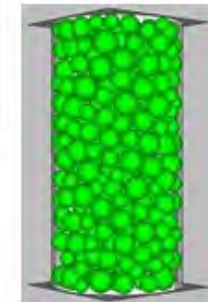


山地防災マップの高度化に必要なデータとは

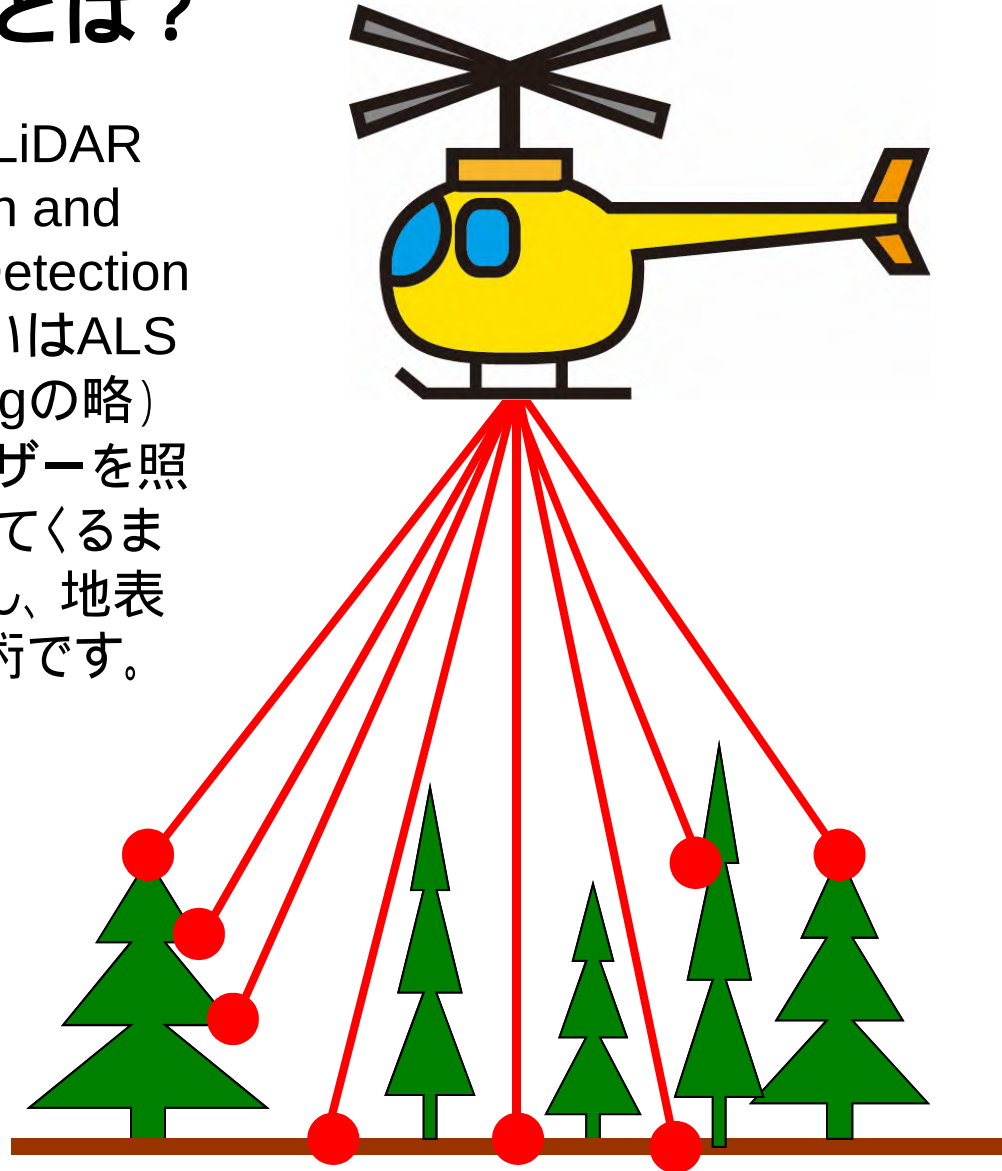
複数時期の航空レーザー測量データを利用した危険斜面の特定 とCS立体図の利用について

森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林防災研究領域 山地災害研究室
岡田康彦

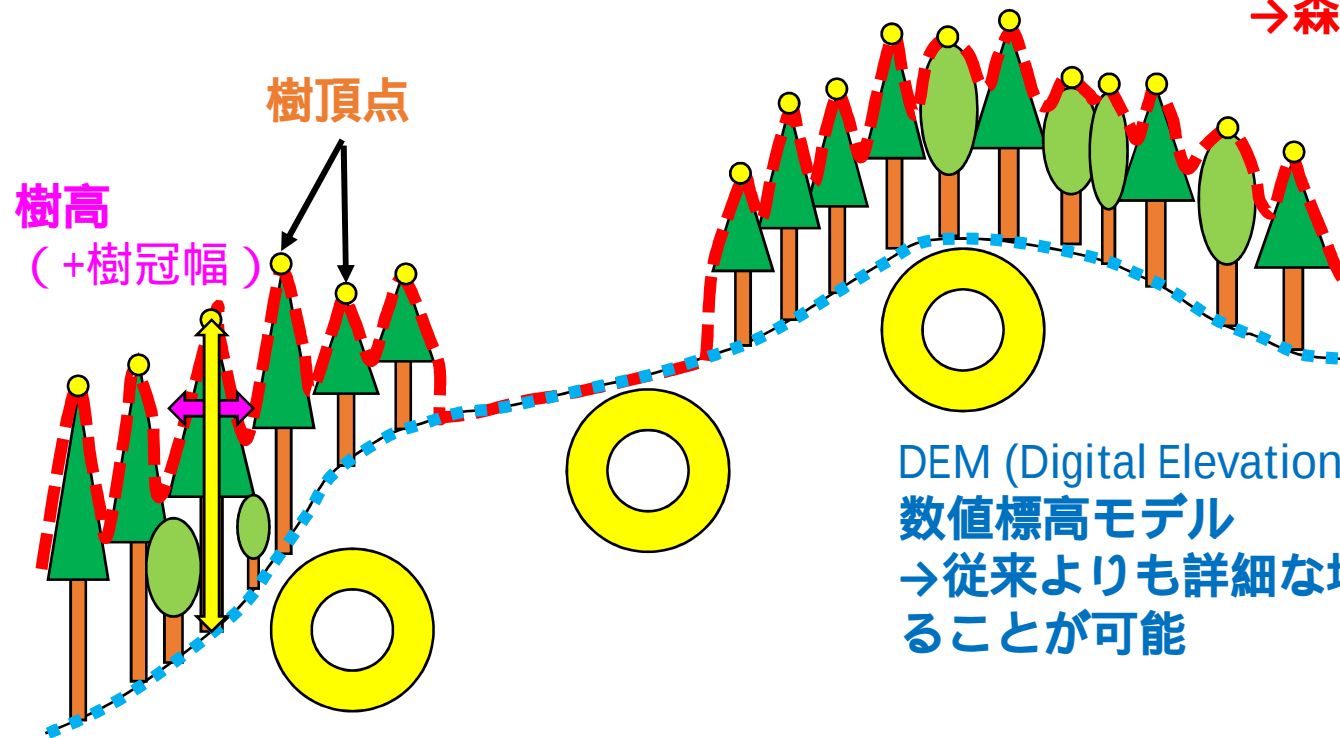


航空レーザー測量とは？

航空レーザー測量は航空LiDAR (Laser Imaging Detection and RangingまたはLighting Detection and Rangingの略)、あるいはALS (Airborne Laser Scanningの略)ともよばれ、上空からレーザーを照射し、地物に反射して戻ってくるまでの時間差で距離を計測し、地表高などを算出する測量技術です。



DSM (Digital Surface Model) :
数値表面モデル
→森林域では樹冠分布図



DEM (Digital Elevation Model) :
数値標高モデル
→従来よりも詳細な地表の形状を表現することが可能

レーザーによって計測される無数の点の位置情報(これを点群と言います)を解析することで、樹冠の分布状況、樹木位置、木の高さ、そして、**森林内の詳細な地表面の形状の情報**を得ることができます。

山腹崩壊危険度評価

表-1-1 雨量区分、地質、地形及び林況による山腹崩壊危険度点数表（多雨地域）

調査項目	単位	区 分	地 質						
			第1類	第2類	第3類	第4類	第5類	第6類	第7類
1	傾斜	%	0~30	0	0	0	0	0	0
			31~50	8	16	17	22	27	25
			51~70	42	31	51	52	47	48
			71~90	62	48	59	55	69	57
			91~	70	56	51	60	59	44
2	縦断面形		凹形	30	24	25	26	29	25
			平滑	22	19	10	5	16	8
			複合	8	14	0	0	0	13
			凸形	0	0	5	5	6	0
3	横断面形	度	~150	20	19	25	26	29	25
			151~210	30	24	20	14	25	13
			211~	0	0	0	0	0	0
4	土層深	m	0.5以下	0	0	0	0	0	0
			0.5~1.0以下	6	5	3	3	4	3
			1.0~2.0以下	10	8	8	9	10	8
			2.0超	20	16	17	17	20	16
5	齢級		1	34	26	27	28	33	28
			2~3	50	40	42	43	49	41
			4~7	36	31	30	31	37	30
			8~11	34	26	27	28	33	28
			12以上	30	24	25	26	29	25

ALSより取得

森林簿
→伐採・植林等
によりリスクが
変わりうる

航空レーザー測量で得られた災害前後の**複数時期の詳細な斜面の形状を比較**することで、災害後の地形変化の迅速な把握、とくに**今後の雨や地震で崩れやすくなっている斜面**を特定することが可能となりました。

本発表では、

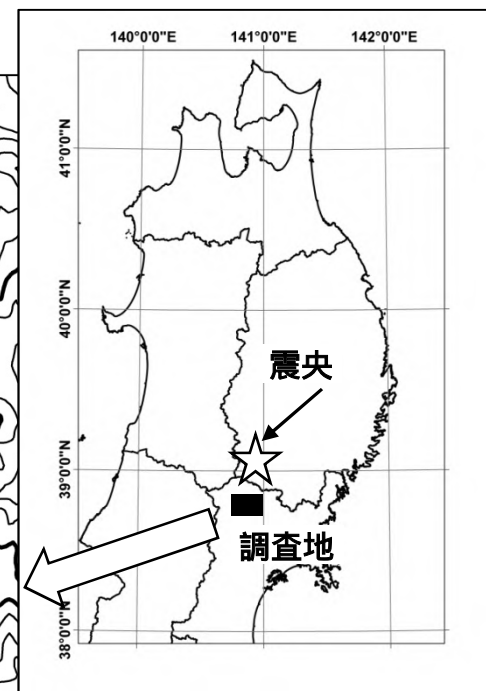
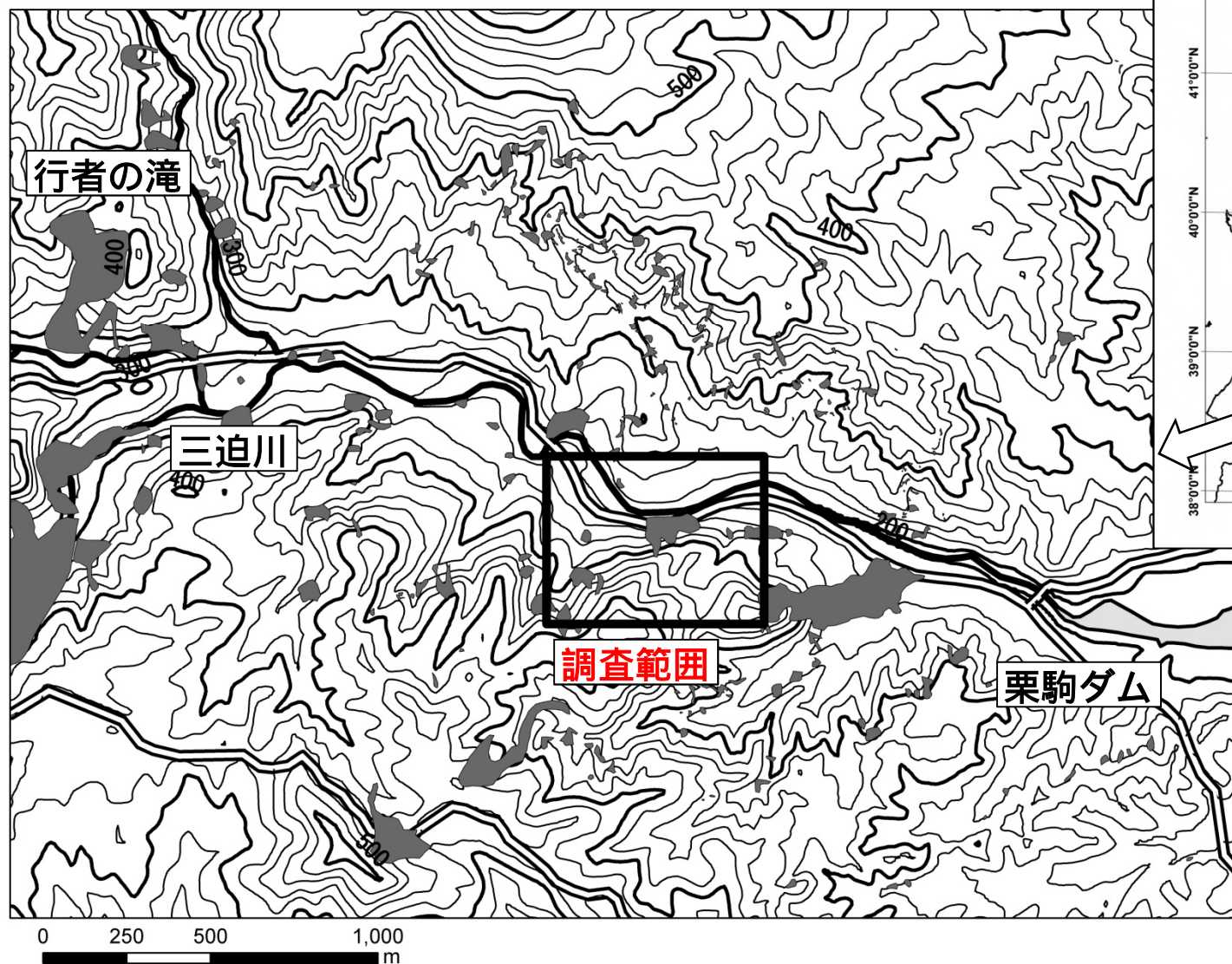
- ・ 複数時期の航空レーザー測量データより得られる地形情報を比較することで明らかとなった、**災害後の地形変化の調査事例（2件）**
- ・ 危険斜面の特定にあたっての**CS立体図**

について、紹介します。

調査事例 1

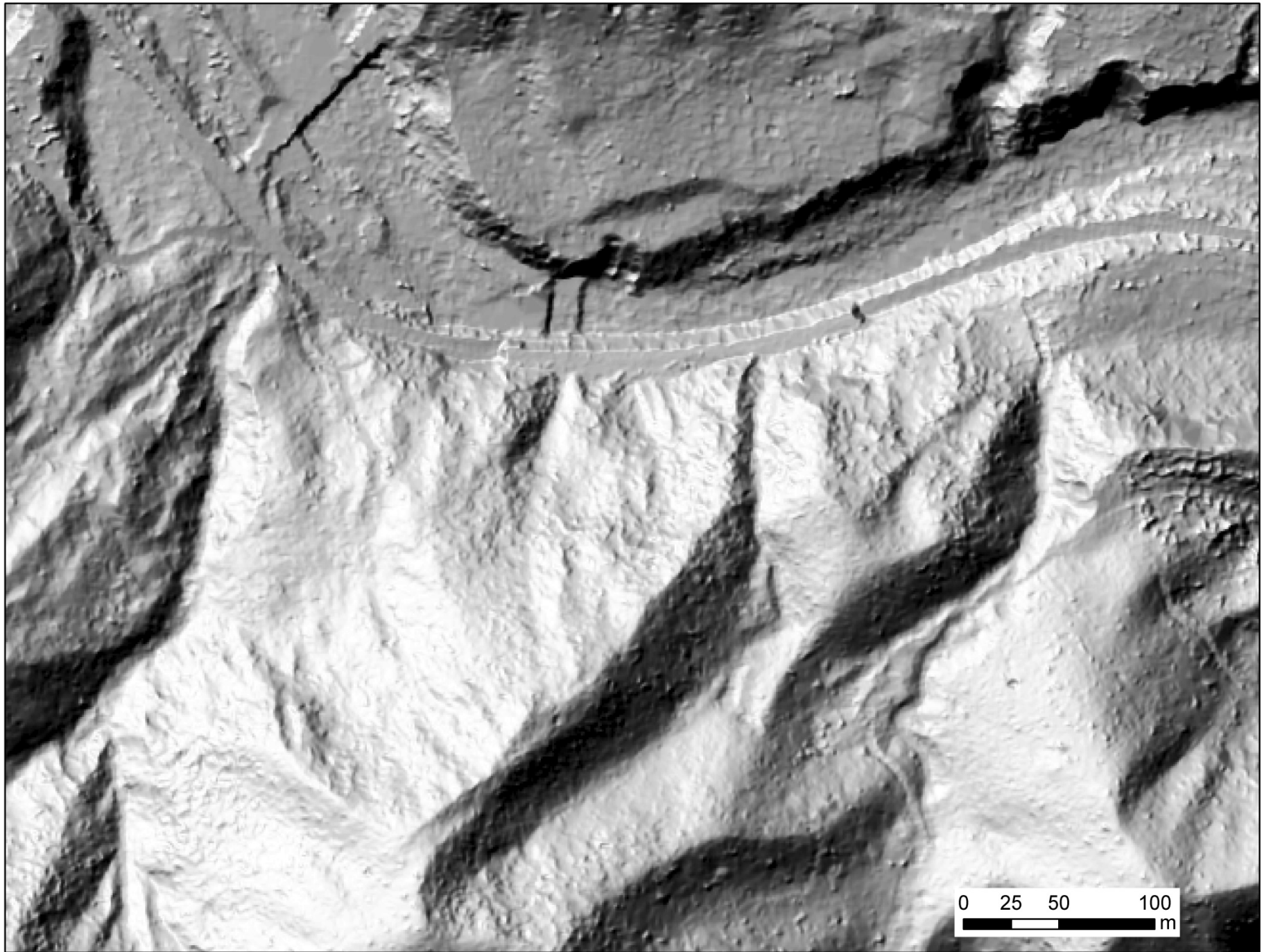
地震前後のLiDARデータから明らかとなった2008年岩手・宮城内陸地震によって山地斜面に発生した亀裂と、それにともなう斜面変形

参考文献：村上ほか（2013）2008年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と重力変形、地形、34-1、p55-67



■ 斜面崩壊





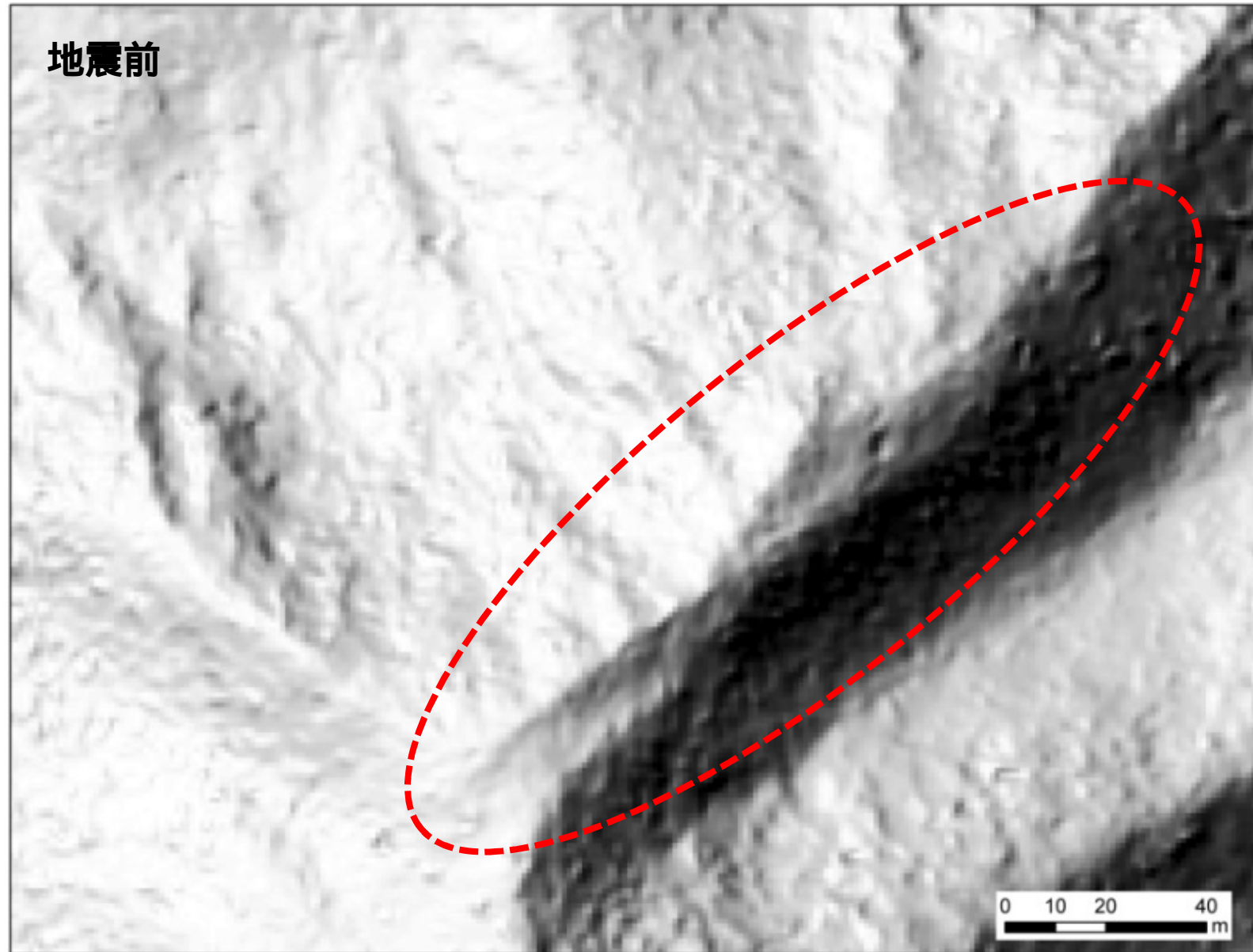


図 航空レーザー測量データの比較から明らかとなった2008年岩手・宮城内陸地震で発生した線状凹地内の亀裂およびそれに伴う斜面の変形：
宮城県栗原市三迫川右岸側斜面（村上ほか、2013： 2008年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と重力変形、地形、34-1、p55-67 ）

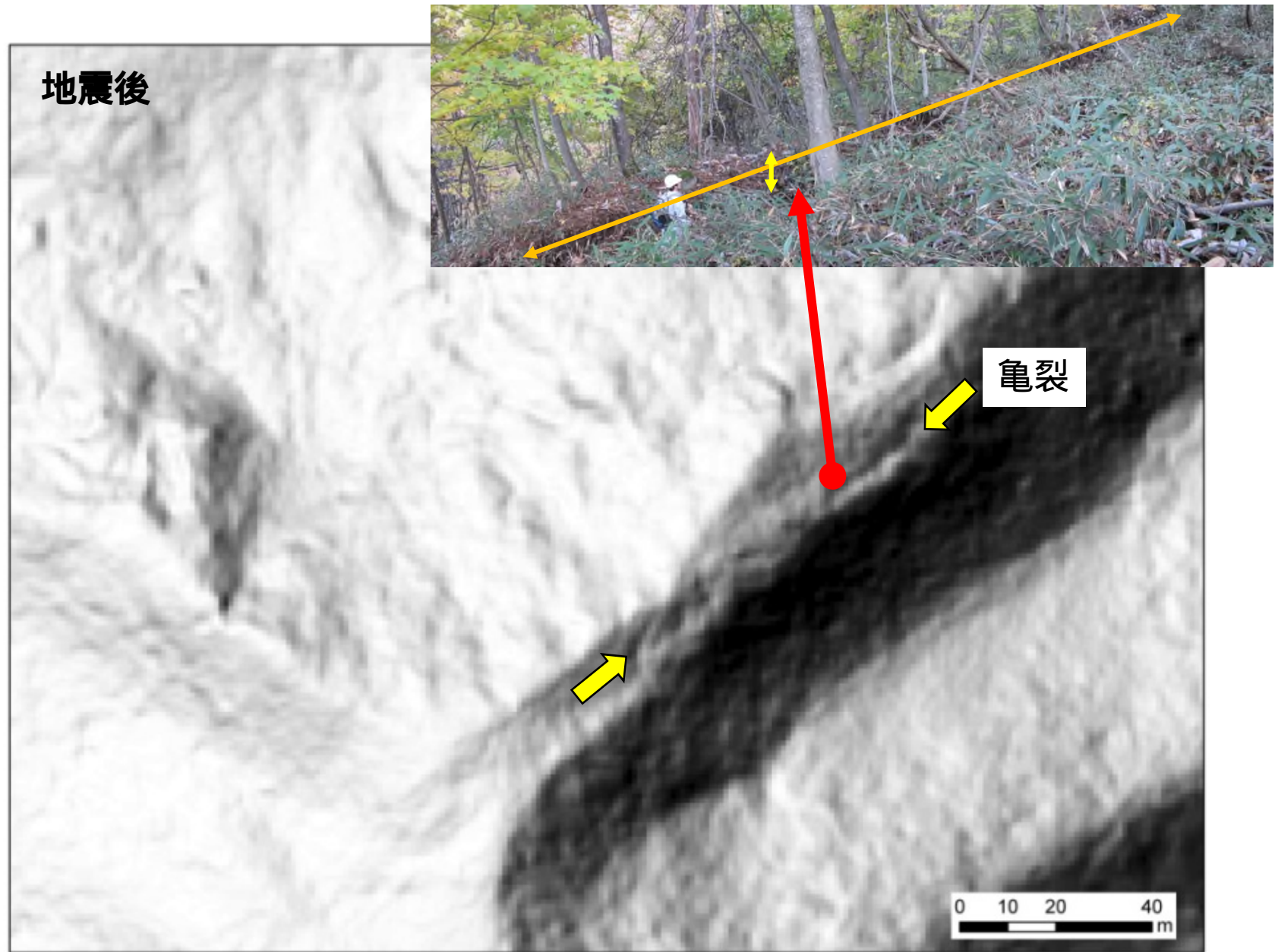


図 航空レーザー測量データの比較から明らかとなった2008年岩手・宮城内陸地震で発生した線状凹地内の亀裂およびそれに伴う斜面の変形：
宮城県栗原市三迫川右岸側斜面（村上ほか、2013： 2008年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と重力変形、地形、34-1、p55-67 ）

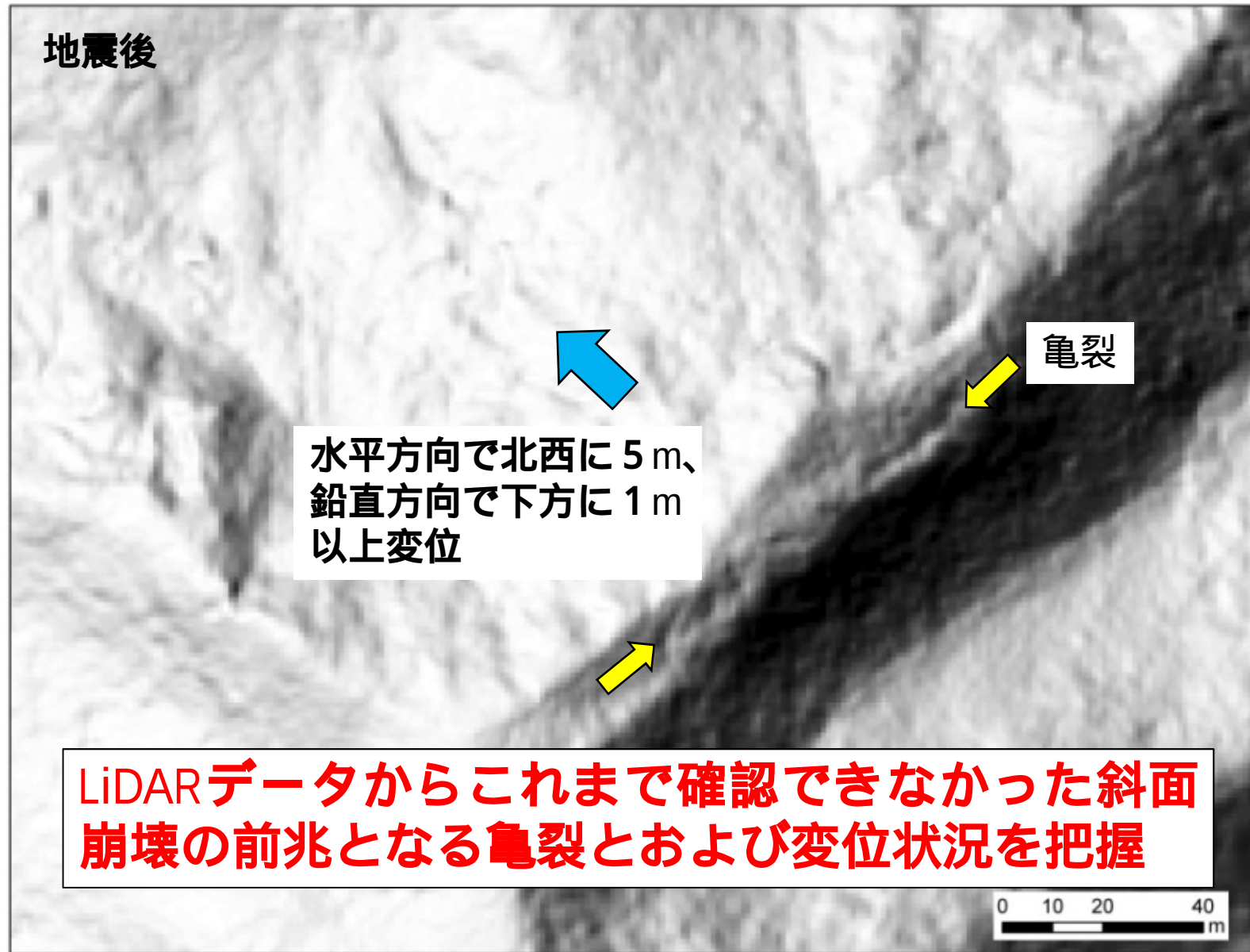
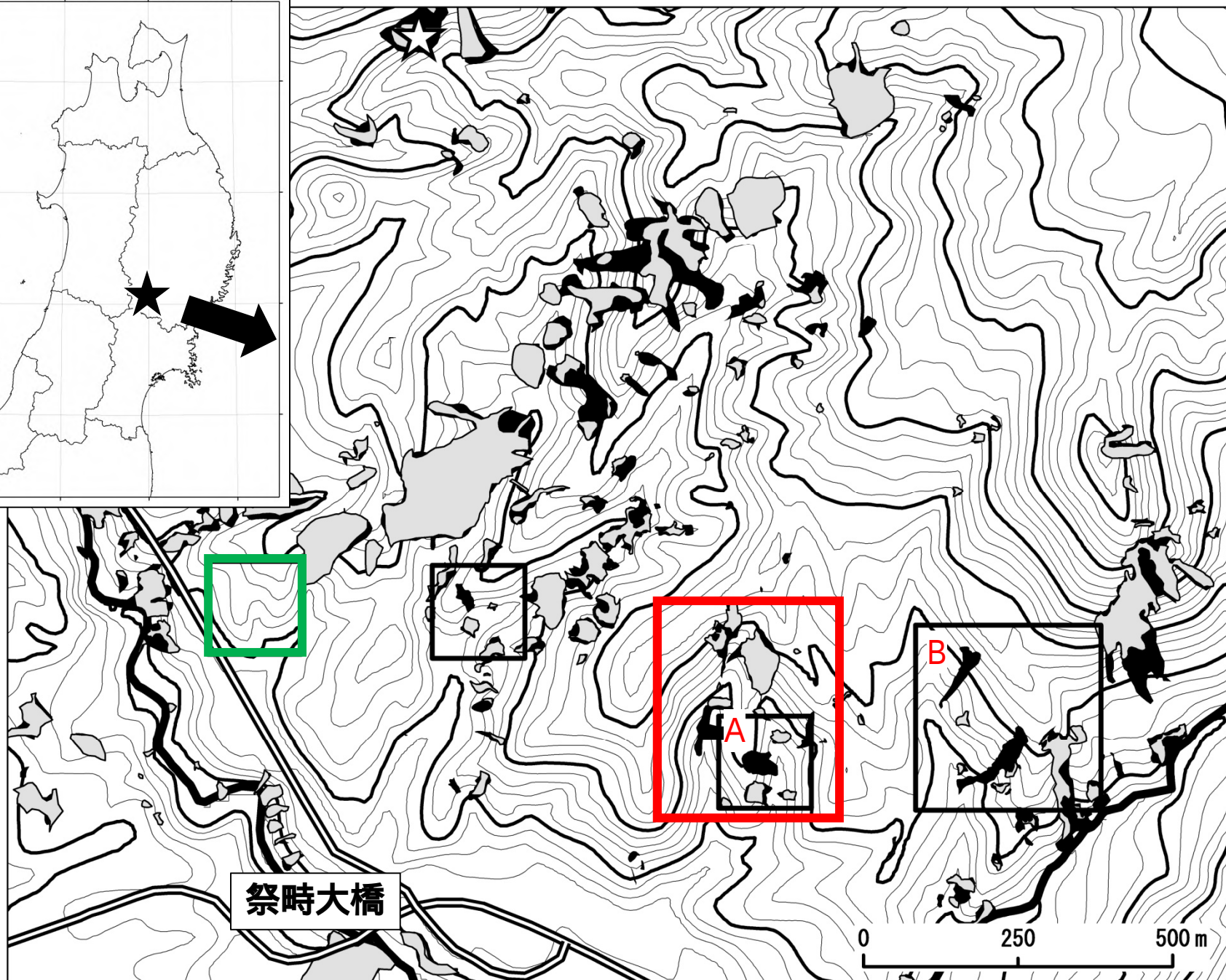
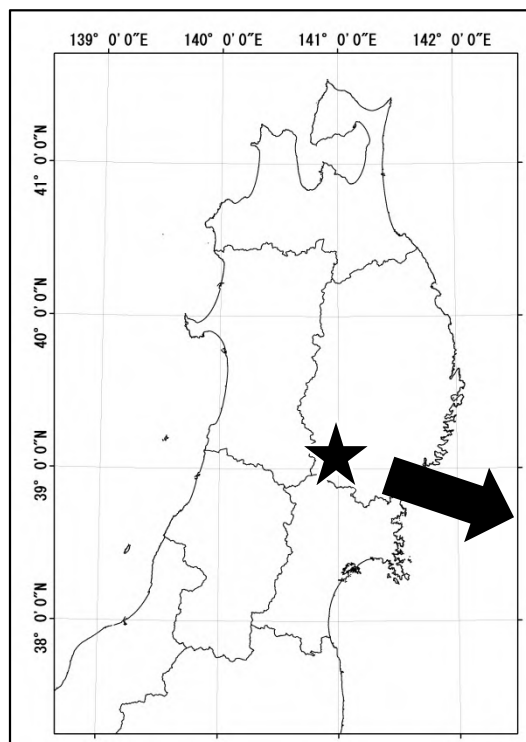


図 航空レーザー測量データの比較から明らかとなった2008年岩手・宮城内陸地震で発生した線状凹地内の亀裂およびそれに伴う斜面の変形：
宮城県栗原市三迫川右岸側斜面（村上ほか、2013： 2008年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と重力変形、地形、34-1、p55-67 ）

調査事例2

2008年岩手・宮城内陸地震後の降雨によって発生した崩壊斜面の地形的な特徴と、調査結果に基づいた危険斜面の特定

参考文献：村上ほか（2017）2008年岩手・宮城内陸地震後の降雨により崩壊が発生した山地斜面の地形的特徴、地すべり学会誌、54-1、p3-12



地震では崩れなかった斜面でもその後の降雨によって崩れることが多い

→なぜ崩れたのか？

→どこが崩れやすくなっているのか？

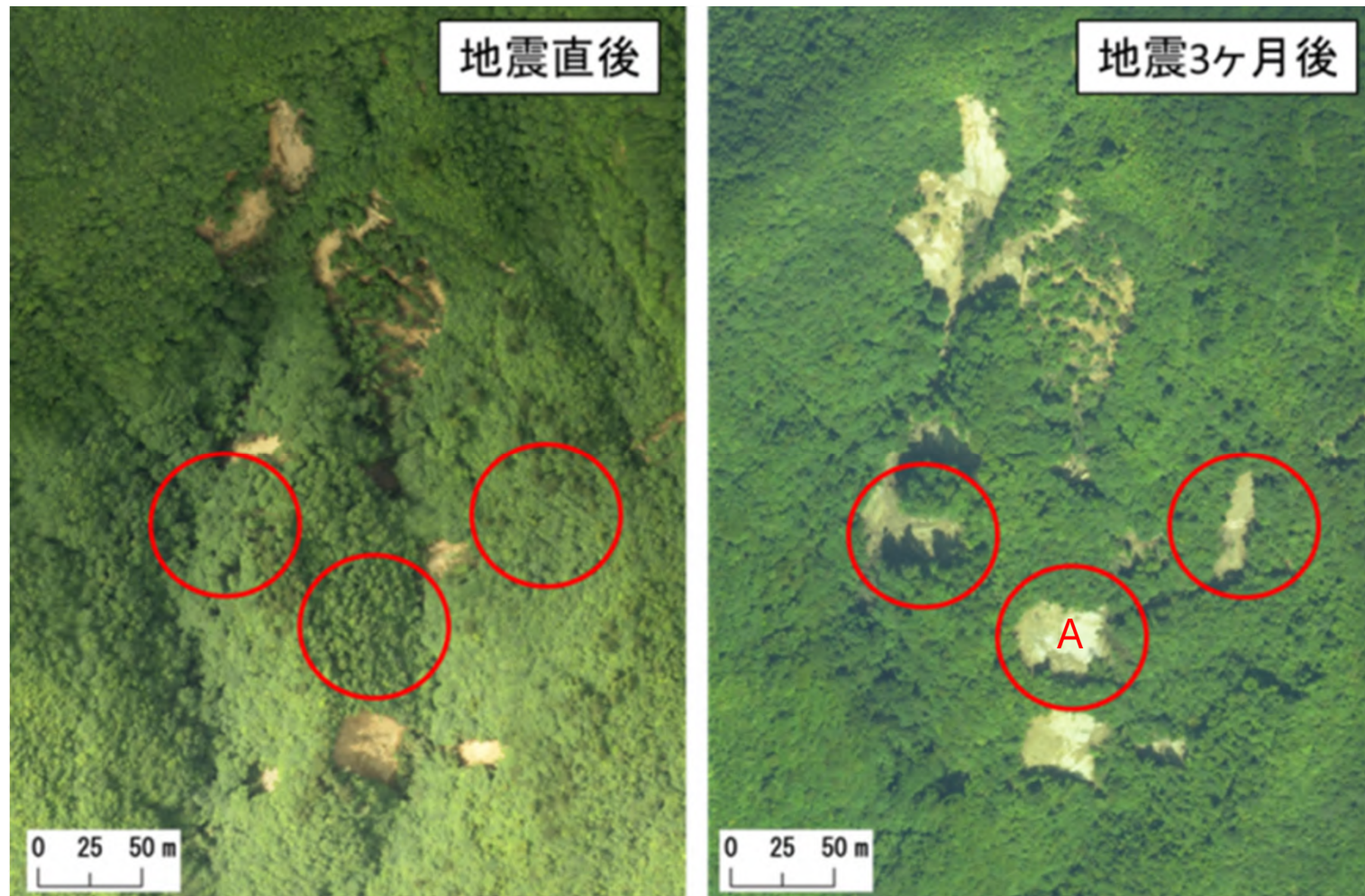


図 地震直後（崩壊前）と3か月後（崩壊後）の空中写真（オルソ画像）
赤枠は地震3ヶ月後の崩壊範囲を示す。

調査結果

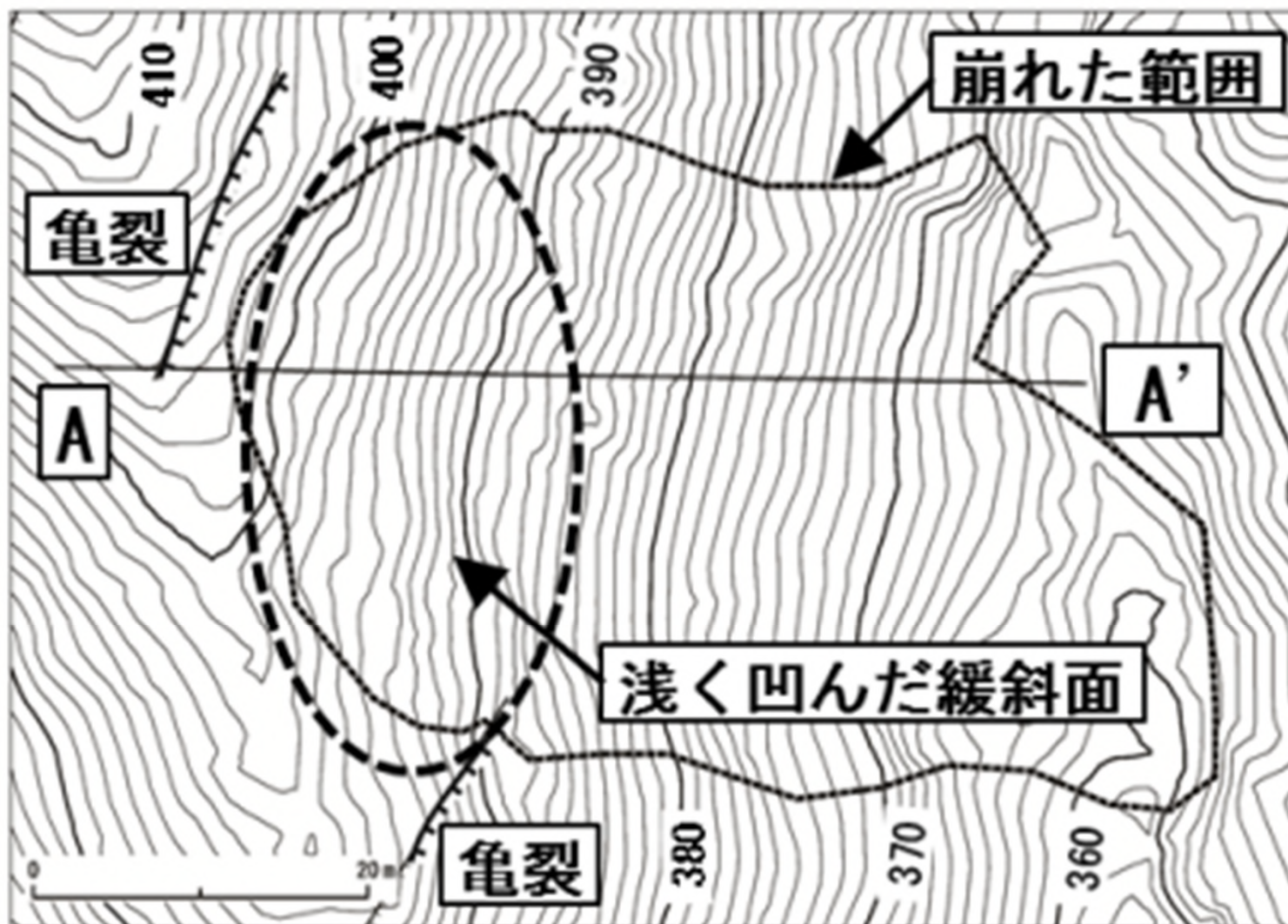


図 地震後の降雨で崩壊した斜面の崩壊前の航空レーザー測量（LiDAR）データより作成した等高線図

調査結果

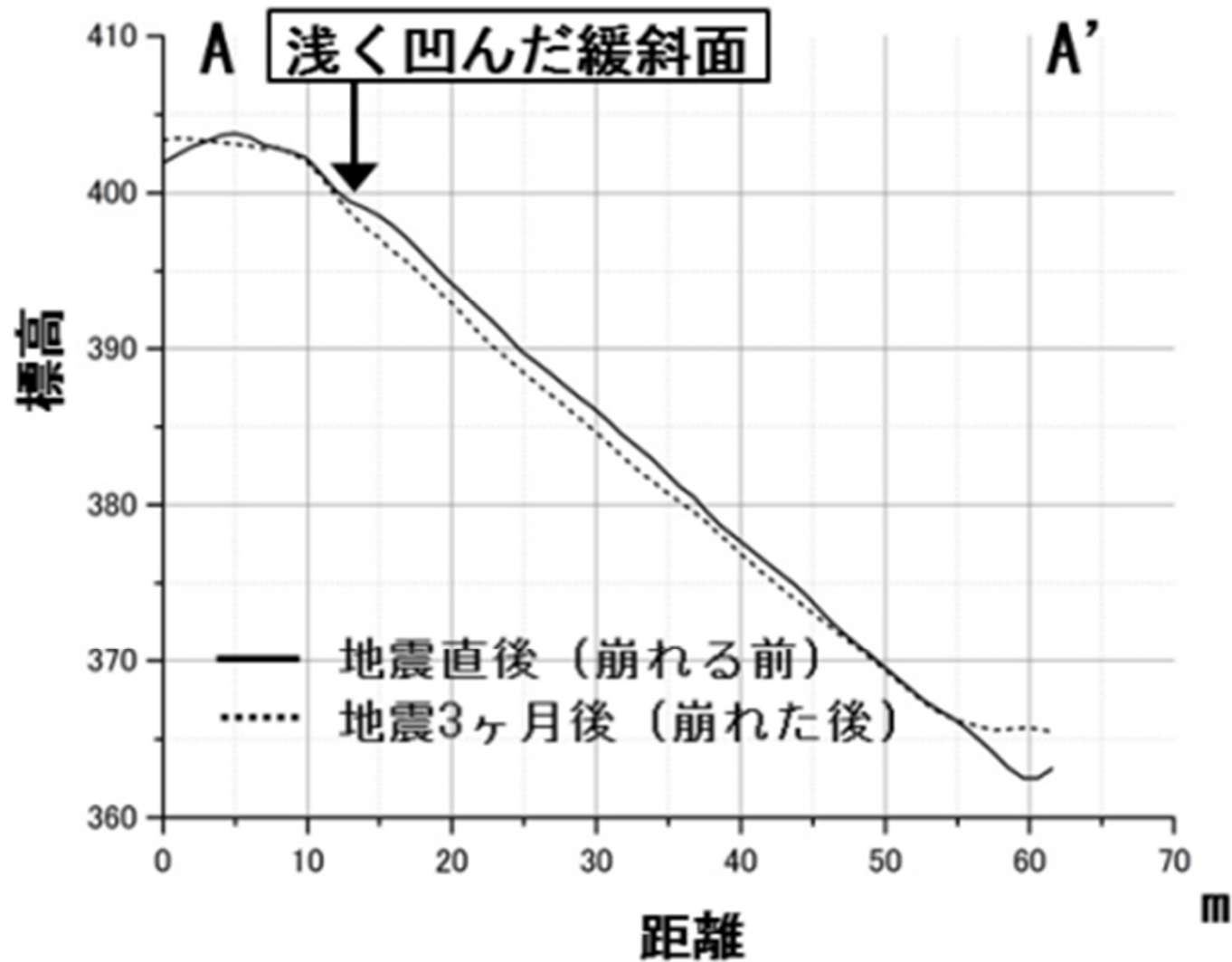


図 地震後に崩壊した斜面の崩壊前後の縦断面図。矢印は崩壊源頭部を示す。崩壊源頭部付近は崩壊前は20～30°程度の緩斜面であった。

調査結果



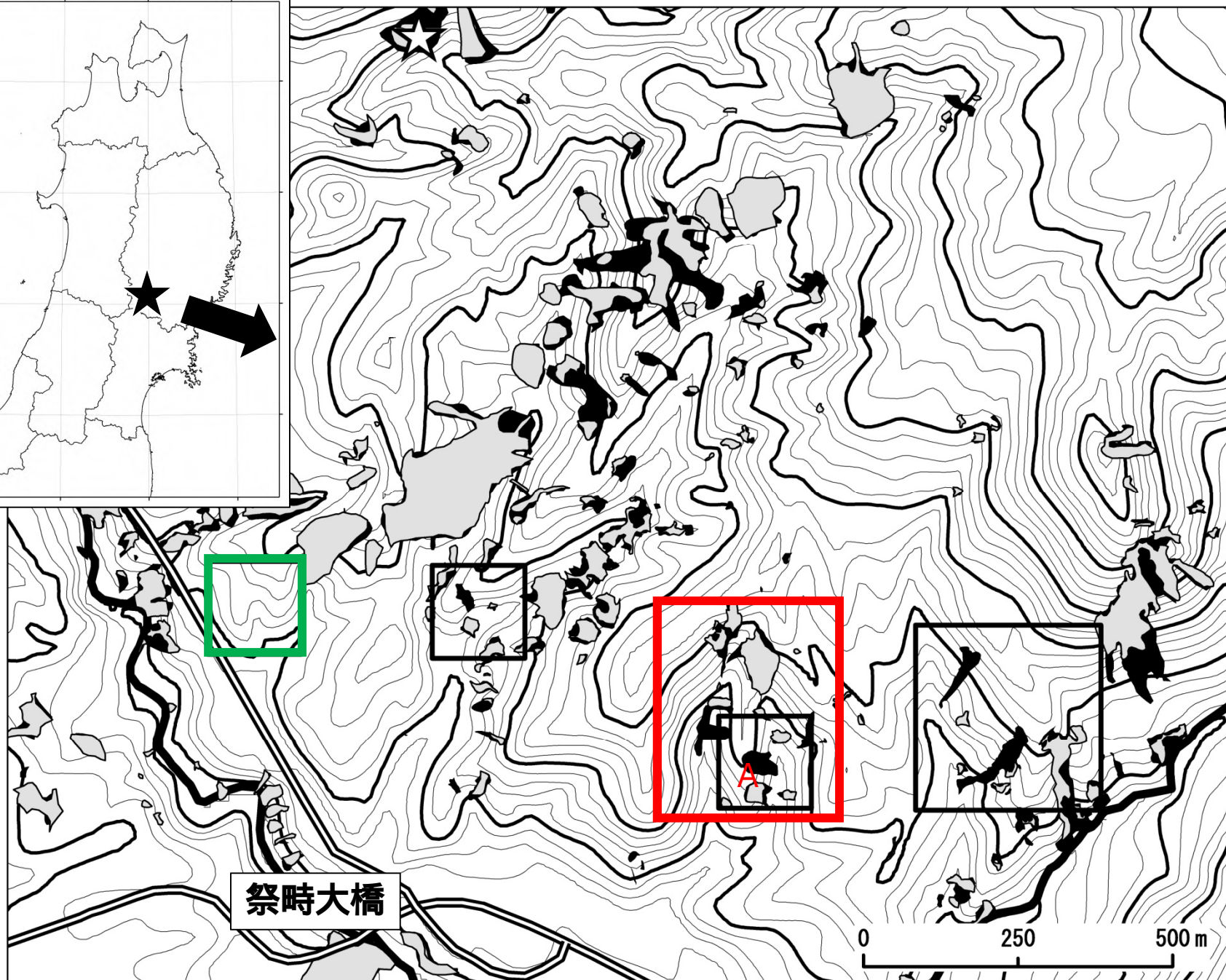
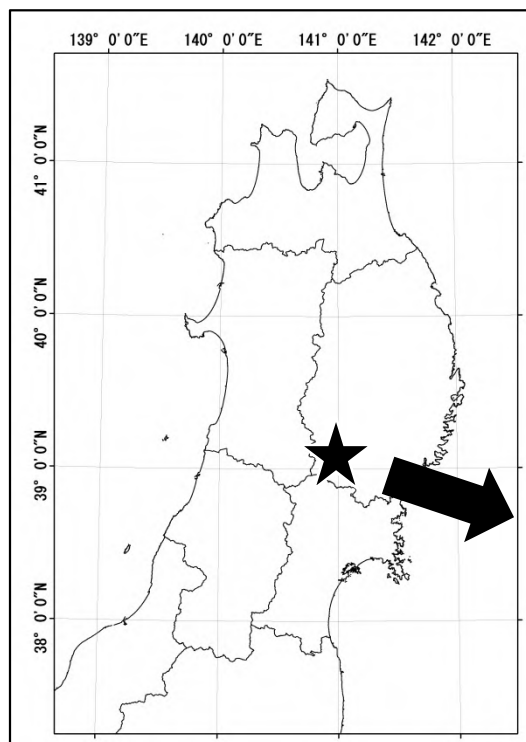
写真 崩壊斜面源頭部で確認した亀裂。2009年6月26日撮影。

航空レーザー測量データの比較結果から導き出された推測

- ・地震後に崩壊が発生した斜面は崩壊前は部分的に緩斜面（凸型の縦断面形）になっており、そこを頭部として崩壊が発生した？
- ・緩斜面には現地調査で斜面に見られる亀裂が発生していた？

→論証のための調査

崩壊は発生していないが、似たような地形条件の斜面を抽出し、亀裂の有無といった変形の痕跡を検証する。



調査結果



図 調査地の空中写真（オルソ画像）

調査結果

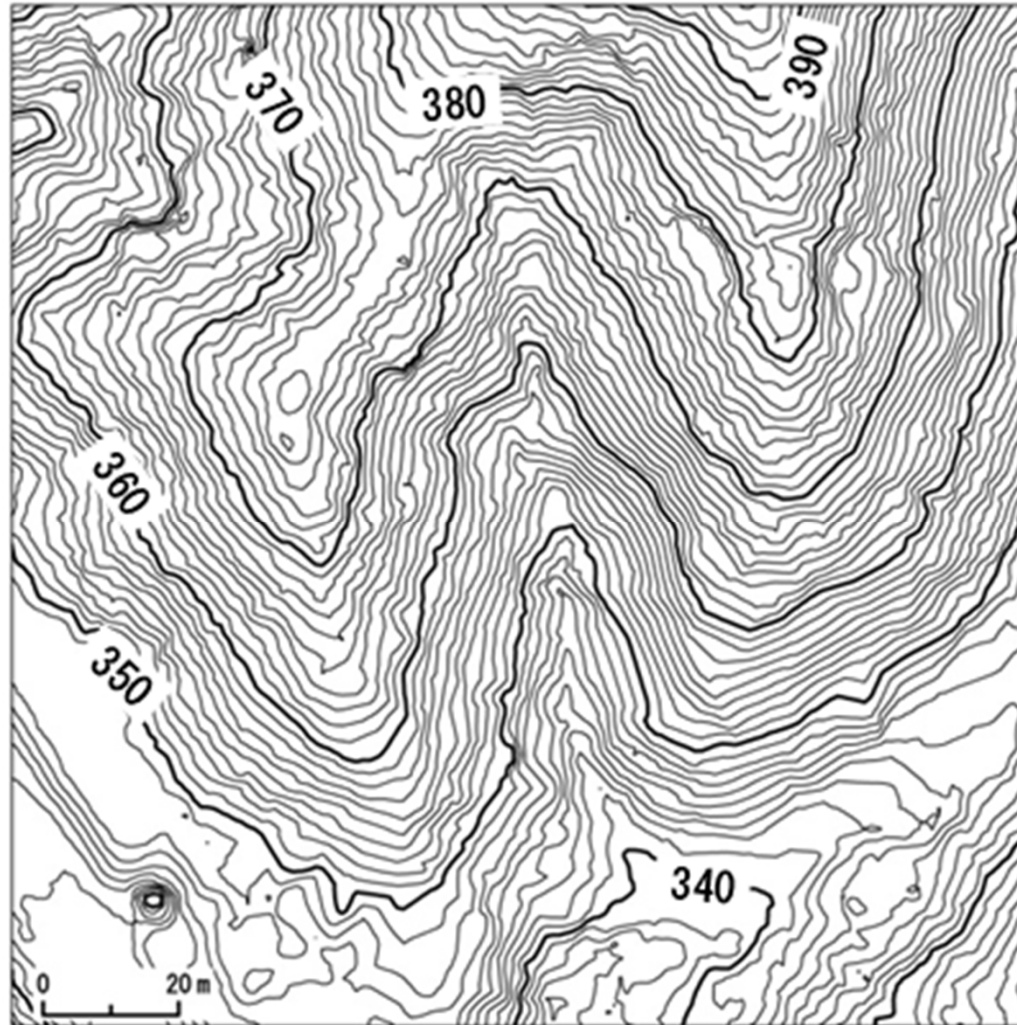


図 航空レーザー測量（LiDAR）データより作成した等高線図

調査結果

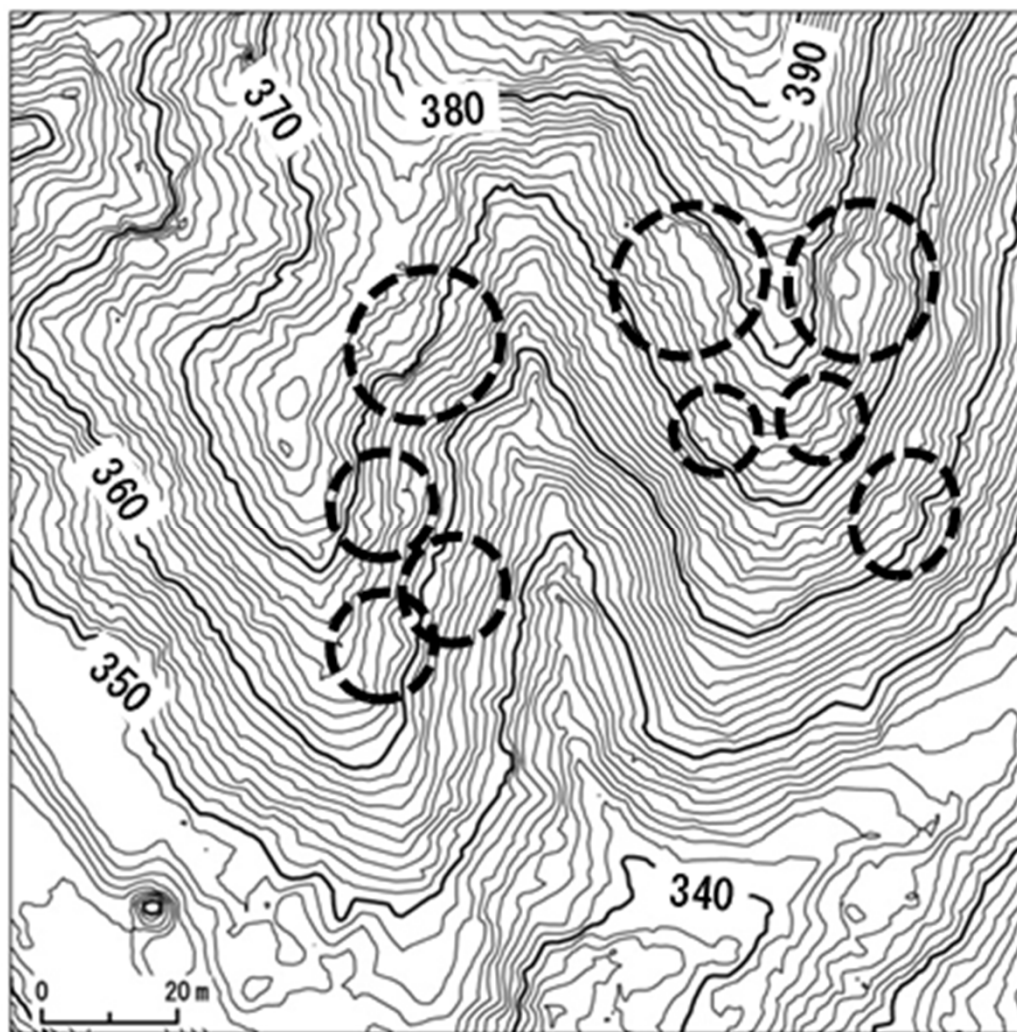


図 等高線図より判読された緩斜面

調査結果

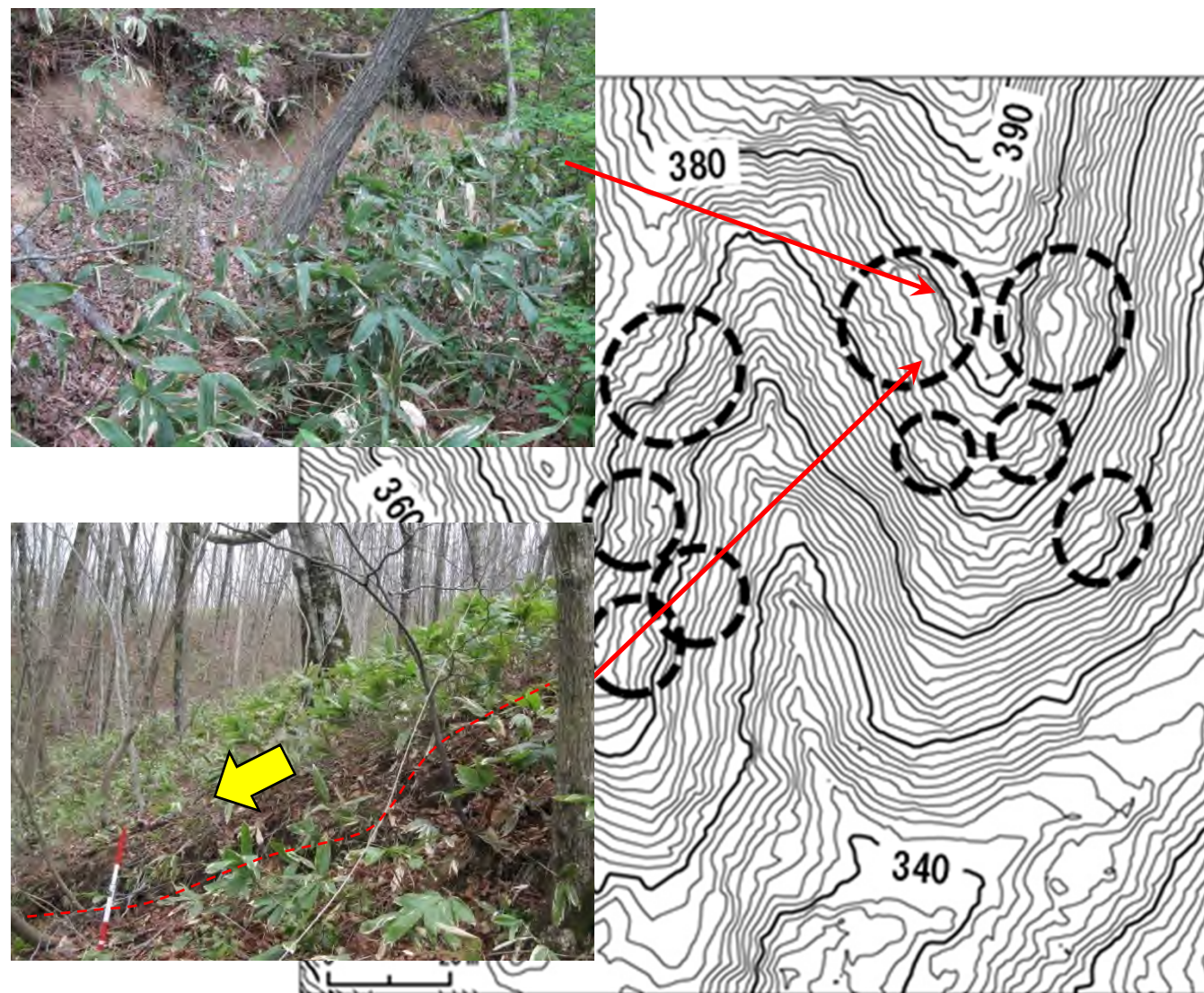


図 現地調査で確認された亀裂

調査結果

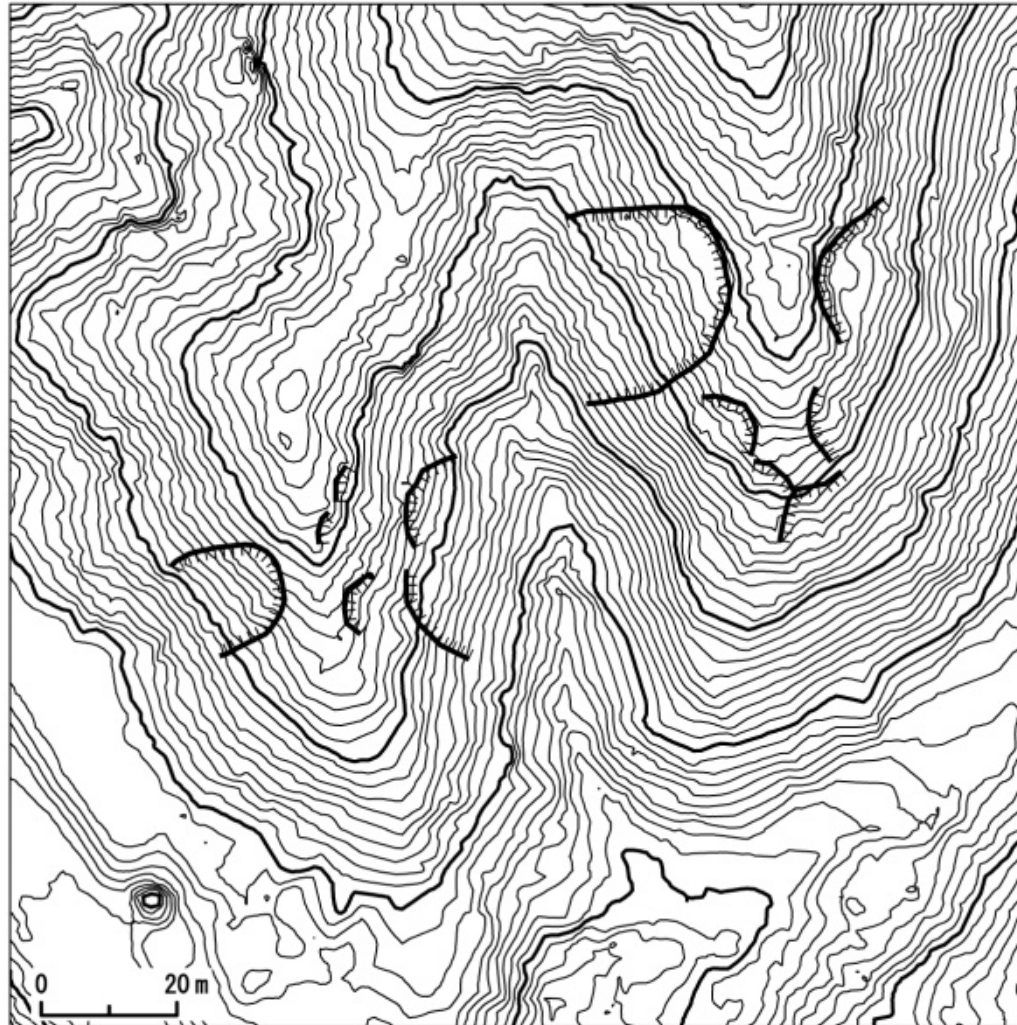
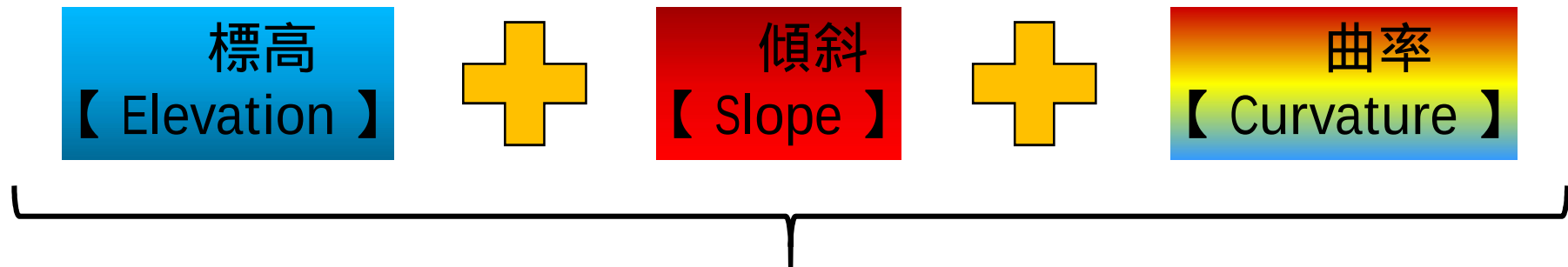


図 現地調査で確認された亀裂

航空レーザー計測データを利用した地形
判読を容易にするCS立体図の作成と利用
-能登半島地震での利用について-

CS立体図 とは

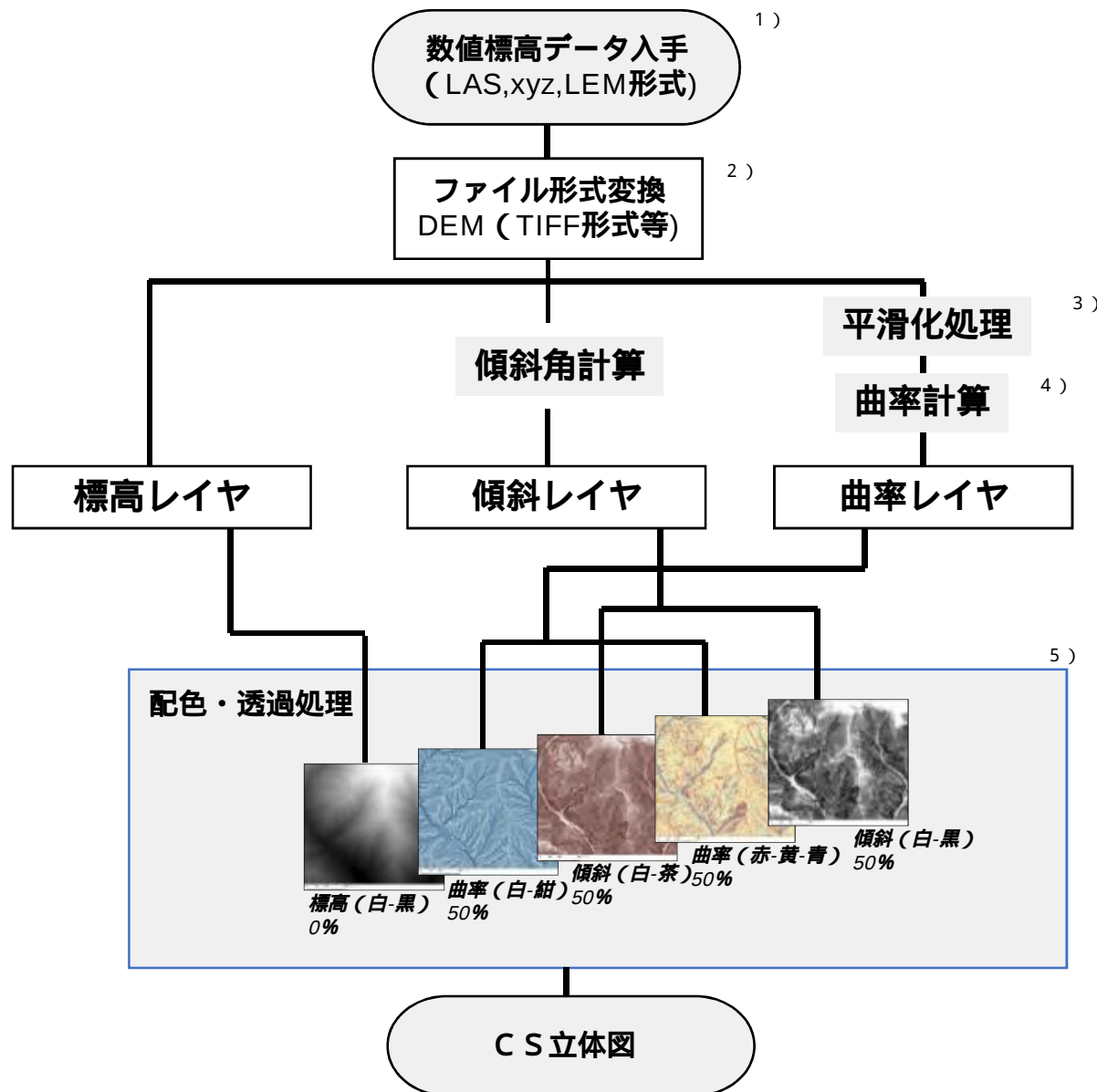


「標高」、「傾斜」、「曲率」の3つの情報に色を付け、重ねて透過処理することで立体表現した図法

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

C S 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、5 mメッシュ、10 m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、GIS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) 平滑化处理

- ・ 曲率計算を行う前に、平滑化处理を行う。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

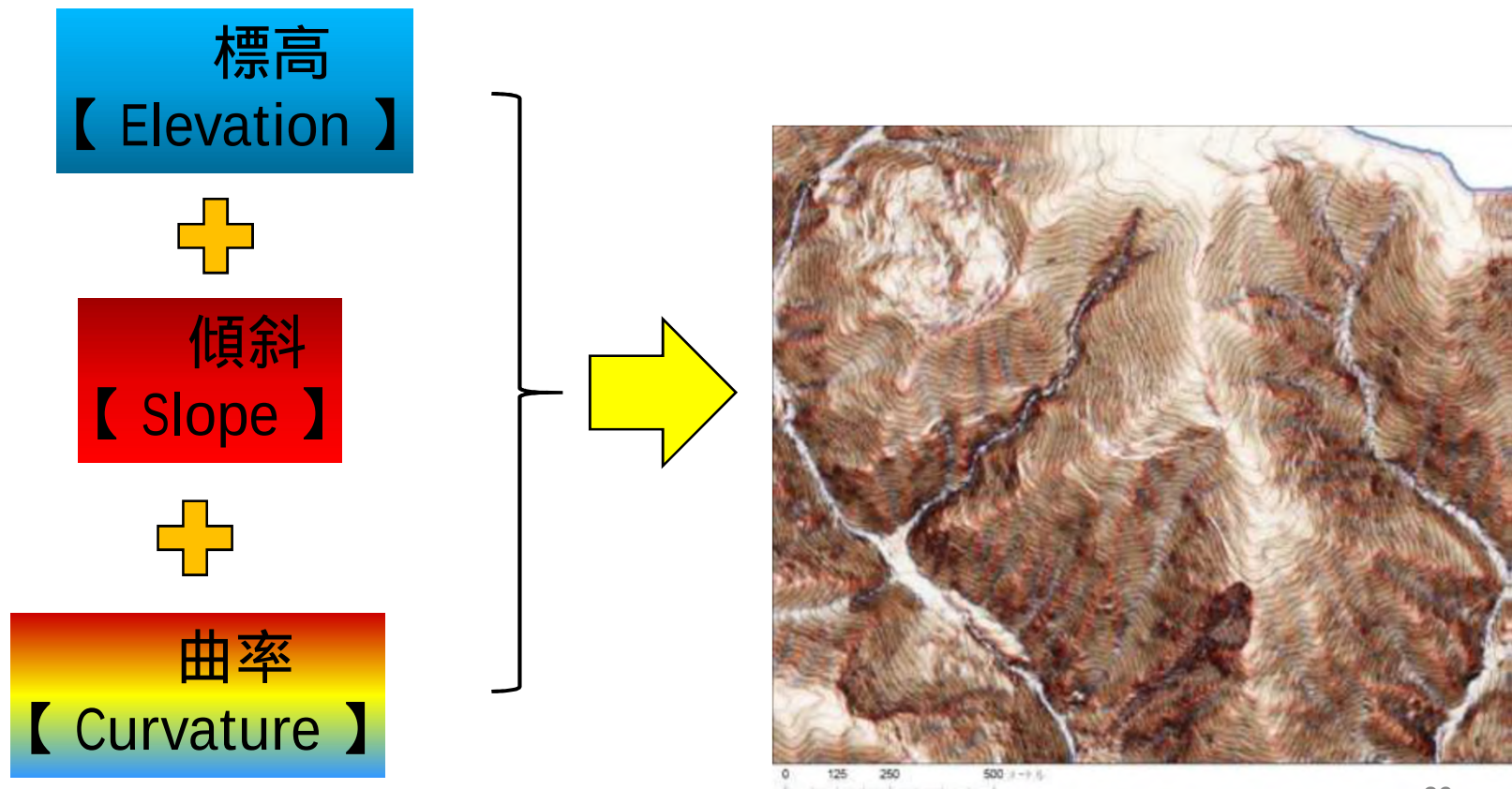
- ・ デフォルトは左記設定。用途や、判読したい地形規模に応じて、色調や透過率を調整する。

CS立体図の特徴

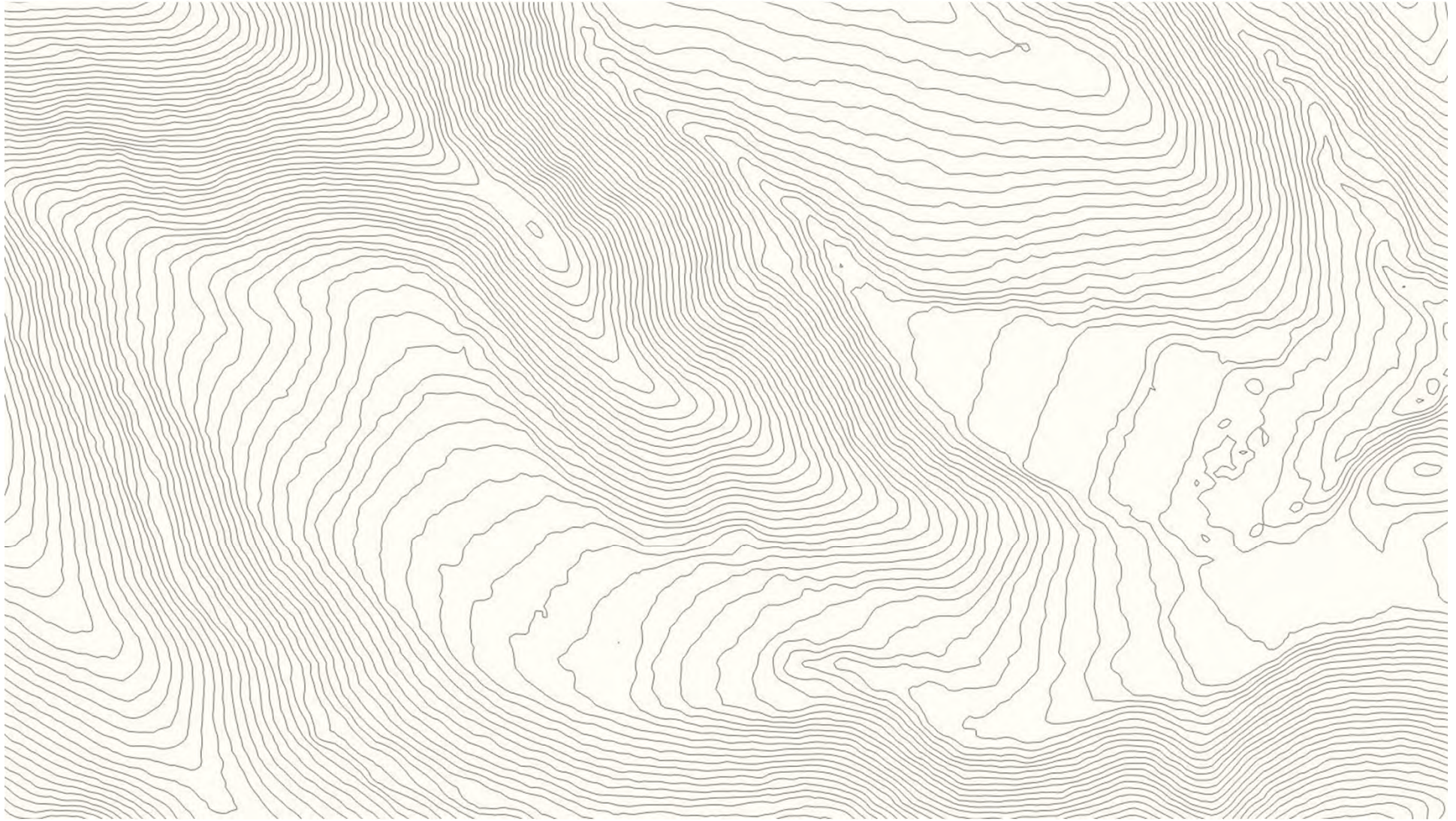
視覚情報から直感的に情報を認識可能

異なる情報を同時に認識可能

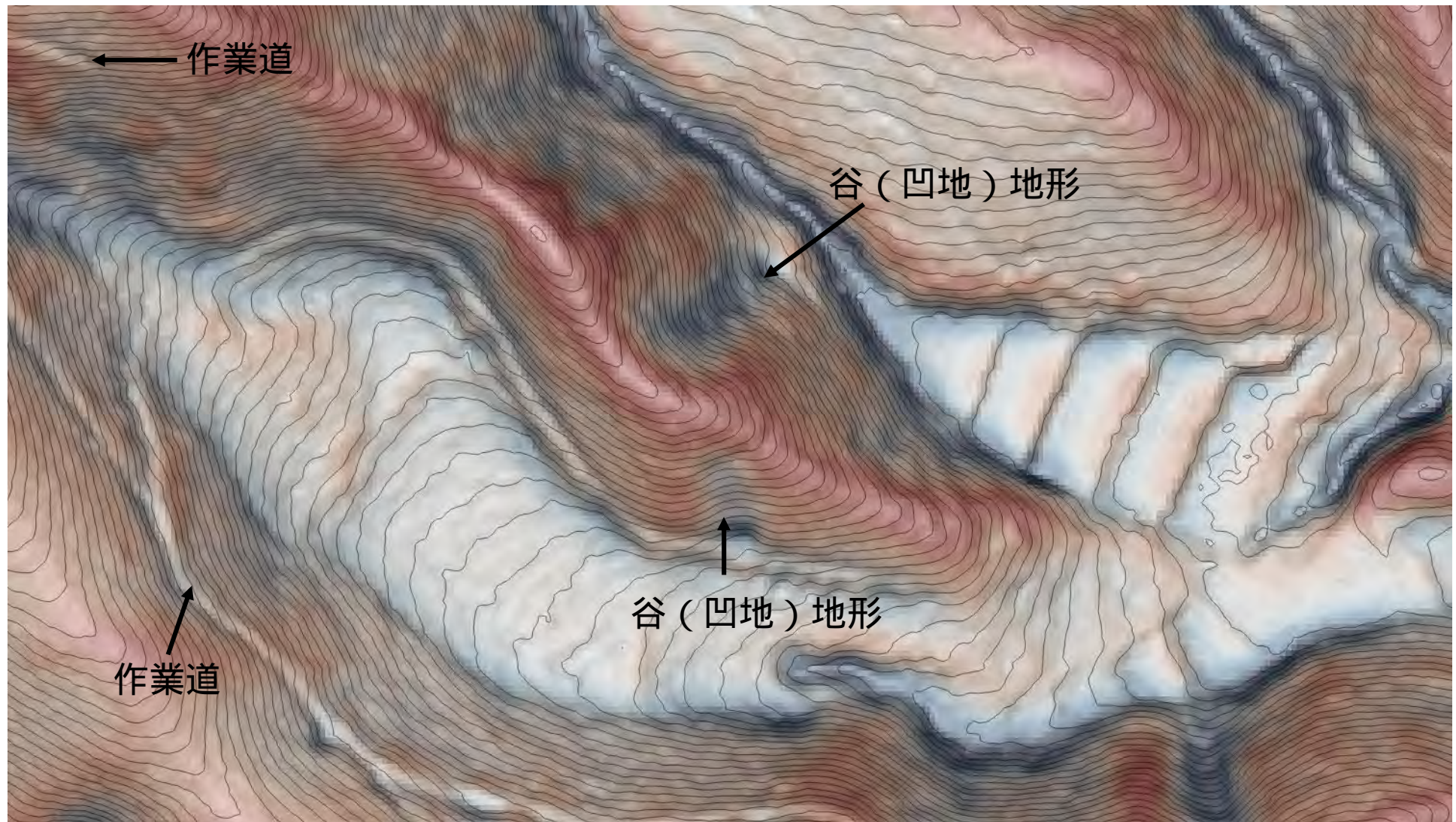
等高線では表現が困難な情報も認識可能

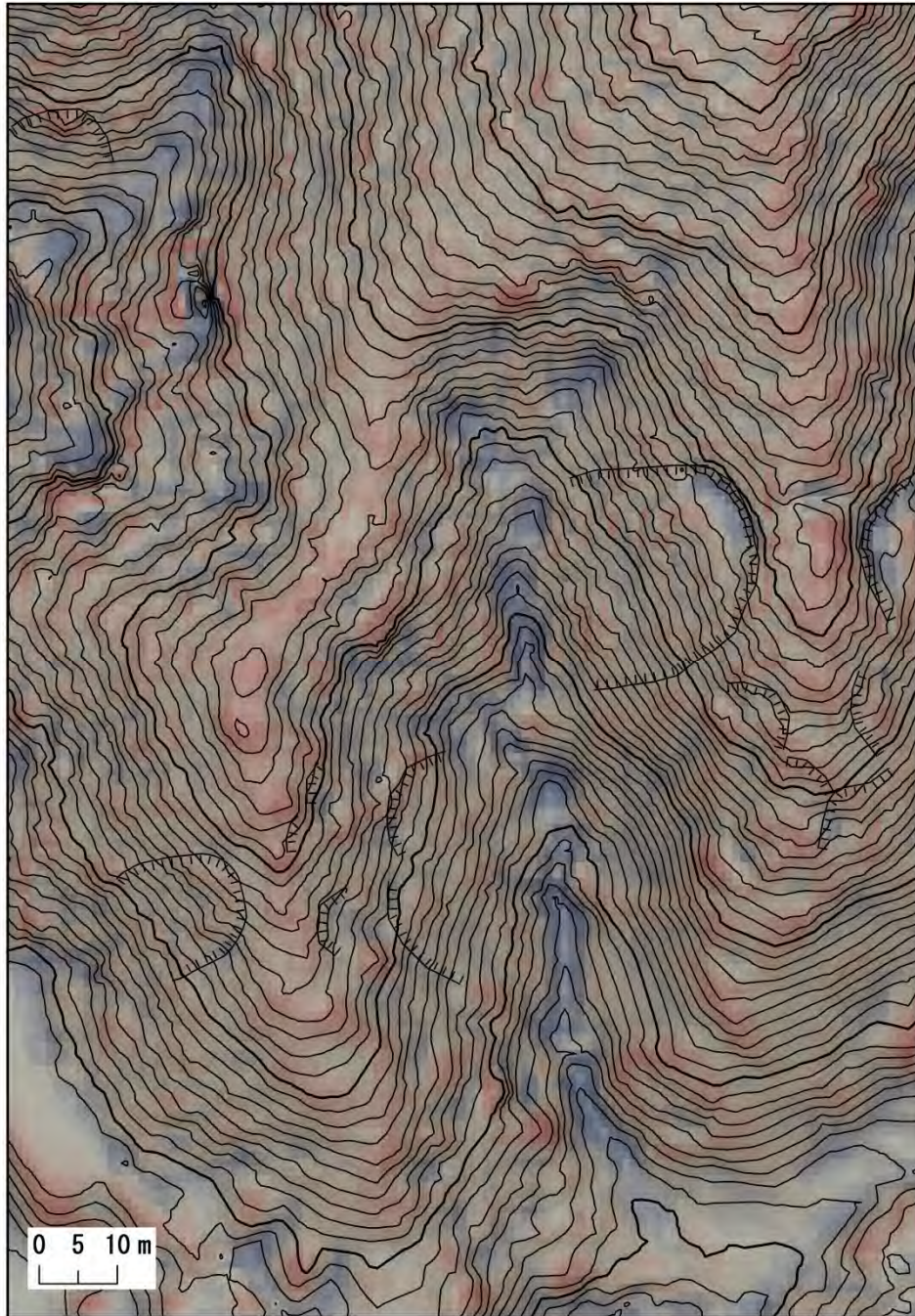


等高線図だけだと、谷（窪地）や作業道
等の微地形の判読が難しいですが・・・



CS立体図では、谷（窪地）や作業道といった微地形の判読が容易になります。





2008年岩手宮城内陸地震の亀裂を調査した斜面のCS立体図

亀裂が発生を確認したところのほか、複数の箇所で馬蹄形の緩斜面があることが認められる（赤枠で示した箇所）。

このような場所は多くは表面には亀裂が発生していないが、地震等による変位が発生し、相対的に不安定化している（崩壊しやすくなっている）可能性が高いと考えられる。

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



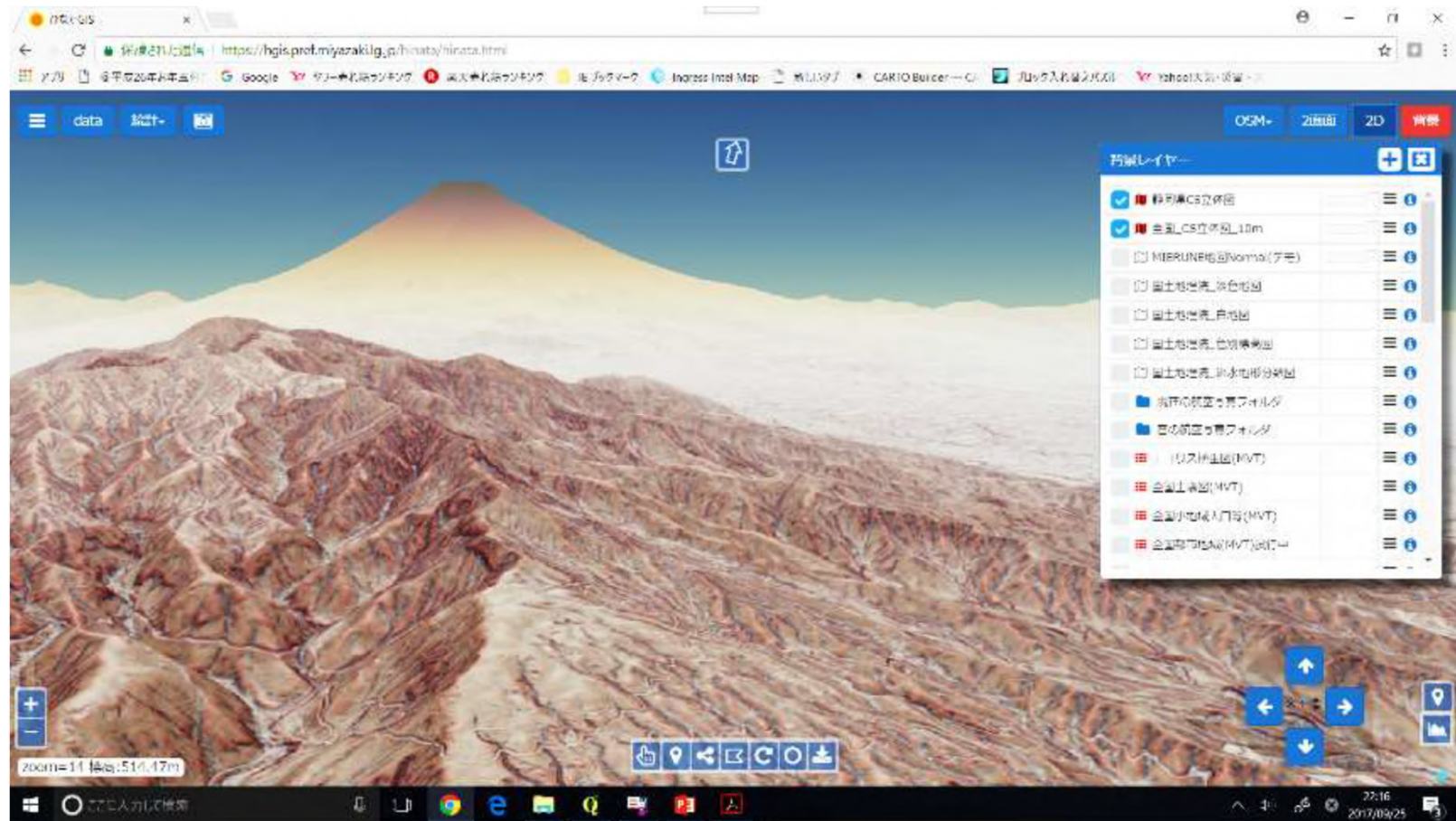
岐阜県



静岡県

長野県（TIFF画像+**タイル配信中**）、岐阜県、静岡県、兵庫県、全国（10mメッシュ）等のCS立体図が整備され、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

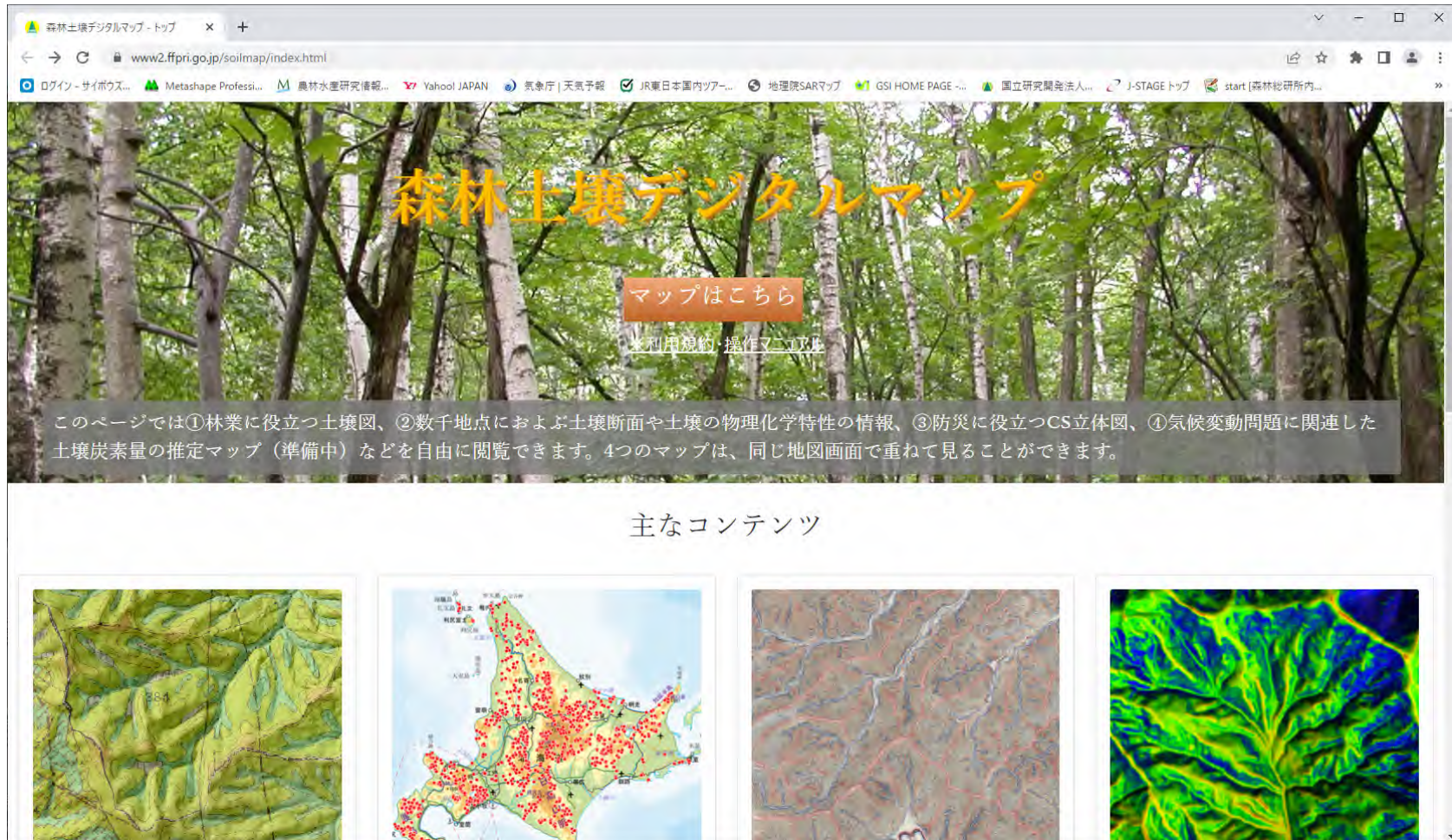
CS立体図は将来的に公開、Webサイトなどで利用していただけるように暫時作成、整備中。



利用例

宮崎県のwebサイト「ひなたGIS」の背景図としての利用

CS立体図は将来的に公開、Webサイトなどで利用していただけるように漸次作成、整備中。



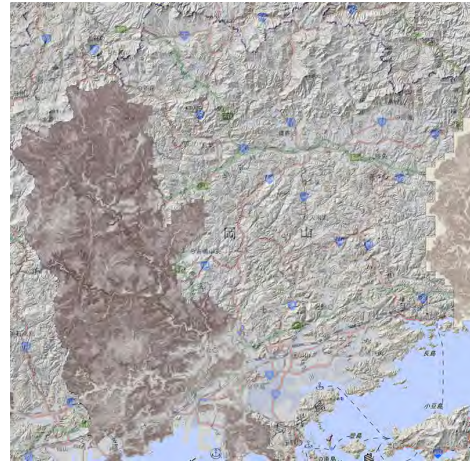
利用例

森林総研のwebサイト「森林土壌デジタルマップ」の背景図としての利用

森林総研からも林野庁が計測した航空レーザー測量データより作成した以下のエリアのCSマップを公開中



広島県（一部地域）



岡山県（一部地域）



↑熊本県・大分県
（一部地域）



愛媛県・高知県（一部地域）



←福島県（浜通り・中通りの一部地域）

各県のCSMAPはDEMが作成された範囲のみの作成です。タイル配信も行っています。



2024年1月1日の能登半島地震に際しては、石川県より了承をえて、石川県が計測したLiDARデータ

(0.5mDEM)より作成した能登半島のCS立体図を森林土壌デジタルマップより2024年1月9日より公開を開始。

タイルも同時配信

森林総研が能登半島のCS立体図タイル公開

📅 2024年1月9日 🕒 2024年1月9日 👤 gf17v



森林総合研究所のWebサイト「林野土壌図」に能登半島のCS立体図が掲載されました。左上のレイヤ設定で「能登（石川県）」を選択すると表示されます。ご尽力いただいた関係皆様ありがとうございます。

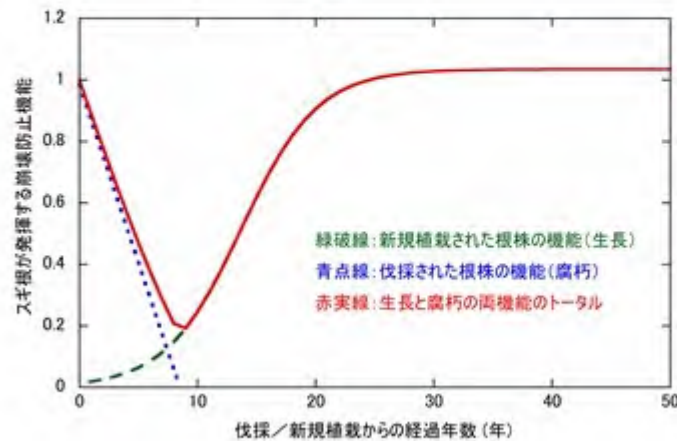
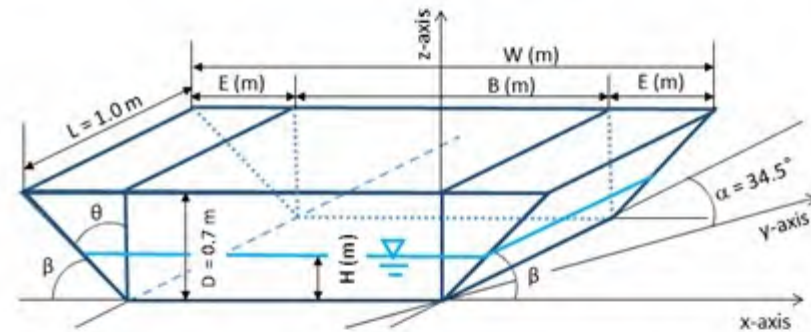
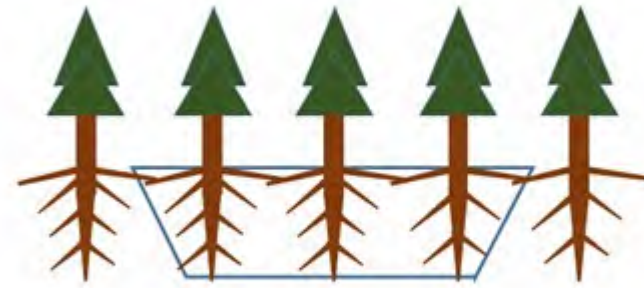
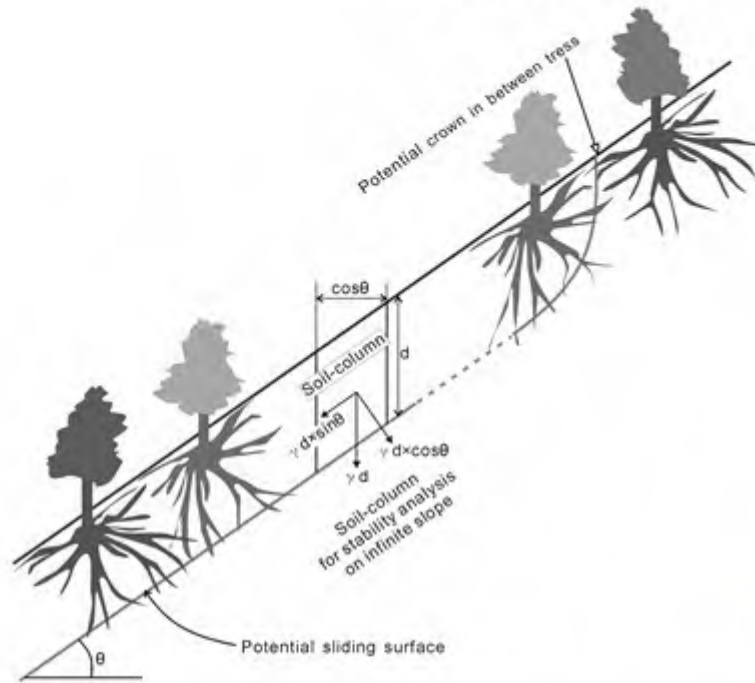
<https://www2.ffpri.go.jp/soilmap/index1.html?page=1>

↑株）ジオフォレストHPより引用

能登半島のCS立体図は、森林土壌デジタルマップでの公開後、SNSを通して情報が拡散され、様々なところで、紹介、配信タイルの利用が行われています。

地震後の航空レーザー測量データが計測され、利用できるようになれば、災害後のCS立体図との比較から、崩壊の予兆となる亀裂の発生位置や斜面の変位箇所の特特定など、今後の対策への利用が期待されます。

表層斜面の安定解析



$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^3 [(W_i - U_i \cdot \cos^2 \alpha) \cdot \tan \phi' + c_r A_i / J_i] / (\cos \alpha \cdot m_{\alpha i})}{\sum_{i=1}^3 W_i \cdot \tan \alpha}$$

$$A_i = D \cdot L \sqrt{1 - \sin^2 \alpha + 1 / \tan^2 \beta}$$

$$J_i = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \beta}$$

$$m_{\alpha i} = 1 / J_i + \sin \alpha \cdot \tan \phi' / F_j$$



ご清聴ありがとうございました