

航空レーザーデータの林業への積極的な活用 ～CS立体図を用いた地形判読～

(株) ジオ・フォレスト
戸田 堅一郎

経歴／会社概要

氏名：戸田 堅一郎

◇ ～令和3年度 長野県職員（林務部）

- ・ 行政職（治山係、林道係、補助金事務など、12年）
- ・ 研究職（林業総合センター、13年）
山地防災に関する研究、CS立体図の考案
- ・ 令和4年3月末に退職

◇ 令和4年4月 **株式会社ジオ・フォレストを設立**

- ・ 森林、林業と山地防災のコンサルティング
- ・ 地図作成で山村集落の課題を解決



<https://gf17v.com/>

「ジオ・フォレスト」で検索



目次

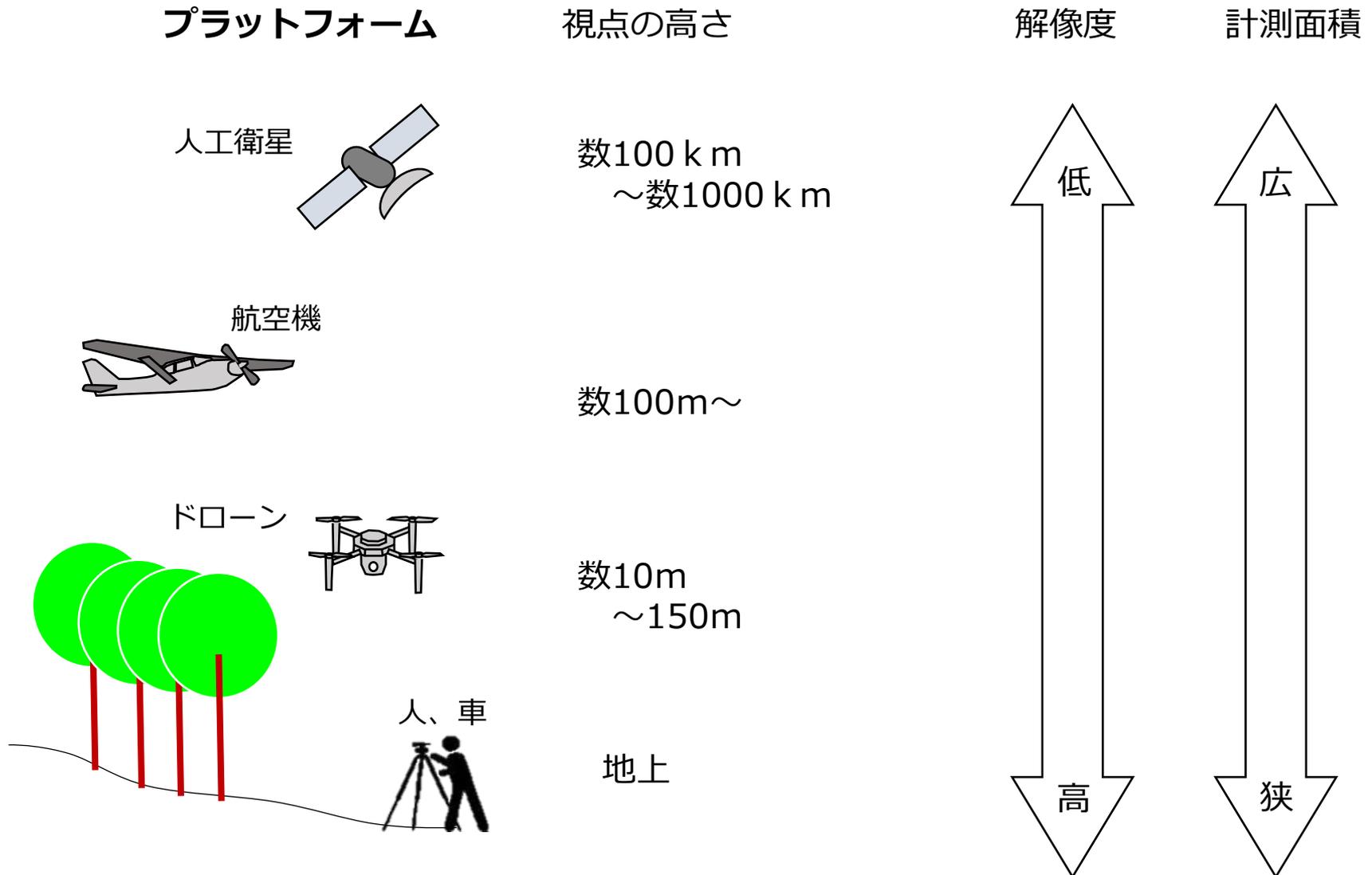
- 1 リモートセンシングについて
- 2 航空レーザー測量について
- 3 CS立体図を用いた地形判読

1 リモートセンシング

リモートセンシングとは (Remote Sensing)

離れたところから非接触で調べる

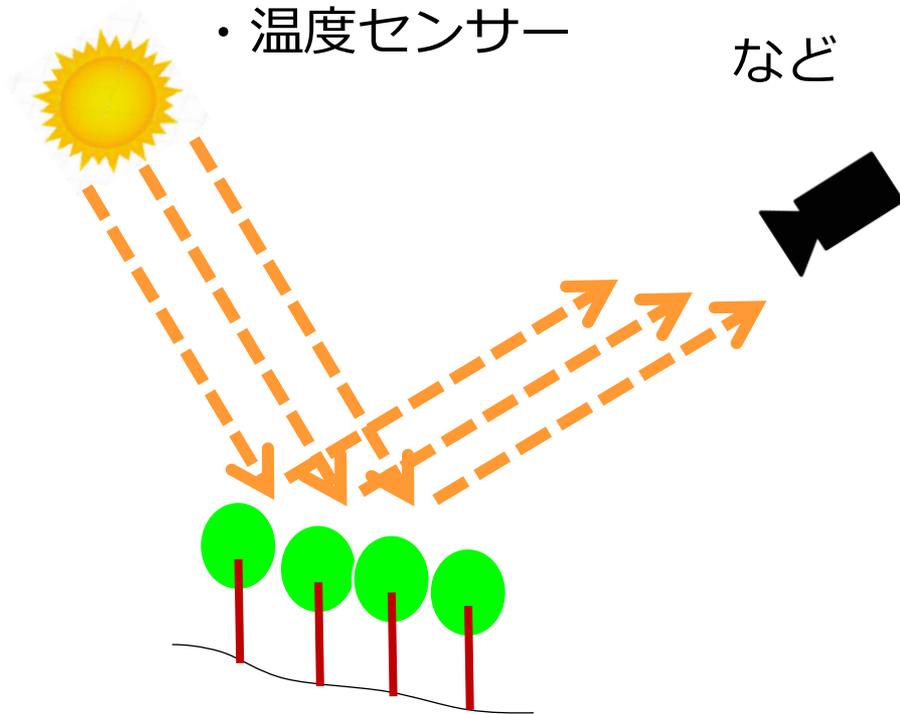
どれくらい離れたところから調べるか？



どのような**センサー**を使うか？

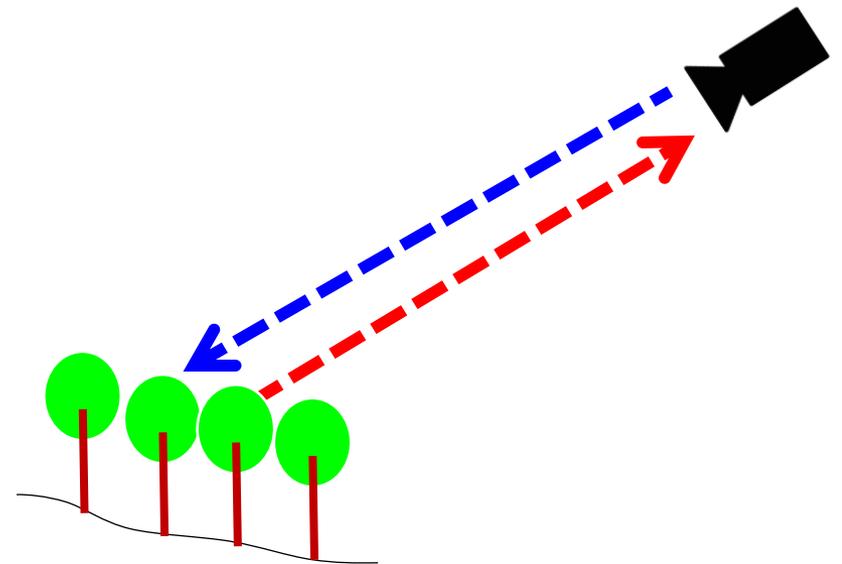
受動式センサー

- ・ 光学センサー
デジタルカメラ
近赤外線カメラ
 - ・ 温度センサー
- など



能動式センサー

- ・ レーザースキャナー
 - ・ レーダー (SAR)
 - ・ ソナー
- など



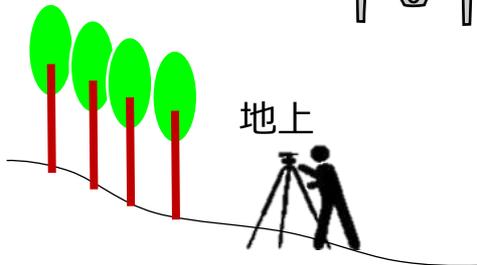
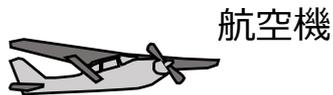
目的に応じてプラットフォームとセンサーの組み合わせを選択することが重要

【センサー】

受動式センサー
能動式センサー

×

【プラットフォーム】



- 何を観たいか？
- どれくらいの範囲か？
- どれくらいの頻度か？
- 予算は？

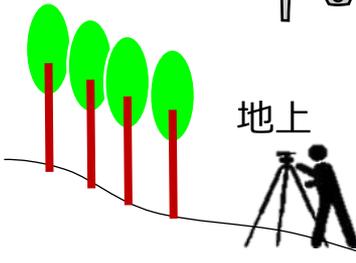
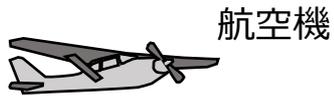
リモートセンシングの技術体系

計測技術

【センサー】
受動式センサー
能動式センサー

×

【プラットフォーム】

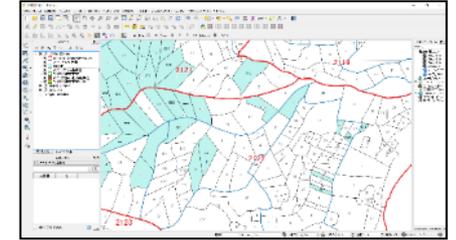


解析技術



高速化
低価格化
クラウド活用
ソフトウェア

現場活用技術



- ・ オープンソースGIS
- ・ WebGIS



- ・ スマートフォン
- ・ GNSS (GPS)

共有

収集

リモートセンシングの技術体系

計測技術

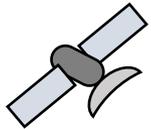
【センサー】

受動式センサー

能動式センサー (レーザー)

×

【プラットフォーム】



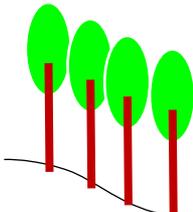
人工衛星



航空機



ドローン



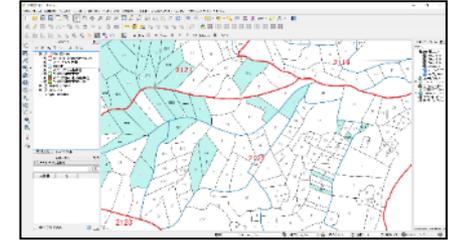
地上

解析技術



高速化
低価格化
クラウド活用
ソフトウェア

現場活用技術



- ・ オープンソースGIS
- ・ WebGIS



- ・ スマートフォン
- ・ GNSS (GPS)

共有

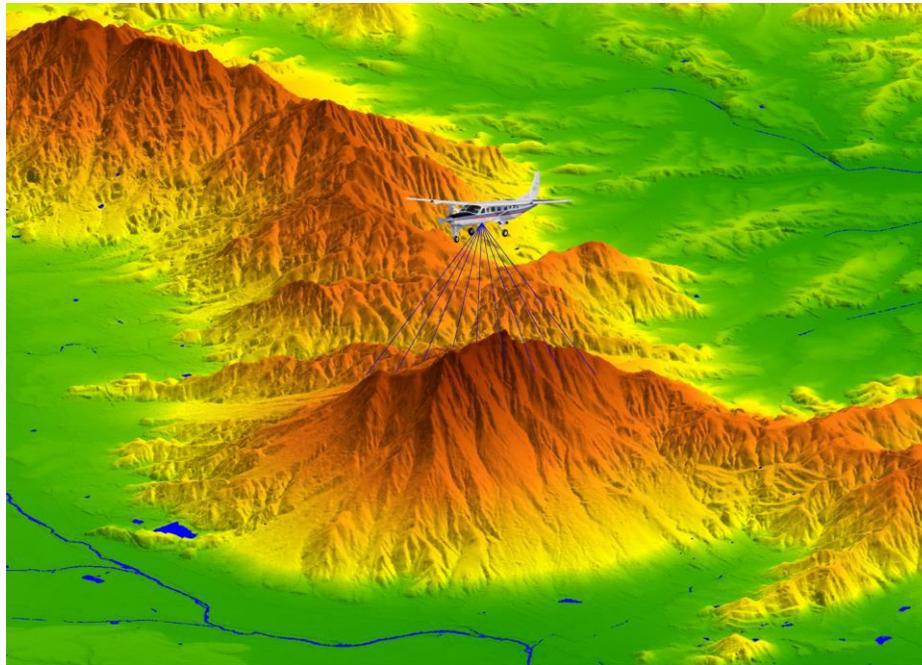
収集

2 航空レーザー測量

航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、**航空機**に搭載した**レーザースキャナ**から地上にレーザー光を照射し、地上から反射するレーザー光との時間差より得られる地上までの距離と、GNSS測量機、IMU(慣性計測装置)から得られる航空機の位置情報より、地上の標高や地形の形状を調べる測量方法。

(国土地理院Webサイト)

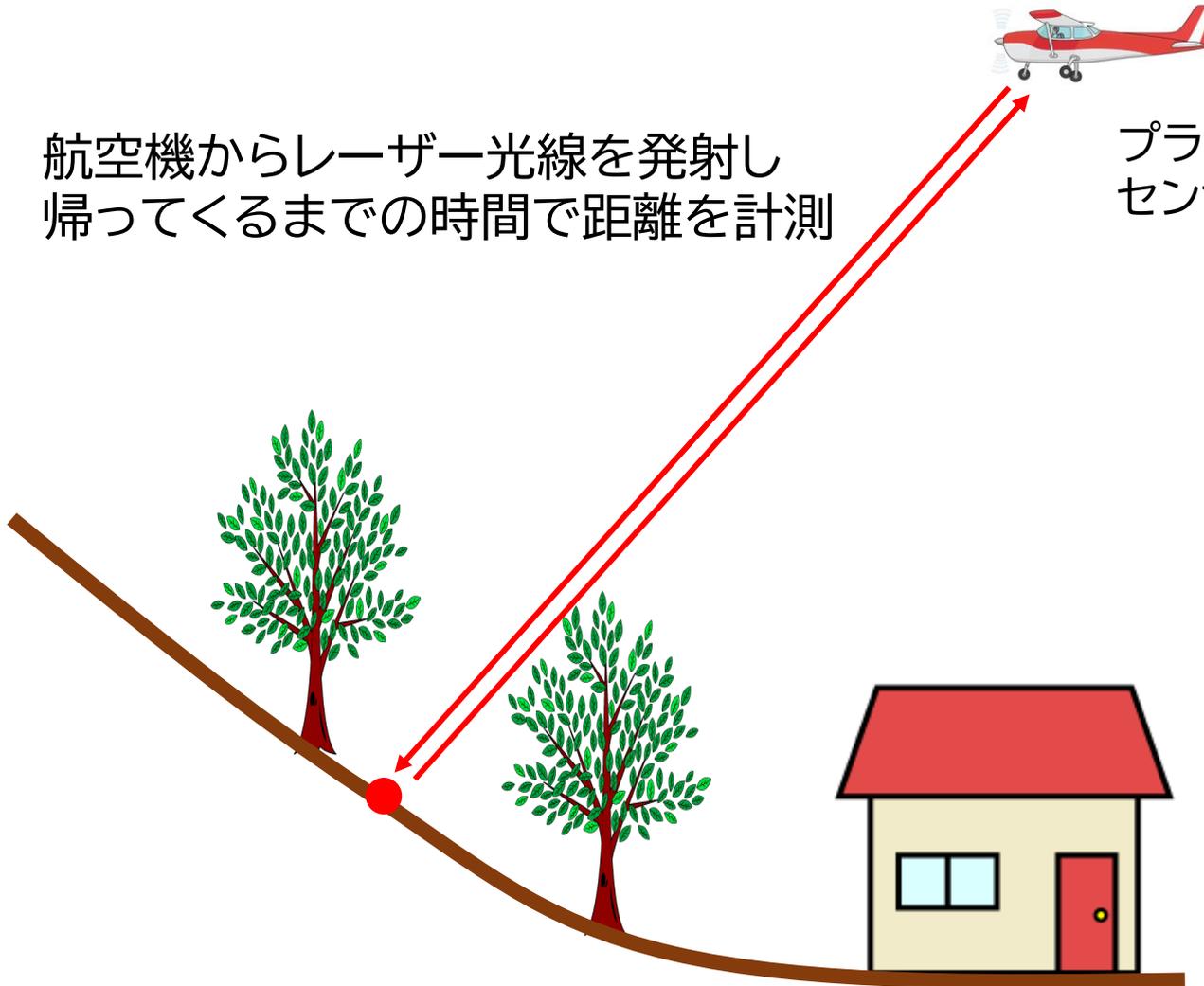


https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_index.html

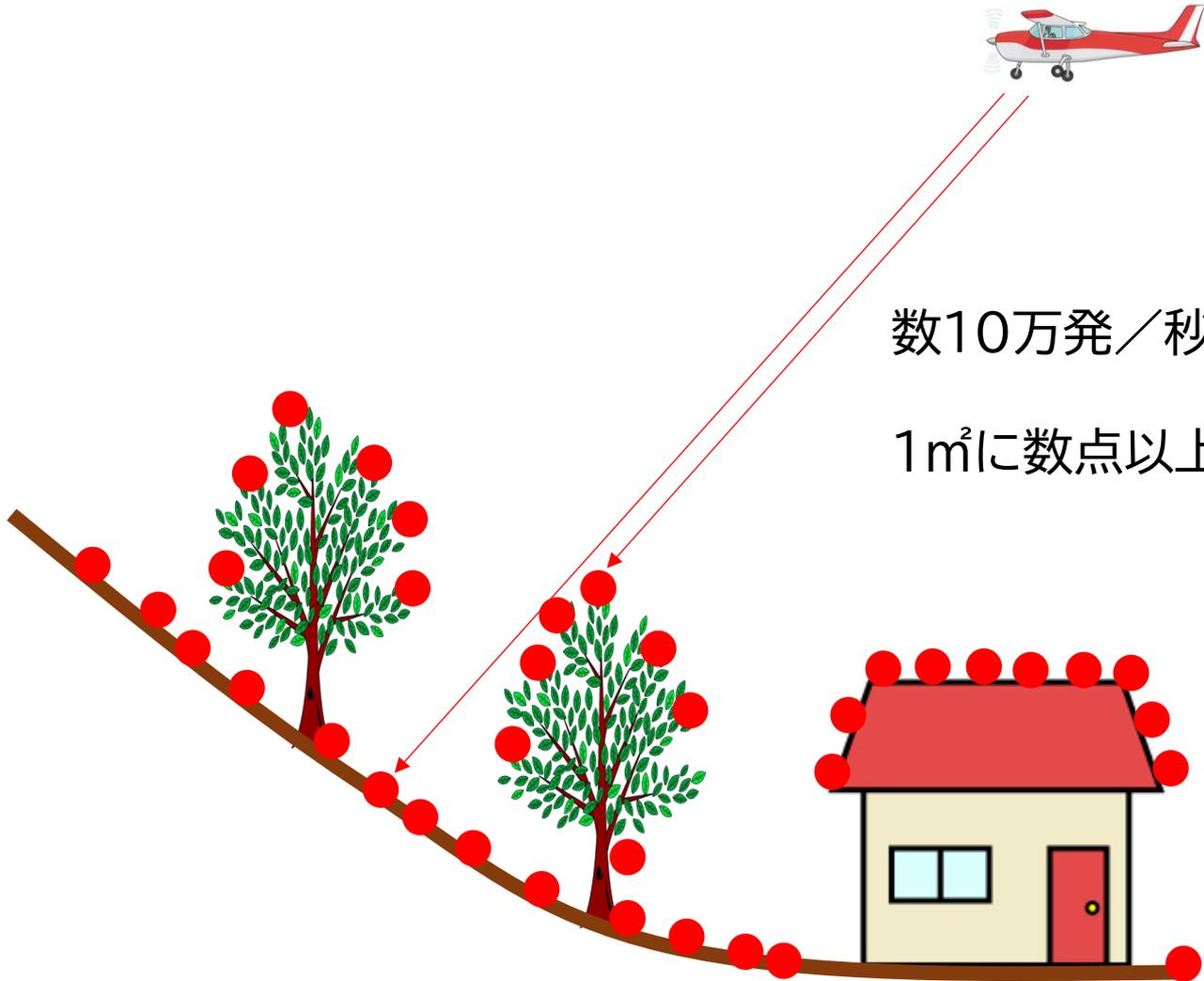
航空レーザー測量

航空機からレーザー光線を発射し
帰ってくるまでの時間で距離を計測

プラットフォーム：航空機
センサー：レーザースキャナー



航空レーザー測量



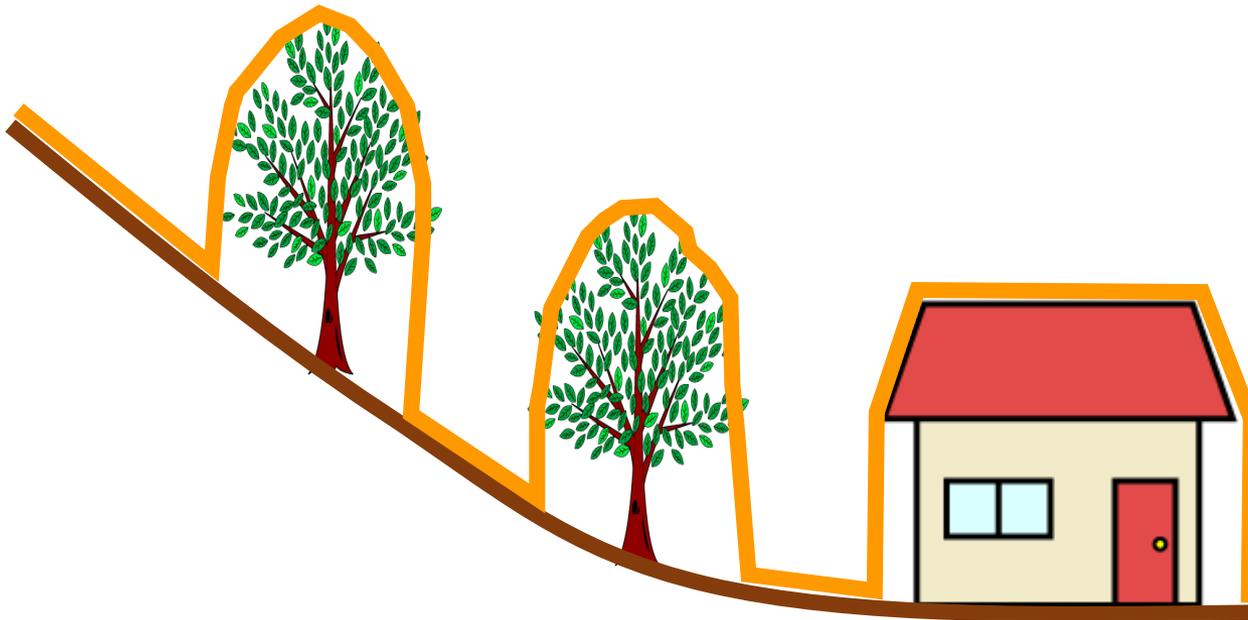
数10万発／秒を計測

1m²に数点以上（発注仕様による）

航空レーザー測量

フィルタリング = 建物、樹木、地表面を分類

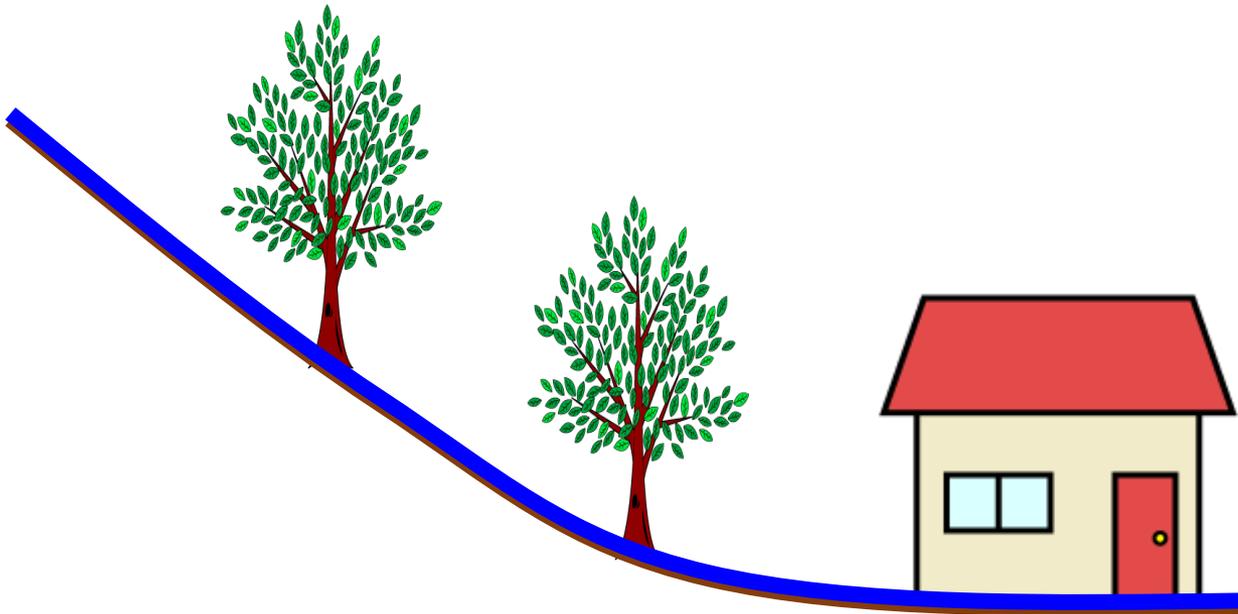
数値表面モデル： DSM (Digital Surface Model)



航空レーザー測量

フィルタリング = 建物、樹木、地表面を分類

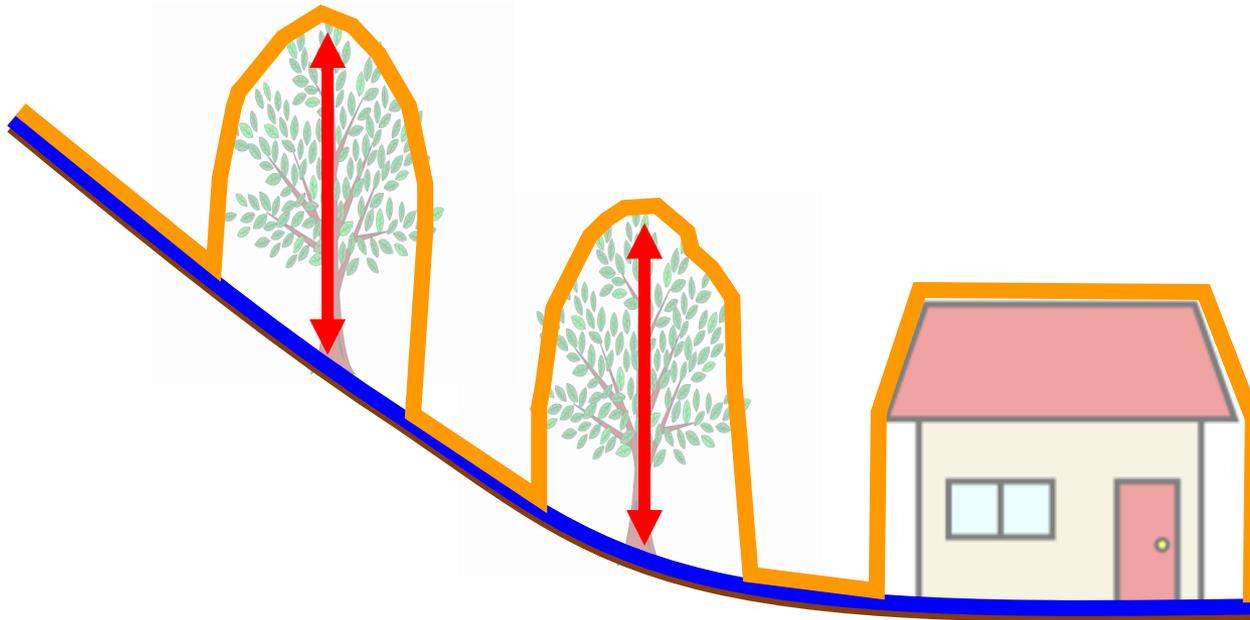
数値標高モデル : DEM (Digital Elevation Model)



航空レーザー測量

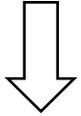
数値樹冠高モデル DCHM (Digital Canopy Height Model)

$$\text{DCHM} = \text{DSM} - \text{DEM}$$



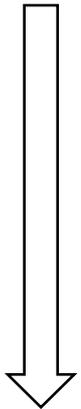
フィルタリング

オリジナルデータ

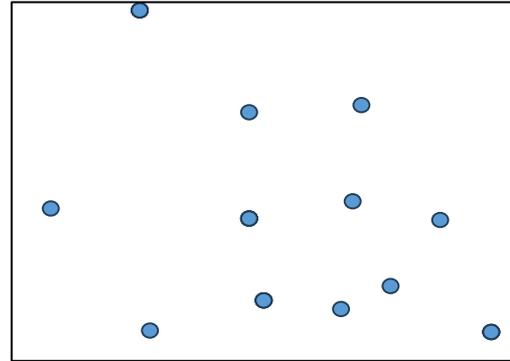


フィルタリング

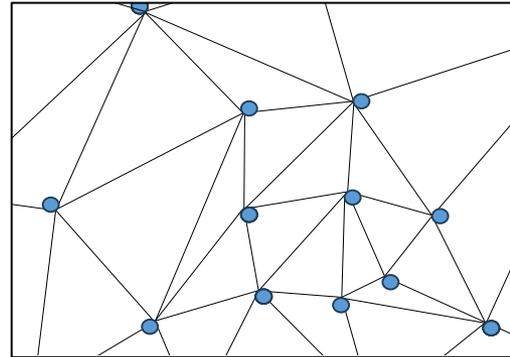
グラウンドデータ
(ランダム)



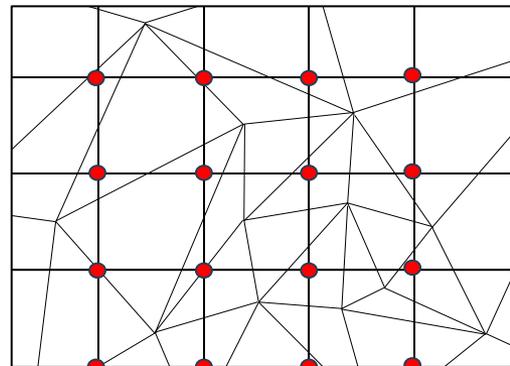
グリッドデータ
(格子状)



グラウンドデータ
(ランダム)



三角形の面を張る
(TIN)



グリッドデータ
格子点にあたる場所の
標高値を計算

航空レーザー計測データ

ENVI LiDARで表示

The screenshot displays the ENVI LiDAR software interface. The main window shows a 3D point cloud of a landscape, including a village and fields, rendered against a blue sky. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Process, Help), a toolbar with various icons, and a layer list on the left. The layer list shows 'Vectors', 'DSM', 'Points', and 'All Points'. Below the layer list are navigation controls, including a 'Jump (m): 10' field and a 'View Point Density (pts/m^2): 50' field. A 2D elevation view is shown in the bottom-left corner, with a size of 401m x 299m. The console window at the bottom displays the following text:

```
Export to Text File | Reset list
Loading saved rectangle 0...
Project successfully opened for TODAK on computer: DESKTOP-PITNJTL
Rect: 308052.000 308302.000 3883324.000 3883574.000 - (250.000m x 250.000m)
Rect covers 2,669,701 entries, density 42.715 point/m2 (used 66% of the points)
Total job time: 2m:13.4s
Rect: 308052.000 308453.000 3883334.000 3883633.000 - (401.000m x 299.000m)
Rect covers 5,473,870 entries, density 45.654 point/m2 (used 69% of the points)
```

静岡県LPデータ（G空間情報センターからDL）

フィルタリング

フィルタリングを実施

ENVI LiDARで表示

The screenshot displays the ENVI LiDAR software interface. The main window shows a 3D point cloud of a village with buildings and trees. The buildings are colored yellow, and the trees are green. The ground is blue. A red rectangle is drawn on the ground, and a red line is drawn across the scene. The interface includes a toolbar at the top, a legend on the left, a search toolbox on the right, and a console at the bottom showing export logs.

ENVI LiDAR - 浜田\R4(2022)~ジオ・フォレスト\業務\R6\00_研修\講演\20240902信州大学\PPTデータ\静岡県LP\08NE4910\08NE4910.ini

File Edit View Process Help

Jump (m): 10

View Point Density (pts/m²): 50 Set

Not in Draw Window Size: 150m x 132m (Blo)

Export to Text File Reset list

Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)

X: 308129.557 Y: 3883506.035 Z: 50.770 (UTM WGS_1984 Zone 54N Meters) (Point Intensity: 1063)

静岡県LPデータ（G空間情報センターからDL）

グラウンドデータ (ランダム)

地形データのみを表示

ENVI LiDARで表示

ENVI LiDAR - 江戸田\R4(2022)〜ジオ・フォレスト\業務\R6\00_研修\講演\20240902信州大学\PPTデータ\静岡県LP\08NE4910\08NE4910.ini

File Edit View Process Help

Jump (m): 10

View Point Density (pts/m²): 50 Set

Not in Draw Window Size: 150m x 132m (Blo)

Export to Text File Reset list

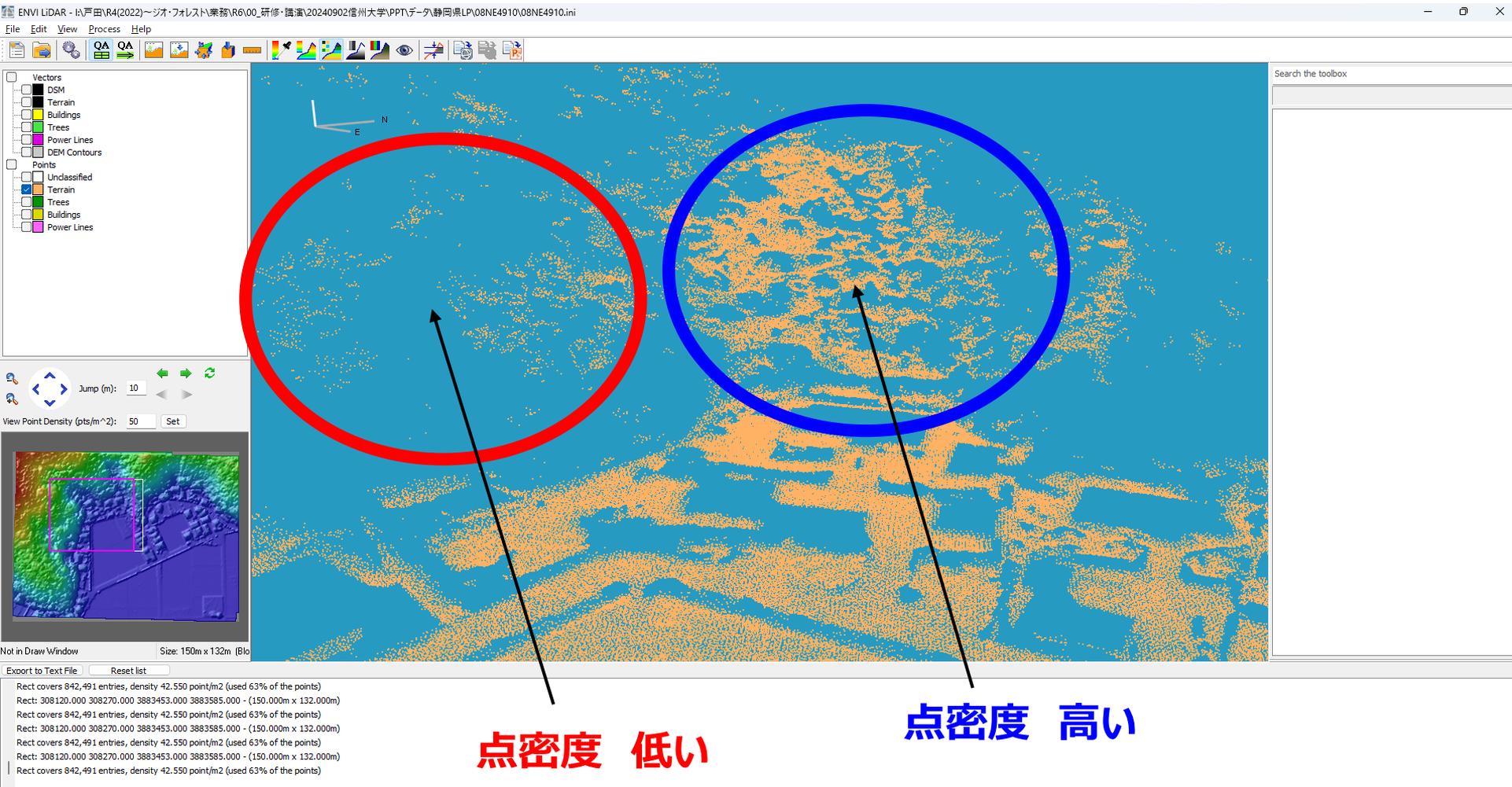
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m² (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m² (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m² (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m² (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)

静岡県LPデータ (G空間情報センターからDL)

グラウンドデータ (ランダム)

地形データのみを表示

ENVI LiDARで表示



点密度 高い

点密度 低い

静岡県LPデータ (G空間情報センターからDL)

グラウンドデータ (DEM)

地面に面を生成して隙間を補間

ENVI LiDARで表示

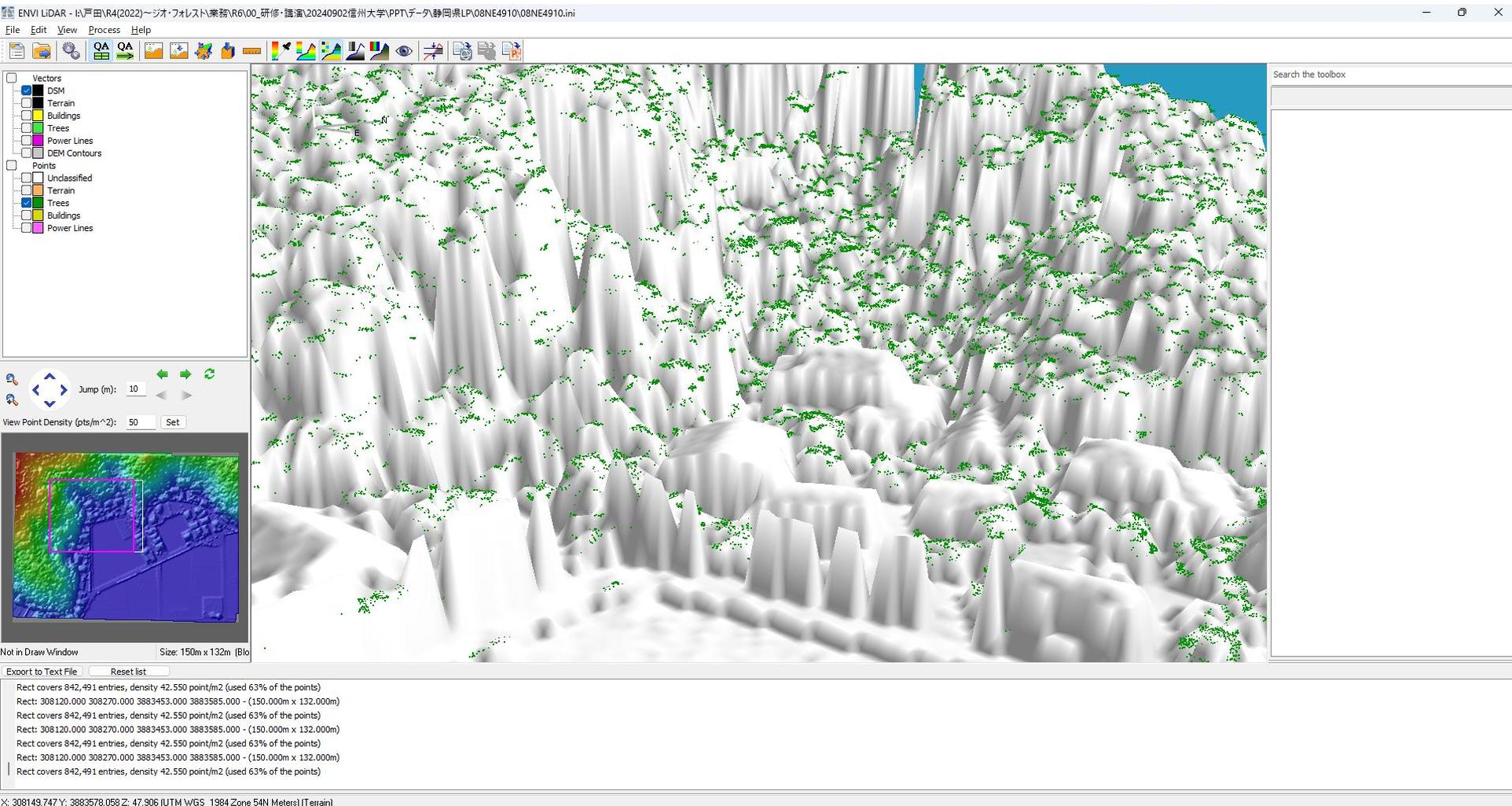
The screenshot displays the ENVI LiDAR software interface. The main window shows a 3D visualization of a point cloud (orange dots) overlaid with a Digital Elevation Model (DEM) surface (white lines). The terrain is rendered in a blue-to-green color gradient. The interface includes a toolbar at the top, a legend on the left side, and a console window at the bottom. The legend shows various layers: Vectors (DSM, Terrain, Buildings, Trees, Power Lines, DEM Contours) and Points (Unclassified, Terrain, Trees, Buildings, Power Lines). The console window at the bottom displays the following text:

```
Export to Text File   Reset list
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
Rect: 308120.000 308270.000 3883453.000 3883585.000 - (150.000m x 132.000m)
Rect covers 842,491 entries, density 42.550 point/m2 (used 63% of the points)
```

静岡県LPデータ (G空間情報センターからDL)

DSM

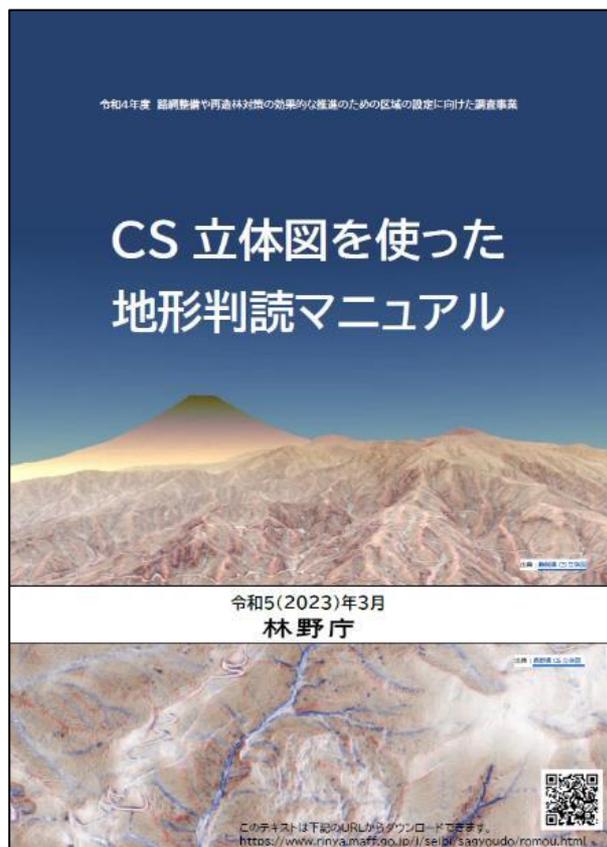
ENVI LiDARで表示



静岡県LPデータ（G空間情報センターからDL）

3 CS立体図を用いた地形判読

CS立体図を使った地形判読

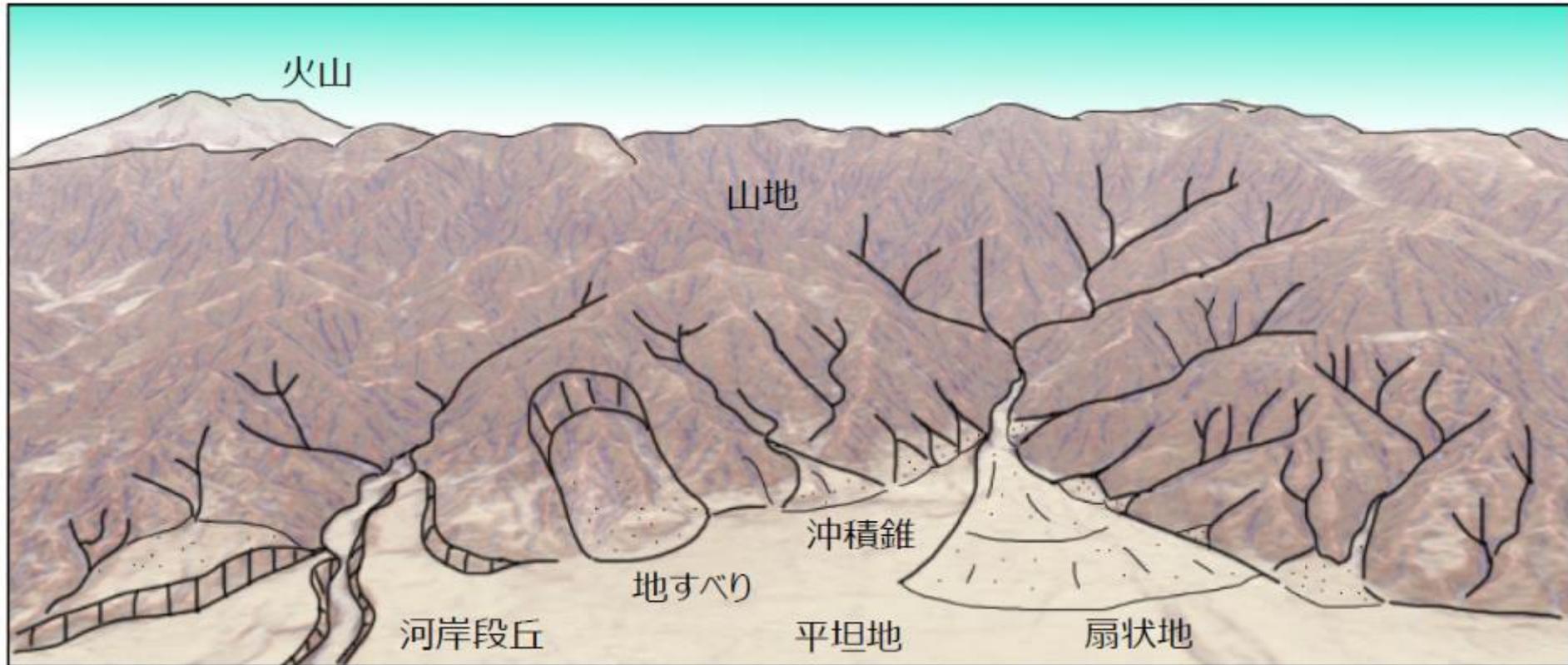


検索

林野庁 地形 マニュアル



1.1 「地形」とは



大地に残された様々な地形

なぜ「地形」ができたのか？

- ・地殻変動
- ・火山活動
- ・水の力
- ・風の力
- ・人工改変

= 営力

など、その場所で過去に発生した現象の痕跡



これらの現象 (= 災害) は、
同じ場所で繰り返し発生する可能性が高い



地形判読から将来を予測し、適切な対策をする

1.2 地形図から判読できる地形情報

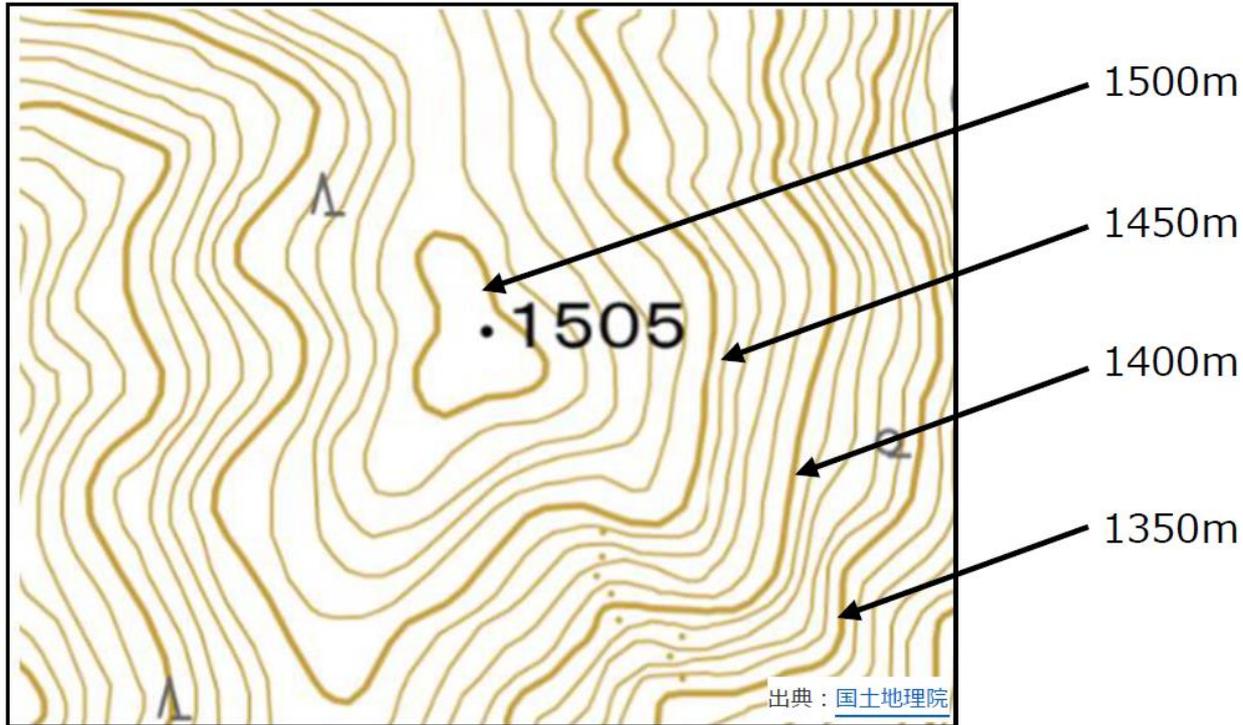
- 地形量**
- ・長さ、面積、それらの比など、定量化できる形態要素
 - ・誰が計測しても同じ値

例) 標高、傾斜、曲率、面積、体積、方位、起伏量 など

- 地形種**
- ・特定の成因によって形成された特定の形態的特徴をもつ地形の部分
 - ・判読者の解釈によって判断が異なる

例) 扇状地、崖錐、地すべり滑落崖、地すべり側方崖 など

(1) 標高(elevation)



等高線による標高の表示

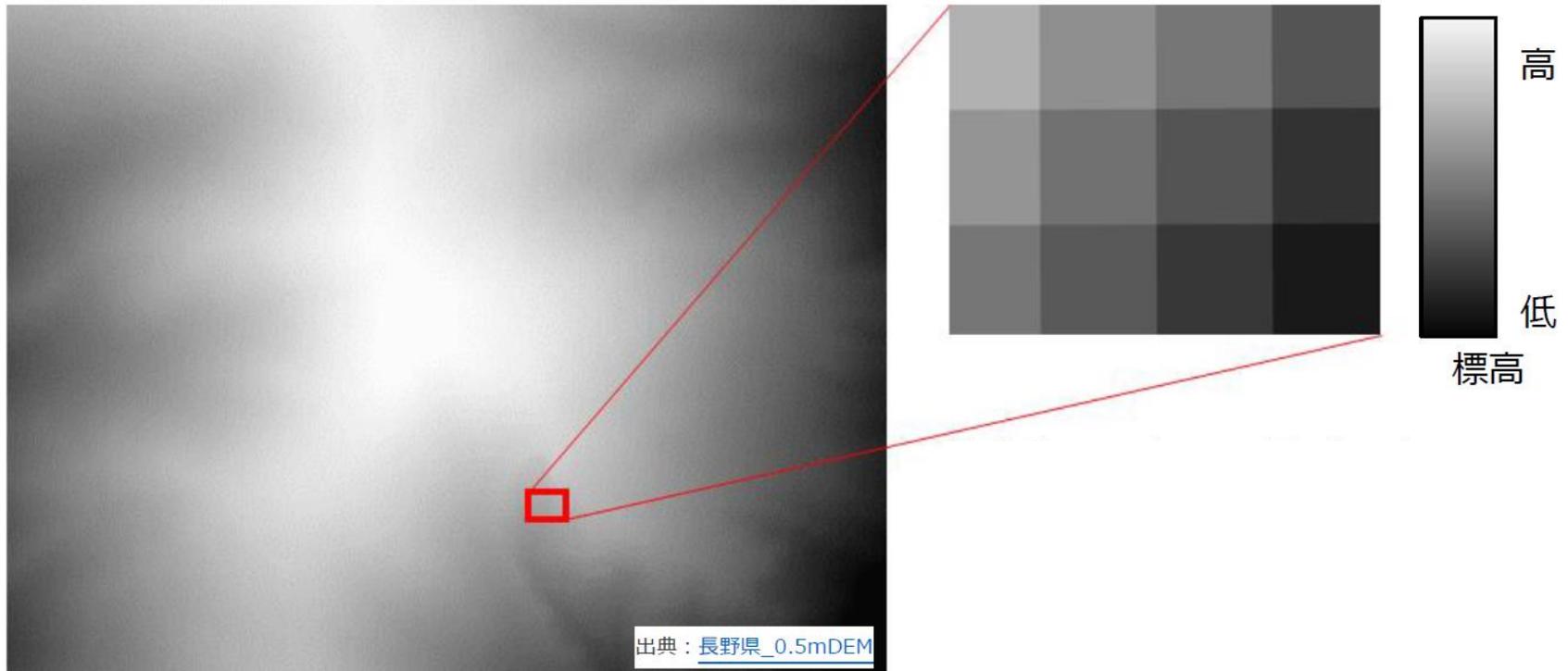
- ・標高とは、東京湾の平均海水面からの垂直距離
- ・等高線とは、同じ標高を結んだ線

標高が高いほど気温が低下

⇒耐寒性の違いによる適地適木の選択

⇒病虫害対策の検討

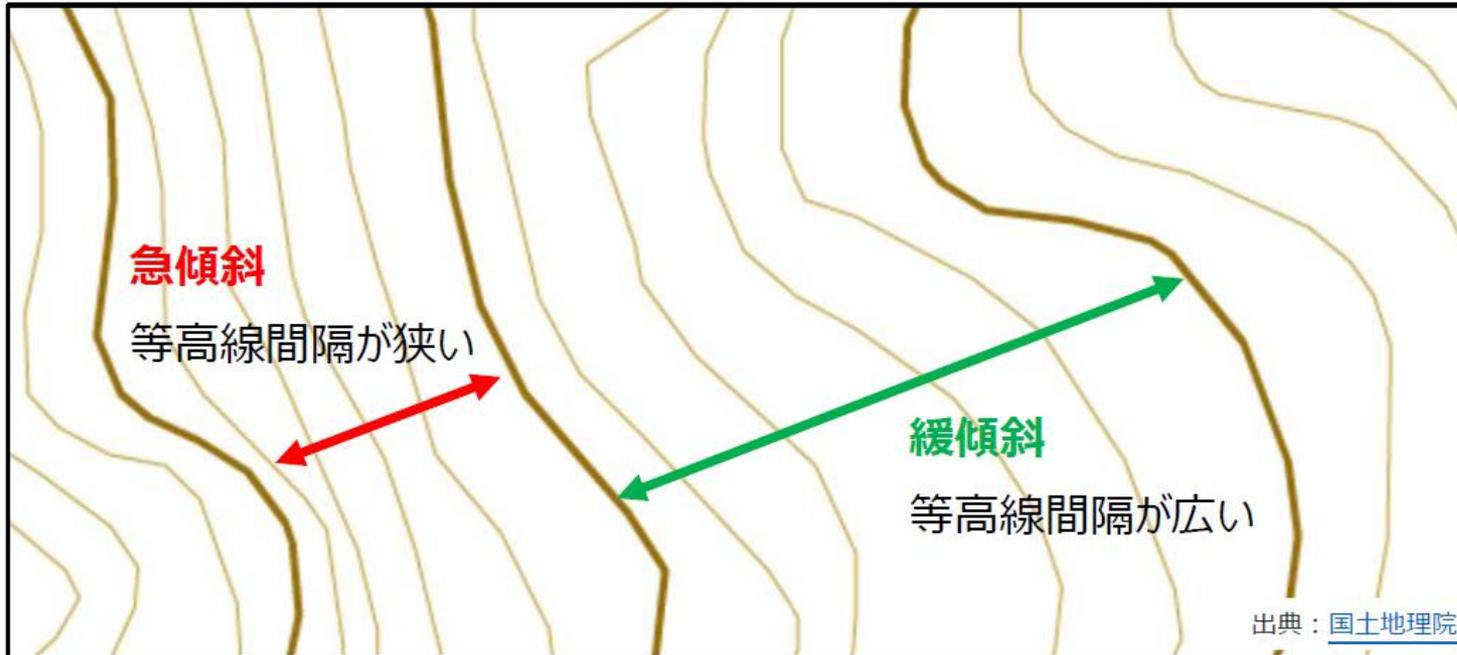
(1) 標高(elevation)



数値地形モデル（DEM：Digital Elevation Model）

- ・拡大すると、四角いマス目(セル)に1つの標高値が入っている
- ・近年の航空レーザーデータでは、セルのサイズが0.5m～1.0m一般的
- ・地上レーザー測量等では、さらに細密なDEMの生成も可能

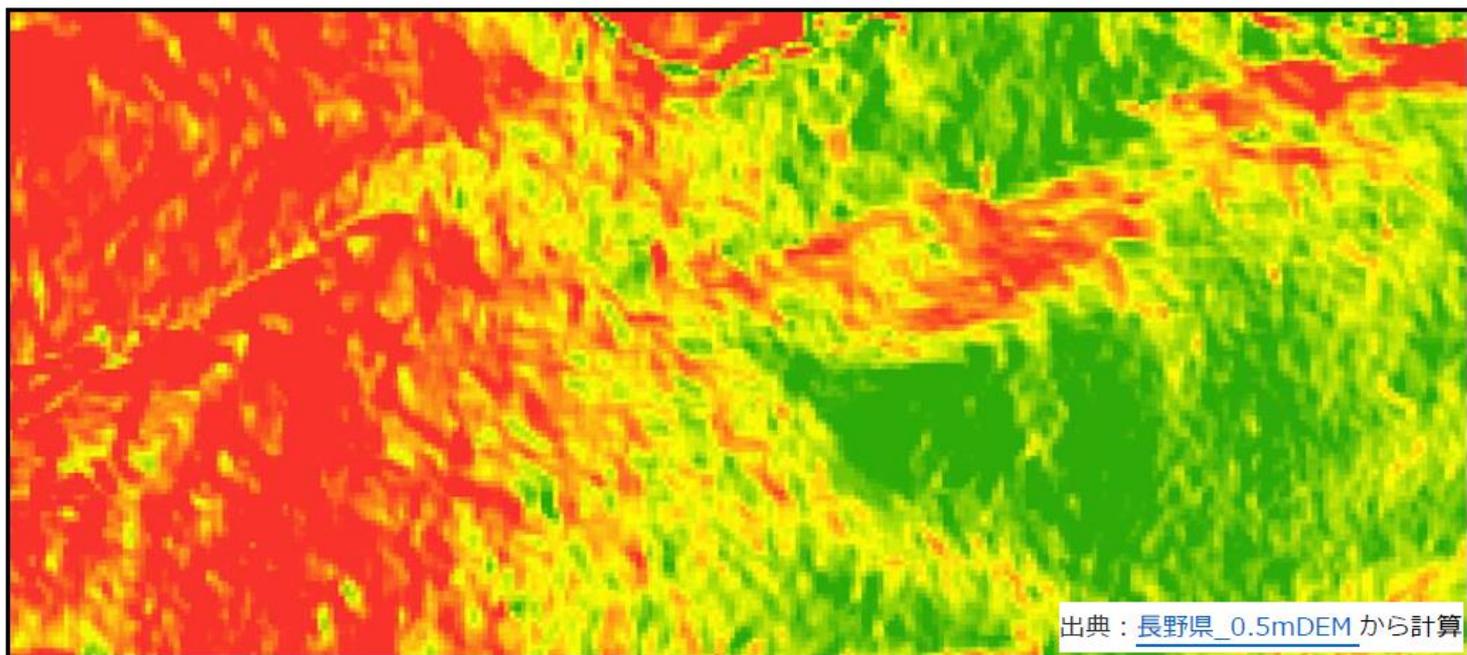
(2) 傾斜(slope)



等高線からの傾斜の判読

- ・傾斜とは、地表面が水平面となす角度
- ・傾斜が急になるほど斜面崩壊の危険性が高い
- ・路網を開設する場合、傾斜が急になるほど土工量が増大、さらに急傾斜地では構造物が必要になり、開設コストが増大

(2) 傾斜(slope)

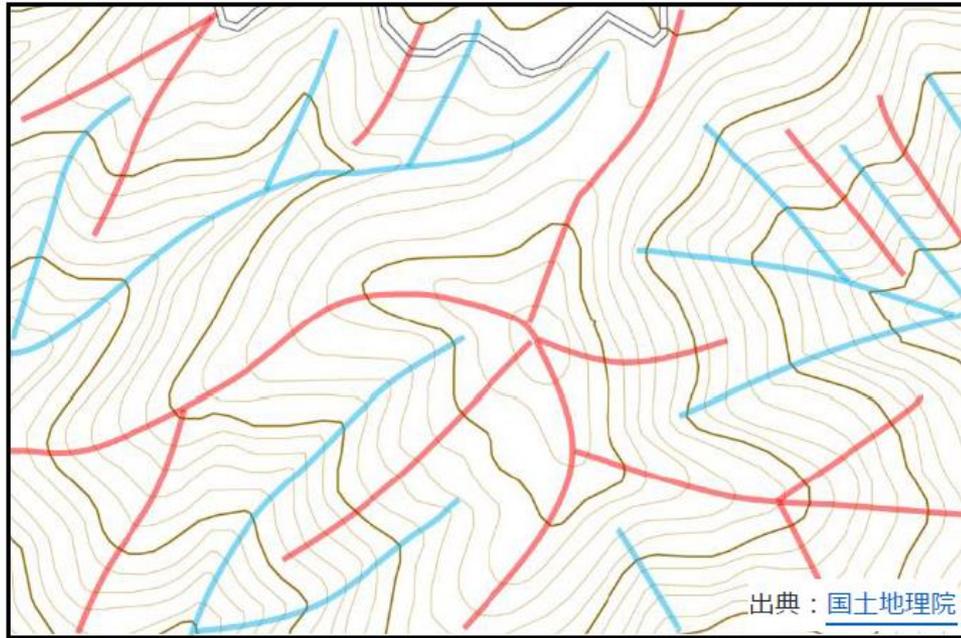


GIS解析による傾斜図

- ・計算方法によって値が異なる
- ・DEMのセルサイズ(解像度)によって値が異なる
- ・傾斜を表す単位：
角度(度またはラジアン)、百分率(%)、比(垂直／水平)、割分

(3) 曲率(curvature)

凹凸・尾根、谷

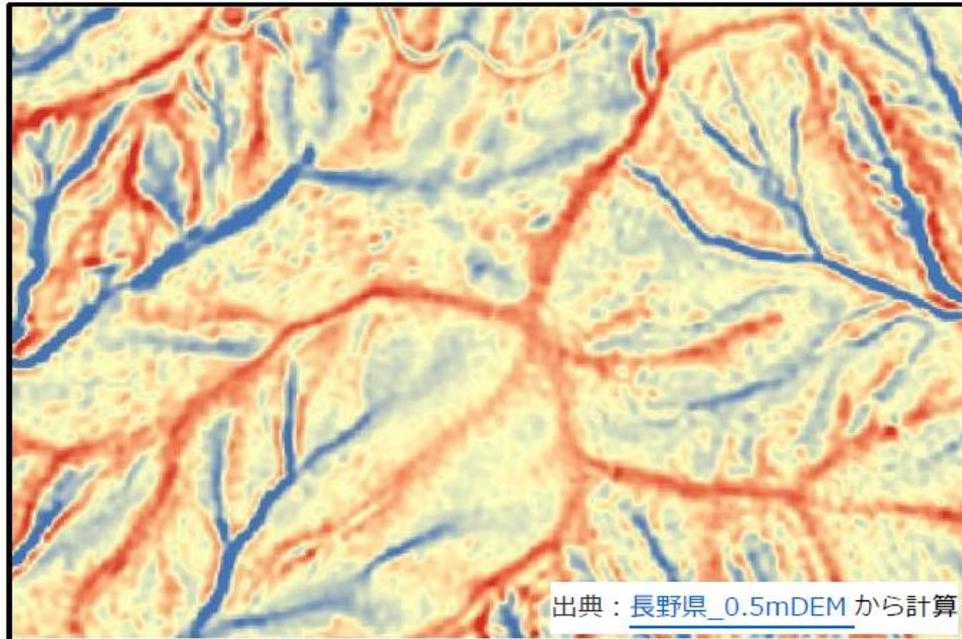


尾根  谷 

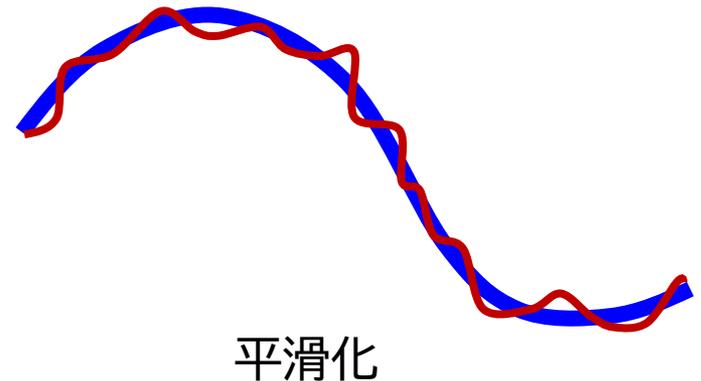
- ・曲率とは、地表面の凹凸の程度
- ・尾根地形は乾燥し、谷地形は湿潤
- ・地震による崩壊は尾根で発生しやすく、豪雨による崩壊は谷で発生しやすい

(3) 曲率(curvature)

凹凸・・尾根、谷



凸地形  凹地形



- ・GISにより曲率の解析を行う場合は、予めある程度の地形規模でDEMを平滑化しておく必要がある
(どれくらいの大さきの地形を判読したいかによって、平滑化の規模は異なる)

地形種とは、

特定の成因によって形成された
特定の形態的特徴をもつ地形の部分

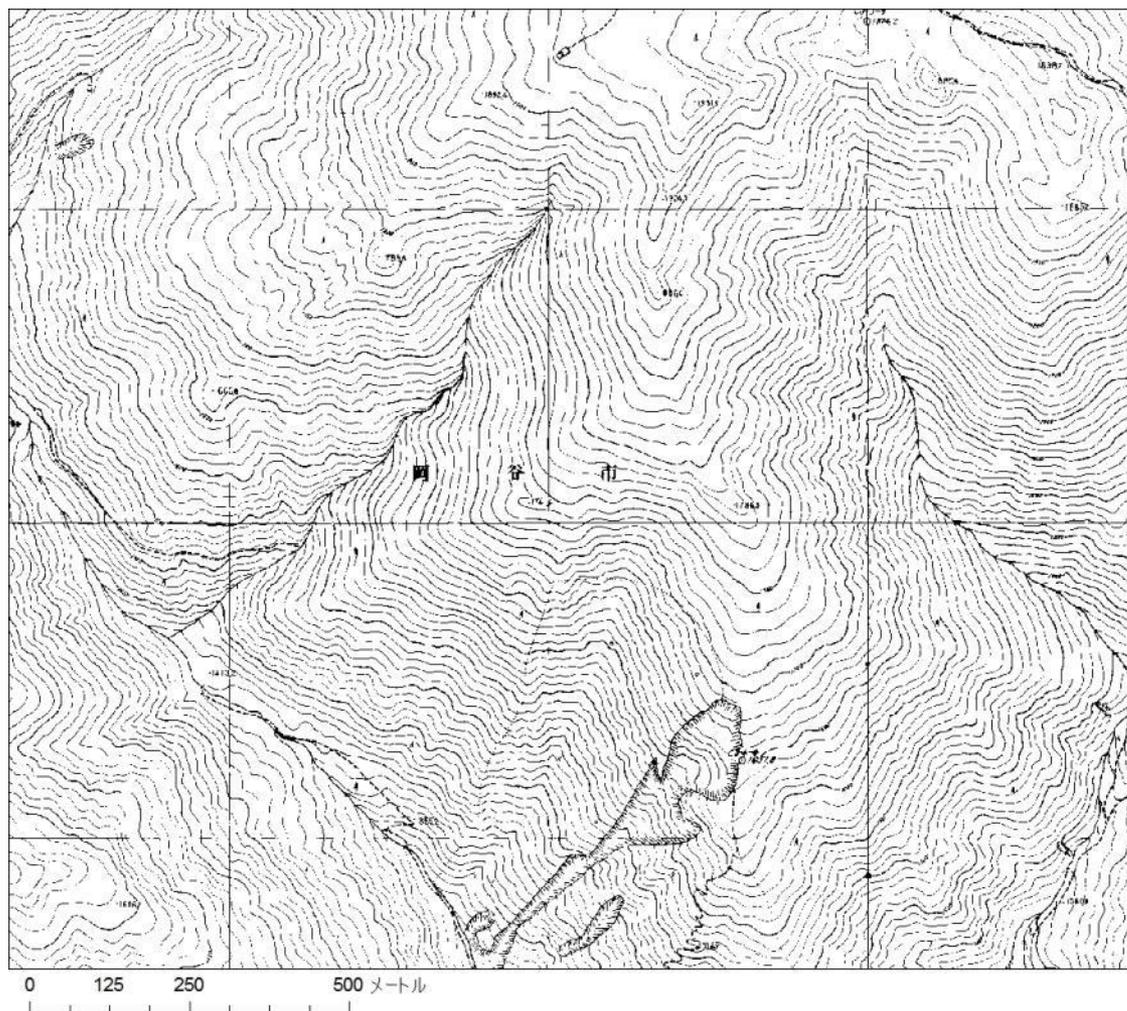
地形量が同じであっても、

地形種によって性質が異なる

地形種の判読

右図に含まれる地形種

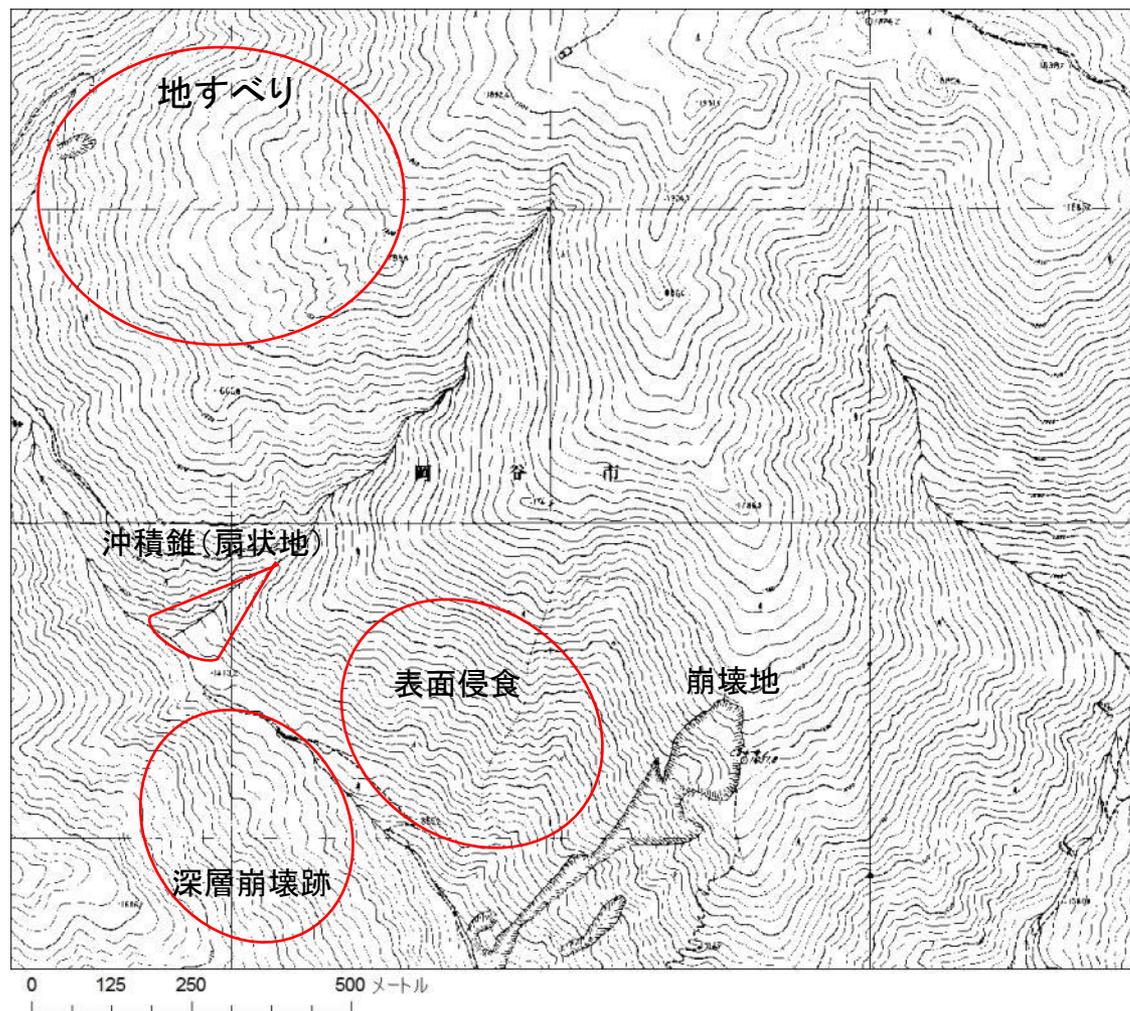
- 地すべり
- 深層崩壊跡
- 沖積錐(扇状地)
- 河道閉塞
- 溪岸侵食
- 表面侵食
- 表層崩壊



地形種の判読

右図に含まれる地形種

- ・地すべり
- ・深層崩壊跡
- ・沖積錐(扇状地)
- ・河道閉塞
- ・溪岸侵食
- ・表面侵食
- ・表層崩壊



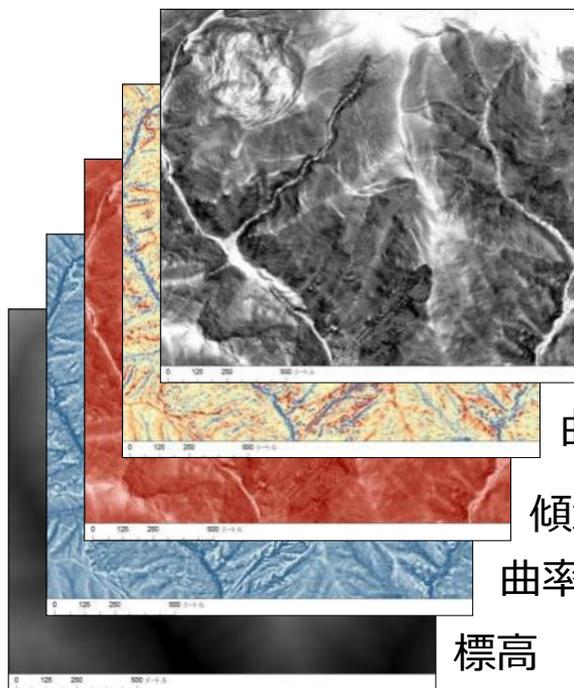
標高、傾斜、曲率等の地形量から地形種を「解釈」する

CS立体図とは、

地形判読を容易にするために開発した微地形表現図法

「標高」「傾斜」「曲率」の3つの情報に色を付け、重ねて透過処理することで立体表現

2012年に長野県林業総合センターで考案



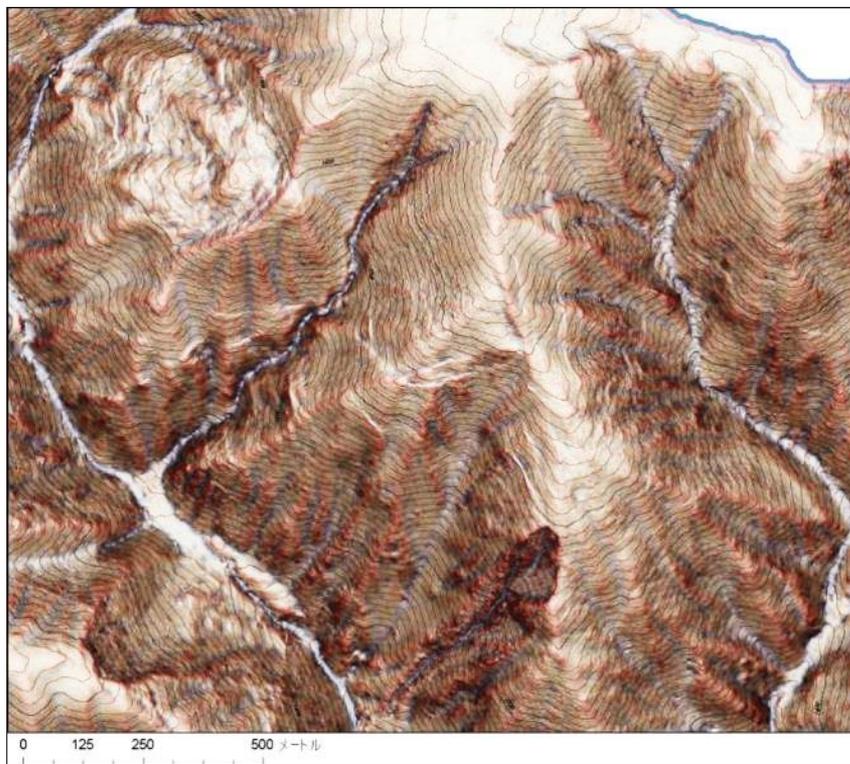
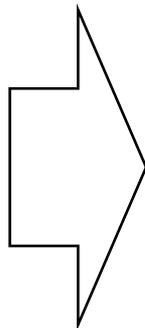
傾斜

曲率

傾斜

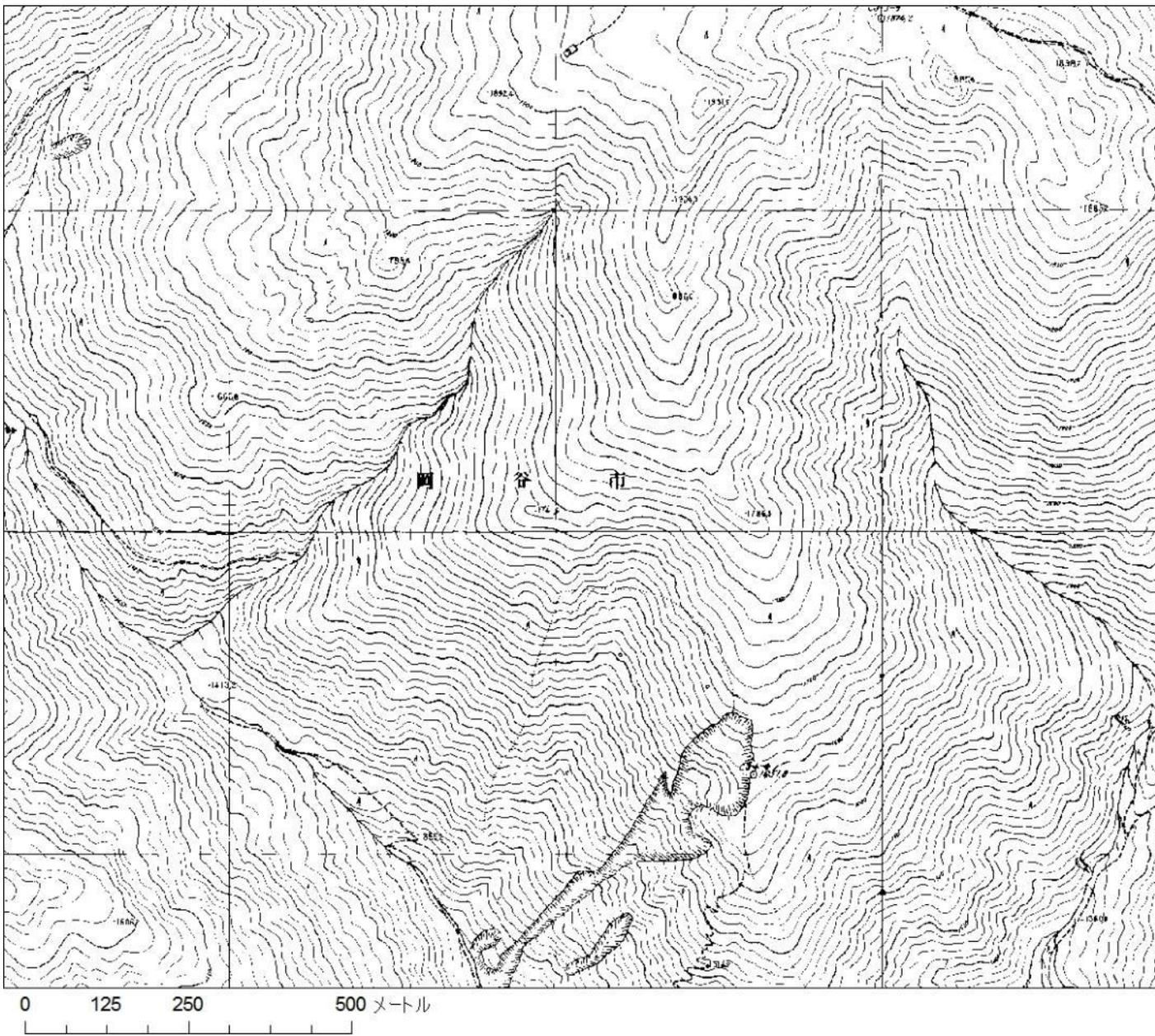
曲率

標高

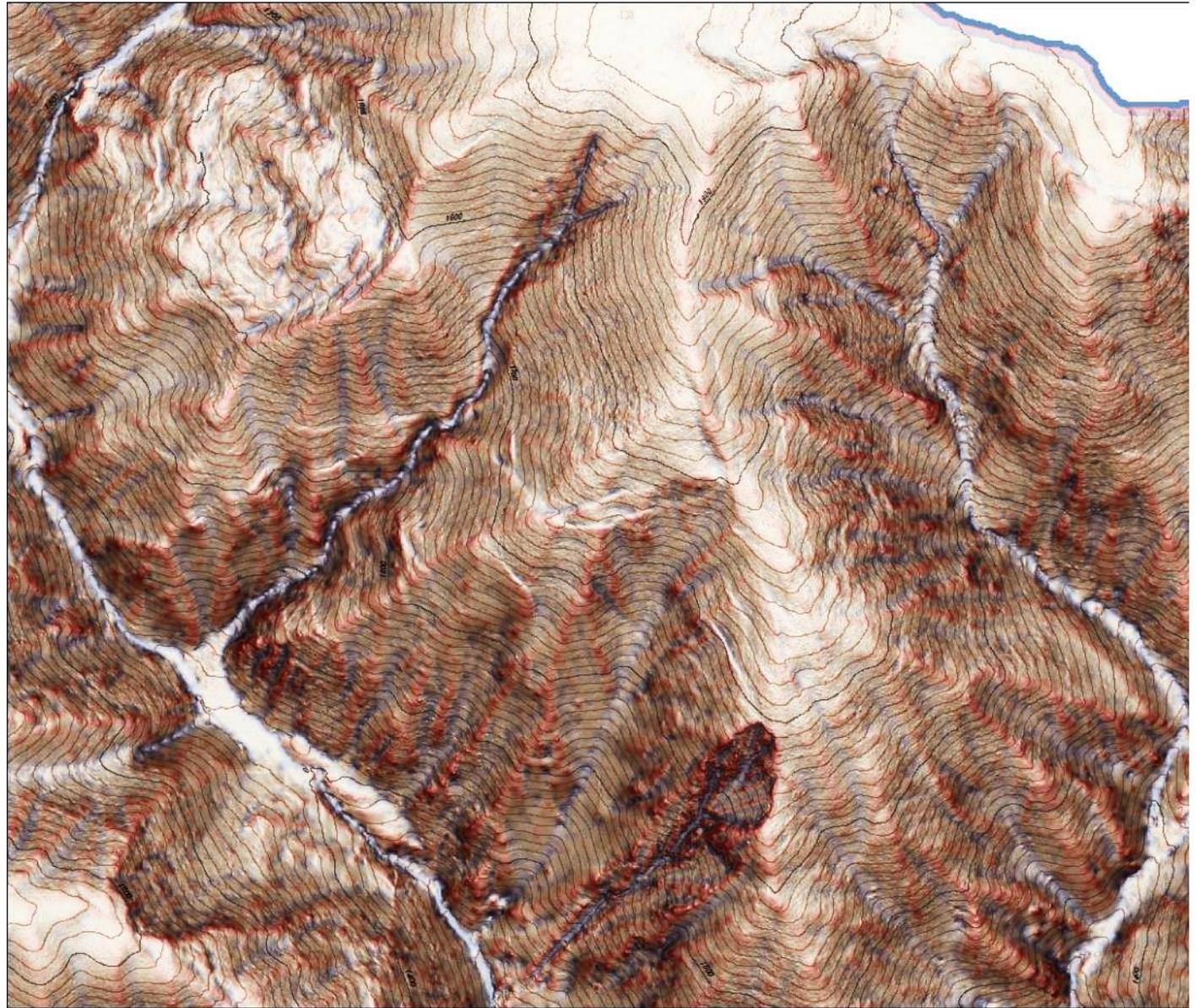


「CS」とは、曲率 (Curvature) と傾斜 (Slope) の頭文字

従来の地形図 (森林基本図)



CS立体図 (0.5mDEM)



0 125 250 500 メートル

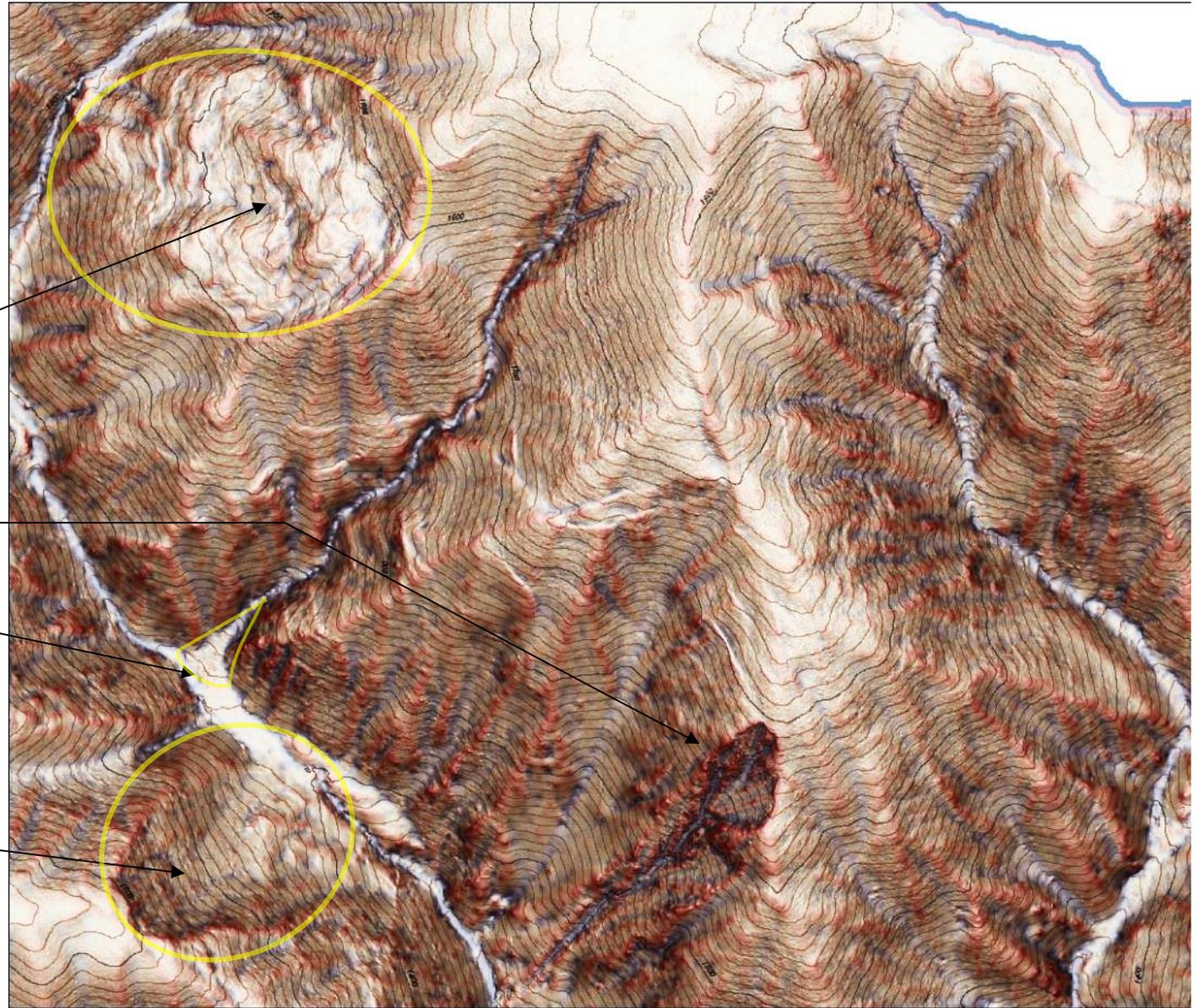
CS立体図 (0.5mDEM)

地すべり

崩壊地

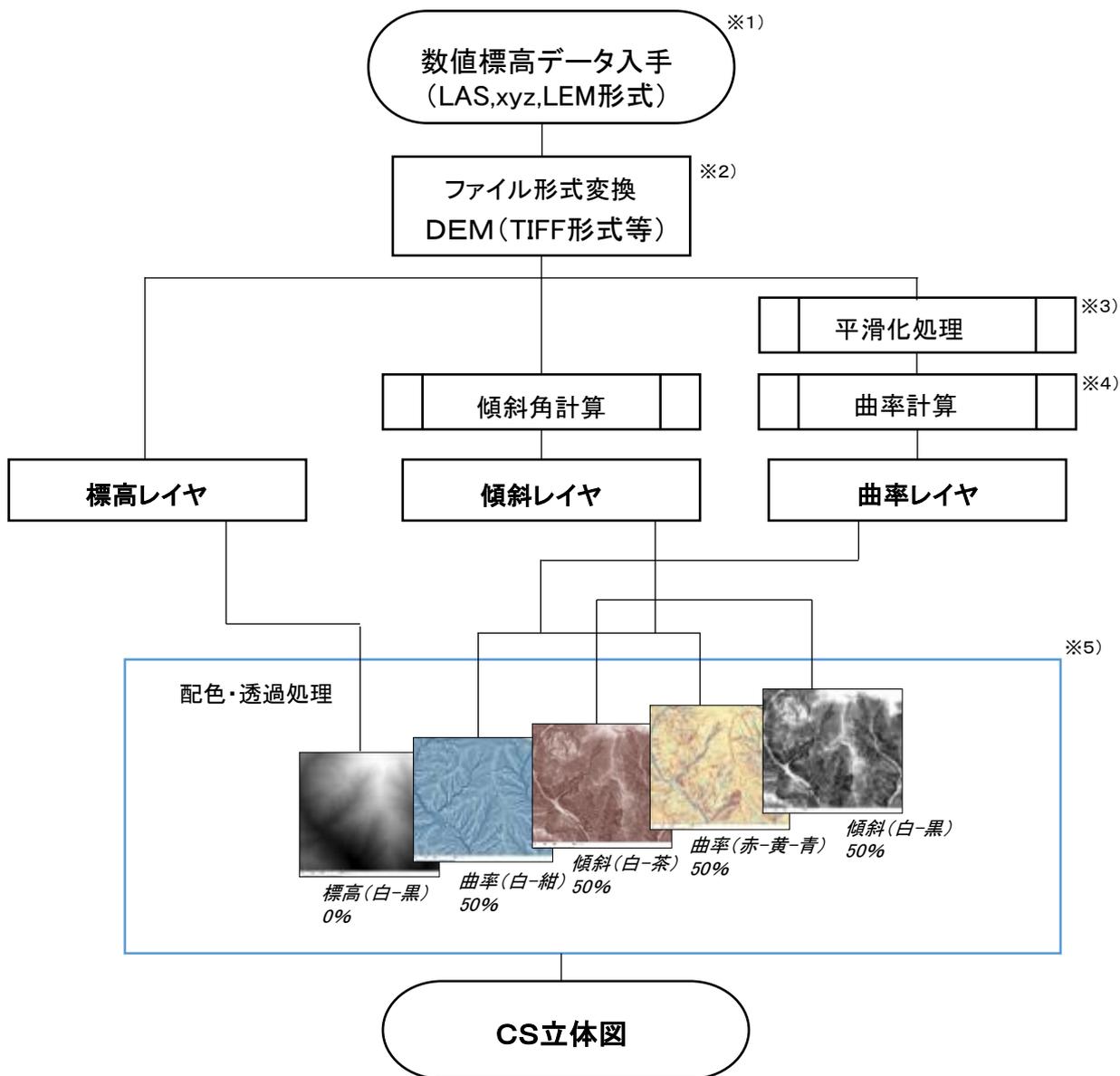
沖積錐

深層崩壊跡



0 125 250 500メートル

CS立体図作製の流れ図を公開



【解説】

※1) 数値標高データの入手
 ・航空LiDARの有無は、「航空レーザ測量データポータルサイト」等で確認。測量発注者に申請すれば、多くの場合は入手可能。
 (LAS,xyz,LEM形式等)
 ・国土地理院Webサイトから、5mメッシュ、10mメッシュデータをダウンロード可能。
 (LEM形式等)

※2) ファイル形式変換
 ・入手できる数値標高データの多くはLAS形式,xyz形式,LEM形式などで、QISでは直接解析できない。TIFF等のラスタ形式に変換する必要がある。

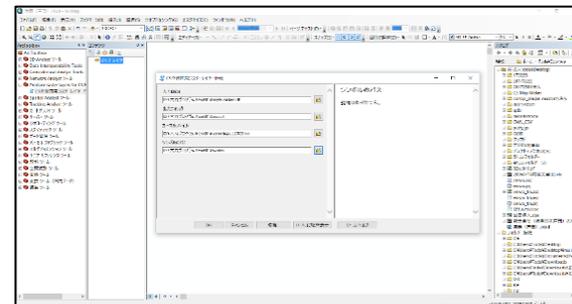
※3) 平滑化処理
 ・曲率計算を行う前に、平滑化処理を行う。Gaussian filterを使用すると、滑らかな平滑化が可能。 σ = standard deviation (標準偏差)のパラメータを調整することで、平滑化の強度を変えることができる。小地形を強調したい場合は σ を小さい値に、大地形を強調したい場合は σ を大きい値にする。

※4) 曲率計算
 ・通常はGeneral curvatureを使用。Plan curvatureを使用すると、水による侵食を強調した図になる。Profile curvatureを使用すると、クランクや道路などが強調される。

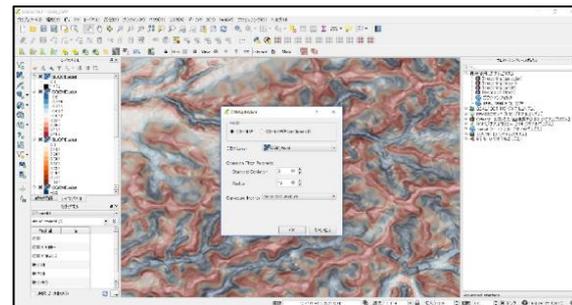
※5) 配色・透過処理
 ・デフォルトは左記設定。用途や、判読したい地形規模に応じて、色調や透過率を調整する。

様々な自動作成ツールを無料配布

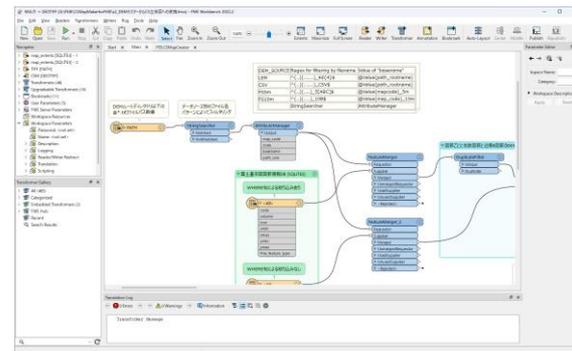
- ArcGIS版 (作成：森林総合研究所 大丸裕武氏)
G空間情報センターから入手可能 (ArcGIS本体は要購入)
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/csmapmaker>



- QGIS版 (作成：ミエルネ 朝日孝輔氏)
QGISのプラグインから「CSMapMaker」をインストール



- FME版 (作成：Pacific Spatial Solutions)
データ変換ソフトのFMEを使ったCS立体図自動作成ツール
(FMEは要購入)
処理速度が大幅にUP

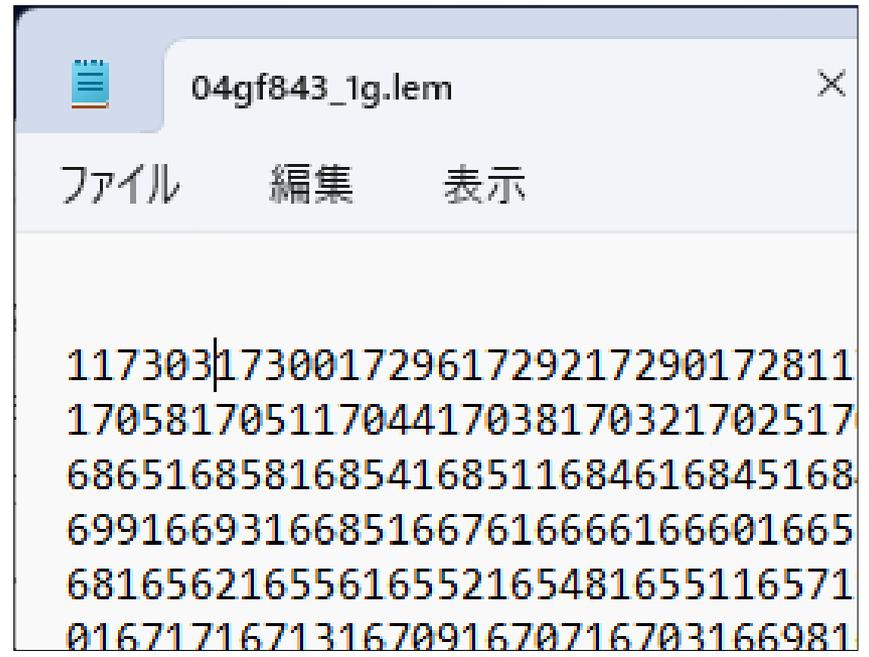
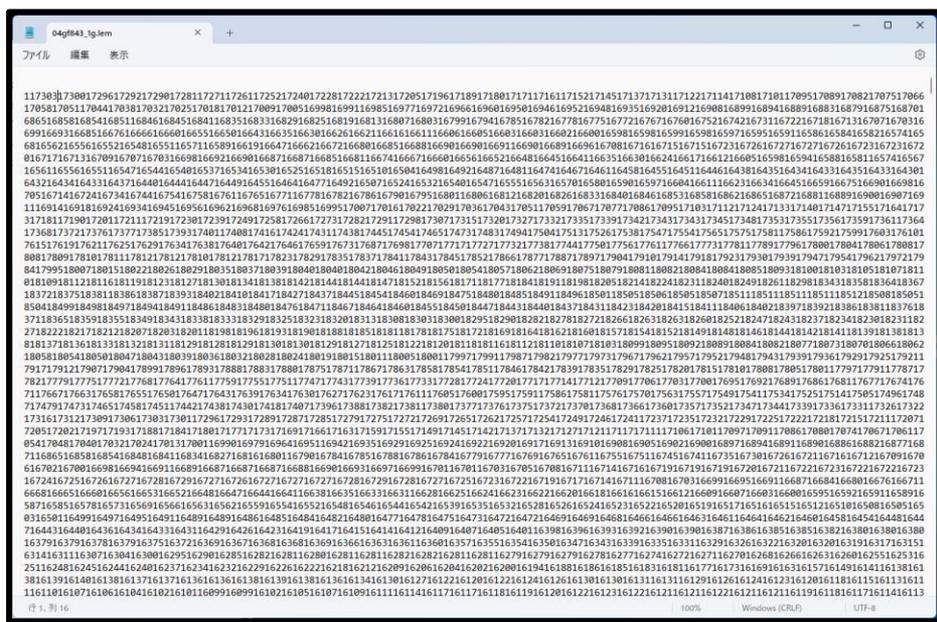


航測会社から納品されるDEM

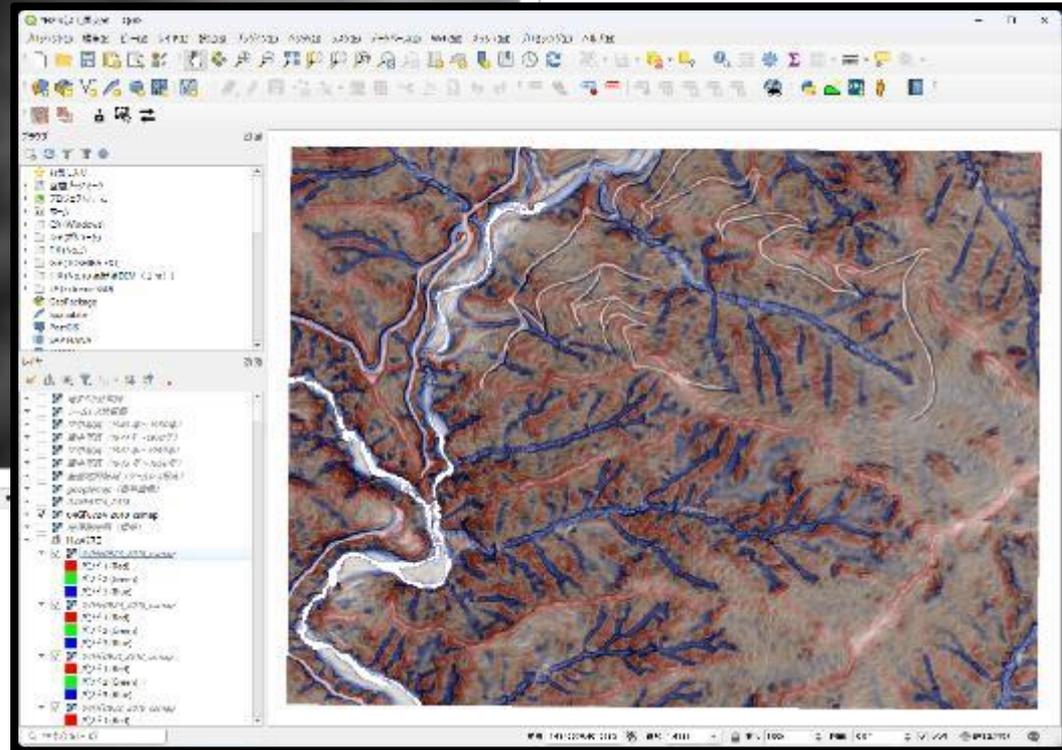
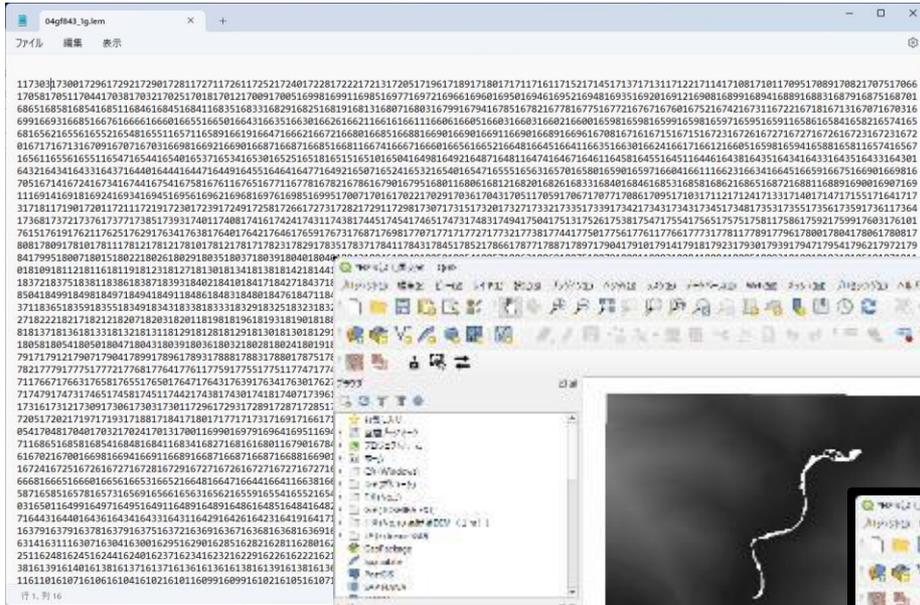
LEM形式ファイル

(テキスト形式で書かれた標高データ)

(拡大表示)



「傾斜図」「曲率図」を透過処理してCS立体図を作成

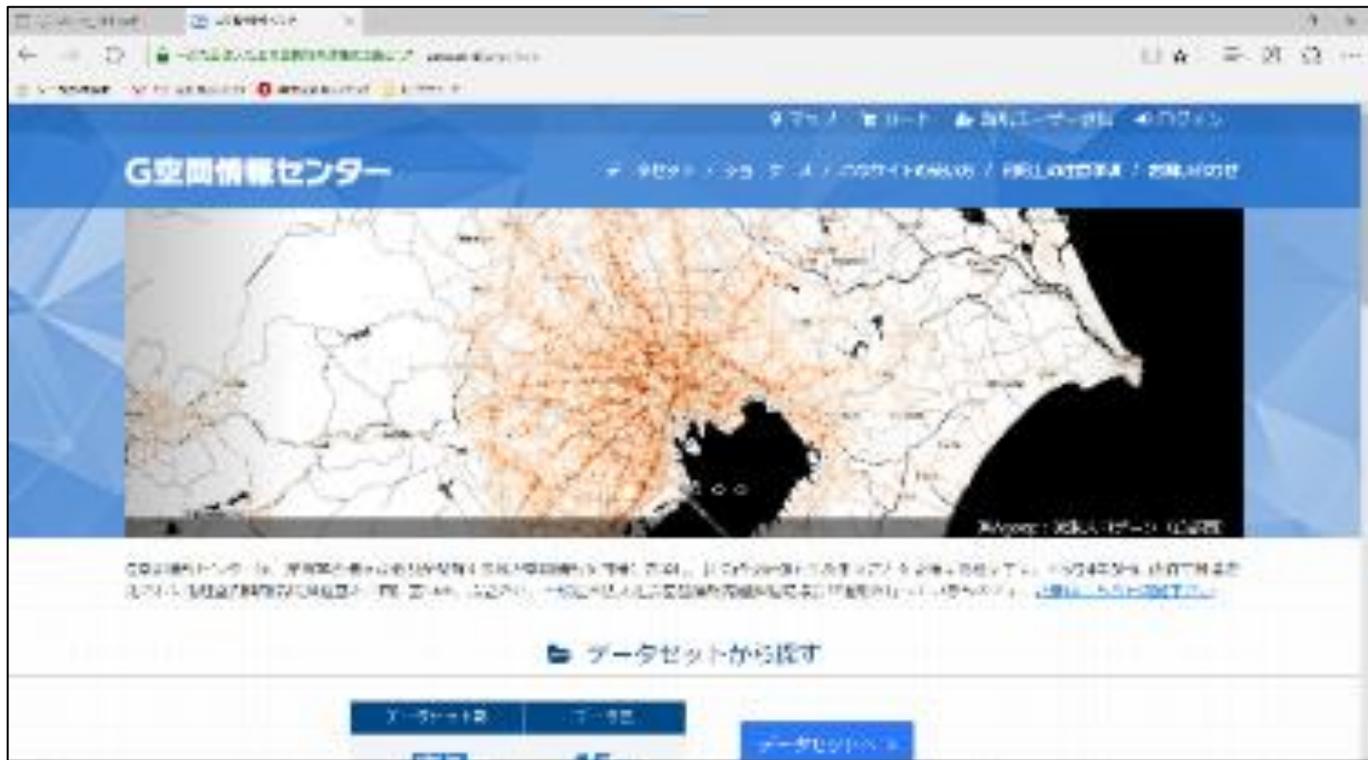


CS立体図
(GeoTIFF形式)

作成済みCS立体図の多くは G空間情報センター等で公開(オープンデータ化)

インターネットで、「G空間情報センター」と検索

https://www.geospatial.jp/gp_front/



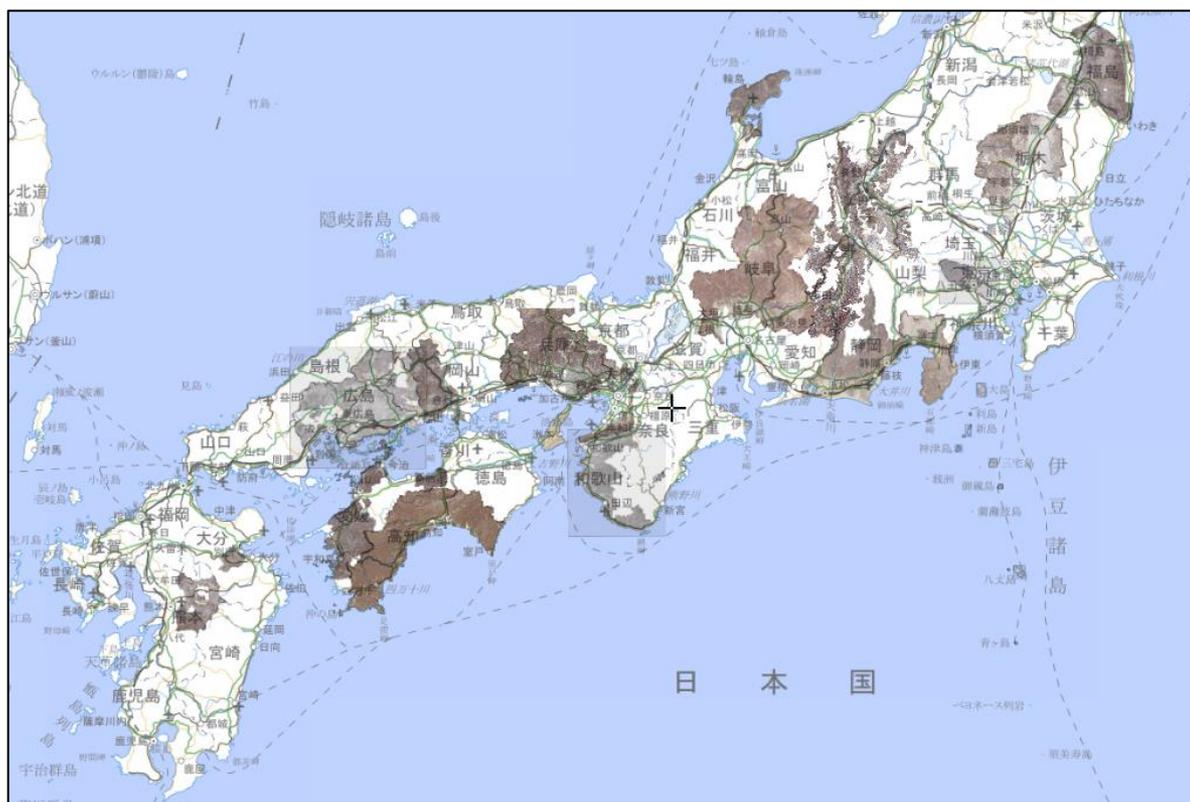
オープンデータとして公開中のCS立体図

(2024.11 現在)



10mメッシュ版

全国

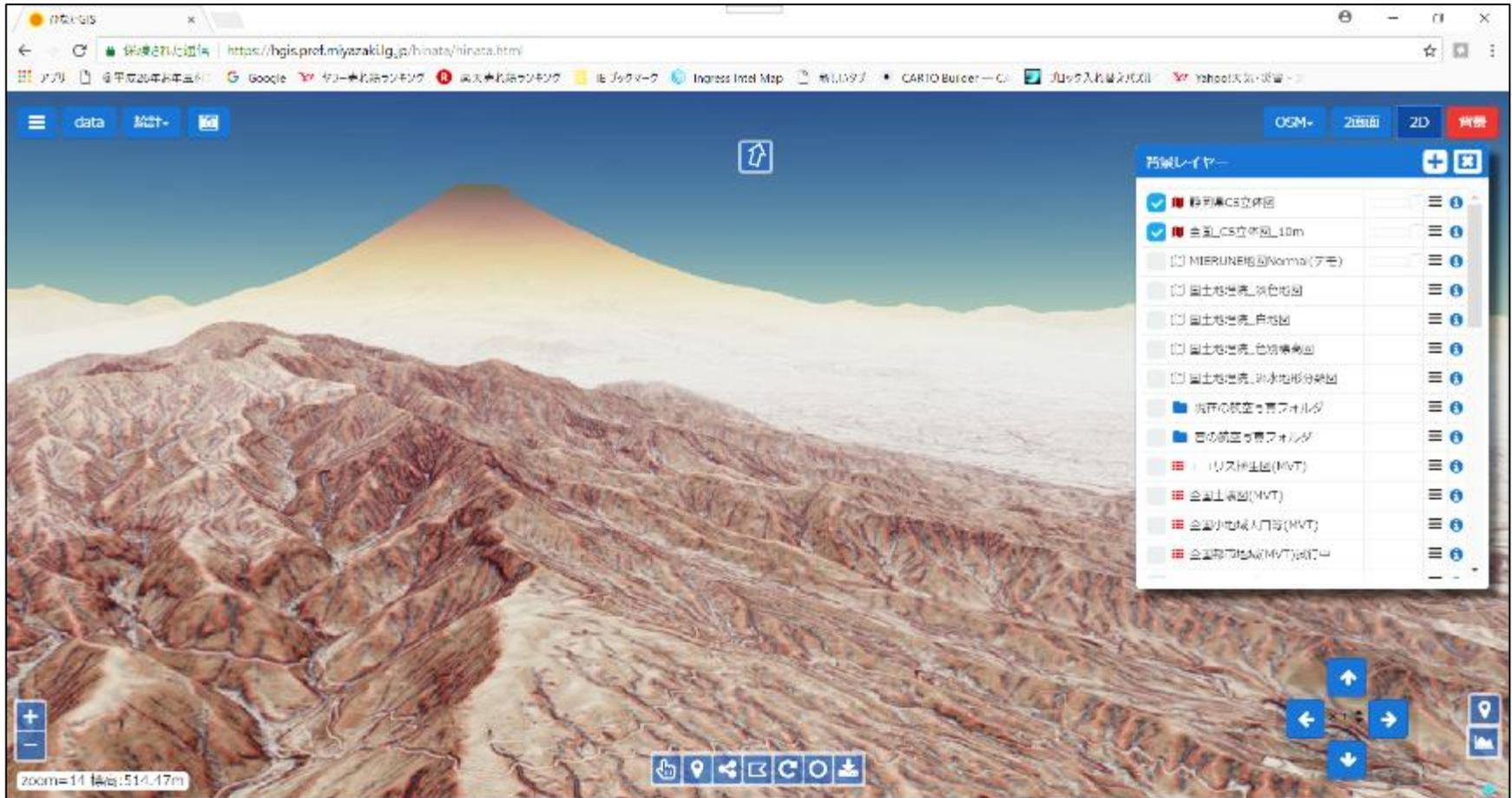


航空レーザデータ（1mメッシュ以下）を使った細密版

静岡県、長野県、岐阜県、兵庫県、福島県、岡山県、**広島県**、高知県、愛媛県、大分県、熊本県、栃木県、石川県、高知県、大阪府、和歌山県、神奈川県、東京都（18都府県）

宮崎県のwebサイト「ひなたGIS」ご紹介

<https://hgis.pref.miyagi.jp/hinata/>



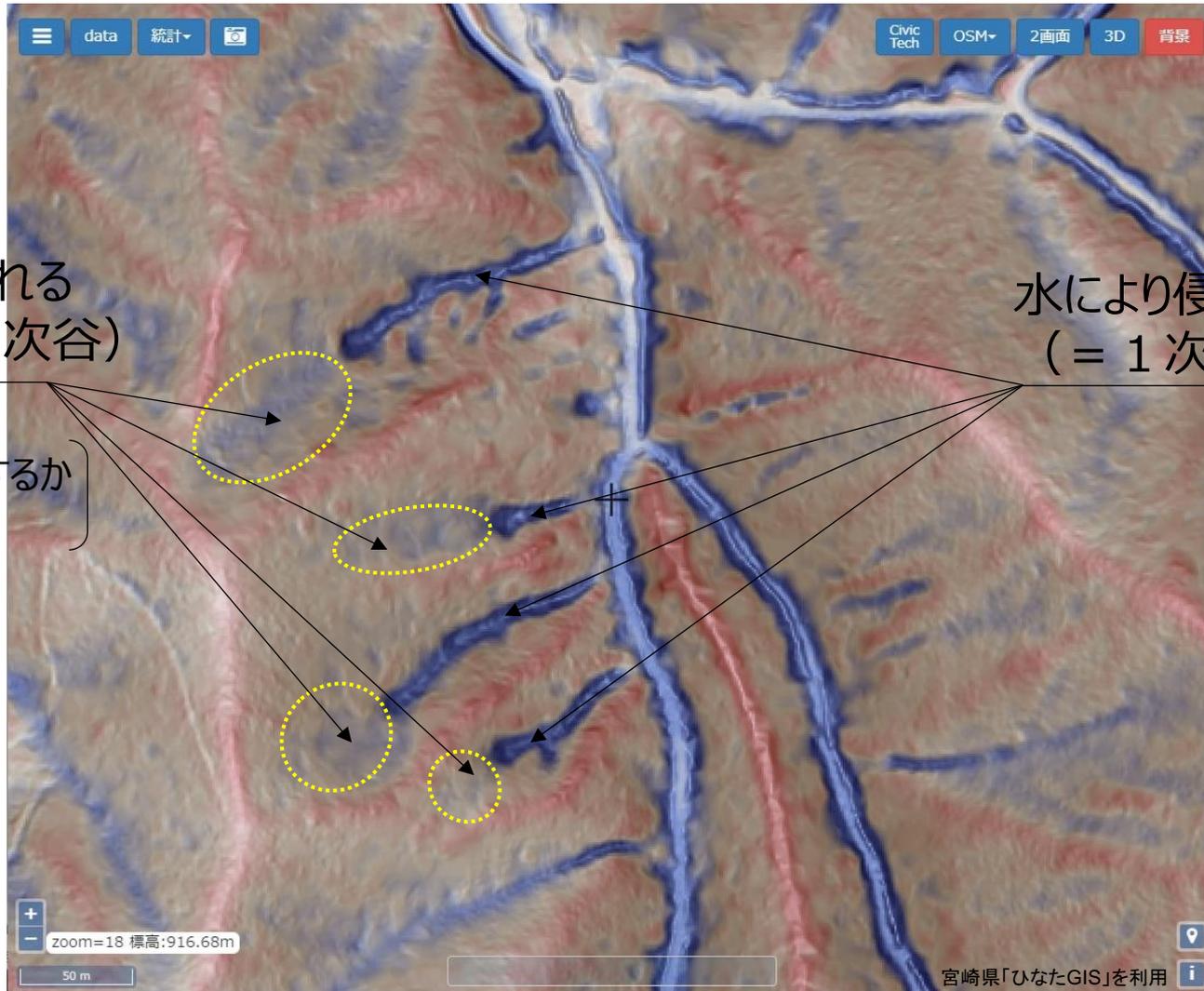
ひなたGISの背景図として利用可能

誰でも利用可能！

C S 立体図を用いた 地形判読例

(山地崩壊には様々なパターンがある)

谷頭部（侵食前線）



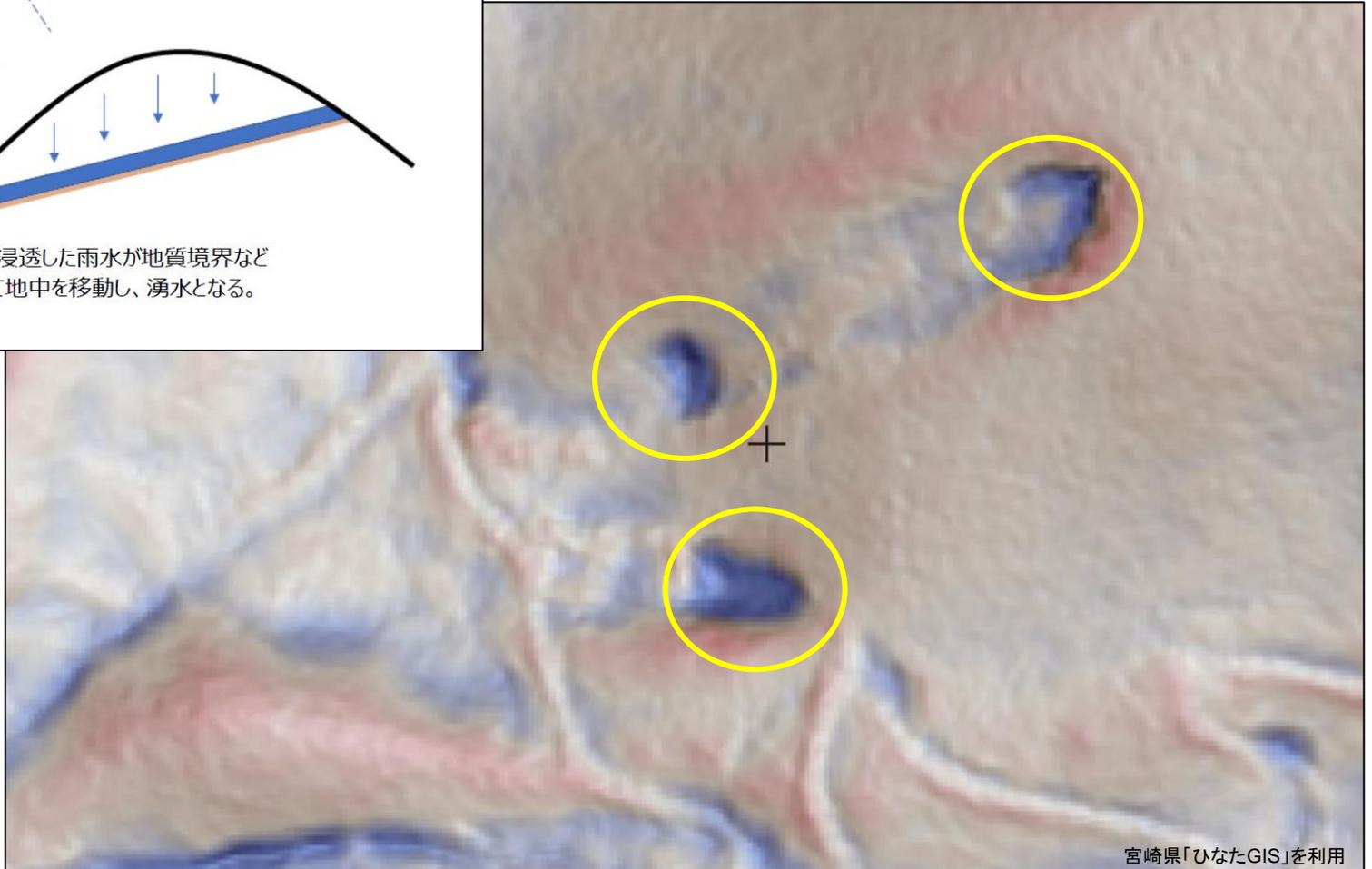
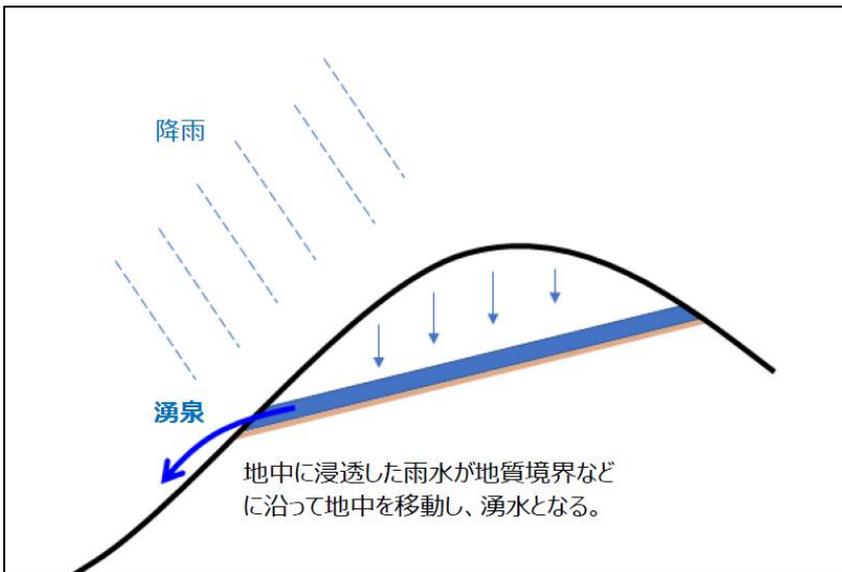
これから侵食される
凹地形 (= 0次谷)

水により侵食された沢
(= 1次谷)

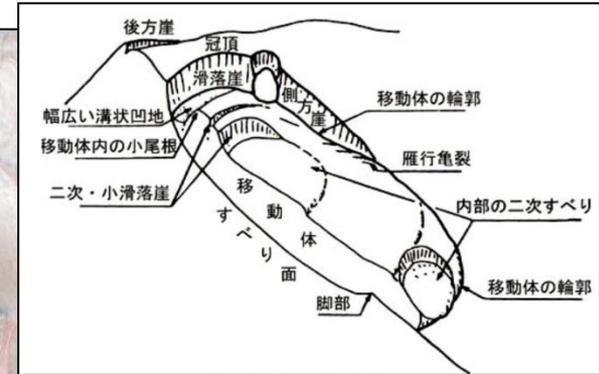
次の大雨で崩壊するか
もしれない

水により侵食が進んだ沢は濃い青、0次谷は薄い青

湧水による表層崩壊



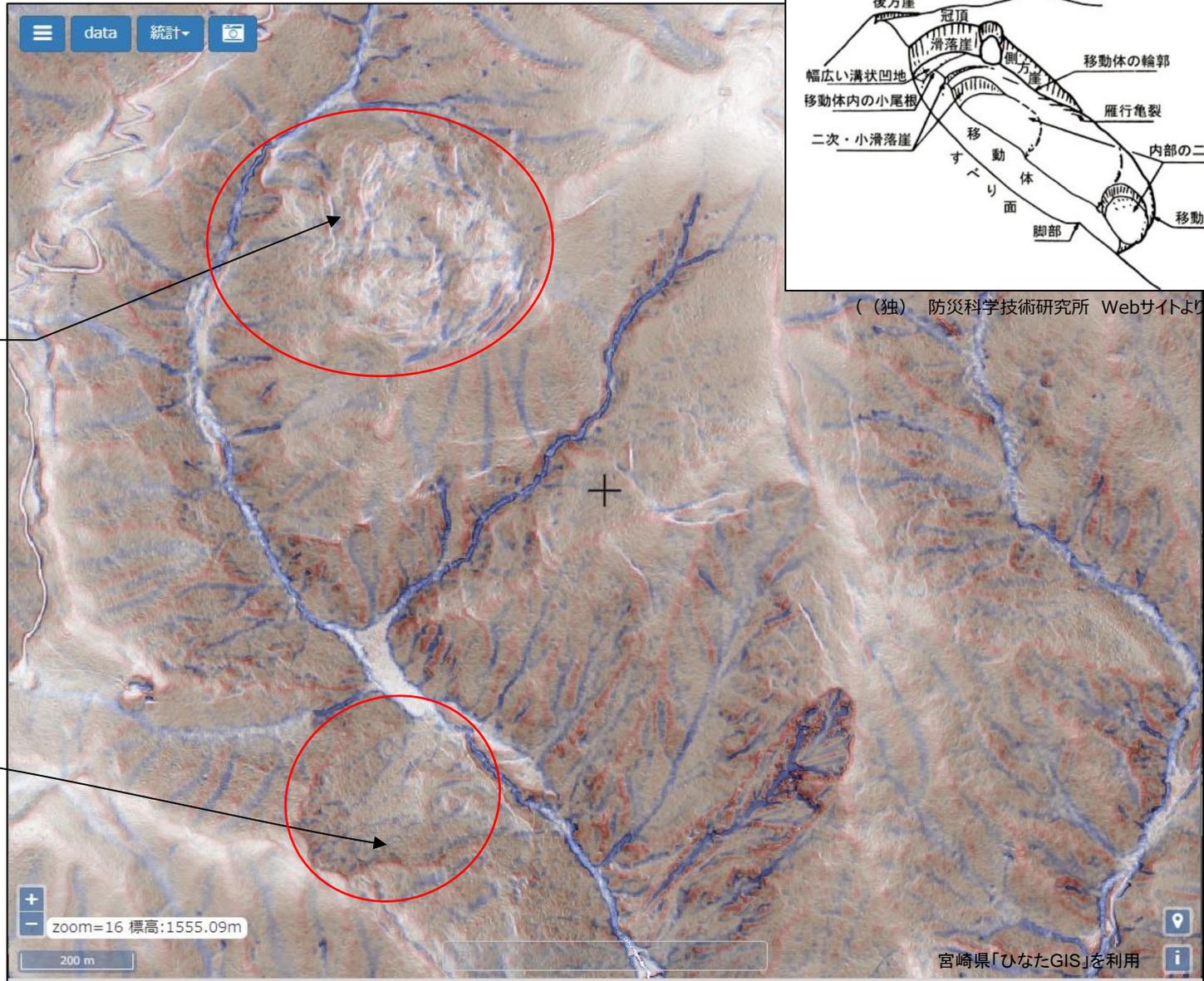
地すべり、深層崩壊跡地形



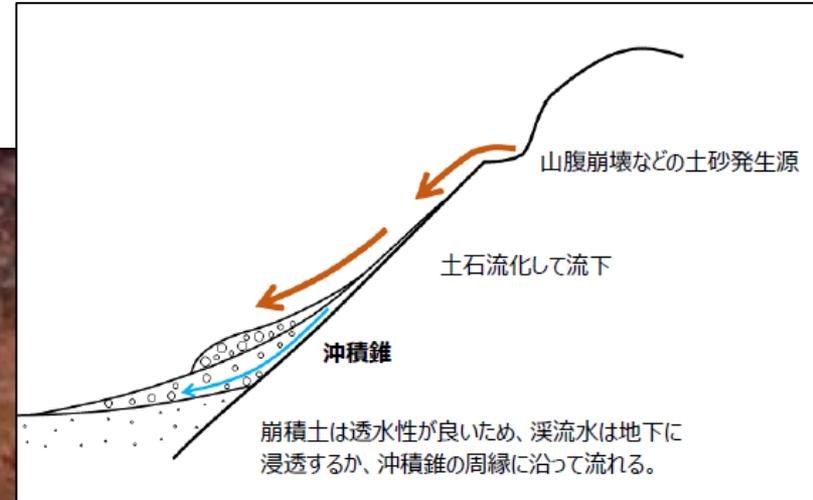
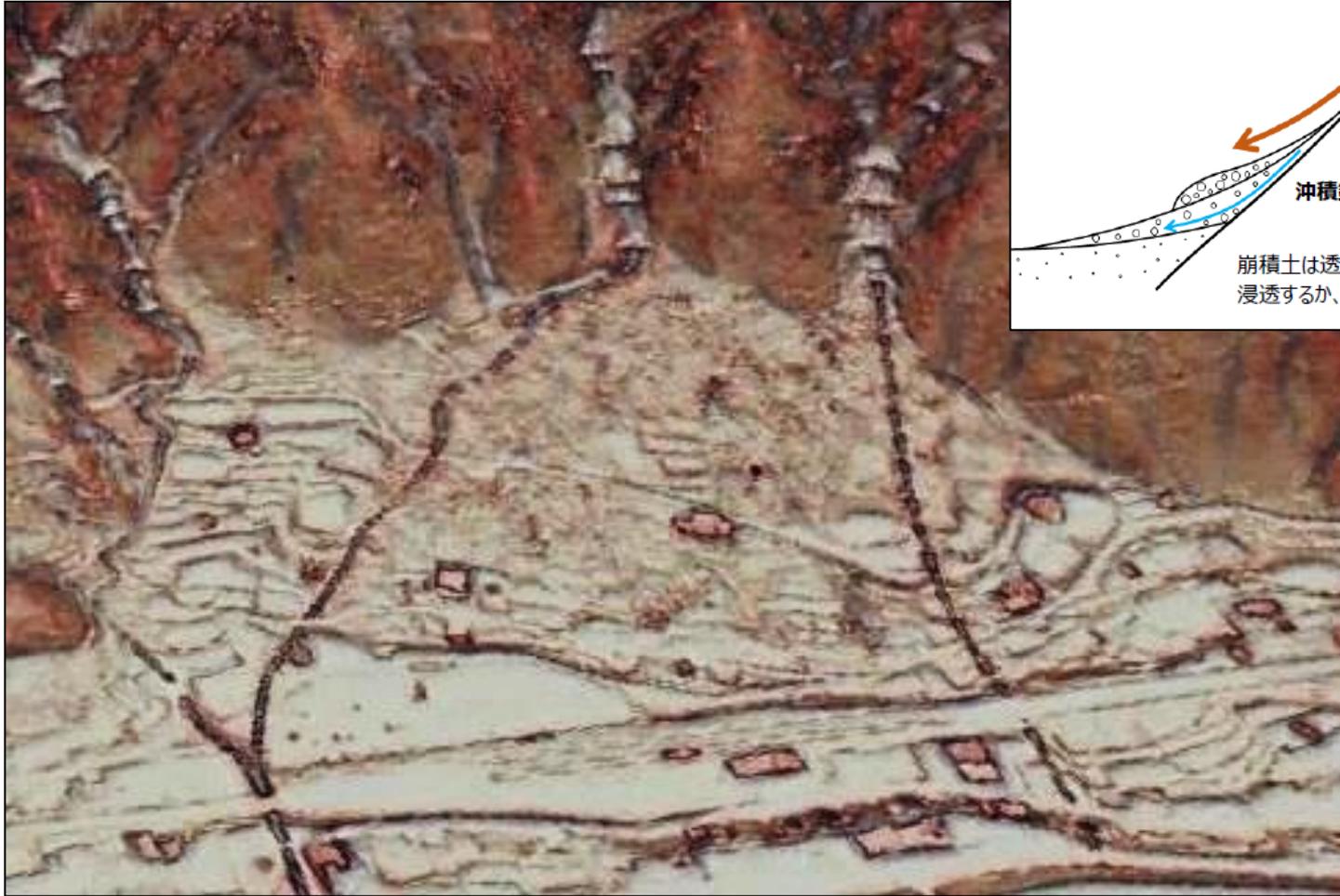
(独) 防災科学技術研究所 Webサイトより

地すべり

深層崩壊跡

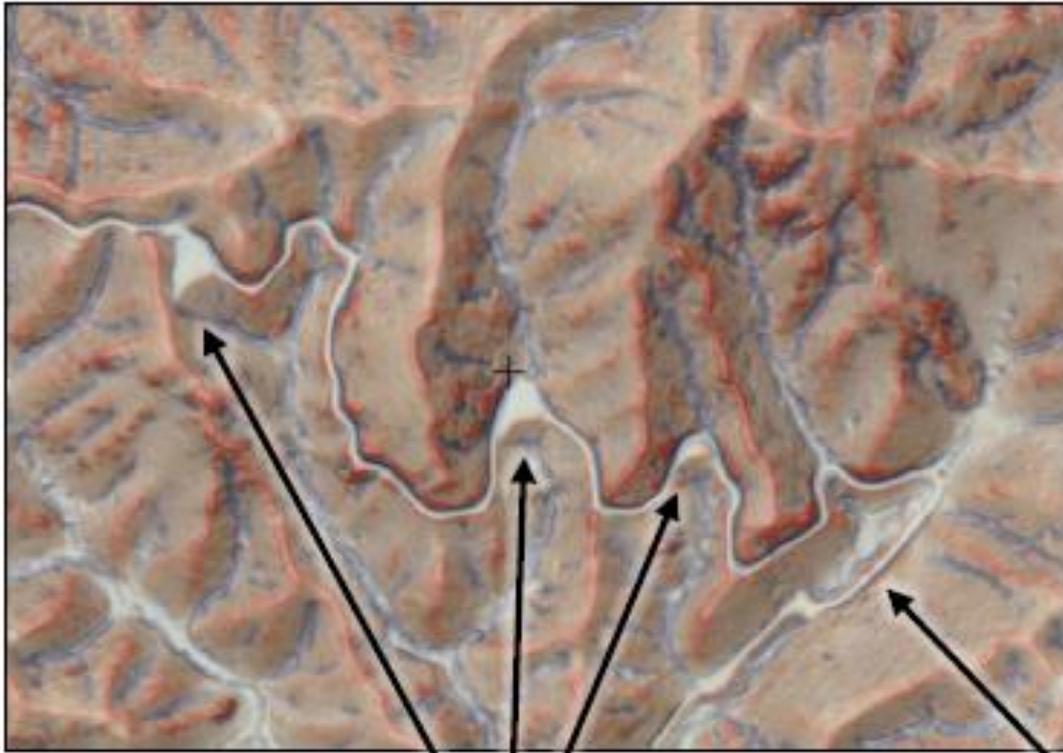


土石流危険溪流



沖積錐

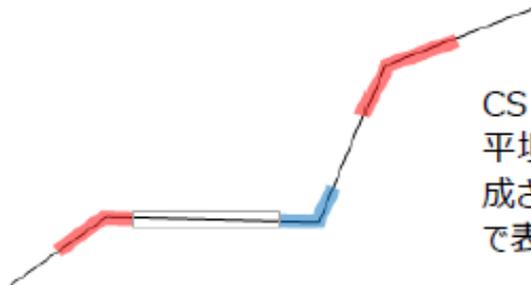
人工改変（じんこうかいへん）



出典：[岐阜県 CS 立体図](#)

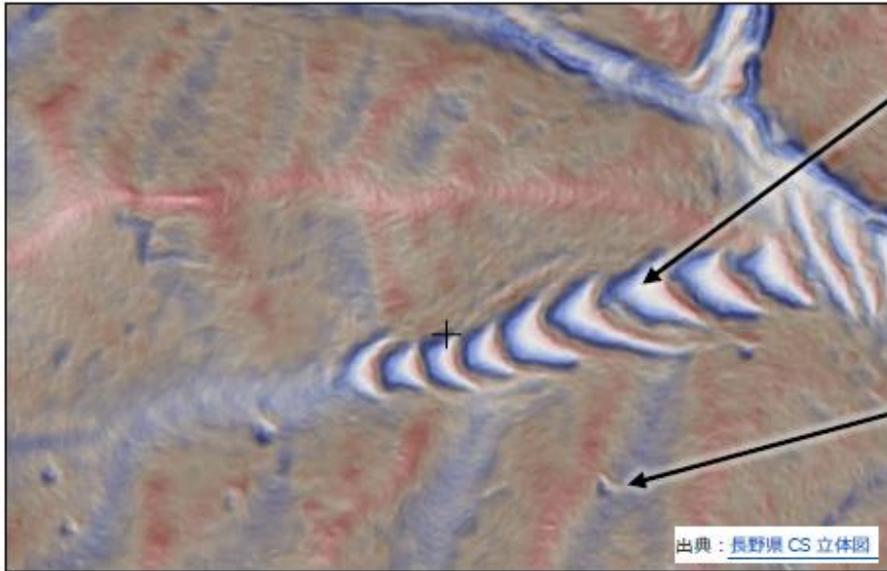
盛土

路網線形



CS 立体図では、凸地形は赤、凹地形は青、平坦地形は白で表現されるため、人工的に作成された平坦地形は、左のようなカラーパターンで表現される。

人工改変（じんこうかいへん）

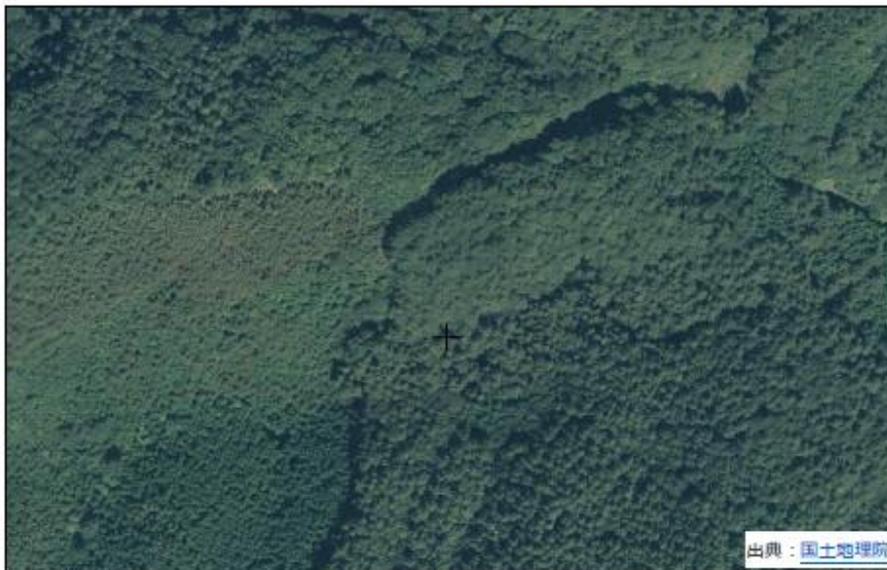


耕作跡地

耕作のために人工的に階段状の地形にした痕跡。施肥により黒色土であることが多い。樹木の生長は良いが、植栽する樹種の選定には注意が必要。

炭焼きの窯跡

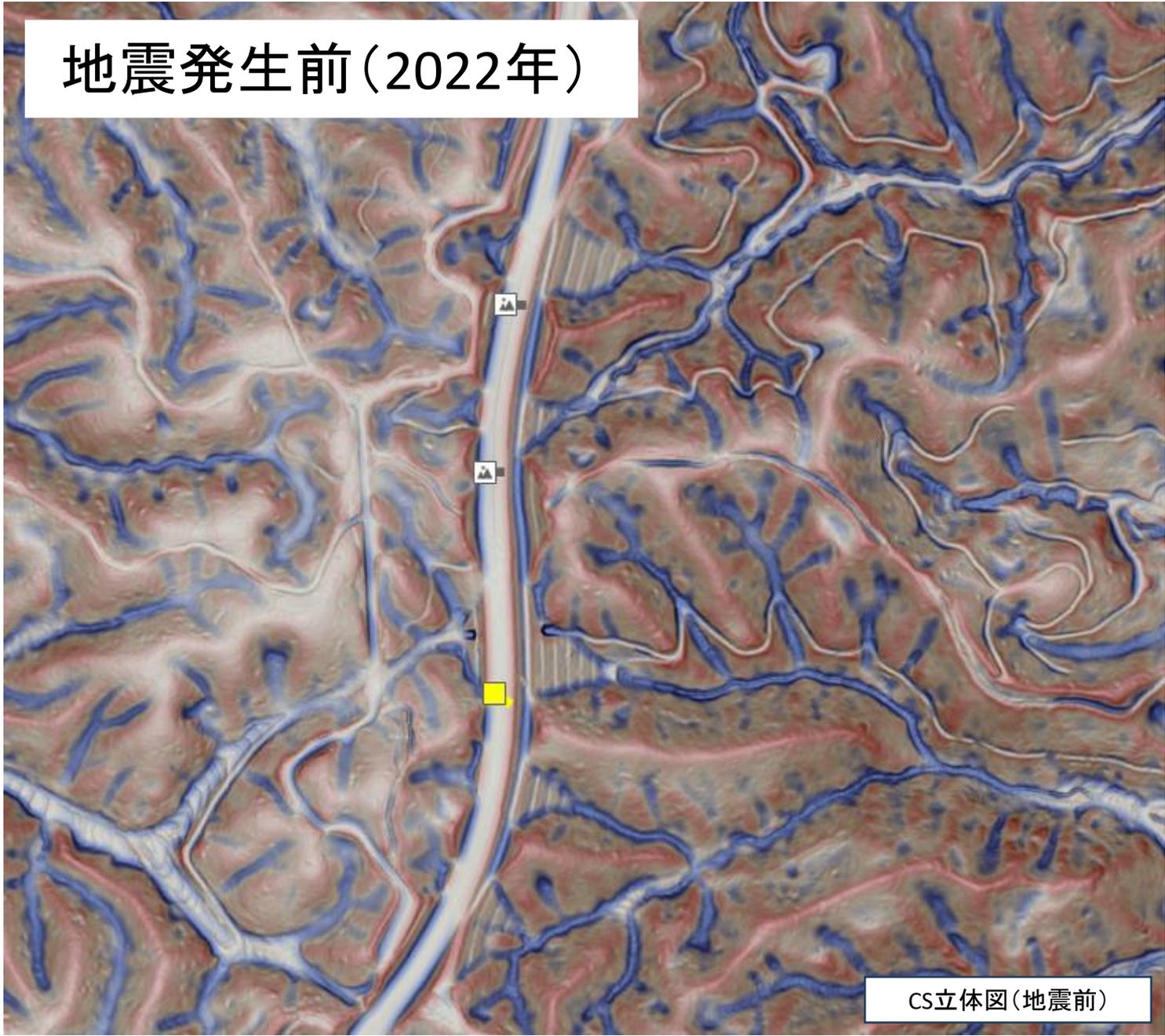
一見すると湧泉に似ているが、下方に水や土砂が流下した痕跡がない。里山に多く見られる。



現在は森林化している場所では、等高線による地形図や空中写真から、耕作跡地や炭焼き窯跡を判読することはできない。

能登地震での盛土崩壊事例

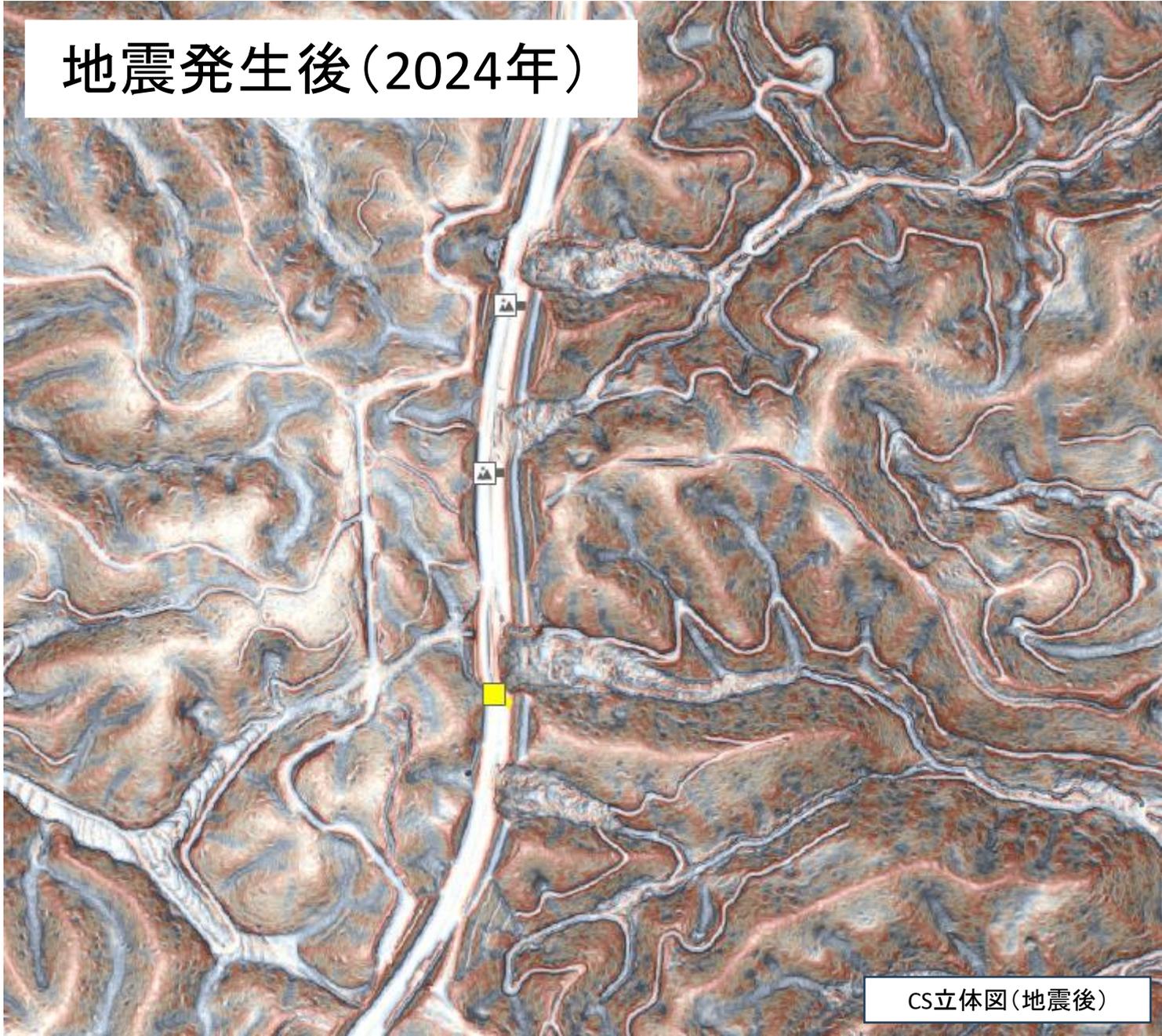
地震発生前(2022年)



CS立体図(地震前)

能登地震での盛土崩壊事例

地震発生後(2024年)



CS立体図(地震後)

能登地震での盛土崩壊事例

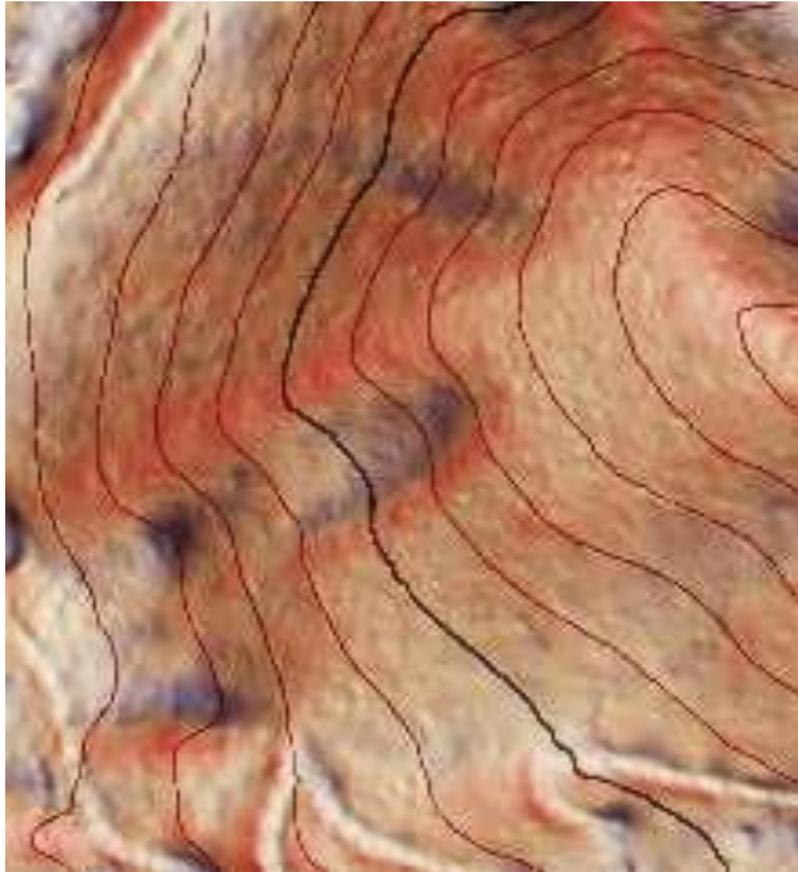
地震発生後(2024年)



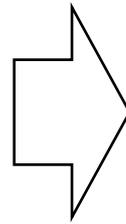
【地形判読の自動化】

AIによる崩壊危険判読

2009年(災害前)



2012年(災害後)



災害発生前から浅い凹地形をしている。
同じ場所で、繰り返し崩壊が発生
崩壊危険個所をピンポイントで検出可能

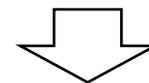
【教師データ】

長野県松本地区東部

判読条件

- ・植生高が低い
(DCHM=DSM-DEMから)
- ・崩壊跡(凹地形)

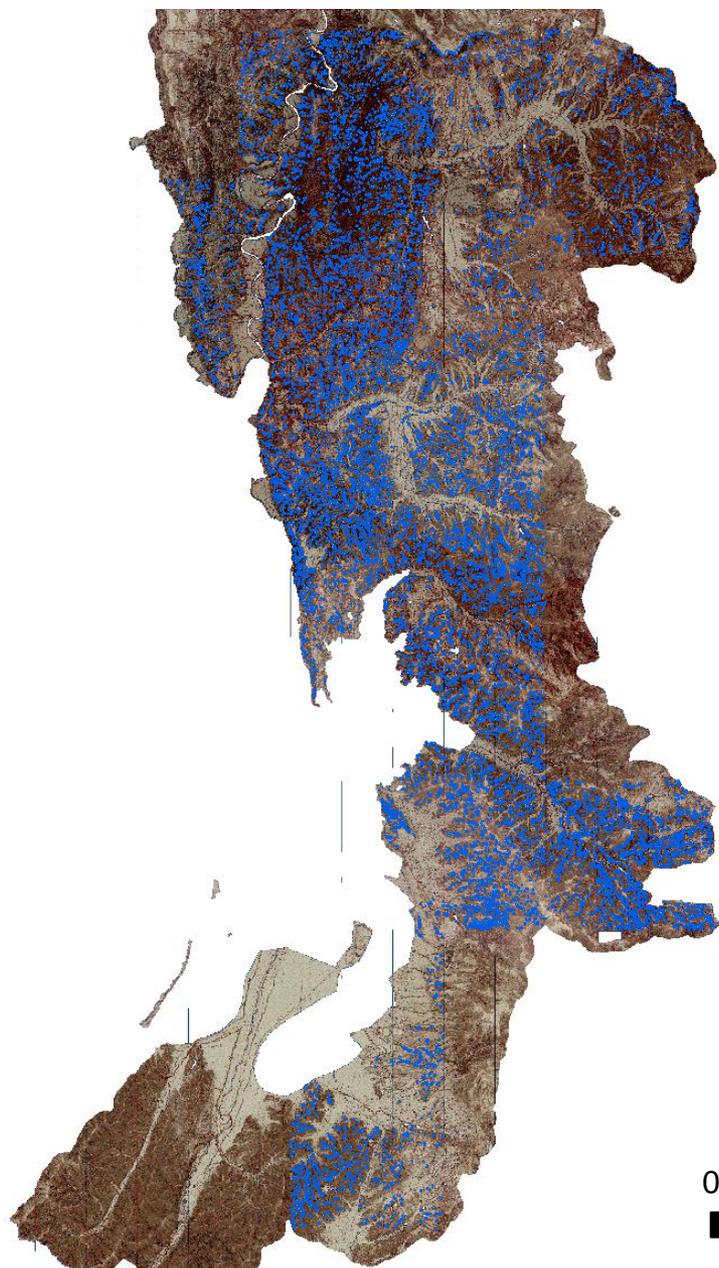
16,892箇所



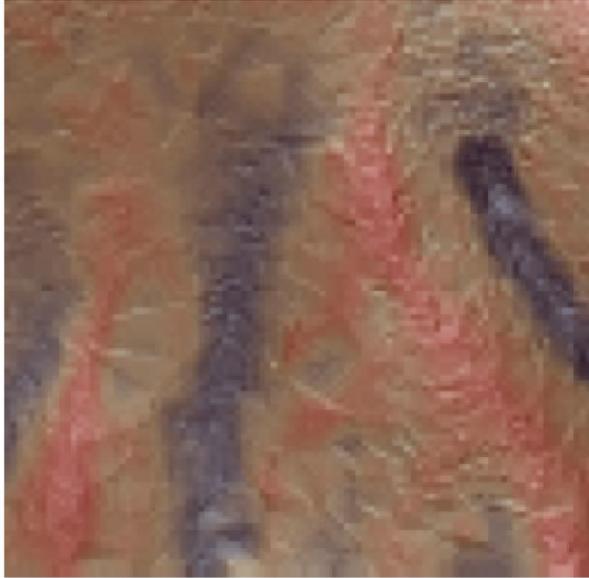
【AI学習】

Mask R-CNN

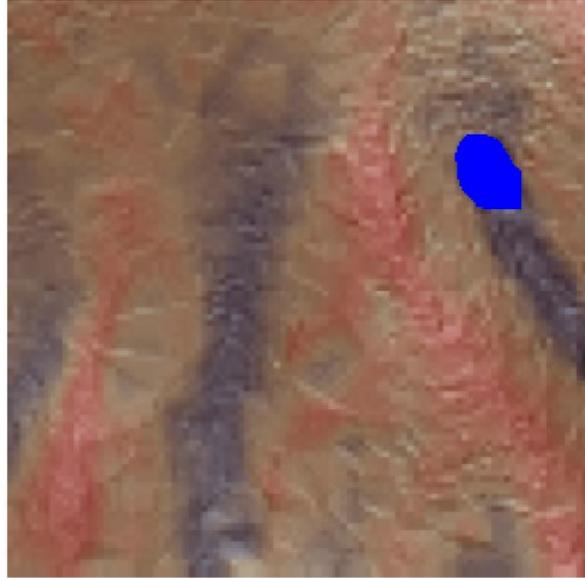
(ノーザンシステムサービス)



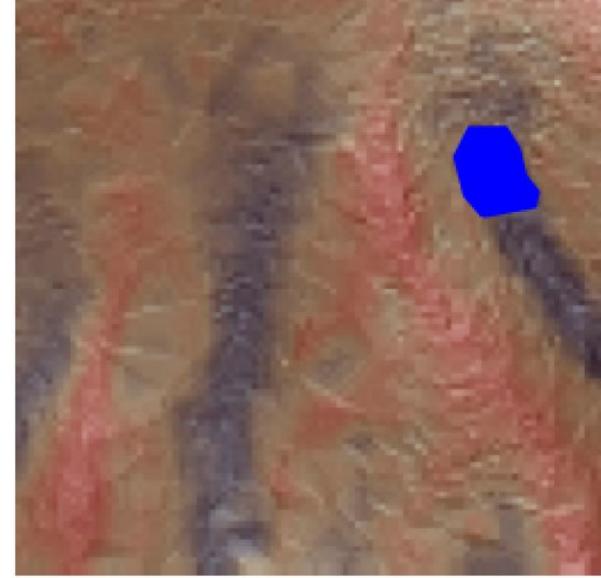
CS立体図



AIによる抽出



教師データ



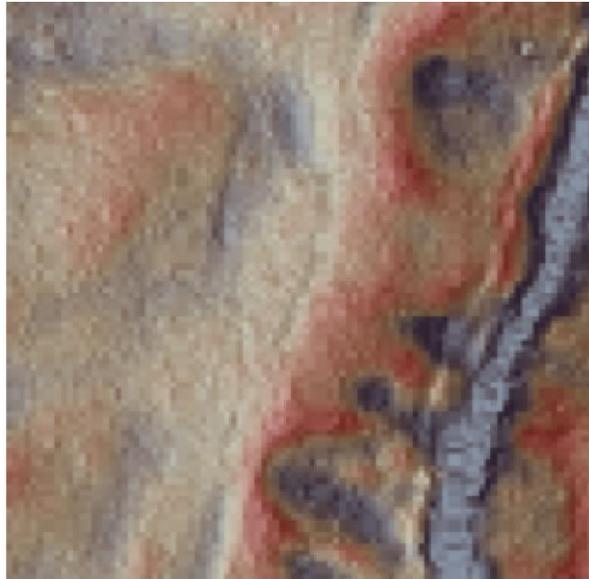
CS立体図から自動判読

人間による目視判読

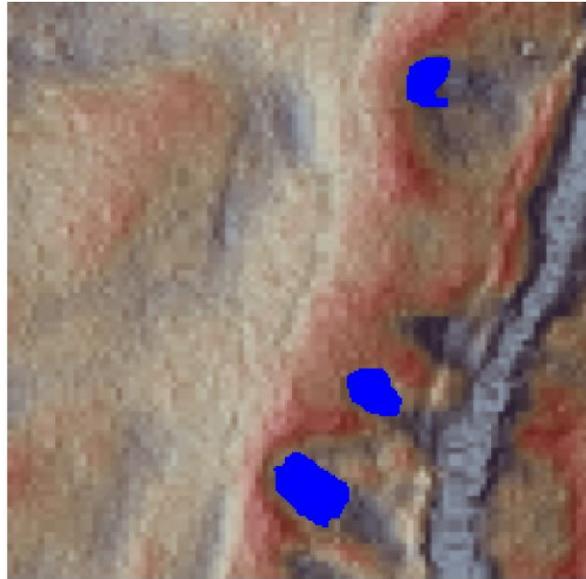
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(解析:ノーザンシステムサービス)

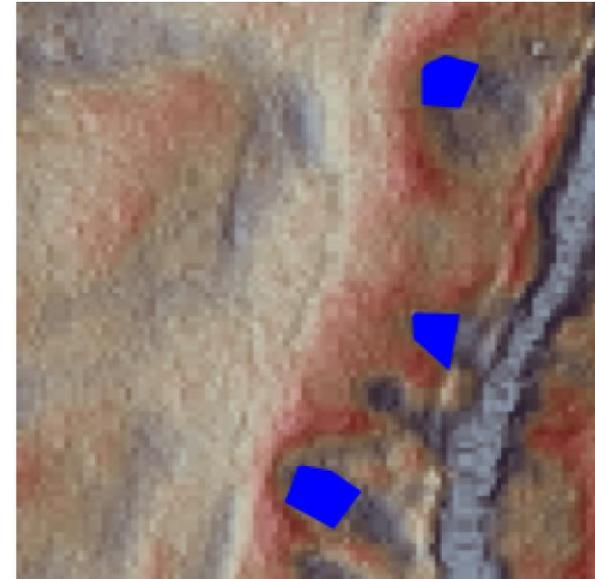
CS立体図



AIによる抽出



教師データ



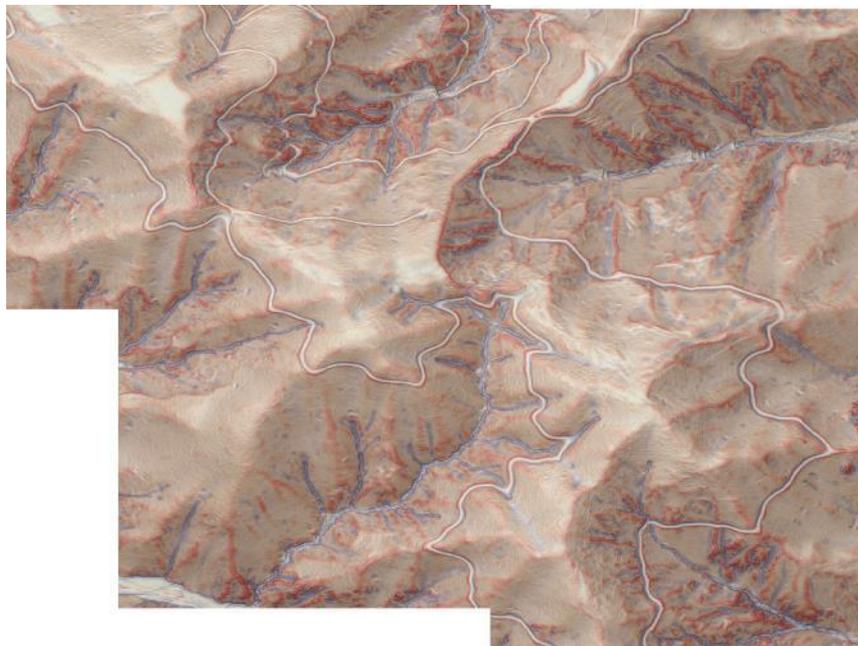
CS立体図から自動判読

人間による目視判読

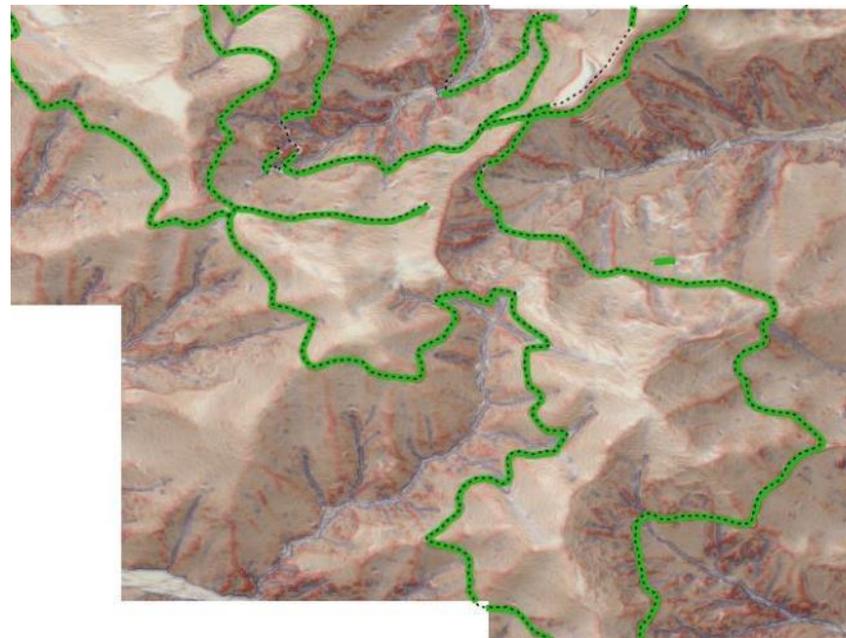
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(解析: ノーザンシステムサービス)

AI解析による森林路網線形の自動判読



CS立体図 (岐阜県)



AI解析による森林路網の自動抽出
とベクトルデータ化

(解析：ノーザンシステムサービス)

教師データとして森林路網をAI学習させると、路網線形の自動抽出も可能

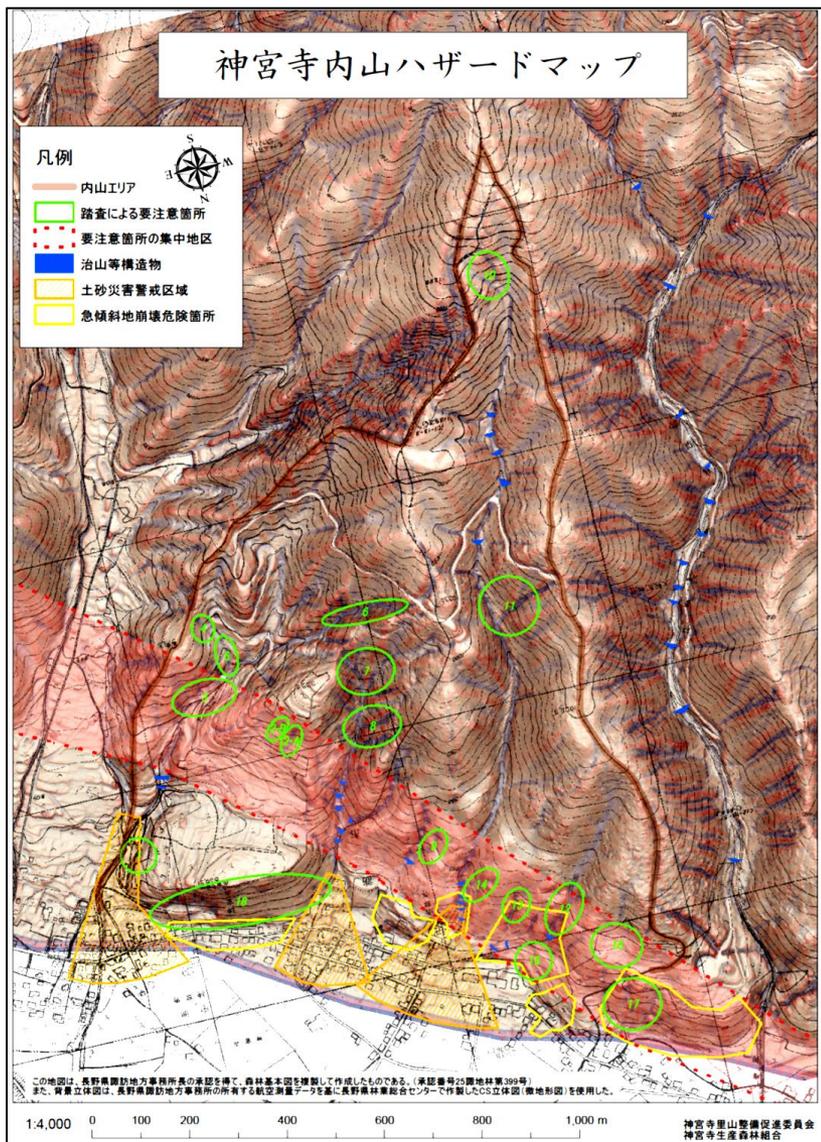
地域防災におけるCS立体図の活用事例



地域住民が主体の防災マップづくり

(長野県飯田市)

独自のハザードマップを裏山の巡視に活用



作成したハザードマップを持って
住民が危険箇所を点検



スマートフォンの活用

スマートフォンの地図アプリに
CS立体図を入れて、GPSで
ナビゲーションすることで効率的
に森林調査が可能

(長野県諏訪市)

諏訪市神宮寺地区で作製したハザードマップ

まとめ

- ・リモートセンシングとは、センサーとプラットフォームの組み合わせ。目的に応じて適切な技術を選択。
- ・航空レーザー測量は、航空機から計測した点群データ。加工、解析することで、樹木や地表の形状を把握できる。
- ・CS立体図は地形判読を容易にするために開発した微地形表現図法。危険地を把握して安全な住民生活や、効率的な林業を実現。
- ・オープンソース、オープンデータ化により技術の発達は加速する。