

山陰地方の二、三のボーリングコアに見る深成岩類の風化

三 浦 清*

Kiyoshi MIURA

Weathering of the plutonic rocks as seen from some boring core samples
in San-in district

Abstract: Atmospheric agent (weathering) may transform "plutonic coarse crystalline rocks" into a poorly coherent mass, selective weathering may alter its constituent plagioclase and biotite crystal into clay minerals.

In order to clarify the weathering processes, some studies was carried on boring core samples of three kind of plutonic rocks, quartz diorite, granodiorite and granite from San-in district.

All boring core samples were investigated by means of standard penetration test, measuring of abrasion pH and bulk density, chemical analysis and X-ray powder method.

The present paper describes the results of detailed studies on these weathered boring core samples, especially the mutual relation between relative amount of clay minerals, variation of chemical composition of biotite with weathering processes, alteration of plagioclase, abrasion pH and N-value from standard penetration test.

1. ま え が き

筆者はこれまで主として深成岩類の風化について研究を進めて来た。その研究成果は既に三浦 (1973), 三浦・樋口 (1974), 三浦 (1975), 三浦 (1976), 三浦 (1980) などによって報告されている。

風化作用は本邦においては特に新第三紀末期に激しく進行し、それによって厚い風化帯が形成された。その後その風化帯は侵食剝削を受ける一方で第四紀以降の風化作用も受け、現実に見る露頭の多くはこれらの事象の重復した結果を観察している事が多い筈である。

風化研究はこのような過程における地表附近の岩石の変質研究に矮小化されるべきものでなく、それをとおして深成岩マグマの固結の過程における岩石学的問題の解明はもとより、他方においては土木地質、土壌学的分野の

研究まで深いかかわりをもっている。そのような意味では地学分野においても第一級の研究領域に違いない。

近年、山陰地方のボーリングコアが入手出来、それについて研究する中でこれまでの研究をさらに深めることが出来た。そのような研究の資料を含めてここに風化の問題について考察したい。

2. ボーリング試料の採取地点とその岩石

研究試料を採取したボーリング地点は図-1に示すとおりである。

三隅のボーリング試料は細粒の石英閃緑岩で岩株状の規模で三郡変成岩類に貫入する。石英、斜長石、黒雲母、角閃石を主成分鉱物とするものであるが黒雲母は強く緑泥石化を受けていることもある。また、緑泥石化がセリサイト化を伴っている部分もあり、そのような場合には斜長石のセリサイト化が著しい。全般に黄鉄鉱が鉱染状

* 島根大学教育学部地学研究室

に散点する傾向がある。

ボーリング地点一帯の石英閃緑岩は周辺の三郡変成岩類地帯の地形面に対してモナドノック状に突出する。三郡変成岩類には、この地帯では極めて平坦な地形が形成され一応これは都野面として識別される。このような地形の差はいわゆる選択侵食の差として解釈される。

この突出した石英閃緑岩には厚い風化帯が形成され、

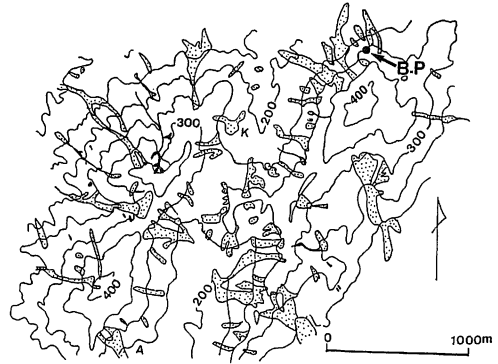


図-2 三隅ボーリング地点周辺の地形と昭和58年石見豪雨によって発生した崩壊と土石流の分布
K：鞍掛，A：芦谷

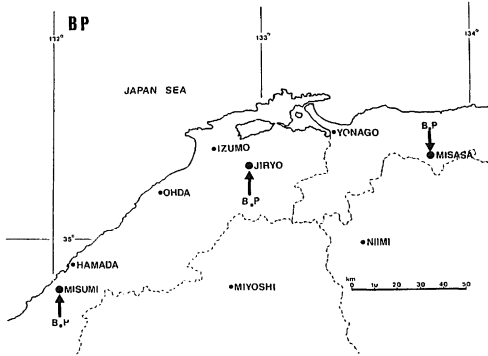


図-1 研究試料採取地点の位置 (矢印)
MISUMI：三隅，JIRYO：寺領
MISASA：三朝

周辺の三郡変成岩類とこの点においても異状な差を見ている。この事は石英閃緑岩の風化帯の形成が古い時代に行われたことを意味し、筆者は他地域、例えば三浦(1973)において述べたように新第三紀末頃にすでに激しい風化作用を受けていたものと考えている。したがって現在ここに見る風化帯は前述したとおり、当時の風化帯が侵食されて削剥される一方で第四紀以降の風化作用も受けながら、これらの重複した風化残留物であることは事実であろう。ただ、第四紀以降の風化作用は第三紀のものに比して弱く、この風化帯は現実には第三紀時代に形成された部分が強く残っているものとみられる。

なお、三隅におけるボーリング地点は島根県那賀郡三隅町鞍掛地内にあるが、昭和47年7月の豪雨時においても昭和58年7月豪雨時においても附近一帯の斜面において大崩壊を多発した。これについては三浦(1986)の報告がある。47年7月の豪雨災害を機会に、この鞍掛の集落の一部は移転し、58年7月の難をまぬがれた結果ともなった地域である。

寺領のボーリング地点は島根県大原郡木次町寺領小学校裏山で実施された。標高約90メートルの高位段丘面上に相当する。地表部は三瓶木次火山灰、大山松江火山灰がおおっており、その下位から赤色化した風化花崗閃緑岩となる。本ボーリング試料は花崗閃緑岩の風化について

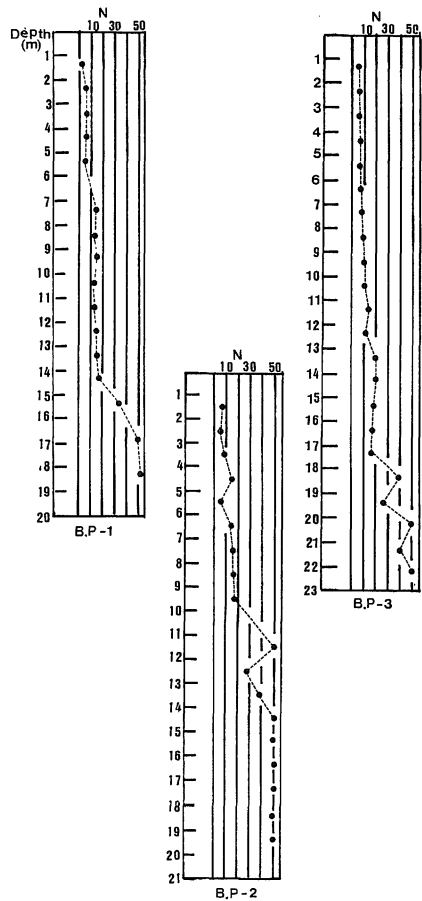
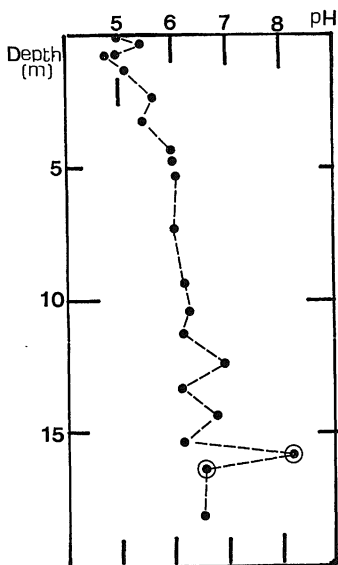
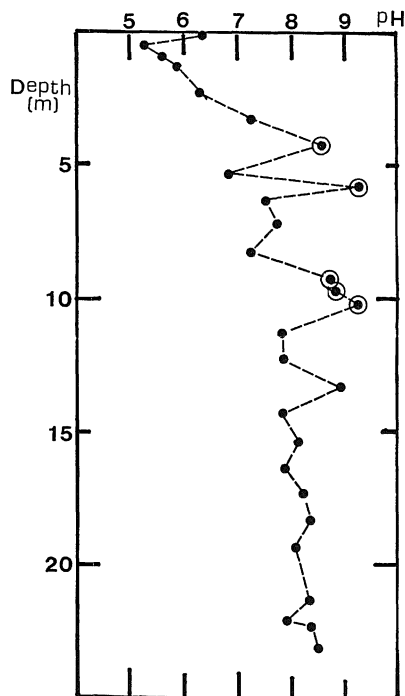


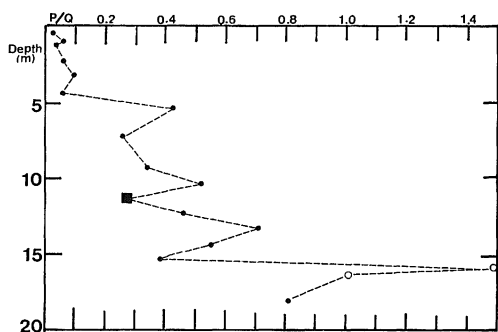
図-3 三隅ボーリング地点における標準貫入試験値 (上下の差はほぼ標高の差を示す)



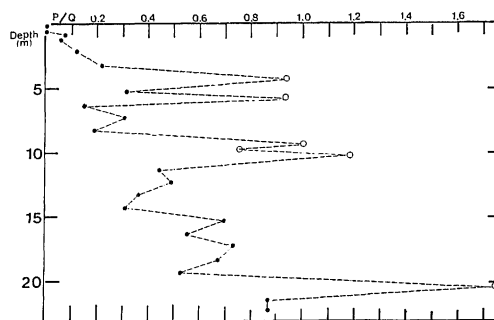
図一四 三隅 B.P-1 の Abrasion pH と深さの関係 (二重丸は核岩)



図一六 三隅 B.P-2 の Abrasion pH と深さの関係 (二重丸は核岩)



図一五 三隅 B.P-1 粉沫 X 線回折図における石英 (Q) と斜長石 (P) の最強線の比 (P/Q) (白丸は核岩, 黒四角印はセリサイト化を受けている試料)



図一七 三隅 B.P-2 の粉沫 X 線回折図における石英 (Q) と斜長石 (P) の最強線の比 (P/Q) (白丸は核岩)

ての研究試料を得るためになされたものである。そもそも、この花崗閃緑岩は大東花崗閃緑岩と呼ばれ、北限は鳥根県八東郡玉造温泉附近で新第三系におおわれて地下に没し、加茂、大東から木次・三刀屋を経て飯石郡掛合町方面まで広く露出する岩体である。見掛け上、いわゆるマサ状になりやすく、周辺の黒雲母花崗岩地帯の地形に対して、より低平化されている。斐伊川とその支流の赤川、三刀屋川に沿う花崗閃緑岩の地形は都野津面に対応する新しい平坦面の開析されたものであろうと思われる。

大東花崗閃緑岩はマサ化が進行しやすい一方で、よく

節理が発達し、後述するような沸石脈などがこれに充填され、節理に沿う崩壊(筆者は節理型崩壊と呼ぶ)やマサ状となった表層の崩壊(表層滑落型崩壊)が多発する岩体である。前述のように、地形的にはなだらかであるために集落も発達し、そのような崩壊は人命にもかかわる災害にもしばしば発展して来た。昭和39年7月豪雨時の崩壊問題については三浦(1966 a, b), 三浦(1967)などの報告がある。

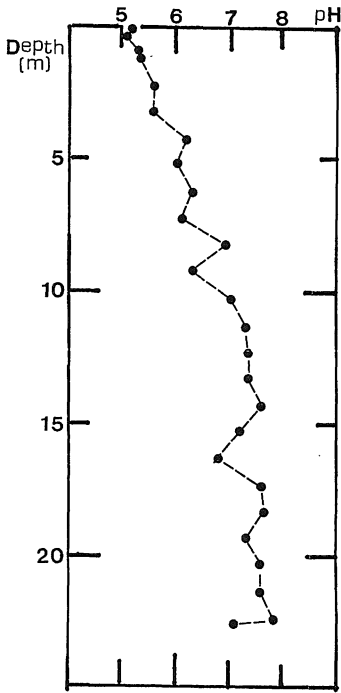


図-8 三隅 B.P-3 の Abrasion pH と深さの関係

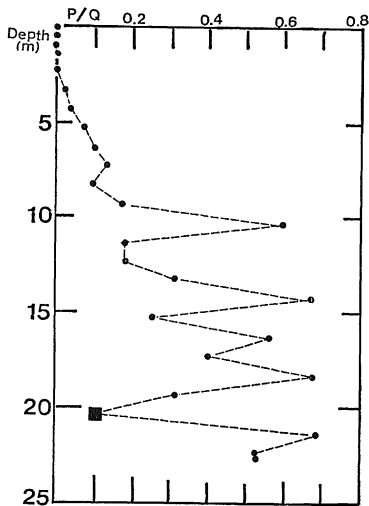


図-9 三隅B.P-3 の粉末 X 線回折図における石英(Q)と斜長石(P)の最強線の比(P/Q)
(黒四角印はセリサイト化を受けている試料)

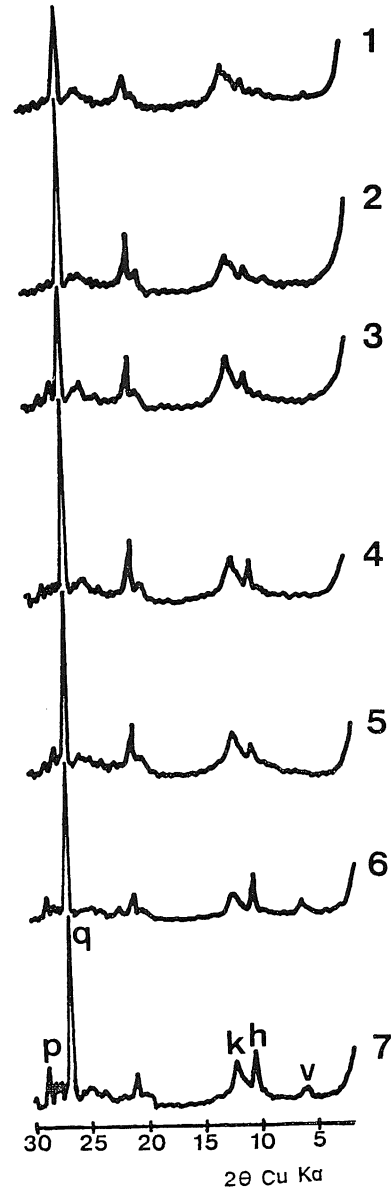


図-10 a 三隅 B.P-1 の全岩 X 線回折図

(v: パーミキュライト, h: 角閃石, k: カオリン, p: 石英, p: 斜長石)

- 1 : 0.00~0.10 2 : 0.30~0.40
3 : 0.80~0.90 4 : 0.90~1.00
5 : 1.15~1.45 6 : 2.15~2.45
7 : 3.15~3.45

岩石は中粒乃至は粗粒に属するもので斜長石, 正長石, 石英, 黒雲母, 角閃石を主成分鉱物とする。

県内には飯石郡赤来町, 仁多郡横田町などを中心に類似した英崗閃緑岩が露出しており, 同時に県内のみでな



図-10 b 三隅 B.P-1 の全岩 X 線回折図

- 8 : 4.15~4.45 9 : 5.15~5.45
- 10 : 7.15~7.45 11 : 9.15~9.45
- 12 : 10.15~10.45 13 : 11.15~11.45
- 14 : 12.15~12.45 15 : 13.15~13.45

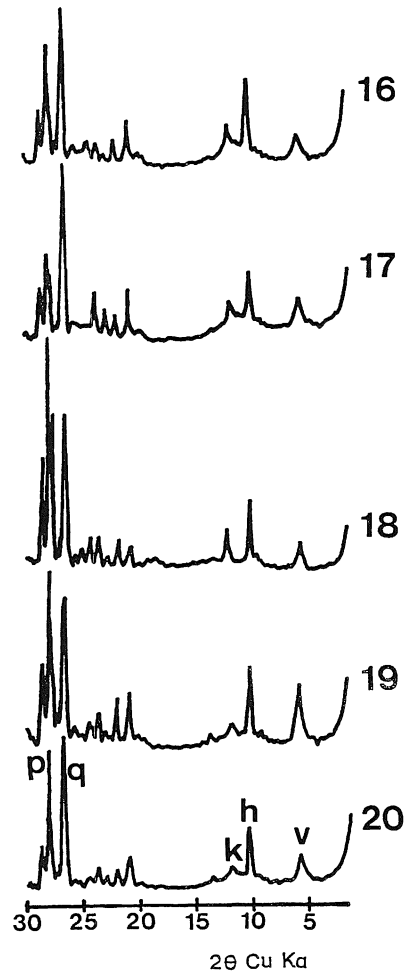


図-10 c 三隅 B.P-1 の全岩 X 線回折図

- 16 : 14.15~14.45 17 : 15.15~15.45
- 18 : 15.75 19 : 16.20
- 20 : 18.00

く広く中国地方にはもとより本邦全般にわたって各地に類似なものを見ることが位事。いずれにしてもスケールの大きい岩体として露出していることが多い。

三朝のボーリング地点は岡山県境に近い鳥取県東伯郡三朝町福山にあり、一部に吉備高原面らしい遺物をとどめている地点である。

石英、カリ長石、斜長石、黒雲母を主成分鉱物とする粗粒の黒雲母花崗岩で鳥取県から鳥根県にかけて、あるいはその一部は岡山県にまたがる底盤規模の岩体である。地表ではマサ状に風化している事が多いが、見掛上は熱水変質を受けているところは少ない。黒雲母花崗岩は一般に岩相変化が激しく、アプライト的な細粒のもの

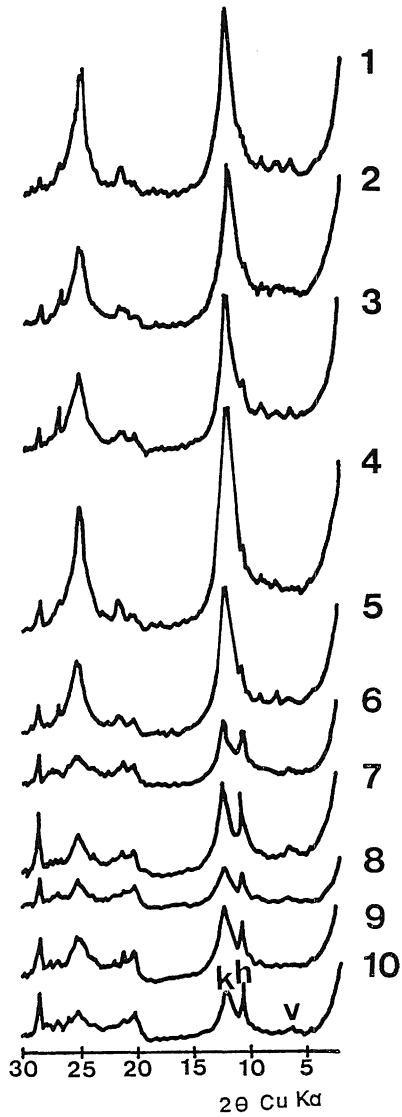


図-11 a 三隅 B.P-1 水鉱物の X 線回折図

(v: パーミキュライト, h: 角閃石)
(k: カオリン)

1 : 0.00~0.10	2 : 0.30~0.40
3 : 0.80~0.90	4 : 0.90~1.00
5 : 1.15~1.45	6 : 2.15~2.45
7 : 3.15~3.45	8 : 4.15~4.45
9 : 5.15~5.45	10 : 7.15~7.45

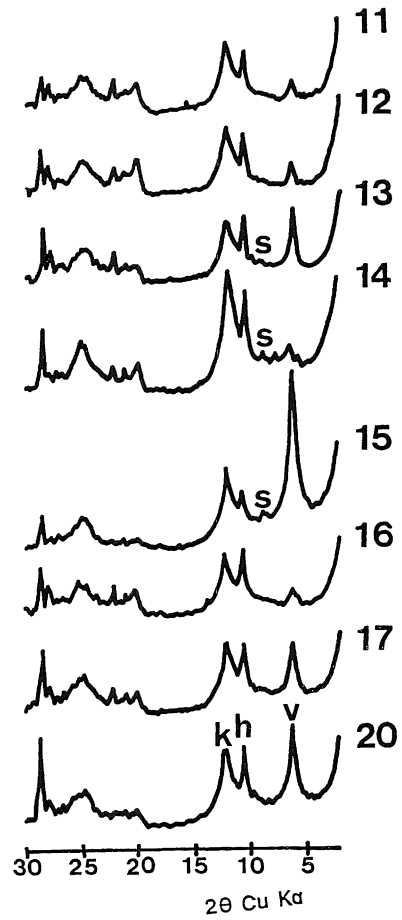


図-11 b 三隅 B.P-1 水鉱物の X 線回折図

(v: パーミキュライト, h: 角閃石)
(k: カオリン, s: セリサイト)

11 : 9.15~9.45	12 : 10.15~10.45
13 : 11.15~11.45	14 : 12.15~12.45
15 : 13.15~13.45	16 : 14.15~14.45
17 : 15.15~15.45	20 : 18.00

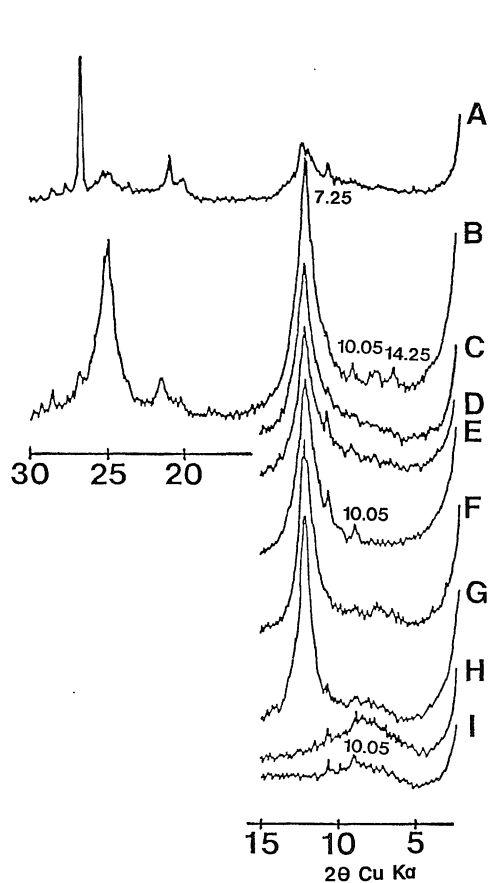


図-12 a 三隅 B.P-1 の0.00~0.1 m の水
 簾物の各処理反応

- A : 全岩 X 線回折図
- B : 水簾物 X 線回折図 (半定方位)
- C : E, G 処理
- D : KCl 処理
- E : HCl 処理
- F : 150°C加熱処理
- G : 300°C加熱処理
- H : 500°C加熱処理
- I : 600°C加熱処理

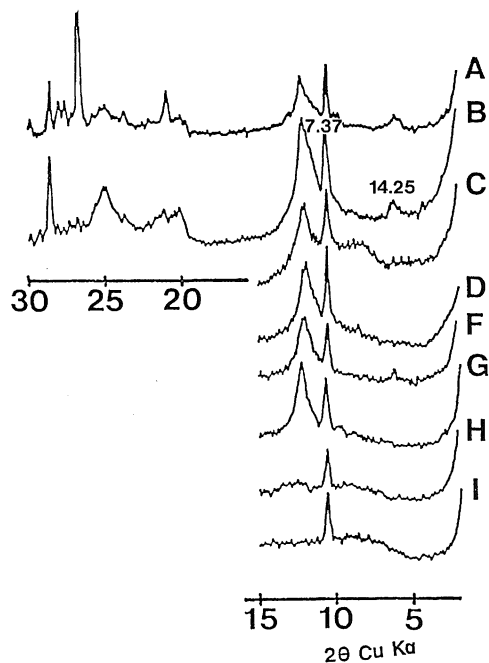


図-12 b 三隅 B.P-1 の3.15~3.45 m の水
 簾物の各処理反応

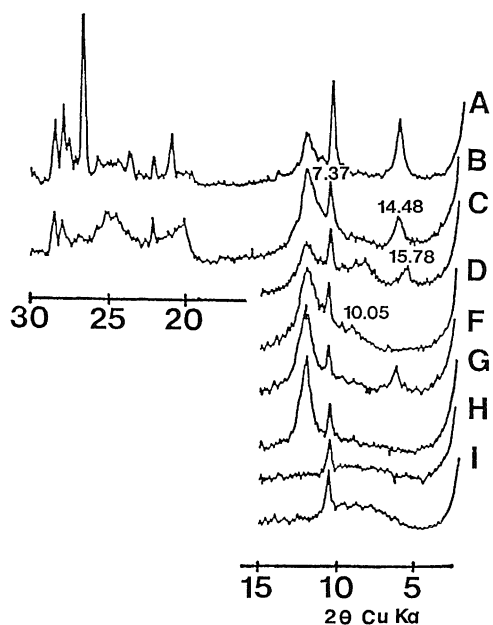


図-12 c 三隅 B.P-1 の9.15~9.45 m の水
 簾物の各処理反応

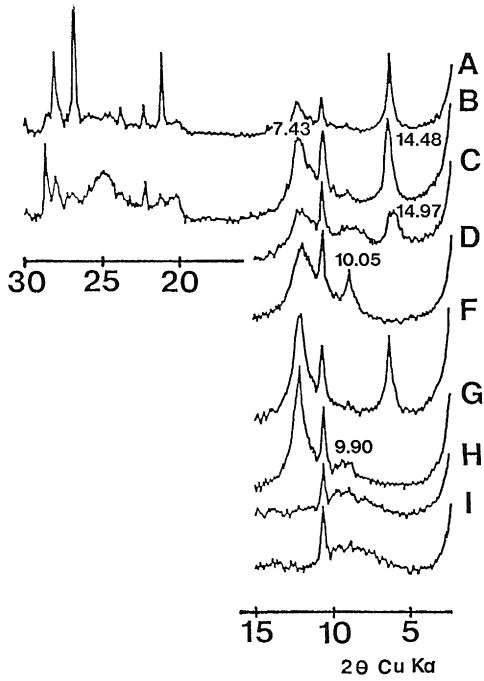


図-12 d 三隅 B.P-1 の 11.15~11.45 m
の水箴物の各処理反応

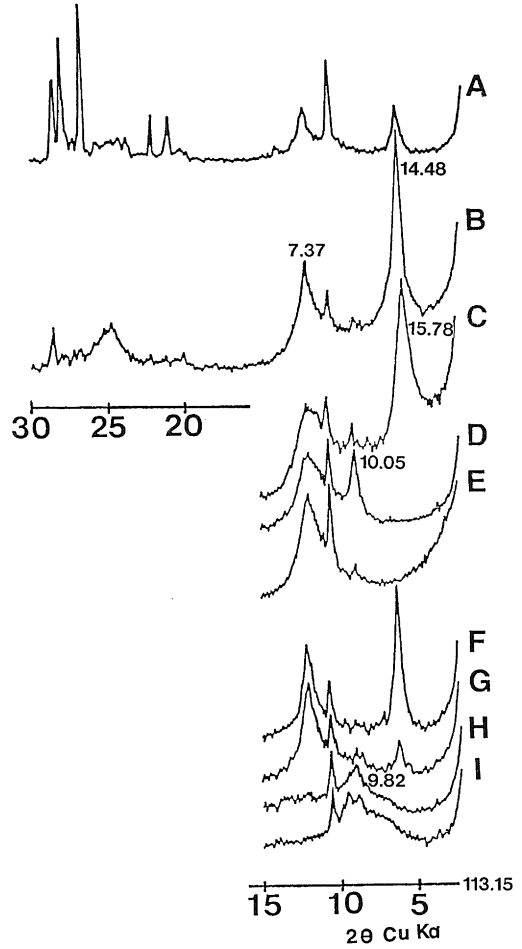


図-12 f 三隅 B.P-1 の 13.15~13.45 m
の水箴物の各処理反応

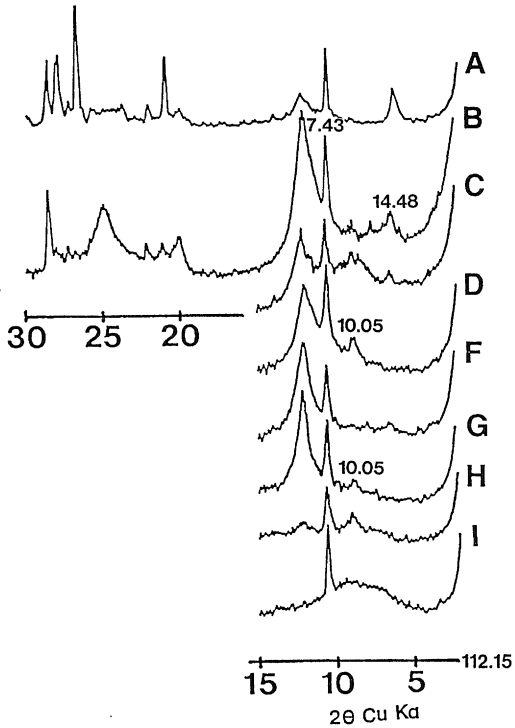


図-12 e 三隅 B.P-1 の 12.15~12.45 m の
水箴物の各処理反応

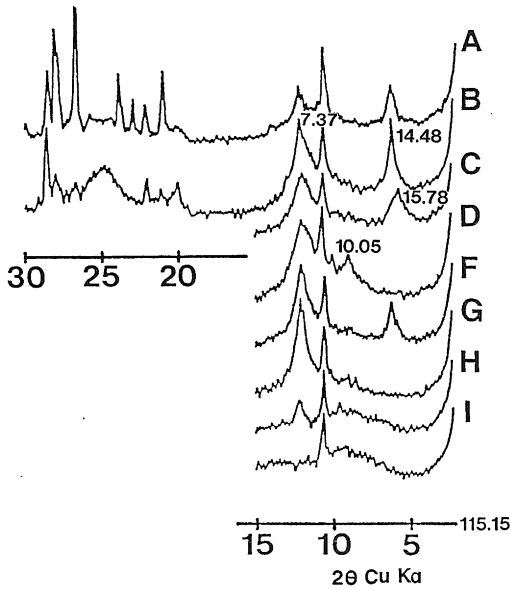


図-12 g 三隅 B.P-1 の 15.15~15.45 m の水変物の各処理反応

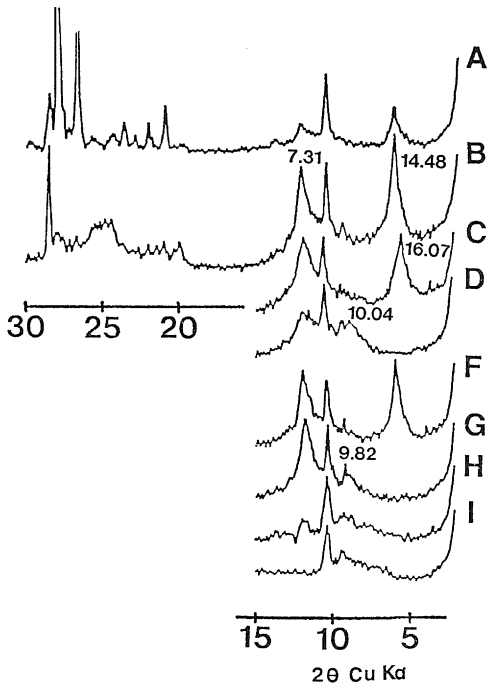


図-12 h 三隅 B.P-1 の 18.00 m の水変物の各処理反応

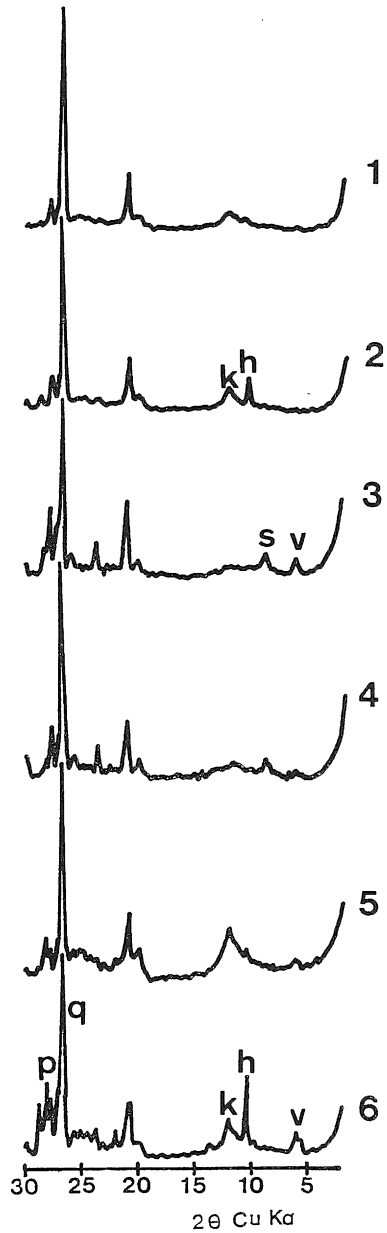


図-13 a 三隅 B.P-2 の全岩 X 線回折図
(v:バーミキュライト, h:角閃石,)
(k:カオリン, p:石英, p:斜長石)

- 1 : 0.00~0.10
- 2 : 0.45~0.55
- 3 : 0.90~1.00
- 4 : 1.15~1.45
- 5 : 2.15~2.45
- 6 : 3.15~3.45

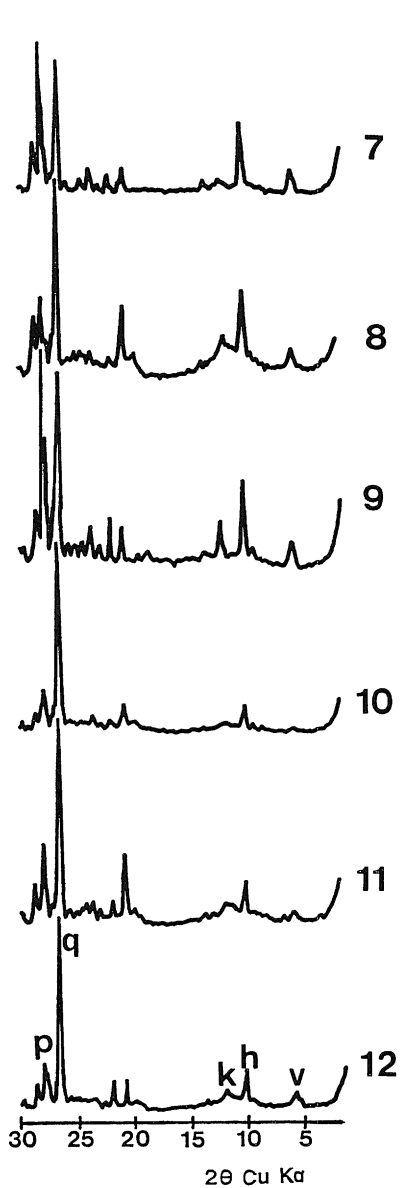


図-13 b 三隅 B.P-2 全岩 X 線回折図

- | | |
|----------------|----------------|
| 7 : 4.15~4.45 | 8 : 5.15~5.45 |
| 9 : 5.70~5.85 | 10 : 6.15~6.45 |
| 11 : 7.15~7.45 | 12 : 8.15~8.45 |

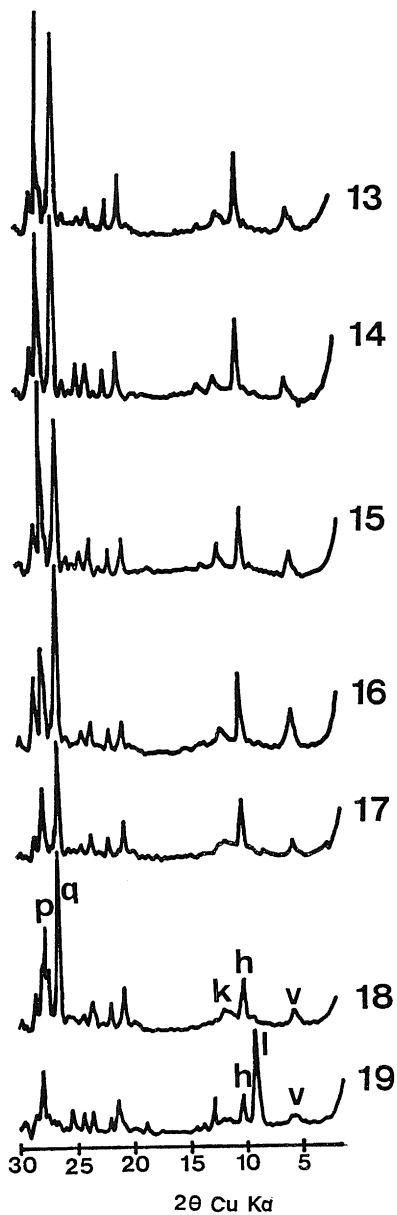


図-13 c 三隅 B.P-2の全岩 X 線回折図
(1 : 濁沸石)

- | | |
|-------------------------|------------------|
| 13 : 9.15~9.45 | 14 : 9.60~9.70 |
| 15 : 10.00~10.20 | 16 : 11.15~11.45 |
| 17 : 12.15~12.45 | 18 : 13.15~13.45 |
| 19 : 13.15~13.45 (濁沸石脈) | |

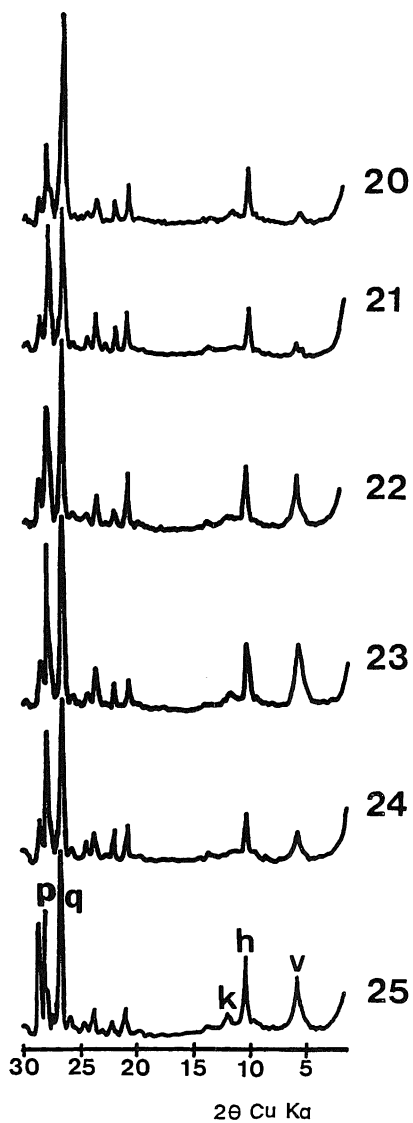


図-13 d 三隅 B.P-2 の全岩 X 線回折図

20 : 14.15~14.45	21 : 15.15~15.45
22 : 16.15~16.45	23 : 17.15~17.45
24 : 18.15~18.45	25 : 19.15~19.45

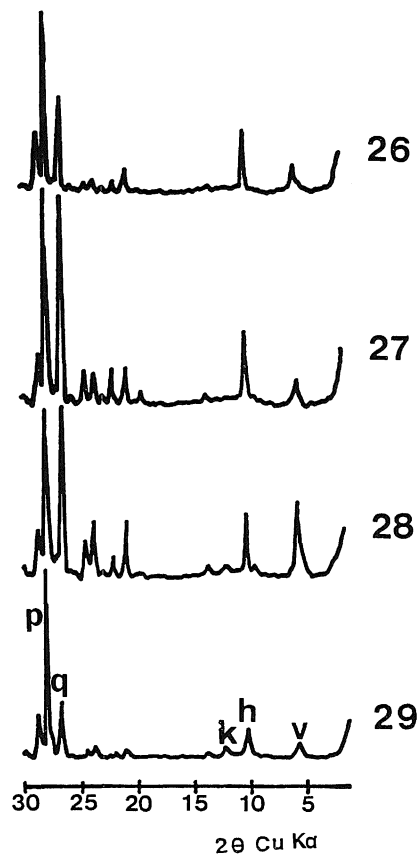


図-13 e 三隅 B.P-2 の全岩 X 線回折図

26 : 20.20~20.25	27 : 21.00~21.45
28 : 22.20	29 : 23.00~23.15

もあるし、時にはトナール岩と混成岩的な複合岩体をつくることもある。このようなものでは一般に熱水変質を受けることが多く、黒雲母は緑泥石化、斜長石はセリサイト化、モンモリロナイト化作用を受けているのが普通である。

三隅の石英閃緑岩、寺領の花崗閃緑岩、三朝の黒雲母花崗岩のボーリング試料の研究結果はある意味では深成岩類の風化に関する代表的なしのに対する資料を得ることになる。この研究成果に対して、筆者がこれまでに研究材料として扱った別の資料も時々これに加えながら、風化の基本的事象に触れたい。

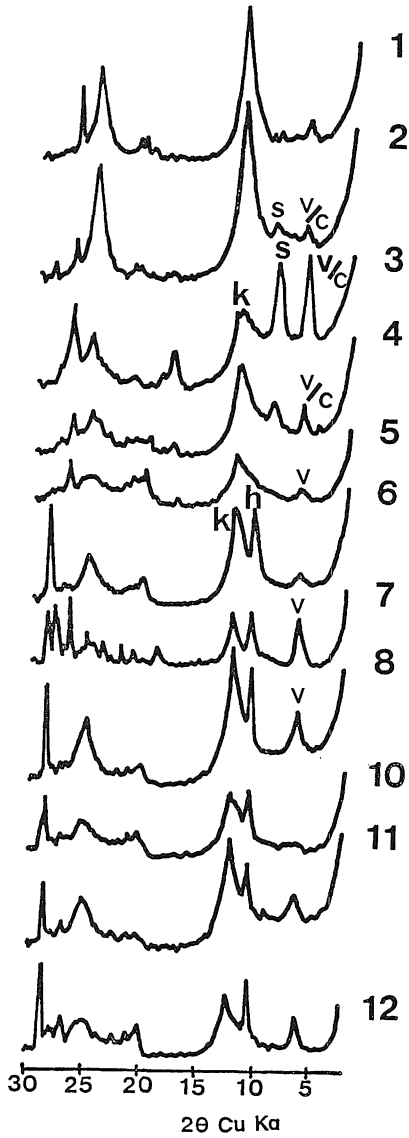


図-14 a 三隅 B.P-2 の水箴物の X 線回折図

(v: パーミキュライト, s: セリサイト,
h: 角閃石, k: カオリン, v/c: パーミキ
ュライト-緑泥石混合層鉱物)

- | | |
|----------------|----------------|
| 1 : 0.00~0.10 | 2 : 0.45~0.55 |
| 3 : 0.90~1.00 | 4 : 1.15~1.45 |
| 5 : 2.15~2.45 | 6 : 3.15~3.45 |
| 7 : 4.15~4.45 | 8 : 5.15~5.45 |
| 10 : 6.15~6.45 | 11 : 7.15~7.45 |
| 12 : 8.15~8.45 | |

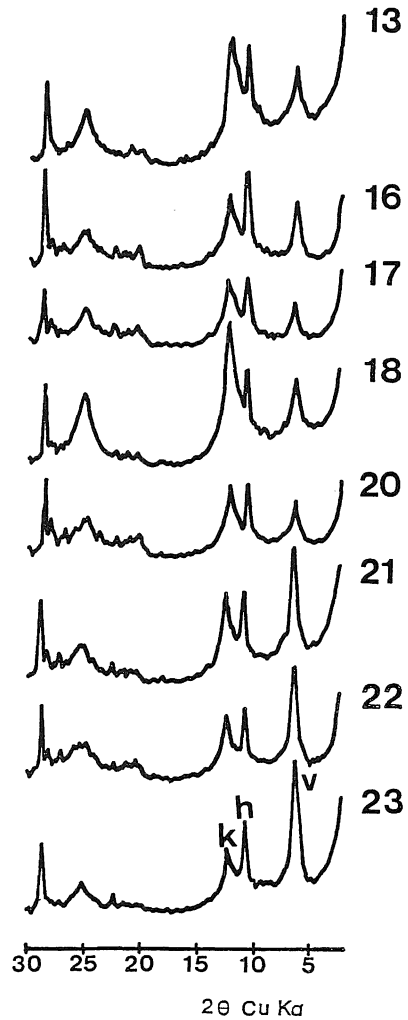


図-14 b 三隅 B.P-2 の水箴物の X 線回折図

- | | |
|------------------|------------------|
| 13 : 9.15~9.45 | 16 : 11.15~11.45 |
| 17 : 12.15~12.45 | 18 : 13.15~13.45 |
| 20 : 14.15~14.45 | 21 : 15.15~15.45 |
| 22 : 16.15~16.45 | 23 : 17.15~17.45 |

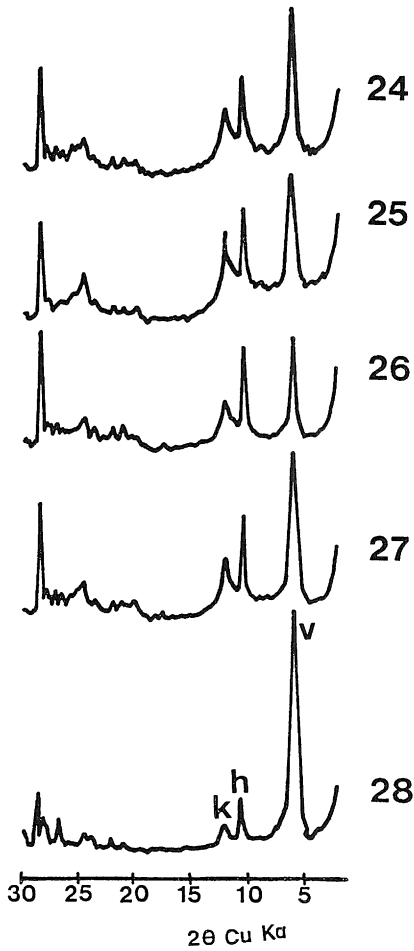


図-14 c 三隅 B.P-2 の水箴物の X 線回折図

24 : 18.15~18.45	25 : 19.15~19.45
26 : 20.20~20.25	27 : 21.00~21.45
28 : 23.00~23.15	

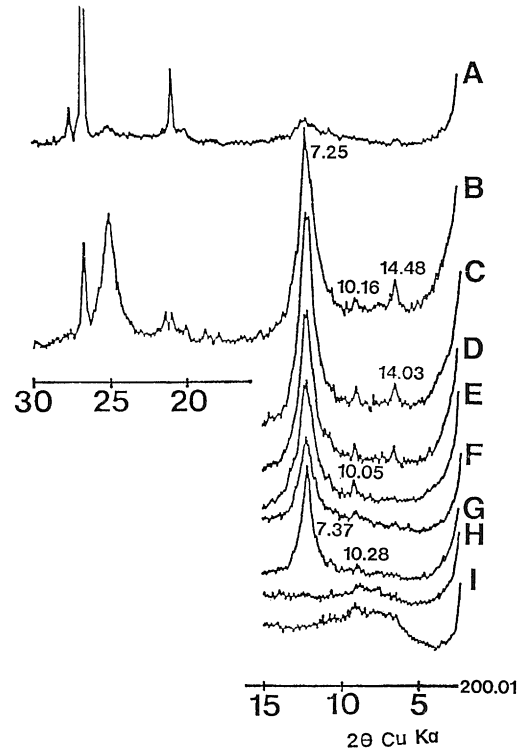


図-15 a 三隅 B.P-2 の0.00~0.1 m の水箴物の各処理反応

- A : 全岩 X 線回折図
- B : 水箴物 X 線回折図 (半定方位)
- C : E, G 処理
- D : KCl 処理
- E : HCl 処理
- F : 150°C 加熱処理
- G : 300°C 加熱処理
- H : 500°C 加熱処理
- I : 600°C 加熱処理

3. 三隅の石英閃緑岩の風化に関する立体構造

三隅附近の石英閃緑岩についての全体像については既に述べた。

この地域の地表はいわゆる赤色風化を著しく受けており、昭和47年7月、58年7月の豪雨時に大崩壊を多発したが、周辺一帯の第四系をみると、このような崩土が厚く堆積しており、これまでもこのような崩壊がくりかえされていたことをうかがわせる。このような崩壊は風化

帯が厚いこともあってすべり面は深く、円弧型のすべり面の形態を示している。

このような風化岩の直上からボーリングが三地点において実施され、そのコアの風化状態が検討された。図-2にその位置が示されているが、図には同時に昭和58年7月の石見豪雨時におけるこの岩体の崩壊と発生した土石流の様子が示されている。この崩壊の意味については三浦(1960)がすでに議論している。

後述するように、この種の閃緑岩体はとにかく風化帯が厚く残されており、そのことがこのような大崩壊を多

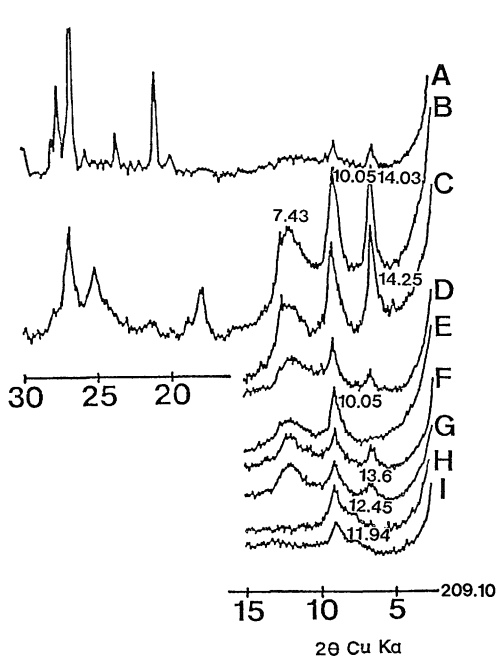


図-15 b 三隅 B.P-2 の0.9~1.0 m の水簾物の各処理反応

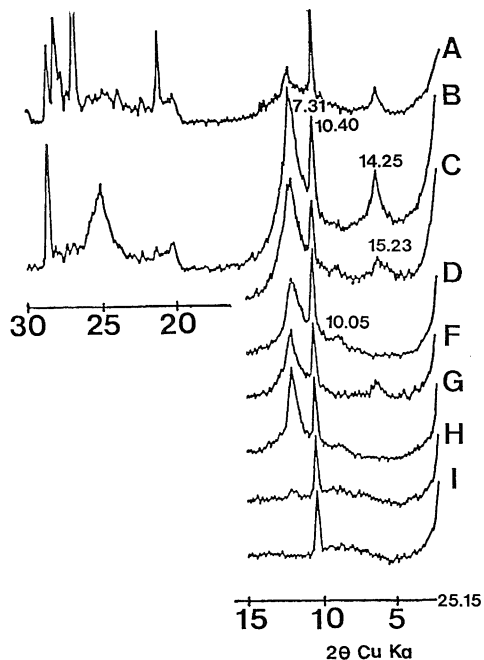


図-15 d 三隅 B.P-2 の5.15~5.45 m の水簾物の各処理反応

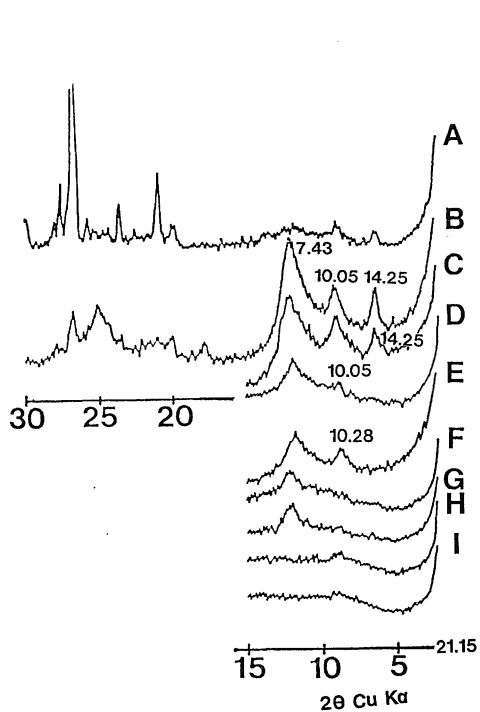


図-15 c 三隅 B.P-2 や1.15~1.45 m の水簾物の各処理反応

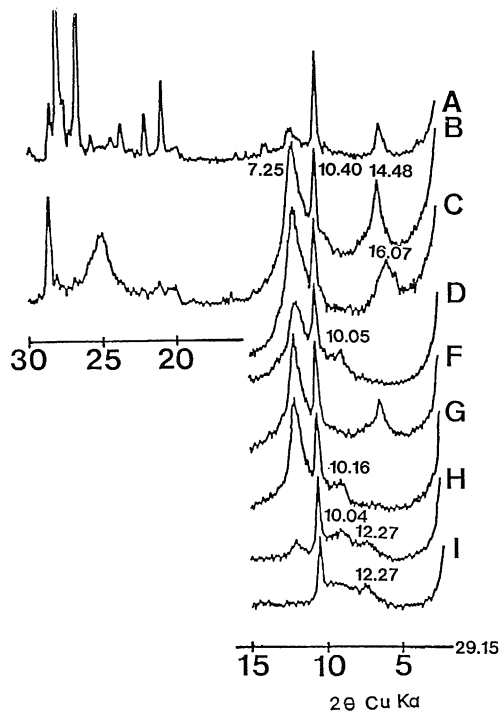


図-15 e 三隅 B.P-2 の9.15~9.45 m の水簾物の各処理反応

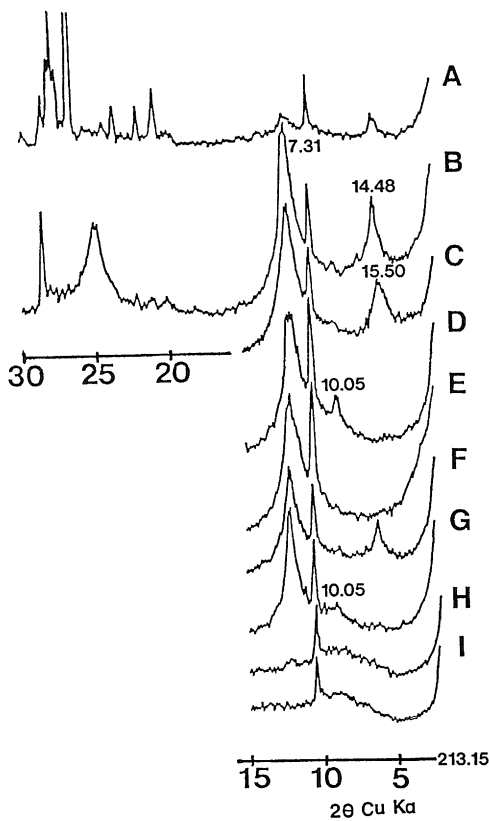


図-15 f 三隅 B.P-2 の 13.15~13.45 m の水鏡物の各処理反応

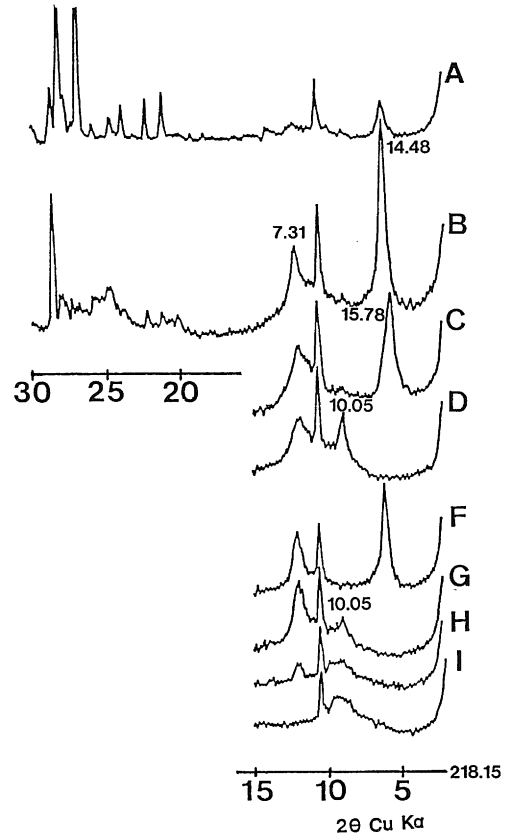


図-15 g 三隅 B.P-2 の 18.15~18.45 m の水鏡物の各処理反応

発する結果にもなったのであるが、中国地方にも全体的にこの種の閃緑岩体が点在しており、例えば昭和47年7月豪雨時における広島県境に近い島根県羽須美村上田の大崩壊などは三隅に見る性格とよく似ている。

図-3はボーリングコアの採取にあわせて行われた標準貫入試験値を示したものである。B.P-1とB.P-3はほぼ同じ標高の地点からボーリングが開始されたが、B.P-2は標高にして約14メートル程度低い位置からボーリングされた。図はこの事を考慮して示してある。前述したように、ここに見る閃緑岩体は周辺の三郡変成岩類の示す地形からモノドック的に突出し、少なくともより古い地形が現在なお侵食によって破壊されつつあるものとみられることから、標高の低い部分はそれだけその上部が侵食によって取りのぞかれたと解釈される。三地点の標準貫入試験値の値からみると、多少ともそのような傾向を読みとることが出来る。

さて図-3の標準貫入試験のN値であるがB.P-1においては深度5メートルすぎまで10未満で14メートルを過ぎるまで10を少し越した値を示している。つまり、5メートル前後まで、この石英閃緑岩体の風化は著しい。この事は図-4のB.P-1におけるArasion pHにも反映し、およそpHの値として6以下となっている。N値が10をこすとpH値も上昇して6をこす。図-3に示すN値と図-4に示すAbrasion pH値は両者の間に密接な関係があることを示す。岩石をつくる造岩鉱物については石英閃緑岩においては斜長石が大きい比率を占める。よって、風化による造岩鉱物のうち、斜長石は全体的に岩石の物性に大きく影響を及ぼすのは当然である。一方、石英は風化に対して抵抗力のある鉱物で、風化岩における石英の量に対する斜長石の量の比の大小は一つの岩体の中で風化に対する一つの指標となるであろう。図-5はこのような趣旨から測定された結果

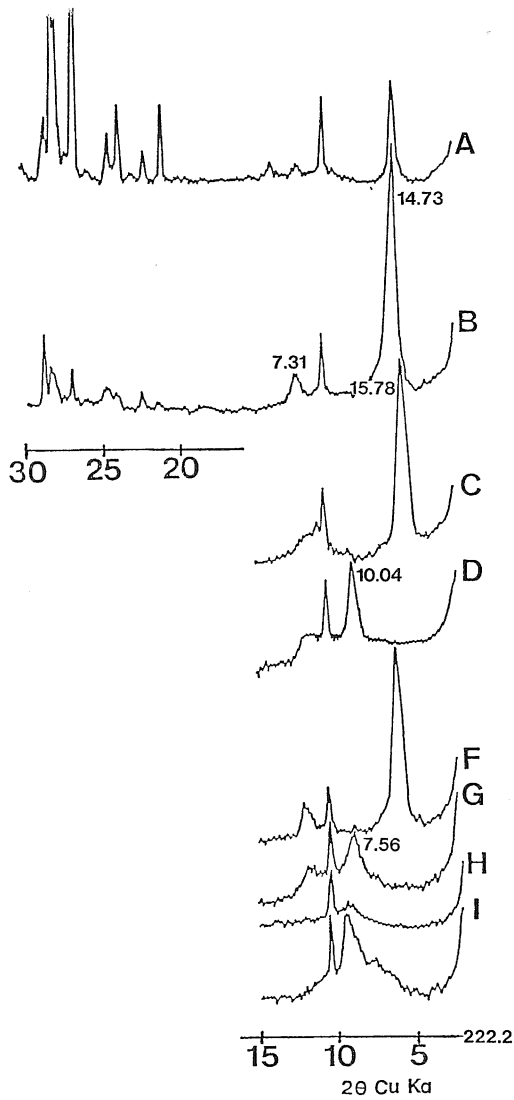


図-15 h 三隅 B.P-2 の 22.2 m の水箴物の各処理反応

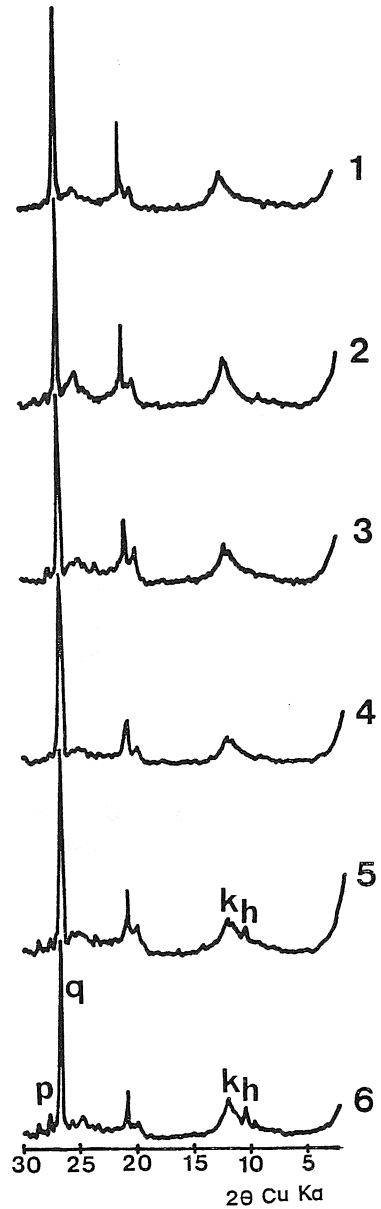


図-16 a 三隅 B.P-3 の全岩 X 線回折図
(h: 角閃石, k: カオリン, q: 石英, p: 斜長石)

- 1 : 0.00~0.10
- 2 : 0.45~0.50
- 3 : 0.90~1.00
- 4 : 1.15~1.45
- 5 : 2.15~2.45
- 6 : 3.15~3.45

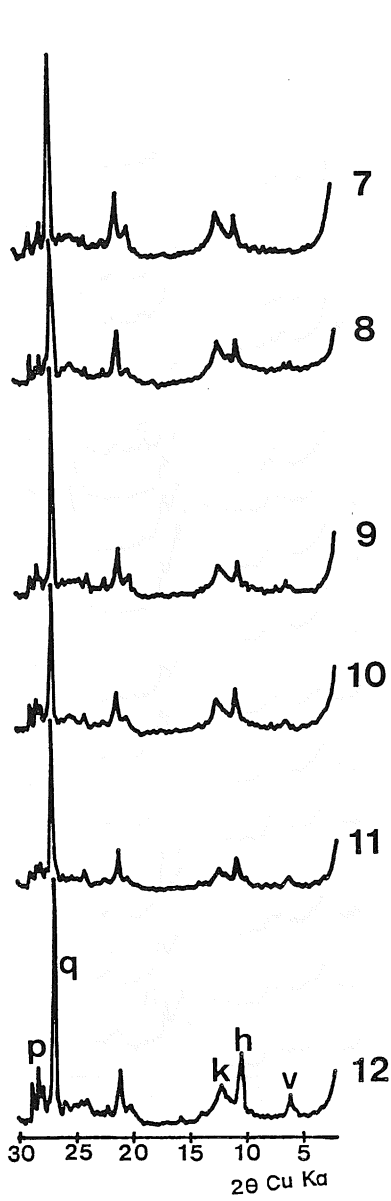


図-16 b 三隅 B.P-3 の全岩 X 線回折図

(v: パーミキュライト)

- | | |
|----------------|----------------|
| 7 : 4.15~4.45 | 8 : 5.15~5.45 |
| 9 : 6.15~6.45 | 10 : 7.15~7.45 |
| 11 : 8.15~8.45 | 12 : 9.15~9.45 |

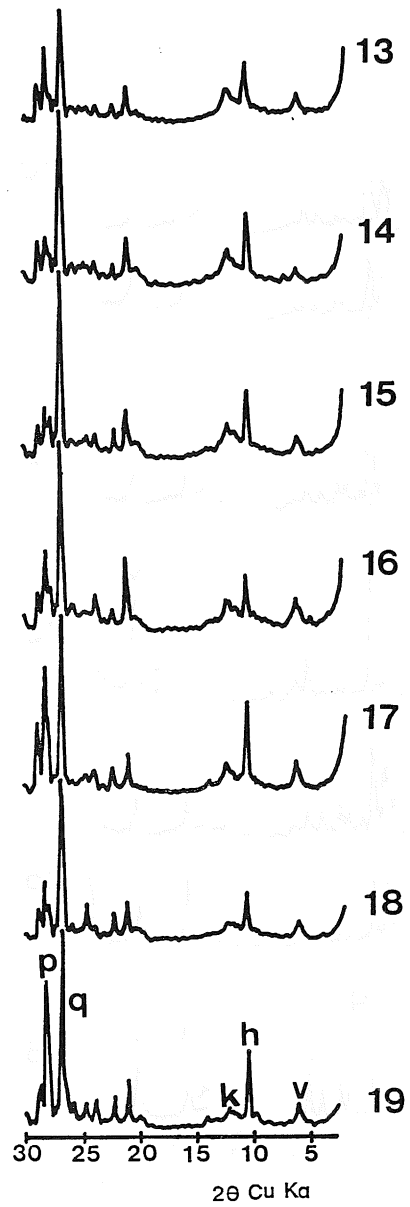


図-16 c 三隅 B.P-3 の全岩 X 線回折図

- | | |
|------------------|------------------|
| 13 : 10.15~10.45 | 14 : 11.15~11.45 |
| 15 : 12.15~12.45 | 16 : 13.15~13.45 |
| 17 : 14.15~14.45 | 18 : 15.15~15.45 |
| 19 : 16.15~16.45 | |

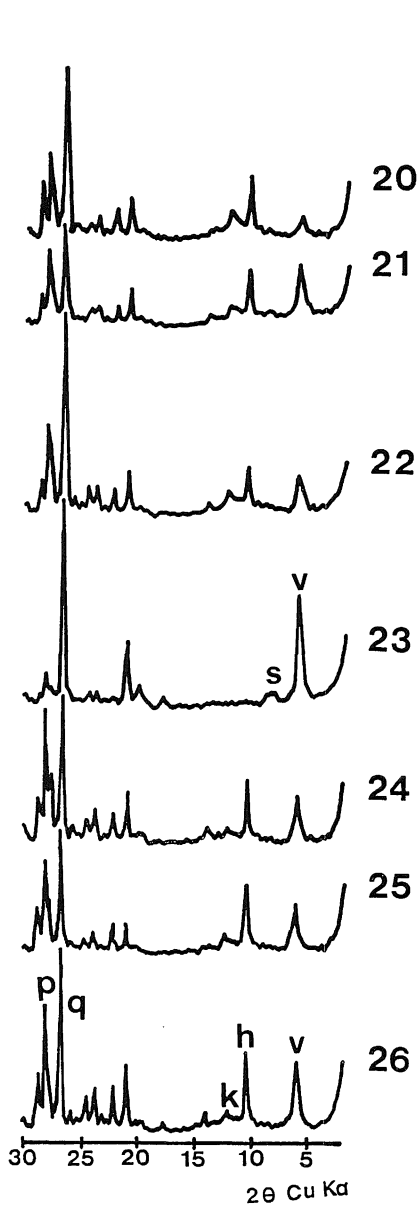


図-16 d 三隅 B.P-3 の全岩 X 線回折図

20 : 17.15~17.45	21 : 18.15~18.45
22 : 19.15~19.45	23 : 20.15~20.45
24 : 21.15~21.45	25 : 22.15~22.45
26 : 22.45	

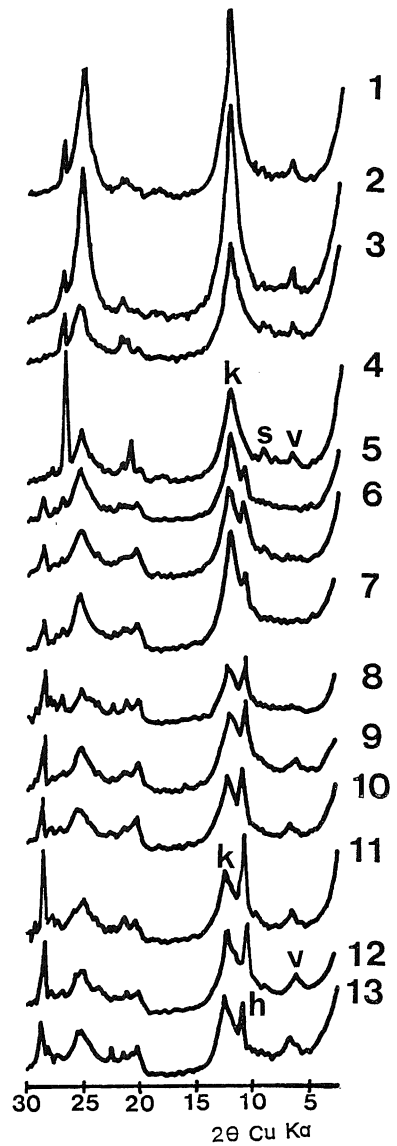
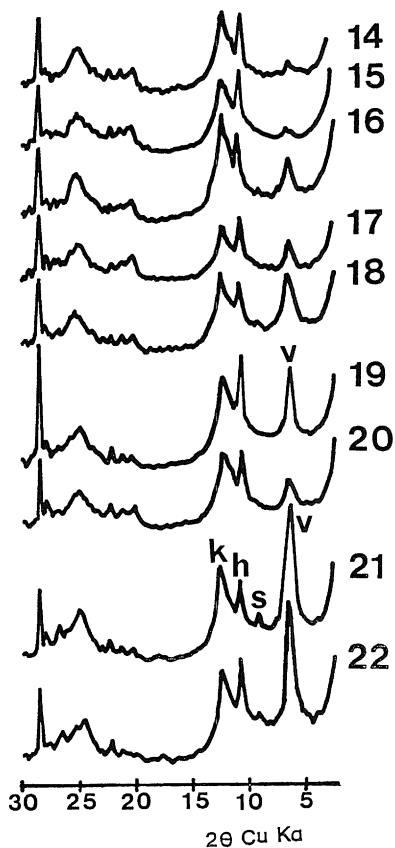


図-17 a 三隅 B.P-3 の水濾物の X 線回折図

(v : パーミキュライト, s : セリサイト,)
(h : 角閃石, k : カオリン)

1 : 0.00~0.10	2 : 0.45~0.50
3 : 0.90~1.00	4 : 1.15~1.45
5 : 2.15~2.45	6 : 3.15~3.45
7 : 4.15~4.45	8 : 5.15~5.45
9 : 6.15~6.45	10 : 7.15~7.45
11 : 8.15~8.45	12 : 9.15~9.45
13 : 10.15~10.45	

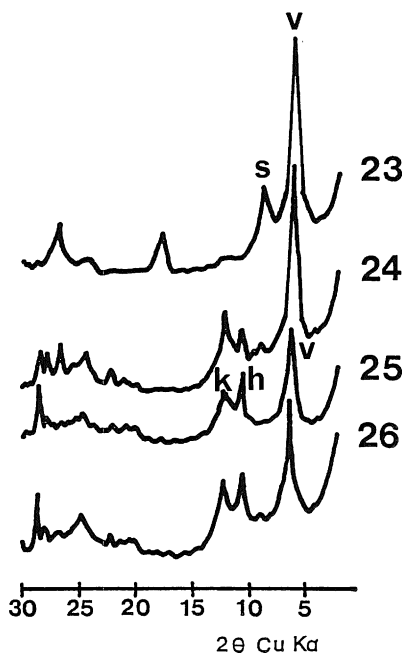


図一七 b 三隅 B.P-3 の水簾物の X 線回折図

14 : 11.15~11.45	15 : 12.15~12.45
16 : 13.15~13.45	17 : 14.15~14.45
18 : 15.15~15.45	19 : 16.15~16.45
20 : 17.15~17.45	21 : 18.15~18.45
22 : 19.15~19.45	

を图示したものである。5メートル附近と15メートル附近に不連続がみられ、標準貫入試験値 N, Abrasion pH との密接な関係をよくあらわしていると云えよう。

図一3に見る B.P-2 の標準貫入試験における N 値は2メートルから3メートルの間ですでに10以上となる。4メートルを越すと風化核岩の残留物をはさむようになって N 値が時々大きく出る。9メートルすぎまでは殆んど15~20に近く硬くなり、それ以深では風化核岩の残留物に出あいながら全体として次第に硬質の岩石に変化する。このような状態は B.P-1 とくらべると風化の視点から見ると大きく遅れている事を示す。図一6には B.P-2 の Abrasion pH 値の変化が示してある。2~3メートルですでに6を越しており4メートルを過ぎる頃からすでにその値が7以上となって B.P

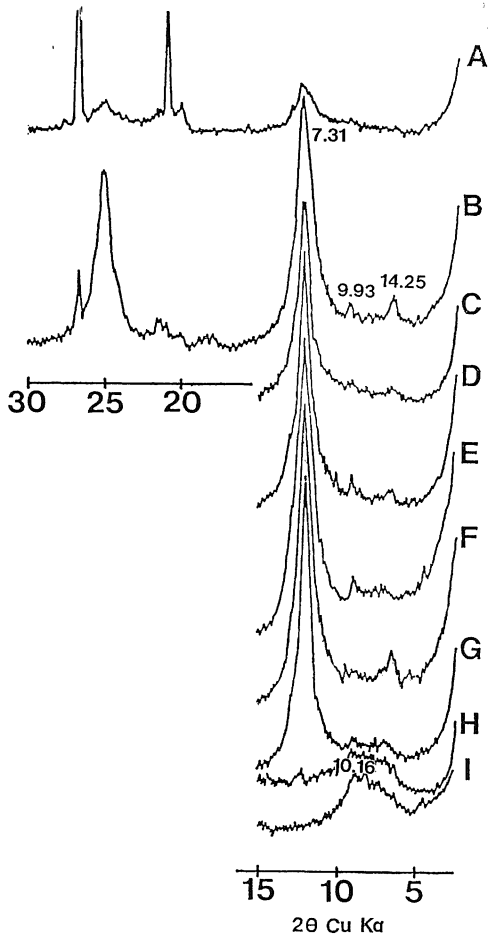


図一七 c 三隅 B.P-3 の水簾物の X 線回折図

23 : 20.15~20.45	24 : 21.15~21.45
25 : 22.15~22.45	26 : 22.45

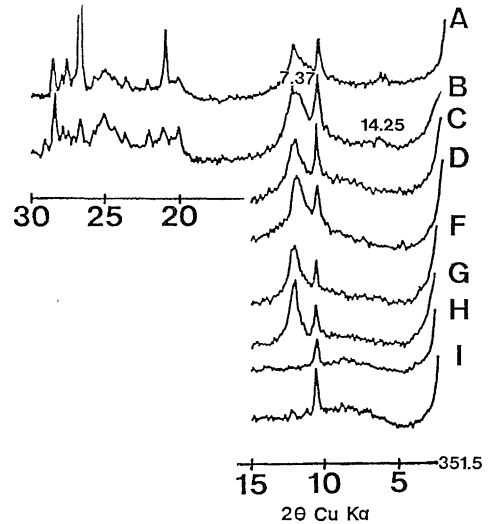
-1 とは少なくとも10メートル、あるいはそれ以上の深さの差を認めざるを得ないように見える。5メートルから10メートルすぎの間に見る Abrasion pH 値の中で核岩を徐くとそれ以深の Abrasion pH 値はその上部のそれと連続的にスムーズなカーブをえがく。つまり風化核岩を埋めている部分と風化核岩そのものとの風化状態に大きな差があって、埋めている部分が風化核岩帯以浅と連続するその深さに対応する風化状態にあると云えよう。図一7は石英に対する斜長石の比を示したもので、これも風化核岩とそれを埋めている部分に大きな差があり、埋めている部分の斜長石の変化が Abrasion pH の場合と同じく、風化核岩帯以浅とよく対応していると云えよう。しかし、風化核岩と云っても上部のものは下部のものに対して風化がそれだけ進んでおり、P/Qでも核岩部分のみを結ぶ一つの曲線も考えられるように見える。

B.P-3 の N 値はおよそ10メートル近くまで5から10を少し越すぐらいの値にゆっくりと上昇する。このことは図一8の Abrasion pH にも、図一9の P/Q にもよく示されている。10メートルを越すとやや硬い部分をはさみながら全体として次第に締った状態になる。しかし、



図一八 a 三隅 B.P-3 の 0.0~0.1 m の水箴物の各処理反応

- A : 全岩 X 線回折図
- B : 水箴物 X 線回折図 (半定方位)
- C : E, G 処理
- D : KCl 処理
- E : HCl 処理
- F : 150°C 加熱処理
- G : 300°C 加熱処理
- H : 500°C 加熱処理
- I : 600°C 加熱処理



図一八 b 三隅 B.P-3 の 5.15~5.45 m の水箴物の各処理反応

孔底部まで新鮮な風化核岩には出合わない。Abrasion pH の値も極めてスムーズな曲線でえがかれているのは N 値の状態をよく反映していると云えよう。P/Q の値はこれに対して10メートル以深で多少変化に富んでいる。しかし、部分的に大きな値を示すものでも図一七に見るような値とちがって小さく、かつて風化核岩であった部分の風化物と解釈されよう。そのような視点に立てば図一五の P/Q の凹凸の説明も出来る。つまり、Abrasion pH に見る変化以上に P/Q の値は変化が大きく出る傾向があり、ある意味で閃緑岩のように緻密で斜長石の含有量の高い岩石においては風化指標として使用出来るであろう。

以上のような状態の三隅の石英閃緑岩について、特に風化生成物としての粘土鉱物の立場から論じてみよう。図一10, a, b, c が B.P-1 についての全岩の X 線回折図である。2θ 値の12度附近と6度附近のピークは風化によって生成される粘土鉱物で殆んど孔底部までそれが顕著に見られると云うことはよく風化していることを示している。これを水箴してさらに X 線回折図をつくったものが図一11 a および b である。この図では当然粘土生成物が鮮明に出てくるが、それを正確に同定するために各処理をしながら吟味すると図一12 a から g のようになる。2θ 値12度附近のピークは塩酸処理で残留し、500°C 附近で分解するものが多いカオリン鉱物で、ピークの形からみるとカオリナイト的であるがやや低温で分解するものも多いところからみるとハロイサイトもかな

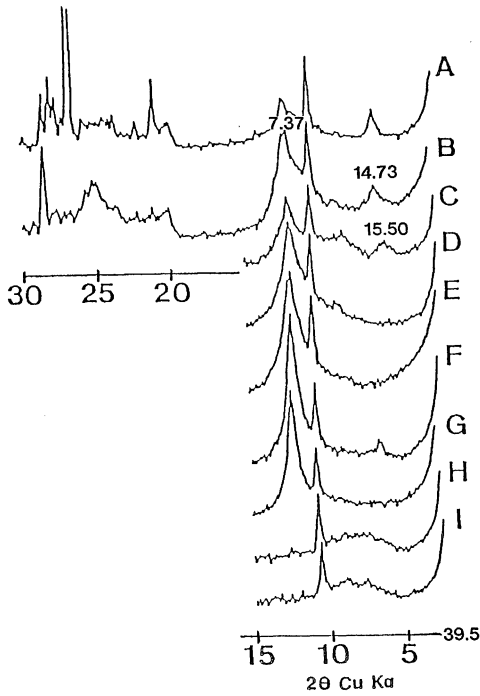


図-18 c 三隅 B.P-3 の 9.15~9.45 m の水箴物の各処理反応

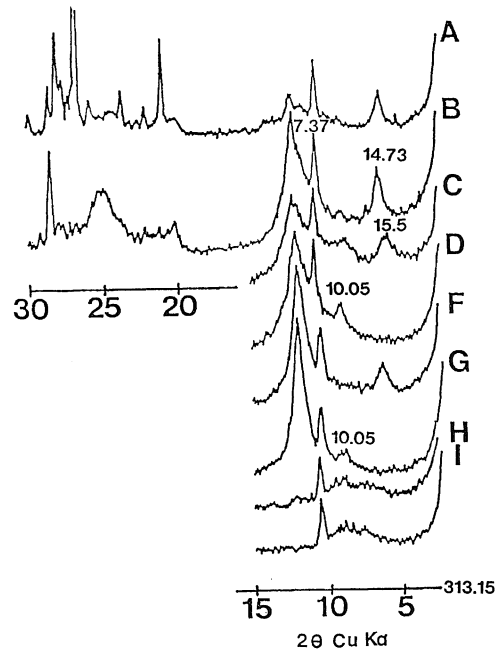


図-18 e 三隅 B.P-3 の 13.15~13.45 m の水箴物の各処理反応

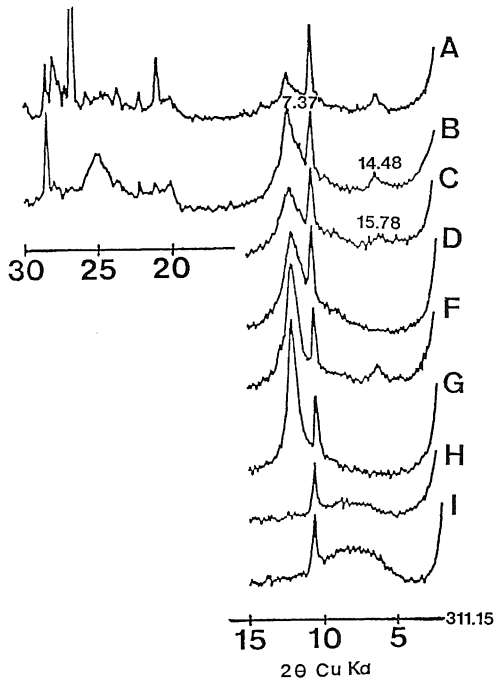


図-18 d 三隅 B.P-3 の 11.15~11.45 m の水箴物の各処理反応

り混合しているらしい。10メートル以深ぐらいから顕著になる6度附近のピークは、図-12 f, g, hの処理後のX線回折図を見るとエチレングリコール処理でやや膨潤し、KCl処理で6度から9度附近に向って移行し、殆んど300℃加熱でも9度附近に移行することからこの鉱物はいわゆる膨潤型のパーミキュライトと判断される。ただ、このパーミキュライトが浅部に向って消失するのはこれが地表附近の環境では不安定な鉱物であって分解してしまうことを意味している。この鉱物は黒雲母がある変質作用を受けると生成される黒雲母からの二次鉱物で、この問題は後にふれる。また微弱ながら、11~15メートルにHCl処理でも残る9度附近のピークがある。これはセリサイトと判断される。

全岩X線回折図でも地表附近から、そして下方に向ってシャープなピークを示す10度附近のピークは角閃石であり、次第にカオリン化してゆくけれどもある程度風化に対しと抵抗力のある鉱物である。

以上、B.P-1の鉱物関係について総括すると次のようになる。もともと斜長石、石英、角閃石、黒雲母を主成分鉱物とする石英閃緑岩が微弱な熱水変質を受け、斜長石はそのような部分でややセリサイト化を受けていた。このような部分におけるP/Qが特に小さく出てく

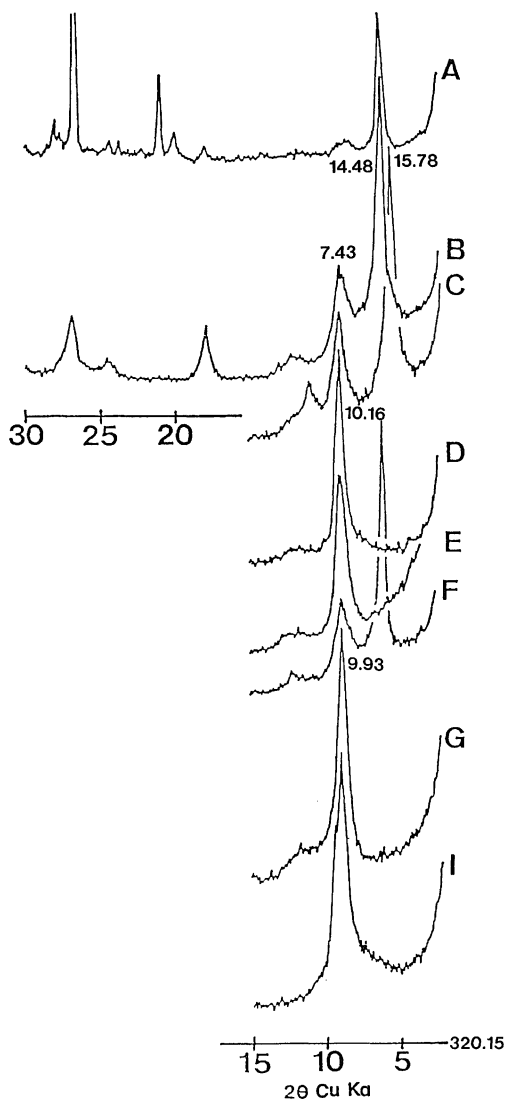


図-18 f 三隅 B.P-3 の20.15~20.45 m の水鏡物の各処理反応

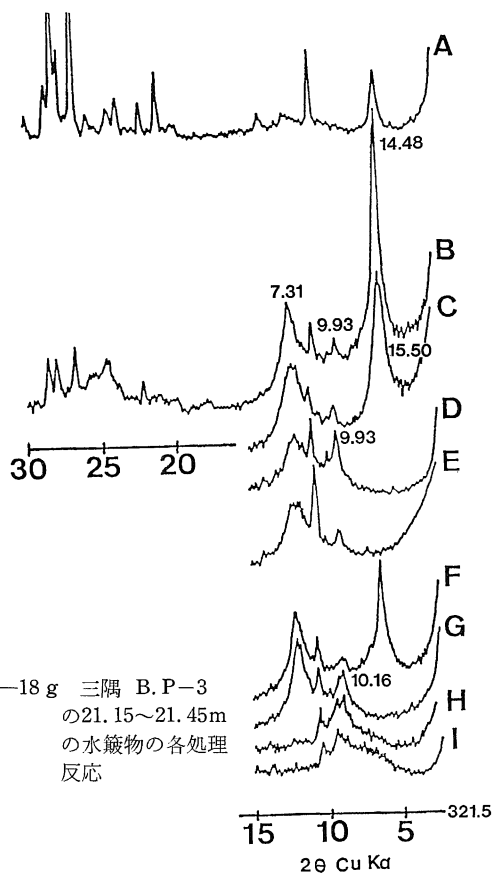


図-18 g 三隅 B.P-3 の21.15~21.45m の水鏡物の各処理反応

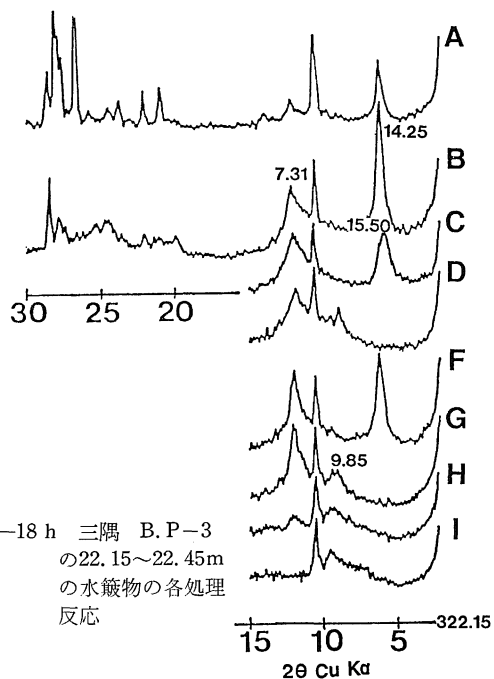


図-18 h 三隅 B.P-3 の22.15~22.45m の水鏡物の各処理反応

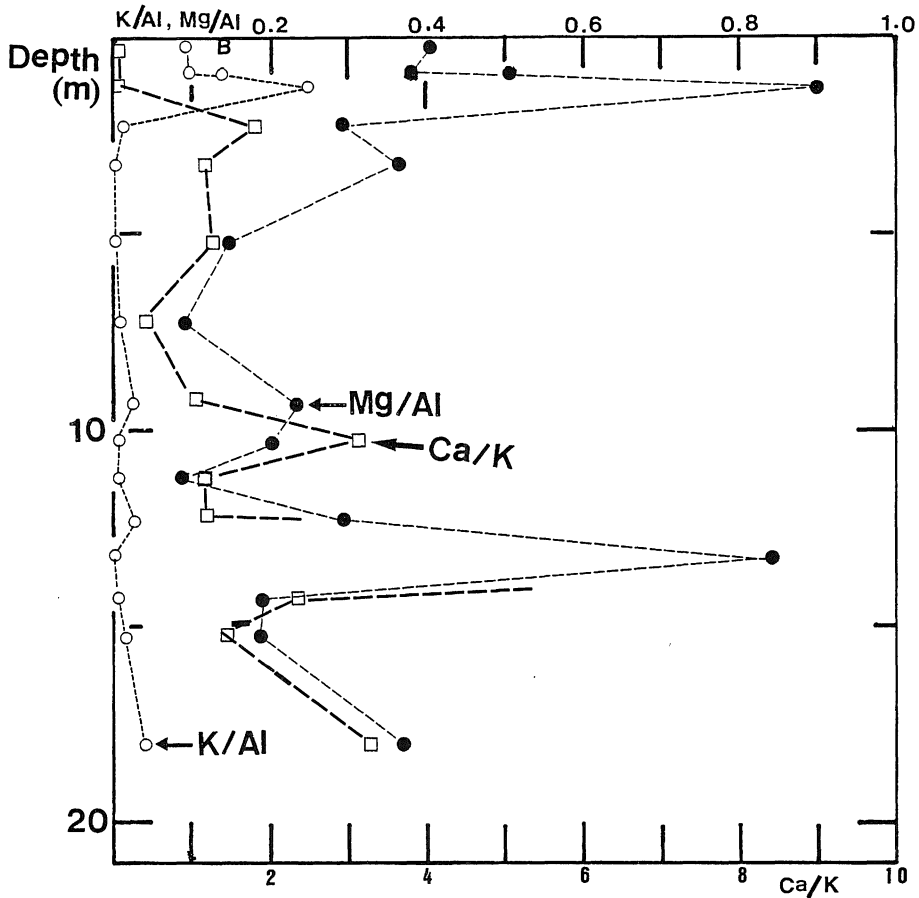


図-19 三隅 B.P-1 の黒雲母における K/Al, Mg/Al, Ca/K の変化 (原子数の比)
 一つの点はその深さにおいて少なくとも5個以上の測定値を平均したものである。

るのは風化以前にそれだけ斜長石が分解していた為であろう。しかし、この熱水変質作用は黒雲母を緑泥石に変化せしめるような強いものでなく、深層における初期的風化作用の段階で膨潤型パーミキュライトを生成しやすいような変質作用にとどまった。むしろ、このような風化以前に受けた変質作用は沸石脈に貫かれる場合に生ずるような変化で、これを暗示する沸石脈は野外でも観察されるし、後述する B.P-2 にも出てくる。そのような変質作用をとおして初期的風化作用 (あるいはその前段階) ですでに黒雲母は膨潤型パーミキュライトに変化していた。風化の進行と共に斜長石からはハロサイトが生成し、パーミキュライトはむしろカオリナイトへと変化した。そして地表に近く、すべてのパーミキュライトはカオリナイト化し、その姿を消した。角閃石についてはカオリン化しながらも、なお、地表部で残存した。

B.P-1 の地点では全体として厚い風化帯が残存し、孔底部まで斜長石の分解が進んでいる。

B.P-2 について鉱物学的検討を行うが、図-13 a から e まだがそれに関する全岩X線回折図である。出現する鉱物については B.P-1 と変りはないが、B.P-1 にくらべて、12度附近のカオリン鉱物に関するピークが、全岩分析における両者の比較においても弱い。このことはこれまでの標準貫入試験値における N 値, Abrasion pH, P/Q などの差をよく反映し、それだけ風化生成物が少ないことを意味している。ただ、膨潤型パーミキュライトは水簸物のX線回折図である図-14 a, b, c から、例えばカオリンの量が少い段階においても、あるいは少い方がむしろ多く出現する。この事は膨潤型パーミキュライトが、風化の最も初期から、あるいは風化以前のある種の変質段階ですでに生成されている可能性を暗

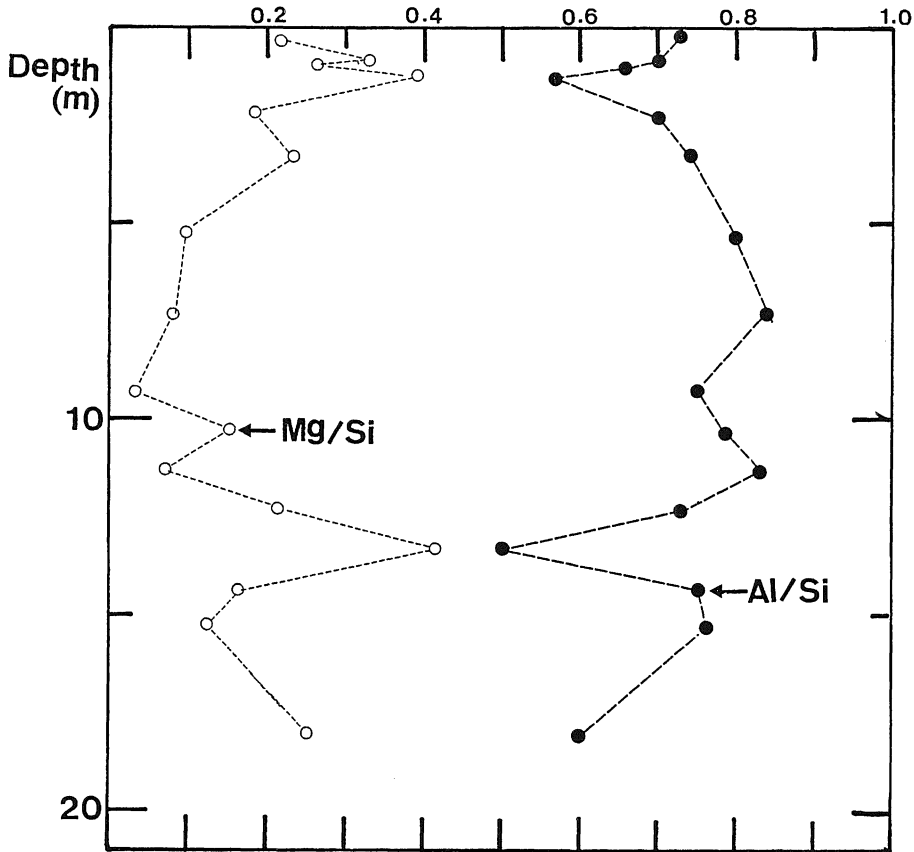


図-20 三隅 B.P-1 の黒雲母における Mg/Si, Al/Si の変化 (原子数の比)

示する。図-13 c の19 (深さ13.15~13.45メートルの間)に見事な沸石脈が見られ、この脈が生成するような条件が最も黒雲母をして膨潤型パーミキュライトに変化せしめやすい事が別の証拠から裏付けられる。これと関連して図-14 aの中、3, 4 (深さ0.9~1.45メートルの間)に顕著なセリサイトのピークが見られる。図-15 a, b, cなどがそれに関する各種の処理を与えたX線回折図である。その中で、顕著な9度附近のセリサイトのピークの出るものに限ってこの6度附近のピークはエチレンジアミン処理でも移行せず、塩化カリウム処理においても変化しない。また加熱変化においても300℃で変化せず500℃、600℃と次第に12Å 鉱物へと変化する。これは緑泥石化を受けた黒雲母の風化過程でしばしば見られるもので、かつて三浦(1976)が黒雲母花崗岩の緑泥石化黒雲母の風化物から報告したことがある。また、島根県下の赤来町の花崗閃緑岩の熱水変質を受けた黒雲母からも同じような鉱物が発見されている。この種の鉱

物は緑泥石に変化した黒雲母がその風化過程で緑泥石-パーミキュライト intergrade 型のパーミキュライトと混合層鉱物を生成したもので、その前段階は熱水変質によって生成された緑泥石である。いずれもセリサイトの強いピークが伴っており、その部分が熱水変質作用を強く受けた部分である。従って、そのような部分のみは、風化のスタート時から鉱物を異にし、風化生成物も他とちがっていることに注意を要する。なお、このような顕著な熱水変質を受けているところでは角閃石も分解が進んで図-13 a, 14 aに見るようにそのピークは消失する。勿論、斜長石のセリサイト化による分解も著しいことは申すまでもない。

図-16 a~d, 図-17 a~c, 図-18 a~hは B.P-3 に関するそれぞれ全岩X線回折図、水簸物のX線回折図および水簸物に各処理を施したもののX線回折図である。B.P-1 ほどには風化生成物としてのカオリンが深部において生成されないまでも、それに近い風化状態

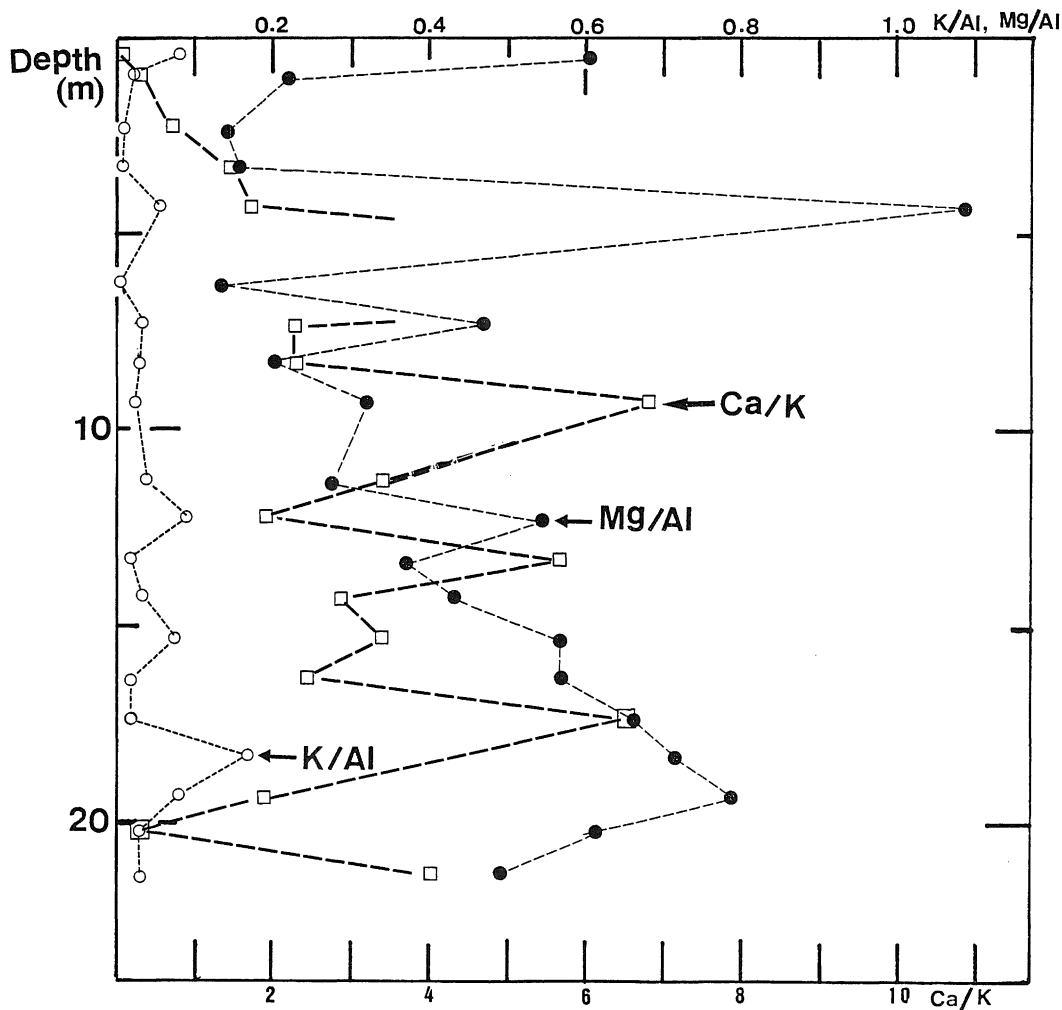


図-21 三隅 B.P-2 の黒雲母における K/Al, Mg/Al, Ca/K の変化 (原子数の比)

にある事を示している。角閃石は地表に近い1メートル附近まで見られる。一方、パーミキュライトは7メートル附近から上部で殆んど消失する。図-16dの23 (深度20.15~20.45メートル間) に見られるセリサイトのピークの出現するところでは角閃石のピークが消失し、図-9で示すように斜長石も減少する。しかし、図-18gに見られるようにパーミキュライトは明らかに膨潤型パーミキュライトであって、緑泥石化は受けていない。しかし、この部分で特に膨潤型パーミキュライトのピークが強く出るのは興味深い。

以上のとおり、三隅ボーリング地点において貫入試験をとおしての物性や化学的性格、鉱物変化などについて触れ、それらの間の関係などについて議論して来た。そ

の際にも述べたとおり、ボーリング試料中に含まれる黒雲母がすべてパーミキュライトに変化しており、この地点が黒雲母をしてパーミキュライトに変化せしめるような変質作用がもともと行われていたことを示し、そのような変質作用は濁沸石の細脈が貫くような過程で行われるであろうことの暗示も行った。図-19, 20は B.P-1 の黒雲母についての、また図-21, 22は B.P-2 の黒雲母に関するそれぞれ K/Al, Mg/Al, Ca/K, Mg/Si, Al/Si の変化を示したものであるが、これは前述したとおり、黒雲母の膨潤型パーミキュライト化したものの風化に伴う変化と称すべきものであろう。B.P-1 は B.P-2 のさらにより風化の進んでいるものであることはこれまでしばしば述べて来たところであるが、このこと

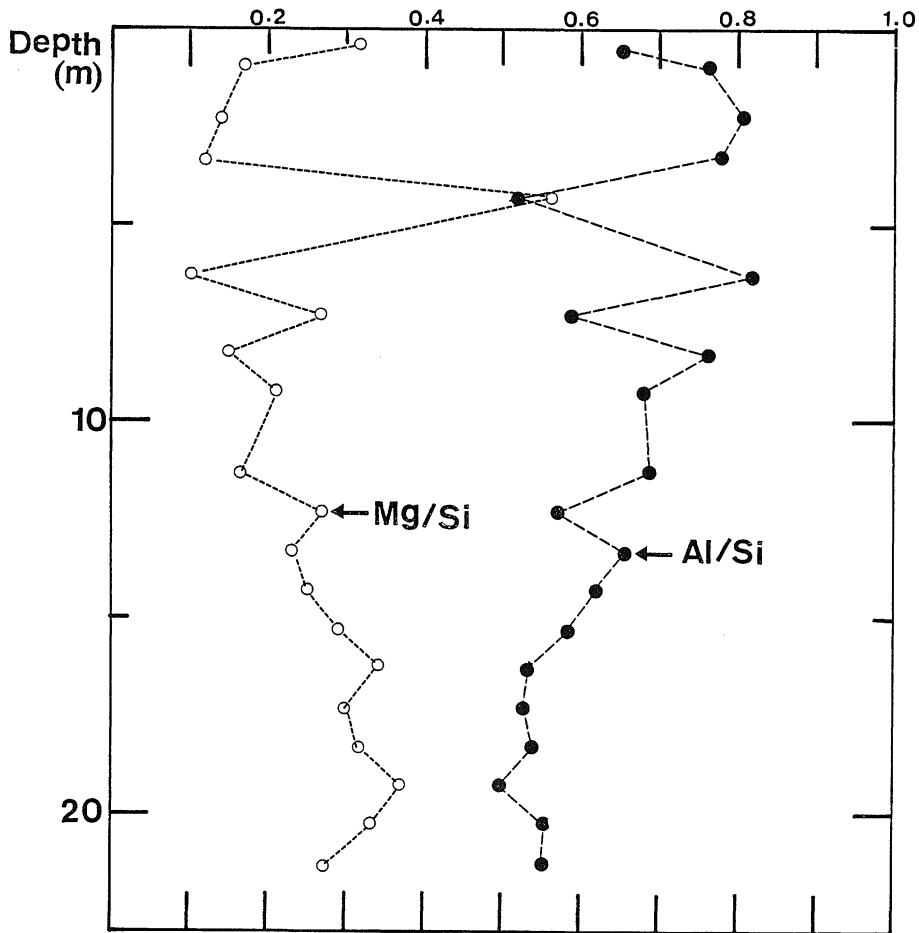


図-22 三隅 B.P-2 の黒雲母における Mg/Si, Al/Si の変化 (原子数の比)

は黒雲母におけるこれらの図でもよく示されている。まず K/Al にしても Mg/Al にしても深部からもととの黒雲母の値にくらべて極端に小さいのはそれがすでに膨潤型パーミキュライトになっている為であろう。図-20における Mg/Si, Al/Si と図-22における Mg/Si, Al/Si をくらべてみると図-20における Al/Si が深部からすでに 0.7 以上あることは、パーミキュライトが相当程度カオリナイトにすでに変じていること、また Mg/Si も 0.2 以下になっているのも同じような意味をもっている。それに対して図-22の Al/Si は 0.5 ぐらいを示すやや新鮮な膨潤型パーミキュライトの示す値からはじまって上部に向ってその値を徐々に増加してカオリナイト化する過程を、また Mg/Si については 0.4 程度から上部に向ってその値を徐々に減じてパーミキュライトが分解する様子をよく示していると云えよう。

このような黒雲母の変化の化学的特性も、風化の指標として大きい価値があることが以上の結果からも十分に認められよう。

ただ、ボーリング地点の黒雲母が最初から膨潤型パーミキュライトになっていたが、岩体全体をとおしてどこでも黒雲母がそのような変化をしているわけではない。この岩体の中で黒雲母として風化が進行する場合には黒雲母はパーミキュライトと混合層鉱物をつくることからはじまって上部に向ってそれが次第にカオリナイト化するのが普通である。そして混合層鉱物をつくるパーミキュライトは風化の進行と共にアルミニウムパーミキュライト型のものになる。図-24は表-1 に示す化学組成をもち、図-23の如く図示される露頭で採取したこの附近の岩石についての黒雲母の X 線回折図である。ボーリング試料には、このような変質状態のものはなかった

表一 三隅石英閃緑岩の風化に伴う化学成分変化

試料番号	新鮮岩 → 風化岩					
	75112402	75060405	75060401	75060403	75060404	75112401
SiO ₂	58.02	56.13	56.05	54.99	53.83	53.43
TiO ₂	0.90	0.92	0.93	0.87	0.67	1.02
Al ₂ O ₃	16.28	16.89	19.53	21.02	21.08	23.51
Fl ₂ O ₃	3.12	7.28	6.57	8.11	10.13	8.36
FeO	4.13	2.74	2.25	1.66	1.12	0.30
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
MgO	4.29	3.06	2.23	1.48	0.73	0.18
CaO	7.42	2.35	0.85	0.71	0.40	0.15
Na ₂ O	2.76	1.43	0.49	0.15	0.11	0.58
K ₂ O	1.17	0.90	1.77	1.23	1.54	0.35
H ₂ O(+)	1.22	6.06	7.19	8.25	8.53	10.29
H ₂ O(-)	0.43	2.08	1.75	1.62	2.18	2.41
P ₂ O ₅	0.14	0.09	0.01	0.00	0.09	0.09
Total	99.89	99.94	99.63	100.10	100.41	100.67
A. D. F.	100	36.65	23.78	14.59	10.24	3.91

か、この岩体の黒雲母には、ここであげるような変質状態を示すものがある。恐らく図-24の5で示すパタンのものと4, 3, 2, 1で示すパタンのものは、それぞれ別の変質過程で出来たものと考えられ、4から3, 2, 1への変化は、風化度に応じた変化と考えてよい。図-25 aは各処理を与えてその変化を見たものであるが、300℃加熱ではほぼ10Å 鉱物へ、またNH₄NO₃, KCl 処理でもより10Å 鉱物への反応がある。これは未処理で14.49Å 鉱物が、普通のパーミキュライトに近いものであり、また、12.81Å の鉱物は黒雲母とそのようなパーミキュライトの混合層鉱物であることがわかる。図-25 bの12.28Å 鉱物は黒雲母とパーミキュライトの混合層鉱物の(002)のピークで、300℃加熱でやや変化し、KCl 処理でも反応が見られるが簡単には10Å 鉱物へ移行しない。加熱では500℃でやっと10Å 鉱物へ変ずる。図-25 cの鉱物では同じ傾向があるがNH₄NO₃, KCl 反応は一層おこりにくくなっている。この図-25 b, cに見られる反応は黒雲母と混合層鉱物をつくるパーミキュライトが、よりアルミニウムパーミキュライトに近い性格をもつものであることがわかる。図-25 dの鉱物

における12.45Å の鉱物は600℃で10.05Å へ完全に移行するが300℃では11.79Å にと動きはにぶい。さらにNH₄NO₃やKCl 反応では変化がなく、クエン酸ソーダ処理後やっと少しの反応を見ることが出来る。これは、鉱物としてはアルミニウムパーミキュライトと黒雲母の混合層鉱物のやや典型的なものが見ることが出来、カオリナイトの7.21Å のピークもよく生成されている。A. D. F. の値が10以下になると、岩石自体の粘土化が著しく、赤色化も進行する。このようなものでは、パーミキュライトもいわゆるアルミニウムパーミキュライトに変ずるのは、ごく普通に見られることである。

以上のように、同じ岩体であっても部分的には風化を受ける以前において既にある種の変質を受けている場合がある。こうなると風化による生成物も異って来るので風化作用の研究は一層複雑なものとなって来る。

なお、三浦ら(1974)が鳥取県下の閃緑岩の風化で詳細な記述をしたものは風化以前にあまり変質作用を受けていない場合の例であろう。その場合に生成されるパーミキュライトは低荷電型のものでエチレングリコールに

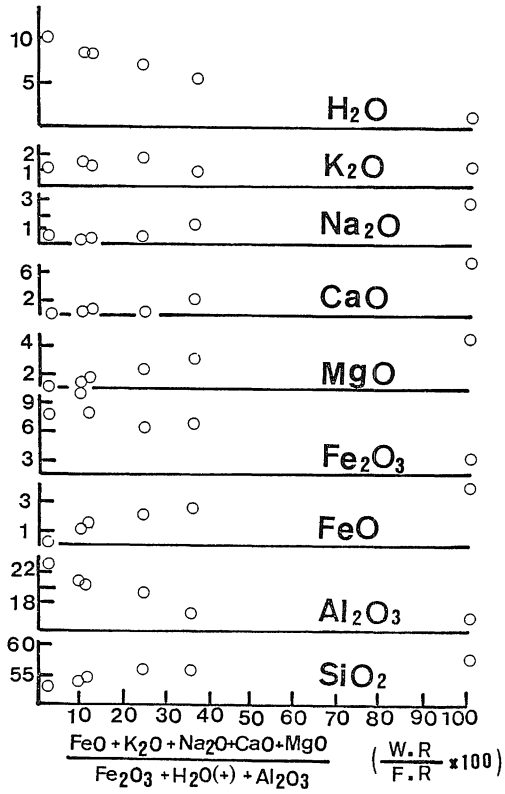


図-23 三隅 B.P 附近の露頭の試料から求められた A. D. F. (横軸) と各酸化物の変化

よって膨潤する。黒雲母との混合層を作る場合でもこのような型のパーミキュライトであって、200℃加熱でも変化を見せる。

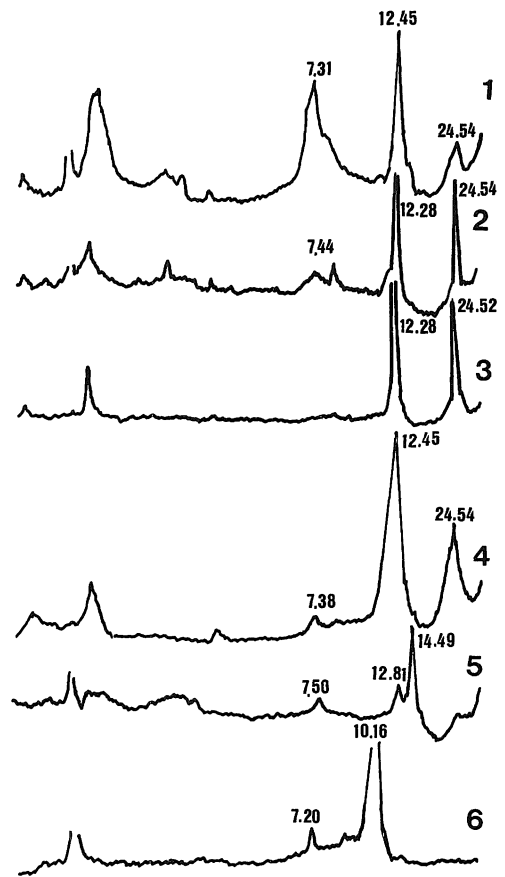


図-24 三隅石英閃緑岩の風化度と黒雲母の変化 (露頭採取試料)

- 1 : A. D. F. = 3.91 2 : A. D. F. = 10.24
- 3 : A. D. F. = 14.59 4 : A. D. F. = 23.78
- 5 : A. D. F. = 36.65 6 : A. D. F. = 100

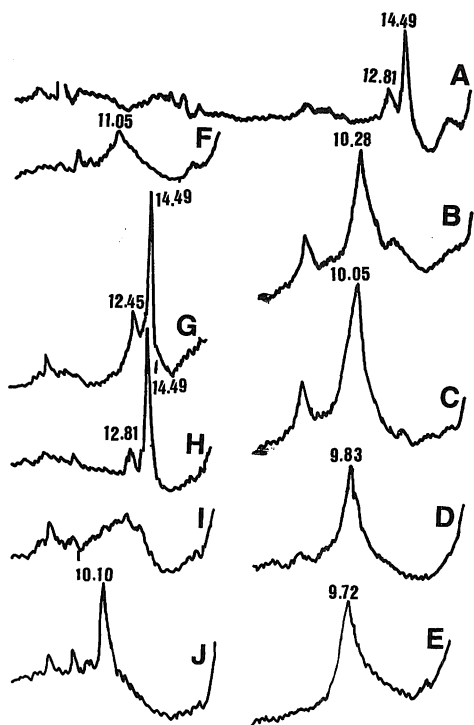


図-25 a A. D. F. = 36.65 の黒雲母の各処理反応

- A : 未処理
- B : 300°C 加熱
- C : 400°C 加熱
- D : 500°C 加熱
- E : 600°C 加熱
- F : NN_4NO_3 処理
- G : MgCl_2 処理 (36 h)
- H : クエン酸処理 (10 h) 後 MgCl_2 処理 (6 h)
- I : KCl (6 h) 処理
- J = クエン酸処理 (10 h) 後 KCl 処理 (6 h)

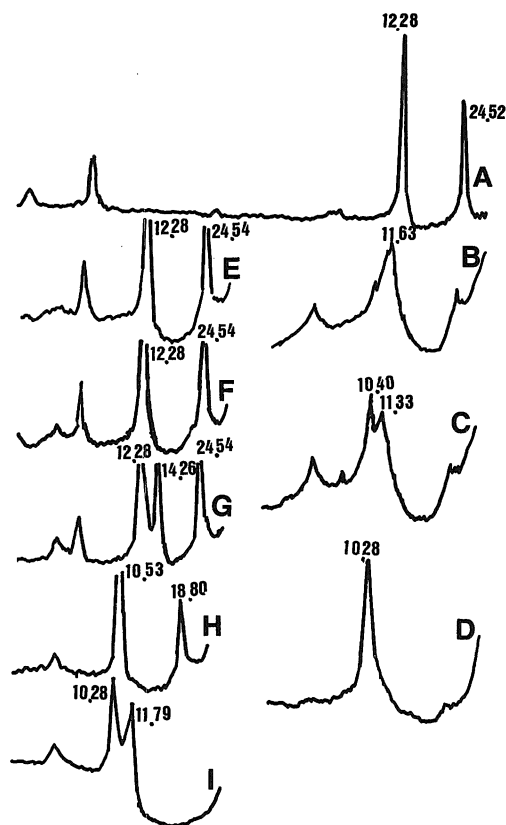


図-25 b A. D. F. = 14.59 の黒雲母の各処理反応

- A : 未処理
- B : 300°C 加熱
- C : 400°C 加熱
- D : 500°C 加熱
- E : NH_4NO_3 処理
- F : MgCl_2 処理 (36 h)
- G : クエン酸ソーダ処理 (10 h) 後 MgCl_2 処理 (6 h)
- H : KCl 処理 (6 h)
- I : クエン酸ソーダ処理 (10 h) 後 KCl 処理 (6 h)

4. 寺領の花崗閃緑岩の風化に関する立体構造

図-26に寺領で行ったボーリング地点を示す。前述したとおり、寺領の花崗閃緑岩は大東花崗閃緑岩と呼ばれ、いわゆるマサ状の風化帯を形成している事が多い。この寺領のボーリング地点では赤色風化帯を形成している花崗閃緑岩を火山灰がうすくおおっている。図-27はこのボーリングの際に行った標準貫入試験におけるN値とあわせて現場で測定した自然状態の密度を示したものである。N値は5.5メートル付近まで10以下、それから9.5メートル付近まで10~20の値を示し、13.5メートル

付近まで20~30、15.5メートル付近までさらに増加して40ぐらいとなり、16メートルで50を越すようになる。それから徐々に値を増して20メートル付近で70程度になる。ほぼ、5メートル付近から20メートル付近に向けて、その値の増加の仕方は直線的である。自然状態の密度も1.6付近から深さ15メートル付近で2.15となり、標準貫入試験値Nの増加と対応してほぼ比例的にその値を増す。

表-2はこのボーリング試料とあわせて大東花崗閃緑岩の化学分析値を示したものである。この分析値から

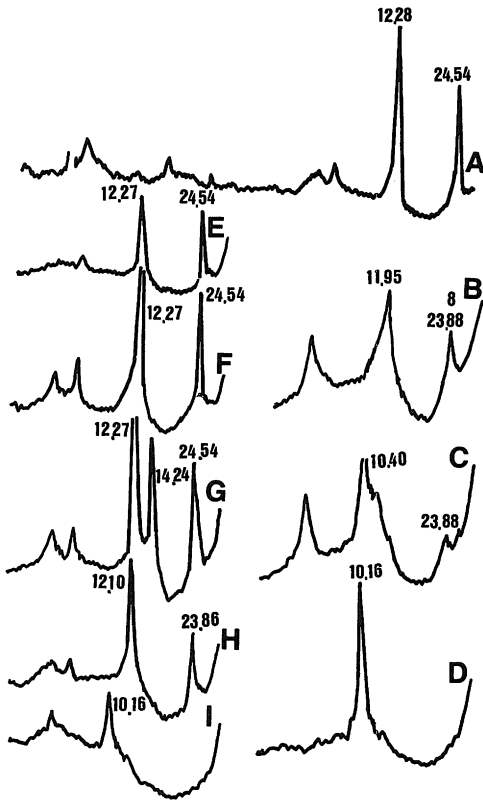


図-25 c A. D. F. = 10.24 の黒雲母の各処理反応

- A : 未処理
- B : 300°C 加熱
- C : 400°C 加熱
- D : 500°C 加熱
- E : NH_4NO_3 処理
- F : MgCl_2 処理 (36 h)
- G : クエン酸ソーダ処理 (10 h) 後 MgCl_2 処理 (6 h)
- H : KCl 処理 (6 h)
- I : クエン酸ソーダ処理 (10 h) 後 KCl 処理 (6 h)

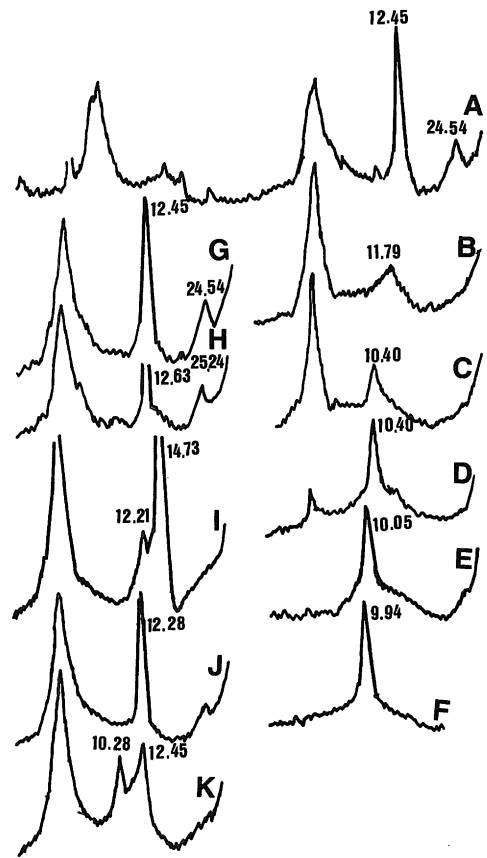


図-25 d A. D. F. = 3.91 の黒雲母の各処理反応

- A : 未処理
- B : 300°C 処理
- C : 400°C 処理
- C : 500°C 処理
- E : 600°C 処理
- F : 700°C 処理
- G : NH_4NO_3 処理
- H : MgCl_2 処理 (36 h)
- I : クエン酸ソーダ処理 (10 h) 後 MgCl_2 処理 (6 h)
- J : KCl 処理
- K : クエン酸ソーダ処理 (10 h) 後 KCl 処理 (6 h)

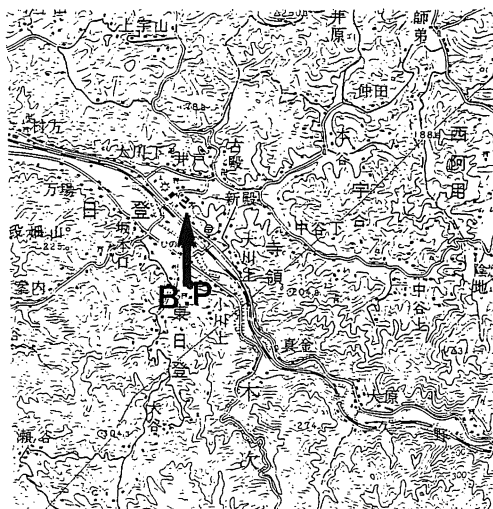


図-26 寺領 B.P. 地点

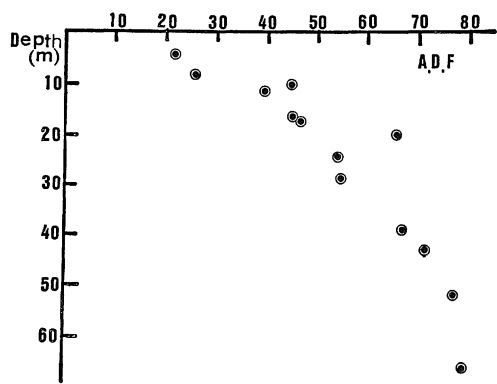


図-28 寺領ボーリング試料の深さによる A. D. F. 値の変化

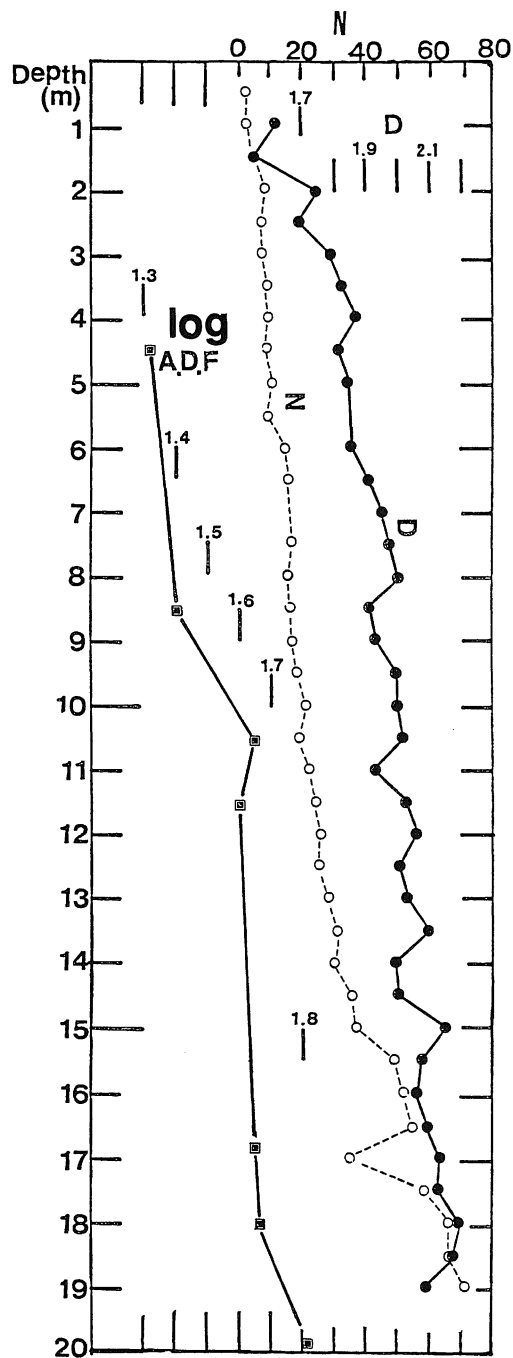


図-27 寺領ボーリング試料の標準貫入試験値 N, 自然状態密度 D, log (A. D. F.) と深さ (20 m 以浅) の関係

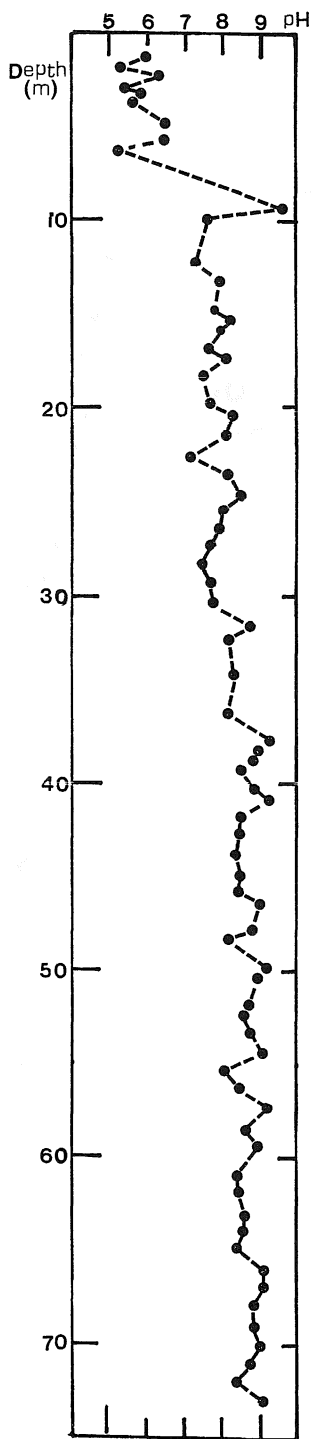


図-29 寺領のボーリング試料の
Abrasion pH

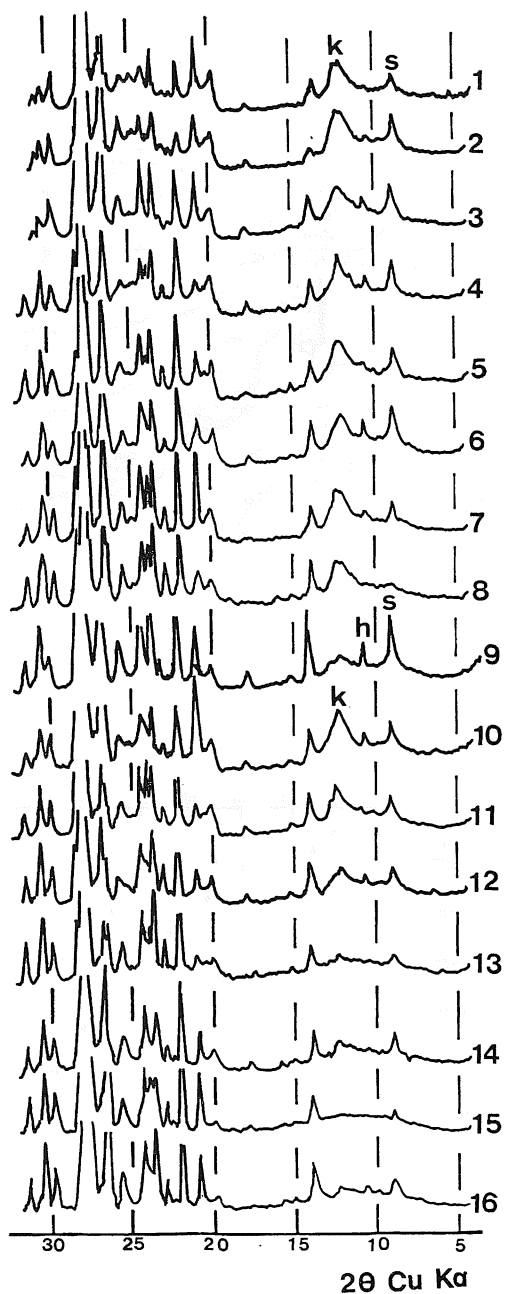


図-30 a 寺領ボーリング試料の斜長石の X 線回折図
(s: セリサイト, k: カオリン)
(h: 角閃石)

- | | | |
|-----------|------------|-----------|
| 1: 8.5m | 2: 9.0, m, | 3: 9.5m, |
| 4: 11.5, | 5: 12.0, | 6: 12.5, |
| 7: 13.0, | 8: 14.0, | 9: 14.5, |
| 10: 15.0, | 11: 16.0, | 12: 16.5, |
| 13: 18.0, | 14: 18.5, | 15: 19.5, |
| 16: 20.0 | | |

表-2a 大東花崗閃緑岩の化学組成

成 分	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	66.71	69.22	65.22	66.03	66.63	67.27	66.43
TiO ₂	0.48	0.51	0.55	0.38	0.40	0.14	0.24
Al ₂ O ₃	14.82	14.74	15.70	15.75	14.75	16.81	17.39
Fe ₂ O ₃	1.07	0.83	1.00	1.62	3.39	2.09	1.69
FeO	2.61	2.34	2.75	2.33	2.26	2.08	1.71
MnO	0.07	0.06	0.05	0.08	0.13	0.10	0.13
MgO	2.23	1.56	2.14	1.74	2.07	2.03	1.88
CaO	3.84	3.92	4.20	3.69	3.66	3.65	8.86
Na ₂ O	3.45	3.38	4.28	4.12	3.66	3.10	3.44
K ₂ O	2.59	2.80	2.53	2.42	2.13	2.46	2.00
P ₂ O ₅	0.08	0.13	0.10	0.20	0.14	0.10	0.08
H ₂ O(-)	0.36	0.13	0.20	0.37	0.22	0.23	0.37
H ₂ O(+)	1.73	0.35	0.65	1.29	1.12	0.39	0.30
Total	100.04	99.97	99.37	100.02	100.55	100.45	99.52
Q	24.16	27.52	18.01	21.65	26.28	28.40	26.21
C				0.05	0.15	2.71	2.84
Or	15.29	16.51	14.96	14.29	12.57	14.51	11.79
ab	29.19	28.61	36.21	34.85	30.97	26.20	29.08
an	17.29	16.76	16.12	17.18	17.07	17.29	18.38
Sal total	85.93	89.44	85.30	88.02	87.04	89.11	88.30
Wo	0.52	0.80	1.72				
en	5.58	3.87	5.31	4.32	5.13	5.03	4.66
fs	3.25	2.88	3.41	2.46	0.94	2.03	2.65
mt	1.55	1.21	1.46	2.34	4.92	3.04	2.06
hm							
il	0.91	0.97	1.05	0.73	0.76	0.26	0.46
ap	0.20	0.30	0.24	0.47	0.34	0.24	0.20
Fem total	11.96	10.03	13.19	10.32	12.09	10.60	10.03
Total	97.89	99.47	98.49	98.34	99.13	99.71	98.33

1 : 玉湯町玉造 2 : 木次町木次 3 : 大東町幡屋 4 : 大東町大東
 5 : 大東町遠所 6 : 加茂町東谷 7 : 三刀屋町粟谷

表-2b 寺領のボーリング試料の化学組成の垂直的变化

成分	4	8	10	11	16	17.5	20	23.7	28	38	42	51	65
	4.5	8.5	10.5	11.5	16.5	18	20.5	25	29	38.5	42.5	51.5	65.5
SiO ₂	60.41	63.37	67.02	64.70	66.00	66.21	67.21	66.78	67.20	67.46	67.02	67.94	69.87
TiO ₂	0.74	0.61	0.67	0.51	0.60	0.60	0.54	0.44	0.49	0.61	0.60	0.44	0.29
Al ₂ O ₃	19.93	17.38	11.38	13.06	15.30	04.98	14.16	14.26	14.23	13.64	14.17	13.92	14.80
Fe ₂ O ₃	4.47	4.74	7.85	7.19	4.10	4.21	3.96	4.74	4.36	4.17	3.78	3.68	2.15
FeO	0.74	0.80	1.06	1.11	0.86	1.24	1.00	1.10	0.90	1.13	1.15	1.15	0.96
MnO	0.05	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03
MgO	1.07	1.18	1.56	1.59	1.49	1.27	1.50	1.36	1.51	1.52	1.58	1.55	0.85
CaO	0.50	0.71	2.07	1.13	1.33	1.49	3.05	1.67	2.18	2.44	2.99	3.59	3.48
Na ₂ O	0.58	0.68	1.12	1.15	1.00	1.71	3.24	2.89	2.57	3.20	3.12	3.22	3.71
K ₂ O	2.49	2.27	2.58	2.71	2.42	2.80	2.15	2.21	1.86	2.13	2.04	1.89	2.00
H ₂ O(-)	6.77	5.41	4.06	4.16	4.19	3.64	2.77	2.48	2.11	1.55	1.20	0.91	0.51
H ₂ O(+)	2.69	2.16	1.32	1.92	1.66	1.65	1.30	1.38	1.61	1.35	1.29	0.83	0.46
P ₂ O ₅	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.10	0.07	0.09	0.08	0.05
Total	100.47	99.35	100.73	99.31	99.04	99.86	100.97	99.39	99.11	99.30	99.09	99.22	99.26
A. D. F.	21.5	25.43	44.57	39.14	44.48	46.18	64.89	53.33	53.96	66.63	70.53	76.16	77.99
N 値	9	16	19	24	53	66							

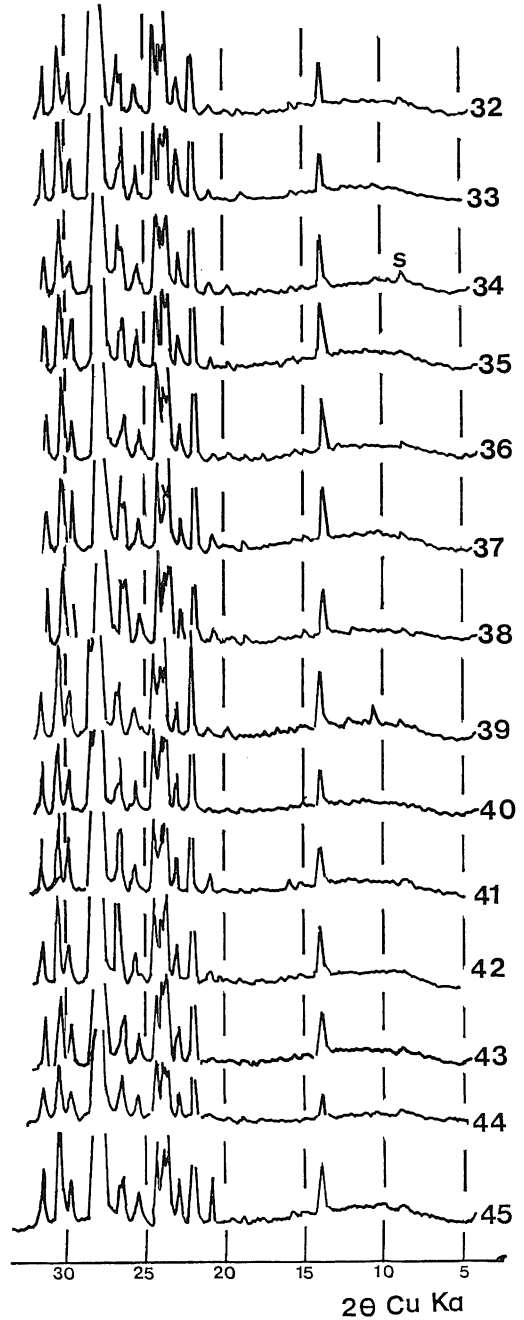
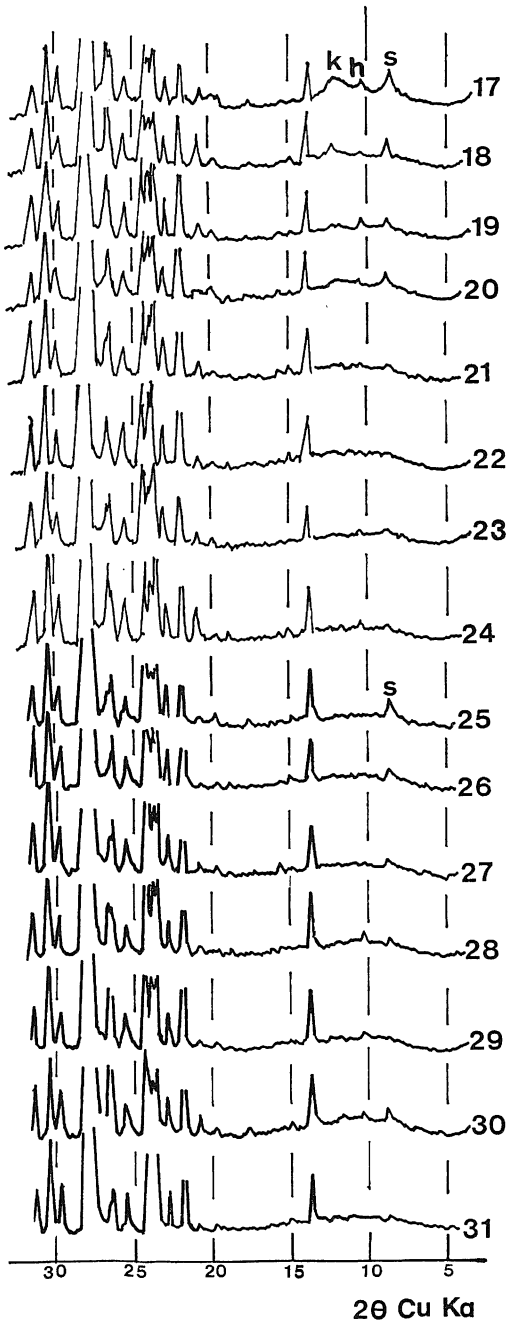


図-30 b 寺領ボーリング試料の斜長石の X 線回折図

17 : 21.5, ^m	18 : 22.5, ^m	19 : 23.3, ^m
20 : 24.1,	21 : 24.7,	22 : 25.8,
23 : 26.5,	24 : 27.2,	25 : 28.1,
26 : 29.4,	27 : 29.7,	28 : 30.0,
29 : 31.0,	30 : 32.0,	31 : 33.0

図-30 c 寺領ボーリング試料の斜長石の X 線回折図

32 : 34.0, ^m	33 : 36.0, ^m	34 : 37.0, ^m
35 : 39.0,	36 : 40.0,	37 : 41.0,
38 : 42.0,	39 : 43.0,	40 : 45.0,
41 : 46.0,	42 : 48.0,	43 : 49.5,
44 : 50.0,	45 : 50.5	

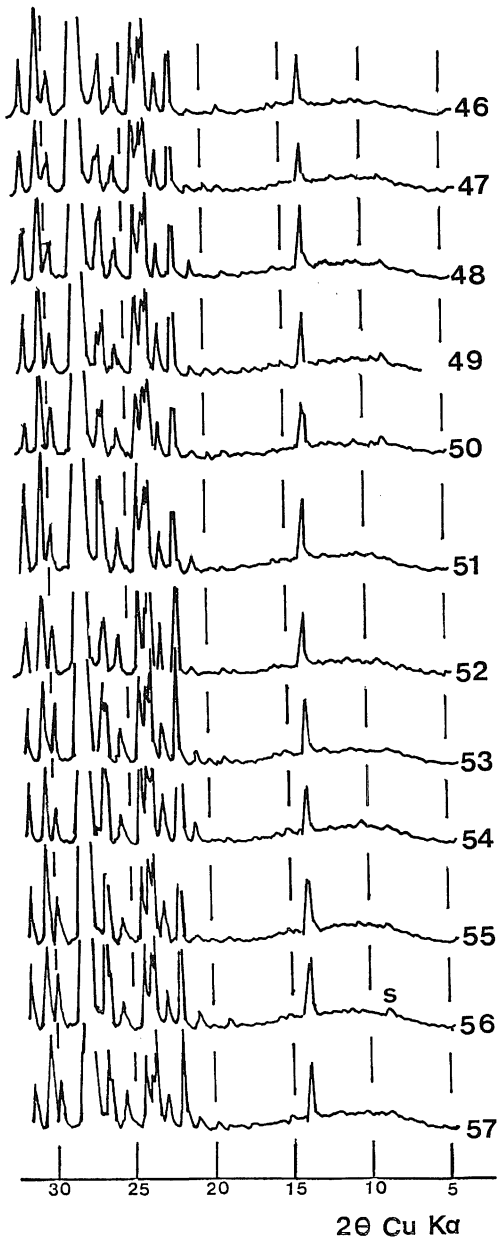


図-30 d 寺領ボーリング試料の斜長石の X 線回折図

m		m		m	
46 : 52.0,	47 : 54.0,	48 : 54.5,			
49 : 55.1,	50 : 56.25,	51 : 57.4,			
52 : 58.1,	53 : 59.2,	54 : 59.6,			
55 : 60.7,	56 : 61.6,	57 : 62.7			

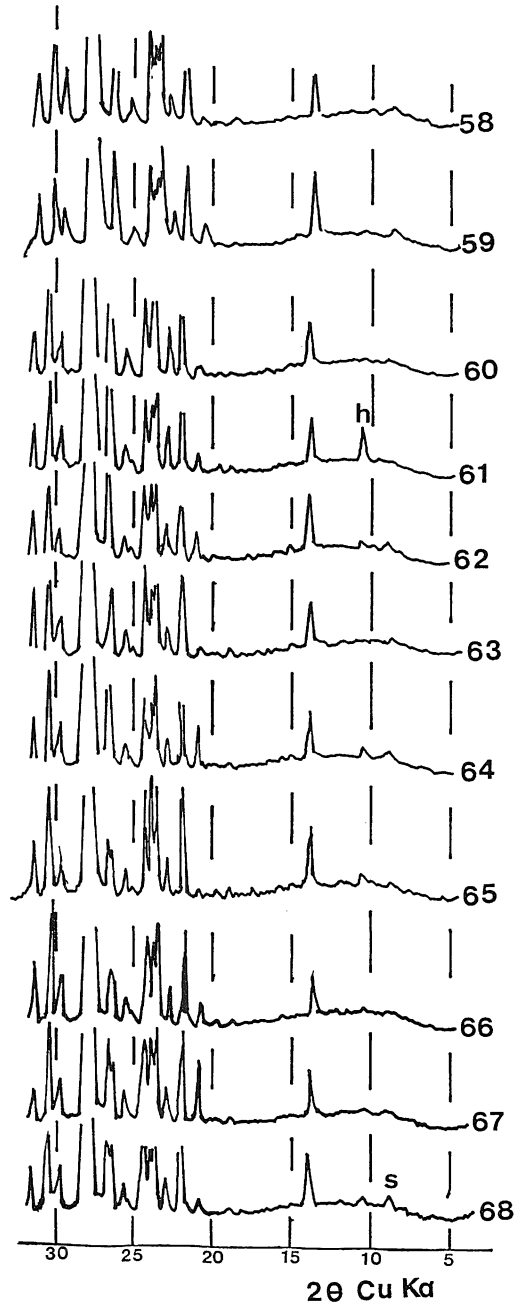


図-30 e 寺領ボーリング試料の斜長石の X 線回折図

m		m		m	
58 : 63.7,	59 : 64.7,	60 : 65.7,			
61 : 66.3,	62 : 67.3,	63 : 68.3,			
64 : 68.7,	65 : 69.65,	66 : 70.3,			
67 : 71.4,	68 : 72.6				

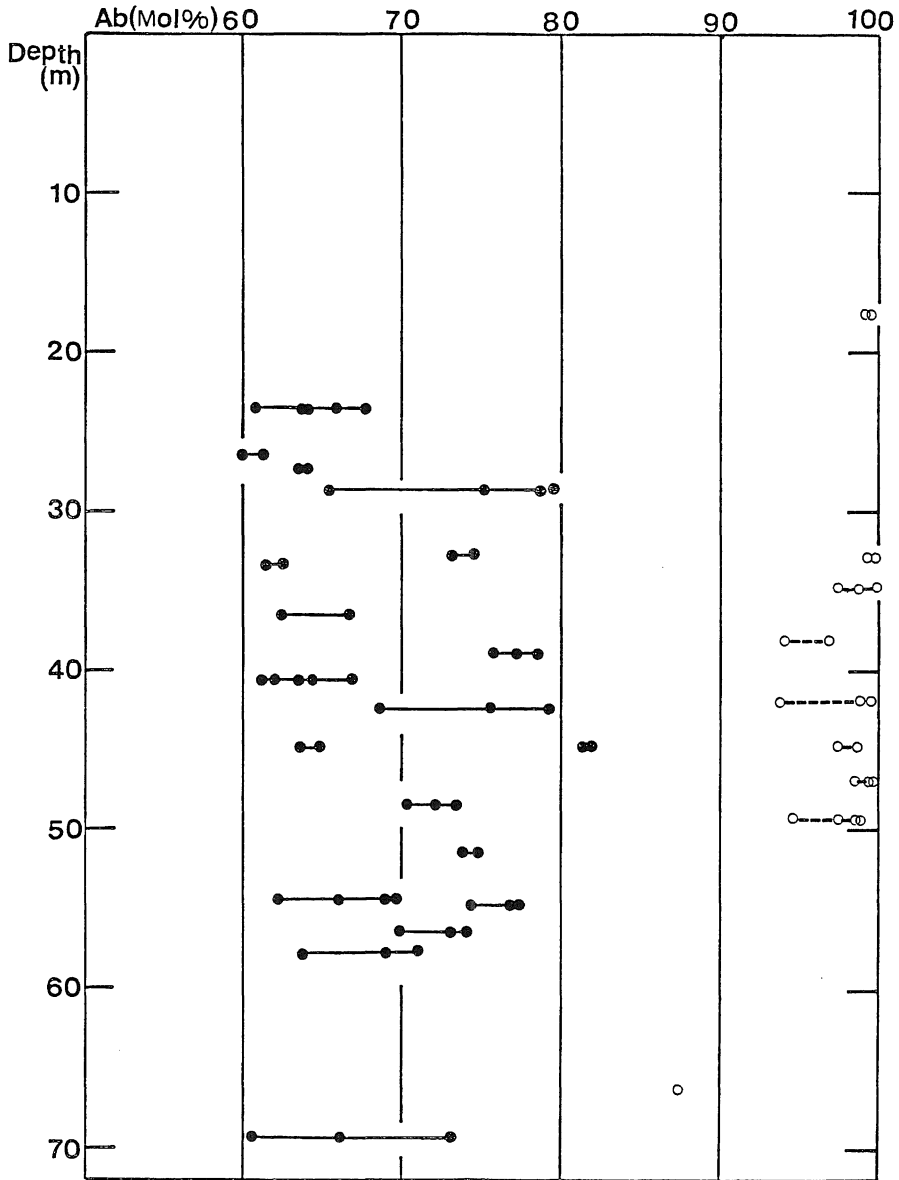


図-31 ボーリング試料に見られる斜長石の曹長石化と濁石脈の関係
 黒丸は濁沸石脈からはなれた位置にある斜長石。
 白丸は濁沸石脈に沿っている位置の斜長石

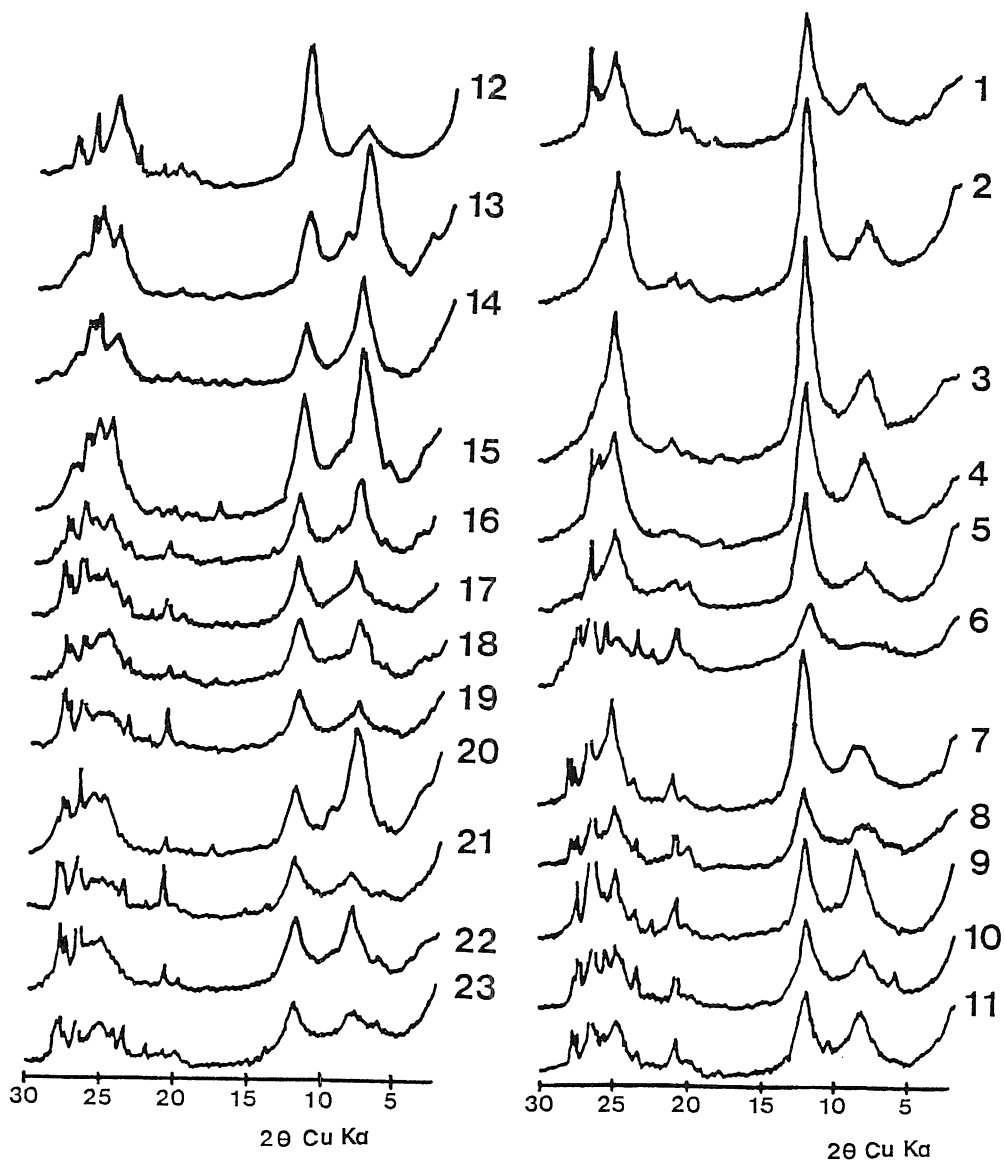


図-32 a 寺領ボーリング試料の黒雲母

1: 2.50~3.00,	2: 3.00~3.50,	3: 3.50~4.00,	4: 4.50~5.00,
5: 5.50~6.00,	6: 6.00~6.50,	7: 6.50~7.00,	8: 7.00~7.50,
9: 7.50~8.00,	10: 8.00~8.50,	11: 8.50~9.00,	12: 9.00~9.50,
13: 9.50~10.00,	14: 10.50~11.00,	15: 11.50~12.00,	16: 12.00~12.50,
17: 12.50~13.00,	18: 13.00~13.50,	19: 13.50~14.00,	20: 14.00~14.50,
21: 14.50~15.00,	22: 15.00~15.50,	23: 15.00~16.00	

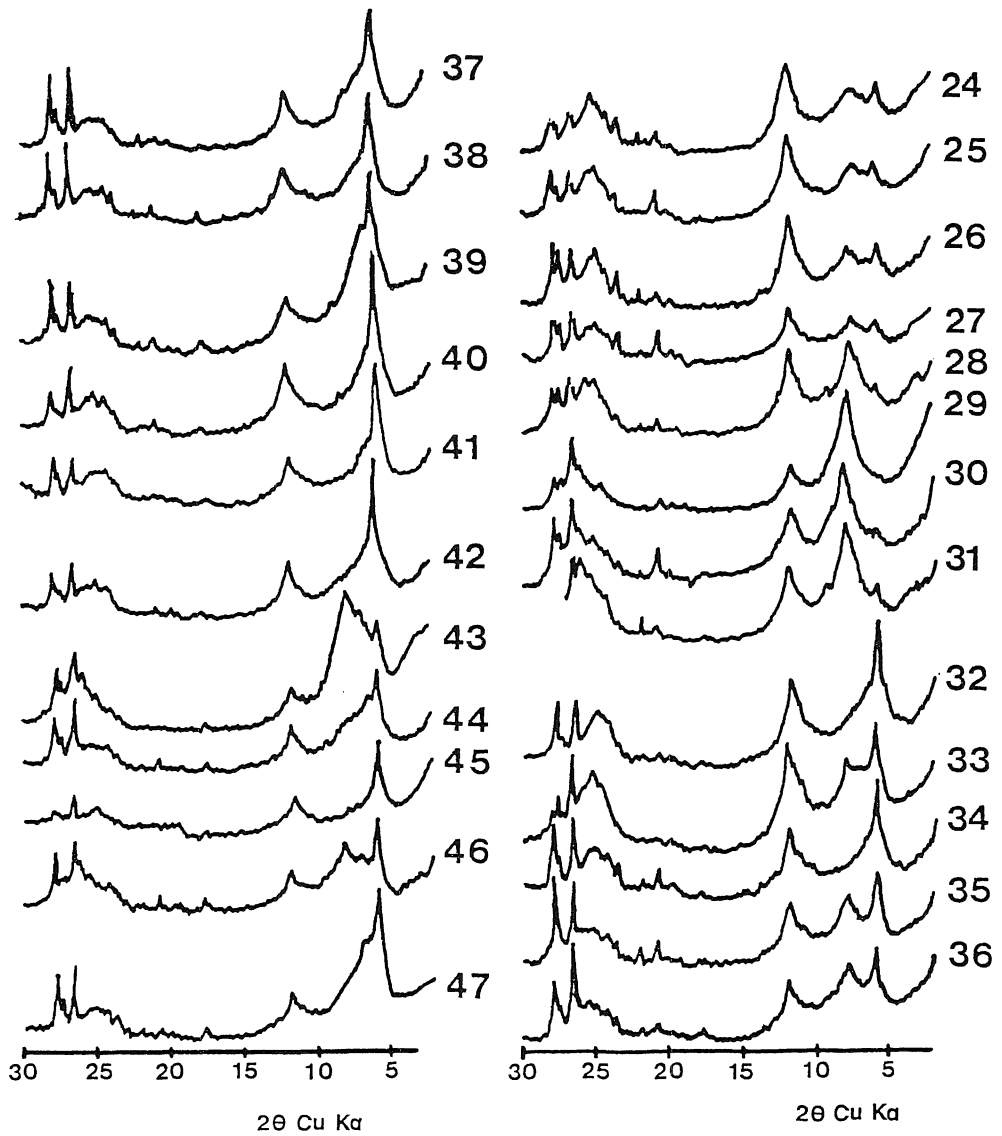
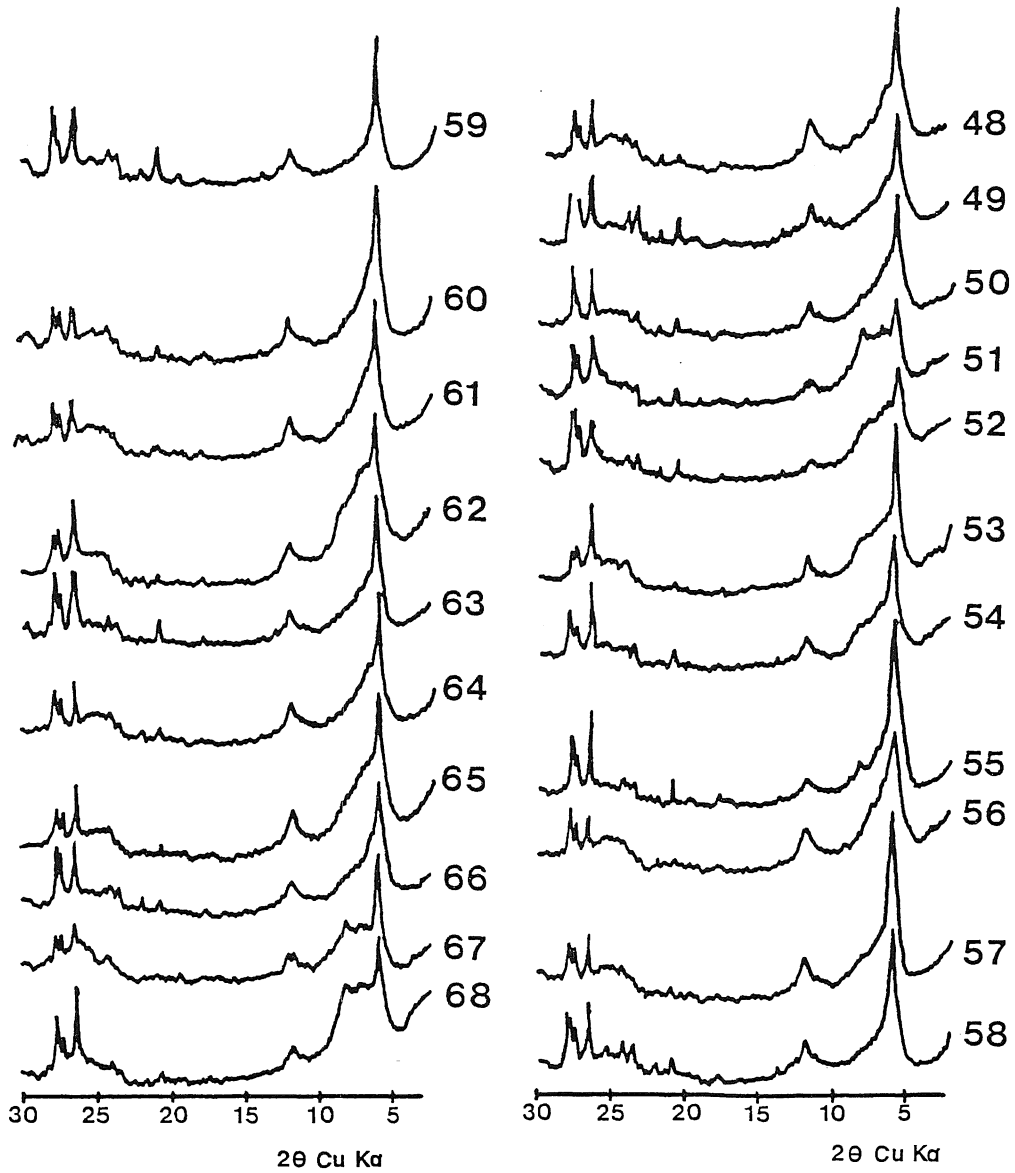


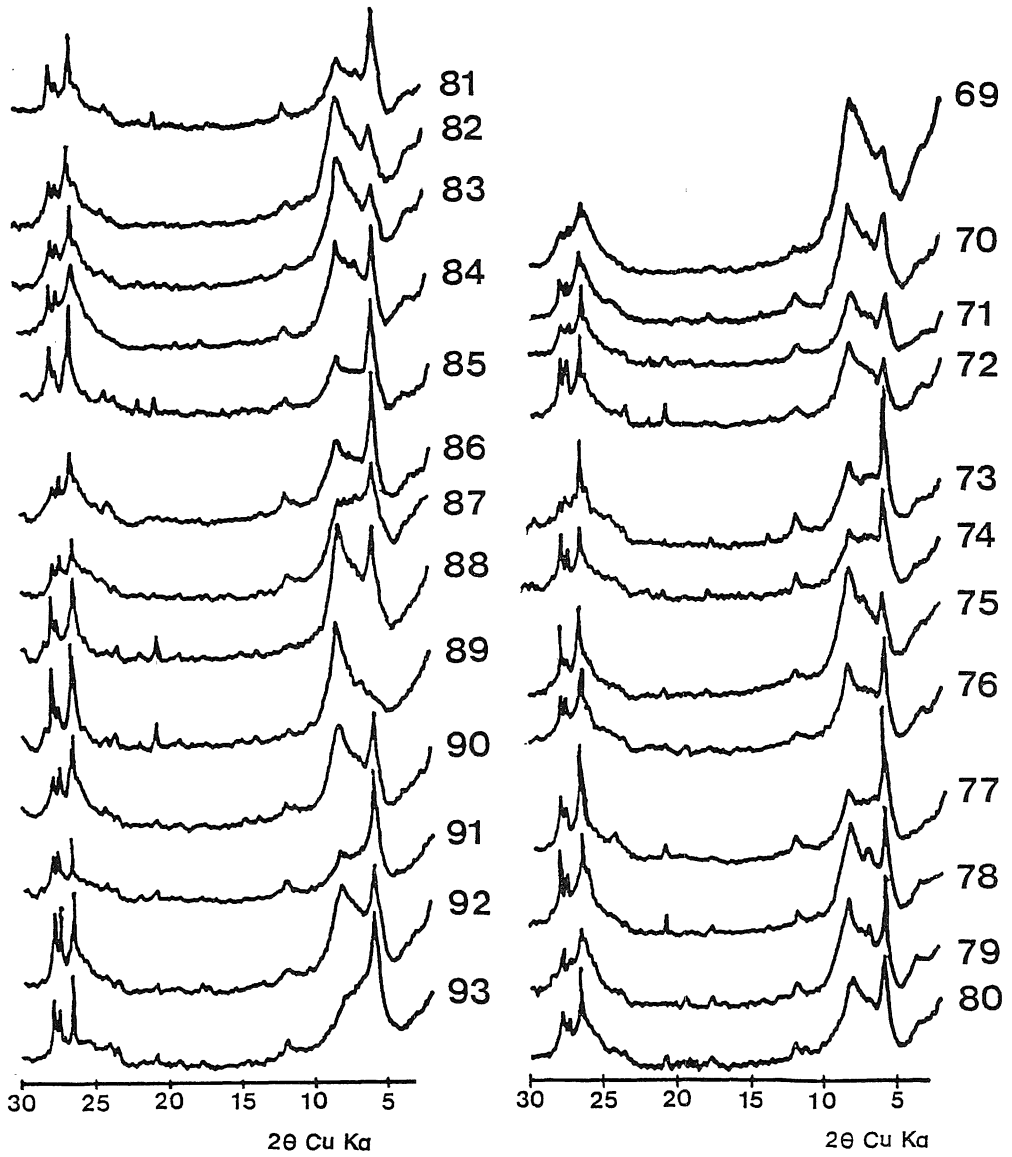
図-32 b 寺領ボーリング試料の黒雲母

24 : 16.00~16.50,	25 : 16.50~17.00,	26 : 17.00~17.50,	27 : 17.50~18.00,
28 : 18.00~18.50,	29 : 18.50~19.00,	30 : 19.50~20.00,	31 : 21.00~22.00,
32 : 22.00~23.00,	33 : 23.00~23.70,	34 : 24.10~25.00,	35 : 25.00~26.00,
36 : 26.00~27.00,	37 : 28.00~29.00,	38 : 29.00~29.50,	39 : 29.50~30.00,
40 : 30.50~31.00,	41 : 32.00~32.50,	42 : 32.50~33.00,	43 : 33.00~33.50,
44 : 34.00~34.50,	45 : 35.00~35.50,	46 : 36.00~36.50,	47 : 37.50~38.00



図—32 c 寺領ボーリング試料の黒雲母

48 : 38.50~39.00,	49 : 39.00~39.50,	50 : 39.50~40.00,	51 : 40.50~41.00,
52 : 41.00~41.50,	53 : 41.50~42.00,	54 : 42.00~42.50,	55 : 42.50~43.00,
56 : 44.50~45.00,	57 : 45.00~45.50,	58 : 45.50~46.00,	59 : 46.00~46.50,
60 : 46.50~47.00,	61 : 47.50~48.00,	62 : 48.00~48.50,	63 : 48.50~49.00,
64 : 49.00~49.50,	65 : 49.50~50.00,	66 : 50.00~50.50,	67 : 51.00~51.50,
68 : 51.50~52.00,			



図—32 d 寺領ボーリング試料の黒雲母

69 : 52.00~52.50,	70 : 52.50~53.00,	71 : 53.00~53.50,	72 : 53.50~54.00,
73 : 54.00~54.50,	74 : 54.50~55.00,	75 : 55.00~55.50,	76 : 55.50~56.00,
77 : 56.00~56.50,	78 : 56.50~57.00,	79 : 55.70~58.00,	80 : 58.00~58.50,
81 : 59.00~59.50,	82 : 59.50~60.00,	83 : 60.00~60.50,	84 : 61.00~61.50,
85 : 61.50~62.00,	86 : 63.00~63.50,	87 : 64.00~64.50,	88 : 65.00~65.50,
89 : 65.50~66.00,	90 : 66.00~66.50,	91 : 66.50~67.00,	92 : 67.00~67.50,
93 : 67.50~68.00			

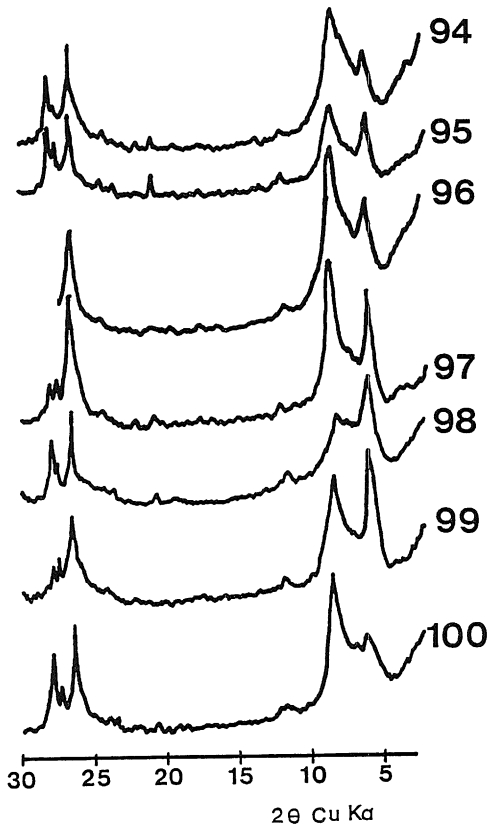


図-32 e 寺領ボーリング試料の黒雲母

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 94 : 68.00~68.50, | 95 : 68.50~69.00, |
| 96 : 69.00~69.50, | 97 : 70.00~70.50, |
| 98 : 70.50~71.00, | 99 : 71.00~71.50, |
| 100 : 72.00~72.50 | |

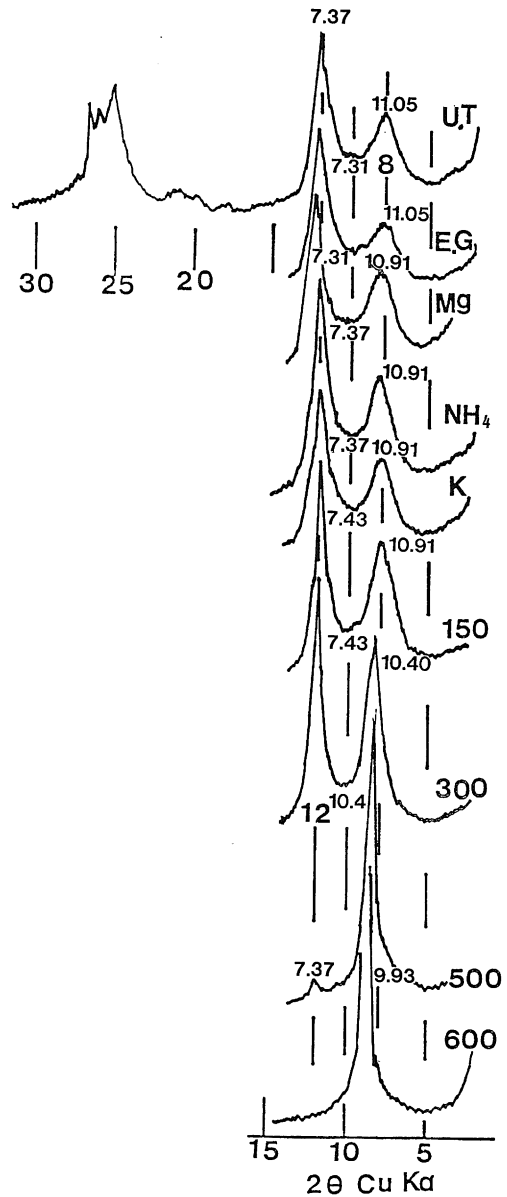


図-33 a 寺領ボーリング試料 4.5~5 m の黒雲母の各処理後の X 線回折図

- U. T : 無処理
- E. G : エチレングリコール処理
- Mg : MgCl₂ 処理
- NH₄ : NH₄Cl 処理
- K : KCl 処理
- 150 : 150°C 加熱処理
- 300 : 300°C 加熱処理
- 500 : 500°C 加熱処理
- 600 : 600°C 加熱処理

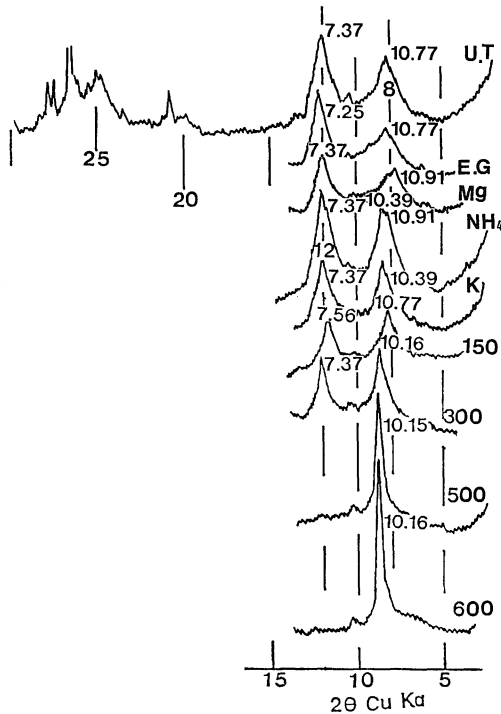


図-33 b 寺領ボーリング試料 8.5~9 m の黒雲母

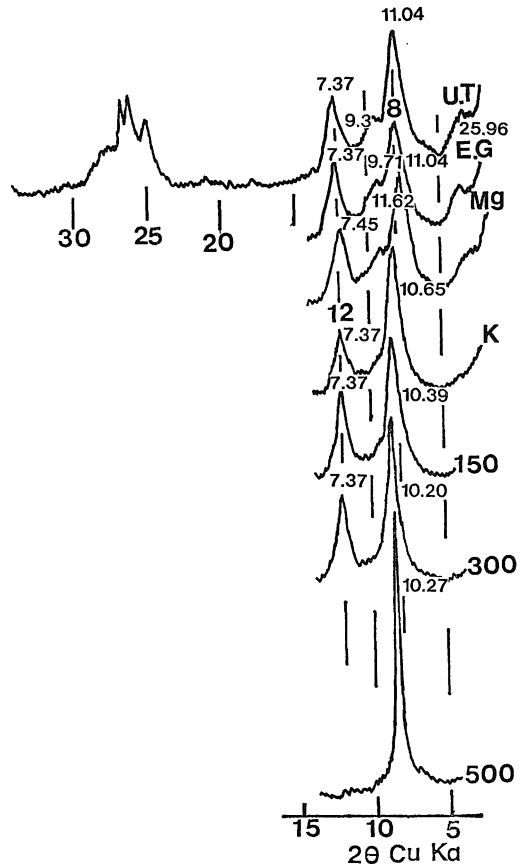


図-33 c 寺領ボーリング試料 9.5~10 m の黒雲母

A, D, F 値を算出し、深さとの関係を図示したものが図-28である。また、図-29がボーリング試料についての Abrasion pH 値である。このように標準貫入試験値N, 自然状態密度D(≒湿潤密度) A, D, F, 値, Abrasion pH 値のすべてはお互いに調和しており、風化が比較的上部のところで急に進行していることをよく示している。

図-30 a から同図 e まではこの試料の斜長石に関する X線回折図である。この図にあげていない最上部の方は斜長石の風化が激しくて実験試料のとれない部分である。標準貫入試験値の10ぐらい以下のところまでに相当し、そのような部分は Abrasion pH もまた6前後ぐらいの値を示す。斜長石の X線回折図でカオリンがピークとしてや、明瞭に認められるのはN値が40前後ぐらいのところまでのようである。深さが20メートルを過ぎると殆んど斜長石からカオリンのピークが認められなくなる。ただ深さと無関係に時々セリサイトのピークが出てくる。深さ20メートル以深でN値は殆んど70以上を示すが、この岩石に石英が多いこともあるが、このように斜長石の粘土化が進んでいないことの方が大きく関係して

いるように見える。しかしながら、地表下70メートル以深にあって岩芯状をなして採取出来る状態の試料はなく、見掛けの上ではマサ状化した試料である。この原因として極めて重要な意味をもつものが濁沸石脈が各深度において著しく見られること、それに伴って顕著な現象として斜長石やカリ長石に曹長石化作用が行われていることがあげられよう。いわゆる深層風化作用の最大の原因となるものは実にこの現象である。図-31にこの様子を示す。災害を誘発することで有名な神戸の布引花崗閃緑岩など、この大東花崗閃緑岩の例の如く斜面崩壊をよく発生するような花崗閃緑岩には実にこのタイプのものが多いのである。濁沸石脈の細脈が斜長石やカリ長石に著しい曹長石化を与える中で、斜長石は完全に曹長石に変化することも珍らしいことではない。その一方で黒雲母は著しくパーミキュライト化を受ける。しかもそのパーミキュライトはいわゆる低荷電型の膨潤型パーミキュ

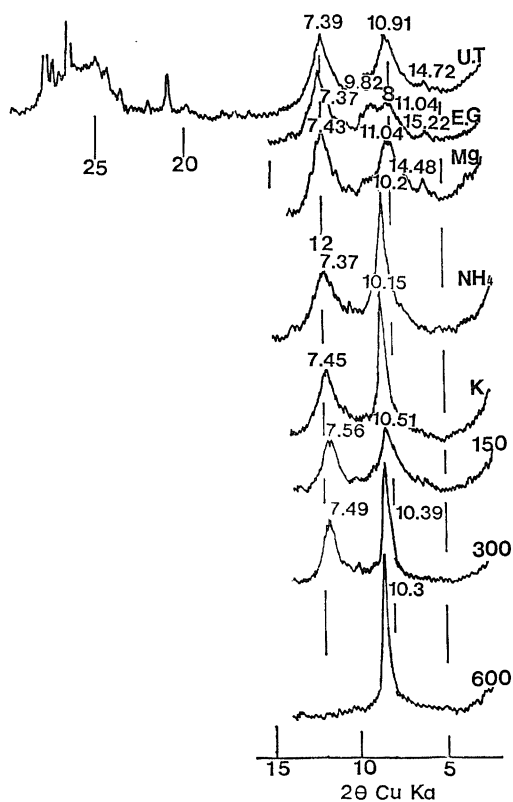


図-33 d 寺領ボーリング試料 12.5~13 m の黒雲母

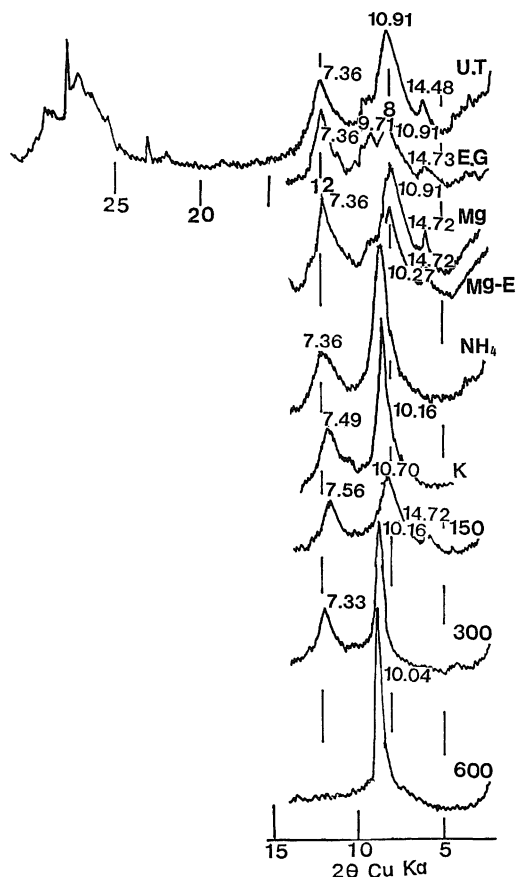


図-33 e 寺領ボーリング試料 21~22 m 黒雲母
Mg-E : $MgCl_2$ 処理後さらに E.G 処理

ライトに限られ、X線回折図で特異なパターンをとる。そのような場合、他のパターンをとる黒雲母のX線回折図に見られる12度附近のカオリナイトのピークも、特にその深度附近で強いピークを与えている。図-32 aから同図 eまで、深度との関係を考慮に入れながら黒雲母のX線回折図があげてある。この図の中で図-32 bでは試料番号32, 34, 37~42, 44, 「45, 「47が、図-32 cでは51, 67, 68を除くすべてが、図-32 dでは91, 93がそれに相当する。さらに回折図の中でそれぞれの型に分類し、いろいろの処理を与えて検討したものが図-33である。この中で同図の f, i, j図がこのようなパターンを示すものについて詳細に検討したものである。いずれも6度附近に強いピークを有し、その値はほぼ $14.7 \text{ \AA} \sim 15 \text{ \AA}$ 程度で E.G 処理で $15.5 \text{ \AA} \sim 16 \text{ \AA}$ に移行する。 $MgCl_2$ 処理で 14.72 \AA とや、一定の値を示し、これに E.G 処理を加えてもほとんど変化しない。 KCl , NH_4NO_3 処理

で 10 \AA に近い値をとり、 $150^\circ C$ 加熱ですでに反応して多くの場合二つのピークに分離する。その一つがより 10 \AA に近く、他がもとの 14 \AA に近いままの値が残る。 $300^\circ C$ 加熱では殆んど 10 \AA となる。このような反応を示すものは低荷電型のいわゆる膨潤型パーミキュライトである。なお、12度附近の 7.5 \AA 前後の値をとるものはカオリナイトである。

また、図-33 g, l, m, nは、このようなパーミキュライトのピークは強いが、しかし、これに加えて鮮明に 11 \AA あたりのピークが見られる型である。これは黒雲母に対して、このようなパーミキュライトが混合層鉱物として入っている黒雲母パーミキュライト混合層鉱物であろう。 7 \AA 鉱物はカオリナイトである。これらの図に示されるものは、多分に濁沸石脈の影響を受けた黒雲母が混入していると考えられる。

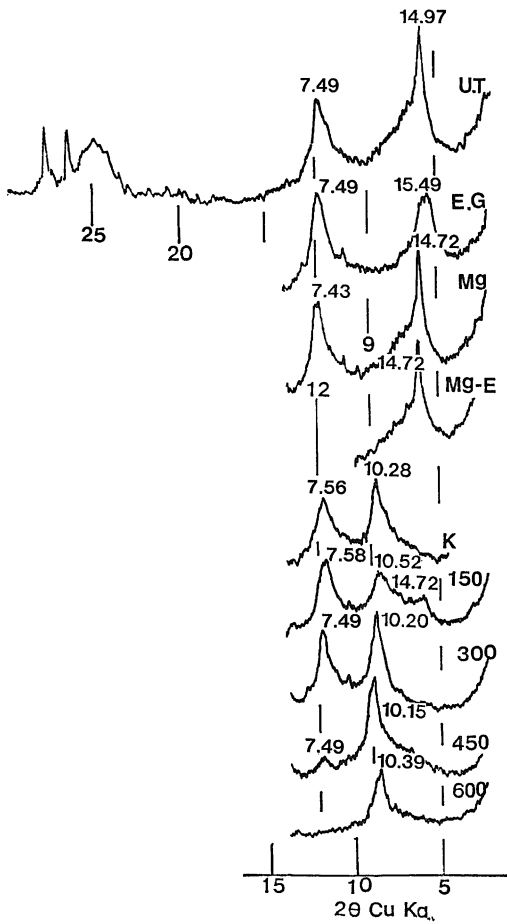


図-33 f 寺領ボーリング試料 22~23 m の
黒雲母
450 : 450°C 処理

図-33 e, h, k は 11Å 附近のピークが特に強いタイプのもので、これは黒雲母とパーミキュライトの混合層鉱物である。勿論、パーミキュライトのピークも見ることが出来る。この種のものは濁沸石脈の影響を受けていないか、僅かに受けているにすぎないものであろう。恐らく本来の風化によって生成される部分が多いと考えている。図-33 a, b, c, d に示すようなパタンのもは、このボーリング試料の中で最も風化の進んでいるようなもののパタンである。もとのものは、沸石脈の影響をあまり受けていないものであろうと思われる。なかでも 11Å 附近のピークは黒雲母とパーミキュライトの混合層鉱物であるが、この(001)のピークは殆んどあらわれないか微弱である。このパタンを示すものでも図-33 d のものでは E. G, NH₄, K, 処理ですでに反応を示し、

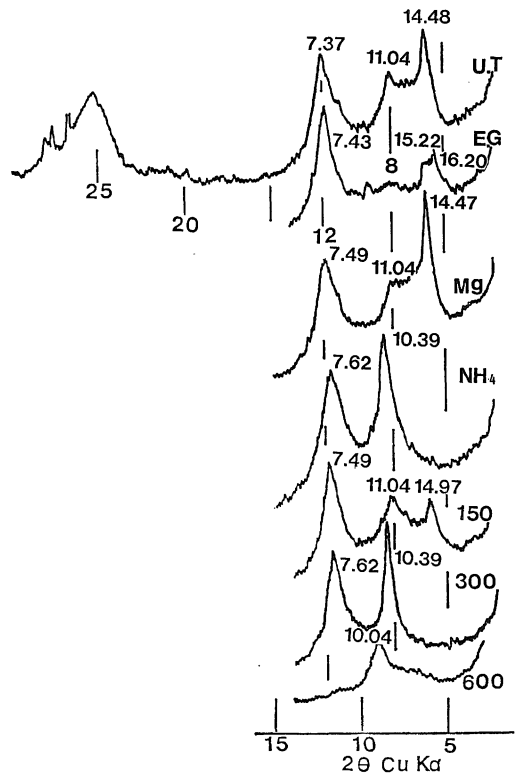


図-33 g 寺領ボーリング試料 23~23.7 m の黒雲母

図-33 c から順次鈍くなり、より地表に近い図-33 a では NH₄, K 処理で殆んど反応せず、300°C 加熱で次第に動きはじめ600°C 加熱でやっと 10Å に移行する。これはより上位に向って混合層をつくる膨潤型パーミキュライトがアルミニウムパーミキュライトに変化するためであろうと思われる。

以上、黒雲母のX線回折図をとおして述べたとおり、ここの花崗閃緑岩においては、いわゆる風化変質作用を受ける前に、このことは花崗閃緑岩の固化後の特別な熱水変質作用の一種であろうが、著しく濁沸石脈に貫かれるような過程があった。それをとおして黒雲母と斜長石に顕著な変化があった。そのような変化を強く受けた部分とそうでない部分は風化作用の初期の段階から別の状態にあったわけで、その差が大きく風化生成物に影響したと考えられる。なお、野外では東沸石脈も稀れにはある。

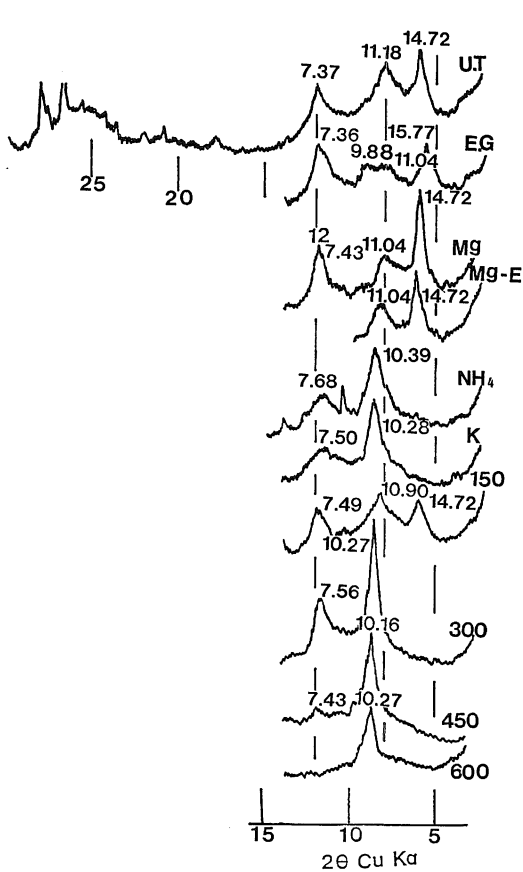


図-33 h 寺領ボーリング試料 26~27 m の黒雲母

図-34はボーリング試料の黒雲母の300℃加熱処理後の7Å附近のピークの高さ(K)と10Å附近のピークの高さ(B)の比をとって深さとの関係において図化したものである。300℃加熱処理でパーミキュライトや混合層鉱物はすべて10Å近くの一つのピークに表現されることはこれまでの実験資料に見るとおりである。7Å附近のピークはカオリナイトを主とするものである。B/Kの値は濁沸石の集中している場所で黒雲母が膨潤型パーミキュライトに殆んど完全に变化しているようなもので特に小さい値をとる傾向が強く出ており、そのようなものではカオリナイトのピークもその周辺の別のタイプのものよりも強く出ている。この図は濁沸石脈の影響が如何にかかわっているかと云う点も同時に表現されている。

図-35, 図-36, 図-37は黒雲母の化学分析値から作成した図である。これらが図-34との関係について検討

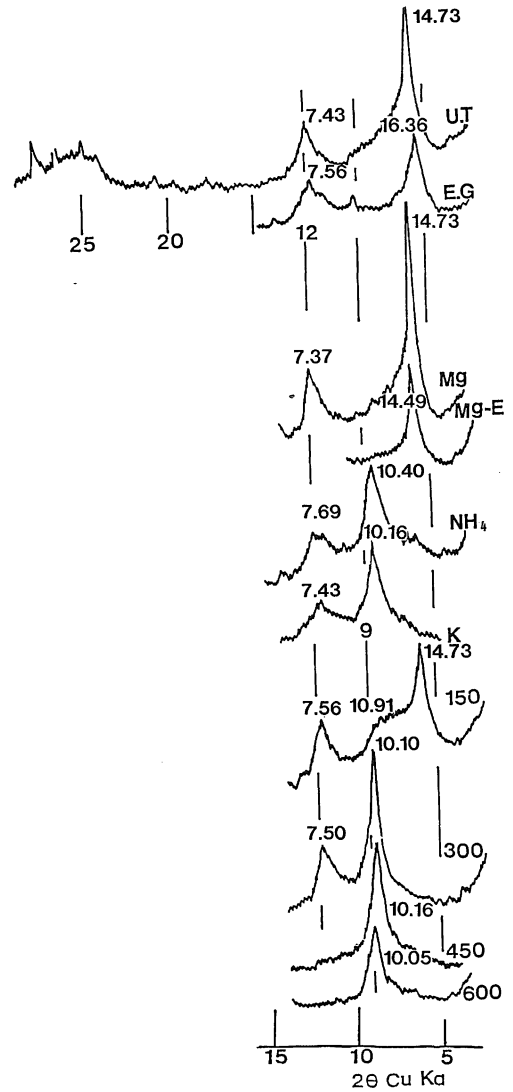


図-33 i 寺領ボーリング試料 32.5~33 m の黒雲母

してみたい。まず、図-35であるが、これはAl/SiとMg/Siの関係を、深さとの関係において図示したものである。基本的にはAl/Siが1に近づくことと、Mg/Siが0に向って変化することは黒雲母のカオリナイト化への変化を示すがその過程で特に顕著な現象として各深度におけるMg/Siの減少はただちにAl/Siの増加をひきおこしていることである。特に、図-34における不連続点の深度50メートル附近から上位に向ってこの現象は一層明瞭である。また、同時に、この50メートル附

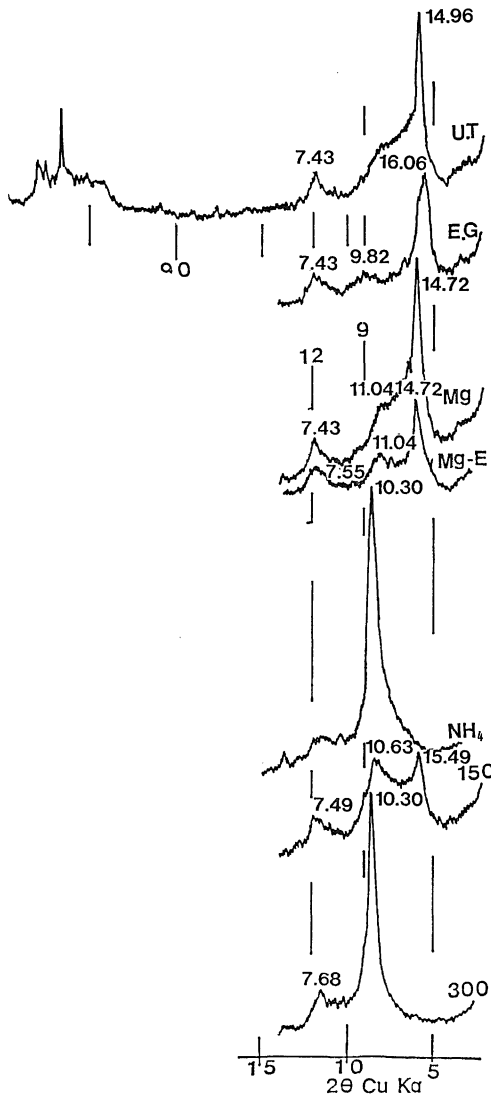


図-33 j 寺領ボーリング試料 41 5~42 m の黒雲母

近はX線回折図でも示されているように、また図-34においても表現されている如く、これを境にして黒雲母が質的に変化して、パーミキュライト化が著しくなっている。ここで Mg/Si と Al/Si が急に分離することがこの事に対応している。そして、主にパーミキュライトの中で Mg が Al と交代しながら分解が進んでゆく過程が実によく示されていると云えよう。図-36は K/Al, Mg/Al の相互関係を深さとの関係において示したものである。前述の図-35においてパーミキュライトは Mg の減少と Al の増加で表現されたことから Mg/Al に

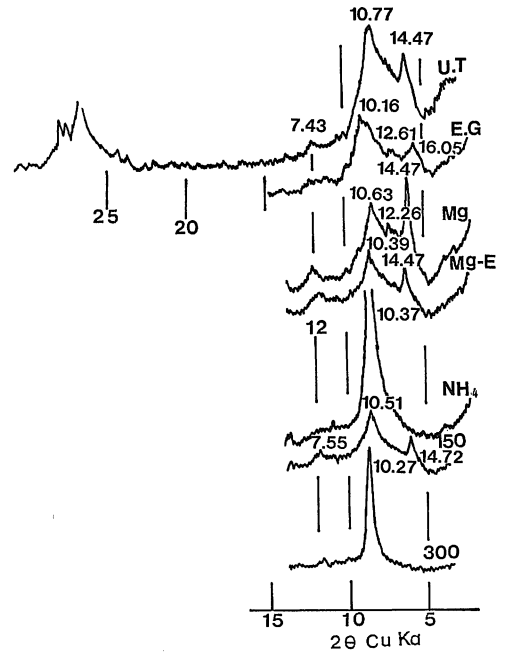


図-33 k 寺領ボーリング試料 59.5~60 m の黒雲母

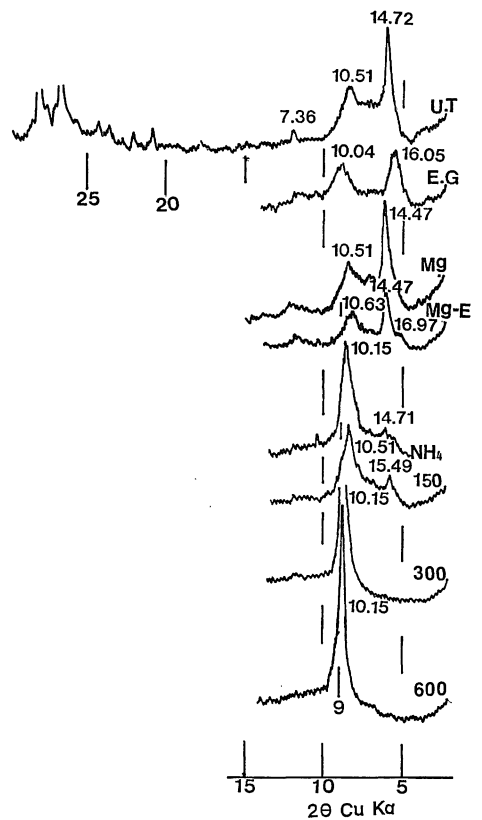


図-33 l 寺領ボーリング試料 61.5~62 m の黒雲母

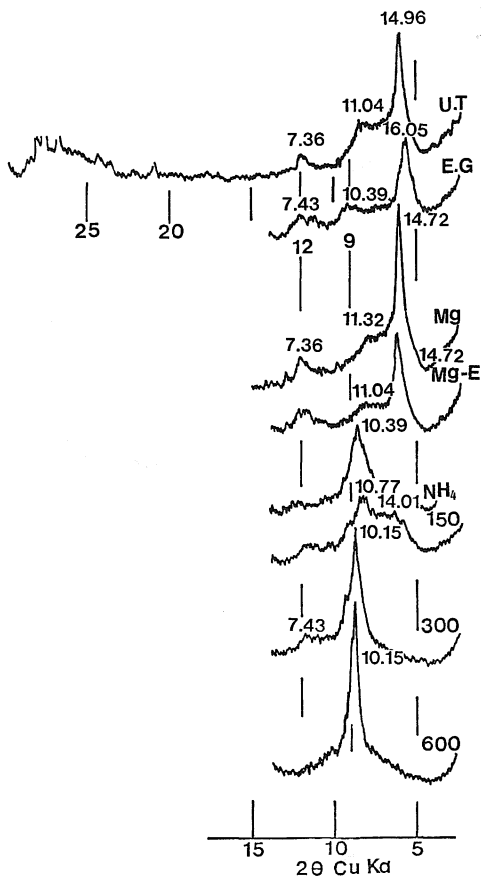


図-33 m 寺領ボーリング試料 66.5~67 m の黒雲母

よってさらにパーミキュライト化を鮮明にしようとしたもので、黒雲母がパーミキュライト化することは Mg/Al の減少に大きく表現されることになる。当然ながら図-36の Mg/Al の変化は図-35の変化をより増幅した形であられ、同時に K/Al が Mg/Al と調和的な変化を示していることがわかる。つまり、パーミキュライト化の過程における Mg の減少は層間の K の放出に連動することがよく示されている。さらに、パーミキュライト化による K/Al の減少に伴う Ca の増加について Ca/K との関係を示したものが図-37である。図-37で見ると K/Al と Ca/K は逆の関係において表現され、K の放出があたかも Ca との交代作用を意味している如くにも見えるし、K の放出が Ca の吸着にかかわるようにも見える。

図-35, 36, 37の一連の変化と図-34との関係を見ると寺領の花崗閃緑岩の深層風化が、濁沸石脈の貫入とそ

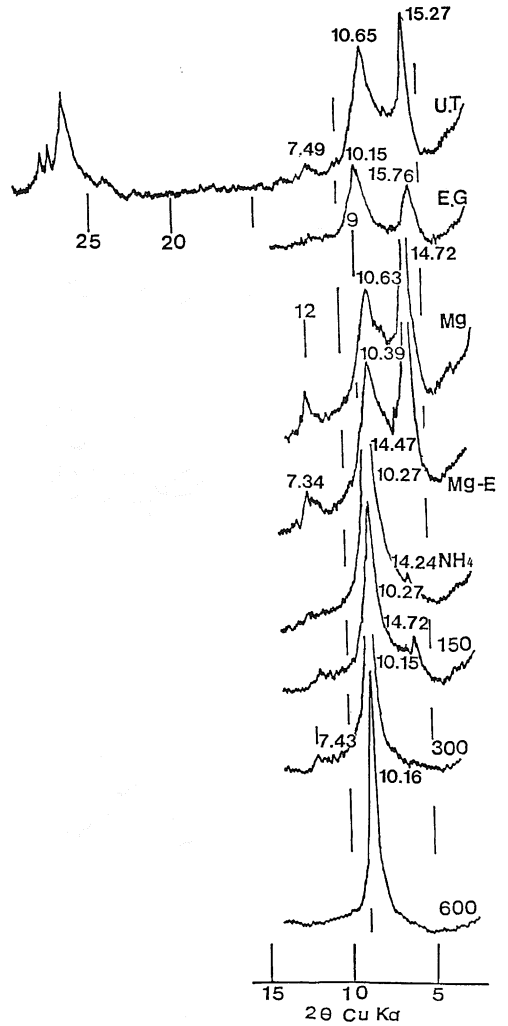


図-33 n 寺領ボーリング試料 71~71.5 m の黒雲母

れに伴う黒雲母の膨潤型パーミキュライト化、斜長石の曹長石化（但し、カリ長石にも曹長石化の傾向があるのでそれも含めて）と深い関係をもっている事がよく理解され、深層風化の実態とその本質について深く暗示を与えているように見える。

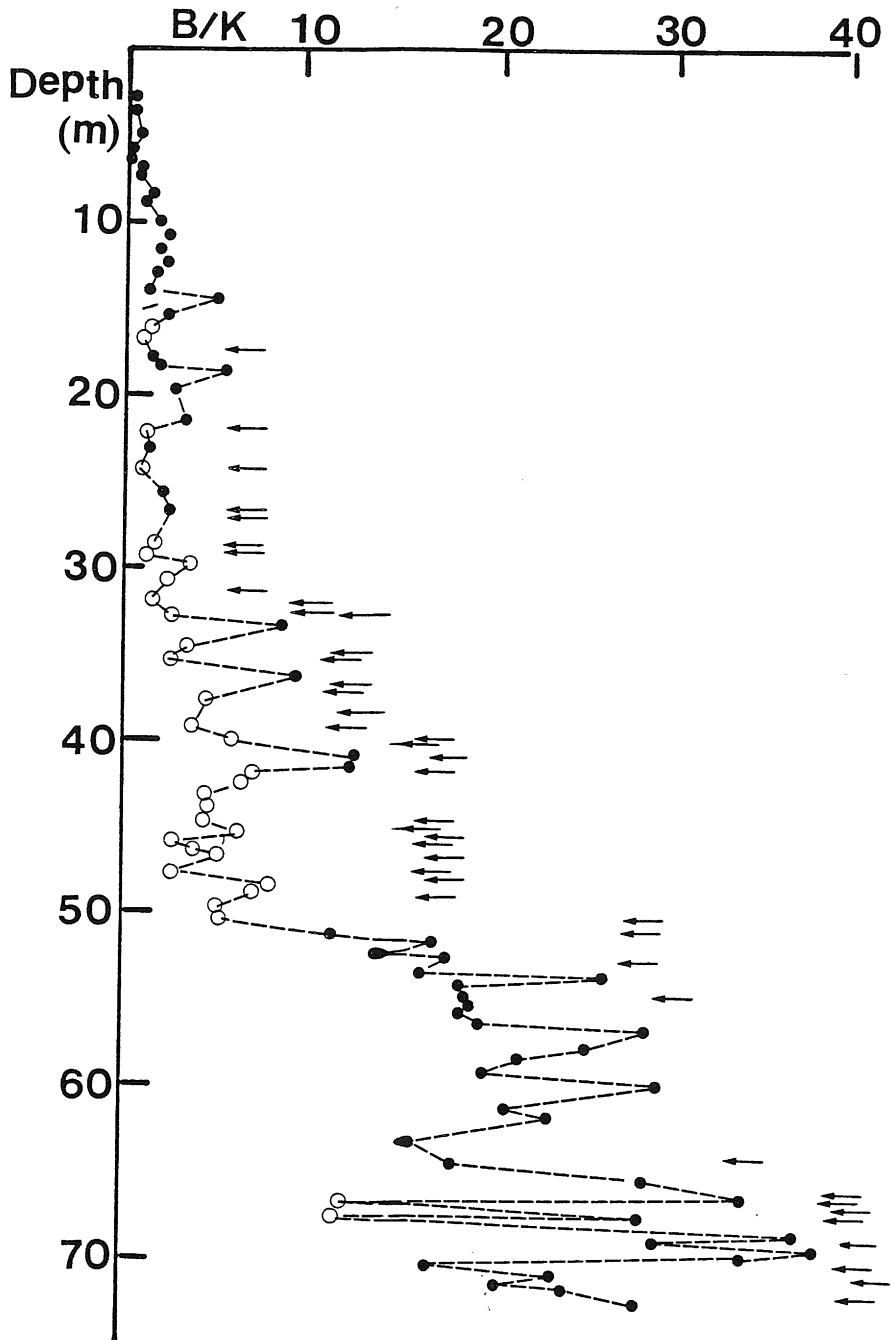


図-34 寺領ボーリング試料における黒雲母の300°C加熱物の X 線回折図における 7 Å ピークの高さ(K)と 10 Å ピークの高さ(B)の比の深さによる変化。(矢印は濁沸石脈の位置)
 白丸は図-33 f, i, j のような膨潤型パーミキュライトとカオリナイトからなり、混合層鉱物を殆んど含まないもの。

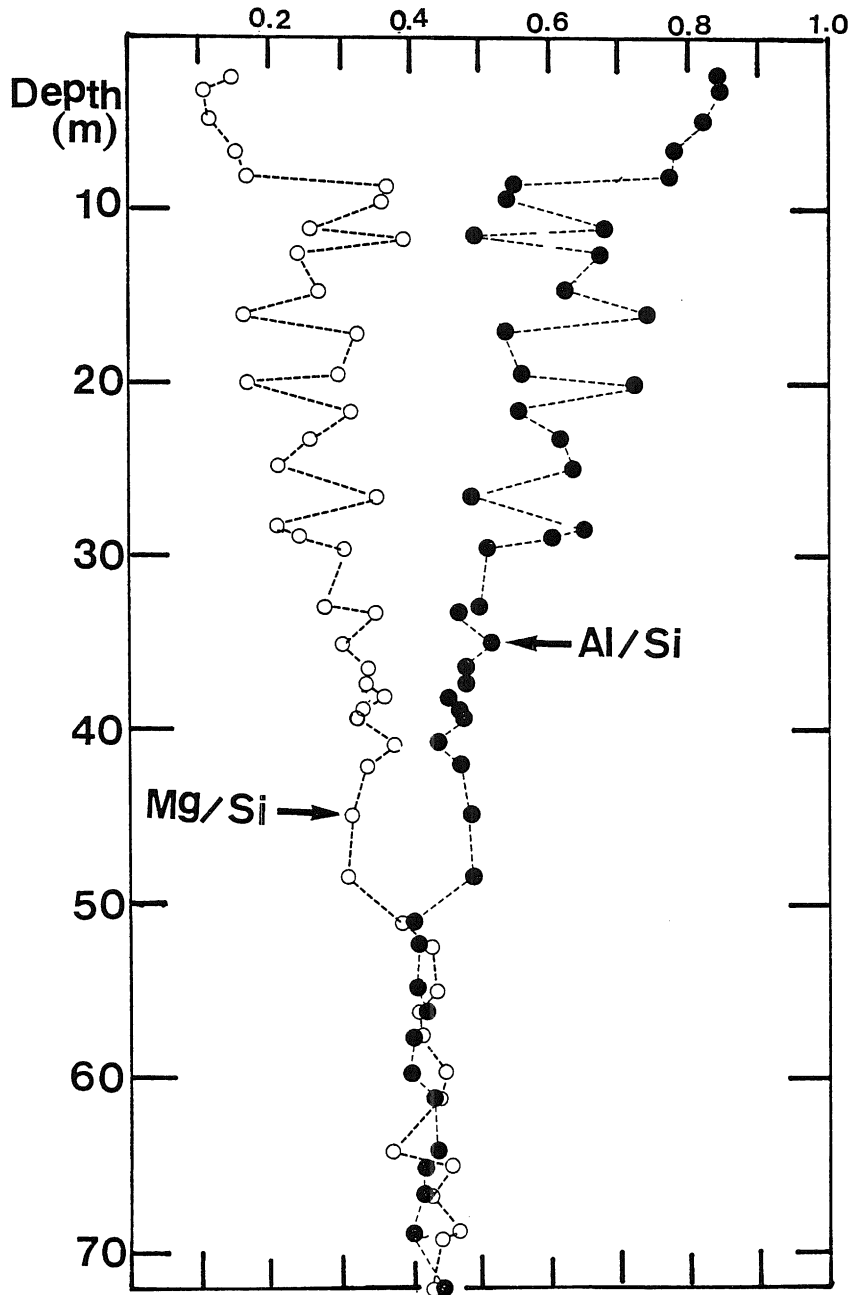


図-35 寺領ボーリング試料における黒雲母の Mg/Si, Al/Si の変化 (原子数の比)。
一つの点はその深さにおいて少なくとも5個以上の測定値を平均したものである。

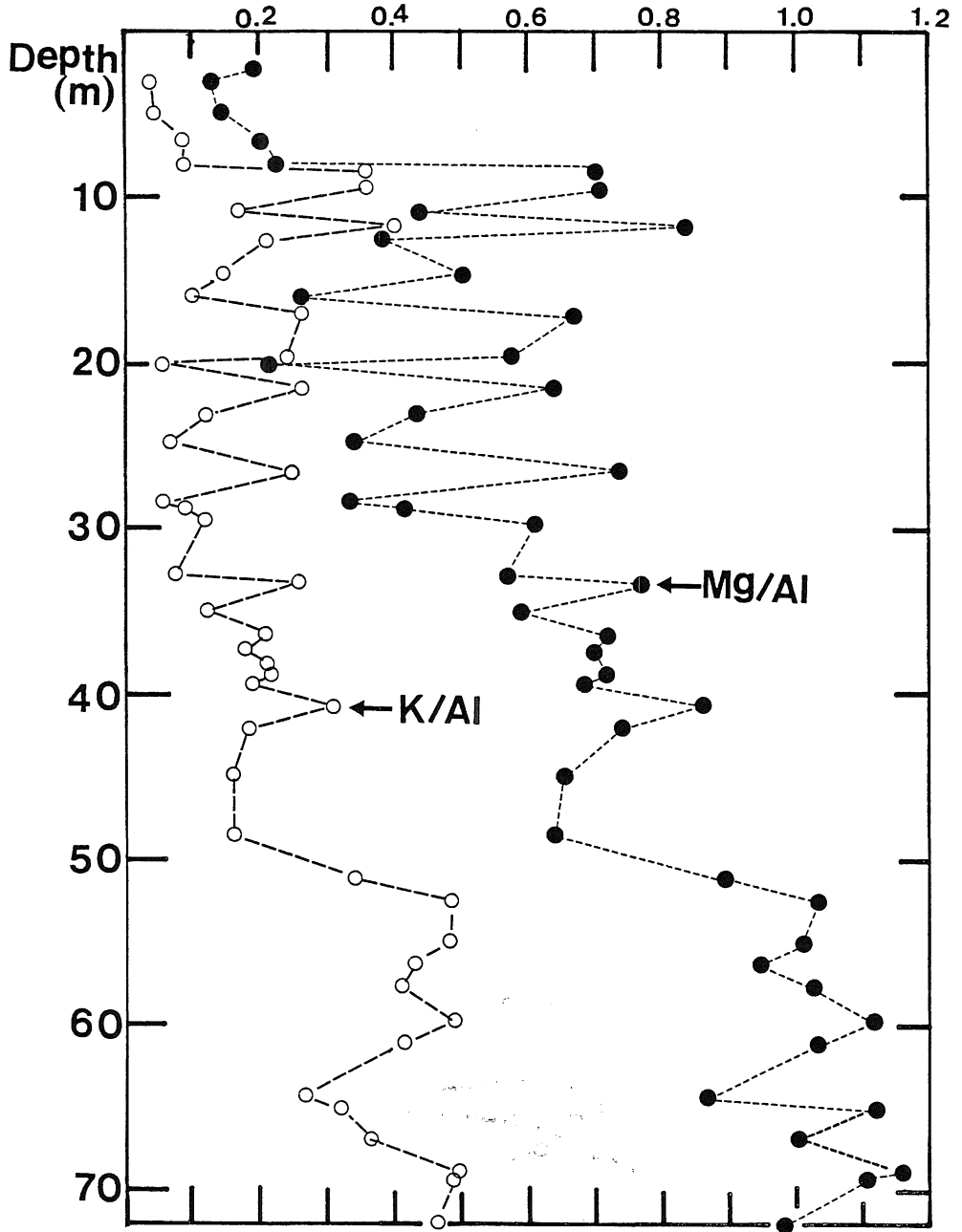
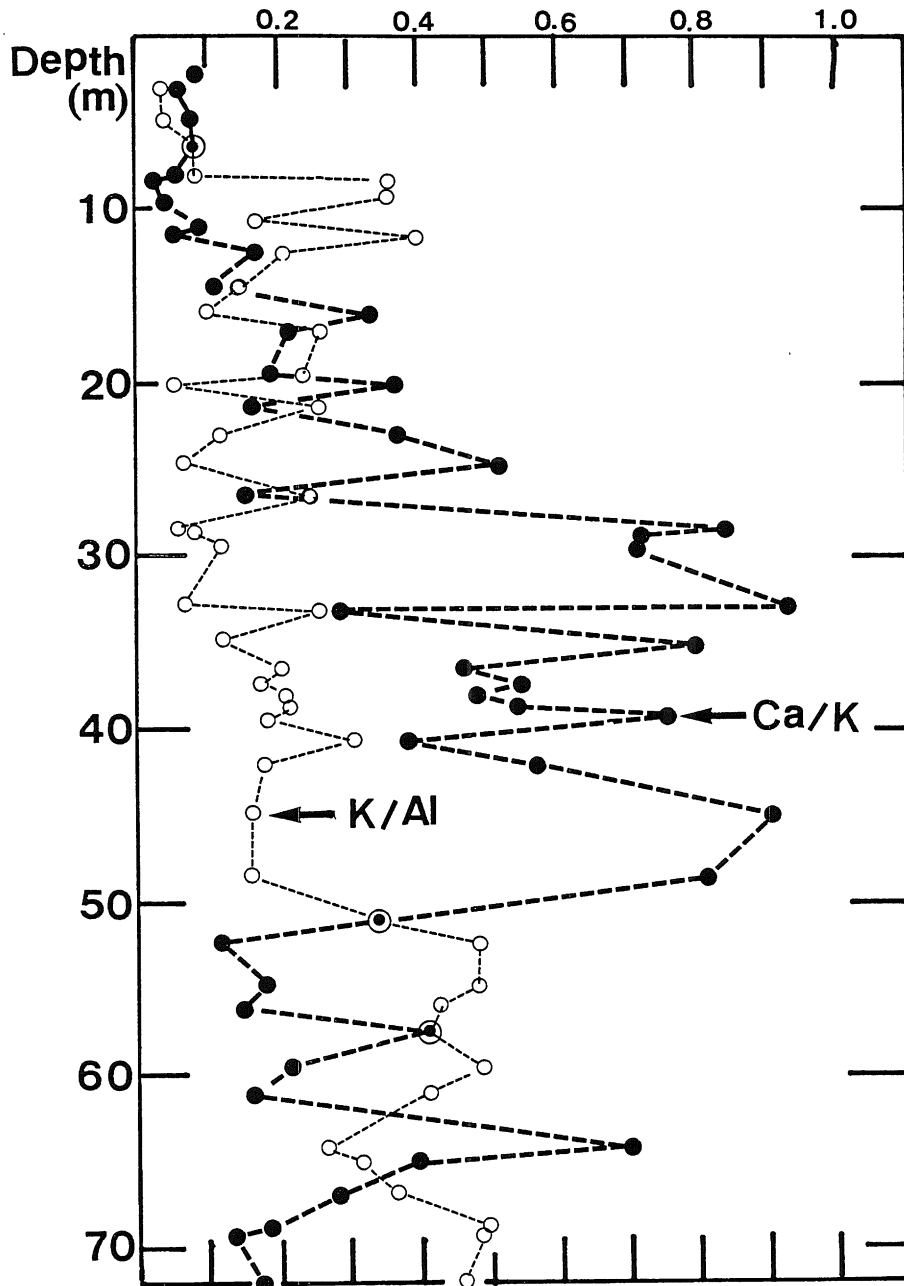


図-36 寺領ボーリング試料における黒雲母の K/Al, Mg/Al の変化 (原子数の比)



図一37 寺領ボーリング試料における黒雲母の Ca/K の変化と K/Al の関係 (原子数の比)

5. 三朝の黒雲母花崗岩の風化に関する立体構造

岡山県境に近い鳥取県東伯郡三朝町福山附近で五本のボーリングを実施した。この論文に必要なものは四本のボーリングコアでそのボーリング地点の地形との相互関係については図-38に示す。特に B.P-2 および 3, 4 は同じ高位の平坦面の名残りが残留しているような地点で吉備高原面にはほぼ相当している可能性もある。B.P-5 は、その面を別の平坦面で切られて出来た一つの平坦面に近い地形面からボーリングした地点である。

前述したが三朝周辺の黒雲母花崗岩は石英、カリ長石（正長石+微斜長石）、斜長石、黒雲母を主成分鉱物とする極めて粗粒部分の多い岩石である。化学分析値に示される SiO₂ の値は特に大きく、他の山陰の黒雲母花崗岩にくらべて特徴的である。表-3 にその化学組成を示す。

ボーリング試料は四本のものについて詳細に研究を進めたが、その中で特に標高517.06メートルからボーリングした B.P-2 と標高490.84メートルからボーリングした B.P-5 についてやや詳細に述べたい。両者の標高差はおよそ26メートルである。

図-39および図-40は B.P-2 および B.P-5 のボーリング試料に関する Abrasion pH の値を深さとの関係において示したものである。両者を比較すると図-39に示す B.P-2 の方が図-40の B.P-5 に比し、その値が全体として低く、しかも17~18メートルまでは7

表-3 三朝型黒雲母花崗岩の化学組成

成 分	1
SiO ₂	75.64
TiO ₂	0.18
Al ₂ O ₃	12.24
Fe ₂ O ₃	1.84
FeO	0.36
MnO	0.05
MgO	0.51
CaO	0.73
Na ₂ O	3.58
K ₂ O	3.81
P ₂ O ₅	0.02
H ₂ O(-)	0.34
H ₂ O(+)	0.44
Total	99.74
Q	37.90
C	0.93
Or	22.52
ab	30.52
an	3.53
Sal total	95.40
Wo	
en	1.26
fs	
mt	0.79
hm	1.30
il	0.35
ap	0.03
Fem total	3.73
Total	99.13

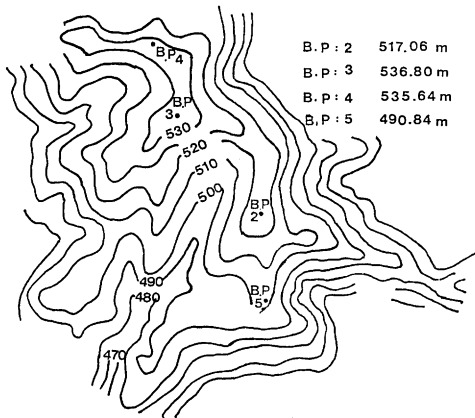


図-38 三朝ボーリング地点の地形

以下で、45メートル附近を除いては8を越すような部分はない。そして、その変化も緩かで曲線はスムーズな部分が多い。これは孔底部まで風化作用が達して上部に向かって順次に風化度を増し、15メートル附近から地表部に向っては風化作用を強く受けていることを示している。これに対して B.P-5 の試料ではその値が7以下になるのは殆んど5メートル以浅でしかも地表下3メートルで、なお、7前後の値を示している。10メートル以深では殆んど8以上の値をとる。このことは B.P-5 の試料は殆んど地表近くから硬いもので、B.P-2 に比して風化の程度が遙かにおくれていることを示している。この Abrasion pH の値は、その試料の粘土化の程度とかわっており、しかも同じ母材の比較であるから一層その意味あいには信用出来る。造岩鉱物の風化変質においては

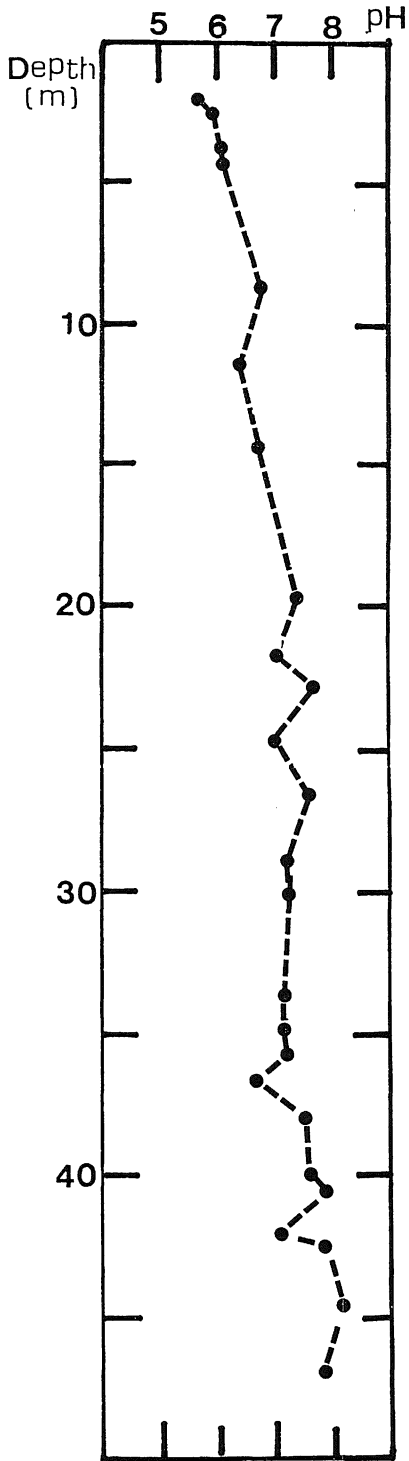


図-39 三朝 B.P-2 の Abrasion pH

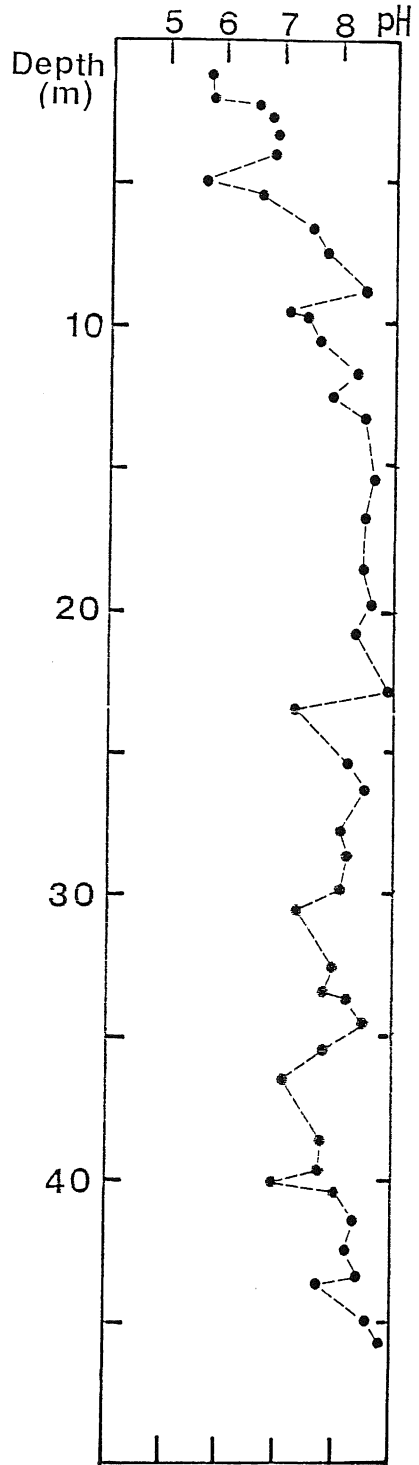


図-40 三朝 B.P-5 の Abrasion pH

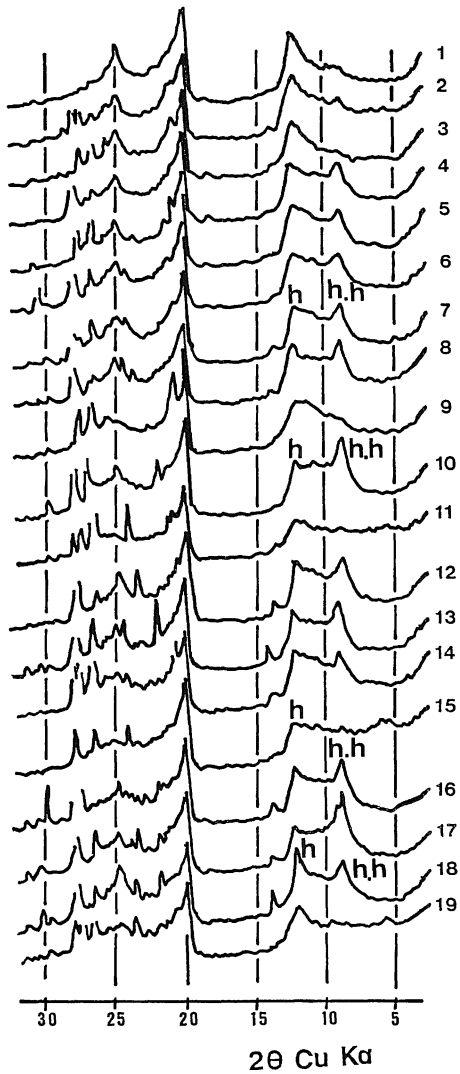


図-41 a 三朝 B.P-2 の斜長石の X 線回折図
(h : ハロイサイト, h.h : 加水ハロイサイト)

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 : 1.90~2.00, | 2 : 2.50~2.60, |
| 3 : 3.70~3.80, | 4 : 4.20~4.40, |
| 5 : 5.40~5.50, | 6 : 6.10~6.25, |
| 7 : 7.50~7.60, | 8 : 8.60~8.70, |
| 9 : 9.00~9.10, | 10 : 9.45~9.60, |
| 11 : 10.50~10.60, | 12 : 10.75~10.90, |
| 13 : 11.35~11.90, | 14 : 12.65~12.75, |
| 15 : 13.50~13.60, | 16 : 14.30~14.40, |
| 17 : 15.65~15.75, | 18 : 16.55~16.70, |
| 19 : 17.80~17.90 | |

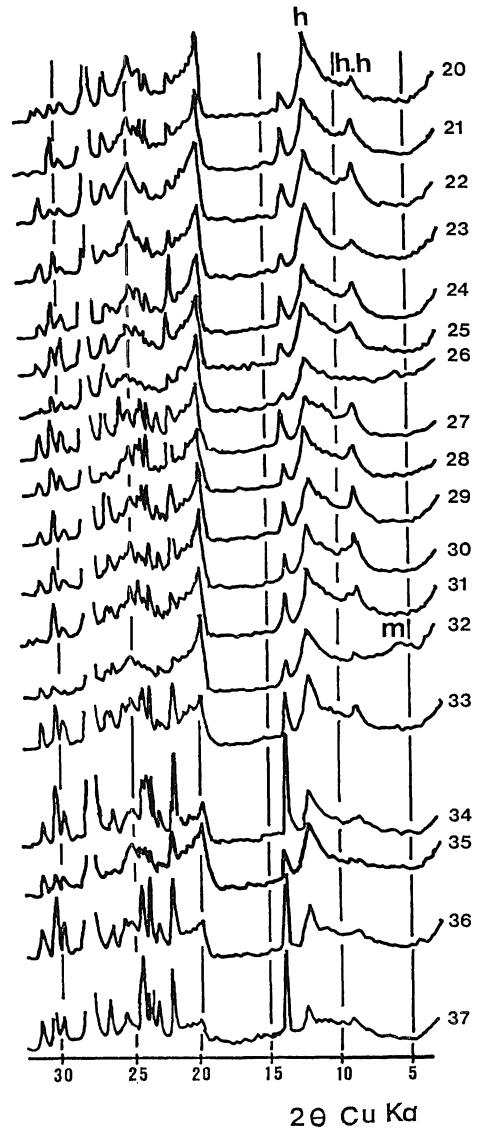


図-41 b 三朝 B.P-2 の斜長石の X 線回折図
(m : モンモリロナイト)

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 20 : 18.55~19.00, | 21 : 19.55~19.70, |
| 22 : 20.60~20.70, | 23 : 21.50~21.70, |
| 24 : 22.80~23.00, | 25 : 23.40~23.50, |
| 26 : 23.80~23.90, | 27 : 24.45~24.55, |
| 28 : 25.60~25.70, | 29 : 26.45, |
| 30 : 27.60~27.70, | 31 : 28.80~28.85, |
| 32 : 29.55~29.70, | 33 : 30.60~30.80, |
| 34 : 31.80~31.90, | 35 : 32.80~32.90, |
| 36 : 34.70~34.90, | 37 : 35.50~35.70 |

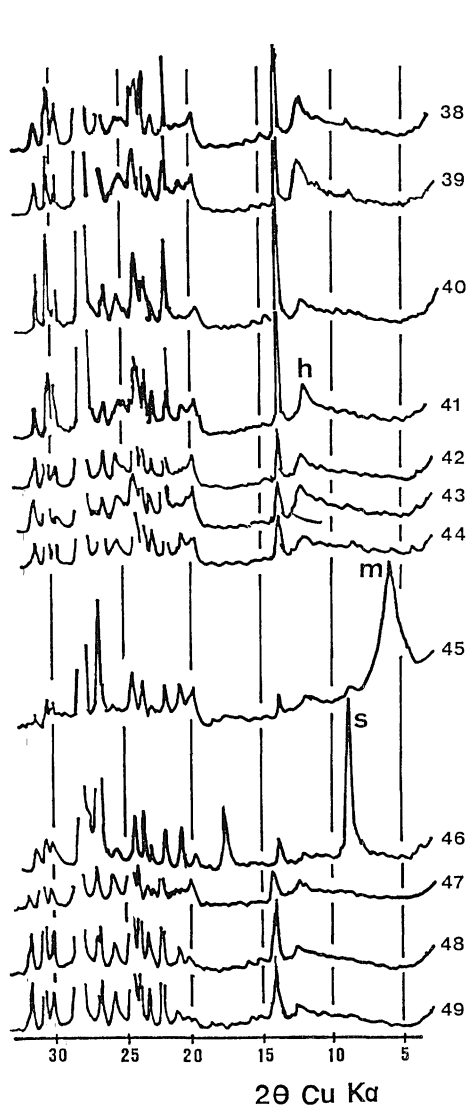


図-41 c 三朝 B.P-2 の斜長石の X 線回折図
(s: セリサイト)

38: 36.45~36.70,	39: 37.75~37.90,
40: 38.85,	41: 39.65~39.85,
42: 40.50~40.60,	43: 41.80,
44: 42.30~42.50,	45: 43.40~43.60,
46: 44.40,	47: 46.65~46.80,
48: 47.70~47.85,	49: 48.30~48.90

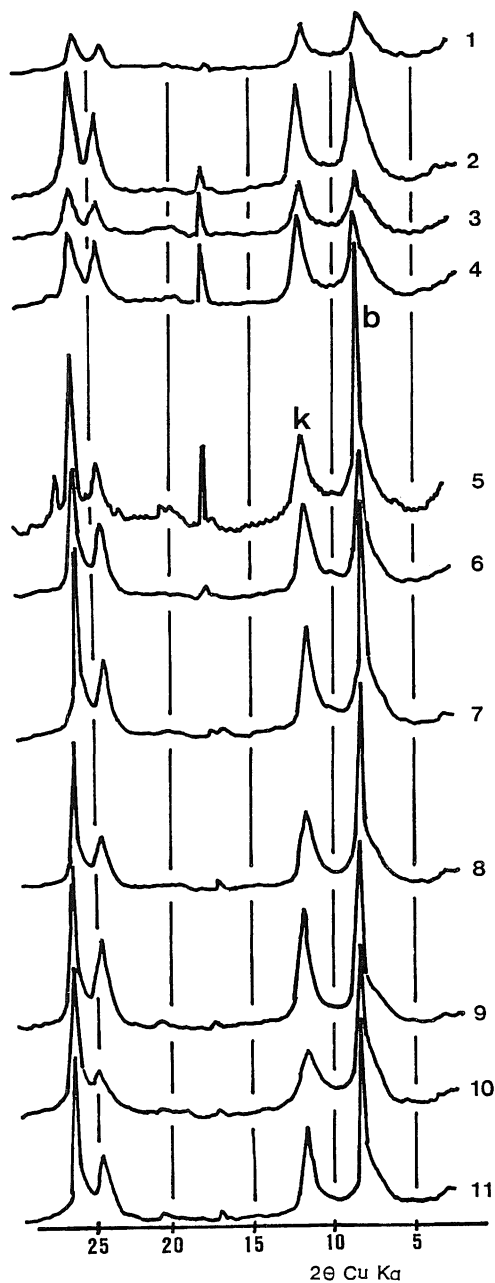


図-42 a 三朝 B.P-2 の黒雲母の X 線回折図
(b: 黒雲母, k: カオリナイト)

1: 1.90~ 2.00,	2: 2.50~ 2.60,
3: 3.70~ 3.80,	4: 4.20~ 4.40,
5: 4.80~ 4.90,	6: 6.10~ 6.20,
7: 7.50~ 7.60,	8: 8.60~ 8.75,
9: 9.45~ 9.60,	10: 10.50~10.60,
11: 10.75~10.90	

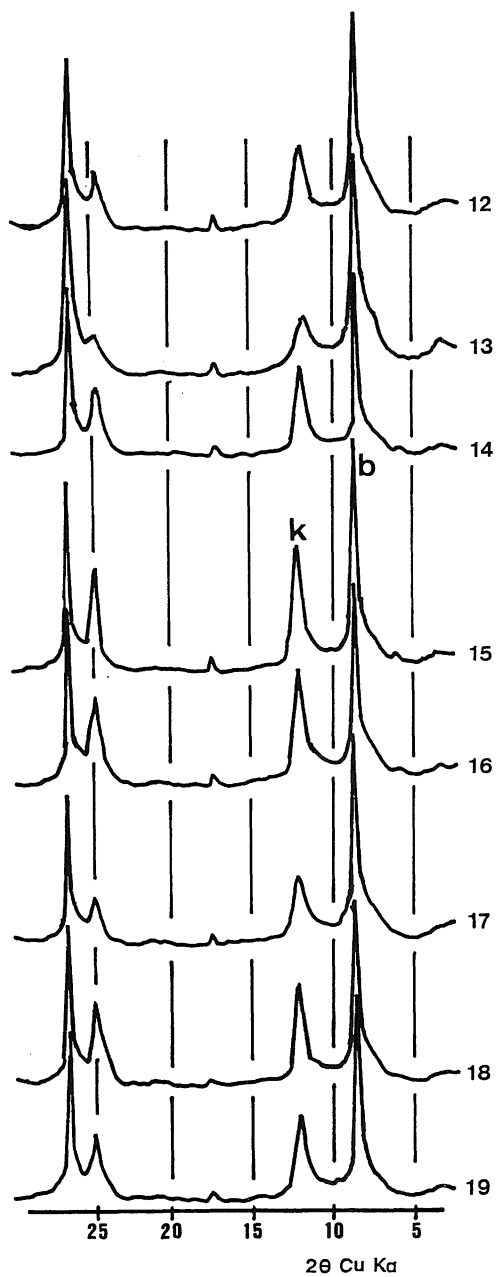


図-42 b 三朝 B.P-2 の黒雲母の X 線回折図

- 12 : 11.35~11.50,
- 13 : 13.50~13.60,
- 14 : 14.30~14.40,
- 15 : 15.65~15.75,
- 16 : 16.55,
- 17 : 17.80~17.90,
- 18 : 18.85~19.00,
- 19 : 19.50~19.70

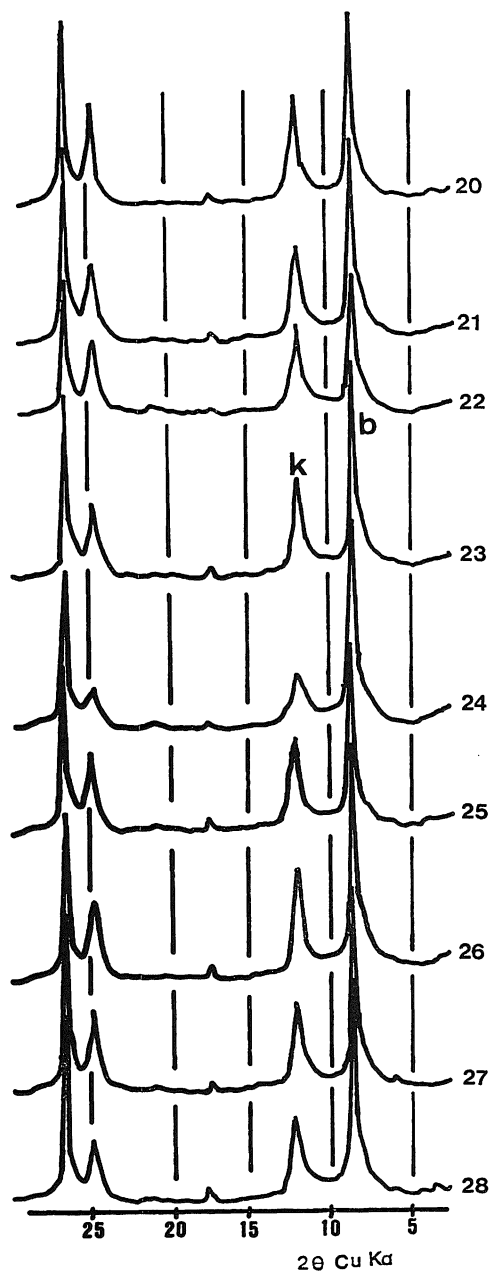


図-42 c 三朝 B.P-2 黒雲母の X 線回折図

- 20 : 20.60~20.70,
- 21 : 21.50~21.70,
- 22 : 22.80~23.00,
- 23 : 23.40~23.50,
- 24 : 23.80~23.90,
- 25 : 24.46~24.55,
- 26 : 25.50~25.60,
- 27 : 26.45~26.70,
- 28 : 28.75~28.85

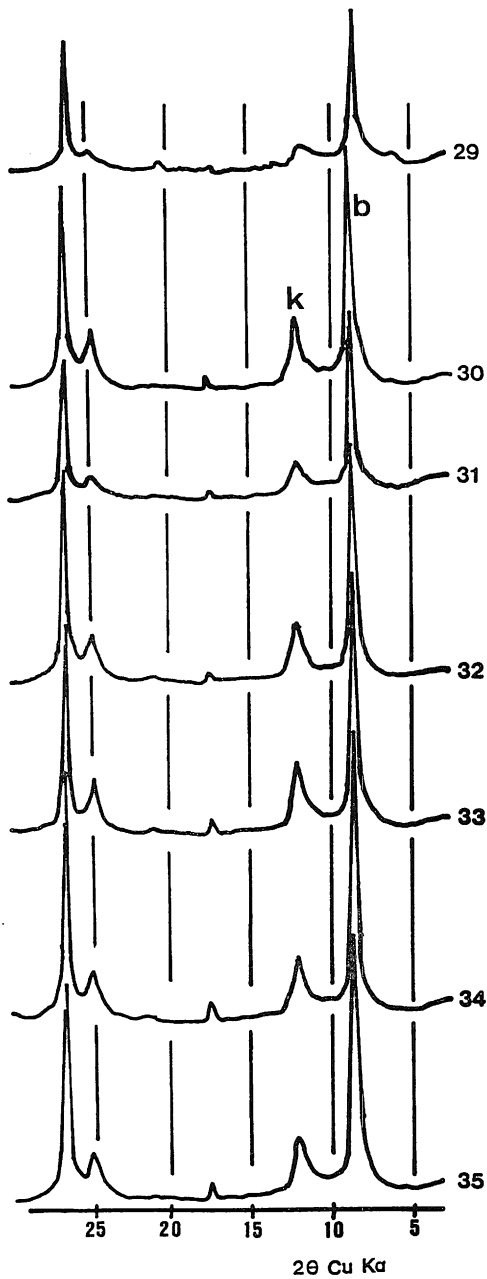


図-42 d 三朝 B.P-2 の黒雲母の X 線回折図

29 : 29.55~29.75,
 30 : 30.60~30.80,
 31 : 31.80~31.90,
 32 : 32.80~32.90,
 33 : 33.60~33.70,
 34 : 34.75~34.90,
 35 : 35.50~35.70

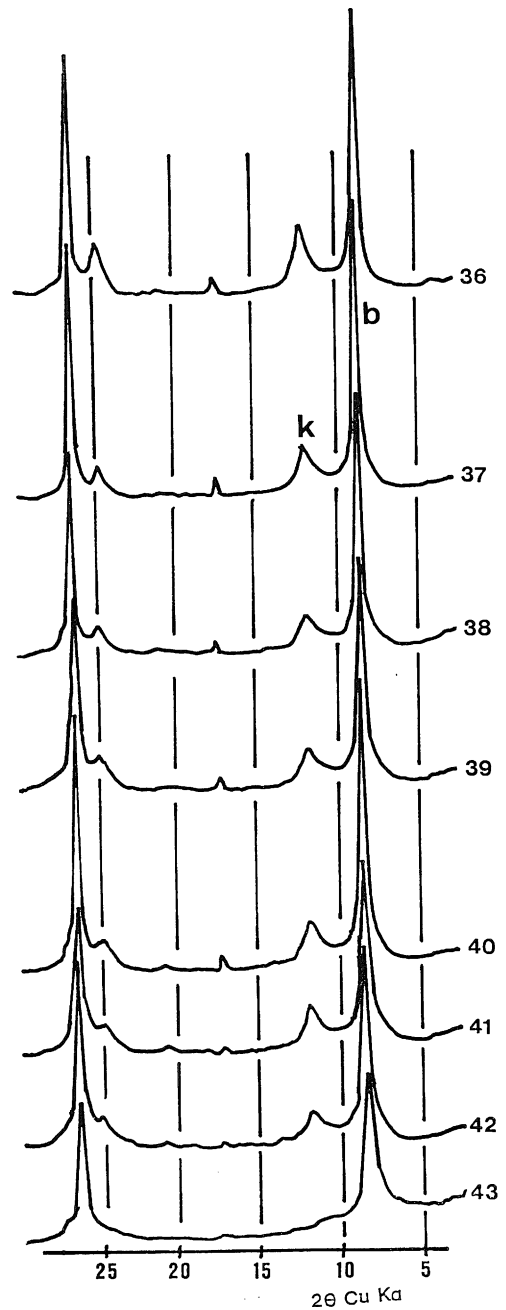


図-42 e 三朝 B.P-2 の黒雲母の X 線回折図

36 : 36.45~36.70, 37 : 37.75~37.90,
 38 : 38.85~39.00, 39 : 39.65~39.85,
 40 : 40.55~40.60, 41 : 41.80~42.00,
 42 : 42.30~42.40, 43 : 43.40~43.60

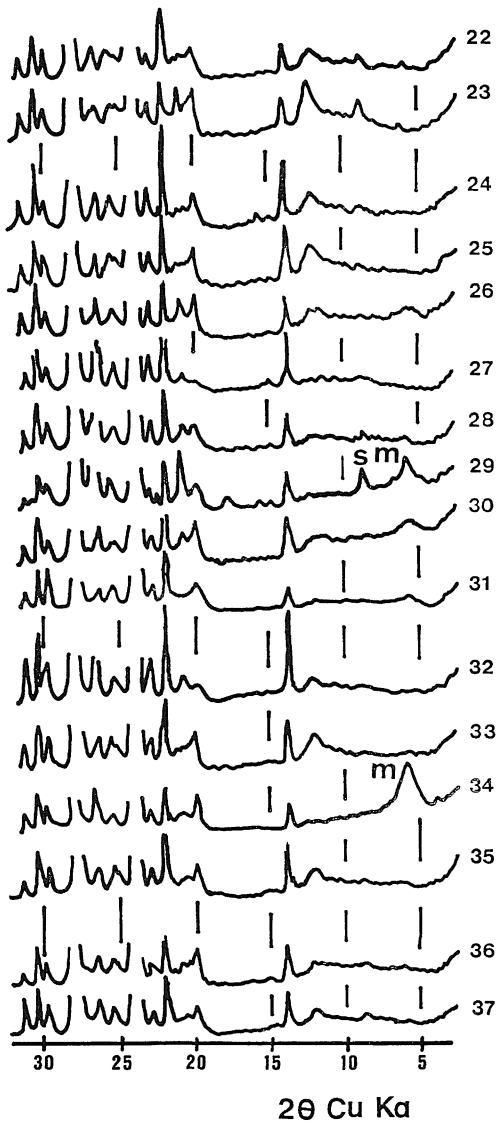


図-43 b 三朝 B.P-5 の斜長石
(s: セリサイト)

22: 18.55~18.75,	23: 19.35~19.45,
24: 19.60~19.90,	25: 20.70~20.80,
26: 21.70~21.80,	27: 22.70~22.80,
28: 23.45~23.60,	29: 24.45~24.55,
30: 25.10~25.20,	31: 26.25~26.40,
32: 27.50~27.60,	33: 28.50~28.65,
34: 29.70~29.80,	35: 30.50~30.65,
36: 31.55~31.70,	37: 32.50~32.70

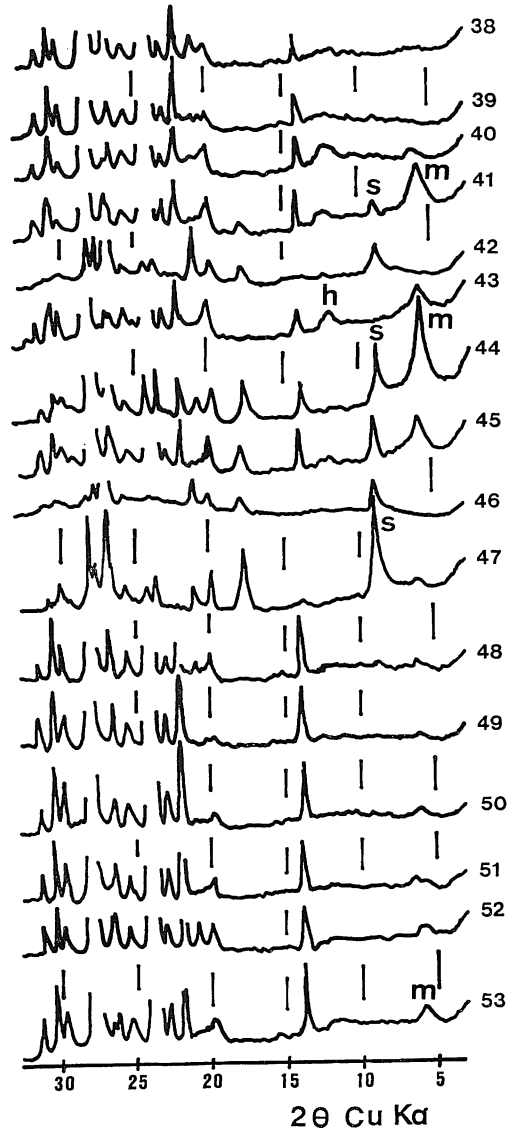


図-43 c 三朝 B.P-5 の斜長石

38: 33.10,	39: 33.70~33.90,
40: 34.30~34.50,	41: 35.50,
42: 37.60~37.70,	43: 38.50~38.70,
44: 39.20,	45: 39.50~39.70,
46: 39.90,	47: 40.30~40.40,
48: 41.30~41.50,	49: 42.40~42.50,
50: 43.30~43.50,	51: 44.75~44.90,
52: 45.55~45.90,	53: 45.80

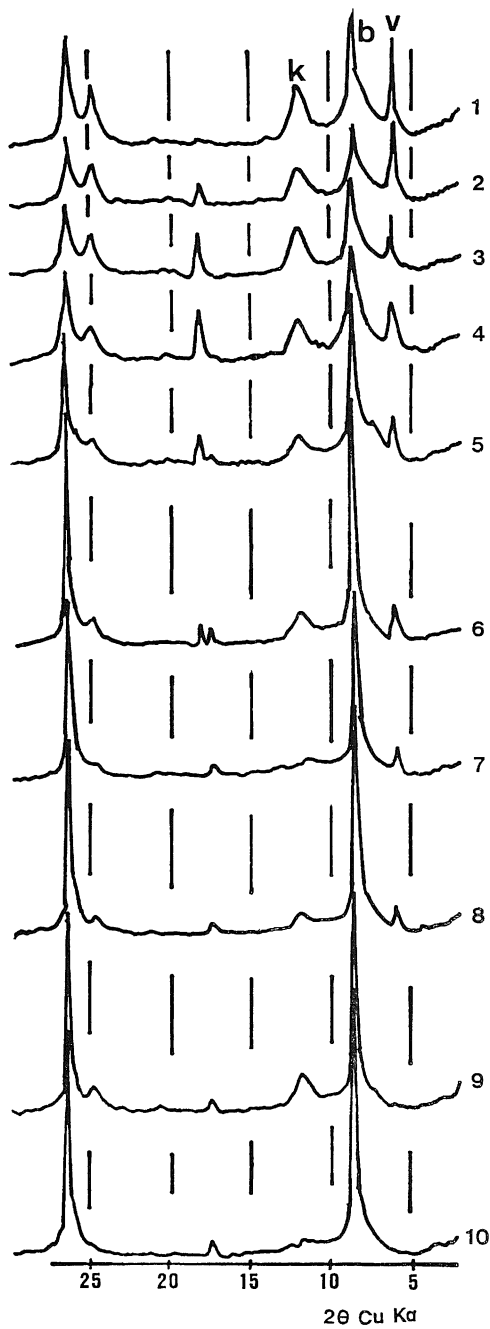


図-44 a 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

(k: カオリナイト, b: 黒雲母, v: パーミキュライト)

1: 1.30~1.45,	2: 1.90~2.00,
3: 2.25~2.35,	4: 2.60~2.70,
5: 3.20~3.25,	6: 3.80~4.00,
7: 4.50~5.00,	8: 5.40~5.50,
9: 6.30~6.50,	10: 7.50~7.60

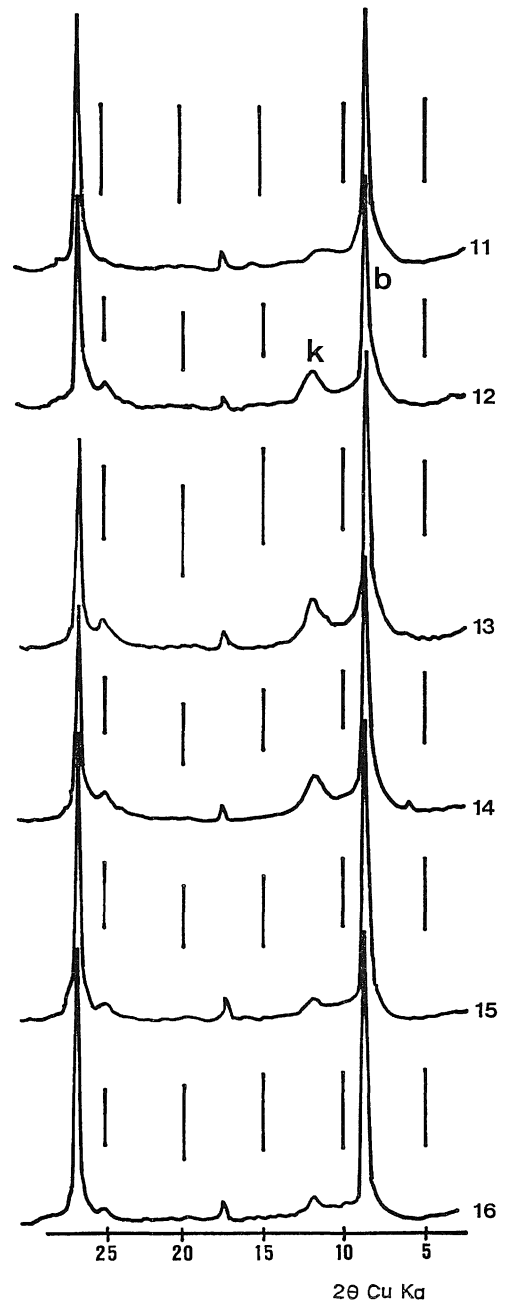


図-44 b 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

11: 7.80~7.90,
12: 8.80~8.90,
13: 9.70~9.80,
14: 10.45~10.50,
15: 11.70,
16: 12.35~12.50

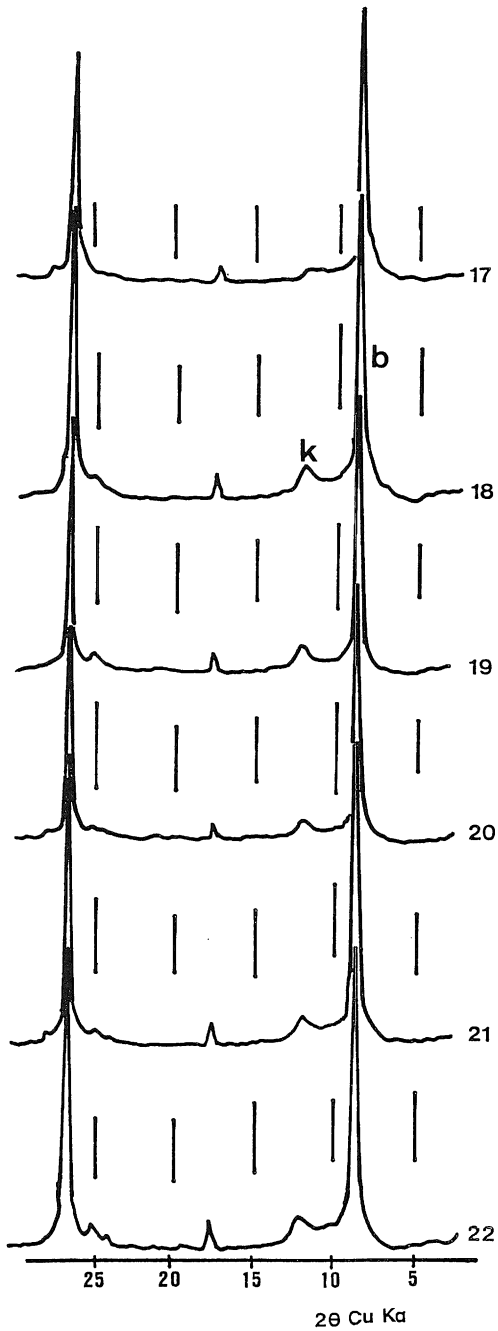


図-44 c 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

17 : 13.30,
 18 : 14.75~14.90,
 19 : 16.75~16.90,
 20 : 17.30~17.50,
 21 : 18.55~18.70,
 22 : 19.60~19.90

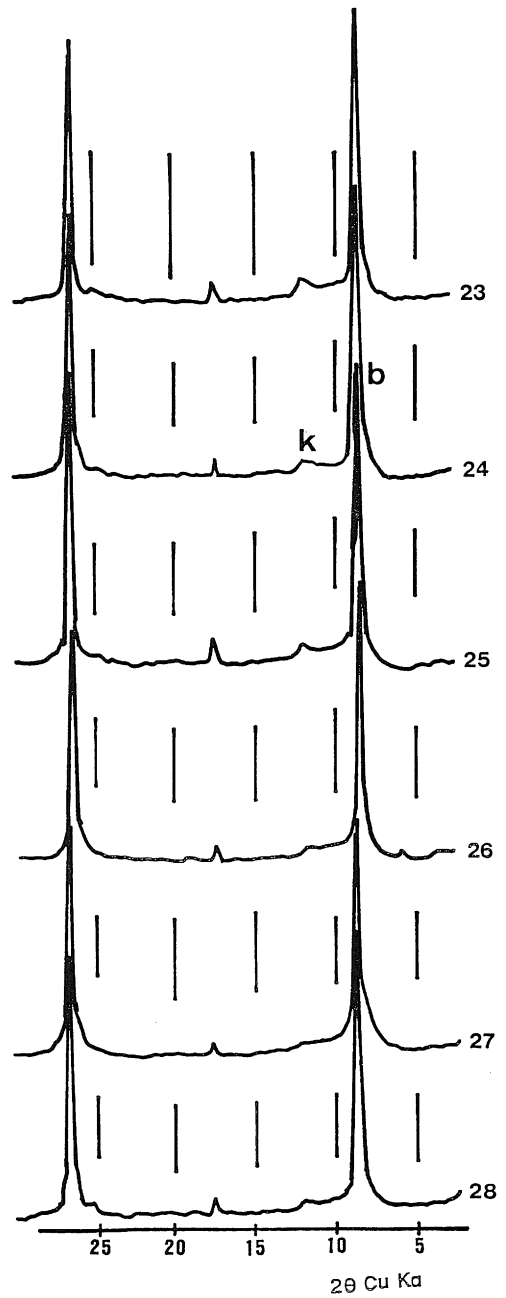


図-44 d 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

23 : 20.70~20.80,
 24 : 21.70~21.80,
 25 : 22.70~22.80,
 26 : 23.45~23.60,
 27 : 24.45~24.55,
 28 : 25.10~25.20

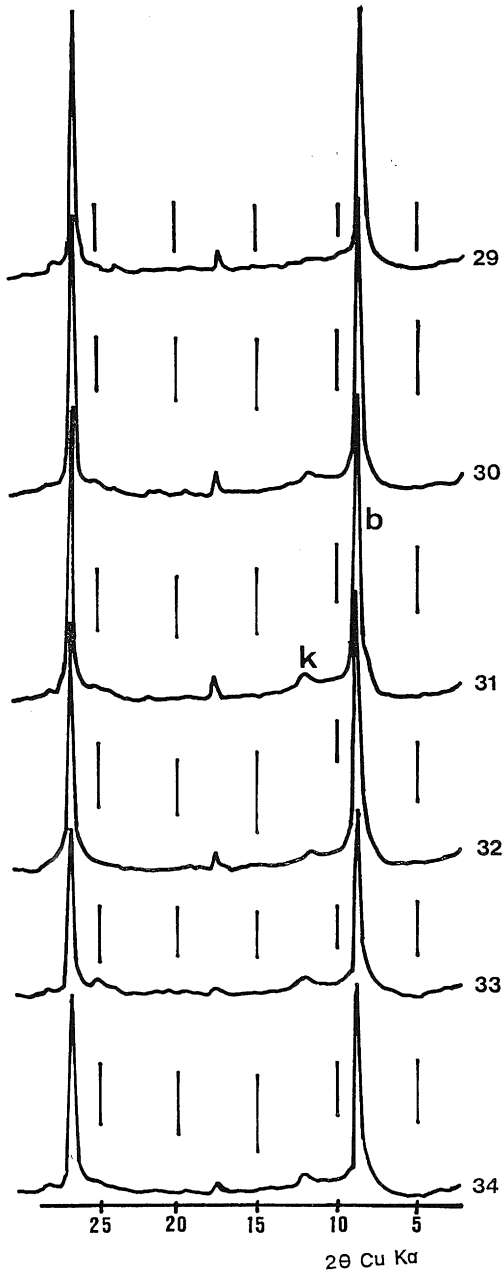


図-44 e 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

- 29 : 26.25~26.45,
- 30 : 27.50~27.65,
- 31 : 28.50~28.60,
- 32 : 29.80~29.90,
- 33 : 30.50~30.60,
- 34 : 31.55~31.90

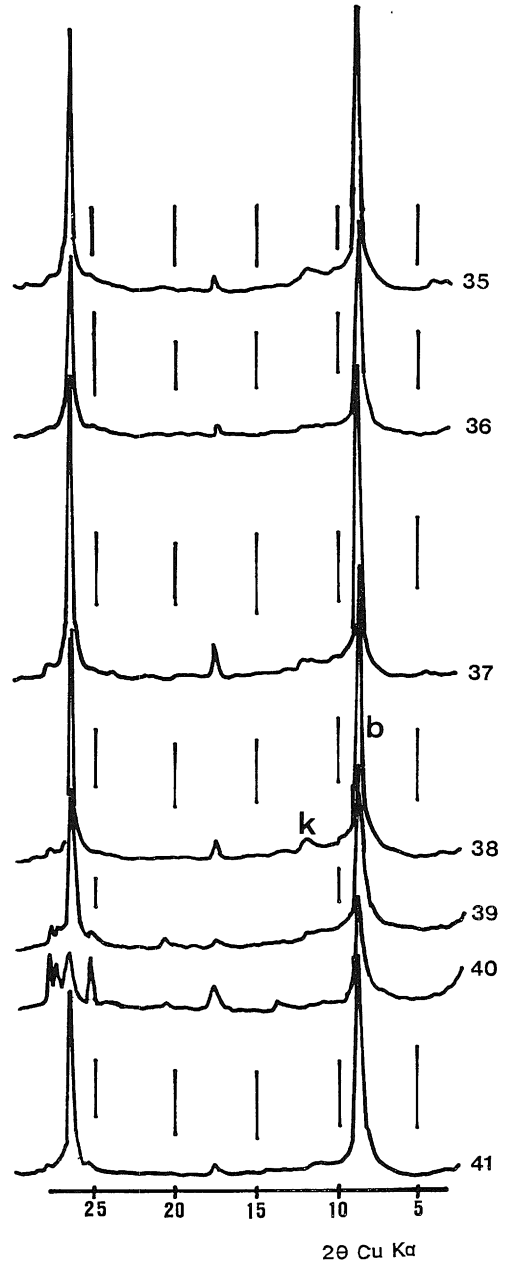
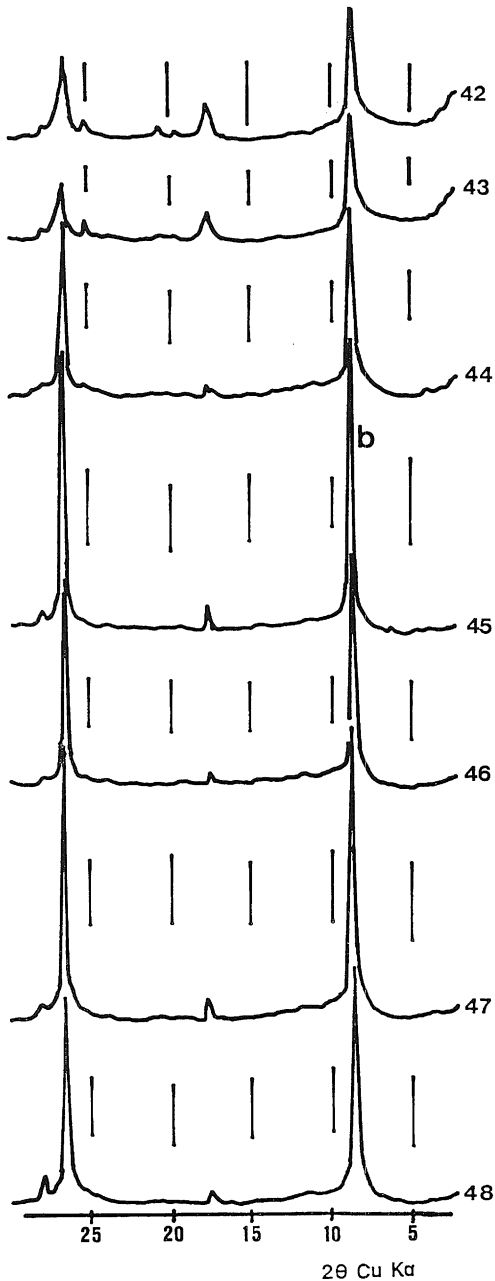


図-44 f 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

- 35 : 32.50~32.70,
- 36 : 33.10,
- 37 : 33.70~33.90,
- 38 : 34.30~35.50,
- 39 : 35.50,
- 40 : 37.60~37.70,
- 41 : 38.40~38.70



図—44 g 三朝 B.P-5 の黒雲母の X 線回折図

- 42 : 39.90,
 43 : 40.30~40.50,
 44 : 41.30~41.50,
 45 : 42.40~42.60,
 46 : 43.30~43.50,
 47 : 44.75~44.90,
 48 : 45.55~45.90

ロイサイトのピークも貧弱である。ただ、途中で時々モンモリロナイトやセリサイトのピークが出現する。これは後述するように熱水細脈のみられるところに限られる。以上に見るように、Abrasion pH の値は大きく斜長石の風化変質にもとずく粘土化に左右され、B.P-2はこの点からも B.P-5 よりも遙かに風化が進んでいると云えよう。最初に述べたように、B.P-2 は B.P-5 よりも標高差にしておよそ26メートルも高く、大まかに見ればこの B.P-5はそれだけ上部にあった風化帯が削割されてしまったとも解釈される。Abrasion pH の値にしても斜長石の風化状況にしても、ほぼこのような考え方を支持するものと云えよう。

図—42 a~f は B.P-2 に関する黒雲母の、また同じく図—44 a~g は B.P-5 に関する黒雲母の X 線回折図である。黒雲母の風化生成物は一般に複雑であるが、このボーリング地点における黒雲母の風化生成物は単純で特別の場合を除いてカオリナイトのみが生成している。したがって、生成されたカオリナイトの量が多ければ多いほど風化がより進んでいると解釈される。前述のように、斜長石の変化のうち、ハロイサイト、加水ハロイサイトの生成との関係において B.P-2 と B.P-5 の試料を比較したが、ここで同じように黒雲母から生成されるカオリナイトの量で、二つの試料を見てみよう。図—42の B.P-2 の黒雲母の X 線回折図をみると、40メートル附近までシャープなカオリナイトのピークが認められ、少なくとも孔底部までカオリナイトが生成されていることが確認される。これに対して、図—44の B.P-5 の黒雲母の X 線回折図をみると浅部でもカオリナイトのピークは貧弱で20メートルを過ぎると殆んど確認されなくなる。この黒雲母に見るカオリナイトへの変化の状況の差は斜長石のそれとよく対応していると云える。図—44 a の地表附近（およそ5メートル以浅）のものに見る黒雲母には6度附近にピークが見られ、他と異なっている。このピークはエチレングリコール、 NH_4NO_3 、 KCl 処理では反応せず150℃で6度のピークは弱くなり（ 10\AA への移行）、300℃で完全に 10\AA 鉱物に移行する。筆者はこのようなものは緑泥石が弱い風化作用を受けた場合に生ずるものと考えている。緑泥石的な性質とパーミキュライト的な性質の両方をもったパーミキュライトである。

斜長石の X 線回折図で見られた不調和な生成物としてのモンモリロナイトやセリサイトは、熱水性細脈 (Vein) に沿うごくせまい部分に限って斜長石から生成される。微弱な熱水変質によって斜長石から生成されたものであろうが、この部分に相当する黒雲母は例えば B.P-2 に

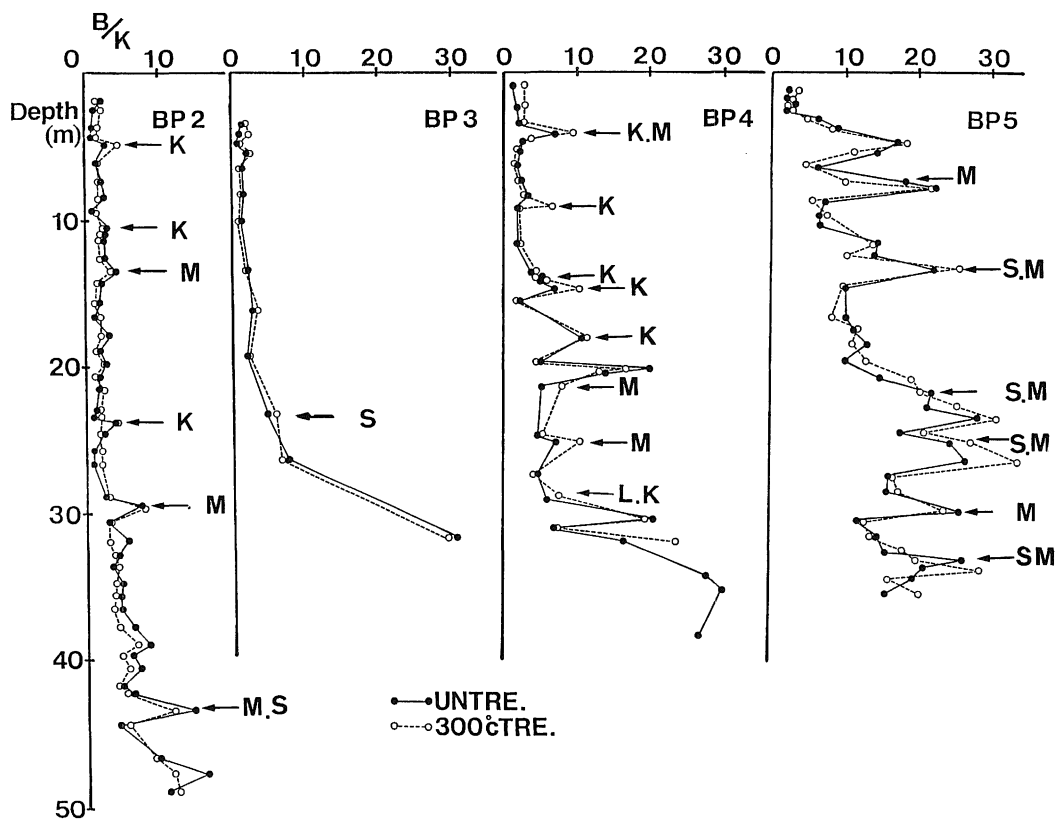


図-45 三朝ボーリング試料の B/K と深さの関係 (白丸：300°C 加熱後の値、黒丸：無処理での測定値)
 K：カオリナイト細脈，M：モンモリロナイト細脈，S：セリサイト細脈，L：濁沸石細脈

においては斜長石から強くモンモリロナイトが生成されている43.4~43.6メートルおよびセリサイトが生成されている44.4メートルの位置で、その前後と急に異なり、カオリナイトのピークが消失するか、黒雲母自体が分解する。また B.P-5 についても同じように斜長石からモンモリロナイト、セリサイトのようなハロイサイトと異なって熱水性細脈に沿って特別な粘土鉱物が生成されるような部分では、殆んど例外なくカオリナイトのピークが消失するかあるいは弱くなっている。結果的には黒雲母からカオリナイトの生成量をもって風化の指標とする場合には、この事を考慮しておかねばならない。花崗岩に熱水脈が生成されるとどうして黒雲母の風化がおくれたようなバタンをとるのか今後更に検討を要する問題である。

以上のような黒雲母からのカオリナイトの生成量がある程度、定量化するために、12度附近の 7Å のピーク (K) と9度附近の 10Å のピーク (B) の比 B/K お

よび300°C加熱したものの 10Å のピークと 7Å のピークの比をとって深さとの関係において図示したものが図-45である。斜長石、黒雲母、Abrasion pH に見られる B.P-2 と B.P-5 の差をこの図においても明瞭に読みとることが出来る。すなわち、B.P-2 における B/K の値は小さく30メートル過ぎからわずかにその値をゆっくりと増加せしめている。これに対して B.P-5 の試料は熱水性細脈と関係のない部分の値との比較においても B.P-2 に対して遙かに大きい値をとっている。つまり、これだけ風化作用の影響が少いわけで、かつて存在していたであろう風化帯が大巾に侵食削剥されてしまったことを暗示している。また、この図にはその深さで確認された熱水性細脈 (Vein) の位置とその鉱物種が示してある。上述のとおり、この部分の B/K の値は大きく出て来る。それは B.P-5 のみならず、B.P-2,4 においても認められることで、この点についてはさらに検討し、別に報告するつもりである。

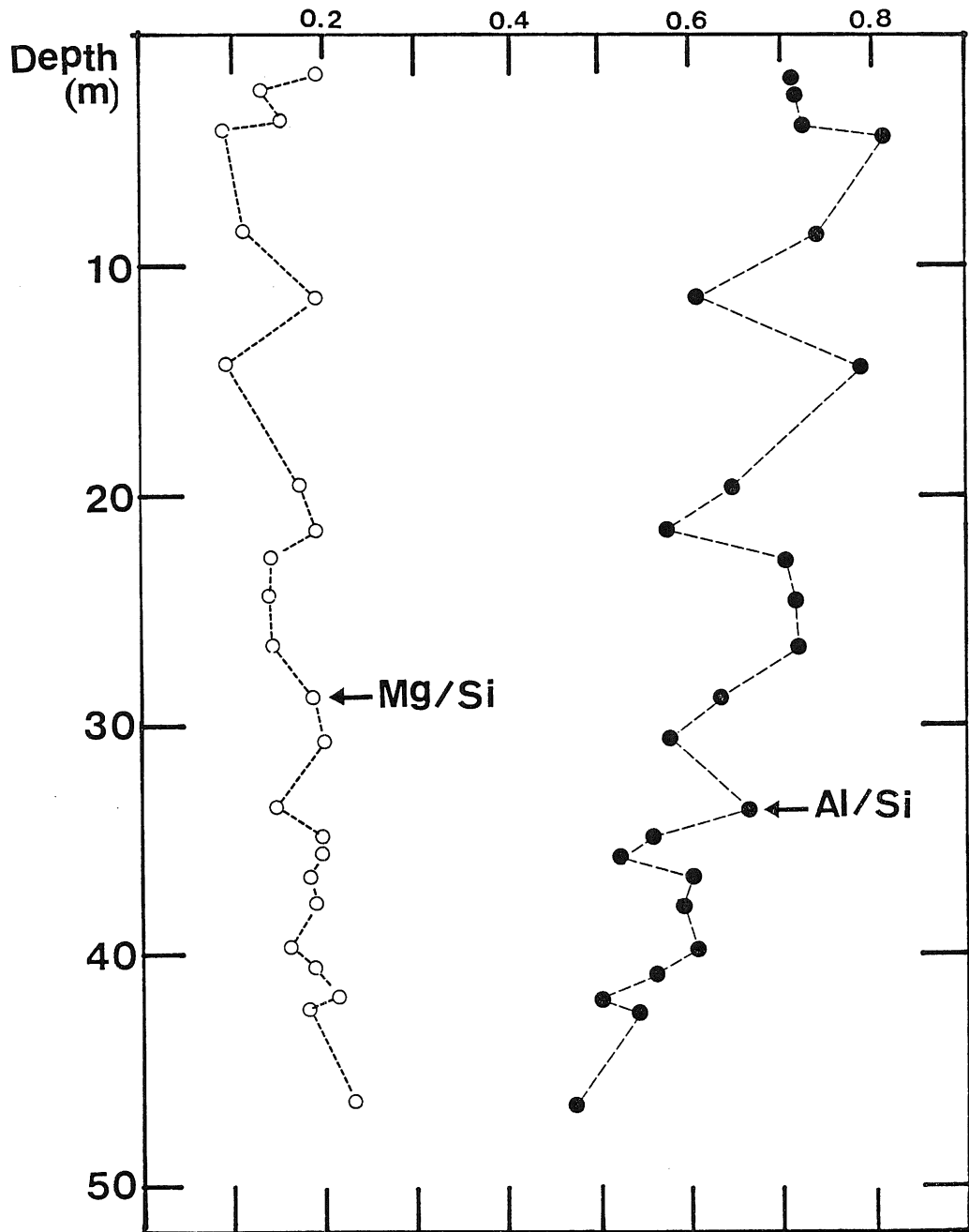


図-46 三朝 B.P-2 における黒雲母の Mg/Si および Al/Si の変化 (原子数の比)

一つの点はその深さにおいて少なくとも 5 個以上の測定値を平均したものである。

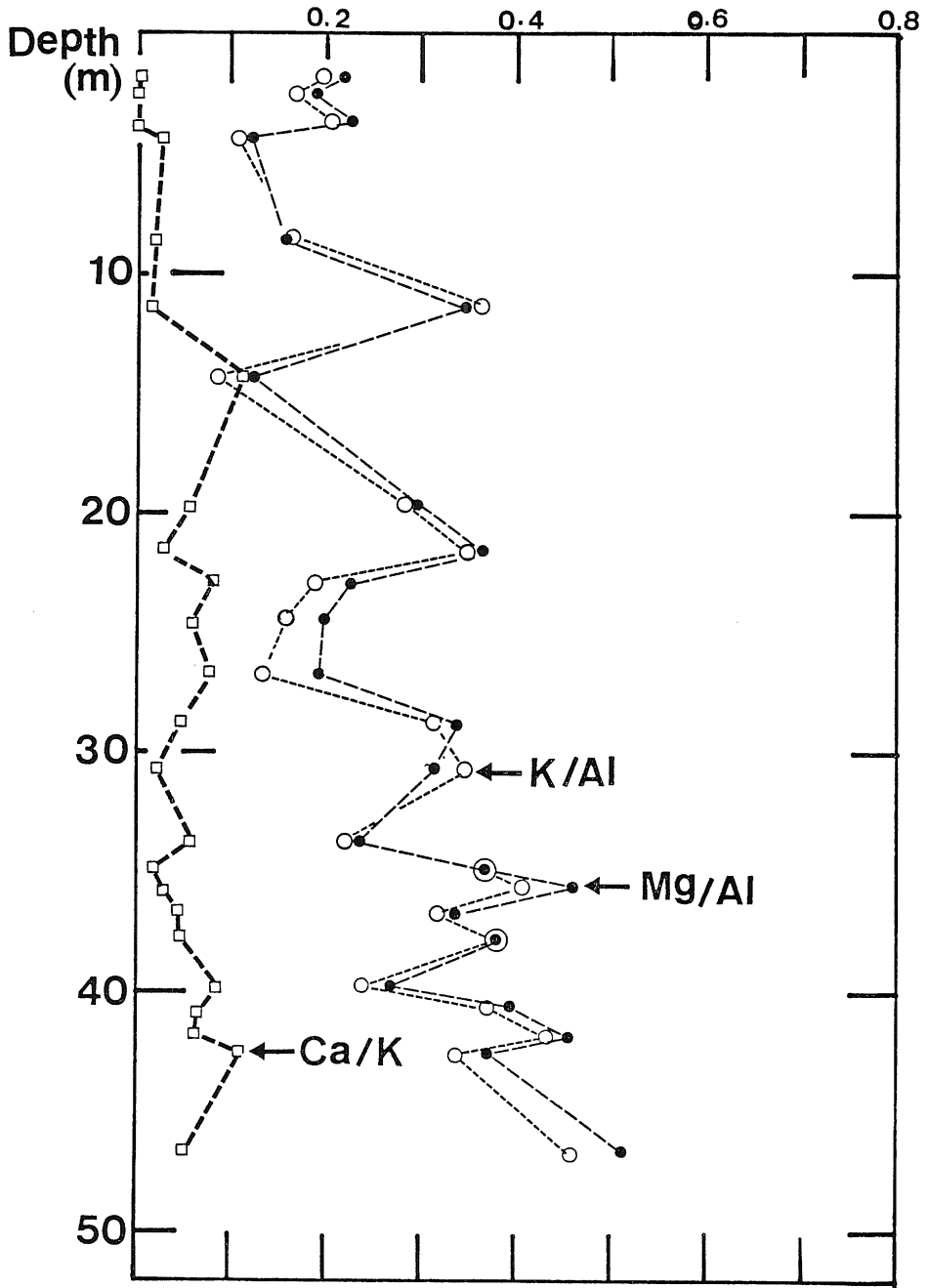
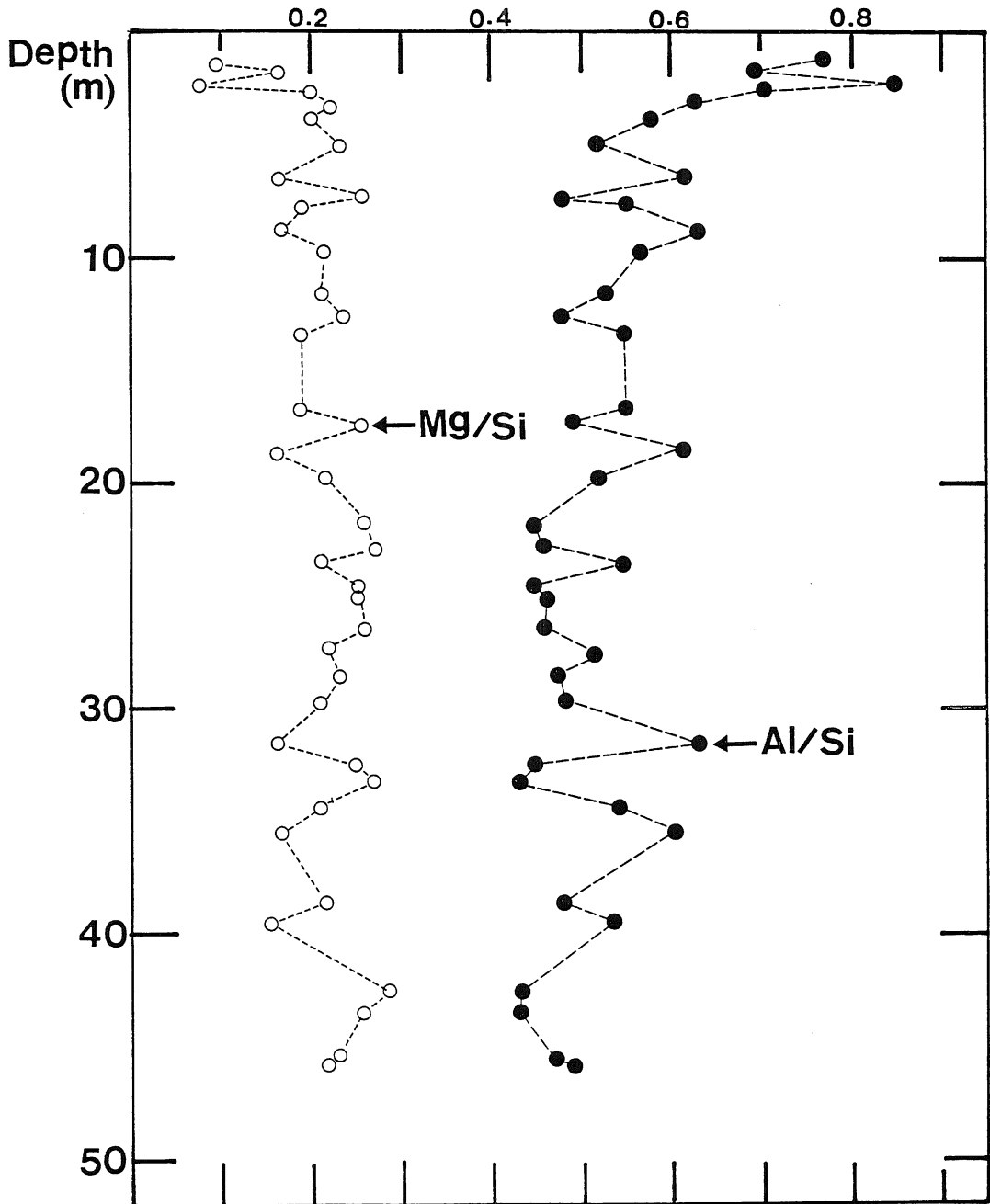


図-47 三朝 B.P-2 における黒雲母の K/Al, Mg/Al およびCa/K の変化 (原子比)



図—48 三朝 B.P-5 における黒雲母の Mg/Si および Al/Si の変化 (原子数の比)

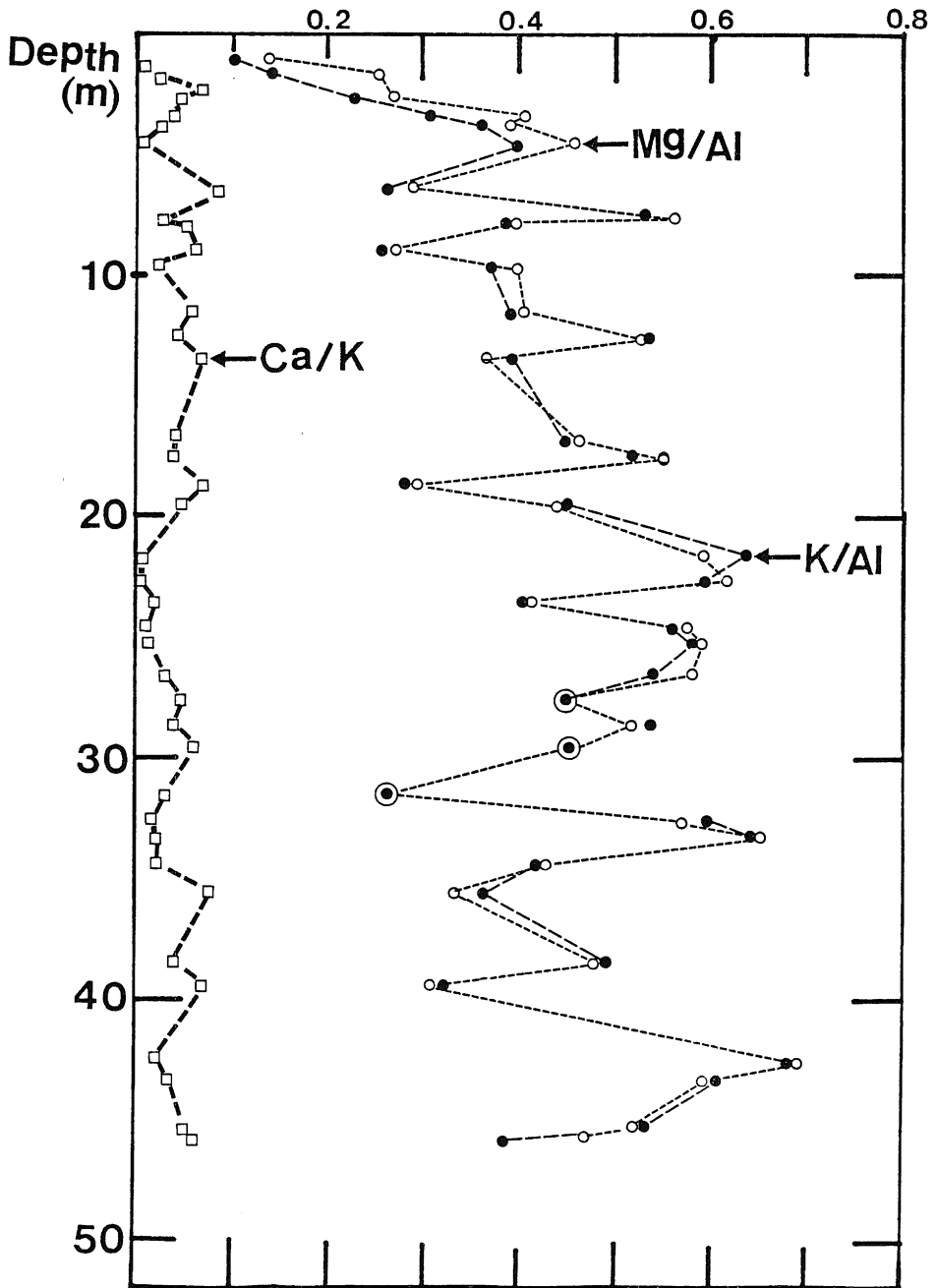


図-49 三朝 B.P-5 における黒雲母の K/Al, Mg/Al および Ca/K の変化 (原子数の比)

図-45を見ると黒雲母は風化指標としてこのような使用の仕方において十分に利用価値があるし、熱水性細脈(Vein)による影響もよく表現されている。このような熱水的な反応を受けることによって斜長石がセリサイト化あるいはモンモリロナイト化作用を受けることについては前述したとおりであるが、これによる熱水変質の影響は岩盤としての強度に波及するのは当然で土木地質的岩盤理解にとっても十分な利用価値があろう。

さらに黒雲母の風化に伴う化学成分変化を検討するために作成したのが図-46, 47, 48, 49図である。図-46は B.P-2 に、図-48は B.P-5 にそれぞれ対応する図で、黒雲母の中の Mg/Si, Al/Si の変化について検討したものである。Mg/Si は風化が進むと減少し、理論的にはカオリナイトになって当然 0 になる数値であるし、Al/Si は逆に増加して同じくカオリナイトになって 1 になる数値である。図-46に示す B.P-2 では、多少の凹凸はあるものの、カオリナイトの傾向が強くて出ており、深部から風化が進んでいることがよく表現されている。一方、図-48で示される B.P-5 の黒雲母では、ほぼ20メートルぐらいから浅部で風化の傾向が僅かに見えはじめ、両者における差は、更に明瞭となってくる。

図-46, 48の両図ともにそれぞれの図の中における Mg/Si と Al/Si の変化が極めて密接に連動し、全く逆の関係がある。つまり Al/Si の増加は Mg/Si の減少に、Al/Si の減少は Mg/Si の増加を誘発している。黒雲母のカオリナイトへの変化とあわせて、黒雲母内部における Mg の溶脱に伴って、それと Al の交換反応が生じている可能性もある。それは B.P-5 によって強く暗示されるところである。

図-47と図-49はそれぞれ B.P-2 と B.P-5 における K/Al, Mg/Al の変化を深さとの関係において図示したものである。この図において上述した意味で Mg/Al は風化変質によってその変化を増幅する。この値は風化度の低い方でより大きい値をとり、風化度が増すことによってより小さい値をとる。図-47, 49に見られるこの値の変化と両図に示される B.P-2 と B.P-5 の変化は両者における風化度の差をよく示している。

さらに Mg/Al, K/Al が両図において各深さごとにほぼ同じ値をとっていることは興味深い。つまり、Mg の溶脱はただちに K の溶脱と連動し、その原子数がほぼ等しいことは風化指標として十分使用される。また K/Al の減少と Ca/K の増加と云う関係がある程度認められる。しかし、その変化は少ない。

三朝ボーリング地点における黒雲母花崗岩は微弱な熱水変質を部分的に僅かに受けてはいるが、大部分は風化

変質過程のみを受けた岩石である。したがって黒雲母の変化もごく緩やかである。これは特に巨大な岩体の中心部を形成している為でもあろう。

黒雲母花崗岩の中で岩株状以下のスケールで貫入するか、あるいは大きな岩体であってもその縁辺部では時に激しい熱水変質を受けているような場合が見られる。そのような場合には花崗岩の黒雲母が著しく緑泥石化を受けていることが多い。このような緑泥石に風化作用が働くと緑泥石はパーミキュライトとの混合層鉱物に変化し、同時にカオリナイト化も進行する。このような例は野外的によく見られる。さらに、緑泥石化の弱い場合には、緑泥石—Vermiculite intergrade 型のパーミキュライトが形成される。これらの例については三浦(1976)が報告している。

6. あとがき

以上、岩石学的には中性から酸性にわたる代表的な深成岩類について、ボーリングコアの研究をとおして風化の立体像を明らかにした。いずれも代表的な風化帯の中で採取されたもので、その成果は岩石学的視点からみた風化岩の岩盤評価の一手法を明らかにしたものと云えよう。

文 献

- 三浦 清 (1966 a) : 島根県 加茂町付近の花崗岩類とその崩壊について(1), 岩鉱, 57, 1, 256-283.
- 三浦 清 (1966 b) : 豪雨によって発生する花崗岩山地の崩壊現象とその特質, 応用地質, 7, 3, 145-158.
- 三浦 清 (1967) : 島根県加茂町付近の花崗岩類とその崩壊について(2), 岩鉱, 57, 1, 11-24.
- 三浦 清 (1973) : 深成岩類の風化に関する研究, 第1報 新第三紀末の赤色風化作用による江津深成岩体の風化, 応用地質, 14, 3, 87-102.
- 三浦 清・樋口和之 (1974) : 深成岩類の風化に関する研究 第2報 鳥取県日野閃緑岩体の赤色風化, 応用地質, 15, 1, 23-34.
- 三浦 清 (1975) : 大東花崗閃緑岩の赤色風化——深成岩類の風化に関する研究 (第3報), 応用地質, 16, 2, 90-97.
- 三浦 清 (1976) : 鳥取花崗岩に見られる黒雲母の特殊変質とその応用地質学的意義, 応用地質, 17, 4, 16-23.
- 三浦 清 (1980) : 軟岩をめぐる諸問題—花崗岩の風化とその力学特性—, 土と基礎, 28, 7, 11-20.
- 三浦 清 (1985) : 昭和58年7月石見豪雨による斜面崩壊の特性, 島根大学教育学部紀要, 19 (自然科学編), 17-27.