

12. 作業 6 : 地位指数曲線 作成のためのサンプリング

QGIS での作業

準備するデータ :

- 作業 5 で作成したファイル
- 森林簿 GIS
- その他現地を確認できるファイル
(DSM や DTM、河川データ、
空中写真、衛星画像など)

TIPS

■ 森林簿林齢の齟齬をあらかじめ抽出

サンプリングする時には林齢の確実性が高い箇所を選択することが前提となりますが、判断が難しい場合があります。

その場合、あらかじめ、作業 8 の地位指数分布図作成について、既存の係数を使って地位指数を計算してみましょう。

地位指数の数値が妥当な数値（例：既存の地位区分の最大と最小の枠内に収まる）の地点をサンプリングするのも一つの手です。

航空機 LiDAR 計測データを使った地位指数曲線作成の サンプリング方法

地位指数曲線を作成するために、作成した 20m メッシュデータからサンプリングを行います。

サンプリングは、収穫予想表を作成する場合に行われる地上調査の調査地選定と同様の考え方で実施します。調査地選定について、以下のような点に留意する必要があります。

- 信頼性の高い収穫予想表の作成には、一つの樹種・地域を対象とした場合、少なくとも 100 点以上必要
- 林齢（齢級）別に均等になるようにサンプリングする必要

現地調査では、予算や労力の関係から調査できる点数が限られますが、航空機 LiDAR 計測データの場合は、コンピューター上で選択するだけですので、齢級ごとに 10 点程度、20 齢級あると想定して 200 点程度をサンプリングします。

サンプリングにあたっては、以下の点に留意する必要があります。まず第一に、

- 林齢が確実である

ことが必須になります。林齢に対して LiDAR データから算出した上層樹高（作業 5）が高すぎるないし低すぎる場合は、林齢が誤りである可能性が高いので、そのような場所はあらかじめ除外する必要があります。そのうえで、以下の事項に留意してメッシュデータをランダムにサンプリングしていきます。

- 育成単層林で、面積 1 ha 以上の小班
- 林縁が含まれるメッシュは除外する
- 谷部、尾根が含まれるメッシュはできるだけ避け、平衡斜面からサンプリングする

若齢林や高齢林では、1 齢級あたりでサンプルできる箇所数が目標に満たない場合も考えられますが、その場合は隣の齢級で必要数を満たすようにサンプリングしましょう。

補助的に Google Earth/Map や国土地理院の地理院地図（電子国土 Web）等も活用し、現在から過去までの林相の変遷を確認することで、より確実なサンプリングが可能になります。

サンプリング作業

具体的なサンプリング作業では、QGIS でサンプリングするメッシュデータを選択し、属性テーブルにチェックを入れていきます。あらかじめ属性テーブルに「●●」フィールド（整数型）を追加し、サンプリングしたメッシュについて「1」を記入します。

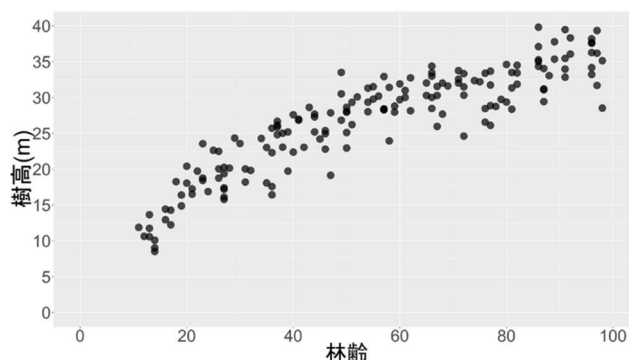
CSV 出力／Excel への読み込み

サンプリングが終了したらサンプリングデータ（●●フィールドが 1 のデータにフィルタを掛ける）を csv 形式でエクスポートします。Csv データを EXCEL ファイルに読み込み、後述の樹高成長曲線をあてはめます。

サンプリングの例

例）齢級ごとに 10 サンプル、3～20 齢級までの計 180 サンプルを取得し、樹高と林齢をプロット

林齢	サンプル数
10-15	10
16-20	10
21-25	10
26-30	10
31-35	10
36-40	10
41-45	10
46-50	10
51-55	10
56-60	10
61-65	10
66-70	10
71-75	10
76-80	10
81-85	10
86-90	10
91-95	10
96-100	10



13. 作業 7 : 樹高成長曲線のあてはめ

TIPS

Microsoft Excel のソルバーツール

ソルバーそのものについては“エクセル ソルバー”等で検索してください。

Microsoft Excel での作業

準備するデータ :

- 作業 6 で作成したファイル (CSV や txt などのテキスト形式のファイル)

注) 本手引きは Microsoft 365 での作業画面を掲載しています

林齢と樹高の関係を示す樹高成長曲線式で使われる主要な成長曲線式はゴンペルツ式、ミッチャーリック式、リチャーズ式は 3 つです。

どの式を樹高成長曲線式として採用するかは林齢と樹高のデータを各式に当てはめた後、各式の精度指標の値を比較して決定します。

式への当てはめは、R や Microsoft Excel が利用できます。ここでは操作が比較的容易である Microsoft Excel のソルバーツールを用いた樹高成長曲線の作成方法を示します。

ここで作成された曲線を地位指数曲線 (ガイドカーブ) とします。

【参考】 主要な成長曲線式

以下、A、B、K はパラメータで、ソルバーツールで求める

ゴンペルツ式 : 上層樹高 = $K \times A^{\exp(-B \times \text{林齢})}$

ミッチャーリック式 : 上層樹高 = $K \times (1 - A \times \exp(-B \times \text{林齢}))$

リチャーズ式 : 上層樹高 = $K \times (1 - \exp(-A \times \text{林齢}))^B$

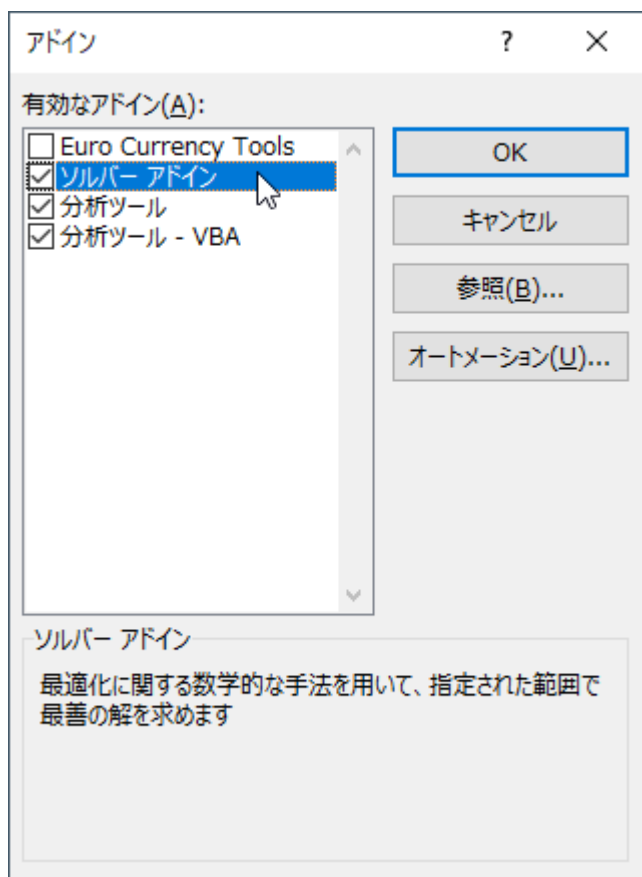
① ソルバーの準備



Excel のオプションをクリックすると、EXCEL のオプション画面が表示されます

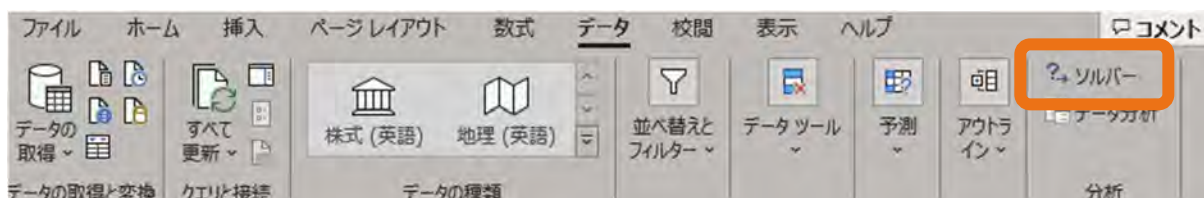
アドインをクリックします

管理(A):Excel アドインを選択し、設定ボタンを押します



アドイン画面が表示されますので、ソルバーアドインのボックスをクリックし、チェックマークが表示された状態にします

OK ボタンを押します



メインメニューバーのデータタブに、ソルバーが追加されます

② 樹高成長曲線のあてはめ

次にソルバーを使った樹高曲線の係数を計算する Excel シートを例として示します

例では、ゴンペルツ、ミッチャーリッヒ、リチャーズの 3 種類の式別にシートを準備しています

N22						
1	樹高曲線へのあてはめ					
2	ゴンベルツ式					
3	上層樹高 $G = K \times A^{\exp(-B \times \text{林齢})}$					
4						
5	データ緒元			精度指標		
6	樹種	スギ		決定係数	#DIV/0!	自
7	地域	●●		RMSE	#DIV/0!	
8	サンプル数	0		AIC	#DIV/0!	
9	平均値	#DIV/0!				
10	残差平方和	3832	←ソルバーでこれを最小化する			
11	平均との差の2乗和	#DIV/0!				
12						
13	モデルパラメータ					
14	パラメータ数	3				
15	K	20	←ソルバーで変化させるセル			
16	A	0.1	←ソルバーで変化させるセル			
17	B	0.1	←ソルバーで変化させるセル			
18	地位指数	19.17407				
19						
20	データ					モ
21	林齢	上層樹高	推定値	残差平方	平均との差 ²	材
22			2	4	#DIV/0!	
23			2	4	#DIV/0!	
24			2	4	#DIV/0!	
25			2	4	#DIV/0!	
26			2	4	#DIV/0!	
27			2	4	#DIV/0!	
28			2	4	#DIV/0!	
準備完了						

ミツチャーリック式のシートを次のページにサンプルとして記載します

- 精度指標の計算に用いる。
- 各関数とデータの行範囲を入力。

- 「パラメータ数」を入力する。(AICの計算に用いる。ミッチャーリッヒ式の場合、A、B、Kの3つのため3を入力)
- A、B、Kは既存の樹高成長曲線式のA、B、Kを参考にあらかじめ入力しておく。参考になる樹高成長曲線が存在しない場合は他地域のものでも利用可能。ソルバーツールにより最終的な解に書き換わる。
- 地位指数にガイドカーブの地位指数が示される。

- 精度が高い林齢とLiDARから得られた上層樹高を入力する。
- 上層樹高の選び方は作業6を参照のこと。

Excel spreadsheet showing a Solver model for minimizing the sum of squared residuals.

Model Parameters:

- パラメータ数: 3
- K: 48.0504303939119
- A: 0.790853981298015
- B: 0.00598907386000008

Objective Function:

残差平方和 (Sum of Squared Residuals) is calculated using the formula: $\sum (B_i - C_i)^2$, where $C_i = \frac{A_i}{1 + B_i \cdot \exp(-K \cdot A_i)}$.

Data Table:

林齢	上層樹高	推定値	残差平方	平均との差 ²
19	12.7	$\frac{A_{17}}{1 + B_{17} \cdot \exp(-K \cdot A_{17})}$	$(B_{17} - C_{17})^2$	$(B_{17} - \bar{C})^2$
19	12.2	$\frac{A_{18}}{1 + B_{18} \cdot \exp(-K \cdot A_{18})}$	$(B_{18} - C_{18})^2$	$(B_{18} - \bar{C})^2$
19	10.4	$\frac{A_{19}}{1 + B_{19} \cdot \exp(-K \cdot A_{19})}$	$(B_{19} - C_{19})^2$	$(B_{19} - \bar{C})^2$
20	10.4	$\frac{A_{20}}{1 + B_{20} \cdot \exp(-K \cdot A_{20})}$	$(B_{20} - C_{20})^2$	$(B_{20} - \bar{C})^2$
21	12.9	$\frac{A_{21}}{1 + B_{21} \cdot \exp(-K \cdot A_{21})}$	$(B_{21} - C_{21})^2$	$(B_{21} - \bar{C})^2$
22	14	$\frac{A_{22}}{1 + B_{22} \cdot \exp(-K \cdot A_{22})}$	$(B_{22} - C_{22})^2$	$(B_{22} - \bar{C})^2$
23	13.9	$\frac{A_{23}}{1 + B_{23} \cdot \exp(-K \cdot A_{23})}$	$(B_{23} - C_{23})^2$	$(B_{23} - \bar{C})^2$
24	7.2	$\frac{A_{24}}{1 + B_{24} \cdot \exp(-K \cdot A_{24})}$	$(B_{24} - C_{24})^2$	$(B_{24} - \bar{C})^2$
25	12.1	$\frac{A_{25}}{1 + B_{25} \cdot \exp(-K \cdot A_{25})}$	$(B_{25} - C_{25})^2$	$(B_{25} - \bar{C})^2$
26	12.3	$\frac{A_{26}}{1 + B_{26} \cdot \exp(-K \cdot A_{26})}$	$(B_{26} - C_{26})^2$	$(B_{26} - \bar{C})^2$
27	8.4	$\frac{A_{27}}{1 + B_{27} \cdot \exp(-K \cdot A_{27})}$	$(B_{27} - C_{27})^2$	$(B_{27} - \bar{C})^2$
28	8	$\frac{A_{28}}{1 + B_{28} \cdot \exp(-K \cdot A_{28})}$	$(B_{28} - C_{28})^2$	$(B_{28} - \bar{C})^2$
29	11.9	$\frac{A_{29}}{1 + B_{29} \cdot \exp(-K \cdot A_{29})}$	$(B_{29} - C_{29})^2$	$(B_{29} - \bar{C})^2$
30	9.6	$\frac{A_{30}}{1 + B_{30} \cdot \exp(-K \cdot A_{30})}$	$(B_{30} - C_{30})^2$	$(B_{30} - \bar{C})^2$
31	12.2	$\frac{A_{31}}{1 + B_{31} \cdot \exp(-K \cdot A_{31})}$	$(B_{31} - C_{31})^2$	$(B_{31} - \bar{C})^2$
32	7.4	$\frac{A_{32}}{1 + B_{32} \cdot \exp(-K \cdot A_{32})}$	$(B_{32} - C_{32})^2$	$(B_{32} - \bar{C})^2$
33	7.7	$\frac{A_{33}}{1 + B_{33} \cdot \exp(-K \cdot A_{33})}$	$(B_{33} - C_{33})^2$	$(B_{33} - \bar{C})^2$
34	6.9	$\frac{A_{34}}{1 + B_{34} \cdot \exp(-K \cdot A_{34})}$	$(B_{34} - C_{34})^2$	$(B_{34} - \bar{C})^2$
35	6.4	$\frac{A_{35}}{1 + B_{35} \cdot \exp(-K \cdot A_{35})}$	$(B_{35} - C_{35})^2$	$(B_{35} - \bar{C})^2$
36	9.8	$\frac{A_{36}}{1 + B_{36} \cdot \exp(-K \cdot A_{36})}$	$(B_{36} - C_{36})^2$	$(B_{36} - \bar{C})^2$

- 林齢とモデルパラメータのA、B、Kを引数とした成長曲線式を入力しておく。

- データ諸元の各統計値用の計算式を入力。

精度指標	
決定係数	$=1-(\$C\$5/(\$C3-\$C9-1))/(\$C\$6/(\$C3-1))$
RMSE	$=\text{SQRT}(\$C5/\text{COUNT}(B17:B1872))$
AIC	$=\$C3*\text{LN}(\$C5/(\$C3-1))+2*\$C9-\$C3$

- A、B、Kを引数、林齢を40年として成長曲線を入力する

モデル	推定樹高
林齢	
1	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F17))$
2	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F18))$
3	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F19))$
4	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F20))$
5	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F21))$
6	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F22))$
7	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F23))$
8	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F24))$
9	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F25))$
10	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F26))$
11	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F27))$
12	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F28))$
13	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F29))$
14	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F30))$
15	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F31))$
16	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F32))$
17	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F33))$
18	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F34))$
19	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F35))$
20	$=\$C\$10*(1-\$C\$11*\text{EXP}(-1*\$C\$12*\$F36))$

- データ諸元の各統計値を引数とした計算式を入力しておく。
- 他の成長曲線式と比較してどの成長曲線式を樹高成長曲線式として採用するか検討する。
- 精度指標については統計の教科書、インターネット等で参照のこと。

- ソルバーツールで得られたA、B、Kを当てはめた推定樹高が得られる。これを元に樹高成長曲線を描ける。
- 林齢は任意の範囲を入力しておく。
- 推定樹高には林齢とモデルパラメータのA、B、Kを引数とした成長曲線式を入力しておく（推定値で入力した式と似ている）。

ソルバーツールの設定の例を示します

ここでは、モデル式に対するサンプル値の残差平方和（セル C5）を最小とするようなパラメータ（K、A、B）の最適解を求めるように設定しています

ソルバーのパラメーター

目的セルの設定:(I)

目標値: ☐ 最大値(M) ☒ 最小値(N) ☐ 指定値(V)

変数セルの変更:(B)

制約条件の対象:(U)

☒ 制約のない変数を非負数にする(K)

解決方法の選択: (E)

解決方法
滑らかな非線形を示すソルバー問題には GRG 非線形エンジン、線形を示すソルバー問題には LP シンプ
レックス エンジン、滑らかではない非線形を示すソルバー問題にはエボリューション エンジンを選択してく
ださい。

ヘルプ(H)

追加(A)
変更(C)
削除(D)
すべてリセット(R)
読み込み/保存(L)

オプション(O)

- モデルパラメータの A、B、K（緑枠で囲ったセル）を入力する
- データ諸元の残差平方和（赤枠で囲ったセル）を入力する

「解決」をクリックすると計算結果の表示とともに、設定シートのモデルパラメータの A、B、K が書き換わります

③ 精度の比較とモデルの決定

各式のシートの計算結果から「決定係数」「RMSE（二乗平均平方根誤差）」「AIC（赤池情報量規準）」の3つの精度指標が算出されますので、最もあてはまりの良いモデル式を選択します（ガイドカーブの決定）

設定シートのモデルの林齢と推定樹高の値を用いて、樹高曲線（ガイドカーブ）の図や表が作成できます

採択された樹高曲線式をもとに、20mメッシュの林齢・上層木平均樹高をもとに、作業8の地位指数の算出を行います

14. 作業 8 : 地位指数分布図の作成

QGIS での作業

準備するデータ :

- 作業 5 で作成した樹高、樹種、林齢情報が格納された 20m メッシュポリゴン

まず、各メッシュの地位指数曲線の係数 K を計算します。この計算には、ガイドカーブの係数 A 、 B 、各メッシュの上層木平均樹高 H_t 、林齢を使います。次に、計算した K とガイドカーブの係数 A と B 、そして各メッシュの林齢と樹高から地位指数を推定します。計算ツールは QGIS の属性テーブル内フィールド計算機です。

以下、徳島県の地位指数曲線の係数を使った計算プロセスを示します。

① 地位指数曲線（ガイドカーブ）の係数の確認

● 20m メッシュごとの K の計算式

概要： ミッチャーリッヒ式（上層樹高 $H_t = A \times (1 - B \times \exp(-K \times \text{林齢 } t))$ ）を使ったガイドカーブの係数 A, B を使って各メッシュの K を算出

前提： 樹種別の絶対地位指数は、 A 、 B は固定で K （樹高の指標）が変動する

ガイドカーブ（中央線）の係数

樹種	森林簿での 樹種コード	計算式	K	A	B
スギ	1	$H_t = 27.1209(1 - 0.9607 \exp(-0.026 * t))$	27.1209	0.960 7	0.026
ヒノキ	2	$H_t = 20.8915(1 - 0.9677 \exp(-0.0269 * t))$	20.8915	0.967 7	0.026 9

出典 スギ：[徳島県農林水産部林業飛躍局林業戦略課, 2012]、ヒノキ [徳島県農林水産部林業飛躍局林業戦略課, 2013]

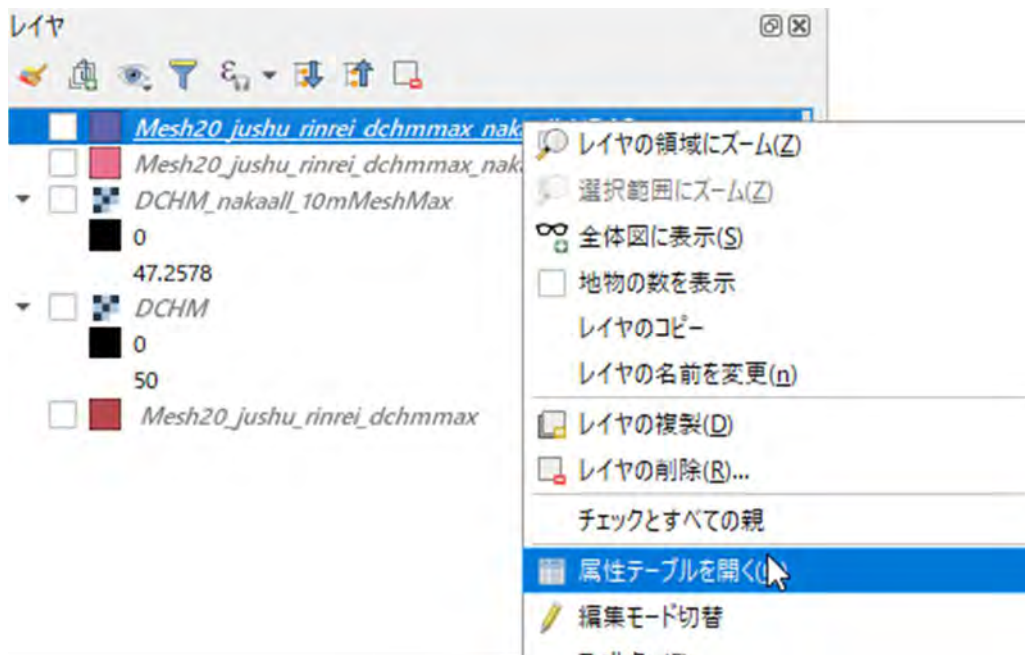
K を求める計算式 $K = H_t / (1 - A * \exp^{(-B * t)})$
 H_t : LiDAR DCHM(20m MAX) を入力
 t : 森林簿林齢を入力

② フィールド計算機を使った樹種別の K の計算

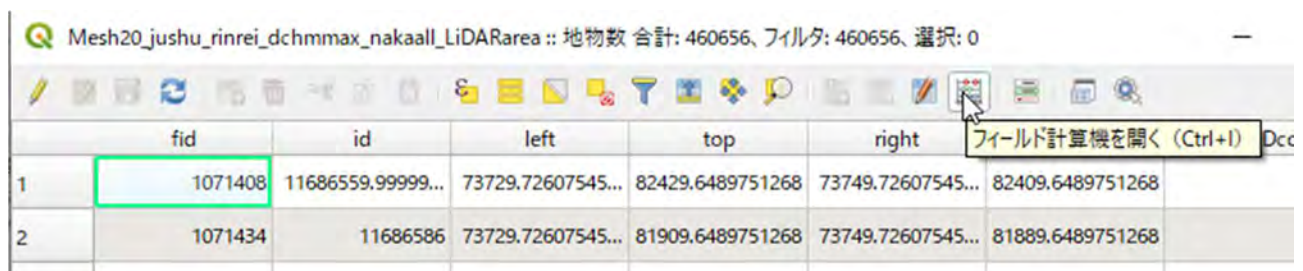
K の計算では、QGIS のフィールド計算の“条件”を使います

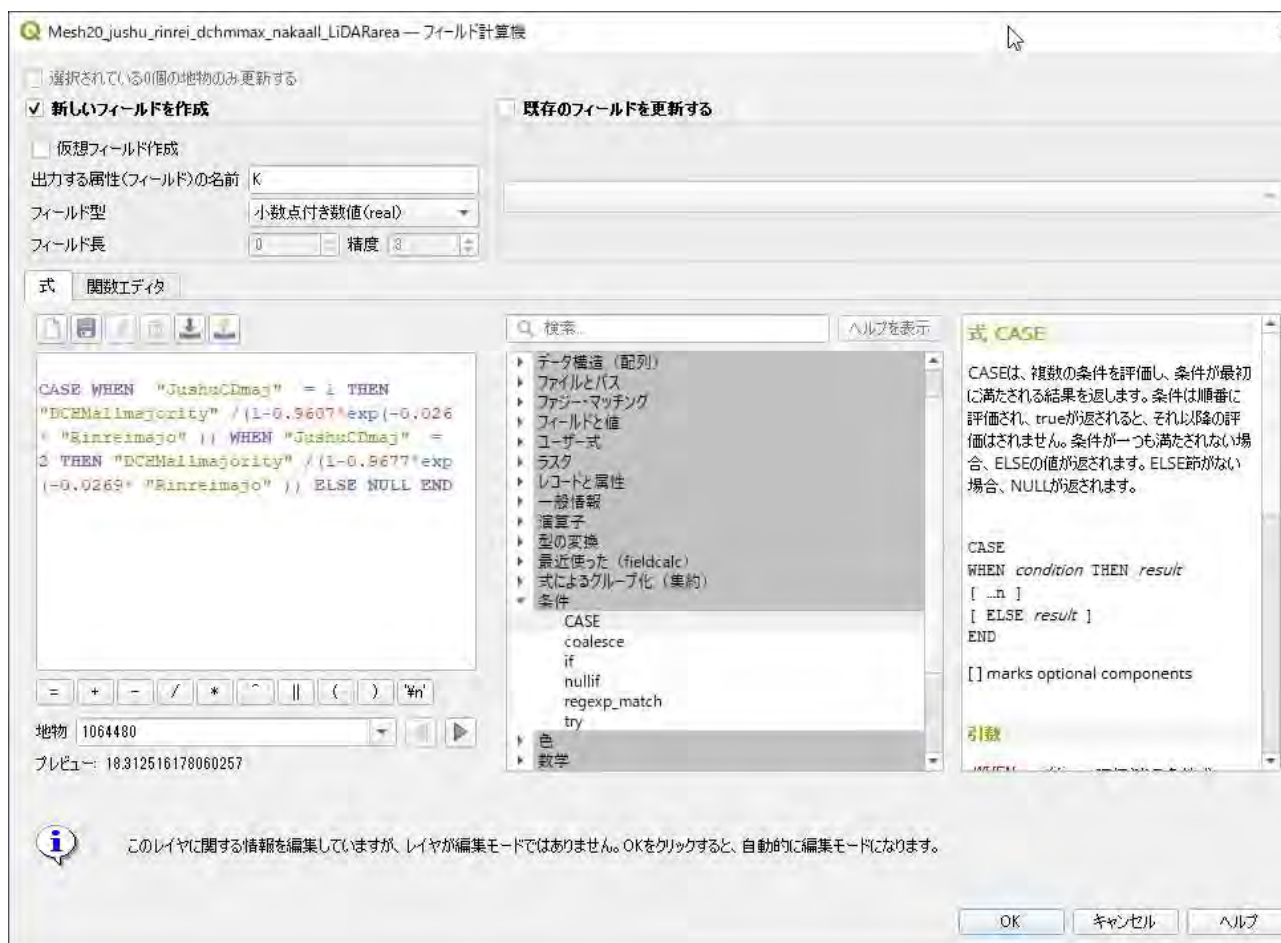
20mメッシュ（林齢、樹種、上層木平均樹高（LiDAR 10m メッシュ最大値の 20m メッシュ平均値）を含むファイル）を QGIS で開きます

属性テーブルを開きます



フィールド計算機を開きます





新しいフィールドを作成：チェックを入れる

出力する属性（フィールド）の名前：K

フィールド型：小数点付き数値（real）

式【記入例】 ※ "" 内に入るフィールド名は例です

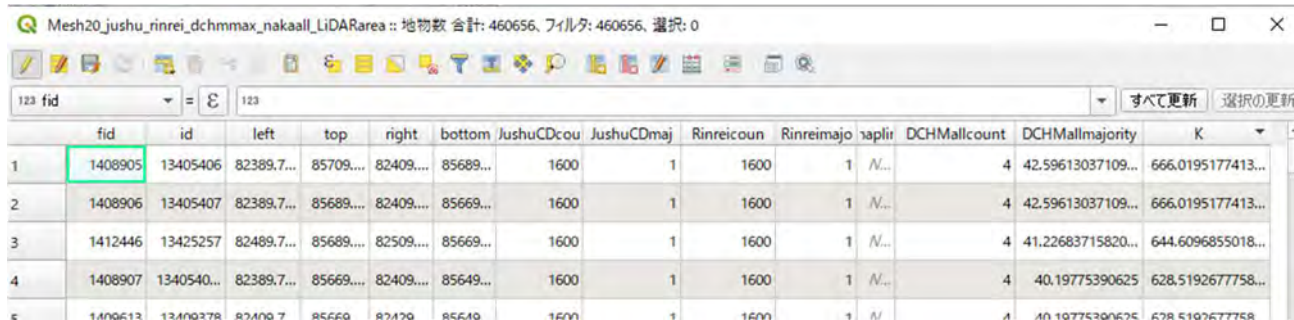
```
CASE
  WHEN "JushuCDmajority" = 1
  THEN "Htmean" /(1-0.9607*exp(-0.026* "Rinreimajority" ))
  WHEN "JushuCDmajority" = 2
  THEN "Htmean" /(1-0.9677*exp(-0.0269* "Rinreimajority" ))
  ELSE NULL END
```

プレビューに計算結果が示されます

計算式が合っているか心配な場合は、ここで数値を確認してみましょう

OK ボタンを押します

K という名前のフィールドが新しく追加されていることを確認してください



	fid	id	left	top	right	bottom	JushuCDcou	JushuCDmaj	Rinreicoun	Rinreimajo	sapli	DCHMallcount	DCHMallmajority	K
1	1408905	13405406	82389.7...	85709...	82409...	85689...	1600	1	1600	1	N...	4	42.59613037109...	666.0195177413...
2	1408906	13405407	82389.7...	85689...	82409...	85669...	1600	1	1600	1	N...	4	42.59613037109...	666.0195177413...
3	1412446	13425257	82489.7...	85689...	82509...	85669...	1600	1	1600	1	N...	4	41.22683715820...	644.6096855018...
4	1408907	1340540...	82389.7...	85669...	82409...	85649...	1600	1	1600	1	N...	4	40.19775390625	628.5192677758...
5	1408912	13405378	82409.7...	85669...	82409...	85649...	1600	1	1600	1	N...	4	40.19775390625	628.5192677758...

③ フィールド計算機を使った樹種別の地位指数 SI の計算

K の計算と同じ手順で操作します。

計算式のフィールドには、ミッチャーリッヒ式であれば、

$$\text{上層樹高 } Ht = K \times (1 - A \times \exp(-B \times \text{林齢 } t))$$

の式を記入します

Mesh20_jushu_rinrei_dchmmax_nakaall_LiDARarea — フィールド計算機

☐ 選択されている0個の地物のみ更新する

☒ 新しいフィールドを作成 ☐ 既

☐ 仮想フィールド作成

出力する属性(フィールド)の名前

フィールド型

フィールド長 精度

式 関数エディタ

```

CASE
WHEN "JushuCDmaj" = 1
THEN "K" * (1 - 0.9607 * exp(- 0.026 *
"Rinreimajo" ))
WHEN "JushuCDmaj" = 2
THEN "K" * (1 - 0.9677* exp(- 0.0269 *
"Rinreimajo" ))
ELSE NULL
END

```

地物 ⏪ ⏩

プレビュー: 10.454833984375

計算式の例 ※ ""内のフィールド名は例です

```

CASE
WHEN "JushuCDmajority" = 1
THEN "K" * (1 - 0.9607 * exp(- 0.026 * 40 ))
WHEN "JushuCDmajority" = 2
THEN "K" * (1 - 0.9677* exp(- 0.0269 *40 ))
ELSE NULL END

```

プレビューに計算結果が示されます。計算式が合っているか心配な場合は、ここで数値を確認してみましょう

計算が終わりましたら、地位指数のフィールド（例では *SI*）が表示されているか確認しましょう

ここまでで地位指数が算出できました

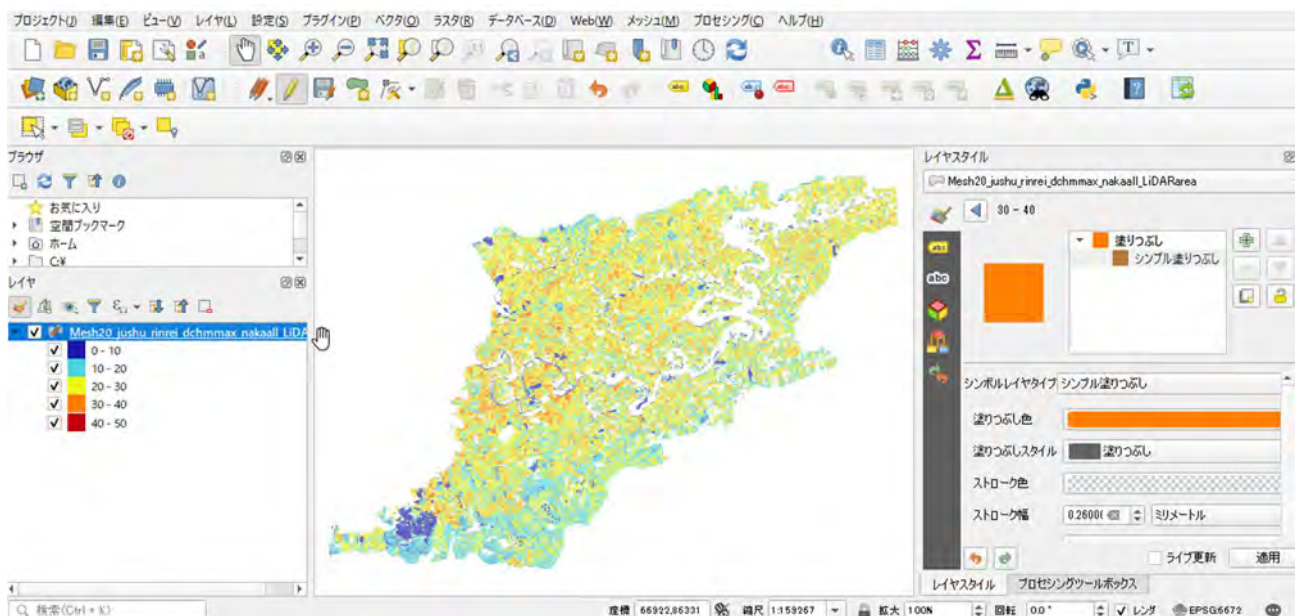
データをエクスポートしておきましょう

ファイル名の例：*Mesh20_SI*

④ 地図化

レイヤのスタイルパネルで地位指数を数値レベルで色付けしてみましょう

森林簿林齢が実態と異なる場合、極端に大きな値または小さな値が出ることがあります



（例）

上図で使った色付けの設定

プロパティ>シンボロジ>連続値による定義>値：*SI*>シンボル：透明なストローク>フォーマット：%1 - %2
>モード

地図が作成できたら、現地に詳しい方々に地位指数の分布傾向を確認してみよう