

令和 3 年 5 月 13 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K01119

研究課題名(和文) 高解像度数値標高データを用いた世界の山地の地形計測と地形教材の開発

研究課題名(英文) Terrain analysis of world mountains using high resolution DEMs and its application to geography education

研究代表者

山田 周二 (Yamada, Shuji)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：80295469

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、約30 mメッシュのDEMを用いて、北緯60°～南緯60°のすべての陸地にある山頂を抽出して、山頂から半径1 km円内の起伏と平均傾斜を計測した。その結果、起伏が1,500 m以上で平均傾斜が45°以上と、きわめて険しい山頂のほとんどは、ヒマラヤ山脈に分布しており、起伏が500 m以上で平均傾斜が35°以上の山頂は、変動帯の諸山地に分布することがあきらかになった。また、起伏が500 m以上で平均傾斜が35°未満の山頂は、上記の地域に加えて、大陸縁に分布すること、そして、起伏が500 m未満で平均傾斜が35°以上の山頂は、東アジア南部の塔状カルストに限られること、があきらかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中学校および高等学校の地理教科書には、プレート境界付近に位置する造山帯では、火山活動や地震が活発に発生して、険しい山地が分布する、と記されている。地震や火山については、教科書に、その分布を示す世界地図が掲載されており、それらが、確かに、プレート境界付近に分布を知ることができる。ところが、険しい山地については、その分布を確認できる世界地図等の資料は掲載されていない。本研究の成果は、世界の険しい山の分布を明瞭に示すものであり、地形研究だけでなく、地理教育に対しても貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study extracted the summits of the world mountains located between 60° N and 60° S, and evaluated the steepness of world mountains based on the relief and slope around the extracted summits using about 30 m DEMs (digital elevation models). Extremely steep summits, type Ia (reliefs $R > 2,000$ m, average slopes $S > 50^\circ$) and Ib ($R > 1,500$ m $S > 45^\circ$) were mostly located in the Himalaya Mountains. Several Ib summits were distributed in the Alps, Tianshan and Andes Mountains. Steep summits, Ic ($R > 1,000$ m, $S > 40^\circ$) and Id ($R > 500$ m, $S > 35^\circ$) were distributed in the mountains of the Alpine-Himalayan belt, Pacific Rim, and Central Asia and African rift valleys. High relief and gentle slope summits, that is, type II ($R > 500$ m, $S < 35^\circ$), were distributed in the mountains of the passive margins in addition to type I mountains. Low relief and steep slope summits, type III ($R < 500$ m, $S > 35^\circ$), were mostly located in the tower karst region of southern East Asia.

研究分野：自然地理学

キーワード：地形計測 山頂 DEM

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

「日本の山地は、世界の山地のなかで、どの程度険しいのか？」という問いが、本研究の出発点である。中学校および高等学校の地理教育では、日本の地形の特徴として、山地が険しいことが取り上げられている。また、地形学の論文の冒頭などでは、湿潤変動帯に位置する日本の山地は険しいため、侵食作用が活発である、といった記述がよくなされる。このように、日本の山地が険しいことは、当然のことのようにあつかわれているものの、それを裏付ける証拠は、あまりない。

近年の、地理情報のデジタル化の進展にともなって、世界の山の険しさを知るための材料は、充実しつつある。DEM (Digital Elevation Models) を用いて、世界の山の険しさを計測した研究例はいくつかあるものの、(Meybeck et al., 2001; Montgomery and Brandon, 2002; Sayre et al., 2018), いずれも 250 m あるいは 1 km メッシュの DEM を用いて行ったものであり、起伏や傾斜を、250 m メッシュの DEM よりも高解像度の DEM を用いて世界全体を計測した成果は公表されていない。

2. 研究の目的

本研究は、世界の山の険しさの分布を知ることが目的とした。そのために、約 30 m メッシュの DEM を用いて、北緯 60° ~ 南緯 60° の範囲を対象として、山頂を抽出して、その周辺の起伏と傾斜を計測した。そして、険しい山はどのようなところにあるのかを考察した。山頂に着目したのは、山頂は点で表せるため、地震や火山の分布図のように、小縮尺の世界地図であっても、判読が容易な表現が可能であるためである。また、山頂は、地表面の中では、周囲から突出した点であることから、定義が明瞭で、抽出が容易であり、周辺の起伏、傾斜を集約して代表する点として適当と考えたためである。

3. 研究の方法

約 30 m メッシュの DEM を用いて、北緯 60° ~ 南緯 60° のすべての陸地にある山頂を抽出した。データとして、1 秒 (約 30 m) メッシュの DEM である SRTM1 および ALOS World 3D-30m を使用した。いずれの DEM も、UTM 座標に投影して、UTM ゾーンごとに分析を行った。

ある半径の円の中心点が、その円内で最も標高が高い場合に、その中心点を山頂と定義し、ここでは、その半径を 1 km および 10 km とした。上記の DEM および GIS ソフトウェア (ESRI 社製 ArcGIS) を用いて、30 m メッシュの DEM のすべてのセルにおいて、半径 1 km または 10 km の円内 (中心点を除く) の最高点と中心点との標高を比較して、中心点の方が高い場合は、その中心点を山頂とした。中心点と同一標高の地点が、半径 1 km または 10 km の円内に複数あった場合は、それらの重心点を山頂とした。この場合は、次に記す地形量については、同一標高地点のそれぞれについて計測したものを平均して、その山頂の地形量とした。

抽出した山頂を特徴づける地形量として、起伏および平均傾斜を計測した。起伏は、山頂から半径 1 km または 10 km の円内の最低点と山頂との標高差とした。平均傾斜については、まず、30 m のセルごとに、隣接するセルから傾斜を算出して、山頂から半径 1 km または 10 km の円内にある全てのセルの傾斜の平均値を、平均傾斜とした。

4. 研究成果

(1) 半径 1 km の円で抽出した山頂の起伏と平均傾斜に基づく世界の山の険しさ

世界の山の険しさを、半径 1 km の円で抽出した山頂の起伏と平均傾斜を基に分類して、それらの分布を検討した。険しい山頂の基準として、起伏は 500 m 以上、平均傾斜は 35° 以上、とした。500 m および 35° という値には、特定の意味があるわけではなく、世界の多数の山頂の中から、相対的に大起伏、急傾斜な山頂を抽出するための便宜的な値である。

起伏 500 m および平均傾斜 35° 以上の山頂を、起伏と平均傾斜から 6 タイプに区分した。まず、I~III の 3 タイプに大別した。I は起伏が 500 m 以上で平均傾斜が 35° 以上と、起伏・平均傾斜ともに一定以上のものである。II は、起伏が 500 m 以上で平均傾斜が 35° 未満と、起伏のみが条件を満たすものである。そして、III は、起伏が 500 m 未満で平均傾斜が 35° 以上と、平均傾斜のみ条件を満たすものである。

さらに、タイプ I を、起伏は 500 m 間隔で、平均傾斜は 5° 間隔で、Ia~Id の 4 つに細分した。すなわち、Ia は起伏が 2,000 m 以上で平均傾斜が 50° 以上、Ib は起伏が 1,500 m 以上で平均傾斜が 45° 以上、Ic は起伏が 1,000 m 以上で平均傾斜が 40° 以上、Id は起伏が 500 m 以上で平均傾斜が 35° 以上、である。

以上のように区分した世界の山頂の分布を示したのが、図 1 である。この図から、世界で最も険しい山があるのは、世界で 2 つしかない Ia の山頂やそれに次ぐ Ib の山頂のほとんどが分布するヒマラヤ山脈であると言える。ヒマラヤ山脈に次いで、険しい山があるのは、アルプス、天山、アンデスの各山脈であろう。これらの山脈には、いくつかの Ib の山頂や多くの Ic の山頂が

分布する。そして、それらに続くのが、上記の山脈を除いた、アルプス・ヒマラヤ地域および環太平洋地域、中央アジア、アフリカ大地溝帯に位置する諸山脈である。これらの地域には、Ic および Id の山頂が多数分布する。

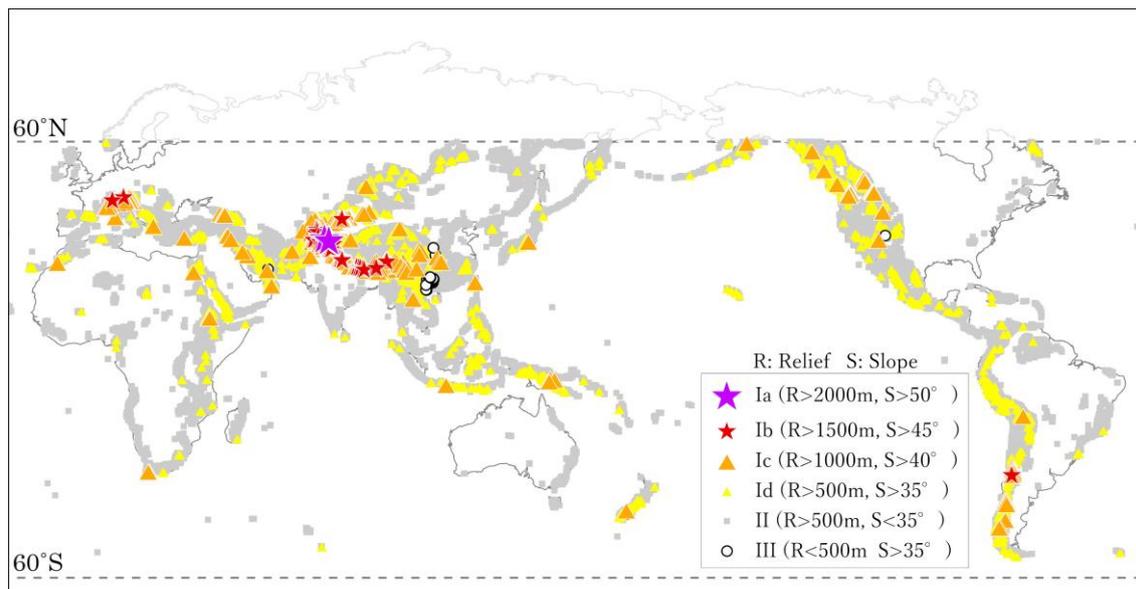


図1 起伏 (R) と平均傾斜 (S) によって分類された山頂の分布

以上のような険しい山頂の分布には、地殻変動や火山活動が関係していると考えられる。起伏、平均傾斜ともに大きい、タイプ I の山頂の多くは、中央アジアの諸山脈のものを除くと、いずれも、地殻変動や火山活動が活発なプレート境界付近に分布する。中央アジアの諸山脈は、プレート境界からは 1000 km 程度かそれ以上に離れているものの、インド半島の衝突の影響を受けて、新生代の地殻変動が盛んになった地域である (Molnar and Tapponnier 1975; Reigber et al. 2001; Buslov, et al. 2007)。また、Id の山頂がいくつか分布するハワイ諸島は、プレート境界からは離れているものの、ホットスポットによる火山活動が盛んな地域である。したがって、険しい山頂は、いずれも地殻変動や火山活動が活発な地域に分布していると言える。この点については、DEM を用いて世界の起伏分布を計測した従来の研究においても、同様の指摘がなされている (Meybeck et al. 2001; Montgomery and Brandon 2002; Sayre et al. 2018)。

険しい山頂の中でも、際立って険しい山頂の分布については、気候も関係しているかも知れない。際立って大起伏で急傾斜な Ia および Ib の山頂は、ヒマラヤ、天山、アンデス、アルプス山脈にのみ分布しており、これらは、いずれも寒冷な環境にある。ただし、Ia および Ib の山頂の 96% はヒマラヤ山脈に集中している。このため、分布から一般的な傾向をとらえるには、偏りが大きく、さらなる検討が必要である。

一方、タイプ I の山頂よりも平均傾斜が緩い II の山頂は、より広域に分布する。タイプ II の山頂は、I が分布する地域とその周辺に加えて、ユーラシア大陸の東縁部、インド半島の南東・南西縁部、アフリカ大陸の南縁・西縁部、北アメリカ大陸東縁部、南アメリカ大陸北縁・東縁部、オーストラリア大陸東縁部に分布しており、I が分布する地域を除くと、いずれも passive margin と呼ばれる大陸縁に位置する (Blenkinsop and Moore 2013)。passive margin は、かつて大陸の分裂 (広がるプレート境界の形成) が発生した地域であり、大陸の分裂にともなう隆起によって形成された、passive margin escarpments あるいは great escarpments と呼ばれる急崖が、プレート境界側に形成されているのが特徴である (Ollier 2004; Braun and Beek 2004; Braun 2018)。この急崖の内陸側は緩傾斜な高原状の地形となっているため、平均傾斜は緩いものの、プレート境界側の急崖には大比高のものもあるため、それらを含む山頂が、大起伏で平均傾斜が緩いタイプ II の山頂となっている。

最後に、起伏は小さいものの急傾斜なタイプ III の山頂は、ほぼ塔状カルストに限られる。数カ所に分布は見られるものの、262 ある III の山頂のうちで、98% にあたる 256 が東アジア南部に集中する。塔状カルストは、東アジア南部以外の湿潤熱帯地域にも分布するが (Coleridge 2011)、東アジア南部のもののように急傾斜なものは、他地域には存在しない。また、同様の地形は、地殻変動や火山活動が活発な地域にもほとんど存在しないことから、東アジア南部に分布する塔状カルストは極めて特異な地形であると言える。

(2) 半径 1 km の円で抽出した山頂の起伏と平均傾斜に基づく日本の山の険しさ

半径 1 km の円で抽出した山頂の起伏と平均傾斜に基づく分類であるタイプ I~III の山頂の日本における分布を示したのが図 2 である。日本には、最も険しい Ia およびそれに次ぐ Ib の

山頂やタイプ III の山頂は分布しておらず、タイプ Ic, Id, II が分布する。

日本では最も大起伏で急傾斜な Ic および Id の山頂のほとんどは、飛騨山脈および赤石山脈に分布しており、日高、紀伊、四国山地にも Id の山頂がいくつか分布する。II の山頂は、上記の山地に加えて、東北日本の中央部および日本海側の山地や、北見、石狩、木曾、両白、九州山地にも多数分布している。中国以西の内帯の山地や東北日本の太平洋側の山地、北海道の日高、石狩、北見山地を除く山地には、II の山頂がいくつかは分布しているものの、他の山地に比べるとわずかである。

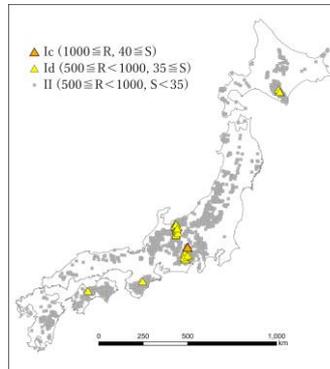


図2 起伏 (R) と平均傾斜 (S) によって分類された山頂の日本での分布

(3) 半径 10 km の円で抽出した山頂の起伏と平均傾斜に基づく世界の山の険しさ

半径 1 km および 10 km の円で抽出した山頂周辺の起伏を、それぞれ示したのが図 3 である。山頂周辺の起伏は、半径 1 km と 10 km とでは、半径 10 km の方が値が大きいという違いはあるものの、分布の傾向は類似する。すなわち、著しく大きな値の山頂は、主にヒマラヤ山脈に分布し、それに引き続いて大きな値の山頂は、環太平洋地域とアルプス-ヒマラヤ地域、天山山脈に分布する、という傾向がみられる。これは、変動帯に位置する山脈には、スケールを変えてみても、険しい山頂が分布することを示す。

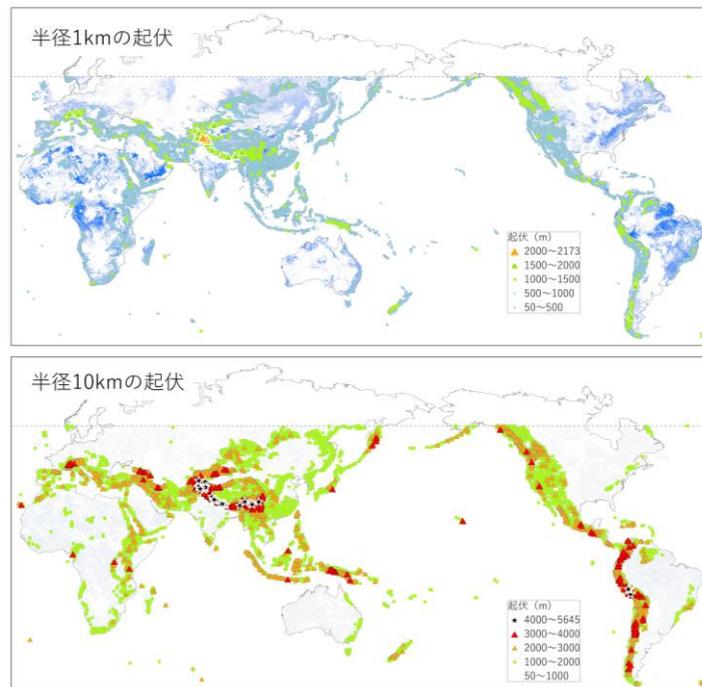


図3 世界の山頂周辺の起伏のスケールによる違い

半径 1 km および 10 km の円で抽出した山頂周辺の平均傾斜を、それぞれ示したのが図 4 である。起伏はスケールとともに増大するのに対して、平均傾斜は低下し、半径 1 km の方が 10 km よりも値が大きい。ただし、分布の傾向は半径 1 km と 10 km とで類似しており、起伏と同様に、著しく大きな値の山頂は、主にヒマラヤ山脈に分布し、それに引き続いて大きな値の山頂は、環太平洋地域とアルプス-ヒマラヤ地域、天山山脈に分布する、という傾向がみられる。

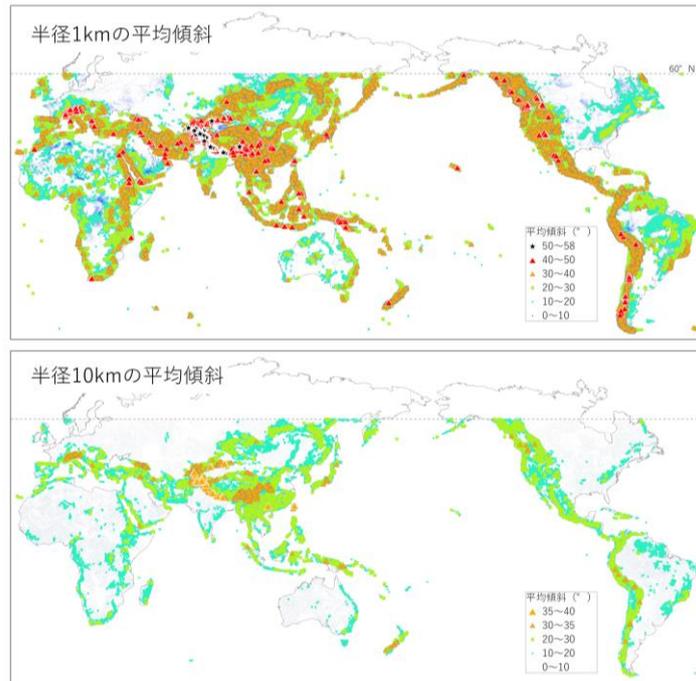


図4 世界の山頂周辺の平均傾斜のスケールによる違い

引用文献

- Blenkinsop T. and Moore A. 2013. Tectonic geomorphology of passive margins and continental hinterlands. In *Treatise on Geomorphology*, Volume 5, ed. J. F. Shroder, 71-92. Academic Press.
- Braun, J. 2018. A review of numerical modeling studies of passive margin escarpments leading to a new analytical expression for the rate of escarpment migration velocity. *Gondwana Research*, 53: 209-224.
- Braun, J. and Van Der Beek, P. 2004. Evolution of passive margin escarpments: What can we learn from low - temperature thermochronology?. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 109: 1-14.
- Coleridge, R. T. 2011. Tropical karst. In *Tropical Geomorphology*, ed. A. Gupta, 270-286. Cambridge University Press.
- Buslov, M.M., De Grave, J., Bataleva, E.A.V. and Batalev, V.Y. 2007. Cenozoic tectonic and geodynamic evolution of the Kyrgyz Tien Shan Mountains: A review of geological, thermochronological and geophysical data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 205-214.
- Meybeck, M., Green, P. and Vörösmarty, C. 2001. A new typology for mountains and other relief classes. *Mountain Research and Development*, 21: 34-46.
- Molnar, P. and Tapponnier, P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*, 189: 419-426.
- Montgomery, D.R. and Brandon, M.T. 2002. Topographic controls on erosion rates in tectonically active mountain ranges. *Earth and Planetary Science Letters*, 201: 481-489.
- Ollier, C. 2004. The evolution of mountains on passive continental margins. In *Mountain Geomorphology*, ed. P. N. Owen, 65-94. Routledge.
- Reigber, C., Michel, G.W., Galas, R., Angermann, D., Klotz, J., Chen, J.Y., Papschev, A., Arslanov, R., Tzurkov, V.E. and Ishanov, M.C. 2001. New space geodetic constraints on the distribution of deformation in Central Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, 191: 157-165.
- Sayre, R., Frye, C., Karagulle, D., Krauer, J., Breyer, S., Aniello, P., Wright, D.J., Payne, D., Adler, C., Warner, H. and VanSistine, D.P. 2018. A new high-resolution map of world mountains and an online tool for visualizing and comparing characterizations of global mountain distributions. *Mountain Research and Development*, 38: 240-250.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山田周二	4. 巻 93
2. 論文標題 高解像度DEMを用いた山頂周辺の起伏と平均傾斜に基づく世界の山の険しさの評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地理学評論	6. 最初と最後の頁 443-463
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田周二
2. 発表標題 高解像度DEMを用いた山頂に基づく世界の山地の地形計測 山頂を定義するスケールによる山頂周辺の起伏と平均傾斜の違い
3. 学会等名 日本地理学会2019年秋季学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田周二
2. 発表標題 高解像度DEMを用いた世界の山地の山頂周辺の起伏および傾斜を表す地図の作成
3. 学会等名 日本地理学会2018年秋季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田周二
2. 発表標題 30 m DEMを用いた山頂周辺の起伏と平均傾斜に基づく日本の山の険しさの評価
3. 学会等名 日本地理学会2020年秋季学術大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------