

14. 詳細デジタル地形データを用いた花崗岩地域における崩壊地形の解析

Analysis of slope failure distributed in granite area used by high-resolution airborne laser altimetry

○土志田正二(京都大学), 千木良雅弘(京都大学防災研究所)
Shoji Doshida, Masahiro Chigira

1. はじめに

近年実用化されはじめた航空レーザー測量技術は、リモートセンシングや空中写真測量と比較して、植生に覆われた地域においても条件が整えば地表を詳細に測量することができるという強いメリットを持つ。また航空レーザー測量は、数m～数十cmメッシュの詳細な数値標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) を作成することで、広範囲の微地形を表現することも可能とした。航空レーザー測量技術を用いて作成されたデータ(以後、航空レーザーデータと呼ぶ)は、すでに河床変動観測や、活火山周辺の地形変位観測¹⁾、実地踏査結果を踏まえた微地形表現についての報告²⁾など、様々な地形調査に使用されているが、航空レーザーデータを用いた地形の解析手法は未だ思案段階であり、確立されていない。

本研究の主な目的は、航空レーザーデータを用いて微地形を詳細に解析し、地形・地質の関連性を定量化することである。これは、崩壊発生危険地域(不安定斜面)を推定する為の基礎データとなり、地盤防災を考える上で、非常に重要である。本研究では特に、花崗岩・花崗閃緑岩地域における崩壊地形に焦点をあてる。

2. 研究対象地域の地形・地質

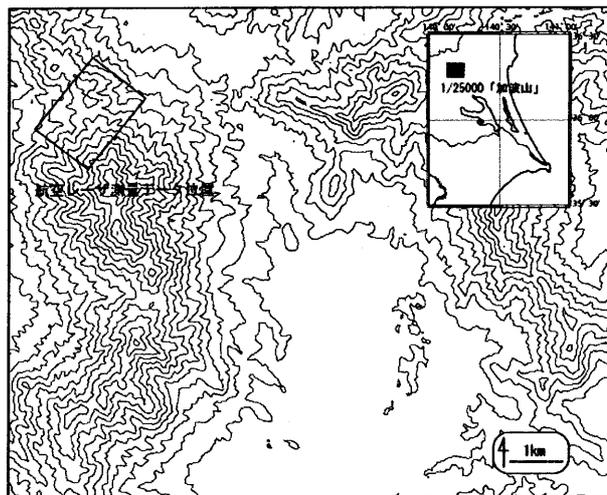
本研究の研究対象地域には、花崗岩・花崗閃緑岩が分布する地域である、茨城県加波山北部地域、愛知県小原村周辺地域の2箇所を選出した(図-1)。

茨城県加波山北部地域は、花崗岩地域と花崗閃緑岩地域とで明確な地形の違いがみられる。例えば、両者の地形的特徴を比較すると、花崗岩地域は尾根が細い、尾根・谷の標高差が大きい等、険しい地形の特徴をもつが、それに対し、花崗閃緑岩地域では、全体として緩やかな地形を形成している(図-2A)。このような可視的が判別可能であることから、地質が及ぼす地形への影響についての考察・定量化が可能だと予測し、茨城県加波山北部地域を研究対象地域とした。

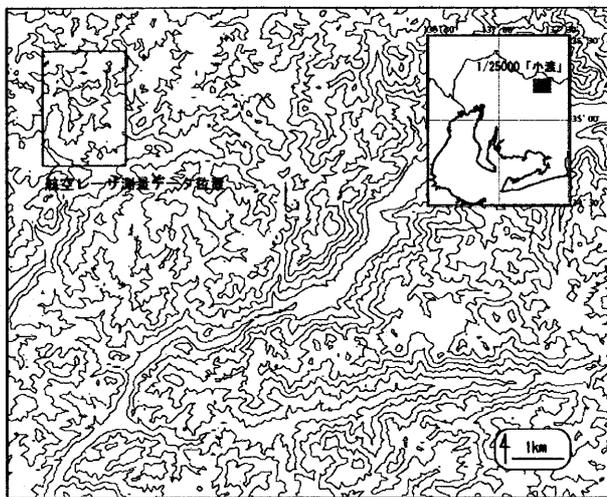
愛知県小原村周辺地域は、1972年豪雨災害時に群発崩壊が発生した地域である。1972年豪雨災害時に発生した崩壊は、主に花崗岩地域で分布しており、花崗閃緑岩地域ではほとんど見られない(図-2B)。また両者間で地形の違いが可視的に認識できる。これらことから、地質と、地形形成要因のひとつである崩壊との比較が可能である判断し、愛知県小原村周辺地域も研究対象地域として選出した。

加波山北部地域の花崗岩は細粒であり、花崗閃緑岩は中粒である。一方、小原村周辺地域の花崗岩は粗粒、花崗閃緑岩は中粒であることから、両地域における地質は完全に一致しているわけではない。また、同じ中粒花崗閃緑岩でありな

がらも、加波山北部地域の花崗閃緑岩では、マイクロシーティングが見られるのに対し、小原村周辺地域の花崗閃緑岩では見られない。これらの違いも踏まえたうえで、両地域の両地質における地形・崩壊について議論を行う。



A. 茨城県加波山北部地域

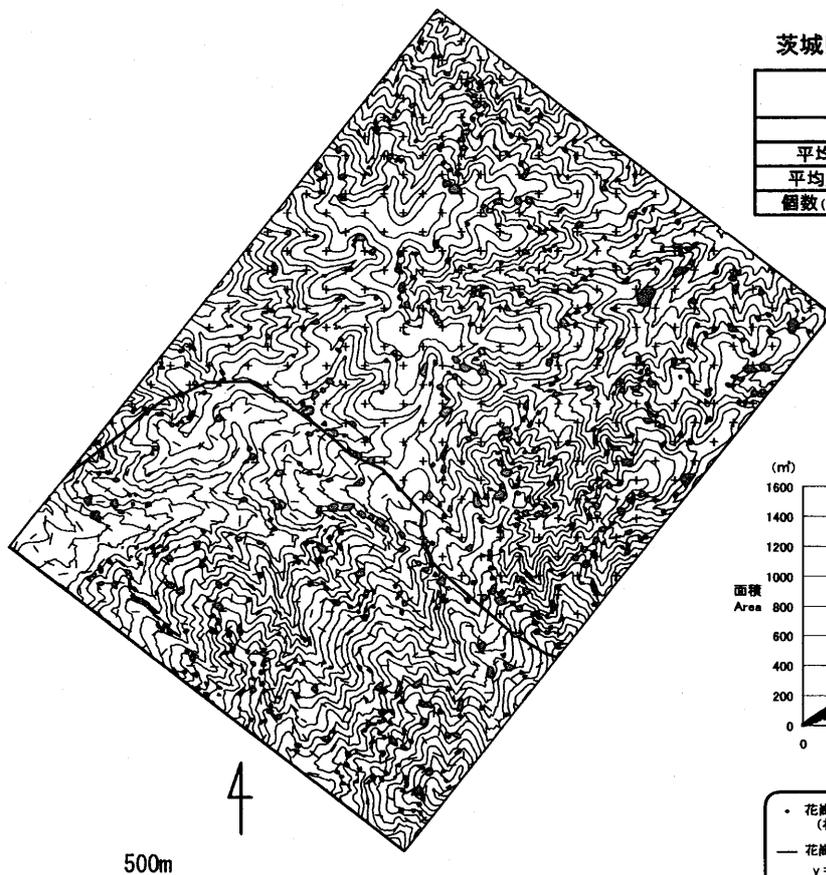


B. 愛知県小原村周辺地域

図-1 航空レーザー測量データ位置[基図:50m間隔等高線図]

3. 研究手法

本研究では、まず航空レーザーデータを用いて等高線図(等高線間隔1m)・勾配図を作成した。崩壊地は、空中写真判読や現地踏査、航空レーザーデータより作成した1m間隔等高線図・勾配図を用いる判読によって抽出した。また崩壊地の判読と同時に、現地踏査と既存の文献を元に航空レーザーデータ地域における詳細な地質図を作成した(図-2)。愛知県小原村周辺の地質データについては、戸邊、2005³⁾のデータを一部改変して使用している。



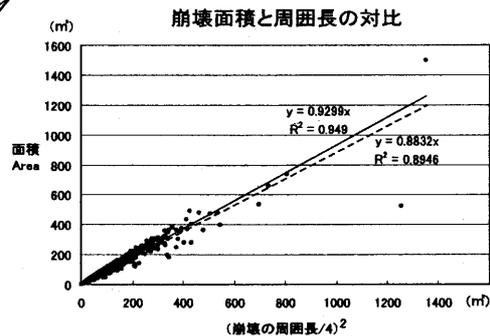
A. 茨城県加波山北部地域

茨城県加波山北部地域 崩壊地パラメータ

崩壊	全域	花崗岩地域	花崗閃緑岩地域
個数	742	279	457
平均面積 (m ²)	107	99	110
平均周囲長 (m)	40	39	40
個数 (1km ² 面積あたり)		350	345

凡例

- : 花崗岩 granite
- : 花崗閃緑岩 granodiorite
- : 崩壊 slope failure



• 花崗岩地域 (相関係数 0.974321)	• 花崗閃緑岩地域 (相関係数 0.947685)
— 花崗岩地域データ線形近似線 (y = 0.9299x, R ² = 0.949)	-- 花崗閃緑岩地域データ線形近似線 (y = 0.8832x, R ² = 0.8946)



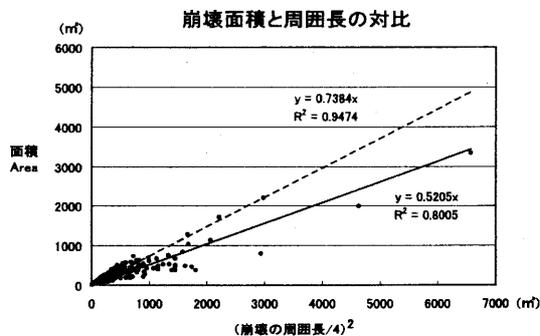
B. 愛知県小原村周辺地域

凡例

- : 花崗岩 granite
- : 花崗閃緑岩 granodiorite
- : 崩壊 slope failure

愛知県小原村周辺地域 崩壊地パラメータ

崩壊	全域	花崗岩地域	花崗閃緑岩地域
個数	546	498	44
平均面積 (m ²)	229	224	266
平均周囲長 (m)	67	66	67
個数 (1km ² 面積あたり)		303	27



• 花崗岩地域 (相関係数 0.920785)	• 花崗閃緑岩地域 (相関係数 0.978723)
— 花崗岩地域データ線形近似線 (y = 0.5205x, R ² = 0.8005)	-- 花崗閃緑岩地域データ線形近似線 (y = 0.7384x, R ² = 0.9474)

図-2 地質・崩壊分布図と崩壊地パラメータ [基図: 10m間隔等高線図]

崩壊地形と地質との比較は、GISソフト、ArcGIS8 [ESRI]を用いて行った。各地質ごとに崩壊地を多角形 (Polygon)に抽出し、崩壊地の個数、面積、周囲長を算出し、それぞれを比較した。崩壊の周囲長に着目した理由は、崩壊の形態が複雑になるほど、周囲長と崩壊地の面積との相関が悪くなると考えた為であり、これらのパラメータを崩壊地の形状比較に使用している (図-2)。

また、航空レーザデータ地域の地形特性を表現するため、いくつかの数値解析も行った。本研究では主に、勾配値 (図-3)、高度分散量⁴⁾ (図-4) について言及する。

DEM から斜面の勾配を求める為に、本研究では以下の方法を用いた数値計算プログラムを使用して、勾配を求めている。

行列上の任意の点 (i 行 j 列) の標高を Z_{ij} とするとき、同じ場所の勾配 s は以下の式で求まる。

$$s = \tan^{-1} \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{1}{6d_x} \{ (Z_{i-1,j+1} - Z_{i-1,j-1}) + (Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1}) + (Z_{i+1,j+1} - Z_{i+1,j-1}) \}$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{1}{6d_y} \{ (Z_{i+1,j-1} - Z_{i-1,j-1}) + (Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j}) + (Z_{i+1,j+1} - Z_{i-1,j+1}) \}$$

d_x , d_y は x , y それぞれの方向のメッシュ間隔であり、本研究における DEM のメッシュ間隔は x , y 方向とも 1m である。

高度分散量とは、地形の険しさを定量的に検討するために、Ohomori(1978)によって定義された値であり、注目点とその周囲の標高値の標準偏差を示した値である。本研究では、計算を行う窓領域を 5 に設定した為、注目点の周囲 25 点の標準偏差を計算している。

図3,4の縦軸の値「Count」は、グリッドの数を表している。航空レーザデータが 1m メッシュであることから、1Count は、データの区切り位置 (崩壊のへりなど) がメッシュを分断していない限り 1m² と同義である。データの区切り位置がメッシュを分断している場合でも、メッシュの中間点がデータ区切り位置の内側に含まれないと計算されない為、1 Count がほぼ 1m² だと考えても問題はない。

4. 結果・考察

各地域の地質ごと (花崗岩・花崗閃緑岩) に崩壊の個数、平均面積、平均周囲長、単位面積あたりの崩壊数を求め、崩壊面積と周囲長の対比を図-2 に表した。また、航空レーザデータを用いた数値解析の結果を、図-3 (勾配値比較)、図-4 (高度分散量比較) に示す。ここでは、まず各地域の結果をそれぞれ考察し、その後全体の傾向について議論を行う。

・茨城県加波山北部地域

両地質における単位面積あたりの崩壊個数は、同等の値を示すが、花崗閃緑岩地域の崩壊は花崗岩地域のものに比べ、

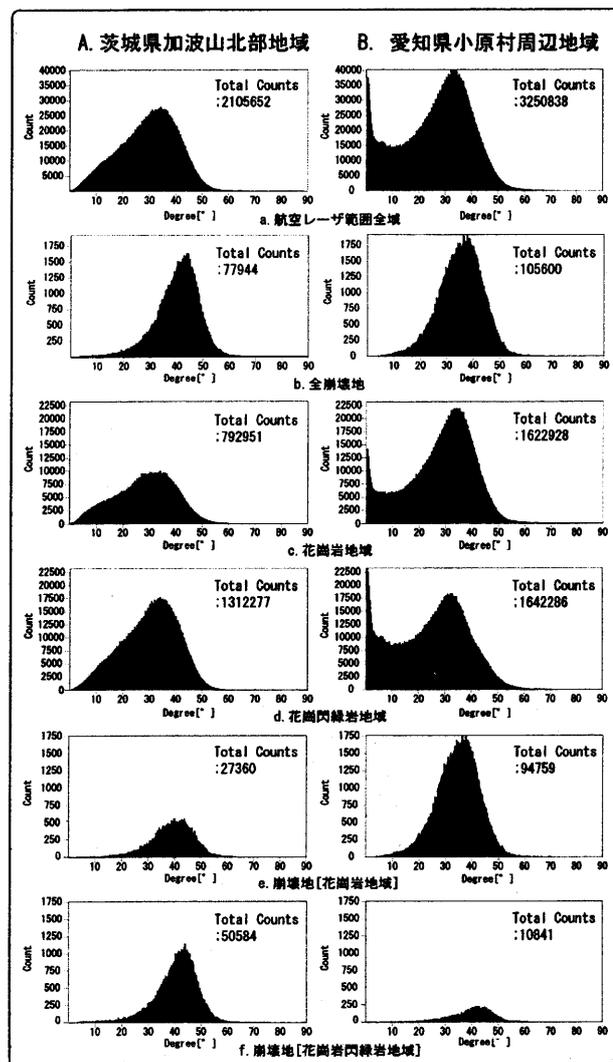


図-3 勾配値比較

約 10m² 平均面積が広い。だが、崩壊地面積の標準偏差が、花崗岩地域で 75.5、花崗閃緑岩地域で 113.2 であることから、この差は有意であると考えすることはできない。また、崩壊地の形状を示す崩壊面積と周囲長の対比では、両地質間で有意な差は見られなかった。これは崩壊密度・崩壊面積が両地質における地形の可視的な差に対して重要な要素ではないことを示している。

数値解析による勾配値比較 (図-3) では、花崗岩地域の崩壊地勾配 (図-3Ae) が 30°-50° の間で、ほぼ対称に分布しているのに対し、花崗閃緑岩地域の崩壊地勾配 (図-3Af) は、非対称、かつ 35°-50° の間に分布しており、ピークの幅が狭い。このことから、両者の地形の違いは、崩壊密度・崩壊面積による影響よりも、主に崩壊発生勾配の差 (限界傾斜の差) によるものと考察することができる。高度分散量比較 (図-4) では花崗岩地域の崩壊 (図-4Ae) におけるピークの分布位置が、花崗岩地域の崩壊 (図-4Af) におけるピークの分布位置と比べて、ピーク値が値の低い範囲で幅広いことから、花崗岩地域では、花崗閃緑地域と比べて、緩やかな地域でも崩壊が発生することが示されている。これは花崗岩の風化様式に依存しているのではないかと考えられる。

・愛知県小原村周辺地域

本地域では、花崗岩地域の 1km^2 面積あたりの崩壊数は、花崗閃緑岩地域の崩壊数に比べて、約 10 倍発生している。一方、崩壊の平均面積では、花崗閃緑岩地域の崩壊が、花崗岩地域の崩壊に比べ、約 40m^2 大きいと有意な差であるとは言えない(標準偏差;花崗岩地域 244.8・花崗閃緑岩地域 245.9)。崩壊面積と周囲長の対比では、花崗閃緑岩地域の崩壊が花崗岩地域の崩壊に比べ、正方形に近い形状を持つことが示されたが、これは花崗岩地域において、へりが細長い崩壊地が多いことが原因だと考えられる。

・加波山北部地域と小原村周辺地域の比較

小原村周辺地域では、崩壊の多い花崗岩地域が、崩壊の少ない花崗閃緑岩地域に比べ、勾配値が高い地域が多いことが示されている(図-4Bc,d)。これは、花崗岩地域が花崗閃緑岩地域に比べ、険しい地形を形成している加波山北部地域と、同じ傾向を示している。また両地域とも、崩壊地勾配は Count 数には差があるものの、花崗岩地域、花崗閃緑岩地域とも似た傾向を示している(花崗岩地域の崩壊地勾配が $30\text{--}50^\circ$ の間で、ほぼ対称に分布しているのに対し、花崗閃緑岩地域の崩壊地勾配は、非対称、かつ $35\text{--}50^\circ$ の間に分布しており、ピークの幅が狭い)。これは、地質が斜面の限界傾斜に影響を及ぼしている結果であると考えられる。一方、崩壊の規模・崩壊の数については、岩石の組織、粒度、風化様式等、今回の研究では考察しなかったその他の要素によって強い影響を受けている可能性が高い。

5. まとめ

茨城県加波山北部地域では、花崗岩・花崗閃緑岩地域の崩壊密度には大きな差異は見られない。また、崩壊地の形状を示す崩壊面積と周囲長の対比でも、両地質間で有意な差は見られない。

愛知県小原村周辺地域では、花崗岩・花崗閃緑岩地域の崩壊密度は大きく異なっており、花崗岩地域の方が多い。崩壊地の形状は、花崗岩地域の崩壊が、花崗閃緑岩地域のものに比べて細長い崩壊のへりを持つ。

花崗岩・花崗閃緑岩、両地質の崩壊地勾配には差異が見られる。花崗岩地域の方が、より緩やかな斜面でも崩壊が発生する可能性が高い。おおよその限界傾斜は、花崗岩地域で $30\text{--}55^\circ$ 、花崗閃緑岩地域で $35\text{--}55^\circ$ である。

花崗閃緑岩地域の崩壊の平均崩壊面積は、花崗岩地域の平均崩壊面積に比べ大きい傾向を示すが、有意な差であるとは言えない。

単位面積あたりの崩壊数は、同じ花崗岩・花崗閃緑岩地域であっても、大きく異なる場合がある。これは、崩壊が発生する原因として、地質のみならず岩石の組織、粒度、風化様式等の要素が深く関わっているからだと考えられる。

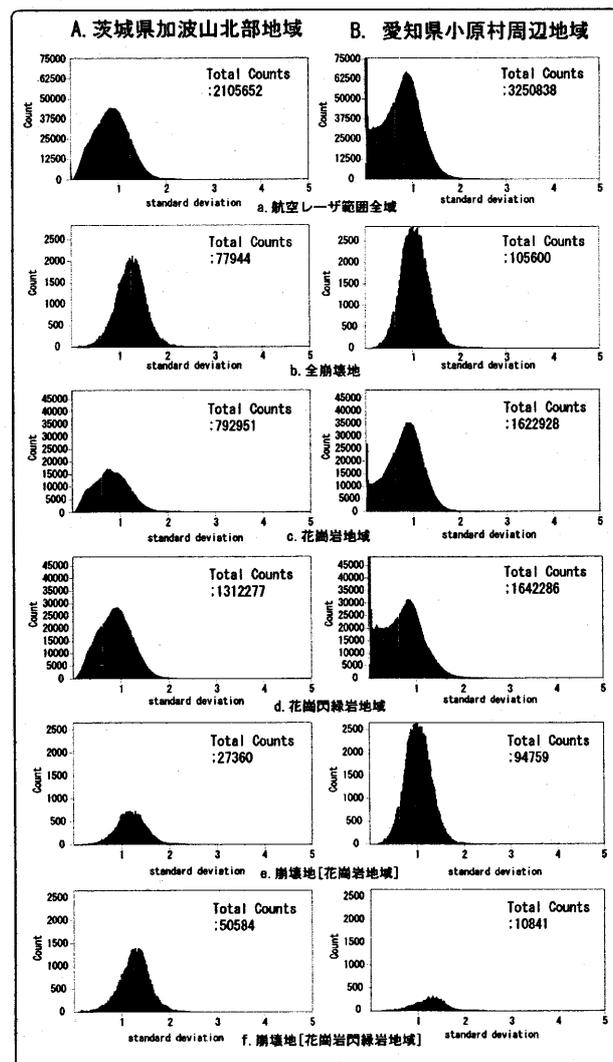


図-4 高度分散量比較

【引用】

本研究における航空レーザー測量データは、文部科学省・科学技術振興調整費「地震豪雨時の高速長距離土砂流動化現象の解明」(プロジェクト研究代表 佐々恭二)で計測されたものを使用している。

【参考文献】

- 1) 秋山幸秀(2000):空中レーザー計測システムの治山・砂防関係への応用. 写真測量とリモートセンシング, Vol.39, pp.25-28.
- 2) 八木ほか(2003):空中レーザー高精度地形図の地すべり・微地形判読の応用. 地すべり, Vol.39, pp.421-427.
- 3) 戸邊 勇人(2005):愛知県小原村の風化花崗岩における崩壊密度,岩石組織,及び風化性状の定量的な関係, 京都大学大学院理学研究科修士論文.
- 4) OHMORI Hiroo(1978):Relief Structure of the Japanese Mountains and their Stages in Geomorphic Development, Bulletin of the Department of Geography,10,31-85.