

吉田町の土砂災害の一考察

—斜面上の土砂流出と粘土鉱物からの検討—

2年1組 赤松 奏來 2年3組 水谷 光希 2年4組 伊藤 脩
2年4組 高田 悠朗 2年4組 古川賢太郎 2年4組 山元 颯太
指導者 山本 鷹裕

1 はじめに

平成30年7月豪雨では、宇和島市の7月の平均降水量237.2mmに対し、7月5日から8日に降った4日間の累積雨量は宇和島観測所で374.0mmを記録し、1か月間の過去平均雨量を大幅に上回る雨量が観測された。また、吉田町玉津地区や奥南地区では、1時間に90mmを超える集中的な豪雨が観測され、4日間の累積雨量も玉津地区で469.0mmを観測した（平成30年7月豪雨宇和島市災害記録誌第一章より引用）。

野村町が属する西予市宇和でも7月5日から8日に降った4日間の累積雨量は、539.5mmを記録し、7月平均雨量の267.3mmを大きく上回った。また、日降水量は7月7日に229.0mmを記録している。この豪雨により、浸水被害だけでなく、斜面崩壊も多数発生し、吉田町ではみかん畑での崩壊が顕著であった（図1）。

近年、令和元年8月末豪雨や令和2年7月豪雨などの集中豪雨が発生し、これらの豪雨が河川の氾濫だけでなく土砂災害をも引き起こしている。特に愛媛県は土砂災害に対する脅威は大きく、全国における土砂災害警戒区域の指定状況（表1）によると、愛媛県の土砂災害警戒区域の数は土石流によるもので全国6位、地滑りで全国4位であり、全国でも屈指の土砂災害リスクが高い地域である。前述の土砂災害は、このように土砂災害のリスクが高い地域に多量の雨が降ったことで発生したと考えられる。

そこで、愛媛県宇和島市吉田町の土砂災害に関して、研究を進め、吉田町の土砂災害のメカニズムを解明することによって、減災につなげたいと考え、本課題を設定した。

2 本研究の目的

- (1) 土砂災害の中で、表層土が流出する表層崩壊において、降水量と斜面傾斜角にどのような関係性があるのかを明らかにする。
- (2) 池下（2015）によると、土砂災害の素因の一つとして、潜在的なすべり面や断層破碎帯などの弱部となる部分に生成された膨潤性粘土鉱物によるものがあると述べられている。比較的多数の土砂災害が発生した宇和島市吉田町と比較的少なかった西予市野村町の土砂災害の崩壊土堆積物中の粘土鉱物の組成を調べ、宇和島市吉田町の土砂災害において粘土鉱物がどのように関わって

表1 全国における土砂災害警戒区域の指定地点数状況（上位7県）（2022年国土交通省より）

都道府県	土石流	都道府県	地滑り
広島県	16,879	長野県	1,519
鳥取県	13,279	新潟県	1,448
山口県	9,866	長崎県	1,202
岐阜県	7,343	愛媛県	861
鹿児島県	7,224	山形県	757
愛媛県	7,154	秋田県	668
兵庫県	6,993	石川県	660

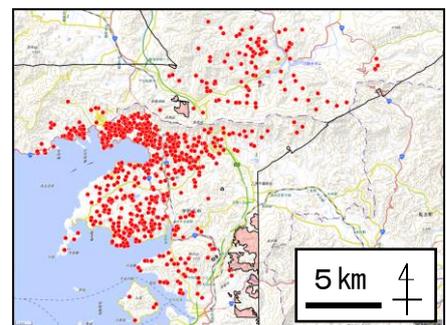


図1 平成30年7月豪雨斜面崩壊位置

いたのかを明らかにする。

3 地域の概要

吉田町は愛媛県の南予に位置する宇和島市に属しており、旧宇和島市の北に隣接している。西側は宇和海に面しており、他方は山地である。1793年に加賀山平次郎が土佐から持ち帰った温州みかんの苗木を庭に植えたことを始まりに、200年以上のみかん栽培の歴史を誇り、吉田町の至る所の斜面に、みかん畑が整備されている。

寺岡・栗本（1986）によると、吉田町の基盤岩は中生代の付加体である四万十帯によって構成されている。四万十帯を構成する法花津地塊、奥浦地塊、吉田地塊などは主に砂岩や泥岩から構成されている。（図2）。

野村町は愛媛県西予市に属しており、四国カルストの源氏ヶ駄場をはじめとする急峻な山々に囲まれた地域である。野村町の基盤岩は黒瀬川構造帯で構成されている。黒瀬川構造帯は、古生代初期から中期の火成岩類（三滝火成岩類）と変成岩類（寺野変成岩類）で代表される大陸の基盤岩類、および非～弱変性のシルル～デボン紀の岩石類（岡成層群）からなる。（図3）。

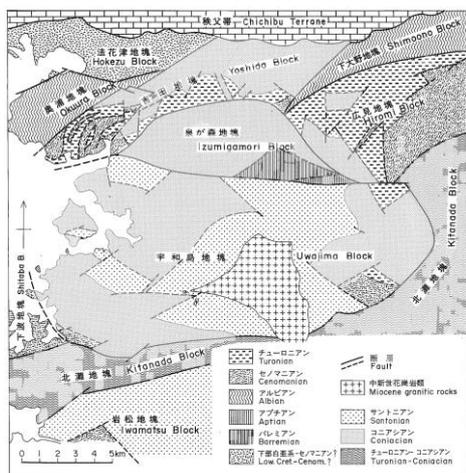


図2 宇和島地域地質図
(寺岡・栗本, 1986)

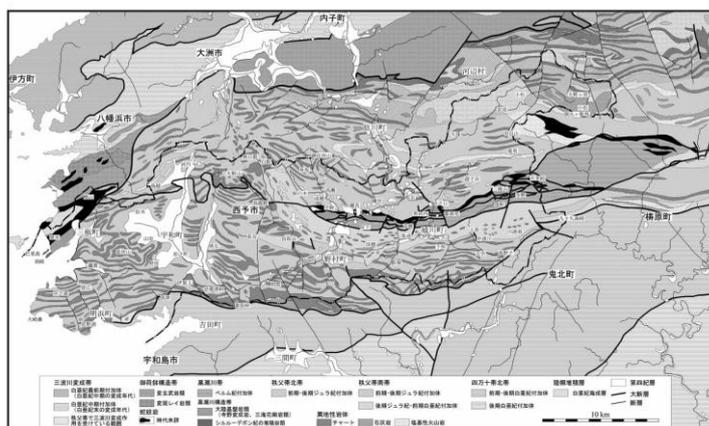


図3 100万分の1野村町地質図
(小出 2012 より引用)

4 実験・研究の方法

(1) 斜面上の土砂の移動に関する実験（勾配と降雨強度の実験）

ア 8°、16°の傾斜台上にプラスチック製の箱を置き、箱の中に土を乗せ、散水機で、1分30秒間水をかける。

イ 散水量を20mm/h、40mm/h、60mm/h、80mm/h、100mm/hと変化させながら、あらかじめ傾斜台上に乗せておいた土に散水し、その崩れ方を調べる。その際に用いる土は吉田町から採取してきたものを使用した。（図4）

ウ 傾斜台の外に流出した土砂量を計測する。計測には、パール金属株式会社製デジタルキッチンスケール3kgを用いた。

(2) 粘土鉱物組成と相対量に関する実験

ア 平成30年7月にあった西日本豪雨災害によって愛媛県宇和島市吉田町の吉田野球場裏の斜面崩壊と愛媛県西予市野村町貝吹の斜面崩壊（図5）で起こった土砂崩れの堆積土砂を採取する。



図4 勾配16° 散水量60mm/hの様子



図5 斜面崩壊位置とその様子

イ 採取した土砂を粉末X線回折分析にかける。以下はその手順を記す。なお、処理は、地学団体研究会新潟班（1982）を参考に行った。

(ア) ビーカーに採取した土砂を 100g 入れ、純水を適量加えガラス棒を使って攪拌する。

(イ) 懸濁液だけを別のビーカーに移す。

(ウ) 懸濁液を 14 分間超音波分散する。

(エ) 懸濁液を 1000mL メスシリンダーに移し、ガラス棒を用いて攪拌する。

(オ) ストークスの法則に基づき、9 時間放置後、上部 10cm をピペットを用いて採集する。

(カ) 遠沈管に懸濁液を取り、2000r/min で 30 分間遠心分離器にかける。遠心分離機は、

SORVALL LEGEND MICRO 17 R（東京ダイレックス株式会社製）を使用した。

(キ) 上澄みを捨て、沈殿した粘土粒子をシャーレに移しドライヤーを用いて風乾させた。

(ク) 風乾した試料をめもの乳鉢を用いてすりつぶすし、微細粉末状にする。

(ケ) 300°Cの電気炉中で 1 時間加熱し、粘土鉱物が復水しないように処理し、定方位試料とした（**図 6**）。

(コ) 加熱処理した試料を粉末X線回折分析にかけ、どのような粘土鉱物が含まれるかを調べる。



図 6 定方位試料（吉田町）

5 実験結果と考察

(1) 勾配と降雨強度の実験と考察

図 7 から、全体的には水量が多いほど、また勾配が大きいくほど、流出土砂量が多くなった。

勾配 16° の場合は散水量と流出土砂量は比例に近い関係にあるが、勾配 8° の場合は散水量 60 mm/h までは比例に近い関係にあるものの、80 mm/h の散水量では、流出土砂量は増加せず、2g 減少した。この関係性について、「土には保水可能な最大の水量（保水限界点）があり、それを超える水量を含むと土砂が保水することはなくなり、水は土壌粒子間を通り抜けることになる。」という仮説を立てて考察を行った。

勾配が大きい場合と小さい場合では土砂に降った水に働く重力の斜面方向成分の大きさ ($mg\sin\theta$) と斜面垂直方向成分の大きさ ($mg\cos\theta$) がそれぞれ異なる (**図 8、9**)。具体的には、勾配が大きい場合の方が、勾配が小さい場合より水や粒子に働く重力の斜面平行方向成分の大きさ ($mg\sin\theta$) が大きく、重力の斜面垂直方向成分の大きさ ($mg\cos\theta$) が小さくなる。よって、勾配が大きい場合は水が土に浸透するより早く土の上を流れ、逆に、勾配が小さい場合は水が土砂の上を流れるより早く土砂に浸透すると考えられる。これらのことから、勾配が 16° の場合は、浸透する水の量は少なく、表面を流れる水の量のほうが多くなるために、水は土砂の表面上を侵食し続けた。また、土砂に降る水に働く重力の斜面方向成分の大きさが大きいため、流速が大きくなり、より粒形の大きい土砂も侵食・運搬することができたと考えた。さらに、土砂に浸透する水の量が 8° の場合よりも少ないために、散水時間内に土砂の保水量が保水限界点を超えることはなく、散水量と流出土砂量が比例に近い関係となったと考えた。しかし、8° の場合は、

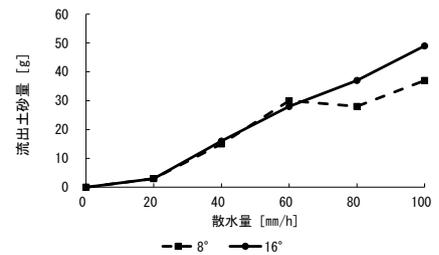


図 7 実験 1 の結果

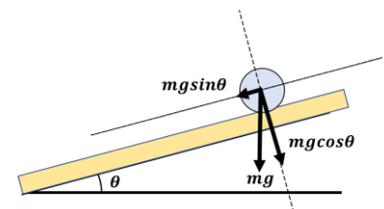


図 8 勾配が小さい場合の水や土砂粒子に働く重力

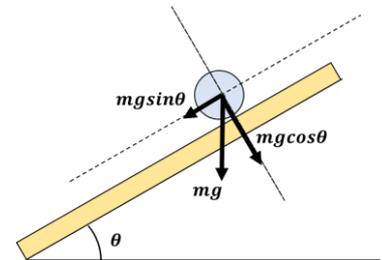


図 9 勾配が大きい場合の水や土砂粒子に働く重力

表面を侵食する水の量と流速が 16°の時よりも小さいと考えられる。そのため、60 mm/h までは小さい流速でも侵食・運搬できる粒形の小さな土砂を侵食・運搬することで、16°の時とほとんど同じ流出土砂量を記録したのではないかと考えた。80 mm/h の時に 16°の時よりも流出土砂量が 9g 小さくなるのは、60 mm/h の実験までに、小さい流速で流すことのできる土砂は、侵食・運搬しきっていたにも関わらず、残っている粒形の大きな土砂を運搬する流速には到達できなかったためではないかと考えた。100 mm/h の散水量で再び流出土砂量が増加するのは、散水量の増加により、残っている粒形の大きな土砂を侵食・運搬することのできる流速に到達したためだと考えた。

(2) 粘土鉱物の組成と相対量の実験に関する考察

吉田町の土砂と野村町の土砂に含まれる粘土鉱物の組成と相対的な量を粉末 X 線回折分析の相対強度から比較すると (図 10)、吉田町の土壌中には野村町よりも多くのグロコナイトが含まれていることが分かった。下田 (1977) によると、雲母粘土鉱物であるグロコナイトは加水層格子を持たない、つまり膨潤層を持たないと述べられている。また、亀井ら (1996) によると、カオリンは膨潤性が高いと述べられている。一般的に、膨潤層をもつ粘土鉱物が斜面崩壊の素因の一つとして働くと考えられている事から、吉田町の基盤岩では、亀裂や節理にグロコナイトが主に存在したことで、野村町のような亀裂や節理にカオリンなどの膨潤性粘土鉱物を含む地域よりも、相対的に土砂崩れが起こりにくくなっていたと考えた。そのため、10 年に 1 回規模の雨では、崩壊が起こらず、斜面の土砂や基盤岩が不安定なまま残されていたと考えた。しかし、平成 30 年 7 月豪雨の際には、日降水量が宇和島で 186.5 mm と松山地区の 100 年に 1 回の確立降水量に近い豪雨が降っていた (気象庁 HP 異常気象リスクマップより引用)。このような豪雨の場合には、多数の斜面に不安定なまま残っていた土砂に多量の水が浸透して質量が増すことと、クラックやジョイントに浸透した水が摩擦力を低下させたことで、吉田地区のみかん畑が同時多発的に多数崩壊したのではないかと考えた。

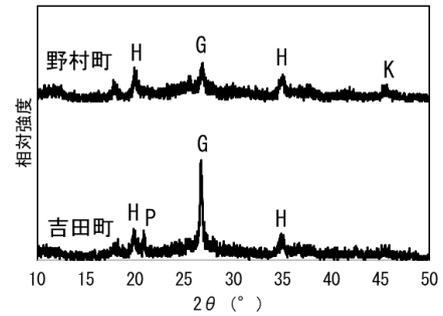


図 10 野村町と吉田町の斜面崩壊土砂に含まれる粘土鉱物の相対強度

6 まとめ

今回の実験により、斜面上の堆積している土砂に降水が生じた場合、斜面の傾斜により水や堆積している土砂に働く重力の斜面並行方向成分の大きさと斜面垂直方向成分の大きさが変化することで、斜面上の土砂の保水限界点や表面を流れる水の流速が変化し、斜面から流出する土砂の質量も変化する事が示唆された。また、吉田町と野村町の斜面崩壊堆積物に含まれる粘土鉱物の組成や相対的な含有量を調査したことで、西日本豪雨の際に吉田町のみかん畑で同時多発的に多数の斜面崩壊が生じた原因について、一つの言及をすることができた。

文献など

- 内閣府 (2019) 平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について (平成 31 年 1 月 9 日現在) p4, 36-43
- 気象庁 HP 「平成 30 年 7 月豪雨 (前線及び台風第 7 号による大雨等)」 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/20180713.html>
- 宇和島市 (2021) 平成 30 年 7 月豪雨宇和島市災害記録誌 第 1 章, p2-3
- 小出良幸 (2012) 愛媛県西予市付近の地質概要と課題 札幌学院大学人文学会紀要第 91 号, p1-25
- 寺岡易司・栗本史雄 (1986) 宇和島地域の四万十帯白亜系層序—大型化石と放散虫化石の層序の分布に関連して— 地質調査月報, 37, 417-453
- 池下まゆみ (2015) 粘土鉱物の生成・運搬メカニズムと土砂災害 第 59 回粘土科学討論会要旨 p24-25
- 下田右 (1977) 雲母粘土鉱物の化学組成と結晶構造 鉱物学雑誌, 第 13 卷, 特別号, p27-37
- 亀井健史、榎本雅夫 (1996) 締め固めたカオリンの水浸に伴う膨潤特性 土木学会論文集 No. 535/III-34, p57-64
- 地学団体研究会新潟班 (1982) 変質鉱物の顕微鏡鑑定 年末技術講習会冊子, p88-91
- 気象庁 HP 「異常気象リスクマップ 確立降水量地点別一覧表 (51 地点)」 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/qt_table.html