

## 一般共同研究（ 課題番号：28G-05 ）

課題名：ヒマラヤ山岳域の landslide 災害への局地的降水影響の評価

研究代表者：谷田貝亜紀代

所属機関名：弘前大学大学院理工学研究科

所内担当者名：千木良雅弘

研究期間：平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 30 年 3 月 31 日

研究場所：弘前大学

共同研究参加者数：11 名 (所外 10 名, 所内 1 名)

- ・大学院生の参加状況：2 名 (修士 2 名, 博士 名) (内数)
- ・大学院生の参加形態 [ 共同研究者 ]

研究及び教育への波及効果について

【研究】World landslide ブログで知られるイギリスの David Petley 教授および彼の共同研究者の Melanie Froude 博士との本格的な共同研究につながった。ネパール現地調査により、降水が多く landslide が頻発するポカラの気象データ記録や現地状況を確認し、アジアの降水グリッドデータ作成 (APHRODITE) の品質管理手法が改良された。ネパール水文気象局 (DHM) にて、ICIMOD (国際総合山岳開発センター) やカトマンズ大の若手研究者らと共に降水に関するワークショップを開催し、継続的な関係づくりにつながった。

【教育】本共同研究により弘前大学 28 年度卒業研究として以下の 2 本の論文をまとめることができた。

安藤千晶(2017) ネパールの landslide と降水の関係, 弘前大学理工学部地球環境学科, 平成 28 年度卒業論文, 108pp.

鈴木隆太郎(2017) ネパールにおけるモンスーン期部地球環境学科, 平成 28 年度卒業論文, 67pp.

研究報告

### (1)目的・趣旨

<背景> 近年、日本やアジアの湿潤地域で、局地的な集中豪雨や地震の発生増加に伴い、甚大な土砂災害が頻発している。地球温暖化により、アジアの湿潤地域は、豪雨の発生頻度の増加が指摘されており、洪水・土砂災害と局地降水およびその背景の気候要因の対応づけを行うことは、温暖化によるリスク評価、被害緩和のために意義がある。世界有数の多雨地帯であるヒマラヤ南斜面地域で、降水強度と landslides を、定量的な降水量観測値に基づき比較した例は、ほとんどない。Petley et al. (2007) は南アジアモンスーン降水とネパールの landslide 発生数および死者数に、驚くべきことに負の相関がある、と指摘しているが、この「モンスーン降水」とはインド総降水量 (AIMR) で、それとヒマラヤ地域に負の相関があることは、モンスーン気象学者には知られている。Petley らが現地の降水と landslide の関係の議論に踏み込めていないのは、現地降水データの利用が難しかったと考えられる。

<目的>そこで、本研究は、代表者らがアルゴリズムを構築した APHRODITE の手法で、ネパールを中心とするヒマラヤ地域の降水グリッドデータを作成し、landslides 等の災害データと対比させること、また気象学的背景と比較することを目的とする。

### (2)研究経過の概要

1 年目 5 月の地球惑星科学連合大会 (JpGU) にて、上記のように背景論文を執筆された David Petey 氏と面識を持ち、意見交換できた。それを契機に 1 年目 (2016 年) 夏季に Petley 氏の所属する英国イーストアングリア大にて、Petley 教授および research associate の Melanie Froude 博士と研究の意見交換を行い、彼らのインターネットニュースに基づくネパールの landslide データをいただき、弘前大学学部 4 年の学生 2 名と共に解析を行い、以降定期的に Petley 氏、Froude 氏と Skype で意見交換をつづけた。また本共同研究の枠組みで 2016, 2017 年秋に、landslide の現場の調査や、降水データ整備のためネパール水文気象局 (DHM)

を、学生らと訪問できた。代表者(谷田貝)らが作成するネパールの山岳効果を表現した日降水量グリッドデータ (APHRODITE) と、Petley 氏による landslide 情報という、2つのしっかりした広域データの照合は、非常に意味があると双方とも考え、インパクトファクターの高い雑誌への投稿を準備している。

### (3)研究成果の概要

活発な地殻変動により隆起したヒマラヤ山脈中央部に位置するネパールは landslide 災害が発生しやすい国である。ネパールにはこの landslide により多くの死者や大きな経済的損失がもたらされている。特にネパールの丘陵地域では landslide が多く発生し、人口も多いため landslide による死者も多い。また、南アジア夏季モンスーンの影響により landslide が多く発生していることは明らかである。本研究期間である 2004 年から 2015 年において、ネパールで発生した死者を伴う landslide 数のうち降水によるもの数は 80%以上であり、降水による landslide 数のうち 90%以上が南アジア夏季モンスーン季である 6 月から 9 月に発生している。このようにネパールでは降水による landslide が多く発生しているにもかかわらず、ネパールの landslide と現地の降水を比較した研究はほとんど無い。そこで我々は、ネパールで死者を伴う landslide 災害記録と雨量計に基づく日降水量グリッドデータ(APHRODITE)との比較を試みた。

降水による死者を伴う landslide 数と降水量を年ごとにみると、降水量に landslide 数が必ずしも比例しているとは限らなかったが、季節ごとにみると、6 月から 9 月に landslide 数も降水量も多かった。次に地域ごとにみると、降水の強いところは主に南北に 2 本の降雨帯となっており、北側はヒマラヤ山脈の南斜面、南側はマハーバーラト山脈の南斜面である。landslide は北側の降雨帯の分布とよく一致している。これに対し、マハーバーラトはヒマラヤに匹敵するだけの降水があるが、landslide は多くない。また、西部開発区域の丘陵地域では年間約 3,500 mm から 5,500 mm の降水があり、他の地域と比較しても降水量が多く、この地域では landslide も多く発生している。逆に西部開発区域の山岳地域では年間約 500 mm 程度の降水量であり、landslide 数も少ない。さらに詳しくみるために、6 月から 9 月の降水による landslide と降水に焦点を当て、ネパールを 15 地域に分類をし、その地域ごとに領域平均した日降水量を求めた。求めた日降水量から 2 日間連続降水量を定義し、その降水強度ごとに分類し、landslide 発生確率を求めた。その結果、特に極西部開発区域の山岳地域と丘陵地域、中西部開発区域の丘陵地域、中部開発区域の丘陵地域で降水量が多いとき、landslide 発生確率が高かった。これらの地域では 100~(mm/2days)の降水量で landslide 発生確率が 50%以上と高いため、降水が多いとき、特に landslide 災害に注意が必要である。また、少ない降水でも landslide が発生している地域があったが、多くの地域では降水量が多いほど landslide 発生確率は高かった。

地球温暖化によりアジアの湿潤地域は、豪雨の発生頻度が増加傾向にあると指摘されている。そこでモンスーン期における降水と洪水や landslide 災害の気象要因を対応付けることは重要であり、温暖化が進行するにあたってのリスク評価、災害予測、被害緩和のために意義がある。

我々は、ネパール現地の降水の時間空間構造と landslide 災害の対応を、日降水量グリッドデータ(APHRODITE)を用い調査した。基本統計に加えて、主成分分析によりモンスーン降水のパターンを明らかにした上で、Petley ほか(2007)で使用されている南アジアモンスーンインデックス(SASMI)を用い、landslide 災害との対応性を考察した。SASMI とネパール降水には多くの地域で有意な負の相関がみられた。7月の SASMI が minus のときネパール上に強い水蒸気フラックス収束場が発達し降水量が多くなり、850 hPa 面の風の場合にはネパールに多くの風が吹き込まれているのが発見された。

主成分分析では降水パターンが主に 3 つに分類され、その中でも気象場との対応が良かった EOF1 と EOF2 の降水パターンを用いて 7 月の降水パターンを解析した。ネパール降水と主成分分析で算出された主成分得点の相関は EOF1 ではネパール全体で正の相関、EOF2 ではネパールの西部で負の相関、東部で正の相関となった。解析した結果、ネパール降水が多くなる時は EOF1 では主成分得点が plus のとき、EOF2 では minus のときであり、共にネパール上に強い水蒸気フラックス収束場が存在し、850 hPa 面の風の場合にはネパールに吹き込む風が多くなっているという共通点が見られた。

このように 7 月では降水が多くなるパターンは本研究では 3 つ発見され、2004 から 2014 年にかけての 7 月 landslide 災害分布の集中するところがおおむね災害地域に重なり、降水が卓越する地域では landslide 災害が頻繁に起きていることが明らかになった。

(4)研究成果の公表

【論文】

Tsou C.-Y., M. Chigira, D. Higaki, G. Sato, H. Yagi, H. P. Sato, A. Wakai, V. Dangol, S. C. Amatya, A. Yatagai (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.org/10.1007/s10346-017-0913-9.

谷田貝亜紀代・鈴木隆太郎・安藤千晶・Melanie Froude・David Petley・増田南波・千木良雅弘(2018): Nepal Landslide をもたらしやすしい monsoon 循環, 京都大学防災研究所年報 (印刷中)

【学会発表】

谷田貝亜紀代, 安藤 千晶, 鈴木 隆太郎, David Petley, Melanie Froude : 日本気象学会 2017 年度春季大会 (東京), 2017, 「ヒマラヤ山岳域の landslide 災害への局地的降水影響の評価 (続報)」

増田南波 : 日本気象学会 2017 年度春季大会(東京), 2017, 「日本における日降水グリッドデータの風による捕捉損失の補正」

Minami Masuda, Akiyo Yatagai, Kenji Kamiguchi, Kenji Tanaka : Third International Conference on Mountain Hydrology and Meteorology, Kathmandu, Nepal, April, 2017, “Daily adjustment of daily gridded precipitation in Japan”.

Akiyo YATAGAI, Petley David, Froude Melanie, Ryutaro SUZUKI, Chiaki ANDO, Masahiro CHIGIRA : JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari, Chiba, 2017, “Application of the high-resolution APHRODITE precipitation product to rainfall-triggered fatal landslide occurrence in Nepal”.

Yutaka KUROSAKI, Akiyo YATAGAI, Atsuko SUGIMOTO : JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari, Chiba, 2017, “An analysis of the atmospheric circulation around the Tibetan Plateau revealed by the stable isotope in precipitation—A case study of GEWEX-GAME/Tibet in 1998”.

Yatagai, A., M. Froude, D. Petley, R. Suzuki, C. Ando, 2017: On the Relationship between the Monsoon Rainfall Reveled by the High-Resolution Daily Precipitation Product APHRODITE and Landslides in Nepal, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), Singapore, 6-11 August, 2017.

Yatagai, A., V. Kumar, T. N. Krishnamurti, 2017: Development of Precise Precipitation Data for Assessing the Potential Impacts of Climate Change for Middle East and Africa, IAMAS/IAPSO/IAGA, Cape Town, South Africa, 27 August-1 September, 2017.

増田南波, 谷田貝亜紀代, 上口賢治, 田中賢治 : 平成 29 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2018, 「日本における日降水グリッドデータの捕捉率補正」

谷田貝亜紀代, 増田南波, 上口賢治, Kumar Sunil, 安富奈津子, 前田未央 : JpGU 2018, Makuhari, Chiba, 2018, “Improving APHRODITE algorithm for assessing precipitation extremes – Check End of the Day –”.

増田南波, 谷田貝亜紀代, 上口賢治, 田中賢治 : JpGU 2018, Makuhari, Chiba, 2018, “Daily adjustment for the wind-induced precipitation undercatch of daily gridded precipitation in Japan”.