

確率年の表現法による単一降雨指標と斜面崩壊の関係について

執印康裕(宇都宮大学)

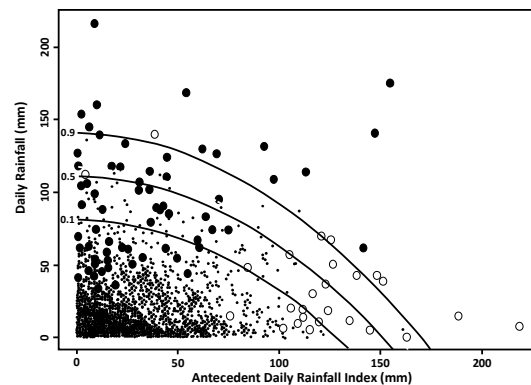
1. はじめに

降雨を誘因として発生する斜面崩壊は普遍的な自然現象の一部であるとともに、時と場所によっては土砂災害を引き起こす主たる要因でもある。したがって降雨と斜面崩壊の関係については、その発生機構の解明を主たる目的とする純粋科学の立場と、土砂災害に対処することを目的とした応用科学の立場の両面から研究が行われている。純粋科学の面からは、いわゆる水文素過程を考慮したモデルと土質力学を組み合わせた物理モデルによるアプローチ手法が用いられ、応用科学の面からは、降雨に対する斜面崩壊の発生・非発生の応答関係に重きをおいた、経験あるいは概念モデルによるアプローチ手法が用いられる。

勿論、純粋科学、応用科学の両者は独立して別個に存在するものではなく、アプローチ手法は異なるものの、その目的の一つに斜面崩壊の予知・予測を共有していることは自明であろう。事実、純粋科学のアプローチ手法による研究であっても、応用科学のアプローチ手法による経験あるいは概念モデルを用い、その妥当性（物理モデルによる斜面崩壊発生機構からみた降雨－斜面崩壊関係の妥当性）を検証していることが多い。

これは物理モデルが対象とする場の降雨浸透特性、土質強度、地形等の素因特性をモデルに厳密に反映させようとすればするほど、場の素因特性に強く規定されることによって、応用的（あるいは実用的）な面において重視される一般化あるいは普遍性が検証され難いことを示している。このことは社会実装されている警戒・避難対策手法の多くが、経験モデルあるいは概念モデルをベースにしていることから明らかである。

経験あるいは概念モデルは降雨－崩壊の応答関係を降雨あるいは崩壊の発生確率に基づいて検討するものである。ただし斜面崩壊そのものは、降雨の地中への浸透に伴う土壌水分の増加あるいは地下水位の上昇によって発生し、かつ土壌水分あるいは地下水の降雨に対する時間応答特性は数時間単位の短期から数日以上複数の時定数を有していることから、短期降雨および長期降雨の両者の影響を考慮した形で用いられることが多い。例えば日本では長期降雨の指標として土壌雨量指数、短期降雨の指標として60分積算雨量の両者が用いられていることは周知の事実である。しかしながら、その有効性が多くの運用実績に基づいて検証されている経験あるいは概念モデルをベースとする降雨－崩壊の応答関係についても、1つの課題が残されていると考える。そ



黒丸or白丸：崩壊発生。黒点：崩壊非発生
図-1：先行降雨と当日雨量に対する崩壊の発生・非発生関係
(Glade et al. 2000 より改変引用)

の課題は、各降雨の長期降雨の影響を横軸に、短期降雨の影響を縦軸にとる2次元平面上で崩壊との応答関係を検討する手法が用いられている点にある。図-1にこの手法による代表事例として Glade et al. (2000) がニュージーランドで検討した結果の一部を示す。本図において横軸が発生日までの先行降雨指標（日単位で実効降雨と同じ計算手法で算出）、縦軸が発生日当日の雨量であり、黒丸、白丸は崩壊発生降雨を、小さな黒点は非崩壊発生降雨である。なお3本の曲線は崩壊発生確率の等値線を示している。この手法は、現在日本で広く使用されている土壌雨量指数と60分積算雨量の組み合わせによる連携方式の原型ともいえるが、本図からわかるように、崩壊発生確率が大きくなるほど、非発生降雨イベントは減少していくものの、崩壊発生確率が下がるにつれて、発生降雨と非発生降雨の区別が認識し難くなる傾向にあることが分かる。これは図1において時間軸が表示されていないことに原因があると考えられるものである。

本論においてはこの点に着目し、応用科学の立場から、時間軸とあわせて表示が可能な降雨指標の提案およびその可能性について検討したので、結果をここに報告する。なお降雨指標の提案に際し、以下の2点を重視して行っている。

① 降雨指標が汎用性を有すること。

② 降雨指標の意味が直感的に把握しやすいこと。
以上の2点を重視した結果、①に対しては、特別に高度な計算を行うことなく、砂防関係者であれば、誰もが簡単に算出できる極めて単純な方法によるものを提案し、かつ②に対応するために降雨指標として確率年と同じ単位で表現可能なものを提案している。

2. 対象地および降雨指標の算出方法について

2.1 対象地について

対象地として東京都伊豆大島の西側山腹斜面を選定した。本対象範囲においては、1950年から2015年までの66年間で1958年9月および2013年10月に2回の大規模な斜面崩壊が発生している。1958年9月の斜面崩壊は、狩野川台風を誘因として9月26日午後4時分頃に発生し、このときの降雨概況は、本島西部に位置する伊豆大島元町地区にある気象庁観測所で観測された総降雨量536.9mm、最大時間雨量87.5mmである。一方2013年10月の斜面崩壊は、2013年台風26号による10月15日から16日未明にかけての記録的な降雨（総降雨量：824mm、最大時間雨量：119mm）を誘因とするものであり、16日午前2時過ぎから3時頃にかけて山腹斜面上部の広範囲にわたって発生した（石川ら，2014）。

2.2 降雨指標（GIPRI）の算出方法について

降雨指標は、日本において広く使用されている土壌雨量指数および60分間積算雨量の両者の組み合わせによる連携方式と同様である。唯一の違いは、連携方式では、短期降雨指標および長期降雨指標の使用単位が各々mm/h、mmをとる2次元空間上のスネークラインを使用するのに対して、GIPRIではともに確率年単位のyearをとる2次元空間上のスネークラインを使用している点であり、以下の式(1)、(2)によって算出される

$$L = \sqrt{\{\log(a)\}^2 + \{\log(b)\}^2} \quad \dots\dots(1)$$

$$GIPRI = 10^L \quad \dots\dots(2)$$

ここに L：確率年1年とする原点からの距離，a：土壌雨量指数の確率年（単位：years），b：1時間雨量の確率年（単位：years），GIPRI：一般化統合確率年降雨指数（単位：years）である。すなわち各時刻におけるプロット位置が原点から離れるほど、斜面崩壊の発生確率が高い状態にあるとの極めて単純な仮定に基づいている。図-2に1958年の狩野川台風によるGIPRIの算出事例を示す。本図から、GIPRIは両降雨特性の確率年を統合した指標であり、時間軸とあわせて表示が可能であることが分かる。また本台風の規模が最大となった時刻は、GIPRIが最大値の131年を示した17時前後であること、崩壊発生時のGIPRIは48年であることが確認される。なお両降雨特性の確率年は1950-2015年の気象庁大島観測所の時間降雨データを基にGEVを用いて算出している。

3. GIPRIの有効性の検証結果及びまとめ

対象地では前述のように1950年から2015年の66年間で2回の大規模な斜面崩壊が発生しているが、同期間におけるGIPRIの各年最大値を示すことによって、その有効性を検討した。すなわち、発生年以外の年で2つの斜面崩壊を上回る年が存在しない場合には、その有効性が担保されてい

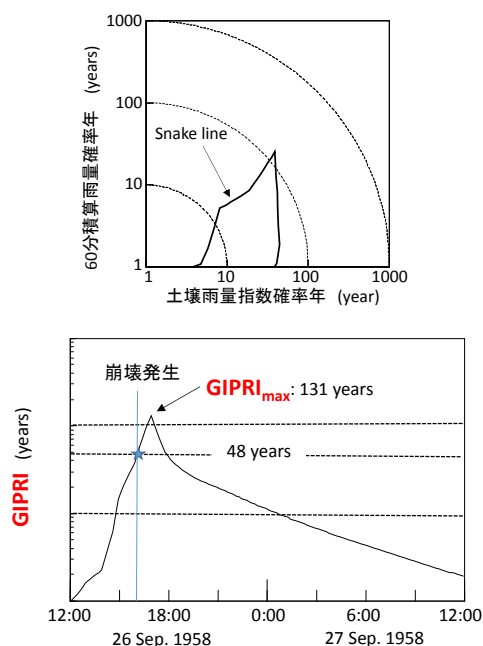


図-2：1958年狩野川台風によるGIPRIの算出例

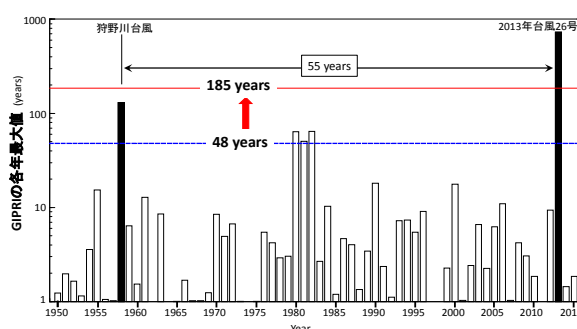


図-3：GIPRIの1950年から2015年までの各年最大値

るとの単純な仮定をしている。結果を図-3に示す。なお図-3には両台風における崩壊発生時のGIPRIも合わせて示している。本図よりGIPRIの有効性が担保されている事、さらに2013年の崩壊発生時のGIPRIは185年と狩野川台風時を上回っている事が分かる。これは、55年間におよび森林植生等の素因の長期変化が崩壊発生に影響を与えていることを示唆している。

以上をまとめると、①GIPRIの有効性が担保されていること、②さらにGIPRIが、素因の変化が降雨と崩壊の関係性に与える影響を反映している可能性があることの2点となる。

引用文献

- Glade et al., (2000): Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical “Antecedent Daily Rainfall Model”, Pure and Applied Geophysics, 1059-1079
石川芳治ら(2014)：2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害，砂防学会誌，Vol.66，No.5，p.61-72