平成 30 年 7 月豪雨による土砂災害発生の推定時刻における土壌雨量指数

石澤友浩*・檀上 徹*

Soil Water Index at Estimated Times of Occurrence of Sediment Disasters Triggered by the Heavy Rain Event of July 2018

Tomohiro ISHIZAWA and Toru DANJO

*Storm, Flood and Landslide Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan ishizawa@bosai.go.jp, t.danjo@bosai.go.jp

Abstract

The July 2018 heavy rain triggered a large number of sediment disasters. This paper reports on a study conducted to analyze evaluations of landslide triggers. In the study, a hearing survey was conducted on the timing of occurrence of the sediment disasters caused by the Heavy Rain Event of July 2018, and a rainfall analysis was made by using Japan Meteorological Agency's analyzed rainfall data. An analysis of the disasters at the 20 sites (slope failures and debris flows) examined for the purposes of the study revealed that many of those disasters occurred when the soil water index during the study period (June 28, 2018 to the estimated time of occurrence of a sediment disaster) was maximized. The analysis also indicated that sediment disasters tended to occur when hourly rainfall was relatively low and the soil water index was large.

Key words: Sediment disaster, Heavy rain, Rainfall index, Estimated time of occurrence, Alert level

1. はじめに

「平成30年7月豪雨」では、梅雨前線と台風7号 の影響で、2018年6月28日から7月8日かけて全 国的に広い範囲で断続的な雨が降り、各地で記録的 な豪雨が発生し、1府10県に特別警報が発表された. 内閣府の被害状況調査(2019年1月9日時点)¹⁾によ ると、「平成30年7月豪雨」により、1道2府29県 で2,581件の土砂災害が発生した.我が国では、年 間約1,000件もの土砂災害が発生しているが、今回 の豪雨のみでその2倍以上の土砂災害が発生してお り、多大な被害が生じたことがわかる.

降雨による土砂災害は斜面の地形,地質等の素因 と降雨量,降雨強度等の誘因に基づいた評価が求 められている.誘因に関する評価は,未だにその 評価方法は明確になっておらず,過去の被害記録を 用いた経験則を利用している.土砂災害の発生時刻 に関する指標の1つとして短時間雨量と土壌雨量指 数によるスネークラインを用いた手法が挙げられる ^{例えば2)}.この手法は過去の雨量観測記録(多くは地上 雨量計による観測記録)と崩壊発生の有無から経験 的に崩壊発生の危険度を求めているため,災害発生 地点と地上雨量計の観測点が離れていることや崩壊 時間が明確でないこと等の理由から,災害発生時刻 における雨量を正確に評価できていない.そのため, 災害発生地点における高分解能の雨量観測記録を用 いて検討し,土砂災害警戒基準を見直す必要がある. また,土砂災害の避難情報に関して,避難に必要な 十分な時間の確保や,避難情報の解除のタイミング 等の問題に関する知見は不足しており、土砂災害の 警戒基準値を超えてから災害発生までの雨量の推移 や発生のタイミングに関する検討が必要である.

そこで、本稿では、平成30年7月豪雨で発生した 土砂災害のうち、聞き取り調査等により災害発生時 刻が推定できた20事例について、気象庁解析雨量 より算出した土壌雨量指数の時間変化を報告する.

2. 平成 30 年 7 月豪雨の降雨状況

図1に、気象庁解析雨量による2018/06/28~ 07/08の11日間における6,24時間の最大雨量お よび11日間積算雨量の分布を示す.同図より,西 日本地域の広範囲で豪雨が発生していたことがわ かる.気象庁の報告³⁾によると、同期間の総降雨量 は、四国地方で1,800 mm、中部地方で1,200 mm、 九州地方で900 mm, 近畿地方で600 mm, 中国地 方で 500 mm を超えている. 総降雨量が 1,000 mm 以上を超えたアメダス観測点は、高知県(魚梁瀬: 1,852.5 mm, 本山: 1,694.0 mm, 大栃: 1,364.5 mm, 鳥形山:1,303.0 mm,池川:1,191.5 mm),徳島県(木頭: 1,365.5 mm),岐阜県(ひるがの:1,214.5 mm,永滝: 1,193.5 mm), 長野県(御嶽山:1,111.5 mm)であった. 一方,この豪雨で発生した土砂災害の発生件数は広 島県(1,242箇所),愛媛県(406箇所),山口県(184 箇所), 高知県(126箇所), 兵庫県(73箇所), 岡山(56 箇所)で特に多くの土砂災害が発生した.上述した 総降雨量では高知県と徳島県が高い値を記録してい たが、土砂災害発生件数では広島県と岡山県で多く 発生しており、土砂災害の発生件数の多さが積算雨 量の分布と必ずしも一致しないことがわかる.これ は、土砂災害の発生には地形や地質等の素因条件と 降雨量や降雨強度等の誘因条件の両者が関与してい ることが考えられるが、本稿では後者の誘因条件に 着目し、土砂災害発生までの土壌雨量指数の時間変 化を分析した.

3. 土砂災害発生の推定時刻

平成30年7月豪雨で発生した土砂災害の発生時 刻や発見された時刻(以後,「土砂災害発生の推定 時刻」と表記する.)について,現地での聞き取り調 査や報道資料調査等に基づき取集した.その結果, 表1に示す20事例に土砂災害発生の推定時刻の情 報が得られた.表中の推定時刻は被災者や災害発生





(c) 11 日間積算雨量

- 図1 気象庁解析雨量による11日間の6,24時間最大雨量,11日間積算雨量の分布
- Fig. 1 Distribution maps of accumulated rainfall (Rainfall analysis provided by Japan Meteorological Agency (JMA)). (a) 6 hours rainfall. (b) 24-hours rainfall. (c) 11days of accumulated rainfall.

表1 土砂災害発生の推定時刻の一覧

Table 1List of sediment disasters with an estimated time of occurrence
at 20 sites during the heavy rain event of July 2018.

	土砂災害発生の 推定時刻	場所	分類	土砂災害危険箇所	土壤雨量指 数	
					注意報	警報
Loc.01	2018/7/6 7:40	福岡県北九州市門司区奥田	崖崩れ	周辺に土石流危険渓流、急傾斜危険箇所	106	131
Loc.02	2018/7/6 13:00	佐賀県唐津市厳木町牧瀬	崖崩れ	土石流危険渓流	118	148
Loc.03	2018/7/6 15:20	佐賀県唐津市浜玉町渕上	土石流	周辺に土石流危険渓流、急傾斜危険箇所	105	132
Loc.04	2018/7/6 16:00	兵庫県神戶市北区山田町	崖崩れ	急傾斜地崩壞危険個所	97	135
Loc.05	2018/7/6 19:00	広島県広島市安芸区	土石流	土石流危険区域	98	129
Loc.06	2018/7/6 23:30	岡山県井原市西江原町	崖崩れ	急傾斜地崩壞危険個所	88	109
Loc.07	2018/7/7 0:00	大分県日田市友田	崖崩れ	周辺に土石流危険渓流、急傾斜危険箇所	108	135
Loc.08	2018/7/7 0:50	爱媛県松山市上怒和	土石流	土石流危険渓流	95	136
Loc.09	2018/7/7 1:30	兵庫県宍粟市波賀町谷	崖崩れ	雪崩危険箇所 急傾斜危険箇所	129	172
Loc.10	2018/7/7 2:55	山口県周南市樋口小成川	崖崩れ	急傾斜地崩壞危険個所	102	120
Loc.11	2018/7/7 3:00	高知県大長岡郡大豊町立川	崖崩れ	周辺に急傾斜危険箇所	183	255
Loc.12	2018/7/7 3:30	兵庫県宍粟市一宮町公文	土石流	-	126	168
Loc.13	2018/7/7 3:35	広島県広島市安佐北口田南	土石流	急傾斜地崩壞危険区域 土石流危険個所	88	116
Loc.14	2018/7/7 4:30	岡山県笠岡市茂平	崖崩れ	-	81	101
Loc.15	2018/7/7 5:00	兵庫県宍粟市一宮町河原田	土石流	急傾斜地崩壞危険個所	135	180
Loc.16	2018/7/7 5:00	爱媛県大洲市肱川町山鳥坂	崖崩れ	急傾斜地崩壞危険個所	100	144
Loc.17	2018/7/7 7:00	愛媛県宇和島市吉田町浅川	土石流	土石流危険区域	89	128
Loc.18	2018/7/7 16:40	鹿児島県鹿児島市古里町	崖崩れ	周辺に急傾斜危険箇所	111	155
Loc.19	2018/7/7 20:30	兵庫県宍粟市波賀町戸倉	崖崩れ	周辺に急傾斜危険箇所	137	183
Loc.20	2018/7/10 1:40	鳥取県米子市青木	崖崩れ	周辺に急傾斜危険箇所	95	112







箇所の周辺の住民の方々からの情報であるが,発生 した時刻と発見した時刻を含めて推定時刻として整 理している.本来ならば,土砂災害の発生した時刻 で整理するべきだが,緊迫した状況において正確に 時刻を記憶することが難しいことや,情報提供者の 目撃場所においても時刻は異なる.しかし,本稿の 推定時刻は,既に土砂災害が発生していることを意 味し,土砂災害の誘因となった降雨期間を絞り込む ことができる.

表1,図2に今回の調査で土砂災害発生の推定 時刻が明らかになった分析対象地点を示している. 表1は土砂災害発生の推定時刻,場所(崩壊影響範 囲の中心位置),崩壊タイプ,土壌雨量指数の注意 報と警報値⁴⁾を示している.これらの地点の多くは, 土砂災害危険箇所内か,50m範囲内に土砂災害危 険箇所が存在する場所であった.20事例の分析対象 地点は土砂の崩壊規模は様々であるが,斜面崩壊と 土石流の2つに分類した結果,斜面崩壊が13事例, 土石流が7事例であった.

本稿では、土砂災害発生の推定時刻を土砂災害が 発生した時刻と仮定し、推定時刻までの雨量記録を 用いて、後述する分析を試みた.

4. 雨量分析

本稿では気象庁の解析雨量⁵⁾を用いた.気象庁の 解析雨量はレーダ観測と地上の雨量計を組み合わせ て1時間の降水量分布を1km四方で解析したもの である.雨量分析は,各土砂災害発生場所において 2018年6月28日から推定時刻までの解析雨量を用 いて,3つの雨量指標(時間雨量 RI,積算雨量 AR, 土壌雨量指数 SWI⁵⁾)を算出した.

5. 聞き取り調査と雨量分析事例

聞き取り調査では、多くの情報を得ることができた.愛媛県宇和島市吉田町(Loc.17)では、7日7時頃に、「ドーン、バリバリ」と言う音が聞こえ、振り返ると土砂が崩れており、その5~10分後には、60メートル程離れた場所で、再び土砂が崩れたという目撃談があった.

兵庫県宍粟市波賀町戸倉の道谷牧場の下流で発生 した土砂災害(Loc.19)では、周辺地域において7月 7日20時頃に停電が発生した.情報提供者が、20 時30分頃に牛舎を確認しに行ったところ、崩落し た土砂が県道を塞ぎ下流の道谷川の対岸まで埋め尽 くし、河道閉塞が生じていた.また、他の情報提供 者からは7月7日20時頃には県道を通過した話な どもあり、土砂災害発生の推定時刻を7月7日20 時30分とした.一方、同市内の波賀町谷(Loc.9)では、 7月7日1時頃に避難活動の呼びかけをした家屋が 30分後には斜面崩壊の流下土砂により家屋が倒壊し ていた.波賀町谷(Loc.9)と波賀町戸倉(Loc.19)は約 15 km 離れているが、土砂災害発生の推定時刻は19 時間も異なる場合もあった.

鳥取県米子市 (Loc.20) では,7月8日以降にまと まった雨が降っていないが7月10日1時30分頃に は斜面崩壊が発生した.2日以上の無降雨状態でも 土砂が崩壊する事例があることがわかった.

ここで、雨量の分析事例として、愛媛県大洲市



(a) 施設西側の裏山斜面での土砂災害



(b) 居室への土砂流入

(c)施設内の土砂流入

図3 愛媛県大洲市(Loc.16)での土砂災害の被害状況

Fig. 3 Damage situation by a sediment disaster (Loc.16) at Ozu-shi, Ehime. (a) landslide in the west side slope of a building.(b) damaged building in landslide. (c) sediment flowing into the building.

の特別養護老人ホーム「かわかみ荘」での土砂災害 (Loc.16)について紹介する.山腹に位置するかわか み荘では,豪雨の続いた7月7日午前5時頃に施設 西側の裏山斜面が高さ30m,幅30mにわたって崩 れ,居室7室や浴室などに土砂が流入し,居室に流 出した土砂はドアを突き破って廊下にまで達した (図3参照).聞き取り調査によると,当時,施設内 には計50人の利用者がいたが,西側の居室にいた 8人は土砂災害発生の2時間前までに職員が別の部 屋に避難させており全員無事であった.また,斜面 崩壊の被害を聞いた勤務外の職員は,自宅からかわ かみ荘の下流の河辺川を通過し5時半から6時には 施設に到着できていたが,河辺川が午前8時頃には 氾濫していたため,施設外への避難は困難な状況で あった.

図4に愛媛県大洲市(Loc.16)における雨量分析の 結果を示す.雨量データは、6月28日から7月8 日までの気象庁解析雨量を用い、時間雨量、積算雨 量、土壌雨量指数を算出した.同図の時間雨量より、 7月7日夜半から強い雨が降っていることがわかり、 土砂災害が発生した時刻には激しい雨が降っていた ことがわかる.また、7月7日7時過ぎには強い雨 もなくなっていることから、職員が施設外への避難 行動を検討したことも推察できる.同図の土壌雨量 指数に着目すると、7月7日2時頃には、気象庁の 土壌雨量指数の警報基準値を超え、土壌雨量指数は 土砂災害発生の推定時刻まで上昇し続けて、それま での最大値に達していることがわかる.



- 図4 愛媛県大洲市 (Loc.16)における雨量分析結果 (時間雨量 RI, 積算雨量 AR, 土壌雨量指数 SWI)
- **Fig. 4** Time histories of hourly rainfall *RI*, accumulated rainfall *AR* and the soil water index *SWI* at Loc.16.

6. 推定時刻における土壌雨量指数

20箇所の対象土砂災害箇所について,雨量分析を 実施した.図5に6月28日から土砂災害発生の推 定時刻までの積算雨量を斜面崩壊と土石流に分類し た結果を示す.崩壊した地域が異なるため総雨量は 異なるが,対象とした土砂災害は総雨量250mm以 上で崩壊したことがわかる.

図6に推定時刻における土壌雨量指数を示す.7 月10日に無降雨状態で発生した鳥取の土砂災害 (Loc.20)を除き,19事例は土砂災害発生の推定時刻 までに土壌雨量指数が140mm以上に達している. また,図中の塗り潰し記号は,土砂災害発生時の土 壌雨量指数が期間内(6月28日から推定時刻まで)の 最大値から減少した値で崩壊したケースを示してい る.最大値以降に土砂災害が発生したケースは,斜 面崩壊の4事例で見られ,残りの16事例は土壌雨 量指数がそれまでの期間の最大値で崩壊した.



- 図5 土砂災害発生の推定時刻おける積算雨量 (6月28日~各災害発生時まで)
- Fig. 5 Accumulated rainfall from 0:00 on June 28 to the estimated time of occurrence of sediment disaster.



図6 土砂災害発生の推定時刻おける土壌雨量指数 Fig. 6 Soil water index *SWI* at the estimated time of occurrence of sediment disaster.



図7 土砂災害発生に推定時刻における土壌雨量 指数 SWI と時間雨量 RI

Fig. 7 Relationship between soil water index *SWI* and 1-hour rainfall *RI* at the estimated time of occurrence of sediment disaster.

図7に土砂災害発生の推定時刻における土壌雨量 指数と時間雨量の関係を示し,図中には崩壊分類と 図6で示した推定時刻での土壌雨量指数の分類も示 している.同図は,気象庁の土砂災害警戒判定メッ シュ情報の判定に用いられる短時間雨量と土壌雨量 指数の土砂災害発生時における関係を示している. 推定時刻において,図中の破線で示した3事例は, 土壌雨量指数が大きく,時間雨量も高い条件で発生 している.一方,図中の実線で示した13事例では, 時間雨量が比較的小さく,土壌雨量指数が比較的高 い状態で発生している.また,土壌雨量指数が大き く低下した時点で土砂災害が発生した4事例は,時 間雨量が比較的低い状態で発生している.

図8に「気象省の土壌雨量指数の警報基準値」と 「土砂災害発生の推定時刻における土壌雨量指数」の 変化量 ΔSWIと、両者の到達時刻の時間差 ΔT の関 係を示す.本稿で対象とした土砂災害の全ては6月 28日からの降雨により気象庁の警報基準値を1度は 超えており、そのうち18事例は警報基準値を超え た値で土砂災害が発生した.また、16事例は警報基 準値を超えてから2~18時間以内に土砂災害が発 生しており、土石流は警報基準値を超えて4~14 時間以内に発生している.一方、土壌雨量指数が最 大値以降に発生した土砂災害は、警報基準値を超え てから18~60時間経過し、災害が発生している.



- 図8 警報基準値に達してから災害発生の推定時刻 までの時間差 ΔT と警報基準値と土壌雨量指 数の変化量 ΔSWI
- Fig. 8 Variation of soil water index ΔSWI and time difference ΔT between the time when the alert level is reached and the estimated time of occurrence of sediment disaster.

図9に警報基準値に達してから土砂災害発生の推 定時刻までの時間差 AT で正規化した積算雨量の変 化量 AAR/AT と土壌雨量指数の変化量 ASWI の関係 を示す. AARは、警報基準値に達してから推定時刻 までの積算雨量の変化量を示しており,正規化した 積算雨量 ΔAR/ΔT は値が大きいほど雨量強度の強い 雨が継続したことを意味する.また,図中に崩壊分 類と土壌雨量指数の分類も示している. △AR/T が約 60 mm/h の高知県での災害事例 (Loc.11) と, 土壌雨 量指数が大きく低下した時点での災害事例(図中の 塗潰し記号)を除けば、ばらつきはあるが両者に正 の相関関係が見られる.図7では崩壊時の雨量強度 と土壌雨量指数の関係であったが、図9は警報基準 を超えてからの土砂災害までの雨量強度と土壌雨量 指数の推移を示している. これらの図より, 土壌雨 量指数が大きく低下した時点で土砂災害が発生して いる場合は一様ではない.一方,土壌雨量指数がそ れまでの期間の最大値で土砂災害が発生した事例の 多くは,雨量強度が比較的小さく,土壌雨量指数の 変化量も大きい条件下で土砂災害が発生しているこ とから、断続的な豪雨における土砂災害の発生誘因 の特徴であると推察できる.また,斜面崩壊と土石 流を分類して整理したが、対象事例が少ないことも あり,明瞭な差異は見られなかった.

短期的な集中豪雨ではなく断続的な豪雨であった



- 図9 警報基準値に達してから土砂災害発生の推定 時刻までの時間差 *ΔT* で正規化した積算雨量 の時間平均 *ΔAR/ΔT* と土壌雨量指数の変化量 *ΔSWI*
- Fig. 9 Normalized values of accumulated rainfall ΔAR / ΔT versus soil water index ΔSWI from the reached time of alert level to estimated time of occurrence of sediment disaster.

「平成30年7月豪雨」で発生した20事例の土砂災害 において,対象とした土砂災害の80%は,警報基 準値を超えてから2~18時間以内に土砂災害が発 生した.しかし,2時間程度では避難に必要な十分 な時間の確保ができていないことも考えられ,警報 基準値の見直しが必要な地域もある.また,警報基 準値を下回った時点で発生した事例や,超えてから 約60時間経過した場合に発生した事例もあり,避 難情報の解除の判断基準は今後の課題である.さら に今後は,地形・地質条件や斜面崩壊機構等の分析 を加え,土砂災害の発生条件を分析する必要がある.

7. まとめ

平成30年7月豪雨の被害調査より土砂災害の発 生時刻を推定し、気象庁解析雨量を用いた雨量分析 から、対象事例は少ないが以下の知見を得た.

土砂災害の発生件数の多さは積算雨量の分布と必ずしも一致しない.

- 土壌雨量指数がそれまでの期間の最大値で土砂 災害が発生する事例が多い.
- 2) 断続的な豪雨における土砂災害の発生誘因として,雨量強度が比較的小さく,土壌雨量指数の

変化量が大きい条件下であることが推察できる.

3) 土壌雨量指数の警報基準値を超え、降雨が継続した場合、多くの土砂災害が発生した.本稿で対象とした土砂災害の80%は、警報基準値を超えてからも土壌雨量指数が減少することなく上昇し続け、約18時間以内に土砂災害が発生した.

謝辞

本稿では、気象庁の解析雨量を使用した.また、 土砂災害発生の推定時刻に関する聞き取り調査では 被災地域の方々にご尽力を頂いた.防災科学技術研 究所の木村誇氏には図1の雨量分布図の提供や本研 究に関するご助言を頂いた.ここに記して関係各位 に謝辞を示します.最後になりましたが、今回の豪 雨が起因する災害で亡くなられた方々のご冥福をお 祈りするとともに、被災された方々のご健康および 被災地域の早期復興をお祈りいたします.

参考文献

- 内閣府(2019):平成30年7月豪雨による被 害状況等について(平成31年1月9日17時現 在),http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/ pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf.
- Okada, K., Makihara, Y., Shimpo, A., Nagata, K., Kunitsugu, M., and Saito, K. (2001): Soil water index, Tenki, Vol. 47, 36–41.
- 3) 気象庁(2018): 平成 30 年 7 月豪雨について, https://www.jma.go.jp/jma/press/1807/09b/20180709_ sankou.pdf.
- 4) 気象庁 (2019): 警報・注意報発表基準一覧表, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kijun/index. html
- 5) 気象庁 (2019): 解析雨量, https://www.jma.go.jp / jma/kishou/ know/kurashi/kaiseki.html
- Ishihara, Y. and S. Kobatake (1979): Runoff Model for Flood Forecasting, Bull.D.P.R.I., Kyoto Univ., 29, 27-43.

(2019年6月6日原稿受付,
2019年7月25日改稿受付,
2019年7月25日原稿受理)

要 旨

平成 30 年 7 月豪雨では短期的な集中豪雨ではなく断続的な豪雨により 2,581 件の土砂災害が発生した.本稿では、土砂災害に関する誘因の評価を分析するために、平成 30 年 7 月豪雨での土砂災害の発生時間に関する聞き取り調査や気象庁解析雨量を用いた雨量分析を実施し、推定した土砂災害の発生時刻と雨量分析による雨量指標の時間変化について分析した.20 箇所の土砂災害を分析した結果、土壌雨量指数が期間内最大値で土砂災害が発生する事例が多いことを示した.さらに、土壌雨量指数の 警報基準値に着目したところ、本稿で対象とした土砂災害の 80% は、警報基準値を超えてからも土壌雨量指数が上昇し続けた場合、約 18 時間以内に土砂災害が発生したことを示した.

キーワード: 土砂災害, 豪雨, 雨量指標, 発生時間, 警報基準値