

## 講 座

## わかって使うレーザ計測

7. 事例その3：航空レーザ計測の地質学への応用  
—山体重力変形地形研究を例として—

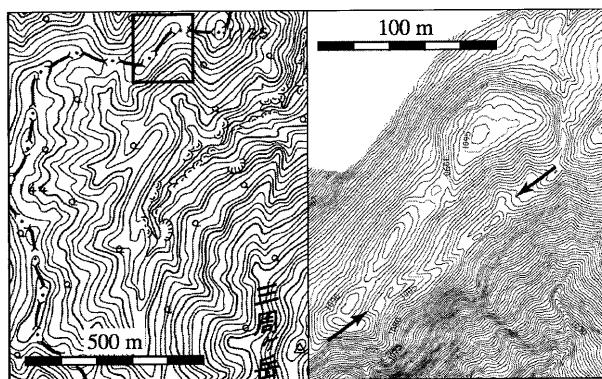
小 嶋 智 (こじま さとる)  
岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科

徳 永 浩 之 (とくなが ひろゆき)  
岐阜大学工学部社会基盤工学科\*  
\*現所属：ジェイアール東海コンサルタンツ株

大 谷 具 幸 (おおたに ともゆき)  
岐阜大学准教授 工学部社会基盤工学科

## 7.1 はじめに

北アルプスなどの高山地域には、二重山稜あるいは多重山稜（以下、一括して二重山稜と記す）とよばれる地形が発達することが古くから知られており、かつては周氷河地形と考えられたこともあった。しかし最近では、山腹斜面に発達する山向小崖地形などとともに、山体が重力のもとで崩壊していく前兆現象を表す地形（山体重力変形地形）であると考えられるようになった<sup>1),2)</sup>。大規模な山体重力変形地形は2万5千分の1の地形図や同程度の縮尺の航空写真でも判読することができ、3000m級の日本アルプスだけではなく、標高1000m程度の山域にも発達していることが知られている<sup>3)</sup>。しかし近年、航空レーザ計測技術が発達し、高精細な地形図が利用できるようになり、日本の山岳地域には、これまで知られていなかった小規模な山体重力変形地形が、普遍的かつ高密度に発達することがわかつってきた。図一7.1で左図の黒枠で示された範囲の地形を右図に示す。左図は国土地理院発行の「広野」を使用し、等高線間隔は10mである。また、右図は国土交通省中部地方整備局越美砂防事務所提供的航空レーザ計測データから作られたデータで、等高線間隔は1mである。左図では読み取ることのできない山向小崖地形の作る凹地が、右図の矢印で示された部分に、明瞭に認められる。



図一7.1 2万5千分の1スケールの地形図と1mメッシュの航空レーザ計測データから作られた地形図の精度の比較

本報告では、そのような事例として、岐阜県と福井県及び滋賀県の県境稜線周辺の山域に発達する山体重力変形地形を紹介し、その解析例を報告する。なお、本研究は筆者の一人、徳永が岐阜大学工学部社会基盤工学科の卒業論文としてまとめた研究に加筆修正したものである。

## 7.2 研究地域の地形・地質の概要

本研究の対象地域は、岐阜県と福井県との県境稜線上に位置する能郷白山（1617m）の北方、温見峠から、岐阜県と滋賀県の県境稜線上の八草峠までの県境稜線周辺の山域である。稜線上には、1000～1500m程度の標高を持つ山と峠が繰り返し現れるが、登山道が整備されている部分は少なく、夏は猛烈な藪に、冬は深い積雪に阻まれ、現地調査は容易ではない。

稜線部分を構成する岩石は、(1)新第三紀中新世の能郷白山花崗閃緑岩、(2)同じく中新世の火山岩類、(3)美濃帯のジュラ紀付加コンプレックスから成る<sup>4),5)</sup>（図一7.2）。(1)は、能郷白山周辺に分布し、おもに中粒の斑状花崗閃緑岩から成り、19～20 MaのK-Ar年代が報告されている<sup>6)</sup>。(2)は前期～中期中新世の糸生層の最下部層を構成する安山岩溶岩及び火碎岩から成るとの記載がある<sup>4)</sup>が、調査地域の若丸山東方に分布する岩石については、詳細は不明である。(3)の美濃帯の岩石のうち、緑色岩は玄武岩質の溶岩、火山碎屑岩、凝灰岩が変質したもので、ペルム紀の海底火山活動により形成された岩石である。石灰岩は緑色岩から成る海山の頂部を覆って形成された礁やその周辺の堆積物と考えられ、時代は同じくペルム紀である。調査地域の県境稜線付近には分布しない。チャートは、海洋性プランクトンである放散虫の遺骸が、遠洋深海環境で堆積して形成された硬く緻密な岩石である。厚さ数cm～10cm程度の層理面が発達することが特徴で、年代はペルム紀～ジュラ紀中期のものが大部分である。本地域の砂岩は塊状無層理で粗粒なものが多く、時に長径数cmにも達する泥岩の破片を含むことが特徴である。粗粒部は、しばしば礫岩に移化する。メランジュは、美濃帯構成岩類の様々な大きさ・形態のブロックが泥質基質中に取り込まれた地質体で、泥質基質はせん断変形を被っていることが多いため風化侵食に対する抵

## 講 座

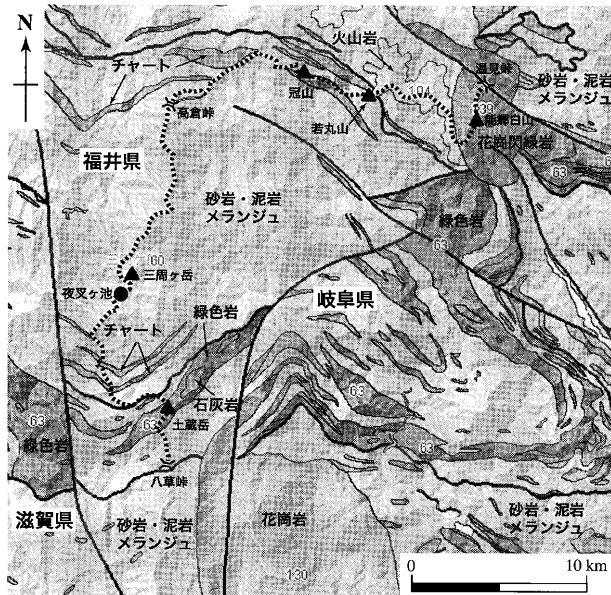


図-7.2 調査地域周辺の地質図（産業技術総合研究所地質調査総合センター作成の20万分の1シームレス地質図に加筆）

抗力が小さい。図-7.2の地質図中、破線で示した岐阜県と福井県及び滋賀県の県境稜線周辺を対象に解析を行った。数字は20万分の1シームレス地質図の時代・岩種コードを表し、同じ番号の岩体は同じ時代・岩種である。図-7.2の地質図で「砂岩・泥岩・メランジュ」と表現されている地域にも、シート状あるいはブロック状のチャートが含まれている場合がある。

### 7.3 山体重力変形地形の特徴

本研究では、国土交通省中部地方整備局越美砂防事務所より提供を受けた1mメッシュDEMから作成した地形図をもとに、前述の研究対象地域に分布する山体重力変形地形を目視で抽出した。

#### 7.3.1 現地調査結果

抽出した山体重力変形地形のうち代表的と思われ、かつアクセスが比較的簡単な、能郷白山、冠山、高倉峠、夜叉ヶ池地域について現地調査を行った。その結果、上記地域の地形図に表現されている山体重力変形地形は必ず存在すること、その規模や特徴は地形図から読み取ることができると完全な整合性があることを確認した。

山体重力変形地形がつくる凹地は、両側の斜面から供給された径数cm～数10cmの角礫で埋められていることもあるが、多くの場合、泥質堆積物で埋積されており、湿地あるいは池となっている場合もある（図-7.3）。図-7.3上図は能郷白山北方に見られる山向小崖で、右手の斜面が県境稜線へと続き、左手の斜面は小崖地形で凹地の底からは5m程度の比高を持つ。下図は、夜叉ヶ池東方の二重山稜地形がつくる凹地を埋める泥質堆積物である。厚い泥質堆積物で埋められている場合は、ピット掘削、ボーリングなどにより、堆積物の年代や堆積構造を明らかにし、山体重力変形地形の発達過程を解明することができると期待される。



能郷白山北方に見られる山向小崖



夜叉ヶ池東方の二重山稜地形がつくる凹地を埋める泥質堆積物

図-7.3 調査地域に見られる山体重力変形地形

#### 7.3.2 地理情報システム(GIS)による解析

目視で読み取った山体重力変形地形の特徴を明らかにするために、地理情報システム(GIS)を用いた解析を行った。解析にはESRI社のArc GISを用いた。

山体重力変形地形は、二重山稜地形と山向小崖地形に区分した。前者は県境稜線が複数の尾根から形成されるものであり、後者は山腹斜面に形成されるものである。しかし、実際には両者を厳密に区分することは難しい。

二重山稜地形や山向小崖地形をGIS上で容易に取り扱うために次のような簡略化を行った。まず、データとしては二重山稜や山向小崖そのものを抽出するのではなく、二重山稜の間にできる凹地や山向小崖と山腹斜面の間にできる凹地を抽出した。これらの凹地は、途中で方位を変えたり湾曲したりすることが多いが、直線で近似した。大きく折れ曲がるものについては、2本あるいはそれ以上の直線で表した（図-7.4）。図-7.4で、破線はこの地域の県境稜線の一般的な延びの方向を、細い実線は二重山稜地形が作る凹地の延びの方向を、太い実線は山向小崖が作る凹地の伸びの方向を表している。その結果、抽出した二重山稜は合計83本、総延長4.0km、山向小崖は99本、4.8kmとなった。

##### (1) 山体重力変形地形の方位

抽出した山体重力変形地形の方位と、そこから最も近い県境稜線の方位の関係を、図-7.5に二重山稜、山向小崖に区別して示した。二重山稜は大部分が県境稜線と

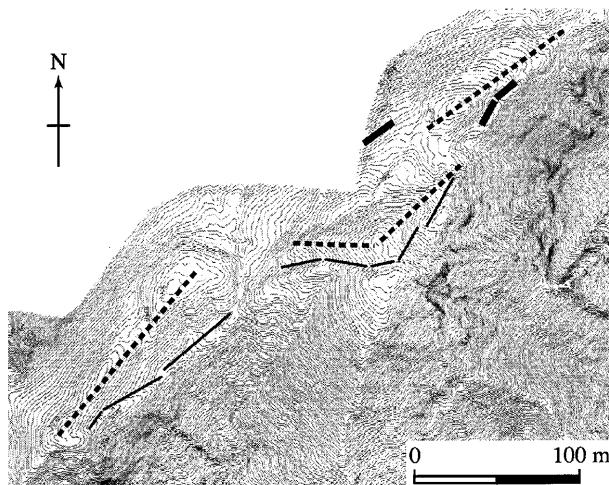


図-7.4 山体重力変形地形の抽出結果の一例

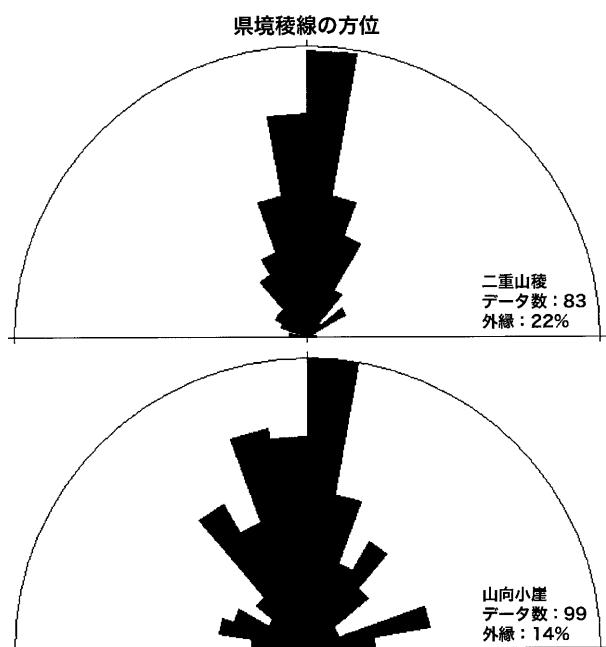


図-7.5 調査地域に分布する山体重力変形地形の伸びの方位

平行に発達する一方で、稜線からやや離れた山腹斜面に発達する山向小崖には、稜線と斜交するものもみられる。

### (2) 山体重力変形地形の分布

山体重力変形地形の分布密度を以下のような手順で求めた。まず、県境稜線を適当な単位区間（本研究では600 mとした）に区切り、その区間ごとに、発達する山体重力変形地形の長さを合計した。そして単位区間ごとに県境稜線の長さに対する山体重力変形地形の長さの割合を示したのが、口絵写真-6である。稜線長より山体重力変形地形の長さの合計が長い場合は、その割合は100%を超えることになる。このグラフから、山体重力変形地形は、県境稜線上に均一に分布するのではなく、分布密度に大きなばらつきがあることがわかる。

### (3) 山体重力変形地形の分布と岩相の関係

口絵写真-6の下端部には、県境稜線のその部分がどのような地質から成るかを示した。地質情報については、産業技術総合研究所地質情報総合センター作成の20万

分の1シームレス地質図、地質調査所発行の20万分の1地質図「岐阜」<sup>4)</sup>、岐阜県地質鉱産図<sup>7)</sup>などを参考にした。

岩相別にみると、山体重力変形地形が最も密に発達するのは若丸山東方に分布する新第三紀火山岩である。変質した新第三紀火山岩、特に日本海側に分布するグリーンタフは地すべりを起こしやすい岩相として知られているが、本地域に分布する新第三紀火山岩も同様な性質を持ち、地すべりの前兆現象としての山体重力変形地形が発達していることが推定される。能郷白山花崗閃緑岩分布地域にも多くの山体重力変形地形が分布する。美濃帯構成岩類のうち、研究対象地域の県境稜線に分布するものはメランジュ、チャート、緑色岩（玄武岩）である。緑色岩（玄武岩）分布地域は限られているが、そこには多くの山体重力変形地形が認められる。メランジュ、チャートの分布域には多くの山体重力変形地形が認められる場合もあるが、ほとんどない場合もあり、その密度は岩相以外の要因に左右されているように思われる。

ある種類の岩石からなる稜線の総延長に対する、その稜線付近に発達する山体重力変形地形の総延長の比率を、百分率で表したのが図-7.6である。この図から、山体重力変形地形が形成されやすいのは、新第三紀火山岩、能郷白山花崗閃緑岩（図-7.6では花崗岩と表記）、美濃帯の緑色岩（玄武岩）、チャート、メランジュの順であることがわかる。

### (4) 山体重力変形地形の分布と地質構造の関係

山体重力変形地形の分布は、岩相だけではなく、岩石がもつ地質構造にも関連があることが予想される。

能郷白山花崗閃緑岩は火成岩であるので面構造は持たないが、節理が発達している。野外調査の際に、岩体の一部について節理面を観察する機会は得たが、岩体全体についてどのような節理系が発達するのかはわかっていない。したがって、今回の検討では、能郷白山花崗閃緑岩は面構造を持たない無層理の地質体として取り扱った。

若丸山東方に分布する中新世の火山岩は、溶岩・火碎岩からなるとされている<sup>4)</sup>が、その層理面などの構造は不明であるので、本研究では、無層理の岩石として取り扱った。

美濃帯の岩石のうち、緑色岩以外は堆積岩であり層理面が発達する。また、メランジュの泥岩基質にはへき開面が発達している。しかし、本地域の詳細な地質図（たとえば5万分の1地質図幅など）はいまだ出版されておらず、これらの構造の方位は不明である。一方、現地調査の結果、本地域の美濃帯構成岩類の層理面・へき開面はほぼ垂直の場合が多いことがわかった。そこで、地質図<sup>4),7)</sup>上に示されている、チャート層などの延びの方向を、これらの地層の走向とし、傾斜は垂直と仮定することにより、美濃帯構成岩類の構造を推定した。これにより、県境稜線の延びの方向と、その部分をつくる美濃帯の地層・岩石の走向の関係を、平行（約0~20度）、斜交（約20~70度）、直交（約70~90度）の三つに区分した（口絵写真-6のグラフの色参照）。なお、緑色岩は、能郷白山花崗閃緑岩、新第三紀火山岩同様、無層理

## 講 座

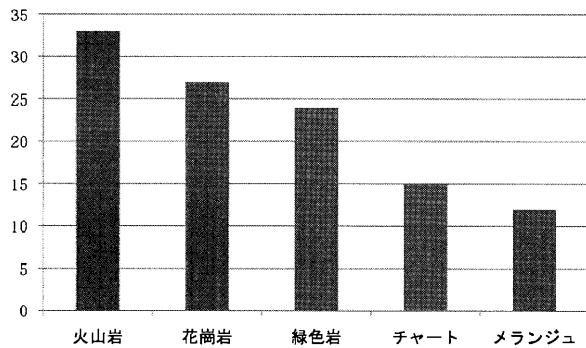


図-7.6 山体重力変形地形の発達の程度と岩相の関係  
(縦軸の単位は%)

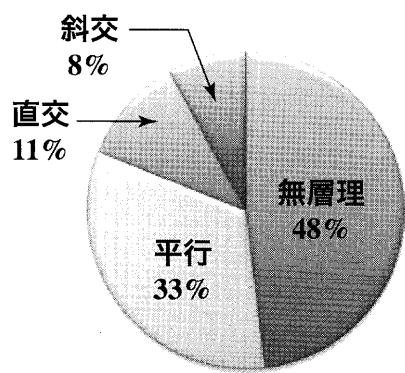


図-7.7 山体重力変形地形の発達の程度と地質構造の関係

の岩石として扱った。口絵写真-6より、同じメランジュ（あるいはチャート）であっても層理面と稜線の方向が平行な場合の方が、斜交・直交の場合より山体重力変形地形の発達が著しいことが読み取れる。地質構造が無層理、平行、直交、斜交の場所に発達する山体重力変形地形の総延長の比率を図-7.7に示す。無層理の火山岩・花崗閃緑岩は、分布する範囲は狭いが、山体重力変形地形の分布密度が高いので、このグラフでも大きな比率を占めている。一方、層理面の発達する美濃帯の地層（その多くは砂岩・泥岩・チャート及びメランジュ）は、岩相として山体重力変形地形が発達しやすいものはないが、その構造が稜線と平行な場合は顕著な発達が見られることがわかる。

#### 7.4 まとめと今後の課題

本研究では、国土交通省中部地方整備局越美砂防事務所より提供を受けた1mメッシュDEMから作成した地形図をもとに、前述の研究対象地域に分布する山体重力変形地形を目視で抽出し、その特徴を考察した。その

結果、山体重力地形の方位は、地形、すなわち尾根の方位に平行に発達するものがほとんどであるが、山向小崖は尾根方位と斜交するものも少なからずあること、その発達密度は岩相・地質構造と密接な関係があることが明らかとなった。

本研究は、航空レーダー計測技術という新しい技術により、これまで見えていなかった微地形に着目し、研究を行ったものである。同様に、高精細の地形図を利用することにより、地すべり地形の開析の程度や相対的な新旧関係を読み取ることができる場合がある。これまでとは違った精度で、あるいはこれまで現地調査が難しかった地域で調査が可能となり、新たな展開が期待される一方で、本研究では山体重力変形地形の方位や分布について考察することはできたが、これらの地形の発達過程は不明なままである。今後は、凹地を埋積する堆積物の堆積構造の観察や放射性炭素年代測定法やテフラを用いた堆積物の年代・堆積速度決定により、凹地の発達史を明らかにしていく必要がある。さらに、山体重力変形地形の発達と地震、豪雨の関係などが解明されれば、防災上有意義な研究となることが期待される。

本研究で利用した航空レーダー計測データは、国土交通省中部地方整備局越美山系砂防事務所より提供していただいた。本研究を進めるにあたり、千葉大学大学院理学研究科地球科学コースの金田平太郎准教授、(有)風水土の永田秀尚博士には山体重力変形地形及び地すべり地形についてご議論いただいた。岐阜大学流域圈科学研究中心の沢田和秀准教授には本稿を寄稿する機会を与えていただいた。以上の方々に記して感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 大八木規夫・横山俊治：斜面災害と地質学—「地すべり構造論の展開」、テクトニクスと変成作用（原郁夫先生退官記念論文集）、pp. 335～343, 1996.
- 2) 目代邦康・千木良雅弘：赤石山脈南部、大谷崩から山伏にかけての山体重力変形地形、地理学評論、Vol. 77, No. 2, pp. 55～76, 2004.
- 3) 永田秀尚・阪口 透・小嶋 智：GISを用いた不安定斜面分布の地形地質要因解析、応用地質、Vol. 46, pp. 320～330, 2006.
- 4) 脇田浩二・原山 智・鹿野和彦・三村弘二・坂本 亨：20万分の1地質図幅「岐阜」、地質調査所、1992.
- 5) 佐野弘好・小嶋 智：美濃-丹波-足尾テレーンの石炭～ジュラ系海洋性岩石、地質学論集、No. 55, pp. 123～144, 2000.
- 6) 小井土由光・原山 智・遠藤俊治・下畠五夫：両白山地における火成岩類のK-Ar年代、岐阜県博物館調査研究報告、No. 16, pp. 15～20, 1995.
- 7) 岐阜県：岐阜県地質鉱山図、岐阜県、1981.