

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32704

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16287

研究課題名(和文) 台風・温帯低気圧による豪雨頻度と土砂生産量との関係、および地球温暖化の影響の評価

研究課題名(英文) Assessment of the relationships between rainfall frequency caused by typhoons and tropical storms, sediment yields, and the effect of global warming

研究代表者

齋藤 仁 (Saito, Hitoshi)

関東学院大学・経済学部・准教授

研究者番号：00709628

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：日本と台湾を対象に、台風と温帯低気圧に伴う豪雨頻度と、斜面崩壊の発生、土砂生産量との関係を分析した。また、解析雨量を用いた確率降水量データベースを構築した。近年発生した豪雨に伴う斜面崩壊事例からは、それぞれ特徴的な降雨パターンが示された。また熊本県阿蘇地域では、再現期間20年程度の降雨イベントにより、潜在的に 100,000 m³/km² オーダーの土砂生産と流出が発生することが示唆された。台湾において斜面崩壊が発生した豪雨の多くは台風により発生していた。また大規模な斜面崩壊の発生が流域の土砂生産量に貢献していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study analyzed the relationships between heavy rainfall frequency caused by typhoons and frontal storms, landslide occurrences, and the sediment yields in Japan and Taiwan. We produced a probable hourly precipitation dataset. Our results showed the characteristics of rainfall types for recent landslide related rainfall events. This study also showed potential sediment yields as an order of 100,000 m³/km² due to a single rainfall event at the Aso Volcano region. Most landslide related rainfall events in Taiwan were caused by typhoon. The high proportion of large landslides in Taiwan contributes significantly to the high annual sediment yield.

研究分野：地理学

キーワード：斜面崩壊 降雨 土砂生産量 日本列島 台湾

1. 研究開始当初の背景

斜面崩壊の発生は土砂災害として世界各地で毎年多くの被害を出しており、また山地における主要な土砂生産プロセスの一つである。斜面崩壊の予測や危険度評価のために、斜面が不安定化するメカニズムの解析、誘因となる豪雨や地震などの解析が行われてきた。その中でも、特に豪雨による斜面崩壊は毎年世界各地で頻りに発生しており、斜面崩壊を発生させる雨量の閾値を解析する研究が多数行われてきた。これまでに申請者は、日本列島を対象として、斜面崩壊の発生と地形・地質との関係、および雨量の閾値を広域的に明らかにしてきた。その際には、地理情報システム (GIS) やデータマイニング手法を用いて、広域からの大量のデータを定量的に解析してきた。特に、Saito et al., (2014, Geology) では、日本列島における斜面崩壊の発生と降雨イベントとの関係を解析し、台風と温帯低気圧の両方が斜面崩壊の発生に寄与していることを示した。

しかし、斜面崩壊の発生と、その場所の台風 (熱帯低気圧) と温帯低気圧に伴う豪雨頻度、また斜面崩壊の規模 - 頻度について、関係性を分析した研究は現在までのところ多くない。日本と同じ湿潤変動帯である台湾において、豪雨頻度が土砂生産に与える影響について、いくつか研究が行われているのみである。現在の気候下での台風・温帯低気圧による豪雨頻度と斜面崩壊の発生および土砂生産量との関係が明らかになれば、今後の地球温暖化が与える影響を定量的に評価することが可能といえる。以上が、研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、湿潤変動帯である日本列島と台湾を対象として、台風と温帯低気圧に伴う豪雨の発生頻度と斜面崩壊の発生との関係、および土砂生産量との関係を解析することである。また、地球温暖化が豪雨の規模と斜面崩壊の発生に与える影響を広域的に明らかにすることが目的である。

具体的には、台風と温帯低気圧とによる降雨イベントの特徴・違いに注目し、これらの豪雨の発生頻度から斜面崩壊の発生および土砂生産量との関係を分析する。また地球温暖化が山地の土砂生産に与える影響を評価する。そして日本から台湾にかけての地域で解析結果を比較・検討し、地域性・季節性を地形学・地質学、気候学的観点から考察する。

3. 研究の方法

本研究では日本と台湾を対象として、降雨に伴う斜面崩壊事例を収集し、斜面崩壊の発生と雨量、豪雨頻度との関係、および土砂生産量を分析した。解析に用いる斜面崩壊データは、災害報告書などの各種資料、空中写真、衛星画像、現地調査などを通じて収集した。特に近年発生した大規模な土砂災害事例も

対象とした。

雨量データは、気象庁のアメダスと解析雨量、及び台湾中央気象局の地上雨量計データを使用した。なお台湾の気象レーダーデータは、利用することが出来なかった。

得られたデータを基に、降雨イベントとその頻度、また斜面崩壊の規模 - 頻度との関係を、総降雨量、雨量強度、降雨継続時間、土壌雨量指数等の指標を用いて解析した。次に地形計測や土砂生産量データを用いて、斜面崩壊に伴う土砂生産量について検討した。そして、IPCC (2013) による地球温暖化シナリオに基づき、将来の降雨の規模の変化を分析した。

4. 研究成果

4. 1 日本

豪雨の発生頻度の空間分布を明らかにするために、気象庁の解析雨量 (1988 ~ 2013, 5km グリッド) を用いて、日本列島の確率降水量・確率土壌雨量指数データベースを構築した (Saito and Matsuyama, 2015) [雑誌論文]。その際には、グンベル分布と一般化極値分布の確率分布に基づき、ジャックナイフ法により計算した。その結果、例えば、グンベル分布による 1 時間降水量の 50 年確率値と土壌雨量指数の 50 年確率値からは、緯度方向に大きな違いが見られた。具体的には、50 年確率値は緯度方向に漸増し、特に西南日本の太平洋側で値が大きくなるのが定量的に明らかとなった。一般化極値分布に基づく結果でも同様の分布が得られた。

近年発生した台風と温帯低気圧に伴う大規模な豪雨・土砂災害について、降雨イベントの特徴の違いや土砂生産量に注目して詳細な分析を行った (Saito et al., 2018 [雑誌論文]; 齋藤ほか 2016 [雑誌論文]; 齋藤・松山, 2016 [雑誌論文])。具体的には、温帯低気圧に伴う事例として、2012 年 7 月九州北部豪雨による熊本県阿蘇市での土砂災害、2014 年 8 月豪雨による広島県広島市と長野県南木曾町での土砂災害である。また台風に伴う事例として、2013 年台風第 26 号による東京都大島町 (伊豆大島) での土砂災害を分析した。これらの土砂災害事例について、斜面崩壊の発生と降雨の再現期間、及び特徴的な降雨タイプを分析した。ここでは、2 種類の降雨タイプ (短時間集中 (SH) 型と長時間継続 (LL) 型) に注目した。

その結果、2012 年 7 月九州北部豪雨に伴う熊本県阿蘇市での事例は、SH 型として短時間の強い雨が引き金となり、斜面崩壊が発生したものであった。最大 1 時間降水量の再現期間は 20 年程度であった。2013 年東京都大島町での事例は、再現期間 100 年以上の降雨により SH 型として斜面崩壊が発生しやすい降雨パターンであった。2014 年長野県南木曾町の斜面崩壊の発生は、LL 型の降雨タイプとして先行降雨も影響していた。また、引き金となった豪雨の再現期間は 30 年程度であ

った。2014年広島県広島市での土砂災害事例は、2時間~3時間雨量がこの地域において非常に大きな値(計算上の再現期間は1000年以上)であり、加えてLL型の降雨パターンとして先行降雨も影響していた。また、降雨の再現期間と2種類の降雨パターンを分析することで、事前に斜面崩壊が発生しやすい降雨パターンの特徴を把握可能であったと考えられた。この成果は、今後の防災情報へ応用できると言える。

2012年7月九州北部豪雨に伴う熊本県阿蘇市での事例について、詳細な地形計測に伴う土砂生産量を推定した。その結果、中央火口丘の仙酔峡地域における土砂生産量は、 $1.2\text{--}4.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ であった。また過去の事例解析からも、阿蘇地域では再現期間20年程度の降雨イベントにより、潜在的に同様の規模の土砂生産が起こりうることを示唆された。

地球温暖化の影響を評価するために、MIROC5のRCP8.5排出シナリオによる計算結果を用いて今後の降水量の変化を分析した。その結果、西日本太平洋側や九州では今後の豪雨の頻度が増加することが示された。豪雨頻度が増大すれば、発生する斜面崩壊の頻度や規模も増加することが考えられ、今後は豪雨頻度の増大を想定した流域土砂管理や土砂災害対策が課題と言える。一方で、地球温暖化の予測は時空間的に不確実性が大きく、今後の研究の進展により予測結果が変わることも考えられる。将来の斜面崩壊リスク評価には、最新の知見を基に継続的に見直すことが課題である。

4.2 台湾

2006年~2012年に降雨に伴い発生した斜面崩壊(263事例)と雨量との関係进行分析し、斜面崩壊が発生する基準線(平均雨量強度(I , mm/h)と降雨継続時間(D , h), I-D基準線)を推定した。I-D基準線はこれまでに世界各地で推定されており、台湾において斜面崩壊が発生する雨量を世界各地と比較する際に有用である。その結果、

$$I = 18.10(\pm 2.67) * D^{-0.17(\pm 0.04)}$$

が得られた。また斜面崩壊が発生した場所の年間降水量で平均雨量強度を基準化(I_{MAP})すると、

$$I_{MAP} = 0.0060(\pm 0.0009) * D^{-0.17(\pm 0.04)}$$

であった。同様の先行研究と比較すると、台湾は斜面崩壊が発生しやすい地域であることが示された(Chen et al., 2015)[雑誌論文]。

263事例について降雨パターンの特徴を検討したところ、120事例がSH型、143事例がLL型の降雨パターンであった。日本と同様に、台湾においても2種類の降雨タイプを分析することで、事前に斜面崩壊が発生しやすい降雨パターンの特徴を把握可能であったと言える(Chen et al., 2017a)[雑誌論文]。

斜面崩壊の規模が判明している172事例について、斜面崩壊の規模・頻度と雨量との関

係を分析した。その結果、大規模な深層崩壊は降雨継続時間の長い降雨イベント(26.5~62.5 h, 11.5~31.0 mm/h)で発生していた。一方で、規模の小さい表層崩壊は、短期、長期いずれの降雨イベント(4.0~62.5 h, 8.5~31.0 mm/h)でも発生していた。また、斜面崩壊の規模・頻度との関係はべき乗則に従っていたが、大規模な斜面崩壊の割合が大きい特徴があった。つまり、台湾では世界の他の地域と比較しても大規模な斜面崩壊が特に多く発生していることが示された(Chen et al., 2017b)[雑誌論文]。

台湾では、豪雨の多くが台風に伴うものであった。過去14件の台風イベントについて台湾の17流域を対象に、雨量、斜面崩壊、土砂生産量との関係进行分析した。その結果、雨量と土砂生産量との関係には正の相関がみられた。降雨指標の中でも、特に累積雨量が多くなるほど土砂生産量が多くなることが明らかとなった。また、流域の斜面崩壊発生率と土砂生産量にも正の相関が見られた。特に、大規模な斜面崩壊の発生が流域の土砂生産量に貢献していることが明らかとなった(Chen et al., 2018)[雑誌論文]。

台湾では長期の雨量データ不足から、日本と同様に降雨の発生頻度の空間分布を明らかにするには至らなかった。また地球温暖化が豪雨の発生頻度に与える影響についても、分析することが出来なかった。これらは今後の課題である。また、地球温暖化に伴う将来の斜面崩壊リスク評価のために、本研究での個別的分析データを統合し、台湾と日本を一連の地域として捉えて網羅的に分析することが課題である。

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 12件)

Saito, H., Uchiyama, S., Hayakawa Y. S. and Obanawa, H. 2018. Landslides triggered by an earthquake and heavy rainfalls at Aso volcano, Japan, detected by UAS and SfM-MVS photogrammetry. Progress in Earth and Planetary Science 5:15 (doi:10.1186/s40645-018-0169-6). 査読有

Chen, C.W., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S., Saito, H., Chen, H., Lin, G.W., Wei, L.W., Chao, Y.C., and Cheng, C.T. 2018. Sediment yield during typhoon events in relation to landslides, rainfall, and catchment areas in Taiwan. Geomorphology 303, 540-548 (10.1016/j.geomorph.2017.11.007). 査読有

Mondini, A.C., Chang, K.T., Chiang, S.H., Schlögel, R., Notarnicola, C., and Saito, H. 2017. Automatic mapping of event landslides

at basin scale in Taiwan using a Montecarlo approach and synthetic land cover fingerprints. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 63, 112–121 (doi:10.1016/j.jag.2017.07.016). 査読有

Chen, C.W., Saito, H., and Oguchi, T. 2017a. Analyzing rainfall-induced mass movements in Taiwan using the soil water index. *Landslides* 14, 1031-1041 (doi:10.1007/s10346-016-0788-1). 査読有

Chen, C.W., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S., Saito, H., and Chen, H. 2017b. Relationship between landslide size and rainfall conditions in Taiwan. *Landslides* 14, 1235-1240 (doi:10.1007/s10346-016-0790-7). 査読有

Saito, H., Murakami, W., Daimaru, H., and Oguchi, T. 2017. Effect of forest clear-cutting on landslide occurrences: Analysis of rainfall thresholds at Mt. Ichifusa, Japan. *Geomorphology* 276, 1-7 (doi:10.1016/j.geomorph.2016.09.024). 査読有

齋藤 仁, 内山庄一郎, 小花和宏之, 早川裕式 2016. 平成 24 年(2012 年) 7 月九州北部豪雨に伴う阿蘇火山地域での土砂生産量の推定 -UAV と SfM 多視点ステレオ写真測量を用いた高精細地形データの活用-. *地理学評論* 89, 347-359. 査読有

早川裕式, 小花和宏之, 齋藤 仁, 内山庄一郎 2016. SfM 多視点ステレオ写真測量の地形学的応用. *地形*, 37, 321-343. 査読有

齋藤 仁, 松山 洋 2016. 斜面崩壊の発生と雨量の再現期間, および 2 種類の降雨パターンとの関係 2013 年~2014 年の災害を事例に. *経済系: 関東学院大学経済学会研究論集* 266: 15-28. 査読有

Saito, H., and Matsuyama, H. 2015. Probable Hourly Precipitation and Soil Water Index for 50-yr Recurrence Interval over the Japanese Archipelago. *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)* 11, 118-123 (doi:10.2151/sola.2015-028). 査読有

齋藤 仁 2015. 地すべりの広域的解析における地理情報システム(GIS) の応用. 苅谷ほか「地理学からみる日本アルプスの大規模地すべり」. *E-journal GEO* 10(1), 1-5. 査読有

Chen, C.W., Saito, H., and Oguchi, T. 2015.

Rainfall intensity-duration conditions for mass movements in Taiwan. *Progress in Earth and Planetary Science* 2:14, (doi:10.1186/s40645-015-0049-2). 査読有

[学会発表](計 17 件)

羽田康孝・小口 高・早川裕式・齋藤 仁 2017. 熊本県阿蘇地域における多時期の高密度点群データを用いた斜面崩壊の地形解析. 東京大学空間情報科学研究センター CSIS DAYS 2017 「全国共同利用研究発表大会」研究アブストラクト集 A05, 11 月, 東京大学.

Haneda, Y., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S., and Saito, H. 2017. Time series analysis of TLS-derived point clouds for shallow landslides in Aso region, Kumamoto, Japan. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, H-TT19, May, Makuhari, Japan.

Chen, C.W., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S., Saito, H., Chen, H., Lin, G.W., and Wei, L.W. 2017. Sediment yields during typhoon events in Taiwan. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, H-TT20,, May, Makuhari, Japan.

齋藤 仁・内山庄一郎・小花和宏之・早川裕式 2017. 多時期の高精細地形データを用いた斜面崩壊に伴う土砂生産量の計測. 第 8 回 GIS-Landslide 研究集会および第 4 回高解像度地形情報シンポジウム発表要旨集 No. 7, 2 月, 柏.

齋藤 仁, 内山庄一郎, 小花和宏之, 早川裕式 2016. 平成 28 年熊本地震に伴う斜面崩壊の高精細地形解析. 東京大学空間情報科学研究センター CSIS DAYS 2016 「全国共同利用研究発表大会」研究アブストラクト集 A05, 11 月, 東京大学.

齋藤 仁, 内山庄一郎, 小花和宏之, 早川裕式 2016. 豪雨と地震に伴う阿蘇火山・仙酔峡での斜面崩壊 - UAV と SfM 多視点ステレオ写真測量を用いて -. *日本地理学会 2015 年秋季学術大会発表要旨集* 90, 9 月, 東北大学.

齋藤 仁, 内山庄一郎, 小花和宏之, 早川裕式 2016. 平成 24 年 7 月九州北部豪雨に伴う阿蘇火山の表層崩壊 UAV と SfM 多視点ステレオ写真測量を用いて -. *2016 年度日本地すべり学会研究発表会発表要旨集*, 8 月, 高知県立県民文化ホール.

Saito, H., Uchiyama, S., Obanawa, H., and Hayakawa, Y.S., 2016. High-definition topography applied to landslide hazard assessment around Aso volcano. *Japan*

Geoscience Union Meeting 2016: HTT08-04, May, Makuhari, Japan.

Saito, H., Uchida, T., Matsuyama, H. and Korup, O. 2015. Landslide occurrences and recurrence intervals of heavy rainfalls in Japan. AGU Fall Meeting, December, San Francisco, U.S.A.

Saito, H., Obanawa, H., Josaphat T.S.S., Uchiyama, S., and Hayakawa, S.Y., 2015. Application of high definition data for analysis of topographic and vegetation changes using UAVs and SfM photogrammetry -A case study of shallow landslides around Mt. Aso-. Abstracts of the 23rd CEReS International Symposium: p.76, December, Chiba, Japan.

Mondini, C.A., Chiang, S.H., Chang, K.T., Notarnicola, C., Chinellato, G., Schlögel, R., and Saito, H. 2015. Remotely sensed spectral signatures library for semi-automatic event landslide recognition and mapping. International Symposium on Remote Sensing 2015: 19, April, Tainan, Taiwan.

齋藤 仁 2015 .地すべりの広域的解析における地理情報システム (GIS) の応用 . 日本地理学会 2015 年春季学術大会発表要旨集 87: 25 , 3 月, 日本大学 .

齋藤 仁 , 松山 洋 2015. 日本列島の確率降水量と確率土壌雨量指数 . 2015 年度東京大学空間情報科学研究センター「全国共同利用研究発表大会」(CSIS DAYS 2015)研究アブストラクト集 A05, 11 月, 東京大学.

齋藤 仁 , 松山 洋 2015. 日本列島における再現期間 50 年の 1 時間降水量と土壌雨量指数 . 日本地理学会 2015 年秋季学術大会発表要旨集 88 , 9 月, 愛媛大学 .

齋藤 仁 , 松山 洋 , 内田太郎 2015 . 日本列島における斜面崩壊発生と豪雨の再現期間との関係 . 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 HDS25-07, 5 月, 幕張メッセ.

大丸裕武 , 村上 亘 , 齋藤 仁 . 2015 . 1971 年に福島県川内村で発生した表層崩壊の背景 . 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 HSC24-P01, 5 月, 幕張メッセ.

村上 亘 , 大丸裕武 , 齋藤 仁 . 2015 . 長野県南木曾地域における 1959 年伊勢湾台風による風倒被害とその後に発生し

た斜面崩壊の関係について . 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 HDS25-P11, 5 月, 幕張メッセ.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
○出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ
Hitoshi Saito website:
<http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/~saito/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

齋藤 仁 (Hitoshi SAITO)
関東学院大学・経済学部・准教授
研究者番号 : 00709628