

高分解能デジタルデータからの地形情報の高度抽出と 斜面崩壊危険度ハザードマップ作成への応用

社会環境工学科 小池 克明

1. 緒言

九州は、日本では年間降水量が多い地方であり、台風や梅雨前線の停滞によって短時間に多量の降雨があるという気象条件に位置する。また、活火山が多いので、年代が若く、固結度が低い火山灰や火砕流堆積物が地形を形成している地域が多い。しかも地形が急峻で河川勾配が大きく、流速が速い。このような気象・表層地質・地形の3つの条件の重ね合わせで、1997年出水市針原地区、2003年水俣市宝川内地区で生じたように、九州では集中豪雨に伴って山岳域の自然災害、すなわち土石流、地すべりなどの斜面崩壊が多い。自然災害に対する国土の保全は、政府が掲げる最重要課題の1つである。そのためには、自然災害が生じる危険度を的確に評価し、それを地図化するというハザードマップの作成が極めて重要となり、防災・減災の程度はハザードマップの精度に強く依存する。

そこで、本研究では地域企業との連携により、数値地形モデル (Digital Elevation Model : DEM) や地球観測衛星による画像を用いて、高精度のハザードマップの作成を目的とした。

2. 地形解析

第一に、共同研究者と参加学生とともに、構成地質、地形の特徴、斜面の崩壊事例、今後も崩壊する危険性の高さを考慮し、研究対象として適切な地域を検討した。その結果、平成17年9月の台風14号により大規模な斜面崩壊が生じた宮崎市田野町の鱈塚山を選出した。鱈塚山は第三紀の後期始新世～前期中新世 (約2900～1500万年前) に海溝で複雑に変形した地層を主体とし、付加体である四万十累層群上部の砂岩・頁岩の互層から構成されている。同じ四万十累層群ではあるが、それよりも古い中期始新世～前期漸新世 (約5000～2900万年前) の地層は山頂の西側に分布する。また、山頂北部に広がる標高150mほどの低地帯は、中期更新世 (約70～13万年前) に堆積した海成、あるいは非海成の堆積物で覆われる。紀伊半島から九州にかけて広く分布する四万十累層群は大きく変形を受けており、複雑な変動作用によって現在の位置に隆起した。そのために地層中の岩石には多くの亀裂が密に存

在し、風化が深層まで進んでいる。このような地質環境が大規模な斜面崩壊の要因となる。

まず、鱈塚山周辺の地形的特徴を明らかにするために10mメッシュのDEMを用いた。1つのDEMデータがカバーする範囲は25,000分の1縮尺の地形図1枚であるが、これをGIS (Geographical Information System : 地理情報システム) ソフトによって繋ぎ合わせ、緯度・経度を割り当てることで、ジオコーディングを行った。GISソフトにはGRASS GISを用いた。

図1に対象地域の多方位陰影図を示す。DEM斜面の法線方位と電磁波の照射方位との内積に基づく陰影図が地形解析に広く用いられている。しかし、これには照射方位の影響が強く現れるのが問題である。これを改善するために、30°間隔で6つの照射方位を設定し、各方位でのDEM反射強度を加算したのが多方位陰影図である。図より、谷幅と侵食量は小さいものの北西-南東方向のリニアメント (線状の地形模様) が多数、平行して分布しているのが明らかである。節理がこれほど系統的に連続性良く発達するとは考えにくい。よって、砂岩・頁岩の層の境界が選択的に侵食されて、リニアメントとして現れていると解釈するのが妥当で

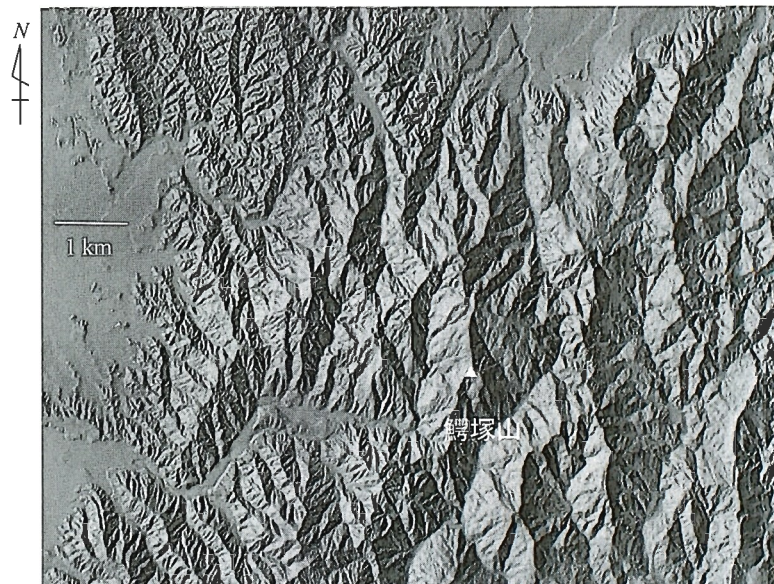


図1 対象地域である宮崎市田野町 鱈塚山周辺の10mメッシュDEMによる多方位陰影図

ある。地層の大局的な走向は北西-南東と推定できる。10 m メッシュという高分解能の DEM を用いて初めて、このような地層の構造を明らかにできた。

北西-南東方向よりも線状性は弱くなるが、北東-南西方向に連続する谷地形も多い。地質図にもこの方向の断層が記載されている。断層に沿って岩石が破碎され、脆くなっていることは一般的である。よって、北東-南西と北西-南東方向の2系統の弱線の組み合わせで、斜面崩壊が誘発されやすくなると考えられる。

次に、地表物質の解析のために、代表的な光学センサ画像である SPOT-5 のマルチスペクトルモードデータを用いた。これは可視域から近赤外域までの空間分解能は 10 m と高く、斜面崩壊箇所や土石流の分布域を抽出し、植生の活性度を把握するのに適している。土石流の分布域は、植生域とは色調が異なるので、SPOT-5 画像から抽出できる。さらに、どのような地形的特徴で斜面方向が発生したのかを検討するために、DEM から斜面の傾斜角度を計算するとともに、分水界（河川水の集水域の単元）によって対象地域を区分した。図2に土石流の分布域（黒線で囲った領域）、傾斜角度が45°以上と急な斜面（赤で塗り潰した箇所）、および分水界（青線で囲った領域）を陰影図に重ね合わせる。土石流を引き起こした7つの斜面崩壊箇所を図2からまとめると、分水嶺近く（3箇所）、分水嶺に最も近い45°以上の急斜面（3箇所）、および中腹の急斜面（1箇所）となる。よって、分水嶺近くの急斜面が特に注意を要し、今後も斜面崩壊の危険性が高いこと

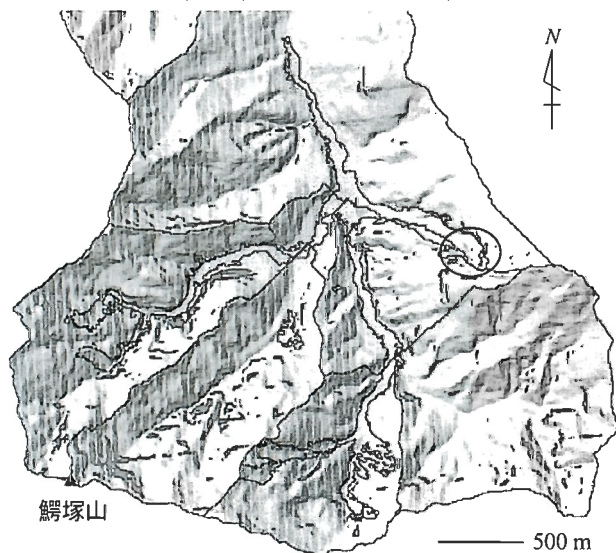


図2 土石流の分布域（黒線で囲った領域）、傾斜角度が45°以上と急な斜面（赤で塗り潰した箇所）、分水界（青線で囲った領域）と陰影図の重ね合わせ

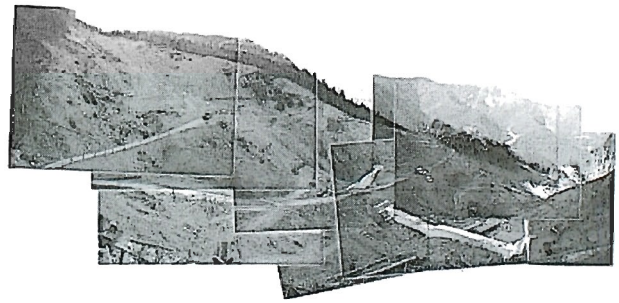


写真1 対象地域西側の斜面崩壊発生源（図2中の丸で囲った位置）

は明らかである。ただし、区分された大きな7つの分水界のうち斜面崩壊を含むのは3つである。なぜこの3つで生じたのかは地形解析だけでは特定できない。衛星画像のスペクトル解析による植生指標にも差はない。ここに地質物性が場所ごとに異なることが予想され、現地調査、および地質サンプルの現位置測定・室内試験の重要性が指摘できる。

3. 現地調査

現地調査は平成19年1月27~29日にかけて行った。台風14号による災害の復旧工事が進んでいるものの、予想以上の斜面崩壊の規模であった。対象地域西側の斜面崩壊発生源の風景を写真1に示す。樹木の根よりも深い深度まで、表層が広い範囲にわたって深くすべった状況が確かめられる。この発生源に含まれる谷の右岸には、45°以上の急斜面が連続する（図2）。また、北西-南東方向のリニアメントの近くでもあるので、これらが斜面崩壊を誘発したことが考えられる。

地質踏査により、斜面崩壊の特徴として頁岩層では層理面すべり、砂岩層では受け盤すべりが卓越していることが見出された。また、鱈塚山は台風14号時に限らず定常的にすべっており、これは斜面の傾斜方向へと系統的に根曲がりを起こす樹木群（写真2）、および連続した亀裂が入り、斜面側に落ちる道路（写真3）から確かめられる。

踏査に加えて、崩壊土や土石流中の岩塊の物性を把握するとともに、電気や弾性波を利用した物理探査によって斜面崩壊を引き起こす急斜面での風化層の厚さを推定するために、以下の現位置測定を行った。

- ・簡易貫入試験による土の粘着力と内部摩擦角の測定：結合強度が弱く、どれほどすべりやすい土であるかを明らかにする。



写真2 斜面の傾斜方向へと系統的に根曲がりを起こす樹木群

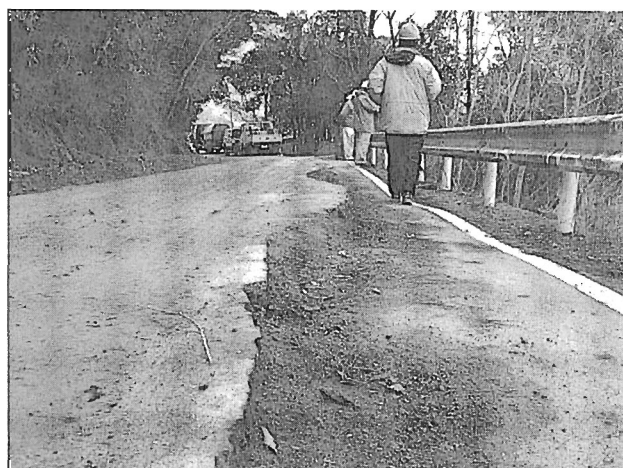


写真3 亀裂が入り、斜面側に10 cmほどの落差をもつ道路



写真4 土石流の末端における岩塊のP波（縦波）伝播速度の測定

- ・地層と谷水の比抵抗値の測定：電気探査による風化層厚さ推定の基礎データとする。
- ・簡易型弾性波探査による区間P波速度の測定：崩壊

の危険度が高い地層ほどP波（縦波）伝播速度が小さいと考えられる。

- ・岩塊のP波伝播速度の測定（写真4）：弾性波探査による風化層厚さ推定の基礎データとする。
- ・分光反射率測定用の土質サンプリング：マルチスペクトルである衛星画像の解析によって地質の種類や物性を推定するために、室内実験によって各試料の波長ごとの分光反射率を測定する。また、X線回折分析によって、試料の構成鉱物を同定する。

以上の原位置測定データと室内実験データをGISに組み込み、前述の地形解析結果と統合すれば、斜面崩壊の危険が高い箇所を絞り込み、高品質のハザードマップが作成できる。そのためにも測定データを増やすことが不可欠である。今年度は図2に示した地形解析結果までであり、斜面崩壊の危険性を表すハザードマップ作成までには至らなかった。当課題の目的を達成するために、共同研究を次年度以降も継続して行く。

また、時間当たりの降雨量、雨量の局所性や時間的な変化などによっても、当然、斜面崩壊の危険性は異なる。台風14号前後の降雨状況、および長いタイムスパンでの降雨パターンと斜面崩壊発生頻度との関係を明らかにするために、気象庁のアメダス（AMeDAS：Automated Meteorological Data Acquisition System）データを解析し、GISへの統合を図っているところである。

4. 学内検討会

高空間分解能のDEMと衛星画像データの解析結果、および現地調査結果をスライド形式にまとめ、これらを基に高精度のハザードマップづくりを行うための検討会を平成19年2月2日に行った。主な参加者は、研究代表者・分担者の研究室に所属する学部4年生、大学院、およびポスドク研究員である。データ解析や現地調査に参加していない学生・研究員の自然災害に対する意識を高めさせ、防災や減災のためにいかにして信頼性の高いマップを作り出すか、について考えをまとめ、議論することを検討会の目的とした。ハザードマップ作成という「ものづくり」を通して、国土の安全性の向上に貢献することを認識させることも目的の1つである。

検討会の様子を写真5に示す。大規模な斜面崩壊を初めて見る参加者が多く、自然の脅威、九州の山地の脆さ、防災・減災のためのハザードマップの重要性が実感できたようであった。検討会では活発に意見交換

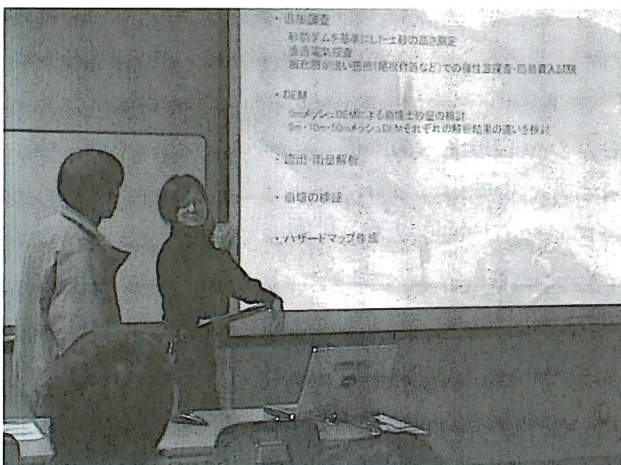
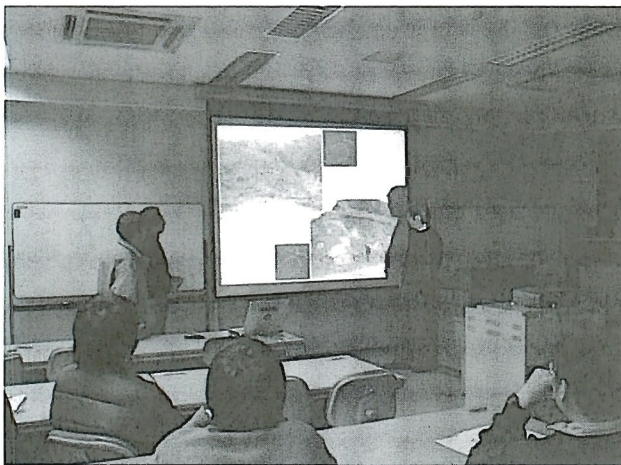
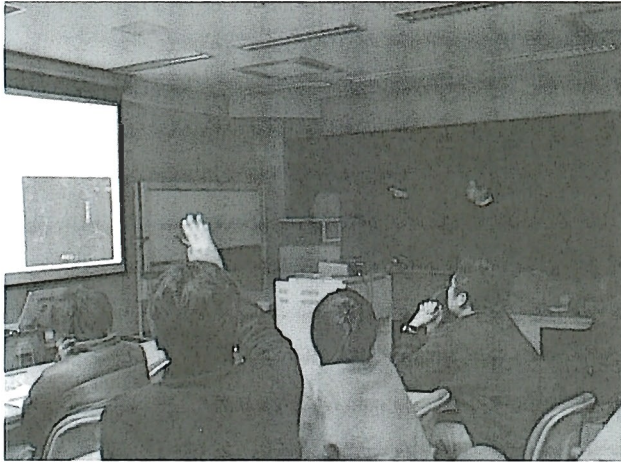


写真5 高精度ハザードマップづくりのための学内検討会。主な参加者は、研究代表者・分担者の研究室所属の学部4年生，大学院，ポスドク研究員

が行われ、今後の検討課題について良い方向性が見出された。質問や意見の一例をあげると、

- ・DEMの空間分解能によって得られる地形情報がどのように異なるのか？

- ・DEMと衛星画像の組み合わせで崩壊土砂量をどの程度まで正確に計算できるか？
 - ・地形データと現位置測定データをどのような重みで加算して、斜面崩壊の危険度を評価するのか？
 - ・作成したハザードマップの正しさをどのように検証するのか？
 - ・物理探査の適切な実施箇所は？ また、何点で実施すればGISに組み込むのに十分なデータ量といえるのか？
 - ・衛星画像によって斜面崩壊危険箇所のモニタリングができるか？
- などである。

5. まとめ

デジタルデータとして、従来よりも空間分解能の高いDEMと地球観測衛星画像を用い、これに現位置測定データと室内実験データをGISによって統合すれば、斜面崩壊危険度に対する高精度のハザードマップを作成できることが明らかになった。これらのデジタルデータの解析によって、

- ・鰐塚山周辺には北西-南東と北東-南東方向の2系統の弱線が分布すること、
- ・土石流の分布範囲を正確に抽出できたこと、
- ・分水界によって対象領域を区分でき、これと斜面崩壊箇所との対応関係を明示できたこと、
- ・7つの斜面崩壊発生源が抽出でき、これらは分水嶺近くか分水嶺に最も近い45°以上の急斜面に位置すること、

という高度な地形情報が得られ、それをマッピングすることができた。ただし、本プロジェクトに採択されたことを契機として、当研究課題に関する共同研究はまだ緒に就いたばかりであり、得られた成果も初歩的なものである。地形解析の深化と精度の高いハザードマップ作成を目指して、共同研究を大きく発展させる予定である。

当研究課題の遂行に当たり、学外共同研究者である西日本技術開発(株)の中川英朗氏とNTTデータ(株)の筒井健氏には、御多忙の中にもかかわらず、対象地域選定、データ解析、現地調査の様々な面にわたって懇切丁寧に御指導・御協力いただいた。社会環境工学科の北園芳人教授と松田泰治教授には、研究分担者として種々御協力いただいた。これらの方々、ならびに本研究に参加いただいた学部4年生と大学院生、およびポスドク研究員に深く感謝の意を表したい。