

加茂・大東地方花崗閃緑岩地帯における
風化帯の粘土鉱物
(第1報)

—風化生成粘土鉱物とその生成系列—

大八木規夫・内田哲男・鈴木宏芳

国立防災科学技術センター第2研究部

**Clay Minerals of Weathering-Zone in Kamo-Daito Granodiorite Region
(Report I)**

— Clay Minerals and Their Formation Sequence in Weathering —

By

Norio Oyagi, Tetsuo Uchida and Hiroyoshi Suzuki

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

Clay minerals originated by weathering from biotite grains including chlorite grains in the weathering-zone of the Cretaceous granodiorite are analysed by methods of powder X-ray diffraction. Original biotite and chlorite grains decrease gradually in intensity of basal reflection from the least weathered state, zone I, to the most weathered state zone IIIc, in the region. On the other hand, halloysite and hydrated halloysite increase in intensity of basal reflection. Hydrobiotite, vermiculite, regular and irregular interstratified clay minerals can be found more frequently in the zones of moderate state of weathering, zones II, IIIa and IIIb, than in the zones of the least or the most weathering. Formation sequence of weathering of clay minerals in a small domain of original biotite grains may be as shown in Fig. 20 of the present report.

1. 序 言

島根県大原郡加茂町、大東町の両町にまたがる地方は花崗閃緑岩、花崗岩からなる地帯であって、これらが著しく風化しており、1964年7月島根県北東部を襲った集中豪雨によって、山くずれ、がけくずれが集中的に発生し、多大の被害を出した地帯である。

当花崗岩類地帯における災害の実体、地形・土壌・森林、さらに風化・崩壊等の諸特徴の概要は1964、1965の両年にわたり科学技術庁で行なった総合研究により明らかにされ、その内容は防災科学技術総合研究報告第14号(1968)に発表されている。このなかで、筆者らのひとり大八木(1968)は同地方の花崗岩類地帯において、風化帯を分帯し、風化帯構造と崩壊との関係を究明した。

本報は風化帯分帯の粘土鉱物組成、および当地域の風化帯における風化生成鉱物の生成系列を明らかにすることを目的としている。

2. 風化帯の環境的位置とくに地質・地形条件

2.1 地域周辺には上部白亜紀の酸性火山岩類があり、これを貫く最上部白亜紀の黒雲母花

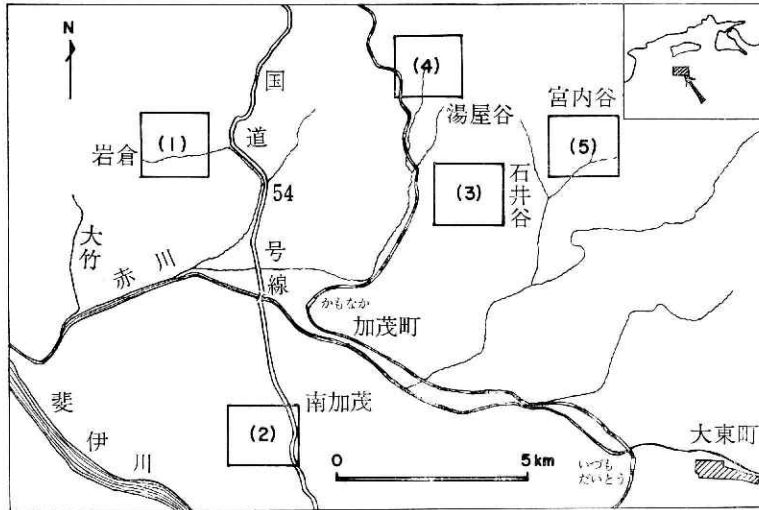


図 1 位置図 (1), (2)…は試料採集地周辺地形図の位置。番号は本文の記載順序と一致する。

崗閃緑岩が当地域中央部に分布している。対象地域はとくに大部分花崗閃緑岩からなっている。地域北部には新第三系の火山岩類および堆積岩類がのり、当地域はかつてこれらの基盤あるいは、半島状後背地になっていたはずである。これらの第三系、および上部白亜系と花崗岩類は当地域ではおもに断層接触である。しかし、花崗閃緑岩地帯には顕著な断層破碎帯はみられない。

2.2 当地域の風化作用に及ぼした地質的影響のうち注目すべき問題として、原岩の緑泥石化作用がある。これは主として黒雲母の一部が緑泥石化をうけており、地域北東部にその著しい地帯がある。そこでは、一般にごく弱い黄鉄鉱染がある。また、さらに北東部には熱水変質により珪化、および黄鉄鉱染した標高400m前後の当地域としては起伏の大きい山地がある。

2.3 当地域の地形は、三つのレベルの平坦谷底面で特徴づけられる。それらは 120~150 m, 80~120 m, 30~60 m のレベルであって、地域東部から西部へかけて順次配置している。(大八木, 1968) これらの平坦谷底面と、これらを取りまく小起伏丘陵との入り組んだパターンが当地域の地形を特徴づけている。

2.4 当地域の風化帯はこれら丘陵の脚部より上側、すなわち、平坦谷底面より上の部分に、より一層風化した帯が水平的に分布し、平坦谷底面と主谷との急遷点には未風化帯が露出

するという特徴的な風化帯構造を示している。（大八木，1968，図5，6，7 および p. 125 参照）これらの風化帯はその風化程度に応じて，主として肉眼的基準にもとづき I，II，III a，III b，III c 帯と区分した。

3. 原 岩

3.1 花崗閃緑岩 地域の主要部をしめる花崗閃緑岩は等粒状中粒で，角閃石（1～4%），黒雲母（4～8%），斜長石（44～60%），カリ長石（9～18%），石英（21～29%）からなっている。未風化の本岩には，鏡下に観察しうる程度の規則的な断裂系はみられない。しかし，不規則な割れ目は，わずかにみとめられ，これに方解石脈がはいっていることがある。黒雲母の一部には緑泥石化している部分があり，緑泥石の（001）面が黒雲母のそれと平行な場合が多い。

本岩中にはしばしば直径10～30cmの捕獲岩状包有物がある。これは，母岩よりも有色鉱物（主として，黒雲母，角閃石）が多く，その粒径が小さい。しかし，しばしば，それらがカリ長石の粒子の中にふるい状に包有されている。

3.2 黒雲母花崗岩 これは地域の北西部に分布し，等粒状中粒で，角閃石がなく，上の花崗閃緑岩に比し，黒雲母が少なく（2～4%），斜長石が少なく（23～39%），カリ長石（27～39%）および石英（30～37%）が多い。また本岩中にはアプライト脈の多い特徴がある。

4. 風化帯における鉱物変化

4.1 対象とする鉱物 花崗岩類の風化程度，あるいは風化過程を知る手がかりとして，黒雲母粒子の変化を追跡することは，きわめて有効な手段であって，花崗岩風化の研究にしばしばとりあげられている。（たとえば Walker, 1949; 菅野, 1960; 柏木, 1963; 加藤, 1965）その理由は黒雲母粒子は風化程度のかかなり進んだ段階まで，肉眼的に層状鉱物としての外形を保持し，そのために黒雲母に由来する物質を，他の造岩鉱物からのものとの混入をさけて取出すことが可能であること，および，さらに重要なことは，粘土鉱物学的変化の特徴が著しいことにある。したがって，われわれも，主として黒雲母の粘土鉱物学的変化に注目したのである。

4.2 サンプリングの問題 きわめて平坦な平原的地方における風化断面とは異なって，小さいとはいえ起伏をもち，谷と稜線の入り組んだ，当地域のような場所では，一，二か所の風化断面によって地域全体を代表させることは困難である。したがって，広域の風化帯の調査にもとづいて，そのうちで数か所の断面露頭を選定し，風化程度の低い所から，より一層風化程度の進んだ所への段階的な試料を採集した。この場合各試料の間隔は各採集地点の風化分帯の特徴にもとづいて決定した。

4.3 試料の処理および同定方法 本報でとりあつかった試料は50gを粗砕したのち，傾瀉法で水ひ乾燥し，粗粒部分から紙片に対する粘着性の差によって黒雲母粒子を選別した。これ

ら風化物中の黒雲母粒子は粉碎に対して著しく鋭敏であり、長時間の粉碎によってX線回折線の強度が著しく減少し、回折パターンがよみとれなくなる傾向がある。したがって、試料の粉碎は軽度にとどめておくような注意が必要であった。

粉末はアルミ板サンプルホルダーによって $70^\circ \sim 2^\circ$ (2θ) 測定、および少量を水でねりガラス板に接着して半方位試料とし、 $20^\circ \sim 2^\circ$ ないし $15^\circ \sim 2^\circ$ (2θ) の無処理、エチレングリコール処理、 125°C 5時間処理、 250°C 1.5時間処理、 600°C 1.5時間処理、また必要に応じて $1:10\text{HCl}$ 1時間処理のX線回折をおこなった。

粉末X線回折の使用器種および測定条件を下に示す。理学電機製ガイガーフレックス2030型、対陰極 Cu、管電圧32.5kV、管電流16mA、走査速度 $1^\circ/\text{min}$ 、入射線側スリット0.3mm、時定数4s。

4.4 数カ所の露頭における黒雲母粒子に由来する風化生成鉱物 当地域の風化帯のすべての範囲を一つの露頭で観察し、試料採集をすることはできない。したがって、風化程度のより低い範囲をカバーする露頭から、より高い範囲をカバーする露頭へ順次みていくことにする。

(1) 加茂町岩倉 試料番号 65XII5-7A, B, B', C'

試料採集位置は(図2)赤川右支の一つである猪尾川上流部の岩倉本郷西部の農道切取り斜面である。当地点付近は、花崗閃緑岩から、北西部に帯状に分布する黒雲母花崗岩へ移化する。三浦(1966)の花崗閃緑岩緑辺相に近く、未風化帯において黒雲母、角閃石がやや少ない。地形的には標高約75mで、さきへのべた30~60m面(大八木, 1968)すれすれか、これよりわずかに上に位置している。風化程度の低い場所から高い場所へと側方へ順次採集した。

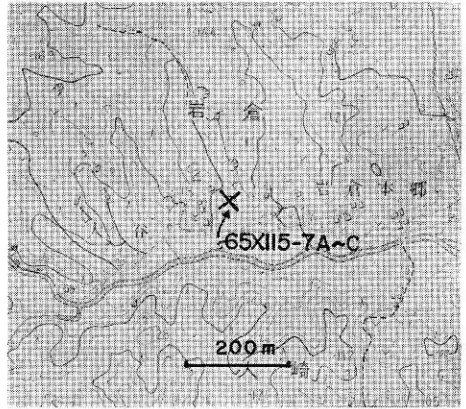


図2 65XII5-7A~C 試料採集地付近の地形図

採集地点における風化帯分帯の肉眼的判定(大八木, 1968)では65XII5-7AはIII a, BはII, B'はII(ややIに近い), CはI(未風化に近い)にそれぞれ相当する。

X線回折(図3, 4)

最も風化程度の低い65XII5-7Cでは 10.03\AA の強いピークのほかに、弱い 14.2\AA , 12.1\AA , 7.08\AA , 5.03\AA , ...などのピークがあらわれている。 10\AA と 5\AA はそれぞれ黒雲母の001, 002反射である。 14.2\AA , 7.08\AA は緑泥石の001, 002反射で、黒雲母粒子中にごく少量の緑泥石が含有されている。

65XII5-7B'においては、同C試料におけるピークに 7.43\AA の弱い幅広いピーク、および 24\AA 付近に幅広くかつきわめて弱い回折像が加わったパターンを示し、 7.47\AA のピークは

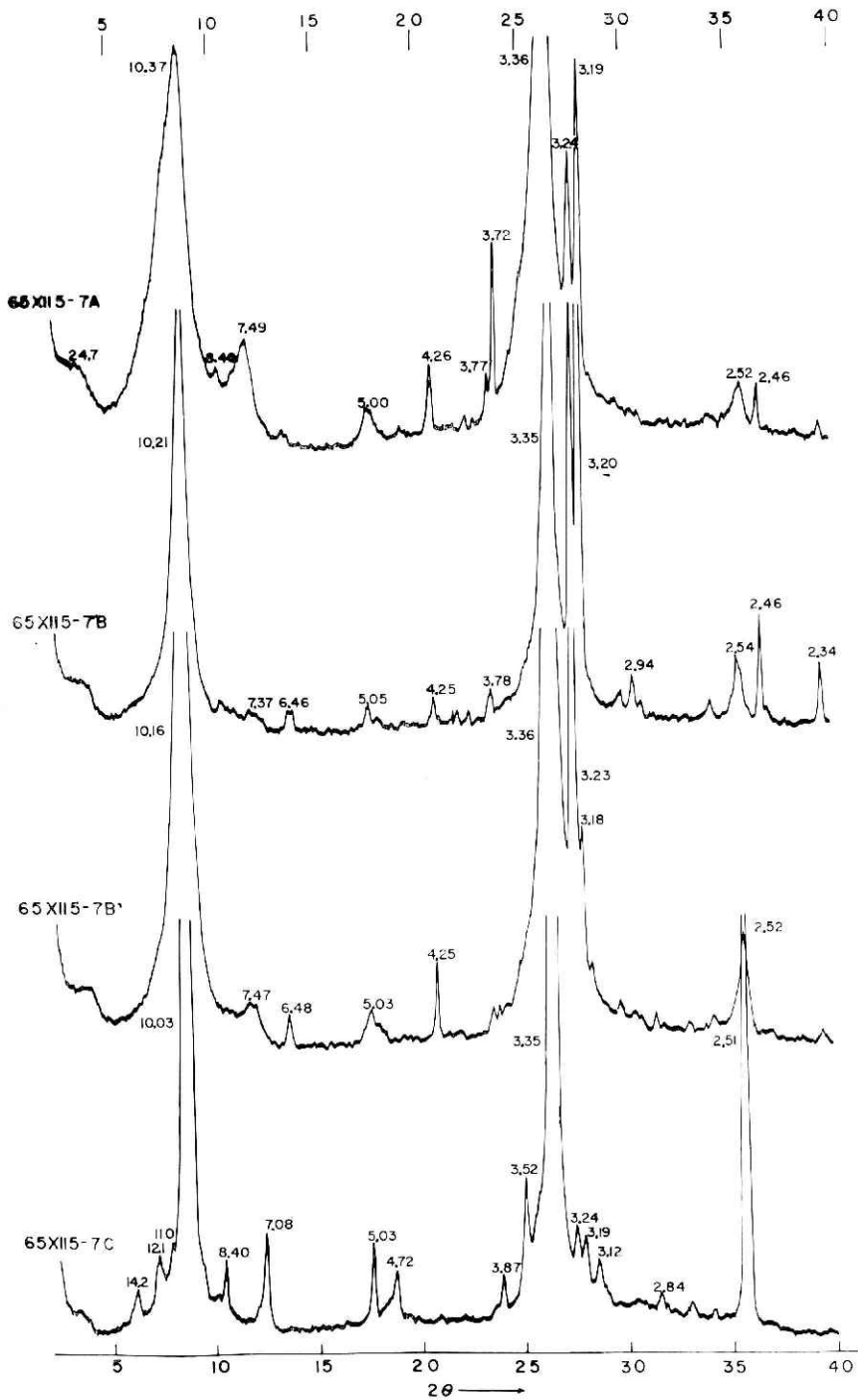


図 3 65XII 5-7A~C X線粉末回折図
回折ピークの数値の単位はÅ

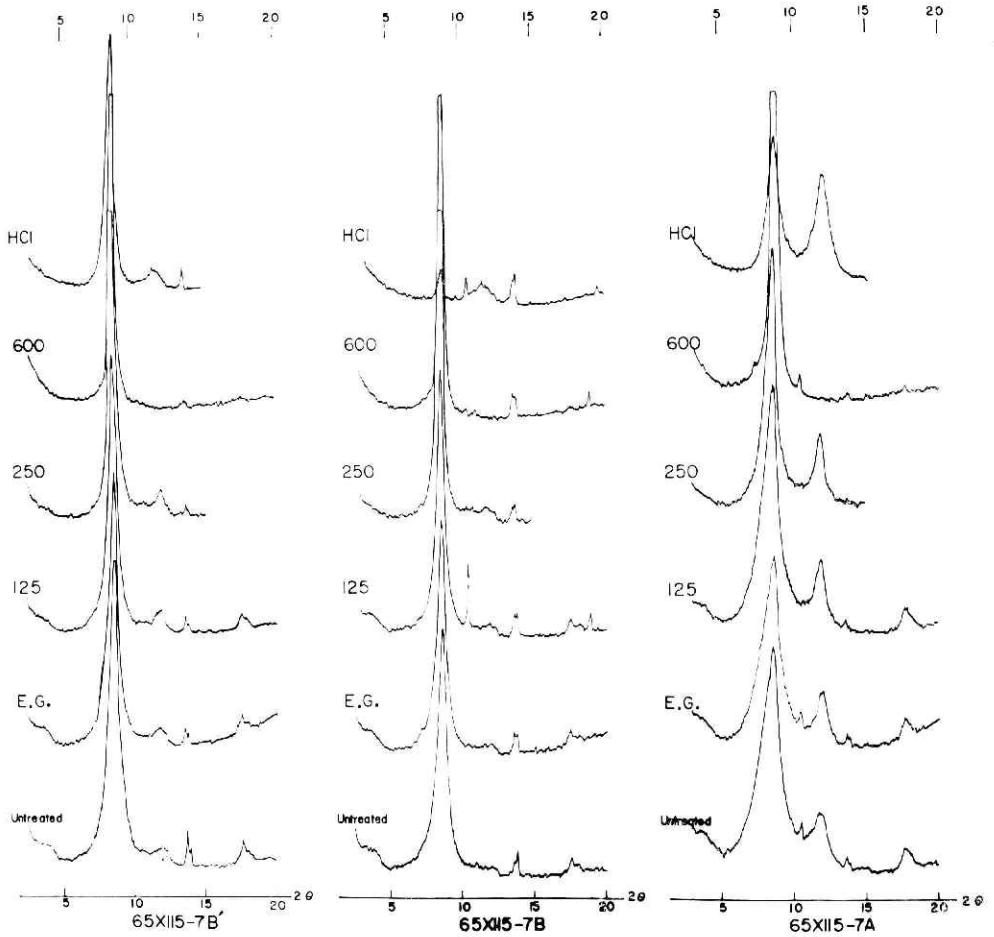


図 4 65XII 5-7 A, B, B' 諸処理後の X 線粉末回折図
 E G : エチレングリコール処理, 125 : 125°C 5 時間
 加熱処理, 250 : 250°C 1.5 時間加熱処理, 600 : 600°C
 1.5 時間加熱処理, HCl : 1 : 10HCl 1.5 時間処理

HCl 1 時間処理, および 600°C 加熱処理の結果からハロイサイトの底面反射である。

65XII5-7B では, 黒雲母の底面反射 (10.2 Å) は B' に比較して, 多少強度が減少しているが, 回折図全体のパターンは変わっていない. 7.37 Å のきわめて弱いブロードピークは 1 時間 HCl 処理, 600°C 加熱処理からハロイサイトの底面反射である。

65XII5-7A では 10 Å のピークは 10.37 Å と面間隔がやや大きくなり, 低角側へ大きくひろがる非対称性散乱をともなっている. また 7.49 Å に弱い幅広いピークがある. 10 Å, および 7 Å ピークは 125°C 加熱処理, および 250°C 加熱処理で順次, 回折線が強くなること, 600°C 加熱処理で 10.02 Å のきわめて強い線がのこり, 7 Å ピークは消滅することから, 7 Å はハロイサイト, 10 Å ピークは一部に加水黒雲母への移行途中の一種の不規則混合層をともなった黒雲母, および少量の加水ハロイサイトの混合した回折線であると判定される。

以上をまとめると、この地点の系列では、黒雲母から始まって、風化が進むにつれ、黒雲母は一部に不規則混合層を形成しはじめたこと、また、黒雲母中に少量のハロイサイトを形成しはじめ、しかも、きわめて少量ではあるが、すでに加水ハロイサイトを形成しはじめている。

(2) 加茂町三代 試料番号65XII3-4, -5, -6

試料採集地は南加茂部落南南西1.2km, 国道54号線から三代へぬける農道の峠における切取

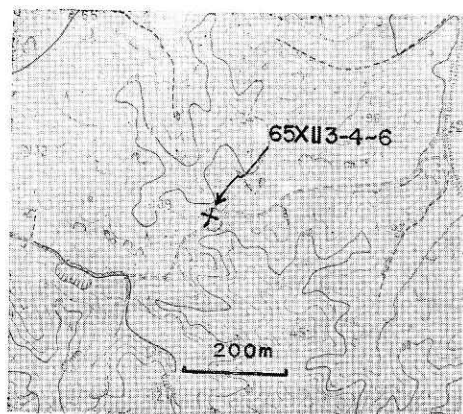


図 5 a

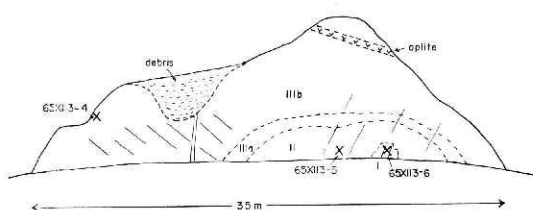


図 5 b

図 5 a 65XII3-4~6 試料採集地付近の地形図
5 b 同上試料採集地点の露頭

面である。(図 5 a, b) 原岩は花崗閃緑岩である。周囲の地帯は風化がかなり進んでおり、谷底部から上の丘陵性山地にⅢ帯が卓越している。露頭は尾根を横断しており、風化帯の横断面構造が直接観察できる。左側に砂、シルト、粘土などの堆積物によって埋積した古い谷地形の痕跡がある。分帯の境界は中央部から右側へかけて水平であり、中央部左側および右端で傾斜している。(図 6 b) 標高は約 80m で 30~60m 面よりは、やや上側に位置する。

風化程度は 65XII3-4 が IIIb, 65XII3-5 が IIIa, 65XII3-6 が I 程度に、それぞれ相当する。

X線回折(図 6, 7)

この露頭でもっとも風化程度の低い 65XII3-6 では 14.3\AA , 10.04\AA , 7.08\AA , 5.02\AA などのピークがある。 14\AA , 7\AA は緑泥石の 001, および 002, 10\AA , 5\AA は黒雲母の 001 および 002 反射である。風化生成鉱物のピークはほとんど検出できない。

やや風化した 65XII3-5 では、強い 10.1\AA のピークのほかに弱い 8.1\AA , 7.4\AA 付近に極大値をもつ連続的な幅広いピークが認められる。 10.1\AA は黒雲母の 001 反射である。 7\AA 付近のものは HCl 処理で残存し 600°C 加熱処理で変化しないことからハロイサイトの底面回折線と判定される。 8\AA 付近のものはハロイサイトと黒雲母の不規則混合層鉱物と考えられる。その理由は、この試料にはあとでのべる 24\AA のピークがなく、したがって、 8\AA はその三次反射とは考えられず、また、 8\AA のピークは、 250°C 加熱処理でわずかに強くなり、 600°C 加熱処理、および HCl 処理で消滅あるいは弱化しているが、 600°C 処理ではハロイサイトの部分が破

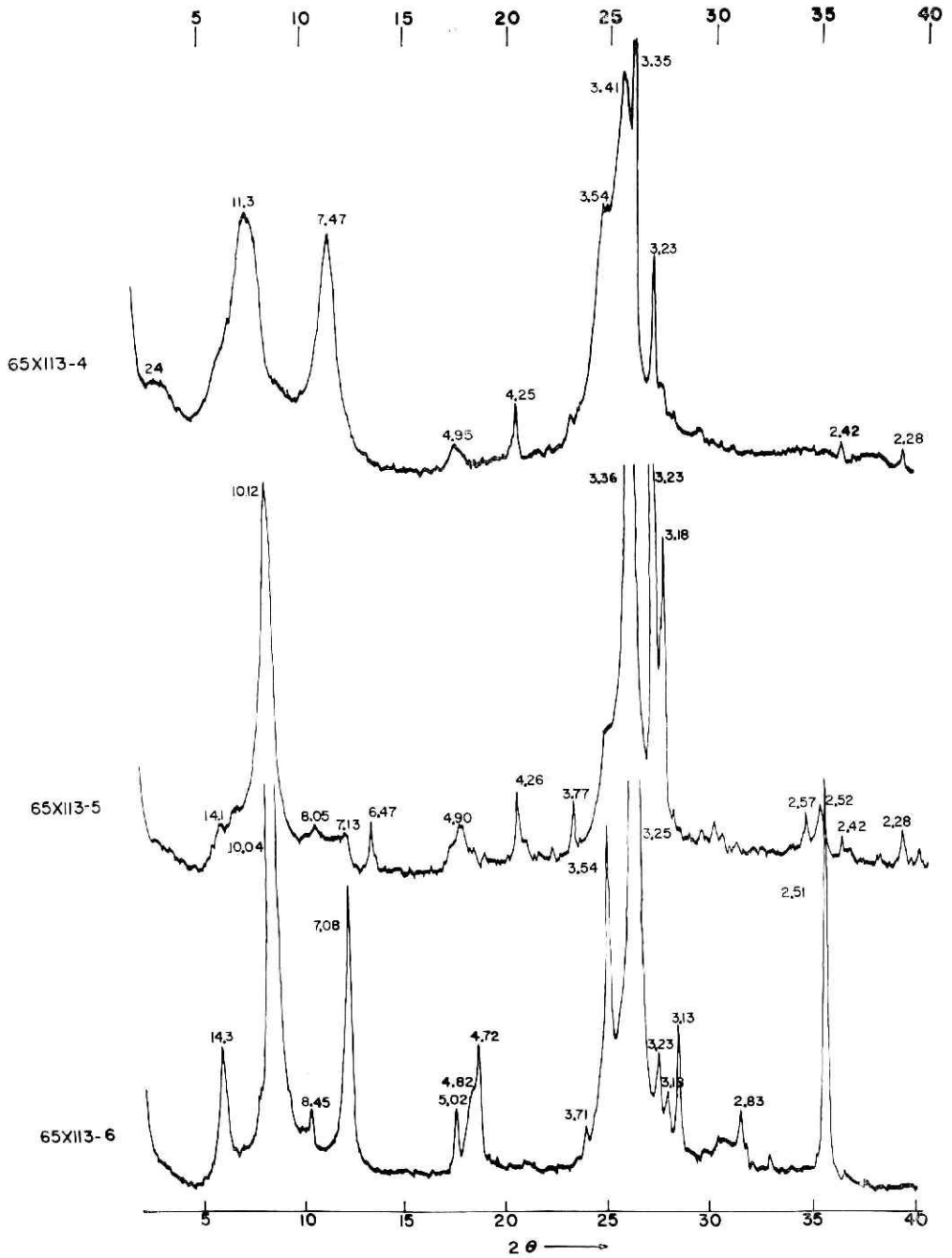


図 6 65X113-4~6 X線粉末回折図

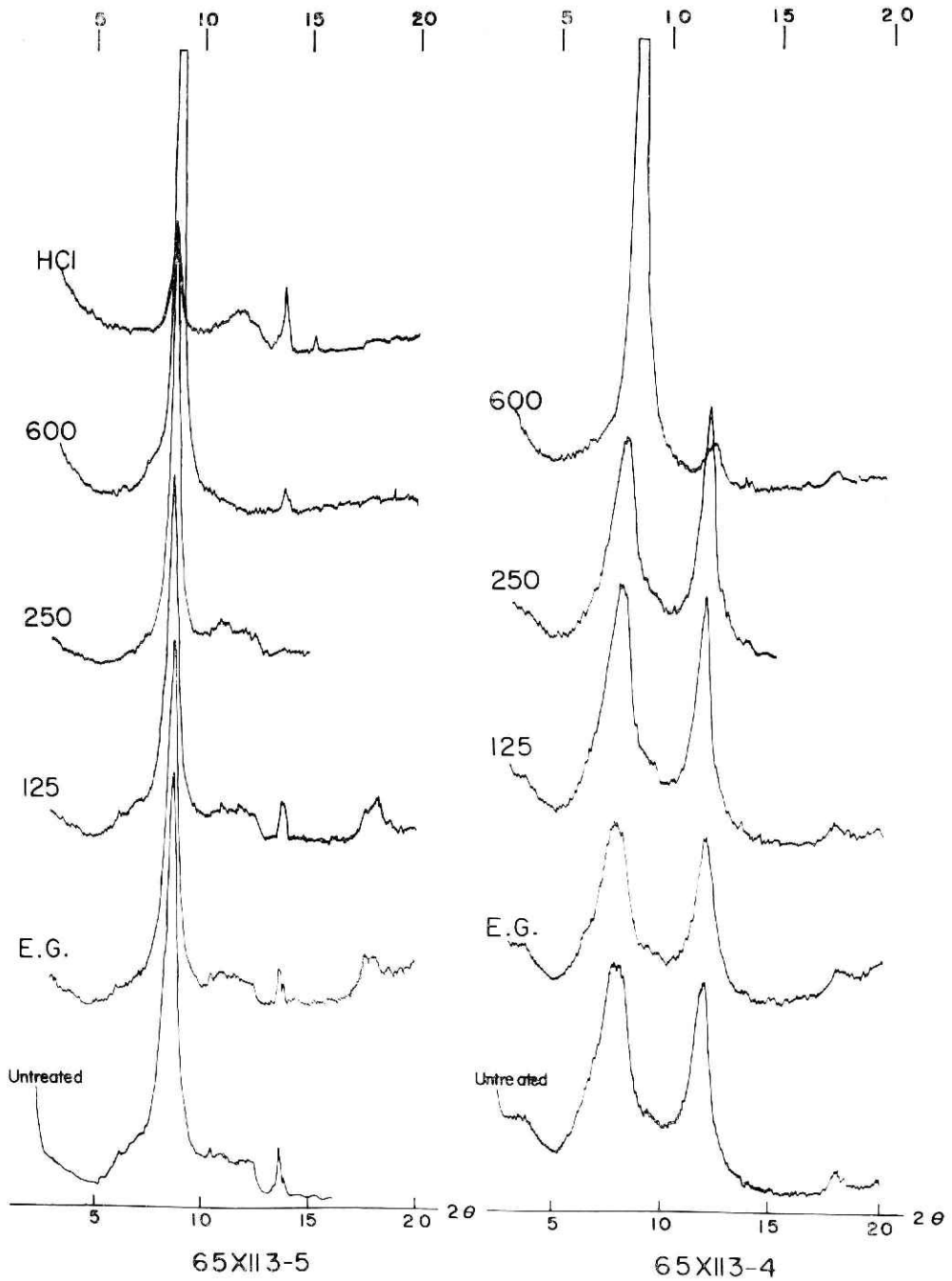


図 7 65XII3-4, 5諸処理後のX線粉末回折図
記号は図4に準ずる.

壊するために消滅し、また HCl 処理では黒雲母の部分が溶脱されるために消滅したと考えられるからである。14Åのピークはきわめて弱く、緑泥石はきわめて少量しか存在していない。

さらに風化した 56XII3-4 ではもはや 10Åのピークはなく、弱く幅広い 24Å, 幅広い 11.3 Å, 7.43 Å, が表われる。7 Åは諸処理からハロイサイトの底面反射である。11Åのピークは脚部が 10Å付近から 14Å付近まで広がっている。7 Åピークが 125°C, および 250°C 加熱処理でしだいに回折強度を増すことから、11Å ピークのうち 10Å付近の部分には加水ハロイサイトの回折線が加わっている。また 250°C 処理で、10.9 Å とわずかに収縮し、600°C 加熱処理で 10.2 Å に収縮することから、11.1 Å ピークは、12 Åにはなっていないが黒雲母から加水黒雲母への変化の途中にある、一種の不規則混合層鉱物と判定される。24 Å 付近のピークについては、さらに明確なピークの表われる他の試料について同定することにして、ここではあえて検討しないでおく。

以上この露頭においては、肉眼的 III a 帯では黒雲母は大部分残存している。しかし、III b 帯に至って黒雲母粒子の多くは加水黒雲母への変化の途上であり一種の不規則混合層鉱物となっている。まはハロイサイト、加水ハロイサイトがかなりの量形成されており、岩倉の例よりもさらに風化の進行した状態がとらえられた。

(3-1) 大東町石井谷 試料番号 65XII20-6A, B, C

試料採集地点は石井谷西方 90m に位置し、幡屋川右支谷上流部農道横の切取り斜面である

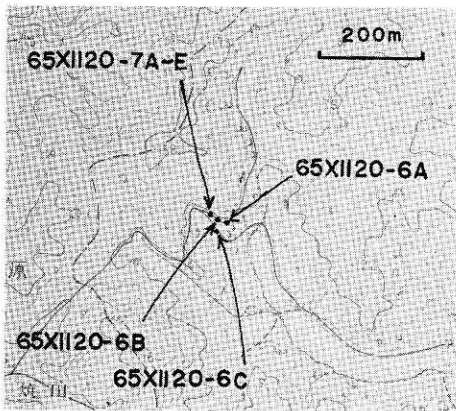


図 8 65XII20-6A~C, 65XII20-7A~E 試料採集地付近の地形図

(図 8). 標高は 65XII20-6A, および B 採集地点が約 100m, C 採集地点は約 90m であって、地形的には 80-120m 面付近に位置する。65XII20-6 C 採集地点は、未風化の露頭ないし、大きな玉石の多いレベルであり、A, B の採集地点のレベルは主として II 帯が卓越し、稜線の尖端付近に III 帯の発達がある。そして谷の最上流部には III 帯の卓越した低起伏地帯がある。

試料の風化程度は 65XII20-6A が III b 程度、B が II 程度に相当し、C は未風化帯である。

X線回折 (図 9, 10)

未風化帯に属する 65XII20-6C では風化生成鉱物はまったくみられない。10.06 Å の黒雲母の 001 反射のほかに 14.2 Å, 7.09 Å などの緑泥石の 001, 002 反射が強くあらわれている。一次、三次の底面反射強度が、二次および四次のそれらより著しく弱いことからこの緑泥石は鉄質緑泥石であろう。

やや風化した 65XII20-6B のパターンは 14 Å のかわりに 12.2 Å の弱いピークの存在をのぞ

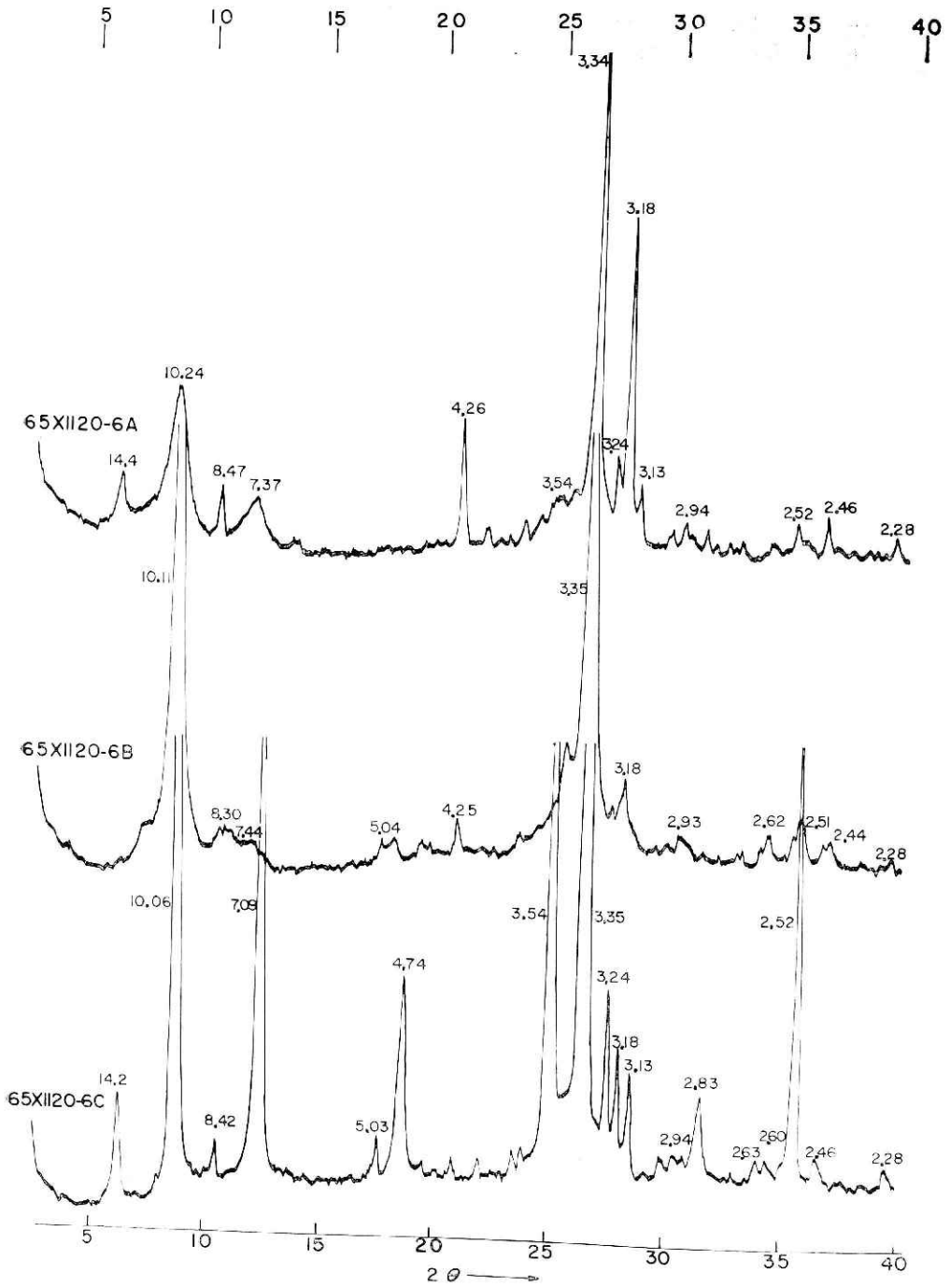


図 9 65XII20-6A~C X線粉末回折図

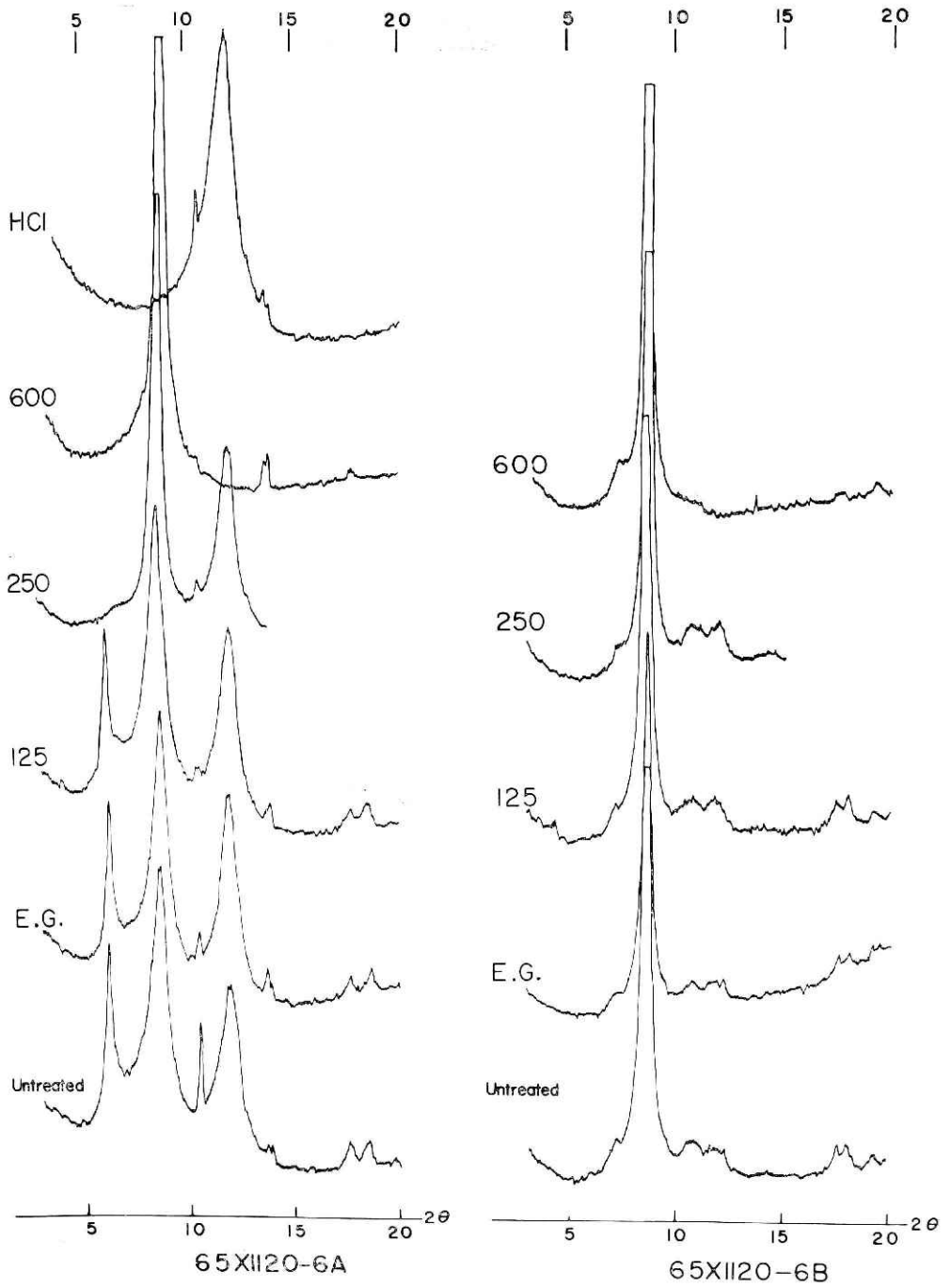


図 10 65XII20-6A, B 諸処理後の X 線粉末回折図
記号は図 4 に準ずる

けば、さきの 65XII3-5 のそれに類似している。最強線の 10.1\AA は黒雲母の 001 反射、きわめて弱い 5.04\AA はその 002 反射である。 7.44\AA はハロイサイト、 8.15\AA の弱いブロードピークは、65XII3-5 の場合と同様にハロイサイトと黒雲母との、不規則混合層鉱物とみなされる。なお、 7\AA のピークが、 125°C 加熱処理ではほとんど変化しないが、 250°C 加熱処理によって強度をわずかに増加することから、加水ハロイサイトが存在する。 12\AA のきわめて弱いピークは 600°C 加熱処理でも、 11.9\AA として残存することから緑泥石と黒雲母との不規則混合層鉱物がわずかに存在すると考えられる。

65XII20-6A では、 10.24\AA のピークが弱まり、かつ、低角度側への散乱がいちじるしくなる。このほか、 14.4\AA の鋭いピーク、 7.37\AA のやや強いピークが加わる。 10\AA のピークは主に黒雲母の 001 反射であるが、 250°C 加熱処理によって 7\AA のピークは強くなり加水ハロイサイトのピークも混合している。ハロイサイト (7\AA) はこの試料ではかなり増加している。 14.4\AA ピークはエチレングリコール処理で変化せず 250°C 加熱処理ですでに大部分 10\AA へ移行し、 600°C 加熱処理では完全に 10\AA へ移行したことから、一応パーミキュライトと考えられる。風化物にあらわれる 14\AA 鉱物には緑泥石様鉱物 (菅野ら, 1960), パーミキュライト (加藤, 1962), 3,8 面体 Al-パーミキュライト (加藤, 1965) などが報告されている。これら 14\AA 鉱物の同定にはさらに種々の実験が必要であり、ここでは断定をさしひかえる。

(3-2) 大東町石井谷 試料番号 65XII20-7A, B, C, D, E

この試料は上の試料採集地点の露頭内 2 m の小範囲で、未風化に近い玉石の部分から III b 程度に風化した部分までの系統的試料である

(図 8, 11)。この露頭では、風化程度の変化は、急傾斜する節理面方向に小さく、節理面に垂直方向に著しい。したがって、局所的には風化分帯は節理方向にのび、分帯の境界は節理面に略一致する。玉石に接する約 10 cm の部分には玉葱状構造がみられる。

肉眼的判定では 65XII20-7A が III b, B が III a, C が II, D が I にそれぞれ相当し、E は未風化帯にやや近い I に相当する。水ひによる粘土分は D で 3.2%, C で 4.7%, B で 10.6%, A で 10.9% である。

X線回折 (図 12, 13)

65XII20-7E では緑泥石は著しく多く、鏡

下では黒雲母とほぼ等量である。回折図では風化生成鉱物のピークは認められない。

玉葱状構造の一部にあたる 65XII20-7D では緑泥石はまだ残存し 001 (14.2\AA) 反射が鮮明

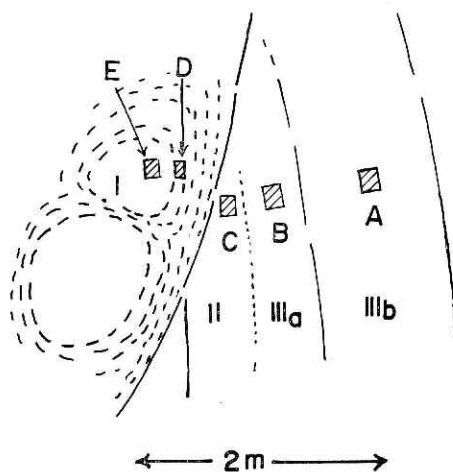


図 11 65XII20-7A~E 試料採集地点の露頭 A, B, ……はそれぞれ試料の採集場所、破線は玉葱状構造を、実線は節理を示す。

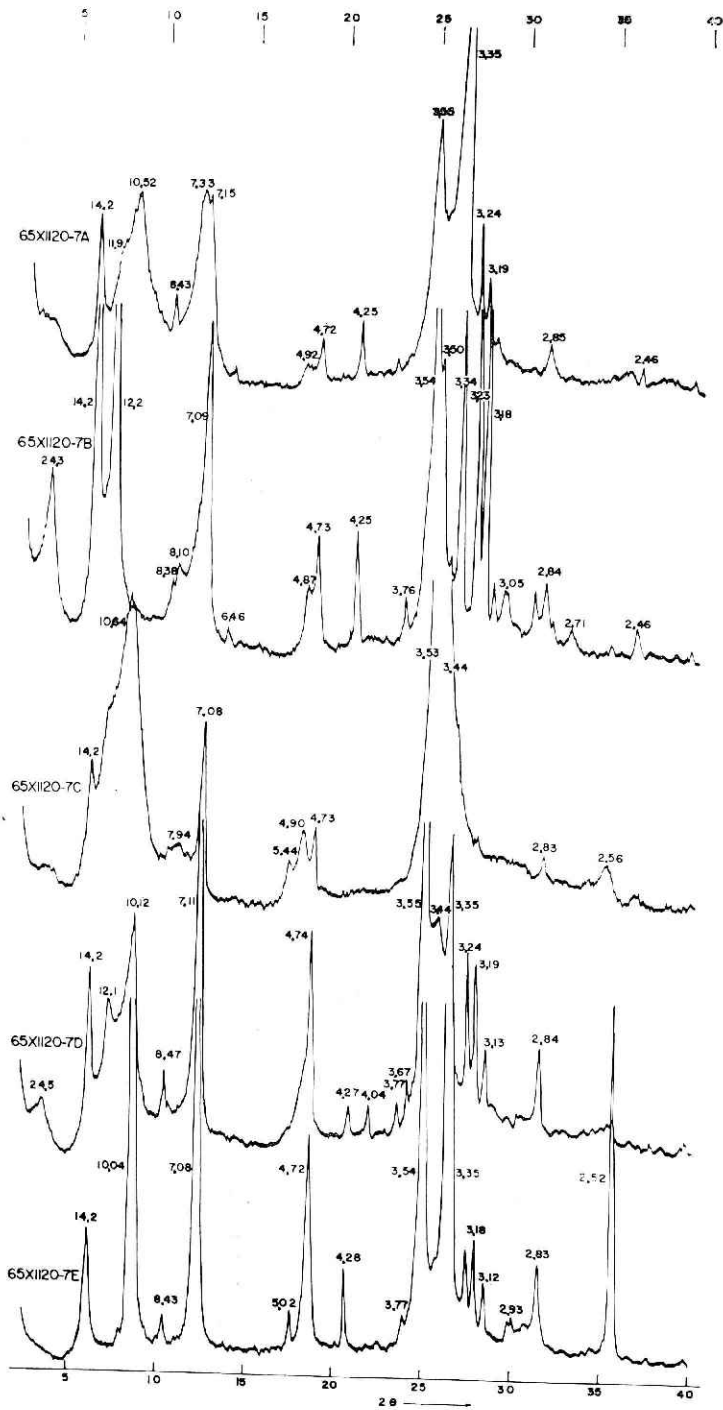


图 12 65XII20-7A~E X線粉末回折図

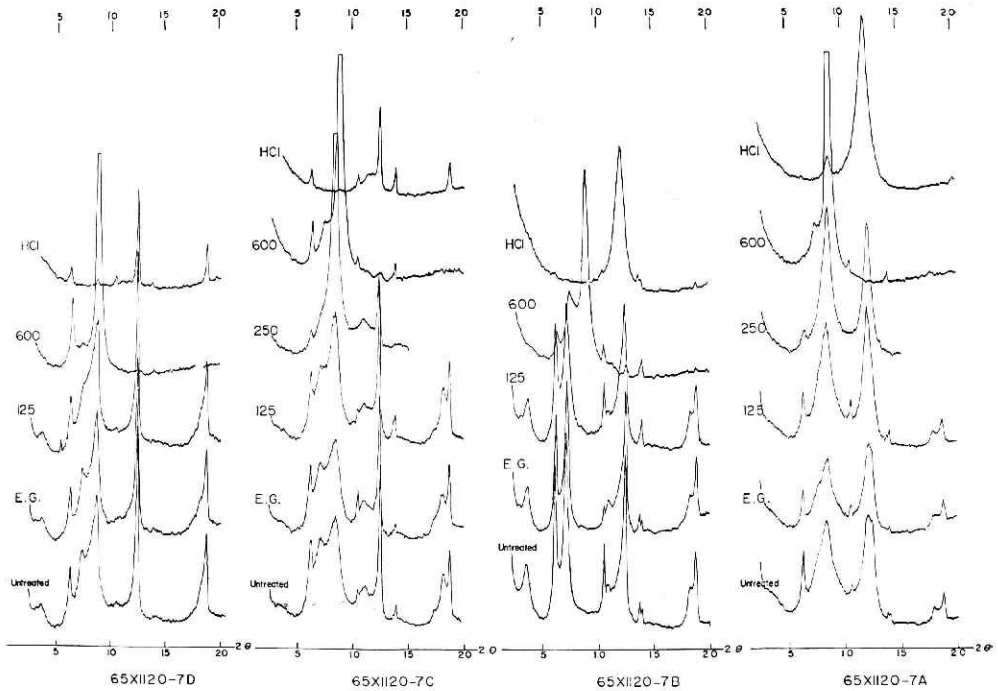


図 13 65XII20—7A～D 諸処理後のX線粉末回折図
記号は図4に準ずる。

である。しかし、この緑泥石は一般のものごととなり 600°C 加熱で 14.2Å から 13.8Å へわずかに収縮し、比較的低い温度で結晶構造に変化の生じていることを示している点において、小林ら (1962) が堆積岩からみだしたものと似た性質をもっている。黒雲母の 001 反射は E に比較して著しく弱化し、低角度側への非対称散乱をともなっている。12.1Å は 125°C 加熱処理で著しく弱化し、しかし、一方 24Å が変化しないことから、24Å の 002 ではなく、かつ、600°C でほとんど 10Å へ移行することから加水黒雲母と判定される。24.5Å の弱いやや幅広いピークは、エチレングリコールで変化せず、600°C 加熱処理で消滅していることからパーミキュライトと黒雲母との規則混合層鉱物と考えられる。なお、この試料では、まだハロイサイトは検出されない。

玉葱状構造の消えた 65XII20—7C では、10Å のピークが低角度側へ移行し 10.64Å となり、さらに幅広くなっている。黒雲母粒子のなかにブロック状の未変化部分がなくなったことを示している。12.4Å のピークは上の試料と同様に加水黒雲母と判定される。緑泥石はまだ残存し D におけるものと同様な性格をもっている。24Å の極めて弱い幅広いピークは 600°C 加熱処理で消滅することから、この試料でもパーミキュライトと黒雲母との規則混合層鉱物とみなされる。7.94Å は 250°C 加熱処理によって 24Å ピークは弱くなるのに対し、むしろやや鮮明になることからハロイサイトと黒雲母との不規則混合層と考えられる。4.90Å のやや幅広いピーク

は規則混合層鉱物の005であろう。HCl 処理によって、 7.6\AA 付近に弱い幅広いピークが検出され、ハロイサイトの少量の存在が認められる。

65XII20—7B は今までの試料と著しくことなり、 10\AA がなく、 24.3\AA 、 14.2\AA 、 12.2\AA 、 7.09\AA 、 4.73\AA の鋭く強いピークの他に、 8.10\AA 、 4.87\AA の弱いピークがあらわれている。 14\AA は 600°C 加熱処理でわずかに残存する（しかし 13.7\AA にやや収縮する）ので一部は緑泥石の001反射である、しかし大部分はパーミキュライトの底面反射である。 7\AA は緑泥石の002回折線であるが、低角度側の非対称散乱はHCl 処理から明らかにハロイサイトの底面反射によるものである。 24\AA のピークは当地域の試料のなかではもっとも明瞭にあらわれている。エチレングリコール処理で変化せず、 600°C 加熱処理でほとんど消滅するところから、当試料のものもパーミキュライトと黒雲母との規則混合層鉱物の001反射と考えられる。しかしHCl 処理でこのピークはほとんど消滅するところから、パーミキュライト成分は当試料の 14\AA のものとも共通の性質をもったものであろう。 12.2\AA は、他の試料にみられない鋭いピークであることから、加水黒雲母ではなく、むしろ規則混合層鉱物の002、また 8\AA および 4.87\AA はそれぞれ003、005回折線である。なお、 600°C 加熱処理でやや幅広い 11.7\AA があらわれる。これはパーミキュライトと緑泥石の不規則混合層と考えられる。

65XII20—7A では上の規則混合層鉱物はほとんどみられない。 14.2\AA のピークはパーミキュライト、非対称的で幅広い 10.52\AA のピークは加水黒雲母へ移行途中の黒雲母、 7.33\AA はハロイサイトのそれぞれ底面反射である。なお、少量の加水ハロイサイトが存在する。

以上、この地点の二つの系統的試料では、黒雲母および緑泥石の混合物からはじまり、風化の進むにつれて、パーミキュライトと黒雲母との規則的、および不規則的混合層鉱物が形成され、さらにハロイサイトがしだいに増加する。とくに途中の段階では、ほとんどパーミキュライトと黒雲母の規則混合層のみを形成する場合がある。

(4) 加茂町湯屋谷北 試料番号65XII19—3A, B, C

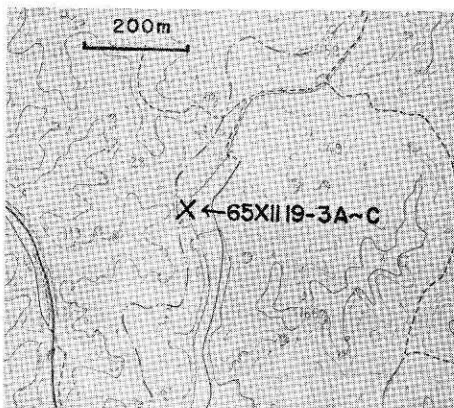


図14 65XII19—3A~C 試料採集地付近の地形図

試料採集地点は湯屋谷北北東900m標高100mの谷底から比高15mほど上の右岸稜線直下の崩壊地である。（図14）この付近の地形は80~120m面の側にあたり、ⅢbないしⅢc帯の風化帯が発達しており、付近一帯に深部型崩壊（大八木、1968）が多く、斜面は崩壊性の浸食によって凹面的、かつ急傾斜し、稜線は平坦な特異な地形となっている。

65XII19—3AはⅢcに相当し地表下0.8m、BはⅢcに近いⅢbに相当し、地表下（稜線下）3m、Cは稜線下7m下方の崩積土の上部でⅢbに相当

する。

X線回折（図 15）

65XII19—3B では 10.5\AA 、 7.36\AA の強いピークで特徴づけられる。 10\AA は加水黒雲母への変

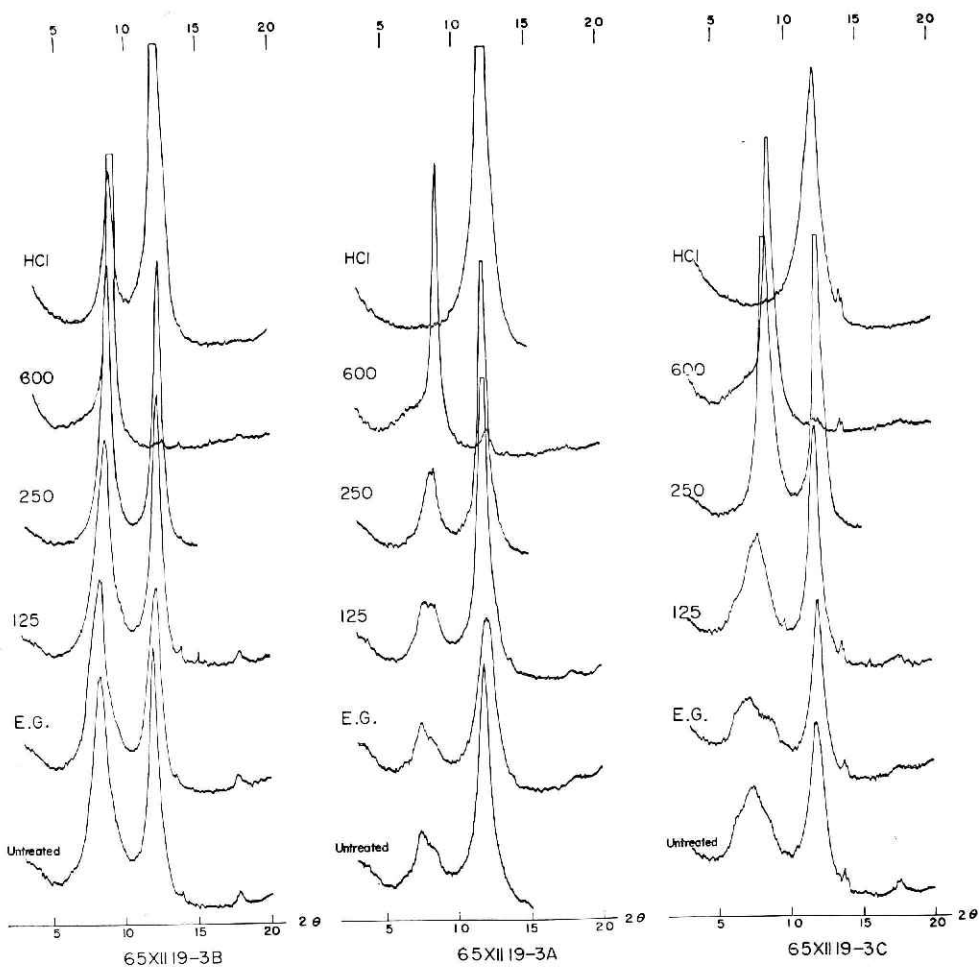


図 15 65XII19—3A～C 諸処理後のX線粉末回折図
記号は図4に準ずる

化途中の不規則混合層を含む黒雲母， 7\AA はハロイサイトである。 250°C 加熱処理で 7\AA が強くなることから，加水ハロイサイトも存在する。

もっとも風化の進んだ 65XII19—3A では加水黒雲母が増加し，ハロイサイトもわずかに増加している。また加水ハロイサイトが存在する。

65XII19—3C の回折パターンはA のそれとほとんど同様である。

以上この3試料にはハロイサイトがこれまでの試料群のものより著しく多いこと，加水ハロイサイトも多いことから，肉眼的のみならず，粘土鉱物的変化の点でも風化の著しく進行した

段階のものともみなすことができる。しかし、パーミキュライトが検出されないことが特徴的である。

(5) 大東町宮内谷 試料番号65XII21—2A, B, C, D

試料採集地点は宮内谷部落北部の標高125m 付近のゆるやかな丘陵性平坦地を横切る農道の

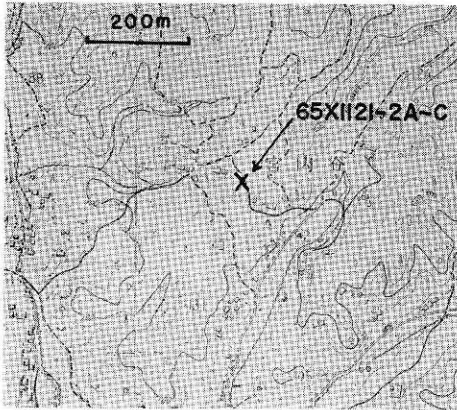


図 16 a

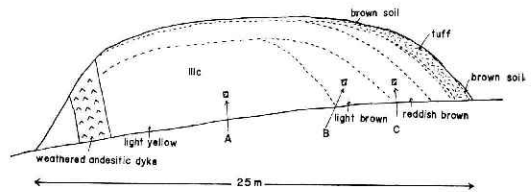


図 16 b

図 16 a 65XII21—2A～C 試料採集地付近の地形図

b 同上試料採集地点の露頭

切取斜面であって、下の谷底とは約30mの比高があり、80～120m地形面の upper side に位置する。(図 16 a) 谷底には、玉石が散在するが、これより5～10mの間はⅡ帯、さらにその上にⅢ帯が分布しており、風化帯構造に関して興味深い地帯である。当地点北東100m付近にはシルト層(おそらく風化帯の上)にのりがあり、かつては小規模な堆積盆が現在の稜線付近にあったことを暗示している。露頭面の風化帯はすべてⅢcに相当し、主に側方へ色調が変化し褐色ないし赤褐色になる。その最上部には、おそらく三瓶火山に由来すると考えられるやや風化した黄褐色火山灰層がのっている。試料は斜面中央部から側方(北)へ採集した。(図 16 b)

X線回折(図 17, 18)

65XII21—2A では 13.8\AA は層間距離がやや小さいが、エチレングリコール処理、 600°C 加熱処理の結果からパーミキュライトと判定される。なお、Walker (1949) も 13.7\AA のパーミキュライトを報告している。 10\AA のピークは HCl 処理でかなり残存するものの、 1.54\AA の弱い 060 反射が認められ、3,8 面体である。しかし、これは底面二次反射が非常に弱く、 3.68\AA のピークがないので菅野ら (1960) が報告した 3,8 面体イライトではなく、むしろ黒雲母と判定される。 7\AA はハロイサイトである。 10\AA には一部加水ハロイサイトが混合する。 4.83\AA はギプサイトの最強回折線である。

65XII21—2B ではハロイサイトの 7\AA ピークが増加し、ギプサイトが現われていない。 13.9\AA はパーミキュライトの底面反射である。

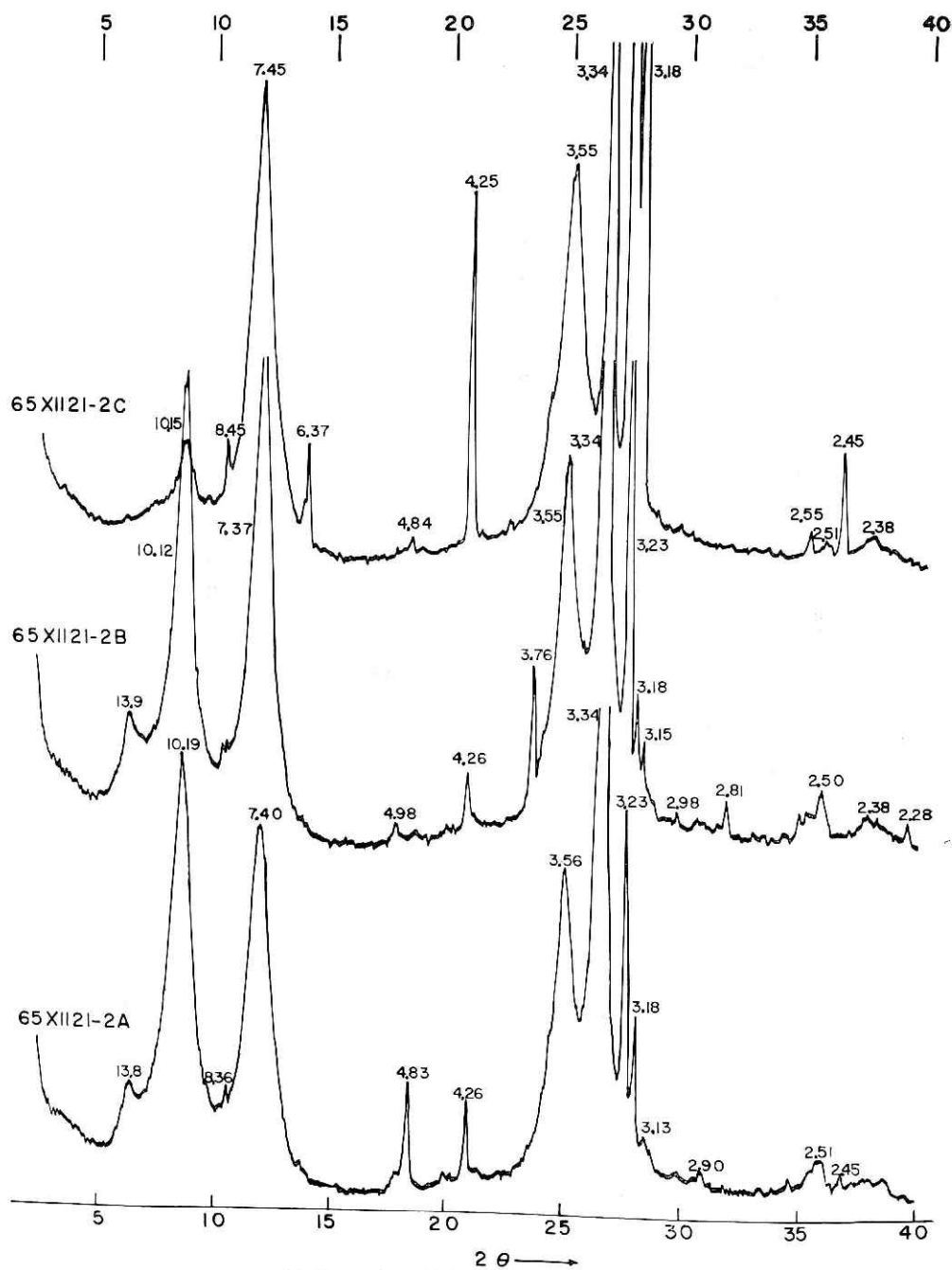


図 17 65XII21-2A~C X線粉末回折図

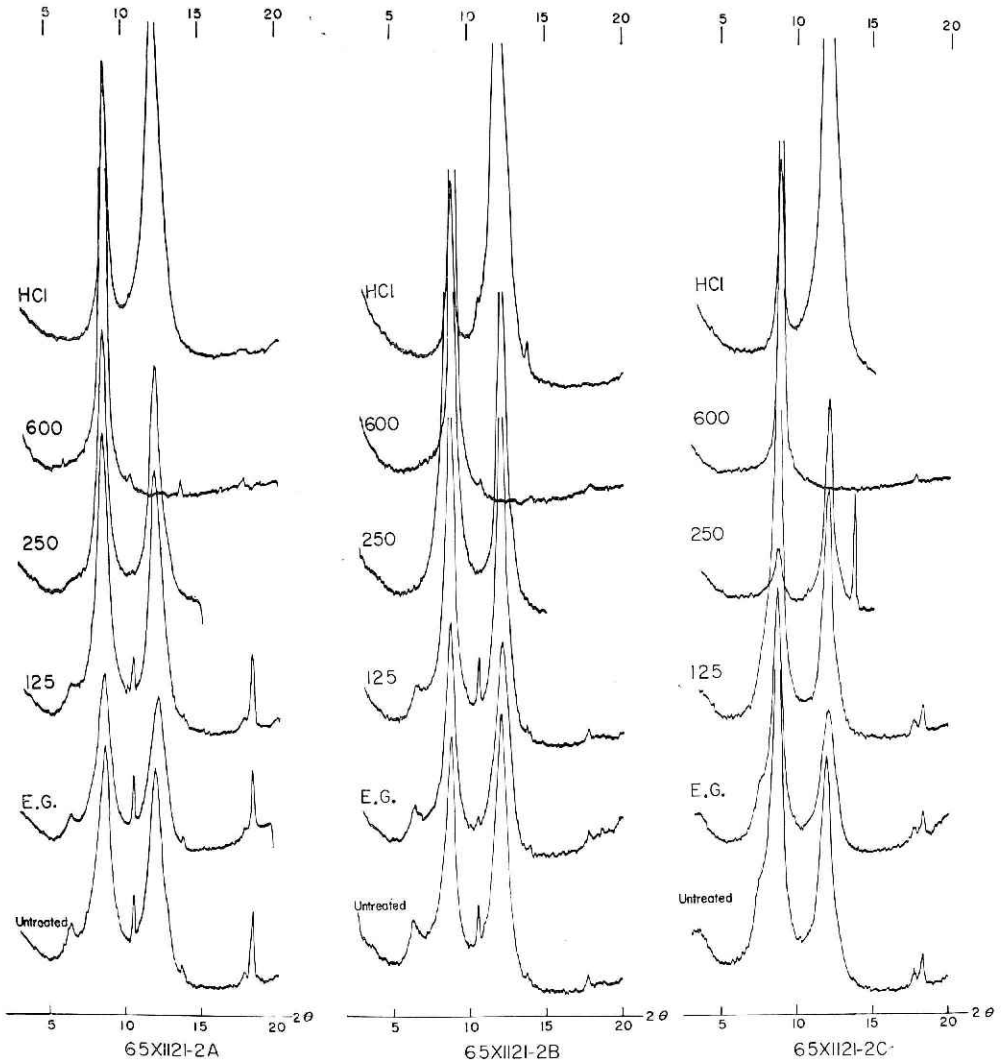


図 18 65XII21-2A~C 諸処理後のX線回折図
記号は図4に準ずる

65XII21-2C の粗粒粒子 (図 18) では 10.15\AA の黒雲母のピークが 7.42\AA のハロイサイトのピークよりはるかに強い。しかし、細粒粒子 (図 17) ではこの逆であるので、黒雲母粒子全体として両者はほぼ等量とみなされる。そのほか、 24\AA の極めて弱く幅広いピーク、および 10\AA ピークの低角度側に 11.9\AA の極めて弱い幅広いピークが重なっている。前者はパーミキュライトと黒雲母の混合層鉱物であろう。後者はその二次反射あるいは加水黒雲母のどちらか明らかでない。このほかギブサイトが存在する。

著しく風化した当地点では風化帯の場所によるみかけ上の差はあっても粘土鉱物上の差はもはや著しくない。これらの試料は一部不規則混合層をまじえた残留黒雲母と、かなり多量のハ

ロイサイト，および加水ハロイサイトからなること，2試料にギブサイトが存在することが特徴的である。

5. 風化生成鉱物の生成系列

以上の結果を総括的に表現するために，二つの図的表現を試みた。一つは，土壌学分野で慣用されてきた風化系列図とでもいうべきものであり，他は変成岩岩石学で使われている鉱物相分帯図である。しかし，これらの図的表現を風化段階，あるいは風化分帯について利用する場合には，それぞれ風化作用の本質に関連する困難な問題がある。

5.1 図 19は，原岩の黒雲母粒子（緑泥石も含め）から風化作用によって生成した鉱物，あるいは，残留している鉱物のX線回折強度と，肉眼的風化帯分帯との関係を示している。この図の線の種類はかならずしも鉱物の存在量を表わしていない。しかし，それらはおおよその存在量の目安とみなしてよい。

この図は変成帯の鉱物相分帯と似ている。しかし，図の意味は非帯にことなっている。変成帯の鉱物相で

は各相，あるいは各分帯は，それぞれ平衡に達していることを条件としている。しかし，風化帯における各分帯は一般に平衡条件に達した鉱物相を表わしていない。たとえば，花崗岩形成時の鉱物相から，現在の地表条件において不安定となった原岩の構成鉱物が，地表条件で安定な一種の“鉱物相”へ変化する途中の諸段階を区分したものである。続成作用について水谷（1967）が指摘したように，風化作用においても，我々が観察する風化物はいまだに平衡に達していない場合が多いと考えられる。均質的な岩体のある小領域における地下水の流速，成分，pH，Eh，温度などの風化作用に関係する諸条件が一定だと仮定すれば，未風化帯からⅢc帯へいたる各分帯は，風化作用のよりいっそう進んだ部分ほど，風化作用がよりいっそう長時間働いたことを示し，したがって，上の仮定のもとでは，各分帯相互の関係は，ある一つの小領域において風化作用の働いた時間関係をあらわしている。つぎに同一領域内で風化作用に関係する条件が途中で変化しても，それらの条件が風化作用と逆方向の作用をもたらす条件ではないかぎり，各分帯相互の関係は相対的時間関係をあらわすことになる。上の諸条件の異なる別の小領域で行なわれた分帯は絶対時間の異なったものであり，各小領域間の対比には諸条件についての吟味が必要になる。

Minerals	0	I	II	IIa	IIIb	IIIc
Biotite 10 Å	—	—	—	—	—	—
Biotite 10.5-11 Å	—	—	—	—	—	—
Hydrobiotite	—	—	—	—	—	—
Chlorite	—	—	—	—	—	—
Vermiculite	—	—	—	—	—	—
Reg. Mix. (V-Bi)	—	—	—	—	—	—
Halloysite	—	—	—	—	—	—
hydrated Halloysite	—	—	—	—	—	—
Gibbsite	—	—	—	—	—	—

図 19 風化帯分帯と黒雲母粒子に由来する粘土鉱物組成との関係

線の種類は各鉱物の底面反射強度をあらわす。点線は最も弱い反射，最太実線は最も強い反射。0は未風化帯，I～Ⅲcは風化帯。Reg. Mix. (V-Bi)はパーミキュライトと黒雲母の規則混合層鉱物

しかし、実際の野外の諸条件はそれぞれ連続的でありどこまでを同一条件の地域として領域をひろげることができるかを厳密に決定するのは困難である。したがって、ここでは一応対象地域を一つの領域として総合してみることにする。

この図から地域の全体的傾向は下のように要約できる。

- 1) 母結晶としての黒雲母、および緑泥石は風化程度の進行とともにしだいに減少している。
- 2) 黒雲母はⅠ帯—Ⅲc帯において 10.5\AA — 11\AA の幅広い底面反射を示す部分があられる。
- 3) 加水黒雲母はⅠ帯からあられⅢb帯でもっとも多くさらに風化程度が進んだⅢc帯では減少している。
- 4) パーミキュライトはⅡ帯から確認されⅢa、Ⅲb帯でもっとも多くⅢc帯では減少する。
- 5) 緑泥石はまず 600°C 程度で層間距離のやや収縮するものとなり、Ⅲb帯ではほとんど消滅する。
- 6) パーミキュライトと黒雲母との規則混合層鉱物は風化初期の段階から形成され、とくにⅢa帯に明瞭なものがあられることがある。(65XII20—7B)
- 7) 風化段階の初期(Ⅰ帯)から、すでにハロイサイト、および加水ハロイサイトが出現している。これらは、ともに肉眼的判定にもとづく分帯の高次のものほど回折強度が増加している。
- 8) 当地域としては最も風化の進んだ段階であるⅢc帯ではしばしばギブサイトが検出されている。

5.2 全体的傾向は以上のようなものである。しかしこの図において、一つの問題は種々の風化生成鉱物が、風化の初期段階たとえばⅠあるいはⅡ帯において、きわめて少量であってもすでに出そろっていることである。この点は柏木(1963)の報じたかなり風化が進み黒雲母の回折線があられなくなった段階ではじめて 14\AA 鉱物があられるという例とは異なる。当地域の場合には、任意の一つの黒雲母粒子が風化のある段階においてすべて完全に加水黒雲母となり、そこからさらに次の段階において完全にパーミキュライトに変化し、そして、それからすべてハロイサイトが形成されるという意味の非連続的変化が行なわれているとは考えられない。試料程度の小領域では黒雲母粒子相互の間で風化特性、風化過程に大きな相異がないとすれば、上の風化生成鉱物の平行的形成に関してつぎの二つの風化過程が考えられる。

- 1) 黒雲母粒子から同時に種々の風化生成鉱物が形成される。
- 2) 黒雲母粒子のなかのある微小領域(単位胞程度)では系統的变化がおこなわれる。しかし、粒子全体が同時的に均質な変化はしていない。一般に粒子の表層部ではより一層風化が進み、深部ではほとんど進まない部分が残る。

図19においてパーミキュライトはⅡ帯から出現しはじめⅢa、Ⅲb帯において最も多く、Ⅲc帯では減少している。例えば65XII20—7の系統ではⅢa帯においてパーミキュライトは極大でありⅢb帯でかなり減少している。これに対し、ハロイサイト、加水ハロイサイトはⅢb

帯で急速に増加している。このような例から考えると 2) の風化過程がより一層近似的であると考えられる。しかし、地域全体において、任意の黒雲母（緑泥石も含め）粒子のなかの一微小領域がかならず一定の系統的变化を通して風化したとは断定しがたい。我々の、わずか 6 例の系統試料においても、ことなつた、風化系列が含まれている。

まず、65XII20—6A~C（図 9, 10）、65XII20—7A~E（図 12, 13）および 65XII21—2A~D（図 17, 18）の系統試料では風化段階の途上にパーミキュライトのピークが明瞭に表われているのに対し、65XII19—3A~C（図 15）の系統試料ではパーミキュライトのピークはまったくみられず、また、65XII3—4~6（図 6, 7）および 65XII5—7A~C（図 3, 4）の系統試料ではきわめて弱く幅広い規則型混合層鉱物のピークは認められるもののパーミキュライトのピークは認められない。前者のグループでは、黒雲母粒子の一微小領域はおそらく、加水黒雲母からパーミキュライトへ変化し、さらにハロイサイトへ変化すると考えられる。しかし、後者のグループでは黒雲母粒子の一微小領域はパーミキュライトを経ずに、あるいは、たとえばパーミキュライトとなつても急速に変化して、ハロイサイトに変化したとみなされるべきである。65XII3—5 にはハロイサイトと黒雲母の不規則混合層と判定される部分があり、風化のかなり初期の段階で黒雲母から直接ハロイサイトの形成される場合が十分考えられる。また、前者のグループにも、65XII20—6B におけるように、黒雲母とハロイサイトの不規則混合層があらわれており、この場合にも黒雲母から直接ハロイサイトが形成されたと考えられる。以上の考察から当地域における、黒雲母粒子の任意の一微小領域における風化系列は 図 20 のようにならわされる。

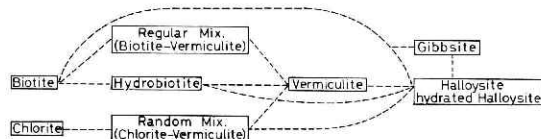


図 20 黒雲母粒子における粘土鉱物の風化系列

謝辞：おわりにあたり、我々の研究に対し日々暖い激励をたまわっている当所丸山文行第 2 研究部長、大石道夫室長、また、粘土鉱物学的面で、ご指導いただいた地質調査所藤井紀之氏に感謝の意を表したい。島根県河川土木部砂防課の方々には、現地調査の際種々のご便宜をたまわつた。これらの方々に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 小林和夫・生沼 郁（1962）：地層の問題に関連する粘土鉱物の研究（第 4 報）—北海道芦別地方の第三紀層中の粘土鉱物について—。粘土科学の進歩, 4, 115—125。
 菅野一郎・本荘吉男・有村玄洋（1960）：花コウ岩に由来する赤黄色土中の黒雲母の風化。粘土科学の進歩, 2, 217—228。
 柏木日出治（1963）：花崗岩風化の研究（予報）。広島大学地学研究報告, 12, 319—342。

- 加藤芳朗 (1962) : 静岡県磐田原「黒ボク」土壌の粘土鉱物. 粘土科学の進歩, 4, 311—325.
 × (1965) : 花こう岩の風化 (特に一次鉱物の風化過程). 粘土科学の進歩, 5, 125—136.
- 三浦 清 (1966, 1967) : 島根県加茂町付近の花崗岩類とその崩壊について (I), (II). 岩鉱, 56, 256—283; 57, 11—24.
- 水谷伸治郎 (1967) : 地表条件下における岩石の変質. 堆積学に関する諸問題討論会資料, 236—237.
- 大八木規夫 (1968) : 島根県加茂・大東花崗岩類地帯における風化帯の構造と崩壊. 防災科学技術総合研究報告, 14, 113—127.
- Walker, G. F. (1949) : Decomposition of biotite in the soil. *Min. Mag.*, 28, 693—703.

(1968年10月7日原稿受理)