

論文

シラスの連続コア試料におけるテクスチュアと硬度値の変化

横山 修*・横田修一郎**・武田 伸二***

Changes of textures and hardness distribution in a borehole core sample of "Shirasu" (rhyolitic ignimbrite tuff)

Osamu Yokoyama*, Shuichiro Yokota** and Shinji Takeda***

Abstract

Although it is generally easy to obtain small non-disturbed specimens of soft rocks of weakly welded ignimbrite tuff from exposures, it is virtually impossible to acquire complete borehole core samples of "Shirasu", the Quaternary rhyolitic ignimbrite tuff which is widely distributed in southern Kyushu, Japan. This difficulty is attributable to the quality of the rocks, in which volcanic glass and coarse-grained materials with large pumiceous fragments are weakly welded to each other. The rocks are therefore soft and tend to break under external forces or vibrations.

A new sampling technique, the Hybrid Method, which is based on air bubble drilling, has recently been developed. This enables us to obtain complete core samples of "Shirasu". A continuous non-disturbed core sample 100 cm long was obtained from southern Kyushu using this method. Rock textures were observed in addition to measurements of penetrative hardness distribution in the core. Images obtained under the optical microscope and by SEM shows characteristic piled textures of volcanic glasses of bubble wall type, and welded textures. Distribution of penetrative hardness values shows that this parameter varies from 0.1 kgf/cm to 3.5 kgf/cm in these rocks.

Key words: Sampling, Shirasu, Ignimbrite tuff, Texture, Hardness, SEM

はじめに

南九州に広く分布するシラスは火砕流堆積物の非溶結ないし弱溶結部であり、野外の露出面では火砕流堆積物としての特徴的な岩石組織がよく観察できる。こうした露出面からシラスのブロック試料が得られれば、室内測定によって諸物性値を得ることができ、これは電気探査や弾性波探査資料の解釈にも重要な情報となる。

大きな軽石片を含んだシラスの岩相を考慮すれば、力学的性質の測定には径数 10 cm 以上のブロック試料を不攪乱で採取する必要がある。しかしながら、シラス露頭からブロック試料を採取するのは容易なことではない。試料採取が困難な理由は、シラスが結合力の弱い砂サイズの粒子より構成されており、採取時の外力・振動によって岩石組織が容易に破壊されてしまうためである。

砂サイズ粒子が互いに弱く結合している火砕流特有の岩石組織では、岩石薄片の作成も困難である。これを反映して岩石薄片を用いた鏡下でのシラスの記載は大庭他 (1962) 以来

あまりなされていないし、岩石組織の顕微鏡写真も極めて少ない。

こうしたなか、今回、大隅半島のシラス斜面 (第 1, 2 図) でハイブリッド工法 (武田他, 1998) による大口径ボーリングコア採取が行われ、径 10 cm, 長さ 100 cm のシラス (入戸火砕流堆積物) の連続コア試料が得られた (武田他, 1999)。筆者らはこのコア試料をもとにして、岩相の連続的变化とともに岩石組織の光学顕微鏡下ならびに走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、針貫入試験器による硬度値の測定などを試みた。なお、ここで「シラス」と呼んでいるのはいわゆる地山シラス (1 次シラス) であり、2 次的に堆積したのではない。

ボーリング地点のシラスと連続コア試料の採取

ハイブリッドとよばれるボーリング工法は、ハイテック (株) によって開発されたもので、軟質かつ力学的に不均質な堆積物からでも不攪乱試料を採取でき、これまでに断層破碎帯や地すべり堆積物からの採取に成功している (武田他, 1998)。

今回の試料採取地は鹿児島県大隅半島のシラス斜面である (第 1, 2 図)。ここではシラス台地を菱田川水系大鳥川が深く開析しており、河道に面して急斜面が形成されている。斜面は最大比高約 80 m に達し、傾斜は 65-85° である。斜面の形成は河川の側方浸食と表層崩落の繰り返しによるものと

* 京都大学大学院理学研究科

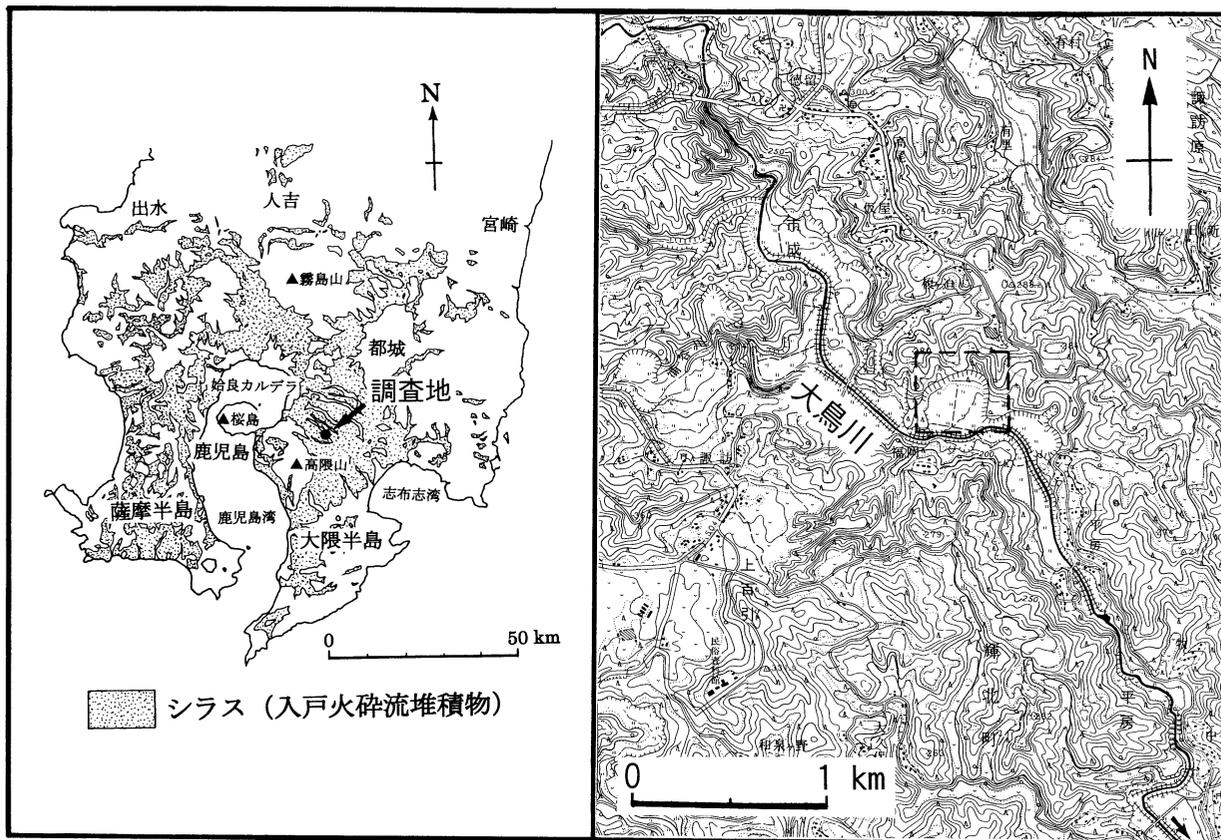
Graduate student, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

** 島根大学総合理工学部地球資源環境学科

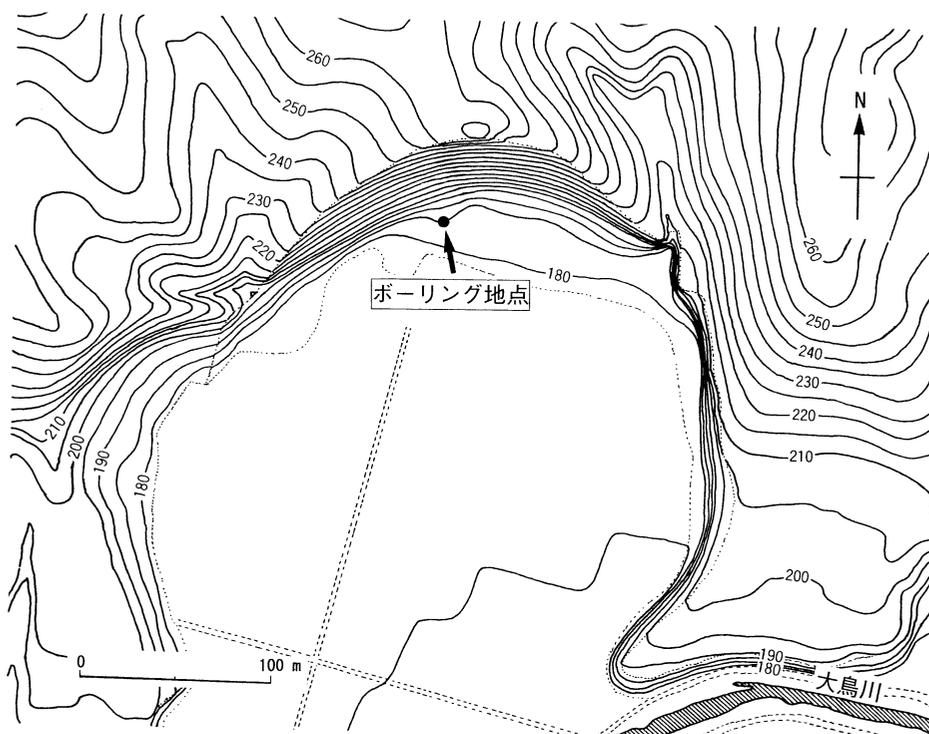
Department of Geoscience, Shimane University, Nishikawatsu 1060, Matsue 690-8504, Japan

*** ハイテック (株)

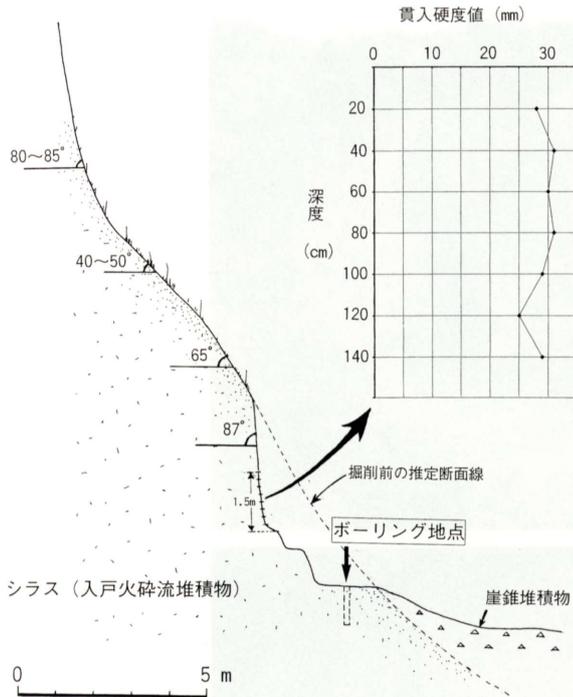
Hitec Co., Rinku-minamihama 3, Sennan, Osaka 590-0535, Japan



第1図 南九州におけるシラス(入戸火砕流堆積物)の分布(左)と試料採取位置周辺の地形(右). シラスの分布は岩松他(1989)による. 右図の四角が第2図の範囲. 1/25,000 地形図「野方」を使用.



第2図 ボーリング地点と背後のシラス斜面



第3図 ボーリング地点を含む斜面の断面形状
右上は山中式土壤硬度計による貫入硬度値分布

連続コア試料

今回対象とした試料は直径 10 cm、延長約 100 cm の連続した棒状のボーリングコアである。コア試料は破損を防ぐため、採取直後に密閉され、内径約 11 cm のアクリル管内に収納された。このため、以下の観察時には自然含水状態に近く、ほぼ飽和した状態であった。コア表面のスケッチを写真とともに第 5 図に示す。

岩相としては、流紋岩質角礫凝灰岩であり、砂ないしシルトサイズの基質のなかに発泡のよい軽石と異質岩片が散在しており、火砕流堆積物としての特徴を備えている。全体に黄褐色を呈するが、コアの一端(孔口)をゼロとして深度をとると、深度 10 cm 前後は白色に近いし、深度 80 cm 以下では角礫を多く含有しているため黒っぽい。

基質は鉱物粒と火山ガラスの集合体よりなり、粒径から見ると砂～シルトサイズである。これにはほぼ水平な成層構造が認められる。大局的には深度 0-50 cm は中粒砂状、50-82 cm はシルト状、そして 82-100 cm が粗粒砂状である。82-100 cm の部分には径 3-4 cm の黒褐色安山岩角礫が密集している。基質が砂状の部分は概して褐色化が著しく、シルト状の部分は黄灰色と色調が異なっている。これは透水性の違いが酸化程度の違いとなって現れたものであろう。コアは約 100 cm の連続した棒状であるが、いくつかのクラックが認められる。クラックは水平ないし緩傾斜で、基質の成層構造に沿ったものが多いが、斜めのものも認められる。一部はボーリング掘削時に生じた可能性もあるが、クラック面が褐色化しているものは既存のものと考えられる。

このように、シラスは一見、均質みえるが、コアとして観察すると、数 cm 間隔で色調や基質の粒度変化が認められ、これに対応して力学性に関してもかなり不均質であると推定される。以下にコア試料の深度ごとの岩相と状態を記す。

0-1 cm : コアは破損し、試料欠如。

1-33 cm : 全体としてやや褐色を帯びているが、深度 10 cm 付近はほぼ白色を呈している。軽石は径 1-2 cm のものが多く、最大は径約 5 cm である。軽石の多くは角張っている。また、軽石は概して風化しており、まわりの基質とは識別しにくい。

33-40 cm : ほぼ白色～灰白色を呈しているが、軽石部分は褐色化しているものが目立つ。また、径 0.2-0.5 cm の丸みを帯びた異質岩片が目立ち、全体に不均質である。

40-50 cm : ほぼ白色～灰白色を呈している。基質は中粒砂状であるが、深度 40 cm 付近はやや細粒となっている。深度 60 cm 付近には軽石とともに径 3-4 cm の異質礫が含まれている。

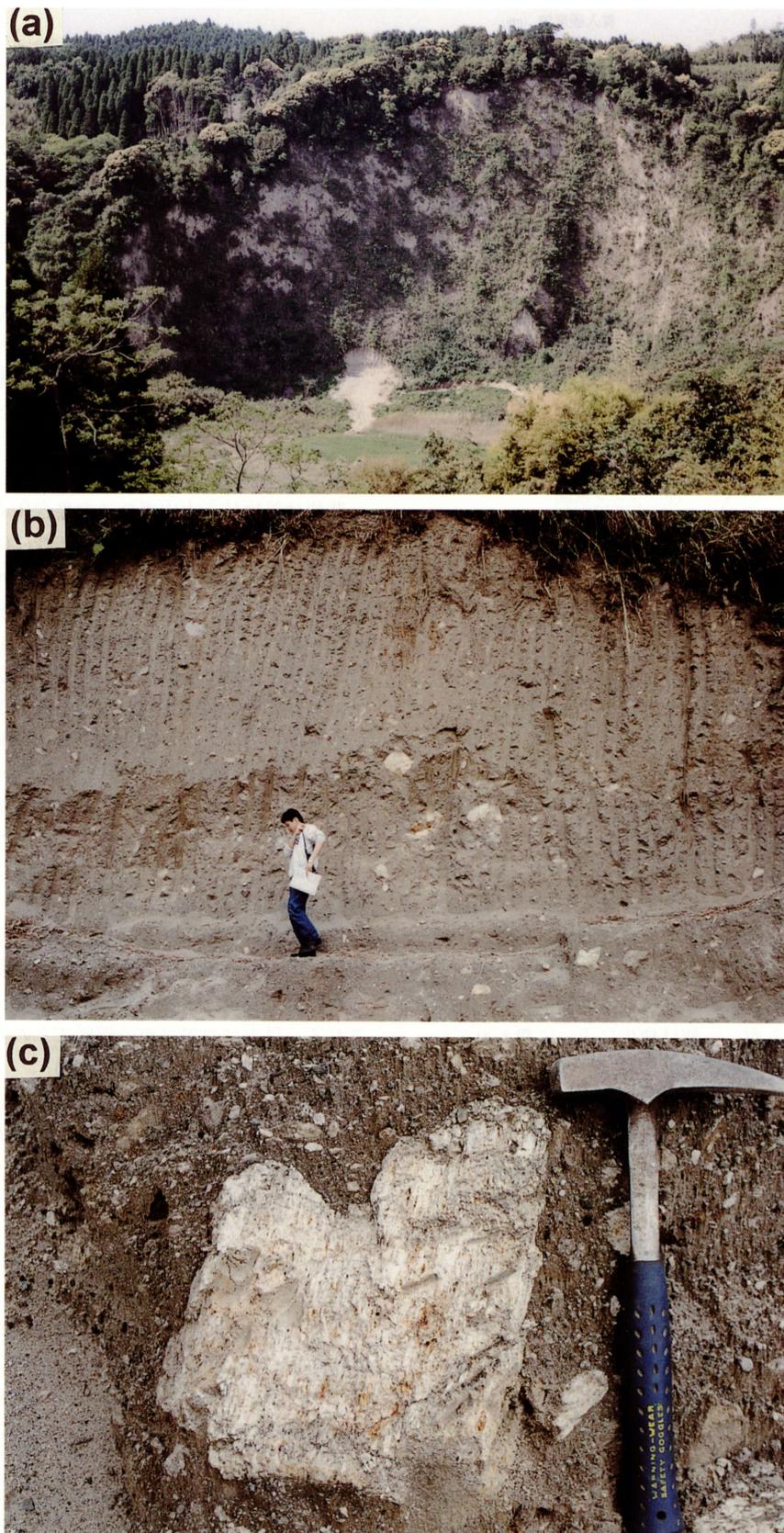
50-62 cm (このうち 58-60 cm は欠如) : ほぼ白色～灰白色を呈しているが部分的に褐色化ないし緑色を帯びているところが見られる (50-53 cm, 53-56 cm, 56-62 cm などの区間)。基質は極細粒の砂状である。

62-75 cm : ほぼ灰白色～白色を呈している。基質は極細粒砂状で、火山ガラスが目立つ。クラックが認められるが、全

思われる。採取地を含めたまわりの地形概要と斜面下部の縦断面図を第 2, 3 図に示す。ボーリング地点はこの斜面の裾部(標高約 180 m)である。ハイブリッド工法による具体的な採取方法については武田他(1999)によってすでに報告されている。

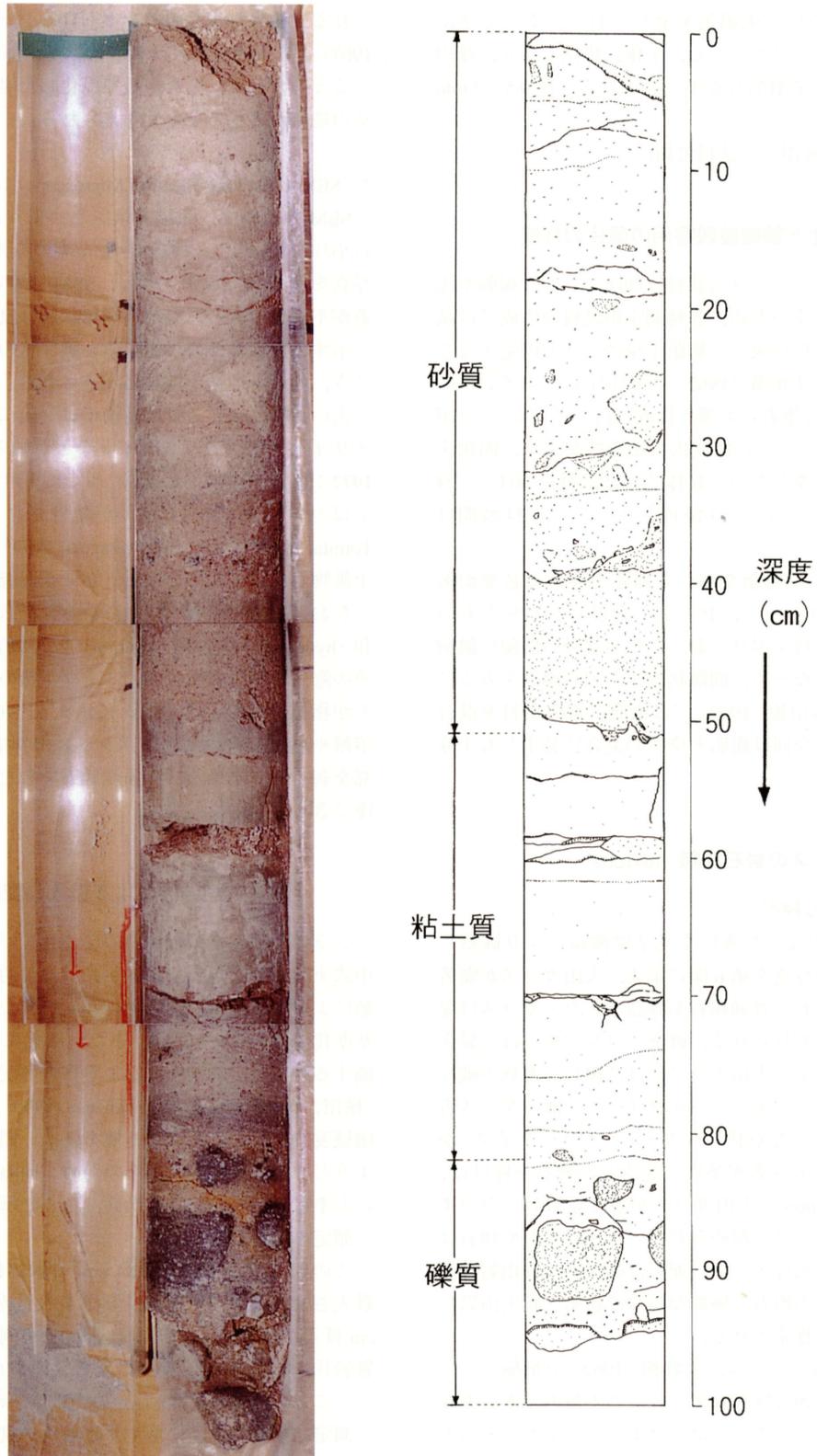
シラス斜面の上部から中部の勾配は鉛直に近いが、第 3 図に示すように、下部は少し緩くなっている。斜面のほぼ全面にシラスが露出しているが、一部は植生によって覆われている。斜面下部は第 4 図(a)に示すように高さ数 m にわたって人工的に掘削されており、掘削面には灰白色の比較的新鮮で硬質なシラスが露出している。ここでは基質はガラス質で、発泡のよい軽石とともに基盤の四万十層群起源の頁岩や新第三紀凝灰岩の岩片を多数含んでいる(第 4 図(b))。軽石は径 1-3 cm のものが多いが、最大径は 20 cm に達している(第 4 図(c))。一方、掘削されていない自然斜面では、表面は白っぽくならず、ごく表層はわずかに軟質化している。

第 3 図に示すように、掘削面上での山中式土壤硬度計による貫入硬度値は 25-31 であった。これは横田(1996)などの場合と比較しても、入戸火砕流堆積物の平均的な硬度である。また、ごく表層の白っぽい部分では 15 前後、また斜面裾に 2 次的に堆積した崩積土(いわゆる 2 次シラス、図では崖錐堆積物と表示)では 10 前後であった。第 3 図の断面図に示すように、ボーリングの孔口位置は傾斜 60-65° の急斜面下部の表面から約 1.0 m 鉛直に掘削したところに相当する。ボーリング延長は約 1 m であるから、第 3 図に示すようにコアは当初の表面から直交方向には深度 0.8-1.5 m の範囲と推定される。



第4図 ボーリング地点周辺の地形とシラスの状態

- (a) ボーリングの行われたシラス急斜面. 中央下の白い部分 (人工的に掘削された部分) の手前がボーリング地点.
 (b) 斜面下部の掘削面に現れたシラスの岩相.
 (c) 同拡大写真. 軽石は最大径 20 cm に達している.



第5図 連続コア試料の写真(左)と表面の岩相スケッチ(右).

体に均質である。

75–82 cm：濃い灰色～灰白色を呈している。基質は細粒砂～極細粒砂状である。径 0.5–2 mm の火山ガラスが目立つ。

82–95 cm：灰白色ないし灰褐色を呈しており、クラックに沿っては一部黄褐色を呈している。全体に粗粒であり、径約 8 cm の丸みを帯びた異質岩片が多く含まれる。径 0.5–2 mm の火山ガラスが目立つ。

95–100 cm：コアは破損し、試料欠如。

試料の固化と顕微鏡観察用の薄片の作成

すでに述べたように、シラス試料は加圧したり、振動や流水下では砂状化しやすいため、各種測定用試料の作成には試料を固化し、また薄片作成にも樹脂を浸透させて固定することが行われてきた。大庭他 (1962) は薄片作成にシアン系のボンドを用いており、筆者も薄片作成にはシアノボンド (田岡化学株) を使用した。これは液状で浸透性がよく、固化するのにさほど時間を要しない。具体的には試料を 60℃ で 24 時間炉乾燥し、シアノボンドを浸透させ、さらに 24 時間自然乾燥させた。

薄片作成にはさらに樹脂を用いて間隙を埋める必要がある。これにはペトロボキシに P レジンを混ぜ合わせたものを用いた。樹脂に染料を混ぜておくことでの部分の間隙に樹脂が浸透したかが明白なため、間隙状態など岩石組織をみるには効果的である。西山他 (1992) では樹脂に蛍光塗料を混合させている。なお、今回は樹脂と染料の混合は必ずしも十分ではなかった。

シラスの岩石組織 (texture)

1. 光学顕微鏡による観察

このようにして作成した薄片を光学顕微鏡により観察した。光学顕微鏡下の写真を第 6 図に示す。火山ガラスが顕著で、そのほかに斜長石、普通輝石が確認された。ガラスは発泡のよい軽石としても見られる。直交ニコルで黒っぽく見える部分はガラスである。火山ガラスには湾曲して電球の破片のような形状のもの (バブルウォールタイプ) と細いガラス管を束ねてねじったような形状のもの (ファイバータイプ) が確認された。なかでも前者が多い。発泡した軽石を除けば、顕微鏡下では約 0.5 mm の火山ガラスが多く見られ、そのまわりはより細粒なガラスで埋められている。斜長石や輝石は少ない。他に、異質岩片として、泥岩、凝灰岩、安山岩等が含まれている。基盤の四万十層群ならびに新第三紀火山岩などに由来するものと推定される。

シラスの岩石組織としては、大庭他 (1962) が指摘しているような規則的な配列は見られず、むしろ不規則であるのが特徴であった。ただし、ここではバブルウォールタイプの火山ガラスが積み重なった組織が見られた。また個々のガラスの一部が互いに接合 (溶結) している部分も確認できた。第 6 図中で間隙を埋めているものは主に試料固化に使用した樹脂であるが、一部は粘土鉱物と推定される。3 次元的なイメー

ジを考えれば、個々のガラスは単にかみ合わさっているだけではなく、部分的に溶結して全体の骨格を構成しており、骨格の間隙を様々な結晶質鉱物や粘土鉱物が埋めていると推定される。構成物相互のインターロッキング効果 (春山・山内, 1967) よりもむしろガラスの溶結が全体の強度をもたらしていると考えられ、したがって風化した場合、こうした溶結構造の破壊が重要となると考えられる。

2. SEM (Scanning Electron Microscope) による観察

SEM の試料は、組織を壊さないようにボーリングコアから小片を取り出し、乾燥させたものを用いた。SEM による写真を第 7 図に示す。今回、SEM 観察の前処理である金蒸着が不十分であったため、写真状態は良好ではない。第 7 図に示すように粒子の表面に薄い破片状のものがいくつも確認でき、これらは粘土鉱物と推定される。

広い意味のシラス質堆積物では一般に粘土鉱物としてハロイサイト、モンモリロナイトなどが知られており (宮内他, 1972; 富田・大西, 1976)、とくに入戸火砕流堆積物に限ってはハロイサイト (10 Å) が報告されている (Kawano and Tomita, 1999; Yokota and Iwamatsu, 1999)。ただし、上記の粘土鉱物がハロイサイトかどうかは今回確認していない。

なお、主に火山ガラスからなるシラスでは風化作用には水和 (hydration) や溶解 (solution) も重要な過程と考えられる。その際、ガラス表面にはディンプル状のくぼみを形成することが指摘されている (喜多・山本, 1996)。ガラス表面での溶解や粘土鉱物の生成は、シラスの骨格となる接合 (溶結) 部を弱くし、結果として強度低下をもたらすことは容易に想像できる。

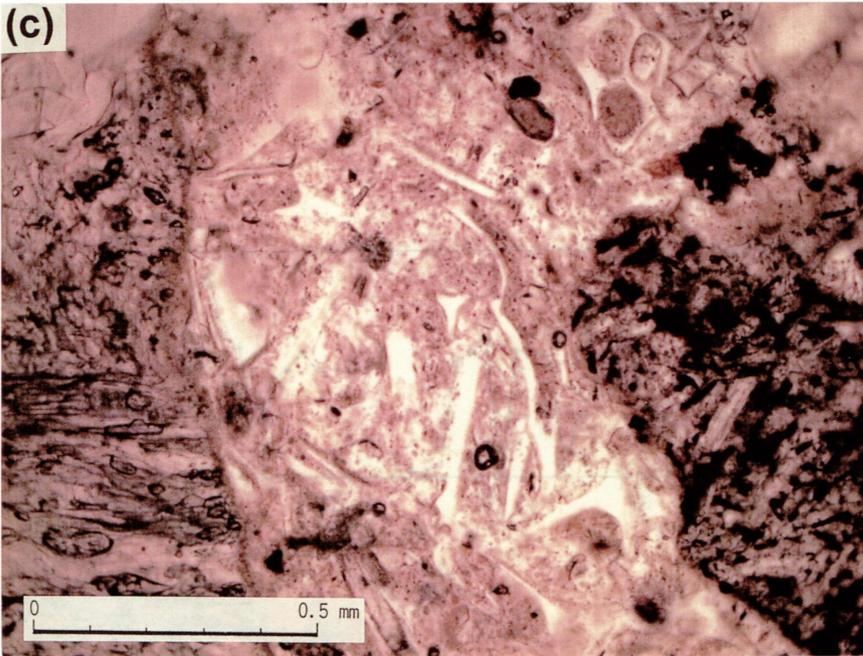
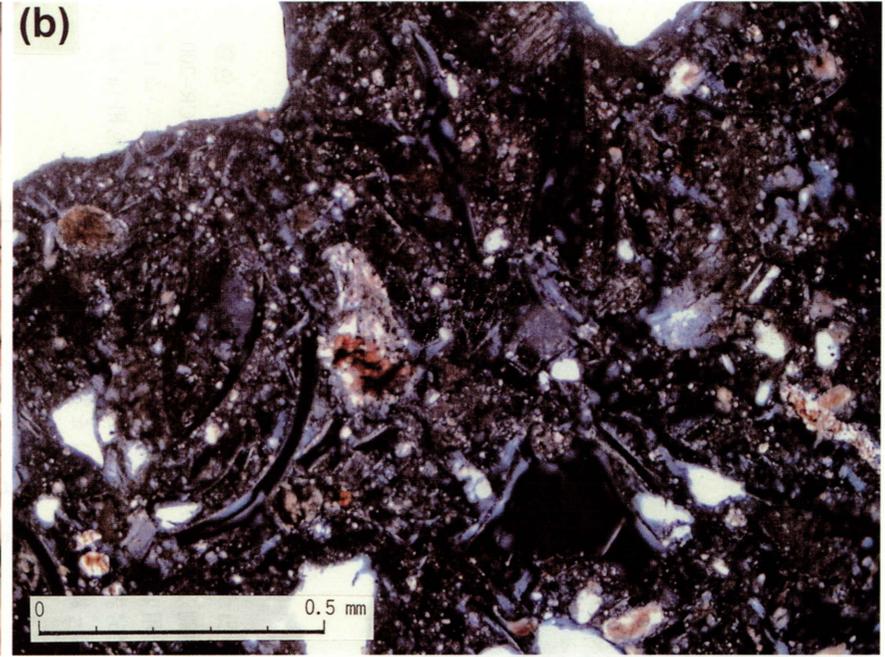
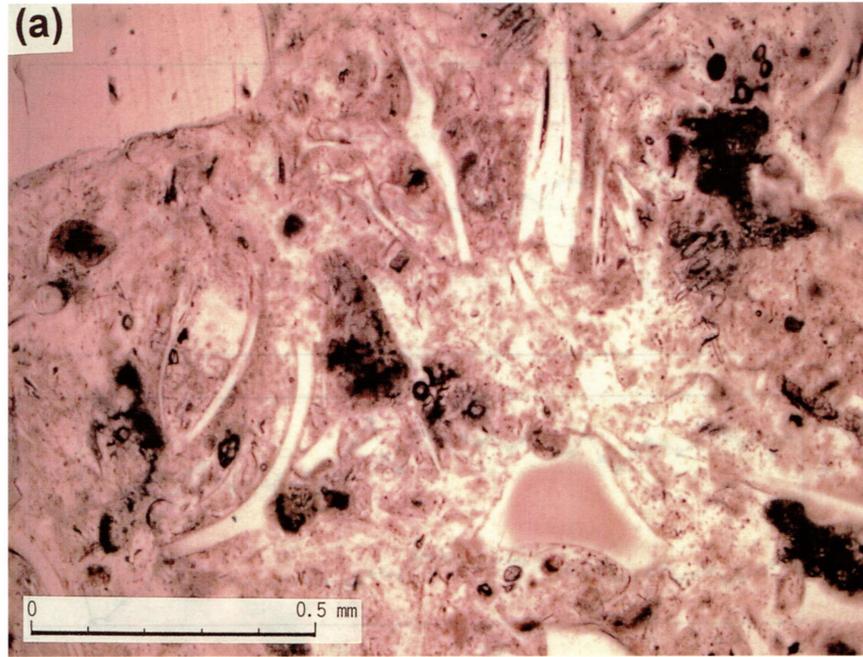
針貫入試験器による貫入勾配 NP の変化

シラスの硬度を測定するのにこれまで野外の露出面では山中式土壌硬度計が広く使用され、工学的にはこれによる硬度値によってシラスの区分が行われてきた (土質工学会しらす基準化委員会編, 1981)。また、風化による軟質化程度を評価するのに土壌硬度計による貫入硬度値が用いられてきた (横田, 1996; Yokota and Iwamatsu, 1999)。しかしながら、土壌硬度計によって貫入硬度値を細かい間隔で連続的に測定しようとする、相互の干渉のため、間隔 10 cm 以下ではほとんど不可能に近い。このため、ここでは針貫入試験器を用いて測定を行った。

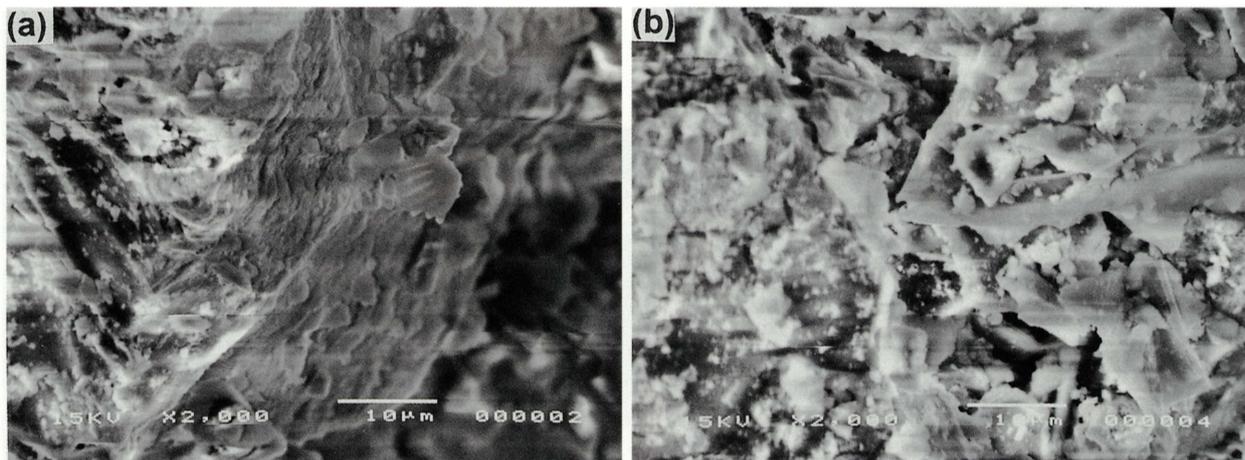
この測定では最大径 0.84 mm の木綿針をコア試料表面に貫入させ、その際の貫入荷重と貫入量から貫入勾配 NP (1.0 cm 貫入させるのに必要な貫入荷重) を測定した。ただし、異質岩片の部分など硬質部では貫入不能のため測定はできない。ここでは 2 cm 間隔で、基質部分を対象とした。

測定結果を第 8 図に示す。結果は、貫入勾配 NP の変化を示している。貫入勾配値はばらつきが大きく、硬質な異質礫部分など測定不能な区間もある。また、クラックに沿った部分ではゼロに近い。

図に示すように、値は数 cm 間隔で変化するが、最大値は



第6図 光学顕微鏡によるシラスのテクスチャ。いずれも試料はコアの深度約1 cmより採取。
(a) 深度1 cm, 単ニコル, (b) 深度1 cm, 直交ニコル, (c) 深度1 cm, 単ニコル, (d) 深度1 cm, 直交ニコル

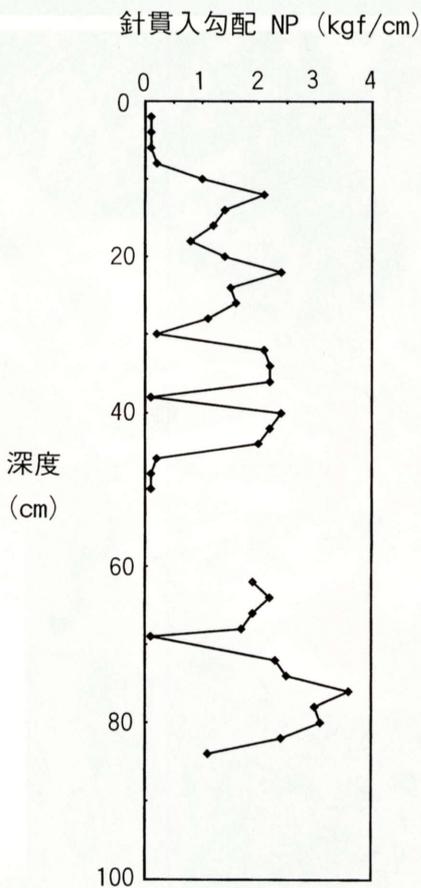


第7図 走査型電子顕微鏡 (SEM) によるシラスのテクスチュア. (a), (b) ともに試料は深度 1 cm より採取.

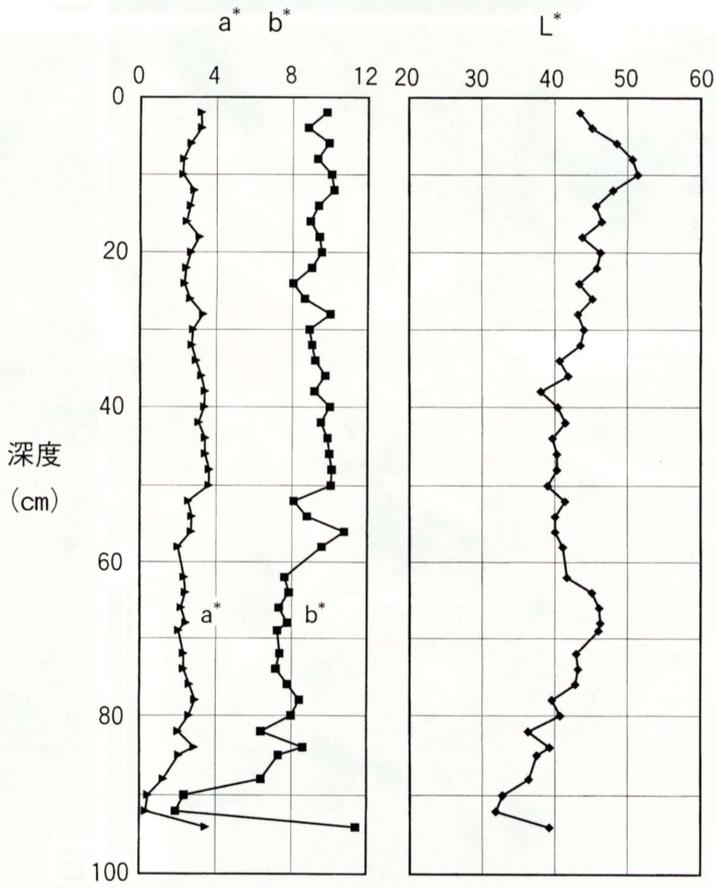
2-3 と比較的一定しており, これは基質粒子の結合によってもたらされる硬度を示しているのであろう. 深度 78 cm 前後に 3.5 と値の高い部分があるが, これは濃い灰色を呈し岩相的に溶結度がやや高い可能性がある.

表面の色彩値測定

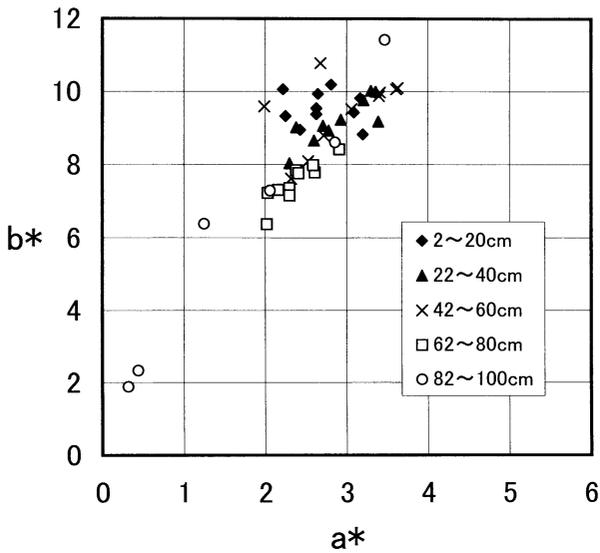
コア試料の表面の微妙な色調変化を把握するために, 色彩値測定を行った. これにはミノルタ社製色彩色差計 CR-200 を用いた. また色彩値の表現には最近よく用いられている L^* a^* b^* 表色系を用いた. L^* は明度を表し, a^* , b^* は色相 (a^* は赤-緑, b^* は黄-青) を表す.



第8図 針貫入試験器による深度方向への針貫入勾配値 NP の変化.



第9図 色彩色差計による深度方向への色彩値 (L^* a^* b^*) の変化.



第 10 図 深度と色彩値変化の関係。

測定結果を第 9 図に示す。L*は 30~50 の間で値が変化しており、値は深くなるにつれて減少している。a*は 0~4 の間で、また、b*は 2~12 の間で変化している。L*は一般に表面の乾湿に大きく影響されるが、a*、b*は乾湿の影響をほとんど受けない(満下他, 1998)。したがって自然含水状態に近いこの試料では、L*の変化は含水量に大きく影響されたものであろう。a*、b*の値は同じような変化傾向にある。a*、b*は深度 50 cm まではほぼ一定の値をとるが、50 cm を境にやや段階的に変化をし、値は減少する。さらに 80 cm よりも深くなると、変化が大きくなるとともに値は低くなっている。

深度 20 cm ごとに a*の値と b*の値の比をプロットすると、第 10 図のようになる。浅くなるにつれて右上方向に増加している。これは Nakashima *et al.*(1992) によれば、粘土鉱物化や鉄の酸化などの風化あるいは熱水変質を表している。この場合、熱水による変質とは考えにくいので、これは風化による色の变化、すなわち、浅くなるにつれて風化が進んでいることを示している。

シラスの色彩値変化は、土壤硬度計による貫入硬度値ともよく対応しており(横山, 2000)、この場合でも針貫入試験で得られた貫入硬度値の変化傾向と色彩の変化傾向が対応している。

ま と め

南九州で得られたシラスの不攪乱ボーリングコア試料を用いて、シラスの岩石組織(テクスチャ)を調べるとともに、貫入硬度値と色彩値変化を測定した。岩石組織には、結果として大庭他(1962)が報告しているような規則性のある配列は見られなかった。これに対し、バブルウォールタイプの火山ガラスが積み重なり構造が確認できた。またこれらのガラス同士が部分的に接合(溶結)している部分も見られた。

3 次元的にこれを考えれば、個々のガラスはかみ合わさっているのではなく、部分的にどこかで溶結してその骨組みを構成しており、その隙間を結晶質鉱物、粘土鉱物が埋めていると考えられる。なお、一見均質にみえるシラスでも貫入硬度値を細かい間隔で測定していくと値のバラツキは大きく、強度的にも不均質さがあることがわかる。斜面問題などを考える際には、風化に伴ってこうした組織がどのように変化しているかが今後の課題である。

謝辞：研究用に試料を提供していただいたハイテック(株)の小宮国盛さん、ならびに露頭調査のために現地への立ち入りを許可していただいた農林水産省曾於農業水利事業所の糸永英明支所長には記して感謝いたします。また、島根大学地球資源環境学科の故中山勝博助教授にはこれまで火砕流堆積物の見方について様々なご教示を受けた。ここにお礼とともに御冥福をお祈りしたいと思います。

文 献

- 土質工学会しらす標準化委員会編, 1981, 土質工学基準「硬さによる地山しらすの判別分類法 (JIS 規格, M 281)」, 土と基礎, **29**, 45-46.
- 春山元寿・山内豊聰, 1967, 土粒子のインターロッキングを考慮したシラス層の直立斜面の安定について, 九州大学工学部集報, **40**, 370-378.
- 岩松 暉・福重安雄・郡山 栄, 1989, シラスの応用地質学的諸問題, 地学雑誌, **98**, 1-22.
- Kawano, M. and Tomita, K., 1999, Formation and evolution of weathering products in rhyolitic pyroclastic flowdeposit, southern Kyusyu, Japan, *Jour. Geol. Soc. Japan*, **105**, 699-710.
- 喜多佐由里・山本博文, 1996, 酸性火山灰の風化一始良 Tn 火山灰を例として-, 福井大学教育学部紀要, **49**, 75-98.
- 満下淳二・石沢一吉・遠藤 司・竹内俊昭, 1998, 岩石の色彩測定と風化区分および物性値評価への応用に関する検討, 応用地質, **38**, 370-385.
- 宮内信文・仰木慎一郎・春山元寿, 1972, 各地の“シラス層”中に見出される粘土鉱物について, 鹿児島大学農学部学術報告, **22**, 123-130.
- Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Sasaki, H., Nittono, S., Saito, T. and Hayashi, H., 1992, Color measurement of some natural and synthetic minerals-1, *Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ.*, **57**, 57-76.
- 西山 孝・楠田 啓・斉藤敏明, 1992, 蛍光法による岩石中の間隙の観察と評価に関する二、三の考察, 応用地質, **33**, 17-22.
- 大庭 昇・阿部雅雄・三輪晃一, 1962, 自然状態におけるシラスの顕微鏡観察, 岩石鉱物鉱床学会誌, **47**, 91-96.
- 武田伸二・小宮国盛・竹内一郎, 1998, 最新の気泡式ボーリング工法によるサンプリング技術, 地盤工学会誌, **46**, 28-30.
- 武田伸二・小宮国盛・竹内一郎, 1999, 気泡式ボーリング工法によるシラス(入戸火砕流堆積物)のサンプリング, 日本応用地質学会平成 11 年度研究発表会講演論文集, 227-230.
- 富田克利・大西一臣, 1976, シラス中の粘土鉱物“特にシラス崖くずれ予知の見地から”, 粘土科学, **16**, 56-62.
- 横田修一郎, 1996, 土壤硬度計によって得られたシラス急斜面表層部における劣化分布, 島根大学地球資源環境学研究報告, **15**, 103-114.
- Yokota, S. and Iwamatsu, A., 1999, Weathering distribution in a steep slope of soft pyroclastic rocks as an indicator of slope instability, *Engineering Geology*, **55**, 57-68.
- 横山 修, 2000, 大隅半島大島川両岸におけるシラス斜面の風化構造, 島根大学卒業論文, 70 pp.

(受付：2001 年 12 月 3 日, 受理：2001 年 12 月 10 日)