

土砂災害を発生させた豪雨の時間的・活動的特性

林 拙郎¹・山田 孝²・川邊 洋³

Duration and intensity characteristics of heavy rainfall which cause sediment-related disasters

Setsuo HAYASHI¹, Takashi YAMADA² and Hiroshi KAWABE³

Abstract

Duration and intensity characteristics of heavy rainfall that caused sediment disaster were studied. First, we classified the types of heavy rainfall into three types: high active heavy rainfall with extremely high intensity and short duration (hereinafter, it is written as H.A.H.R.), active heavy rainfall with very high intensity (hereinafter, it is written as A.H.R.), long active heavy rainfall with high intensity and long duration (hereinafter, it is written as L.A.H.R.). The heavy rain defined in this study is high intensity rain at the beginning and the end of the period including 2 hours of no rainfall. Here, heavy rainfall is defined as rainfall of 15 mm/h or more, and no rainfall is rainfall less than 0.5 mm/h. The characteristics of rainfall duration (t_d) and rainfall intensity ($i=R_H/t_d$, R_H : cumulative heavy rainfall) were analyzed for the events of remarkable heavy rainfall. As a result, the duration (t_d) of H.A.H.R., A.H.R. and L.A.H.R. are estimated to be 3 to 12 hours, 12 to 36 hours, 36 to x hours, respectively. The upper limits of rainfall intensity (i) of these three types of heavy rainfall were estimated to be 70 mm/h, 36 mm/h and 20 mm/h, respectively.

キーワード：豪雨災害，豪雨の分類，名称，継続時間，豪雨強度

Key words: three types of heavy rainfall, classification, name, activity, disaster

¹ 静岡大学防災総合センター（客員）
Shizuoka Univ. Center for Integrated Research and
Education of Natural Hazards, Visiting professor

² 北海道大学大学院農学研究院
Hokkaido Univ., Research Faculty of Agriculture

³ 新潟大学名誉教授
Niigata Univ. Honorary professor

本報告に対する討議は2020年5月末日まで受け付ける。

1. はじめに

豪雨とは何か、という一般的問いには答えにくいにしても、土砂災害を発生させた豪雨の時間的特性や活動的特性については、発現した現象から調べることが可能である。大雨の空間的名称について気象関係では、局地的大雨・集中豪雨という名称が知られている(気象庁, 2009)が、2018年7月豪雨のように、結果的に広域で長時間にわたる豪雨のような場合については特に名称はない。また、豪雨の時間的分類に関して、局地的大雨はせいぜい1時間程度の継続時間を考えているようである。土砂災害の立場からみると、余程の先行雨量がない限り、顕著な土砂災害は、大雨とはいえ、1時間程度で発生するとは考えにくく、局地的大雨は鉄砲水のような突発的な洪水発生などに対応した名称と考えられる(気象庁, 2009)。

一方、土砂災害が注目されるようになって久しいが、地震災害を除くとその多くは豪雨によるものであり、豪雨との関連に関する研究は重要になっている。これまで、気象学的な豪雨の分類や定義はなされていない(津口・加藤, 2014)ようであり、気象を応用する立場からは漠然と用いられることが多かったようにみられる。しかし、豪雨の用語は、学術以外においても新聞などで災害との関連で使われることが多く、豪雨災害論の立場からも有用な考察が必要である。ここで、豪雨の特徴を気象学的な成果と既往の豪雨災害の研究とを結びつけ、時間的・活動的な面から豪雨災害論へのアプローチとすることは重要な第一歩である。

筆者らは最近、地域雨量 $R_{1/2}$ を用いて豪雨度 H を提案し、土砂災害を発生させた豪雨の評価法を示した(林・山田, 2017)。それには、2週間の先行雨量と災害の当日・前日という2日間のトリガー雨量の2つの因子が必要であったが、ここで扱う豪雨は、主にトリガー豪雨に関連した事象である。

本稿では、土砂災害の発生した豪雨を対象として、主に時間的・活動的な発現現象(豪雨の継続時間、豪雨の雨量強度など)から豪雨の発生特性について検討する。

2. 土砂災害を発生させた豪雨の分析法

2.1 作業仮説

これまでの豪雨についての議論は、災害面からの必要性が高かったにもかかわらず、降雨状況と関連して気象現象(大気-降水過程)から議論されることが多く、作業仮説として豪雨を定義し、多量の降水発生機構の研究に取りかかるという色彩が強かった。この解析には、データに詳しいということもあり、気象研究者が先行した。例えば、小倉(1991)は、日雨量100 mm以上の降雨を豪雨として分析を行っており、気象研究所(2019)に従えば、「災害をもたらした(た)うる大雨を豪雨」ということになる。

また、主な大気擾乱の時間スケールと空間スケールに密接な関係があることを見出したOlranski(1975)の手法に基づき、気象庁(2019)や、高橋(2005)は、日本の現状に具体的にあてはめ、各メソスケールに対する時間・空間スケールを考察した。このことから、気象スケールとして時間スケールと空間スケールの相互の一般的な関連性は考慮されるべきものであるが、本稿では、降雨データより得られる時間的特性を主として検討するために、両者の関連は特に分析せずに論考することとする。

以下の検討にあたり、最初に作業仮説を考える。降雨状況を考えると、豪雨の発生特性は時間雨量(雨量強度)に左右されるものとみられるが、降雨の発生状況は、一定の雨量強度の雨が降り続くのではなく、強い雨や弱い雨を伴うのが普通である。一連の豪雨において発生した時間雨量の模式的な降雨状況を図1に示す。図1の台形の上部破線は時間雨量が一様でないことを示している。

図1のように豪雨の活動性と継続性(林・山田, 2016, 気象庁, 2019)を考えると、豪雨の平均雨量強度(豪雨強度)は降雨時間が短時間に終了する豪雨ほど激しく、次に中間的に活発な豪雨があり、さらに豪雨が連続性を維持して長時間続くと、豪雨強度は小さい値となる。これら豪雨3種の時間的・活動的名称を以下、便宜上

激性豪雨・活性豪雨・長大豪雨と呼ぶことにする(図1)。

土砂災害を発生させた豪雨の場合、それぞれの継続時間は、局地的大雨のように短いものではなく、各豪雨の継続状況は、概略、激性豪雨で数時間(数h)~10h、活性豪雨で10h~40h、長大豪雨で数日が考えられる。空間特性については、名称と概略の豪雨域を考えると、局地豪雨;数km~10km、集中豪雨;10km~100km、広域豪雨;100km~?kmが考えられる。広域の豪雨に関して牛山(2008)は広域型豪雨と呼んだが、以下では、広域豪雨と呼ぶ。ここに、集中豪雨については、気象庁(2019)を参考にし、局地豪雨については、二宮(1975)や庄原豪雨での海堀・杉原・他(2010)を参考にした。

豪雨の空間特性と時間特性の関連性については先にのべたように Orlanski (1975) 他が知られているが、今回はこれ以上特に触れず、以下では豪雨の時間・活動特性について検討する。

2.2 時間・活動特性の解析法

前節でも少し述べたが、豪雨の雨足は通常様ではなく、強くなったり、弱くなったりして初期から波を打ちながら継続し、終期に向かう。強い雨の基本は積(乱)雲(二宮, 1975)にあり、その集まりが強雨(詳しくは次の①)である。そして強雨が連続する状況が豪雨であり、時間的・空間的スケールによって先の図1のような三つの豪雨形態が発生すると考えられる。したがって、豪雨は強雨によって主要部が構成されるので、強雨の集まりとして豪雨を検討することが適当であろう。

このことから、豪雨の継続時間の検討には強雨の雨量強度(時間雨量)の最低値と無降雨の時間を決定する必要がある。そこで、図2のような豪

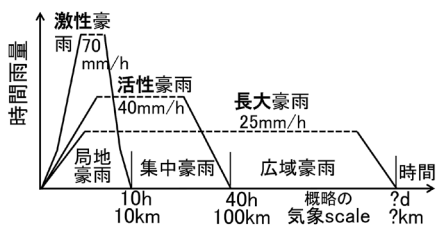


図1 豪雨三種の作業仮説

雨の継続状況を考慮し、次のように関係する事象を設定する。

①強雨の雨量強度: 15 mm/h 以上

この値は、気象庁「激しい雨」の下限値(鈴木・高橋・中北, 2015)、あるいは2009年頃までの気象庁方針にあった大雨注意予報の発令基準30 mm/h(白河市, 2009)の半分にあたり、また、大滝(1986)が15 mm/h以上を強雨としていたことによっている。

ここで、豪雨を時間雨量15 mm/h以上の強雨を含む集合体とすると、典型的な豪雨は、両端に強雨があり、降り続く雨の中にピークの強雨が含まれる状況が数時間以上続く場合(無降雨を含む)と考えることができる。特徴としては、継続時間が短いほど、雨量強度は大となる。2012年阿蘇豪雨の場合、「激性豪雨」が該当するとみられる(詳しくは後述)。

②豪雨の継続性: 無降雨(雨量強度0.5 mm/h未滿)

時間2h以内

連続雨量として一連の豪雨の発生状況を考えるので、2hの無降雨時間を認めることにする。ここで、その時間を2hまでとしたのは、1938年の六甲豪雨が長時間の降雨の途中に2hの無降雨を含んでいることによっている。その他に道路関係の多くで連続雨量の無降雨時間を時間単位でみると2hとしている(鳥居・小野, 2016)ことも考慮している。

こうして、豪雨の継続時間 t_d が決まる。図2

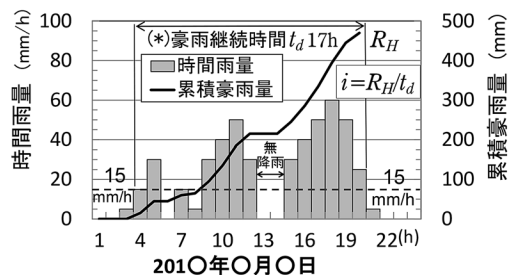


図2 土砂災害発生豪雨の解析法

(*) 豪雨継続時間とは、ピーク雨量を挟む両端が15 mm/h以上の連続した強雨の発生時間。但し、2hまでの無降雨時間を含む。無降雨とは0.5 mm/h未滿の降雨。

の場合、継続時間 t_d は 17 h である。この間の累積豪雨量（豪雨の総雨量）は、 R_H で表され、豪雨の平均雨量強度（以下、豪雨強度 i ）は次式で求められる。

$$i = R_H / t_d \quad (1)$$

3. 各種の土砂災害豪雨の実例

以下、顕著な土砂災害を発生させた豪雨の状況をタイプ別に分析する。

3.1 激性豪雨

(1) 2010年庄原豪雨

2010年7月16日午後、広島県庄原市のわずかに 5 km 弱四方のエリアに 3 時間だけの猛烈な強雨が発生した。当日 15 時から 18 時までの 3 時間の各時間雨量は広島県大戸雨量計で順時、38, 72, 63 mm/h であり、計 173 mm となった。これに対し、被災地より 5–6 km 離れたアメダス庄原雨量計の 3 時間合計雨量は 64 mm であり、典型的な局地豪雨のタイプであった（海堀・杉原・他, 2010）。

図 3 に 2010 年 7 月 16 日の庄原豪雨に対し、被災地直近に位置する県大戸雨量計の時間雨量の経過を示す。この図のように庄原豪雨は一山形の豪雨形態である。前 2 週間の先行雨量 R_{2-15} は 350 mm であり、被災当日と前日の 2 日間 (48h) のトリガー雨量 R_{48} は 197 mm である。

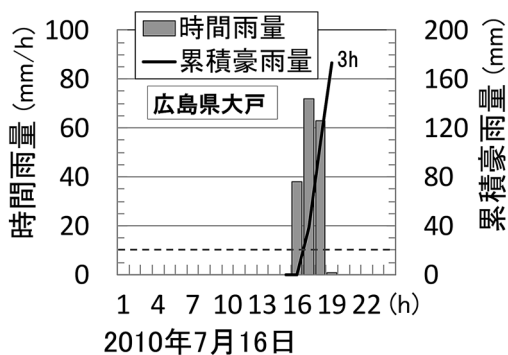


図 3 2010年庄原豪雨（激性豪雨）の豪雨形態

(2) 2012年阿蘇豪雨

2012年7月12日00時より熊本県阿蘇地域においては、激しい豪雨にみまわれた。いわゆる「平成24年7月九州北部豪雨」である。土砂災害は、主に阿蘇カルデラ外輪部の東側の手野地区から直ぐ南の坂梨地区において激しく発生した。

7月11日～12日における熊本県阿蘇城山での時間雨量の経過を図 4 に示す。この図のように 2012 年熊本豪雨は一山形の豪雨形態である。

強雨の始まりは 7 月 12 日 01 時、終了は 12 日 07 時であり、この間に 100 mm/h を超える猛烈な強雨が発生した。豪雨の継続時間は 6 時間、累積豪雨量は 416 mm である。先行雨量は、 R_{2-15} が 325 mm であり、トリガー雨量 R_{48} は 449 mm と比較的大きい値である（林・山田, 2017）。

3.2 活性豪雨

(1) 1982年長崎豪雨

1982年7月23日から25日にかけて、西日本では梅雨前線の活動が活発となった。特に長崎県下では 23 日夜、激しい強雨が発生し、目立った雨量としては、3 時間降雨量が 313 mm、日雨量は 448 mm となり、長崎市郊外を中心に土砂災害が多発した（中央防災会議, 2005）

7 月 23 日～24 日のアメダス長崎での時間雨量の経過を図 5 に示す。強雨の始まりは 23 日 18 時、終了は 7 月 24 日 08 時であり、この間に 100 mm/h を超える猛烈な強雨が発生した。豪雨の継続時間は 14 時間、累積豪雨量は 506 mm と比較的大きい値である。このときの先行雨量 R_{2-15} は 581.5 mm で

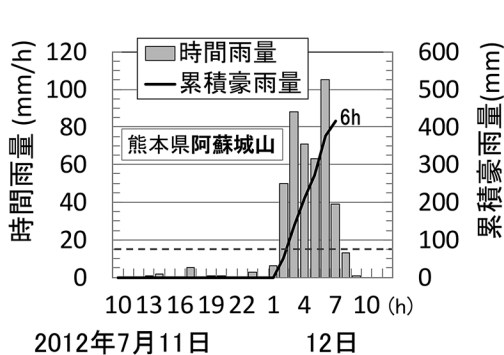


図 4 2012年阿蘇豪雨（激性豪雨）の豪雨形態

あり、トリガー雨量 R_{48} は572 mm であった。

(2) 2004年宮川豪雨

台風21号が鹿児島県に上陸した2004年9月29日、当時の三重県南部尾鷲市・海山町・宮川村では、すでに猛烈な雨が降発生していた。海山町では1 m ~ 2 m の浸水被害となり、宮川村では多数の斜面崩壊・土石流災害が発生した。村内を流れる宮川の各支溪では至る所で土石流が発生し、裏山に近接した斜面下部の家屋が斜面崩壊によって被害を受けた(林・土屋・近藤・他, 2004)。

2004年9月28日~29日の三重県宮川ダムでの時間雨量の経過を図6に示す。強雨の始まりは9月28日20時、終了は9月29日21時であり、この間に100 mm/h を超える猛烈な強雨が2回発生した。豪雨の継続時間は25時間、累積豪雨量は915 mm と大きい値である。このときの先行雨量 R_{2-15} は126 mm であり、トリガー雨量 R_{48} は930 mm と大

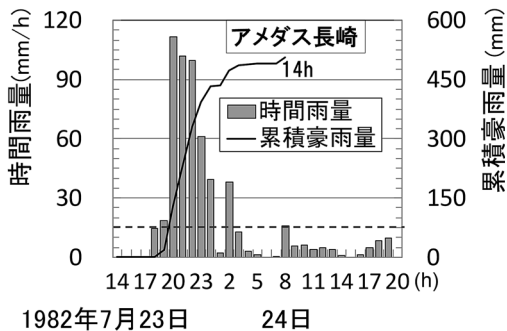


図5 1982年長崎豪雨(活性豪雨)の豪雨形態

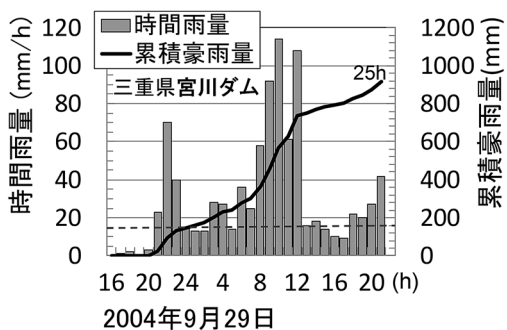


図6 2004年宮川豪雨(活性豪雨)の豪雨形態

きい雨量となった。

3.3 長大豪雨

(1) 1938年六甲豪雨

六甲豪雨は1938年7月5日を中心に激しい強雨が降発生した。この年阪神地域は梅雨期に十分な降水を受けていたところへ、太平洋沿岸に極めて発達した梅雨前線が形成された。7月3日18時頃より雨足が強まり、4日の夕方にはいったん小康状態になったものの、5日の01時より13時23分まで大豪雨となった。これにより六甲山地各所で斜面崩壊や土石流が発生し、河川は増水・氾濫、流木や土砂・岩石を一気に下流域まで押し流し、市街地全面にわたって家屋の流出、倒壊、埋没といった被害を引き起こした(加藤, 2007)。

1938年7月3日~5日の前アメダス神戸(前神戸气象台)での時間雨量の経過を図7に示す。強雨の始まりは7月3日20時、終了は7月5日12時であり、豪雨の継続時間は40時間、累積豪雨量は434.6 mm と比較的大きい値である。このときの先行雨量 R_{2-15} は147.1 mm であり、トリガー雨量 R_{48} は401.4 mm である。

(2) 2011年紀伊半島豪雨

2011年8月31日から9月4日まで、5日間続いた台風12号による降雨の影響で地盤がゆるみ、紀伊半島各地で千箇所を超える土石流・地すべり・崖崩れなどの土砂災害が発生した(国交省近畿地方整備局, 2014)。

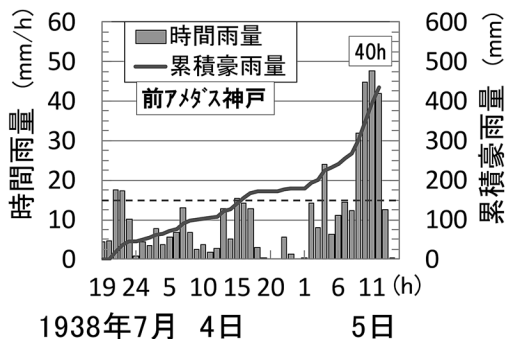


図7 1938年六甲豪雨(長大豪雨)の豪雨形態

ここで示す雨量は山地中央部に位置するアメダス風屋の雨量であり、図8に時間雨量の経過を示す。強雨の始まりは9月2日00時、終了は9月4日07時であり、豪雨の継続時間は55時間、累積豪雨量は1233.5 mmと大きい値である。このときの先行雨量 R_{2-15} は690 mm であり、トリガー雨量 R_{48} は799.5 mm と大きい値であった。

4. 土砂災害豪雨の解析結果

4.1 継続時間 t_d と豪雨強度 i の解析結果

これまで顕著な土砂災害を発生させた豪雨の継続時間 t_d と(1)式による豪雨強度 i との関係データを図9に示す。図9で目立ったところを挙げると以下のような点である。

激性豪雨の領域にある2017年九州北部豪雨の北小路公民館(図中「北」)の豪雨強度 i は突出した

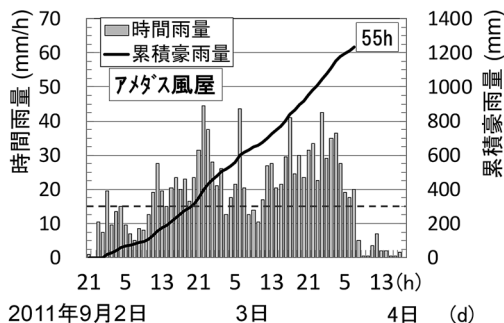


図8 2011年紀伊半島豪雨(長大豪雨)の豪雨形態

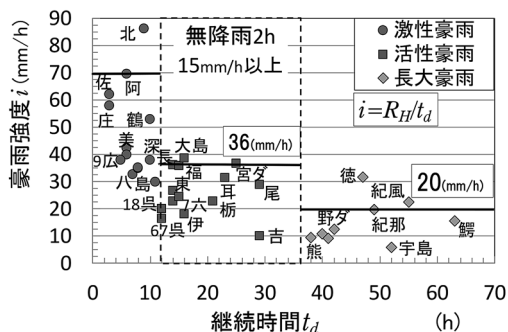


図9 土砂災害豪雨に対する継続時間 t_d と豪雨強度 i の関係図

値となっており、継続時間もこの領域内で大きい部類に入る。この領域内の継続時間の最大は、1983年島根豪雨の11 h である。

活性豪雨では、2013年伊豆大島豪雨が豪雨強度 i として大きく、継続時間の最小値は1967年と2018年西日本豪雨での呉气象台の12 h である。また、継続時間の最大値は1971年の尾鷲豪雨と2018年西日本豪雨での愛媛県吉田観測所の29 h である。

長大豪雨の領域にある2004年徳島豪雨(図中「徳」)は多雨域に属しており、災害時の豪雨強度 i も突出した値である。継続時間に関しては、最小値が2018年西日本豪雨での広島県熊野町の38 h であり、最大値は2005年鰐塚豪雨でのアメダス鰐塚山の継続時間63 h である。

この結果より、激性豪雨領域の豪雨強度 i の上限は突出データを除くと70 mm/h 程度とみられ、活性豪雨では、この領域での豪雨強度 i の上限を36 mm/h とすると両豪雨の上下限の分離は良さそうである。同様に、長大豪雨の領域における上限値は、突出データを含む上位2位を除いて20 mm/h とすると、活性豪雨との分離が良いようである。

また、各豪雨領域の継続時間の範囲は、詳しい分析は後述することにして、図9より概略、激性豪雨：3～12 h、活性豪雨：12～36 h、長大豪雨：36～? h のようにみることができる。図9には、代表的な豪雨に対する豪雨名の簡略化した名称が示されており、詳しい豪雨名他は後出の表1に記載されている。

ここまで激性・活性・長大の各豪雨強度の上限値と継続時間の範囲を調べた。これは、図1の作業仮説で示した事項の1つであり、より詳細な特性が明らかになった。

4.2 激性・活性・長大豪雨の境界時間の解析結果

激性・活性・長大豪雨の継続時間の解析より、豪雨3種の継続時間と豪雨強度の上限値は、次の値をもつことが推定された。

激性豪雨：3～12 h, 70 mm/h

活性豪雨：12～36 h, 36 mm/h

長大豪雨：36～？ h, 20 mm/h

以下では、時間領域の境界時間について理由を分析する。

(1) 活性・長大豪雨の境界時間を決める因子—豪雨発生度 k_H

活性豪雨と長大豪雨との境界時間の検討には、累積豪雨量 R_H と 2 日間のトリガー雨量 R_{48} との比、つまり豪雨発生度 k_H

$$k_H = R_H / R_{48} \quad (2)$$

を考えると時間的な豪雨特性の分析に都合がよい。そこで、顕著な土砂災害の発生豪雨に対する豪雨発生度 k_H と豪雨の継続時間 t_d との関係を示すと図10が得られる。この図の長大豪雨のデータに着目すると、豪雨発生度 k_H が1.0以上の範囲に長大豪雨のデータが収まり、この領域を長大豪雨の範囲とすると合理性が高まる。このときの継続時間 t_d の境界を調べると34～36 h 程度であり、本稿では、長大豪雨の時間的範囲を36 h 以上とする。

(2) 激性・活性豪雨の境界時間を決める因子—強雨集中時間 t_H

次に、激性豪雨と活性豪雨の時間的な境界を調べる。そのために、強雨集中時間 t_H の因子

$$t_H = (R_{48} / R_H) t_d = (1 / k_H) t_d \quad (3)$$

を導入する。導入された t_H の因子は、トリガー

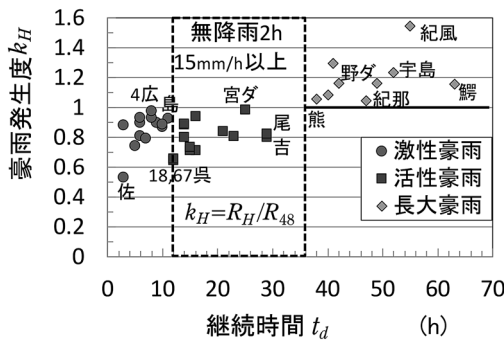


図10 豪雨発生度 k_H と継続時間 t_d の関係図

雨量 R_{48} を累積豪雨量 R_H で除した値 (豪雨発生度 k_H の逆数) に各豪雨の継続時間 t_d を乗算した因子である。この中で、 $R_{48} / R_H (=1/k_H)$ は、前後に降雨がなく、強雨だけが数時間立ち上がった状況では、 $R_{48} / R_H = 1$ であるが、実際上、前後に降雨があるのが普通であるので、 $R_{48} / R_H \geq 1$ である。庄原豪雨の場合、 R_{48} / R_H は最小値の1.03であり、最大値は1.89 (1967年佐世保豪雨) である。

強雨集中時間 t_H と継続時間 t_d との関係を調べた図が図11であり、示されたデータ群は、激性豪雨の領域で集束して増加し、活性豪雨の領域から徐々に分散増加する傾向となっている。このように強雨集中時間 t_H と継続時間 t_d の関係を設定すると、激性豪雨と活性豪雨の境界は明確に12h であるとみることができる。

以上の検討より、豪雨3種の時間的区分が明瞭となった。

5. 考察

5.1 基準化 (豪雨) 強度 I に関する考察

先の図9では、(1)式で求めた豪雨強度 i は「北」と「徳」が突出した値となっており、多雨の発生しやすい地域性の要因が考えられた。これには、筆者ら (林・山田, 2017) が以前考察したように、多雨の発生には地域的な偏在性があり、土砂災害豪雨の比較に総雨量を単純に比較しても、あまり意味をもたないことが挙げられる。つまり、土砂災害に与える総雨量の影響が多雨地域と非多雨地域とは同様とならないことが考えられるからであり、解決には、地域雨量 R_{12} (2年に1度

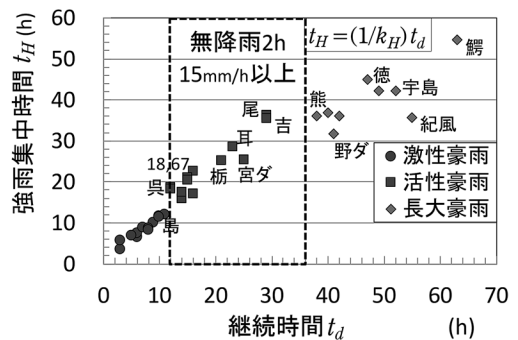


図11 強雨集中時間 t_H と継続時間 t_d の関係図

の確率雨量)を導入して比較することが有用とみられる(林, 1985, 2008)。

そこで豪雨強度*i*に対し, 次のような時間当たりの地域雨量を用いた基準化豪雨強度*I*

$$I=i/(R_{1/2}/24) \quad (4)$$

を導入する。ここに, $R_{1/2}$:地域雨量(日雨量), *i*:豪雨強度である。ここで, この強度*I*と継続時間*t_d*との関係を調べると図12が得られる。図の縦軸では, 基準化豪雨強度*I*を基準化強度*I*と表記した(以下, 基準化強度*I*)。このように, 時間当たりの地域雨量で除した因子*I*を用いると, 豪雨の地域性が除去され, 先の図9でみられた第1位の突出値「北」と第2位のデータの値との間隔が図12では狭まっている(図12の第2位のデータ「庄(原)」は, 図9では第4位のデータであった)。

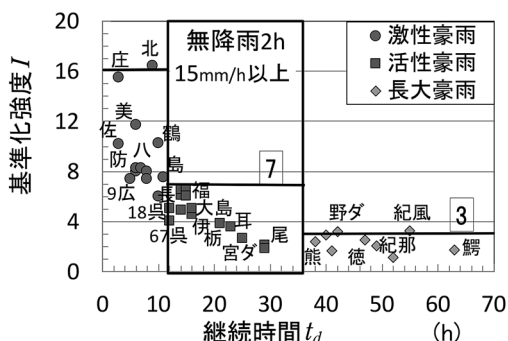


図12 土砂災害豪雨に対する基準化強度*I*と継続時間*t_d*の関係図

また, 長大豪雨領域の「徳」はこの図で第4位に低下した。

こうして改めて図12をみると, 激性豪雨の上限値は, $I=16$ とみることができる。同時に, 激性豪雨と活性豪雨の分離性は明瞭で, 活性豪雨の上限値を最上限の $I=7$ としても, 激性豪雨の最下限値が1つ含まれるだけである。これより, 活性豪雨領域の上限値は $I=7$ と設定できる。最後に, 活性豪雨と長大豪雨との基準化強度*I*の分離は, $I=3$ とすると長大豪雨の第1位, 2位のデータを少し下まわる程度で, 活性豪雨の下位3個のデータを分離することができ, 両者の分離性は先の図9より明瞭となる。

この図12と図9とを比較すると, 地域雨量を考慮した因子の利用によって豪雨3種の区分と特性がより明確となったものとみられる。

5.2 顕著な土砂災害豪雨の特徴

豪雨3種の時間的分類と発生した豪雨の発生年, 名称(雨量計), 略称を表1に示す。表1をみると次のようなことに気がつく。

まず, 激性豪雨についてみると, 先の4.1で述べた以外では, 広島県下や山口県下で発生した1999, 2009, 2010, 2014年の各豪雨が含まれる。発生当初よく言われたように, これらの豪雨は短時間の激しい豪雨にみられる特徴が明瞭である。

次に, 活性豪雨の事例をみよう。目立った豪雨として, 1961年伊那谷豪雨, 1967年呉豪雨, 同年

表1 土砂災害豪雨の分類(発生年, 豪雨名(雨量計), 略称)

激性豪雨 3h~12h	活性豪雨 12h~36h	長大豪雨 36h~?
1967佐世保(前A_佐世保), 佐	1961伊那谷(前A_飯田), 伊	1938六甲(前A_神戸)
1983島根(A_浜田), 島	1967呉(前A_呉), 67呉	2004徳島(国_沢谷), 徳
1999広島(県_魚切ダム), 9広	1967六甲(前A_神戸), 7六	2005鰐塚(A_鰐塚山), 鰐
2003水俣(熊本県_深川), 深	1971尾鷲(前A_尾鷲), 尾	2011紀伊半島(A_風屋), 紀風
2004美山(A_美山), 美	1982長崎(A_長崎), 長	2011紀伊半島(A_色川), 紀(伊)那(智)
2009防府(国_真尾), 防	1998福島(国_真船), 福	2018年7月(広島県_野呂川ダム), 野々
2010庄原(県_大戸), 庄	2000東海(A_稲武), 東	2018年7月(広島県熊野町), 熊
2010八百津(A_伽藍), 八	2004宮川(県_宮川ダム), 宮々	2018年7月(A_宇和島), 宇島
2012阿蘇(県_阿蘇城山), 阿	2005宮崎(A_諸塚), 耳	2018年7月(A_宇和)
2012大津(A_大石)	2013伊豆大島(都_茶屋), 大島→茶屋: 御神火茶屋	
2014広島(県_上原), 4広	2015栃木(国_中三依), 栃	
2017九州北部(国_鶴河内), 鶴	2018年7月(A_呉), 18呉	
2017九州北部(県_北小路公民館), 北	2018年7月(広島県_警固屋)	
	2018年7月(愛媛県_吉田), 吉	

六甲豪雨、1982年長崎豪雨から2013年伊豆大島豪雨、2018年西日本豪雨のアメダス呉、広島県警固屋、愛媛県吉田の各観測点までが含まれる。これらを見ると、顕著で典型的な中型の豪雨がこの範囲に含まれていることがわかる。

時間的に最大領域にある長大豪雨には、1938年六甲豪雨から、2004年徳島豪雨、2011年紀伊半島豪雨までの大型の豪雨が並んでいる。また、2018年西日本豪雨の中で、広島県下2地点、愛媛県下2地点が含まれる。大型で広域となった2018年西日本豪雨のような場合には、雨量の観測地点によって活性豪雨の領域に含まれたり、長大豪雨に含まれたりすることが特徴的である。この点は2.2の解析法で述べた強雨の時間雨量の設定を変えると異なる結果が得られるかもしれないが、今回はこのことを指摘することにとどめておくことにする。

5.3 作業仮説および解析法との関係

第2章では、一連の降雨において時間雨量15 mm/h以上の強雨が両端に降る場合を豪雨の継続時間の範囲としてきた。当然ながら、先行雨量が少なく、その強雨が前後2時間の最小の雨量(30 mm)だけであれば、土砂災害は発生しない。そのため、通常の降雨現象は検討対象に含まれていない。また、本研究の目的は強雨を定義し、それに挟まれる豪雨の継続時間 t_d を豪雨災害時のハイエトグラフより求めて、直接 t_d を分類することにあった。

この解析法によく似た解析法として、欧米の豪雨災害に対する限界の $i \sim D$ 解析(D : 降り始めから災害発災までの継続時間、 i : その時間内の平均降雨強度)があり、多くは、 $i = aD^{-b}$ の係数 a 、 b を求めるものである(Brunetti et al., 2010; Berti et al., 2012)。本研究とこれらの研究とは、トリガー雨量の分析という点では、似ている点もあるが、最終目的および継続時間 t_d と D の定義が大きく異なっている。確かに、豪雨強度 i や基準化強度 I の全体的傾向は豪雨継続時間 t_d に対し右下がりの傾向を示している。しかし、本来、降雨の継続時間が長引けば降雨強度は低下する性質のもので

ある。

そのような意味で図1の作業仮説では、豪雨3種をこれまでの研究成果の上に立って、豪雨の空間的特性や、豪雨強度と継続時間に対応して豪雨を大まかに分類し、区分名を先験的に与えた。そして、その仮説に沿って土砂災害を発生させた豪雨を激性豪雨・活性豪雨・長大豪雨という区分名を用いて分析を行ってきた。

各区分名は、時間的名称が既存の名称と重なることを考慮し、豪雨が土砂災害に及ぼす影響を明示するためにその活動状況を意味する名称とした。激性豪雨については、小型ではあるが、降雨状況の急激性・激発性を考慮したものであり、活性豪雨については、中型豪雨の活動性・活発性をみたものである。長大豪雨については、大型豪雨のもつ特に長い時間特性や、持続性・継続性を示そうとした。

その結果、作業仮説は深まり、より明確な各豪雨強度と継続時間の領域特性が明らかになり、分類区分の特質を明瞭にできたものと思われる。

6. 結語

本研究では、設定した作業仮説の立場から土砂災害発生豪雨の時間的・活動的名称を激性豪雨・活性豪雨・長大豪雨の三つに区分して分析した。

土砂災害豪雨として、ピーク雨量を挟む降雨の両端が15 mm/h以上の強雨の集合体を探り挙げた。豪雨の継続性を維持するものとして、2時間の無降雨(0.5 mm/h未満)まで認めることとした。採り挙げた顕著な豪雨データの解析より、各豪雨の継続時間 t_d と豪雨強度 i ($=R_H/t_d$, R_H : 累積豪雨量)の値を求め、各豪雨の強度 i の上限値を明示した。

また、被災当日と前日(48時間)のトリガー雨量 R_{48} を用いると、豪雨発生度 k_H ($=R_H/R_{48}$)と強雨集中時間 t_H ($=t_d/k_H$)の因子より、各豪雨領域の時間的な範囲が明瞭となった。さらに、各豪雨領域の上限値は、降雨量の地域性の影響を除去するために、時間当りの地域雨量を用いて基準化強度 I を求めると、各領域の上限値がより明瞭となることが示された。これらの結論は表2のように

表2 豪雨三種の限界特性

豪雨名	継続時間 td	豪雨強度 i	基準化強度 I
激性豪雨	3~12 h	70 mm	16
活性豪雨	12~36 h	36 mm	7
長大豪雨	36~? h	20 mm	3

まとめられる。

発生豪雨の区分名称は、継続時間、つまり時間雨量15 mm/h以上の豪雨継続時間は降雨データから求められるので、豪雨が発生すれば、直ちに名称の区分を決めることが可能である。現時点では、各領域の境界値は一部推定も含まれるが、根本的に不確実なものではなく、この方法によって今後データ分析が追加されれば、さらに定まっていく性質のものである。

謝辞

匿名の2名の査読者からの確かなコメントおよびご指摘を頂いた。ここに記してお礼を申し上げます。

参考文献

- Berti, M., Martina, M.L.V., Franceschini, S., Pignone, S., Simoni, A., and Pizziolo, M.: Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach, *Journal of Geophysical Research*, Vol.117, F04006, pp.1-20, 2012.
- Brunetti, M.T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., and Guzzetti, F.: Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol.10, pp.447-458, 2010.
- 中央防災会議：1982長崎豪雨災害報告書，pp.1-9 2005.
- 林 拙郎：崩壊面積率と水文データとの二、三の関係，*日本林学会誌*，Vol.67, No.6, pp.209-217, 1985.
- 林 拙郎：自然環境保全のための保全砂防学入門－土砂災害の予知と防災，*電気書院*，pp.198-234, 2008.
- 林 拙郎・土屋 智・近藤観慈・芝野博文・沼本晋也・小杉賢一朗・山越隆雄・池田暁彦：2004年9月29日，台風21号に伴って発生した三重県宮川村の土砂災害（速報），*砂防学会誌*，Vol.57, No.4, pp.48-55, 2004.
- 林 拙郎・山田 孝：広島土砂災害の豪雨および土層特性－豪雨災害論へのアプローチ－，平成28年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp.106-107, 2016.
- 林 拙郎・山田 孝：土砂災害を発生させた豪雨のファクターとスケールの設定法，*自然災害科学*，Vol.36, No.3, pp.307-320, 2017.
- 海堀正博・杉原成満・中井真司・荒木義則・山越隆雄・林真一郎・山下 祐：2010年7月16日に発生した広島県庄原市の土砂災害の緊急調査報告，*砂防学会誌*，Vol.63, No.4, pp.30-37, 2010.
- 加藤尚子：昭和13年「阪神大水害」における旧本山村（現神戸市東灘区）の災害対応と復旧支援，*自然災害科学*，Vol.26, No.3, pp.291-305, 2007.
- 気象庁：局地的大雨から身を守るために－防災気象情報の活用の手引き－（案），pp.1-40, 2009.
- 気象庁：様々な気象現象，<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-1-2.html>. 2019年2月2日
- 気象研究所：局地豪雨の解析・予測研究，http://www.mri-jma.go.jp/Dep/fo/fo3/araki/local_heavy_rainfall.html. 2019年1月5日
- 国土交通省近畿地方整備局：2011年紀伊半島大水害－国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録－，pp.18-27, 2014.
- 小倉義光：集中豪雨の解析とメカニズム，*天気*，Vol. 38, No.5, pp.22-34, 1991.
- 大滝俊夫：雨と斜面崩壊，*斜面災害の予知と防災*（VI章），pp.222-241，白亜書房，1986.
- Olranski, I.: A rational subdivision of scales for atmospheric processes, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol.56, pp.527-530, 1975.
- 白河市：気象注意報および警報の発令基準，http://www.city.shirakawa.fukushima.jp/data/doc/1452774781_doc_3_1.pdf. 2019年1月5日
- 鈴木博人・高橋日出男・中北英一：複数の機関の雨量計観測値を用いた大雨の空間スケールに関する解析，*自然災害科学*，Vol.34（特別号），pp.71-76, 2015.
- 高橋日出男：日本における豪雨の気候と機構－地域性と時間スケール－，*学芸地理*，No.60, pp.47-57, 2005.
- 鳥居宣之・小野泰東：豪雨時の事前通行規制のための雨量観測体制に関する一考察，*神戸高専研究紀要*，No.54, pp.39-44, 2016.
- 津口裕茂・加藤輝之：集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析，*天気*，Vol.61, No.6, pp.19-33, 2014.

牛山素行：豪雨の災害情報学, 171p., 古今書院,
2008.

(投稿受理：平成31年3月3日
訂正稿受理：令和元年6月7日)

要 旨

土砂災害を発生させた豪雨を対象として時間的な特性と活動的な特性について検討した。研究に先立ち、豪雨の種類を激性豪雨・活性豪雨・長大豪雨の3種に区分した。豪雨の構成要素として、両端が強雨であって、その間に2時間の無降雨を含む降雨の集合体を採り挙げた。ここに、強雨：15 mm/h以上の降雨，無降雨：0.5 mm/h未満の降雨である。顕著な豪雨のデータに対し、各豪雨の継続時間 t_d と豪雨強度 $i (=R_H/t_d, R_H$ ：累積豪雨量) の特性を分析した。その結果、豪雨3種の継続時間 t_d の範囲と豪雨強度 i の上限値は、次の値をもつことが推定された。つまり、激性豪雨：3～12h, 70 mm/h, 活性豪雨：12～36h, 36 mm/h, 長大豪雨：36～ x h, 20 mm/hである。