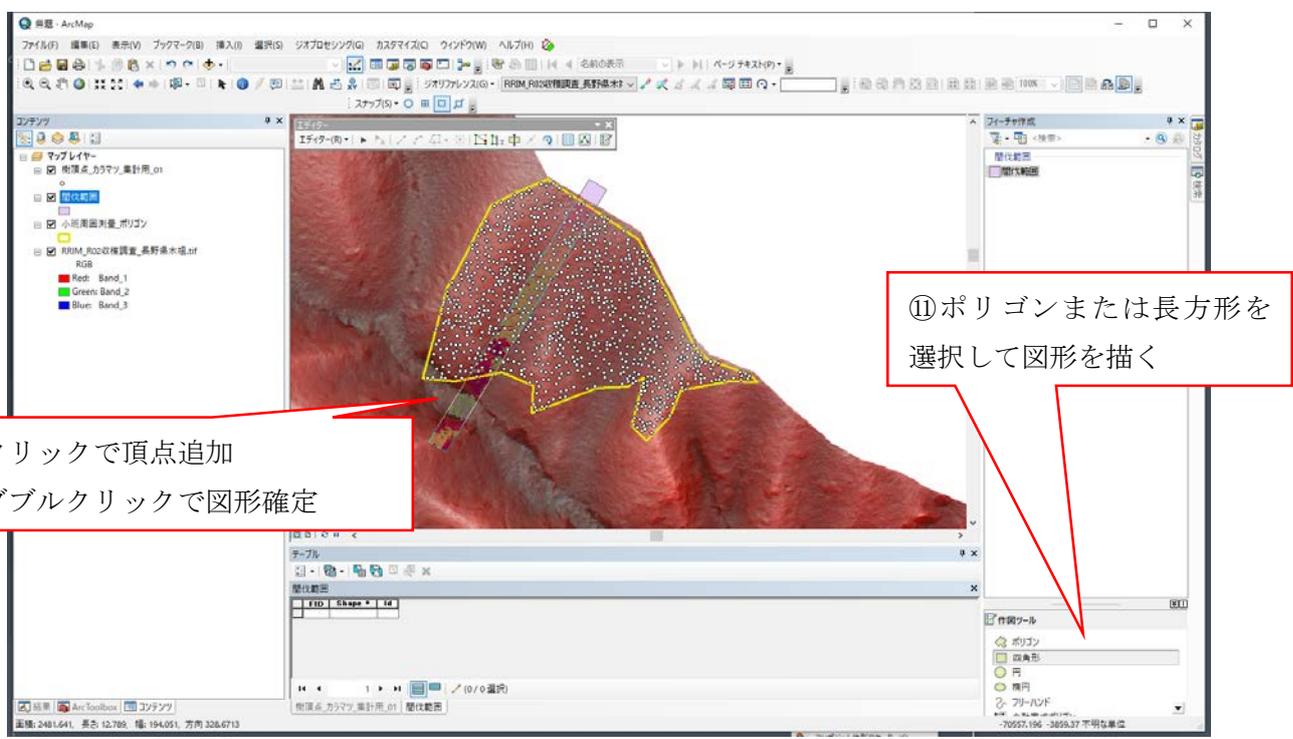
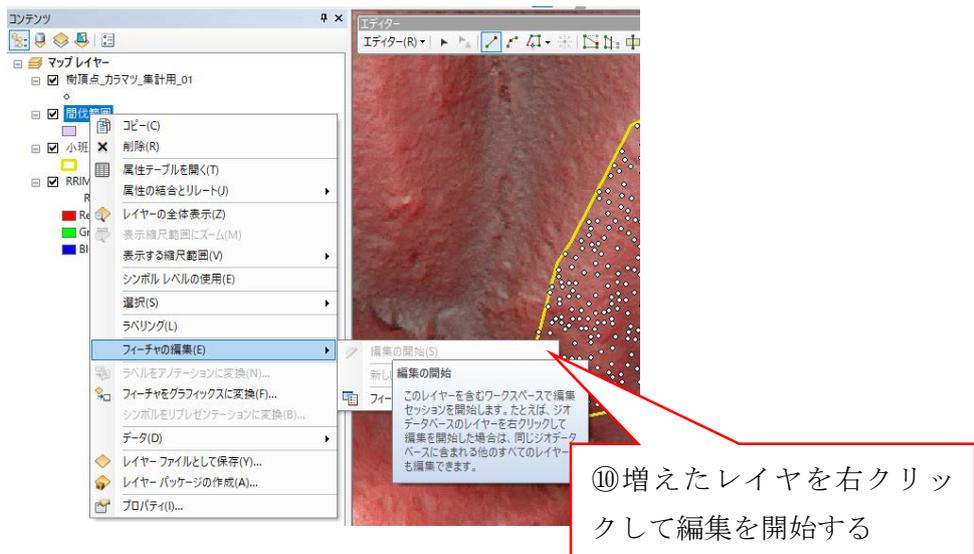
⑥編集をクリック

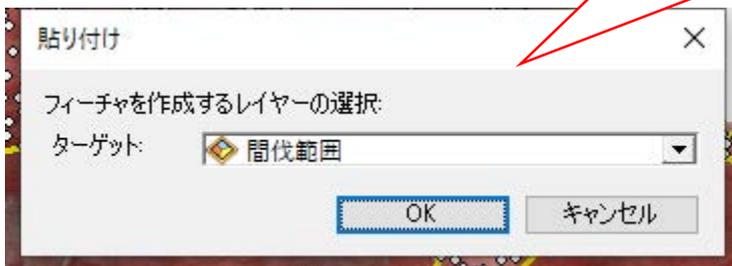
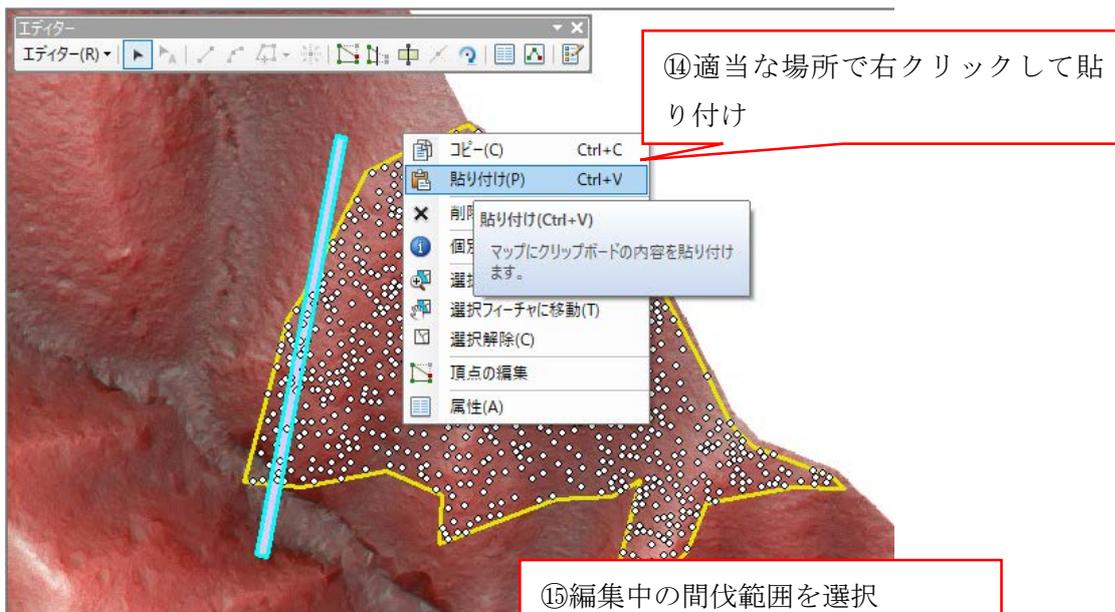
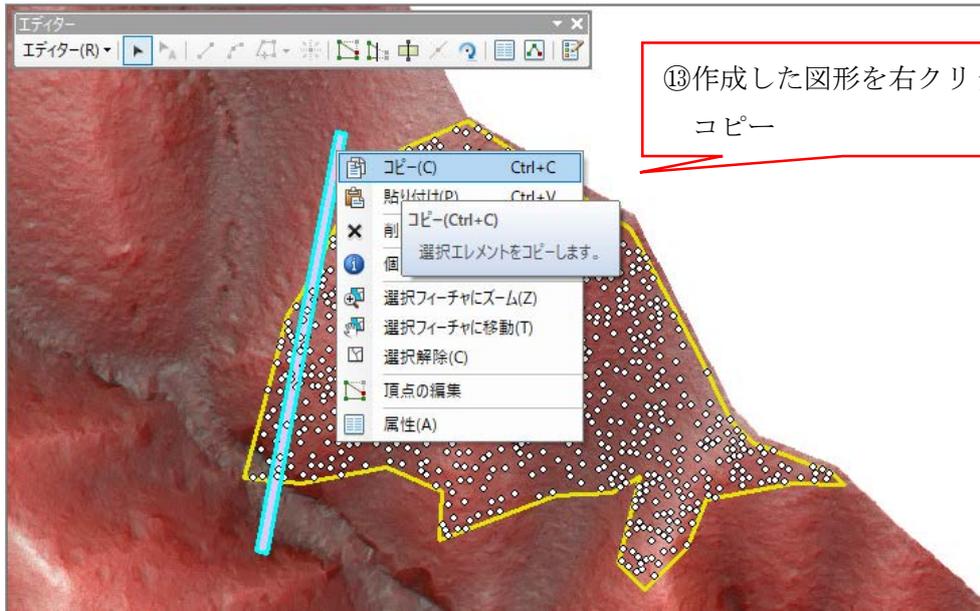
⑦対応する座標系を選択

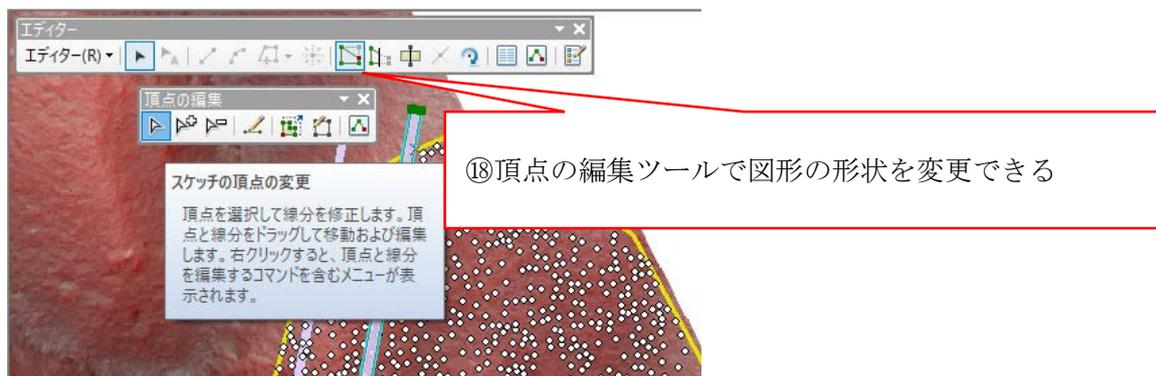
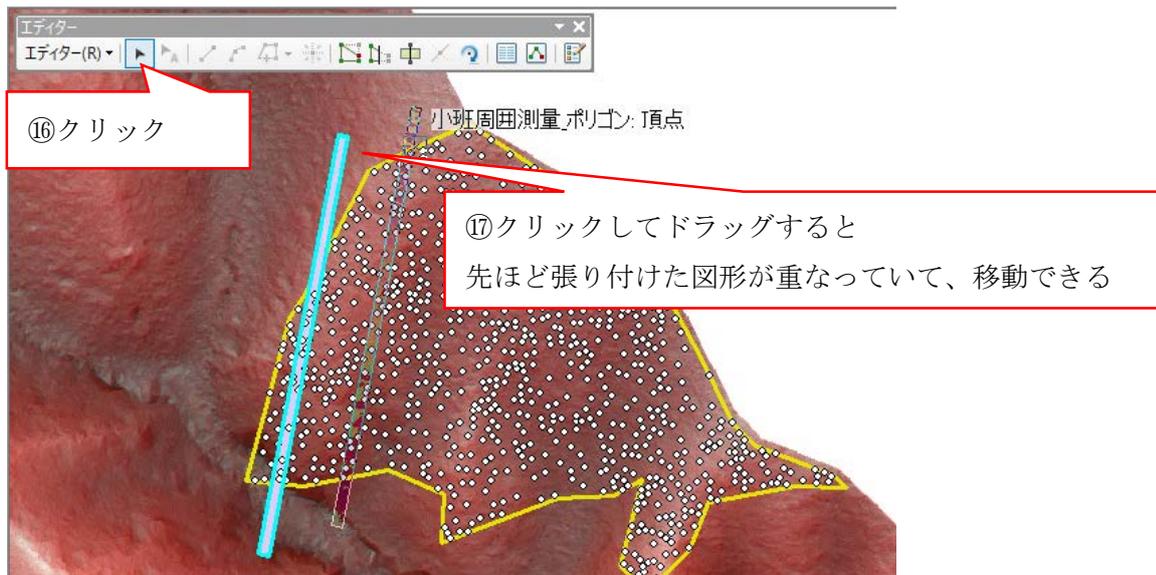
⑧クリック

⑨クリックすると新規ポリゴンシェープが作成される

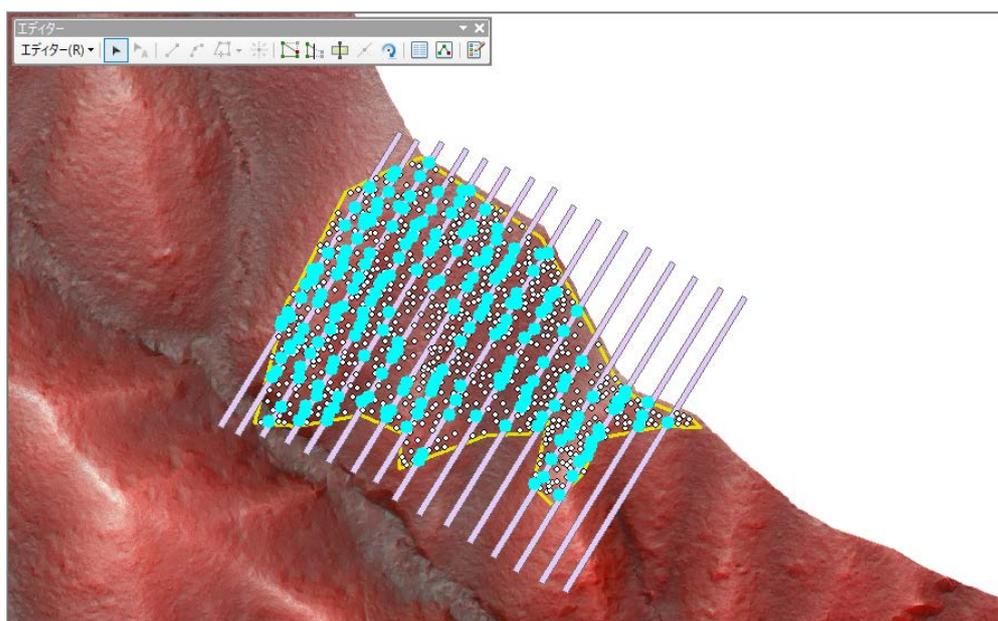
Shape	FID_treeo	樹冠長	樹冠幅	樹冠高	材積	樹種ID	樹種	FID_小種木	色付用キ	妻材管	妻材管	官行途	材積	
oint	4788	21.3	23.1	25.5	30.8	0.739	4	カマ	1357	0040000600000001	22000100	400	600	0
oint	4789	16.8	18.5	2.1	14.9	0.149	4	カマ	1357	0040000600000001	22000100	400	600	0
oint	4743	17.6	10.1	3.8	18.7	0.172	4	カマ	1357	0040000600000001	22000100	400	600	0
oint	4717	17.5	21.4	12.5	23.3	0.272	4	カマ	1357	0040000600000001	22000100	400	600	0
oint	4689	19.1	17.6	3.8	21.8	0.26	4	カマ	1357	0040000600000001	22000100	400	600	0
oint	4689	16.8	9	12.3	23	0.248	4	カマ	1357	0040000600000001	22000100	400	600	0







⑬～⑯を繰り返すことで、間伐列を設定できる。



1.3 復命書の添付資料への取りまとめ

(1) 毎木調査野帳の様式への取りまとめ

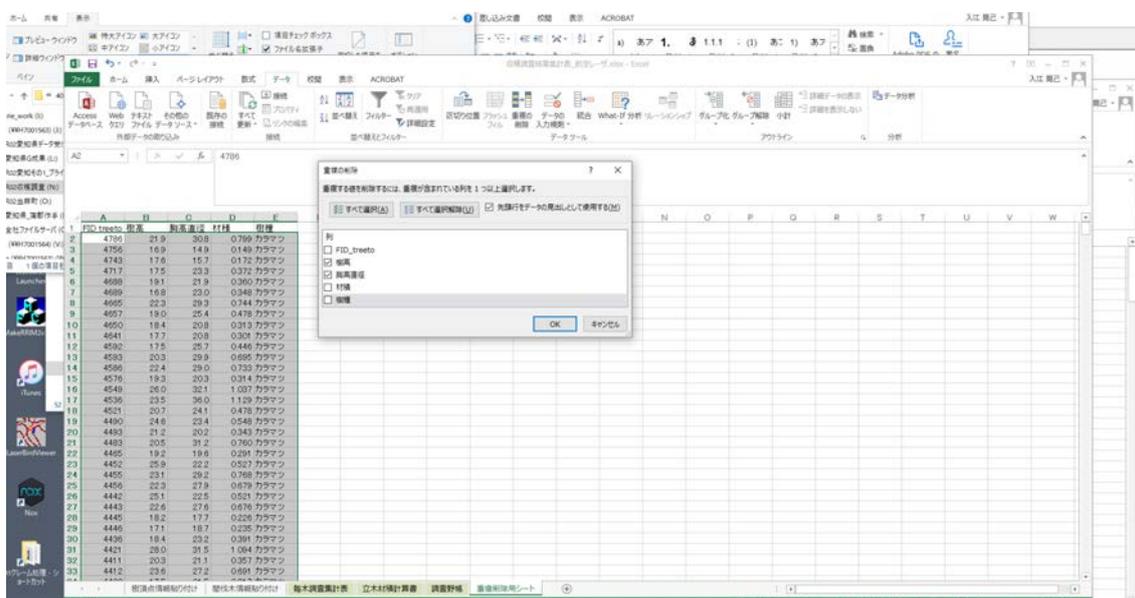
1.2.1 で作成した樹頂点属性情報のエクセルから、FID、樹種、樹高、胸高直径、材積をコピーして様式の樹頂点情報貼り付けシートに貼り付ける。

間伐木を設定した場合は、間伐木情報貼り付けシートにも同様に貼り付ける
調査野帳シートと毎木調査集計表シートが自動入力される。

(2) 立木材積計算書の様式への取りまとめ

1.2.1 で作成した樹頂点属性情報のエクセルから、樹種、樹高、胸高直径、材積をコピーして別のエクセルシートに貼り付ける。貼り付けた列をすべて選択した状態で、データタブの重複の削除をクリックし、樹高と胸高直径のみにチェックを入れ、OK をクリックして、重複する情報を削除する。残ったデータにフィルタを設定し、胸高直径で昇順に並べ替えたのちに、樹高で昇順に並べ替える。

これを立木材積計算書シートに貼り付けると、直径と樹高の組み合わせごとの本数と合計材積が自動計算される。



1.4 採材シミュレーションによる出材量予測

採材シミュレーションは、採材量シミュレータ 2019_ver1.xlsm で実施する。

このマクロ付きエクセルを開き、樹種を選択し採材パラメータを設定する。

採材シミュレータは、相対幹曲線式を利用しており、地域によっては式のない樹種があるため、近隣の同樹種の式を流用する場合がある。

設定値入力シート						
相対幹曲線式係数 $y=ax+bx^2+cx^3$						樹種
スギ	a	b	c			
	2.07178	-2.00867	0.97887			
ヒノキ	a	b	c			
	2.43004	-2.57805	1.20257			
カラマツ	a	b	c			
	2.3473	-2.4041	1.1557			
採材パラメータ						
元玉			末玉			
玉切り	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉	6番玉
材長 (m)	4	4	4	4	4	3
地上高 (m)	4.3	8.4	12.5	16.6	20.7	23.8
根株 (cm)	20					
余尺 (cm)	10					
最小径 (cm)	16					
材種間伐率 (%)	30	←100%で皆伐				
本数間伐率 (%)	30					
選木方法	ランダム					
2m材利用	有	材長: 2.0m	最小径: 8.0cm			
黄色のセルにパラメータを入力してください。						
単木データ 読み込み		集計				
単木データ クリア		集計				

単木データを以下のような csv 形式で作成し、読み込みをクリックする。

今回は、1.3 で作成した間伐木貼り付けシートの値を利用し、列状間伐の出材量予測をおこなった。

	A	B	C	D	E	
1	x	y	z	eDBH	eV	
2		1	1	25.06	28.84	0.81
3		1	1	25.95	35.9	1.19
4		1	1	20.11	20.99	0.35
5		1	1	19.84	17.68	0.25
6		1	1	22.78	35.36	1.01
7		1	1	19.36	12.32	0.13
8		1	1	15.33	17.68	0.19
9		1	1	21.49	27.51	0.62
10		1	1	23.22	42.33	1.42
11		1	1	23.33	20.99	0.41
12		1	1	25.83	24.26	0.62
13		1	1	25.18	40.21	1.41

すべて1を入力

すべて1を入力

樹高

胸高直径

材積

読み込み完了後に集計をクリックすると、集計結果シートに予測量が出力される

