

筑波大学大学院環境科学研究科 ○秋山怜子
筑波大学農林工学系 宮本邦明・西田謙郎
筑波大学地球科学系 安仁屋政武

1. はじめに

崩壊や土石流の発生予測は、土砂災害の防止において非常に重要な課題である。その中でも、発生支配降雨の推定は中心的な課題であり多くの研究がなされている。しかしながら、発生支配降雨と崩壊の原因となる降雨そのものの特性を比較した研究は少ない。そこで、本研究ではわが国でも有数の多雨地域である屋久島を対象に、降雨の時空間特性について整理し、崩壊発生支配降雨の推定を行い、両者を比較した。

表-1に屋久島の概要を示す。屋久島は、多雨地域であると同時に、九州最高峰の宮之浦岳(1,950m)をもち、急峻な地形であることが知られている。降雨データは、図-1に示す気象庁AMeDASの屋久島(上屋久町小瀬田、以下小瀬田)と林野庁屋久島森林環境保全センターの観測する大川の1996年から2000年の1時間雨量を使用した。欠測のない小瀬田のデータから1時間雨量と72時間雨量でそれぞれ毎年10位までの降雨イベントを抽出して、さらに季節や順位に考慮して抽出した26降雨(以降雨イベント群)を解析対象とした。なお、一降雨イベントは前後に24時間以上の無降雨時間をもつひとまとまりの降雨とした。

2. 降雨イベントの時空間特性

降雨イベントの時間特性として、それぞれのハイエトグラフの自己相関係数をとり、自己相関係数が1から0.5となるまでの時間を特性時間と定義した。図-2に、ハイエトグラフと自己相関係数の例を示す。自己相関係数の定義より、この特性時間は降雨をもたらしている雨域の影響時間だと考えられる。

空間特性についても同様に、小瀬田と大川のハイエトグラフについてタイムラグを0から小瀬田における降雨時間の半分の時間まで変化させて相互相関係数を求め、最大となる相互相関係数を2地点の相関性の指標とした。なお、いずれの場合も降雨の平均値は0として扱った。また、気象庁天気図CD-ROM版(1996~2000年)の地上天気図を用いて、降雨をもたらした気象条件を停滞前線、低気圧、台風に分類した。

図-3に特性時間と一降雨イベントの継続時間(以下降雨時間)の比較を示す。特性時間は、数時間程度のオーダーであり、その数倍から100倍の降雨時間に対して非常に短い。そのため、一降雨イベントの総降雨量は単一の雨域によるものだけでなく、複数の雨域による場合が多いことを示している。図-4に小瀬田・大川の特性時間の比較を示す。台風の場合には、大川で若干長くなる傾向が見られるものの、2地点の特性時間の差はほとんど見られない。それに対して停滞前線及び低気圧では、2地点の特性時間の差にはばらつきがあり、いずれも小瀬田でやや長くなる傾向が見られる。図-5に小瀬田における特性時間と相互相関係数の関係を示す。台風については、特性時間が長くなるに従って相互相関係数が増加する。一方、停滞前線及び低気圧については特性時間が長くなるに従って相互相関係数が減少する傾向が見られる。すなわち、台風では特性時間が長い場合は、時間スケールに対して空間スケールも大きく、長時間にわたって広範囲に均質な雨域がもたらされる。一方、停滞前線は広範囲に降雨をもたらすが、降雨がもたらされる範囲内に均質な雨域が与えられているわけではないことが推察される。

表-1 屋久島の概要

位置	九州南方 約65km
面積 および 形状	500km ² のほぼ円形
周囲	約132km
地質	山地部 屋久島花崗岩 沿岸部 古第三系堆積岩(砂岩・頁岩) 第四系堆積岩
年間降水量 (1996~2001年平均)	山地部 6,200mm 沿岸部 4,400mm

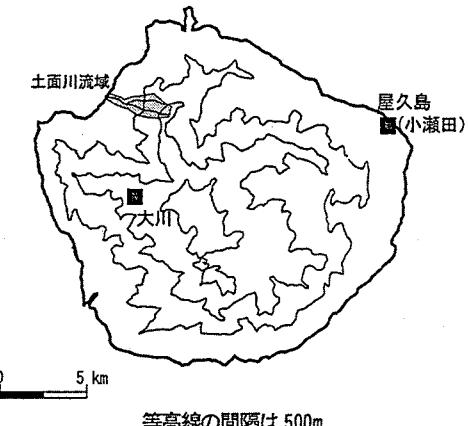


図-1 雨量観測地点

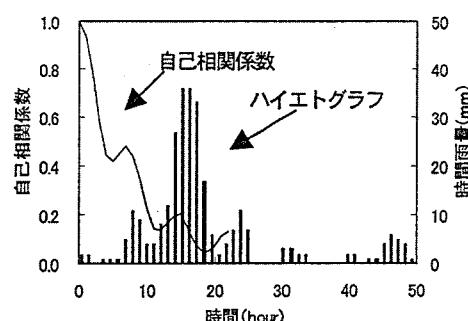


図-2 2000年1月12日のハイエトグラフと自己相関係数

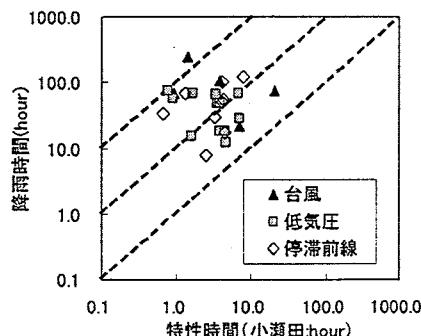


図-3 降雨時間と特性時間の比較

3. 崩壊発生条件と降雨イベント

崩壊発生を支配する地下水流出を一次元のキネマティックウェーブを用いて考える。土層(透水層)の厚さと透水係数は場所によらず一定であるとする。座標系を図-6のように導入すると、連続式は式1で表される。流速 v は、飽和側方流で近似すると Darcy 則、式2で表される。

$$\lambda \left(\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial vh}{\partial x} \right) = r \cos \theta \quad (1)$$

$$v = K \sin \theta \quad (2)$$

ここに λ は間隙率、 h は地下水深、 r は降雨強度、 θ は斜面傾斜、 K は飽和透水係数である。

この解は特性曲線法を用いると、以下のように表される。

$$x = K \sin \theta \cdot t \quad (3)$$

$$h = \frac{1}{\lambda} \int_0^t r \cos \theta dt \quad (4)$$

すなわち、斜面上のある地点における水深は、尾根を出発点とする降雨が到達するまでの時間内の総降雨量に等しい。崩壊発生は、土層内の地下水深が安全率=1となる限界地下水深に達したときに発生するため、式3、4よりその地点に固有な降雨の到達時間内の総降雨量で決定される。透水係数は一般に 1.0×10^{-5} ~ 1.0×10^{-3} (m/s) 程度であるから、 30° の傾斜をもつ 50m の斜面であれば、流下には数 10 時間~数 1,000 時間を要する。すなわち、斜面における降雨の到達時間は特性時間と比較して非常に長い。従って、雨域の影響時間よりも非常に長い時間内の総降雨量である。

そこで、土面川流域で崩壊が発生した 2 度の発生降雨(1979 年、1997 年)と、降雨イベント群から 1997 年の発生降雨を除いた非発生降雨を用いて、岩元ら(1990)に従って、任意の n 時間と最大 n 時間降雨量で発生・非発生にわけて図-7 に整理した。同図より、48 時間 343mm から 64 時間 360mm にかけて発生降雨の下限と非発生降雨の上限が最も接近し、この付近に崩壊発生条件があると推定される。

4. まとめ

本研究において以下の 4 点が明らかになった。

1) 屋久島では単一の雨域の影響時間は、一降雨イベントの継続時間よりも短く、一降雨イベント中に複数の雨域による降雨が存在する。
2) 台風による降雨の特徴として、東西の小瀬田・大川で特性時間がほぼ等しく、高い相互相関がある。
3) 低気圧及び停滞前線による降雨は、小瀬田の特性時間が長くなると、大川との特性時間の差が長くなり、相互相関は低くなる。
4) 崩壊発生条件として約 2 日間に内に 350mm 程度の降雨が推定されるが、これは雨域の特性時間内の総降雨量と比較して、非常に長い時間内の総降雨量である。

以上より、屋久島において降雨の特性は台風とそれ以外の気象条件で異なり、崩壊発生条件は雨域と比較して長い時間スケールの降雨量であることが示された。

最後に、本研究に使用したデータを提供していただいた林野庁屋久島森林環境保全センターに感謝いたします。

引用文献：

岩本賢・原田民司郎・平野宗男(1990)：土砂災害に対する警戒・避難基準雨量の設定、砂防学会誌、Vol. 43, No. 3, 3-8.

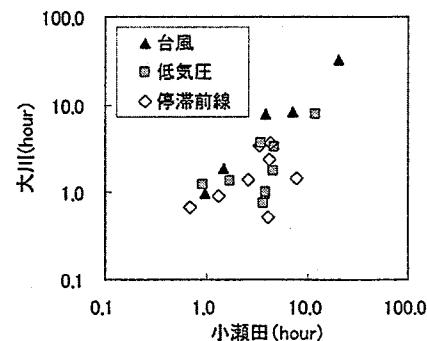


図-4 小瀬田・大川の特性時間の比較

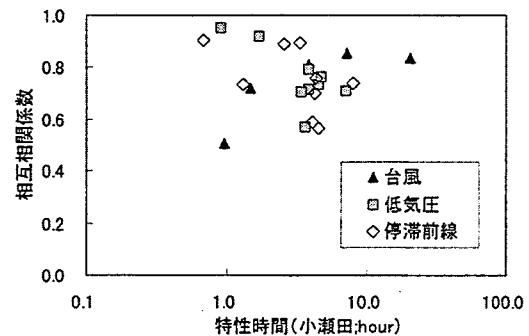


図-5 相互相関係数と特性時間の関係

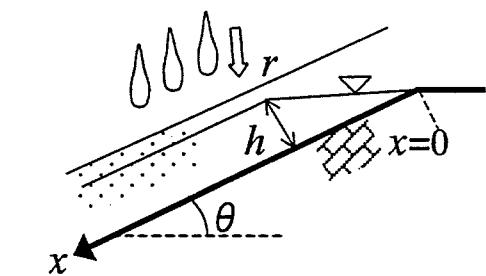


図-6 降雨流出の模式図

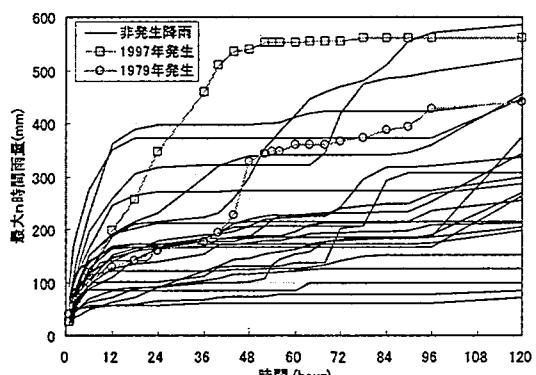


図-7 発生降雨と非発生降雨の最大 n 時間降雨量