

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：82116

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01176

研究課題名(和文) 中～高解像度DEMを用いたグローバルな防災に資する全球の自動地形分類図の作成

研究課題名(英文) Development of automated terrain classification for global disaster prevention using medium to high resolution DEM

研究代表者

岩橋 純子 (Iwahashi, Junko)

国土地理院(地理地殻活動研究センター)・その他部局等・主任研究官

研究者番号：90391698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ポリゴンベースの地形分類データ作成手法を開発し、領域分割・機械学習・階層クラスタリングにより全球の地形分類図を完成させた。クラスターのグルーピングでは、日本の既存の地質・地形分類図と比較することにより、地形・地質的に異なる特徴を持つグループを検出した。成果の分類図は、1kmDEMを用いた先行研究より、段丘地形の抽出や1km以下のサイズの地形の分類について明らかに進歩した。また、岩盤山地、丘陵、高地の長大斜面、中間的地形(台地、段丘、低地の長大斜面)、平野の識別が概ね適当であった。さらに、Vs30(表層30mの平均S波速度)と地形分類図の比較検討を行い、地震ハザードへの利用の可能性も示された。

研究成果の概要(英文)：A method to create polygon-based terrain classification data was developed and global terrain classification data by region segmentation, machine learning and hierarchical clustering were completed. Terrain groups with different topographical and geological features were detected by comparing with existing geological and geomorphological classification maps in Japan. The classification is improved from previous studies that used 1-km DEMs, especially for the representation of terrace shapes and landform elements smaller than 1 km. The results were generally suitable for distinguishing bedrock mountains, hills, large highland slopes, intermediate landforms (plateaus, terraces, large lowland slopes), and plains. Furthermore, Vs 30 (average shear wave velocity for the top 30 m) data were compared with the terrain classification data and showed the possibility of utilization for seismic hazard.

研究分野：数値地形解析

キーワード：地形分類 DEM 機械学習 クラスタリング 階層クラスタリング 地形 地質 Vs30

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、国土数値情報（標高メッシュ）や数値地図 50m メッシュ（標高）が広く利用され始めた初期に、それらの DEM（格子点標高データ）から計算した斜面傾斜(slope gradient)、尾根谷密度(surface texture)、凸部の分布密度(local convexity)の 3 つの地形量を用いて、小縮尺の地形分類図をピクセルベースで自動的に作成する手法を開発した。後に、スペースシャトルによる全球 DEM (SRTM30) が米国地質調査所 (USGS) から公表された事を受けて、USGS の研究者と共同で、SRTM30 を用いた解像度 1km のグローバルな自動地形分類図を作成し、ラスタ形式の GIS データをウェブ公開した (Iwahashi and Pike, 2007; http://gisstar.gsi.go.jp/terrain/front_page.htm; 以後、「先行研究」という)。先行研究の成果は、EU Joint Research Centre の European Soil Portal でも、「Landform Classification」のデータセットとして公開されている。

研究代表者は元々、国土地理院の現業部門にて、土地条件図・火山土地条件図の作成など、空中写真判読と地質・土質調査による地形分類図の作成に多く携わっていた。そこで当初、地形分類の概略図を短時間で自動的に作成する手法として上記の手法を開発したが、SRTM30 による自動地形分類図は、単独で地震波の地盤増幅率分布の推定に役立つ事が米国の研究者から指摘された。また、先行研究の分類手法による DEM の地形分類は、JICA 事業の一環として、日本の民間企業の研究者からインドネシアの地震ハザードマップへの利用が提案された。他にヨーロッパの研究者から、自動地形分類図を土壌分布の推測に使用できることが指摘され、それが上記の European Soil Portal へのアーカイブに繋がった。

なお連携研究者 (松岡) は、既存の地形分類図を用いて地震波の地盤増幅率の推定法・液状化・潜在的侵食速度・高潮や洪水氾濫による浸水域を予測する科研費プロジェクト (全国地形・地盤デジタルマップの広域ハザード評価への適用性に関する研究: 基盤研究 (C)、2003~2004 年度; 科研費番号 15510155) に参加しており、地形分類図が地盤の揺れやすさの推定等、防災に役立つ事は、日本においては既知となっている。

さて、先行研究による自動地形分類図は、写真判読図や地質図の整備が十分でない海外に於いて需要があるものの、解像度が 1km であるため、縮尺が小さすぎるとのユーザーからの声があり、さらに高解像度なデータ作成が求められていた。従来手法を開発して以降、2010 年に SRTM ベースの GMTED2010 (US Geological Survey; 以後、USGS; 7.5" メッシュ)、2009 年・2011 年に ASTER GDEM (経済産業省・NASA; 約 30m メッシュ) Ver.1・2 と、中~高解像度の全球 DEM が続

けてウェブ公開されていた。

しかし、より高解像度なデータ作成には、単にデータ量の増加に伴う作業量の増大に留まらず、乗り越えるべき科学的・技術的な課題が多い。傾斜等の地形量は、DEM の解像度・精度によって数値が変動する事が、地形のスケール問題として従来からよく知られている。均一な精度の等高線図から作成されている日本の国土数値情報 (標高メッシュ)・数値地図 50m メッシュ標高 (国土地理院) や、メッシュサイズが粗いため 1 メッシュ内に十分な標高点のソースを含む SRTM30 とは異なり、GMTED2010 等、当時リリースされていた中~高解像度の全球の DEM は、元の標高点の空間分布に大きなむらがあり、地形量を均一な精度で算出することに問題を抱えていた。他にも、高解像度なほど顕在化する、地物や人工地形等 DEM のノイズによる影響をどう解決するかなど、課題が多かった。

先行研究では、一つながりのデータの中に、精度的なむらがある場合を想定していなかった。従って、従来と同じアルゴリズムで全球の中~高解像度 DEM から地形分類図を作成する事は困難と考えられた。しかし、コンピュータビジョンの分野の発達から、従来のピクセルベースからオブジェクトベースの分類手法へと、新しい画像分類手法が行われるようになっていた。連続データと主題情報をコンパイルした分類も汎用ソフトを用いて可能となっており、解決の糸口はあると考えられた。そこで、科研費の課題として、研究を行ったものである。

2. 研究の目的

適切に分類された地形分類は、自然災害や土地開発の好発地・適地をよりよく知ることに役立つと考えられる。本研究の目的は、低地の地盤強度の分類、土壌の分類、火山地や扇状地の把握、山地斜面の分類等に役立つ全球の自動地形分類図の開発である。DEM (格子点標高データ) から求めた傾斜等の地形量を用いてポリゴンデータを作成し、最低限 50 万分の 1 土地分類基本調査 (地形分類図) 程度、さらにそれ以上の細かさのデータ作成を目指す。データ作成に伴う地形学的、画像処理的、そのほか地理学的な課題を解決し、開発途上国を含むグローバルな防災に貢献する。

3. 研究の方法

【平成 27 年度】

まず地形分類に使用する標高データを収集し、精度のばらつきについて地形量の画像やドキュメント等から調査した。ASTER GDEM は地物や植生のノイズが大きく、地形分類に適した地形量の取得が困難であった。最終的に GMTED2010 (USGS) の 7.5" メッシュ DEM を用いて、集約や穴埋め等の加工を行い、全球の 250m メッシュ DEM を作成

し、分類の基礎となる傾斜等の地形量のデータを試作した。日本・東アジアの中～小縮尺の地質図・地形分類図データの他、USGSの研究協力者 (Yong) を通じてカリフォルニアの地質図データ及び地盤分類図データを収集した。その他参考となる主題図情報の所在 (ウェブ上のものを含む) について確認し、地形量のデータと地質図等を比較し、区分可能な地形種について見通しを立てた。

東アジア・東南アジア及び米国東海岸について、地形量のラスターデータセットを用いてオブジェクトベースの領域分割を行い、ポリゴンを試作した。その際、分割に際してのウェイトの掛け方やパラメータ設定、ポリゴンのスケールについて、最適な条件を主に日本とカリフォルニアを対象に試行錯誤を行った。さらに、250m メッシュでは、先行研究で用いた 1km メッシュと異なり、気候の違いによる微地形が地形量に反映されユニバーサルな分類の支障となる事がわかったため、地形量計算のウィンドウサイズの検討を行った。ポリゴンに格納すべき統計情報の選択についても、試験的な分類を機械学習 (k-means クラスタリング) で行い、試行錯誤しながら検討した。

【平成 28 年度】

GMTED2010 (USGS) から調製した 250m メッシュ DEM を用いて全球の地形分類図を試作し、分類図作成手法の考案と、比較すべき資料の整理を行った。また、地形のスケールに関連する問題の解決のため、ウィンドウサイズを拡大したマルチスケール対応の尾根谷密度 (Combined Texture) を考案した。しかし、GMTED2010 の 250mDEM から計算した地形量は、オーストラリアや南米など一部の地域の地表面に斜め格子状のストライプノイズが強く見られた。また、北緯 60 以北では、それ以南と比較して DEM のソースデータの精度が悪く、地形分類図の作成に大きな支障となることが明らかになった。試作図とこれらの研究成果は 12 月の AGU Fall Meeting (米国地球物理学連合秋季大会) にて連携研究者・研究協力者 (Yong) と共に発表した。

AGU Fall Meeting では、日本の研究者を中心に、SRTM (USGS)・AW3D-30mDEM (JAXA) をベースラインにノイズを軽減して作成された MERIT-DEM が発表されていた (Yamazaki et al., 2017)。研究代表者は MERIT-DEM を取り寄せて分析し、ストライプノイズがほとんど消えている事を尾根谷密度 (surface texture) の画像で確認した (図-1)。そこで本研究でも 1 月以降、MERIT-DEM から調製した 280m メッシュ DEM に利用を切り替え、北極圏を含むさらに広汎な地域の地形分類図の試作を行った。

パラメータは先行研究の地形量 (斜面傾斜 (slope gradient)、尾根谷密度 (surface texture)、凸部の分布密度 (local convexity)) と Combined Texture を用いつつ、中解像度

での地形分類とポリゴン出力という目的に合ったチューニング手法を検討した。最終的には、地形量画像の領域分割・機械学習 (k-means クラスタリング) によるクラスタリング・教師データを用いた階層クラスタリングによるグルーピングで、全球の地形分類図を完成させた。クラスタのグルーピングにあたっては、日本の既存の地質・地形分類図データ (*) を用い、地形・地質的に異なる特徴を持つグループを検出した。

* シームレス地質図 (産総研)、全国地形・地盤デジタルマップ (Wakamatsu and Matsuoka, 2013)、地すべり地形分類図 (防災科学技術研究所)

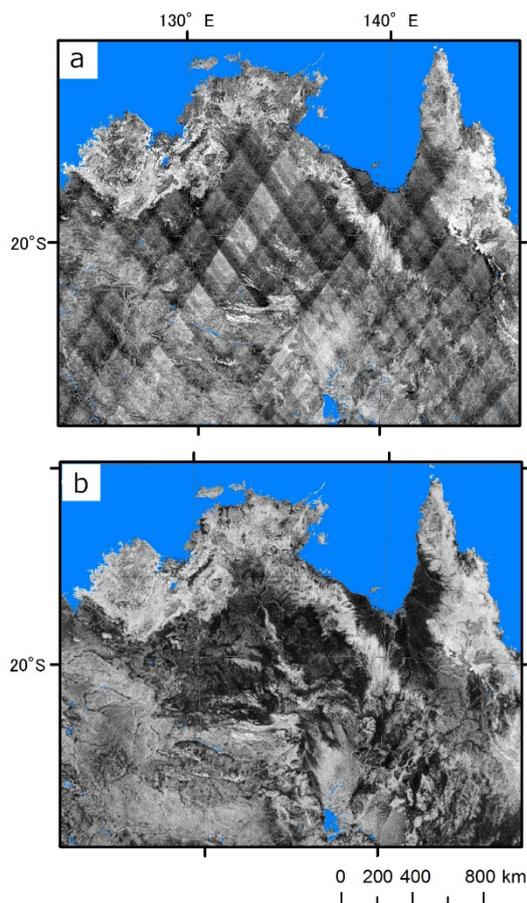


図-1 DEM から求めた尾根谷密度画像 (a)GMTED2010 (b)MERIT-DEM

【平成 29 年度】

MERIT-DEM から作成した地形分類図を、日本・オーストラリア・カリフォルニアの既存の地形分類図、地質図、地盤分類図とクロス集計した。また、日本の土砂災害警戒区域や液状化履歴との比較を行った。これらの結果は連携研究者・研究協力者 (山崎) と共に論文にまとめ国際誌に投稿した (Iwahashi et al., 2018)。

なお先行研究の被引用件数は、2016 年以降が最も多く、内容は地震ハザード分野で地盤の評価に用いられる Vs30 (表層 30m の S 波速度) との比較に関するものが目立った。また、同手法を 90mDEM に適用した、インドネシアの地震防災のための Site class map が

バンドン工科大学の研究者らによりこの時期に公表された。そこで、本研究で作成した分類図についても、米国の研究協力者 (Yong, Herrick, Mital) の協力を得て、日本・米国の Vs30 と地形分類図の比較検討を行い、地震ハザードを見据えた地盤分類への利用の方向性を示した。また、地形分類ポリゴンを熊本地震 (2016 年) の崩壊地 (国土地理院) やプエルトリコのハリケーン・マリア (2017 年) による崩壊地 (USGS) と比較し、実際の災害位置と地形分類の関係を検証した。なお、完成した地形分類ポリゴンは、280mDEM の精度の問題から沖積平野中の微高地の抽出が不十分であった。そのため、DEM ノイズを増幅せず沖積平野の微高地を抽出できる新しいパラメータを探索し、HAND (Height Above Nearest Drainage ; Rennó, 2008) が有望である事を見出した。カリフォルニア等の平野部について、航空レーザがソースの高精度な DEM から 90mDEM を内挿計算し、HAND と傾斜による分類図を試作すると共に Vs30 とのクロス集計を行った。これらの成果は国際学会で発表した。

論文掲載後も、特に米国については招聘した研究協力者 (Herrick) が Vs30 と岩相について分析を行った。また、招聘した研究協力者 (Yong) と東工大・産総研地質・防災科研・東大地震研の地盤関係の研究者・学生との交流・情報共有を行った。

4. 研究成果

MERIT-DEM から内挿計算した 280mDEM を用い、ポリゴンベースのグローバルな地形分類手法を開発し、データを作成した。まず、斜面傾斜と凸部の分布密度の対数値を用い、全球の領域分割を行った。次に、尾根谷密度を加え、k-means クラスタリングによって、全球を 40 個のクラスタに分割した。さらに、それらのクラスタを地形学的な地形グループに再分類した。40 個のクラスタは日本の既存の地質・地形分類データと比較することにより、地形・地質的に異なる特徴を持つ 12 個のグループにまとめられた。加えて山地・丘陵地は、合成尾根谷密度を用いて細分された。最終的に 15 種の地形グループが作成された (図-2)。

この日本を基にしたグルーピングが他の地域でも有効か調べるため、カリフォルニアとオーストラリアの地質図・岩相分類図とクロス集計を行った。その結果、280mDEM を用いた地形分類は、1kmDEM を用いた先行研究より、段丘地形の抽出や 1km 以下のサイズの地形の分類について明らかに進歩したことがわかった。また、岩盤山地、丘陵、高地の長大斜面、中間的地形 (台地、段丘、低地の長大斜面)、平野を識別するのに概ね適当であった。

一方、クロス集計から、異なる地質構造区あるいは気候区の下では、局所地形が似ていることが必ずしも似たような形成課程や岩相

を示すわけではないことが明らかになった。これは、地域ごとに凡例を定義しなおすことによって解決可能と考えられるが、堆積平野と侵食平野の双方が存在するような地域では注意が必要である。さらに、細い谷底平野や、都市部、平野の微高地は、DEM の精度の問題により識別できなかったが、HAND を新たなパラメータとして用いる事によって解決の糸口が提示された。以上から、地質構造区と気象区を局所の地形分類に加味したグローバル・ローカル双方の知識がクラスタのよりよいグループ化に必要であり、また、平野部については HAND 等新しいパラメータの追加や高精度な DEM が必要と考えられた。これらの課題は、本研究によってつながった MERIT DEM の作者・海外の研究協力者も加えたチームにより次期科研費 (18H00769) で解決していく所存である。

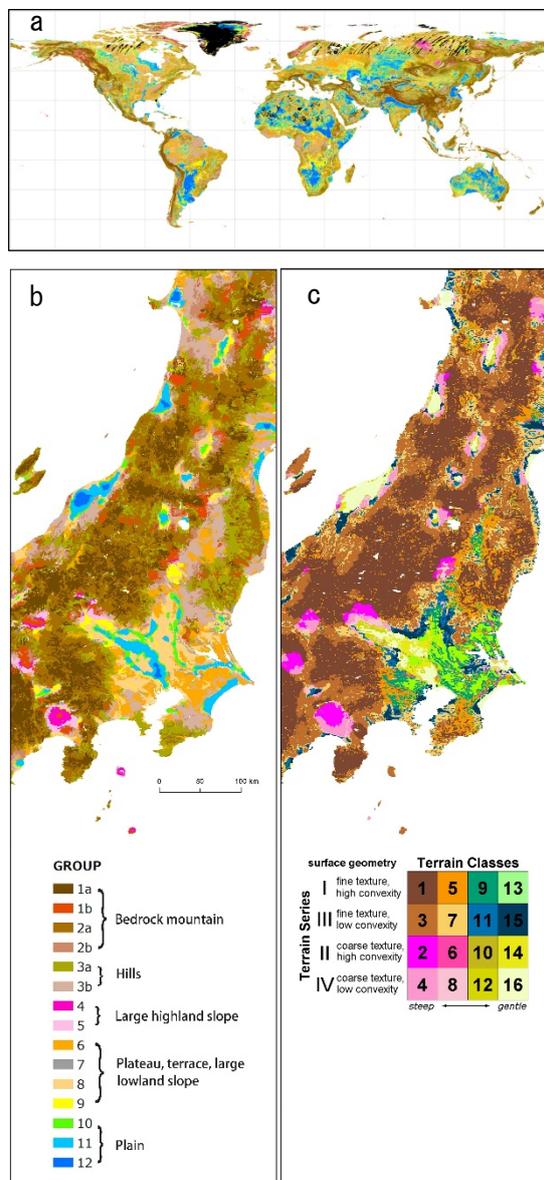


図-2 (a)MERIT-DEM(280m メッシュに内挿)による地形分類図 (b)a の関東・南東北地方周辺の拡大図 (c)先行研究 (1km メッシュ) による地形分類図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Iwahashi J., Kamiya I., Matsuoka M., Yamazaki D.(2018) Global terrain classification using 280 m DEMs: segmentation, clustering, and reclassification, *Progress in Earth and Planetary Science*, 5, <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0157-2> (日本地球惑星科学連合 2016 年大会セッションコンペーナ推薦論文)
- ② 岩橋純子(2018) 中～高解像度 DEM を用いたグローバルな防災に資する全球の自動地形分類図の作成 (第 3 年次), 国土地理院平成 29 年度調査研究年報 (頁数未定)
- ③ 岩橋純子(2017) 中～高解像度 DEM を用いたグローバルな防災に資する全球の自動地形分類図の作成 (第 2 年次), 国土地理院平成 28 年度調査研究年報, pp.204-205
- ④ 岩橋純子(2016) DEM (数値標高モデル) を利用した斜面地形分類～似た形の斜面を色分けする～, 測量, 2016.9, pp.22-23
- ⑤ 岩橋純子・神谷泉(2016) 中～高解像度 DEM を用いたグローバルな防災に資する全球の自動地形分類図の作成 (第 1 年次), 国土地理院平成 27 年度調査研究年報, pp.210-213

[学会発表] (計 6 件)

- ① 岩橋純子(2018) 280m メッシュ MERIT DEM を用いた全球の地形分類図と今後の課題, 国土地理院談話会
- ② Iwahashi J., Yamazaki D., Matsuoka M., Thamarux P., Herrick J., Yong A., Mital U. (2017) Global terrain classification using Multiple-Error-Removed Improved-Terrain (MERIT) to address susceptibility of landslides and other geohazards. AGU Fall Meeting 2017
- ③ 西澤勇祐・松岡昌志・岩橋純子・Patcharavadee Thamarux (2017) Geomorphologic Classification of Colombia by Machine Learning with Digital Elevation Model, International Symposium on Remote Sensing 2017
- ④ Iwahashi J., Matsuoka M., Yong A. (2016) A framework for global terrain classification using 250-m DEMs to predict geohazards. AGU Fall Meeting 2016
- ⑤ 岩橋純子・神谷泉(2016) 250mDEM を用いたアジア太平洋地域の地形分類ポリゴンの作成, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (招待講演)
- ⑥ 岩橋純子(2016) GMTED2010 を用いた世界の地形分類図に向けてーアジア・北米で

の試行錯誤ー, 国土地理院談話会

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩橋純子 (IWAHASHI, Junko)

国土地理院・地理地殻活動研究センター・主任研究官

研究者番号：90391698

(2) 研究分担者

神谷 泉 (KAMIYA, Izumi)

国土地理院・地理地殻活動研究センター・室長 (平成 27 年度まで)

(平成 28 年度より研究協力者)

(3) 連携協力者

松岡昌志 (MATSUOKA, Masashi)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：80242311

(4) 研究協力者

山崎大 (YAMAZAKI, Dai)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：70736040

Alan Yong

US Geological Survey ・ Research Geophysicist

Julie Herrick

US Geological Survey ・ Geologist and Map Editor

Utkarsh Mital

California Institute of Technology ・ Postdoctoral Scholar