

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282080

研究課題名(和文)50年確率値を用いた土砂災害発生危険度の評価-土壌雨量指数と1時間雨量を用いて-

研究課題名(英文)Landslide susceptibility evaluated by 1-in-50yr values of Soil Water Index and hourly precipitation

研究代表者

松山 洋(MATSUYAMA, Hiroshi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：50264586

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,300,000円

研究成果の概要(和文)：土砂災害発生時の降雨の状況を、1時間雨量(短時間雨量の指標)と土壌雨量指数(3段のタンクモデルに1時間雨量を与えて計算される地中の水分量で、長期間の雨量の指標)を用いて調べた。まず、全国を対象に1時間雨量と土壌雨量指数の50年確率値の分布を求めた。次に、2006～2008年における全国の土砂災害発生事例を対象として、土砂災害発生時における1時間雨量と土壌雨量指数の関係について調べた。全816事例のうち806事例は、1時間雨量と土壌雨量指数の両方が50年確率値よりも小さい時に発生していた。このことは、土砂災害発生危険性の評価を一から見直す契機になる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：We investigated rainfall conditions of the occurrence of landslides by using hourly precipitation (an index of short-term precipitation) and Soil Water Index (SWI, an index of long-term precipitation that is calculated by inputting hourly precipitation data to the three-stage tank model). At first, we respectively obtained the spatial distribution of 1-in-50yr hourly precipitation and 1-in-50yr SWI throughout Japan. Next, we investigated the relationship between hourly precipitation and SWI when landslides occurred in 2006-2008. Among all 816 cases, 806 landslides occurred when both hourly precipitation and SWI were smaller than respective 1-in-50yr values. Namely, the findings of this study might make us to re-consider the landslide susceptibility in Japan.

研究分野：水文気象学，地理情報科学

キーワード：土壌雨量指数 1時間雨量 解析雨量 土砂災害 CL (Critical Line) 九州北部豪雨 無人航空機
空中三角測量

1. 研究開始当初の背景

気象庁は、2013年8月から大雨の「特別警報」の発表を始めた。齋藤ほか(2013(文献6))によれば、「特別警報」は損壊家屋等1,000棟以上、または浸水家屋10,000棟以上が予想される際に発表される。「特別警報」は、5kmメッシュの解析雨量(レーダー・アメダス解析雨量)を用いて、48時間降水量、土壌雨量指数、流域雨量指数が計算され、これら3つの指標のうちいずれかが50年確率値を超える格子数50以上になった時に発表される。

「50年確率値を超える格子数が50以上になる」というのは、確かに、「直ちに命を守る行動を取らなければならない」大雨である。しかしながら、大雨の局地性を考えると、格子数が50に満たない段階であってもそのような行動を取らなければならない場合がある(例:2013年10月16日の伊豆大島での土砂災害)。そして、自主的に判断するためには、「特別警報」が発令されるより早い段階で、自分がいる場所の危険性について把握する必要がある。

そもそも、土砂災害が発生するかどうかは、長期間の雨量(ここでは土壌雨量指数、1時間雨量を3段のタンクモデルに与えて計算される地中の水分量の指標、岡田ほか、2001(文献3))と短期間の雨量(ここでは1時間雨量)の組み合わせによって判定される(図1)。一般的には、まず、土砂災害が発生した事例と発生しなかった事例の雨量データを集め、両者を分ける曲線(CL)を引く。次に、1時間ごとに長期間の雨量と短期間の雨量の散布図を作成してこれらを線分で結ぶ。これをSnake Line(SL)と呼ぶ。SLがCLを越える(原点に対してSLがCLの外側に出る)時が、土砂災害が発生する危険性の高い状況である。しかしながら、CLとSLを用いた方法には以下のような問題点がある。

- (1) この方法は、これまで土砂災害が発生しなかった場所には適用できない。
- (2) 国土交通省河川局砂防部ほか(2005(文献2))によれば、「CLを設定するためには国土技術政策総合研究所砂防研究室が提供するRBFNプログラムを使用することとする」とあるが、同研究室ではRBFNプログラムを提供していない。
- (3) 長期間の雨量もしくは短期間の雨量のいずれかが50年確率値を超える時に土砂災害が発生する危険性が高まるが、図1にあるように、両者とも50年確率値を超えない段階で、SLがCLを越える場合もある。

このように、従来の研究にはここで述べたような問題があったが、代表者たちがこれまでの研究で使用したデータやノウハウ、および新たなアイデアを用いれば、これらの問題は解決可能であった。以上が、研究開始当初の背景である。

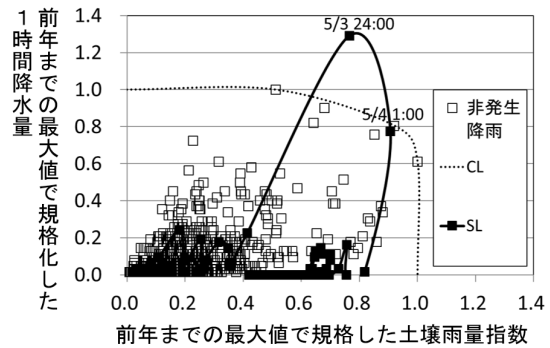


図1: 1988年5月3~4日にかけて高森(熊本県)で土砂災害が発生した時におけるSnake Line(SL, 実線)と土砂災害が発生するかないかの閾値(CL, 点線)。横軸は土壌雨量指数、縦軸は1時間雨量であり、いずれも前年までの最大値で正規化してある。個々のプロットは1978~1987年における一雨期間中の1時間雨量と土壌雨量指数の最大値である。なお、一雨期間とは24時間の無降水期間で分離される降水イベント(気象庁統計課, 1960(文献1))である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、2006~2008年における日本全国の土砂災害発生事例(発生場所と日時)が明らかになっている。Saito et al., 2010a(文献4)、2010b(文献5))に対して、図1のようなCLとSLの散布図を作成し、以下の2点について検討することであった。

- (1) 図1のCLは、その前年(カレンダー年)までの「土砂災害非発生事例の降雨イベント」に対する包絡線を、原点から見て上が凸になるように引いている。これは上述した1(1)で挙げた問題を解決することになるが、この方針でよいか確認する。
- (2) 代表者たちがレーダー・アメダス解析雨量とともに受信している、6時間先までの降水短時間予報を用いて図1のような図を作成し、実際の土砂災害発生状況を再現できているか確認する。

この他、科学研究費補助金を受給していた期間(2014~2017年)に発生した土砂災害発生状況をモニタリングし、その実態について明らかにすることも、本研究の目的であった。

3. 研究の方法

本研究を始めるに際し、上述した2(1)に関しては、2006~2008年のいつ、どこで土砂災害が発生したかが分かっているものの、同じ場所でそれ以前に土砂災害が発生した事例と発生しなかった事例を多数得ることができないと、CLを引けないことに気が付いた。そこで、過去25年間(1989~2013年)の解析雨量(5kmメッシュ)を用いて各格子点における土壌雨量指数を計算し、各格子点にお

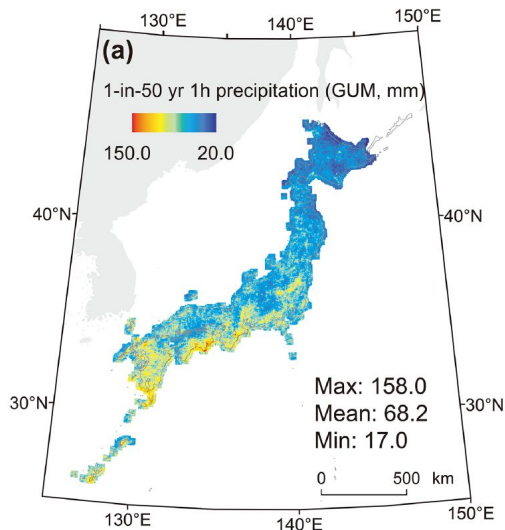


図 2: グンベル分布で求めた 1 時間雨量の 50 年確率値の分布 (Saito and Matsuyama, 2015 (論文) の Fig.3(a)による)

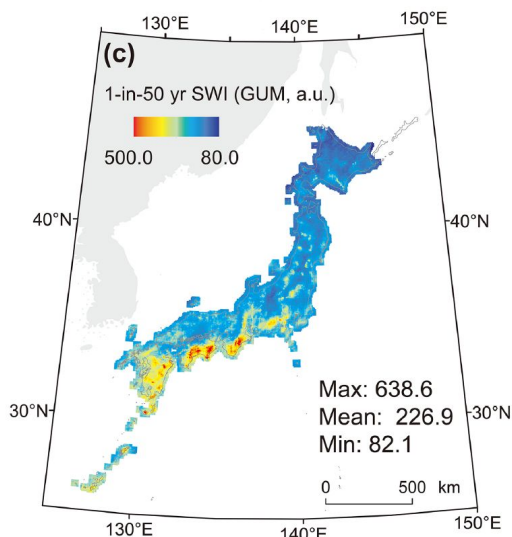


図 3: グンベル分布で求めた土壌雨量指数の 50 年確率値の分布 (Saito and Matsuyama, 2015 (論文) の Fig.3(c)による)

ける 1 時間雨量および土壌雨量指数の 50 年確率値を、グンベル分布および一般化極値分布という確率分布に従って求めた。次に、それぞれの 50 年確率値と 2006~2008 年の土砂災害発生時における 1 時間雨量および土壌雨量指数の値との関係について調べた。これは、「1. 研究開始当初の背景」で述べたように、この方が「特別警報」の発表の基準により近づくと考えたからである。

なお、上述した 2(2) については代表者たちの能力不足で、本研究では明らかにすることができなかった。

4. 研究成果

1 時間雨量の 50 年確率値を図 2 に、土壌雨量指数の 50 年確率値を図 3 に、それぞれ示す (Saito and Matsuyama, 2015 (論文))。

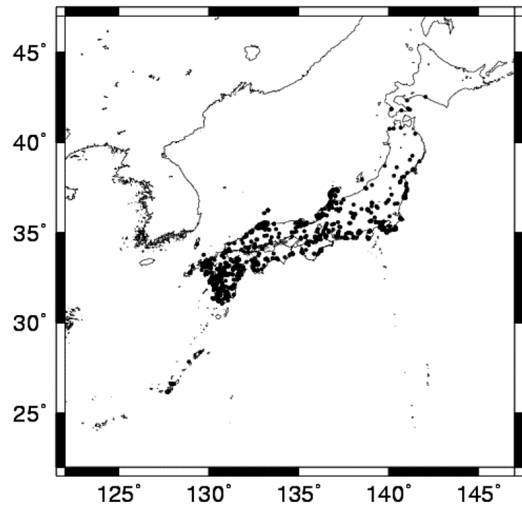


図 4: 2006~2008 年における土砂災害発生地点 (全 816 地点, Saito et al., 2010b のデータを編集)

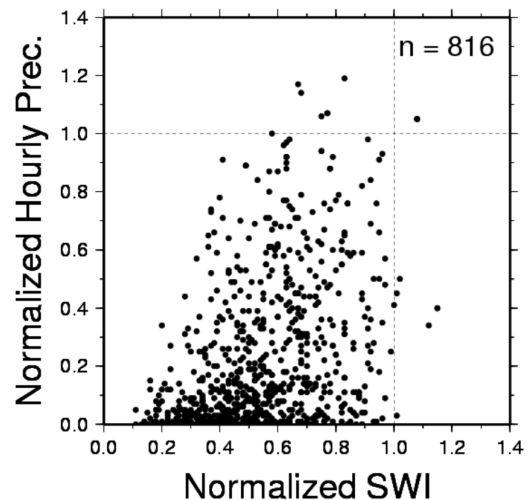


図 5: 1 時間雨量の 50 年確率値 (図 2) および土壌雨量指数の 50 年確率値 (図 3) で正規化した、2006~2008 年の土砂災害発生時における 1 時間雨量と土壌雨量指数の関係

どちらも南北方向に違いがみられ、降水量の多い西南日本の太平洋側で値が大きくなっていることが分かる。なお、一般化極値分布の場合も定性的には同様の分布傾向がみられた。

2006~2008 年における土砂災害発生地点の分布を図 4 に示す。これらは全部で 816 地点あり、その分布は図 2 や図 3 を反映して、東北日本で疎らであり、西南日本に集中していることが分かる。

これら 816 地点において土砂災害が発生した時の 1 時間雨量と土壌雨量指数の関係について示したものが図 5 である。両者はそれぞれ 50 年確率値 (図 2 および図 3) で基準化してある。この図を見ると、大部分の土砂災害は 1 時間雨量および土壌雨量指数の両方が 50 年確率値 (1.0) を超えない時に発生していることが分かる。両者ともに 1.0 を超えてい

るのは1事例, 1時間雨量のみが1.0を超えているのが5事例, 土壌雨量指数のみが1.0を超えているのが4事例であり, 「特別警報」が発表されるのは非常に稀な状況であると言える。

本研究の特色として, 図1や図5のように, 1時間雨量や土壌雨量指数が50年確率値を超えない場合であっても, 土砂災害が発生しうることを実証的に示したことが挙げられる。この学術的意義は大きく, 土砂災害発生危険性の評価を一から見直す契機になる可能性がある。

<引用文献>

1. 気象庁統計課 1960. 「ひと雨」のとり方について. 測候時報 27: 116-124.
2. 国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部・国土交通省国土技術政策総合研究所 2005. 国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法. https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dsk_tebiki_h1706.pdf (2018年5月4日確認).
3. 岡田憲治・牧原康隆・新保明彦・永田和彦・国次雅司・斉藤清 2001. 土壌雨量指数. 天気 48: 349-356.
4. Saito, H., Nakayama, D. and Matsuyama, H. 2010a. Two types of rainfall conditions associated with shallow landslide initiation in Japan as revealed by Normalized Soil Water Index. SOLA 6: 57-60.
5. Saito, H., Nakayama, D. and Matsuyama, H. 2010b. Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity-duration threshold in Japan. Geomorphology 118: 167-175.
6. 齋藤公一滝・太田琢磨・高橋賢一 2013. 50年確率値を活用した記録的な大雨への警戒呼びかけ. 天気 60: 405-411.

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)

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. (査読あり)

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 266: 15-28.

DOI: なし.(査読なし)

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. DOI: なし.(査読あり)

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. DOI: なし.(査読あり)

Saito, H. and Matsuyama, H. 2015. Probable hourly precipitation and Soil Water Index for 50-yr recurrence interval over the Japanese archipelago. SOLA 11: 118-123. DOI: 10.2151/sola.2015-028. (査読あり)

[学会発表](計26件)

羽田康孝・小口 高・早川裕式・齋藤 仁 2017. 地上レーザ測量を用いた平成28年熊本地震による崩壊斜面の時系列解析. 第20回年次シンポジウム(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: 10, 2017年11月30日~12月1日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市). 金田康世・渡邊貴典・松山 洋・宮岡健吾 2017. GPS可降水量に着目した「平成24年7月九州北部豪雨」の事例解析. 日本気象学会 2017年度春季大会講演予稿集 111: 337, 2017年5月25~28日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区).

及川滉介・松山 洋・宮岡健吾 2017. JRA-55 と GPS による可降水量の比較. 日本気象学会 2017年度春季大会講演予稿集 111: 336, 2017年5月25~28日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区).

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. Abstracts of JpGU-AGU Joint Meeting 2017: H-TT19, 2017年5月20~24日, 幕張メッセ(千葉県千葉市).

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. 第19回年次シンポジウム(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: 11, 2016年11月17~18日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

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. 日本地理学会発表要旨集 90: 121, 2016年9月30日~10月1日, 東北大学 川内北キャンパス(宮城県仙台市).

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, 2016年5月22~26日, 幕張メッセ(千葉県千葉市).

Saito, H., Uchida, T., Matsuyama, H. and Korup, O. 2015. Landslide occurrences and recurrence intervals of heavy rainfalls in Japan. AGU Fall Meeting, 2015年12月14~18日, サンフランシスコ(アメリカ合衆国).

Saito, H., Obanawa, H., Josaphat T. S. S., Uchiyama, S. and Hayakawa, Y. S. 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 -. The 23rd CEReS International Symposium, 2015年12月1~2日, 千葉大学(千葉県千葉市).

齋藤 仁・内田太郎・Korup, O.・松山 洋 2015. 日本列島における斜面崩壊発生と確率雨量との関係. 土砂災害予測に関する研究集会: 177-179, 2015年12月3~4日, 防災科学技術研究所(茨城県つくば市).

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. 第18回年次シンポジウム(CSIS DAYS 2015)「全国共同利用研究発表大会」研究アブストラクト集: 11, 2015年11月19~20日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市, **CSIS DAYS 2015 優秀研究発表賞**を受賞).

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. 日本地理学会発表要旨集 88: 131, 2015年9月18~20日, 愛媛大学(愛媛県松山市).

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年大会予稿集: HDS25-0, 2015年5月24~28日, 幕張メッセ(千葉県千葉市).

齋藤 仁・内山庄一郎・小花和宏之・早川裕弐・泉 岳樹・山本遼介・松山 洋 2015. UAVとSfM多視点写真測量を用いた高精細データの取得と地形解析への応用 - 阿蘇山周辺の表層崩壊を対象として -. 日本地理学会発表要旨集 87: 274, 2015年3月28~29日, 国土館大学(東京都世田谷区).

齋藤 仁・小花和宏之・内山庄一郎・早川裕弐・泉 岳樹・山本遼介・松山 洋 2015. UAVとSfM-MVSを用いた斜面崩壊の発生と地形変化に関する解析. 第17回環境リモートセンシングシンポジウム, 2015年2月20日, 千葉大学(千葉県千葉市).

泉 岳樹 2015. 「首都大学東京無人ヘリ災害調査・支援特別班」の活動紹介 - 災害地における無人ヘリ運用の最前線と今後の展望 -. 第6回GIS-Landslide研究集会および第2回高解像度地形情報シンポジウム: P-5, 2015年1月16日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

齋藤 仁・内山庄一郎・小花和宏之・早川裕弐・泉 岳樹・山本遼介・松山 洋 2015. 表層崩壊地における低空空撮画像の取得と地形解析への応用 - 阿蘇山周辺を対象として -. 第6回GIS-Landslide研究集会および第2回高解像度地形情報シンポジウム: M-5, 2015年1月16日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

山本遼介・泉 友紀子・泉 岳樹 2015. 長野県南木曾町の土石流災害地における小型無人ヘリを用いた調査の報告 -. 第6回GIS-Landslide研究集会および第2回高解像度地形情報シンポジウム: P-6, 2015年1月16日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

酒井健吾・山本遼介・泉 友紀子・泉 岳樹 2015. 広島市の土砂災害地における小型無人ヘリを用いた調査の報告 -. 第6回GIS-Landslide研究集会および第2回高解像度地形情報シンポジウム: P-7, 1月, 2015年1月16日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

山本遼介・泉 岳樹 2014. 小型無人ヘリを用いた超高解像度オルソ画像とDSM作成の試み - 長野県南木曾町の土石流災害地を対象に -. 第17回年次シンポジウム(CSIS DAYS 2014)「全国共同利用研究発表大会」研究アブストラクト集: 17, 2014年11月21~22日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

21 泉 岳樹・酒井健吾・山本遼介・泉 友紀子・瓜田真司・笠間俊雄・増田 稔 2014. 発災時の小型無人ヘリの活用に関する試み - 広島市安佐南区の土砂災害地を対象に -. 第17回年次シンポジウム(CSIS DAYS 2014)「全国共同利用研究発表大会」研究アブストラクト集: 15, 2014年11月21~22日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト(千葉県柏市).

22 齋藤 仁・内山庄一郎・早川裕弐・小花

和宏之・泉 岳樹・山本遼介・松山 洋
2014. 阿蘇山周辺における斜面崩壊の
発生と地形変化に関する予察的解析 -
高解像度地形データを用いて - . 第 17
回年次シンポジウム (CSIS DAYS 2014)
「全国共同利用研究発表大会」研究ア
ブストラクト集: 13, 2014 年 11 月 21~22
日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテ
ライト (千葉県柏市).

- 23 山本遼介・泉 岳樹 2014. 小型無人ヘリ
を用いた超高解像度オルソ画像と DSM 作
成の試み - 平成 24 年 7 月九州北部豪雨
による斜面崩壊地を対象として - . 第
23 回地理情報システム学会研究発表大
会梗概集 (CD-ROM): E-6-3, 2014 年 11
月 7~8 日, 中部大学春日井キャンパス
(愛知県春日井市).
- 24 山本遼介・泉 岳樹・松山 洋 2014. 小
型無人ヘリを用いた超高解像度オルソ
画像と DSM 作成の試み - 平成 24 年 7 月
九州北部豪雨による斜面崩壊地を対象
として - . 日本地理学連合 2014 年秋季
大会, 2014 年 10 月 11~12 日, 奈良大学
(奈良県奈良市).
- 25 松山 洋・田中大輔・齋藤 仁 2014. 50
年確率値を用いた土砂災害発生危険度
の評価 - 土壌雨量指数と 1 時間雨量を用
いて - . 水文・水資源学会 2014 年度研
究発表会要旨集: 136-137, 2014 年 9 月
25~27 日, 宮崎グリーンフィア壱番館
(KITEN)(宮崎県宮崎市).
- 26 田中大輔・齋藤 仁・松山 洋 2014. ス
ネーク曲線を用いた平成 24 年九州北部
豪雨の解析 - 50 年確率値を用いて - .
日本気象学会 2014 年度春季大会講演予
稿集 105: 374, 2014 年 5 月 21~24 日,
横浜市開港記念会館・横浜情報文化セン
ター (神奈川県横浜市).

〔図書〕(計 4 件)

松山 洋 2018. 熊本県の気候, 日下博
幸・藤部文昭(編集代表), 吉野正敏・田
林 明・木村富士男編 『日本気候百科』
丸善: 498p.

松山 洋 2018. コラム「世界と日本の気
象記録」. 日下博幸・藤部文昭(編集代
表), 吉野正敏・田林 明・木村富士男編
『日本気候百科』丸善: 498p.

泉 岳樹・松山 洋 2017. 『卒論・修論の
ための自然地理学フィールド調査』古今
書院: 120p.

松山 洋編 2017. 『地図学の聖地を訪ね
て - 地形図片手にたどる測量の原点と
地理教科書ゆかりの地 - 』二宮書店:
102p.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等: なし

雑誌論文, 学会発表, 図書に当たらない発表
論文等 (計 4 件)

齋藤 仁 2017. 小型 UAV (無人航空機)
と SfM-MVS (Structure from Motion and
Multi View Stereo) 写真測量を用いた
斜面崩壊地の地形変化と植生変化抽出
に関する研究. 千葉大学環境リモート
センシング研究センター年報 22: 64.
(査読なし)

齋藤 仁・内山庄一郎・小花和宏之・早
川佑弼・J. T. スリ スマンティヨ 2017.
阿蘇山・仙酔峡における斜面崩壊の高精
細地形解析. 第 19 回 CEReS 環境リモ
ートセンシングシンポジウム資料集: 2-4.
(査読なし)

齋藤 仁 2015. 小型 UAV (無人航空機)
と SfM (Structure from Motion) を用い
た斜面崩壊地の地形変化と植生変化に
関する研究. 千葉大学環境リモートセ
ンシング研究センター年報 20: 56-58.
(査読なし)

齋藤 仁・小花和宏之・内山庄一郎・早
川佑弼・泉 岳樹・山本遼介・松山 洋
2015. UAV と SfM-MVS を用いた斜面崩壊
の発生と地形変化に関する解析. 第 17
回環境リモートセンシングシンポジウ
ム資料集: 40-42. (査読なし)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松山 洋 (MATSUYAMA Hiroshi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授
研究者番号: 50264586

(2) 研究分担者

齋藤 仁 (SAITO Hitoshi)

関東学院大学・経済学部・准教授

研究者番号: 00709628

泉 岳樹 (IZUMI Takeki)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教
研究者番号: 10336513

中山 大地 (NAKAYAMA Daichi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教
研究者番号: 90336511

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし