

地形判読を容易にする「CS立体図」

(株) ジオ・フォレスト

代表取締役 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。

このファイルは「[表示 4.0 国際 \(CC BY 4.0\)](#)」で公開します。出典を表示いただければ、ご自由に複製、再配布していただいて結構です。



このPPTファイルは弊社ホームページで公開します



<https://gf17v.com/>
「ジオ・フォレスト」で検索

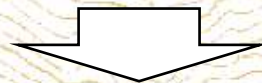
地形判読の基礎

なぜ「地形」ができたのか？

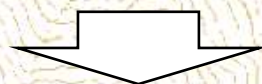
- 水の動き
- 土砂の移動
- 地殻変動
- 火山活動
- (人工改変)

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

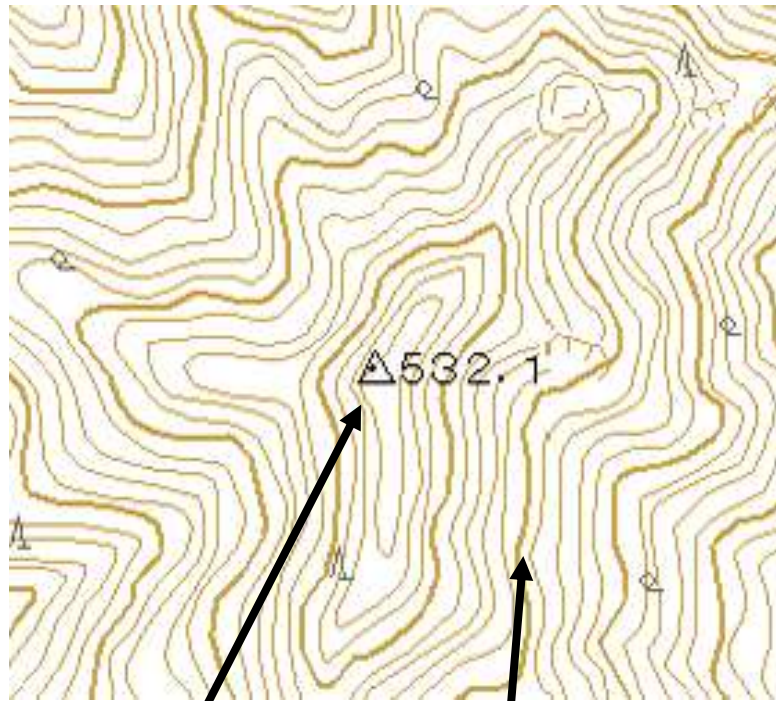
例) 標高、傾斜、曲率、面積、体積、方位、起伏量 など

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



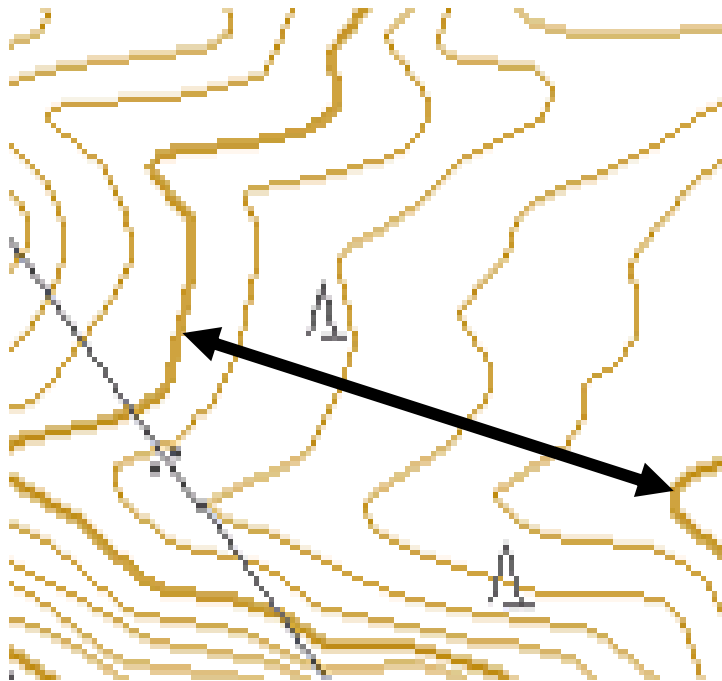
1129.3m

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



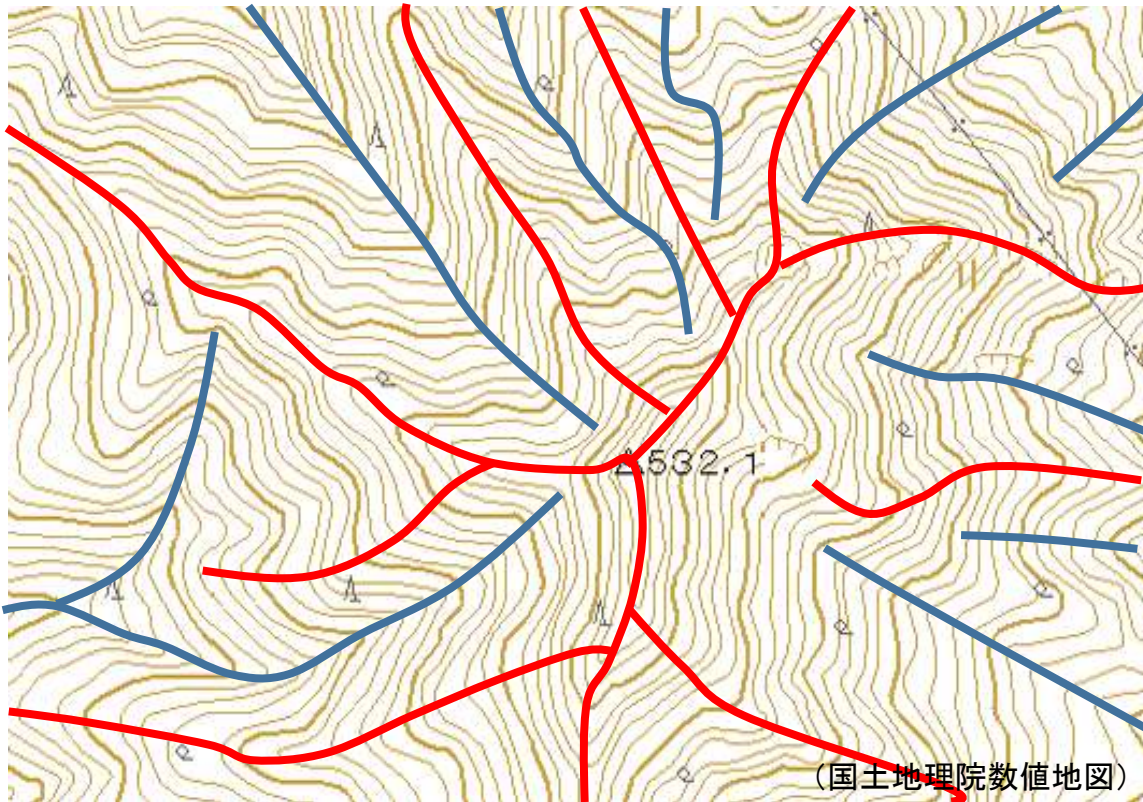
等高線間隔が狭い

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)

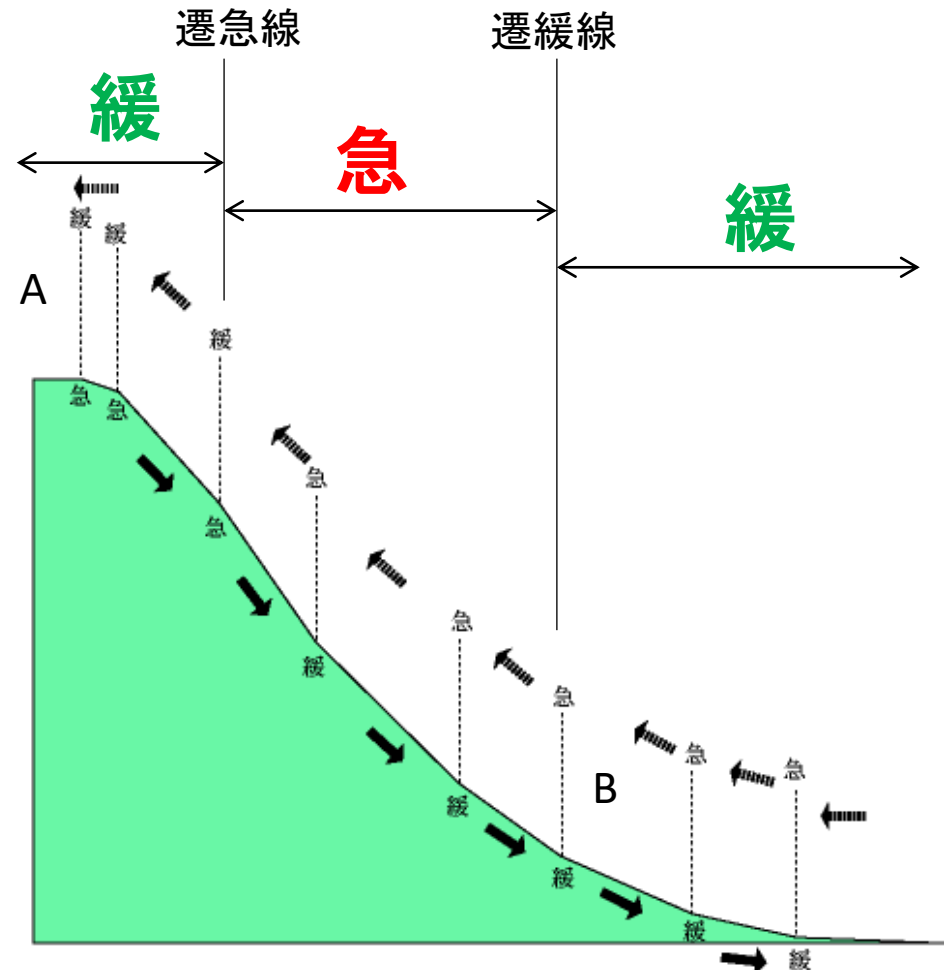
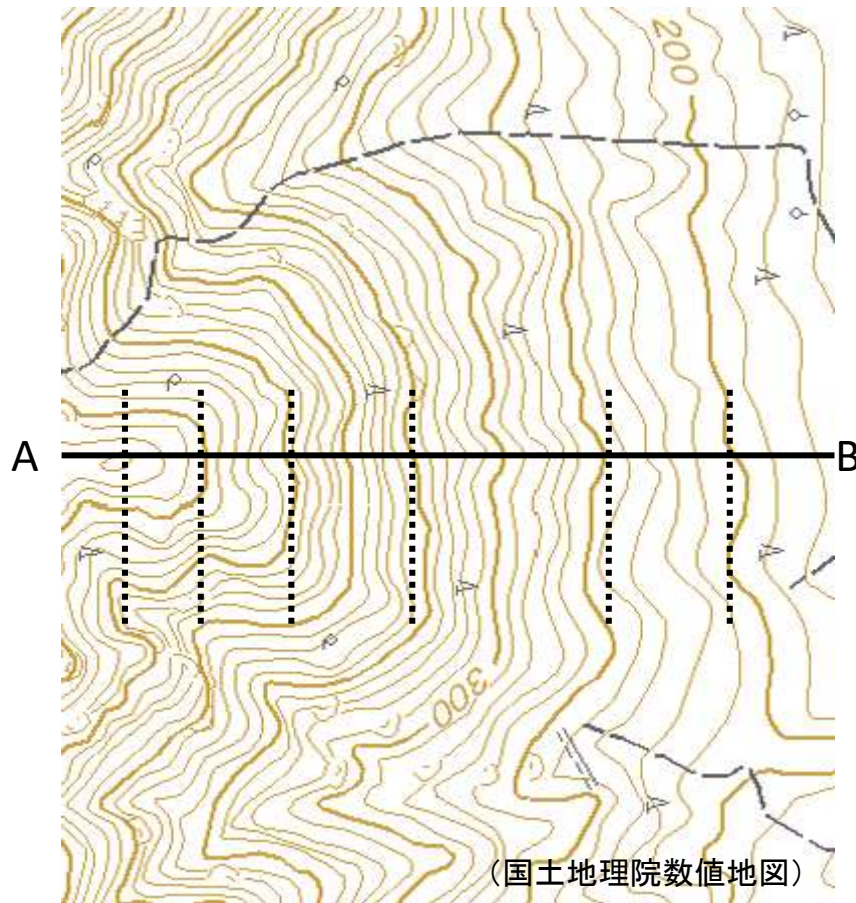
③-1 凹凸・尾根、谷 (平面曲率)



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)

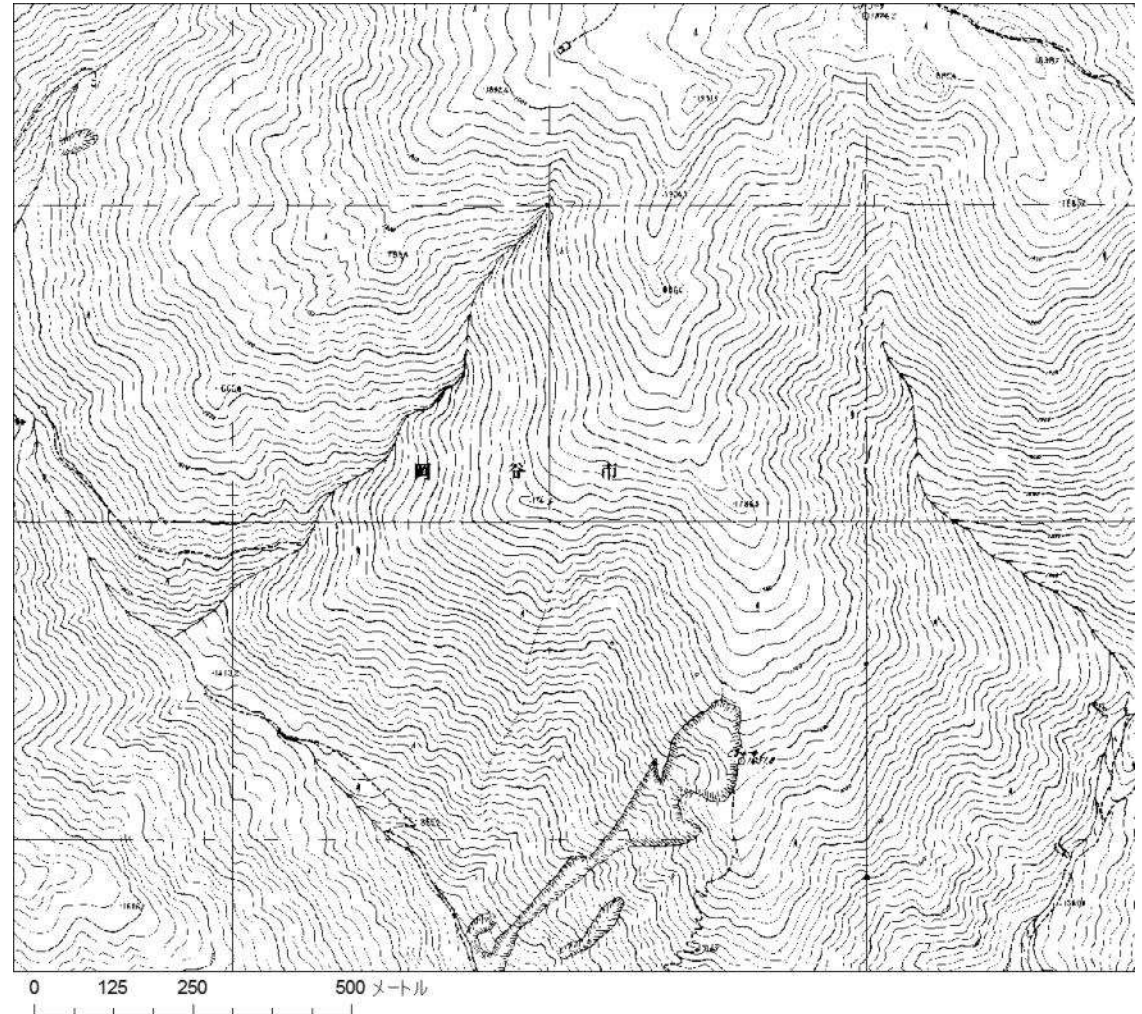


傾斜の変化から、遷急線、遷緩線を読み取る

地形図の情報を読み取る (地形種)

右図に含まれる地形種

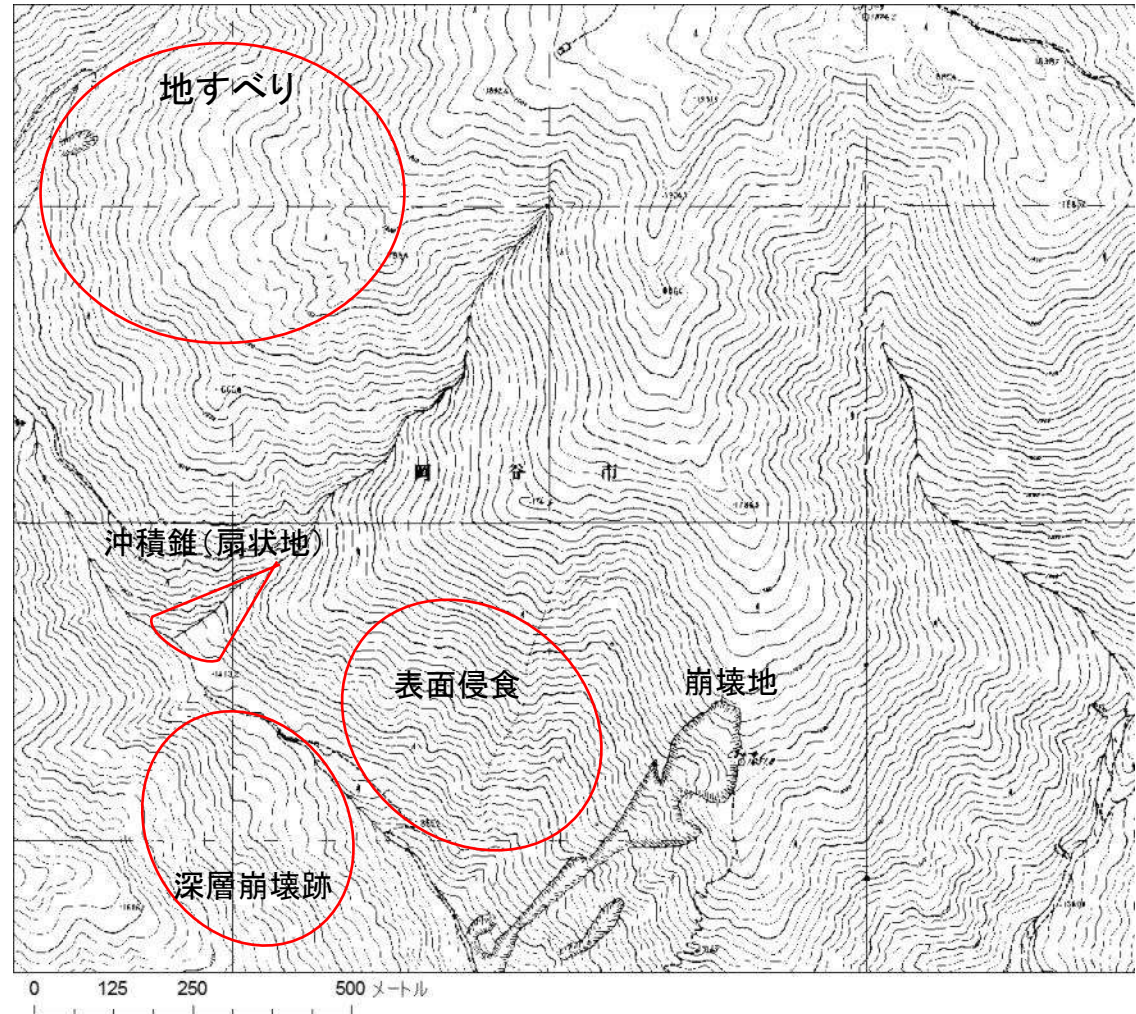
- 地すべり
- 深層崩壊跡
- 沖積錐(扇状地)
- 河道閉塞
- 溪岸侵食
- 表面侵食
- 表層崩壊



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

形だけから地形種を判読することは、

- ・判読者によって結果が異なる
- ・初心者には難しい

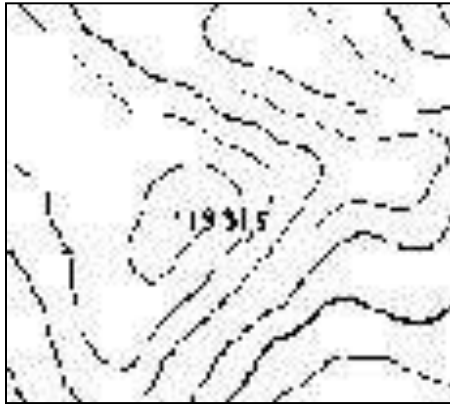


地形判読を容易にするために

CS立体図 を開発

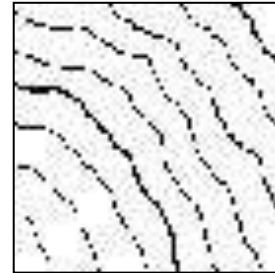
地形図から判読できる 3つの地形量

① 標高

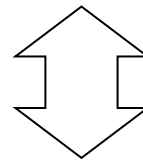


② 傾斜

急:



等高線間隔が狭い



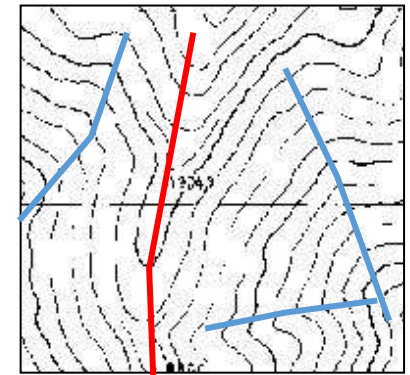
緩:



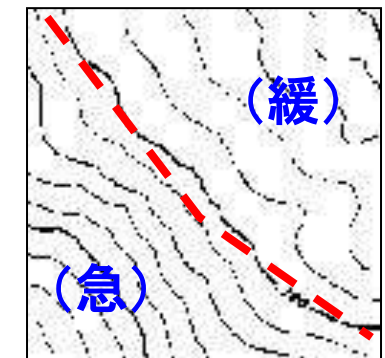
等高線間隔が広い

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



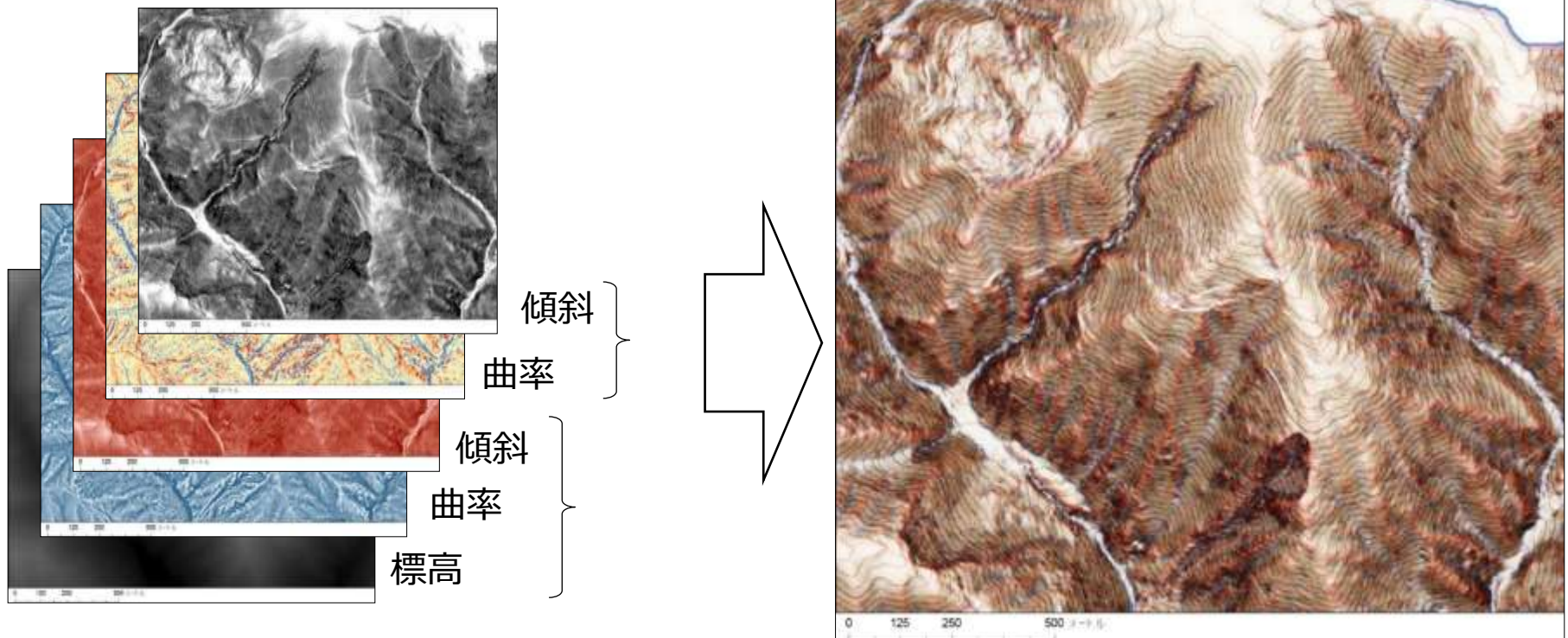
3つの地形量を異なる色調で彩色して透過処理

- ・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

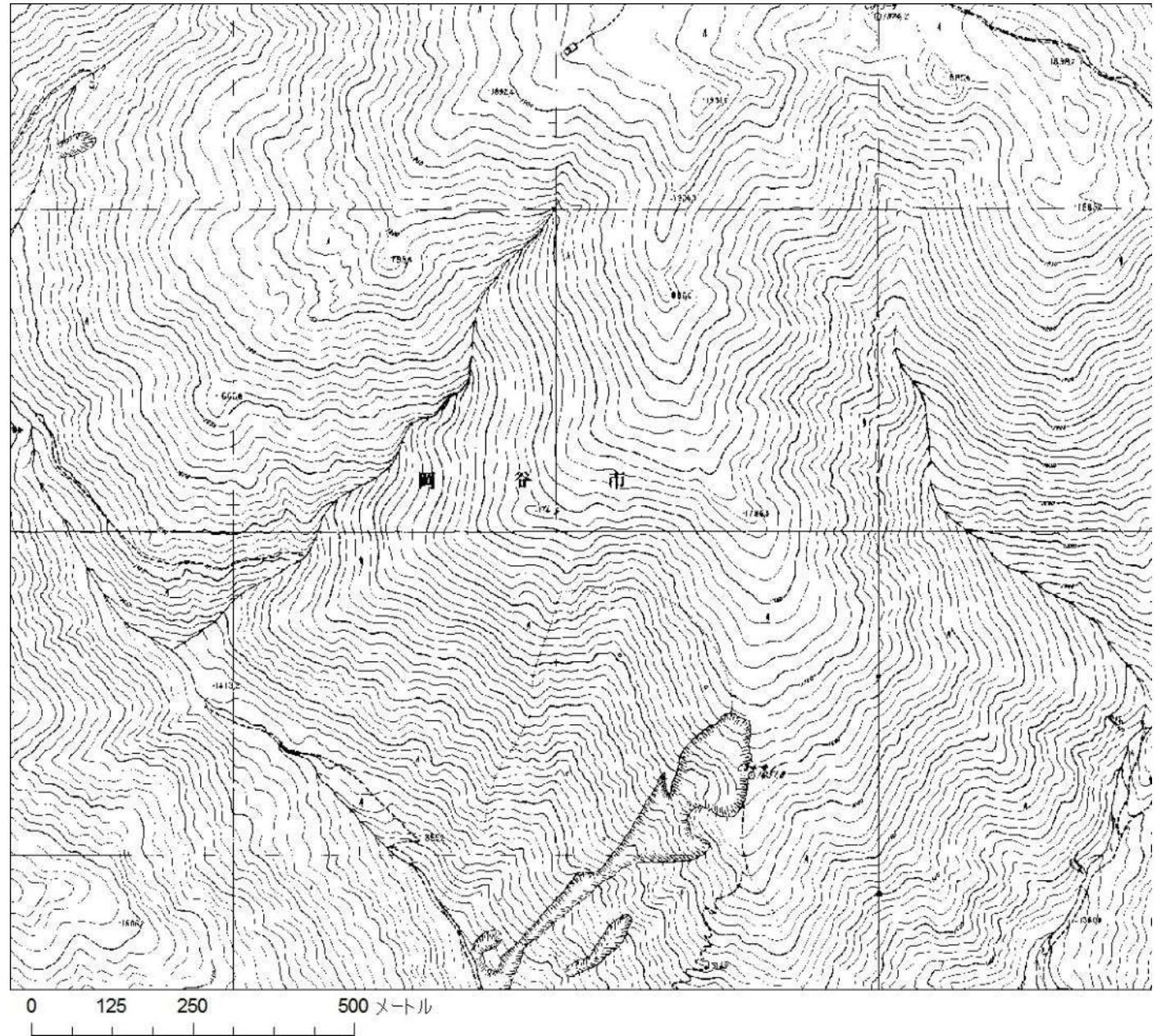
「標高」「傾斜」「曲率」の3つの情報に色を付け、重ねて透過処理することで立体表現した図法

2012年に長野県林業総合センターで考案



「CS」とは、曲率（Curvature）と傾斜（Slope）の頭文字

従来の地形図 (森林基本図)



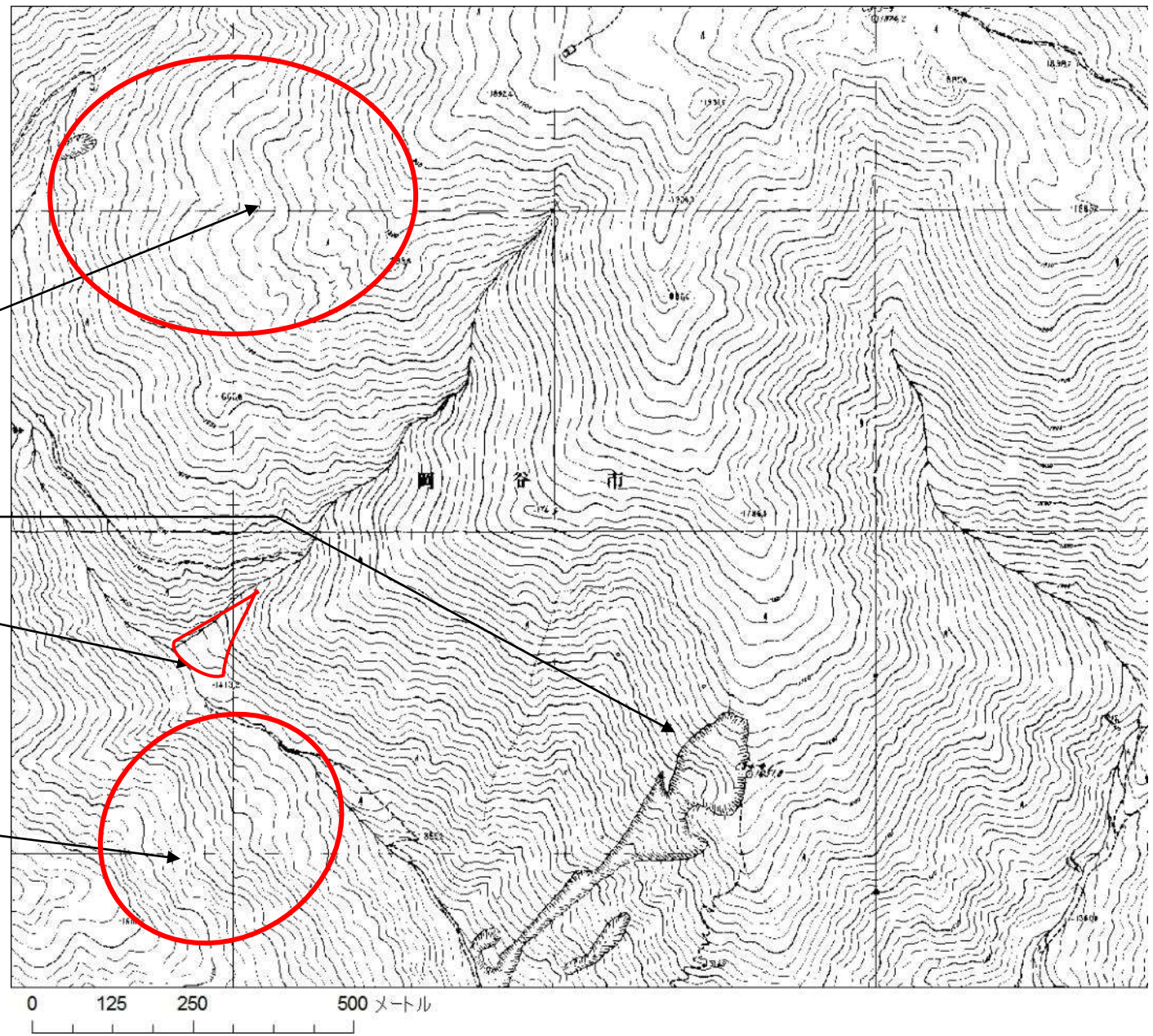
従来の地形図 (森林基本図)

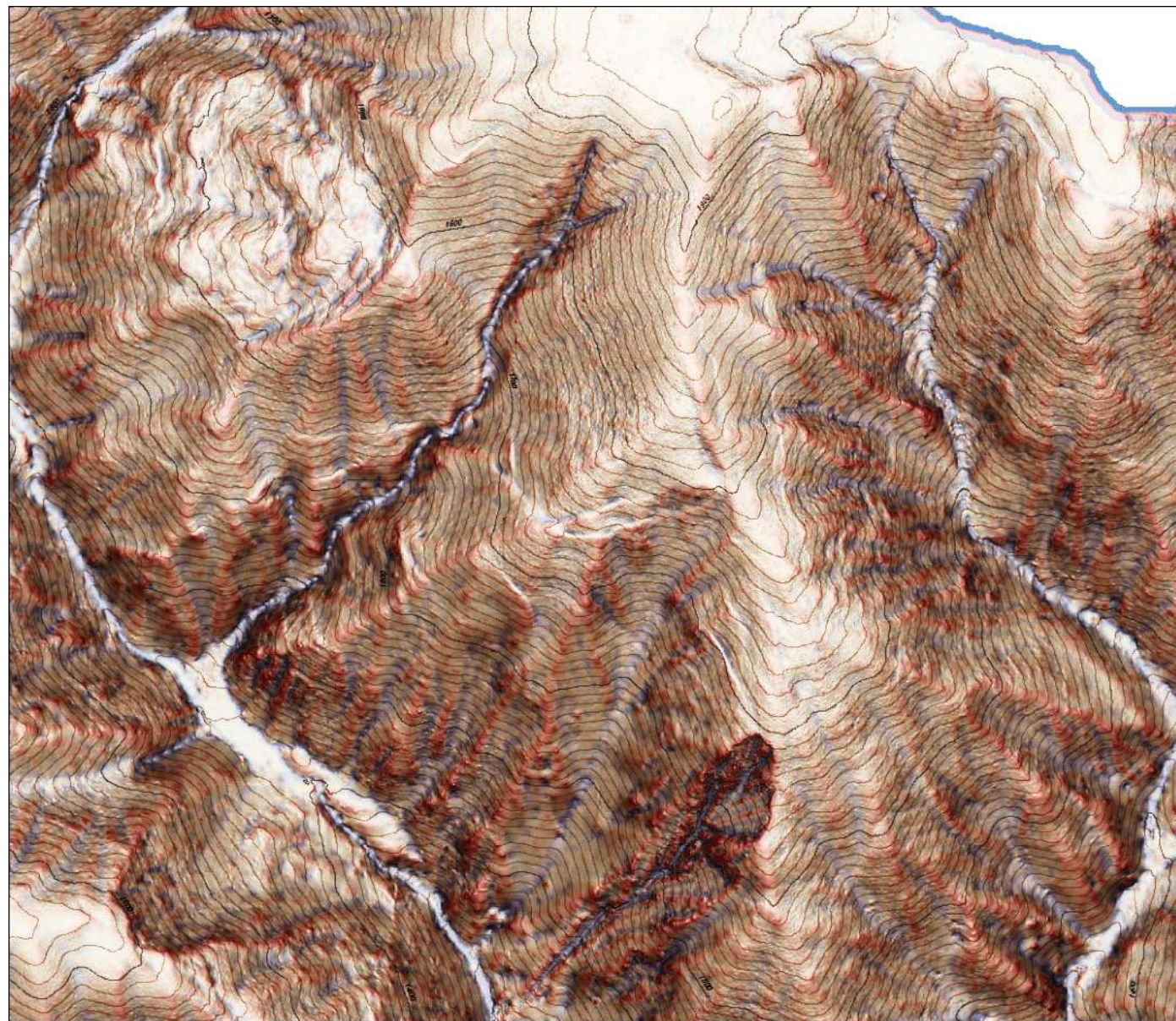
地すべり

崩壊地

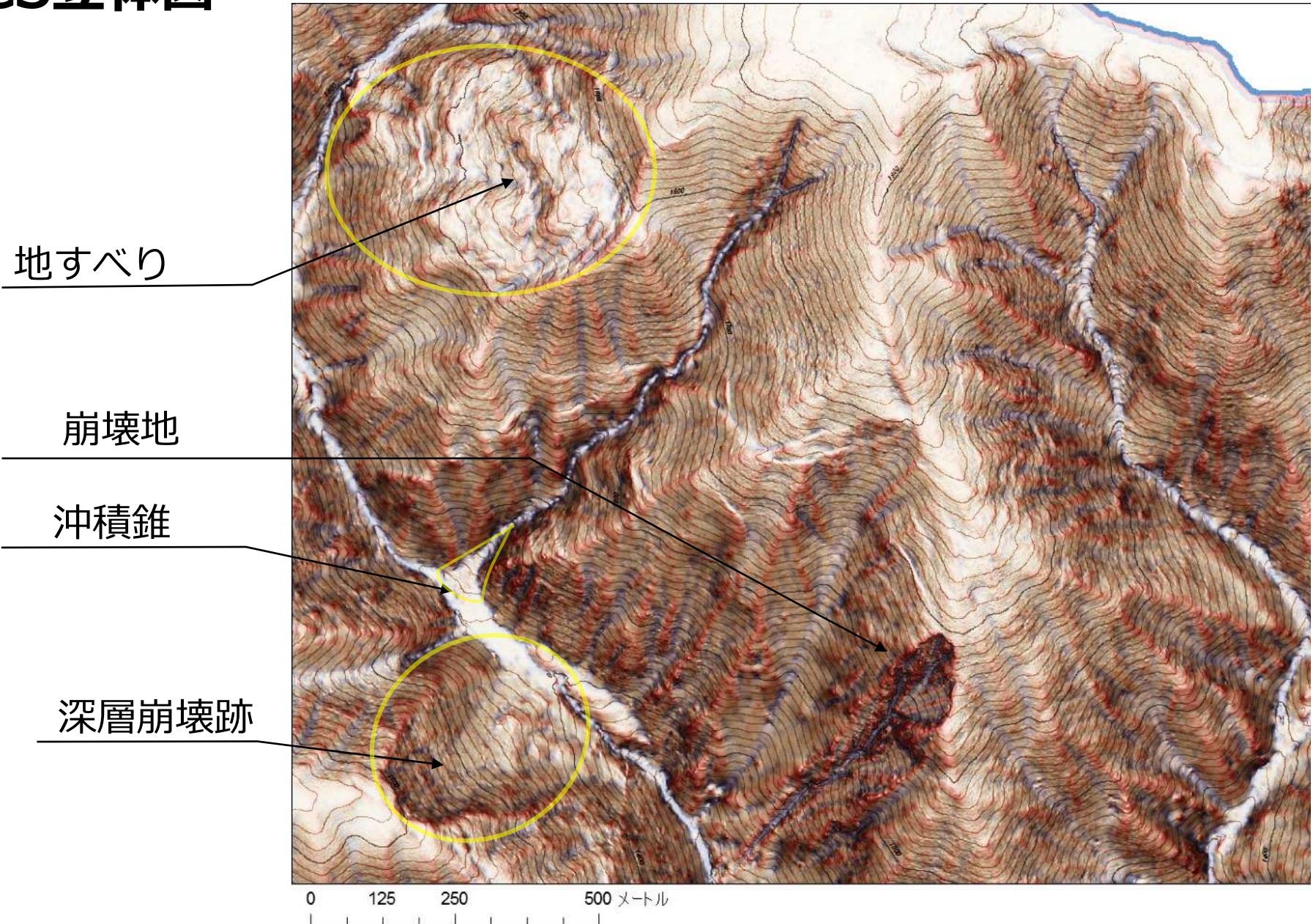
沖積錐

深層崩壊跡



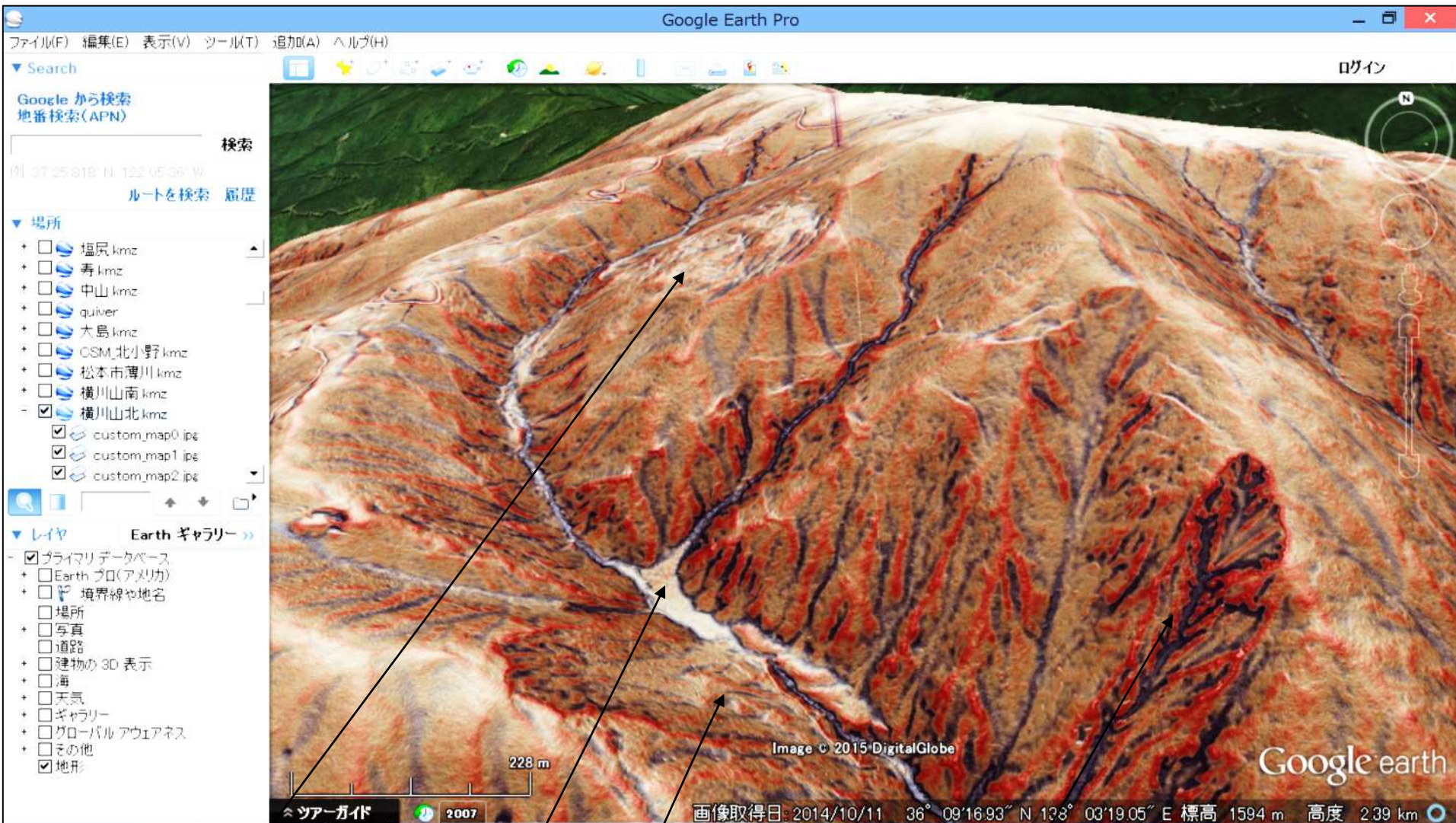


地すべり地形、深層崩壊跡地形などの判読が容易



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



地すべり

沖積錐

深層崩壊跡

崩壊地

GIS等でKMZ形式に変換

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

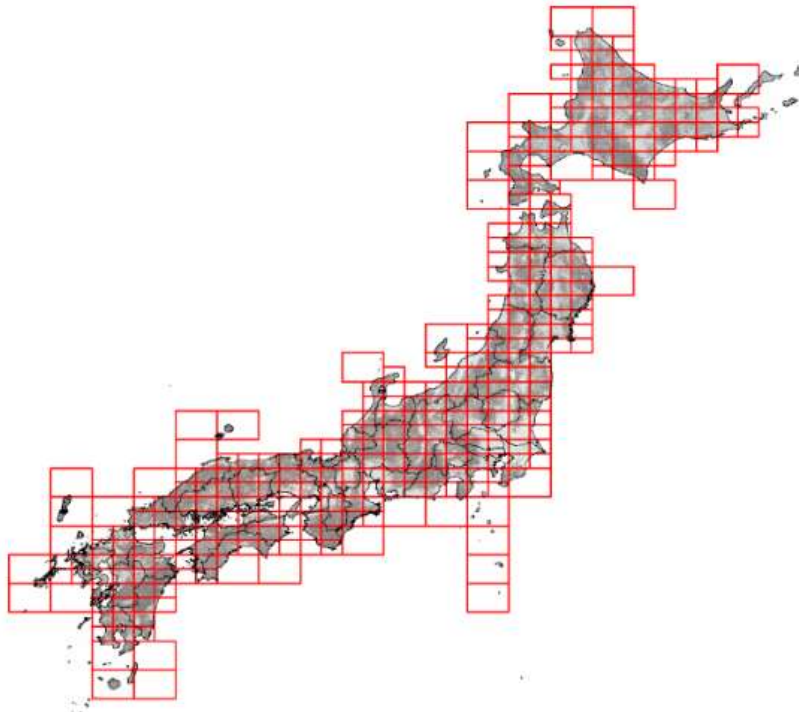
https://www.geospatial.jp/gp_front/



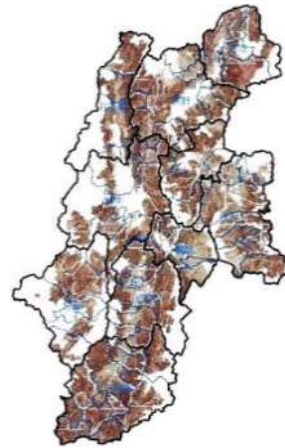
② サイト内で、「CS立体図」と検索



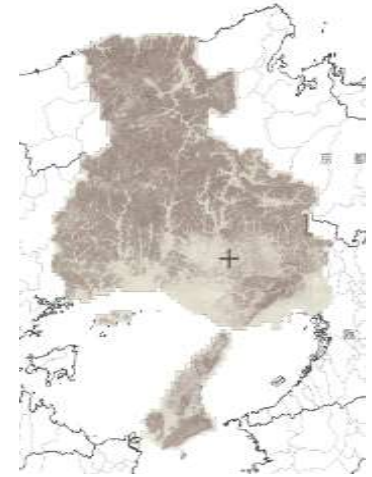
G空間情報センターから公開中のCS立体図



全国（10mメッシュ）



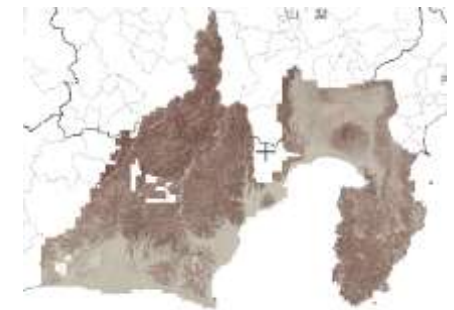
長野県（民有林）



兵庫県



岐阜県



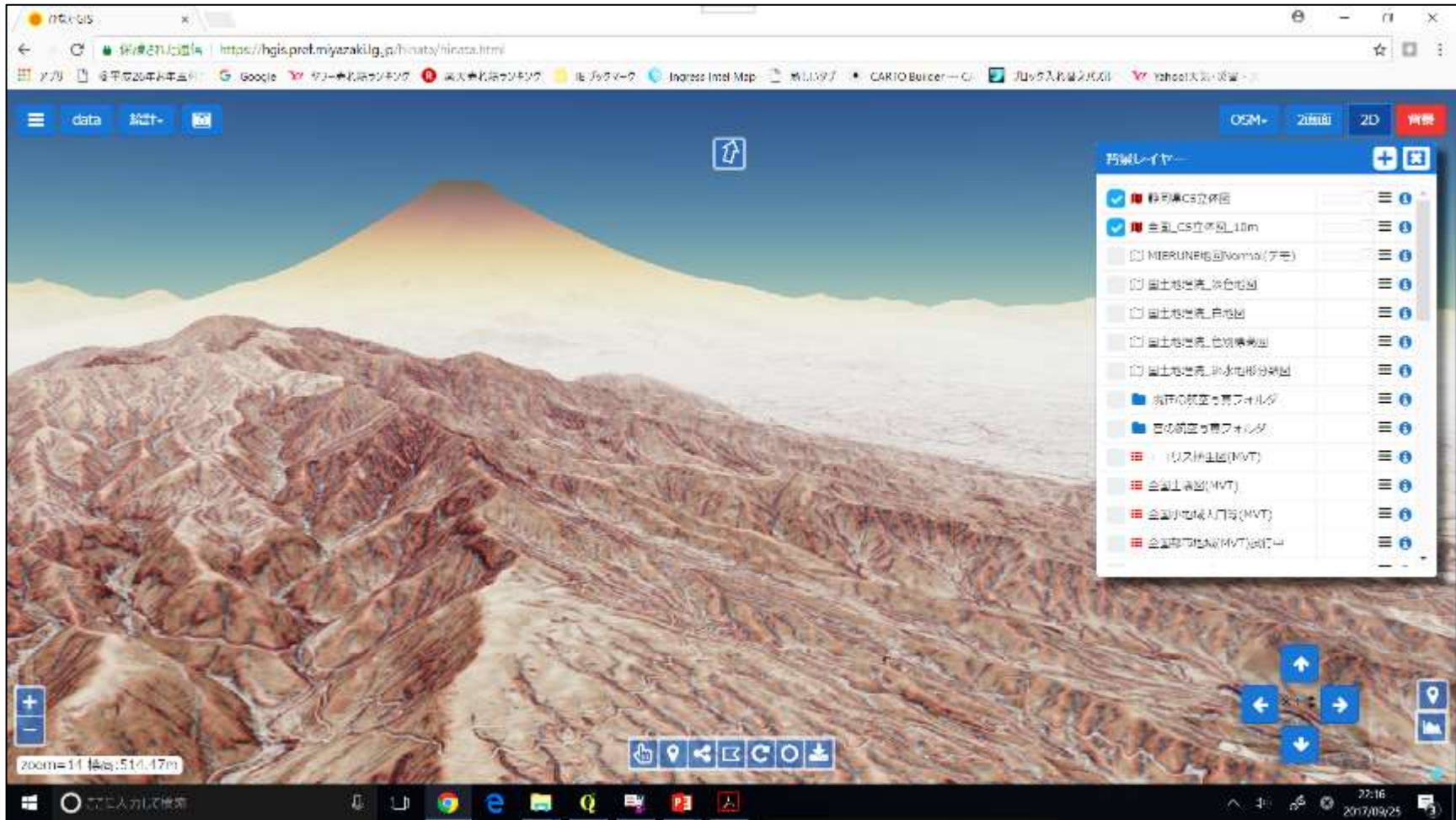
静岡県

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

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

宮崎県のwebサイト「ひなたGIS」のご紹介



全国_C S立体図_10m

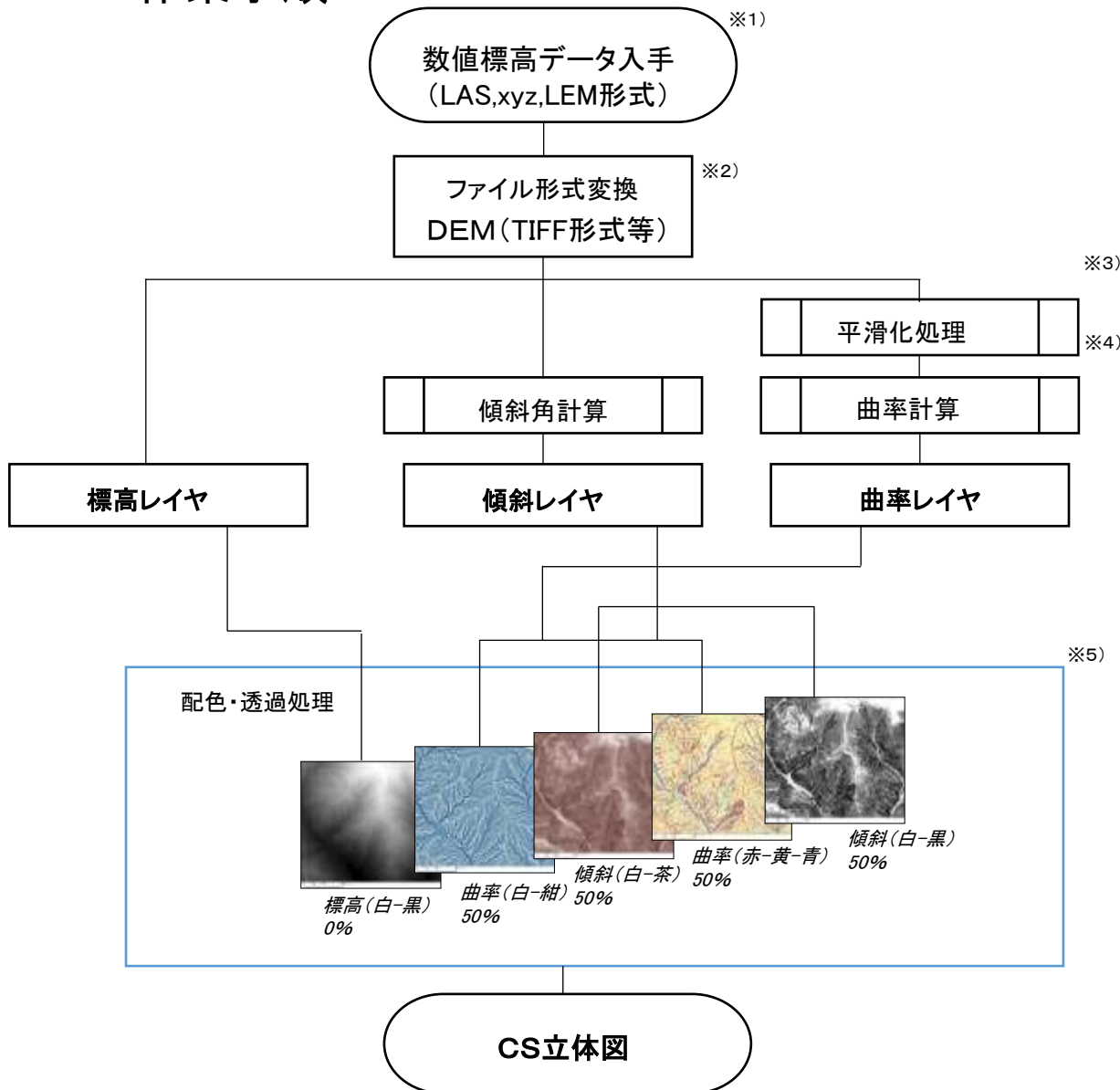


C S立体図_1m

長野県、静岡県、岐阜県、兵庫県

CS立体図の作成方法

作業手順



【解説】

※1) 数值標高データの入手
 ・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)

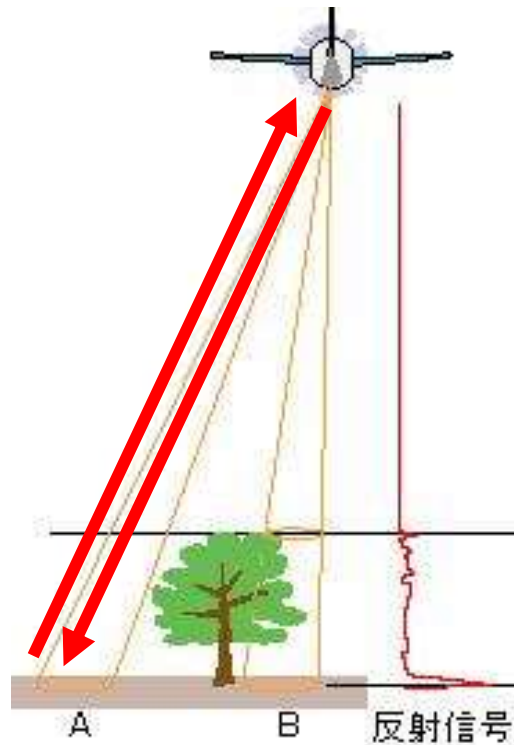
※2) ファイル形式変換
 ・入手できる数值標高データの多くはLAS形式,xyz形式,LEM形式などで、QISでは直接解析できない。TIFF等のラスタ形式に変換する必要がある。

※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、クラックや道路などが強調される。

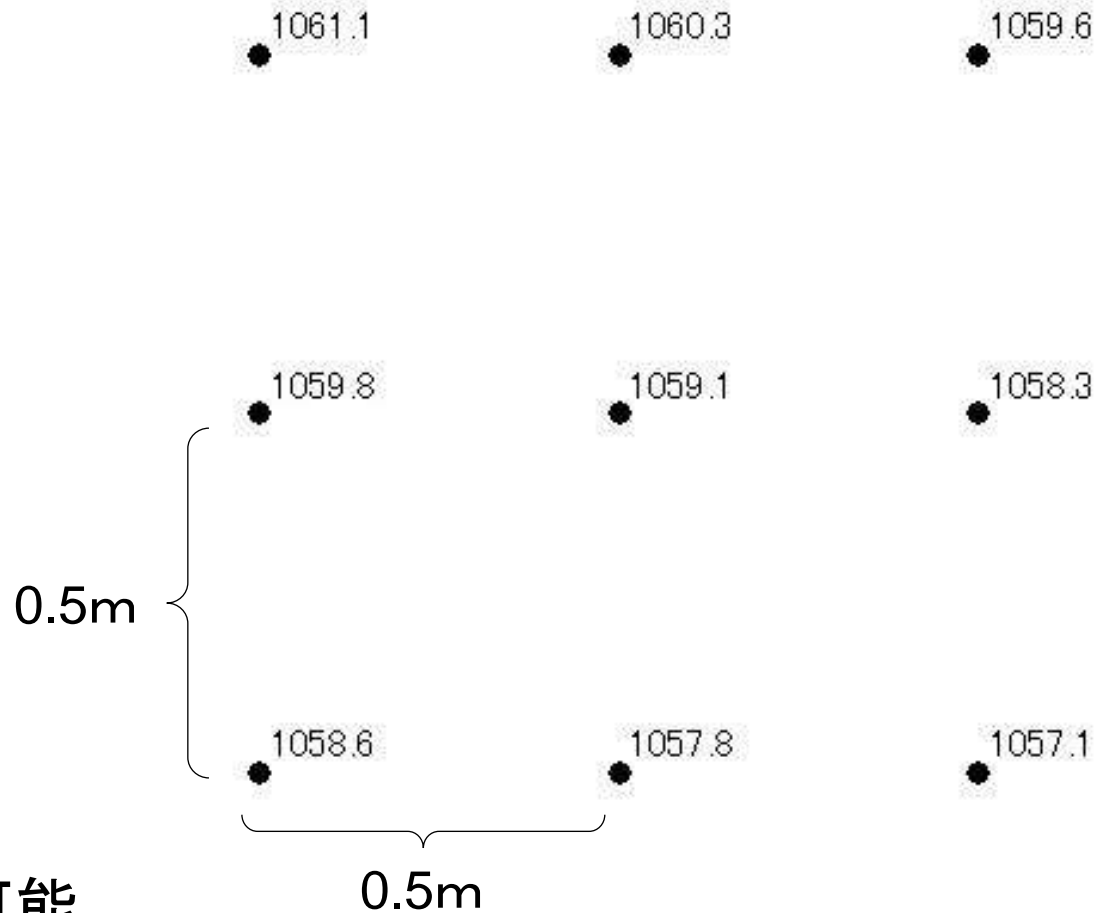
※5) 配色・透過処理
 ・デフォルトは左記設定。用途や、判読したい地形規模に応じて、色調や透過率を調整する。

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年に全県民有林を実施

航空レーザ測量の有無はポータルサイトで確認可能

<https://www.sokugikyo.or.jp/laser/portal/kml/area:2>

航空レーザ測量データポータルサイト

トップへ戻る マニュアル 公益財団法人 日本測量調査技術協会
Association of Precise Survey and Applied Technology

地名・公共施設を検索 レイヤ切替

検索条件 背景

- 2020年度
- 2019年度
- 2018年度
- 2017年度
- 2016年度
- 2015年度
- 2014年度
- 2013年度
- 2012年度
- 2011年度
- 2010年度
- 2009年度
- 2008年度
- 2007年度
- 2006年度

20 km 地理院タイル

Copyright © 2013 - 2022 ASSOCIATION OF PRECISE SURVEY & APPLIED TECHNOLOGY. All Rights Reserved.

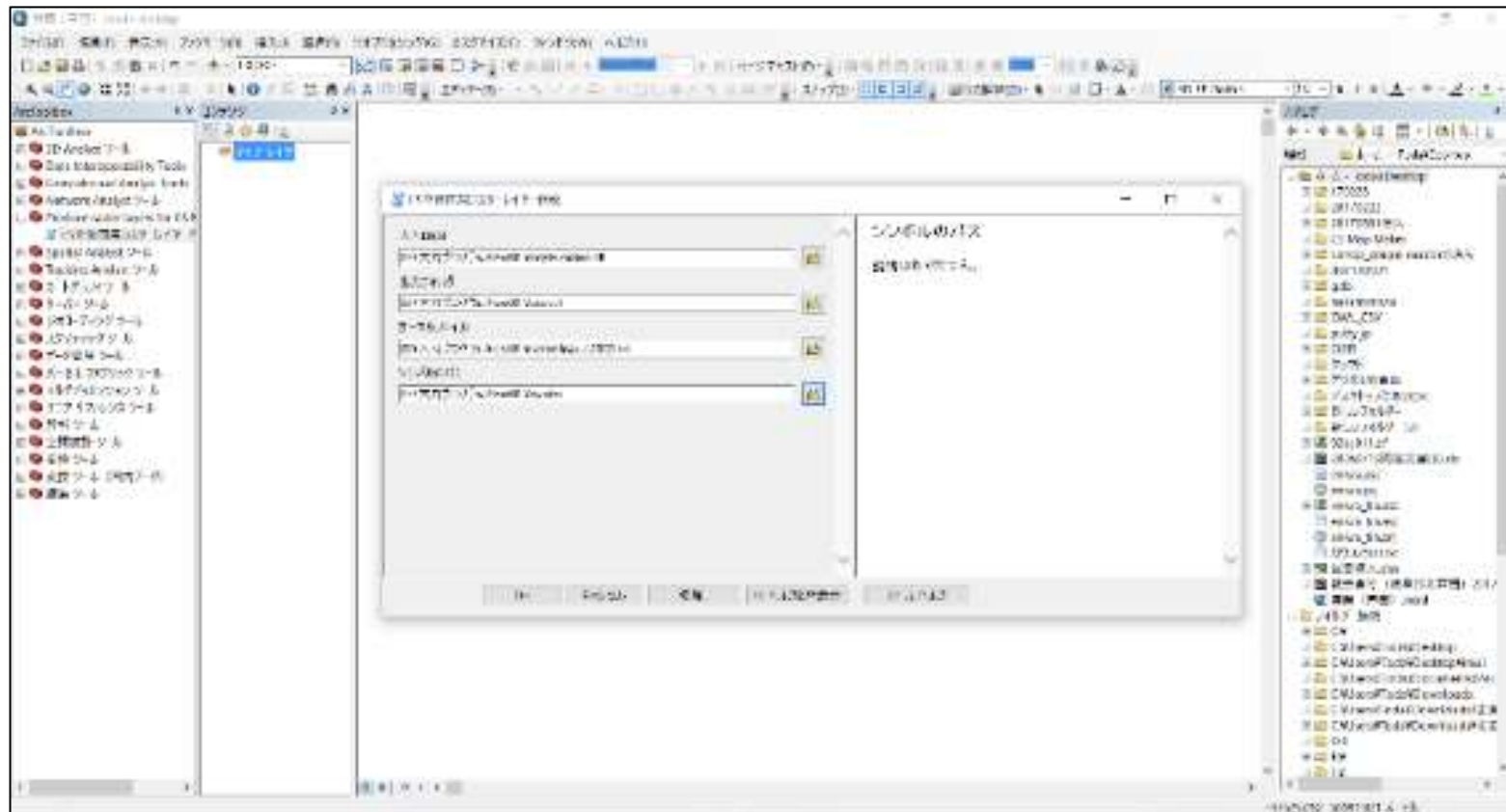
宮城県の航空レーザ測量実施範囲

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)

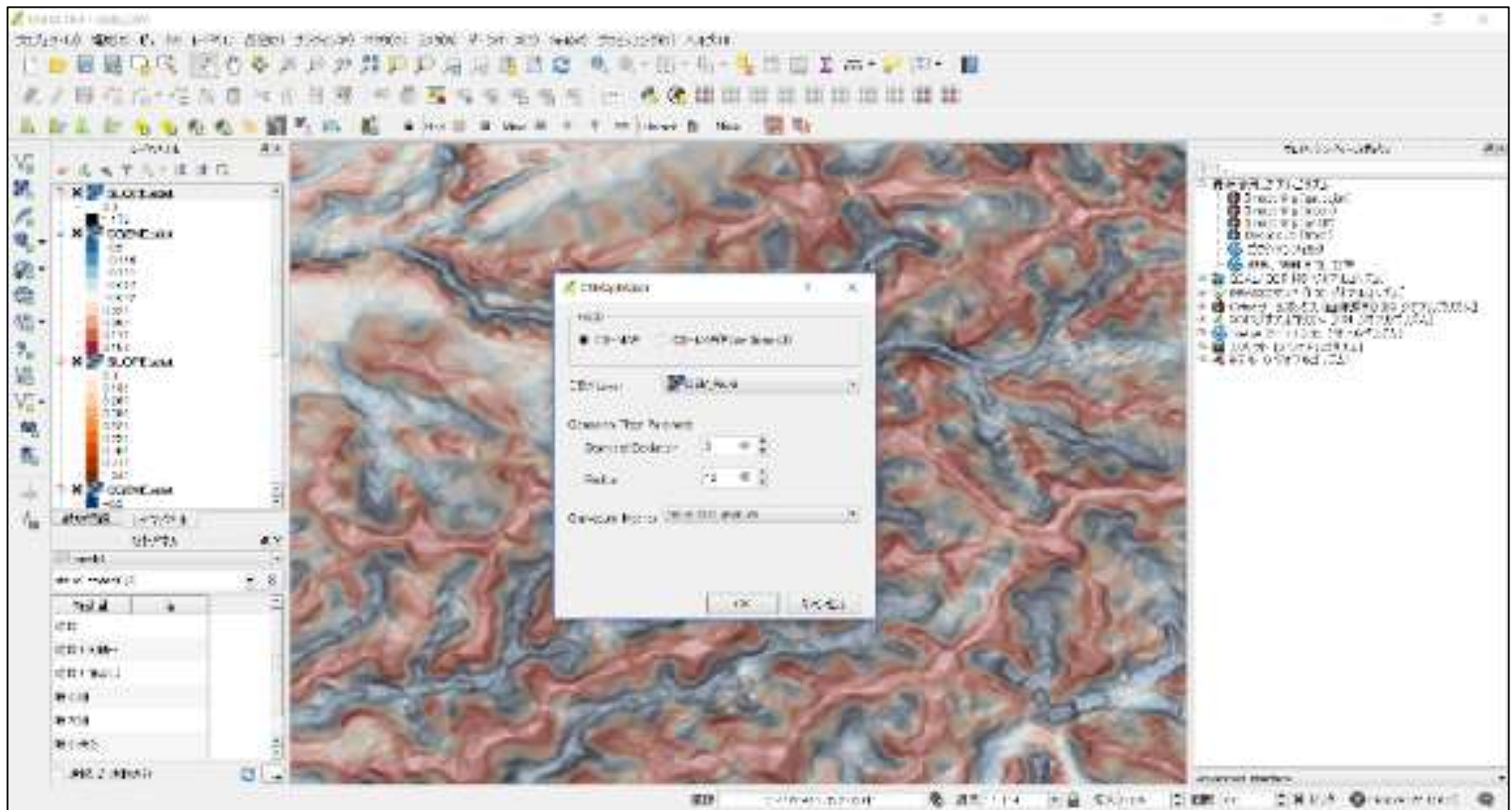
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/csmapmaker>



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

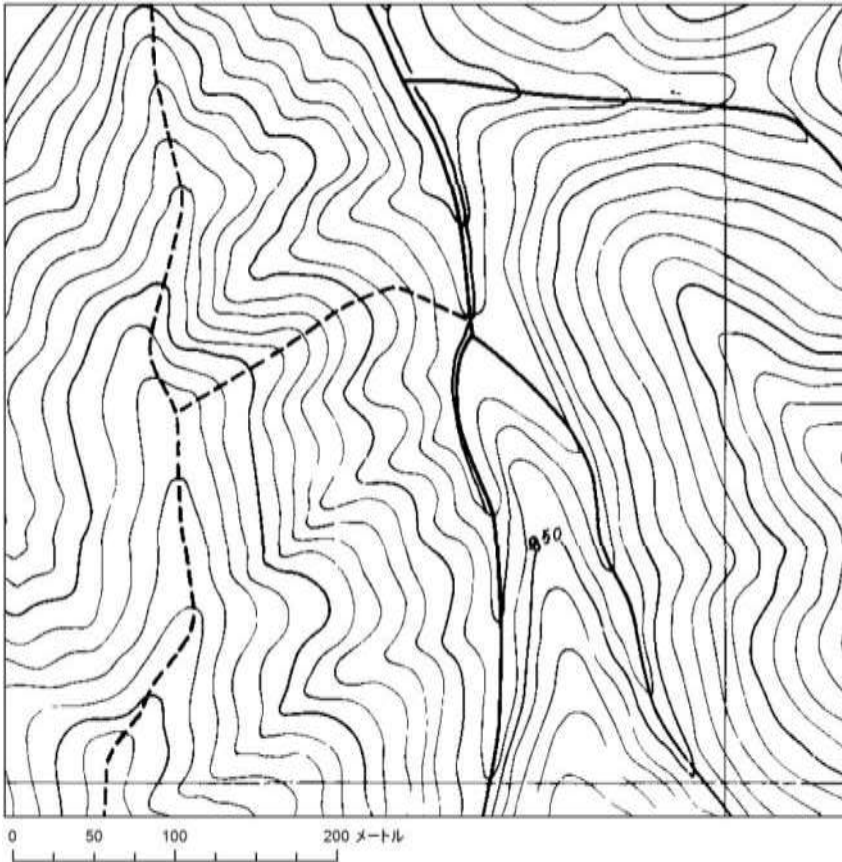
(デモサイト)

ここまでのポイント

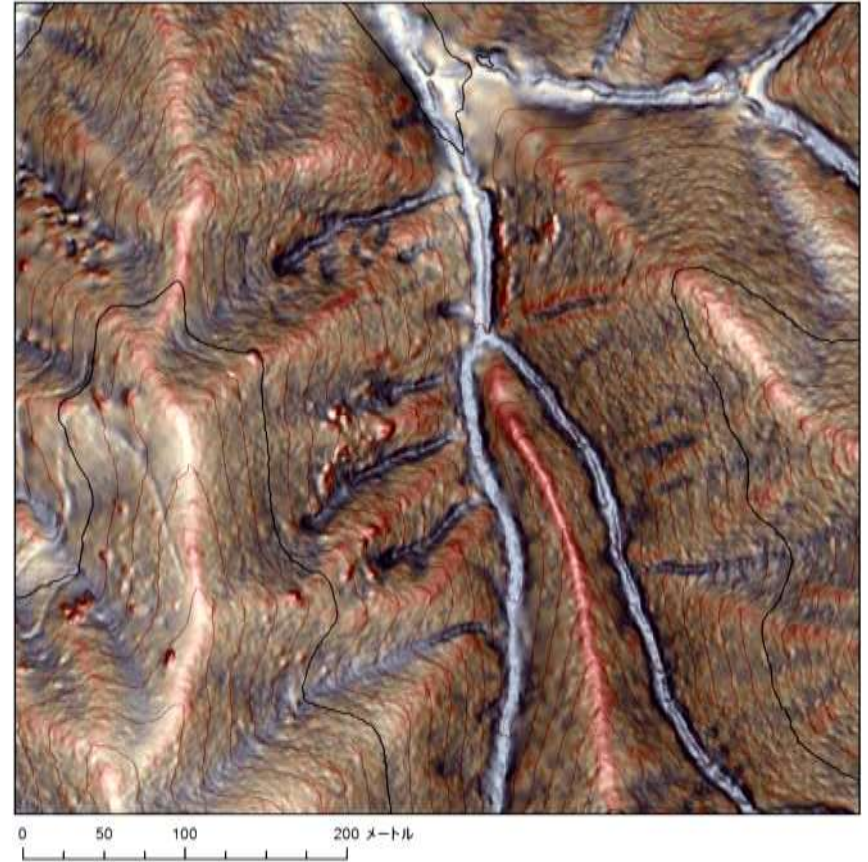
- CS立体図は「**標高**」「**傾斜**」「**曲率**」の合成
→だから、地形判読に適する
- CS立体図は「**地形種**」の判読を容易にする
- CS立体図は**G空間情報センター**からダウンロード
- **全国 10 m、長野県、岐阜県、静岡県、兵庫県**は公開
- 「**ひなたGIS**」を活用
- 各種**自動作成ツール**あり

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

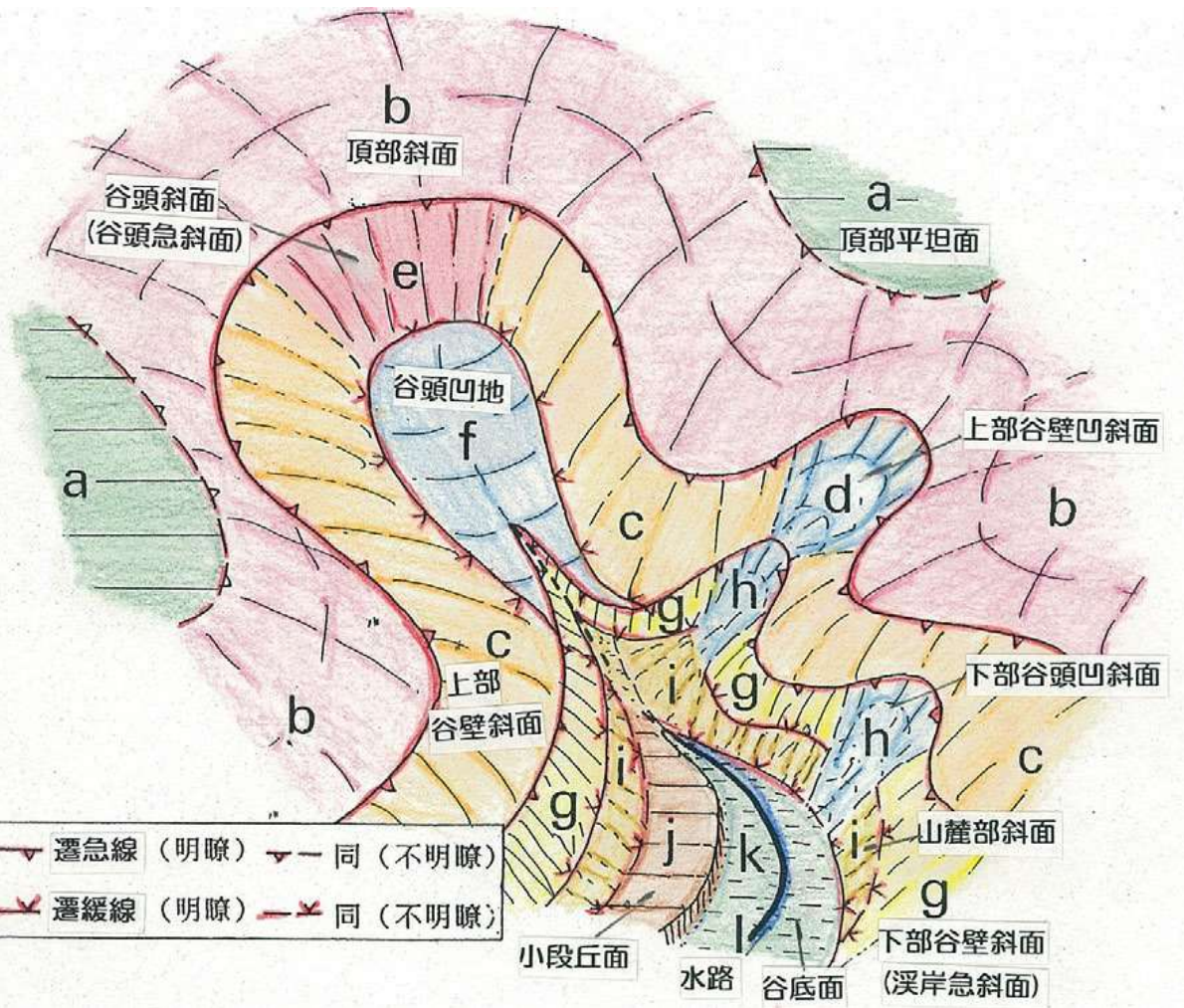


CS立体図

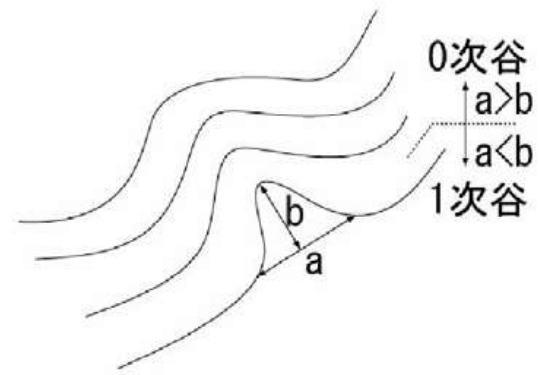
1. 尾根(凸地)は赤、谷(凹地)は青
2. 急傾斜地は暗、緩傾斜地は明

0次谷（侵食前線）

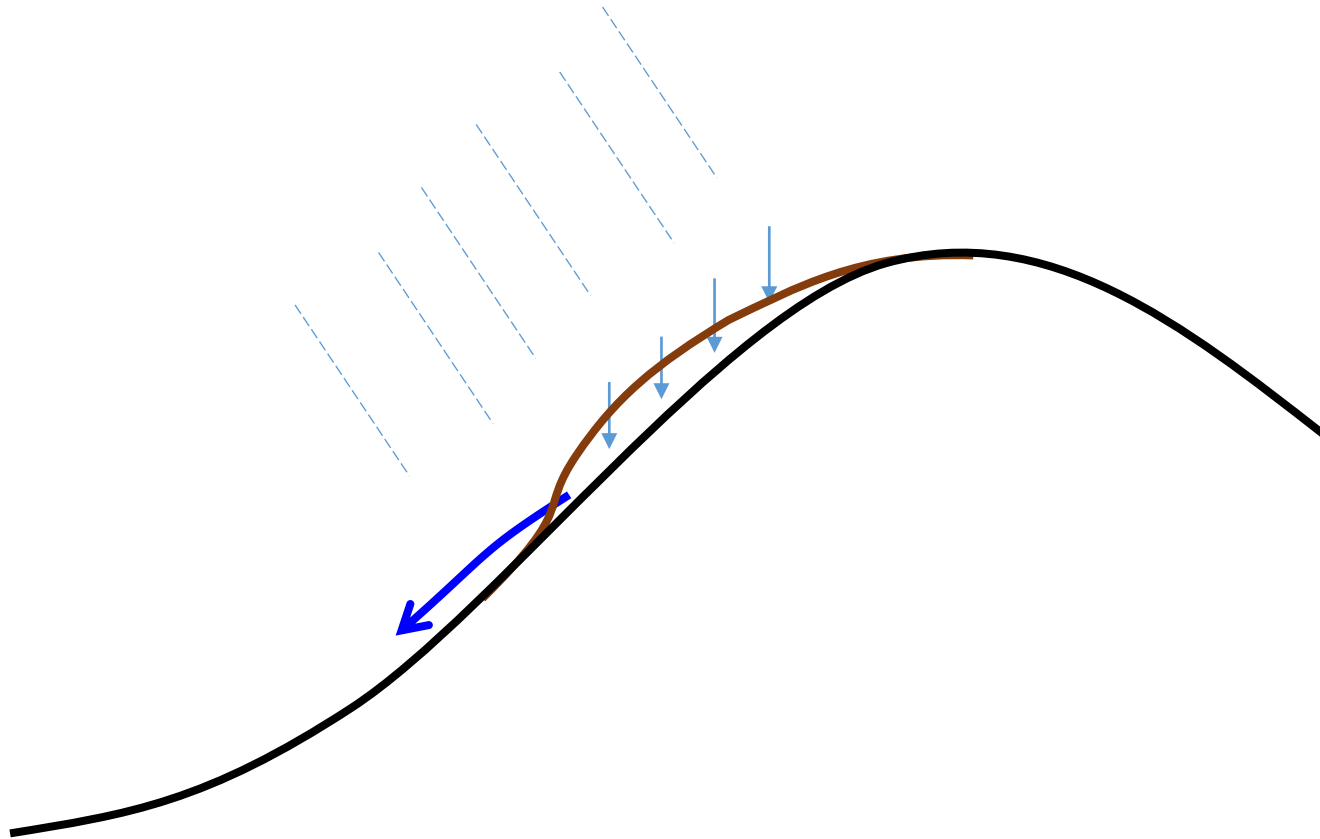
0次谷（侵食前線）



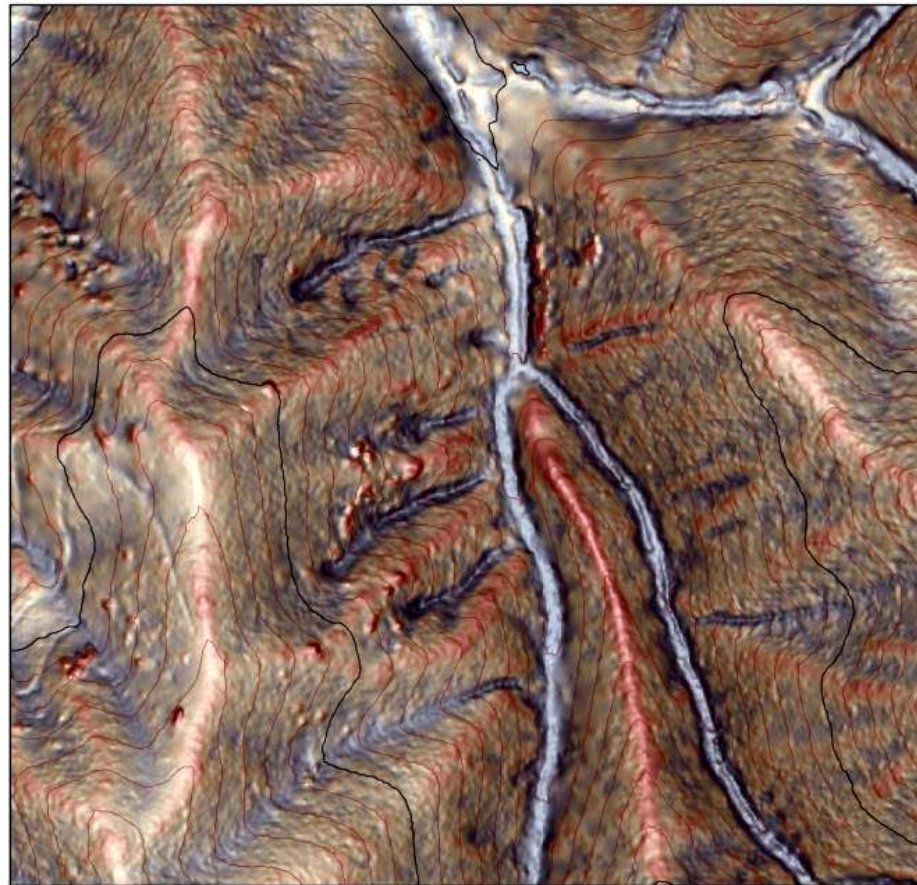
- ・1次谷流域より1オーダー下の流域
- ・表層崩壊の発生源



0次谷（侵食前線）



0次谷（侵食前線）

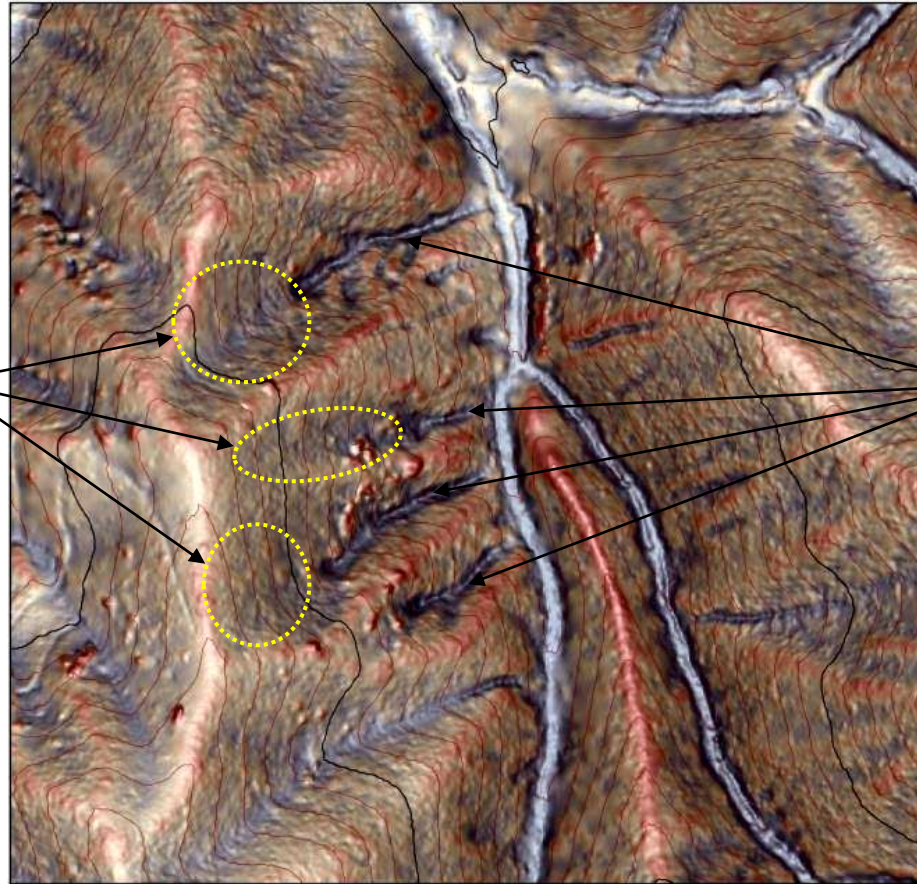


水により侵食が進んだ沢は濃い青
0次谷は薄い青

0次谷（侵食前線）

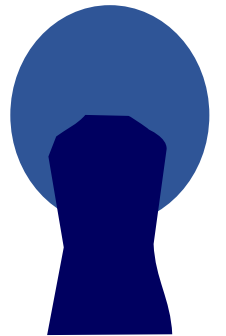
これから侵食される
凹地形
（= 0次谷）

（次の大雨で崩壊するかも
もしれない）

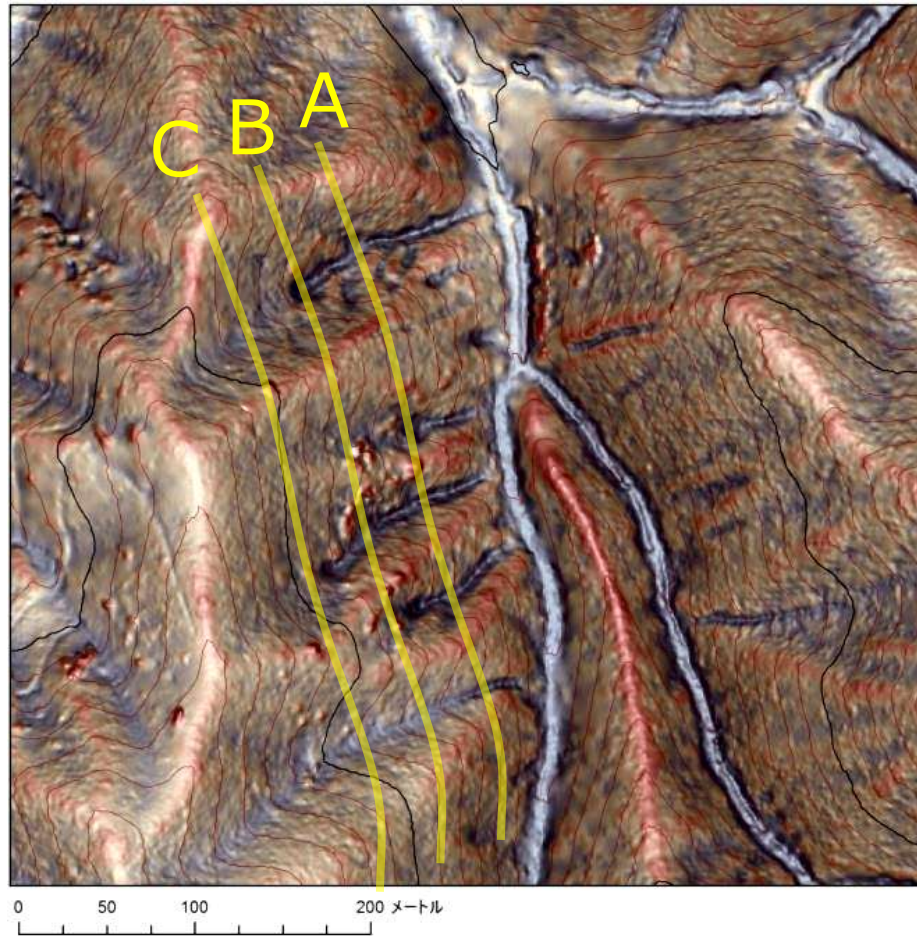


水により侵食された沢
（= 1次谷）

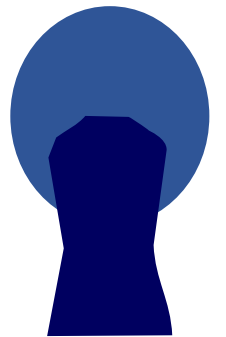
水により侵食が進んだ沢は濃い青
0次谷は薄い青



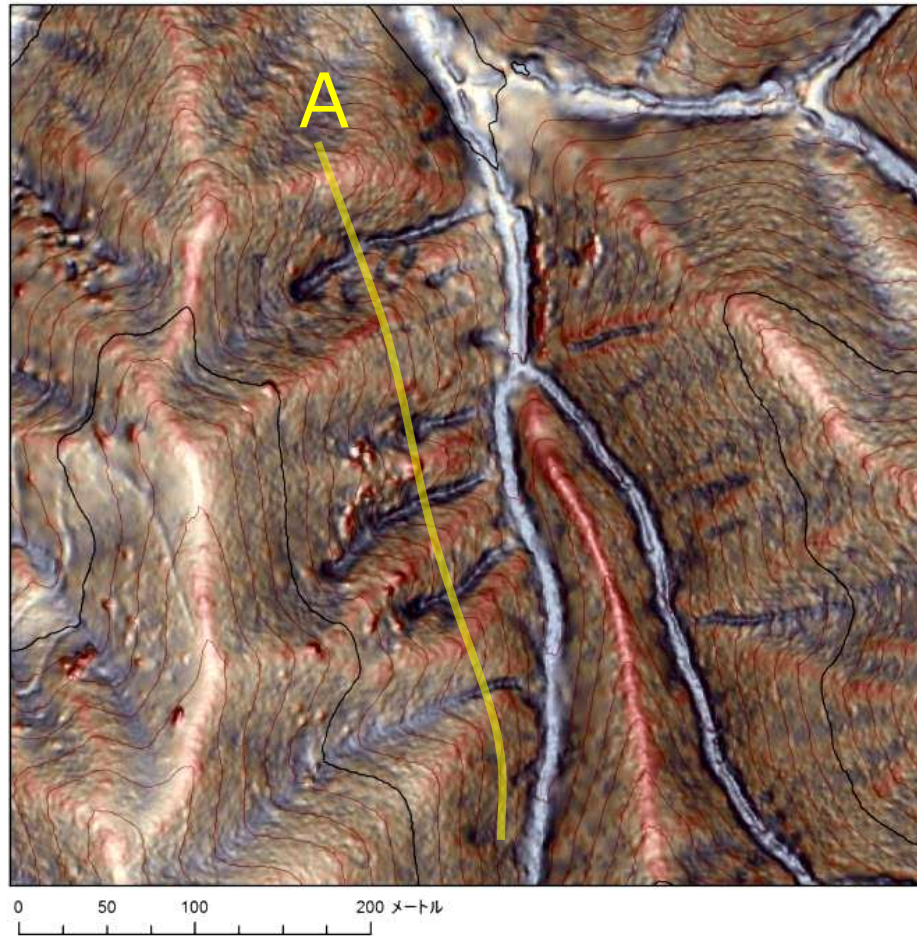
0次谷（侵食前線）



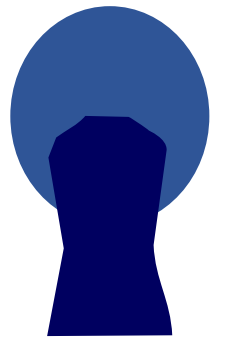
どこに道を開設しますか？



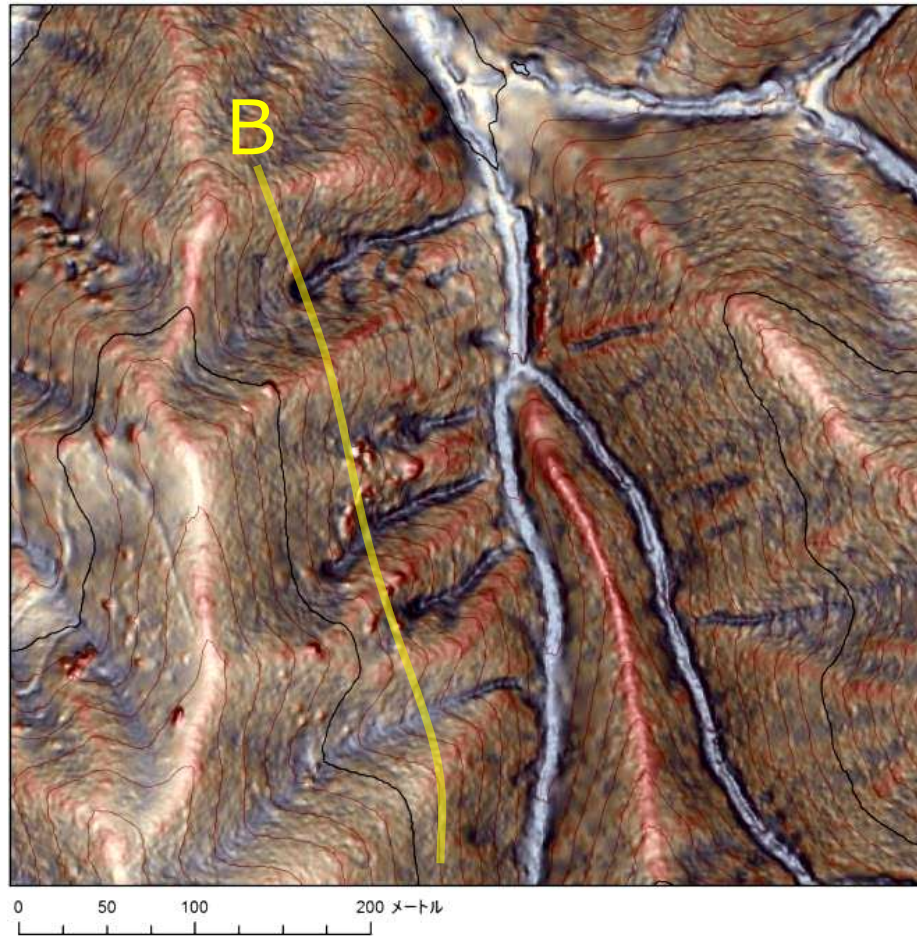
0次谷（侵食前線）



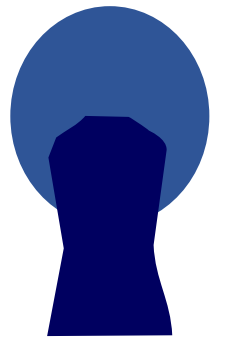
どこに道を開設しますか？



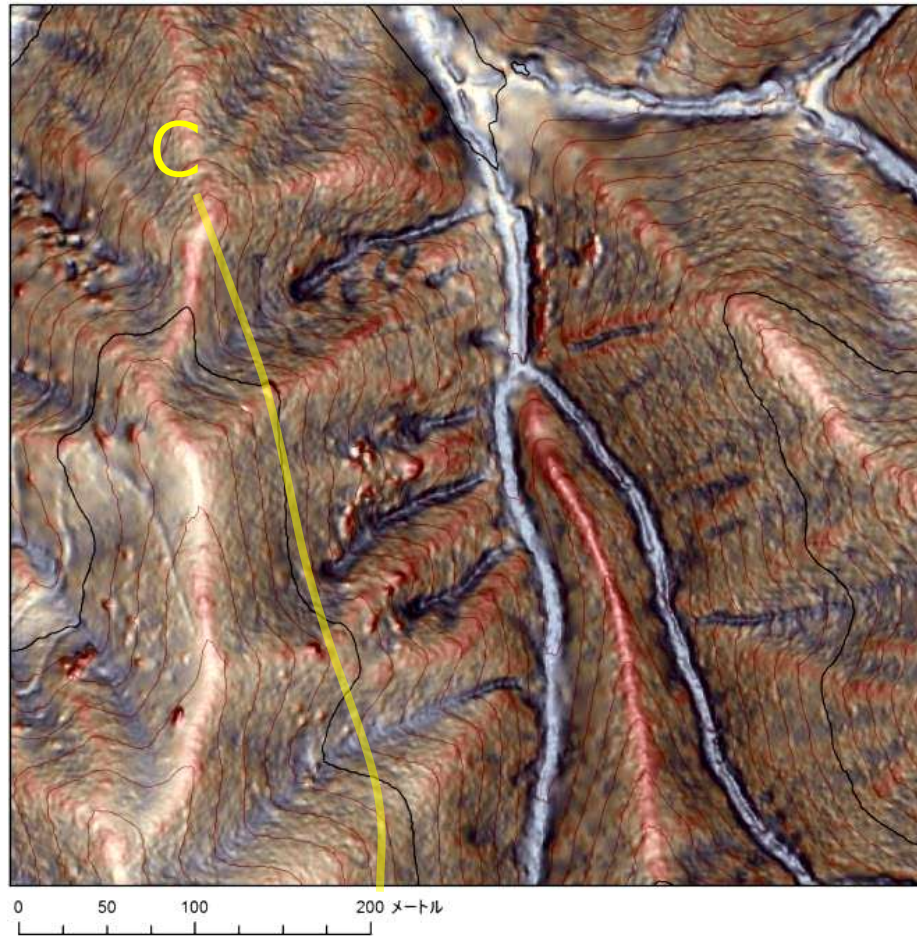
0次谷（侵食前線）



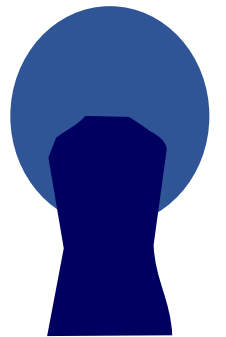
どこに道を開設しますか？



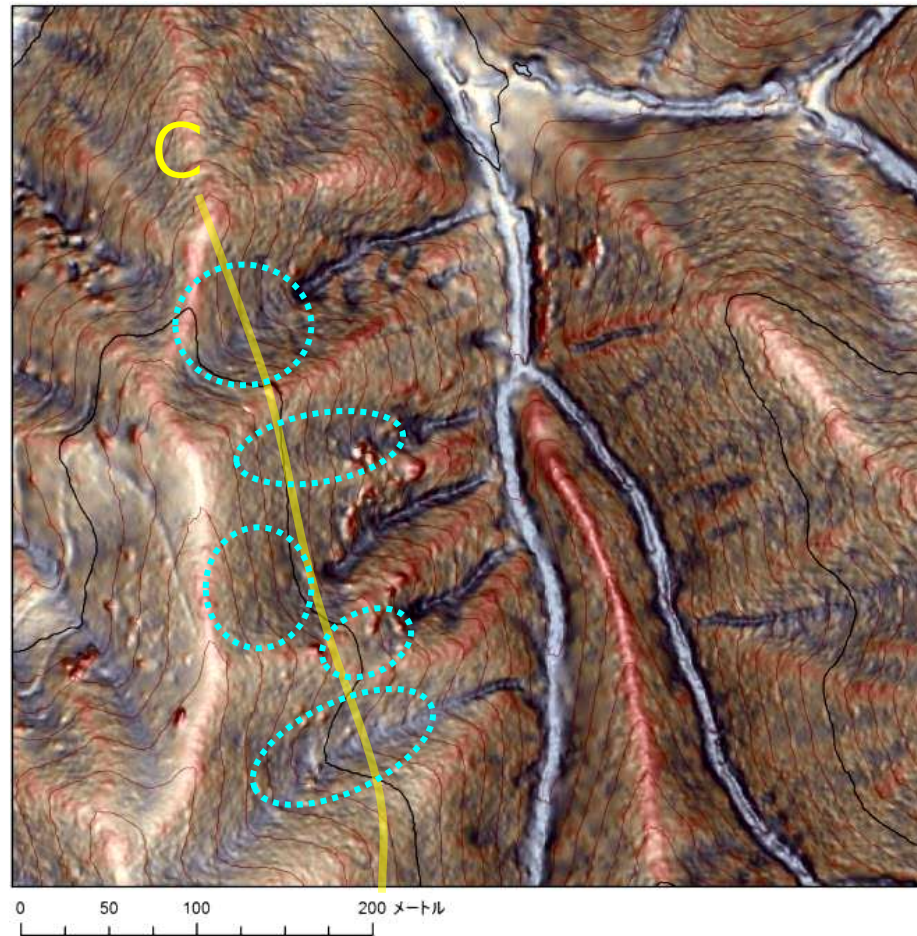
0次谷（侵食前線）



どこに道を開設しますか？

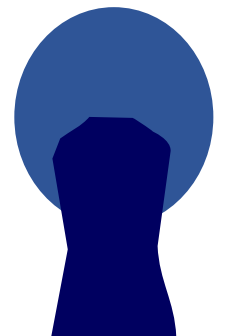


0次谷（侵食前線）

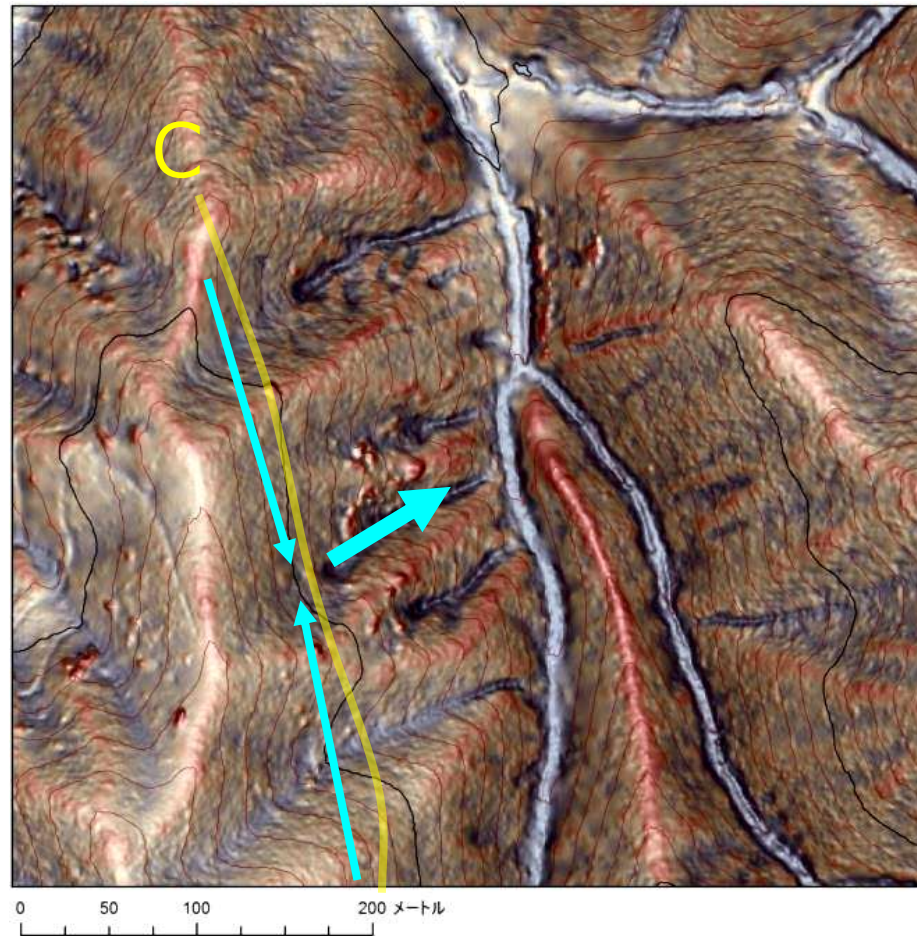


横断排水をどこに設置しますか？

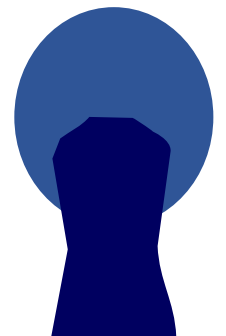
→基本は、谷ごとに細目に排水



0次谷（侵食前線）

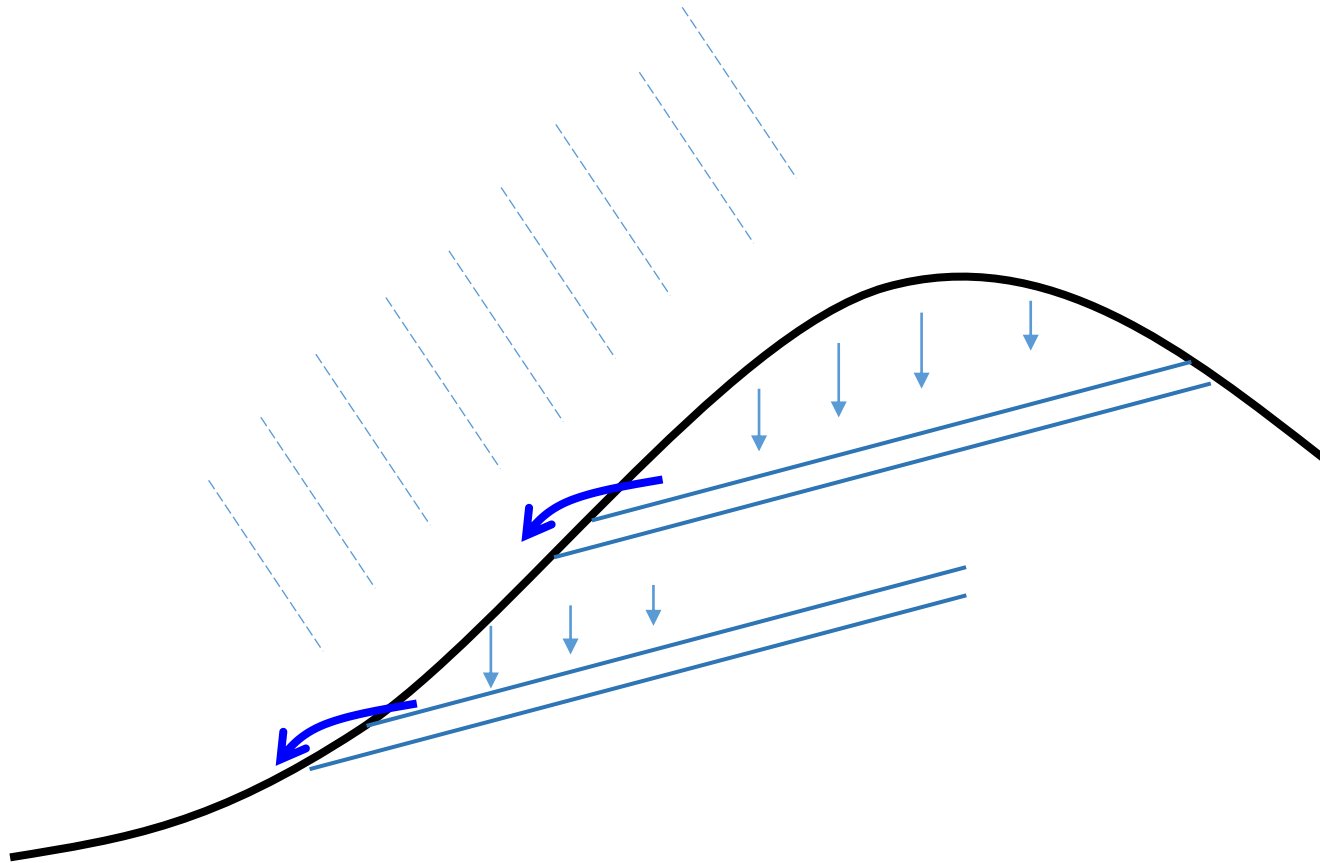


横断排水を1箇所集中させると、侵食速度が速まる



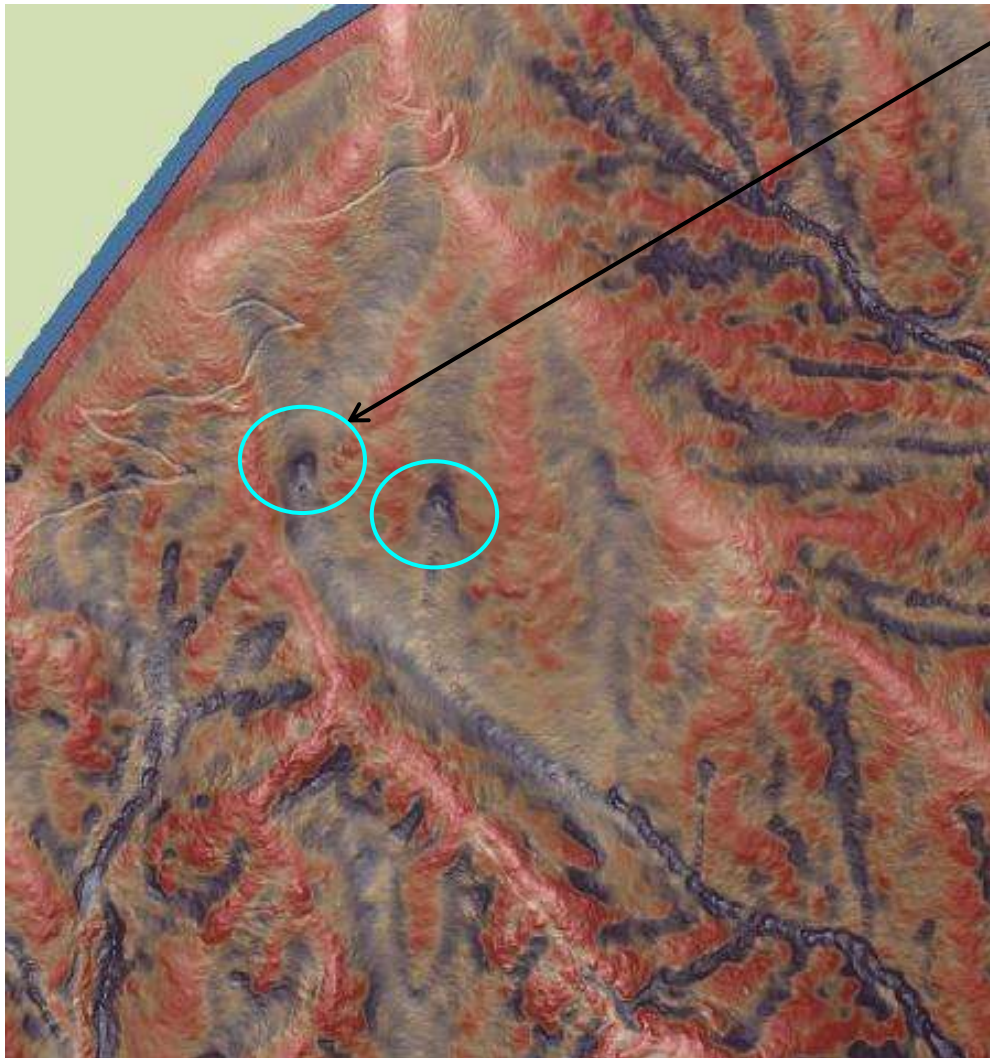
地質構造による湧水

地質構造による湧水

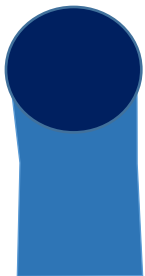


湧水の判読

事例1

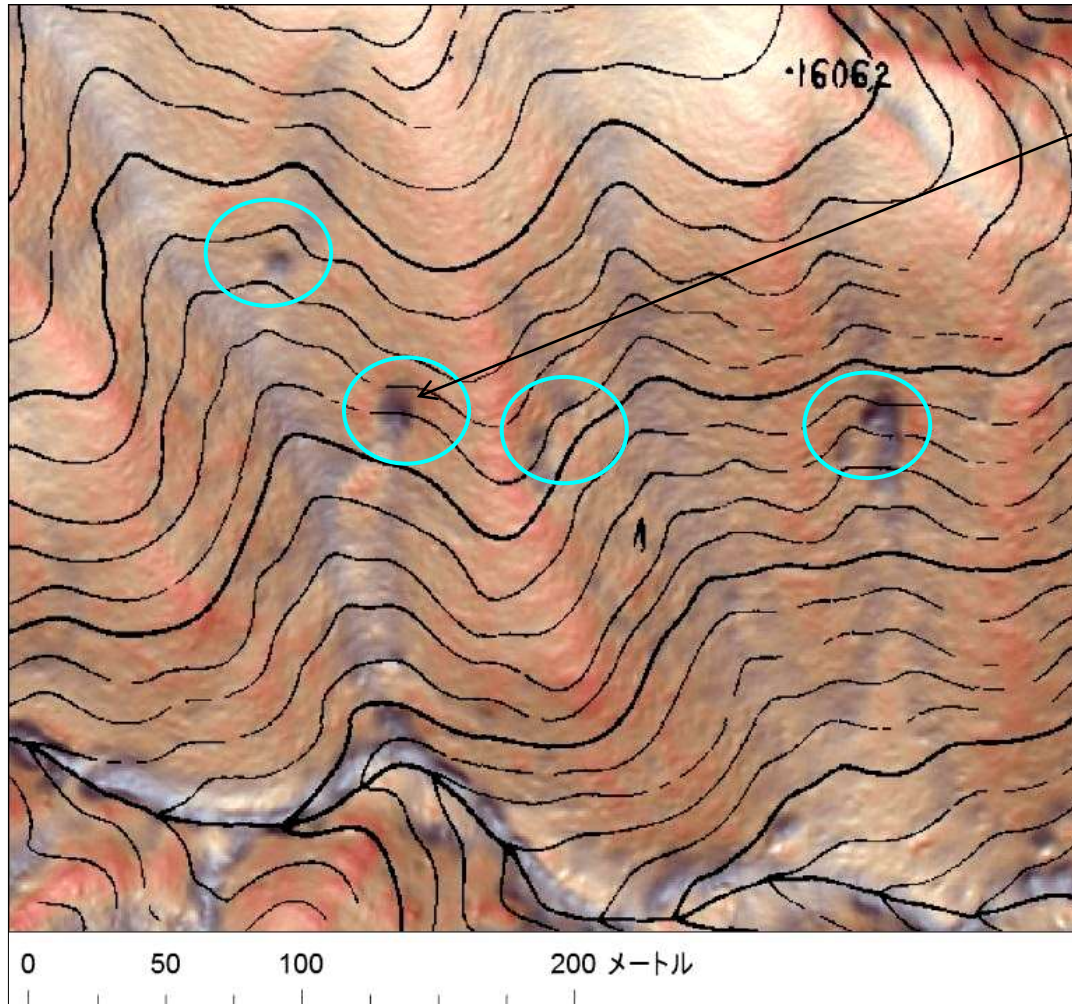


場所：広島県安部山
地質：花崗岩と変成岩の境界付近
確認方法：現地調査



湧水の判読

事例2

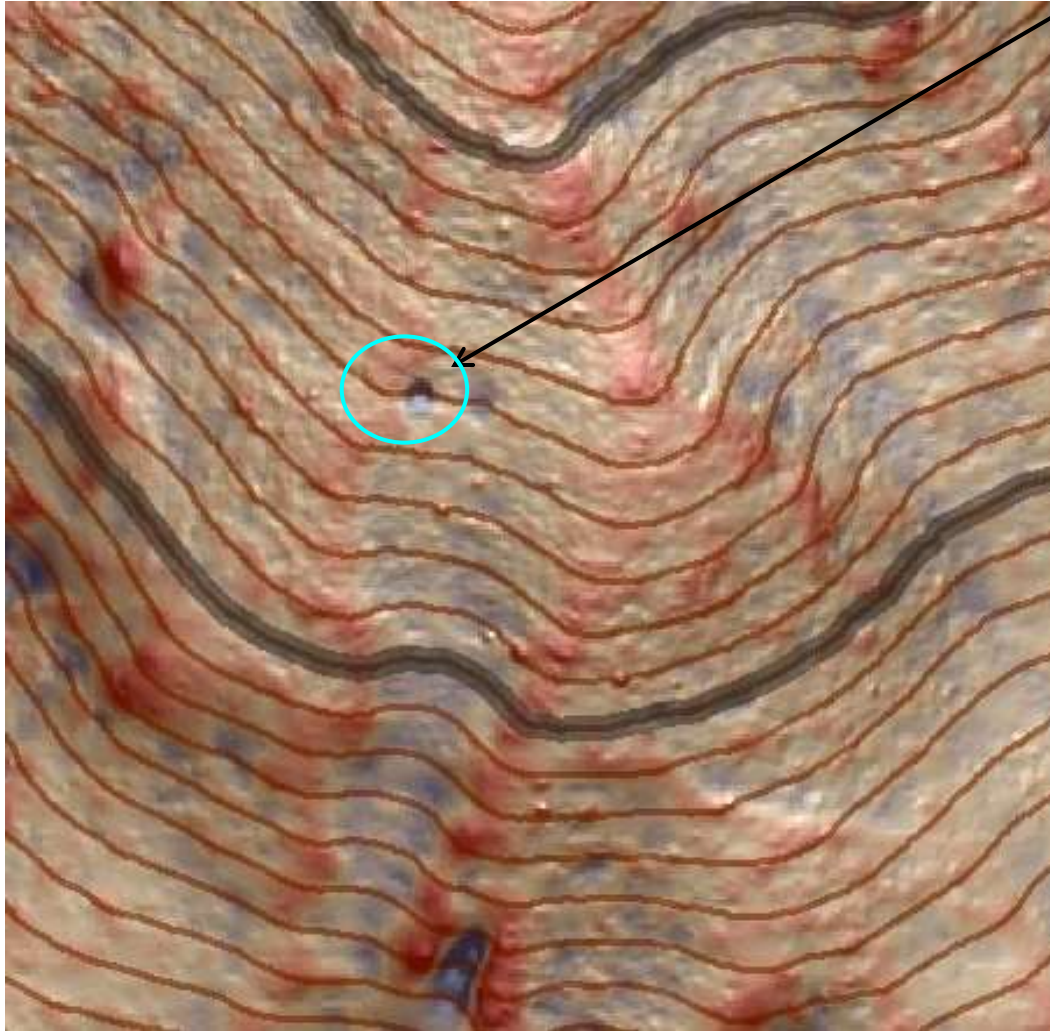


場所：長野県岡谷市
地質：第3紀層 砂岩・泥岩
（接触変成を受ける）
確認方法：現地調査



湧水の判読

事例3

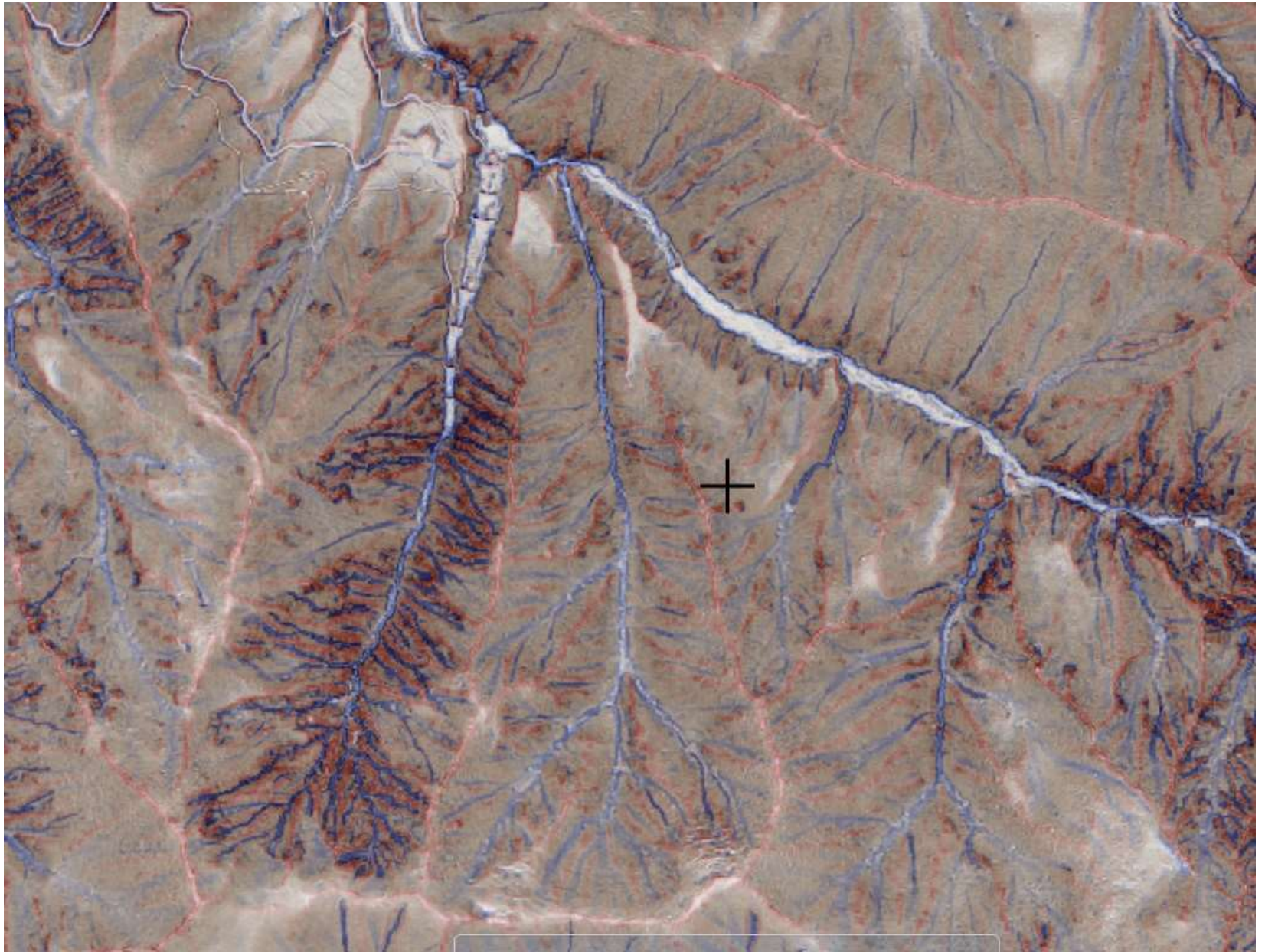


場所：長野県岡谷市
地質：第3紀層 砂岩・泥岩
確認方法：現地調査

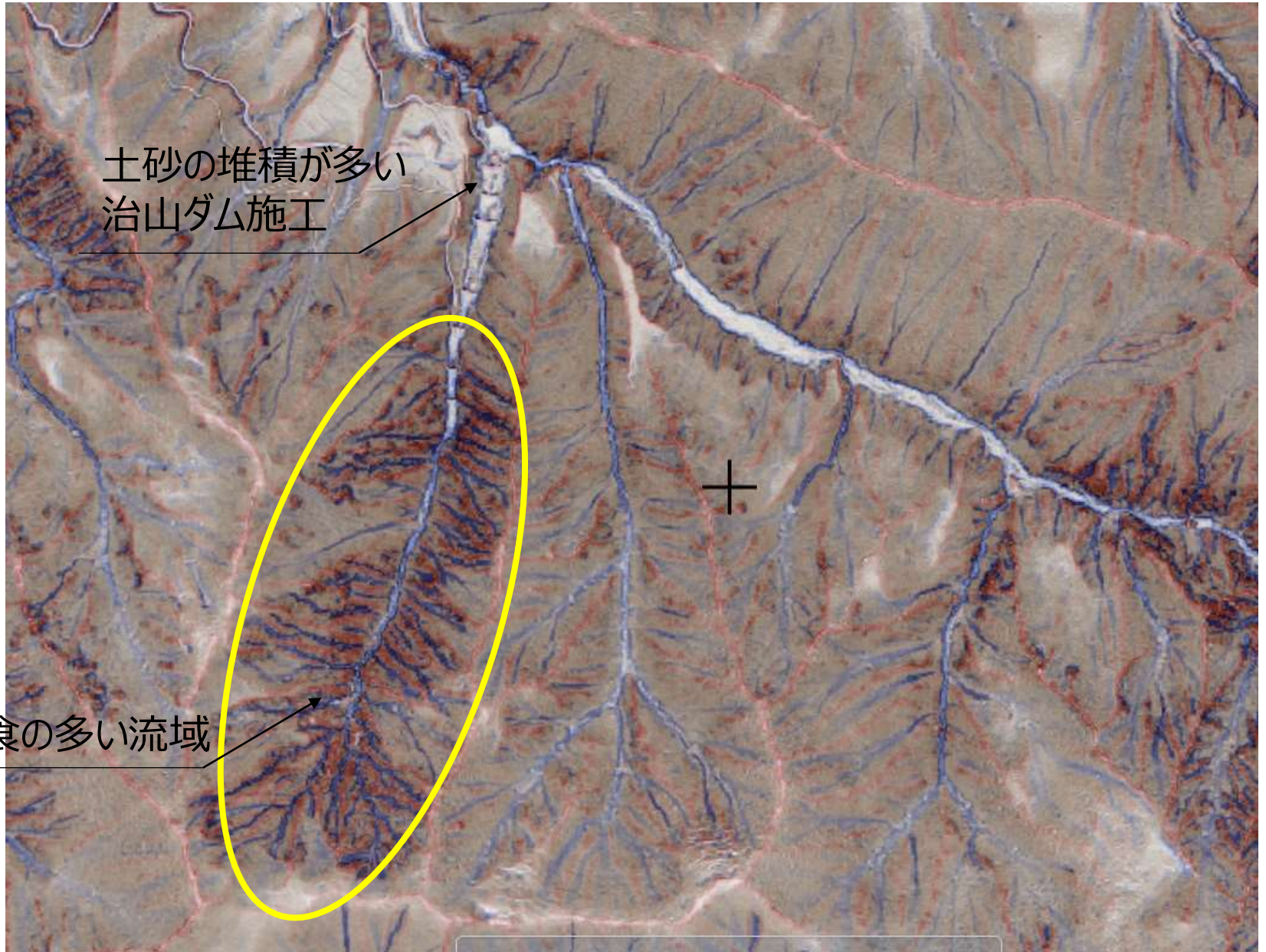


侵食域

侵食域

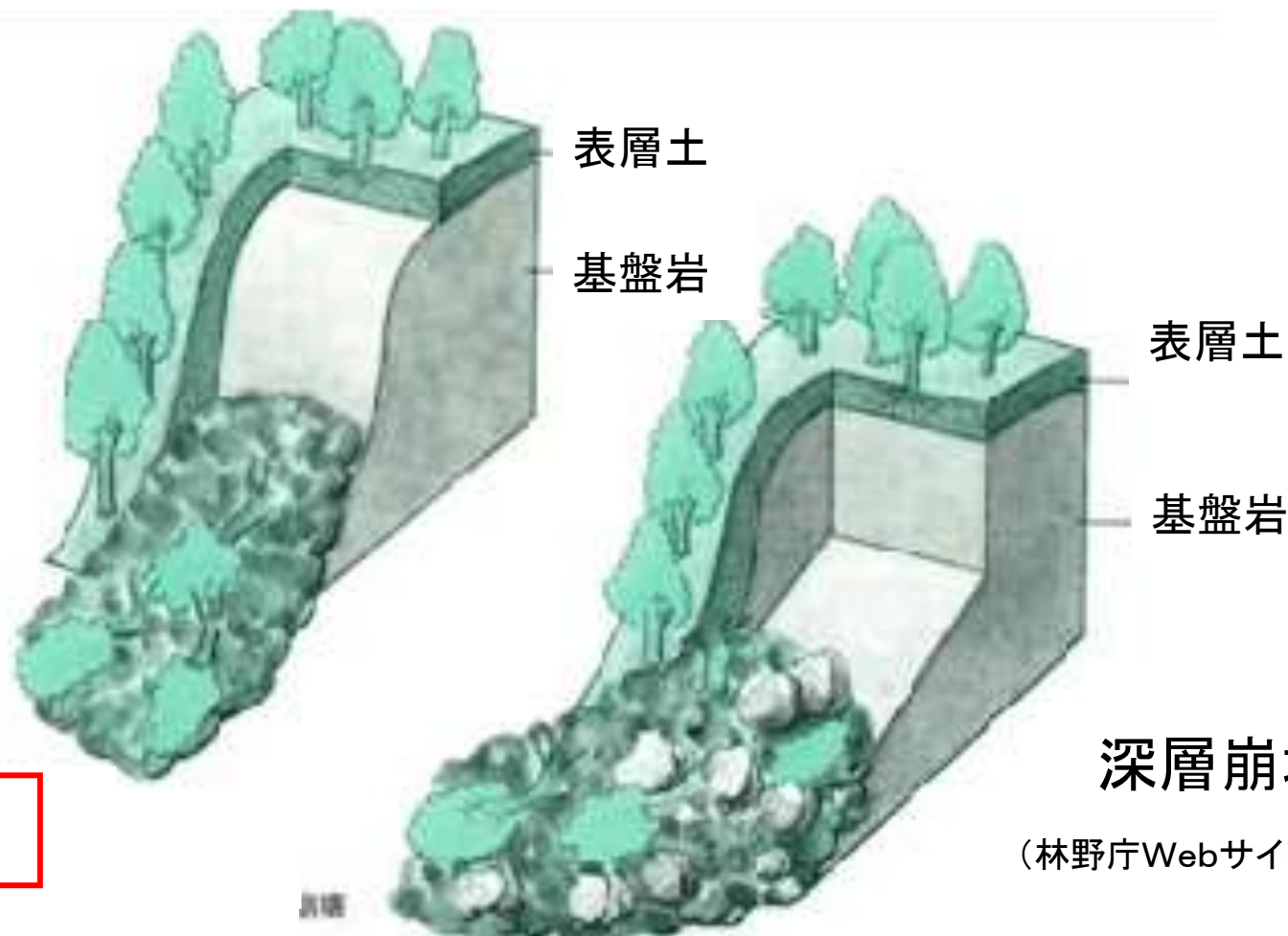


侵食域



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（0次谷）の勾配変化点に集中する。
伐採跡地（裸地、幼齡林）で多発。



表層崩壊

(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】

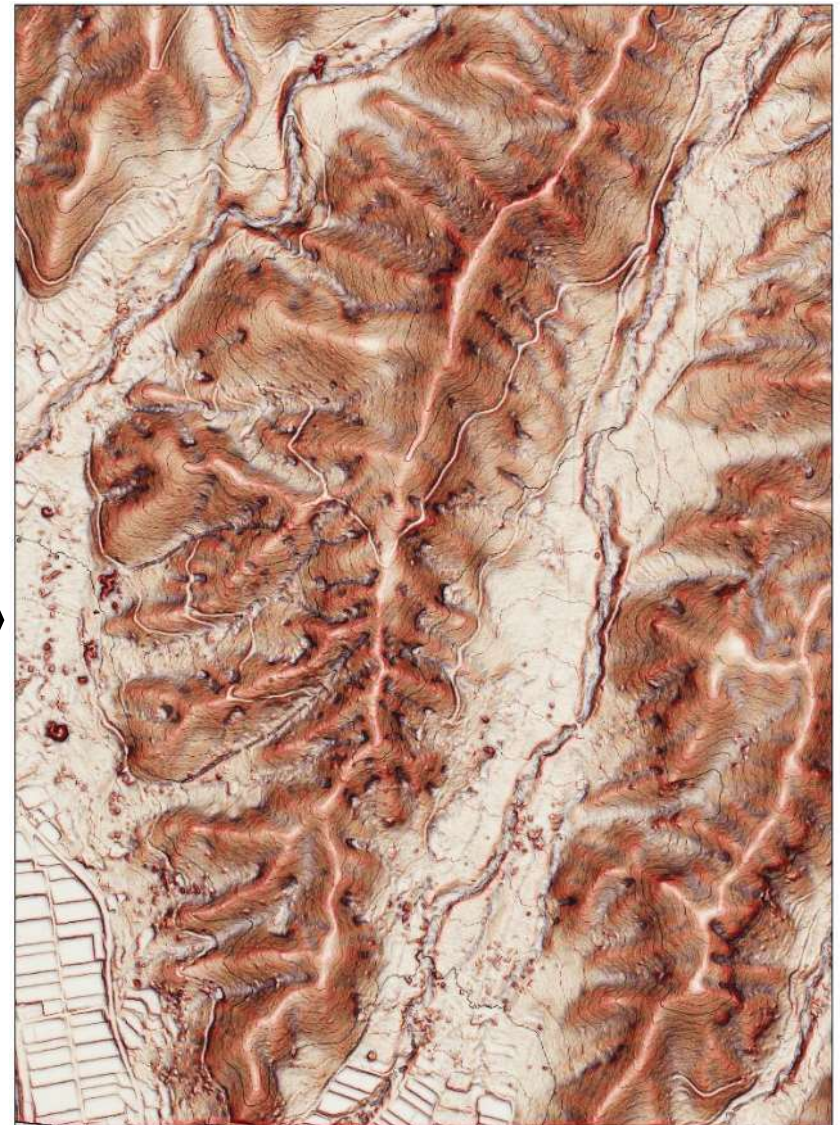
2009年(災害前)



0 50 100 200 300 400 1:5,000
メートル

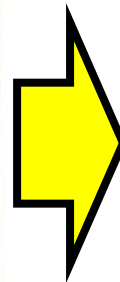
2009年(災害前)測量データ

2012年(災害後)



0 50 100 200 300 400 1:5,000
メートル

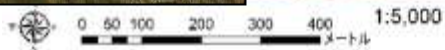
2012年11月測量データ



現地の状況

2012年(災害後)

災害発生直後

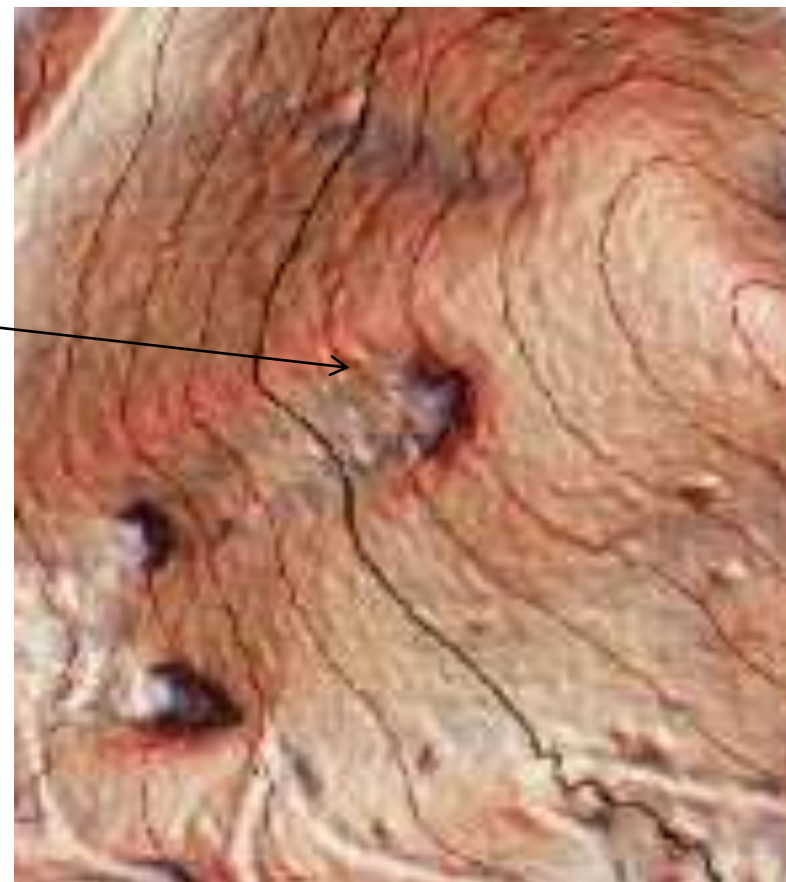
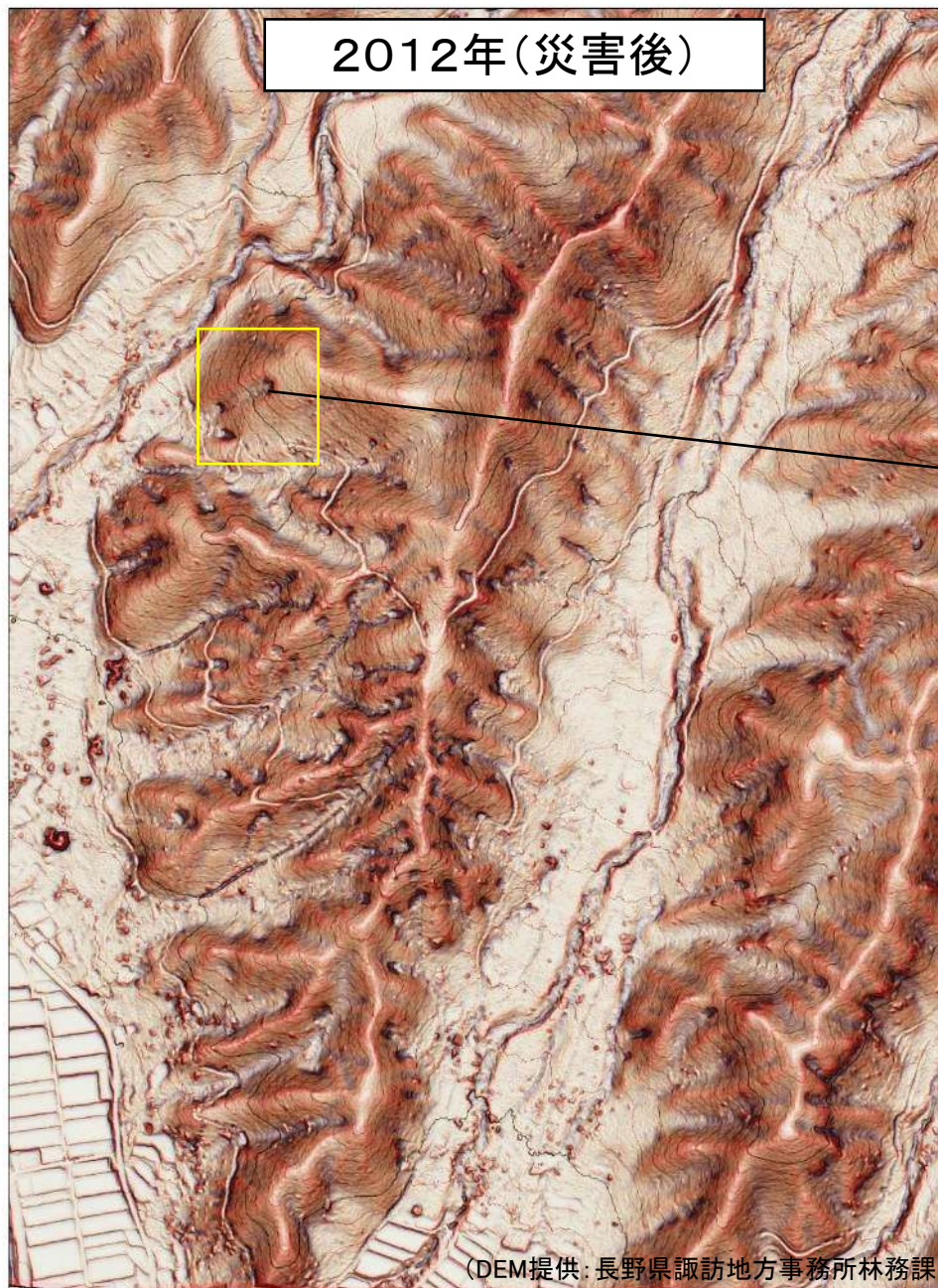


1:5,000

2012年11月測量データ

2012年(災害後)

崩壊地の拡大図

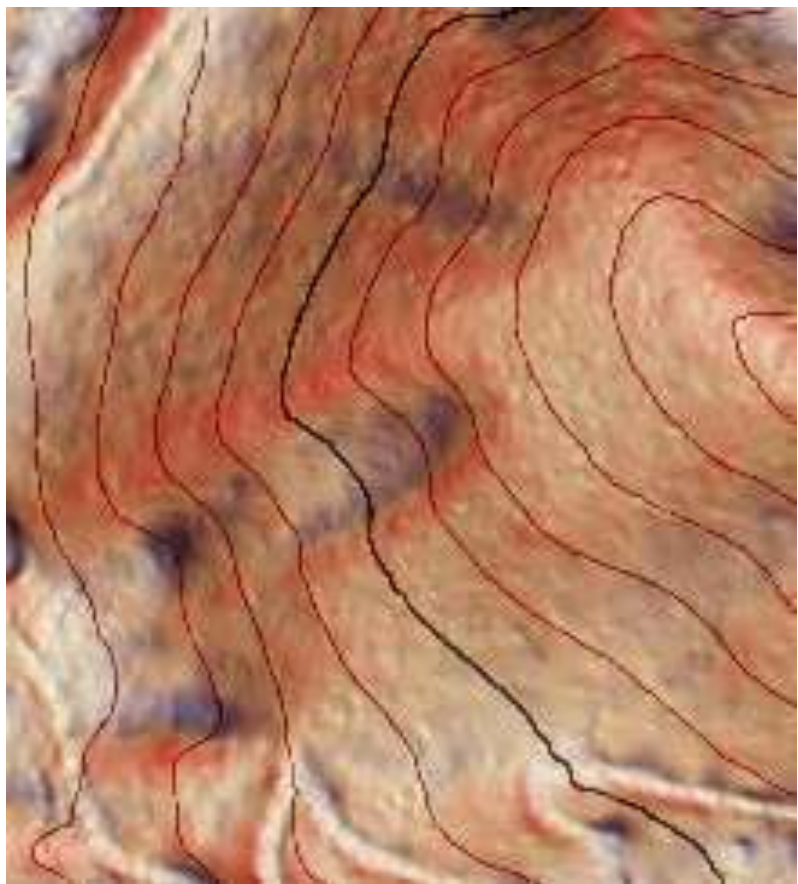


(DEM提供:長野県諏訪地方事務所林務課)

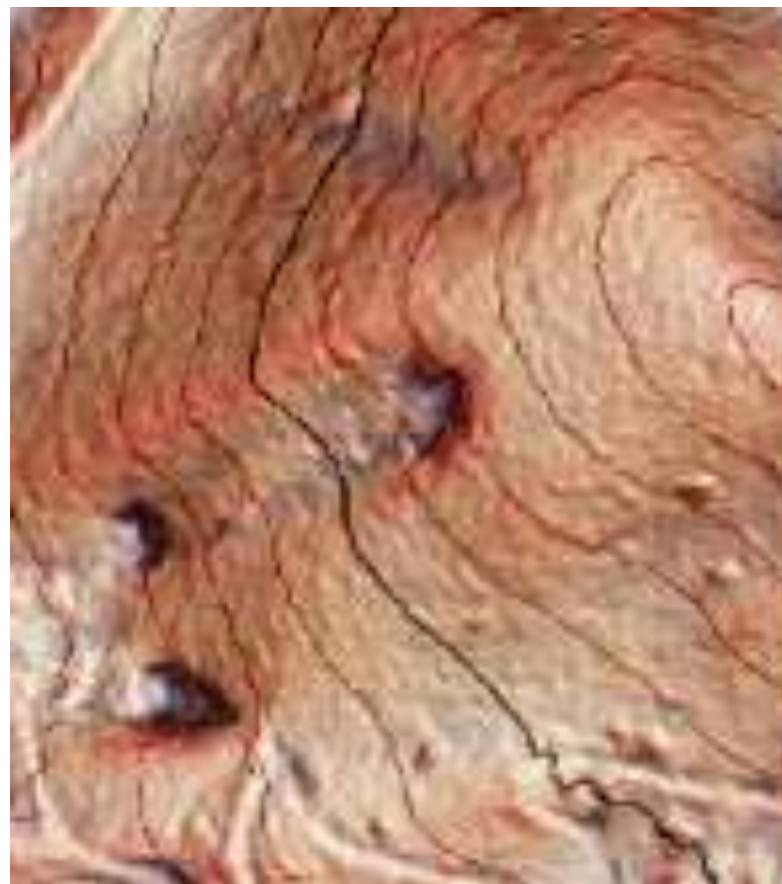


2012年11月測量データ

2009年(災害前)



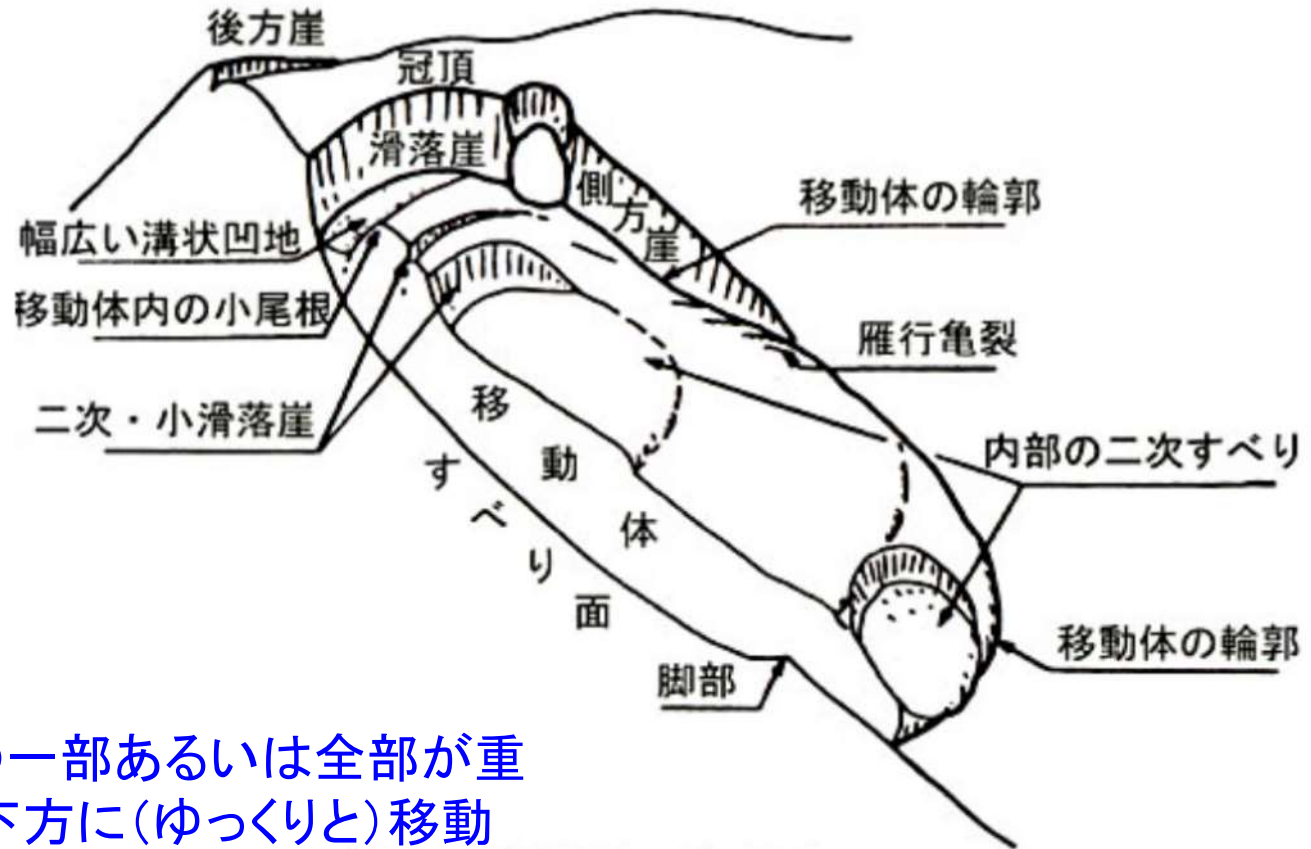
2012年(災害後)



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

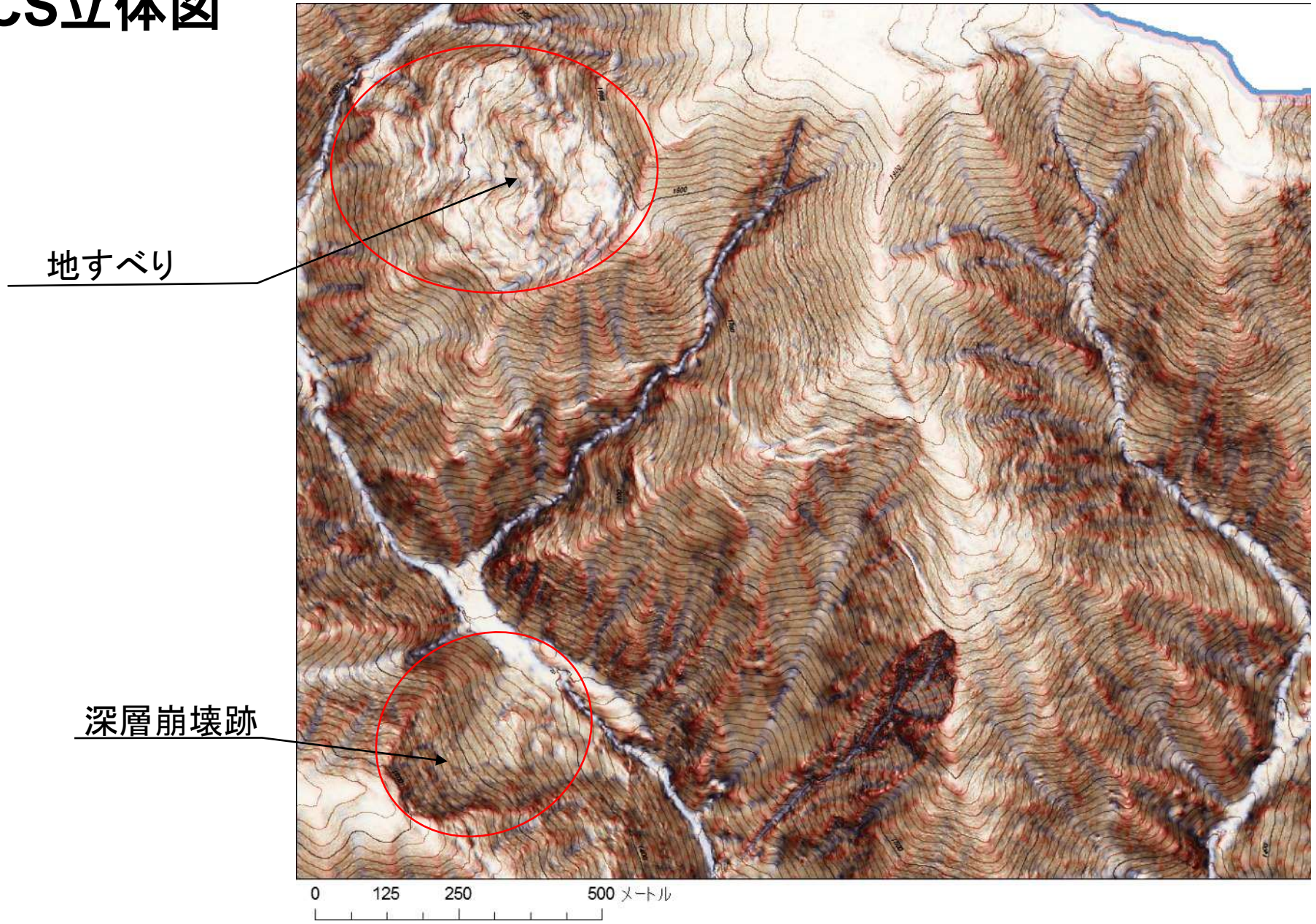


地すべり: 斜面の一部あるいは全部が重力によって斜面下方に(ゆっくりと)移動する現象

深層崩壊: 豪雨等が誘因になり基盤岩から崩壊

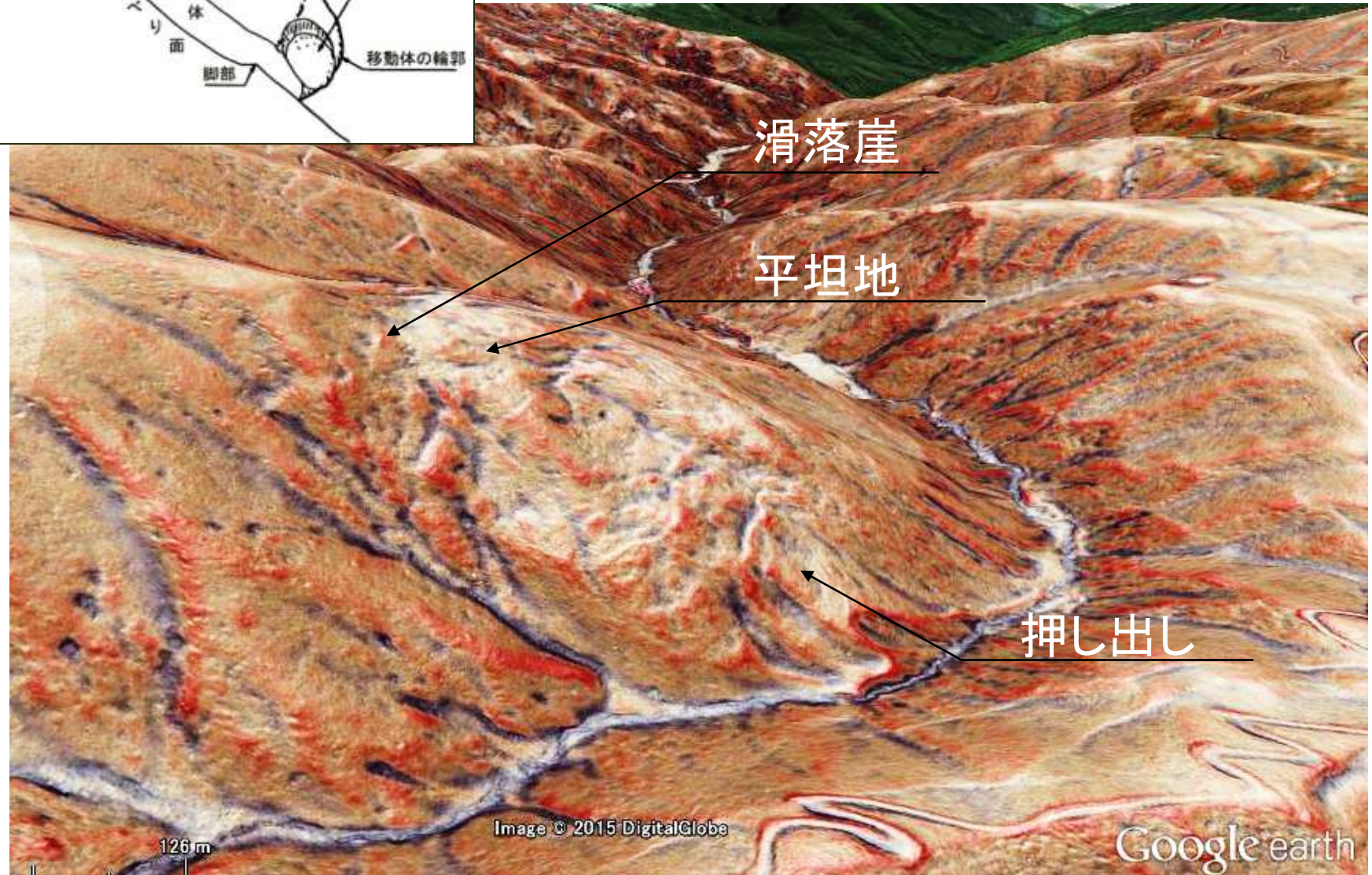
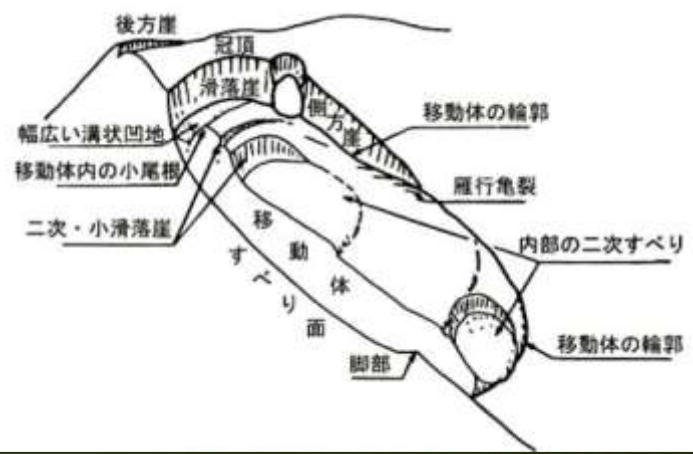
((独) 防災科学技術研究所 Webサイトより)

CS立体図

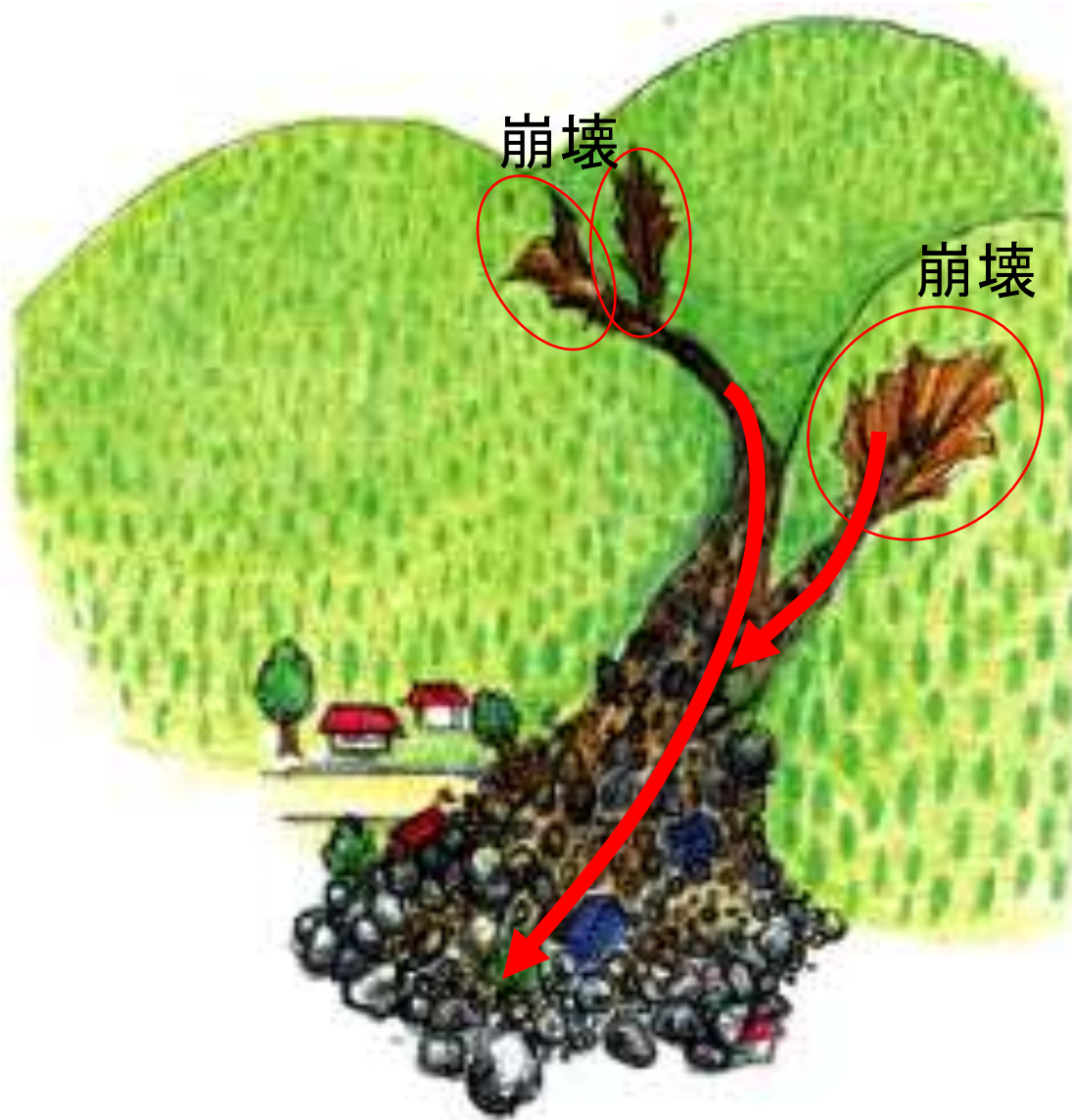


地すべり地形、深層崩壊跡地形などの判読が容易

Google earth を利用した立体表示



土石流



崩壊した土砂が

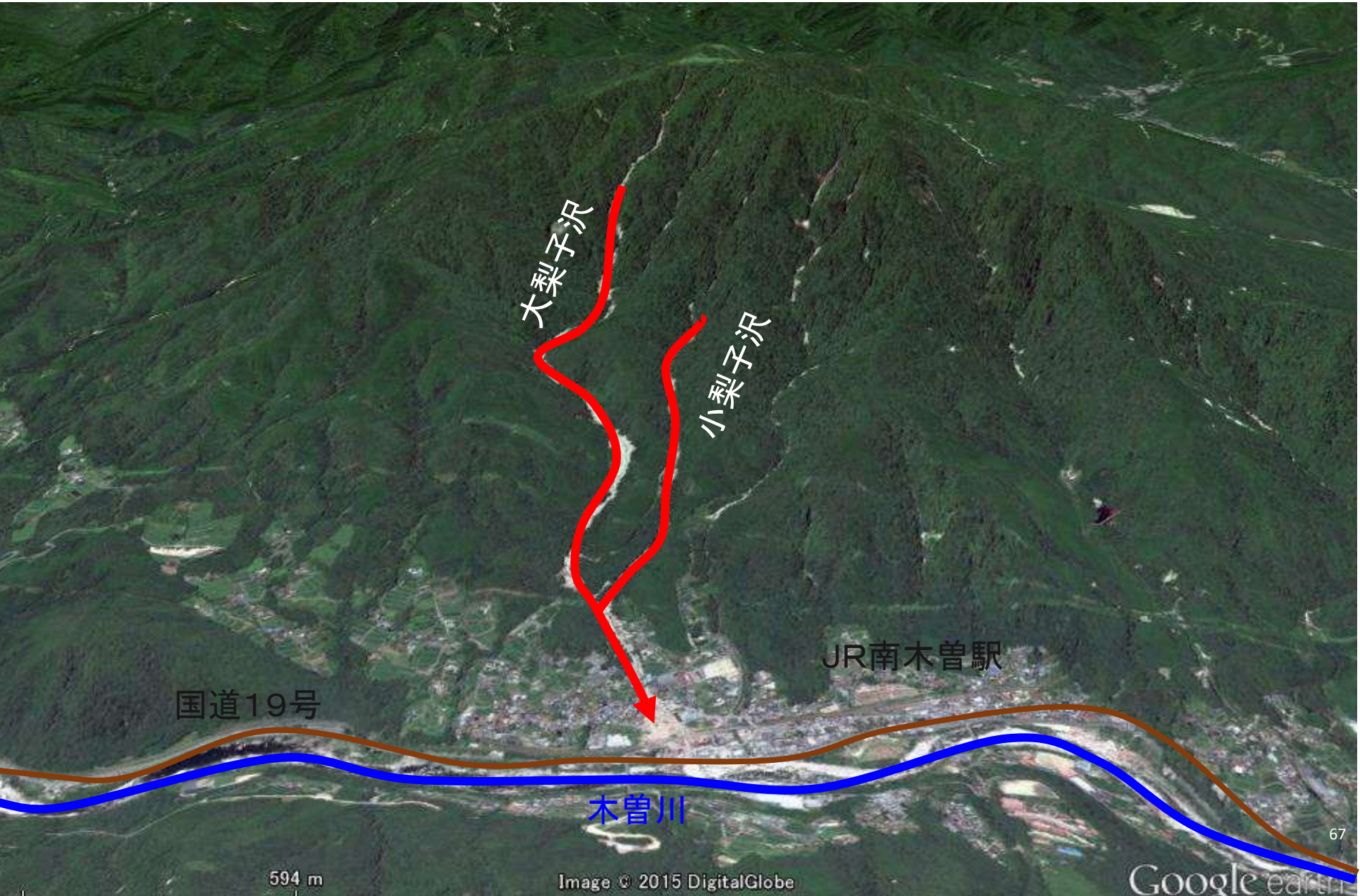
- ・水等と混ざり
- ・水等が滑材になって
- ・長距離を流下

(林野庁Webサイトより)

土石流

土石流

(南木曾町：平成26年度豪雨被災地)



土石流

(南木曾町：平成26年度豪雨被災地)

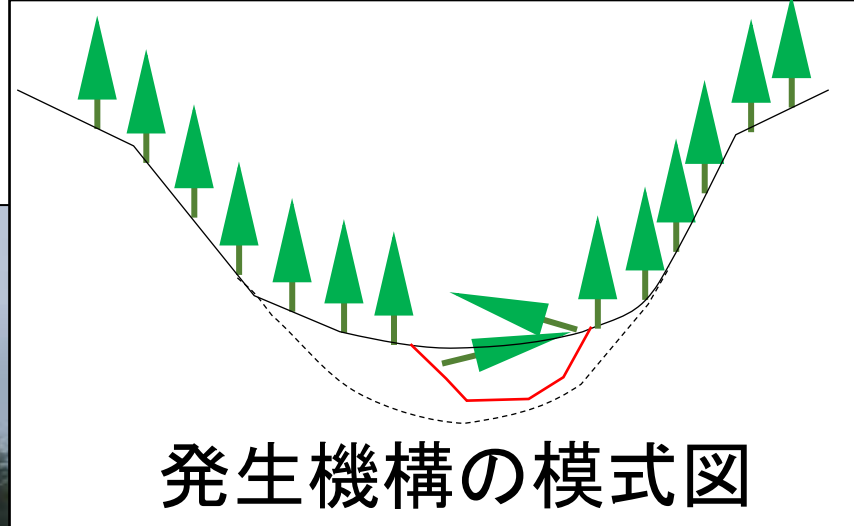


拡大図



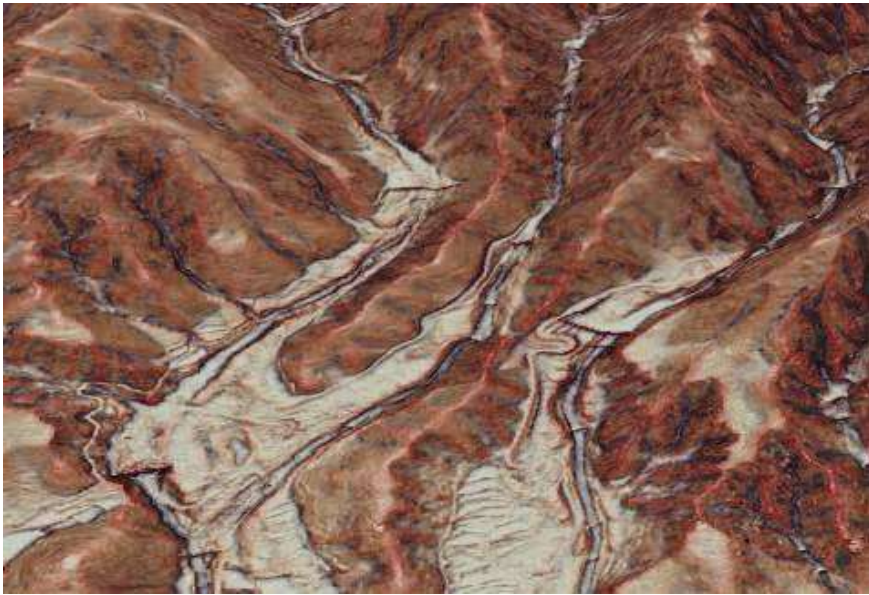
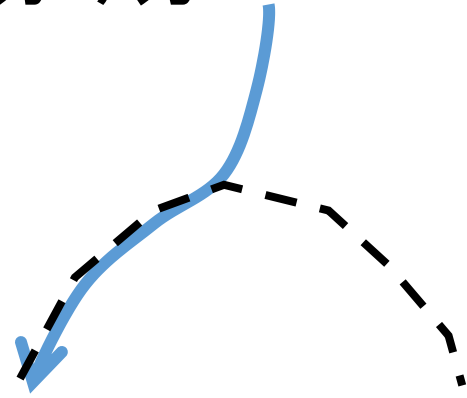
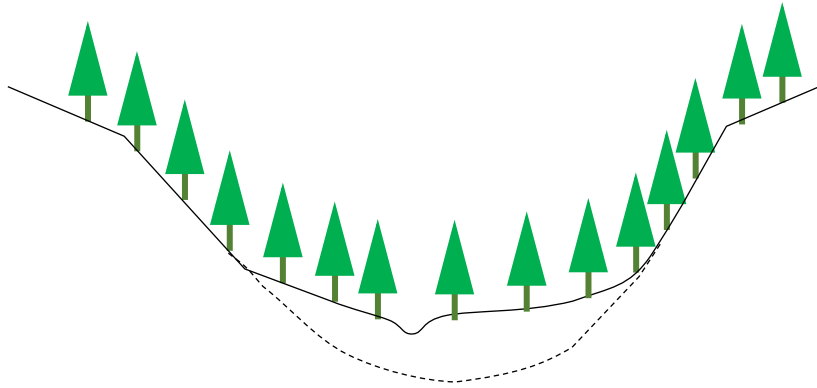
周辺の溪流の出口にも、過去から繰り返し発生した土石流の土砂が堆積している

H26南木曾町災害



土石流危険渓流の見分け方

【地形判読】



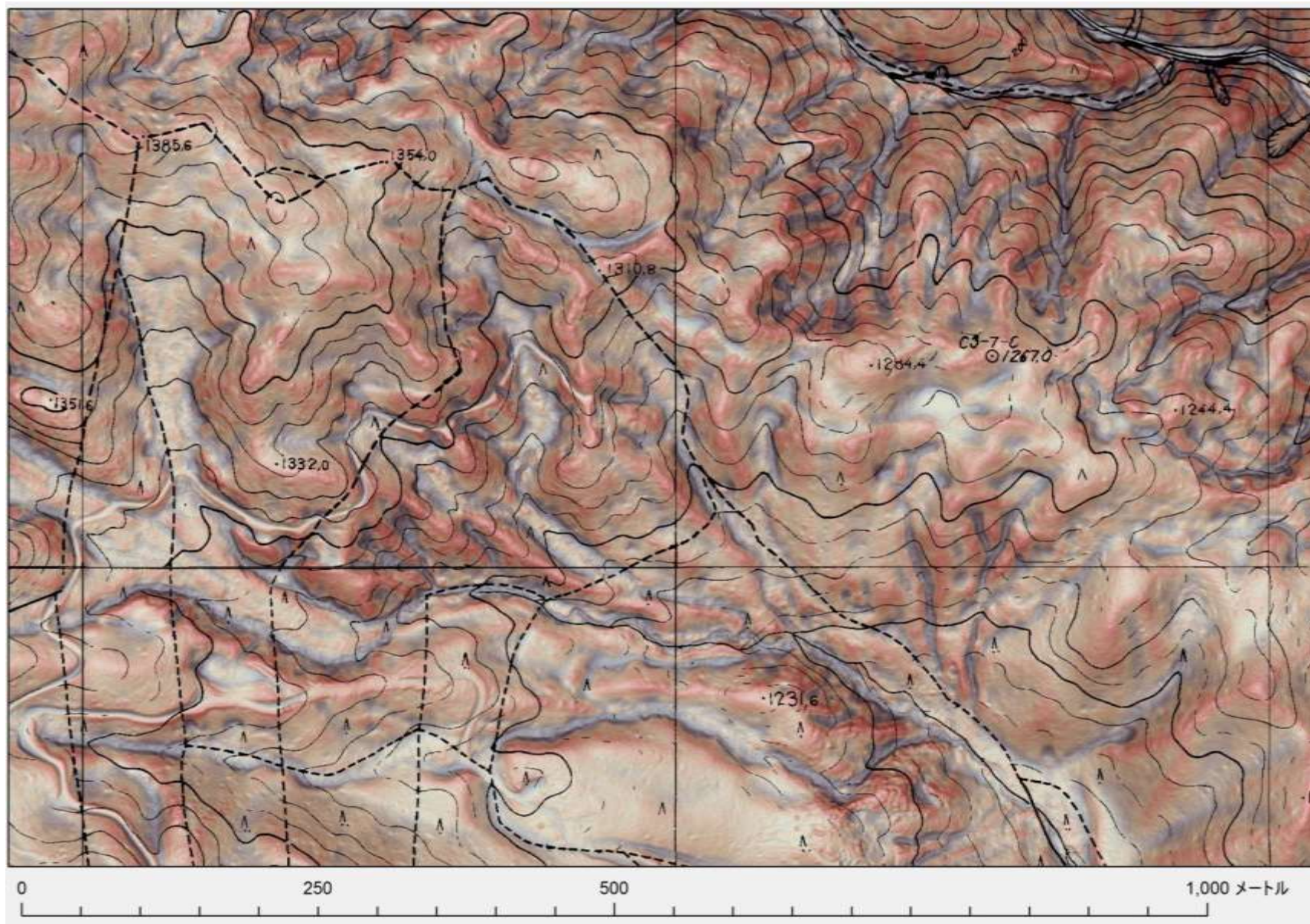
- ・急傾斜で河床堆積物
(過去の土石流堆積物)

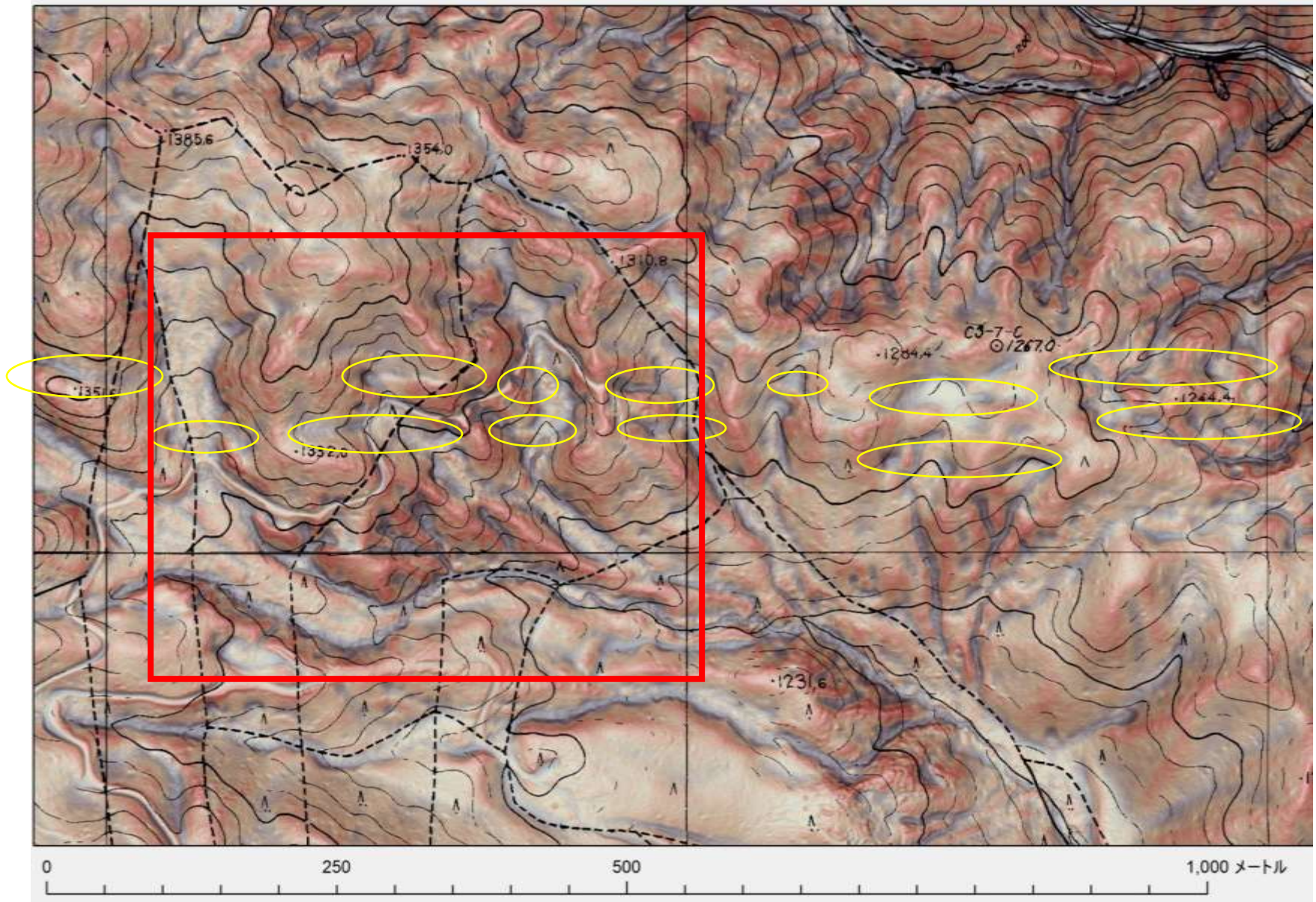


- ・下方に扇状地がある谷

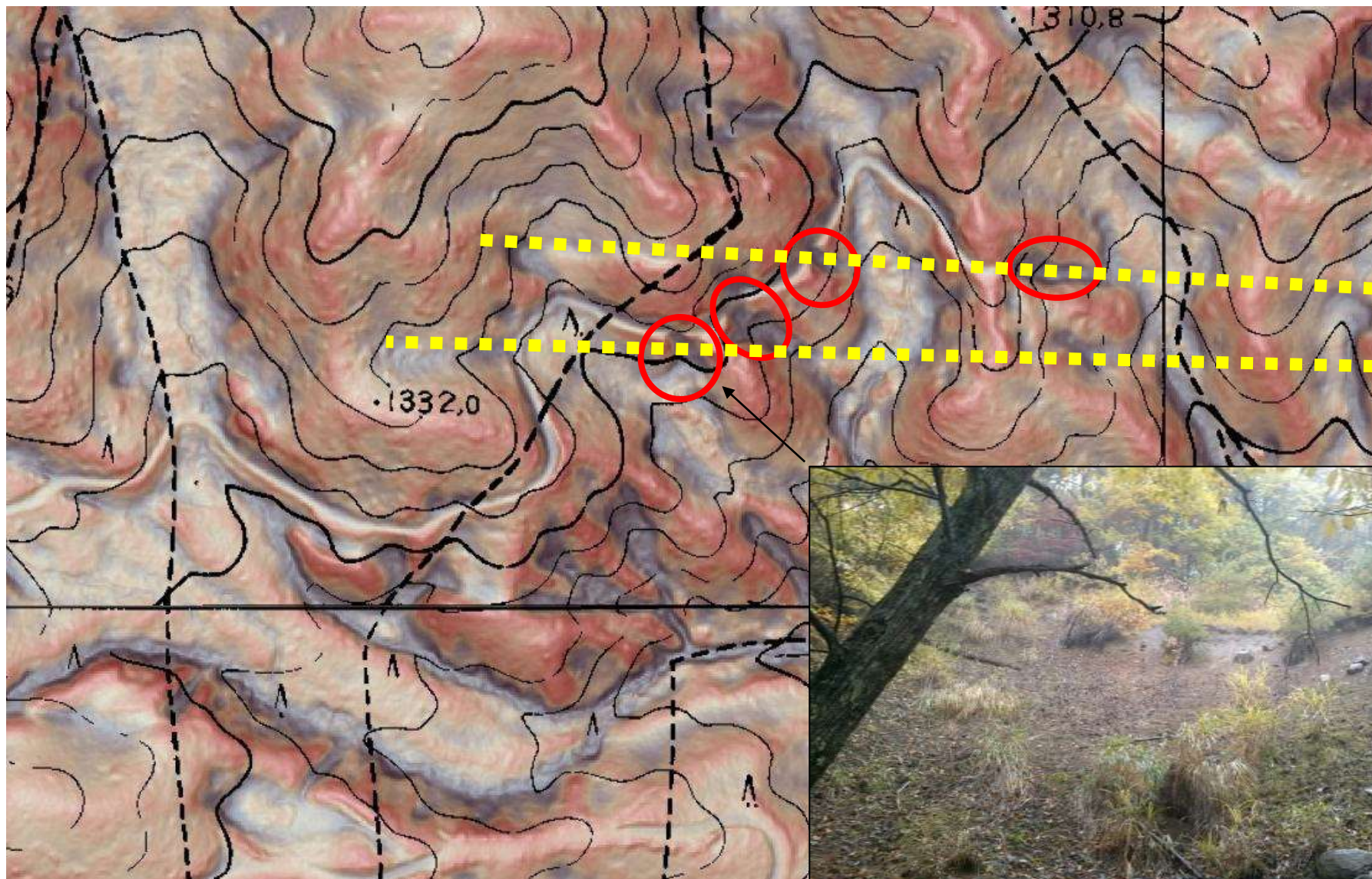
リニアメント（断層）

直線状の地形



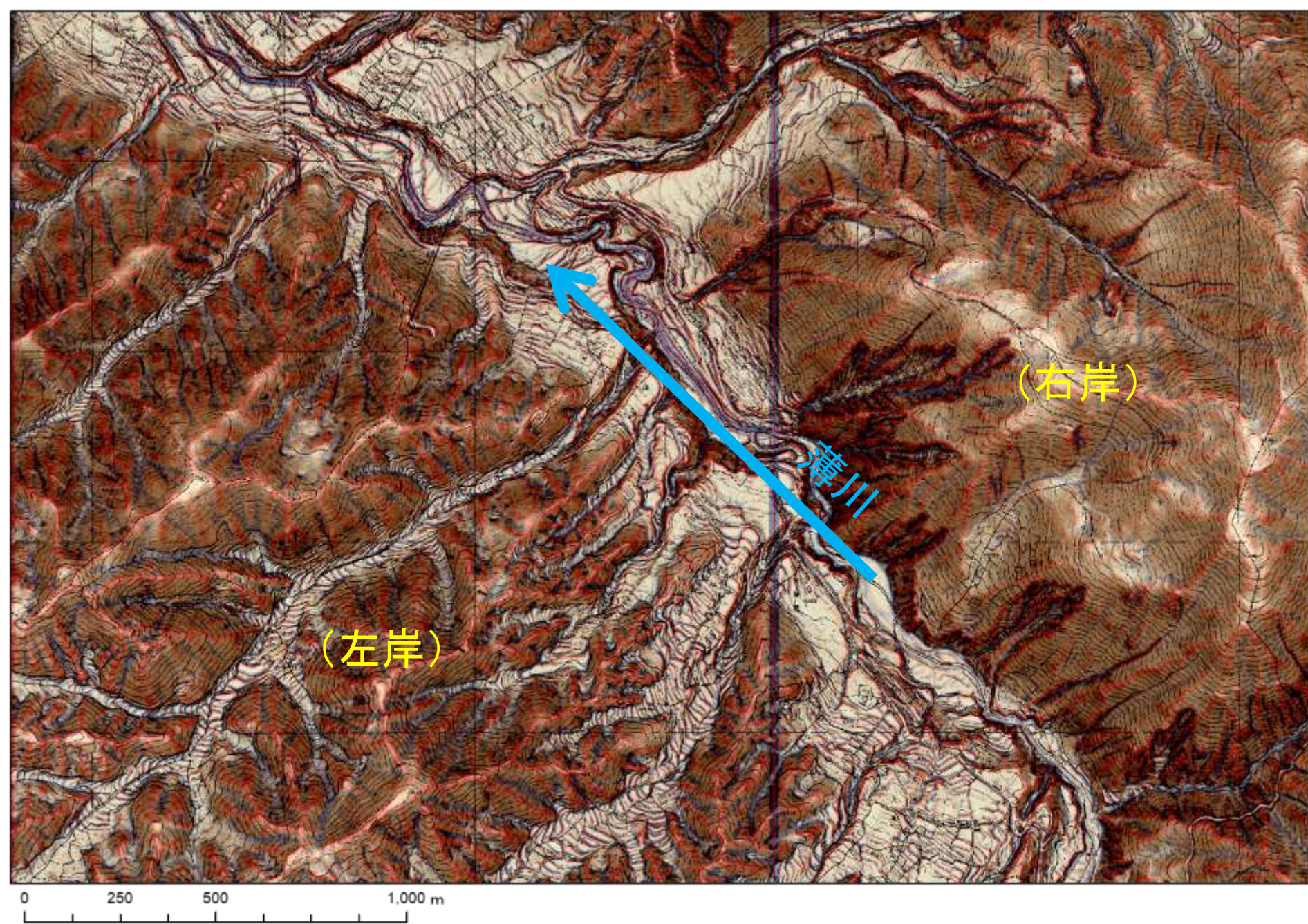


地形傾斜に直行しない凹地形はあやしい！



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

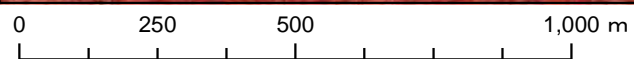
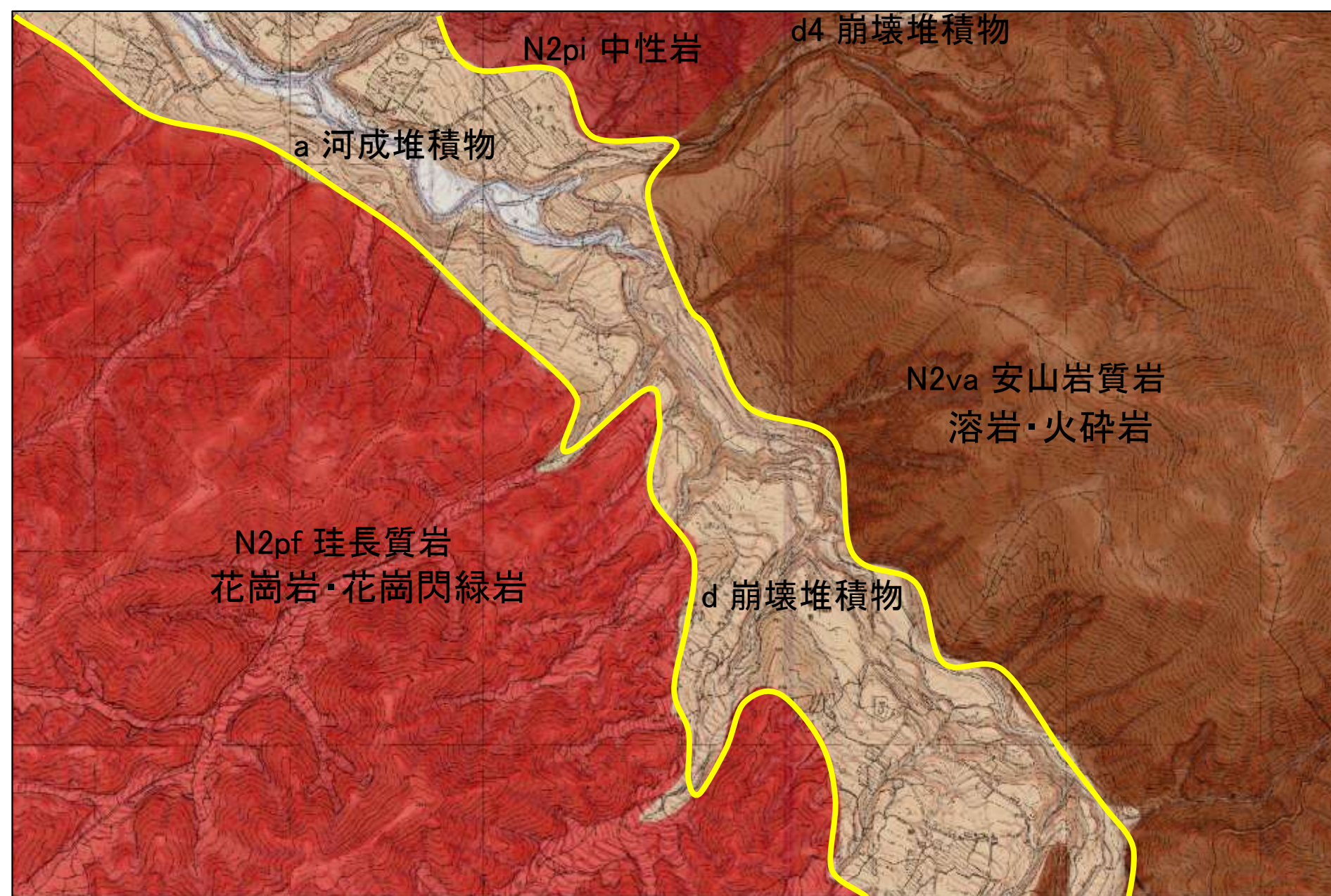


薄川の北東側、南西側で地形が異なる

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



- ・安山岩
- ・急傾斜
- ・地すべり、大規模崩壊

堆積物

- ・花崗岩
- ・やや緩傾斜
- ・表層崩壊多発

0 250 500 1,000 m

ここまでのポイント

CS立体図による危険地形判読

- ・侵食域
- ・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)

山村集落での情報共有



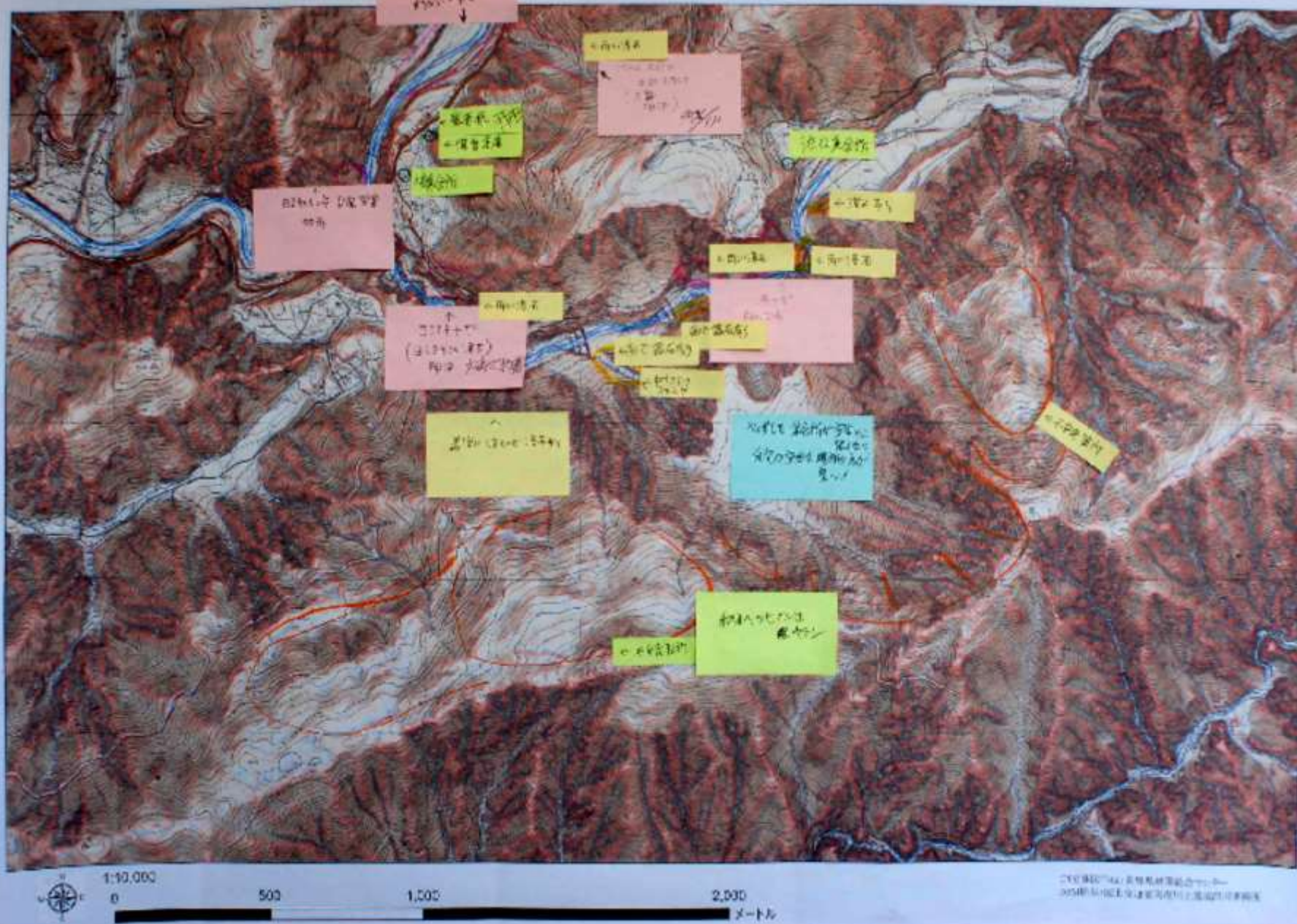
地域住民が主体の防災マップづくり (長野県飯田市)



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



基本的に安全な自主避難を心がけましょう。

- ・危険箇所（土砂災害危険箇所）に近づかず、十分な避難行動をとり、安全な避難場所へ自主避難を心がけてください。また、必要に応じて、自治会や近所の方と連携し、避難行動をとり、安全な避難場所へ自主避難を心がけてください。
- ・避難場所には、避難物資（食料、飲料水、寝具、毛布、懐電、ラジオ、現金、貴重品）を事前に準備し、避難場所へ事前に持ち込んでください。
- ・避難行動は、避難経路を確認し、安全な避難場所へ自主避難を心がけてください。

三ツ沢川周辺 危険箇所

危険箇所	危険箇所
<p>三ツ沢川周辺の危険箇所</p> <p>土砂災害危険箇所</p> <p>避難経路</p>	<p>三ツ沢川周辺の危険箇所</p> <p>土砂災害危険箇所</p> <p>避難経路</p>

美園地区 危険箇所

危険箇所	危険箇所
<p>美園地区の危険箇所</p> <p>土砂災害危険箇所</p> <p>避難経路</p>	<p>美園地区の危険箇所</p> <p>土砂災害危険箇所</p> <p>避難経路</p>

危険箇所確認時の行動

危険箇所を確認した際は、避難物資を事前に準備し、避難場所へ事前に持ち込んでください。また、避難行動は、避難経路を確認し、安全な避難場所へ自主避難を心がけてください。

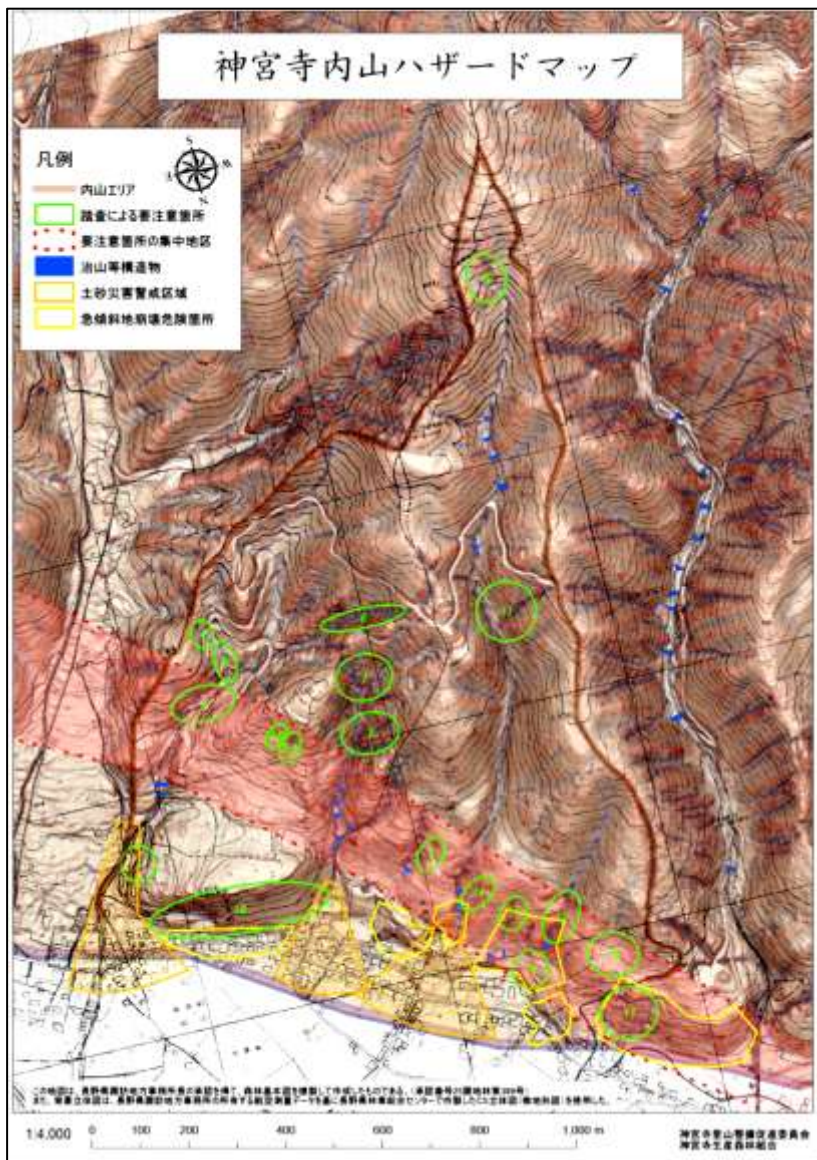
長野県飯田市危機管理・交通安全対策部防災課【平成26年版】 Copyright (c)idacity. All rights reserved

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



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



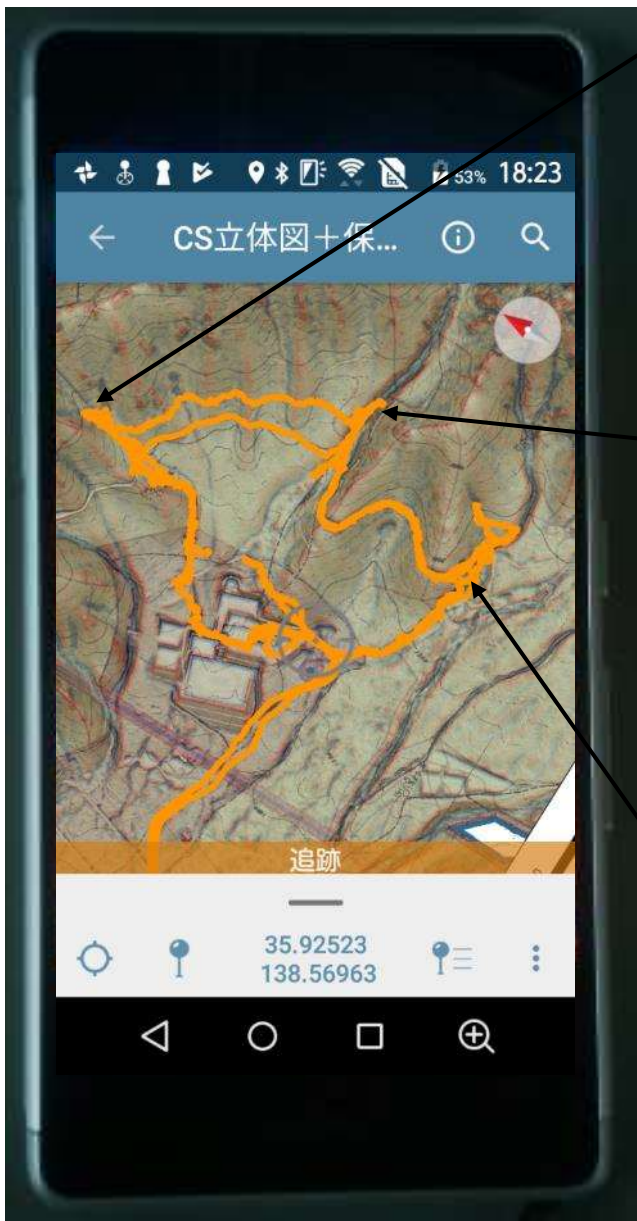
スマートフォンの活用

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

諏訪市神宮寺地区で作製したハザードマップ

(長野県諏訪市)

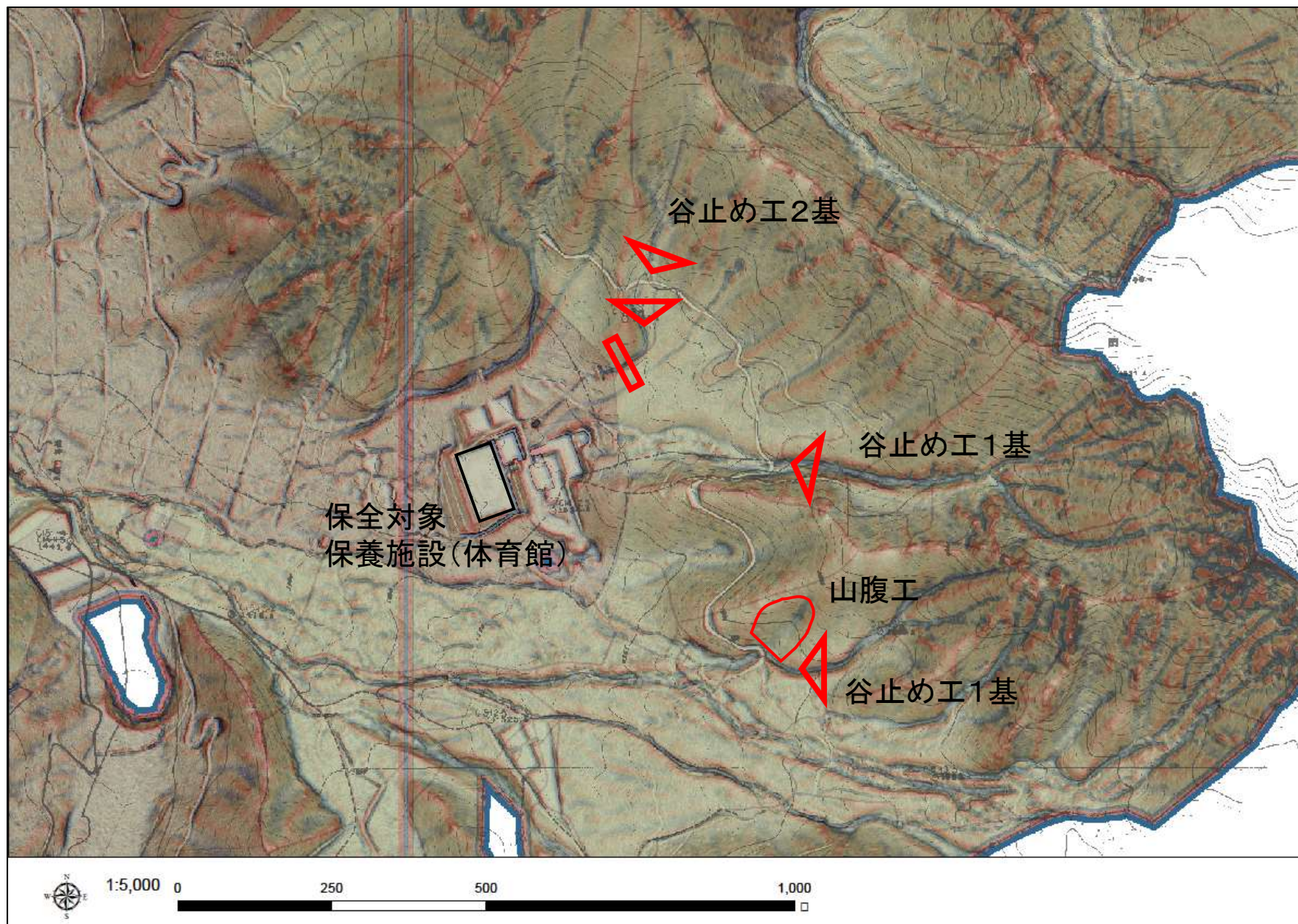
災害対応時の活用事例



スマホ地図アプリ



2019.10.21
台風19号被害調査（川上村）



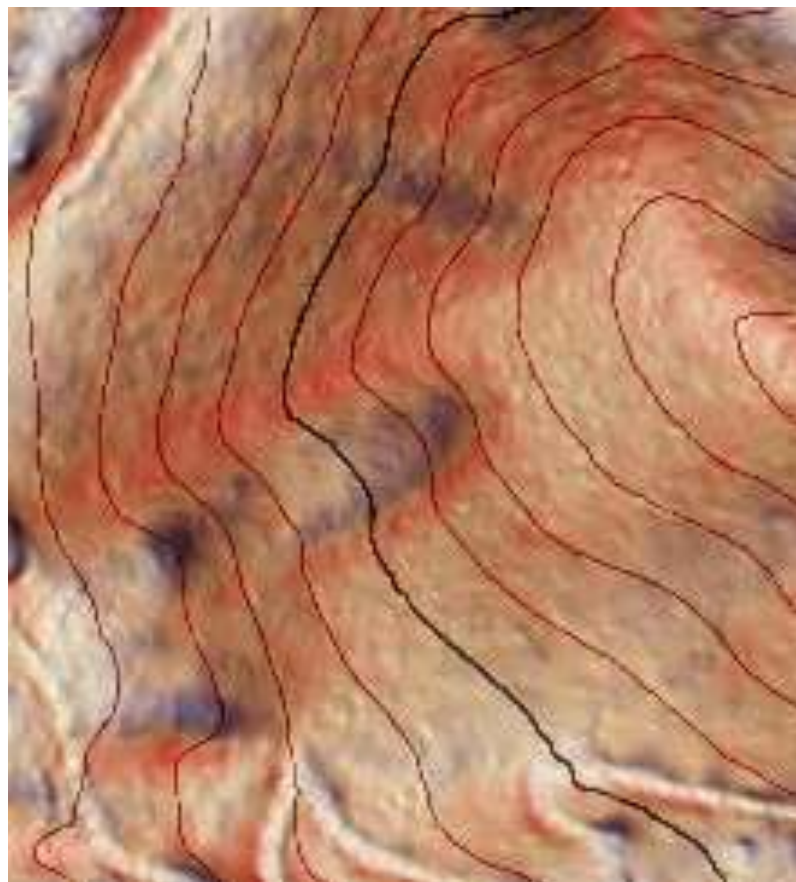
ポイント

- 「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

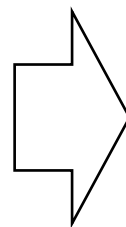
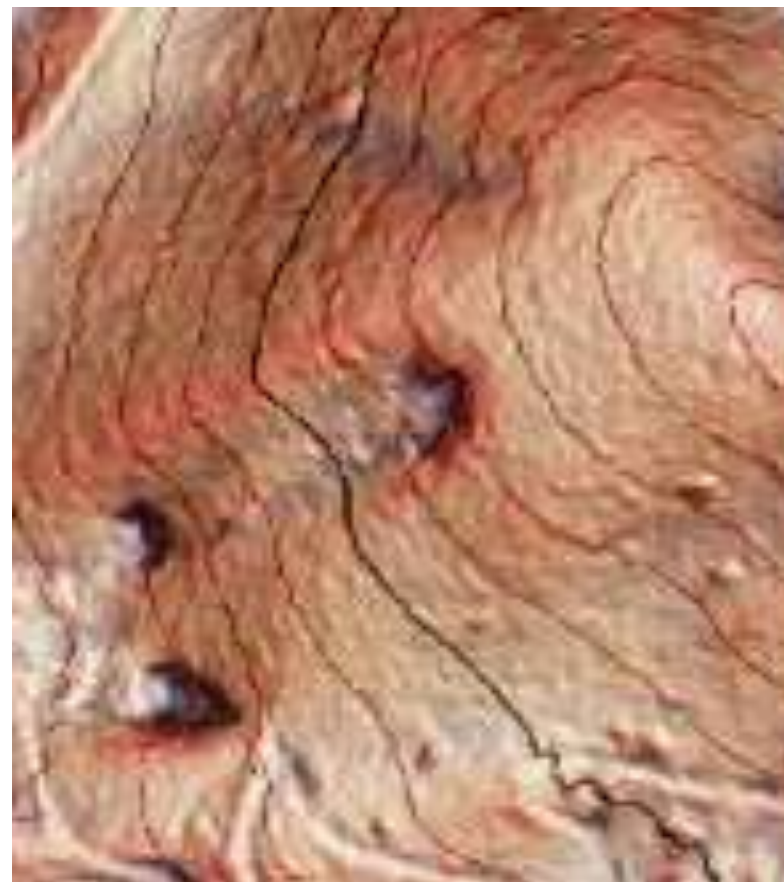
【地形判読の自動化】

AIによる崩壊危険判読

2009年(災害前)

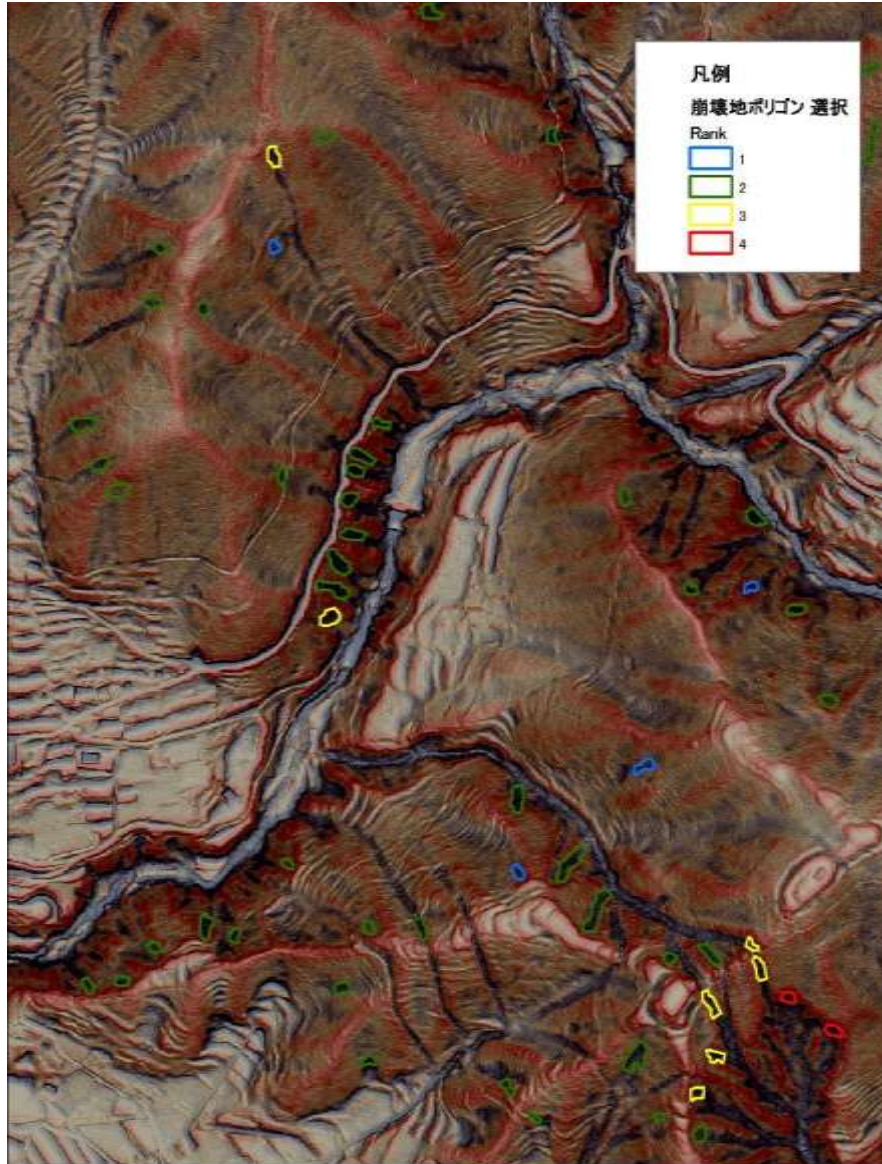


2012年(災害後)



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



0 50 100 200
m

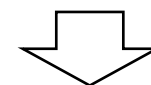
【教師データ】

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)

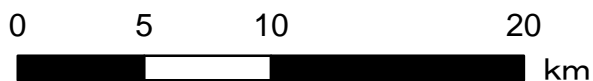
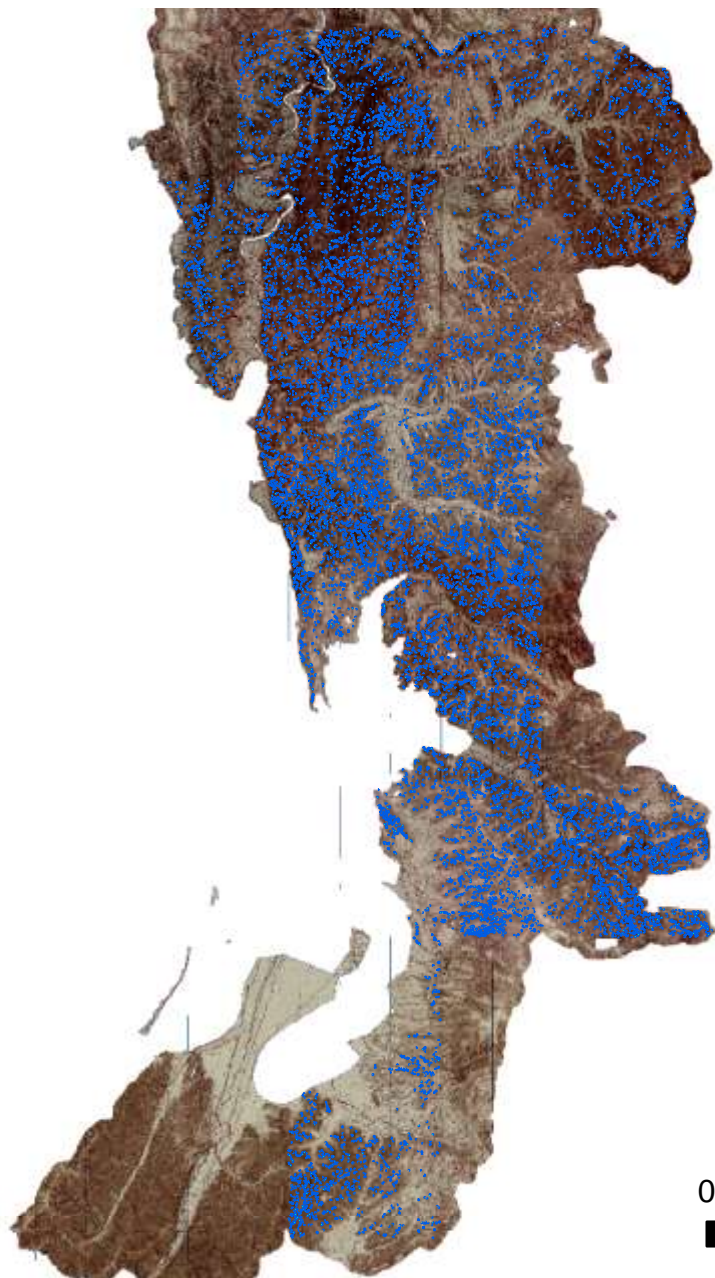
16,892箇所



【AI学習】

Mask R-CNN

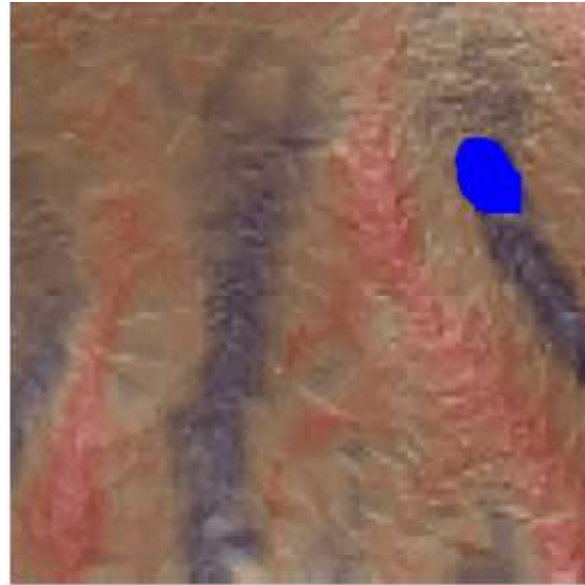
(ノーザンシステムサービス)



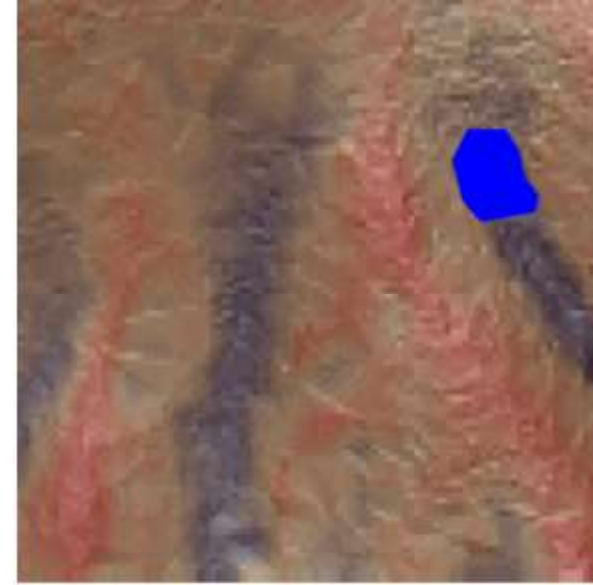
CS立体図



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

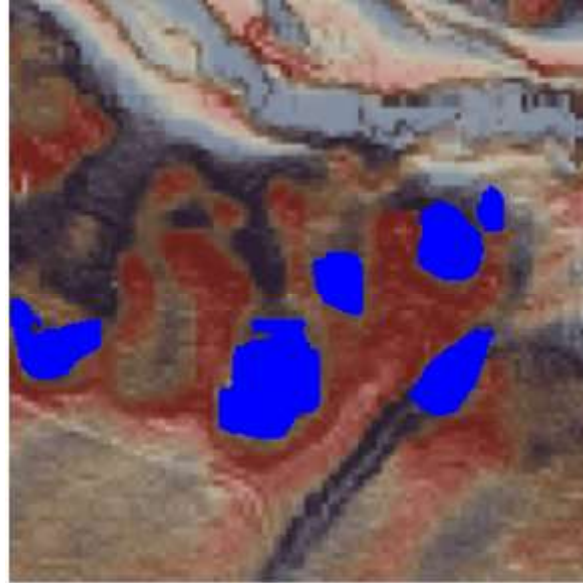
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(解析:ノーザンシステムサービス)

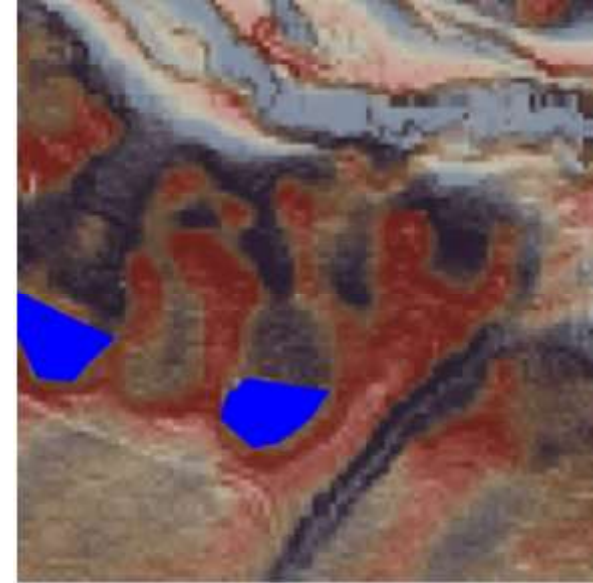
CS立体図



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

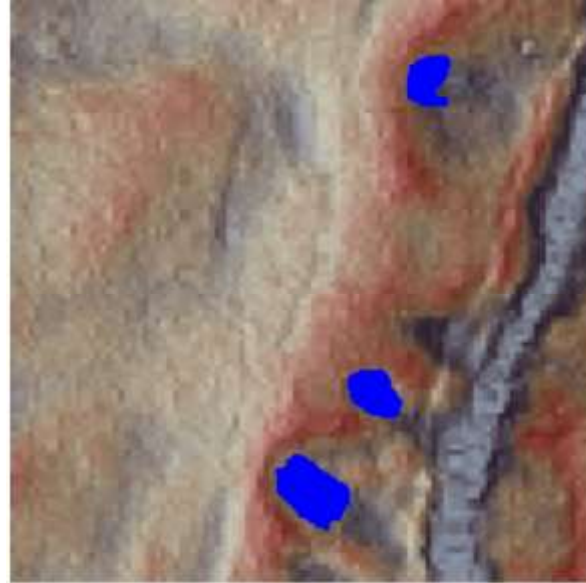
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(解析:ノーザンシステムサービス)

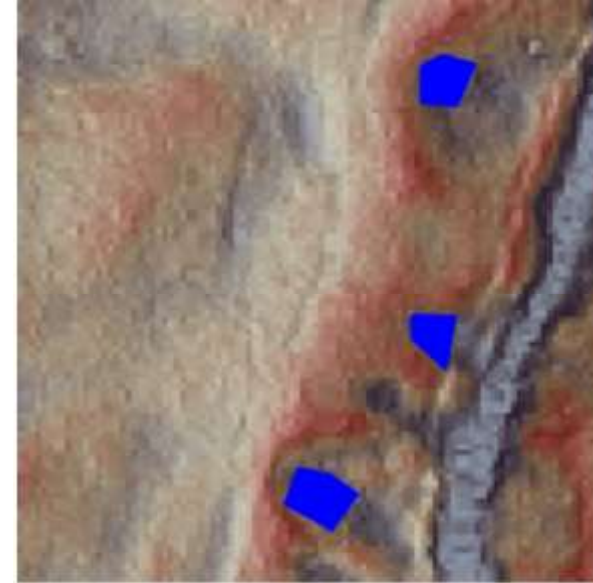
CS立体図



AIによる抽出



教師データ



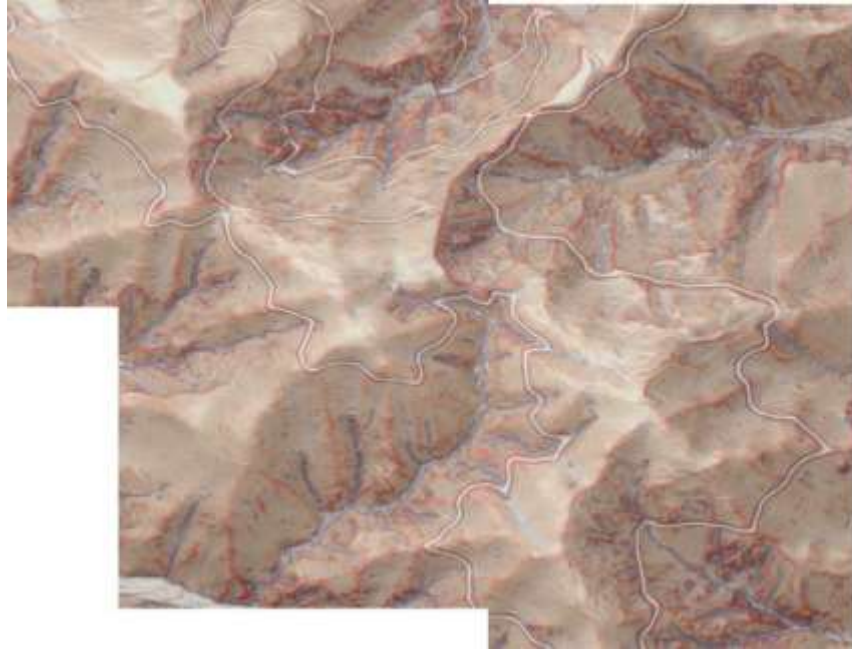
CS立体図から自動判読

人間による目視判読

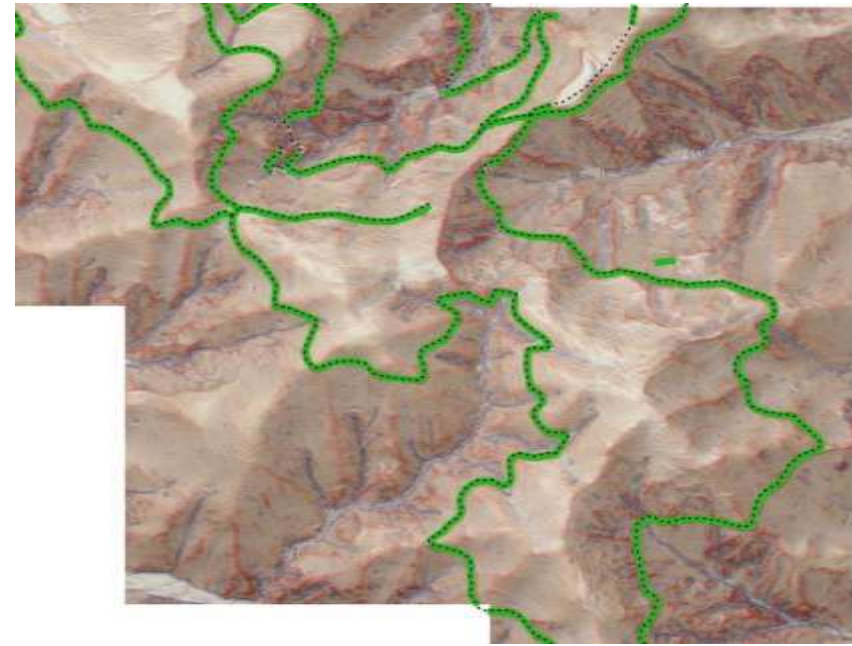
- ・植生高低い
- ・明瞭な凹地形

(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)



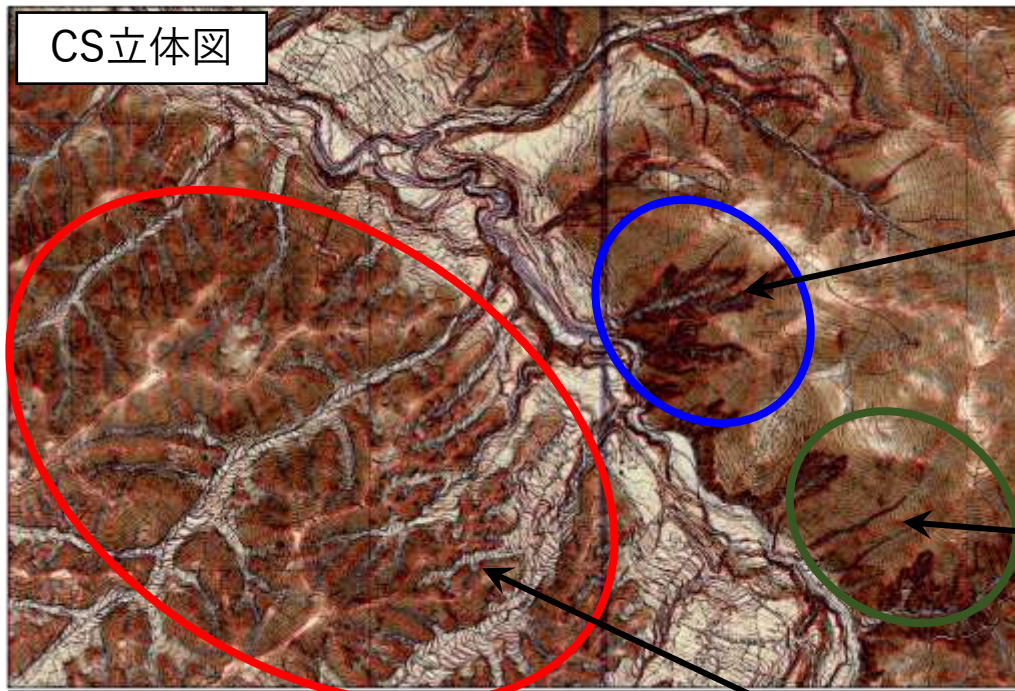
AI解析による森林路網の自動抽出
とベクトルデータ化

(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

【崩壊危険度を数値化】
平面曲率の標準偏差
SHC図

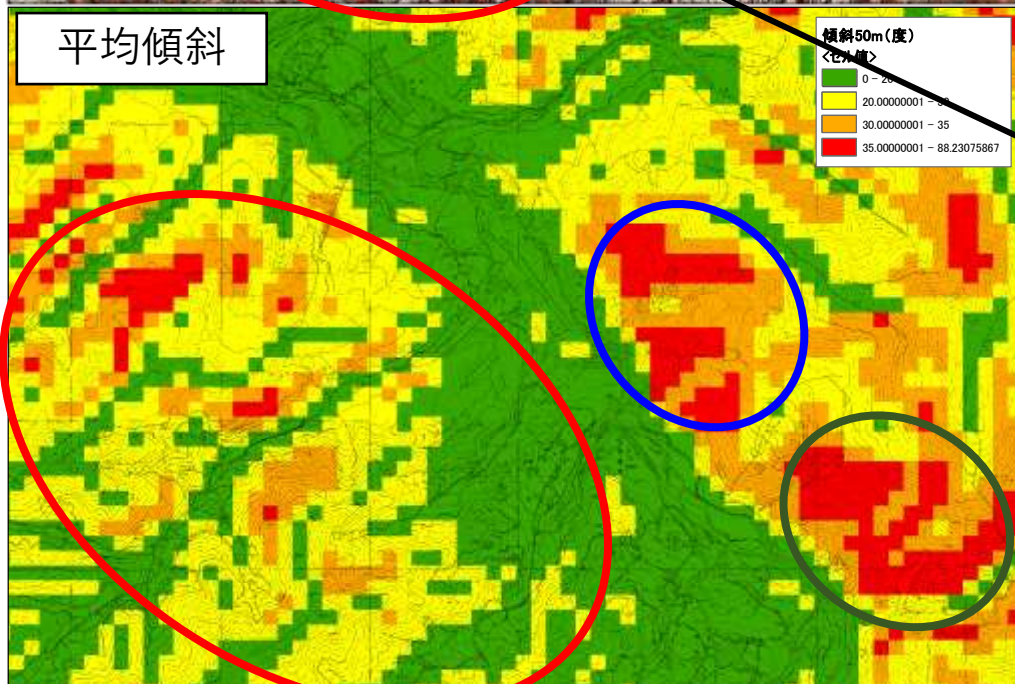
CS立体図



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50m(度)
色別値

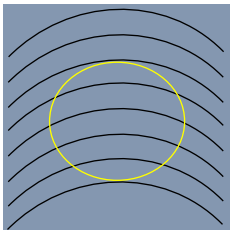
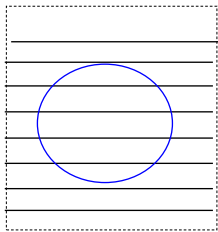
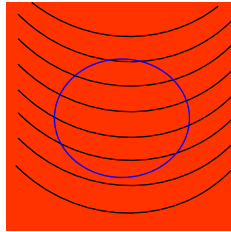
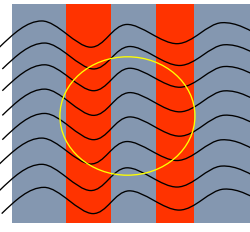
0 - 20
20.00000001 - 30
30.00000001 - 35
35.00000001 - 88.23075867

傾斜は緩い
崩壊密度が高い

(松本市薄川)

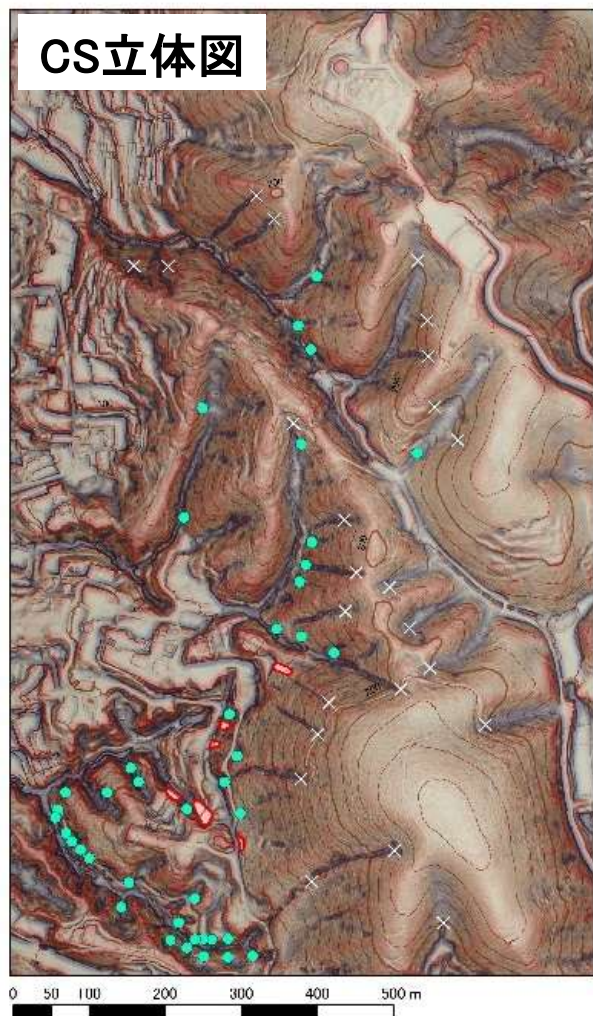
平面曲率の標準偏差

(SHC : Standard deviation of Horizontal Curvature)

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

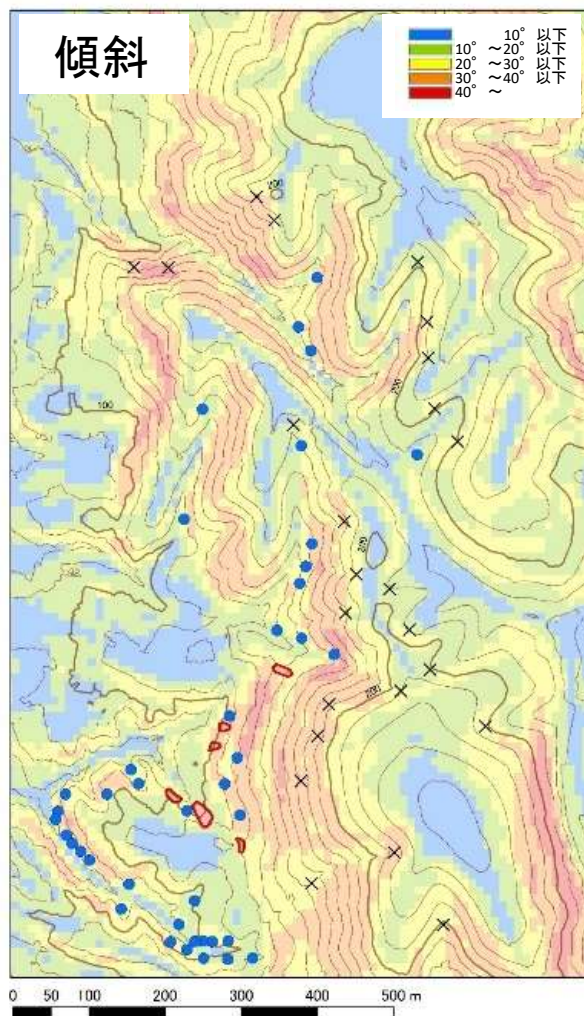
- ・同じ傾斜でも、谷が多く、入り組んだ地形では崩壊が発生しやすい。(過去の崩壊履歴が多い)
- ・一定面積(ex.半径100m円内)における平面曲率の標準偏差を計算すると、地形の入り組みの度合いを表現できる。

○解析事例1 (京都市清水:堆積岩)



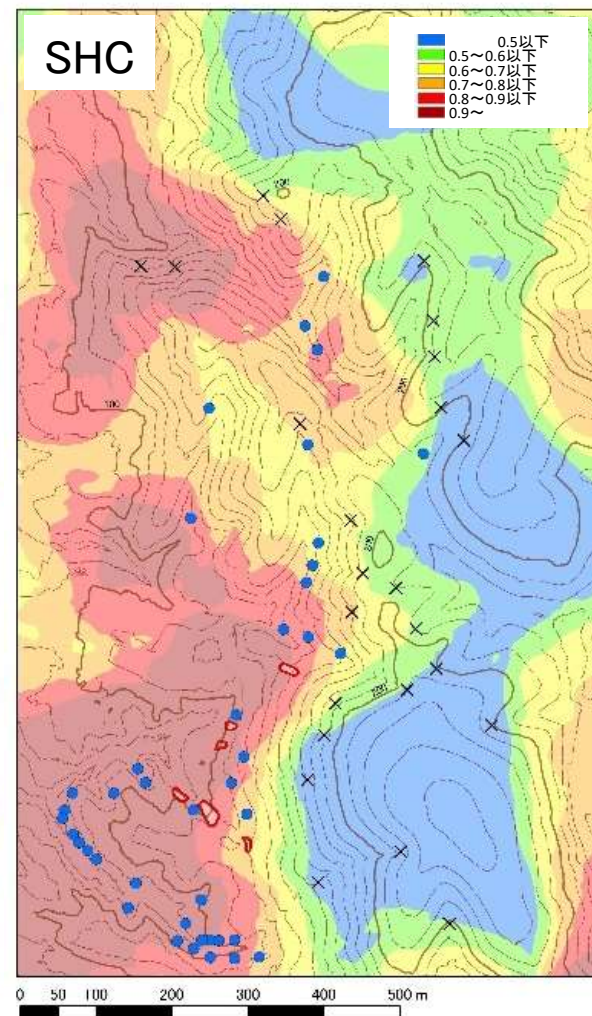
近年の崩壊履歴と踏査による湧水確認位置をマッピング

- 近年の放棄履歴
- 踏査時に湧水あり
- ×



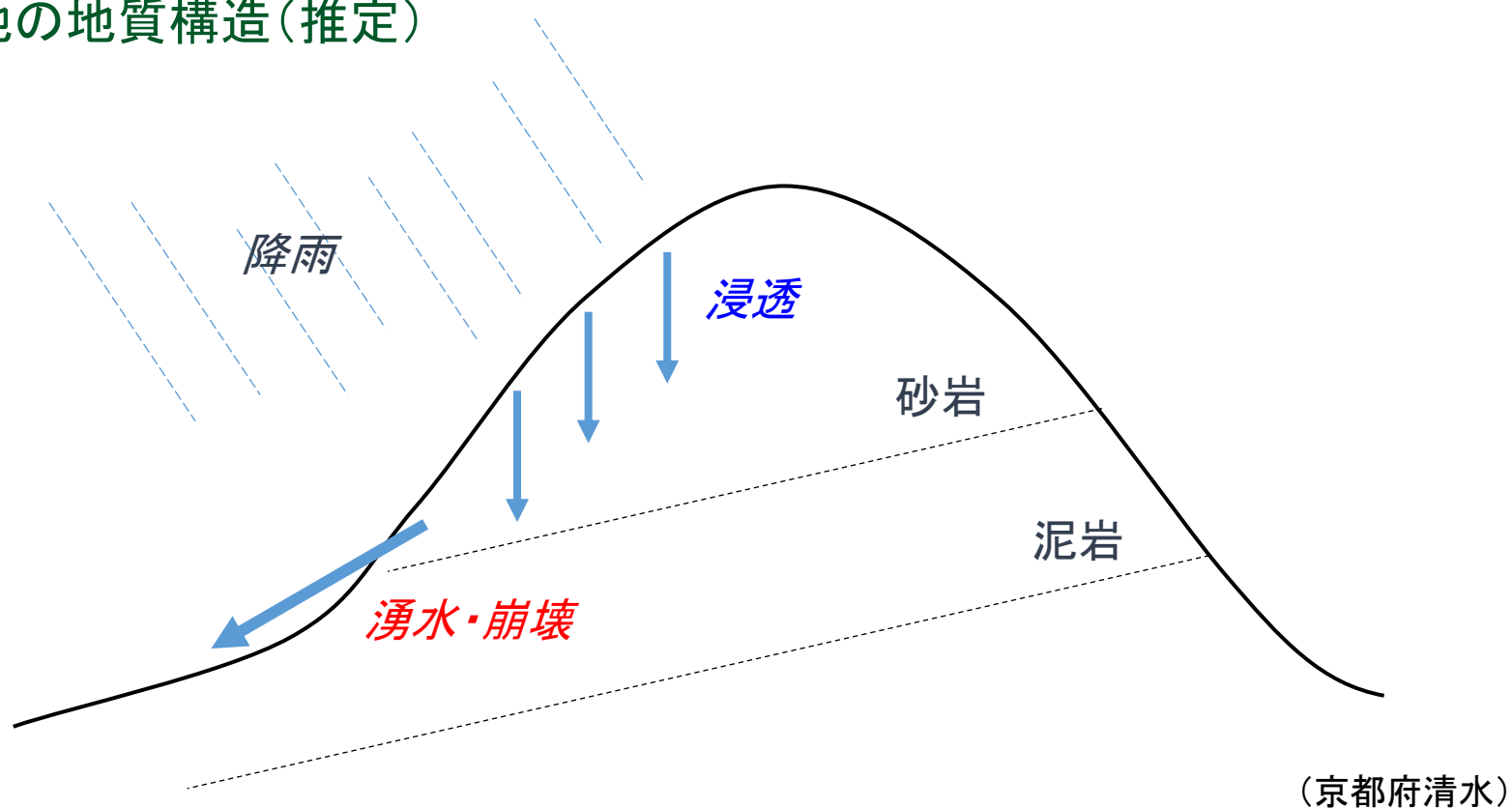
傾斜との明確な関係性は見られない

(むしろ、急傾斜地には崩壊履歴、湧水が少ない)



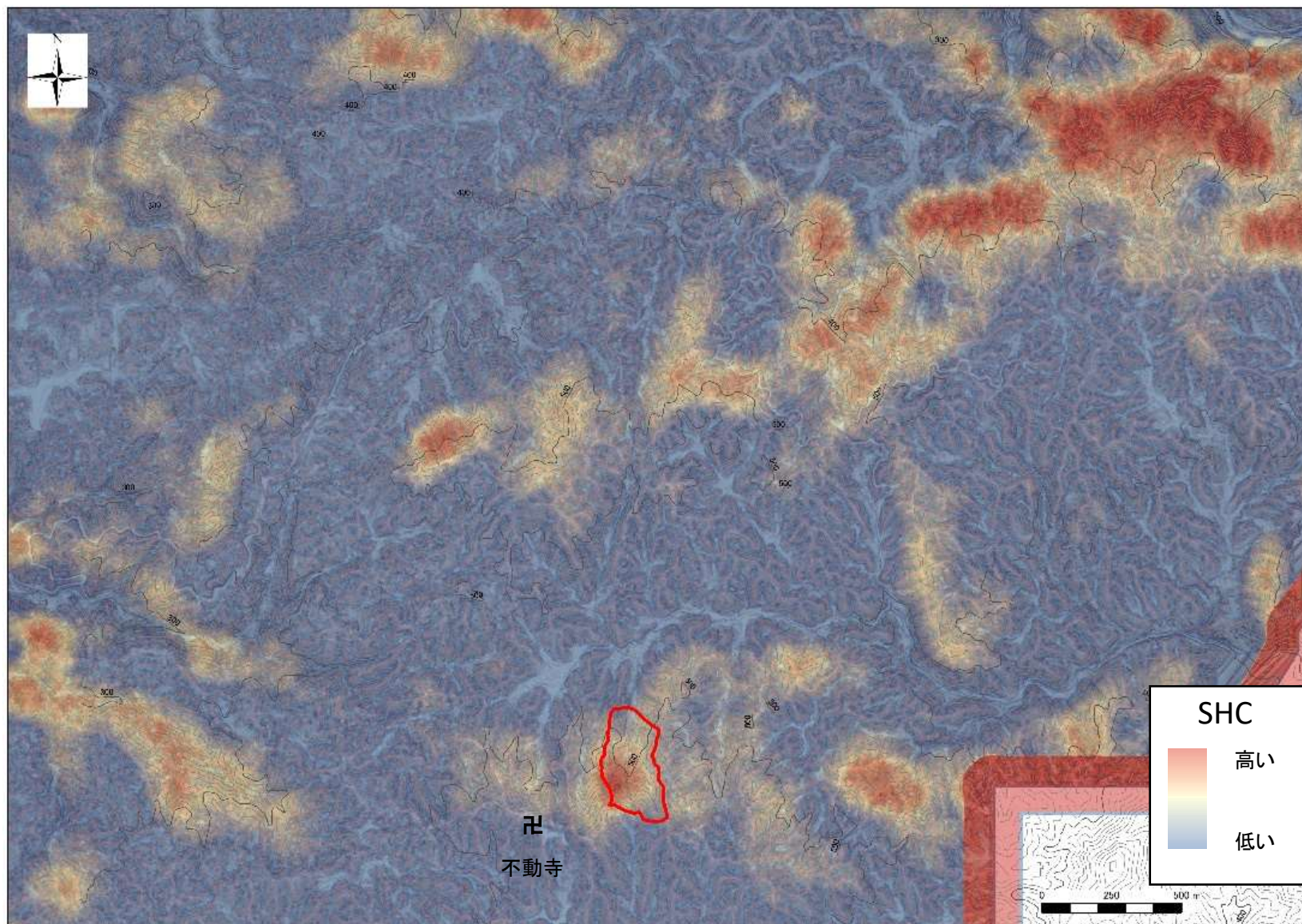
SHCが高い場所に、崩壊履歴、湧水が集中

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

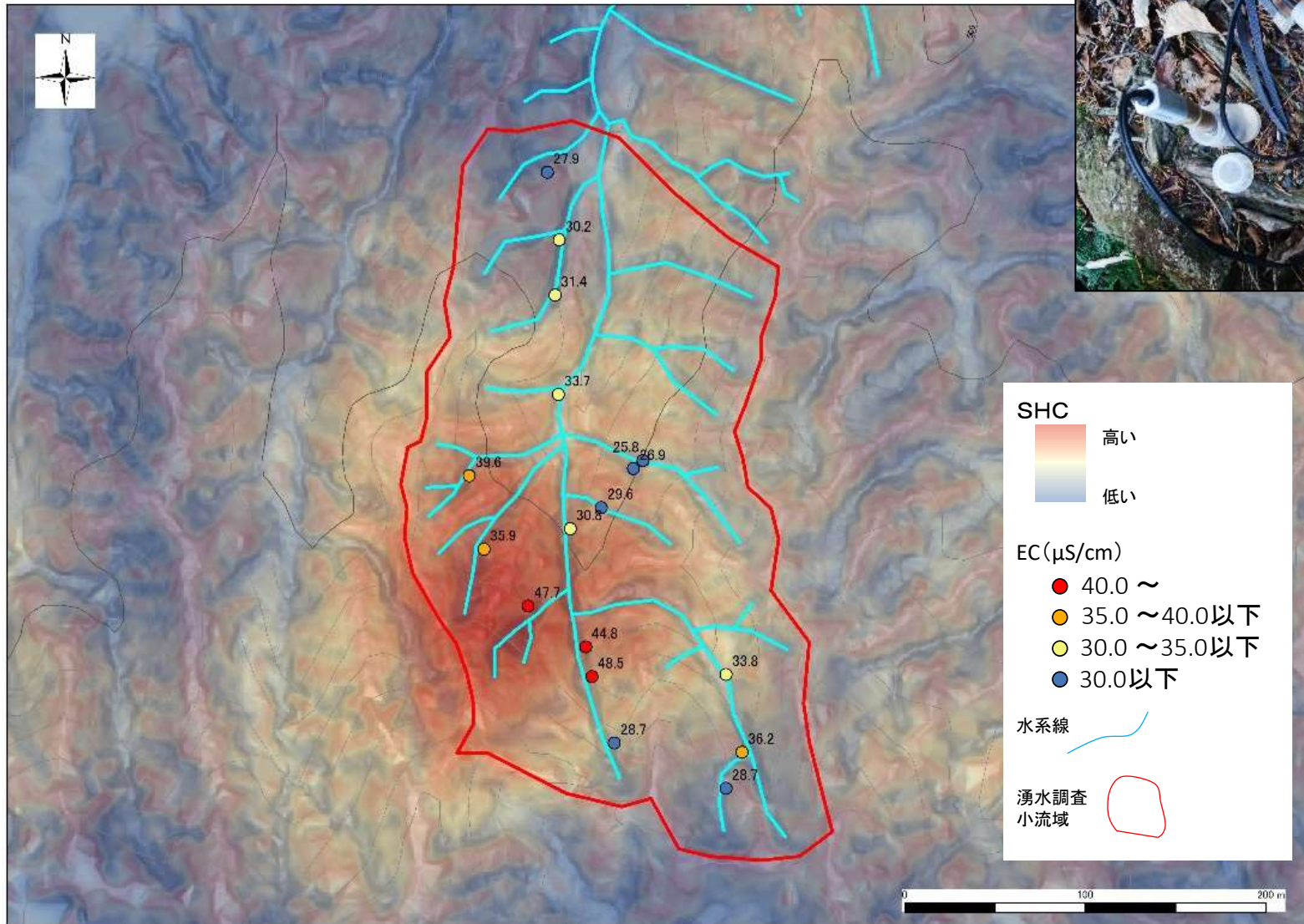
○解析事例2 (滋賀県田上:花崗岩)



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)

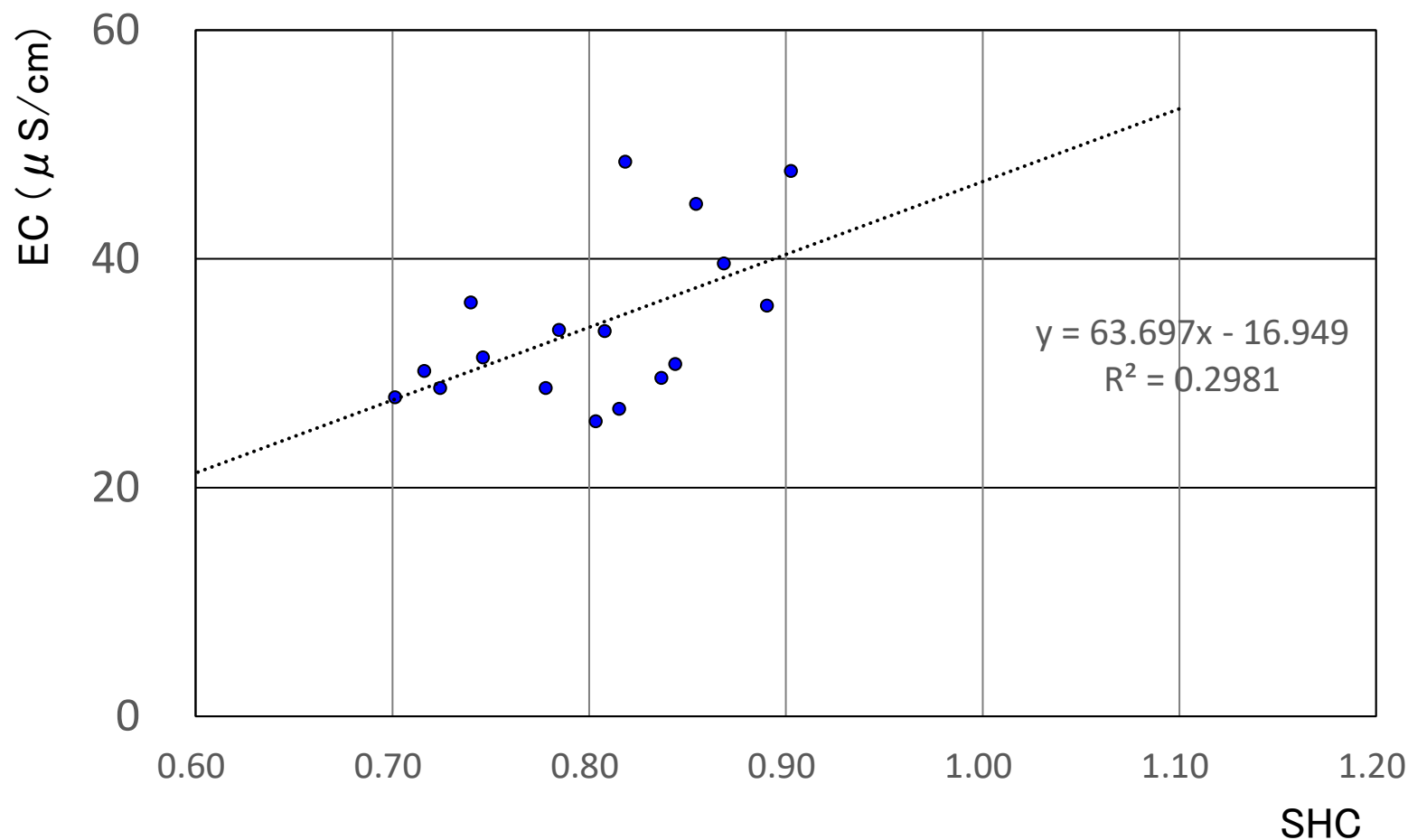


HORIBA ES-51

小流域において湧水地点で電位電導度(EC)を計測

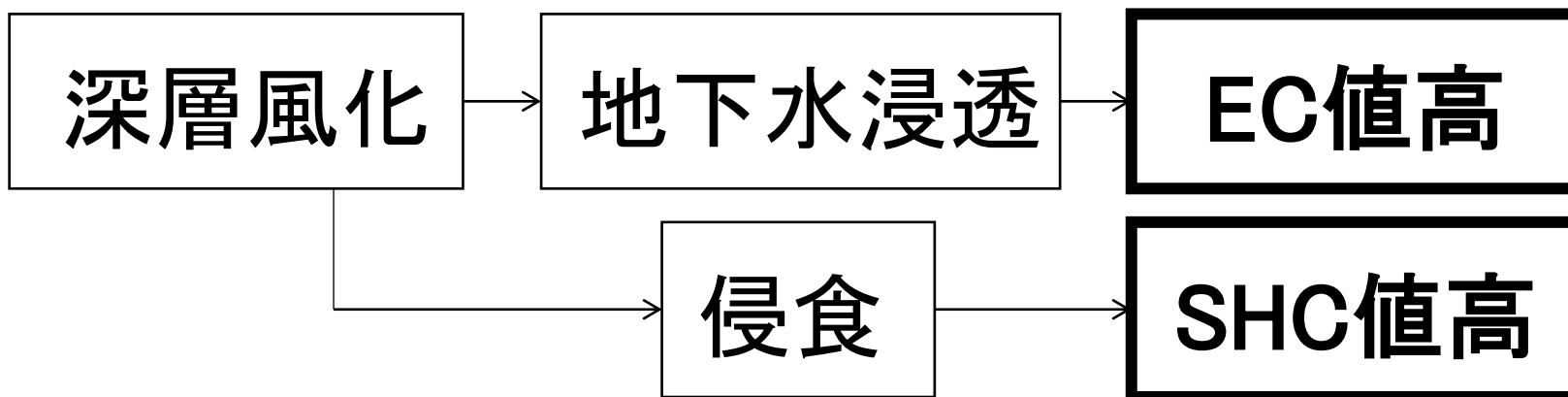
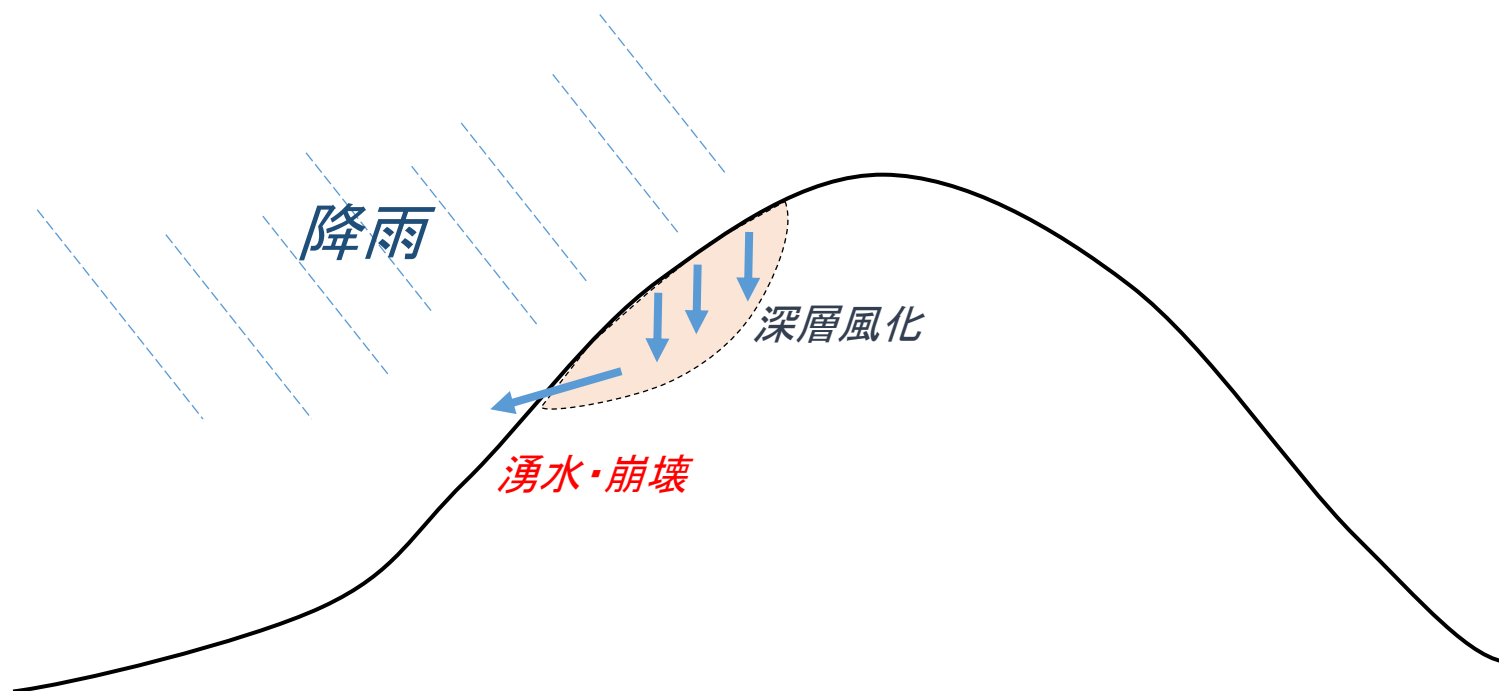
SHCが高い場所ではECも高い傾向がある

○解析事例2 (滋賀県田上:花崗岩)

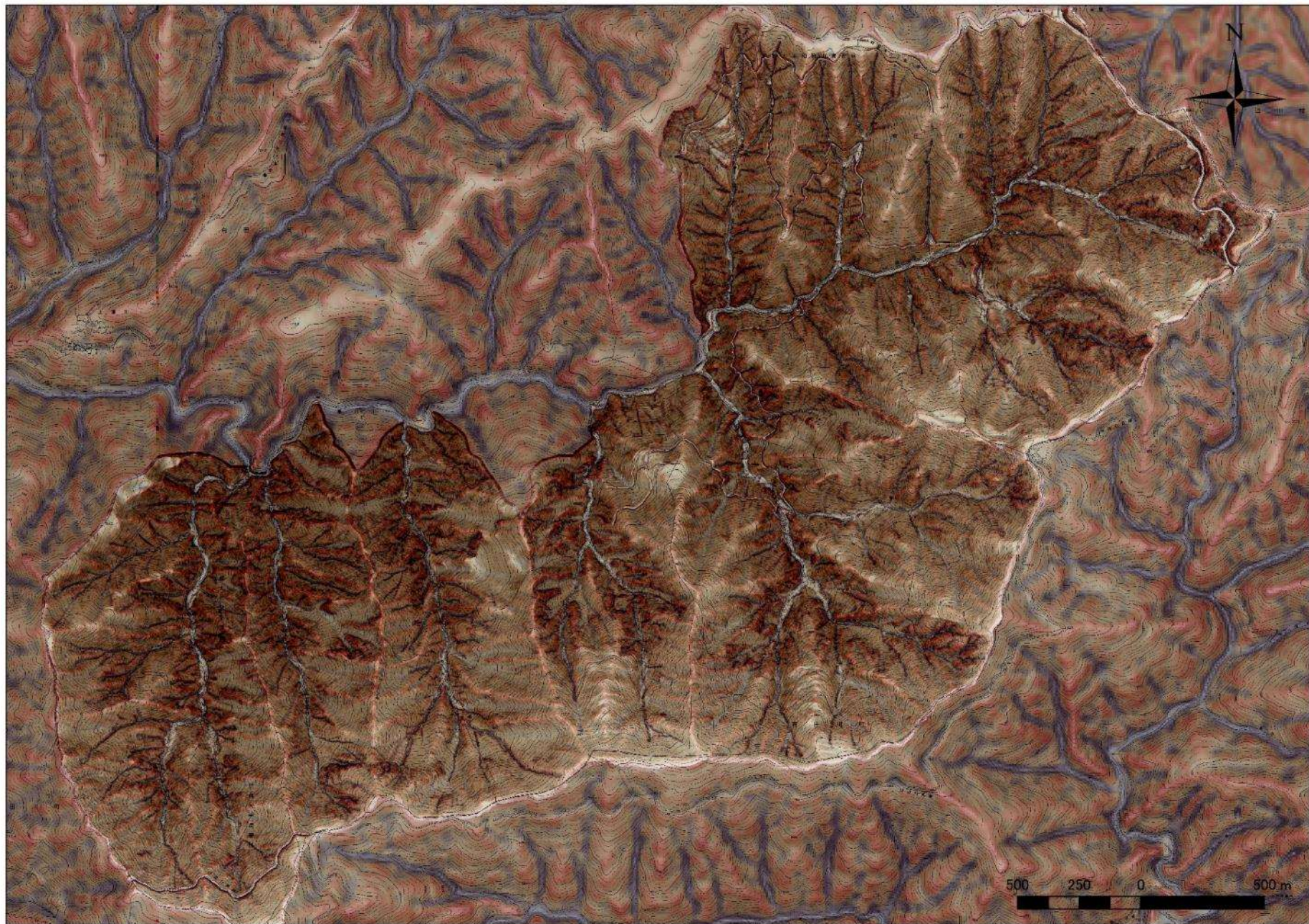


- ・ SHCとECに正の相関がある
- ・ SHCが高い場所は風化が進んでいる可能性がある

調査地の地質構造(推定)

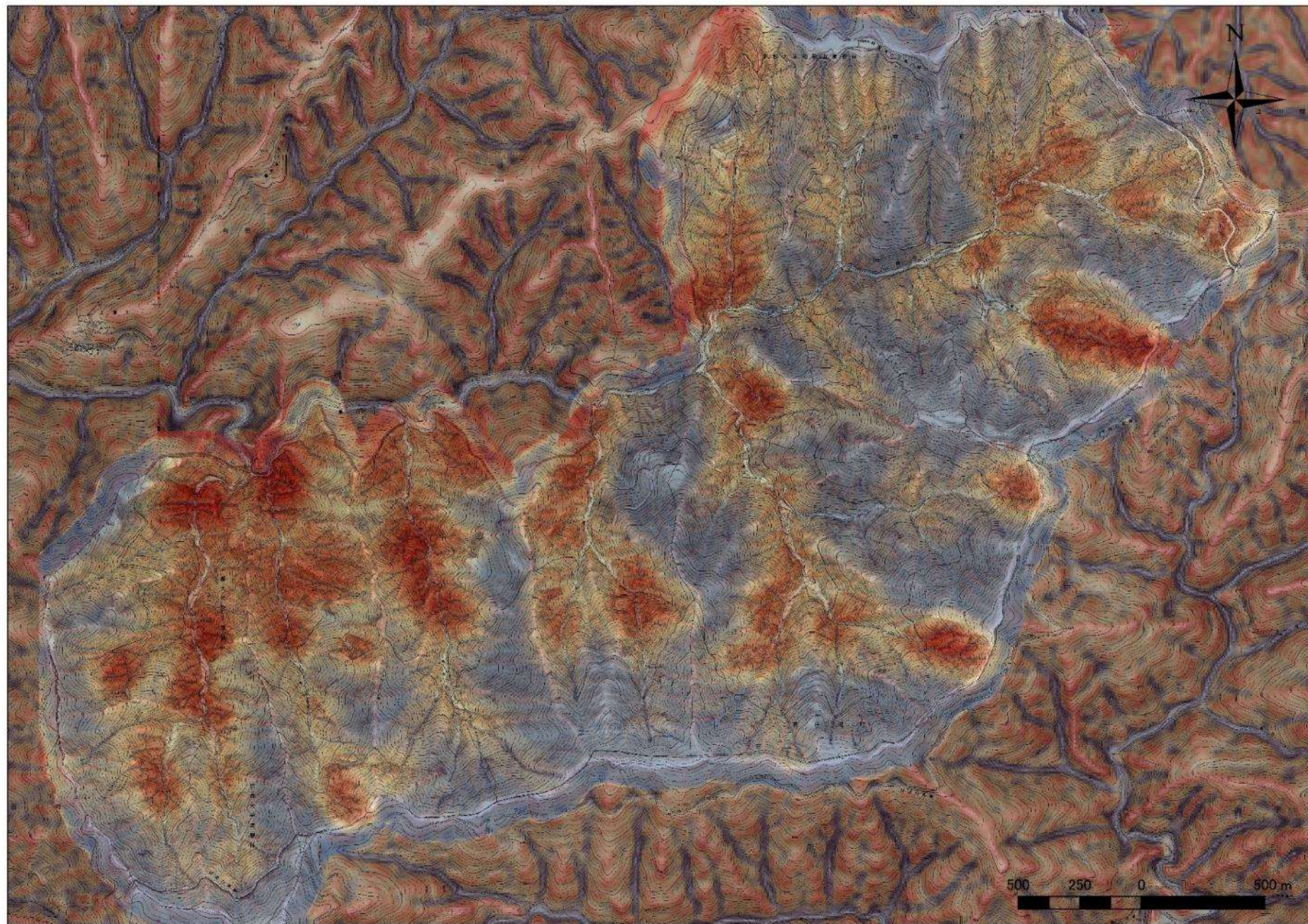


○解析事例3 (和歌山県有田川町:堆積岩)



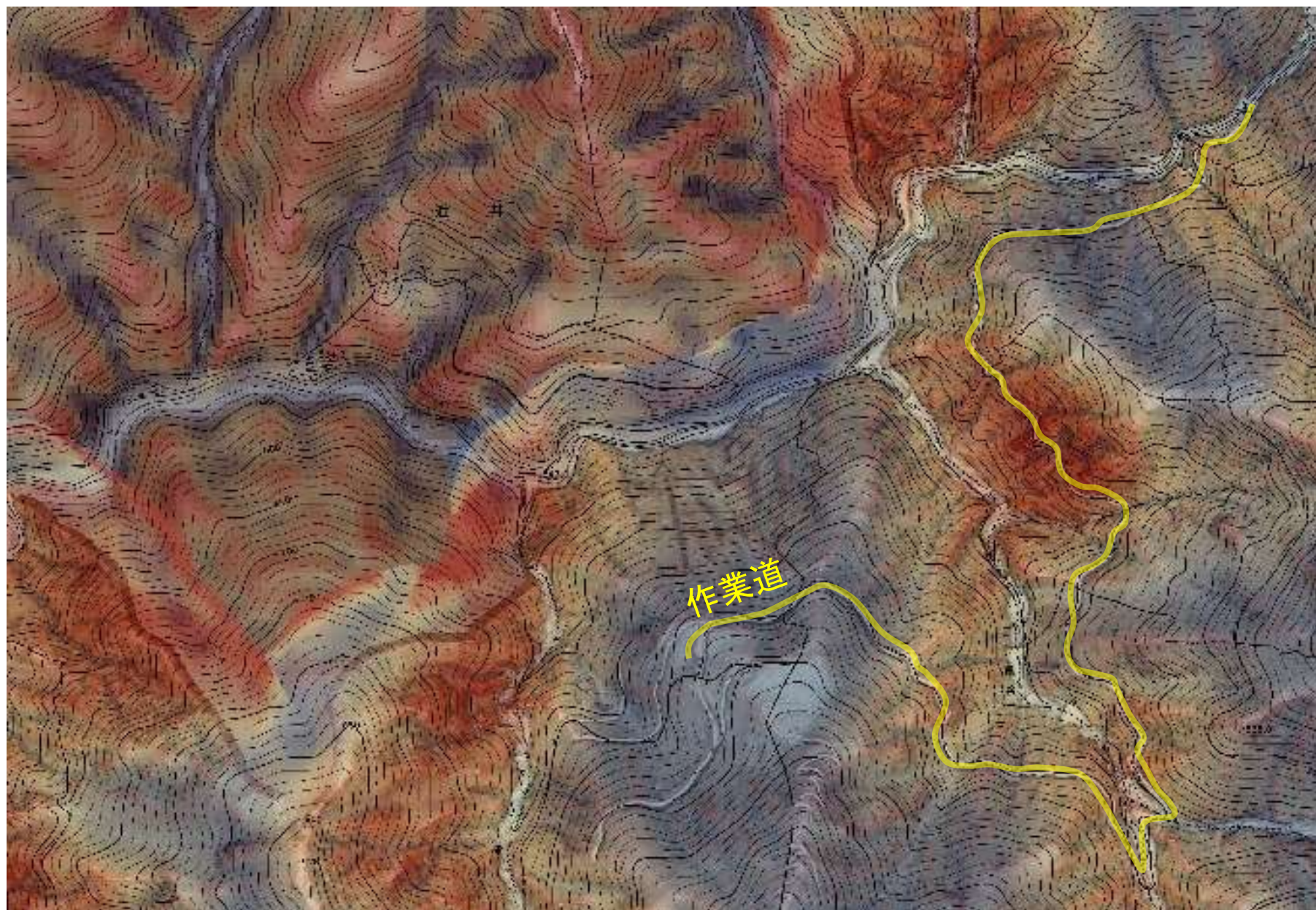
CS立体図

○解析事例3 (和歌山県有田川町:堆積岩)



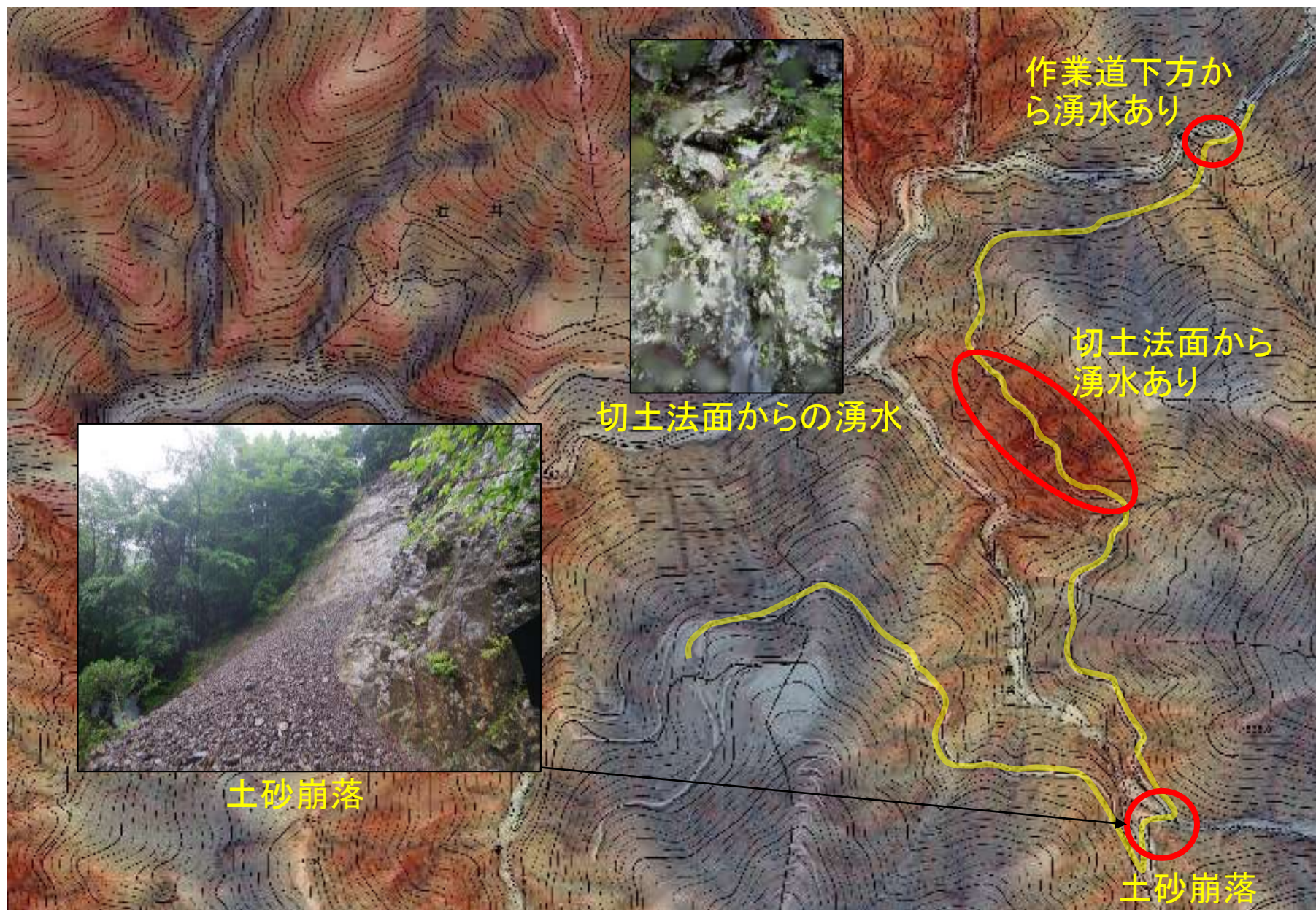
CS立体図にSHCを重ねて表示

○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)



【 ま と め 】

- CS立体図は地形種を判読しやすくする
- SHCは地形の複雑さを表す新しい地形量
- モバイルツールで現地確認が重要