

# 粘土層の組成による山地崩壊の変化

—宮崎県の災害について予測する—

宮崎西高校 3年 岩村充伽子

## Abstract

The following three conditions are generally known to be required for a landslide: (1) the clay layer in deep mountainous terrain contains a large amount of smectite; (2) the mountain body slowly slides down the upper part of the slip surface over several years to several decades; and (3) after the occurrence of a landslide, a “landslide topography” is formed, in which the slip cliff and gentle slope repeat like steps.

However, “landslides” in areas with very little smectite, such as the Shimanto Belt in Miyazaki Prefecture (the Shimanto Formation stretches approximately 1,800 km from the Boso Peninsula through the southern Kyushu Mountains to the main island of Okinawa), do not meet the requirement ⑦⑧. A similar phenomenon is also observed in the Sambagawa Belt of Tokushima Prefecture. The common features of these landslides are that they are of Tertiary age and that they are of mudstone origin and contain a large amount of marine components. However, the distribution map of minerals in the Tertiary Formation did not lead to the identification of the causative clay minerals.

According to a previous study (Takaya, 2008), “landslides” are caused by illite formation when the potassium content in the soil is more than 4% and potassium enters between the layers of smectite. In Tokushima Prefecture, there is also the Shimanto Belt, but we could not find any records of “landslides. In this study, we focused only on the requirement for occurrence, and thus excluded it.

地すべりとは近年増加している山地災害の一種で、特に規模が大きく予測が困難なことで知られている。

地すべりの要件として、⑦山地深層部の粘土層が多量のスメクタイトを含む⑧数年から数十年かけてすべり面上部を山体がゆっくり滑り落ちる⑨発生後、滑落崖となだらかな斜面が階段状に繰り返される『地すべり地形』が形成される、の3つが一般に知られている。

しかし、宮崎県四万十帯(房総半島から九州山地南部を通り沖縄本島まで約1800kmにわたり分布する四万十累層)のようなスメクタイトが非常に少ない地域での『地すべり』は要件⑦⑧に当てはまらない。また、同様の現象が徳島県の三波川帯でも見られる。これらの共通点として、第三紀層の地すべりであること、泥岩起源であり海中成分を多く含むことがあげられる。しかし、第三紀層の鉱物の分布図からは原因となる粘土鉱物の特定に至らなかった。

先行研究(高谷, 2008)より『地すべり』は、土壌中のカリウム含有率が4%以上である、スメクタイトの層間にカリウムが入り込むことでイライト化するとされている。また、徳島県にも四万十帯はあるが『地すべり』の記録を見つけれなかった。今回の研究では発生要件のみに着目したため除外している。

荷をつけたものを山体とみなした。

[下図：山体モデル及び粘土層モデル]

## 1. 背景・目的

前記の先行研究より、スメクタイトが非常に少ない『地すべり』では粘土鉱物イライトが大きくかかわっていると仮説を立てた。この宮崎県で多く見られる『地すべり』は、一般的な地すべりとは異なる現象と考えられる。そこで、『地すべり』の機構・原因を明確にすることで、少しでも山地環境の保全に貢献できると思い研究を始めた。

## 2. 方法

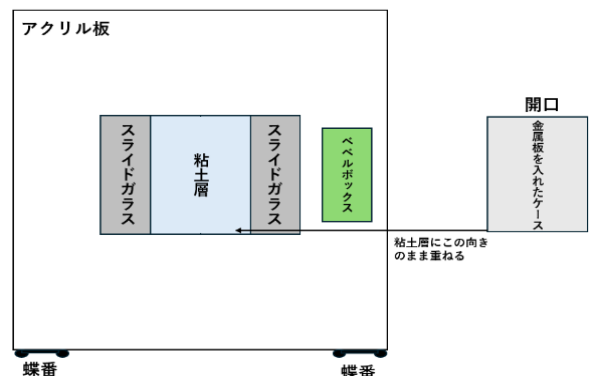
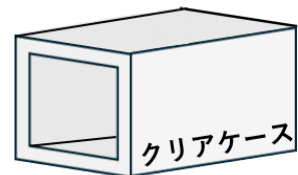
本研究では、粘土層の粘土鉱物組成により地すべりにどのような違いが生じるかを観察するためにモデル実験を計画した。

しかし、従来の地すべりは、発生まで数年から数十年と長い時間がかかり、発生までの水分量も一定ではない。そこで、斜面内部の液状化等を原因とする、高速で土塊が移動する「高速地すべり」をモデル実験で再現した。実験器具(上図)は、アクリル板の中央に厚さ・幅ともにスライドガラス2枚分の5cm×7.5cm×2.7cmの粘土層を作成した。次に、上部が開口しているクリアケースの中に一枚10gの亜鉛板を追加することで粘土層上部に重量負

1枚10g  
金属板

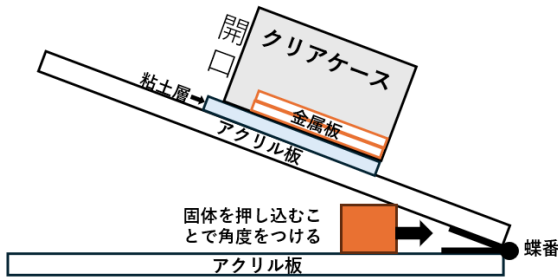


入れる



また、本研究において「粘土層上部を山体がすべり落ちる」現象を地すべり、「粘土層自体がすべり落ちる・つぶれる」現象を「崩壊」現象とした。

[下図：山体モデルの滑落角度の測定方法]



粘土層の組成による変化を観察するため、【実験ア】では粘土層の組成をスメクタイトもしくはイライトのみでモデル実験を行い、2つの粘土鉱物の共通点を探した。

【実験イ】では、粘土鉱物の混合含有率(図2)を1:9~9:1で変化させてモデル実験を行った。

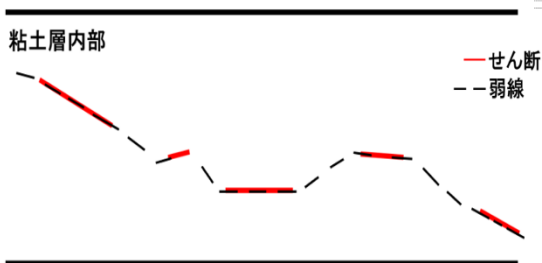
[実験イにおける粘土層の組成比]

スメクタイト:イライト	含有率	水分量 (g)
スメクタイト:イライト	含有率 9:1	水分量 (63+0.8)g
スメクタイト:イライト	含有率 8:2	水分量 (56+1.6)g
スメクタイト:イライト	含有率 7:3	水分量 (49+2.4)g
スメクタイト:イライト	含有率 6:4	水分量 (42+3.2)g
スメクタイト:イライト	含有率 5:5	水分量 (35+4.0)g
スメクタイト:イライト	含有率 4:6	水分量 (28+4.8)g
スメクタイト:イライト	含有率 3:7	水分量 (21+5.6)g
スメクタイト:イライト	含有率 2:8	水分量 (14+6.4)g
スメクタイト:イライト	含有率 1:9	水分量 (7+7.2)g

次に、再現性を高めるため次のように実験回数を定めた。水分量は各 鉱物の液性限界 (白水 1990) 山体の重量負荷 19 種類・弱線の有無 2 種類、粘土組成 11 種類・418 条件での測定を 10 回ずつ繰り返し、総計 4180 回分のデータを蓄積した。

また、弱線とは地すべり発生時、粘土層内に生じる小さな亀裂で、これらが繋がって大きな亀裂の入った状態(左図)ができる。それを再現するため、粘土層上で山体モデルを一度すべらせ、粘土層表面に凸凹をつくった状態を「弱線有り」とみなした。作成したばかりで粘土層が平坦で一般的な状態を「弱線なし」の状態とした。

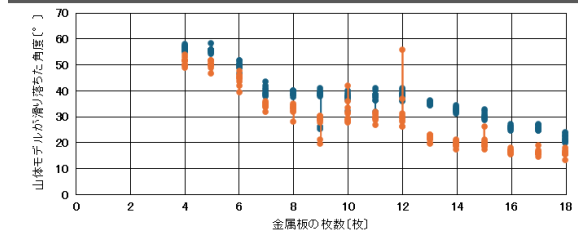
[下図：弱線の作成方法]



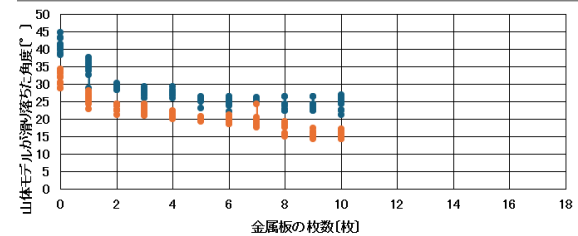
### 3. 実験の観察結果

(1)【実験ア】スメクタイト・イライトを別途に計測した。粘土鉱物イライトのみの場合、かつ弱線のある場合の方が、スメクタイトのみの場合に比べ小さい角度でも地すべりが起き、崩壊する頻度が高いことがわかった。特に、スメクタイトのみ(実験ア)では亜鉛板3枚目までは山体モデルがすべり落ちず、イライトのみでは亜鉛板11枚目

スメクタイト:イライト含有比10:0の傾斜と重量の関係のグラフ



スメクタイト:イライト含有比0:10の傾斜と重量の関係のグラフ



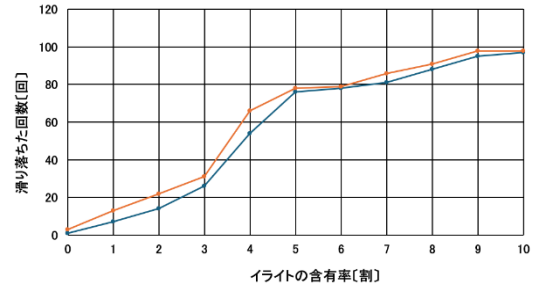
以降は粘土層が崩壊することが非常に多かった。

(2)【実験イ】スメクタイト・イライトの混合物実験アと同様の現象が見られた。

弱線の有無による角度変化は、弱線により粘土層内に微小な空間ができるため、すべりやすくなったと考えられる。実験ア・イの結果を総合すると、粘土鉱物イライトにおいてはスメクタイトよりも粘土粒子どうしの結びつきが弱いと見られる。

[下図：【実験】で粘土層が崩壊現象をおこした回数]

『粘土層自体がつぶれる・山体モデルと一緒に滑り落ちる』回数



イライト含有率とともに崩壊現象の頻度が増加している。

### 4. 考察

これらの結果から、イライト含有率が3割以下の場合では従来の機構通りで地すべり現象が発生しやすいと考察される。

イライト含有率4~6割の場合は、地すべり現象や崩壊現象の何れにも判別しづらい。理由として、結びつきの強さが異なる粒子が混合することにより、粘土層自体が不安定になる。そのため、両者の現象が入り混じった移行途中の様な現象が見られた。本研究では定義に当てはまらないことから、宮崎県で発生する『地すべり』とは異なっていると考えた。

イライト含有率が6割以上の場合、崩壊現象が発生しやすい。これは、粒子の結びつきが弱いイライトが多量に含まれるため、粘土層内部に隙間ができ脆くなっているためである。

実験及び条件よりスメクタイトが非常に少ない『地すべり』はスメクタイト含有率4割以下の現象に最も近く、粘土層が多量の水分を含み、重量負荷が増加するほど崩壊現象をおこしやすくなることがわかった。

また、この現象は山くずれの豪雨により斜面の重量負荷が急増することで耐えきれずに崩壊する現象と酷似して

いる。

## 5. 結論及び今後の展望

地すべり(高速地すべり)の再現実験から、スメクタイトが非常に少ない『地すべり』は、山くずれの深層崩壊現象と酷似した崩壊現象の一種であると考えられる。

『地すべり』が発生する原因として、粒子同士の結びつきを弱めると考えられるイライトが粘土層に多量に含まれることで、層内部に隙間ができ、粘土層自体が脆くなったためである。山くずれの深層崩壊現象と酷似しているが、一致しているわけではない。そのため、宮崎県の『地すべり』は特異な山地崩壊であるとわかった。今後は、イライトの「スメクタイト化」について、スメクタイト含有率6~4割の場合に観察された現象、四国の四万十帯で『地すべり』が発見されない理由にも着目して研究を続けていきたい。

## 6. 参考文献

1. 高谷精二 (2008). 『技術者に必要な地すべり山くずれの知識』. 鹿島出版社.
2. 高谷精二 (2017). 『地すべり山くずれの実際 地形地質から土砂災害』. 鹿島出版社.
3. 白水晴雄 (1990). 『粘土のはなし』. 技報堂出版.
4. 土木 LIBRARY <https://chansato.com/doboku/liquid-limit%E2%80%90plastic-limit/>
- 5 宮崎県の地すべり防止区域の分布  
. <https://www.jasdim.or.jp/gijutsu/kenbetsu/chiiki/miyazaki/4.html>
6. 地すべり山くずれの研究本舗  
<http://hibari1977.blog108.fc2.com/blog-entry-440.html>
7. 液性限界&塑性限界とは?  
<https://chansato.com/doboku/liquid-limit%E2%80%90plastic-limit/>
8. 国立研究開発法人防災科学技術研究所自然災害情報室  
[https://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza\\_kiso/15houkai.html](https://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/15houkai.html)
9. 日本地すべり学会：すべり面研究の最近の動向  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jls/54/2/54\\_37/\\_pdf/-char/java](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jls/54/2/54_37/_pdf/-char/java)
10. プラントエンジの樹  
<https://planteng-tree.com/shear-force/>
11. 地すべり地形分布図  
<https://www.j-shis.bosai.go.jp/landslidemap>
12. 国立研究開発法人防災科学技術研究所：地すべり地形分布図デジタルアーカイブ  
[https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied\\_tech\\_note/landslidemap/pdf-34.html](https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/pdf-34.html)
13. biology  
<https://bio.biopapyrus.jp/soil-sci/soil-mineral.html#:~:text=%E5%9B%9B%E9%9D%A2%E4%BD%93%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88%E3%81%A8%E5%85%AB%E9%9D%A2%E4%BD%93%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88%E3%81%8C,2%3A1%20%E3%81%AE%E5%89%B2%E5%90%88%E3%81%A7%E6%A7%8B%E6%88%90>

<https://bio.biopapyrus.jp/soil-sci/soil-mineral.html#:~:text=%E5%9B%9B%E9%9D%A2%E4%BD%93%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88%E3%81%A8%E5%85%AB%E9%9D%A2%E4%BD%93%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88%E3%81%8C,2%3A1%20%E3%81%AE%E5%89%B2%E5%90%88%E3%81%A7%E6%A7%8B%E6%88%90>

14. 藤本光一郎、鈴木陽美、小椋隆馬(2018). 『カオリナイト-モンモリロナイト-水系降伏応力と粘土』. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会

15. 河野元治. 『粘土鉱物の生成』

[https://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/kawano/clay\\_1/text.html](https://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/kawano/clay_1/text.html)