

御手洗水試験流域における粘土鉱物と斜面傾斜角の 関係

脇山, 義史
筑波大学大学院生命環境科学研究科

井手, 淳一郎
九州大学農学部附属演習林

大槻, 恭一
九州大学農学部附属演習林

江頭, 和彦
九州大学大学院農学研究院

<https://doi.org/10.15017/15060>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 89, pp.127-136, 2008-03. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

論文

御手洗水試験流域における粘土鉱物と斜面傾斜角の関係*

脇山義史**, 井手淳一郎***, 大槻恭一***, 江頭和彦****

抄 録

蛇紋岩山地における地形形成と土壌の粘土鉱物組成との関係を明らかにするため、斜面傾斜角と土壌中の粘土鉱物の関係を調べた。蛇紋岩を母岩とする御手洗水流域内の13地点から土壌を採取し、X線回折による土壌中の粘土鉱物分析を行った。また、土壌採取地点においてクリノメーターを用いた簡易な方法により局所的な斜面傾斜角を測定した。X線回折の結果より、この地域の土壌に含まれる粘土鉱物は蛇紋石・緑泥石・タルク・石英であった。斜面傾斜角は最大で33.5°であり、蛇紋岩山地としては比較的急傾斜の地点が見られた。採取地点の斜面傾斜角と粘土鉱物含量との比較により、蛇紋石含量と斜面傾斜角との間に正の相関（相関係数： $r = 0.48$ ）が見られた。蛇紋石を多く含む土壌は、同じく蛇紋岩地帯に見られるタルク・緑泥石を多く含む土壌に比べせん断抵抗角が大きいので、蛇紋石が多い土壌からなる斜面では崩壊や地すべりが起こりにくく、平坦化作用の影響を受けにくいと推察される。このことから蛇紋岩山地では、土壌中に蛇紋石を多く含む場合、急傾斜の斜面が形成されることが示唆された。

キーワード：粘土鉱物，斜面傾斜角，蛇紋岩山地，蛇紋石

* WAKIYAMA, Y., IDE, J., OTSUKI, K. and EGASHIRA, K.: Relationship between clay mineral and slope gradient in Ochozu Experimental Watershed, Kyushu University Forest, Fukuoka, Japan

** 筑波大学大学院生命環境科学研究科
Graduate school of life and environmental sciences, University of Tsukuba,
Ibaraki, 305-8572

*** 九州大学農学部附属演習林
University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 811-
2415

**** 九州大学大学院農学研究院
Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka, 812-8581

1. はじめに

蛇紋岩で構成される山地・丘陵（以下、蛇紋岩山地と呼ぶ）は、蛇紋岩以外の岩石で構成される山地・丘陵に比べて特徴的な地形を示すことが知られている。Suzuki (2006) は蛇紋岩山地では、その周囲の蛇紋岩以外の岩石で構成される山地・丘陵に比べて、高度が高い、斜面が緩傾斜で滑らか、尾根部が丸い、谷密度が低い、谷とガリーが浅く、クリープや浅い地すべりが多発する反面、露岩・落石・崩落および土石流が少ないなどの特徴が挙げられるとしている。小松 (1997) は蛇紋岩山地に特徴的な地形形成の要因として、谷における崩壊と地すべりの発生にともなう地形の平坦化作用を挙げている。これまで蛇紋岩山地における地形形成要因については、崩壊や地すべりといったマスマーブメントを中心に研究が行われてきた。

蛇紋岩山地における特徴的な地形形成の要因として、土壌中に含まれる粘土鉱物組成が深く関与していることが知られている（例えば、梅津1995、横田ら1996、横田ら1997）。蛇紋岩は主にカンラン岩が蛇紋岩化作用を受けて形成される。蛇紋岩化作用は熱水変質作用であるため、変成の際の温度・圧力の偏在が狭い範囲での不規則で多様な鉱物組成を形成する原因となりうる。クリープや地すべりなどのマスマーブメントが生じる頻度は主に土壌の鉱物組成に依存するため、同一の蛇紋岩山地内では不規則な鉱物組成のために地形は一様に平坦ではなく、局所的である可能性がある。しかし、こうした土壌の不規則な鉱物組成が地形形成にどのように関係しているかを調べた研究は少ない。

比較的複雑な地形をもつ源頭部付近の山地流域を対象に微地形と鉱物組成の空間分布との関係を調べることは、鉱物組成が比較的小さなスケール（例えば0.01~1km²）の地形形成に及ぼす影響を明らかにする際に有効な方法である。九州大学農学部附属演習林に設置されている御手洗水試験流域は福岡県糟屋郡篠栗町に位置しており、三郡変成岩類中層部の緑色片岩と北部九州に広く分布する三郡変成岩帯に部分的に伴われる蛇紋岩によって構成される山地小流域である（日本の地質九州地方編集委員会、1992）。したがって、この流域を対象に地形と鉱物組成の関係を調べることは、蛇紋岩山地の鉱物組成が地形形成に及ぼす影響を解明することに繋がる。本研究では、土壌中の粘土鉱物に着目して、蛇紋岩山地における地形形成と土壌中の粘土鉱物の関係を明らかにすることを目的とした。この目的のため、御手洗水試験流域において土壌を採取し、粘土鉱物の分析を行い、その分布を調べた。また、土壌の採取地点において局所的な斜面傾斜角の測定を行い、両者の関係について調べた。

2. 調査方法

2. 1. 調査地

対象試験地である御手洗水試験流域は福岡市の東方約15 kmに位置し、九州大学農学部附属演習林の福岡演習林、第4林班(北緯 33° 38', 東経 130° 32')に設置されている。本流域は、流域面積約9.5 ha、流路長約250 mの山地小流域であり、斜面の平均勾配は19.5°である。流域の植生については、河道に沿った低位部は樹齢約50年のヒノキ人工林で覆われており、中腹から尾根は広葉樹をふくむ雑木林で覆われている。蛇紋岩と緑泥片岩を

母岩とする土壌は褐色森林土に分類され、地表から深さ10~40cmの範囲に黒色土層、その下層に粘性の強い黄色土層が存在している（東ら, 2005）. また、流域に分布するほとんどの土壌は埴壤土に分類され、細粒成分に富んでいる（久米ら, 2008）.

2. 2. サンプリング地点

図1に示すように斜面①, ②, ③, ④の11地点と地点A, Bの計13地点において斜面傾斜角の測定と土壌の採取を行った. 斜面傾斜角の測定は1 mのポールに取り付けたクリノメーターの値を読むことで、各土壌採取地点の局所的な斜面傾斜角とした. 土壌の採取は金属製の円筒（内径：5 cm）を用い、深度29.5 cmまでの土を採取した. 採取した土は実験室に持ち帰り、室内で乾燥させた後に粉碎し、2mmふるい通過分を分析に供した.

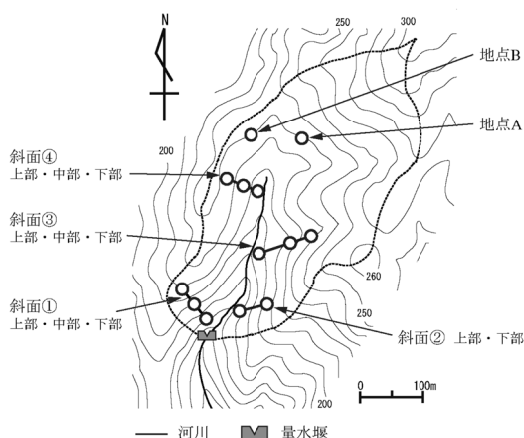


Fig. 1 Points of soil sampling and the measurements of slope gradient

図1 傾斜角測定および土壌採取地点

2. 3. X線回折による粘土鉱物分析

X線回折による粘土鉱物の同定は、和田（1966）に準じて行った. 図2にX線回折による粘土鉱物分析のフローチャートを示す. 土壌試料5.00 gを500 mlトルビーカーに取り、6%過酸化水素水を加え、有機物特有の暗色が消えるまでホットプレート上で加熱した. 脱イオン水を加え内容を約400 mlとした後、1 M NaOHでpHをおよそ9に調整し、音波発生装置で超音波処理を行った. 分散した懸濁液の全量を1 L容沈定シリンダーに移し、よく攪拌し静置した. ストークスの法則より求めた所定の時間後、サイフォンを用いて2 μ m以下の粘土画分を採取した. 沈定シリンダーに再び脱イオン水を加えて攪拌・静置後、粘土画分の採取を行った. この操作を上澄みが透明になるまで繰り返し、粘土画分を分離した. 得られた粘土懸濁液を用いて、定方位法によりX線回折用の試料を作成した. 懸濁液中に含まれる粘土が50 mgとなるように、10 ml遠沈管2本に分取した. それぞれ遠心分離して上澄みを除き、陽イオン交換基を飽和させるため一方には1 M KCl、一方には0.5

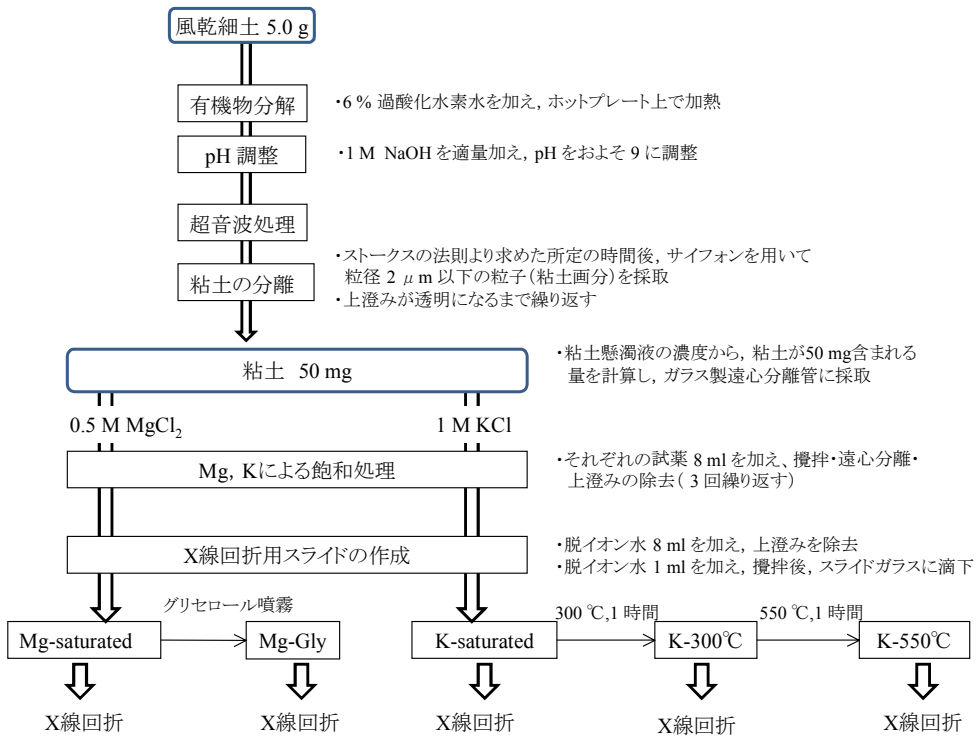


Fig. 2 The experimental scheme for analysis of clay mineralogy using X-ray diffractometer

図2 X線回折による粘土鉱物分析フローチャート

M MgCl₂を8 mlずつ加え、粘土の塊が見られなくなるまで攪拌し、遠心分離して上澄みを除いた。この処理を3回繰り返した後、脱イオン水8 mlを加え、攪拌後、上澄みを除去した。さらに、脱イオン水1 mlを加え攪拌・懸濁させ、スライドガラスの上に滴下し、一昼夜乾燥させた。Mg飽和处理後風乾させた試料 (Mg-saturated) に測定後、グリセロール溶液を噴霧し、再度測定を行った (Mg-Gly)。K飽和处理後風乾させた試料 (K-saturated) は測定後、電気炉で300 °Cに加熱・放冷し測定 (K-300°C) した後、再度550 °Cで加熱・放冷し測定した (K-550°C)。X線回折装置はRigaku製のRINT2100を用いた。この装置の対陰極元素はCuであり、走査範囲、管電圧・管電流およびスキャンスピードはそれぞれ、3° ~ 30° , 40 kV-20 mA, 2.0 min⁻¹である。

また、粘土鉱物を定量的に評価するために、X線回折によって得られるピーク強度の値を用いて、以下の式によって粘土画分の相対的な粘土鉱物含量を算出した。

$$\text{粘土鉱物含量(\%)} = \frac{I_i}{\sum I_i} \times 100 \quad (1)$$

ここで、*i*はX線回折によって同定される鉱物種を表し、*I_i*は各鉱物を代表するピーク強度を表している。

3. 結果および考察

3. 1. 斜面傾斜角

表1にクリノメーターで測定した各地点における局所的な斜面傾斜角の値を示す。斜面傾斜角は最大で33.5°，最小で17°であった。また，下流部の斜面①，②，③の8地点では平均で29.3°と急傾斜の斜面であった。上流部の斜面④および地点1，2では平均20.7°であった。以上より，流域内の下流部の斜面は急傾斜である一方，上流部の一部の斜面は緩傾斜であることが示された。

表1 斜面傾斜角
Table 1 Slope gradients

	斜面傾斜角 (°)
斜面①-下部	31
斜面①-中部	33.5
斜面①-上部	32
斜面②-下部	27
斜面②-上部	28
斜面③-下部	28
斜面③-中部	32
斜面③-上部	23
斜面④-下部	15
斜面④-中部	32
斜面④-上部	17
地点A	18
地点B	21.5

3. 2. 粘土画分中の粘土鉱物の同定

粘土画分 ($\leq 2\mu\text{m}$) のX線回折図の一例として，斜面④下部から採取した試料のデータを図3に示す。すべての処理において1.435, 0.936, 0.730, 0.425, 0.363, 0.334, 0.312 nmにピークが見られた。Mg-saturatedで得られたピークを基準として，Mg-GlyおよびK-saturatedでは各ピークの強度の変化は見られなかった。これに対して，K-300°CおよびK-550°CではMg-saturatedに比べて，1.435 nmのピーク強度が低下していた。Mg-saturatedでは1.435 nm付近に現れるピークはスメクタイト，バーミキュライト，緑泥石に特有なピークである。スメクタイトであれば，Mg飽和させた試料にグリセロールを噴霧した場合は，グリセロールが層状ケイ酸塩の層間に入り込み，1.77 nm付近にピークが現れる（和田，1966）。しかし，この処理をしたMg-Glyでも1.77 nm付近のピークが見られなかったことから，スメクタイトの可能性は否定された。また，バーミキュライトである場合は，層間にKが固定され，層間の距離が1.0 nmに変化する（和田，1966）。しかし，K-saturatedでもピークの変化が見られなかったことから，バーミキュライトの可能性も否定された。したがって，1.435 nmのピークは緑泥石であると同定された。0.936 nmのピークはタルクに特有のピークである。0.312 nmに見られるピークはタルクの006反射に

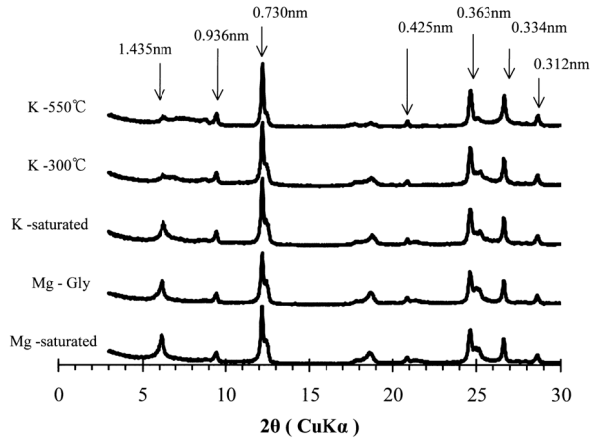


Fig. 3 X-ray patterns of clay fraction
(sample from the lower part of slope 4)

図3 粘土画分のX線回折図
(試料：斜面④下部)

よるものであると考えられる。0.730 nm付近でピークを示す鉱物としてはカオリン鉱物と蛇紋石がある。カオリン鉱物は550°Cで加熱すると、結晶構造の崩壊によりピークが消失する(和田, 1966)。しかし、K-550°Cでは、ピーク強度の低下が見られなかったため、0.730nmのピークは蛇紋石鉱物を示すものであると判断した。0.363 nm付近に見られるピークは蛇紋石の2次反射によるものであると考えられる。0.425 nmと0.334 nmに強度比1:3でピークが現れている場合、試料中に石英が含まれていることを表す(下田, 1985)。図3においても0.425 nmと0.334 nmのピークが1:3で見られたことから石英の存在を確認した。以上より、御手洗水流域内の表層土壌には、粘土鉱物として緑泥石・タルク・蛇紋石・石英が含まれていることがわかった。

3. 3. 粘土鉱物の分布

X線回折によって得られた緑泥石、タルク、蛇紋石、石英の4鉱物について、それぞれの鉱物を代表するピーク強度(緑泥石: 1.435 nm, タルク: 0.936 nm, 蛇紋石: 0.730 nm, 石英: 0.334 nm)を用いて、(1)式により各採取地点における粘土鉱物含量を算出した。表2に各採取地点における粘土鉱物含量を示す。下流部の斜面①, ②, ③では蛇紋石のピークが大きく、蛇紋石含量は平均で81%であった。下流部の8地点ではタルクのピークは見られなかった。上流部の斜面④および地点A, Bの5地点ではいずれもタルクのピークが見られ、5地点におけるタルク含量の平均は19%であった。とくに地点Bのタルク含量は59%であり、この地点ではタルクが主要粘土鉱物であった。全体的な傾向として、上流部になるほどタルクが多くなる傾向が見られた。蛇紋岩が形成される際には、蛇紋岩化作用の第2期でタルクが生成する場合があることが報告されている(梅津, 1995)。さらに、梅津(1995)は、蛇紋岩体の辺縁部にはタルクを主要鉱物とする滑石片岩が生成されていることを報告している。したがって、上流部の土壌にタルクが多い原因としては、滑石片

岩を母岩としている可能性が考えられる。

表2 粘土鉱物の含量
Table 2 the contents of clay minerals

	粘土鉱物含量 (%)			
	緑泥石	タルク	蛇紋石	石英
斜面①-下部	6	0	87	7
斜面①-中部	14	0	79	7
斜面①-上部	9	0	84	7
斜面②-下部	11	0	84	5
斜面②-上部	19	0	73	8
斜面③-下部	9	0	80	10
斜面③-中部	12	0	77	12
斜面③-上部	10	0	85	5
斜面④-下部	18	9	50	23
斜面④-中部	31	6	41	22
斜面④-上部	15	8	65	12
地点A	24	11	45	19
地点B	20	59	16	5

3. 4. 斜面傾斜角と粘土鉱物

図4に斜面傾斜角と各粘土鉱物との関係を示す。蛇紋石の含量と斜面傾斜角の間には正の相関（相関係数： $r = 0.48$ ，有意確率： $p < 0.10$ ）が見られた。これに対し，その他の粘土鉱物の含量と斜面傾斜角との間の相関係数は，蛇紋石に比べて低かった（緑泥石： $r = -0.24$ ，タルク： $r = -0.39$ ，石英： $r = -0.36$ ）。横田ら（1995）は，蛇紋岩地帯における切土斜面および地すべり面から土壌試料を採取し，せん断試験および粘土鉱物の分析により，蛇紋石が主要構成鉱物である土壌では，せん断抵抗角が 30° より大きく，タルク・緑泥石が主要構成鉱物の場合は 20° 程度であることを報告している。このことから，タルクや緑泥石のせん断抵抗角は蛇紋石のそれよりも小さく，タルクおよび緑泥石に富む斜面では一定の角度になると崩壊あるいは地すべりを起こして斜面の角度が小さくなり，結果的に蛇紋石に富む斜面が大きい傾斜角で残った可能性が考えられる。

土の強度を決定する粘土鉱物以外の因子として，土の密度（土の詰まり具合）や粒度分布などが挙げられる。久米ら（2008）は御手洗水流域において土壌の性質を調査し，斜面の上部・中部・下部で，真比重・乾燥密度・間隙比には明瞭な違いがないことを示している。また，流域内19地点で採取した土壌試料のうち16地点の試料が埴壤土に，3地点の試料が軽埴土に分類されていること（久米ら，2008）から，粒度分布についても斜面部位ごとの明瞭な違いはない。また，埴壤土のような細粒成分を多く含む土壌では，粘土鉱物の微細構造および物理化学的作用によって，土の力学的強度が左右されることが知られている（例えば，嘉門，1977）。したがって，御手洗水流域の土壌では，土壌中に含まれる粘土鉱物の種類及び含量が土の強度特性を主に決定付けている可能性が高い。以上のことから，本研究の結果は，蛇紋岩山地において土壌中に主要粘土鉱物として蛇紋石が多く含ま

れる場合、斜面傾斜角の大きな斜面が形成されうることを示唆している。

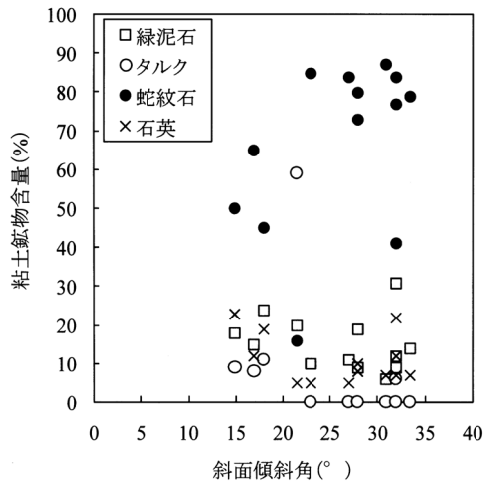


Fig. 4 Relationship between the contents of clay minerals and slope gradient (Lateral axis and vertical axis present slope gradients (degree) and the contents of clay mineral (%))

図4 採取地点における斜面傾斜角と粘土鉱物含量の関係 (横軸には土壤試料を採取した各地点の傾斜角, 縦軸にはX線回折における各鉱物の含量を%で示している.)

4. まとめ

蛇紋岩山地における地形形成と土壌中の粘土鉱物組成との関係性を明らかにするため、蛇紋岩を母岩とする御手洗水試験流域において斜面傾斜角を測定し、土壌中の粘土鉱物組成を調べた。クリノメーターを用いて、局所的な斜面傾斜角を測定したところ、下流部では急傾斜、上流部で緩傾斜という傾向が見られた。また、土壌中の主要粘土鉱物は蛇紋石であり、他の粘土鉱物としては緑泥石・タルクが含まれていた。粘土画分中の相対的な粘土鉱物組成で見ると、蛇紋石が平均で81%含まれており、タルクはほとんど含まれていなかった。一方、上流部の土壌には、タルクが6-59%含まれていた。採取地点の傾斜角と粘土鉱物との関係は、急傾斜斜面の粘土鉱物には蛇紋石が多く含まれることを示していた。タルクや緑泥石が多い土壌から成る斜面では、崩壊や地すべりによって傾斜角の小さな斜面が形成されるため、蛇紋石を多く含む土壌から成る斜面が急傾斜のまま残ったと考えられた。以上より、蛇紋岩山地では、土壌中の粘土画分に蛇紋石を多く含む場合、急傾斜の斜面が形成されうることを示唆された。

引用文献

- 東 智洋・井手淳一郎・大槻恭一・小川 滋 (2005) : 斜面, ライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出の関係ー御手洗水試験流域における観測例ー. 九大演報 **86** : 1-13
- 嘉門雅史 (1977) : 粘性土の構造と力学的特性. 土壌の物理性 **35** : 21-28
- 小松陽介 (1997) : 蛇紋岩山地の地形と水文特性・斜面プロセス. 平成7年度深田地質研究助成研究報告 119-136
- 久米朋宣・東 直子・脇山義史・金丸裕一郎・井手淳一郎・大槻恭一 (2008) : 管理放棄人工林を主体とする御手洗水試験流域における土壌の性質と水分保持能. 九大演報 **89**, 印刷中
- 下田 右 (1985) : 粘土鉱物研究法. 創造社
- Suzuki, T. (2006): Formative Processes of specific features of serpentinite mountains. Transactions, Japanese Geomorphological Union. **27(4)** : 417-460
- 梅津一晴 (1995) : 蛇紋岩の土質地質的一検討. 応用地質 **36** : 46-55
- 横田公忠・矢田部龍一・八木則男 (1995) : 風化蛇紋岩の強度特性. 土木学会論文集 **529** : 155-163
- 横田公忠・八木則男・矢田部龍一・砂子一 (1996) : 蛇紋岩の風化粘性土に起因した切土のり面の崩壊に関する一考察. 土木学会論文集 **544** : 57-65
- 横田公忠・矢田部龍一・八木則男 (1997) : 蛇紋岩地帯の地すべりの発達に及ぼす粘土鉱物とせん断強度の影響. 土木学会論文集 **588** : 125-132
- 日本の地質九州地方編集委員会 (1992) : 日本の地質 (9). 日本の地質 : 7-8, 共立出版.
- 和田光史 (1966) : 粘土鉱物の同定法および定量法. 日本土壌肥料学会雑誌 **37(1)** : 9-17

(2007年10月31日受付 ; 2008年2月20日受理)

Summary

To elucidate the relationship between topography and soil mineral composition in serpentinite mountains, we investigated soil clay mineralogy and slope gradient. Soil sampling and the measurements of slope gradient were conducted at 13 points in the Ochozu Experimental Watershed where the underlying bedrock predominantly consists of serpentinite. Clay minerals in soil samples were measured with X-ray diffractometer. Despite of the serpentinite surface geology, the results showed that the slope is relatively steep with the maximum slope gradient of 33.5 degree. The clay minerals identified by X-ray diffraction were serpentine, chlorite, talc, and quartz. The contents of serpentine in the soil samples were positively correlated with the slope gradients (correlation coefficient: $r = 0.48$). The serpentine-rich soil could be less sensitive to planation due to its higher angle of shear resistance than the soil containing talc and chlorite. Our results suggest that serpentine-rich soil could form steep slopes even in serpentinite mountains.

Key words: clay mineral, slope gradient, serpentinite mountains, serpentine