

# 平成28年熊本地震前後の阿蘇地域における 土砂移動現象発生時の各種降雨指標値の比較

A COMPARISON FOR VARIOUS RAINFALL INDEXES CAUSE SEDIMENT  
MOVEMENTS IN ASO REGION; BEFORE AND AFTER THE 2016 KUMAMOTO  
EARTHQUAKE

渡邊 輝嗣<sup>1</sup>・桂 真也<sup>2</sup>・林 真一郎<sup>2</sup>・梅谷 涼太<sup>3</sup>・

齋藤はるか<sup>3</sup>・野呂 智之<sup>4</sup>・村田 郁央<sup>4</sup>

Akitsugu WATANABE, Shin'ya KATSURA, Shin-ichiro HAYASHI, Ryota UMETANI,

Haruka SAITO, Tomoyuki NORO and Ikuo MURATA

<sup>1</sup>北海道大学大学院農学院（現 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所）  
（〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目）

<sup>2</sup>北海道大学大学院農学研究院（〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目）

E-mail: skatsura@for.agr.hokudai.ac.jp, shayashi@cen.agr.hokudai.ac.jp

<sup>3</sup>北海道大学大学院農学院（〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目）

<sup>4</sup>国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

**Key Words:** the 2016 Kumamoto earthquake, sediment movement, rainfall index, threshold, early warning

## 1. はじめに

大規模な地震が発生すると、亀裂や地盤強度の低下の影響等により、地震前よりも小さな降雨で土砂移動現象が発生することが知られている（例えば、富田ら<sup>1)</sup>；野村・岡本<sup>2)</sup>）。平成28年熊本地震（4月16日日本震；以下、熊本地震）後には、熊本県阿蘇地域では、平成28年4月21日、6月19日～29日の降雨により、土砂移動現象の発生が確認されている（例えば、国土交通省水管理国土保全局砂防部<sup>3)</sup>、石川ら<sup>4), 5)</sup>）。

地震後の降雨による土砂移動現象発生と降雨状況の関係については、二次災害防止のための警戒避難基準を考える上で基礎となる情報であり、既往研究として、富田ら<sup>1)</sup>の特定の斜面に着目した分析、野村・岡本<sup>2)</sup>の1時間降水量と土壌雨量指数の組合せを用いる土砂災害警戒情報の発表基準に基づく分析がある。また、熊本地震については、高田ら<sup>6)</sup>によ

るアメダスデータ（阿蘇山観測所）を用いた異なる半減期の実効雨量の組合せに基づく分析がある。これらの研究は、局所的な分析、または、広域であってもいくつかの少ない降雨指標に基づく分析であり、降雨分布及び斜面ごとに異なる降雨による影響を十分に反映できておらず、広域において、かつ、地震後の降雨による土砂移動現象発生と各種降雨指標の関係を網羅的に調べた事例は見当たらない。

本研究では、大規模地震後の基準雨量引き下げの考え方の整理に向けた一検討として、熊本県阿蘇地域を対象に、解析雨量を用い複数の降雨指標を算出し、それに基づき、熊本地震前後の降雨による土砂移動現象発生時の各種降雨指標値を比較・分析した。

## 2. 研究対象地及び研究手法

### (1) 研究対象地

研究対象地は、熊本県阿蘇地域のうち、国土技術

政策総合研究所・土木研究所<sup>7)</sup>によって、ALOS-2の衛星SAR画像及び国土地理院の空中写真オルソ画像を確認した結果、地震後の降雨によって土砂移動現象が発生していると推定された地域にある、11個の解析雨量の5kmメッシュの中とした(図-1)。国土技術政策総合研究所・土木研究所<sup>7)</sup>では、北から順にNo.1~11のメッシュ番号が割り振られており、本研究でもそのメッシュ番号を用いることとした。

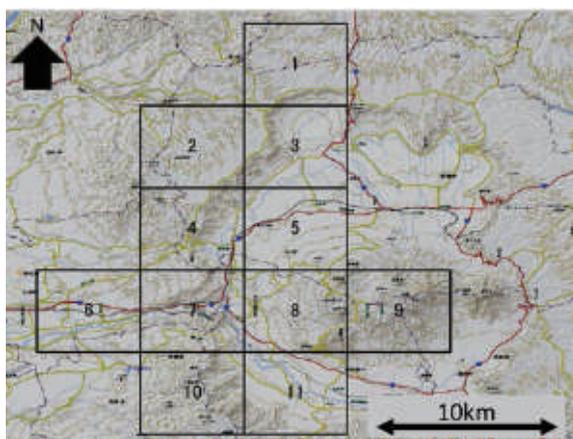


図-1 研究対象地・解析雨量メッシュ(地理院地図に  
加筆)

## (2) 研究方法

研究の流れを図-2に示す。研究方法は4つの手順に大別され、以下のとおりである。

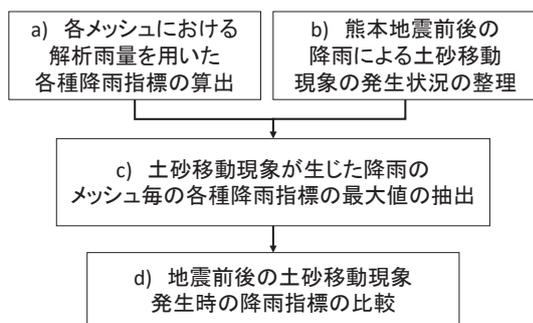


図-2 研究の流れ

### a) 各メッシュにおける解析雨量を用いた各種降雨指標の算出

本研究では、降雨指標として土砂災害の警戒避難や通行止めの判断に用いられる指標(時間雨量、実効雨量<sup>8)</sup>(半減期1.5h, 3h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h)、土壌雨量指数<sup>9)</sup>、連続雨量)を選び、昭和63年4月1日~平成28年7月25日の約29年間の、図-1の各メッシュにおける国土交通省の解析雨量<sup>10)</sup>に対し、各降雨指標の算出を行った。

### b) 熊本地震前後の降雨による土砂移動現象の発生状況の整理

メッシュ毎に、解析雨量と同じ期間について、熊本県の土砂災害報告、砂防便覧<sup>11)</sup>、防災科学技術研究所の作成した土砂移動分布図<sup>12)</sup>等の資料・既往文献、及び、著者らの実施した国土地理院の空中写真<sup>13)</sup>判読結果を参考に土砂移動現象の発生記録を可能な限り収集し、これらを本研究で研究対象とする土砂移動現象とした。また、土砂移動現象の発生場所とその時の降雨イベントを整理した。研究対象地では、熊本地震前に3回(H2.7(一の宮災害)<sup>14)</sup>、H13.6(徳仏川での土石流災害等)<sup>15), 16)</sup>、H24.7(平成24年7月九州北部豪雨)<sup>17)</sup>、地震後に2回(H28.4<sup>3), 4), 13)</sup>(地震後約5日)、H28.6<sup>3), 5), 13)</sup>(地震後約2ヵ月)の5回であったことが分かった。土砂移動現象の分布を図-3, 4に示す。また、発生時期と発生メッシュの関係を表-1に示す。この整理に基づき、本研究では以降、地震前に土砂移動現象が発生していないNo.1とNo.6、地震後に土砂移動現象が発生していないNo.5とNo.9は検討対象のメッシュから除外した。

表-1 土砂移動現象の発生時期と発生メッシュの関係

	土砂移動の発生時期 (主要な降雨の期間)	発生メッシュのNo.
地震前	H2.7 (6月28日~7月2日) <sup>14)</sup>	9
	H13.6 (25日~29日) <sup>15)</sup>	3, 8, 9
	H24.7 (11日~14日) <sup>17)</sup>	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11
地震後	H28.4 (21日) <sup>4)</sup>	3, 4, 7, 8, 10, 11
	H28.6 (19日~29日) <sup>4)</sup>	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11

### c) 土砂移動現象が生じた降雨のメッシュ毎の各種降雨指標の最大値の抽出

本研究では、土砂移動現象の発生を各降雨指標のピークであると仮定し、土砂移動現象が生じた降雨中の各種降雨指標の最大値を抽出し、土砂移動現象発生時の値とすることとした。

### d) 地震前後の土砂移動現象発生時の降雨指標の比較

b)の整理に基づき、熊本地震前の2つの土砂移動現象(H13.6, H24.7)について、c)で抽出した各種降雨指標の最大値を整理し、2つの土砂移動現象発生時の各最大値のうち最も小さい値を地震前の土砂移動現象の「地震前発生基準値」とした。本研究では基準雨量の引き下げを念頭においていることから、土砂移動現象発生時の各最大値のうち最も小さい値

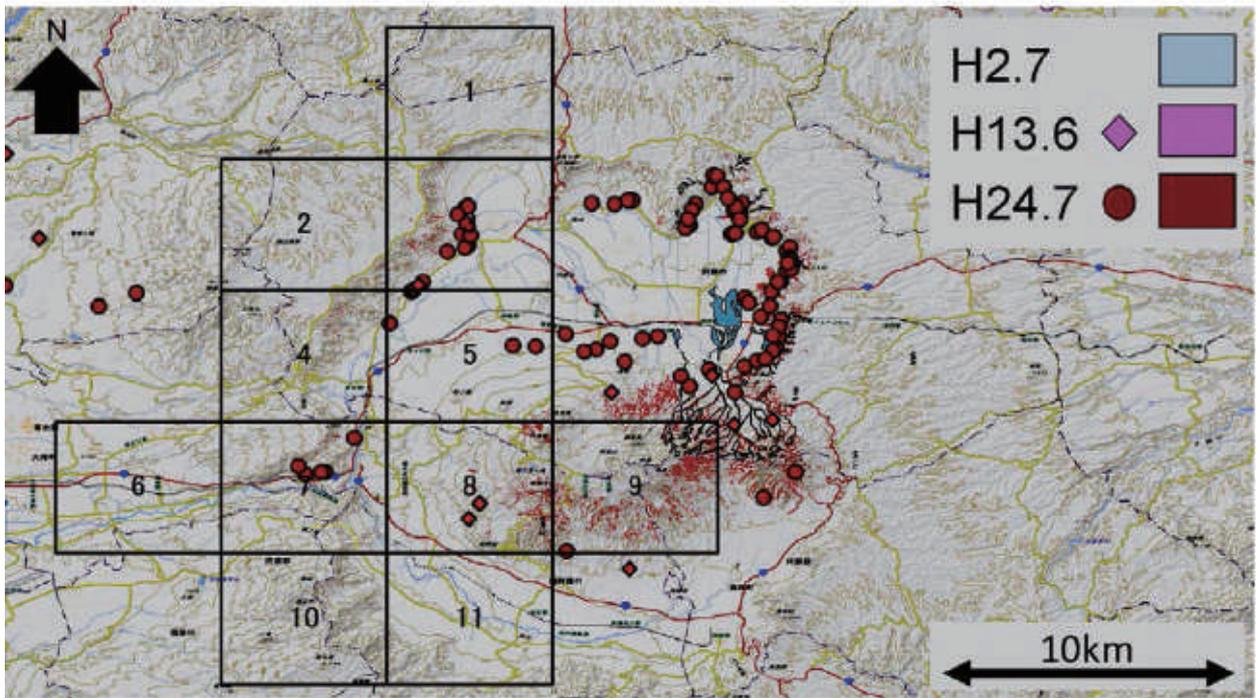


図-3 熊本地震前の土砂移動現象の分布 (H2.7: 防災科学技術研究所<sup>12)</sup>, H13.6: 熊本県の土砂災害報告, 熊本県土木部砂防課<sup>15)</sup>, 宮縁ら<sup>16)</sup>, H24.7: 熊本県の土砂災害報告, 防災科学技術研究所<sup>12)</sup>を基に作成; 地理院地図に加筆)

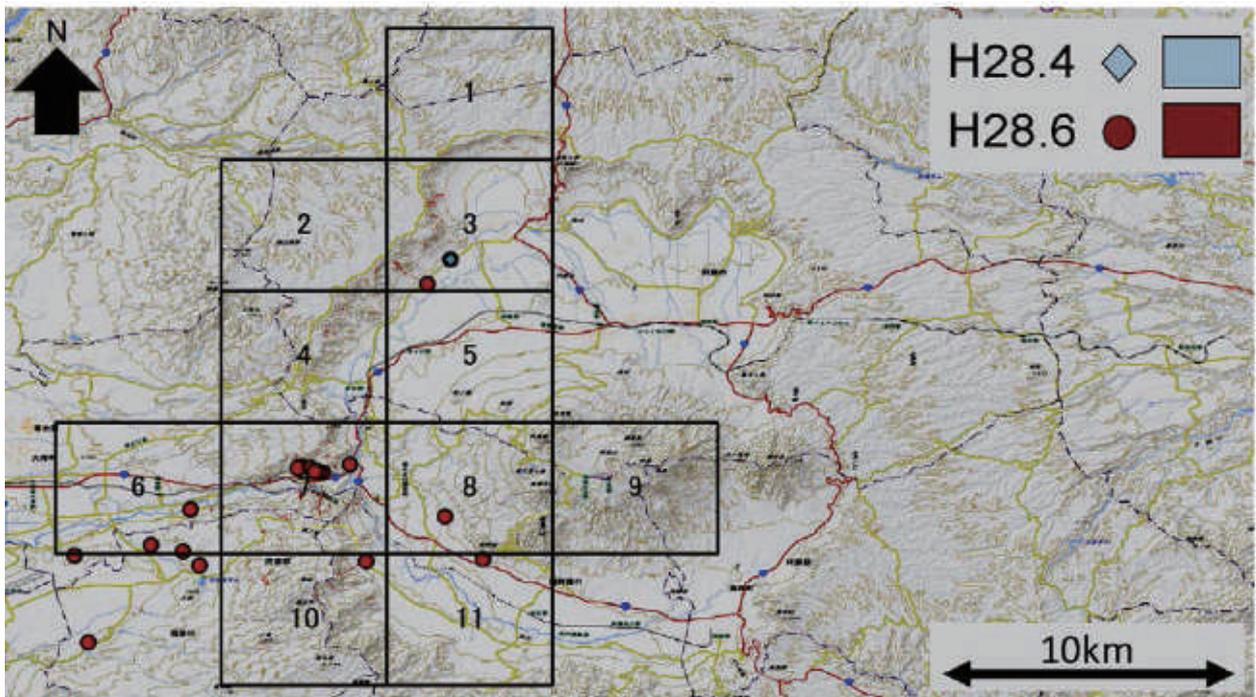


図-4 熊本地震後の土砂移動現象の分布 (H28.4: 石川ら<sup>4)</sup>, 防災科学技術研究所<sup>12)</sup>, 著者らの国土地理院の空中写真<sup>13)</sup>判読結果, H28.6: 熊本県の土砂災害報告, 石川ら<sup>5)</sup>, 著者らの国土地理院の空中写真<sup>13)</sup>判読結果を基に作成; 地理院地図に加筆)

に着眼しており, 土砂移動現象非発生時の各最大値のうち最も大きな値については検討を行わない. No.4, No.7, No.10, No.11のメッシュでは発生した土砂移動現象がH24.7のみであり, H24.7の最大値

を地震前発生基準値として用いた. No.3, No.8のメッシュでは土砂移動現象はH13.6とH24.7の2回発生したが, 全ての降雨指標でH13.6の最大値の方が小さい値をとったため, H13.6の最大値を地震前発

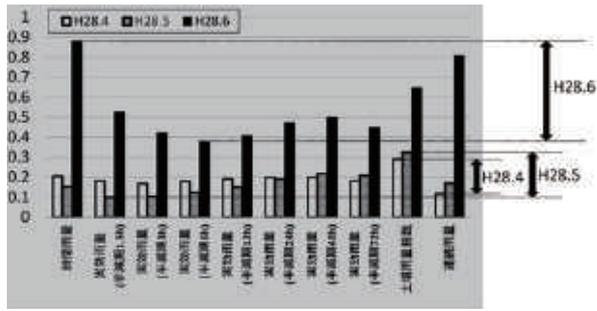


図-5 最も前後比が小さい・大きい指標の考え方  
(No. 4, H24.7に対する前後比)

生基準値として用いた。

その後、熊本地震後の2つの土砂移動現象(H28.4, H28.6)について、c)で抽出した各種降雨指標の最大値を整理し、それぞれの土砂移動現象発生時の最大値について発生基準値に対する比を算出した。これ

を以後「前後比」とする(図-5)。参考として、地震後に土砂移動現象を発生させなかった降雨のうち、最も規模が大きかったH28.5(5月8日~11日;地震の約25日後)の降雨についても同様に前後比を算出した。

### 3. 結果及び考察

検討した各種降雨指標の中で最も前後比が小さい指標と大きい指標をメッシュごとに抽出(表-2)、その前後比を示したのが図-6である。土砂移動現象の発生に最も寄与した降雨指標がいずれであるかは不明であるが、その前後比は、図-6に示した「最も前後比の大きい指標の前後比」と「最も前後比の小さい指標の前後比」の間にあると言える(図-5の右の矢印の示す範囲)。表-2及び図-6からH28.4では、最も前後比の大きい指標の前後比は0.290~0.683

表-2 各メッシュにおける最も前後比が小さい指標と大きい指標(着色部分は非発生)

	H28.4(発生, ただしNo.2は非発生)				H28.5(非発生)				H28.6(発生)			
	最も前後比が小さい指標:前後比		最も前後比が大きい指標:前後比		最も前後比が小さい指標:前後比		最も前後比が大きい指標:前後比		最も前後比が小さい指標:前後比		最も前後比が大きい指標:前後比	
No.2	連続雨量	124/962 =0.130	土壌雨量指数	110/363 =0.303	実効雨量 (半減期3h)	31/310 =0.100	土壌雨量指数	117/363 =0.322	実効雨量 (半減期3h)	126/310 =0.406	連続雨量	834/952 =0.876
No.3 (H13.6に対して)	連続雨量	129/348 =0.371	実効雨量 (半減期12h)	97/142 =0.683	時間雨量	15/57 =0.263	土壌雨量指数	118/195 =0.605	時間雨量	49/57 =0.860	連続雨量	773/348 =2.221
参考 No.3 (H24.7に対して)	連続雨量	129/988 =0.131	土壌雨量指数	113/373 =0.303	実効雨量 (半減期1.5h)	22/227 =0.097	土壌雨量指数	118/373 =0.316	実効雨量 (半減期3h)	110/317 =0.347	連続雨量	773/988 =0.782
No.4	連続雨量	120/1014 =0.118	土壌雨量指数	109/376 =0.290	実効雨量 (半減期1.5h)	23/226 =0.101	土壌雨量指数	122/376 =0.324	実効雨量 (半減期6h)	155/411 =0.377	時間雨量	86/98 =0.878
No.7	連続雨量	110/819 =0.134	土壌雨量指数	102/333 =0.306	実効雨量 (半減期3h)	32/277 =0.116	土壌雨量指数	106/333 =0.318	実効雨量 (半減期6h)	232/347 =0.669	時間雨量	106/84 =1.262
No.8 (H13.6に対して)	時間雨量	20/83 =0.241	実効雨量 (半減期6h)	75/127 =0.591	時間雨量	9/83 =0.108	土壌雨量指数	111/219 =0.507	時間雨量	97/83 =1.169	連続雨量	892/394 =2.264
参考 No.8 (H24.7に対して)	連続雨量	122/713 =0.171	土壌雨量指数	109/318 =0.343	時間雨量	9/87 =0.103	土壌雨量指数	111/318 =0.349	実効雨量 (半減期6h)	238/327 =0.728	連続雨量	892/713 =1.251
No.10	連続雨量	105/634 =0.166	土壌雨量指数	97/222 =0.437	実効雨量 (半減期1.5h)	21/141 =0.149	土壌雨量指数	105/222 =0.473	実効雨量 (半減期6h)	216/262 =0.824	土壌雨量指数	287/222 =1.292
No.11	連続雨量	115/577 =0.199	土壌雨量指数	104/256 =0.406	時間雨量	10/68 =0.147	土壌雨量指数	105/256 =0.410	実効雨量 (半減期6h)	205/247 =0.830	時間雨量	89/68 =1.309

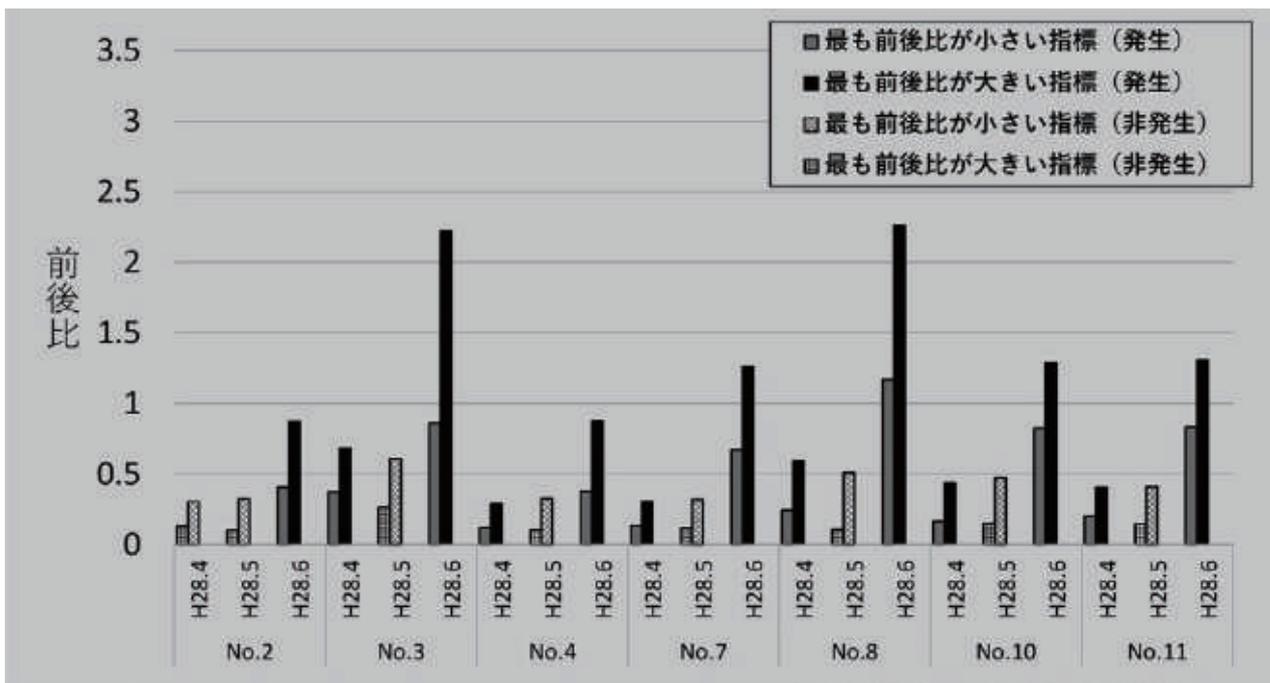


図-6 各メッシュにおける前後比

であり、検討対象とした全てのメッシュにおいて1.000以下であることから、全ての降雨指標において地震前より小さな降雨で土砂移動現象が発生したことが読み取れる。これは過去の研究と同様の傾向を示しており、地震に伴う亀裂や地盤強度の低下が影響しているものと考えられる。一方、H28.6では、最も前後比の大きい指標の前後比が、No.2及び4を除き、1.262~2.264と1.000を超えている。本研究では土砂移動現象の発生時刻を各降雨指標のピークであると仮定したため、地震前よりも大きな豪雨時に土砂移動現象が発生した場合には、必然的に前後比は1.000を超えることになり、基準雨量に関する考察に用いることはできなかった。国土技術政策総合研究所、土木研究所<sup>7)</sup>によるとH28.6の降雨によって、いくつかのメッシュでは、時間雨量、土壌雨量指数の履歴順位において、3位以上を記録する稀な豪雨であったことが確認されている。

大規模地震後の基準雨量の引き下げを念頭に、安全側の観点から、最も前後比の小さい指標の前後比に注目した場合、地震後約5日(H28.4)の前後比は0.118~0.371であるため地震前の1~3割、約2ヶ月後(H28.6)の前後比は、No.8を除き、0.377~0.860であるため地震前の3~8割に基準雨量を設定するのが妥当であると、今回の結果からは考えられた。熊本地震では、本震の発生に対し、土砂災害警戒情報発表基準(熊本県はAND/OR方式により運用<sup>5)</sup>；土壌雨量指数基準、及び、県基準の危険度基準線)について、震度6弱以上の市町村では通常基準の7割、震度5強以上の市町村では通常基準の8割の暫定基準に引き下げられていたが<sup>18)</sup>(平成29年12月13日廃止)、本研究の結果からは暫定基準より少ない値となる結果が得られた。また、土砂移動現象の発生しなかった地震後約25日(H28.5)の降雨では、最も前後比の大きい指標の前後比は0.318~0.605(本研究における基準雨量の設定の考え方に基けば地震前の3~6割)であり、今回の結果からは、これ以上の規模の降雨でないと土砂移動現象は発生しなかったと言える。このように、地震後の日数の経過に伴い、本研究ではメカニズムに関する検討を行うことができていないが、土砂移動現象の発生基準値が上昇している可能性が示唆された。

#### 4. おわりに

本研究では、熊本地震の前後において、解析雨量を用い複数の降雨指標を算出し、それに基づき、熊本地震後の降雨による土砂移動現象発生時の降雨状況を整理・分析した。その結果、①熊本地震におい

ても過去の研究事例と同様に地震前よりも小さな降雨で土砂移動現象が発生していることが定量的に確認された。②地震前の土砂移動現象を引き起こしたと考えられる降雨から算出される降雨指標と比較すると、地震後には降雨指標によってはH28.4では1~3割、H28.6では3~8割の低い値で土砂移動現象が発生していることが確認された。③H28.4、H28.5、H28.6における土砂移動現象に寄与していると考えられる降雨指標の比較によって、地震後の日数の経過に伴い、土砂移動現象の発生基準値が上昇している可能性が示唆された。今後は、土砂移動現象の発生時刻の同定による土砂移動現象に寄与していると考えられる降雨指標の推定、地震の素因への影響の分析、より長期・広域における地震後の土砂移動現象の発生基準値の変化の把握、土砂移動現象に寄与していると考えられる降雨指標と土砂移動現象の発生数・規模との関係の把握等について、本研究で得られた結果を基に分析・考察をさらに進めていきたい。

**謝辞：**本研究は、国土交通省河川砂防技術開発公募「大規模地震とそれに伴う地盤の劣化に起因する連鎖複合型土砂災害の発生機構と対策」により実施しました。また、本研究の一部は、JSPS 科研費18H03819の助成を受け実施しました。本研究で実施した土砂移動現象の把握の一部では防災科学技術研究所の成果<sup>12)</sup>及び国土地理院の空中写真<sup>13)</sup>を用いました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 富田陽子, 桜井亘, 中庸充: 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 砂防学会誌, Vol. 48, No. 6, pp. 15-21, 1996.
- 2) 野村康裕, 岡本敦: 地震時の斜面崩壊危険度評価と警戒避難降雨基準の検討, 土木技術資料, Vol. 55, No. 4, pp. 22-25, 2013.
- 3) 国土交通省水管理国土保全局砂防部: 平成28年度熊本地震による土砂災害の概要(平成28年9月14日時点), [http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/160914\\_gaiyou\\_sokuhou.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/160914_gaiyou_sokuhou.pdf), 2017.
- 4) 石川芳治, 久保田哲也, 青戸一峰, 飯島康夫, 井川寿之, 池上忠, 池田誠, 植弘隆, 上原祐治, 内村雄一, 江川佳苗, 大石博之, 岡野和行, 海堀正博, 桂真也, 加藤誠章, 川原慎一郎, 古賀省三, 坂島俊彦, 相楽涉, 地頭菌隆, 篠原慶規, 清水収, 下田義文, 鈴木滋, 鈴木正美, 瀬戸康平, 田方智, 寺田秀樹, 寺本行芳, 堂ノ脇将光, 飛岡啓之, 鳥田英司, 中濃耕司, 西川友章, 花田

- 良太, 平川泰之, 福塚康三郎, 藤澤康弘, 藤田正治, 正木光一, 宮田直樹, 山口和也, 山下伸太郎, 山根誠, 横尾公博: 平成 28 年熊本地震による土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 3, pp. 55-66, 2016.
- 5) 石川芳治, 赤澤史顕, 植弘隆, 大野宏之, 小山内信智, 海堀正博, 久保田哲也, 古賀省三, 権田豊, 坂島俊彦, 地頭菌隆, 清水収, 武士俊也, 樽角晃, 鳥田英司, 中濃耕司, 西真佐人, 野呂智之, 平川泰之, 平松晋也, 藤田正治, 松尾新二郎, 山田孝: 平成 28 年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 4, pp. 25-36, 2016.
- 6) 高田望, 友村光秀, 坂井大作, 渡邊涼一, 小杉賢一朗: 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震後に発生した熊本県南阿蘇村の崩壊の誘因となった大雨イベントの解析, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 3, pp. 33-40, 2017.
- 7) 国土技術政策総合研究所, 土木研究所: 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震土木施設被害調査報告, 国総研資料第 967 号, 土研資料 4359 号, 356pp. 2017.
- 8) 矢野勝太郎: 前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究, 砂防学会誌, Vol. 43, No. 4, pp. 3-13, 1990.
- 9) 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斉藤清: 土壌雨量指数, 天気, Vol. 48, No. 5, pp. 59-66, 2001.
- 10) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部, 気象庁予報部: 都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き, [http://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/tebiki\\_h2702.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/tebiki_h2702.pdf), 2015.
- 11) 全国治水砂防協会: 砂防便覧平成 26 年版, 708pp. 2015.
- 12) 防災科学技術研究所, 熊本地震による土砂移動分布図 (2016. 6. 27 更新), <http://www.bosai.go.jp/mizu/dosha.html>, 2017. 11. 10
- 13) 国土地理院: 平成 28 年熊本地震に関する情報, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>, 2016.
- 14) 石川芳治, 志田武司: 平成 2 年 7 月 2 日熊本県一の宮町で発生した泥流・流木災害について, 砂防学会誌, Vol. 43, No. 2, pp. 63-66, 1990.
- 15) 熊本県土木部砂防課: 徳仏川 2 土石流災害について, 河川, No. 663, pp. 44-46, 2001.
- 16) 宮縁育夫, 大丸裕武, 小松陽一: 2001 年 6 月 29 日豪雨によって阿蘇火山で発生した斜面崩壊とラハールの特徴, 地形, Vol. 25, No. 1, pp. 23-43, 2004.
- 17) 久保田哲也, 地頭菌隆, 清水収, 平川泰之, 本田健, 飯島康夫, 泉山寛明, 海堀正博, 北原哲郎, 小林浩, 松本俊雄, 松尾新二郎, 松澤真, 宮縁育夫, 長野英次, 中濃耕司, 奥山悠木, 島田徹, 篠原慶規, 杉原成満, 武澤永純, 田中信, 内田太郎: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨による阿蘇地域の土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 65, No. 4, pp. 50-61, 2012.
- 18) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部, 気象庁: 平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃の熊本県熊本地方の地震に伴う土砂災害警戒情報発表基準の暫定的な運用について, <http://www.mlit.go.jp/common/001127915.pdf>, 2016.

(2018. 5. 18 受付)