An aerial photograph showing a road construction site. A large area of brown earth, likely a landslide, is visible on the left side of the road. The road is under construction, with several orange excavators and yellow trucks working on the site. The surrounding area is densely forested with green trees. The text is overlaid on the image in yellow and white.

# レーザ測量データを用いた 道路斜面の土砂災害リスク把握

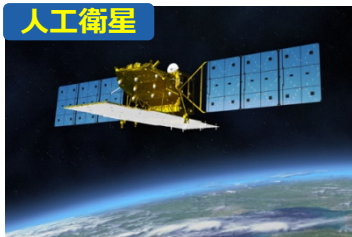
2021年6月



**アジア航測株式会社**

# 空間情報コンサルタント

人工衛星



航空レーザ  
測深(ALB)

航空レーザ  
(固定翼)



航空写真  
(DMC)



航空レーザ  
(回転翼)

航空写真  
(斜め撮影)

車載写真レーザ測量  
システム(MMS)



無人航空機(UAV)  
写真測量, レーザ測量



全周囲カメラ  
(Live View)



地上測量、地上レーザ計測



- ・ 様々なプラットフォーム・センサを用いて地理空間情報を取得し、解析を実施

# 目 次

1. 道路斜面の土砂災害リスクについて
2. 従来手法の課題
3. レーザ測量の概要
4. 微地形表現手法
5. レーザデータを活用した土砂災害リスク把握
6. まとめ

# 道路斜面の土砂災害リスクについて

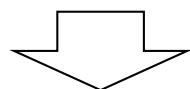
## ・ 道路防災の点検要領(平成18年事務連絡)より

災害要因	抽出基準
落石・崩壊 (A)	高さ15m以上ののり面・自然斜面、または勾配45°以上の自然斜面。 ロックシェッド等の施設上部ののり面・自然斜面、あるいはトンネル坑口上部の斜面を含む。
岩盤崩壊 (B)	岩盤が露出した高さ15m以上、かつ傾斜60°以上ののり面・斜面が存在する箇所。
地すべり (C)	地すべり危険箇所または地すべり防止区域。 災害要因の判読で、道路の上部または下部に地すべり地形が認められ、かつ地すべりが発生した場合道路に被害が生じると想定される場合。
土石流 (E)	道路を横断して流下する流域面積1ha以上かつ上流の最急溪床勾配10°以上の溪流で、下記の①②を除く箇所。 ①トンネルで溪流を横断している箇所 ②桁下10m以上、かつ流路幅20m以上の橋梁で横断している箇所

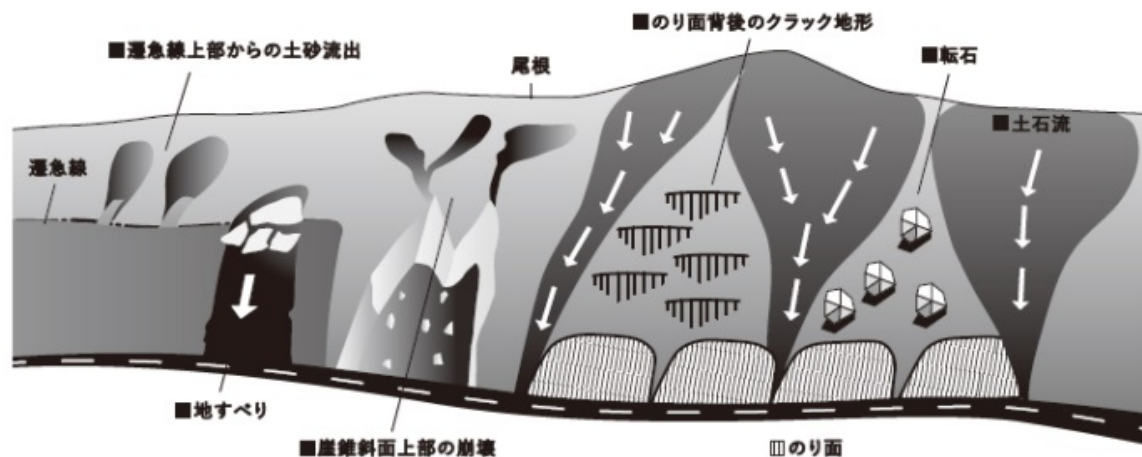
他、  
雪崩(D)、盛土(F)、擁壁(G)、橋梁基礎洗堀(H)、地吹雪(I)、その他(J)  
があるが、今回は取り上げない

# 従来手法の課題

- 従来は、現地調査により危険箇所を把握するのが一般的
- 道路上からは確認できない斜面上部など遠方を発生源とした災害が増加  
→ 背後の尾根筋までを面的・巨視的に見ることが重要
- 斜面内をくまなく踏査することは現実的でない
- 樹木が繁茂していると、空中写真等では災害地形の把握が困難



航空レーザー測量が有効



道路防災点検講習会資料(2018)より



# 各種レーザ測量手法

## 固定翼LP

高度4,700m以下



点群密度1,2点/m<sup>2</sup>  
最大パルスレート1,000kHz

## 回転翼LP

高度1,600m以下



点群密度4~10点/m<sup>2</sup>  
最大パルスレート400kHz

## UAV LP

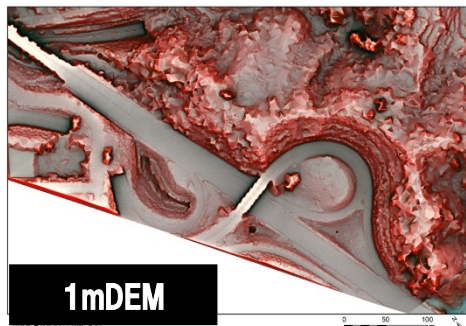
高度150m以下



点群密度100~400点/m<sup>2</sup>  
最大パルスレート550kHz

## 固定翼LP

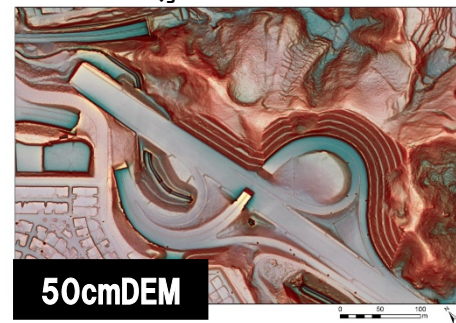
広域の防災（砂防、浸水想定等）



1mDEM

## 回転翼LP

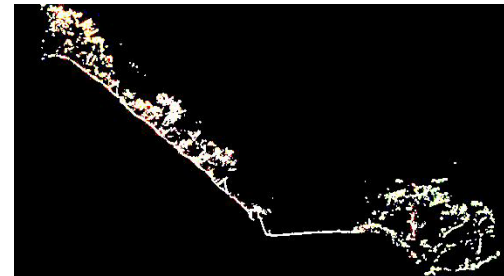
より詳細な防災（斜面崩壊、地すべり）、森林、電力施設等



50cmDEM

## UAV LP

i-Con、小面積での詳細地形把握、道路施設等の高密度計測



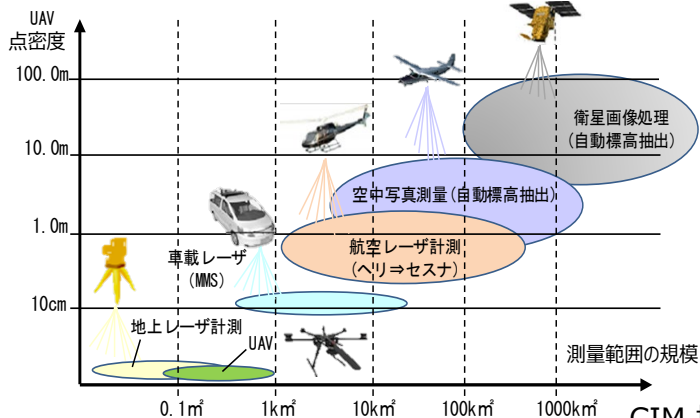
## MMS

点群密度900点/m<sup>2</sup>  
最大パルスレート300k,1016Hz



## TLS

最大スキャンスピード  
60,000点/秒  
(中距離タイプ)



## MMS

道路施設、空港、図化



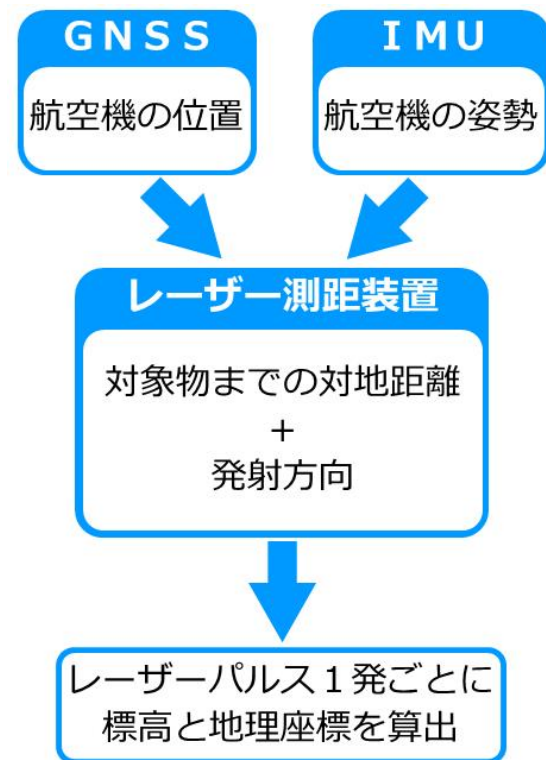
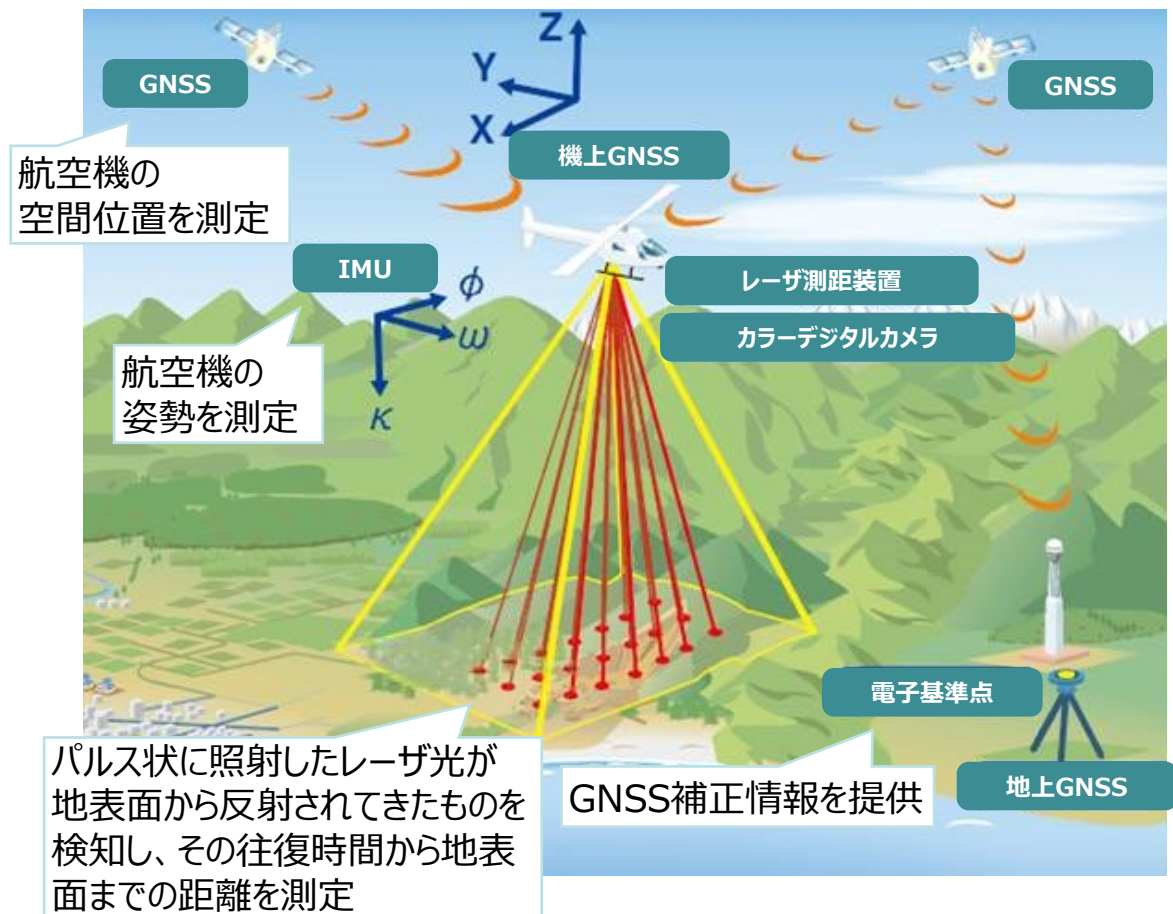
## TLS

文化財、舗装出来高



# 航空レーザ測量の計測原理

飛行機やヘリコプターから地上に向けてレーザを照射し、地表面で反射して戻ってきたレーザの時間差から、三次元データを取得する測量技術。



地盤高データ取得の流れ

# 航空レーザ計測機材(航空機・センサ)の例



固定翼機



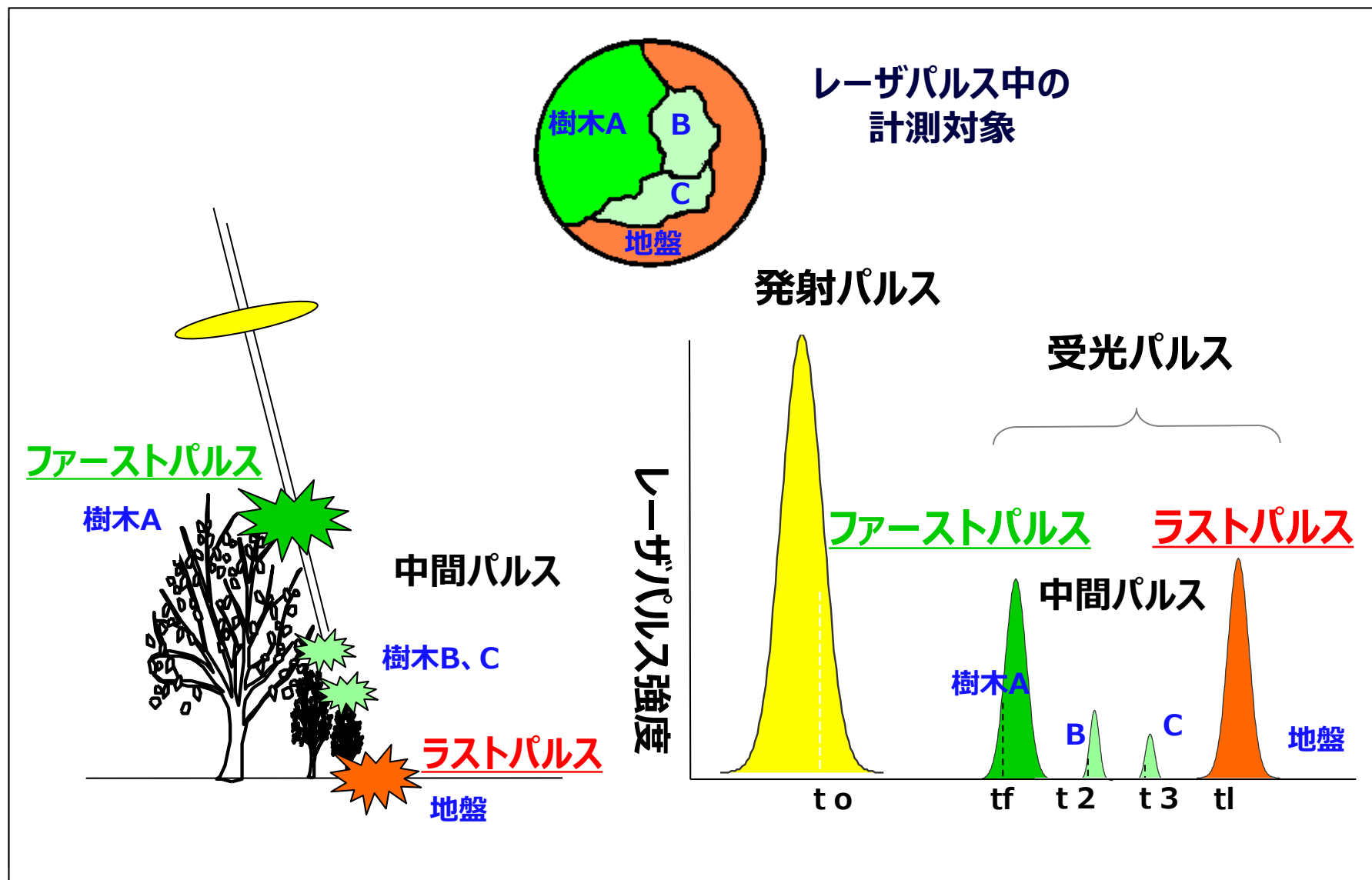
回転翼機



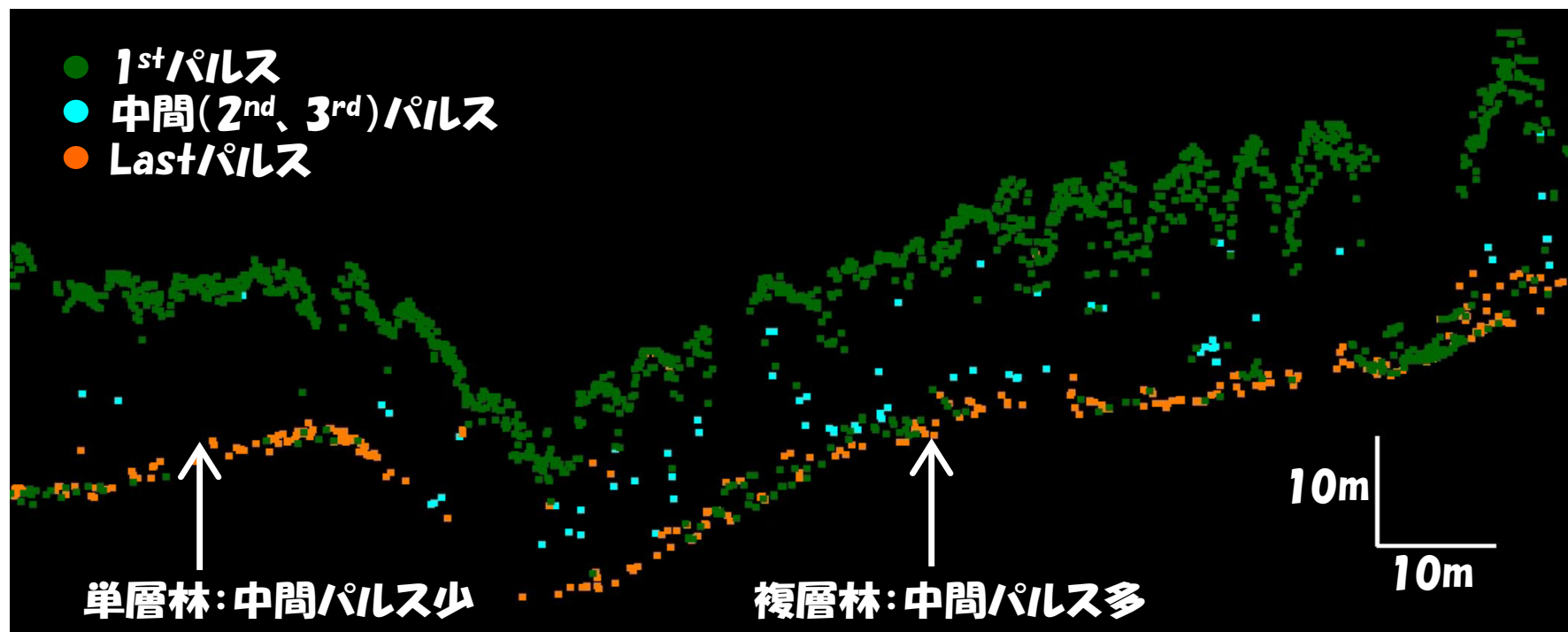
航空レーザ測深  
(Airborne Laser Bathymetry)



# レーザーパルスモードについて

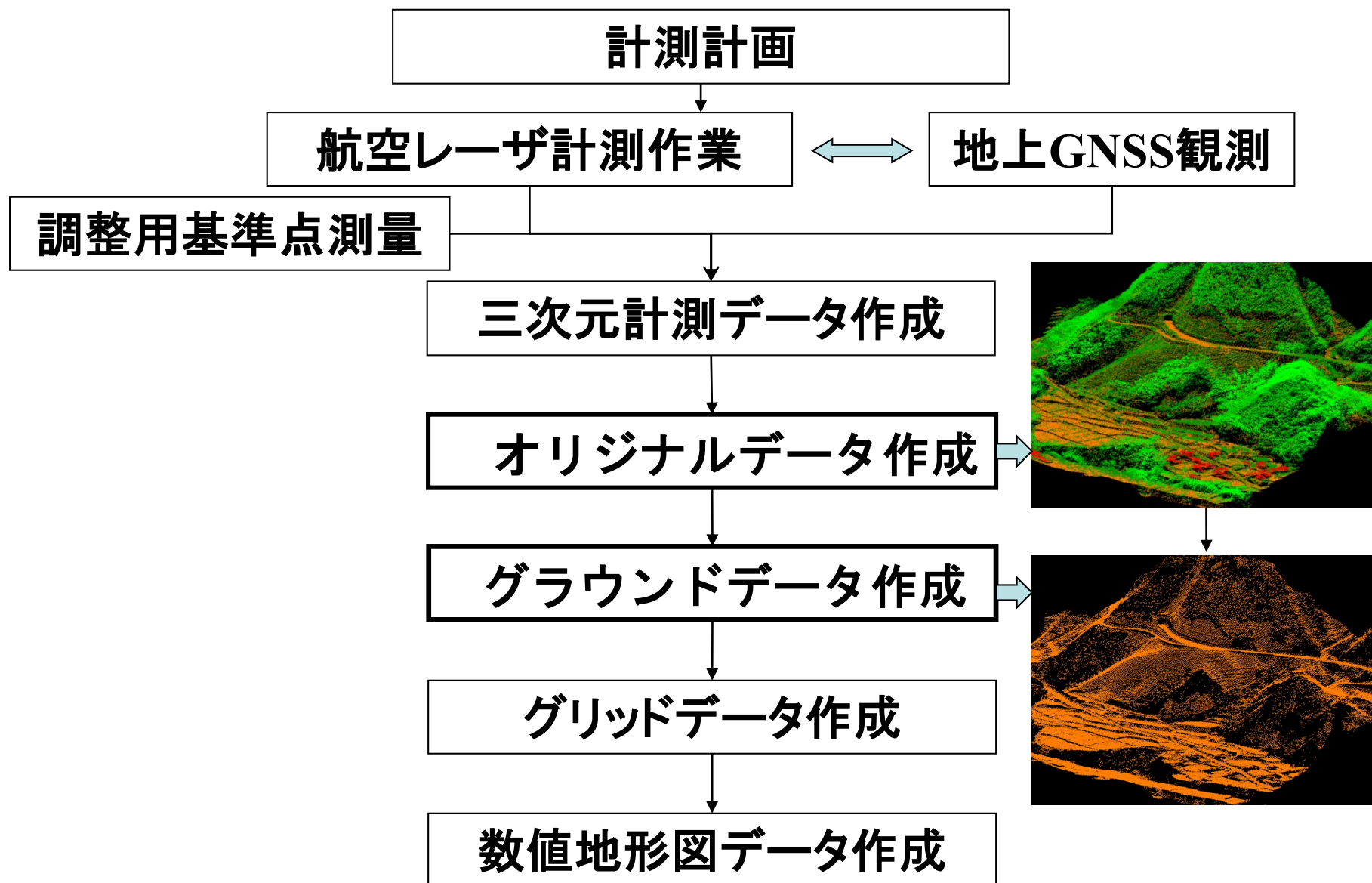


# レーザーデータ(点群)の断面



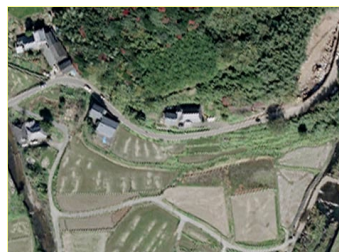
- 森林の中の地形が計測できる
- 樹木の高さが分かる

# 航空レーザ測量データの処理手順

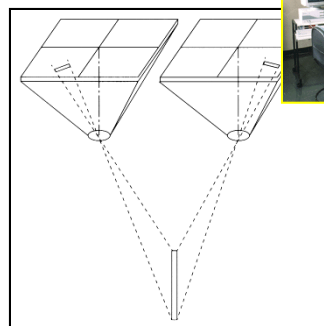


# 航測図化との違い(データ処理)

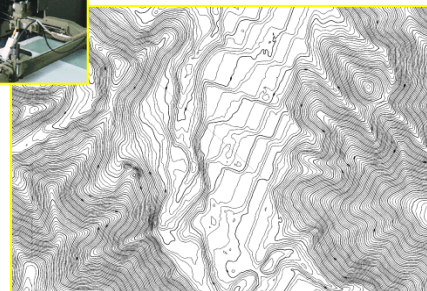
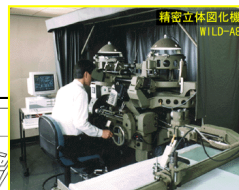
## 航測図化



写真



ステレオ投影

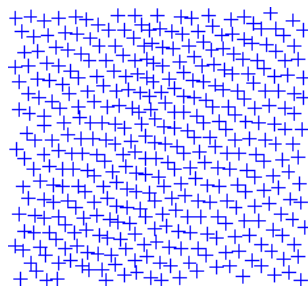


等高線

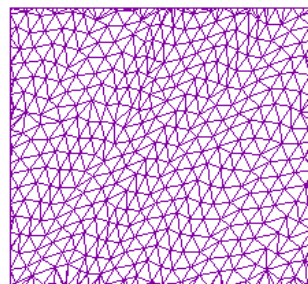


単点計測

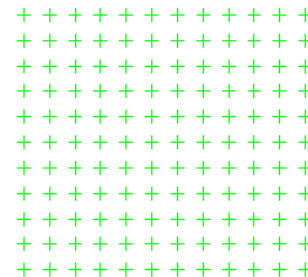
## 航空レーザー測量



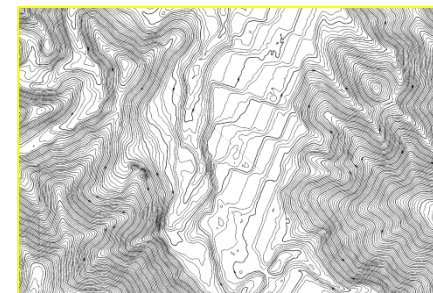
点群データ



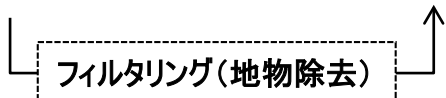
TIN



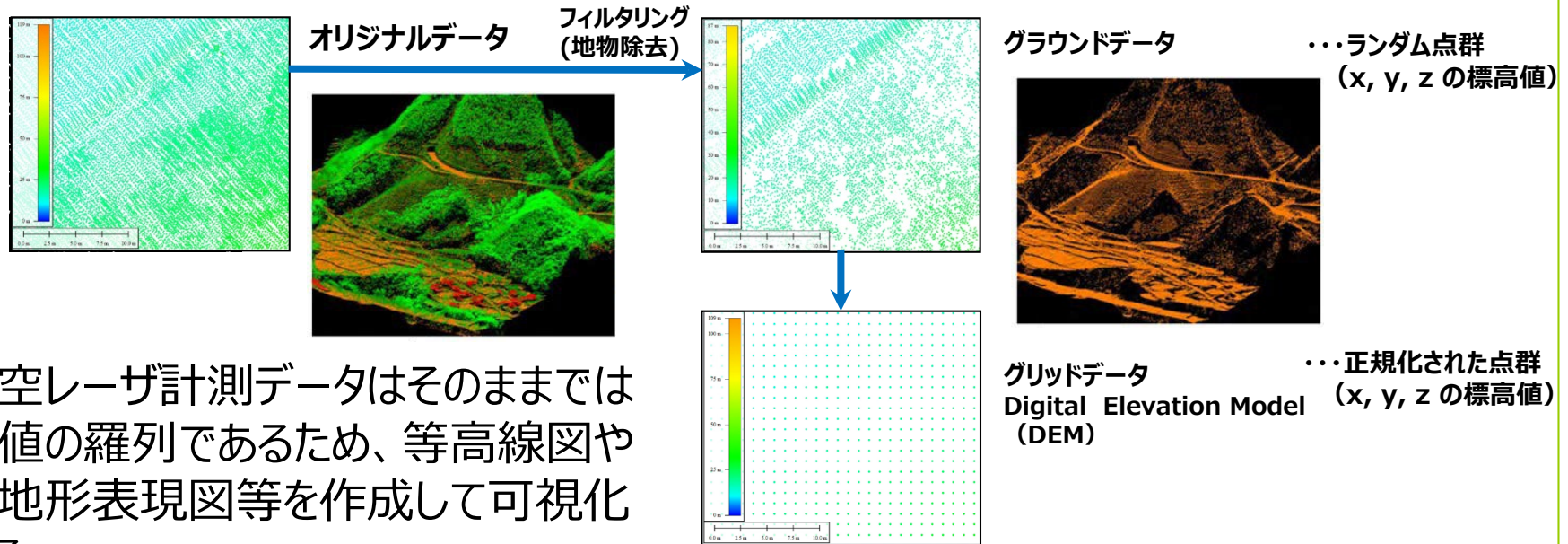
グリッドデータ



等高線



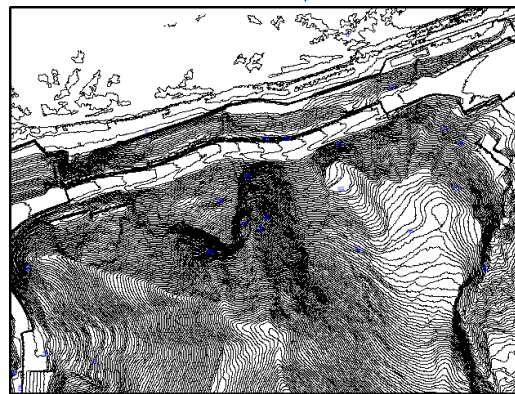
# 航空レーザ測量で得られる成果



航空レーザ計測データはそのままでは数値の羅列であるため、等高線図や微地形表現図等を作成して可視化する



航空レーザ用写真地図  
(簡易オルソ画像)



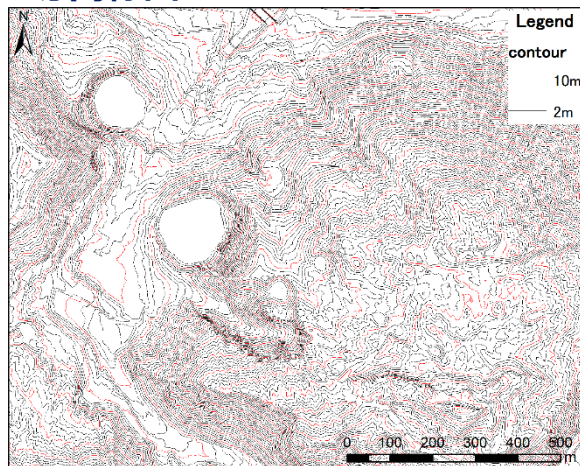
等高線図



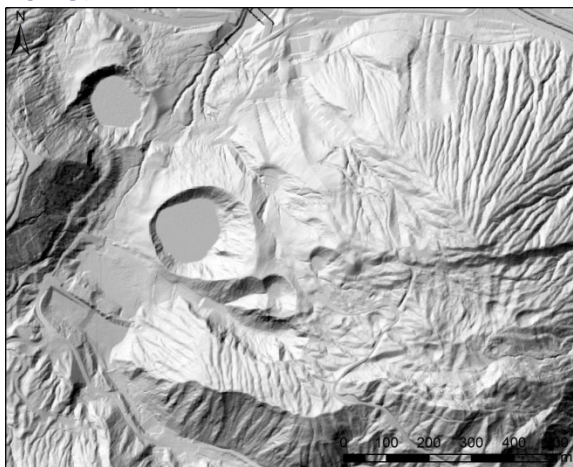
微地形表現図

# 微地形表現手法

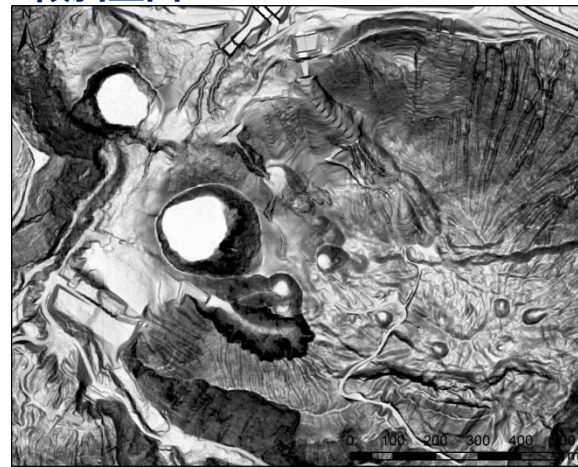
## 等高線図



## 陰影図

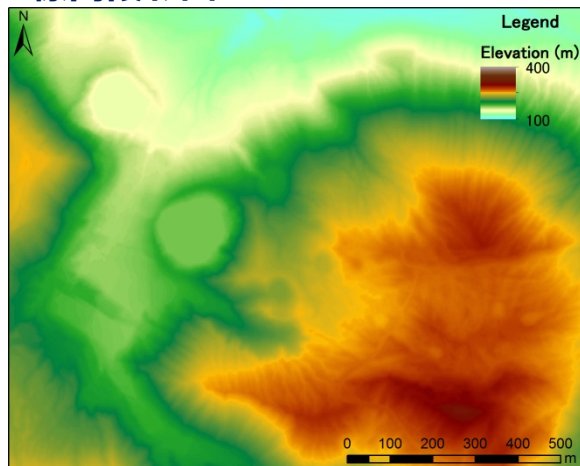


## 傾斜量図



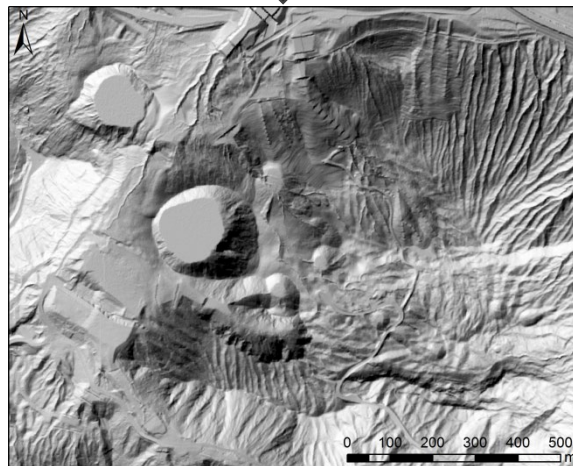
尾根と谷が判別し難い

## 標高段彩図



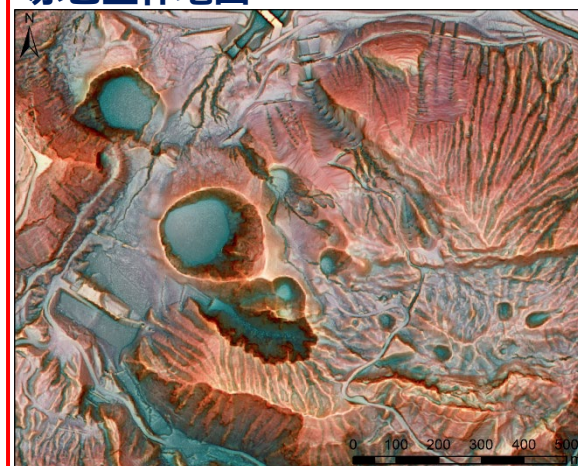
微地形を表現し難い

光源位置を変更



尾根谷が逆転してしまう

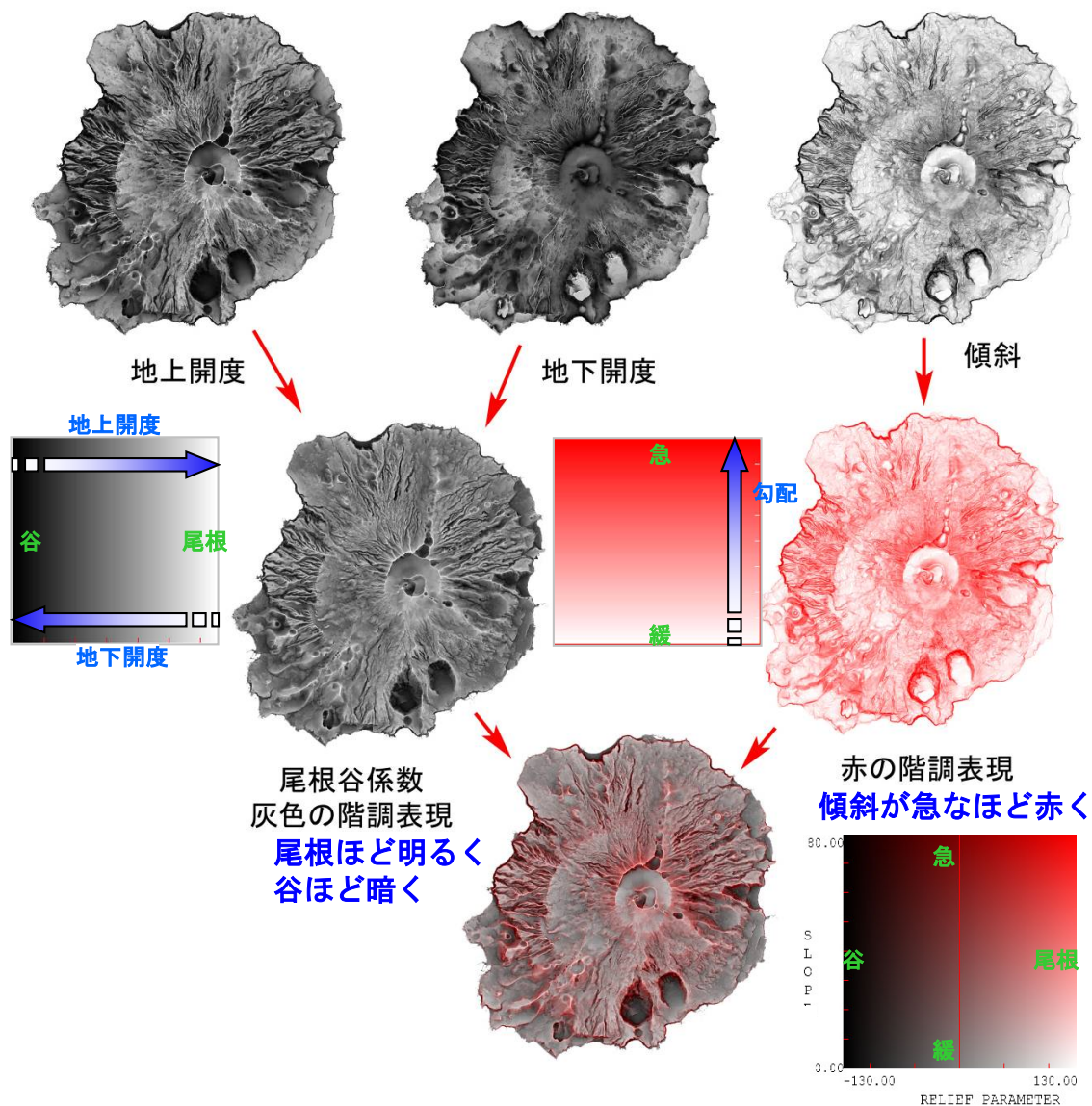
## 赤色立体地図



微地形から大地形まで表現可能

# 地形表現図(赤色立体地図)について

- 航空レーザー測量成果は、そのままでは数値の羅列であり、立体地形表現図等による可視化が必要。
- 微地形表現図の1つである「赤色立体地図」は、地形データ (DEM) から算出した地形量 (傾斜、地上開度、地下開度) を重ね合わせ作成する。
- 特別な器具なしに1枚の画像で立体的な表現が可能で、地形の凹凸を直感的に把握でき、微地形から大地形まで表現可能。
- 正規化され座標を持っているので、GISへの取り込みや重ね合わせも容易。





# 赤色立体地図による地形表現

既往の地形図には  
細かい凹凸が  
表現されていない

レーザー計測

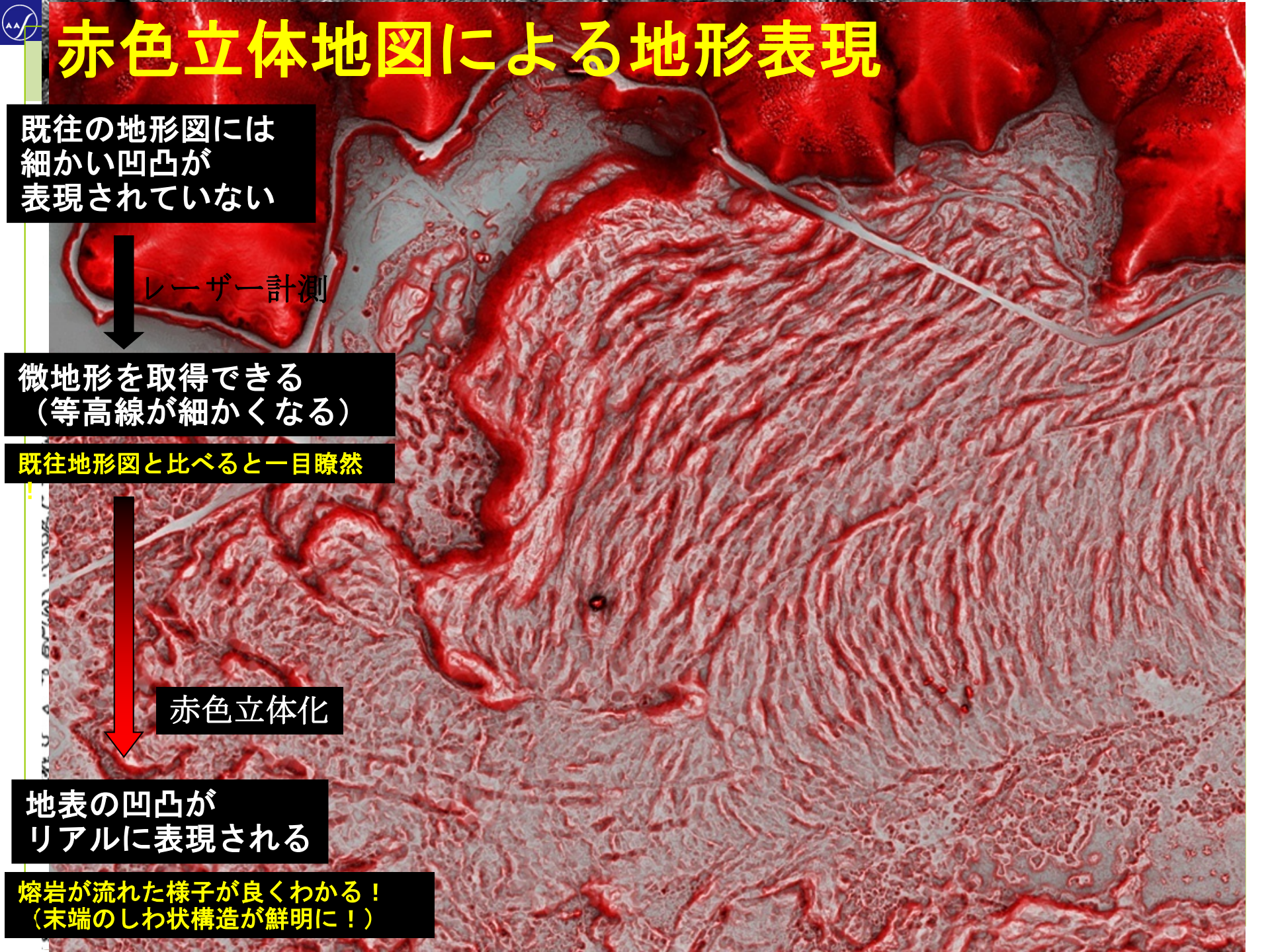
微地形を取得できる  
(等高線が細くなる)

既往地形図と比べると一目瞭然

赤色立体化

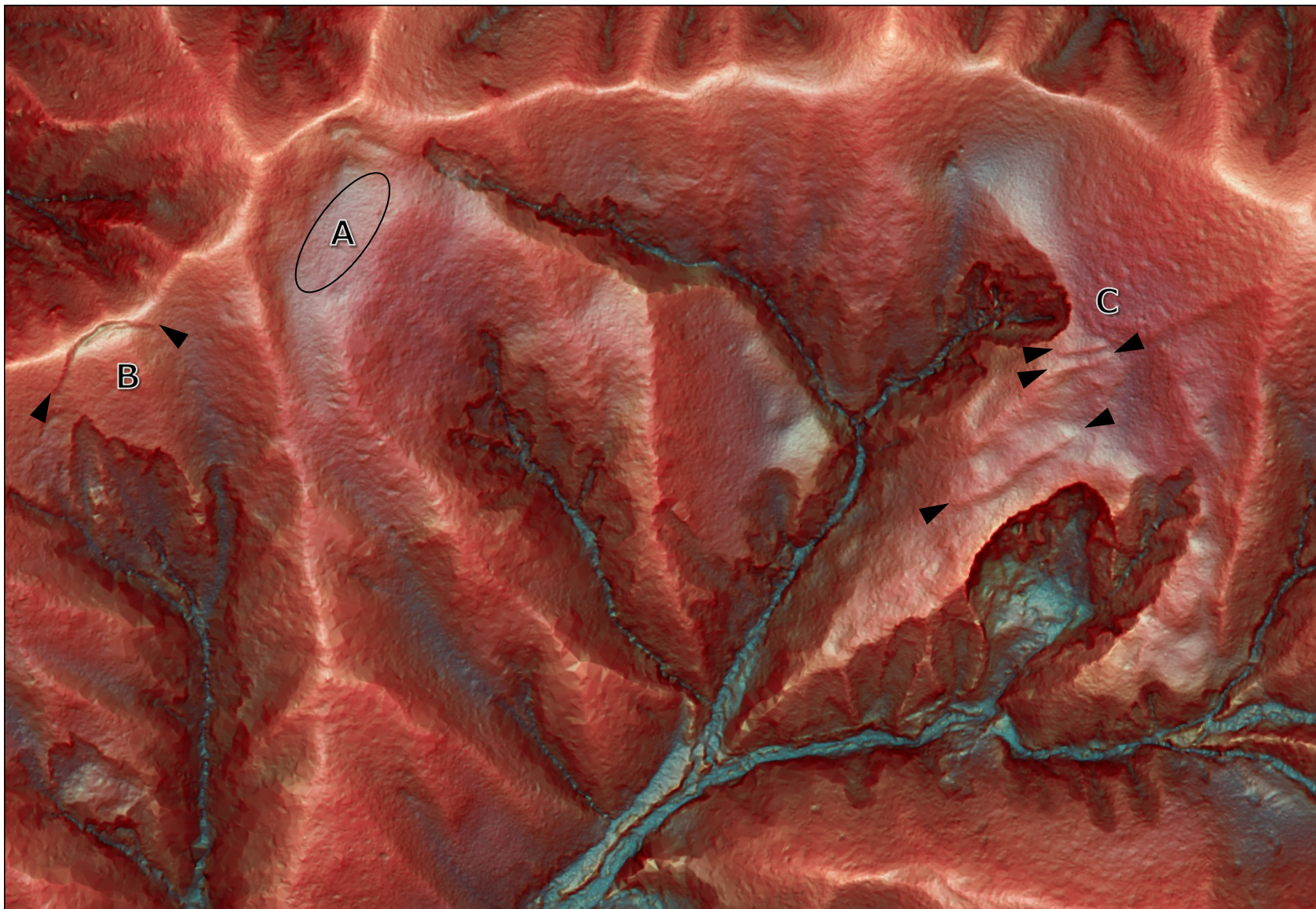
地表の凹凸が  
リアルに表現される

熔岩が流れた様子が良くわかる！  
(末端のしわ状構造が鮮明に！)





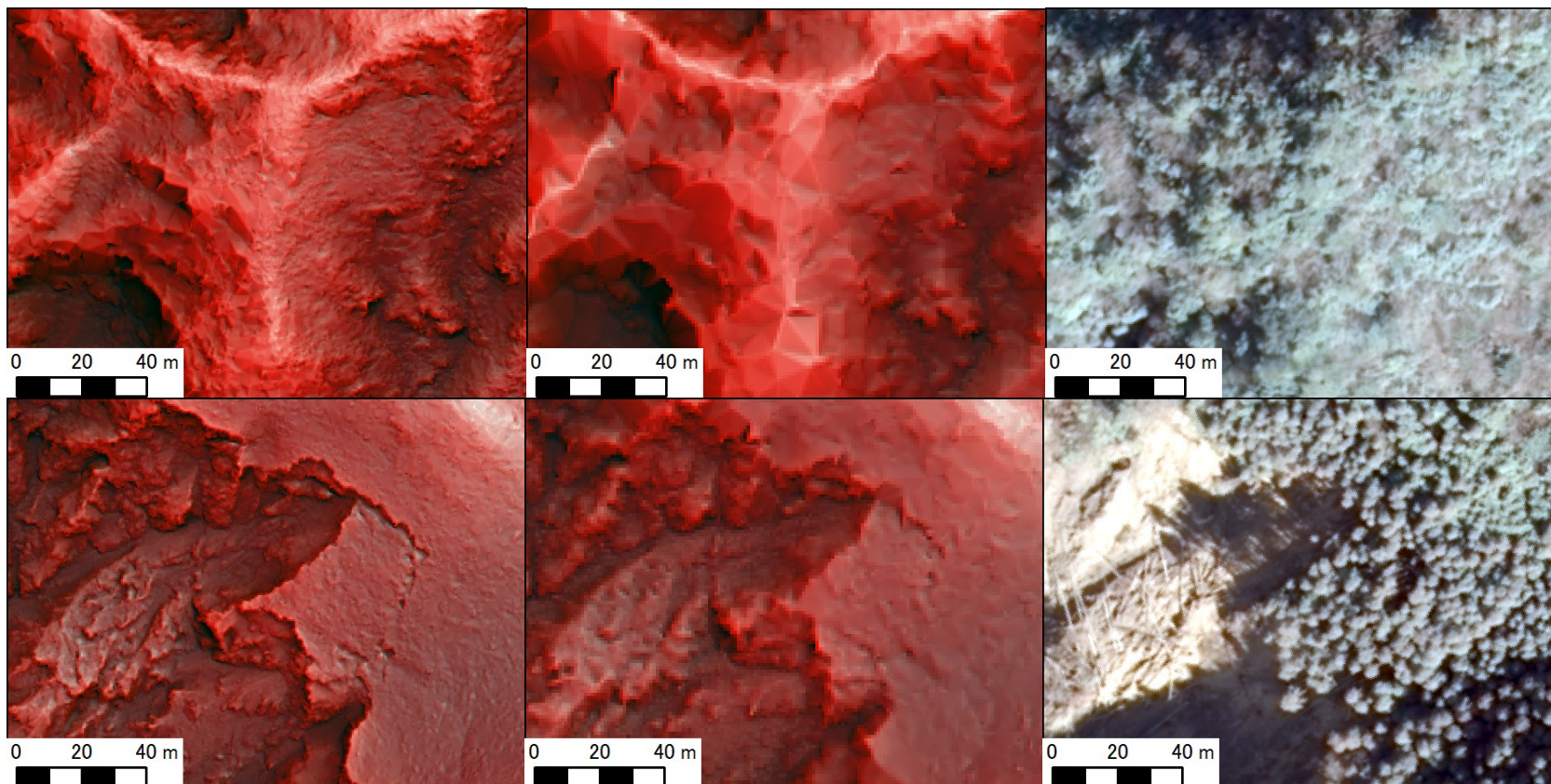
# 赤色立体地図による微地形の判読例



A:山頂緩斜面 B:円弧状の亀裂 C:崩壊地背後の段差地形



# 点群密度による違い



回転翼4点/m<sup>2</sup>

回転翼の高密度  
点群ではクラックを  
明瞭に判読できる

固定翼1点/m<sup>2</sup>

1点/m<sup>2</sup>では  
樹木下の地盤を  
取得しにくい

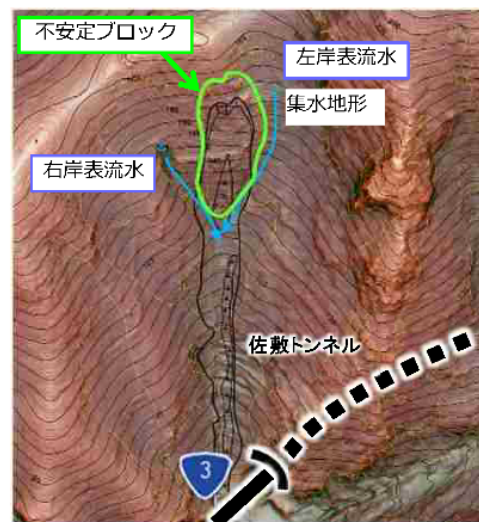
# レーザ測量データを用いた 道路斜面の土砂災害リスク把握

## 【デジタル技術を活用した法面・斜面对策】

- 大規模な斜面崩落など近年の激甚化する災害への対応として、デジタル技術を活用し、高精度で広範囲に災害リスクを把握するとともに、危険箇所の物理的回避や砂防事業とも連携した土砂災害対策を推進



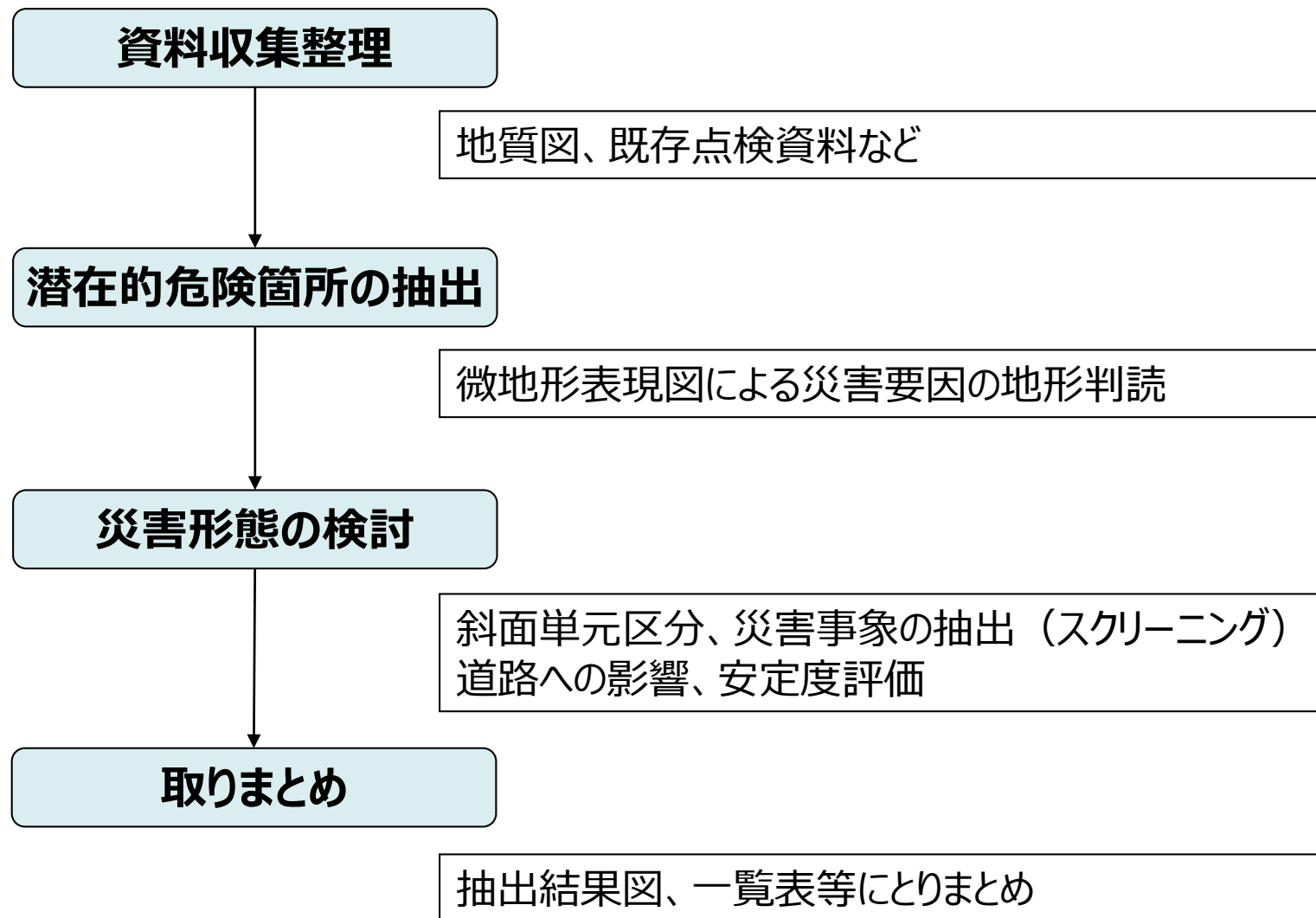
＜斜面山頂部からの大規模崩落＞  
国道3号 令和2年7月豪雨



＜レーザプロファイラでの調査結果＞

令和3年度 道路関係予算概算要求概要より

# 土砂災害リスク抽出フロー(例)



# 災害要因の地形判読

## 判読する主な情報例

分類	項目	内容	記号の例
斜面	斜面境界及び集水範囲の境界	安定度調査の単位となる斜面及び集水範囲の境界	
点検対象項目に関連した災害要因	岩盤崩壊	露岩部、壁岩、急崖（土砂や植生に覆われた斜面で45°以上、岩盤斜面で60°以上）、オーバーハング	
	落石	転石やガレ場（大きなものや群をなすもの。災害履歴がある場合はこの情報も付加する）	
	崩壊	明瞭な遷急線（浸食や崩壊が発生していると判断できるもの）	
		遷緩線	
		崩壊地、崩壊跡地	
		明瞭な谷頭斜面ないし0次谷（集水地形）	
		段差地形や亀裂	
	土石流	裸地や植生の貧弱な領域等	
		勾配の急な小溪流（10°以上）やガリー	
	地すべり	水系 渓床堆積物	
地すべり地形			
溝状凹地、二重山稜			
窪地			
	離れ山		

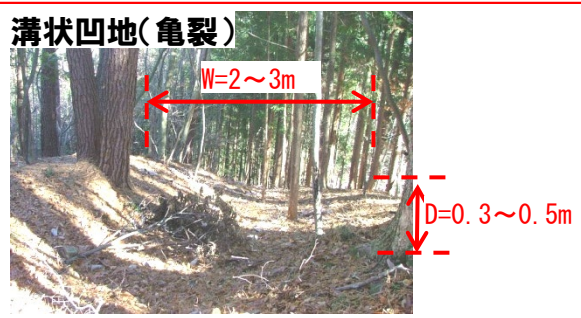


### 等高線図の問題点

落石発生源の分布状況を、等高線だけで表現することは困難



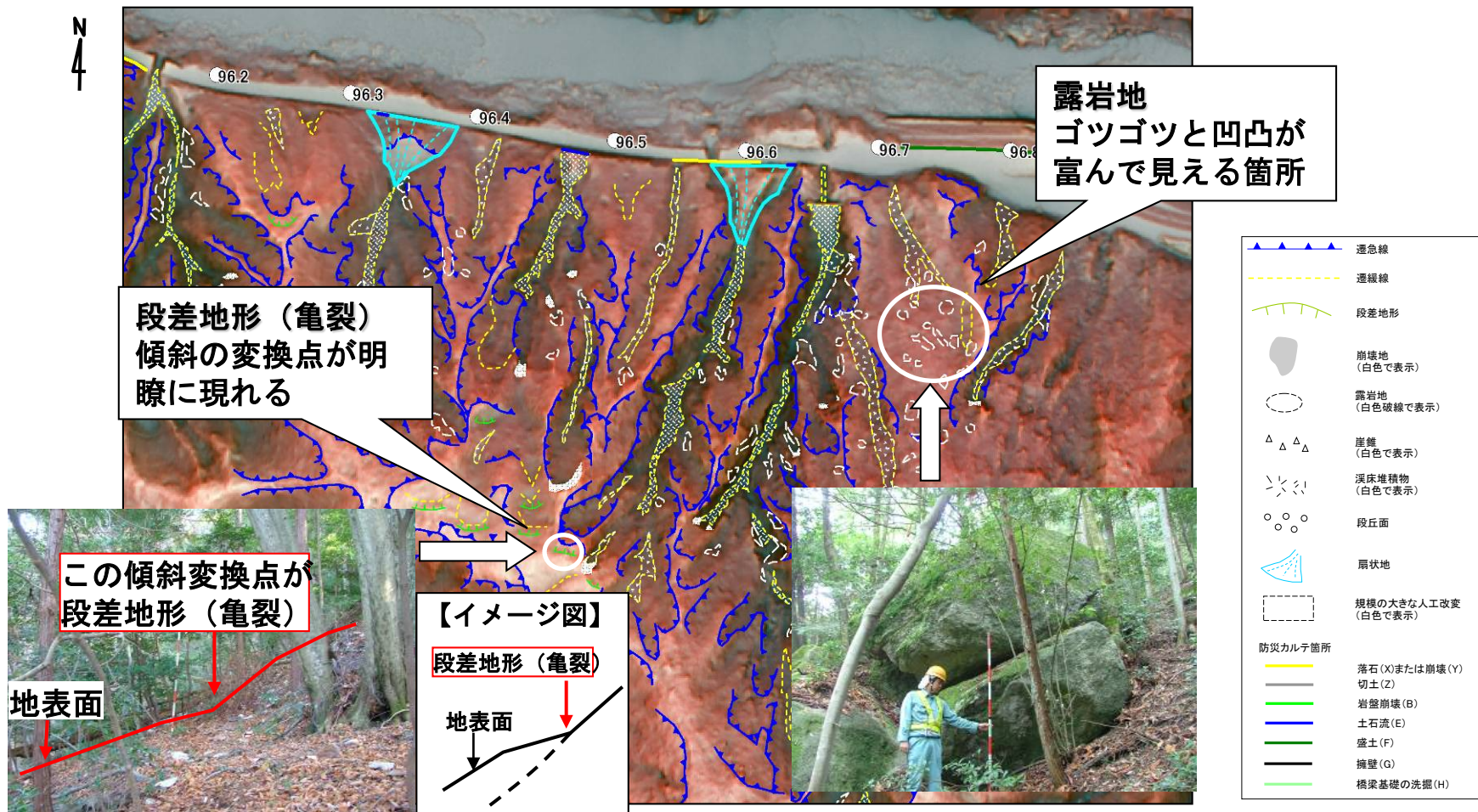
高さ1m未満の段差地形(亀裂)を等高線だけで見つけることは困難



※「点検要領(平成18年9月)」の一部抜粋

# 災害要因の地形判読イメージ

## 「赤色立体地図」による微地形詳細判読例



※1m×1mメッシュDEMから作成した赤色立体地図

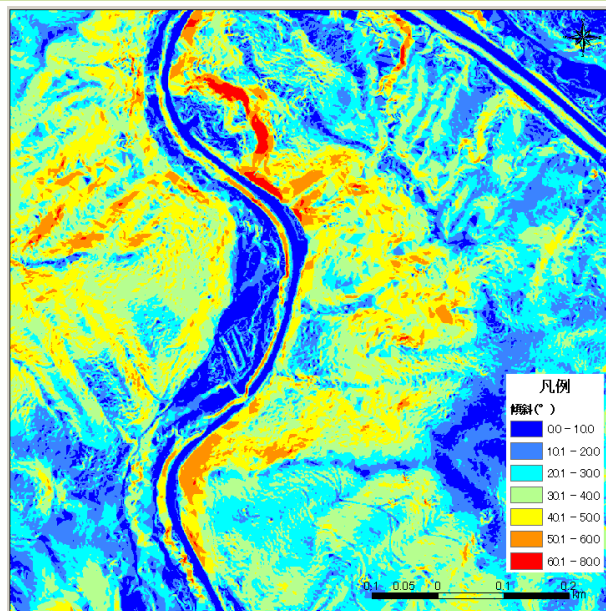
# 土砂災害リスク箇所の抽出

- 災害要因や集水域等に留意し、赤色立体地図を用いて斜面区分を実施
- 災害要因（落石・崩壊、岩盤崩壊、地すべり、土石流等）があり、道路に影響が及ぶ可能性のある区間を抽出
- 地形データの解析図（傾斜量図等）も参考として活用

## リスクエリアの抽出基準（H18点検要領より抜粋）再掲

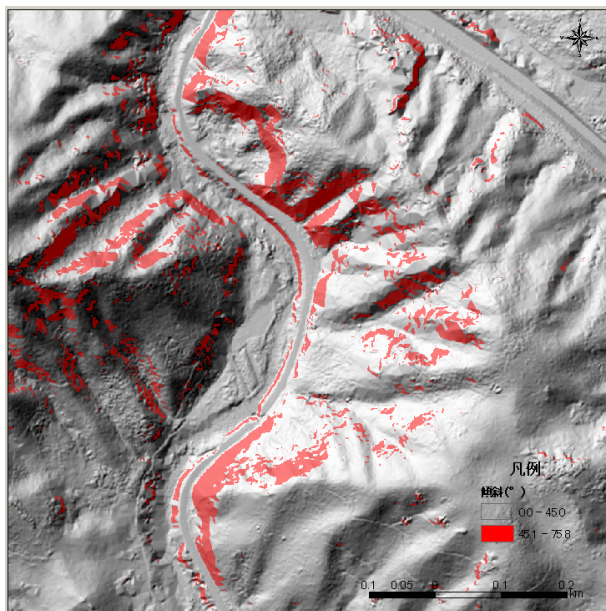
災害要因	抽出基準
落石・崩壊 (A)	高さ15m以上ののり面・自然斜面、または勾配45°以上の自然斜面。ロックシェッド等の施設上部ののり面・自然斜面、あるいはトンネル坑口上部の斜面を含む。
岩盤崩壊 (B)	岩盤が露出した高さ15m以上、かつ傾斜60°以上ののり面・斜面が存在する箇所。
地すべり (C)	地すべり危険箇所または地すべり防止区域。 災害要因の判読で、道路の上部または下部に地すべり地形が認められ、かつ地すべりが発生した場合道路に被害が生じると想定される場合。
土石流 (E)	道路を横断して流下する流域面積1ha以上かつ上流の最急溪床勾配10°以上の溪流で、下記の①②を除く箇所。 ①トンネルで溪流を横断している箇所 ②桁下10m以上、かつ流路幅20m以上の橋梁で横断している箇所

# 航空レーザ測量成果を用いた急傾斜面の抽出例

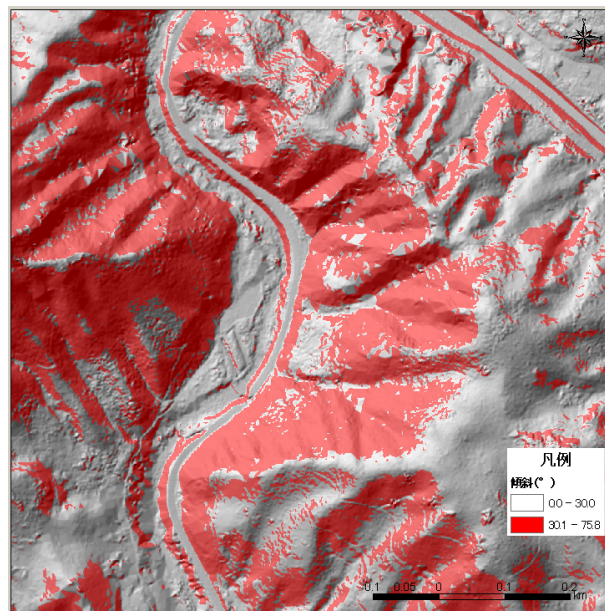
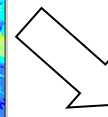


傾斜区分図

45°以上を抽出

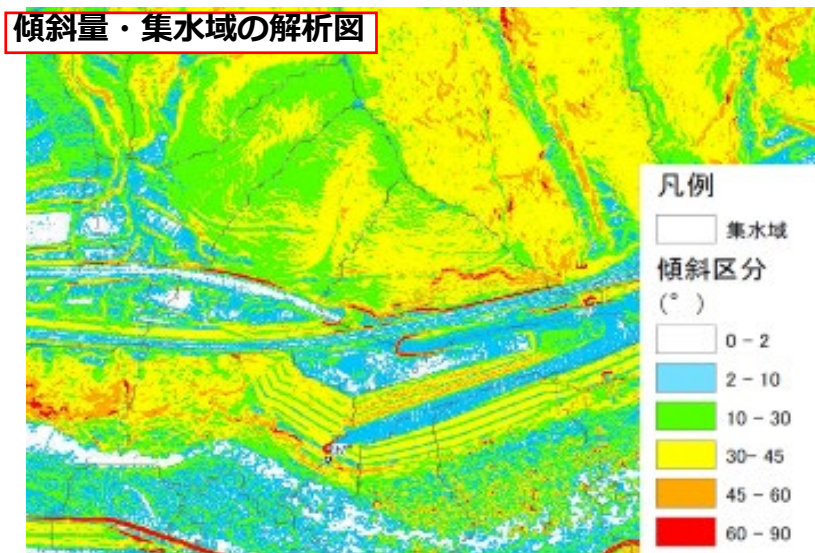
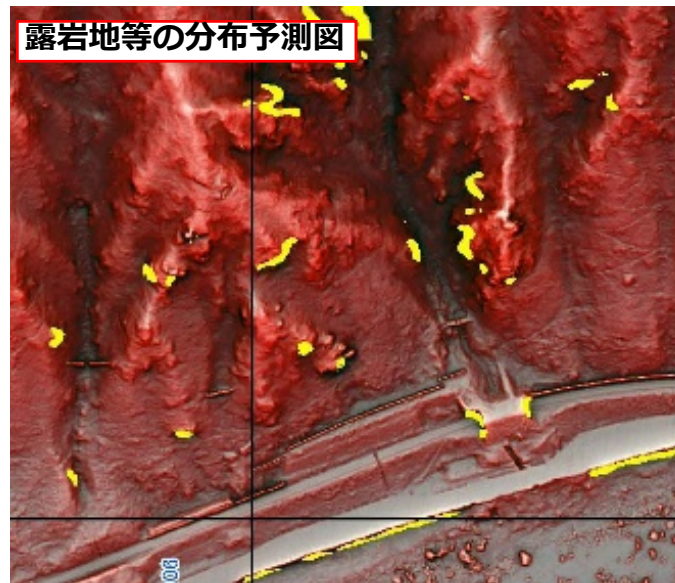
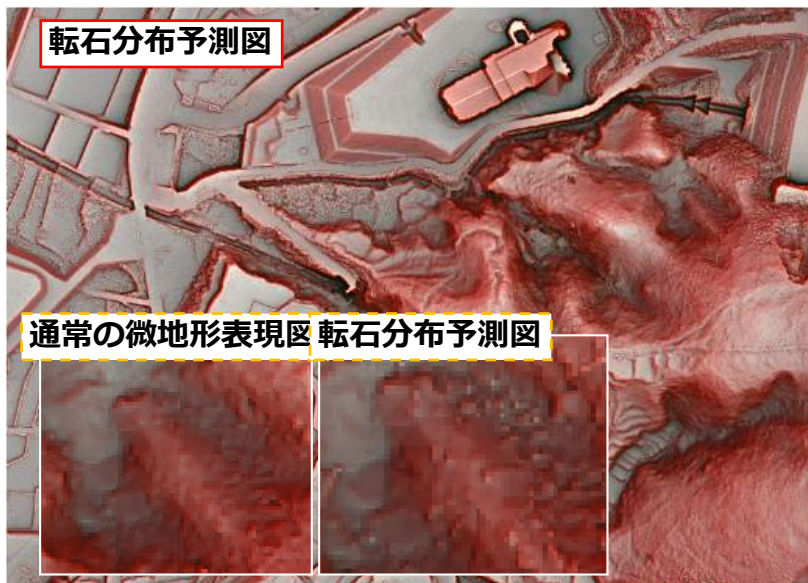


30°以上を抽出



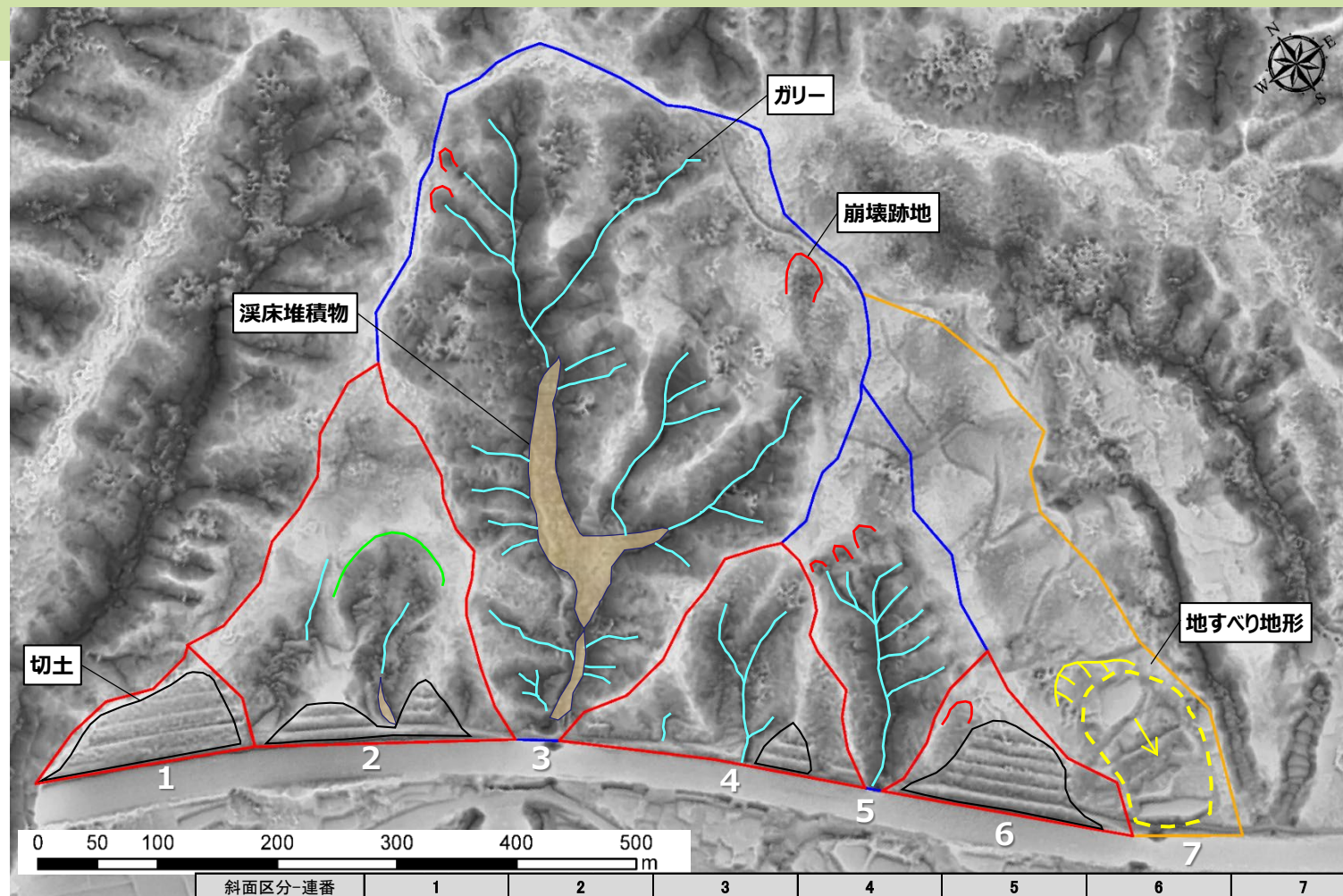


# 災害リスク抽出における地形解析図の活用





- 落石・崩壊(A)
- 岩盤崩壊(B)
- 地すべり(C)
- 土石流(E)

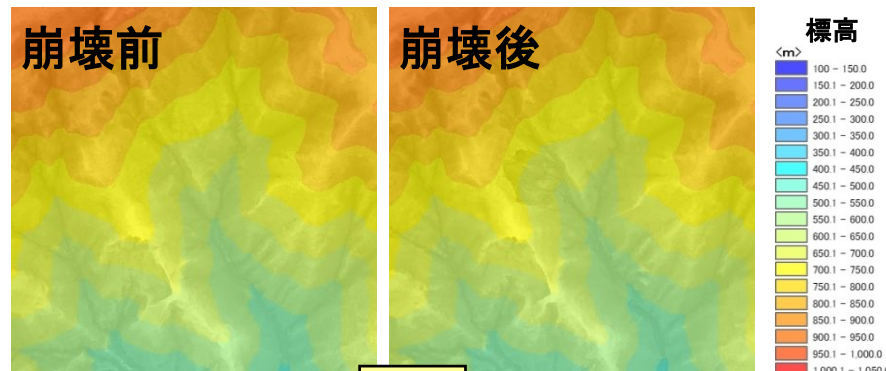


斜面区分-連番	1	2	3	4	5	6	7
距離標 (kp)	123.50 - 273.50	273.50 - 443.50	443.50 - 453.50	453.50 - 633.50	633.50 - 638.50	638.50 - 793.50	793.50 - 873.50
上下線の別	上り線	上り線	上り線	上り線	上り線	上り線	上り線
区間延長 (m)	150	170	10	180	5	155	80
既往防災点検評価	対策不要	カルテ対応	対策不要	要対策	無し	対策不要	無し
想定される災害	切土法面の崩壊	切土法面の崩壊、小溪流からの土砂流出	崩壊跡地やガリー谷頭からの土石流発生、渓床堆積物の流出	自然斜面の崩壊、小溪流からの土砂流出	ガリー侵食拡大、土石(土砂)流	切土法面の崩壊	地すべり土塊の高速道路への流出
対象項目	落石・崩壊	落石・崩壊	土石流	落石・崩壊	土石流	落石・崩壊	地すべり

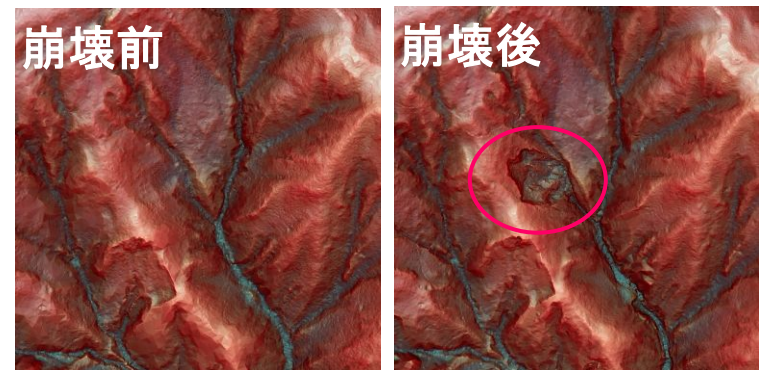
## 抽出結果図イメージ

# [参考] 災害前後の詳細地形データを用いた解析

- 航空レーザー測量成果を基本データとして整備することで、今後災害が発生した場合に、地形データを取得して差分等の解析を行うことで、変化箇所や土砂量等を精度良く効率的に把握可能

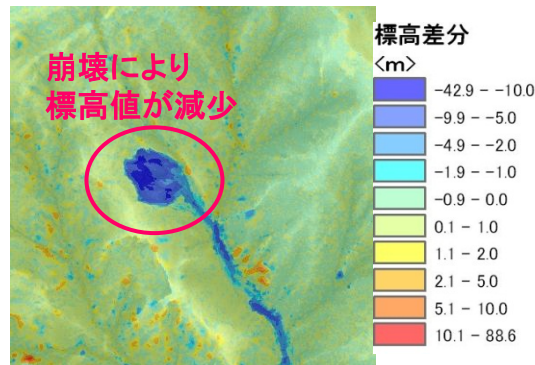


処理



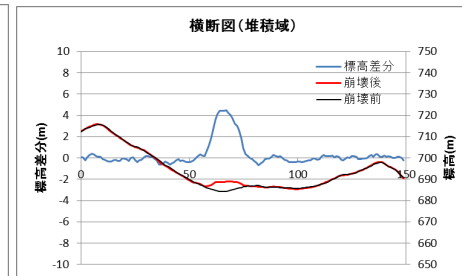
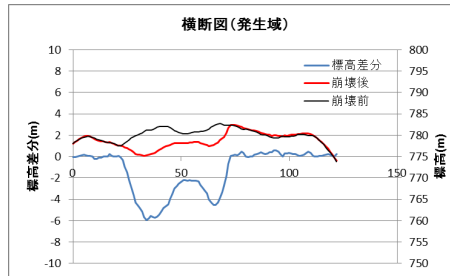
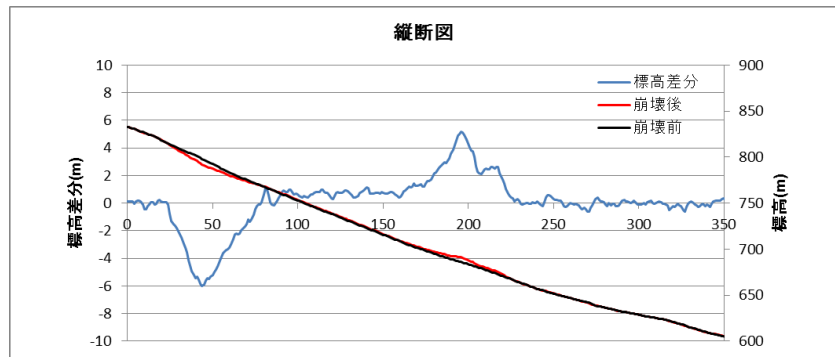
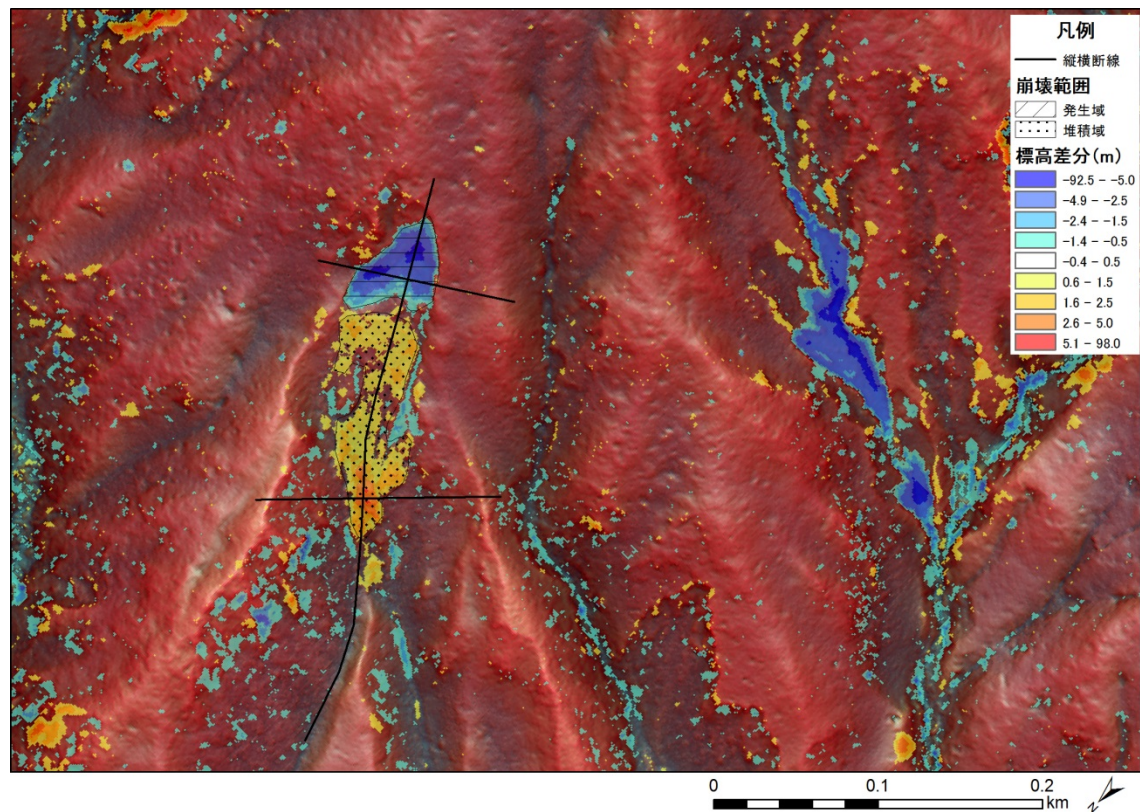
地形表現図(赤色立体地図)

標高差分図

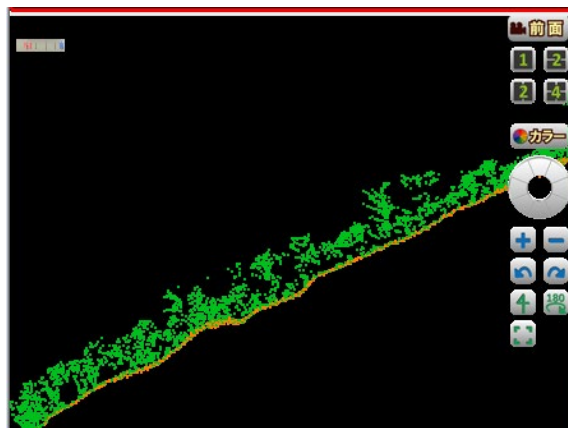
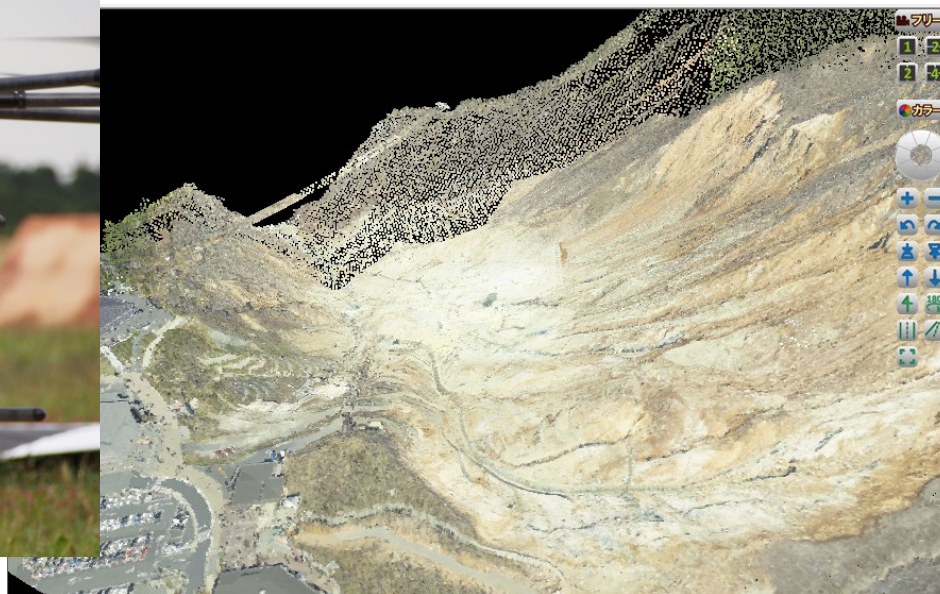


- 標高差分値にメッシュの面積を乗じることで、崩壊・堆積した土砂量を算出
- 正確に算出するためには、発生域・堆積域を区分したうえで、それぞれの領域について土砂量を集計
- 領域区分は、オルソ画像や地形表現図の判読により行う

# 標高差分結果から土砂量を算出



# [参考] UAVレーザ計測例



JPGU2020, “UAVレーザを用いた活動中の火山における詳細地形データ取得事例” HGM03-P11

## まとめ

- 航空レーザ測量により高精細地形データを取得し、微地形表現図を作成して災害地形を判読することで、これまで把握できなかった道路遠方からの土砂災害リスクを精度よく抽出することが可能となる
- 微地形表現図だけでなく、地形データから作成できる傾斜量図等の各種地形解析図を活用すれば、定量的な評価にも役立つ
- AI等による災害地形の自動抽出も試みられており、将来的な効率化、高精度化が期待される
- 対象とする範囲の面積地形の規模によっては、有人機による航空レーザ測量のほか、UAV（レーザ/写真測量）や地上レーザなど、適したプラットフォームやセンサの使い分けが有効と考えられる
- 最終的な危険度評価にあたっては、机上で評価できない要素もあるため、現地調査を行って決定することが望ましい



**ご清聴ありがとうございました**