

令和元年6月12日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01211

研究課題名(和文) 山地内の地形編年に基づく重力性斜面変形速度の計測と斜面防災マップの作成

研究課題名(英文) Hazard mapping based on terrain chronology and gravitational slope deformation ratio

研究代表者

八木 浩司 (YAGI, Hiroshi)

山形大学・地域教育文化学部・教授

研究者番号：40292403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ネパール・高ヒマラヤから流れ出る河川流域の中山間地域において空中写真判読による段丘区分および地すべり地形、氷河地形判読を実施するとともに、現地調査で得た年代測定試料からこれらの地域に発達する高位地形面の形成が2-3万年であることを明らかにした。そして、下刻速度が年間6-12mmであることや河谷の急速な下刻と埋積が最終氷期後半で2回以上繰り返されたことも明らかにした。大ヒマラヤ内で発生した地すべりと河道閉塞そして地すべりダム崩壊に伴う大規模な土石流が山麓線から下流側に30-40kmに到達していることから、今後の土石流災害への警鐘となることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

起伏が急変するネパール・大ヒマラヤ山麓部の河谷では、過去数万年から数千年の時間オーダーで年間6-12mm程度の下刻が起こり、それに伴って斜面の重力性変形も進んできた。その結果、10億立方mクラスの地すべり・山体崩壊が発生したり、地すべりに伴う岩屑が土石流として下流側に流入し河谷を埋積してきた。このような急速な下刻・埋積のサイクルは最終氷期後半以降少なくとも2回発生したことを明らかにしたことは学術的な意義がある。さらに、厚さ40m以上の土石流が30-40kmに亘って長距離流下することを明らかにしたことは、今後のハザードマップの作成に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Geomorphological evolution in the Midland, Nepal Himalaya, since the Last Glacial Age is characterized by catastrophic topographic change such as deepening and filling by detritus occurred alternately. Highest terrace in the study area are distributed at the relative height of 100-150m from the present river bed and are formed by detritus derived from the Great Himalayan side. And they were dated back to 20-30ka by OSL method. Middle terrace formed by debris flow deposits is dated back to 4ka. Such detritus were derived from Great Himalaya as sudden breach of landslide dams. Trace of the long traveled debris flows implies catastrophic disaster might occur due to climatic and seismic events in near future.

研究分野：自然地理学

キーワード：Himalaya 重力変形 地すべり 地形発達 下刻 土石流 最終氷期後半 地変

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

山体の重力性変形は、稜線部の二重山稜や山体斜面のはらみだし等から捉えることが出来る。しかし、それら重力性変形がどの程度進めば、すなわち、どの程度の時間スケールで破壊に至るかは明らかでなかった。また、2015年ネパール・ゴルカ地震に伴う斜面災害が多く発生したネパール・大ヒマラヤ山麓部から中山間地域においては、集落やインフラ施設の斜面災害からの回避が社会的課題となっていた。ネパール・大ヒマラヤから流れ出る、比高の大きな河谷沿いで危険斜面抽出のため、地すべり・崩壊発生箇所の地質・地形的特徴を把握し、さらに下刻速度算出や河谷沿い斜面の歪み限界を明らかにすることで地すべり susceptibility map が必要とされていた。

2. 研究の目的

ネパール・大ヒマラヤ山麓部～中山間地への漸移帯を流下する河谷流域について、山地斜面における重力性変位・削剥の実態を明らかにするため空中写真判読による総合的地形面分布図を作成したのち、山地内に残された河成平坦面の形成年代を求め下刻速度を明らかにする。さらに、平坦面下位の斜面のはらみ出しや崩壊の有無と谷底からの比高・斜面長から岩盤斜面の限界歪みと歪み速度を明らかにする。地すべり・崩壊などの突発的地変が土石流などに変質してどの程度の範囲にまで影響を及ぼすかを明らかにする。

3. 研究の方法

ネパール・大ヒマラヤ山麓部から中山間地域に流れ出る河川であるポテコシ・スンコシ流域、トリスリ川流域、ポテコシ川流域、マルシャンディ川流域では、山麓線から15-30kmの下流側まで高位の地形面が分布する。まず1/5万空中写真判読による地形面分布図を作成した。個々の流域において最高位の地形面に対する年代試料採取を行った。そのうち、ポテコシ流域においては、河床から1000m近い位置に平坦面を残す高位浸食段丘が存在することから、同浸食段丘上に残る巨石について¹⁰Be年代測定を行いその発達年代を明らかにするとともに、下刻速度を明らかにしながら谷壁斜面を構成する岩盤の歪み速度を明らかにしようとした。トリスリ川流域、ポテコシ川流域、マルシャンディ川流域においては、高位段丘構成層直上の洪水粘土層を対象にOSL年代測定を行った。さらに、山地斜面の解体過程をより広範に知るため、ポテコシ・スンコシ流域に加えて西隣のインドラワティ川流域、トリスリ川流域、ポテコシ川流域、マルシャンディ川流域について地すべり地形の存在をみるため空中写真判読を実施し地すべり地形 inventory map を作成した。同時に地すべり地形分布図に2015年ネパール・ゴルカ地震によって発生した斜面災害をも重ね合わせ、地震時の斜面災害の地形・地質的特性を明らかにしようとした。

4. 研究成果

ネパール・大ヒマラヤ山麓部から中山間地域における山地斜面の解体過程の一端を明らかにするため、ネパールの首都カトマンズ北東のポテコシ・スンコシ流域から西方に約120kmのマルシャンディ川流域に至るネパール・大ヒマラヤ山麓部・中山間地域をについて空中写真判読を行い氷蝕地形、地すべり地形、段丘地形を抽出し、総合的な地形分類図を作成した。判読対象地域はポテコシ・スンコシ川、インドラワティ川流域の西側に位置するトリスリ川、プディガンダキ川、マルシャンディ川流域をカバーする約6000平方キロのエリアである。さらに、洪水粘土を載せる河成段丘についてはOSL年代測定法、土石流段丘や山体崩壊堆積物に対して¹⁰Be年代測定法、段丘構成層については¹⁴C年代測定をそれぞれ実施した。地すべり地形・高位段丘分布図を完成した。

表1 ポテコシ・スンコシ・インドラワティ流域の地すべり発生場の地質

	ha	LS Area (ha)	area ratio %	Site number	area/site (ha)
Augen_Gneiss	33275.99	4894.95	14.71	170	28.79
Pangan_Gneiss	3915.20	433.45	11.07	31	13.98
Benighat Slate	15995.27	1853.70	11.59	105	17.65
Malekhu Limestone	2435.0	796.83	32.72	14	56.92
Dhading Dolomite	5568.96	468.30	8.41	25	18.73
Fagfog Quartzite	2280.70	290.00	12.72	16	18.13
Sanegauda Quartzite	154.77	0.00	0.00	0	0.00
Gyalthung Quartzite	5654.21	577.44	10.21	46	12.55
Grey Phyllite_with_carbonate band	1006.12	94.10	9.35	11	8.55
Kuncha phyllite	19205.77	3016.66	15.71	185	16.31
Nourpul pinkish Phyllite	107.60	0.00	0.00	0	0.00
Robang phyllite	11214.23	2359.00	21.04	85	27.75
garnet_biotite_Hadi_khola_Schist	10209.96	1061.10	10.39	81	13.10
Sermatang Schist_with_Gneiss_Quartzite	17112.18	1469.54	8.59	101	14.55
Simpani_Kyanite_biotite_feldsp_Schist	4727.52	235.75	4.99	27	8.73

ポテコシ・スンコシ川、インドラワティ川流域に分布する地すべり地形は斑状・眼球片麻岩類地域、千枚岩地域そして、粘板岩地域において箇所数や面積において高い発生率を示すことが明らかとなった(表1)。さらに、それらは北西方向に単斜構造を示す流れ盤斜面に於いて大規模化し、移動体が10億立方mクラスのヒマラヤ最大級の地すべりも発生していることを発見した。その発生年代は移動岩塊に対する¹⁰Be年代から

主部が8千年前であることが明らかになった。ヒマラヤ地域で巨大地すべりの発生時期が特定したのは本研究が初めてである。また二次的な地すべりが2千年前後であることも明らかとなった。隣接するポテコシおよびインドラワティ川流域で1.8~2千年頃にほぼ同時期に崩壊・地すべりの発生する誘因として地震の可能性が高いと判断した。

ポテコシ・スンコシ流域・右岸に残る高位浸食段丘では、平坦面を作る基岩から¹⁰Be年代試料を採取出来なかった。このため平坦面上に孤立して残された長径5mの巨礫が離水前の土石流として運

ばれてきたものと考え ^{10}Be 年代測定を実施し、1.8 千年前の年代値が得られた。しかし、高位平坦面が現河床から 1000m 程度高い位置にあることから考え、この値がこの地形面の形成年代とは考えがたい。このため、この転石が、ヒマラヤ直下のメガスラストの活動に伴う地震によって周辺斜面から崩落物質としてでもたらされた可能性を検討することにした。ポテコシ沿いの下刻速度に関しては、パラピセ付近で現河床から 375m の位置にある中段段丘上の巨礫が 3427 年 B.P. であることから、109mm/yr となり、転石から下刻速度を求めることには難があることを確認した。

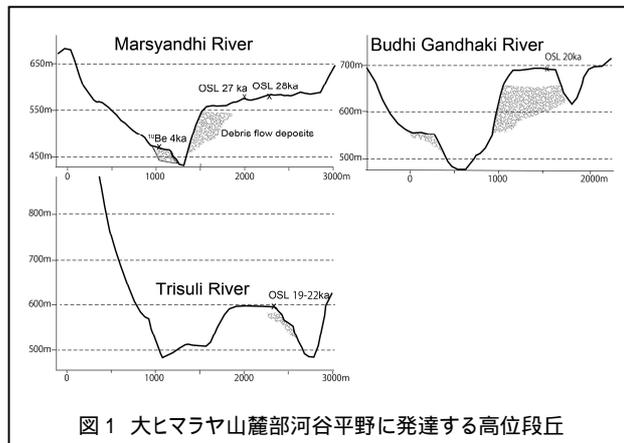


図 1 大ヒマラヤ山麓部河谷平野に発達する高位段丘

性の中位段丘が 4 千年頃に発達したことを明らかにした(図 1)。高位面もその中部には厚さ数十 m の土石流堆積物を挟むことから、本地域においては最終氷期後半から完新世に少なくとも 2 回の谷の掘り込みと、土石流による急速な埋積が繰り返されてきたことを明らかにした。中間山地帯における高位段丘の下刻速度は、4~10mm/yr 出あることが明らかとなった。またマルシャンディ川に見られる新旧の土石流は、ヒマラヤ片麻岩の巨礫を挟み大ヒマラヤの山麓線から 30-40 km 下流側まで発達している。また最高位段丘は河谷を覆い尽くすように発達することから、莫大な量の土砂が大ヒマラヤ側から中山間地の河谷に一気にもたらされたものであることが明らかになった。すなわち、最終氷期後半に大ヒマラヤから中間山地帯においては、カストロフィックな地変が繰り返されてきたことが明らかになってきた。それらの長距離を流動した大規模土石流発生の要因としては、土石流のボリュームや中山間地内での河床勾配が小さいことから、大ヒマラヤ内で発生した大規模崩壊・地すべりによって複数の地すべりダムが形成され、それらが順次決壊を繰り返しながら拡大し下流域に流入したものと考えている。従って、今後も河道閉塞が発生した場合、複合的な地すべりダムの決壊にともなう土石流災害が長距離にわたって中山間地内を流下することを示唆している。以上の成果は、2019 年日本地球惑星連合大会や INQUA2019 で発表し論文化することを予定している。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 14 件)

1. Kurashimo, E., Sato, H., Sakai, S., Hirata, N., Gajure, A.P., Adhikari, D.P., Subedi, K.P., Yagi, H. and Upreti, B. N. (2019) The 2015 Gorkha Earthquake: Earthquake Reflection Imaging of the Source Fault and Connecting Seismic Structure With Fault Slip Behavior. *Geophysical Research Letters*, 46. 3206-3215, <https://doi.org/10.1029/2018GL081197>
2. Watakabe T., Matsushi Y. (2019) Lithological controls on hydrological processes that trigger shallow landslides: observations from granite and hornfels hillslopes in Hiroshima, Japan, *Catena* 180, 55-68.
3. Hattanji T., Matsushi Y., Matsuzaki H., Wasklewicz T. A. (2019) The role of debris flow on total denudation in small basins of the Ashio Mountains, Japan. *Geomorphology* 329, 129-137.
4. Yagi, H., Hayashi, K., Higaki, D., Tsou, C.Y. and Sato, G. (2018) Dormant landslides distributed in upper course of Sun Kosi watershed and landslides induced by Nepal Gorkha Earthquake 2015. *Journal of Nepal Geological Society*, 55 (Special Issue), pp.61-67.
5. Tsou, C.Y., Higaki, D., Chigira, M., Yagi, H., Dangol, V., Amatya, S.C., Hayashi, K., Kato, H. (2018) Topographic characteristics of landslides induced by the 2015 Gorkha earthquake, Nepal. *Journal of Nepal Geological Society*, 55 (Sp. Issue), pp.69-75.

6. Osawa H., Matsushi Y., Matsuura S., Okamoto T., Shibasaki T., Hirashima H. (2018) Seasonal transition of hydrological processes in a slow-moving landslide in a snowy region. *Hydrological Processes* 32, 2695-2707.
7. Ching-Ying Tsoo, Chigira, M., Higaki, D., Sato, G., YAGI, H., Sato, P.H., Wakai, A., Dangol, V., Amatya, S.C. and Yatagai, A. (2017) Topographic and geologic controls on landslides induced by the 2015 Gorkha earthquake and its aftershocks: an example from the Trishuli Valley, central Nepal. *Landslides*. DOI 10.1007/s10346-017-0913-9
8. 八木浩司(2017) 2015年ネパール・ゴルカ地震の被害と地盤災害. 地理, 62-9, 14-21. 古今書院.
9. 松四雄騎(2017) 宇宙線生成核種を用いた岩盤の風化と土層の生成に関する速度論 手法の原理, 適用法, 研究の現状と課題. 地学雑誌 126, 487-511.
10. Wakai, A., Higaki, D., Yagi, H., Sato, G. and Chigira, M. (2017) Finite element simulation for seismic ground response in mountainous areas in Nepal, *Proc. 4th World Landslide Forum : Advancing Culture of Living with Landslides*, pp.67-74, Ljubljana, Slovenia.
11. Tsoo C.-Y., Chigira M., Matsushi Y., Hiraishi N., Arai N., (2017) Coupling fluvial processes and landslide distribution toward geomorphological hazard assessment: a case study in a transient landscape in Japan. *Landslides* 14, 1901-1914.
12. 山崎新太郎, 八木浩司, 若井明彦, 福岡 浩 (2016) 2015年ネパール・ゴルカ地震でランタン村を壊滅させた雪・氷・岩屑雪崩. 地質学雑誌, 122, 9, -, 10.5575/geosoc. 2016.0020
13. Fujita, K., Inoue, H., Izumi, T., Yamaguchi, S., Sadakane, A., Sunako, S., Nishimura, K., Immerzeel, W. W., Shea, J. M., Kayashta, R. B., Sawagaki, T., Breashears, D. F., Yagi, H., and Sakai, A. (2016) Anomalous winter snow amplified earthquake induced disaster of the 2015 Langtang avalanche in Nepal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, doi:10.5194/nhess-2016-317.
14. 八木浩司・井口隆(2016) 飛驒山脈南部・蝶ヶ岳付近に認められる重力性山体変形としての船窪地形. 日本地すべり学会誌, 53-4, 40-42.

[学会発表](計 11件)

1. 八木浩司・下岡順直・長友恒人・松四雄騎・檜垣大助(2019) ネパール中部・小ヒマラヤ帯の河谷を埋積するように発達する高位段丘とその形成年代. 日本地理学会2019年春季大会, 専修大学(川崎市)
2. Sato, P. H. and Yagi, H. (2018) Detection of landslide surface deformation using PALSAR and PALSAR-2 InSAR in Jure landslide, Sunkoshi River watershed, Nepal. Fall meeting of American Geophysical Union 2018, Washington City, USA (Walter E Washington Convention Center)
3. Nakano, T., Une, H., Sato, P.H., Komura, K. and Yagi, H. (2018) Geomorphological and geological characteristics of triggered surface faults associated with 2016 Kumamoto Earthquake sequence around the northwest of the outer rim of the Aso caldera, southwestern Japan, Fall meeting of American Geophysical Union 2018, Washington City, USA (Walter E Washington Convention Center)
4. Yagi, H. & Matsushi, Y. (2018) Gunsakot landslide, a gigantic dormant landslide found in central Nepal Himalayas. 2018JpGU
5. Matsushi Y., Yagi H. & Matsuzaki H (2017) Dating a large-scale debris flow event using

terrestrial cosmogenic nuclide: an attempt in Marshyangdi River, central Nepal. 11th Asian Regional Conference of IAEG. Kathmandu, Nepal. 28 Nov 2017

6. Yagi, H., Hayashi, H., Higaki, D., Tsuo, C.Y. and Sato, G. (2017) Dormant landslides distributed in upper course of Sun Kosi watershed and landslides induced by Nepal Gorkha Earthquake 2015, 11th Asian Regional Conference of IAEG. Kathmandu, Nepal. 28 Nov 2017

7. Yagi, H. & Hayashi, K. (2017) Bell-shape index indicating top-heavy profile of high relief mountain and gravitational deformation. 4th Slope Tectonics, Kyoto 2017

8. 八木浩司・檜垣大助・鄒 青穎・佐藤剛・林一成 (2017) 2015年ネパール・ゴルカ地震による斜面災害と地すべり地形との関連. 2017年度日本地すべり学会大会

9. Wakai, A., Yagi, H., Sato, G. & Chigira, M. (2017) Finite element simulation for seismic ground response in mountainous areas at the time of 2015 Nepal Gorkha Earthquake, 2017 JpGU

10. Kurashimo, E., Sato, H., Sakai, S., Hirata, H., Gajurel, A.P., Adhikari D.P., Upreti B.N., Yagi, H., Bhattarai, T.N. & Ishiyama, T. (2016) Source fault geometry of the 2015 Gorkha Earthquake (Mw 7.8), Nepal, derived from a dense aftershock observation. 2016 meeting of Nepal geological Society

11. 八木浩司・廣瀬悠・檜垣大助・若井明彦・千木良雅弘・佐藤剛・佐藤浩 (2016) 2015年ネパール・ゴルカ地震にともなうボテコシ流域での斜面災害. 2016年 JpGU

〔図書〕(計 1件)

岡田篤正・八木浩司 (2019) 図説日本の活断層, 216p. 朝倉書店, ISBN978-4-254-16073-4 C3044

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 松四雄騎

ローマ字氏名: Yuki Matsushi

所属研究機関名: 京都大学

部局名:総合人間学部
職名:准教授
研究者番号(8桁):90596438

研究分担者氏名:若井明彦
ローマ字氏名: Akihik Wakai
所属研究機関名:群馬大学
部局名:大学院理工学府
職名:教授
研究者番号(8桁):90292622

研究分担者氏名:佐藤 浩
ローマ字氏名: Hiroshi Sato
所属研究機関名:日本大学
部局名:文理学部
職名:准教授
研究者番号(8桁):60360468

(2)研究協力者
研究協力者氏名:
ローマ字氏名:
Prof.Dangol, V. Trichandra Campus, Trivban University

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、研究者個人に帰属されます。