

土砂災害時の点群データ活用と地形画像診断の提案 - 2021年7月熱海土石流災害を例として -

鈴木雄介¹⁾・杉本直也²⁾・増田慎一郎³⁾・原口 強³⁾

- 1) (株) STORY e-mail: ysk.suzuki@gmail.com
 2) 静岡県交通基盤部建設政策課イノベーション推進班 e-mail: naoya2_sugimoto@pref.shizuoka.lg.jp
 3) 静岡県交通基盤部建設政策課未来まちづくり室 e-mail: shinichiro1_masuda@pref.shizuoka.lg.jp
 4) 大阪市立大学大学院理学研究科 e-mail: haraguchi@osaka-cu.ac.jp

土砂災害が発生した際、被害状況の地形把握は必須である。救助活動が最優先される一方、二次災害を防ぐ視点から救助隊員の安全確保も重要な課題である。熱海伊豆山土石流災害では、地形のオープンデータによる解析により短時間で崩壊地の盛土が特定された。ここではこれを可能とした地形のオープンデータの概要と点群を活用した地形画像診断例を示す。これらを踏まえ、災害時の点群活用と地形画像診断の在り方について提案する。

Key words : 土砂災害，オープンデータ，点群データ，地形画像診断

1. 研究の背景と目的

土砂災害が発生すると、被災関連の各種の情報を集約するとともに地図上に被災場所や発災原因となった事象の特定が行われる。被害時は救助活動が最優先される一方、二次災害を防ぐ視点から救助隊員の安全確保も重要な課題である。

ここでは熱海伊豆山で発生した土石流災害（図 - 1）を例に、発災前に静岡県が公開していた地形のオープンデータ（図 - 2）を用いた地形の分析内容と地形画像診断例を示す。この事例を踏まえ、点群データの活用法や災害時の対応、さらに地形画像診断について提案することを目的とする。



図 - 1 土石流発生箇所（国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図「熱海」を加工して作成）



図 - 2 「静岡県富士山南東部・伊豆全域点群データ」ダウンロードサイト（G 空間情報センター内）

2. 熱海伊豆山土石流災害とオープンデータによる地形画像診断

(1) 2021 年 7 月 3 日熱海伊豆山土石流災害

梅雨前線による大雨に伴い，2021 年 7 月 3 日 10:30 頃に静岡県熱海市伊豆山の逢初川で土石流が発生した．この土石流は逢初川源頭部の標高 400m 付近で発生した崩壊が土石流化し，逢初川を 2km 流下し，伊豆山港付近で海に流入し，死者 25 名，行方不明者 2 名（2021 年 8 月 25 日時点），被害建物数 128 棟（135 世帯）の被害をもたらした．土石流の原因となった崩壊は，逢初川の源頭部の谷埋め盛土で生じた．

(2) 静岡県による三次元点群データの蓄積とオープンデータ化

静岡県は，仮想空間に建物や森，河川など県を丸ごと再現する「VIRTUAL SHIZUOKA」構想を掲げ，地形データのオープン化が進めていた．点群とは三次元位置情報を持った点の集まりで，さらに色情報，反射強度，クラスコード（建物か，地面かなど）が各点に含まれる．色情報を含む点群を使えば立体的景観が再現でき，地表面データからは精密な地形図の作成が可能となる．

蓄積された点群データはオープンデータ化され，静岡県ポイントクラウドデータベース（<https://pointcloud.pref.shizuoka.jp/>）や G 空間情報センター（<https://www.geospatial.jp/>）から誰でもダウンロードし，CC-BY ライセンスのもと利用することができる．

(3) 静岡点群サポートチームとその活動

「VIRTUAL SHIZUOKA」で蓄積された点群は，観光やゲーム，ハザードマップなどでの活用が行われていた．発災後，直ちに有志が自発的に集い「静岡点群サポートチーム」として，点群を用いた土石流の流下経路や崩壊箇所の特定などの分析を独自に始めた．チーム内の情報交換はグループチャットやオンラインで行い，救助活動における二次災害防止を主目的に，点群を用いた災害の全体像把握を試みた．筆者のうち鈴木は発災当日の 22:30 頃にチームに参加し，地形解析を担当した．本チームの有志メンバーには，本論文で紹介した解析について随時議論いただいた．

(4) 地形画像作成に用いた点群

災害の全体像を把握するために，以下に示す 3 時期の点群を用いた．

① 2009 年点群：国土交通省による航空レーザ計測データ

航空レーザ計測で作成した 1m メッシュの標高データで，時期的に盛土前の地形データに相当する．当初は公開された基盤地図情報数値標高モデルの 5m メッシュを用いて解析したが，非オープンデータである高解像度の本データを入手以降は，このデータを用いて解析した．

② 2019 年点群：静岡県による富士山南東部・伊豆全域航空レーザ計測データ

点群データは G 空間情報センターで公開されている．地形差分解析のため，点群から三角網（TIN：Triangulated Irregular Network）内挿により 10cm 解像度のメッシュデータを作成した．

③ 災害後の点群：UAV レーザによる点群データ

災害後，（株）ウインディーネットワークの自主計測による 7 月 5～6 日の UAV レーザ測深データ（UAV ALB 点群），静岡県との災害協定による（株）東日の 7 月 6 の UAV レーザデータ（UAV LP 点群）が取得された．両データとも 7 月 7 日に G 空間情報センターのサイトで公開された．地形解析では逢初川源頭部から中流域は UAV LP 点群，中流域から下流域は濡れた地表面も計測されている UAV ALB 点群を用い，TIN 内挿により 10cm 解像度のメッシュデータを作成した．

(5) 地形画像診断

① 2009 年と 2019 年地形データを用いた盛土範囲の抽出と盛土量算出

当日 22:30 頃までに，報道による逢初川源頭部の崩壊地の空撮が行われ，SNS では特定された崩壊発生場所の過去の空中写真等から人工改変（谷埋め盛土）地での崩壊の可能性が指摘されていた．

盛土範囲の抽出と盛土量を算出するため，2009 年と 2019 年の地形差分図（図 - 3）を作成した．解析作業は発災から約 11 時間後の 23:22 に完了し，結果はチーム内で共有・検証された．その直後に，現地対応中の静岡県職員にも共有された．翌 4 日の現地踏査では，この解析結果を踏まえ，盛土の崩壊という視点から現

地確認が行われることとなった。

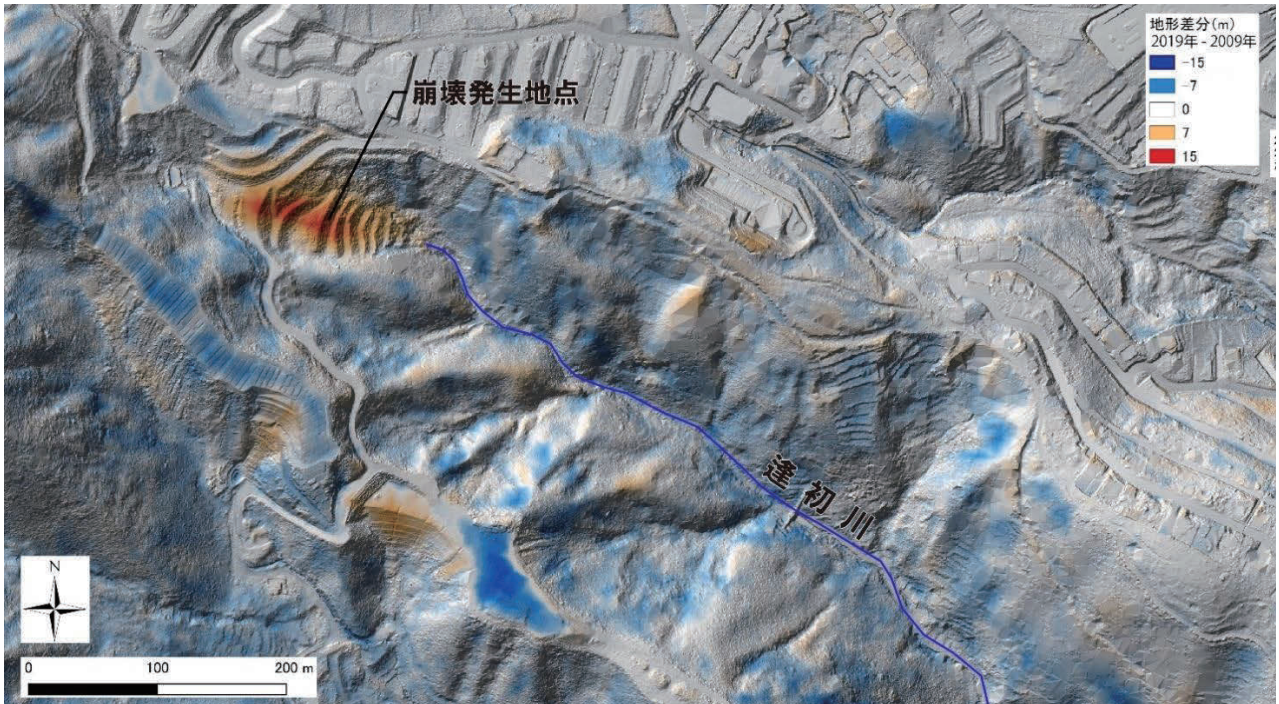


図 - 3 2009 年と 2019 年の地形差分による地形変化の抽出（背景図は 2019 年地形）

詳細差分図（図 - 4）から逢初川源頭部付近の谷部には 10m を越えるプラスの地形変化と整地された階段状地形が確認され，この部分が 2009 年以降 2019 年までの盛土と判断された．盛土の体積をメッシュ法で算出し，その土量が約 54,000 m³と判明したのは災害発生翌日の 4 日 9:22 であった．

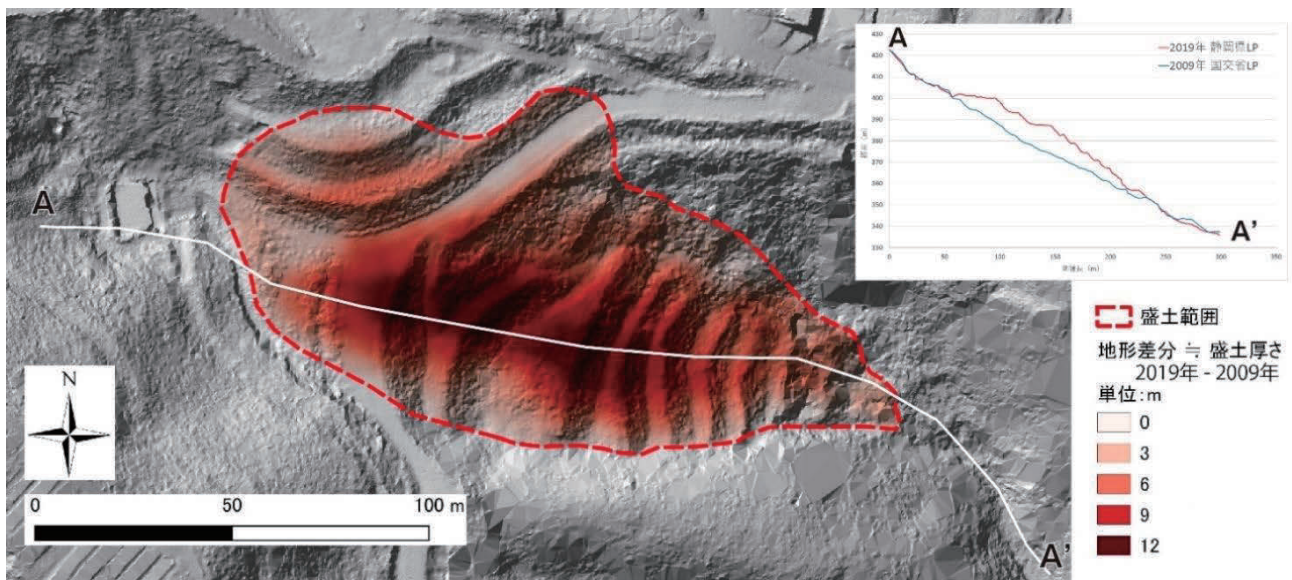


図 - 4 2009 年と 2019 年地形データの差分による盛土厚さの計測および比較断面（背景図は 2019 年地形）

② 2019 年と災害発生後の地形データを用いた地形変化の抽出と崩壊規模の算出

7 月 7 日に公開された災害後の UAV 計測と 2019 年地形データとの差分を行った（図 - 5）．この結果，源頭部崩壊地における崩壊による顕著なマイナス変化のほか，崩壊地の下流約 400m の砂防堰堤に土砂が捕捉されている様子が可視化された．源頭部の崩壊以外には顕著な崩壊・土砂流出箇所は認められなかった．

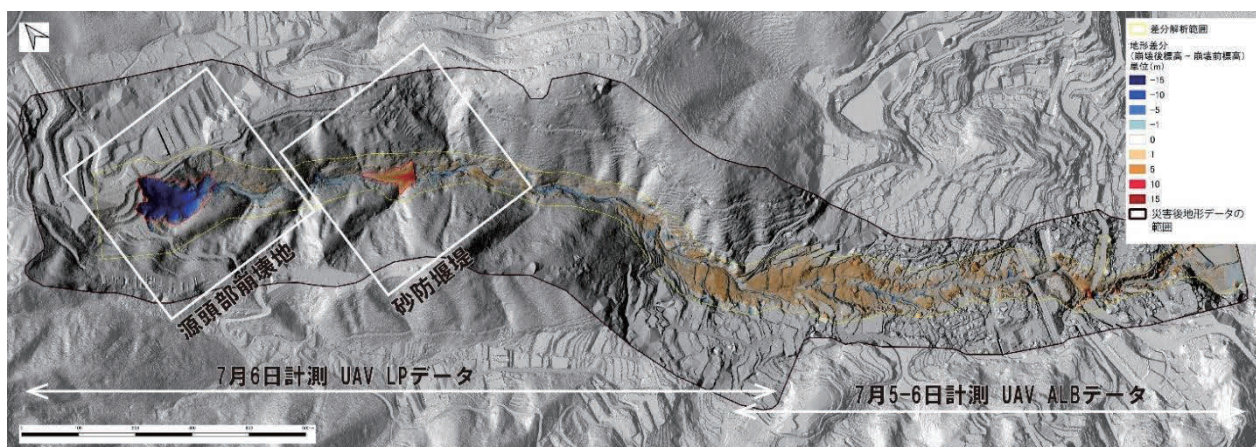


図 - 5 2019 年と災害後地形データ差分図：白四角内を図 - 6（背景図は黒枠内が崩壊後地形，黒枠外は 2019 年地形）

源頭部崩壊地と砂防堰堤付近での土砂の変化量（図 - 6）をメッシュ法で算出した結果，崩壊地の土砂流出量約 56,000 m³，砂防堰堤背後の土砂捕捉量約 7,500 m³と判明された．崩壊地と砂防堰堤背後を除くと，崩壊地から逢初川中流の谷出口までの区間の溪床侵食量と流下経路脇の堆積量は小規模である．

このため，約 56,000 m³が崩壊し約 7,500 m³が流下途中で砂防堰堤に捕捉され，その残りが下流の市街地に流出したと推定された．この結果は，7 月 8 日 9 時頃にチーム内での検証を経て，県の担当部局に共有され即日公表された．

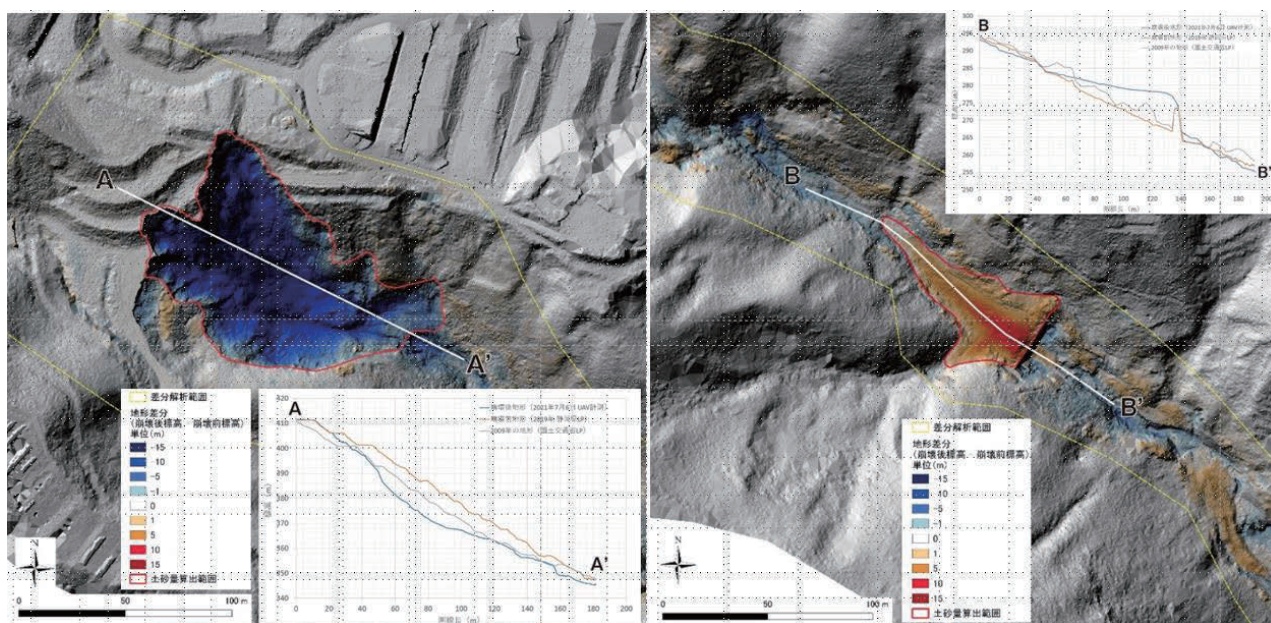


図 - 6 2019 年地形データと災害後地形データの差分による地形変化抽出と比較断面
：（左）逢初川源頭部崩壊地付近，（右）逢初川中流砂防堰堤付近（背景図は崩壊後地形）

③ 未崩壊盛土の抽出と対応

地形差分結果や現地写真から，源頭部の右岸側に未崩壊盛土が残存していることが判明した．この土量（図 - 7 の領域 A+領域 B）は約 20,000 m³で，特に多くの亀裂が認められる不安定な領域 A の土量は約 9400 m³である．これらの情報も 8 日にチームの検証を経て県の担当部局に共有され，7 月 13 日に公表された．一方，国土交通省により 7 月 7 日に伸縮計設置，9 日からはエリアメールやサイレン・回転等を組み合わせた監視警戒体制が構築された．

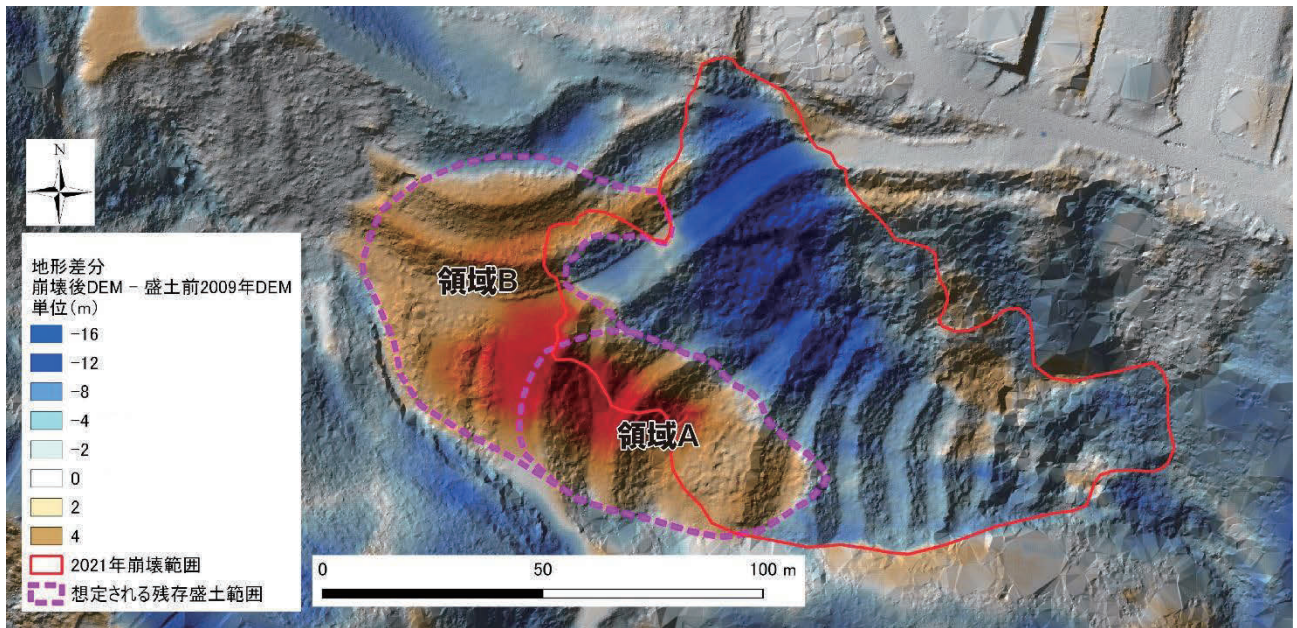


図 - 7 崩壊後に残存している盛土の抽出（背景図は 2019 年地形）

(6) まとめ

熱海市伊豆山の土石流災害では、点群を活用し、崩壊の原因となった盛土の存在、位置、崩壊した土砂量や流下経路の砂防堰堤で捕捉された土砂量の算定などを行い、災害の全体像に関わる情報を迅速に提供することができた。これを可能にした背景は、次のように纏められる。

- ① 災害前から、点群の蓄積とオープンデータ化「VIRTUAL SHIZUOKA」が進められていたこと。
- ② 災害前から、点群を活用する取り組みが行われていたこと。
- ③ 発災後、直ちに有志による「静岡点群サポートチーム」が機能したこと。
- ④ チームによる多面的分析がオンラインで実施され、情報共有と検証が迅速に実施されたこと。
- ⑤ チームの情報が県の担当者に迅速に共有される環境が整っていたこと。

3. 災害時の点群活用と地形画像診断の提案について

今回の事例は、「地形データのオープン化」と地形を直感的に分かり易く伝える「地形画像診断」の重要性を示す貴重な事例となった。

(1) 地形データのオープン化

災害発生前の 2019 年計測の地形データがオープンデータとして公表されていたからこそ、これを軸として、盛土前の 2009 年地形データや発生後の地形データと比較することで可能となった。これらのデータが揃っていたとしても、自由かつ迅速にアクセスできる環境がなかったら、このような対応は不可能であった。さらに、UAV 搭載レーザ計測技術の急速な発展の寄与も大きい。地域にこうした技術を取り入れ、提供可能な企業の存在も重要である。これらの技術を災害発生時に活用するためには、基礎データとして国土全体の高精細な地形データが整備・公開され、自由に活用される環境が必須である。

静岡点群サポートチームは、多様な技術をもった人材の集合で、最終的に県庁職員 3 人を含め、計 16 人となった。チームが刻々と状況が変化する災害直後に機能し、行政の意思決定の一部にも関与できたのは、「VIRTUAL SHIZUOKA」によるデータ集積・公開と同時に、点群を活用する様々な実験的取り組みを行ってきた産官学の技術者の人間関係にも相当依存していた。単にデータをオープンにするだけでなく、平時からデータの利活用を考える人々の緩やかなつながりを築くことも重要であろう。さらにそれぞれが別の組織で仕事をしながら作業できたのも、デジタル技術を駆使したオンライン環境が揃っていたことも重要であった。

（２） 地形画像診断

解析作業で提供された情報は，従来の等高線の入った地形図ではなく地形画像であった．医療では，CT・MRI などによる画像の取得と画像診断が標準的に行われている．主治医は，画像診断医の意見を踏まえて診断・治療方針を決めている．地形・地質解析でも，医療分野と同様の技術が急激に進展しており，デジタル技術を駆使した地形画像診断³⁾が今回の解析ではフル活用された．

地形を表現するのは，従来は等高線地形図であった．地図上の等高線間隔の粗密や形状から，地すべりや段丘などの特徴的な地形が判読できる．しかし，その判読には一定の訓練と経験が必要である．一方，赤色立体図や陰陽図などは等高線図に比べ直感的に地形を表現（図 - 8）できる．今回の解析でも崩壊前後の画像を調整・重合して地形画像診断（図 - 9）することで，地形変化や滑落崖を容易に判読することができる．

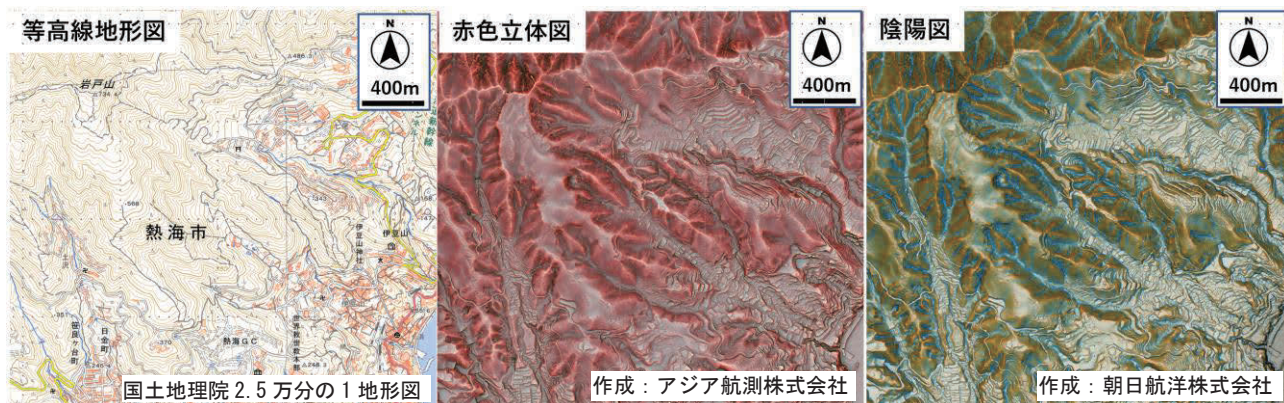


図 - 8 等高線地形図と赤色立体図・陰陽図

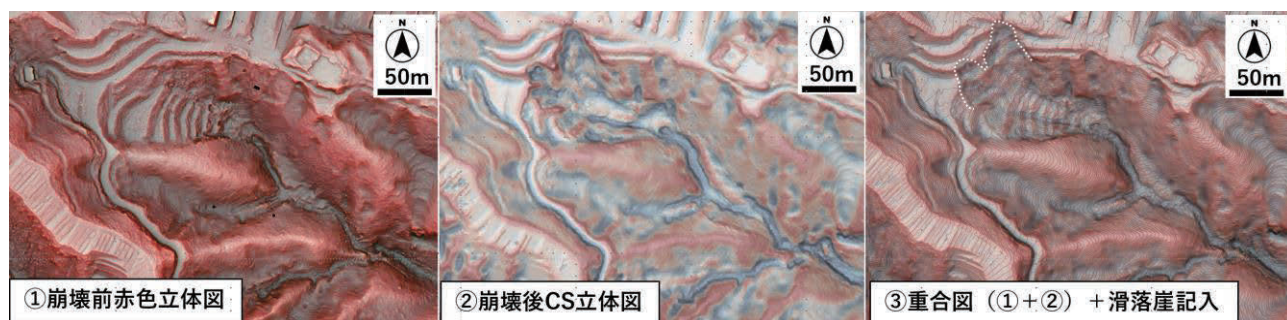


図 - 9 地形画像診断用地形画像

今後は全国レベルでの「地形データのオープン化」とともに，点群を使った分かり易い「地形画像診断」により，裏山の地形を評価する取り組みが必要である．

参考文献

- 1) 「VIRTUAL SHIZUOKA」が率先するデータ循環型 SMART CITY
<https://www.mlit.go.jp/common/001341978.pdf>
- 2) 静岡県報道提供資料「熱海伊豆山地区の土石流の発生について（第 47 報）」
<https://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/documents/atamidosya0824.pdf>
- 3) 静岡県が本災害に関連して公開したデータ一覧
https://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/r3_atami_dosyasaigai.html
- 4) 原口強（2021），「地形画像診断」の提唱，日本応用地質学会研究発表会論文集（印刷中）