

深層（大規模）崩壊を発生させやすい素因と誘因

筑波大学 ○飯田智之・恩田裕一・クリストバル パデイジャ

1. はじめに

最近、深層（大規模）崩壊が内外で多発したため、リアルタイムの調査・研究が飛躍的に進み、発生予測に直結した前兆現象などが明らかにされつつある。また、地形・地質や降雨・地震といった深層崩壊の素因や誘因に関する情報の整備と観測体制の強化が進められており、全国規模のGIS情報も整ってきている。これらの情報と深層崩壊分布図を比較することで、深層崩壊の詳細な素因と誘因の関係がより明らかになると期待される。その第一歩として、誘因により既存の深層崩壊を類型（グループ）化し、対応する素因との関係でそれぞれの発生メカニズムを検討することは、深層崩壊の広域予測手法の一環として実用的意義があると思われる。

2 直接誘因による深層崩壊の分類

深層崩壊の代表的な誘因として、降雨と地震の2つが挙げられる。表1は既存の深層崩壊を誘因ごとに分類したものである。なお、深層崩壊の発生に対して、素因と誘因は相補的な関係にあるが、元々の地形・地質を1次素因、岩盤クリープによる地盤や地形の変状など、深層崩壊の前兆現象となる素因を2次素因とよび、また誘因については、2次素因を形成・促進した誘因を間接誘因、深層崩壊の引き金となった誘因を直接誘因としている。

表1 深層崩壊の誘因による分類

	事例	主な地域	主な1次素因	主な2次素因	(限界)直接誘因
降雨型 深層崩壊	・1889十津川 ・1953有田川 ・2005鰐塚山 ・2011紀伊半島 —ほか多数—	西南日本南部 (九州・四国・紀伊半島)	付加体 (砂岩・泥岩等 互層の流れ盤)	岩盤クリープに伴う 地盤・地形の変状	連続雨量 数100～1000mm
地震型 深層崩壊	・1586帰雲山 ・1662町居 ・1858立山蔦崩れ ・1984御岳山 —ほか多数—	全国活断層分布地 (紀伊半島除く?)	・活断層 ・成層火山 ・埋没谷	?	震度5強～6(烈震)

以下、それぞれについて説明する。

降雨型深層崩壊

2005年9月の九州宮崎県、2011年7月の四国高知県、同9月の紀伊半島奈良県・和歌山県と、この10年の間に立て続けに発生した深層崩壊は、いずれも数日間の連続雨量が1000mmを超える記録的大雨が直接誘因であり、降雨型深層崩壊の典型的事例である。また、どの事例でも多発しているのが共通の特徴である。1889年の十津川水害や1953年の有田川水害の際にも多数の深層崩壊が発生したが、そのときも同様の大雨であったと推定されている。これらの西南日本南部地域は台風の通り道にあたり、多雨地域でもあるために、大雨が発生しやすいと考えられるが、最近の記録的大雨の頻発は地球温暖化の影響による可能性もある。同時に、これらの地域は中央構造線以南の外帯に位置しており、地質はすべて付加体（四万十層；砂岩・泥岩・頁岩の互層）である。付加体の流れ盤斜面では、岩盤クリープに伴う地盤や地形の変状が深層崩壊の前兆現象と以前から指摘されていたが、特に航空レーザー測量による微地形情報により、改めて実証されることとなった。

地震型深層崩壊

深層崩壊の直接誘因となる地震は、内陸（直下）型地震と海溝型地震の二つに分けられる。内陸型地震による最近の事例として、1984年に長野県西部地震で発生した御岳山の深層崩壊が挙げられる。震度は6(烈震)または最高レベルの震度7(激震)だったと推定されている。内陸型地震は（伏在断層も含めた）活断層を震源とするが、海

溝型巨大地震と比較すると、震源深度が浅く（この場合は約 2 km）、影響範囲は狭いが震度は比較的大きくなる。地層が成層していることや埋没谷といった火山特有の特徴も深層崩壊の素因として重要だったことが指摘されている。付加体以外の地質での深層崩壊については、付加体と同様の岩盤クリープによる地盤や地形の変状があったかどうかはよくわかっていない。過去の地震の震源・マグニチュード・震度分布が復元されることで、これまで知られている歴史的深層崩壊の直接誘因は、多くの場合、内陸型地震であったことが明らかにされつつある。なお、全国の活断層分布図をみると、降雨型深層崩壊が多発する西南日本南部地域には、他地域と比較して活断層が少なく、特に紀伊半島にはほとんどない。これまで、紀伊半島では降雨による深層崩壊と比べて、地震による深層崩壊が少ないという指摘がされていたが、その理由のひとつと推定される。なお、西南日本南部地域は海溝型巨大地震の震源となるトラフ（南海・東南海）に比較的近いため、その影響を受けやすいが、内陸部の山地における震度は深層崩壊の直接誘因としては不十分と推定される。一方、海溝型地震による深層崩壊は、内陸地震によるものと比較して数は少ないが、1707 年の宝永地震（震源；南海トラフ）にともなって発生した、高知県の加奈木崩れや静岡県の大谷崩れが挙げられる。これは、震央が陸地に近かったためと推定される。

3. 考察と課題

以上により、深層崩壊の発生にはしかるべき大きさの誘因が必要であり、降雨では多雨地域、地震では活断層近傍といったように、深層崩壊の誘因が発生する地域が限定されていることは明らかである。同様に、深層崩壊が発生しやすい素因、すなわち付加体や火山といった地質も地域的に限定される。素因と誘因の理論的な組み合わせは、素因の数と誘因の数の積の数だけ存在するが、実際の深層崩壊ではその中の限られた組み合わせとなる。そのため、例えば、2011 年の紀伊半島での深層崩壊に対して、素因（付加体）と誘因（大雨）のどちらがより効果的だったのかや、付加体では、地震よりも降雨の方が深層崩壊を発生させやすいのか、あるいは降雨や地震で発生しやすい地質、発生しにくい地質があるか、といった素因と誘因の相性の問題など、難しい課題が残されている。従来、深層崩壊について、素因と誘因を分けて議論することが多かったが、両者を併せて検討することが望ましい。このような観点から、現在、既存の深層崩壊について、素因と誘因の両方の GIS 情報を用いた総合的な分析を進めている。

一方、従来は、過去の歴史的な深層崩壊を研究対象とすることが多かったため、誘因については、単に降雨または地震といった区別にとどまらざるを得なかったが、最近では、降雨や地震の観測体制が整備されているので、深層崩壊発生時の降雨量や震度がある程度わかるようになってきた。しかしながら、降雨による深層崩壊の直接的な誘因は深層地下水である。また、地震に関しても、ほとんどの地震計は平地に設置されているが、深層崩壊が発生する山地では、地形による増幅効果や逆に地盤による減衰効果などにより、平地とは異なる可能性が高い（表 1 に示した深層崩壊の限界震度はあくまで推定値である）。そのため、深層崩壊のそれぞれの誘因の限界値の精度を上げるためには、以下に示す山地における深層地下水と地震の震度の実態把握が不可欠である。

山地における深層地下水観測

基盤のボーリングによる観測孔の設置に係る費用が高価なために数は少ないが、いくつかの山地で深層地下水の観測がなされている。筆者らも、国交省の協力の元、2005 年に深層崩壊が発生した宮崎県の鰐塚山で地下水観測を継続している（今回、別途ポスター発表参照）。観測結果を一般化して、深層崩壊予測に役立てるためには、より多くの深層地下水観測が望まれる。

山地における地震観測

地震は、深層崩壊の直接誘因として作用するだけでなく、降雨と併せて岩盤クリープを促進すると推定されているが、その実態はよく分かっていない。一方、現在は日本列島全体が地震活動期に入ったと考えられており、南海・東南海・東海、海溝型巨大地震の発生は時間の問題とされている。したがって、現在はまさに山地において地震時の正確な地震波形や震度を観測する貴重なチャンスとも言え、深層崩壊の可能性のある山地斜面（可能なら、地表面だけでなく、潜在すべり面程度の深さの地下でも）への地震計の早急な設置が望まれる。

これらの実測データによって、深層崩壊の誘因に関する限界値の精度も向上すると期待されるが、さらに先の GIS 情報と併せて、誘因別に深層崩壊の広域予測に結びつけたい。