

森林調査における航空レーザデータの活用 (微地形表現図の判読)

(株) ジオ・フォレスト
戸田 堅一郎

この研修テキストには、農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業「安全な路網計画のための崩壊危険地ピンポイント抽出技術」(2014～2016年度)、農林水産省委託プロジェクト研究「山地災害リスクを低減する技術の開発」(2016～2020年度)の成果を使用しています。

本研修資料は、(株)ジオ・フォレスト社ホームページ (<https://gf17v.com/>)
に掲載しています。必要に応じてダウンロードしてご活用ください。



経歴／会社概要

◇ ～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、SHC図の考案
- ・ 令和4年3月末に退職

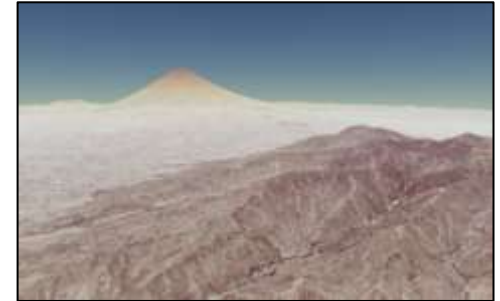
◇ 令和4年4月 **株式会社ジオ・フォレストを設立**

- ・ 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

弊社所有技術

◇ 地形解析

- ・CS立体図作成
- ・干渉SAR
- ・各種リモートセンシングデータ解析



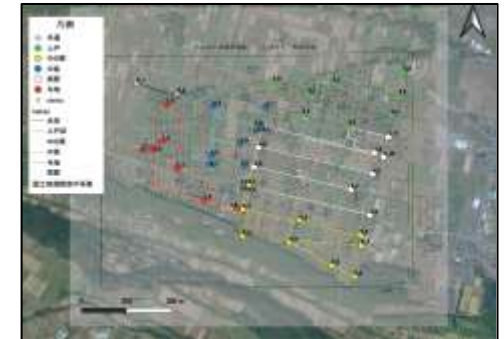
CS立体図

◇ マッピング

- ・防災マップ
- ・農業施設マップ



防災マップ



農業施設マップ

◇ 現地調査

- ・森林資源調査
- ・森林路網線形調査



森林路網調査

【 目 次 】

1. 災害に強い森林づくり
2. リモートセンシングと林業DX
3. CS立体図（微地形判読）
4. 最近の研究紹介
 - ・AIによる崩壊危険判読
 - ・平面曲率の標準偏差（SHC図）
 - ・干渉SAR解析との組み合わせ

1. 災害に強い森林づくり (長野県の事例)

災害に強い 森林づくり 指針

森林の土砂災害防止機能に関する検討委員会編

長野県 林務部

長野県では、平成18年度の岡谷市を中心とした豪雨災害を契機として、平成19年度に「災害に強い森林づくり指針」を想定しました。



平成18年7月 長野県

https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/hozen/chisan/documents/shishin_8.pdf

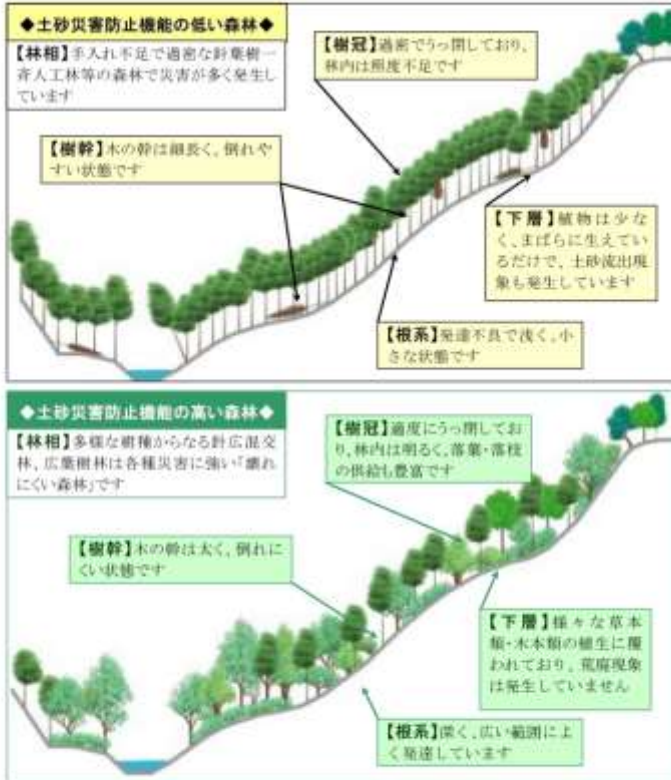
森林が持つ多面的機能

1 災害に強い森林とは

土砂災害防止機能の高度発揮

森林は、国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、地球温暖化の防止、木材等の林産物の供給、保健休養等の多面的な機能を有しています。

本指針で対象とする「災害に強い森林」とは、これらの機能のうち、「土砂災害防止機能（崩壊防止機能・災害緩衝機能等）の高い森林」を指します。



2 災害に強い森林づくり指針

【私益】

木材生産

特用林産物

【公益】

土砂災害の防止

水源涵養

保健休養

CO2固定

「災害に強い森林」とは、森林の持つ様々な機能のうち、「土砂災害防止機能（崩壊防止機能・災害緩衝機能等）の高い森林」のことを言う。

目標とする森林

2 基本方針

災害に強い森林づくりの の基本理念

従来の林業では、立地環境に適した樹種を選定し、植栽を行う「**適地適木**」が実施されてきました。

しかし、適地適木で造林された森林でも、間伐等の施策が実施されていない場合は過密な状態で、樹木の幹は細く、根系は発達不良で、不安定な状態で成立しています。

一方、間伐等の施策を行うと森林の根系が発達し、山地崩壊等に対し効果があることが近年の研究成果からわかってきました。

すなわち、適地適木という条件以外にも、「**適正管理**」されている森林は災害に強いと考えられます。

そこで、「**適地適木・適正管理による森林づくり**」を災害に強い森林づくりの基本理念とします。

災害に強い森林づくり の方針

森林の現況は「適地適木・適正管理」の観点からP5の4タイプに区分されます（以下、「**管理状態区分**」とします）。

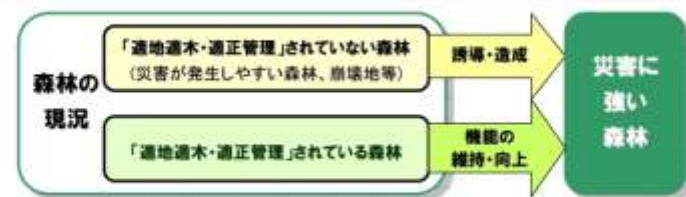
本指針では、「適地適木・適正管理」されていない森林と相対的に比較し、「適地適木・適正管理」されている森林を『土砂災害防止機能の高い森林＝災害に強い森林』として扱います。そして、現在の森林の管理状態区分に応じて、災害に強い森林づくりの方針を以下の2点とします。

①現況が「適地適木・適正管理」されていない森林の場合

土砂災害が発生しやすい森林や崩壊地等の土砂災害防止機能が低い森林を抽出して、土砂災害防止機能の高い森林に「誘導」、あるいは土砂災害防止機能の高い森林を「造成」します。

②現況が「適地適木・適正管理」されている森林の場合

土砂災害防止機能をさらに「向上」、あるいは機能を「維持」して低下させないように、引き続き適正管理を行います。



災害に強い森林づくりの基本理念

適地的木

- ・土壌水分
- ・土層深（深根性、浅根性）
- ・地質・土質
- ・標高

適正管理

密度管理（健全な根系）

「適地適木」「適正管理」の観点から、 今後行すべき施行方針を検討



■ 森林の立地状態区分

本指針では、近年の災害の傾向等を踏まえ、特に災害が発生しやすく、土砂災害防止機能の高度発揮が必要な整備対象森林を、その立地環境に応じて「崩壊防止型」、「崩壊土砂抑止型」、「溪畔林型」の3つに分類します（以下、「立地状態区分」とします）。



【森林の立地状態区分のイメージ図（縦断面図）】



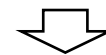
【森林の立地状態区分のイメージ図（平面図）】

白線で囲まれた区域は、直下に保全対象（集落）が控えており、災害に強い森林づくりの対象区域として検討すべき森林です。中でも点線で囲まれ、立地状態区分された区域は、災害が発生しやすく、特に土砂災害防止機能を発揮すべき森林といえます。その他の森林では、土砂災害防止機能以外の機能（木材生産、水源かん養等）の高度発揮を主目的とする森林づくりを行うこととなります。

全ての森林を対象とするわけではない

- ・崩壊発生源 → 「崩壊防止型」
- ・流送域 → 「崩壊土砂抑止型」
- ・渓流域 → 「溪畔林型」

地形・地質から立地環境を見極めて、適切な施業を行う



地形判読能力が必要
(リモートセンシングの活用)

2. リモートセンシング と林業DX

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？

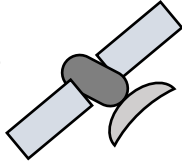
プラットフォーム

視点の高さ

解像度

計測面積

人工衛星

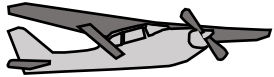


数100 k m
～数1000 k m

低

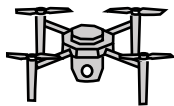
広

航空機



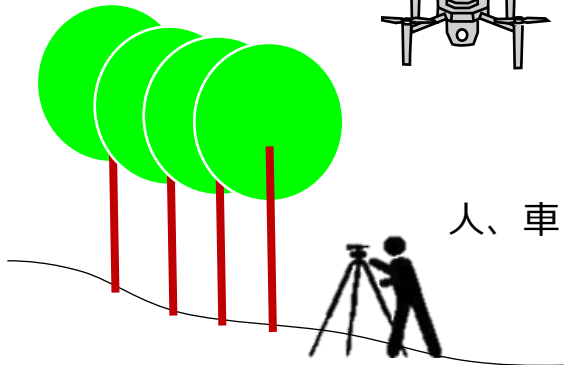
数100m

ドローン



数10m
～150m

人、車

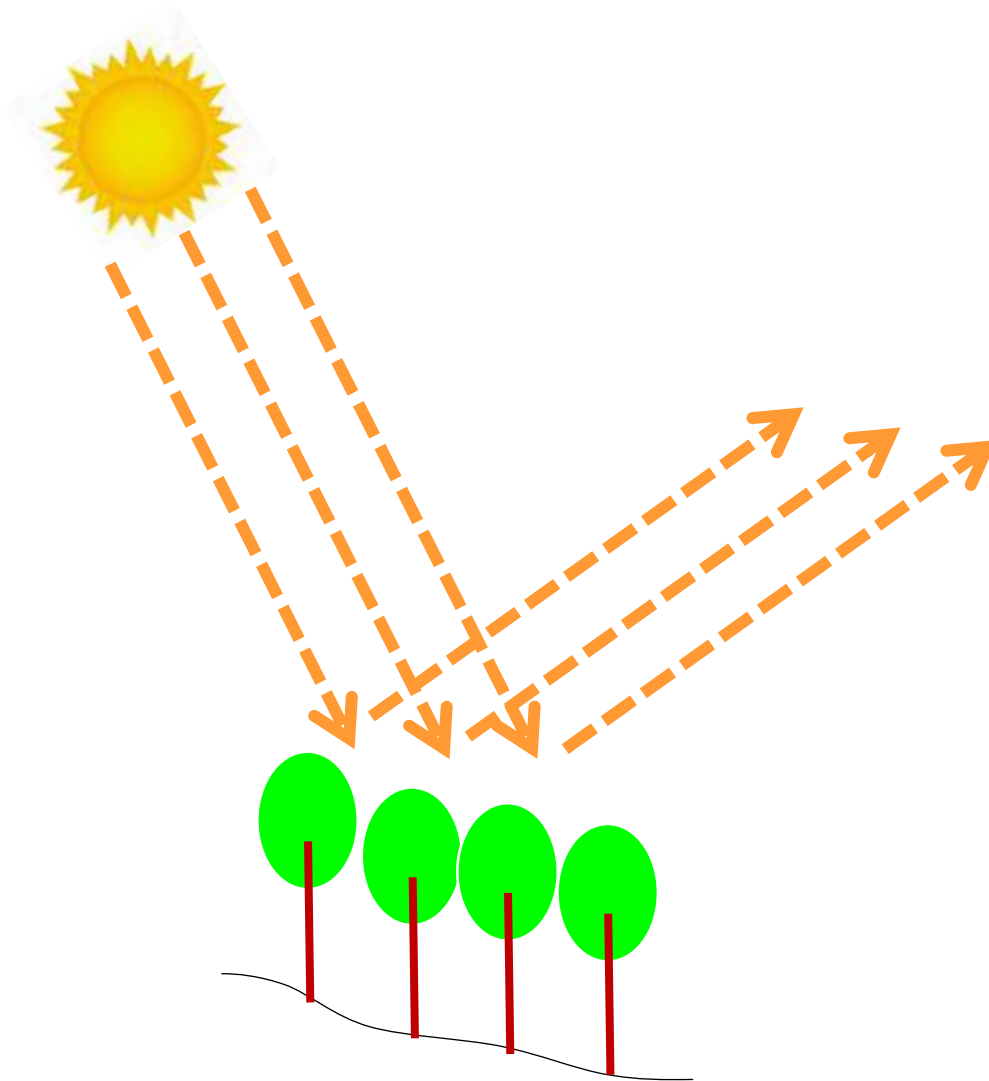


森林内

高

狭

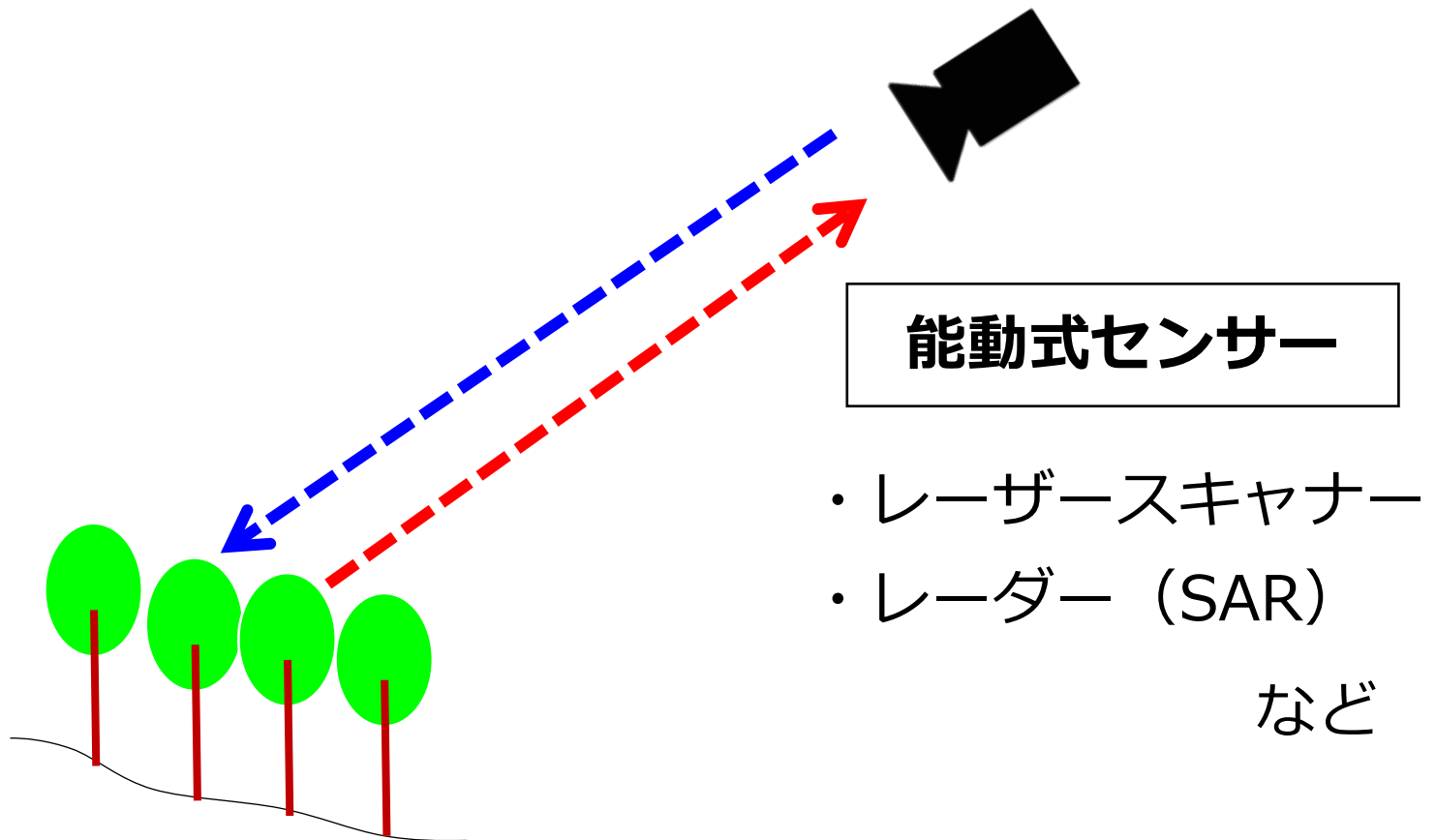
どのような**センサー**を使うか？



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

どのようなセンサーを使うか？



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

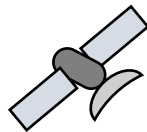
【センサー】

受動式センサー

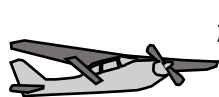
能動式センサー

×

【プラットフォーム】

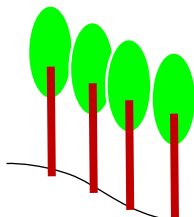


人工衛星



航空機

ドローン



地上



- ・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

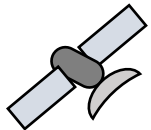
【センサー】

受動式センサー

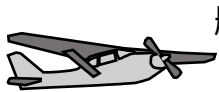
能動式センサー

×

【プラットフォーム】



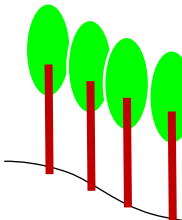
人工衛星



航空機



ドローン



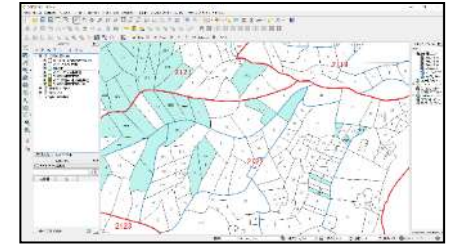
地上

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

林業DXに向けて

「DX (Digital Transformation)」

「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、**データとデジタル技術を活用**して、顧客や社会のニーズを基に、**製品やサービス、ビジネスモデルを変革**するとともに、**業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革**し、競争上の優位性を確立すること」

「DX推進ガイドラインVer.1.0（平成30年12月）」

経済産業省：<https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf>

【英英辞典】

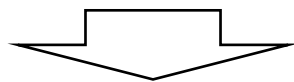
trans- ：類義語 **across**（横切って）、**cross**（交差、十字）



林業DXに向けて

デジタル化、ICT化、スマート化

既存の図面や紙データなどの**アナログ(紙)仕事**の電子化による業務の効率化



DX

デジタルデータを前提とした**組織や仕事そのもの**の変革

デジタルツインの考え方

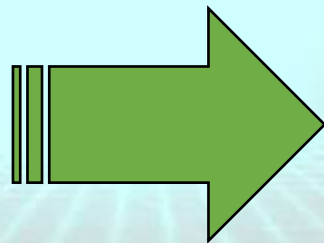
データの世界

② データ蓄積

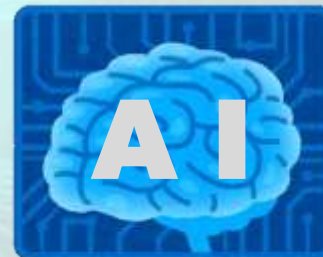
- ・データ標準化
- ・オープンデータ化
- ・ビッグデータ処理
- ・クラウド活用



収集



③ 高度なデータ分析



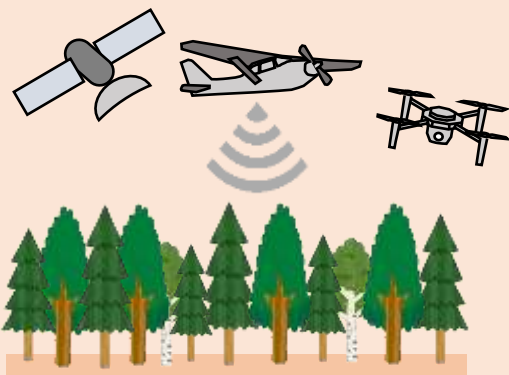
- ・統計解析
- ・シミュレーション
- ・地形解析
- ・AI

フィード
バック

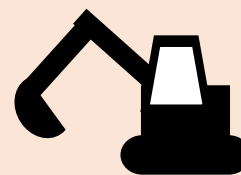
円滑なデータ共有

現実の世界

- ・人工衛星データ
- ・空中写真
- ・航空レーザー
- ・ドローン
- ・地上レーザー
- ・GNSS ...



① 計測（リモートセンシング）



- 技術的な課題
- ・機械化、自動施工
 - ・低コスト化



- 社会的な課題
- ・適切なゾーニング
 - ・境界明確化
 - ・防災対策
 - ・合意形成 など

④ 現実世界での課題解決

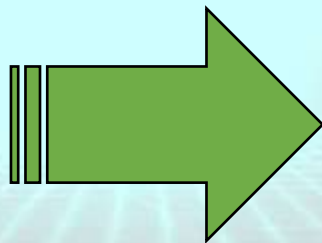
（（国研）森林総合研究所 瀧 誠志郎氏 2021.3森林GISフォーラム発表資料を修正）

デジタルツインの考え方

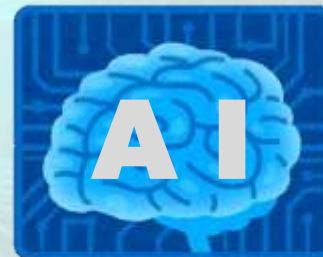
データの世界

② データ蓄積

- ・データ標準化
- ・オープンデータ化
- ・ビッグデータ処理
- ・クラウド活用



③ 高度なデータ分析



- ・統計解析
- ・シミュレーション
- ・地形解析
- ・AI

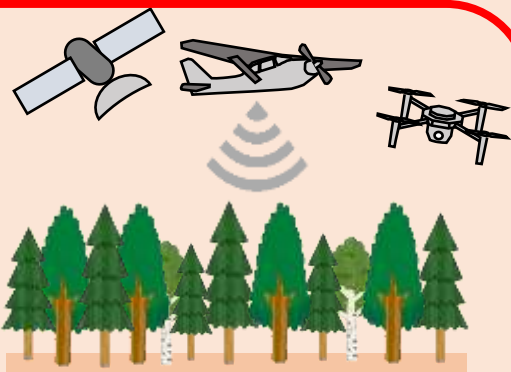
現実の世界

収集

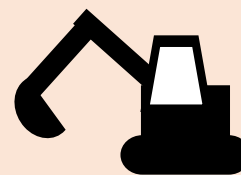
円滑なデータ共有

フィード
バック

- ・人工衛星データ
- ・空中写真
- ・航空レーザー
- ・ドローン
- ・地上レーザー
- ・GNSS ...



① 計測（リモートセンシング）



技術的な課題

- ・機械化、自動施工
- ・低コスト化



社会的な課題

- ・適切なゾーニング
- ・境界明確化
- ・防災対策
- ・合意形成 など

④ 現実世界での課題解決

（（国研）森林総合研究所 瀧 誠志郎氏 2021.3森林GISフォーラム発表資料を修正）

【微地形を見える化】

3.CS立体図

地形判読の基礎

なぜ「地形」ができたのか？

- ・水の動き
- ・土砂の移動
- ・地殻変動
- ・火山活動
- ・（人工改変）

などの痕跡

その場所で過去に発生した現象



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

地形図から読み取ることができる情報

地形量 ・ ・ ・ 長さや面積、それらの比など、定量化できる形態要素

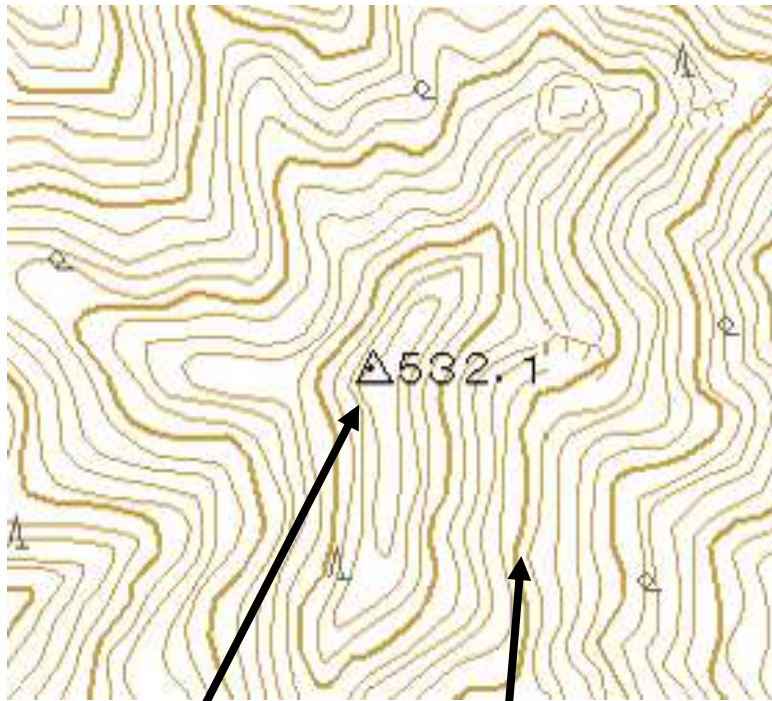
例) 標高、傾斜、曲率、面積、体積、方位、起伏量 など

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

例) 扇状地、崖錐、地すべり滑落崖、地すべり側方崖 など

地形図の情報を読み取る (地形量)

① 標高



532.1m

EL=450m



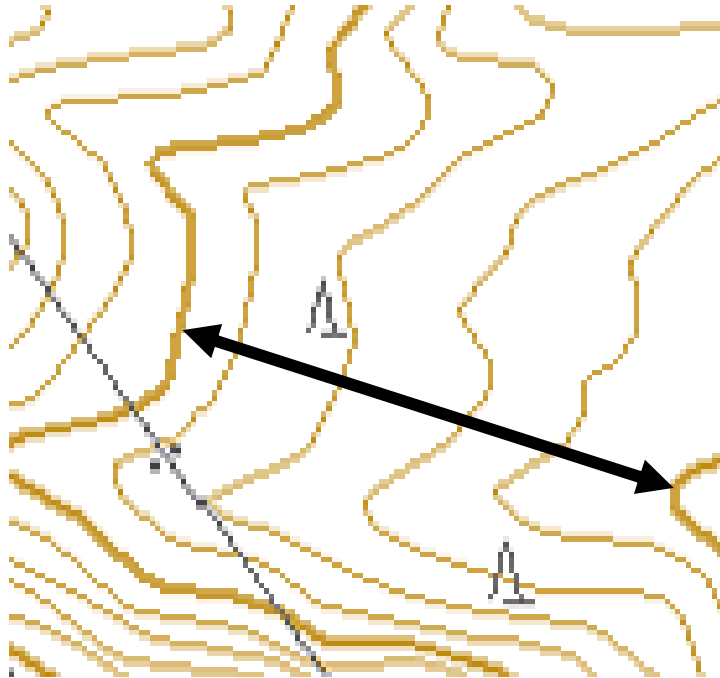
1129.3m

EL=1000m

等高線から標高を読み取る

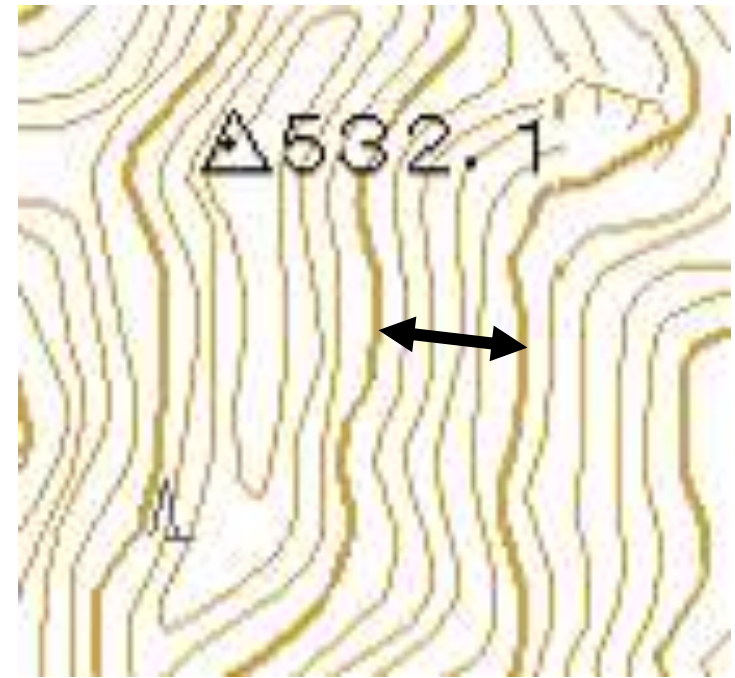
地形図の情報を読み取る (地形量)

② 傾斜



等高線間隔が広い

緩い



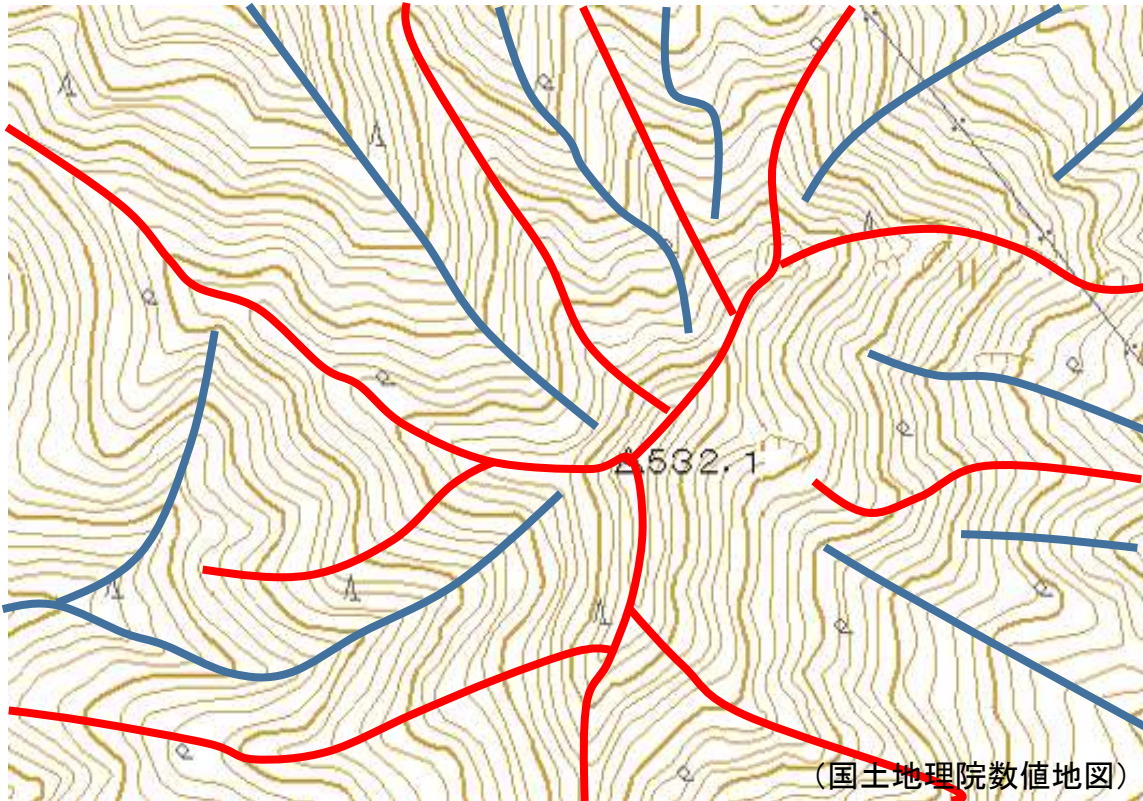
等高線間隔が狭い

急

等高線の間隔から傾斜を読み取る

地形図の情報を読み取る (地形量)

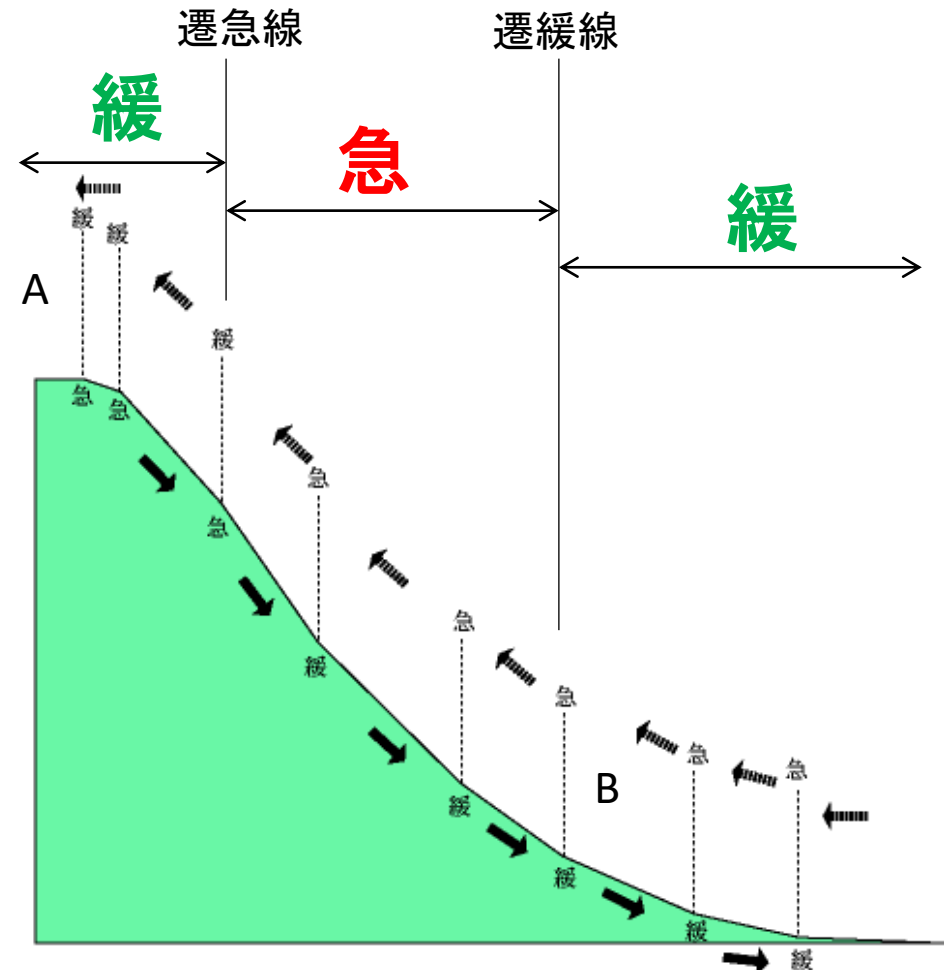
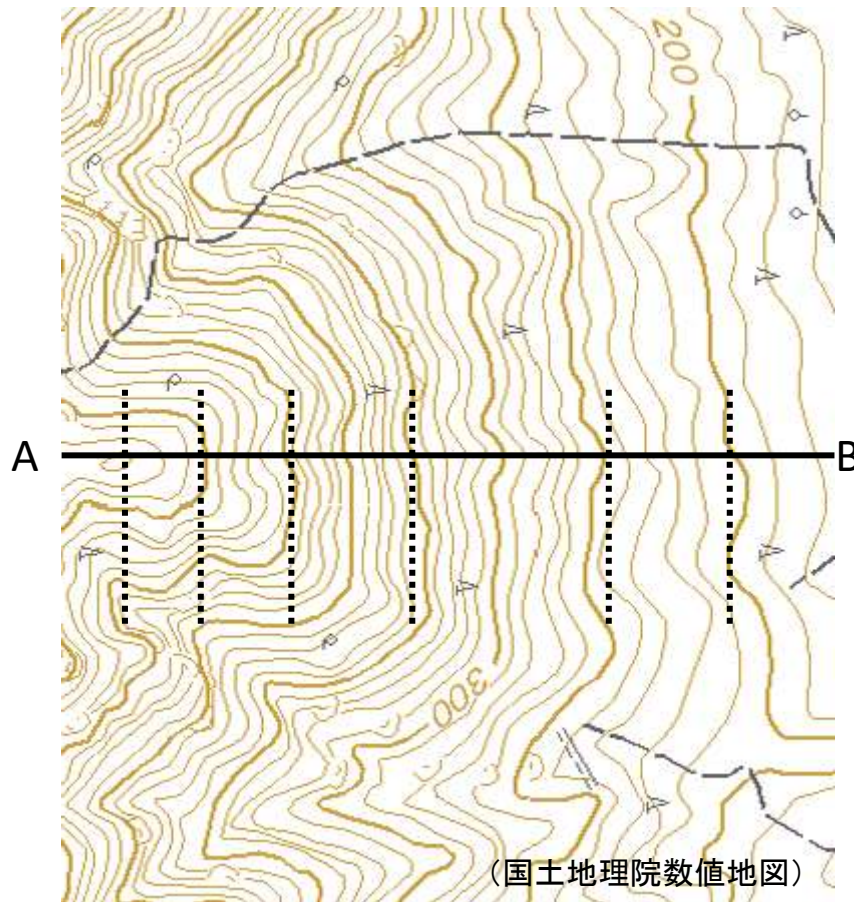
③-1 凹凸・尾根、谷 (平面曲率)



等高線の曲がり具合(曲率)から地形の凹凸(尾根、谷)を読み取る

地形図の情報を読み取る (地形量)

③-2 凹凸・遷急線、遷緩線(縦断曲率)

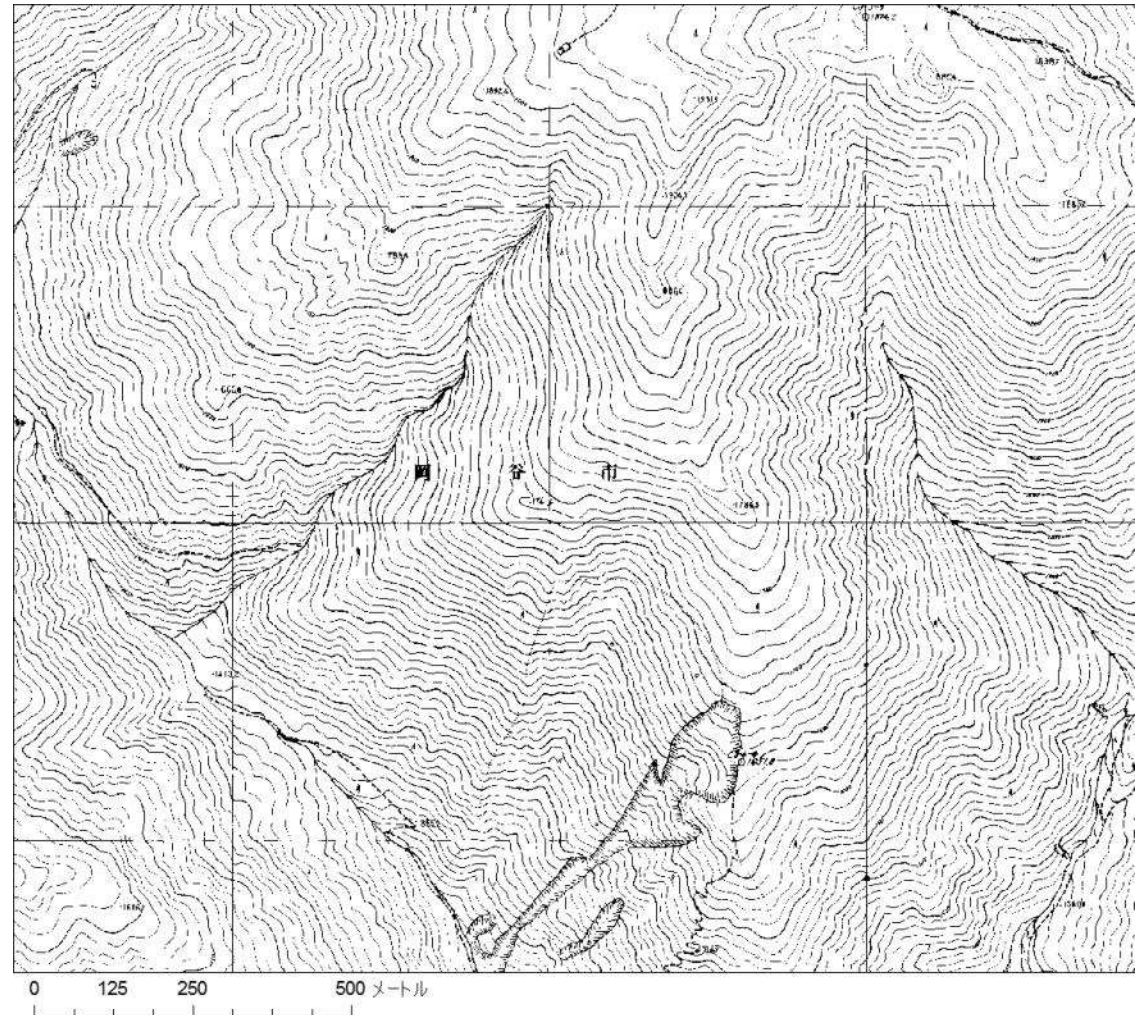


傾斜の変化から、遷急線、遷緩線を読み取る

地形図の情報を読み取る (地形種)

右図に含まれる地形種

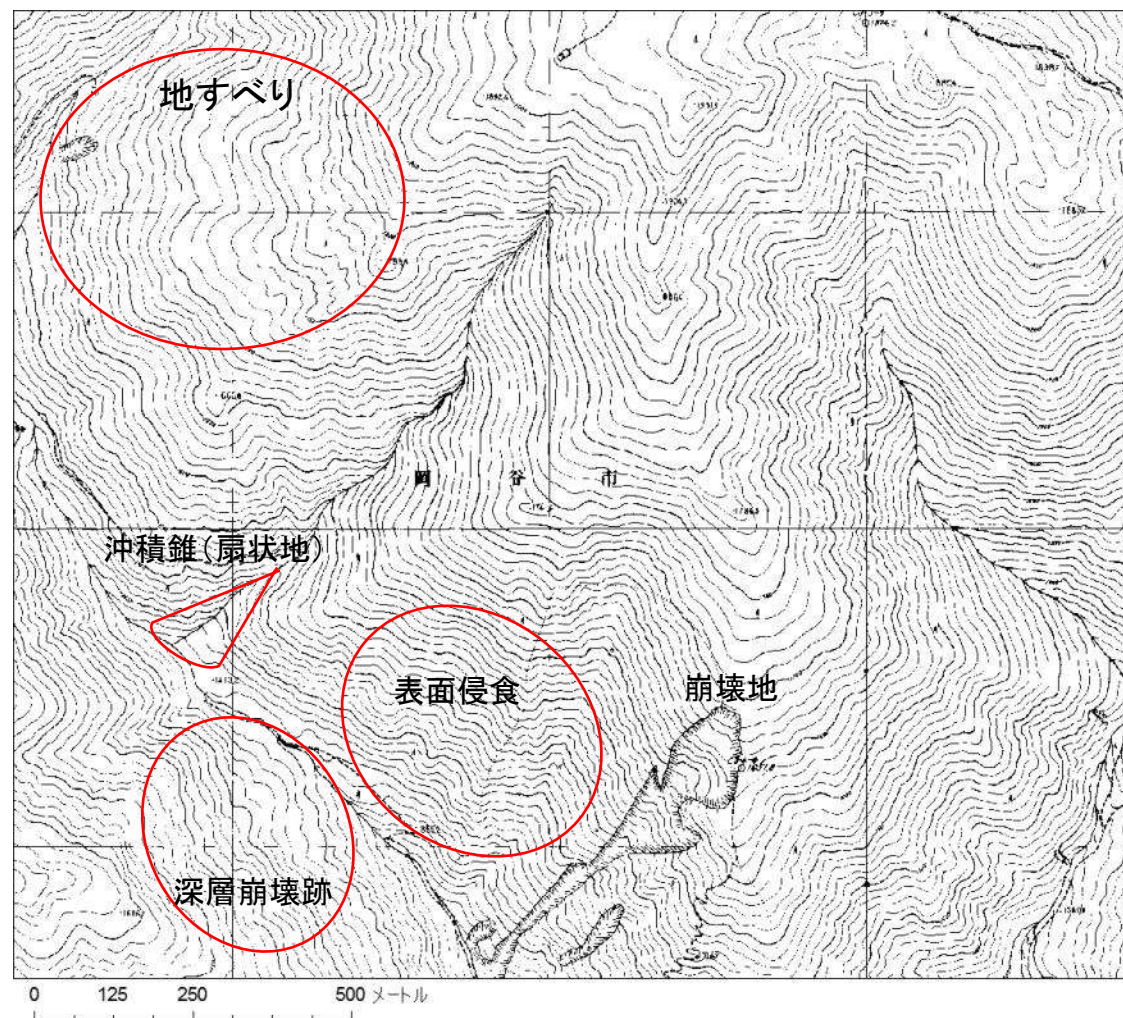
- 地すべり
- 深層崩壊跡
- 沖積錐(扇状地)
- 河道閉塞
- 溪岸侵食
- 表面侵食
- 表層崩壊



地形図の情報を読み取る (地形種)

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

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

ここまでのポイント

- 地形は**過去の災害**の痕跡
- 地形判読により**将来を予測**し、適切な**対策**を検討する
(災害調査時には**災害発生機構**を推測する)
- 地形から判読できる情報には「**地形量**」と「**地形種**」
- 地形量の代表は「**標高**」「**傾斜**」「**曲率**」
- 地形種の判読には、**技術**と**経験**が必要

CS立体図について

形だけから地形種の判読は、

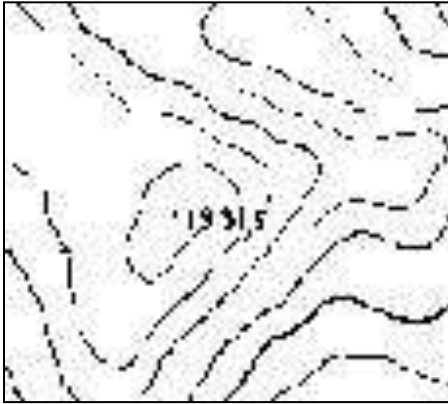
- ・判読者によって結果が異なる
- ・初心者には難しい



地形判読を容易にするために
CS立体図 を開発

地形図から判読できる 3つの地形量

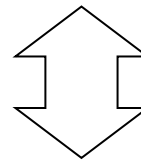
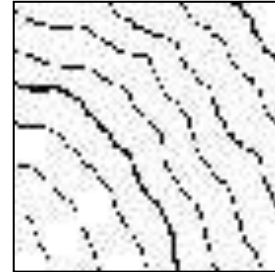
① 標高



② 傾斜

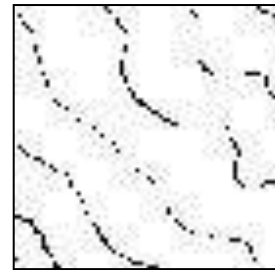
急:

等高線間隔が狭い



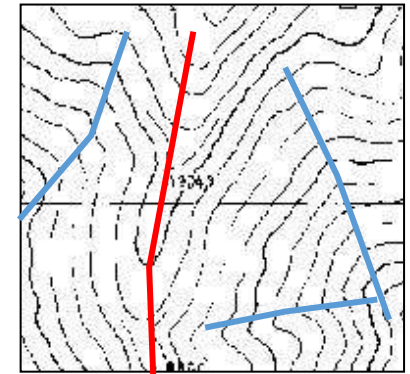
緩:

等高線間隔が広い

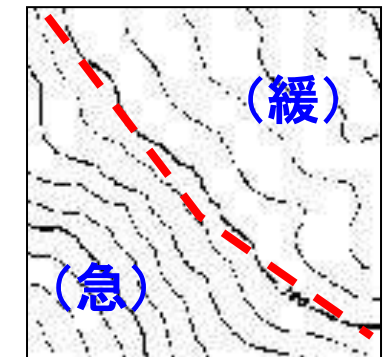


③ 凹凸(曲率)

平面曲率 (尾根、谷)



縦断曲率 (遷急線、遷緩線)



CS立体図 とは



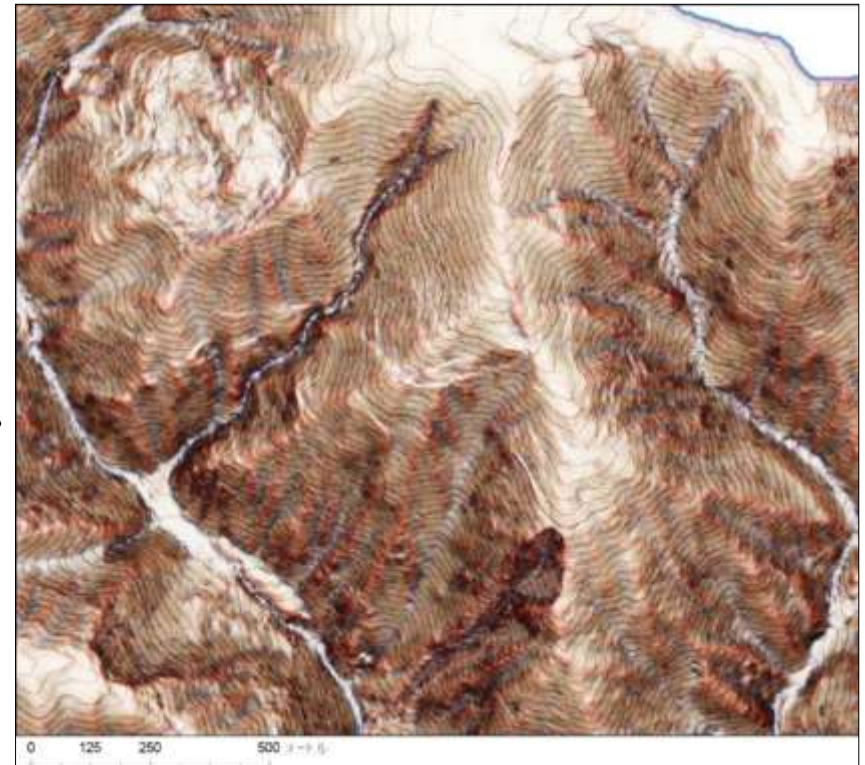
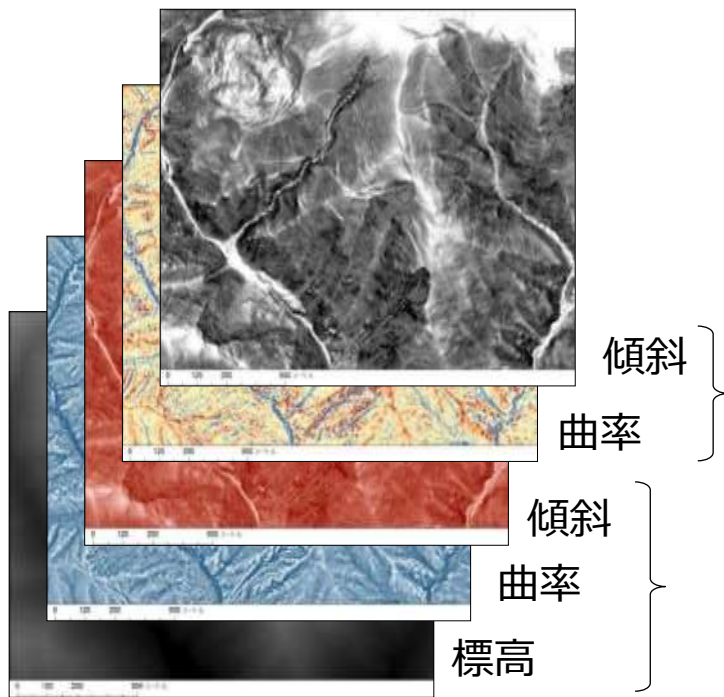
3つの地形量を異なる色調で彩色して透過処理

- ・視覚情報から直感的に情報を認識可能
- ・異なる情報を同時に認識可能
- ・等高線では表現が困難な情報も認識可能

CS立体図とは

「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した図法

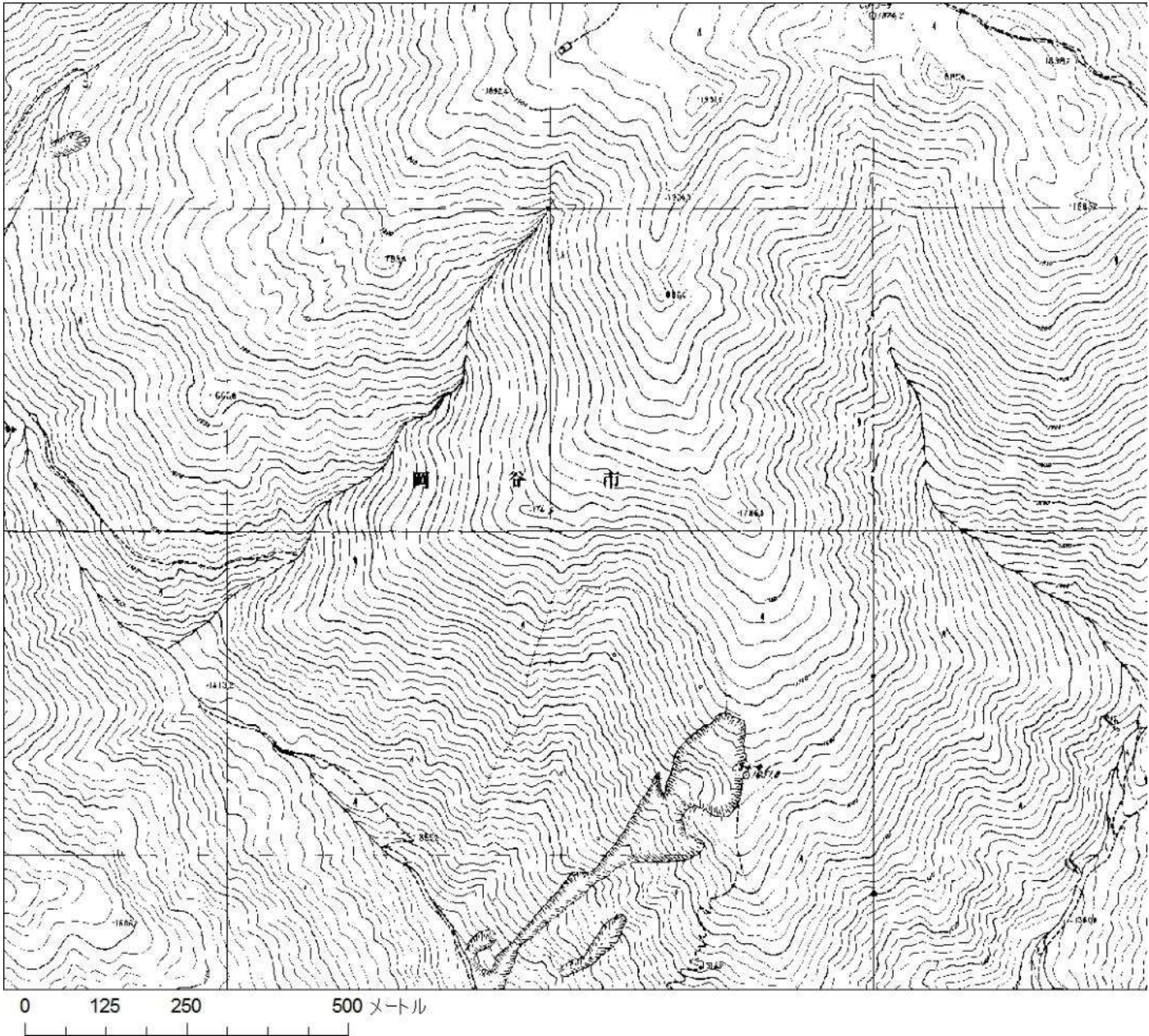
2012年に長野県林業総合センターで考案



「**CS**」とは、曲率 (**C**urvature) と傾斜 (**S**lope) の頭文字

従来の地形図
(森林基本図)

【CS立体図について】



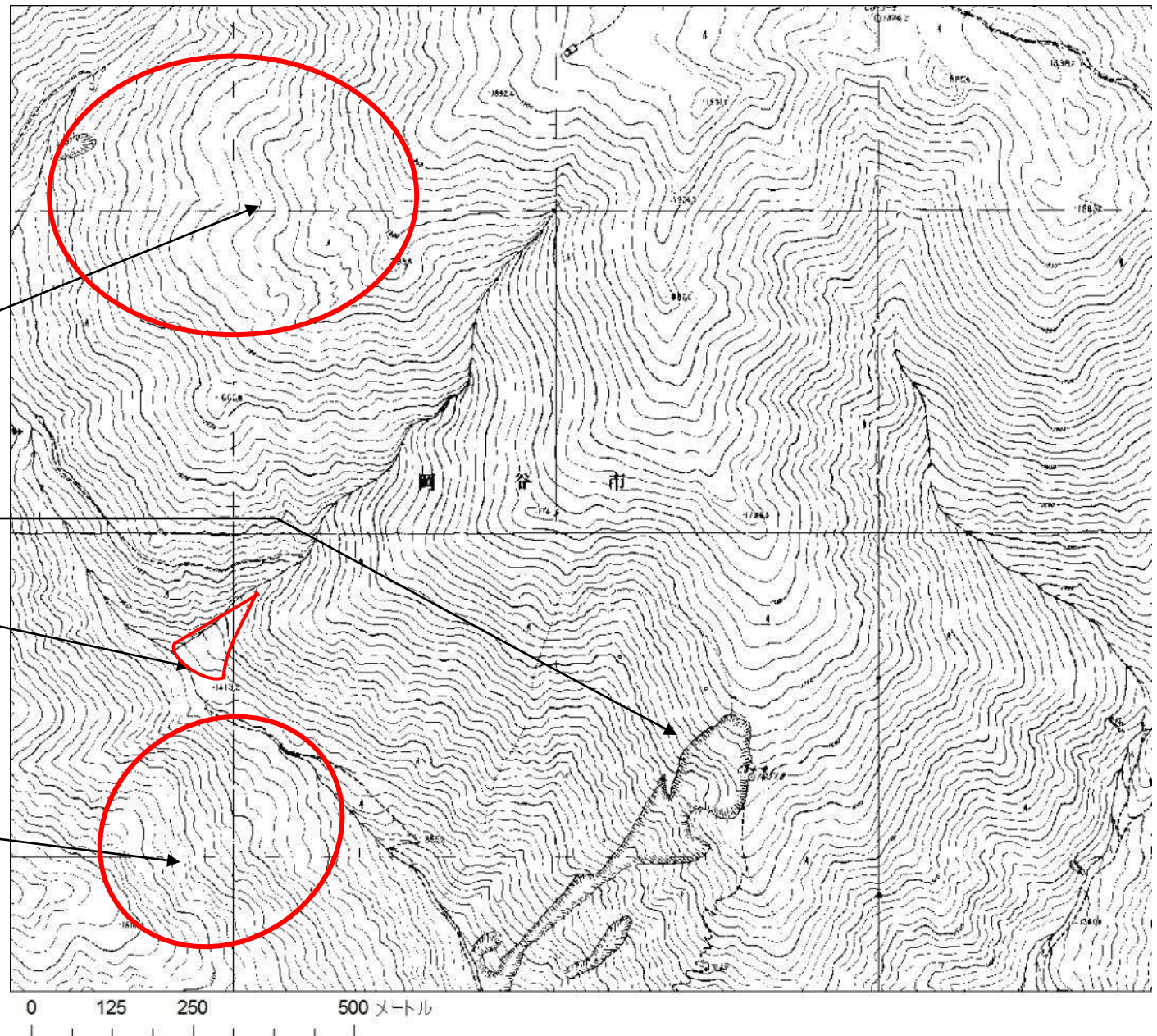
従来の地形図 (森林基本図)

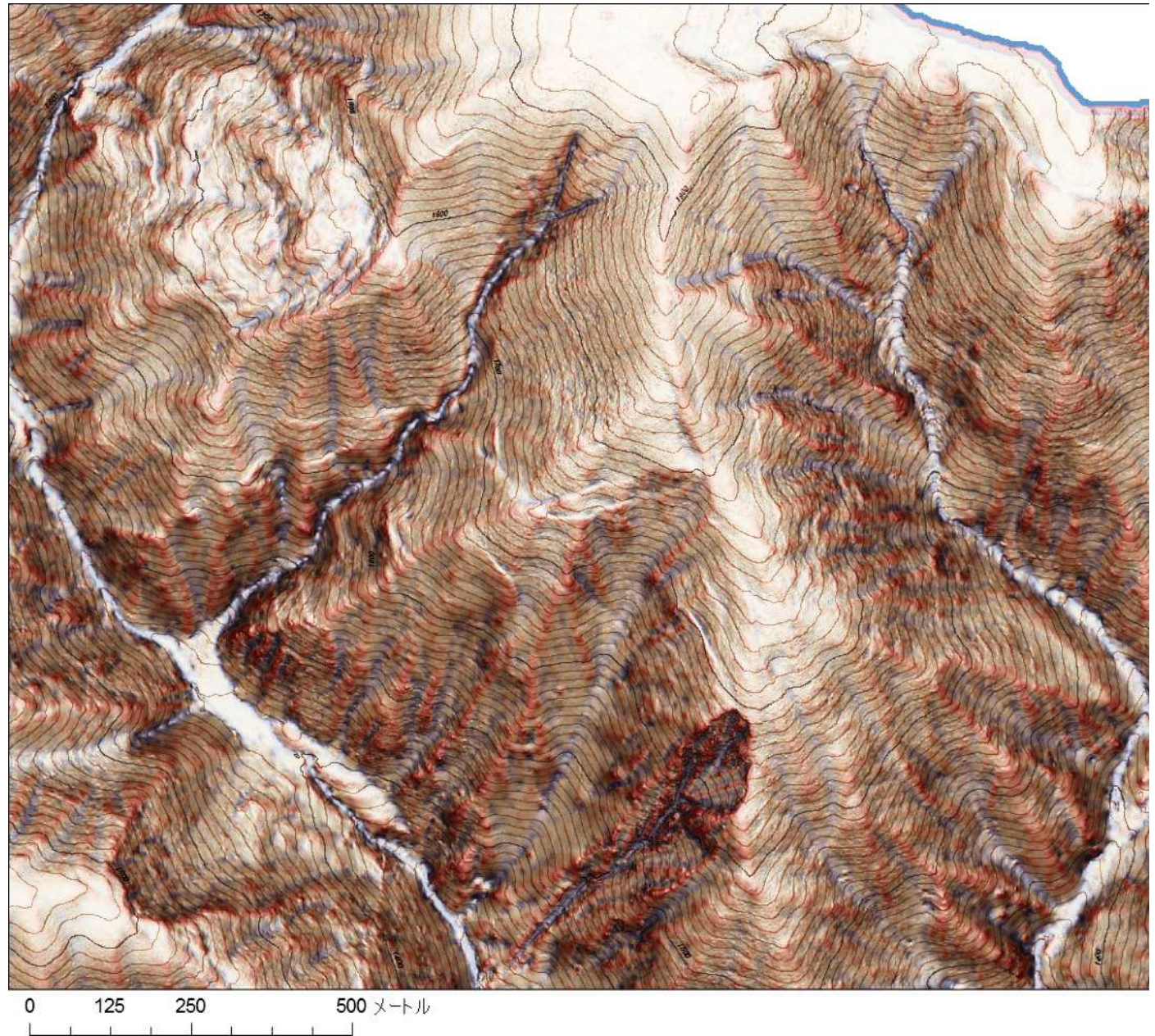
地すべり

崩壊地

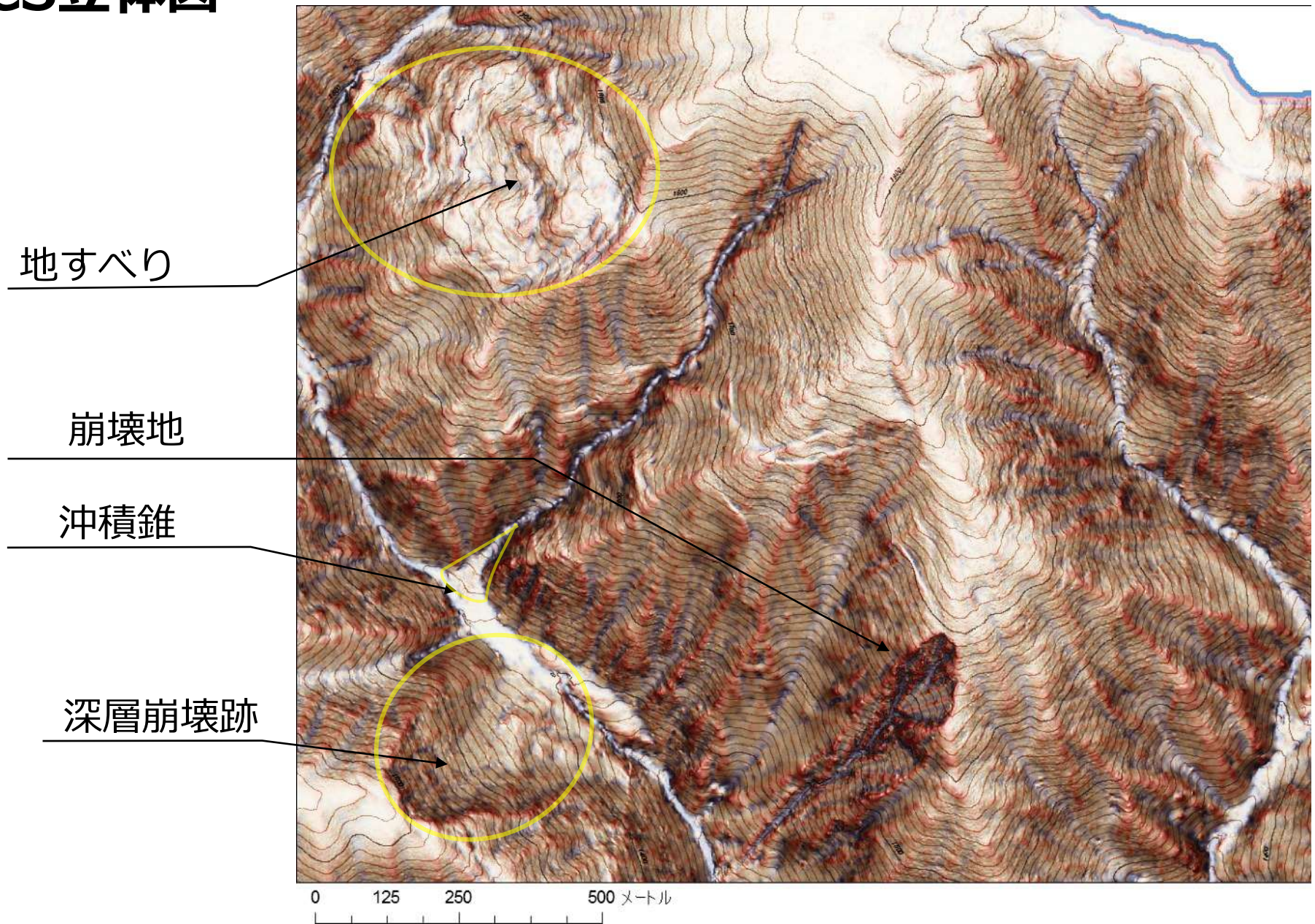
沖積錐

深層崩壊跡



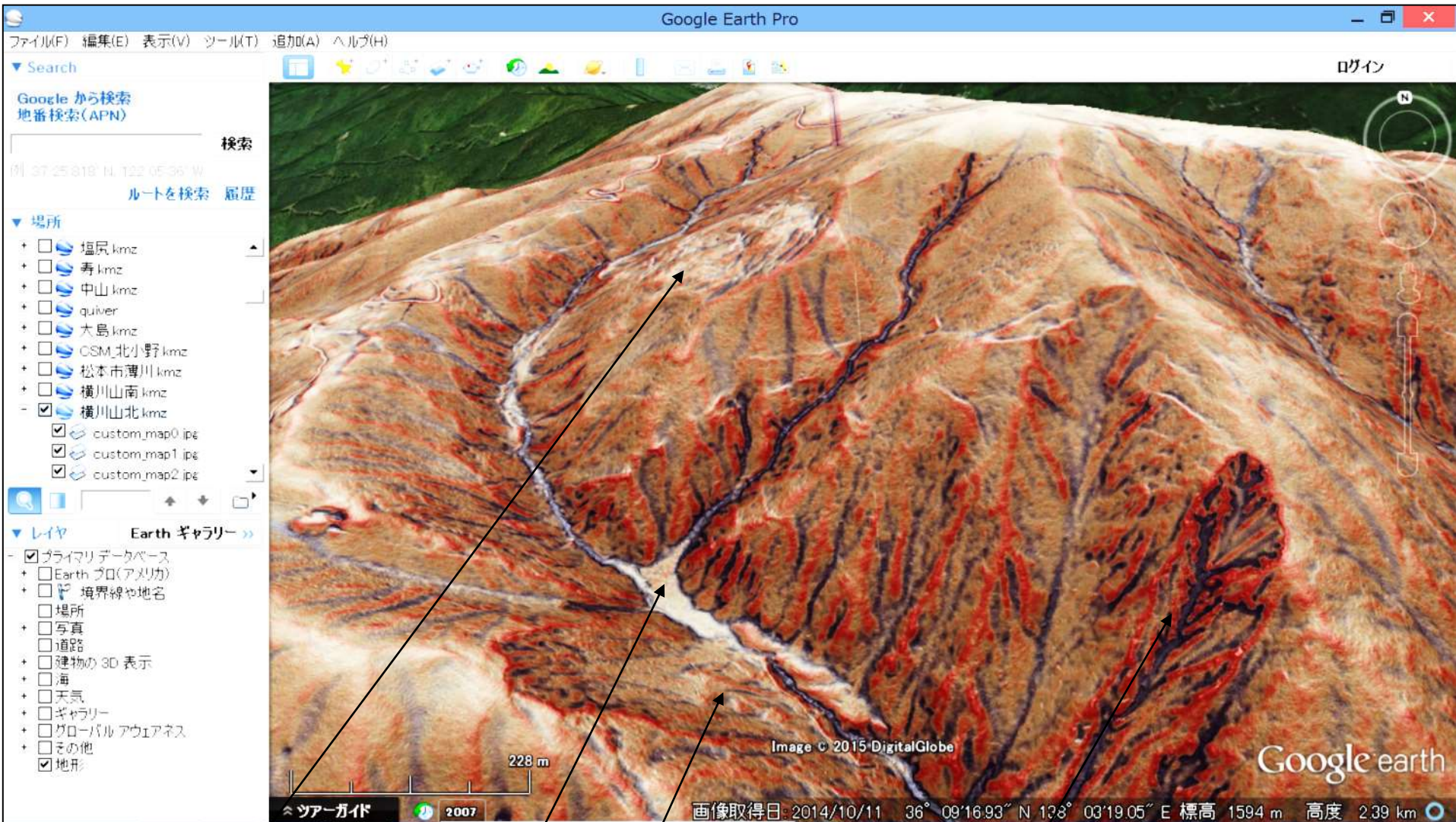


地すべり地形、深層崩壊跡地形などの判読が容易



地すべり地形、深層崩壊跡地形などの判読が容易

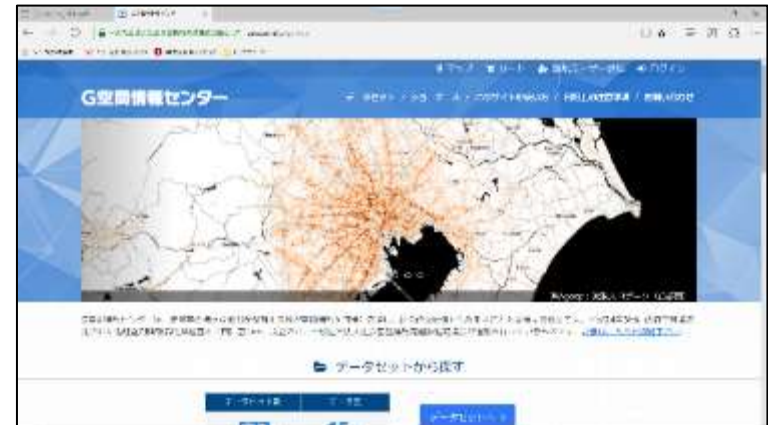
Google earth による3D表示も可能



公開済みCS立体図はG空間情報センターから ダウンロードできます

① インターネットで、「G空間情報センター」と検索

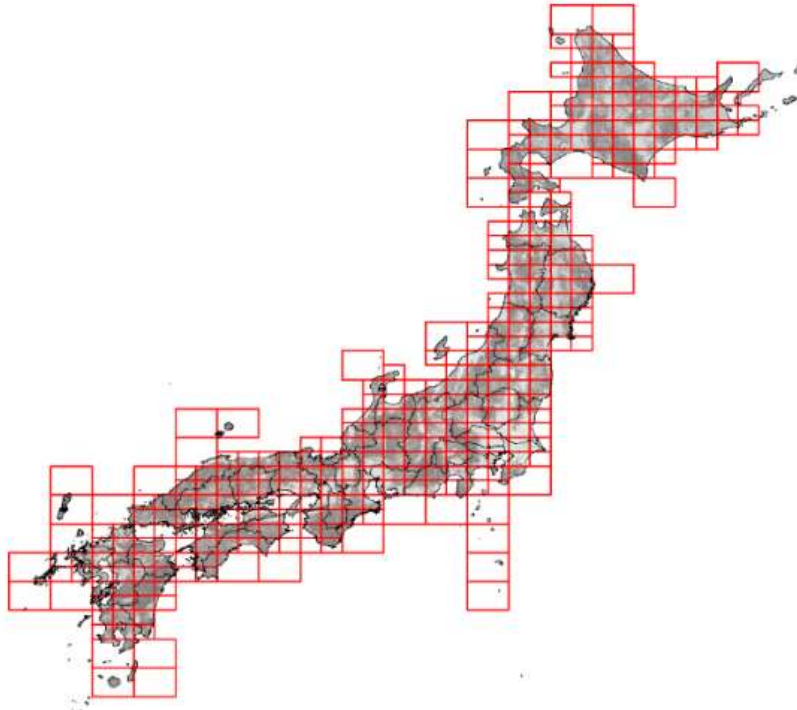
https://www.geospatial.jp/gp_front/



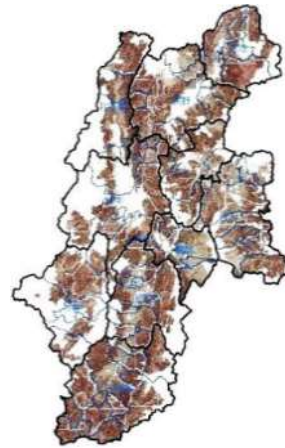
② サイト内で、「CS立体図」と検索



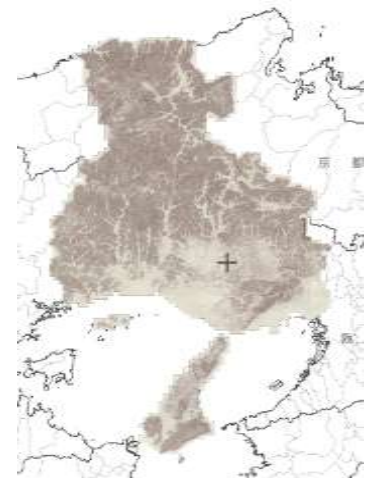
G空間情報センターから公開中のCS立体図



全国（10mメッシュ）



長野県（民有林）



兵庫県



岐阜県



静岡県

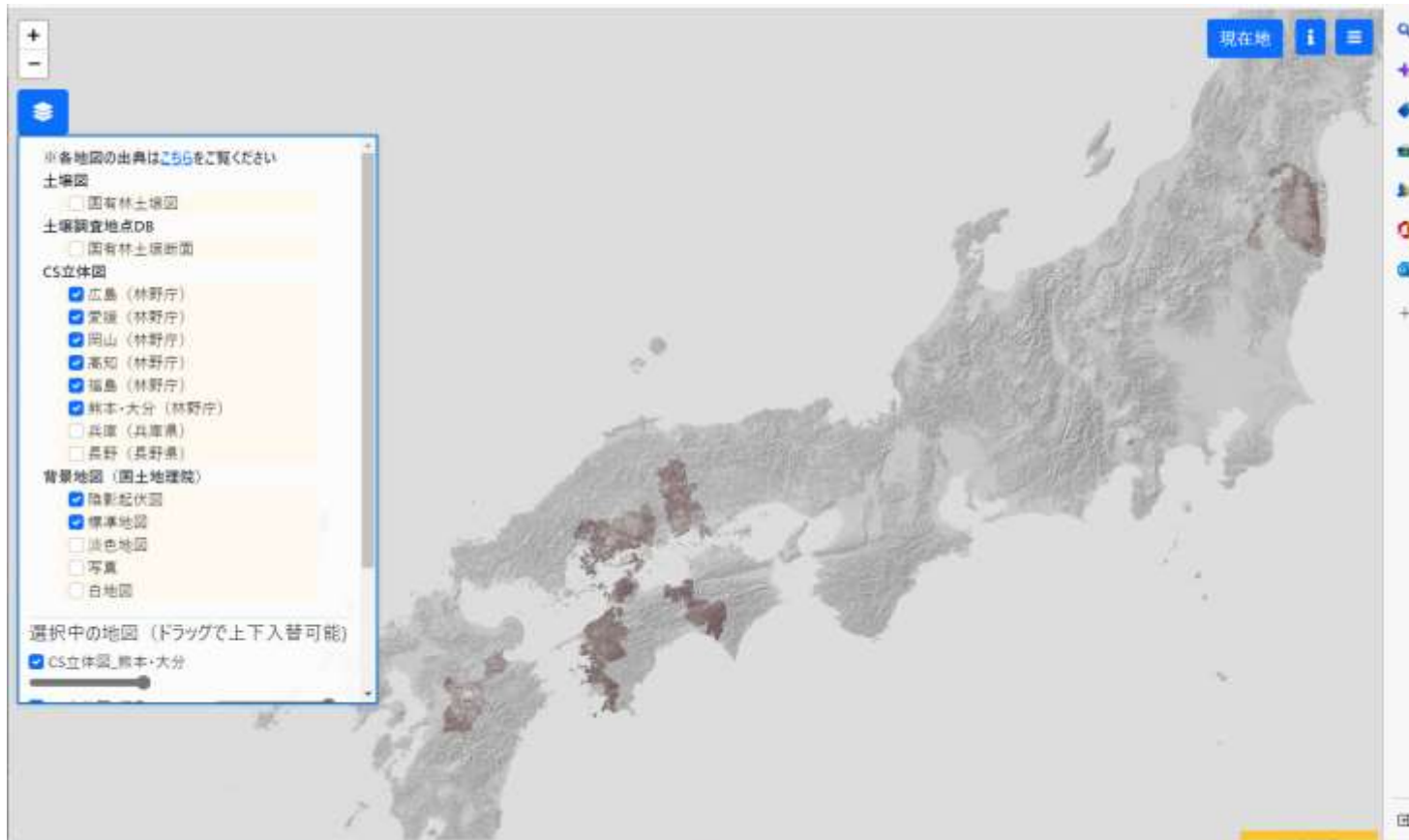
長野県の他にも、岐阜県、静岡県、兵庫県、全国（10mメッシュ）等が整備されG空間情報センター（https://www.geospatial.jp/gp_front/）から公開されています

森林総合研究所から公開中のCS立体図

(2022年12月現在)



<https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2022/20220928/index.html>

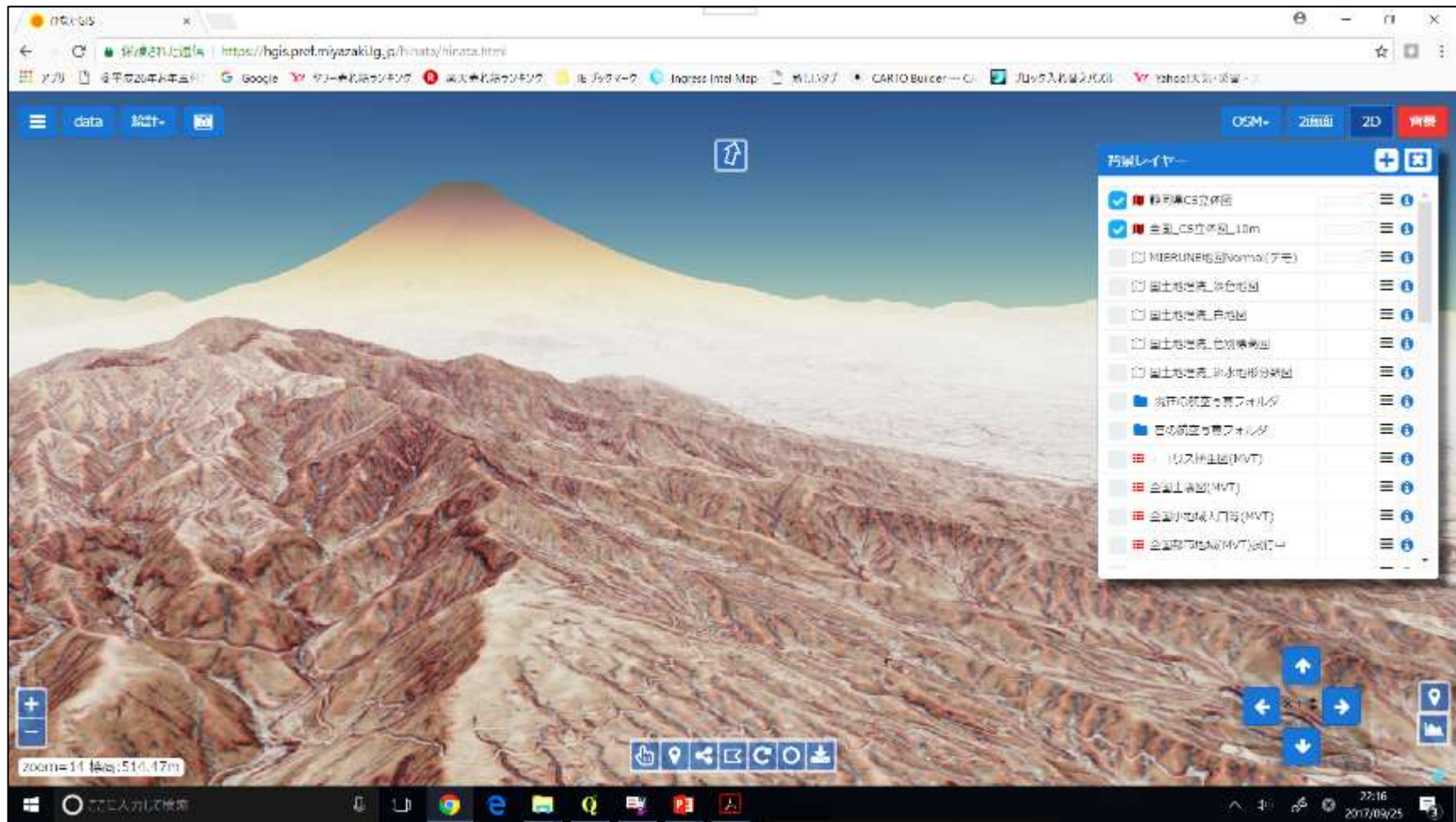


- ・ 広島県
- ・ 愛媛県
- ・ 岡山県
- ・ 高知県
- ・ 福島県
- ・ 熊本県

(林野庁データ)

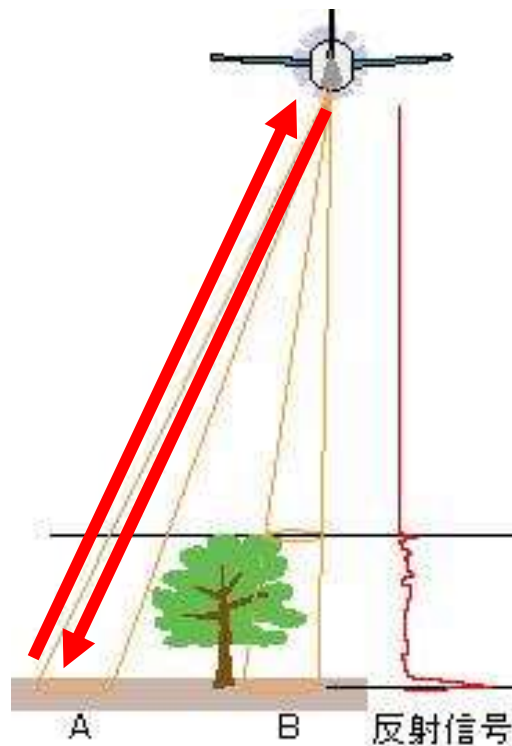
宮崎県のwebサイト「ひなたGIS」のご紹介

<https://hgis.pref.miyazaki.lg.jp/hinata/>



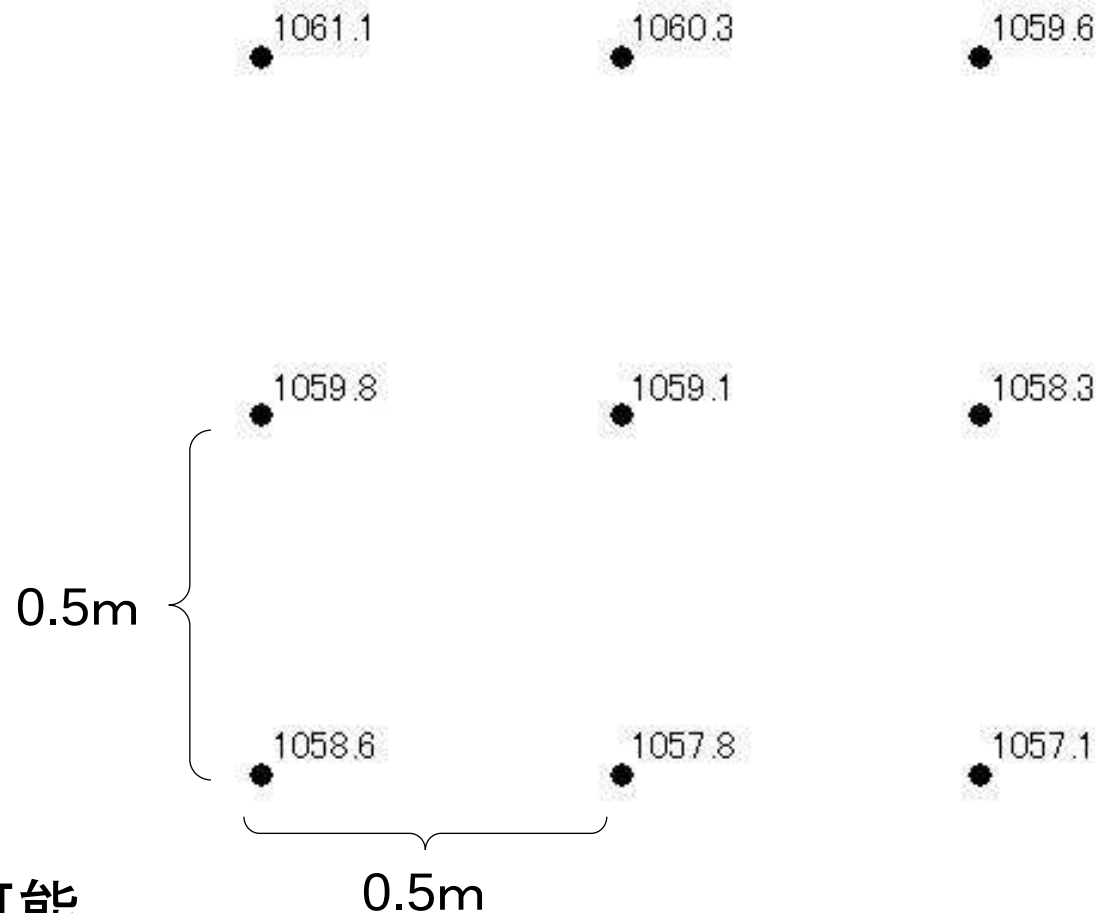
ひなたGISの背景図として利用可能 【後で実習】

航空レーザ測量による細密なDEM（数値標高モデル）



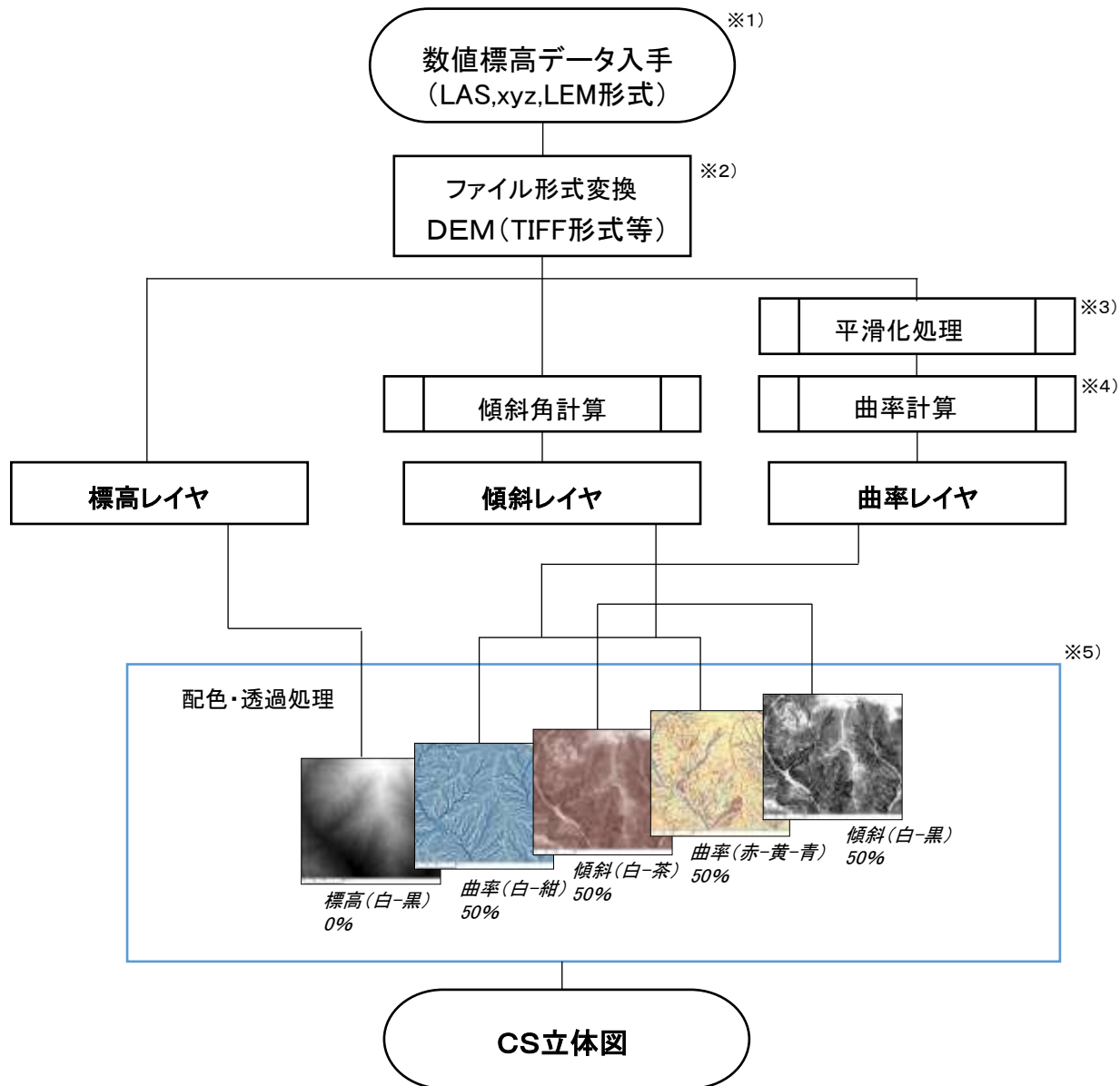
航空レーザ測量

樹木下の微地形を計測可能



長野県では、H26年（一部H27）に全県民有林を実施

CS立体図作製の流れ図



【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

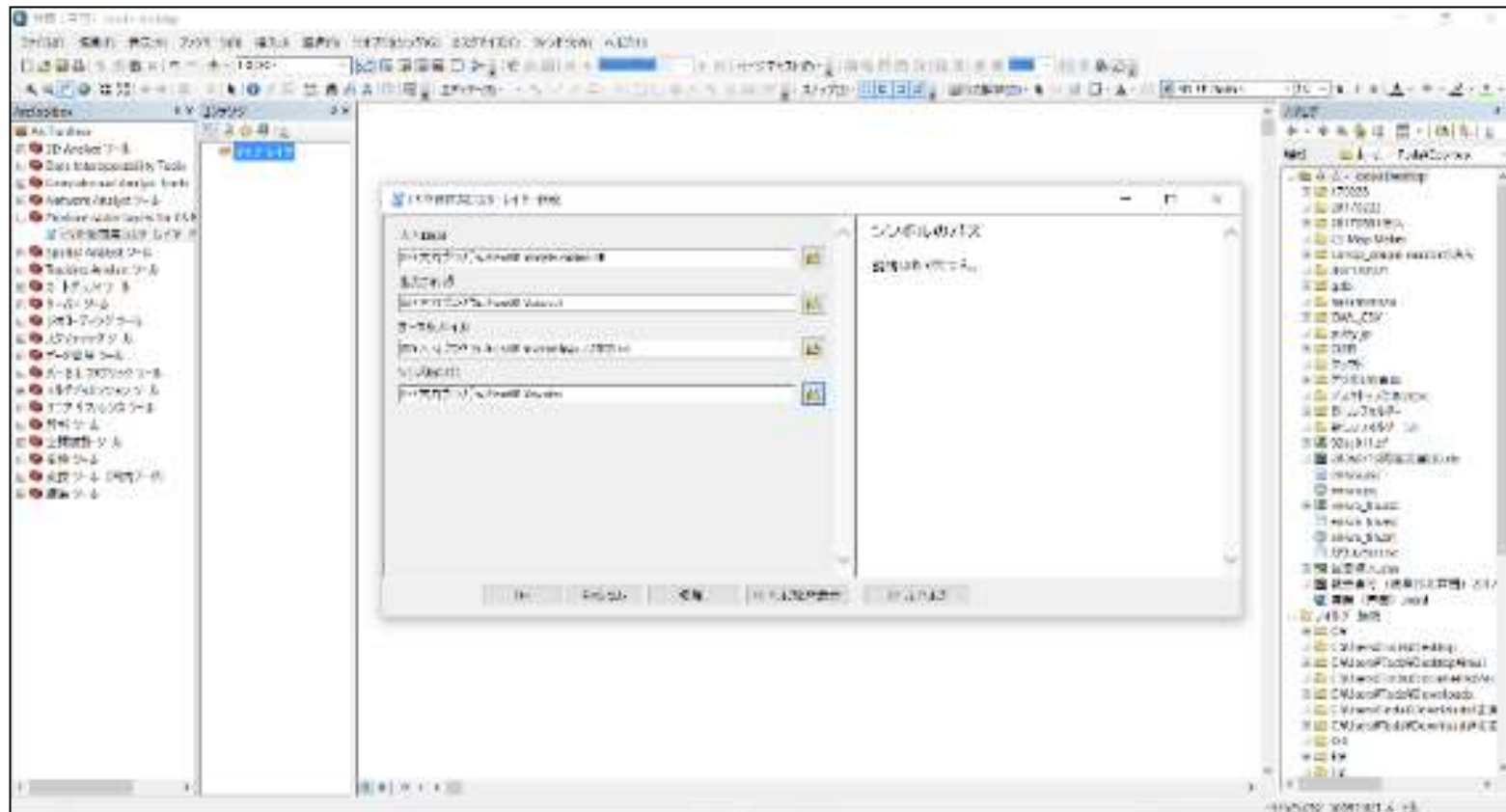
- ・デフォルトは左記設定。用途や、判読したい地形規模に応じて、色調や透過率を調整する。

自動作成ツールを無料

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）

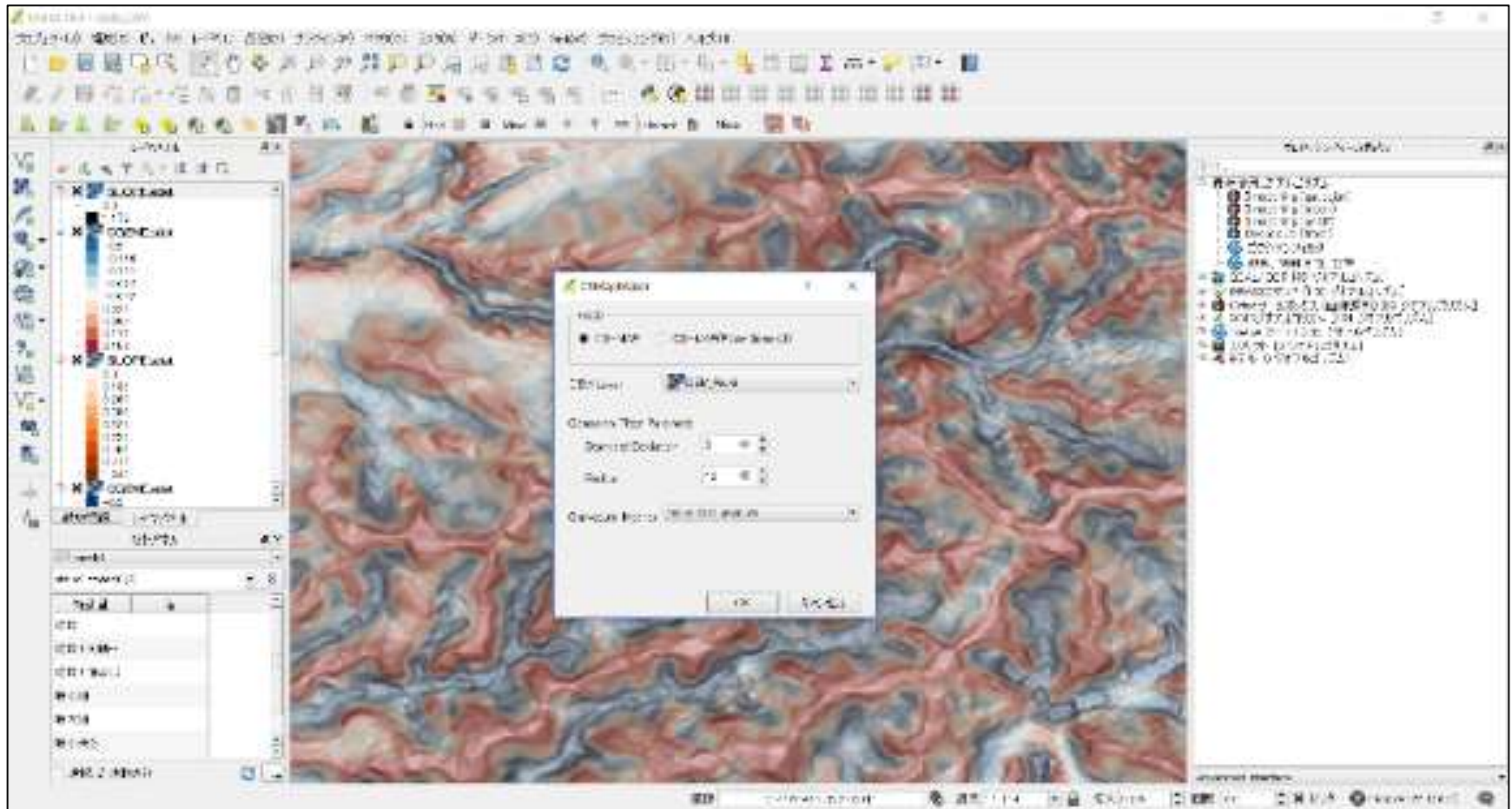
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/csmapmaker>



自動作成ツールを無料配布

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 CS立体図自動作成ワークスペース

(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)
LEM形式の標高データ → GeoTIFF形式 → CS立体図を自動作成
処理速度が大幅にUP



LEMファイルからGeoTIFF_DEM
とCS立体図を自動作成するWebサ
イトを公開しています。

デモサイトのため、一度に変換で
きるファイル数は10個までです。

〔このWebサイトは予告なく変更、
削除する可能性があります。〕

ここへLEMファイルとヘッダー
ファイルをドラック&ドロップ
するだけ

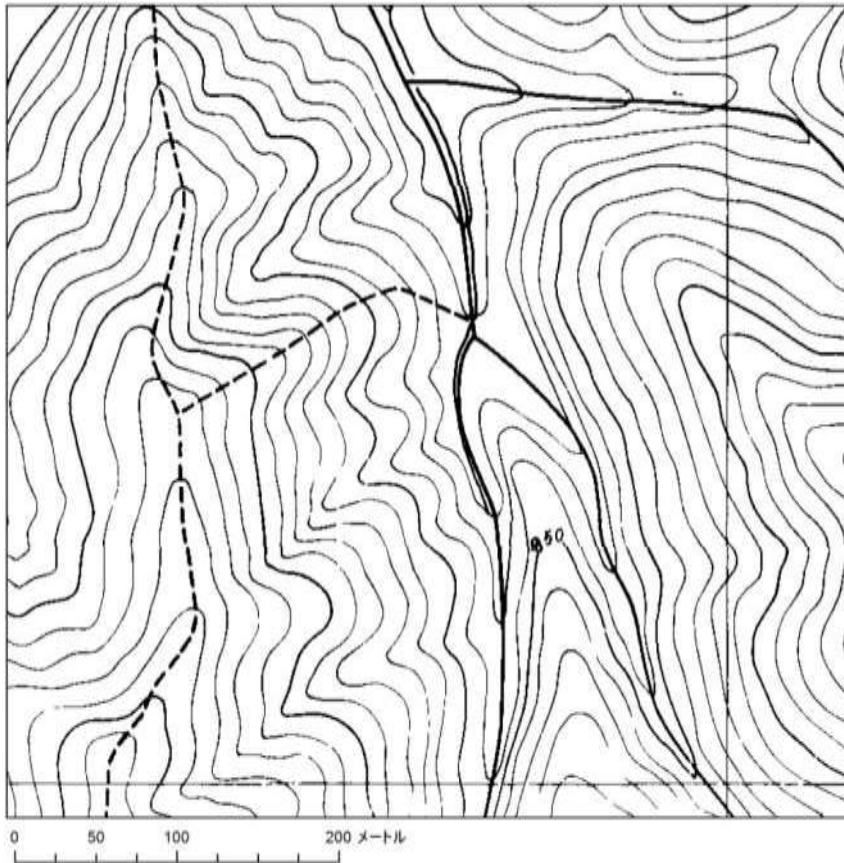
(デモサイト)

ここまでのポイント

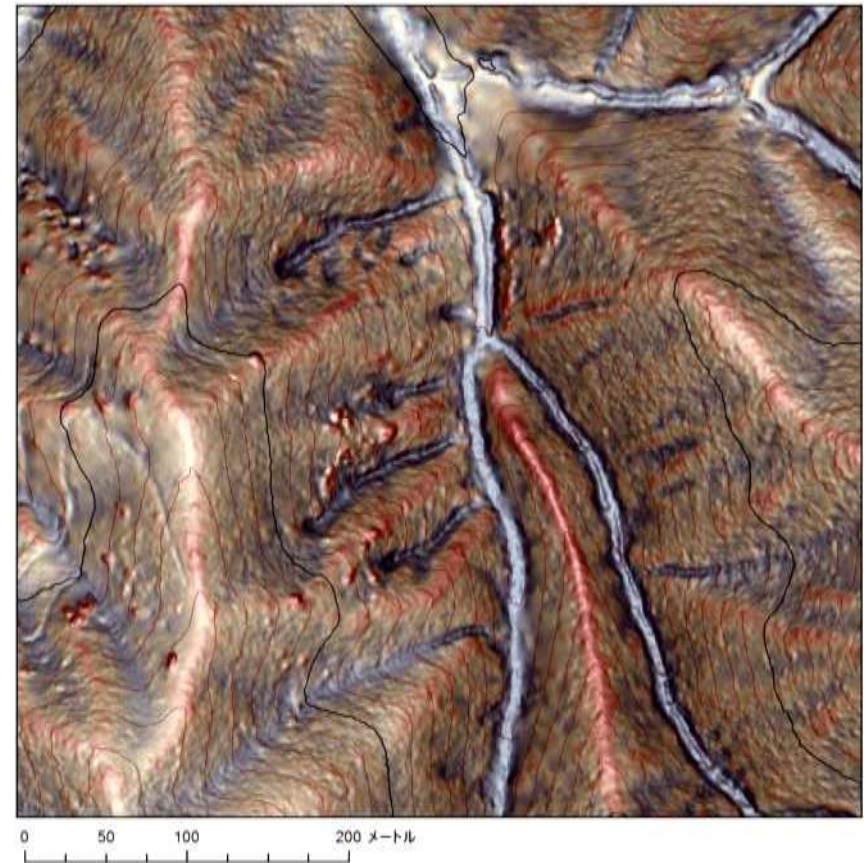
- ・CS立体図は「**標高**」「**傾斜**」「**曲率**」の合成
→だから、地形判読に適する
- ・CS立体図は「**地形種**」の判読を容易にする
- ・CS立体図は**G空間情報センター**からダウンロード
- ・**全国 10 m、長野県、岐阜県、静岡県、兵庫県、広島県、愛媛県、岡山県、高知県、福島県、熊本県**は公開済み
- ・閲覧には「**ひなたGIS**（宮崎県）」を活用
- ・各種**自動作成ツール**あり

C S 立体図を用いた 崩壊危険地形の判読

CS立体図による基本的な地形表現



森林基本図



CS立体図

1. 尾根(凸地)は赤、谷(凹地)は青
2. 急傾斜地は暗、緩傾斜地は明

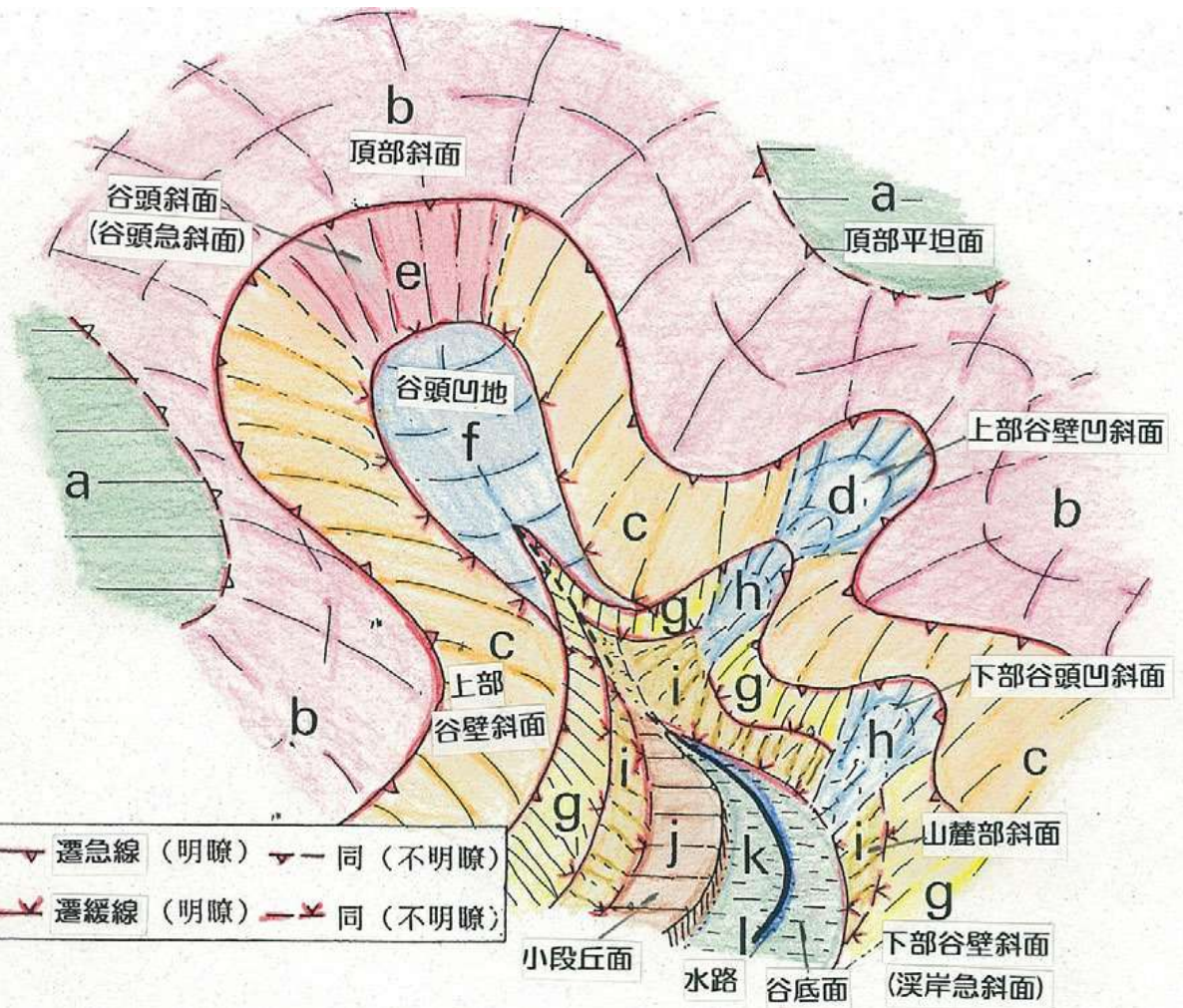
山地災害リスク評価手法については、下記を参照してください

国有林における林地保全に配慮した
施業の手引き

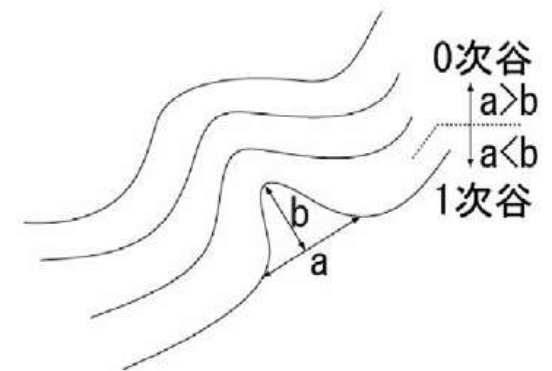
令和4年3月
林野庁 国有林野部

https://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/attach/pdf/seibi-17.pdf

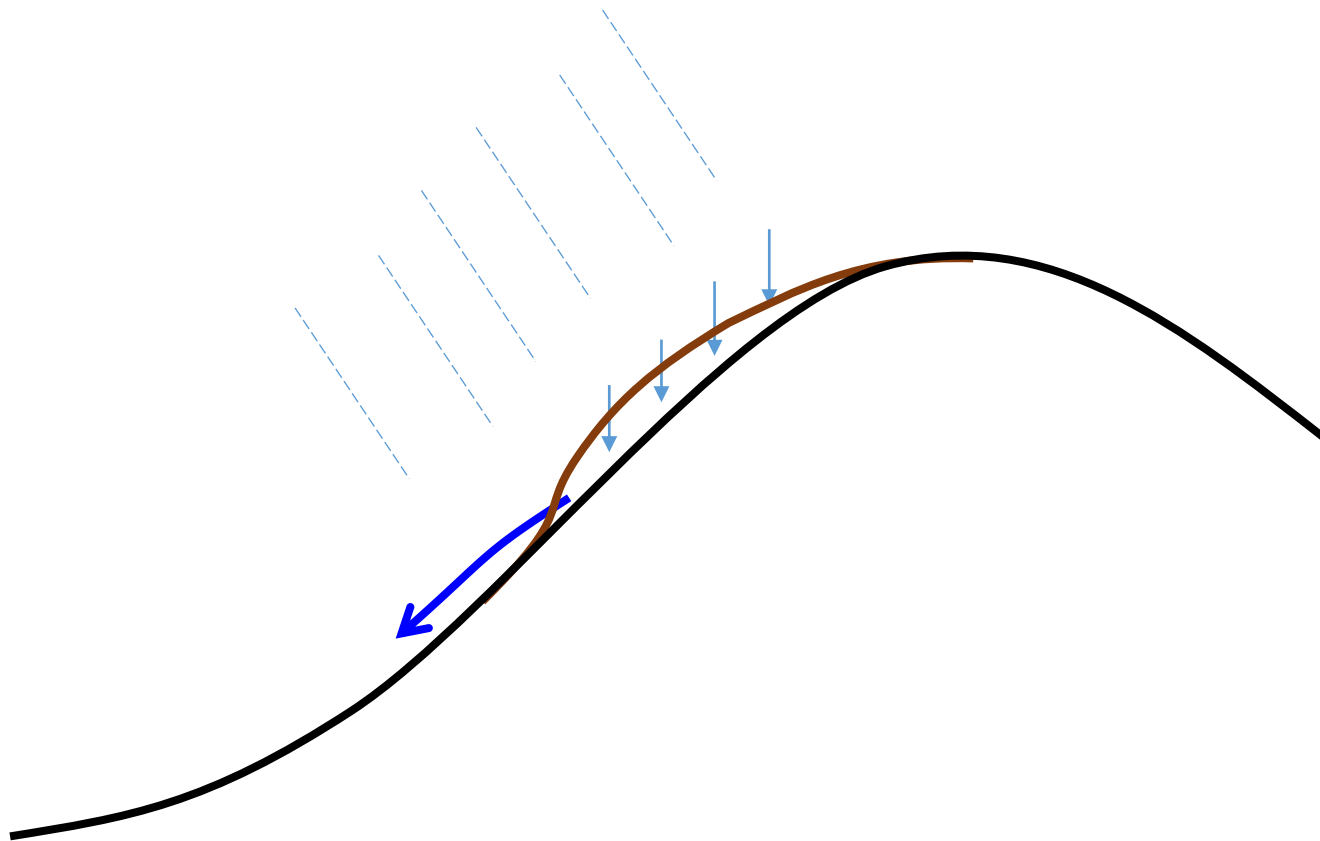
0次谷（侵食前線）



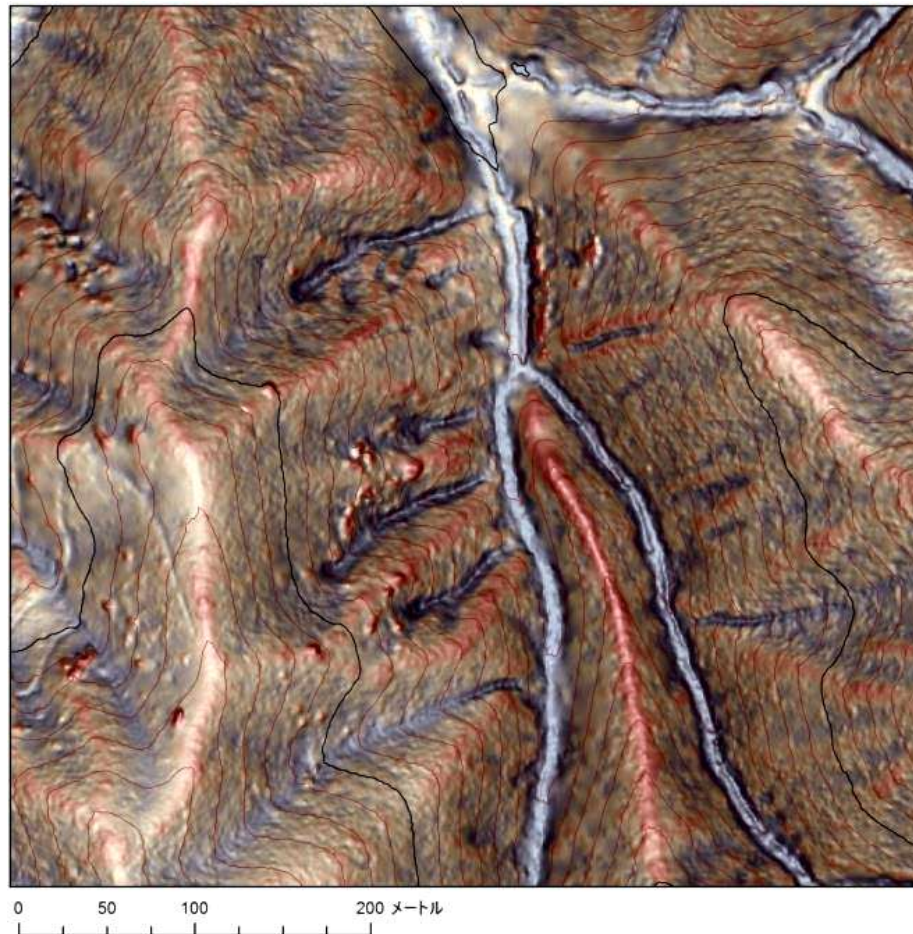
- ・1次谷流域より1オーダー下の流域
- ・表層崩壊の発生源



湧水

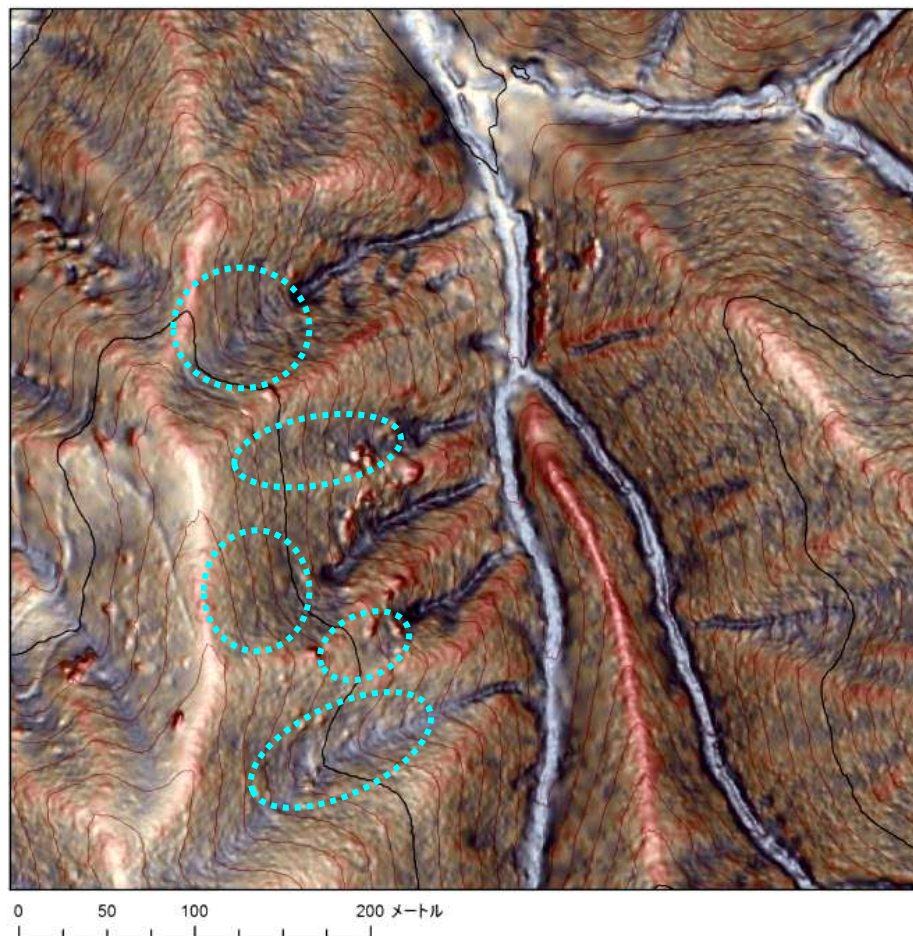


0次谷の判読



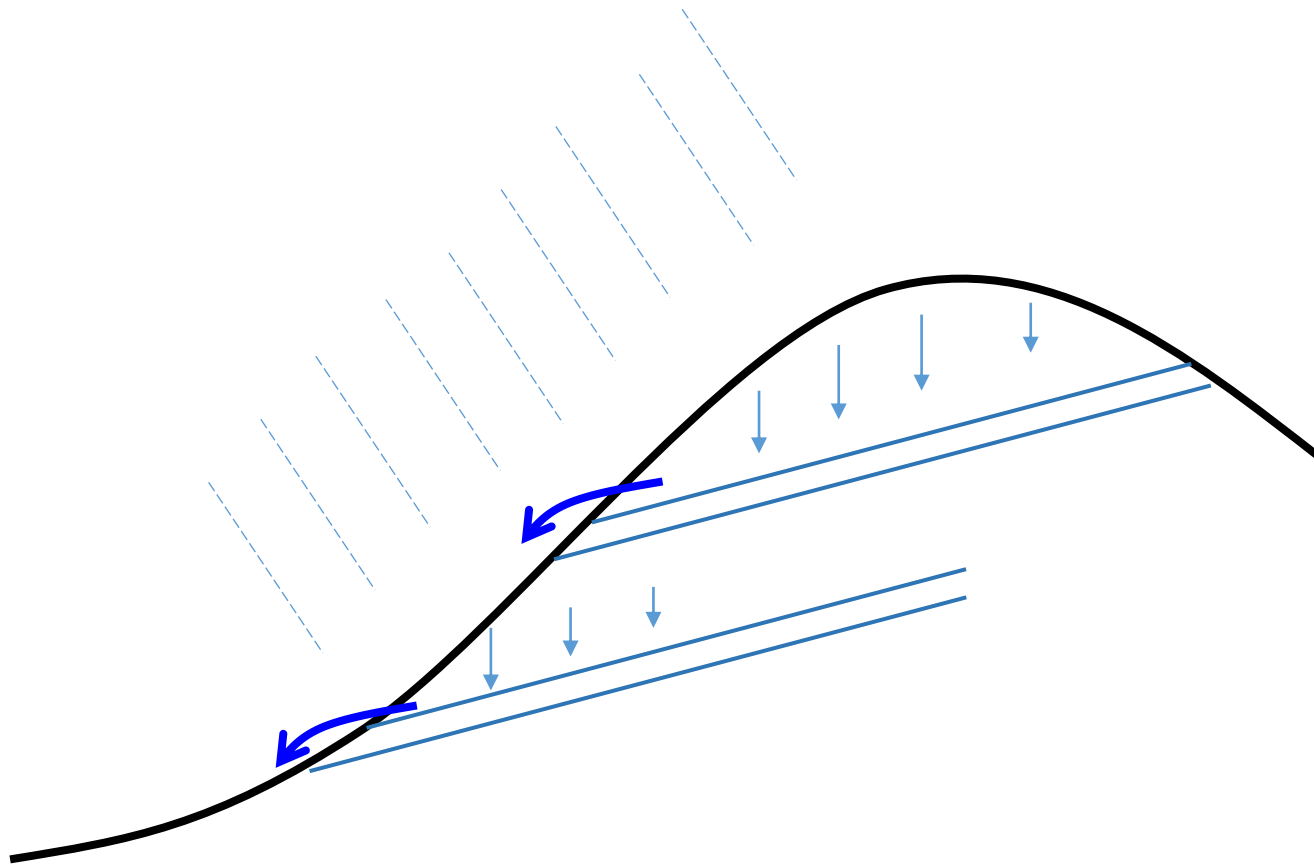
水により侵食が進んだ沢は濃い青
0次谷は薄い青

0次谷の判読



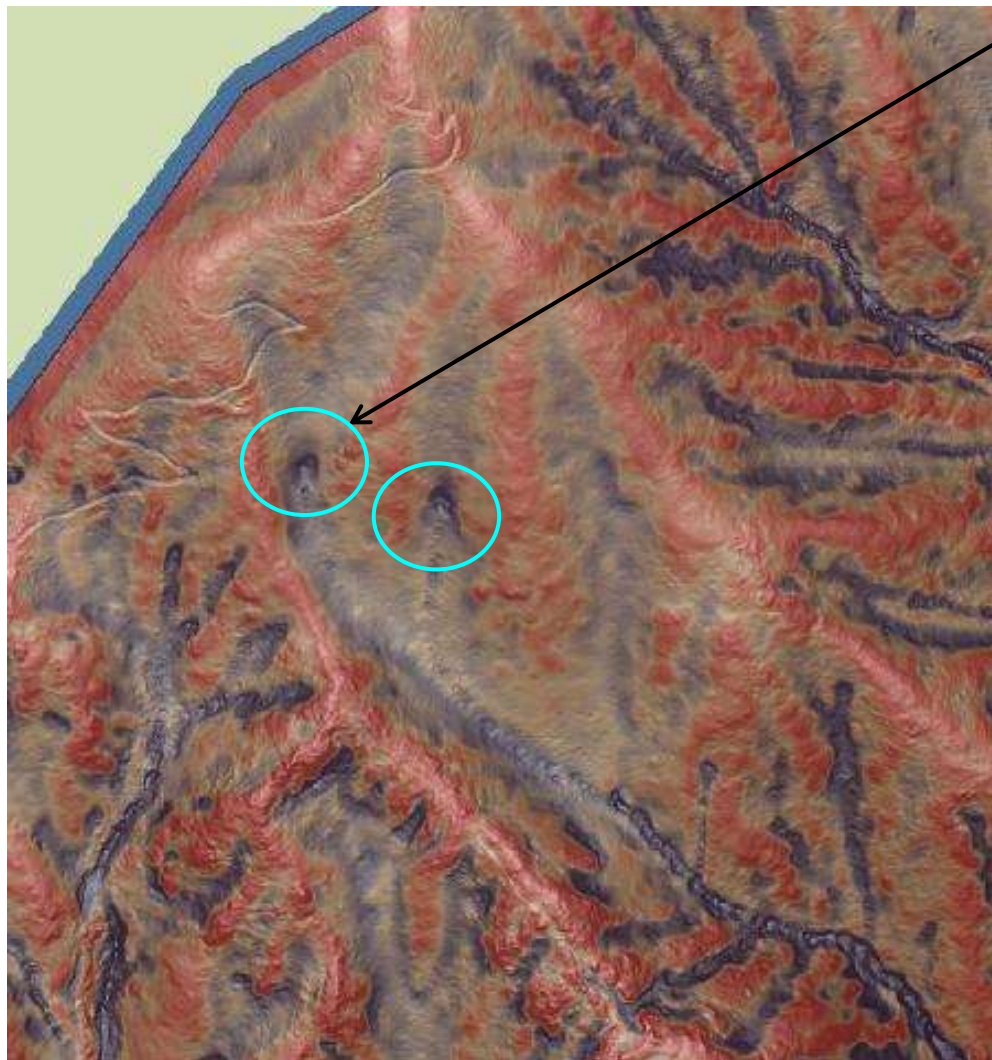
横断排水をどこに設置しますか？

湧水



湧水の判読

事例1

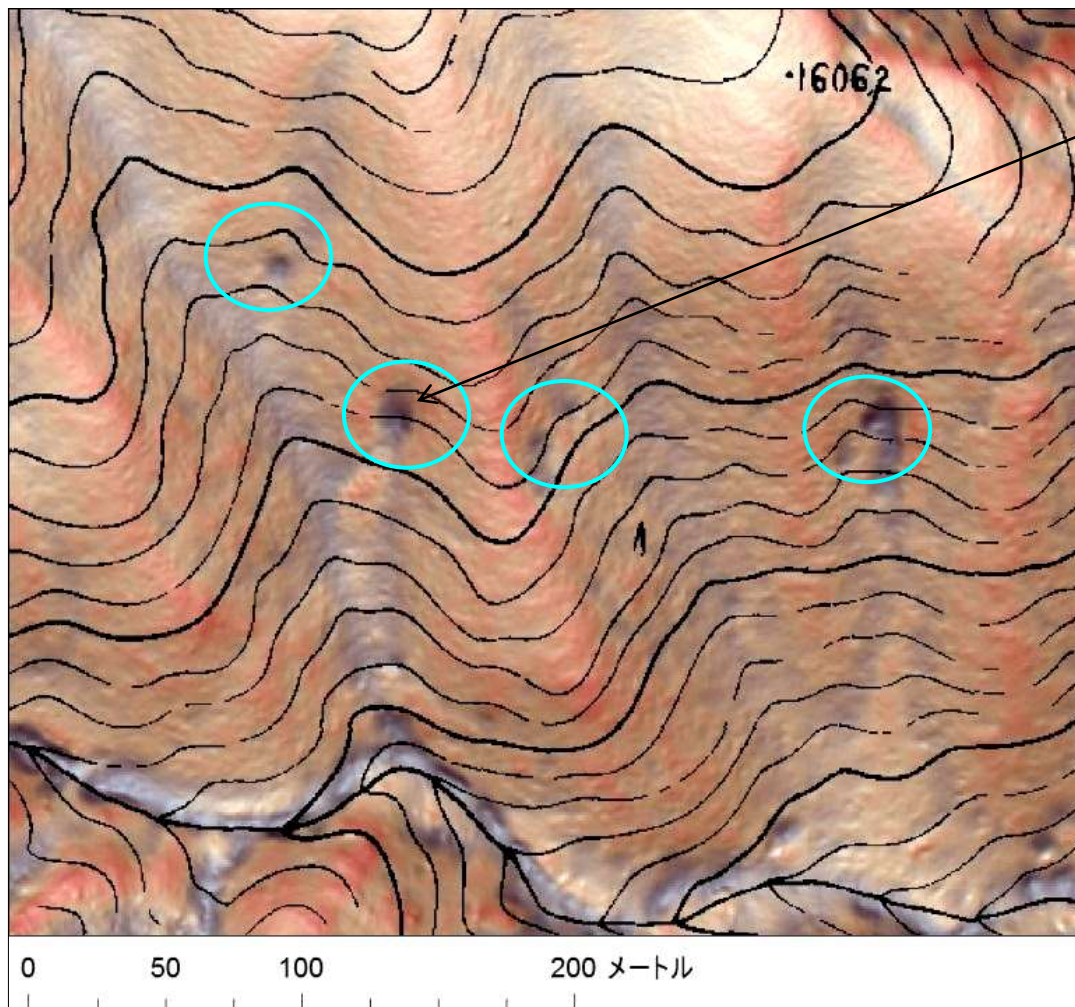


場所: 広島県安部山
地質: 花崗岩と変成岩の境界付近
確認方法: 現地調査



湧水の判読

事例2

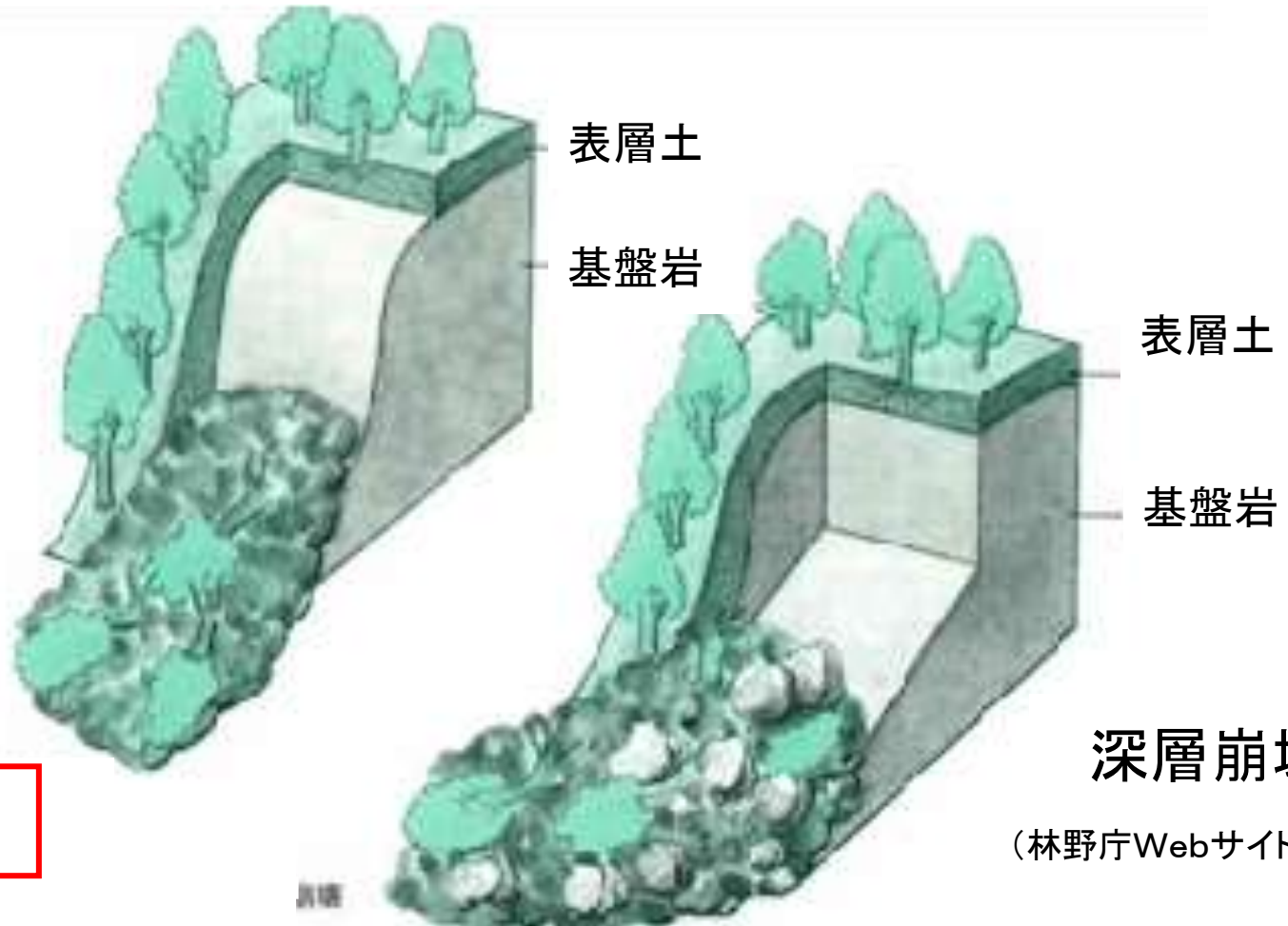


場所: 長野県岡谷市
地質: 第3紀層 砂岩・泥岩
(接触変成を受ける)
確認方法: 現地調査



表層崩壊

森林の根系分布範囲か、それよりやや深い程度の表層の風化層が崩れる。
山腹の凹型斜面（O次谷）の勾配変化点に集中する。
伐採跡地（裸地、幼齢林）で多発。



表層崩壊

深層崩壊

（林野庁Webサイトより）

表層崩壊（茅野市北山地区：平成24年7月発生）

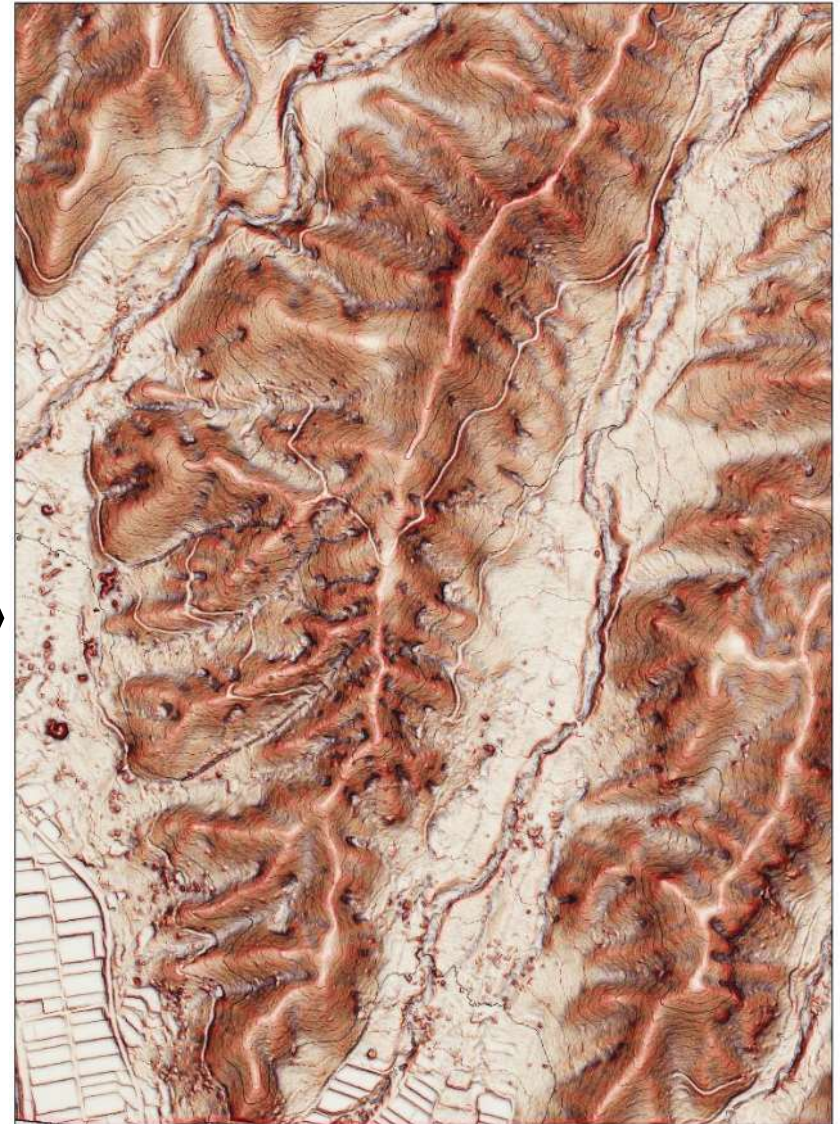
【地形判読】

2009年（災害前）



2009年（災害前）測量データ

2012年（災害後）



2012年11月測量データ



現地の状況

【地形判読】

2012年(災害後)

災害発生直後

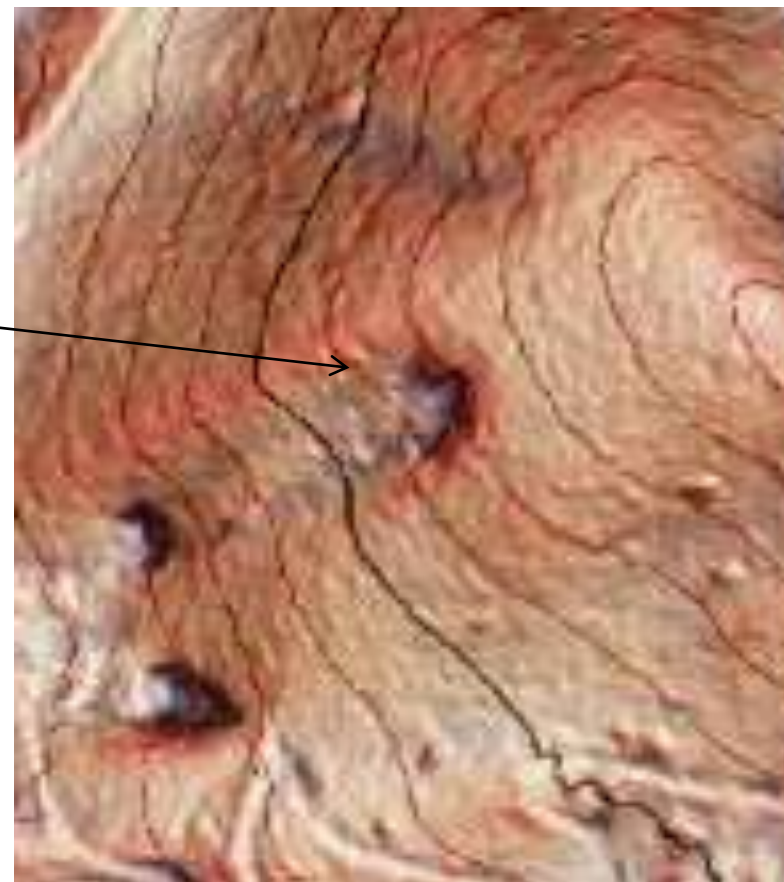
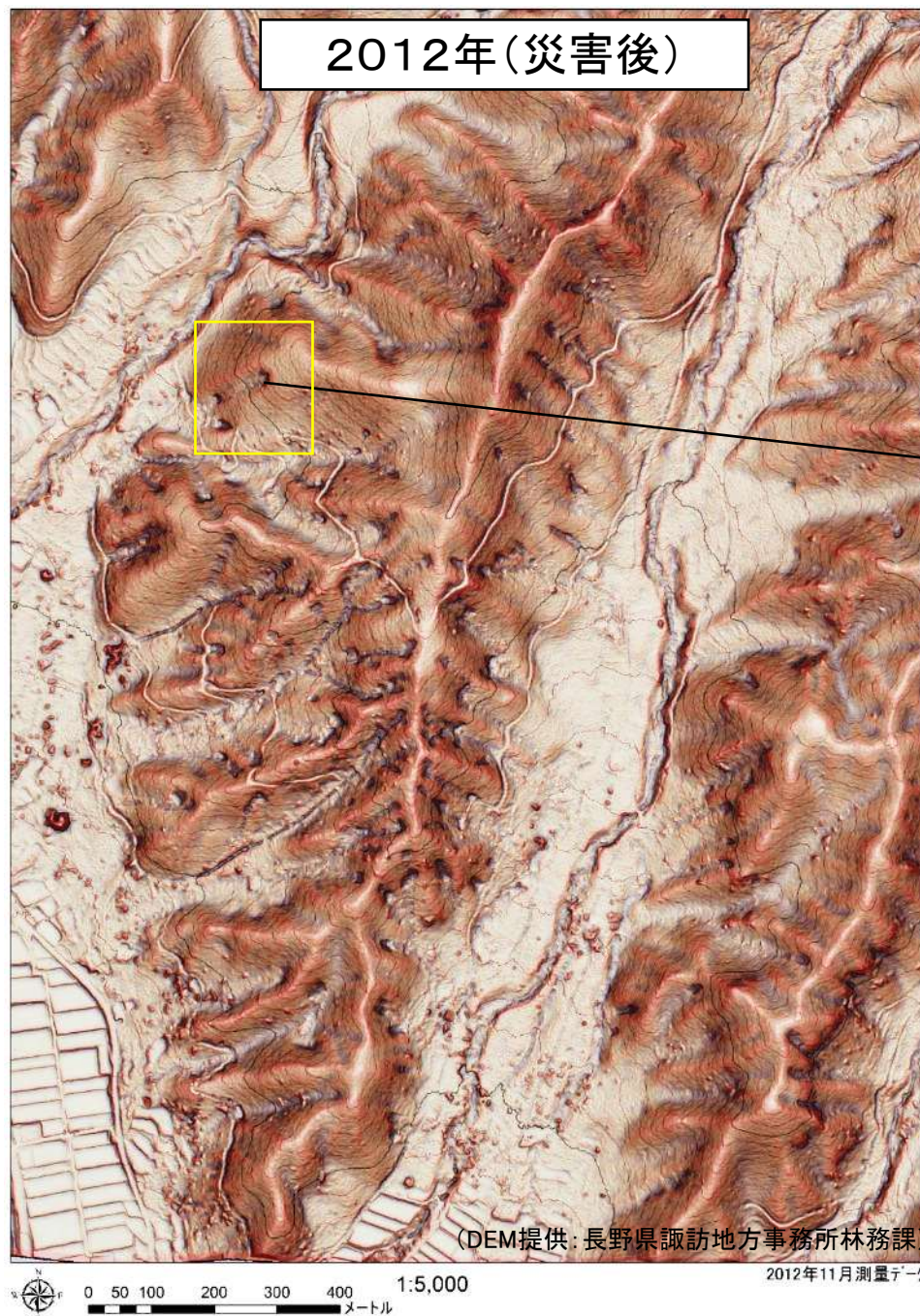


0 50 100 200 300 400 1:5,000
メートル

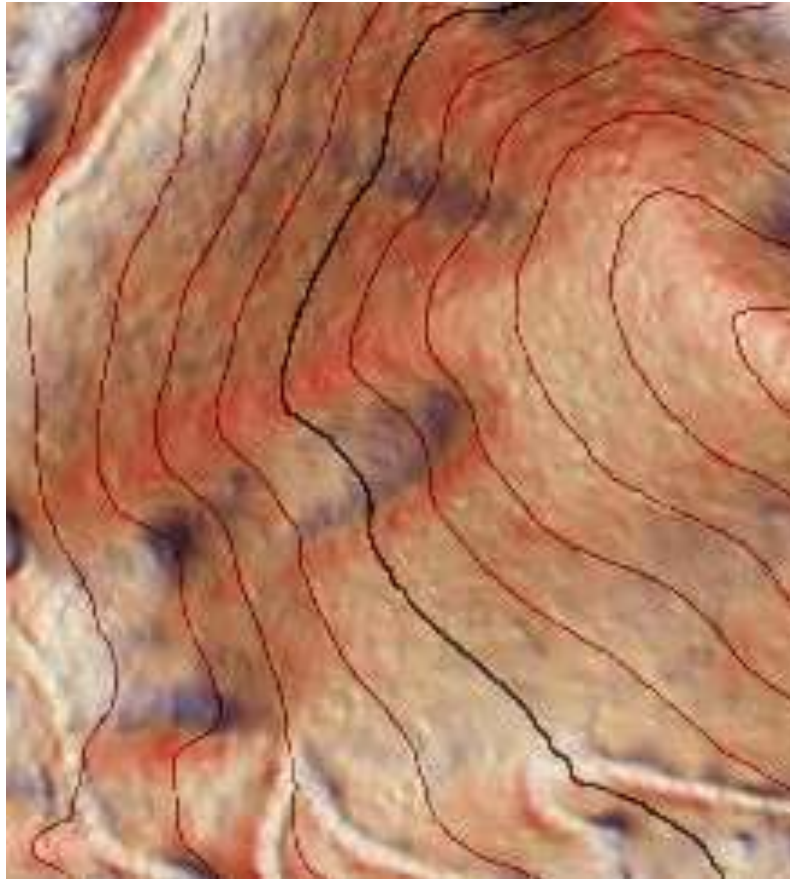
2012年11月測量データ

2012年(災害後)

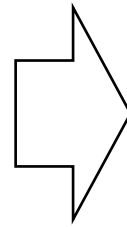
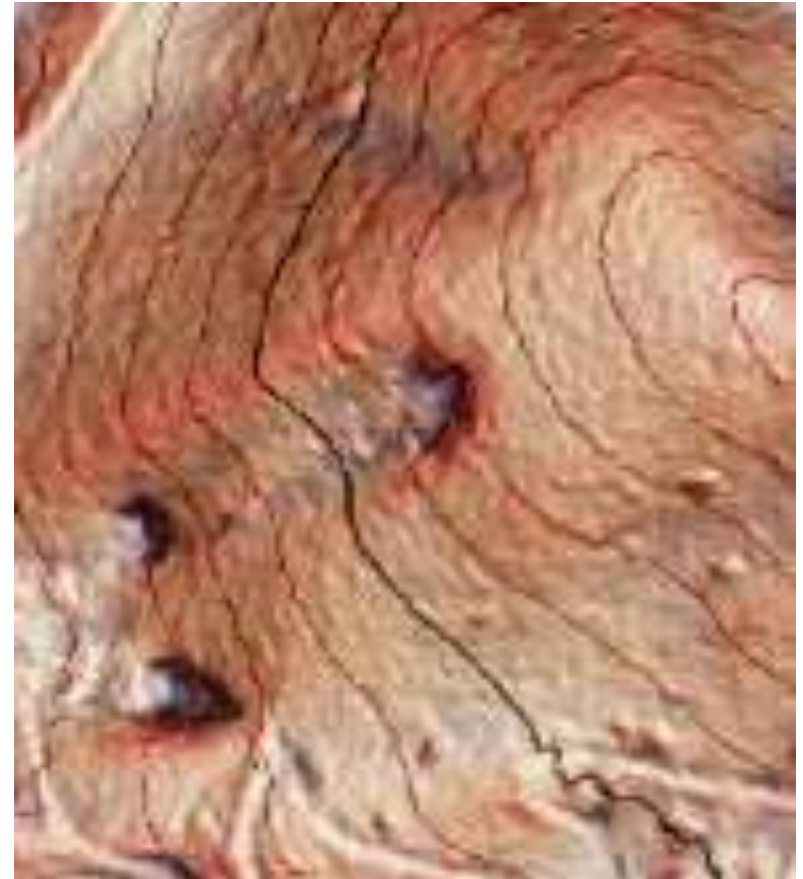
崩壊地の拡大図



2009年(災害前)

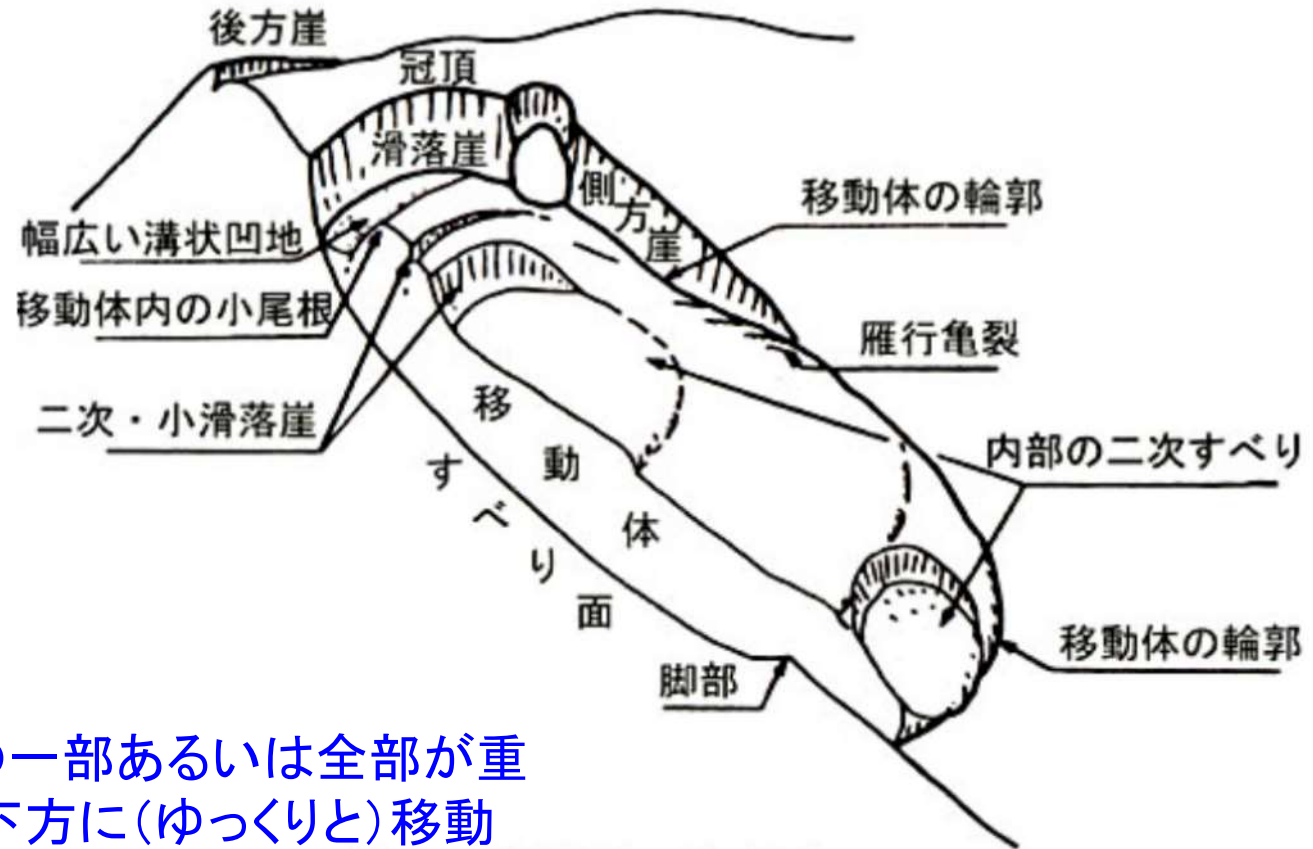


2012年(災害後)



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

地すべり地形・深層崩壊



地すべり: 斜面の一部あるいは全部が重力によって斜面下方に(ゆっくりと)移動する現象

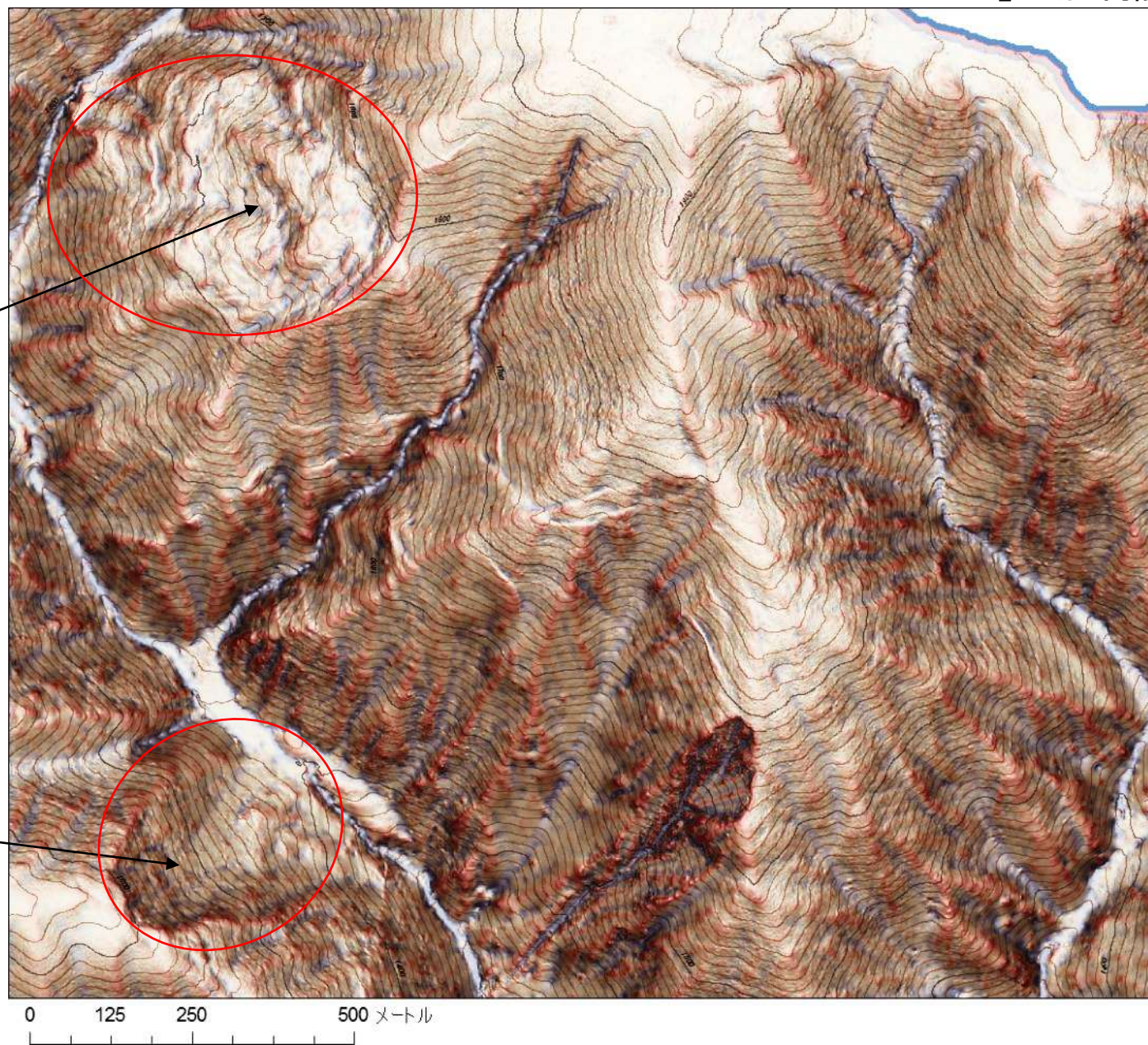
深層崩壊: 豪雨等が誘因になり基盤岩から崩壊

((独) 防災科学技術研究所 Webサイトより)

CS立体図

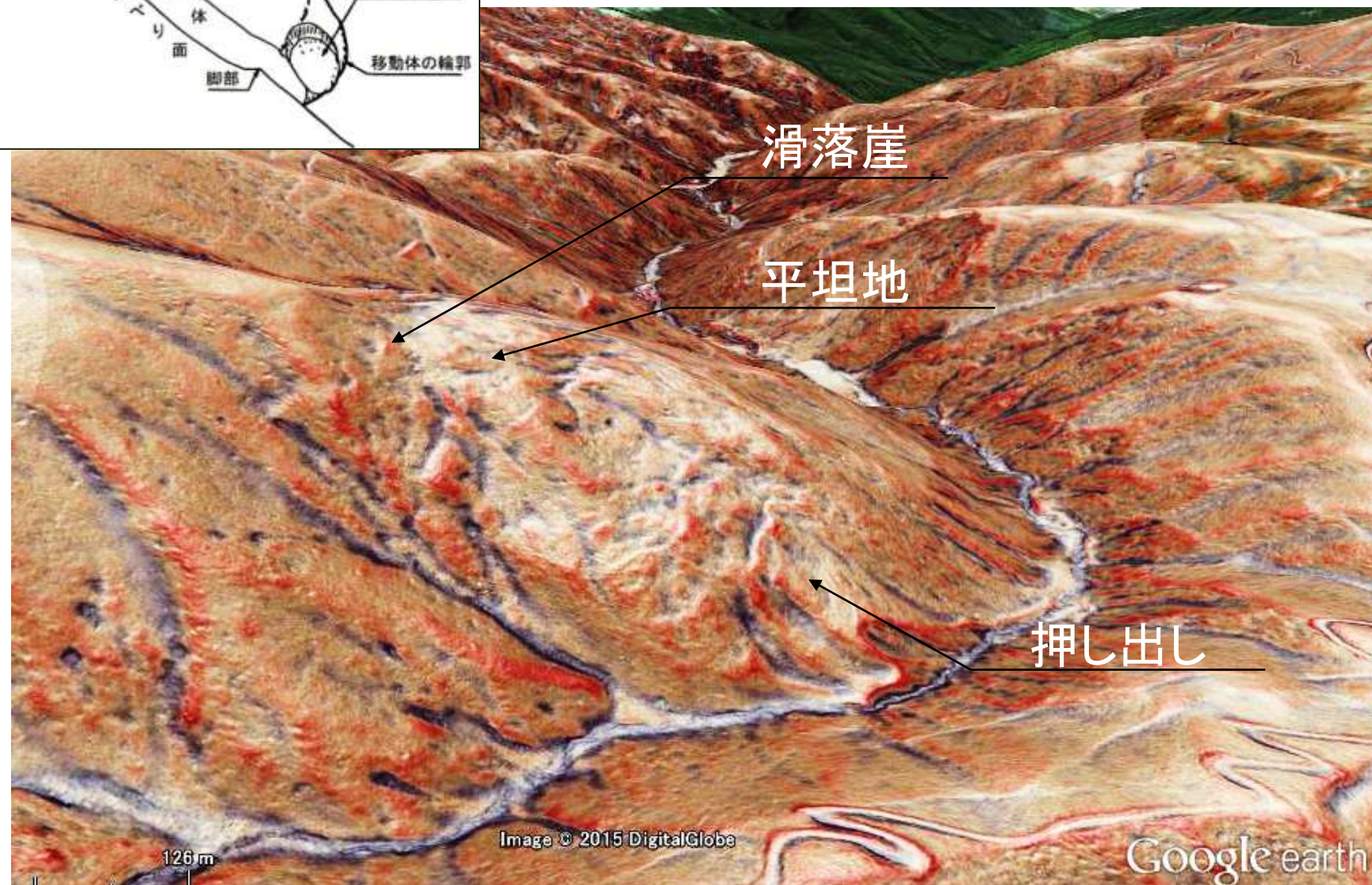
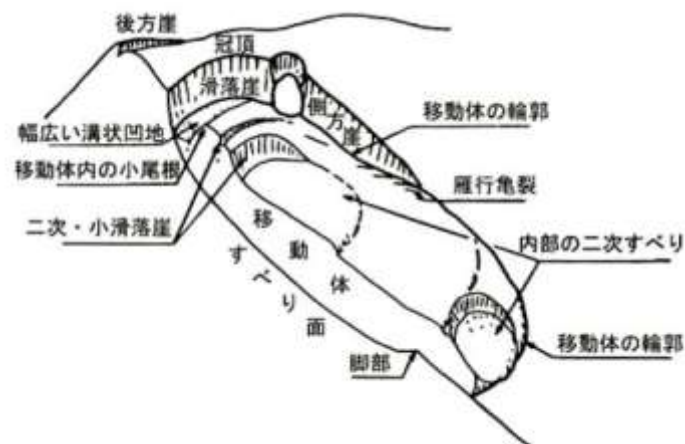
地すべり

深層崩壊跡

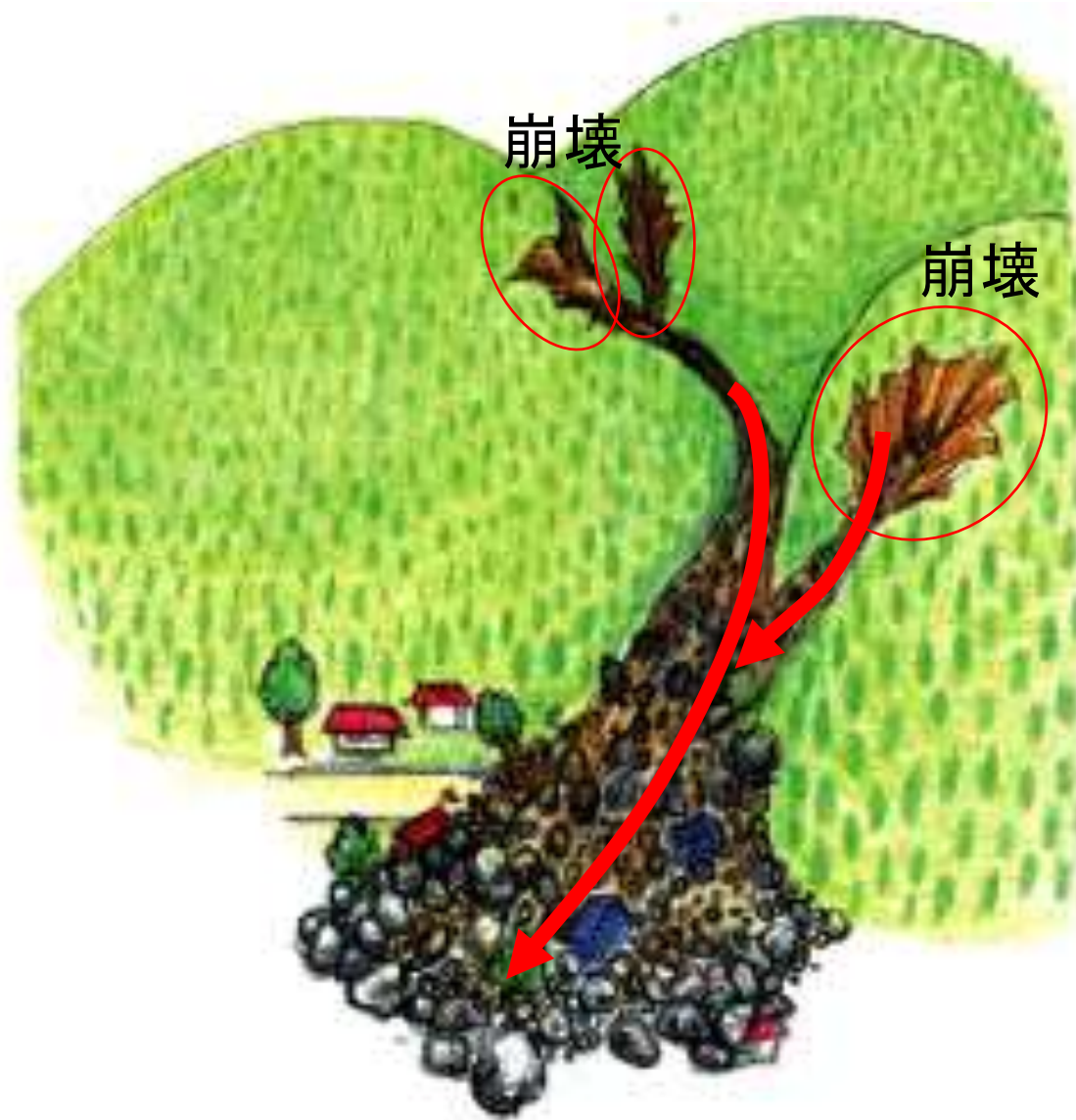


地すべり地形、深層崩壊跡地形などの判読が容易

Google earth を利用した立体表示



土石流



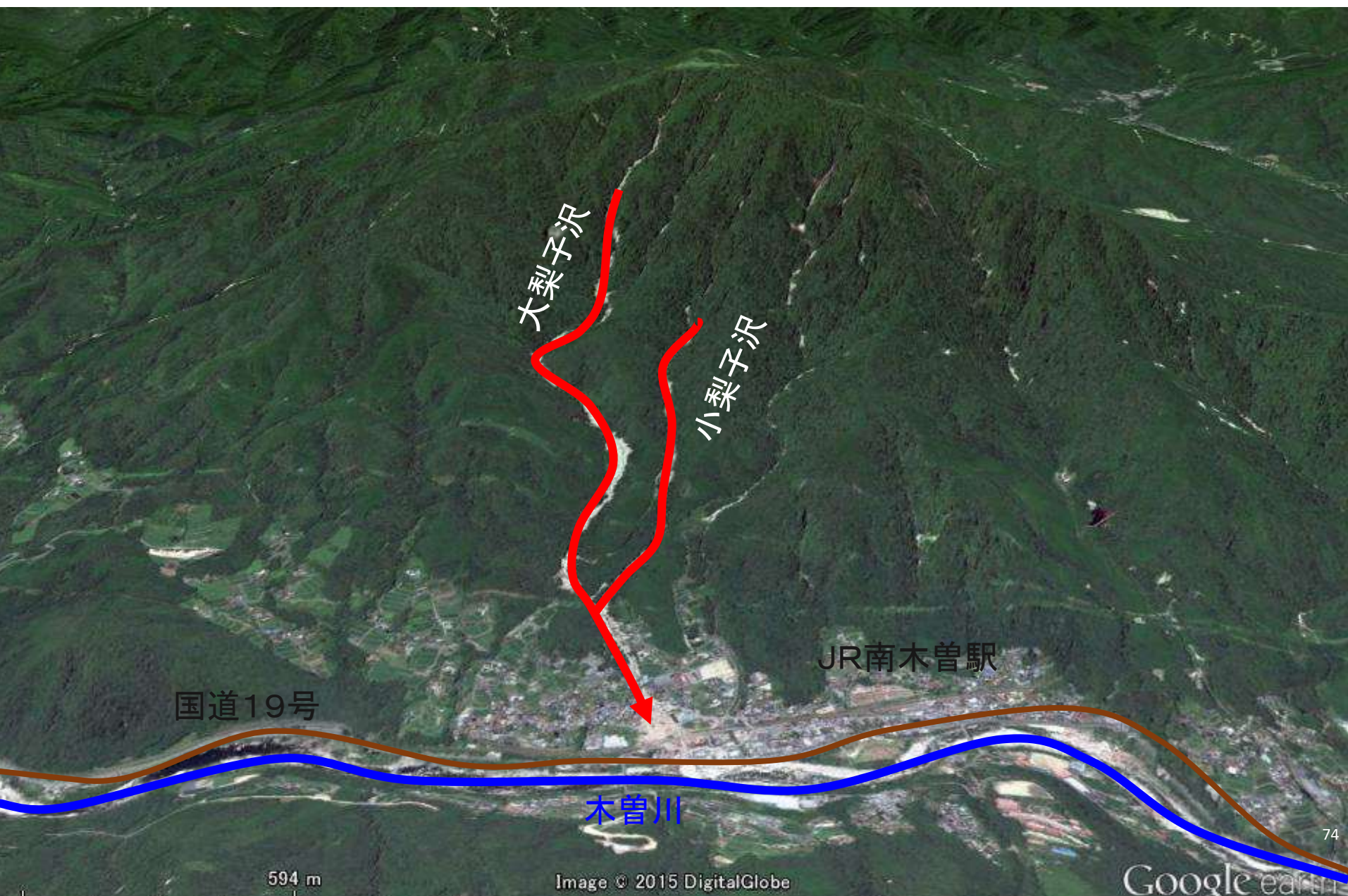
崩壊した土砂が

- ・水等と混ざり
- ・水等が滑材になって
- ・長距離を流下

(林野庁Webサイトより)

土石流

（南木曽町：平成26年度豪雨被災地）



土石流

（南木曽町：平成26年度豪雨被災地）

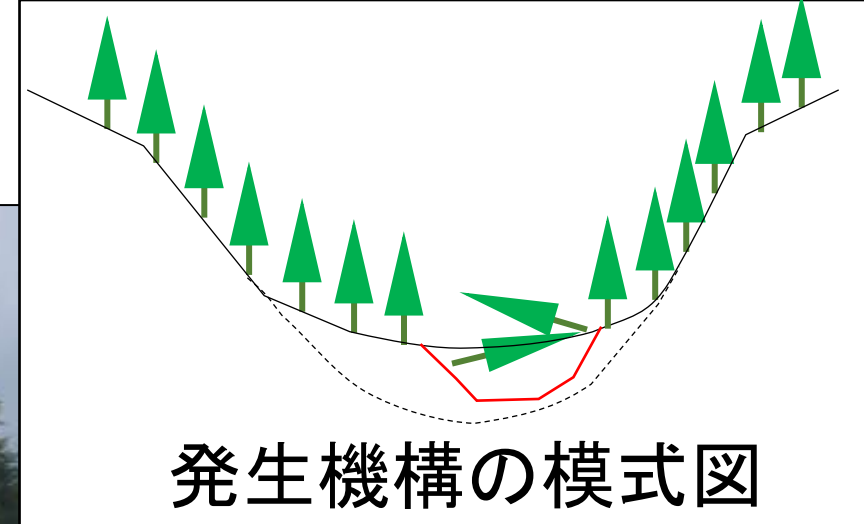


拡大図



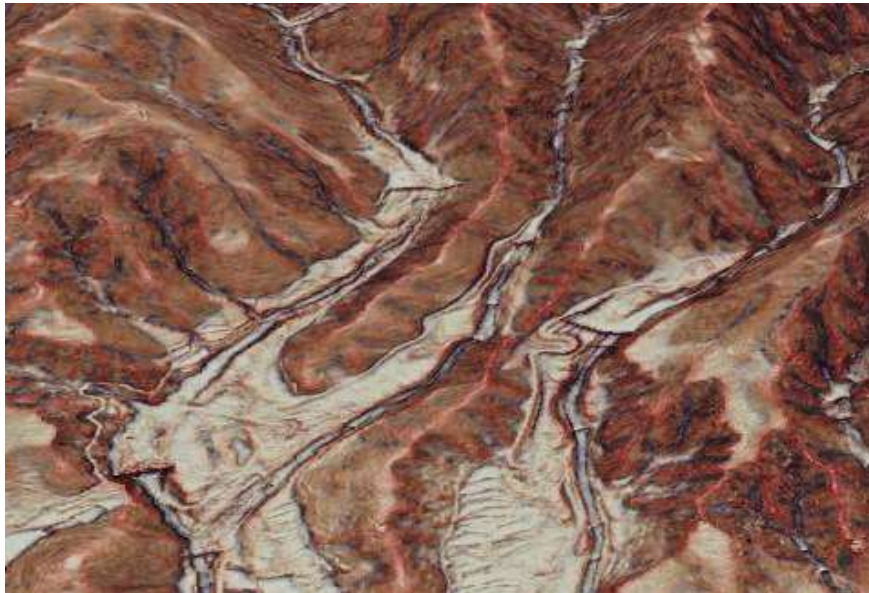
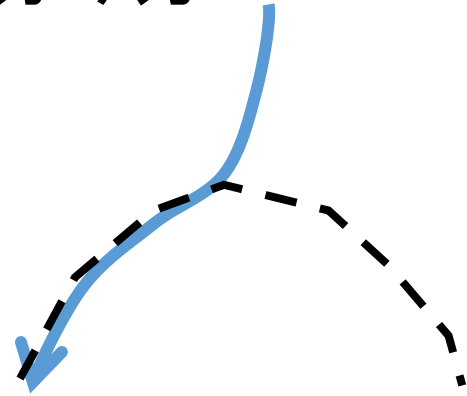
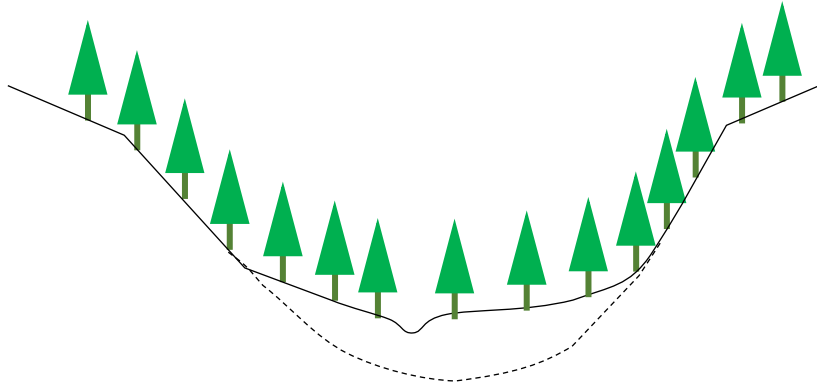
周辺の溪流の出口にも、過去から繰り返し発生した土石流の土砂が堆積している

H26南木曾町災害



土石流危険溪流の見分け方

【地形判読】



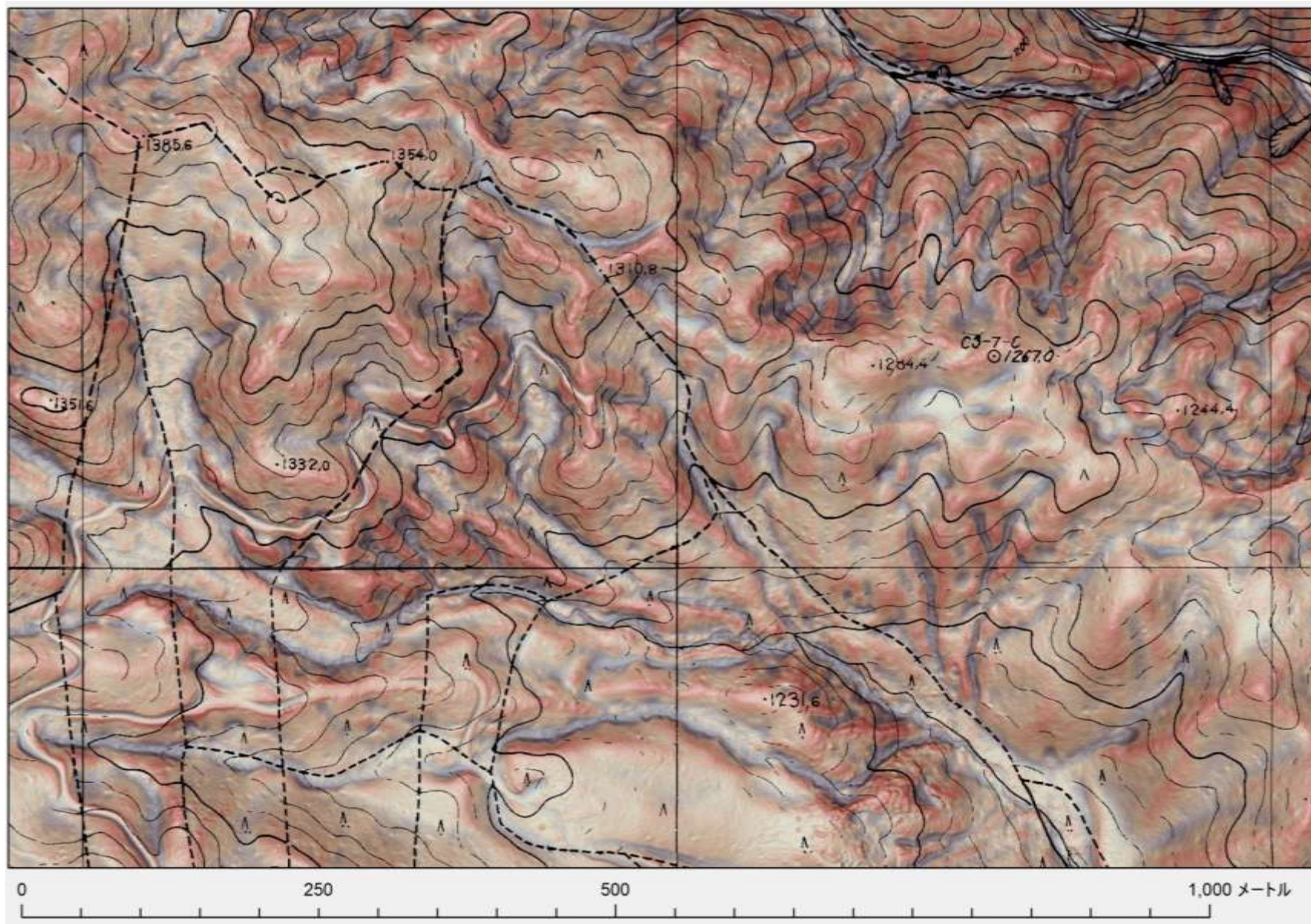
- ・急傾斜で河床堆積物
(過去の土石流堆積物)

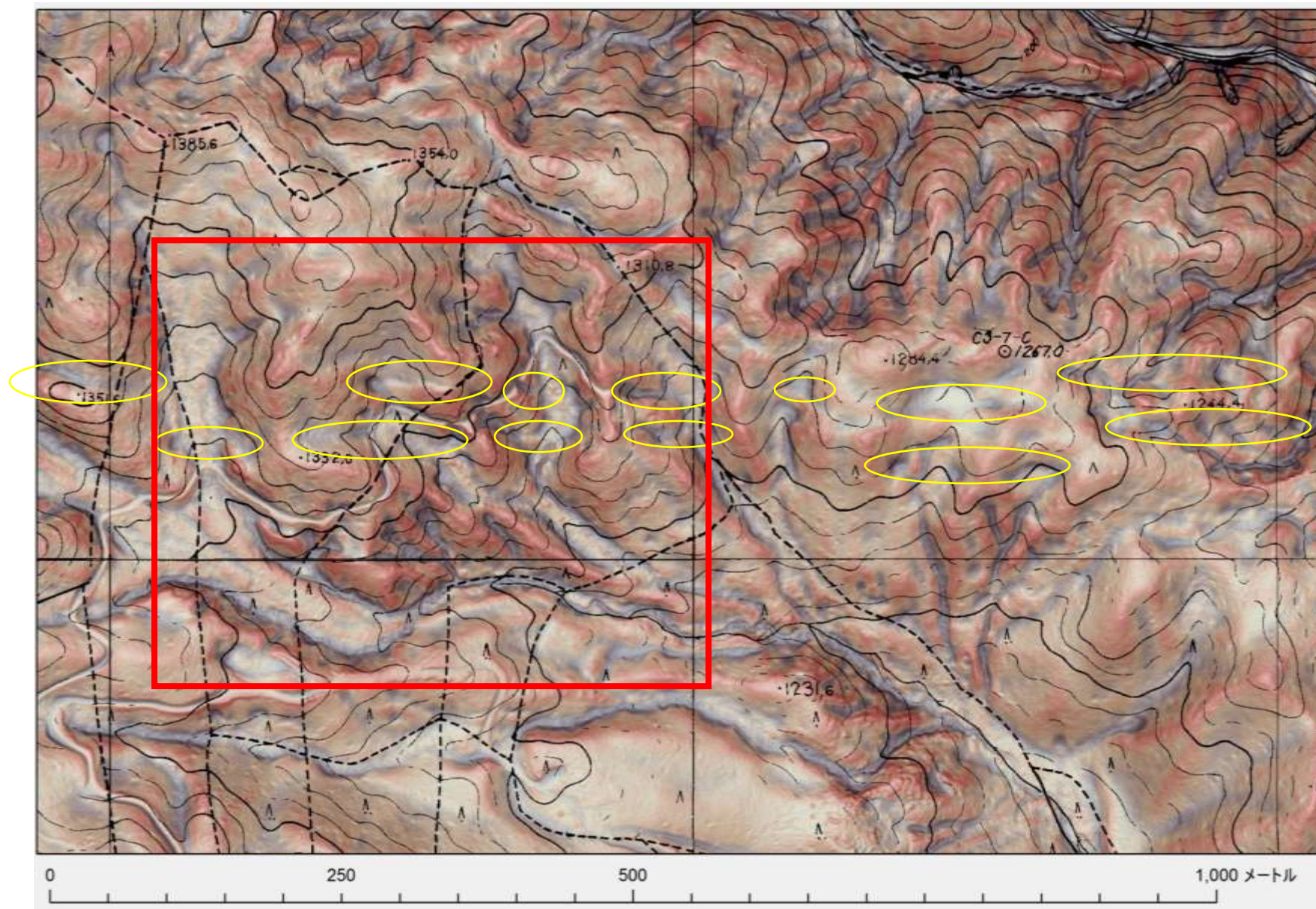


- ・下方に扇状地がある谷

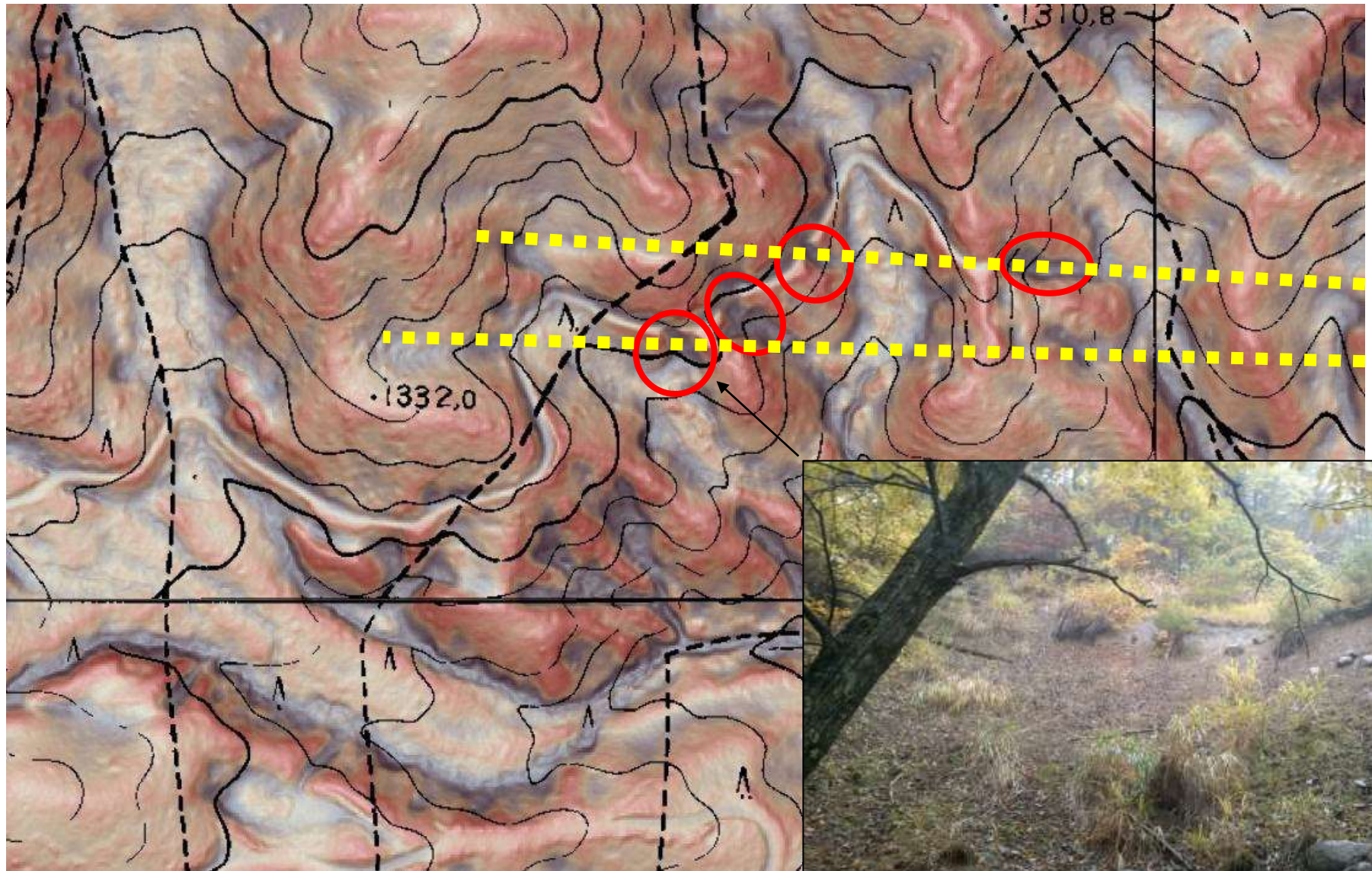
リニアメント（断層）

直線状の地形



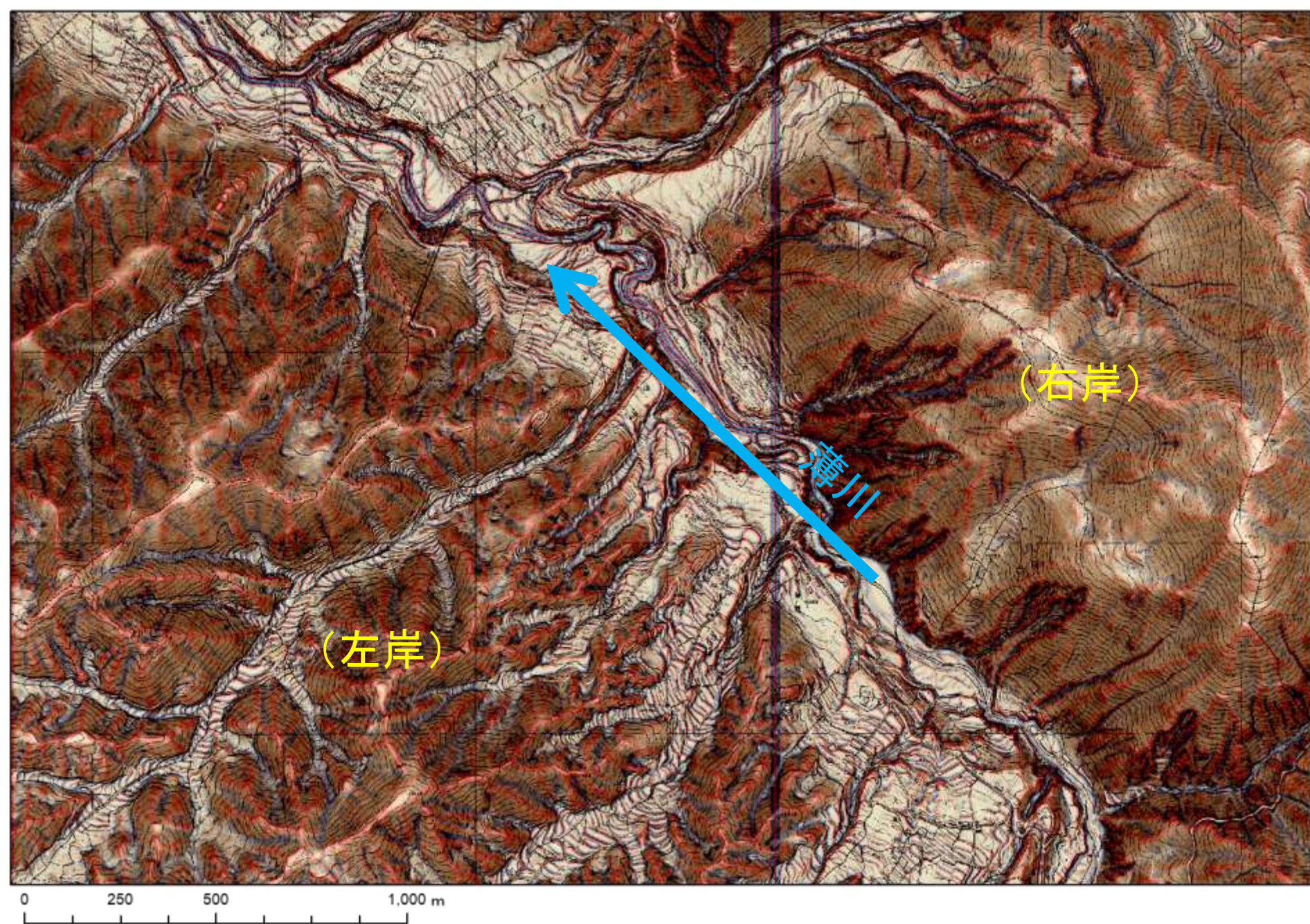


地形傾斜に直行しない凹地形はあやしい！



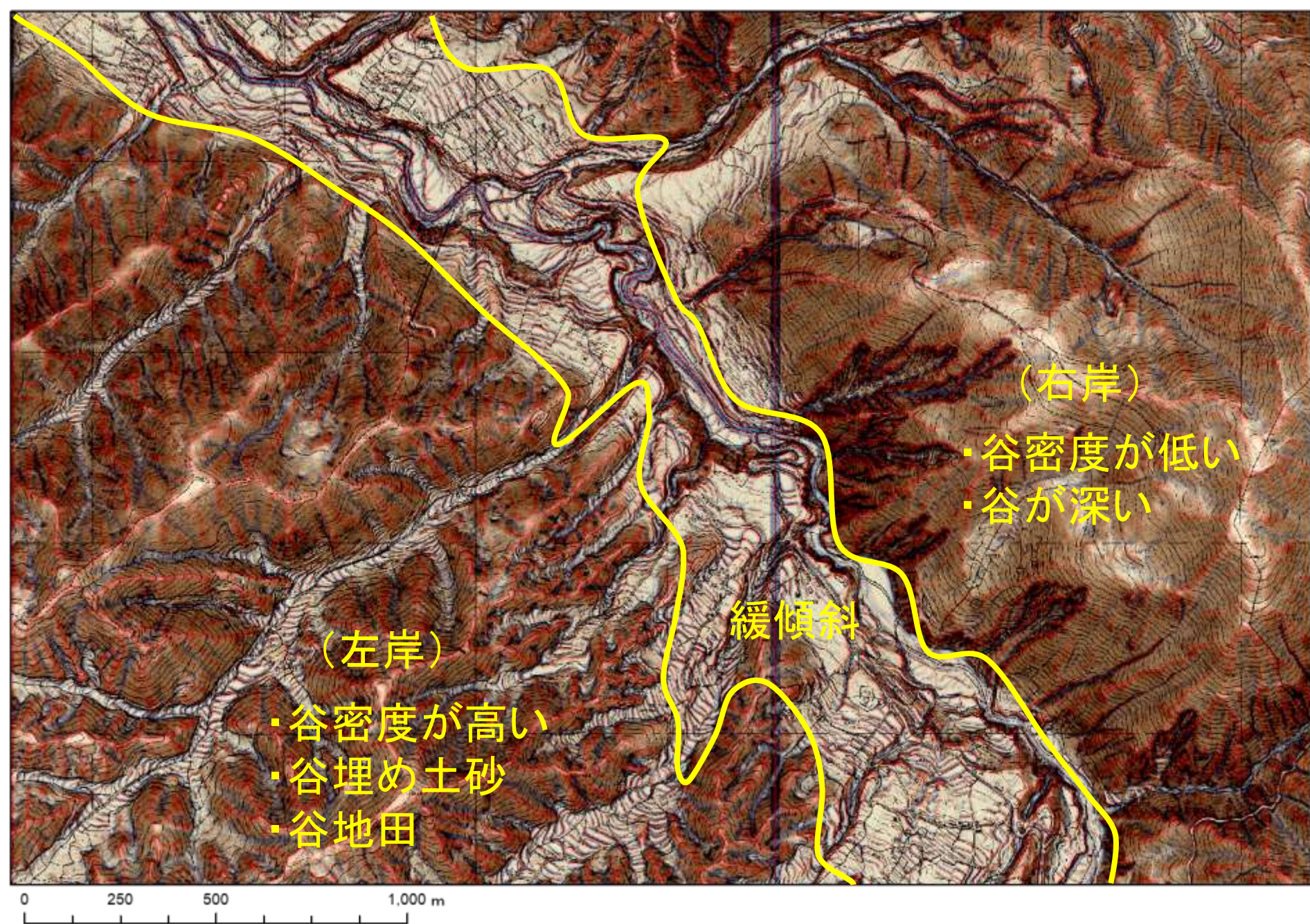
リニアメントと交わる場所で作業道が崩壊。(修復困難)

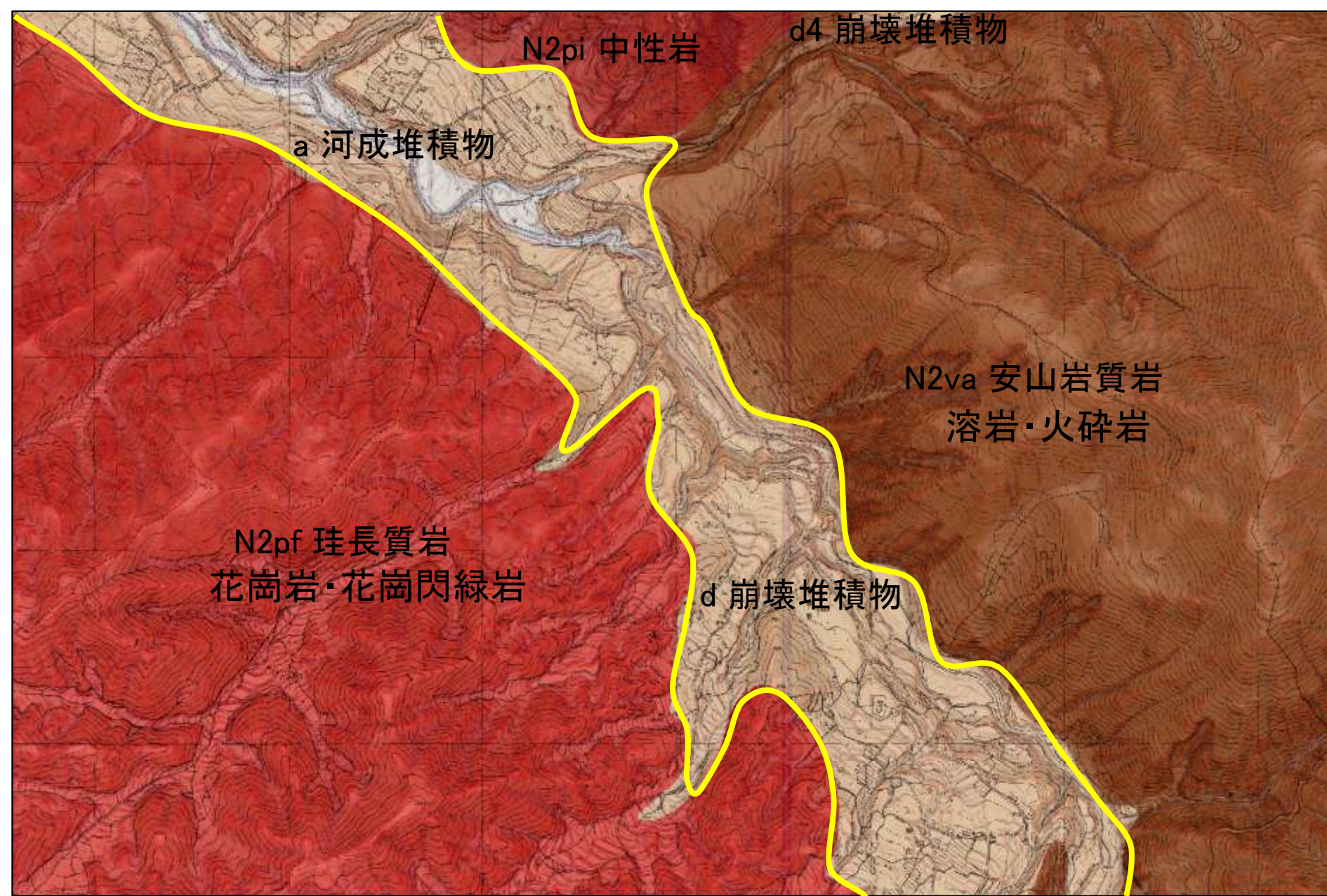
地質境界



薄川の北東側、南西側で地形が異なる

松本市薄川





0 250 500 1,000 m

「長野県デジタル地質図2015」 長野県地質図活用普及事業研究会編著

松本市薄川



ここまでのポイント

CS立体図による危険地形判読

- ・ 0 次谷
- ・ 湧水
- ・ 表層崩壊
- ・ 深層崩壊
- ・ 土石流
- ・ リニアメント（断層）
- ・ 地質境界

→災害調査時に発生機構を推測
適切な対策工法を検討

CS立体図の活用事例 (地域防災)



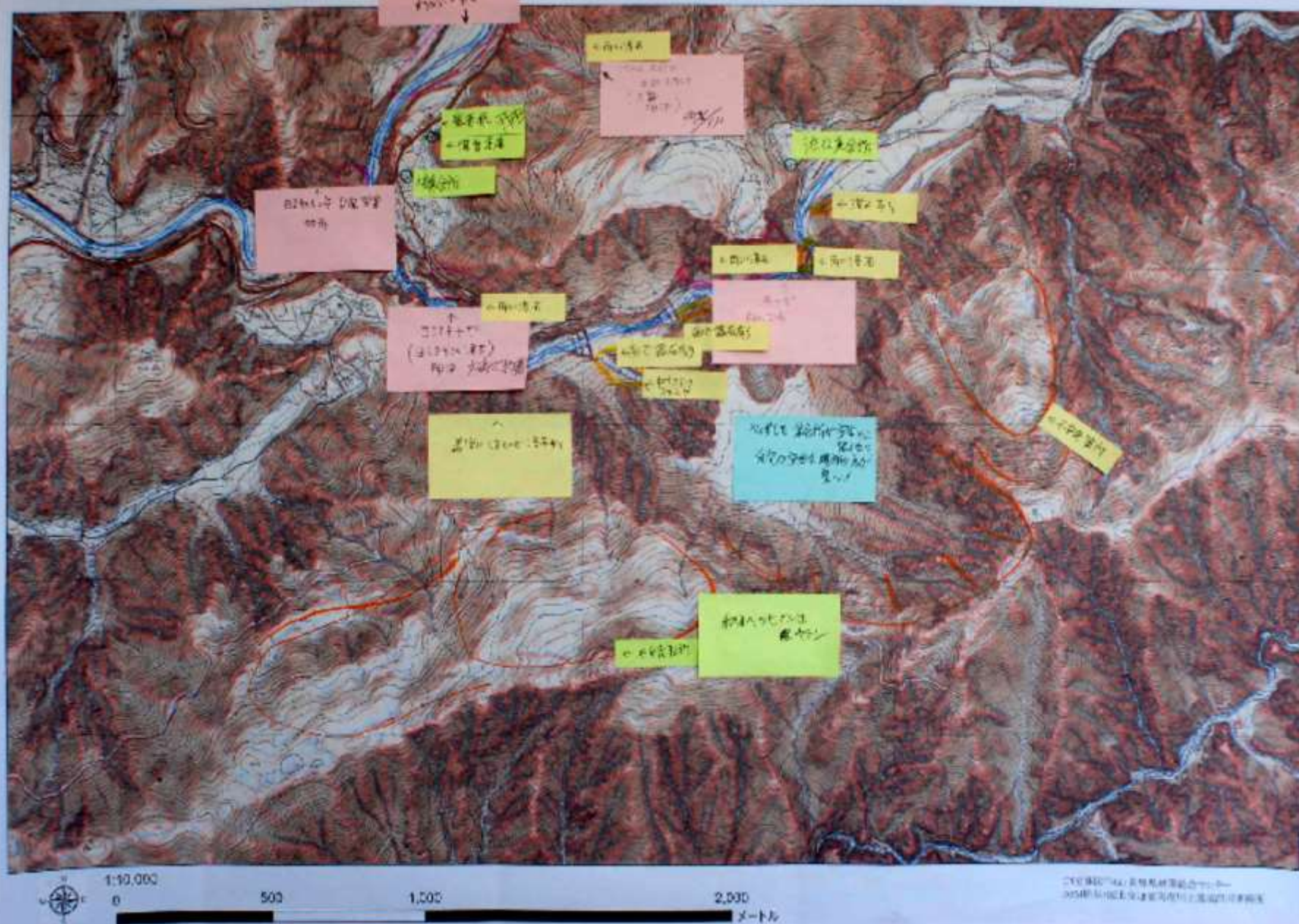
地域住民が主体の防災マップづくり（長野県飯田市）



グループに分かれて、災害履歴など情報収集（CS立体図を活用）



住民による発表
(どこが危ないか？どこへ逃げるか？いつ逃げるか？)
この時点で、地域の危険情報を共有



付箋に情報を書き込み貼り付ける

木沢自治会 土砂災害要注意箇所マップ



早急に安全な自主避難を心掛けましょう。

- ・防災行政無線で「土砂災害危険」の知らせが、一斉に放送されます。一斉に避難行動を開始し、安全な自主避難を心掛けてください。また、大規模な土砂災害時には、避難所が指定される場合があります。事前に指定された避難所を確認してください。
- ・避難所は、土砂災害危険区域から離れた場所に指定されます。事前に指定された避難所を確認してください。

長野県飯田市危機管理・交通安全対策部防災課（平成26年版） Copyright (c)idacity. All rights reserved

三ツ沢川周辺 の危険箇所

危険箇所	危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所

三ツ沢川周辺の危険箇所

危険箇所	危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所
三ツ沢川の土砂災害危険箇所	三ツ沢川の土砂災害危険箇所

危険箇所確認時の行動

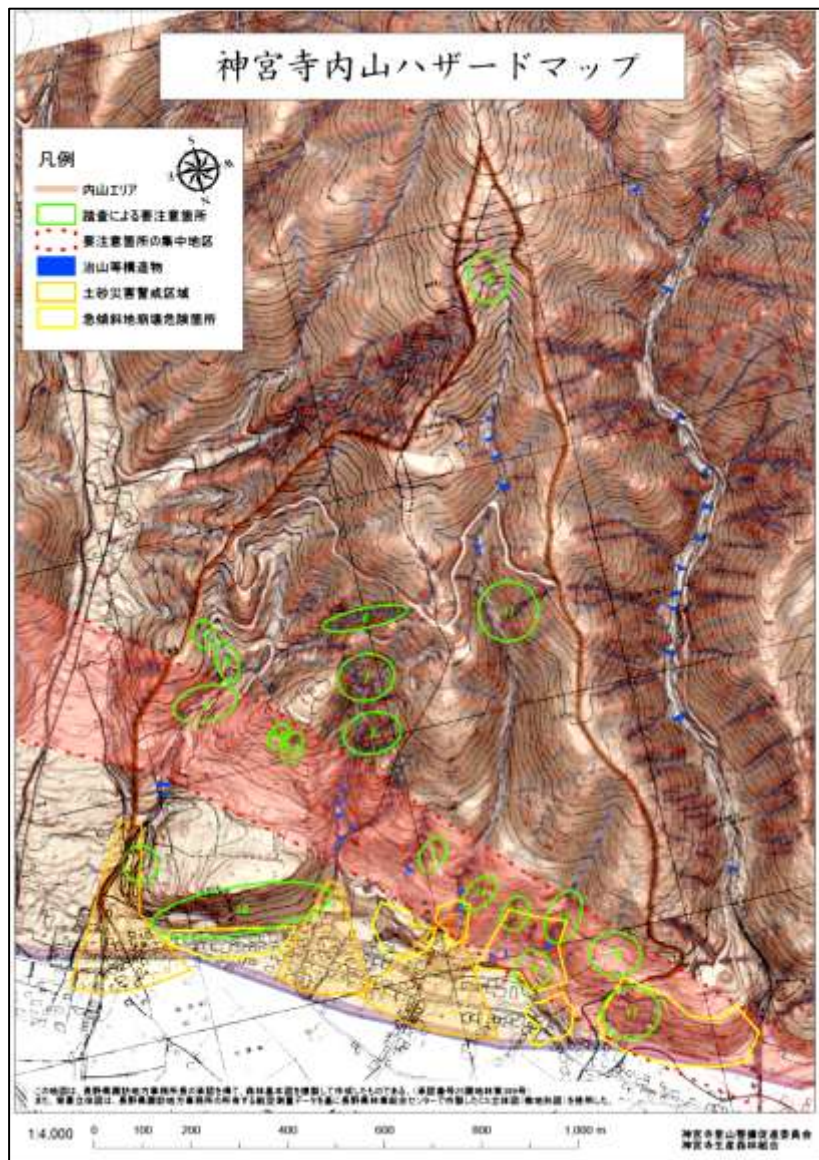
土砂災害危険箇所を確認する際は、必ず事前に避難所を確認し、避難行動を開始してください。また、土砂災害危険箇所を確認する際は、必ず事前に避難所を確認し、避難行動を開始してください。

資料提供：
飯田市

空中写真に情報を書き込み完成 → 各戸に配布

住民からの情報、地形解析結果、地すべり分布、法的指定、避難方法、経路 など

【活用事例】 地域住民によるハザードマップの作成 【活用事例】 崩壊危険地の見回りに活用



諏訪市神宮寺地区で作製したハザードマップ



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)

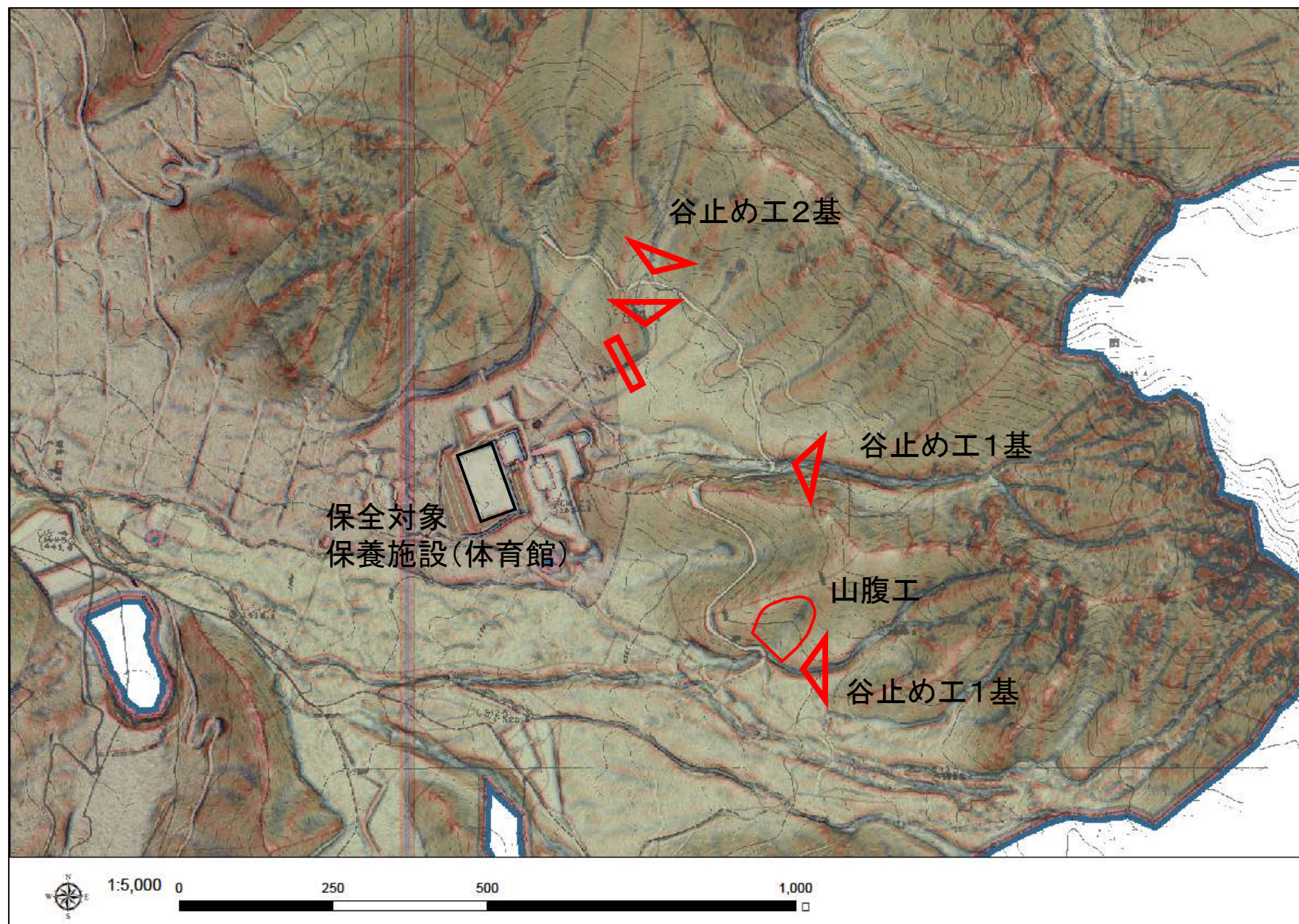
災害対応時の活用事例



スマホ地図アプリ



2019.10.21
台風19号被害調査（川上村）



ポイント

- 「地形」＝「過去の災害履歴」
- 地形判読を容易にするCS立体図
- 地形判読が地域とのコミュニケーションツール
- スマホアプリで現場とつなぐ

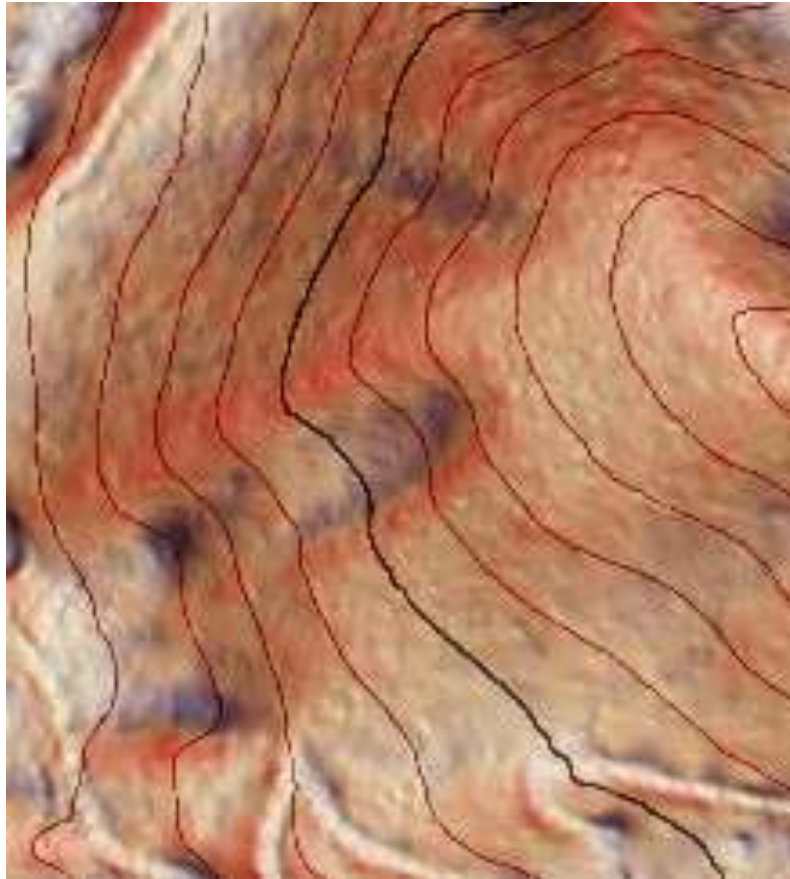
4. 最近の研究

- ・ AIによる崩壊危険判読
- ・ 平面曲率の標準偏差(SHC図)
- ・ 干渉SAR解析との組み合わせ

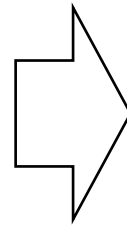
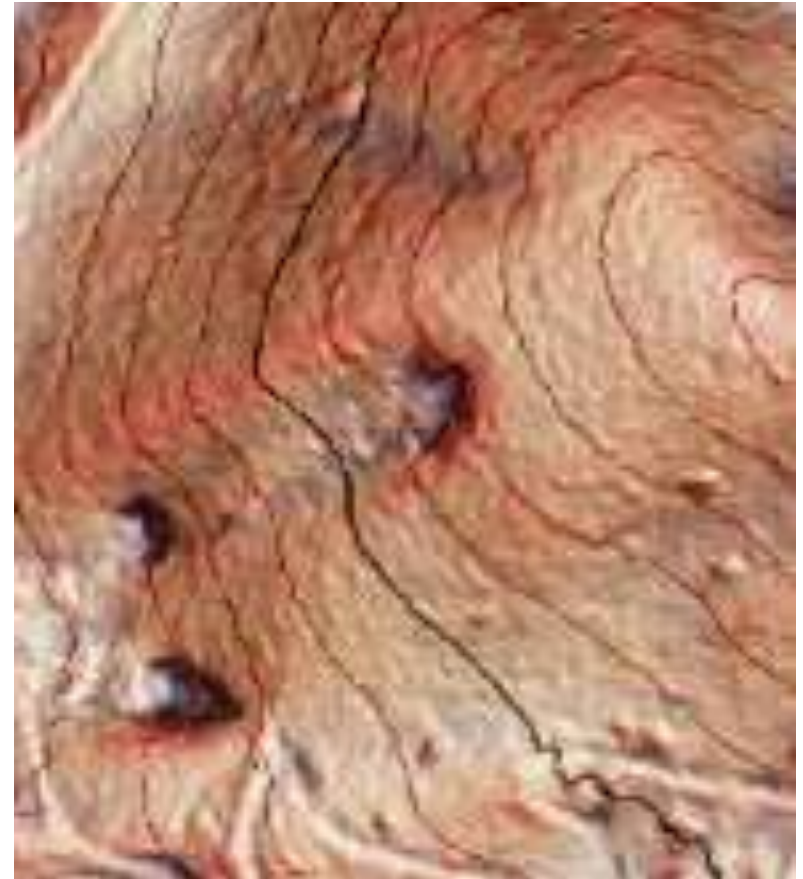
【地形判読の自動化】

AIによる崩壊危険判読

2009年(災害前)

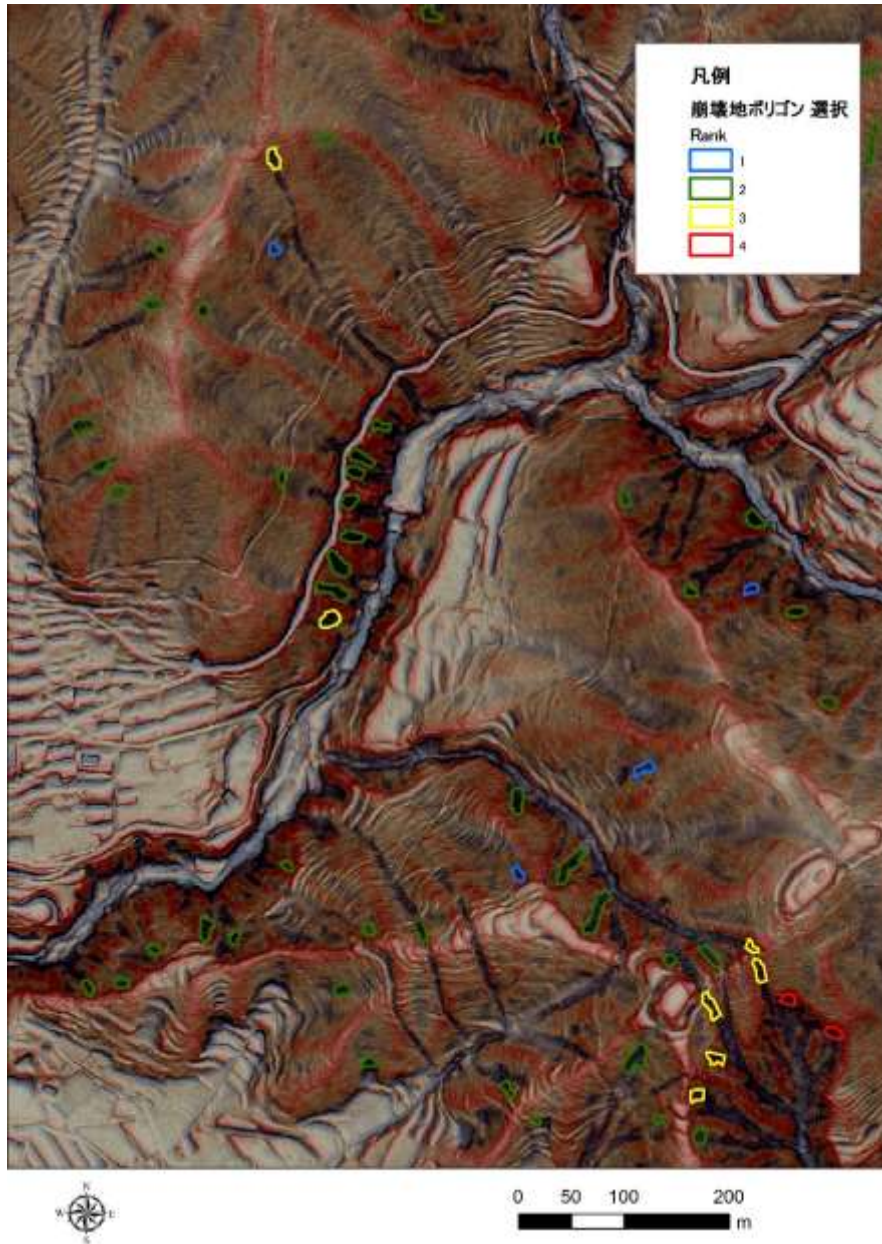


2012年(災害後)



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

崩壊地教師データの作成（H30成果）



崩壊跡地形の抽出ルール

- (1) 植生高が低い
DSM-DEMが周辺より低い
- (2) 凹地形の上部にポイントを打点
- (3) CS立体図からの目視判読によりポリゴンを作成

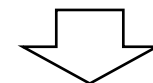
【教師データ】

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)

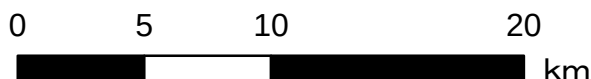
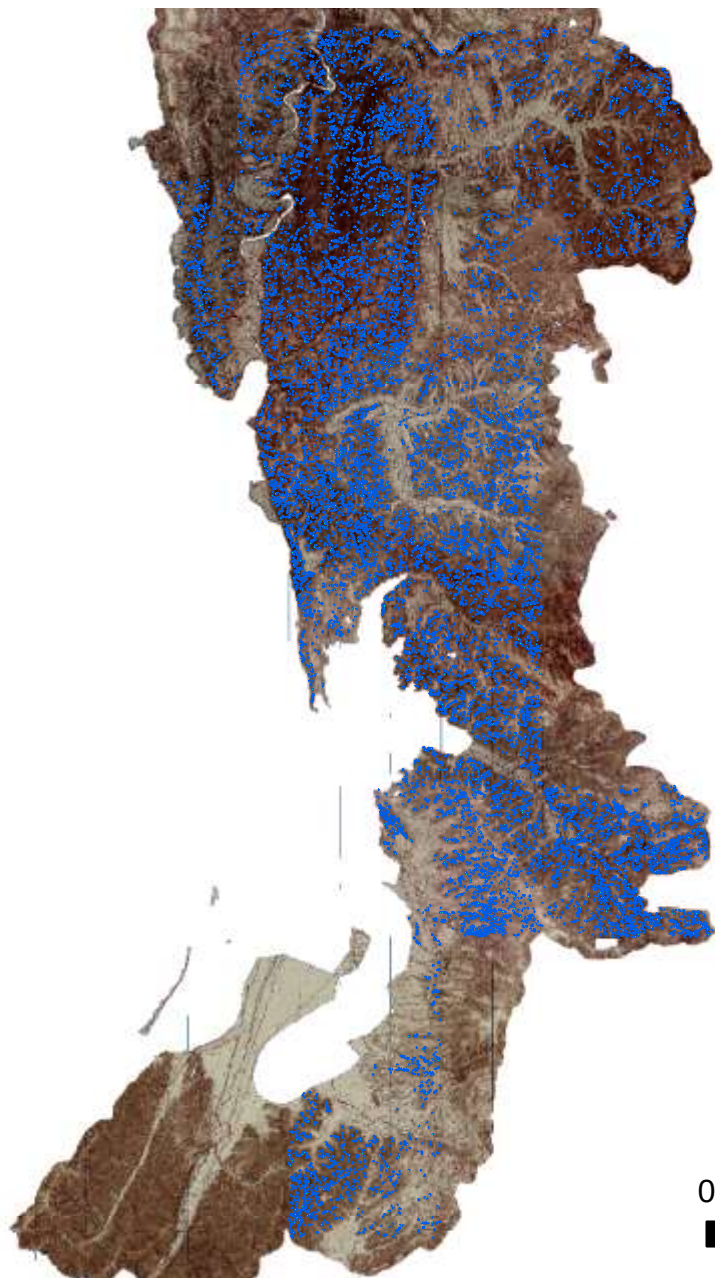
16,892箇所



【AI学習】

Mask R-CNN

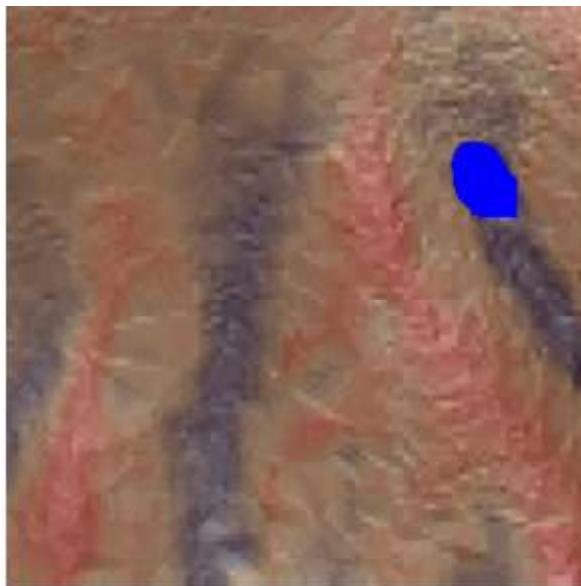
(ノーザンシステムサービス)



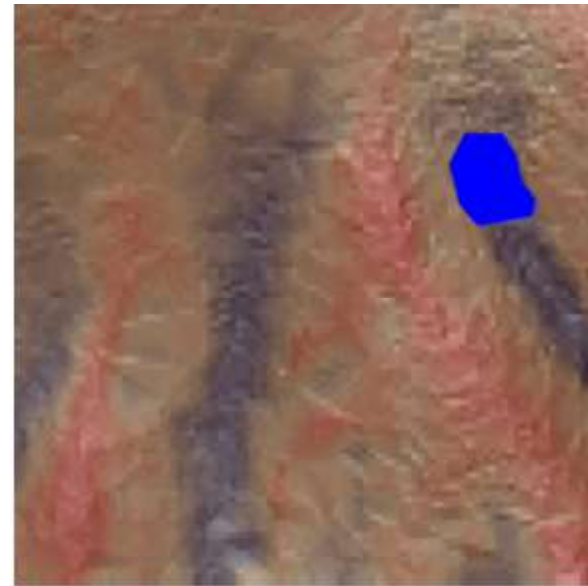
CS立体図



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

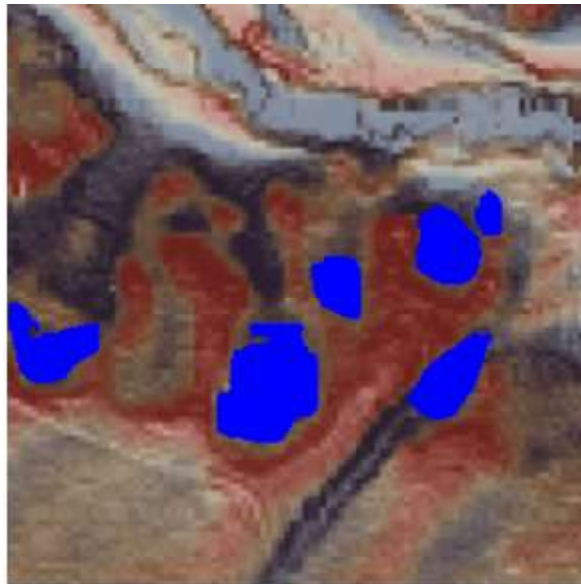
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(解析:ノーザンシステムサービス)

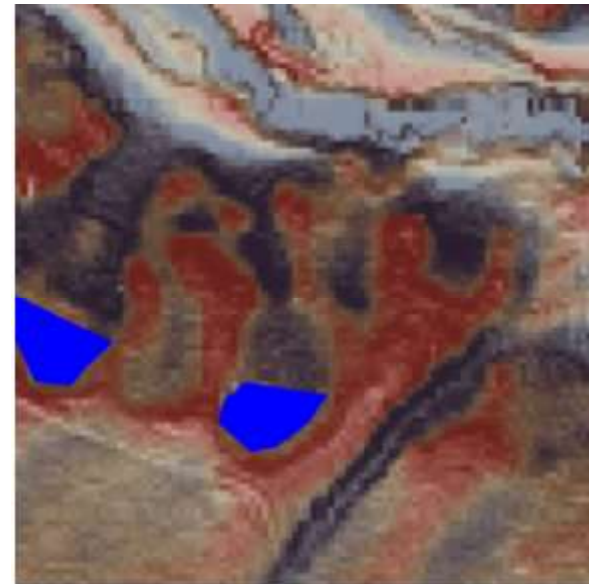
CS立体図



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

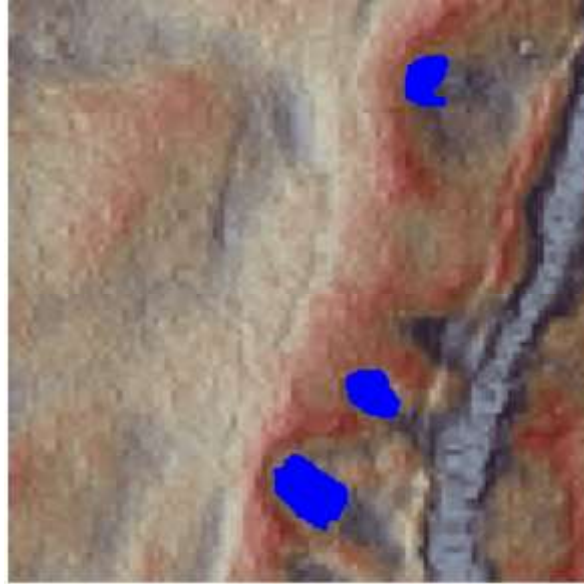
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(解析: ノーザンシステムサービス)

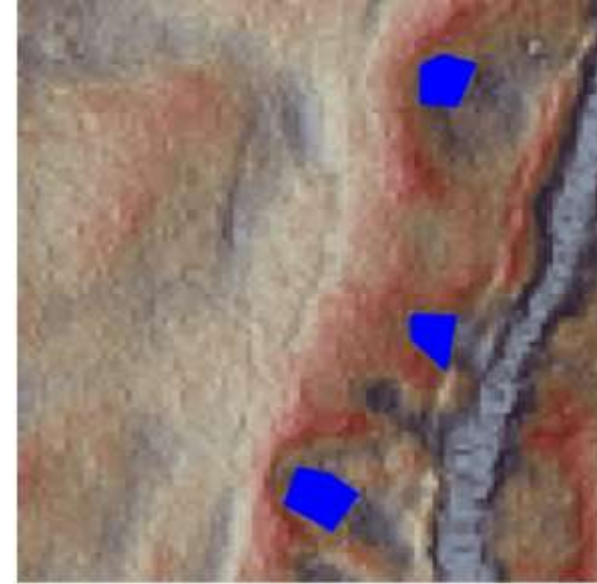
CS立体図



AIによる抽出



教師データ



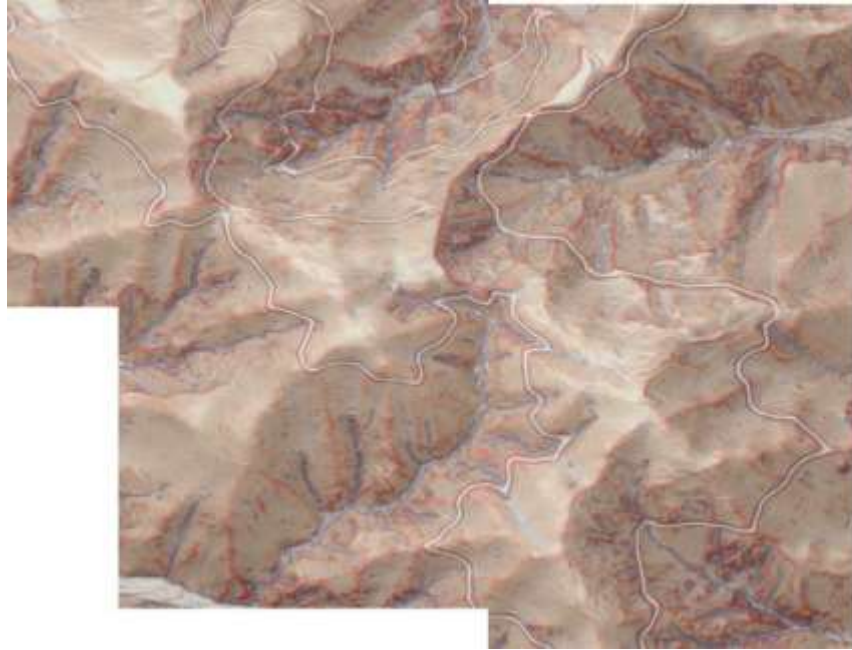
CS立体図から自動判読

人間による目視判読

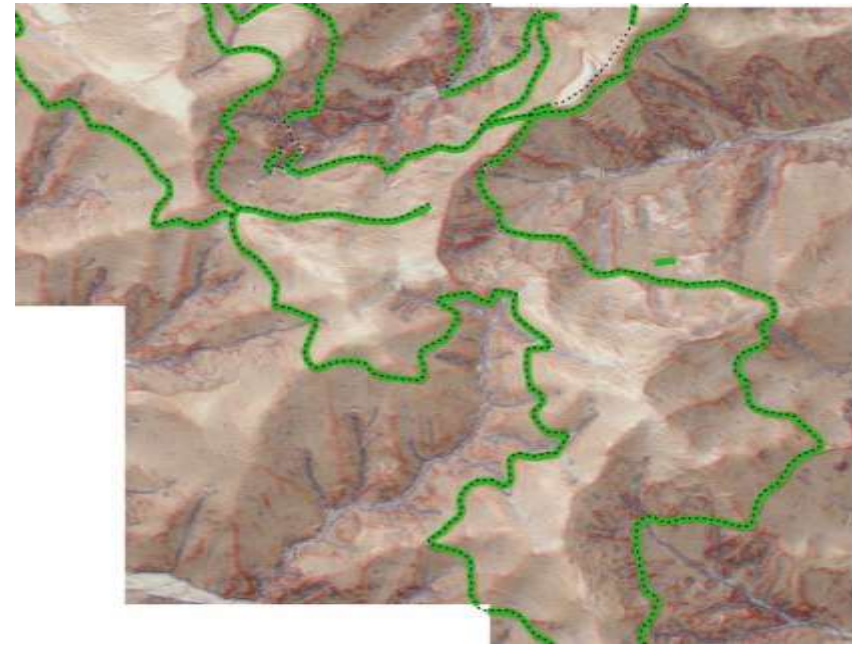
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(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)

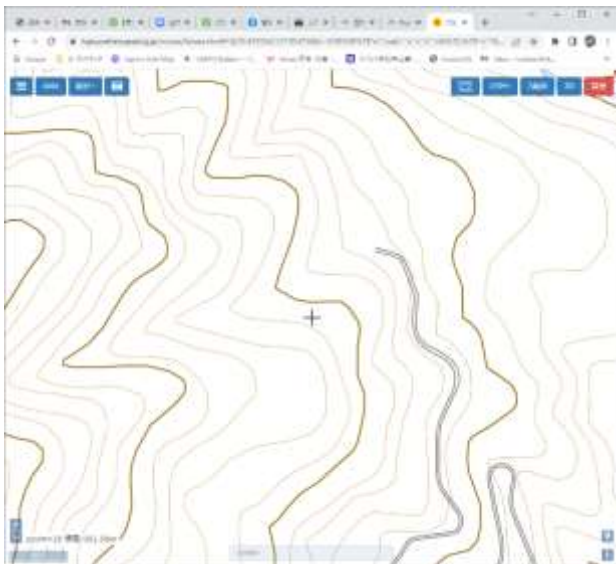


AI解析による森林路網の自動抽出
とベクトルデータ化

(解析：ノーザンシステムサービス)

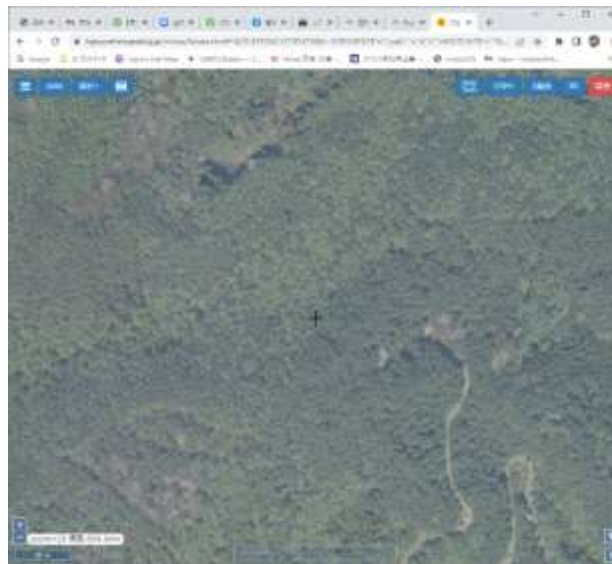
教師データとして森林路網をAI学習させると、路網線形の自動抽出も可能

地理院地図に記載されていない樹木下の森林路網



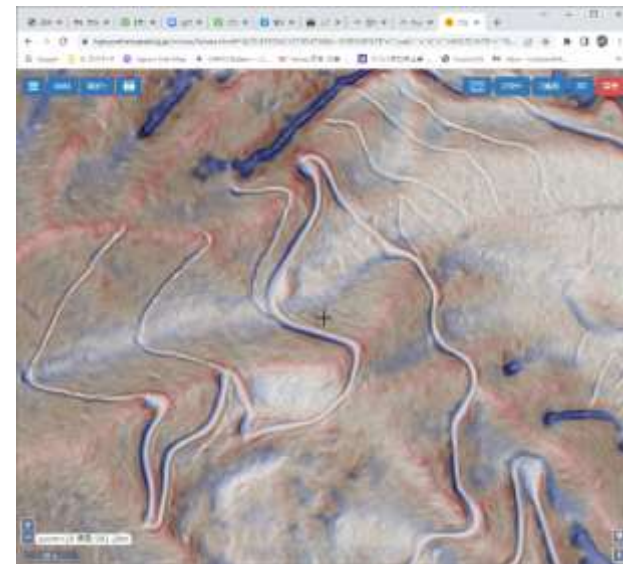
地理院地図

山間地の地図データは頻
繁に更新されない



空中写真

樹木下の地形は写真から
判読できない



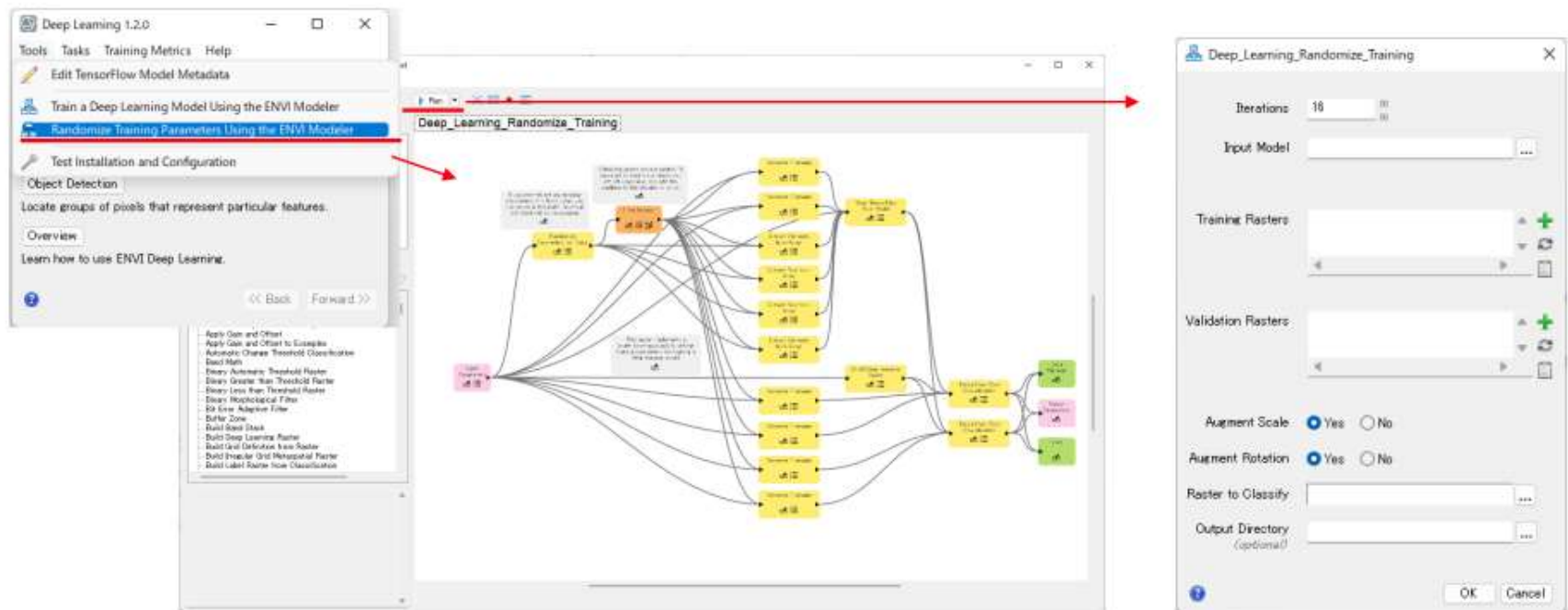
CS立体図

航空レーザ測量データから
作成したCS立体図では、
詳細な路網も判読可能

ENVI Deep Learningの補助ツール



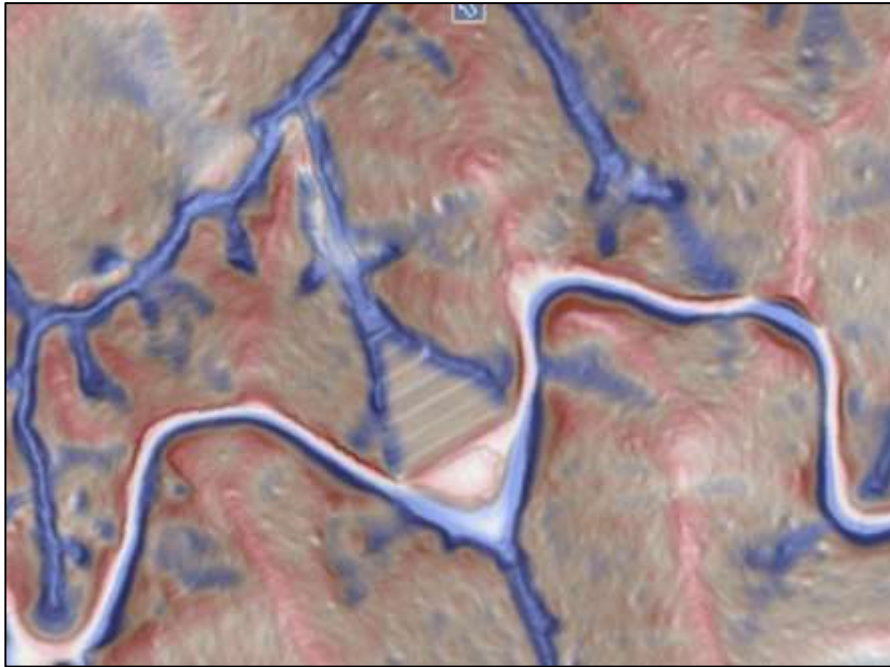
- Randomize Training Parameters Using the ENVI Modeler
 - 最適なパラメータを探すためのツール
 - Iteratorで設定した回数分モデルのトレーニングを行う(パラメータはランダム化されたものを使用)。その回数分、モデルと分類結果の出力ファイルが作成される。
 - 新規モデル、ラベルラスタを準備することで実行可能
 - Runボタンをクリックすると設定ウィンドウが起動



技術の応用

教師データを作成すれば、将来的には様々な地形の自動判読が可能

(例)



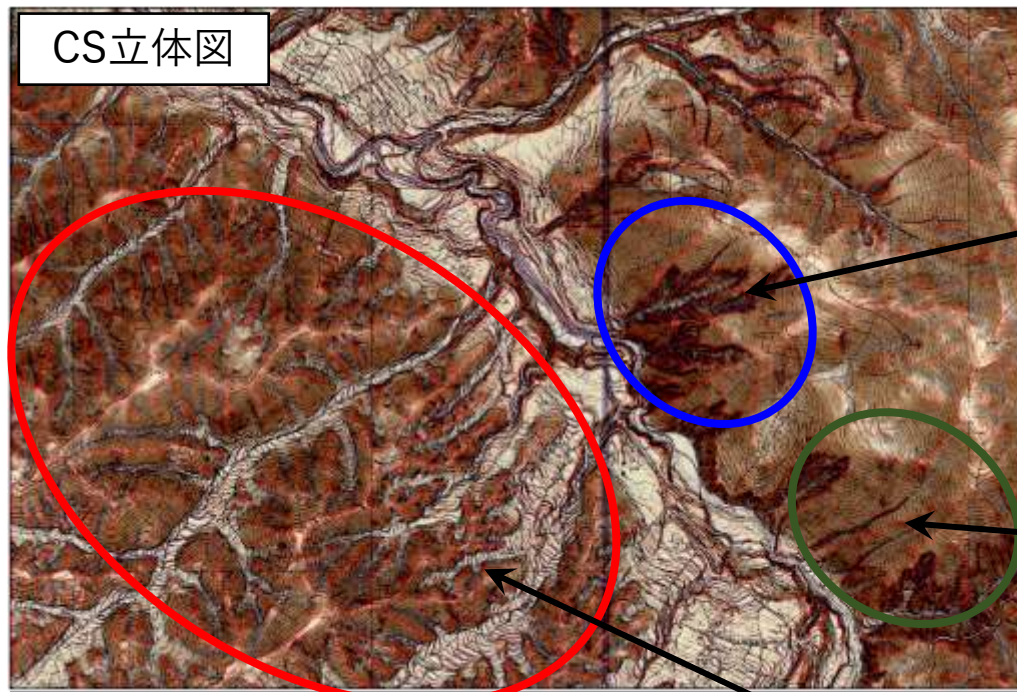
盛土



沖積錐（土石流扇状地）

【崩壊危険度を数値化】
平面曲率の標準偏差
SHC図

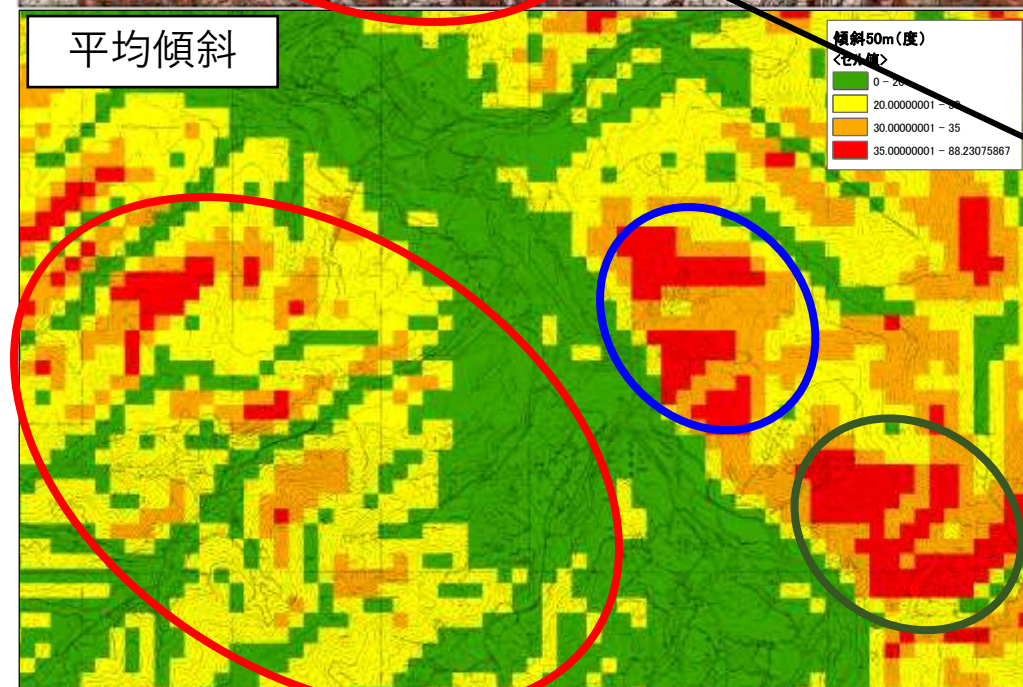
CS立体図



傾斜が急
崩壊密度が高い

傾斜が急
崩壊密度が低い

平均傾斜

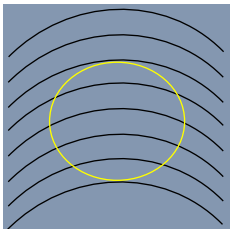
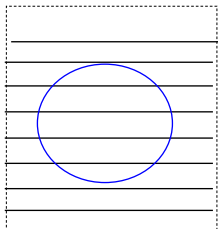
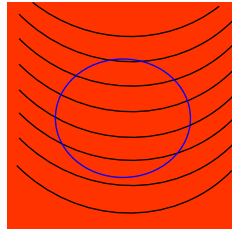
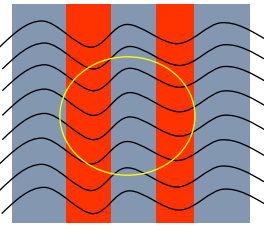


傾斜は緩い
崩壊密度が高い

(松本市薄川)

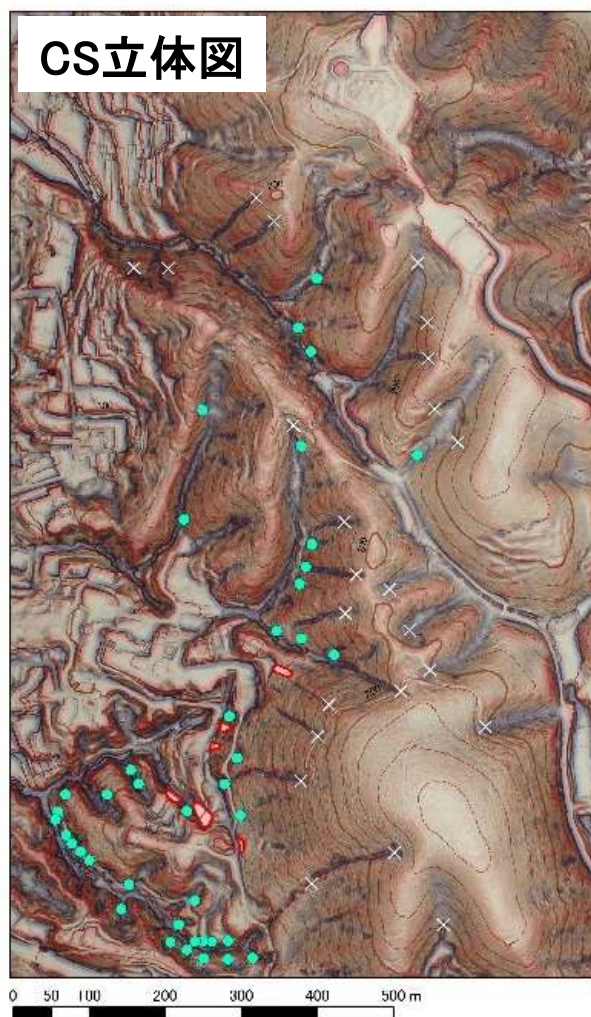
平面曲率の標準偏差

(**SHC** : Standard deviation of **H**orizontal **C**urvature)

斜面形状	谷型斜面	直線斜面	尾根型斜面	波型斜面
模式図				
傾斜	同 じ			
平面曲率	－	0	＋	－ ＋ － ＋ －
SHC (平面曲率の標準偏差)	小	小	小	大

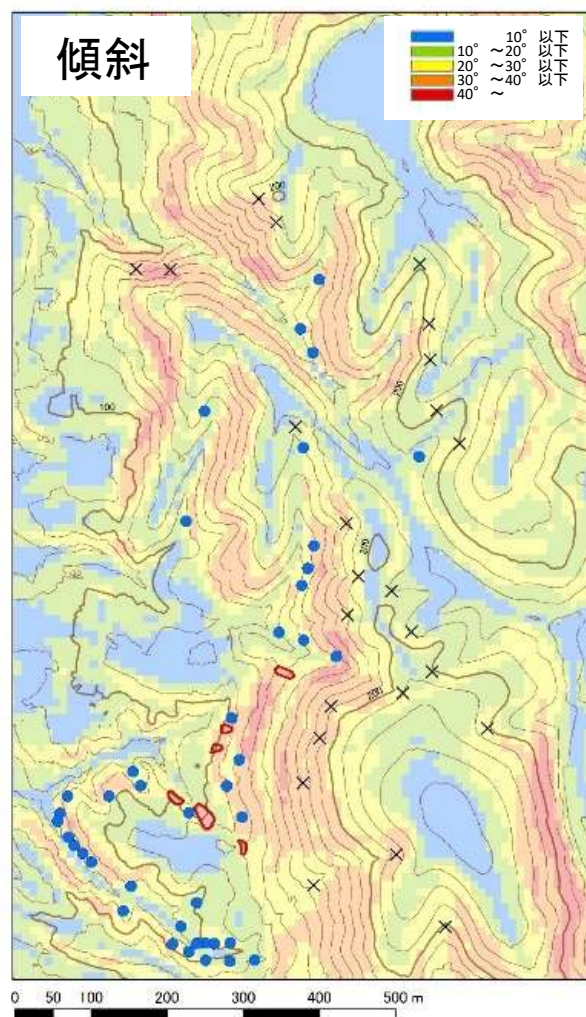
- ・同じ傾斜でも、谷が多く、入り組んだ地形では崩壊が発生しやすい。(過去の崩壊履歴が多い)
- ・一定面積(ex.半径100m円内)における平面曲率の標準偏差を計算すると、地形の入り組みの度合いを表現できる。

○解析事例1 (京都市清水:堆積岩)



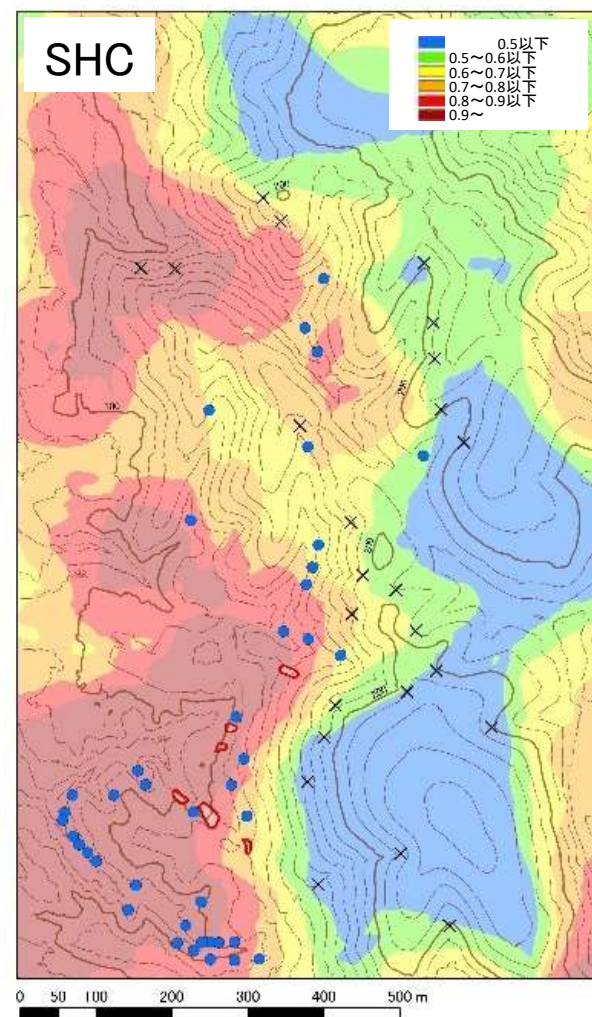
近年の崩壊履歴と踏査による
湧水確認位置をマッピング

- 近年の放棄履歴
- 踏査時に湧水あり
- ×



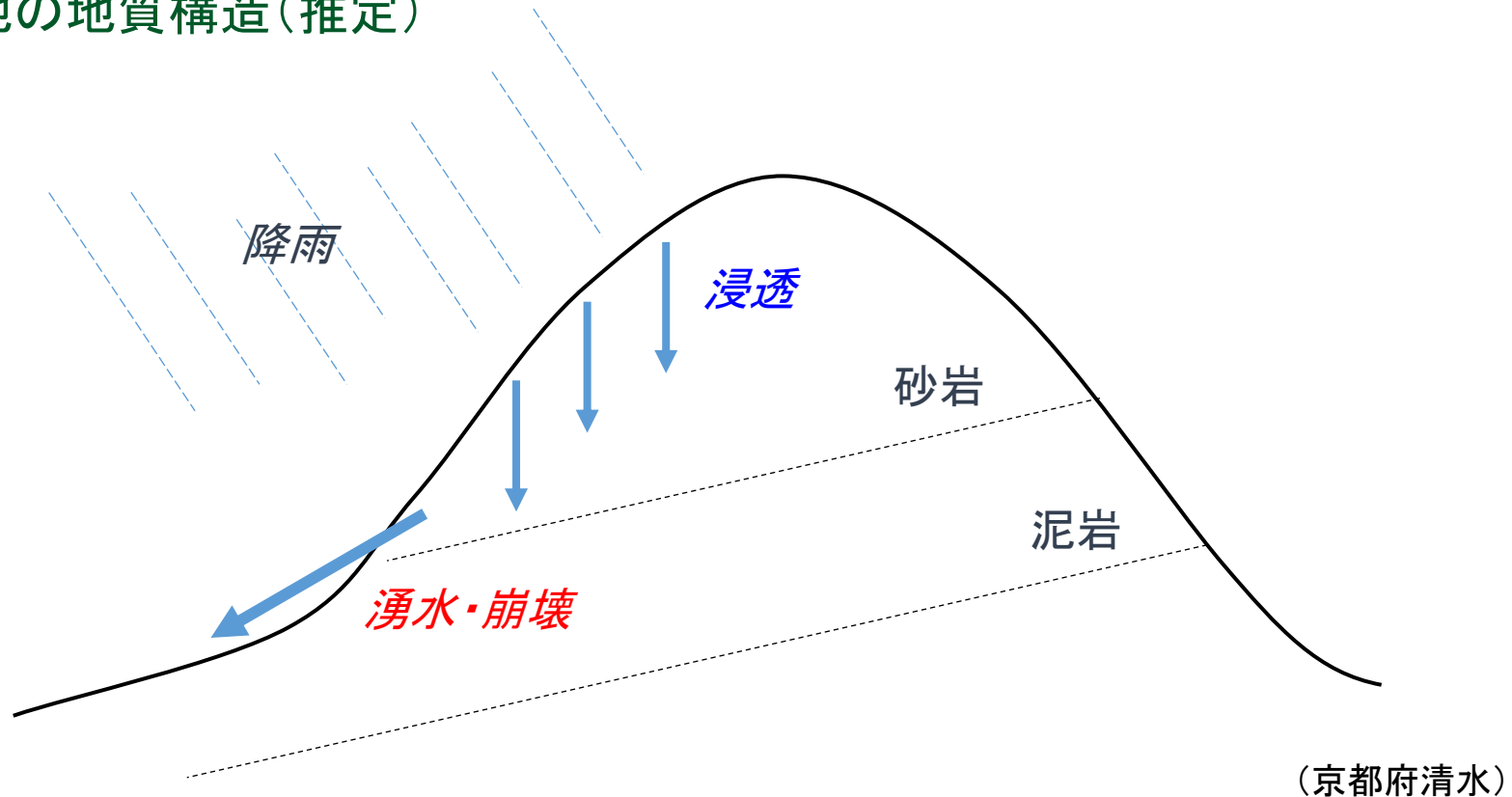
傾斜との明確な関係性は見
られない

(むしろ、急傾斜地には崩
壊履歴、湧水が少ない)



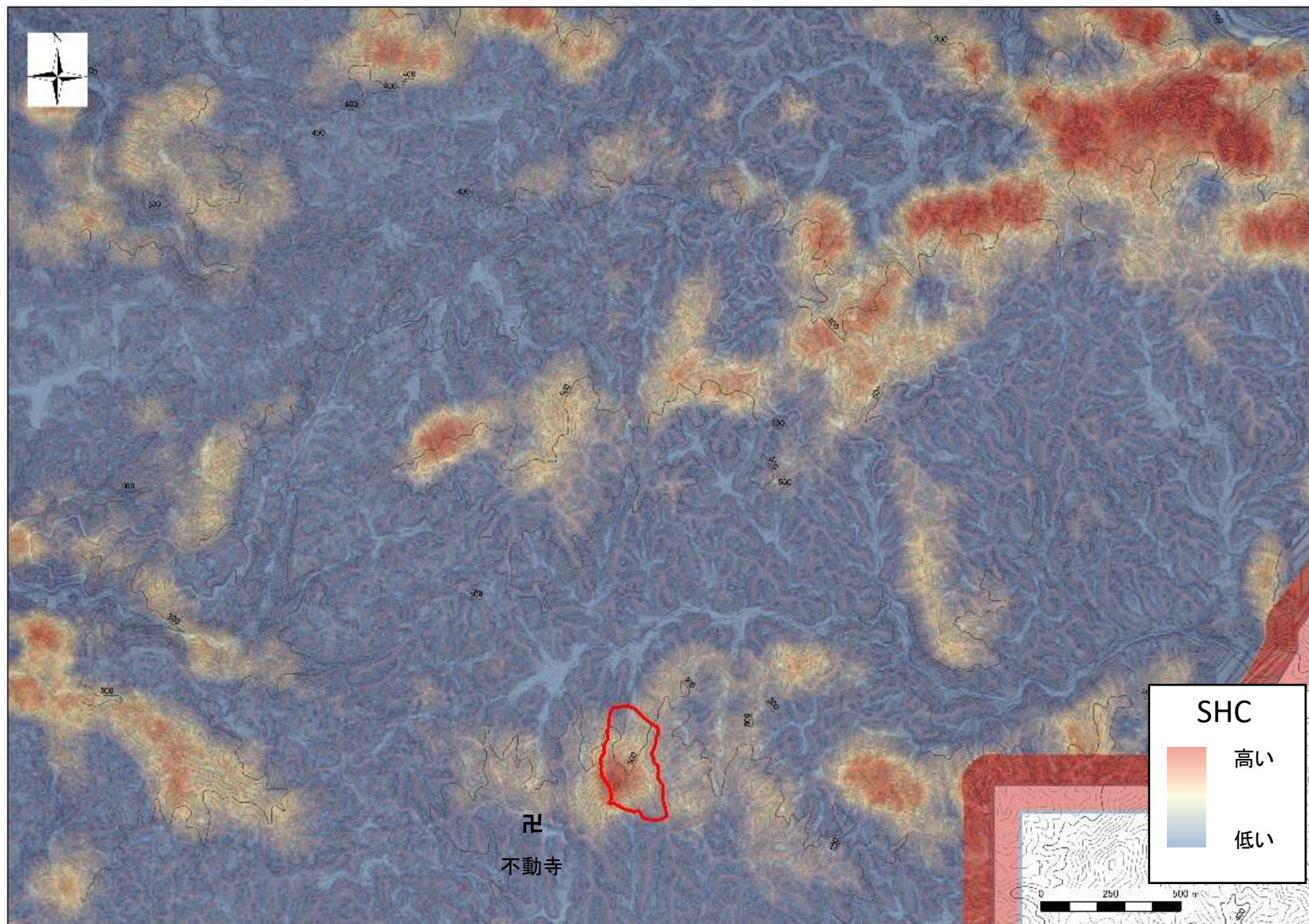
SHCが高い場所に、崩壊履歴、
湧水が集中

調査地の地質構造(推定)



地中に浸透した水が特定の不透水層から湧出し、それより下流では侵食が激しい

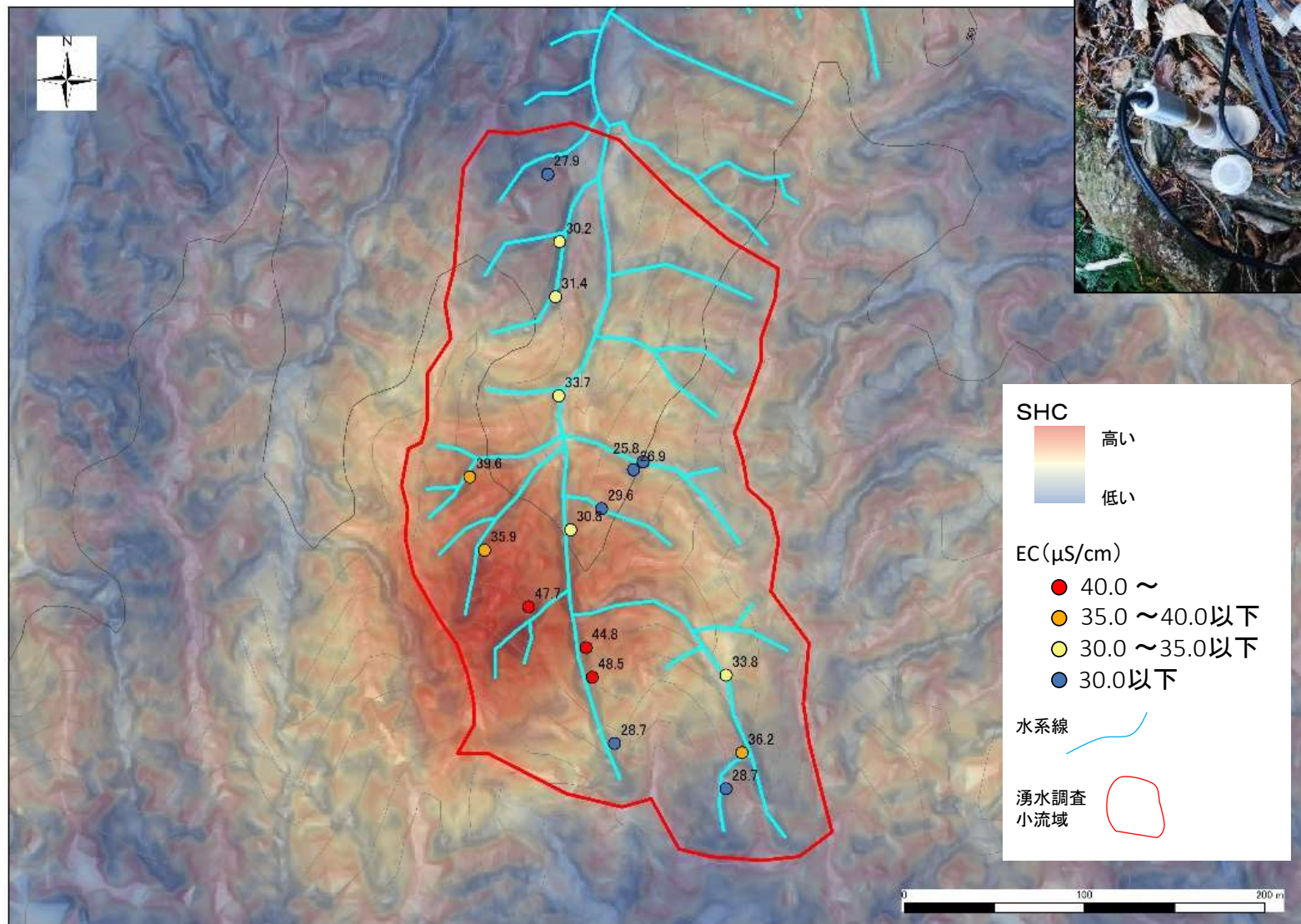
○解析事例2（滋賀県田上：花崗岩）



CS立体図にSHCを重ねて表示

SHCが高い場所の分布に偏りがある

○解析事例2（滋賀県田上：花崗岩）

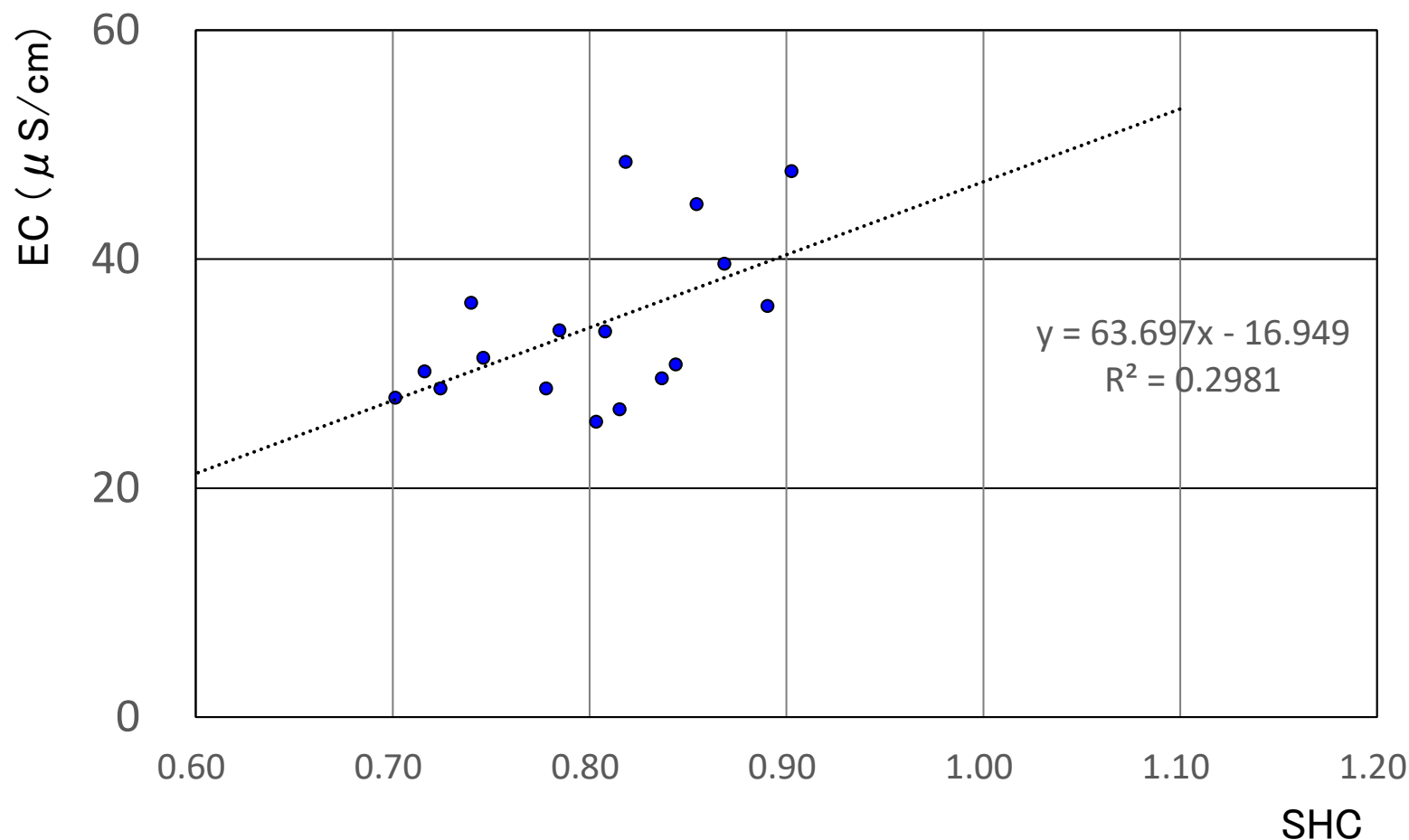


HORIBA ES-51

小流域において湧水地点で電位電導度(EC)を計測

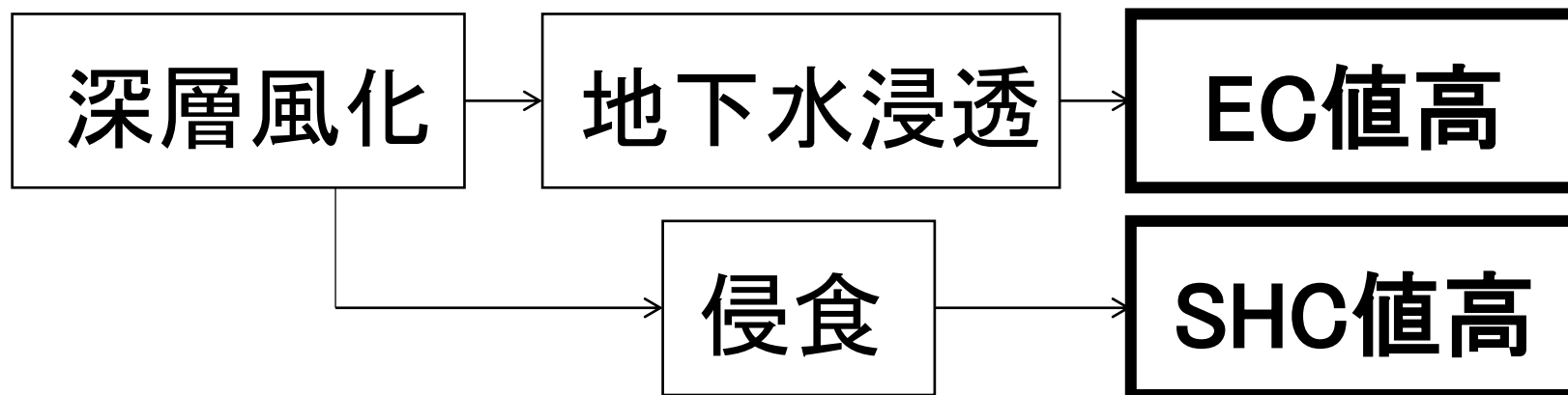
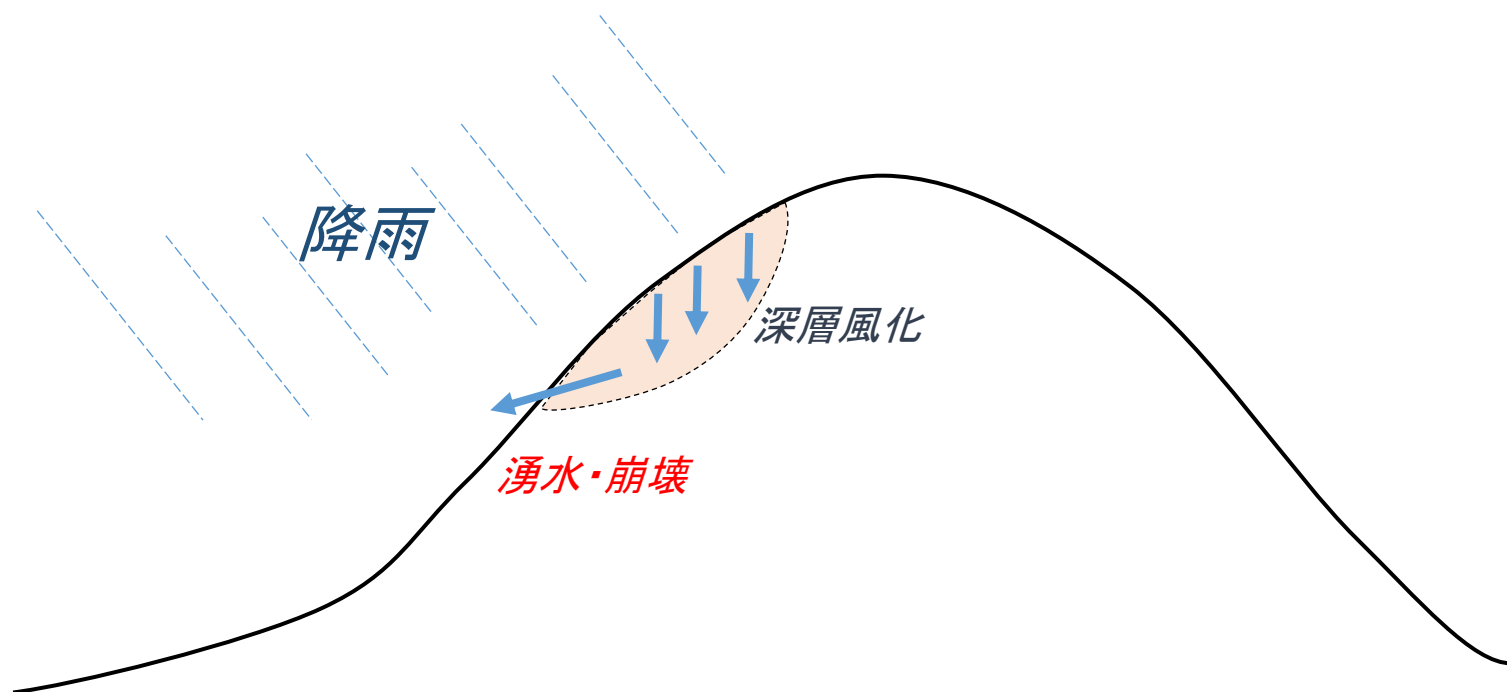
SHCが高い場所ではECも高い傾向がある

○解析事例2（滋賀県田上：花崗岩）

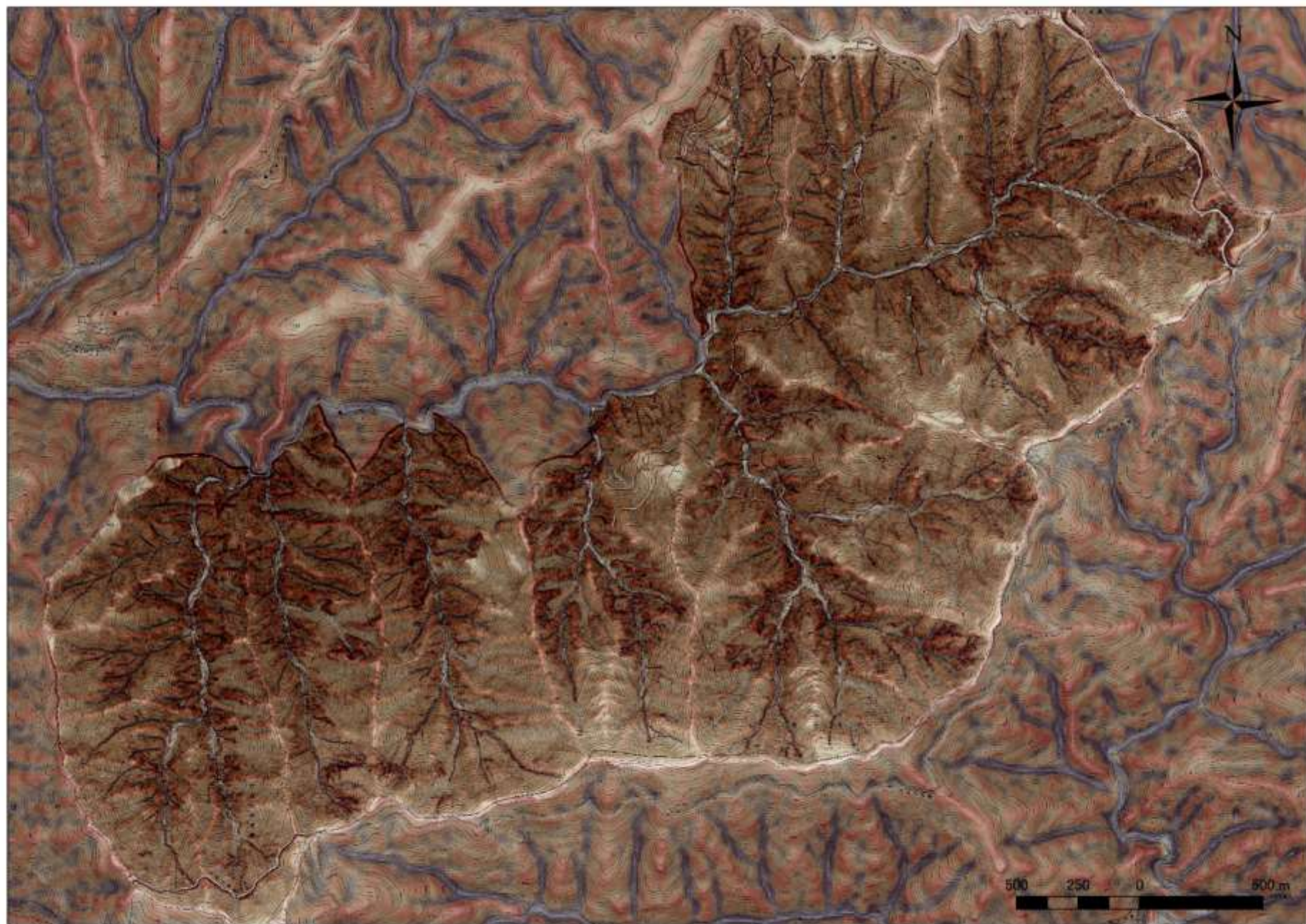


- ・ SHCとECに正の相関がある
- ・ SHCが高い場所は風化が進んでいる可能性がある

調査地の地質構造(推定)

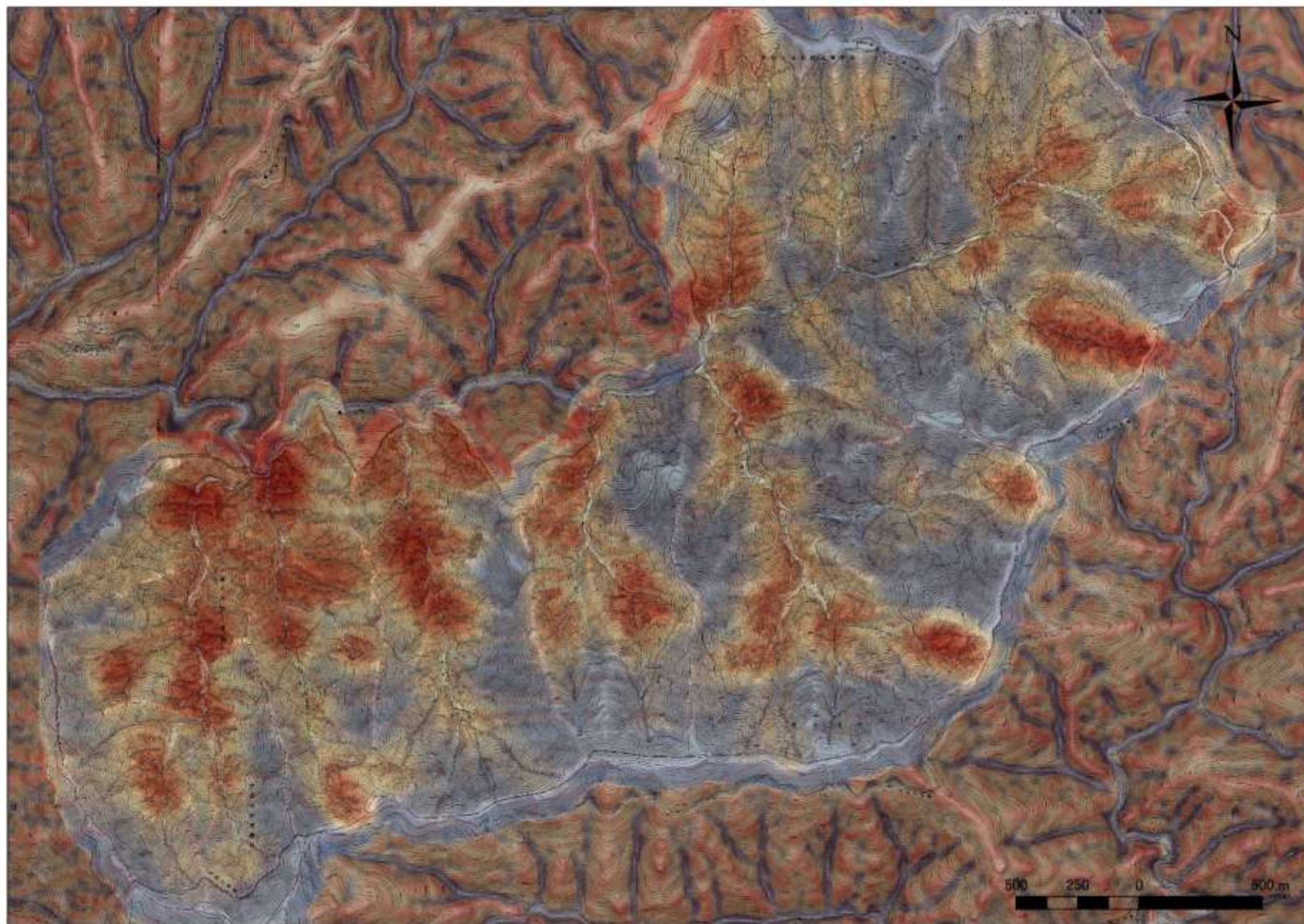


○解析事例3（和歌山県有田川町：堆積岩）



CS立体図

○解析事例3 (和歌山県有田川町:堆積岩)



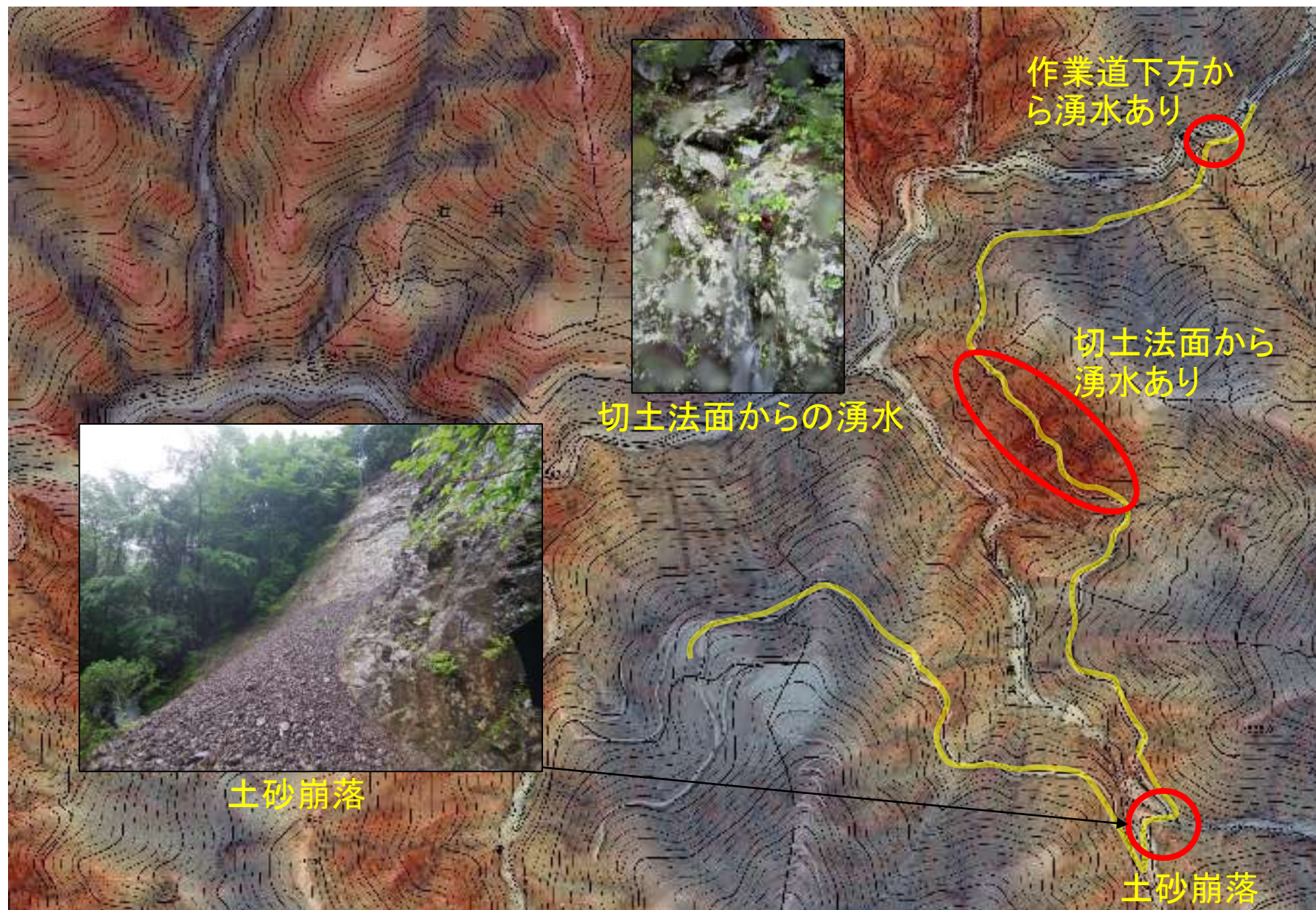
CS立体図にSHCを重ねて表示

○解析事例3（和歌山県有田川町：堆積岩）



2018. 7. 5 現地調査

○解析事例3（和歌山県有田川町：堆積岩）

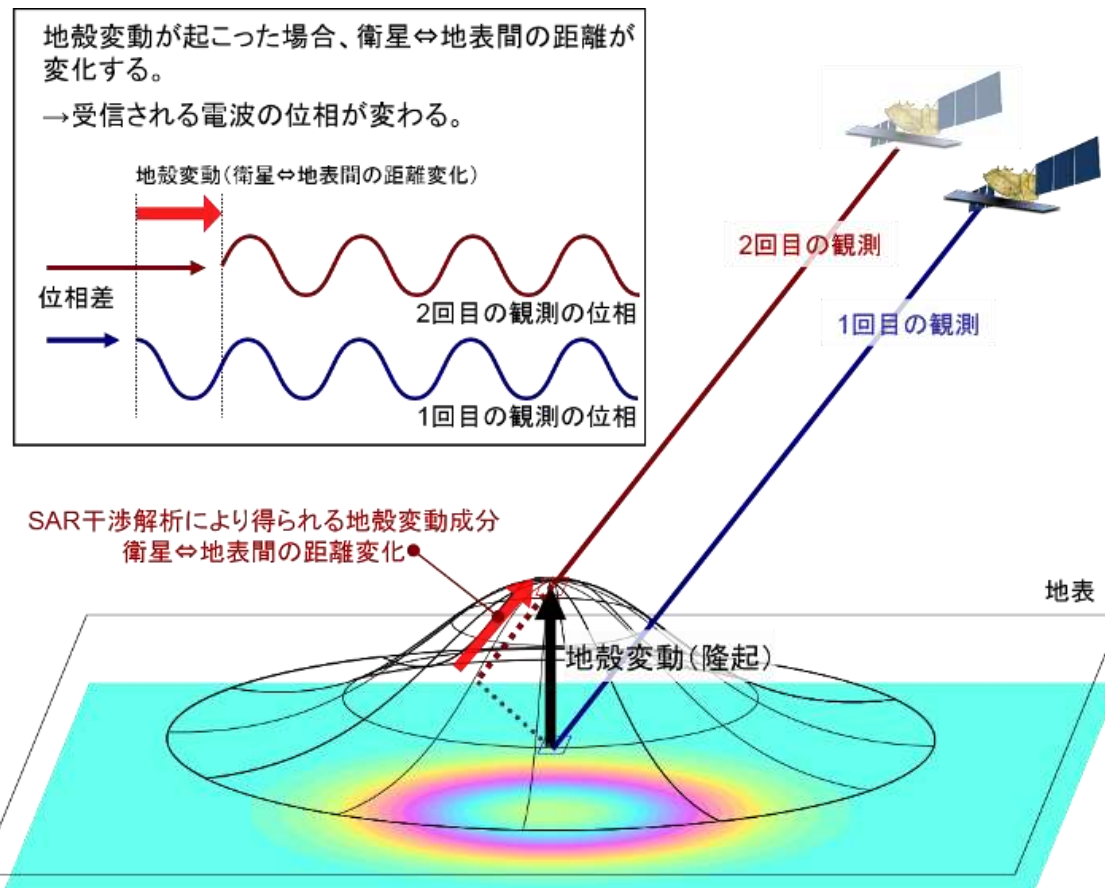


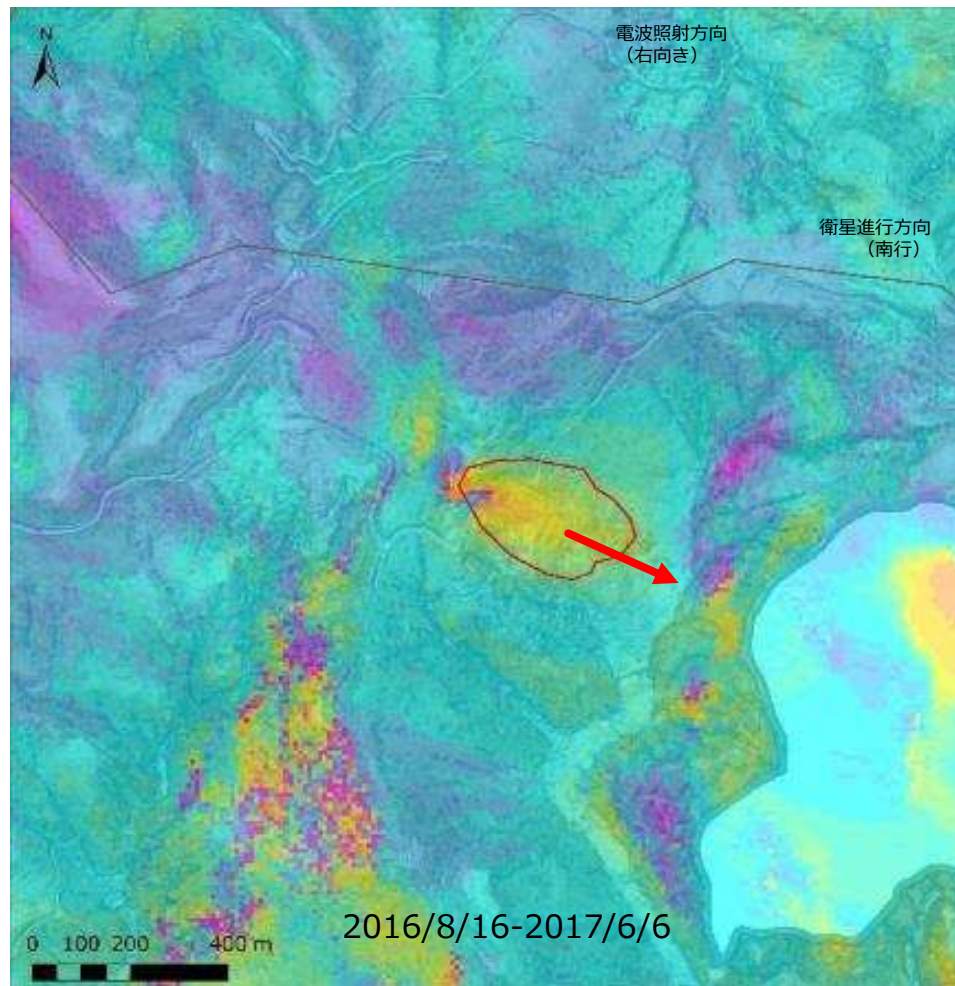
2018. 7. 5 現地調査

干渉SAR解析 との組み合わせ

干渉SARとは

2 時期のレーダーデータを解析し、**地盤の変動を数センチ単位**で計測することが可能な技術。



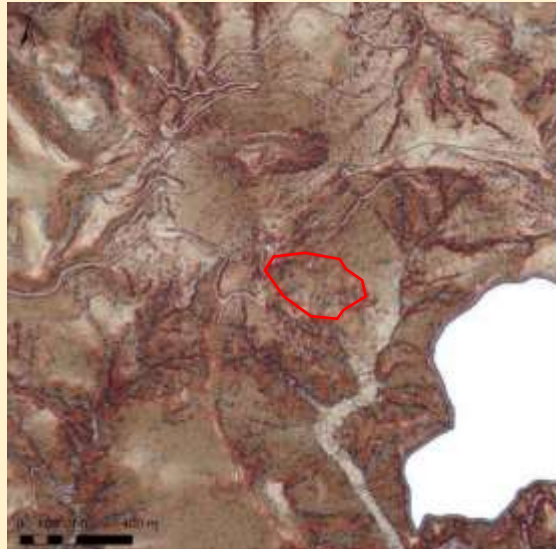


干渉SAR

長所：現在の微細な変動を計測できる

短所：絶対値は不正確

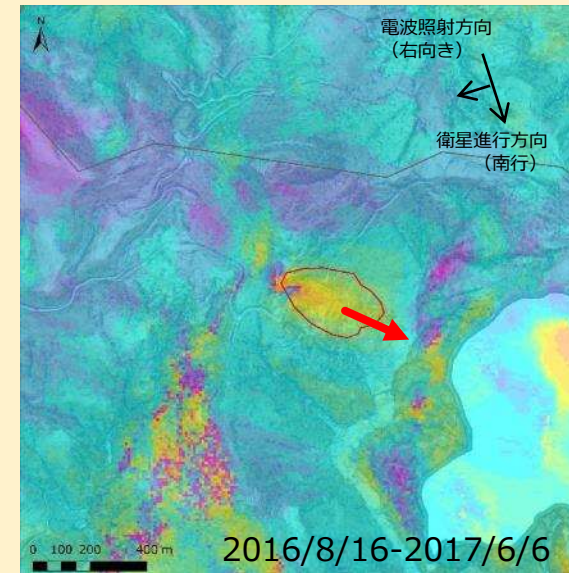
ノイズが多い（大気、地形、植生等の影響）



CS 立体図

長所：地形判読が容易

短所：現在滑動しているかは不明

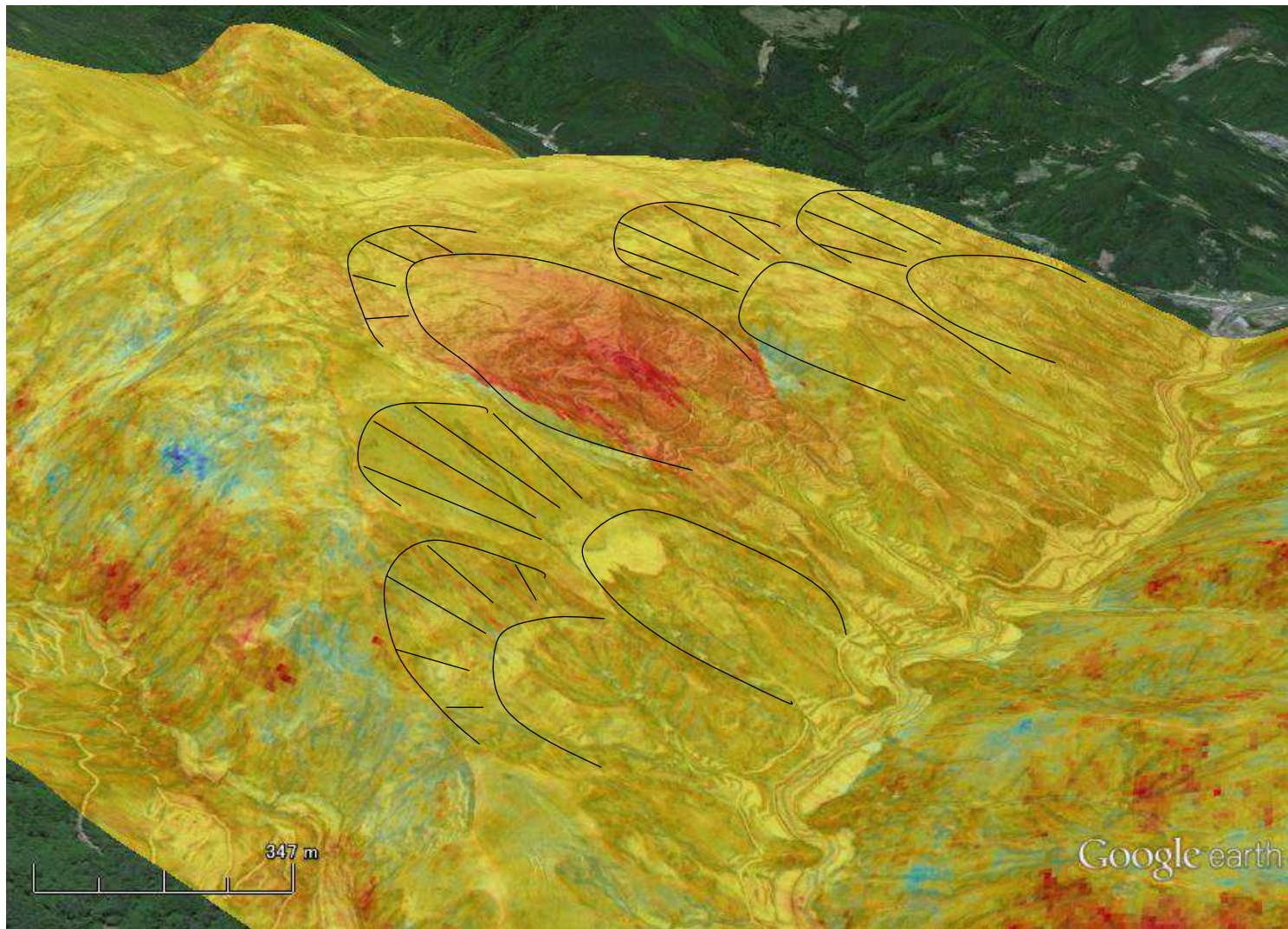


干渉SAR

長所：現在の変動を計測できる

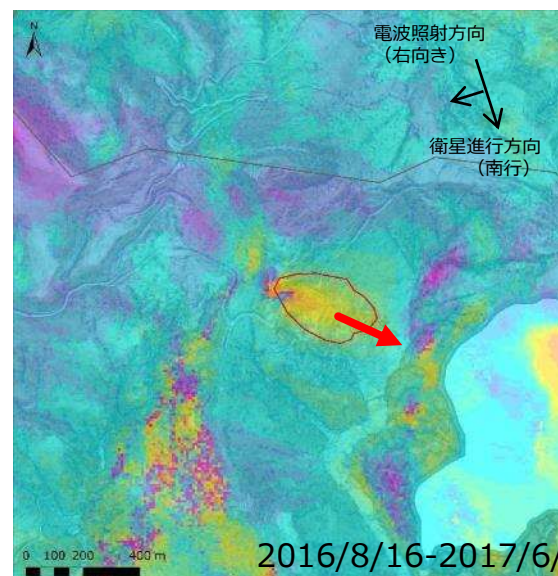
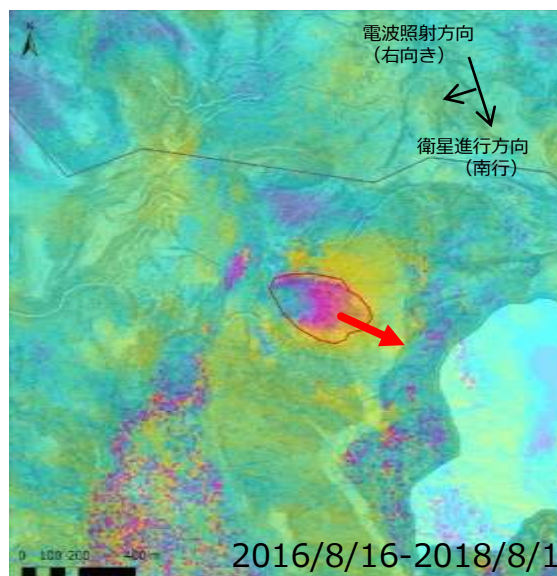
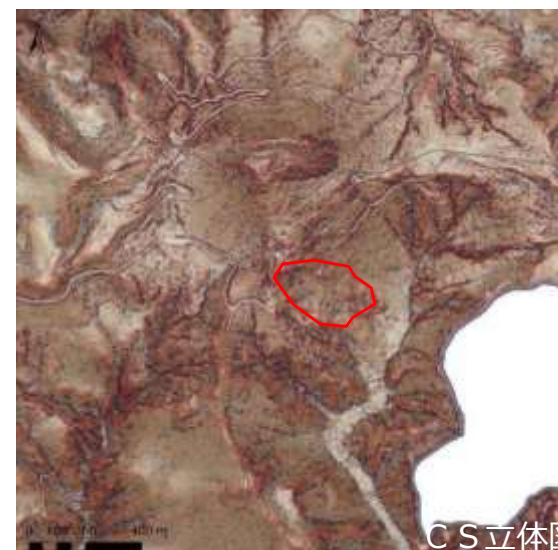
短所：絶対値は不正確
ノイズが多い

現在滑動している危険な地滑りを抽出可能



C S 立体図と重ねて表示することにより、滑動している危険な地すべり地を抽出することができる (長野県大鹿村)

高山村笠ヶ岳

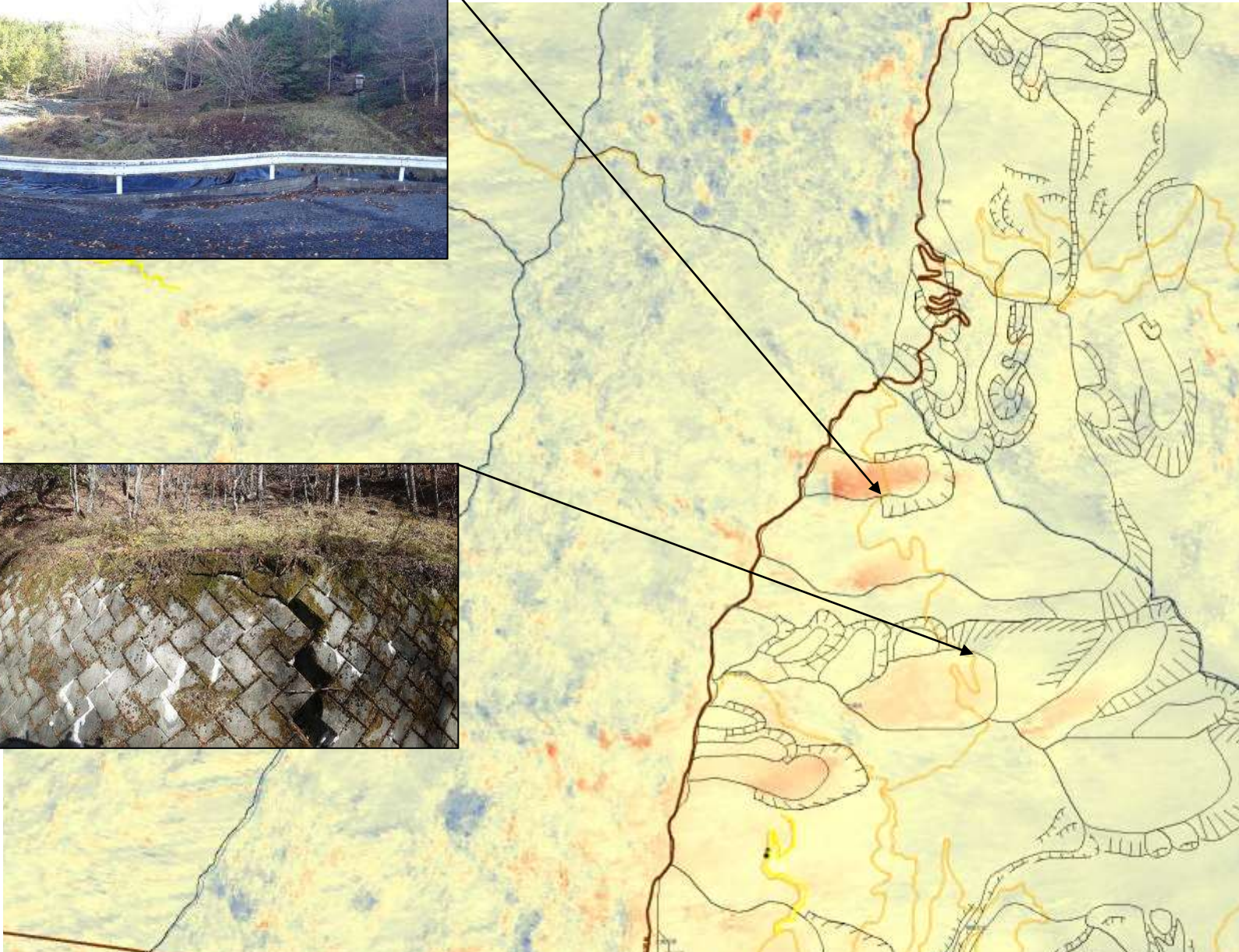


県庁治山係の発注により、平成30年度から全県規模で干渉SAR解析を実施中 (140カ所を検出)

現地調査



干渉SAR解析で抽出された、地すべり危険地を
現地調査し、地形の変状などを確認



現地確認は絶対に必要！

(長野県飯田市)

ポイント

- 干渉SARとCS立体図の組み合わせで活動している危険な地すべりを抽出
- 現地調査で変状の確認も重要

おわりに

本日までご紹介した技術

センシング技術

【センサー】

受動式センサー
能動式センサー

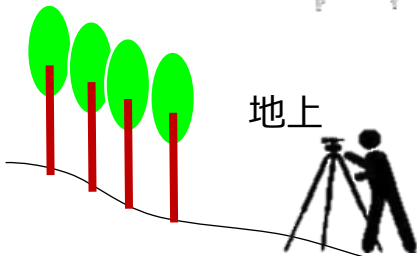
【プラットフォーム】

人工衛星
SAR



航空機
航空レーザ測量

ドローン
ドローン写真



地上

解析技術



- ・ CS立体図
- ・ SfM
- ・ AI解析
- ・ SHC
- ・ 差分解析
- ・ 干渉SAR

共有

収集

現場活用技術



スマートフォン
AvenzaMaps

GPS
GNSSレシーバー

【 ま と め 】

- 各計測方法の長所・短所を理解し、適材適所で計測技術を組み合わせで使用
- 解析技術の進歩で分かりやすく可視化
- モバイルツールを使って現場活用
- ICTで重要なのは情報共有