

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化

—御殿場試験フィールドの例—

黒 木 貴 一

I. はじめに

従来、地形図と空中写真により地形は判読されてきたが、今日その利用中心は DEM (Digital Elevation Model) となった。そして地形判読を容易にするための傾斜量図¹⁾、陰陽図²⁾、赤色立体地図³⁾、CS 立体図⁴⁾など様々な地図表現法が開発された。さらに標高変化の量と分布を把握して地形変化を議論するには、2 時期の写真測量^{5), 6)}やレーザー測量^{7), 8)}でデジタル標高モデル (DEM) を求め、その差分による標高変化量を段彩で階級区分する地図表現法がある。近年、より広域に対し SAR 干渉画像を用い、DEM を介さず標高変化を把握する手法^{9), 10)}も広まった。

ところで2016年熊本地震では、著しい被害の益城町中心部では、実際、地震断層を含む多くの亀裂が生じ、また狭い範囲の小さな標高変化による地形変化が生じた^{11), 12)}。この地震では、SAR 干渉画像によりこれまで見過ごされてきた微小な亀裂から広域的な地殻変動も議論されたが¹³⁾、益城町中心部は非干渉地域となり、その小さな標高変化の広がりとは判然としなかった¹⁴⁾。またこの際、地震前後のレーザーデータ差分では、全体的な標高減少の傾向は読み取れたが、狭い範囲の小さな地形変化は識別できなかったため、黒木・池見 (2022)¹⁵⁾ 及び黒木 (2022)¹⁶⁾ では、差分からの新たな地図表現法として剰余地図を提案し、その量と分布が示しやすいことを明らかにした。この剰余地図は、段彩で階級区分する全体の標高変化の中で、小さな標高変化は色差が小さくなる問題に対し、その範囲と量を読み取りやすくする効果を持つ。しかしま

だ、本手法がどのような種類のどの程度小さな地形変化までを識別できるのか、確認が十分ではなく、様々な現場での適用試験が必要な段階にある。

そこで本研究では、ほとんど標高変化が無いと想定されるテストサイトを対象に、レーザーデータによる極短期間の標高差分による剰余地図からの地形判読効果を確認した。

Ⅱ. テストサイトと使用データ

1. テストサイト概要

テストサイトは静岡県御殿場市にあり、2007年に廃止された富士フェニックス短期大学の跡地で、現在 ASITE 空間情報技術試験フィールド（図1）と呼ばれている。そこに約320 m 四方の範囲を設定した。地質図 Navi によれば、

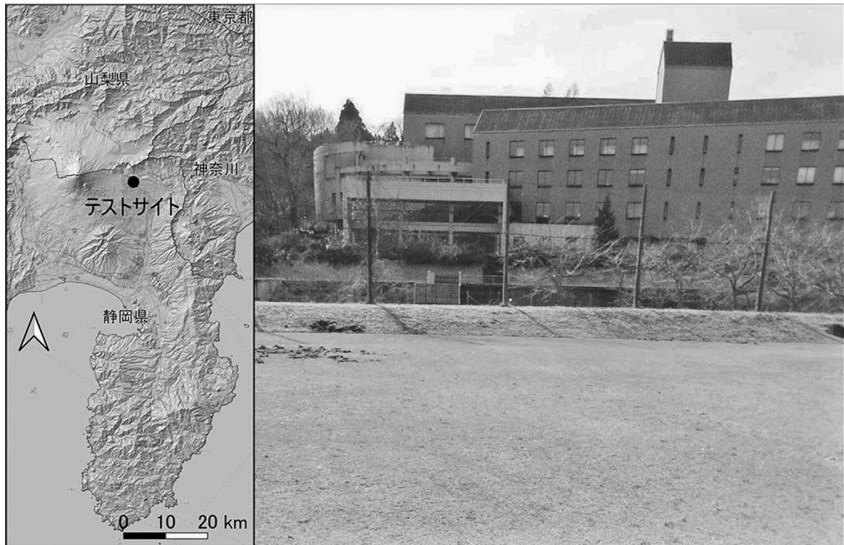


図1 テストサイトの位置と全体景観

左図の背景には地理院地図を用いた。

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
— 御殿場試験フィールドの例 — (黒木)

そこは富士山の山体崩壊からの岩屑なだれ堆積物で構成される緩斜面にあり、表層は発砲の良いスコリア層に覆われる¹⁷⁾。このため、斜面崩壊や土石流など土砂移動、地殻変動や地盤沈下など地盤変動による短期間での標高変化は考えにくい。

2. 使用データの調整と現地確認

1) 使用データと現地確認

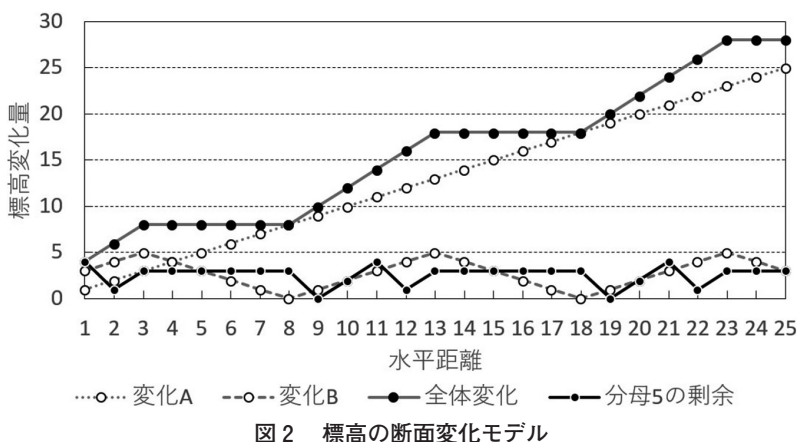
株式会社快適空間 FC が2021年3月と10月に計測した LAS データ(点群密度約30点/m²)を購入し使用した。この LAS データを、QGIS3.16のプラグインの LAsTools と FUSION を介して0.1 m の数値標高モデル (DEM : Digital Elevation Model) に調整した。

剰余地図に現れた標高変化の特異領域を選定した。2021年12月10日にその領域に対し、現地で構造物変形や土砂の堆積や侵食の状況を確認し、地形変化過程を明らかにした。

2) 剰余地図の作成と特性

10月の DEM から3月のものを減算し、標高の差分データとした。次に差分データを100倍または1000倍し、それぞれを整数値に調整した。次に100倍差分を10～60で除算し、その剰余を求めた。また1000倍差分を10～100で除算し、その剰余を求めた。剰余は、その最小値を青、最大値を赤とする分母数の段彩で示し、それを1縞と数える。そして標高変化の量と分布は、縞の繰り返しの数で量を、間隔の違いで方向性や傾斜度を読み取れる階級区分図で示し、それを剰余地図と称する。

図2の標高の断面変化モデルで剰余地図の表示効果を説明する。1～25に単調増加する標高変化 A、0～5に単調増加と減少を繰り返す標高変化 B を要素に持つ標高の全体変化を仮定する。この全体変化を5で除算した際の剰余、分母5の剰余を見ると、地形変化 B と同周期で、極値の近い変化型の繰り返し



しが現れる。この変化型を段彩で地図化すると、全体変化の段彩では識別できない標高変化Bの識別が可能になる。本手法は、画像処理にあるラブラシアンや特定の周波数成分を除去し画像強調や鮮鋭化を行う空間フィルタリング¹⁸⁾に対し、地形変化の特定周波数を強調するフィルタを除算の分母に置く点、またGISの計算機機能で容易に計算し地図表現できる点に特徴的がある。

Ⅲ. 剰余地図に現れる標高変化の特徴

1. 一般の標高差分表示

図3は、標高差分を一般的な段彩で表示した。図3では、森林で0.08 mを越す増加で、建物および計測範囲の縁辺部で0.08 m以上の減少を示す。前者はレーザーが十分に地表に達しなかったことが、後者は建物の壁や地上基準点(GCP: Ground Control Point)から離れることで地形モデルが適切に形成できなかったことが原因と思われる。それ以外の範囲は差分-0.08 m~0.08 mにある。それは10 cm程度とされるレーザー計測の高さ精度より小さな量なので、標高はほぼ変化無と通常は見なされる。しかしシミあるいは雲のように境

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
— 御殿場試験フィールドの例 — (黒木)

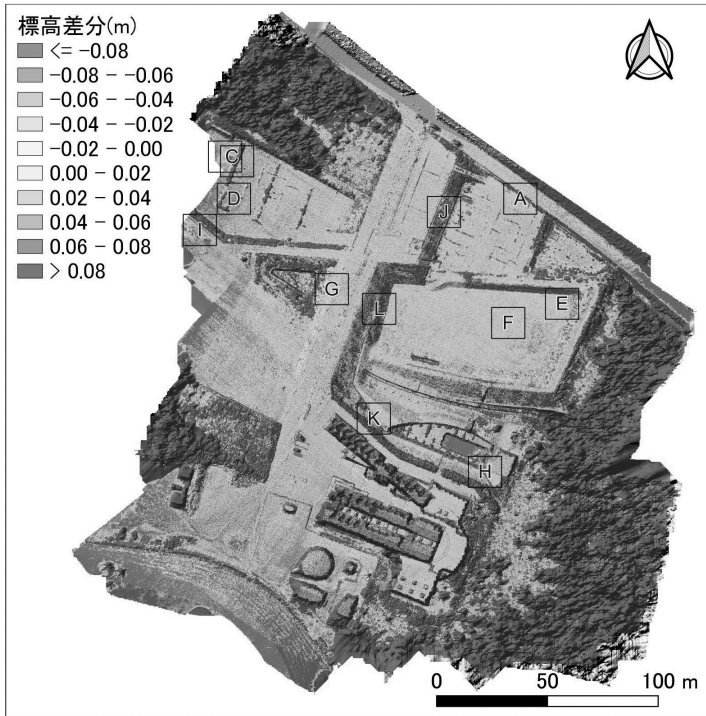


図3 テストサイトの標高差分と特異領域を含む12範囲 (原図はカラー)

界が判然としない標高変化を示す様々な広がり領域は無数にある。ただ図3では、その特異性を持つ領域の広がりには止まらず、その程度も確実に識別できず、それぞれの違いは全く議論できない。なお北西—南東、北東—南西方向の走査線状の無数にある細い線状模様は、レーザー計測の UAV コースとそれに直交するスキャン方向に依存するノイズである。図3には、後述の剰余地図で標高変化の特異領域が識別された12範囲 (A~L) も示す。

2. 平坦地での判読結果

図4に本章で使用する剰余地図の凡例をまとめて示す。図左端の100倍_分母

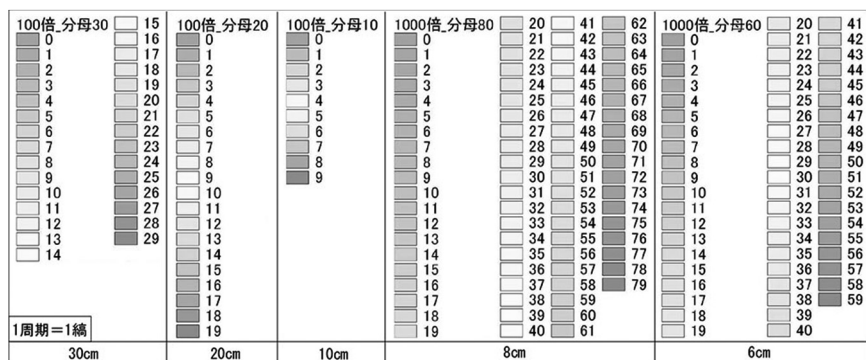


図4 剰余地図の凡例一覧（原図はカラー）

30は100倍差分を30で除算した図の凡例である。青から赤の方向に見ると、標高増加量が次第に大きくなる。この段彩の1周期の1縞は30cmの標高増加を示す。同様に、100倍_分母20は20cm、100倍_分母10は10cm、1000倍_分母80は8cm、1000倍_分母60は6cmの増加に対応する。このように本手法は、剰余の量や分布を段彩で地図表現し、標高変化の特異領域の変化量と変化方向を鮮明化する。

図5は、平坦地の6範囲（A～E）で見られた変化の程度と広がりを示す剰余地図であり、その凡例は図4に示す。図5は後述の図6とともに、標高変化を最も読み取りやすい倍数と分母の条件で作成した。また標高変化の傾向として、増加に向かう方向を示す矢印と、線状模様、斑状模様、変化境界の位置を示し、場の条件として駐車場、建物敷地、雑草地、道路、貯水池、建物等を記す。

範囲A（図5（1））の標高変化は、1000倍の分母80による地図（1縞8cm）が最も判読しやすかった。範囲Aは、舗装された駐車場から道路法の約50cmの段差を挟み北に舗装された道路がある。駐車場では、北東の道路に向かい黄から赤まで変化しており、約4cmの標高増加となる。道路自体は不明瞭ながら、東から西に向かい橙から赤まで変化しており、約2cmの標高増加となる。

範囲B（図5（2））の標高変化は、100倍の分母20による地図（1縞20cm）

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
 ―御殿場試験フィールドの例―（黒木）

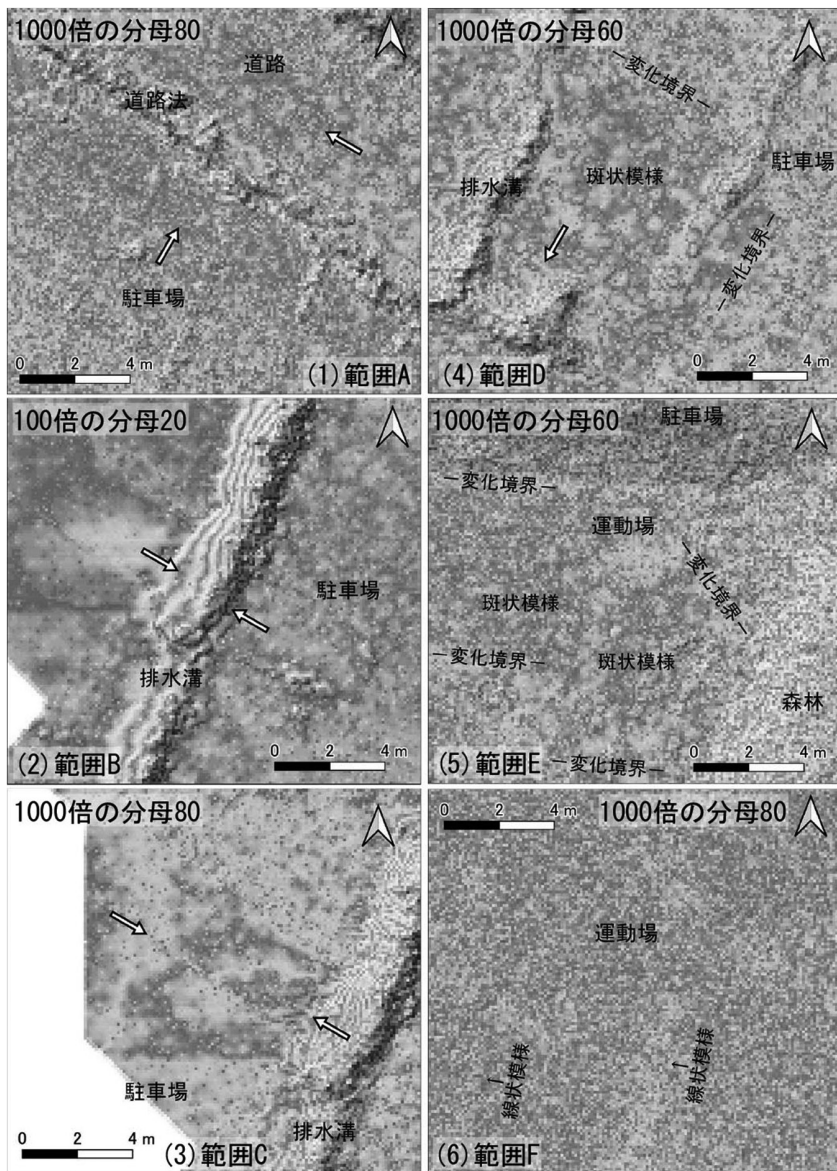


図5 平坦地の剰余地図（原図はカラー）

が最も判読しやすかった。範囲 B は、舗装された駐車場にあり、そこに幅約 2 m で南北延長約 20 m の標高増加の領域が現れた。その中心はまさに排水溝の位置に当たる。2つの相対する矢印方向に、増加領域の中心までは3縞が数えられるため、最大で約 60 cm の標高増加となる。

範囲 C (図 5 (3)) の標高変化は、1000倍の分母80による地図 (1 縞 8 cm) が最も判読しやすかった。範囲 C は範囲 B の少し西にあり、そこに直径約 6 m に及ぶ標高増加の領域がある。増加方向に2つの矢印を相対して示したが、そこに環状の2縞を数えられるため、最大で約 16 cm の標高増加となる。

範囲 D (図 5 (4)) の標高変化は、1000倍の分母60による地図 (1 縞 6 cm) が最も判読しやすかった。範囲 D は範囲 C の少し南にあり、そこに約 8 m 四方に広がる標高変化の特異領域が見られる。この領域は北と東の変化境界が明瞭で、その境界の南西に斑状模様が広がる。この模様を半径約 1 ~ 2 m の閉じた領域別に見ると、青から黄の標高増加または赤から黄の標高減少を示しており、それらが不規則に分布することで斑状模様となっている。つまり元々平坦な駐車場に、中央で約 3 cm 増加または約 3 cm 減少した凹凸領域が多く生じたことになる。その領域の南端では矢印の方向に不明瞭ながら黄から黄までの1縞が数えられるため、最大で約 6 cm の標高増加となる。

範囲 E (図 5 (5)) の標高変化は、1000倍の分母60による地図 (1 縞 6 cm) が最も判読しやすかった。範囲 E は、芝生に覆われた運動場の北東隅にあり、その北は駐車場が、東は森林がある。そこに、約 10 m 四方に広がる標高変化の特異領域が見られる。この領域は南と北の変化境界が明瞭で、その境界に挟まれる領域内に、大きさも形状も不揃いな斑状模様が広がる。この模様を閉じた領域別に見ると、赤から青の標高減少または青から黄の標高増加を示している。前者では約 6 cm の減少、後者では約 3 cm の増加による凹凸が生じたことになる。

範囲 F (図 5 (6)) の標高変化は、1000倍の分母80による地図 (1 縞 8 cm) が最も判読しやすかった。範囲 F は、芝生に覆われた運動場にある。図の西

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
—御殿場試験フィールドの例—（黒木）

端に幅約 1 m で南北に延長する線状模様が現れ、10月の陰影図には線状の微高地がそこに認められる。前者から東に約 6 m 離れた図中央に、幅約 2 m で南北に延長する不明瞭な線状模様も現れ、10月の陰影図ではそこに周囲よりわずかに低い溝状構造が認められる。前者は線状模様の縁が青で軸付近が黄緑に見えるため、数 cm の標高増加である。後者は線状模様の縁が橙で中央付近が黄に見えるため、数 cm の標高減少である。両者の延長方向はレーザー計測のコースやスキャン方向とは斜交し、またそこに地下埋設物の地上での痕跡も確認できなかった。

このように、平坦地の剰余地図は主に1000倍のものが有用だった。地図では、縞を構成する段彩の増加方向に加え、線状模様、斑状模様、変化境界に着目することで、標高変化の特異領域の量と分布を認定しやすい。なお一定の広がりを持つ10 cm に満たない標高変化の領域は、1縞前後の彩色の違いで識別しやすくなるが、適切な分母未満ではノイズが大きくなり、それを越す分母では彩色数が減って双方判別が難しくなる。

3. 斜面での判読結果

図 6 は、斜面の 6 範囲（G～L）で見られた変化の程度と広がりを示す剰余地図であり、その凡例は図 4 に示す。各図は、標高変化が最も読み取りやすい倍数と分母の条件で作成した。

範囲 G（図 6 (1)）の標高変化は、100倍の分母10による地図（1縞10 cm）が最も判読しやすかった。範囲 G は、東に舗装された道路があり、道路法の草地を挟み西に貯水池がある。道路と草地の境界は陰影の段差で読み取れる。北では道路縁まで、南では道路手前約 1 m まで、草地から道路に向かって黄から赤に変わるように見えるため、その辺りでは約 5 cm の標高増加である。

範囲 H（図 6 (2)）の標高変化は、100倍の分母10による地図（1縞10 cm）が最も判読しやすかった。範囲 H は、北が貯水池、東が建物及び建物敷地、南が雑草地の斜面である。雑草地が刈り取られた裾部に、特異な段彩が現れ

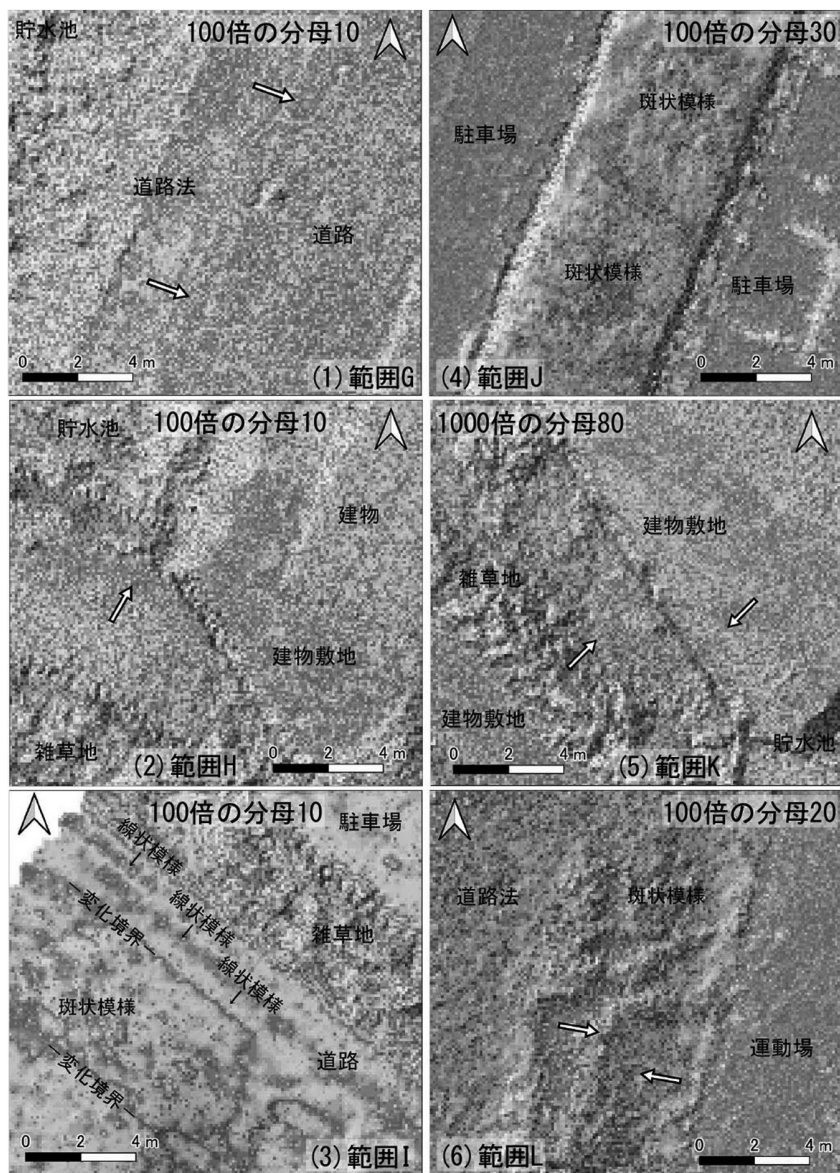


図6 傾斜地の剩余地図 (原図はカラー)

た。それは矢印付近で北に向かって黄から赤に変わるように見えるため、約 5 cm の標高増加を示す。

範囲 I（図 6 (3)）の標高変化は、100 倍の分母 10 による地図（1 縞 10 cm）が最も判読しやすかった。範囲 I には、南西から、芝生に覆われた緩やかな北向き斜面、南東から北西に延長する未舗装の道路、その北側は雑草地の法面を挟み舗装された駐車場がある。北向き斜面の約 4 m × 約 10 m の領域は、南辺と北辺の線的な変化境界が明瞭で、その領域内に大きさも形状も不揃いな斑状模様が広がる。この模様を閉じた領域別に見ると、黄緑から青を経て橙の標高減少または黄緑から赤の標高増加を示している。両者の約 7 cm の変化により、範囲 I に凹凸が増えたことになる。なお未舗装の道路では、その延長方向の 3 本の線状模様が明瞭で、うち道路中央は両側に対し約 10 cm の標高増加となる。これは中央の植物繁茂の影響を DEM から消せなかったことが背景にある。

範囲 J（図 6 (4)）の標高変化は、100 倍の分母 30 による地図（1 縞 30 cm）が最も判読しやすかった。範囲 J には、舗装された 2 つの駐車場と、その間の芝生に覆われた東向き斜面がある。東向き斜面には、大きさも形状も不揃いな斑状模様が広がる。この模様を閉じた領域別に見ると、黄緑から青を経て赤の標高減少または黄から橙の標高増加を示している。前者は約 8 cm の減少、後者は約 8 cm の増加なので、範囲 J に凹凸が増えたことになる。前者は、全体は東西に延長する形状ながら、特に南北に見ると西で広く東で狭くなる形状に特徴がある。

範囲 K（図 6 (5)）の標高変化は、1000 倍の分母 80 による地図（1 縞 8 cm）が最も判読しやすかった。範囲 K は、上下 2 段の建物敷地と、それに挟まれた雑草地の北東向き斜面で構成される。南東に貯水池が少し見える。雑草地の中に不明瞭ながら約 3 m 四方の領域で、北東に向かって青から橙に変わる標高増加を識別できる。これは斜面下部の約 6 cm の標高増加を示す。また北の建物敷地では、雑草地の斜面下部に向かって橙から黄緑までの標高増加を一部識別でき、これは約 4 cm の標高増加を示す。そこは雑草地の特異領域に隣接

する。

範囲L(図6(6))の標高変化は、100倍の分母20による地図(1縞20cm)が最も判読しやすかった。範囲Lは、西が道路法とそれに続く芝生に覆われた東向き斜面で、東は運動場である。その斜面では、北部の約5m四方で斑状模様が、南部の約5m四方で中央部の標高増加が目立つ。西の矢印は赤から青を経て次の赤までで示される約20cm以上の標高増加で、東の矢印は青から赤までの約20cmの標高増加である。西の矢印のより西では、東に向かって黄から青を経て赤までの約10cmの標高減少、東の矢印のより東では、東に向かって青から橙までの約15cmの標高増加を読み取れる。つまり斜面を道路法から運動場まで東西方向に見た時に、減少増加が2回繰り返され、凹凸が生じている。そして北の斑状模様は、南の中央部の標高増加の構造が、2m四方の団塊状に分断されたような形状を持つ。

このように、斜面の剰余地図は主に100倍のものが有用である。地図では、段彩の増加方向と段彩が形成する模様に着目すると、斜面でも標高変化の特異領域の量と分布を認定しやすい。また一定の広がりを持つ10cm前後の標高変化の領域は、斜面でも1縞前後の彩色の違いで識別しやすくなる。ただ斜面では上位の標高減少と下位の標高増加が隣接する場合が多く、何らかの地形形成を推定しやすい。

Ⅳ. 剰余地図と地形変化との対応

1. 平坦地での地形形成過程

写真1(1)は範囲Aの景観である。排水溝のブロックが少しずれており、道路の横への押し出しが確認された。そしてそれに接する駐車場の縁部で、圧縮による折れ曲がりが生じ標高増加している。したがって範囲Aの特異領域が現れたのは、道路の沈下か傾動が、道路の横方法への押し出しを誘発し、駐車場の縁部が圧縮されて少し隆起したためと思われる。

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
—御殿場試験フィールドの例—（黒木）

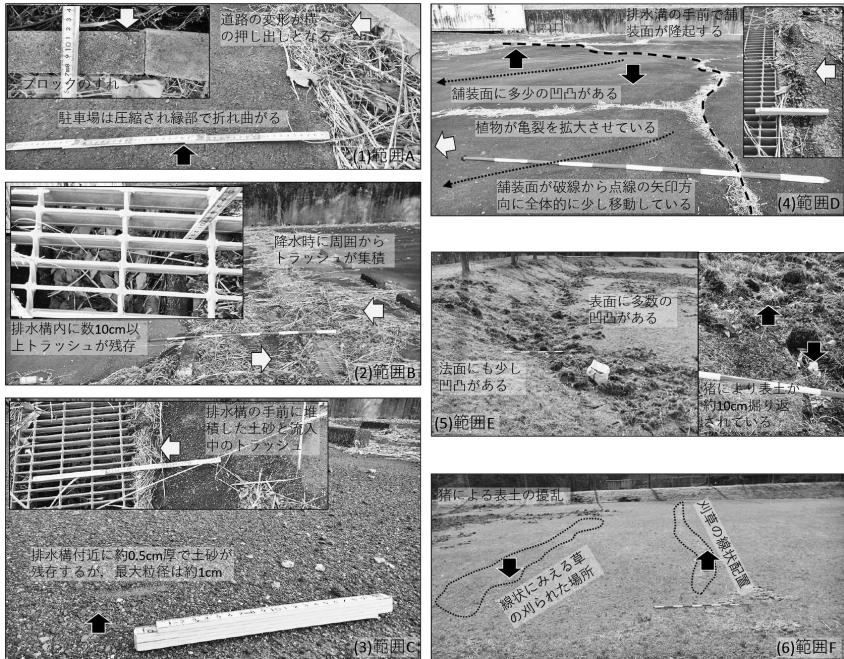


写真1 平坦地の特異領域の景観

太い矢印で地盤の動きを示すが、白は水平方向で黒は鉛直方向である。

写真1 (2) は範囲 B の景観である。ここでは排水溝付近に降雨時に周囲からトラッシュが集積した状況が少し残る。また排水溝内には底から数10 cm もの厚さでトラッシュが堆積していた。したがって範囲 B の特異領域が現れたのは、レーザーが排水溝蓋のグレーチング隙間を通過し、そこに堆積した土砂やトラッシュの高さ約60 cm を捉えたためと思われる。

写真1 (3) は範囲 C の景観である。16 cm の標高増加の痕跡は見当たらないが、そこでは排水溝付近に約0.5 cm 厚で土砂が残存する。その最大粒径は約1 cm ある。また排水溝の手前には、堆積した土砂と流入中のトラッシュが残されている。したがって範囲 C の特異領域は、排水溝に流入できなかった

土砂やトラッシュで生じたと思われる。

写真1(4)は範囲Dの景観である。破線から手前のアスファルトの舗装面は、点線の矢印方向に緩やかに傾き、多少の凹凸がある。また植物が亀裂を拡大させているようにも見える。そして点線の矢印方向にある排水溝の手前で舗装面が隆起している。これは舗装面が破線から矢印方向に全体的に移動していることを意味する。ただ、大変微妙な緩傾斜でのほぼ水平の動きは、地震等での地すべり移動を考えにくいし、またアスファルト舗装面の凹凸形成も単純な移動では説明しにくい。この場所の地理条件、他の駐車場に比べ低い位置にあり貯水池の次に水が集まりやすい点、テストサイトが約670 mの高地にある点から、形成の背景には2つの可能性が考えられる。一つは、3月から10月間に、凍結融解の特に凍上現象で舗装面が変形した可能性で、もう一つは、豪雨時に排水が間に合わず湛水時に、アスファルト舗装面下の地層の間隙水圧が上がり舗装面を変形させた可能性である。いずれにしろ経過観察からその背景は判明すると思われる。

写真1(5)は範囲Eの景観である。運動場の表面に多数の凹凸がある。軟らかい表土が最大10 cm 程度掘り返され標高減少し、周囲に土砂が散乱し標高増加している。その法面にも少し凹凸がある。したがって、周囲の山林景観と変化の規模から考えると、範囲Eの特異領域は、猪の採餌行動による表土の擾乱、すなわち掘り返しと土砂散布から生じたと思われる。

写真1(6)は範囲Fの景観である。写真左上に猪による表土の擾乱が見える。運動場には、刈草が線状に配置された場所と、草刈りされた範囲が線状に見える場所があり、それぞれ数 cm の標高増加と減少に対応する。したがって、範囲Fの特異領域は、草刈りによる草丈の低下と、刈草の放置で生じたと思われる。

このように平坦地の剰余地図に識別された特異領域では、その量に対応する地形変化が実際に確認できた。10 cm 以上の標高変化は、土砂やトラッシュの堆積が対応した。また10 cm 未満の標高変化は、道路の沈下か傾動、駐車場縁

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
—御殿場試験フィールドの例—（黒木）

部の圧縮による隆起，何らかの営力による舗装面の凹凸形成，舗装面移動の圧縮による末端隆起，猪の採餌行動による表土の擾乱，草刈りによる草丈低下と刈草の放置に対応した。

2. 斜面での地形形成過程

写真 2 (1) は範囲 G の景観である。左に貯水池のある範囲で，道路及び排水溝が僅かに左傾斜し，またその手前では，道路法の左でガリ侵食が進んでおり，いずれも標高減少になる。したがって範囲 G の特異領域は，道路の西へ

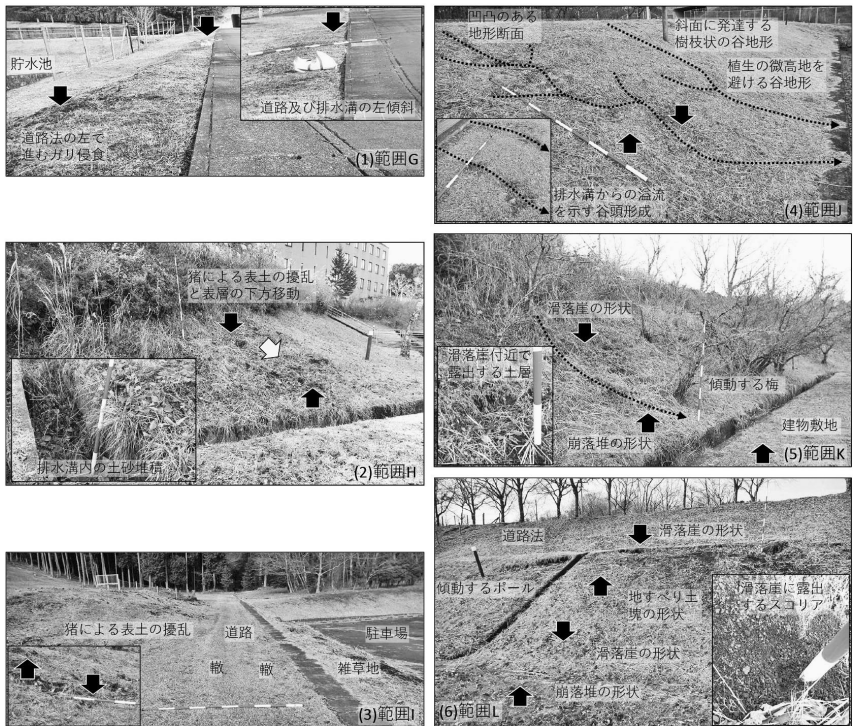


写真 2 斜面の特異領域の景観

太い矢印で地盤の動きを示すが，白は水平方向で黒は鉛直方向である。

の傾動及び道路法西側の侵食で生じたと思われる。

写真2(2)は範囲Hの景観である。猪の採餌行動により表土の擾乱があり、続いて地すべり状に表層の下方移動が生じている。結果、斜面上部で標高は低下し下部で増加する。排水溝内には斜面から落下した土砂が堆積している。したがって範囲Hの特異領域は、猪の採餌行動による掘り返し土砂の斜面下部への移動で生じたと思われる。

写真2(3)は範囲Iの景観である。写真左に、猪の採餌行動による表土の擾乱があり、最大約10 cmの凹凸が生じている。写真右に道路轍と中央の植生があるが、そこに表土の擾乱は認められない。したがって範囲Iの特異領域は、猪の採餌行動による表土の擾乱で生じたと思われる。

写真2(4)は範囲Jの景観である。斜面には植生が剥がれ土層が露出する谷と土層を確保する植生のある微高地に区分される。谷は、斜面上部の排水溝各所からの溢流を源として形成された谷頭から始まる。このため斜面上部の横断面は、繰り返される谷頭により10 cmに満たない凹凸が見られる。斜面では、複数の谷が合流し斜面下部で1本となる樹枝状の谷地形が発達する。この谷地形は微高地を避けるように発達する。この状況から、剩余地図では標高変化として植生及び土層の流出を低下、草の成長を増加と捉えたものと思われ、実際の標高変化は10 cm未満だと考えられる。したがって、範囲Jの特異領域は、侵食による植生及び土層の流出と非侵食域の植生繁茂で生じたと思われる。

写真2(5)は範囲Kの景観である。斜面では、標高減少した滑落崖と標高増加した崩落堆の対となる地形形成があり、斜面下部には傾動した梅の木も見られる。滑落崖付近には土層が広く露出する。建物敷地では排水溝に沿って地表が若干高まっている。したがって範囲Kの特異領域は、表層崩壊に伴う土層の下方移動、排水溝清掃による放置土砂から生じたと思われる。

写真2(6)は範囲Lの主に南部の景観である。道路法には小段があり、それより下位で地形変化がみられる。小段直下が滑落崖であり、そこから10 cm以上の層厚を持つブロック状の土塊が、下方に約20 cm移動している。その下

位は再び急傾斜の滑落崖で、さらに下位に緩傾斜の崩落堆が広がる。つまり剰余地図の標高変化は、滑落崖の形成が低下、土塊と崩落堆の形成が増加に対応する。なお地すべり土塊に設置されたポールは傾動し、その土砂移動が実際に生じたことを示す。滑落崖には平均径 1 cm 程度のルーズなスコリアが露出する。この状況から、そこではスコリアが根系で締まった表層部が塊状のまま下方に移動する、地すべりが生じていると考えられる。また範囲 L の北部では、土塊が幾つかに分断している。したがって範囲 L の特異領域は、小規模の地すべりに伴う土塊の移動や分離、表層崩壊に伴う土層の下方移動から生じたと思われる。

このように斜面の剰余地図で識別された特異領域では、その量に対応する地形変化が実際に確認された。10 cm 以上の標高変化は、猪の採餌行動による擾乱土砂の斜面下部への移動、地すべりに伴う土塊の移動や分離、表層崩壊に伴う土層の下方移動に対応した。また 10 cm 未満の標高変化は、道路の傾動及び道路法の侵食、猪の採餌行動による表土の擾乱、植生繁茂と土層の流出、表層崩壊に伴う土層の下方移動、排水溝清掃による土砂放置に対応した。

V. まとめ

御殿場市の試験フィールドを対象に、剰余地図で識別できた半年間の標高変化を極小さな地形変化に対応付けられた。その結果は以下の通りである。

- 1) 剰余地図は、平坦地では標高差分を 1000 倍した mm 単位のもので、傾斜地では 100 倍した cm 単位のもので標高変化を読み取りやすい。
- 2) 剰余地図では、縞を構成する段彩の増加方向に加え、線状模様、斑状模様、変化境界に着目すると、標高変化の特異領域の量と分布を認定しやすい。
- 3) 一定の広がりを持つ標高変化の領域は、1 縞前後の彩色の違いで識別しやすくなるが、適切な分母未満ではノイズが大きくなり、それを越す分母では彩色数が減って判別が難しくなる。また斜面では隣接し対となる標高減少と標高増加の識別から地形形成を検討しやすくなる。

- 4) 剰余地図に現れた平坦地の特異領域として、10 cm 以上の標高変化は、土砂やトラッシュの堆積が対応した。また10 cm 未満の標高変化は、道路の沈下か傾動、駐車場縁部の圧縮による隆起、何らかの営力による舗装面の凹凸形成、舗装面末端の圧縮による隆起、猪の採餌行動による表土の擾乱、草刈りによる草丈低下と刈草放置が対応した。
- 5) 剰余地図に現れた斜面の特異領域として、10 cm 以上の標高変化は、猪の採餌行動による擾乱土砂の斜面下部への移動、地すべりに伴う土塊の移動や分離、表層崩壊に伴う土層の下方移動が対応した。また10 cm 未満の標高変化は、道路の傾動及び道路法の侵食、猪の採餌行動による表土の擾乱、植生繁茂と土層の流出、表層崩壊に伴う土層の下方移動、排水溝清掃による土砂放置が対応した。

謝 辞

本研究では、基盤研究 (C)「未離水面認定の再検討と高精度化に関する評価・展開 (代表者：黒木貴一)」, 基盤研究 (B)「スリランカ水害地域における安全教育を用いた持続可能な包括的水害対策研究 (代表者：後藤健介)」, 本学措置の2021年度科学研究費再申請支援研究費及び2021年度科研申請奨励研究費を使用した。またデータ購入及び現地確認では、アジルジオデザイン株式会社の上遠野様到大変お世話になった。記して謝意を表す。

文 献

- 1) 神谷 泉・黒木貴一・田中耕平 2000. 傾斜量図を用いた地形・地質の判読. 情報地質, 11(1): 11-24.
- 2) 秋山幸秀・世古口竜一 2007. 微地形表現に優れた陰陽図. 地図, 45(1): 37-46.
- 3) 千葉達朗・鈴木雄介・平松孝晋 2007. 地形表現手法の諸問題と赤色立体地図. 地図, 45(1): 27-36.
- 4) 戸田堅一郎・大丸裕武・小荒井衛・中埜貴元・岩橋純子 2014. 曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図) の開発について. 日本地球惑星科学連合2014年大会: MTT41-P05.
- 5) 齋藤 仁・内山庄一郎・小花和宏・早川裕弐 2016. 平成24年 (2012年) 7月九州北部

剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化
—御殿場試験フィールドの例— (黒木)

- 豪雨に伴う阿蘇火山地域での土砂生産量の推定—UAV と SfM 多視点ステレオ写真測量を用いた高精細地形データの活用—, 地理学評論, 89 : 347-359.
- 6) 中田康隆・速水将人・興水健一・竹内史郎・蝦名益仁・佐藤 創 2020. 2020 RTK-UAV を用いた地形変化の観測と応用の可能性: 北海道胆振東部地震で発生した森林域の崩壊跡地における検証. 景観生態学, 25(1) : 43-52.
 - 7) 黒木貴一・川田佳明・磯 望・黒田圭介 2010. 2 時期のレーザーデータによる海の中道における海岸地形の変化の分析. 季刊地理学, 62(2) : 71-82.
 - 8) 西井稜子・石井靖雄・佐藤 匠・本間信一 2019. 複数時期の航空レーザ測量データを用いた変動斜面末端部とすべり面発達 の推定. 日本地すべり学会誌, 56(2) : 87-94.
 - 9) 飛田幹男 2003. 合成開口レーダー干渉法の高度化と地殻変動解析への応用. 測地学会誌, 49 : 1-23.
 - 10) 藤原 智・仲井博之・飛田幹男 2005. 干渉 SAR による全国の地盤沈下検出に向けて. 国土地理院時報, 108 : 11-19.
 - 11) 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高 2018. 2016年熊本地震における益城町市街地内の地震断層—変動地形学的意義と建物被害への影響. 活断層研究, 48 : 13-34.
 - 12) 黒木貴一・磯望 2022. 益城町での亀裂調査に基づく熊本地震の被害記録. 月刊地球, 号外71 : 10-18.
 - 13) 宇根 寛・中埜貴元・藤原 智・小林知勝・森下 遊・岩田和美・佐藤 浩・八木浩司 2017. 平成28年熊本地震に伴い阿蘇外輪山北西部に現れた「地震断層」の分布とその性質. 日本地理学会発表要旨集, 92 : 103.
 - 14) 藤原 智・矢来博司・小林知勝・森下 遊・中埜貴元・宇根 寛・宮原伐折羅・仲井博之・三浦優司・上芝晴香・攪上泰亮 2016. だいち 2 号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出. 国土地理院時報, 128 : 147-162.
 - 15) 黒木貴一・池見洋明 2022. 桜島東麓の標高変化データによる地形形成場の表示. 自然災害研究協議会西部地区部会報・論文集, 46 : 1-4.
 - 16) 黒木貴一 2022. 微小な標高変化を捉える剰余地図の活用-2016年熊本地震の例. 日本応用地質学会令和 4 年度研究発表会講演論文集 : 45-46.
 - 17) 西岡孝尚・澁谷 啓 2014. 富士山周辺における「スコリア」の地盤工学的特性. 地盤工学ジャーナル, 9(3) : 397-415.
 - 18) 日本リモートセンシング研究会 1992. 『図解リモートセンシング』日本測量協会.