

# 地域ごとの降雨特性に着目した 土砂移動現象の発生予測に関する研究

中井 真司

広島大学大学院総合科学研究科  
環境科学部門自然環境研究領域

本論文は、土砂移動現象の発生予測のための新しい雨量指標を考案し、これを用いて地域ごとの雨の降り方や地域の特徴を反映させることにより、地域に応じた土砂災害軽減のための防災情報手法を提案したものである。

第1章では、既往の土砂災害予測手法について整理し、その特徴や課題に言及した。

雨量指標を用いた手法としては、実効雨量をはじめとする複数の指標を用いるものと、都道府県と気象庁の共同による連携案方式によるものが利用されている。連携案方式による手法は、予測降雨により数時間後までの情報が事前にわかるという利点や、RBFN (Radius Basis Function Network) により非発生降雨からCL (Critical Line) を設定できる利点がある。一方で、多くのパラメーターを設定する必要があるため、地域の防災担当者が独自に地域特性を反映した基準を設定することは困難である。実効雨量を用いたX-Yグラフによる手法は、その簡便性と実用性の高さから警戒避難の判断手法としての利用実績も多い。実効雨量は比較的簡便な式で表され係数も少ないため、地域ごとに基準を設定することも容易であり、精度高く予測することが可能である。従来、実効雨量を用いた手法は時の予測に用いられていたが、多くの雨量観測データを用いて降雨の空間的移動を把握することにより、危険な場所を予測する試みがなされている。

本研究では、市町村の防災担当者や地域住民にもわかりやすい、身近な雨量指標の開発を目指しているため、比較的簡便な式を用いる予測手法を開発することを基本とした。

第2章では、新しい雨量指標 $R'$ を提案し、その

定義や基本的な考え方をとりまとめた。

$R'$ は、先行降雨（長期実効雨量）と短時間の降雨強度（短期実効雨量）の影響を1つの値の大小で表す指標であるため、直感的に危険を判断しやすい。また、時間ごとに $R'$ 値の等値線図を描くことにより、危険性の空間分布をリアルタイムで追跡することができる。

広島周辺の花崗岩分布域では、実効雨量の半減期を72時間と1.5時間とし、 $R_1=600\text{mm}$ 、 $r_1=200\text{mm}$ 、重み係数 $a=3$ を用いれば、土石流は $R'=250\text{mm}$ 、山地崩壊は $R'=175\text{mm}$ 、がけ崩れは $R'=125\text{mm}$ を発生限界降雨量の目安にでき、また、 $R'$ 値の大小により土砂災害の規模を推定できる可能性があることもわかった。

雨量指標 $R'$ は、計算式のわずかな変更により様々な形状のCLを表現することができ、既に用いられている雨量指標を容易に $R'$ に変換することができる。ここでは、事例を示しながら変換手法を提案した。

第3章では、現地モニタリングと室内人工降雨実験の結果を用いて、降雨による土中水分量の変化に着目し、雨量指標 $R'$ の物理的意味づけを試みた。

降雨時の斜面安定問題は、サクシヨンの低下に伴うせん断強度の低下と、地下水による間隙水圧の発生で説明され、どちらの観点でも土中水分の変化による影響が大きい。

現地モニタリングでは、表層（地表～GL-30cm程度）の湿潤状態は小規模降雨であっても変化し、基底層（概ねGL-60cm以深）では累積された降雨に伴って変化する傾向が確認された。一方で、中間層（GL-30～60cm程度）では、平常時の降

雨では土中水分はあまり変化せず、先行降雨と雨量強度の両方が重なったときに急激に上昇する傾向が見られた。

人工降雨実験では、長時間にわたり降雨を与えたケースでは全体的に含水比が上昇したが、同じ雨量を短時間強雨として与えたケースでは、表層と基底層の含水比のみが上昇した。しかし、ある程度含水比が高い状態（実験では15～17%）になるよう先行降雨を与えた後に、短時間強雨を与えると中間層も含めて万遍なく含水比が上昇する結果となった。

現地モニタリングと室内人工降雨実験は、どちらも先行降雨と雨量強度の両方の影響で地盤が不安定化することを示している。R'を用いると、両者の影響を1つの値で表すことができ、この意味ではR'は地盤の不安定化条件を適切に表現しうるものといえる。現地モニタリングでの中間層の体積含水率の上昇条件は、半減期72時間と1.5時間の実効雨量を組み合わせたR'値によって良好に表すことができ、R'を斜面が不安定化する降雨条件の指標として使用できることが示された。

第4章では、地域特性や降雨特性、災害形態が異なる8つの事例を用いて、R'の適用性を検証した。

広島県や岡山県の花崗岩分布域では、土石流は $R' \geq 250\text{mm}$ の範囲で発生し、がけ崩れはR'値=150～200mm程度の範囲でも発生しており、第2章の検討値とよく合っている。しかし、花崗岩分布域では、他の地質の分布域に比べて土砂移動現象が容易に発生する傾向が見られた。また、同等の降雨でも花崗岩分布域では土石流が多く発生し、粘板岩や硬質流紋岩の分布域では石礫堆を形成する崩壊が多く見られるなど、土砂移動形態も分布地質により異なることがわかった。さらに、土砂移動現象の発生には、過去の台風などによる斜面のダメージや降雨履歴なども関係している可能性が指摘された。

神奈川県の花崗岩地帯の事例では、広島県周辺での既往の土砂災害時の雨量規模を大きく上回る豪雨があったが、係数を変更した雨量指標R'を用いることにより、危険な領域を矛盾なく表現することができた。

また、短時間の集中豪雨の事例では、流動性の高い土砂移動現象はなく、河川水位の急上昇による浸水被害があった。このことは、先行降雨を伴わない短時間強雨時は、地中にあまり浸透せずに表流水として流出しやすいことを示唆しており、第3章のモニタリングおよび人工降雨実験の結果と調和的である。

これらの事例からも、R'を雨量指標として用いることの有効性が確認されたが、その係数や土砂移動現象発生の限界降雨量は地域により異なることがわかった。

第5章では、予測手法に地域特性を反映させるために、土砂移動現象に対する降雨履歴、地質、地形など影響について検討した。

降雨履歴との関係については、統計的手法を用いて、地域の降雨履歴をR'の生起確率により評価する方法を提案した。これにより、広島県では8年確率程度のR'値を用いて土石流の発生限界降雨量（基準値）を設定できることを示した。

地質との関係については、広島県の主要な土砂災害が花崗岩地帯で発生していることを再確認した。また、地質境界域での豪雨事例により、土石流などの流動性の高い土砂移動現象は特に花崗岩分布域で顕著であることを示した。さらに、玄武岩ドーム分布箇所での地すべり事例をもとに地質構造との関係について検討した。対象地域では、地質構造に起因して非常に長い半減期の実効雨量で表現されるような地下水変動があり、それに伴った変動が発生している。当事例では480時間と72時間の半減期を組み合わせた実効雨量によるR'を用いることにより変動時期を適切に表現することができた。

地形との関係については、背後に侵食小起伏面が分布する箇所での発生しやすさを再検証するとともに、上部の地形形状や地質構造によって地下水を集めやすい地域があれば、土砂移動現象が発生しやすいことを示した。

加えて、溪流の出口に形成された扇状地形、古い時代の土石流堆積物の存在、風倒木被害によるダメージ、地震との関係について論じた。

第6章では、新しく監視雨量強度 $R_R$ なる指標を定義し、警戒避難のためのわかりやすい情報手段

を提案した。

$R_R$ は「次の1時間に降れば $R'$ の値が基準値を超える雨量」を指し、豪雨に伴う土砂移動現象の危険度の高まりを予測するものである。警戒避難のための方法として用いる際には、1時間雨量の生起確率や短時間降水量予測などを参考に、レベルA～レベルCなどの危険度指標を設け、雨量指標 $R'$ と併せて用いれば、より直感的でわかりやすい警戒避難情報手段となると考えられる。ここでは、第5章の方法で基準値を設定し、東広島市でケーススタディーを行った結果、この方法で $R_R$ を用いることにより適切な危険度評価が可能であることがわかった。

また、東広島市の災害事例を対象に、レーダー・アメダス解析雨量による $R'$ 値を適用すると、地上観測雨量のみでは表現できない強雨域の分布を示すことが可能であり、解析雨量が非常に利用価値の高いものであることが検証された。

第7章では、研究成果の結論をまとめるとともに、今後の展望や実用化に向けた課題についてまとめた。

雨量指標 $R'$ の状況とその移り変わりをリアルタ

イムで分布図に示すとともに、監視雨量強度 $R_R$ を表示する方法を用いれば、降雨予測情報と併せて適切な警戒避難情報となるものと期待される。地域特性や地質条件の違いによって、それに応じた係数や基準値、管理閾値を設定すれば、これらの手法は広く適用できるものと考えられる。

本論文では、土砂移動現象に対する降雨履歴、地質、地形など影響について検討し、このうち降雨履歴については、統計的手法を用いて影響程度を評価する手法を提案した。地質や地形については影響要因を絞り込んだが、現段階では広島周辺の花崗岩地帯における係数や基準値の提案に留まっている。今後この手法を他の地域に展開するに当たっては、それぞれの地域の事例を適用して地域に応じた係数を設定することが望まれる。

また、本研究の範囲では $R'$ 分布による方法は地上での実測値をもとにしたものであるが、これにレーダー・アメダス解析雨量による予想降水量の情報を加えて $R'$ 値の予測値を出すことができれば、より精度の高い警戒避難に供することのできる指標となるものと期待される。

# Study on Debris Movement Forecasting using Rainfall Index that Reflects Certain Regional Characteristics

Shinji NAKAI

Graduate School of Integrated Arts and Sciences

Department of Environmental Sciences

Hiroshima University

## Abstract

It is necessary to establish a better method for predicting rainfall-induced debris movements based on current rainfall conditions in order to mitigate sediment-related disasters. For this purpose, a scientific and rational rainfall index that considers regional geological and topographical characteristics should be established. In this study, the author has proposed a warning system for preventing sediment-related disasters that considers regional rainfall characteristics.

In the 1st chapter, the author describes several previous and current disaster prediction methods and their advantages and disadvantages. Although it is extremely important to reflect regional characteristics for disaster prediction, many problems continue to exist.

In the 2nd chapter, a new rainfall index, denoted as  $R'$ , is proposed for warning against sediment-related disasters. It is possible to express the influences of both previous and current rainfalls using a single value of  $R'$ . The risk can be determined easily using the spatial distribution of  $R'$ . To calculate  $R'$  with the concept of effective rainfall, a combination of two half-value periods (72 h and 1.5 h) is applied. In the decomposed granite area around Hiroshima Prefecture, the critical values of  $R'$  for debris flows, hillside landslides, and slope failures were found to be 250 mm, 175 mm, and 125 mm, respectively. The scale of a sediment-related disaster can be indicated by the value of  $R'$ .

In the 3rd chapter, the physical characteristics of  $R'$  were confirmed by monitoring the relationship between soil water content and rainfall. In general, the slope stabilization problem against rainfall is explained by the occurrence of pore water pressure (due to an increase in underground water levels) and the decrease in shear strength (due to a decrease in suction). During in-situ monitoring, it was observed that the water content of the surface layer increased rapidly even with light rainfall, and that of the basal layer tended to increase with rainfall accumulation. On the other hand, the water content of the intermediate layer increased only when both of the previous rainfall and current rainfall intensity were considerably high. This tendency was also observed in an indoor experiment. In other words, the uptrend of water content differs depending on the rainfall pattern.

In the 4th chapter, the applicability of  $R'$  was verified in 8 cases having different characteristics. For example, in Paleozoic rock or rhyolite areas, different coefficients and a larger threshold had to be used for the calculation of  $R'$ . Accordingly, the critical value of  $R'$

should be varied depending on the local characteristics.

In the 5th chapter, some factors that influenced debris movement were investigated. It was noted that the local characteristics affect the critical value of  $R'$  in each region. For example, for evaluating the regional rainfall history, the utilization of the occurrence probability of  $R'$  was proposed. As a result, it was shown that the critical value of  $R'$  for debris flow occurrence in Hiroshima Prefecture could be fitted with an  $R'$  value of 1/8 probability.

In the 6th chapter, the new concept of “remarkable rainfall intensity  $R_R$ ” is proposed; this index is used for understanding the disaster risk easily, and its usefulness was demonstrated through some examples.  $R_R$  was defined as “hourly rainfall required for the critical value of  $R'$  to become dangerous.” For the practical use of  $R_R$  in the warning system for disaster prevention, it is necessary for a warning level to be set.  $R_R$  can be used in a more intuitive and comprehensible manner in conjunction with the distribution map of  $R'$ . The applicability and utility of  $R_R$  was confirmed through case studies in Higashi-Hiroshima City.

The 7th chapter presents the conclusion of this study.

If the current level of risk and the distribution of  $R'$  along with information about the remarkable rainfall intensity  $R_R$  can be obtained through an early warning system, lives can be saved through the timely evacuation of people before a disaster actually occurs.

**Keywords:** Rainfall index  $R'$ , remarkable rainfall intensity  $R_R$ , sediment-related disaster, warning and evacuation