

風化鉱物のキャラクタリゼイション

——防災に関する基礎的研究Ⅱ——

西澤 均・満塩 大洸^{**}

* (理学部化学科) · ** (理学部地学科)

I. はじめに

自然界で起こる災害のうち、地滑りや山地崩壊などは岩石圈と大気圈間との相互作用であるが、水圏の水も関係している。特にこれらは岩石圈の構成物である岩石類・鉱物類の風化作用に起因している。風化作用とは地表付近において行われる、化学的・物理学的および生物学的变化の総合的な結果として、岩石類・鉱物類に対して行われる。これらの現象に関しては、例えば土壤学などの観点から多数の単行本も出版されている¹⁾²⁾。また、地球化学的な観点から、風化作用について広く論じたものもある³⁾⁴⁾。

しかし、筆者らがここで試みたような鉱物のキャラクタリゼイション、すなわち、結晶化学的な方面から、岩石類の風化作用にアプローチしたものは少ないので、この方面からとりかかることにした。すなわち、岩石類・鉱物類のなかで、特に風化に強いとされている風化抵抗体としてのケイ酸類⁴⁾のうち、高知県に多いチャートについて焦点を当て、他はこれと比較したものである。これらは風化物・半風化物・新鮮物の観点から解析した。また、基質 matrix はこれらと比較のためであり、高位段丘のクサリ礫層および海成中位段丘の基質、さらに、これらと比較するために、地層を構成しているトリアス紀・白亜紀の石英砂岩（従来、白色粗粒砂岩やアルコース砂岩と呼称されていたが、これらは誤りである）や塩基性凝灰岩 basic tuff の新鮮物・風化物を採集した。これはまた、満塩の提案したいわゆる「クサリ礫風化作用」⁵⁾を解明するための1つの手段でもある。

これらの試料をX線回折やEPMA・SEMなどによって解析した結果について報告する。

II. 実験方法

2-1 サンプリング

使用した試料は表1のようである。すなわち、高知県佐川町斗賀野のクサリ礫からなる高位段丘狩場層⁶⁾のチャート礫の風化・半風化・新鮮の3種類、砂岩は風化・新鮮物の2種類、赤色砂岩と泥岩は風化物の1種類、さらにこれらと比較のため基質matrixである。さらに、中村市平野の海成中位段丘平野層⁷⁾の基質も採集した。

地層としては、高知市北部の円行寺付近の白亜紀の石英砂岩の風化物・半風化物・新鮮物、および、土佐山田町新改のトリアス紀塩基性凝灰岩 basic tuff の風化物・新鮮物、さらに、土佐市宇佐付近の赤色凝灰岩の新鮮物を採集した。

2-2 方法

まず、試料は乾燥後、少量を取り出して粉末X線回折・EPMA・SEMによって、構成している鉱物類の同定や、構成成分の元素類とその分布を検討した。

表1. 採集試料表

試料 No.	名 称	状 態	採 集 場 所	地 質 時 代
1	チャート	新鮮	佐川町斗賀野	狩場層, 高位段丘礫層
2	チャート	半風化	同 上	同 上
13	チャート	風化土	同 上	同 上
6	砂岩	新鮮	佐川町斗賀野	狩場層, 高位段丘礫層
7	砂岩	風化	同 上	同 上
8	赤色砂岩	風化	同 上	同 上
9	泥岩	風化	同 上	同 上
10	基質		同 上	同 上
15	凝灰質基質		中村市平野	平野層, 中位段丘礫層
3	石英砂岩	新鮮	高知市円行寺	白亜紀
4	石英砂岩	半風化	同 上	同 上
5	石英砂岩	風化	同 上	同 上
14	赤凝灰岩	新鮮	土佐市宇佐	白亜紀
11	basic tuff	新鮮	土佐山田町新改	トリアス紀
12	basic tuff	風化	同 上	同 上

III. 結果および考察

以上の方法によって、表2・3の結果が得られた。

3-1 X線回折

この結果を表2に示し、また、これらの1部を図1・2に示す。

A. 高位段丘クサリ礫層の礫の場合

1) 高位段丘のクサリ礫

本層の礫の種類はチャート・砂岩・赤色砂岩・泥岩であり、また、この基質も検討した。

1-1) チャート

試料のチャートの新鮮物は白色で、初めは α -石英のみである。これが半風化しても α -石英のピークのみがみられる(図1)。そして、さらに風化してくると、粘土鉱物(カオリン類)が生成する。なお、 α -石英のピークは新鮮物から風化物になると高角度側の方にシフトするが、これは風化により半径の小さなイオンの固溶か、またはイオンの欠損により結晶格子が縮小することによるものと考えられる。これによって、チャートはより細粒化して風化が進むと考えられる。この現象は初めて確認されたものである。

これにはおそらく周辺からの水の供給とともに、チャート中の微量なAIが集合して、粘土鉱物が生成したものと考えられる。また、風化物は赤みを帯びてくるが、これは1000°Cまでの加熱実験とも一致している⁸⁾⁹⁾。

2. 風化鉱物のキャラクタリゼイション

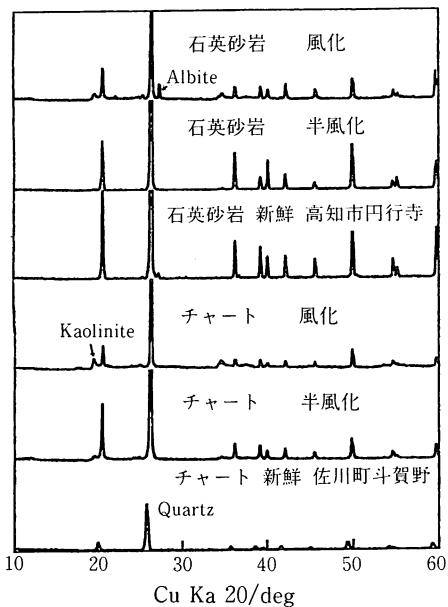


図1. チャート・石英砂岩のX線回折図。
Albite, 豊長石 Kaolinite, カオリン類
Quartz, α -石英

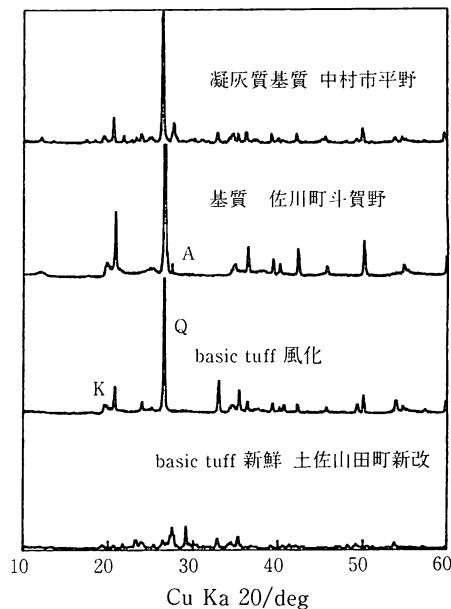


図2. 凝灰岩類・基質のX線回折図。
A, Albite 豊長石 K, Kaolinite カオリン類
Q, Quartz α -石英 basic tuff, 塩基性凝灰岩

表2. XRDによる主要造岩鉱物組成表

No	石英	長石類	方解石	粘土鉱物類
1	A			
2	A			R
13	A			C
6	A	C		C
7	A			C
8	A	R		C
9	A	R		A
10	A	C		C
3	A	R		
4	A			
5	A	C		R
14	A	R		R
11	R	C	C	R
12	A			C
15	A	R		R

A, abundant C, common R, rare

砂岩の新鮮物には α -石英があり、その他に長石がみられる。しかし、風化してくると、長石はなくなり、粘土鉱物がみられる。また、赤色砂岩にも α -石英がみられる。これらは風化して赤色となるが、クロボク（腐植質火山灰）のような真黒な物質を加熱しても約800°Cの累積温度で、このような高位段丘の赤色クサリ礫層に含まれる赤色礫と同様の色相を呈するのと一致する¹⁰⁾。

1-3) 泥岩

泥岩は風化物のみであるが、 α -石英が多く、その他に粘土鉱物がかなりみられる。

1-4) 基質 matrix

狩場層の礫を埋めている基質は α -石英の他に、長石類（豊長石）と粘土鉱物（カオリン類）が少量みられる。これは同層の風化泥岩との差異がほとんどない。

1-5) 中位段丘、平野層の凝灰質物

中村市平野層は海成中位段丘を構成する。時代は138, 500 Y B Pである。この中を埋めている基質は火山質の物質である。

このX線回折図によれば、 α -石英が多く、長石類（曹長石）と粘土鉱物のハロイサイトが少量みられる（図2）。これは前述の高位段丘の基質と大差はないが、長石類と粘土鉱物類がやや多い。

次に地層について検討する。

B. 地層の場合

地層の場合については、石英砂岩・赤色凝灰岩・塩基性凝灰岩について検討した。なお、石英砂岩はこれまで白色粗粒砂岩とか、アルコース砂岩とされていたものである。

1) 石英砂岩（図2）

石英砂岩の新鮮物は α -石英のみであるが、半風化してくるとこのピークが少し弱くなる。しかし、強風化すれば、長石（曹長石）がみられ、また、粘土鉱物（カオリン類）が少量生成する（図1）。

2) 塩基性凝灰岩basic tuff

塩基性凝灰岩basic tuffの新鮮物は、他の試料とは異なってきわめて特殊なものであり、 α -石英はほとんど認められない（図2）。しかし、方解石が含まれていることが特徴であり、また、長石類もみられる。この新鮮物は初めはまだらな色であるが、風化してくるとチョコレート色になり、 α -石英がみられる。その他に、長石類や方解石はなくなり、粘土鉱物（カオリン類）が生成する。

これには、おそらく風化に強い α -石英が相対的に残留・濃縮したものと考えられる。

3) 赤色凝灰岩

赤色凝灰岩は新鮮物のみである。X線回折では α -石英の他に、長石類が少量と粘土鉱物も少量みられる。

以上を概括すると、風化が進めば長石類がなくなり、粘土鉱物が生成する。粘土鉱物は層状ケイ酸塩であるから、これによって地滑りや山崩れを起こし易くなるのである。

3-2. 主要成分の解析

E P M Aによる、各試料の主要成分を検出した結果を表3に示す。

次に、礫層の礫と地層の場合について検討する。

A. クサリ礫層の礫の場合

3-2-1) チャート

新鮮物はSiのみであるが、半風化するとAlが生じてきて、他にKとFeもできる。さらに風化が進むと、Al・K・Feは増加して、他にはTiも生じてくる。これはチャートの中に初源的に存在していた元素類から濃縮して供給されたか、あるいは、周りの地質から供給されたと考えざるを得ない。

すなわち、Alは風化が進んでくるにつれて、増加するという特徴がある。

3-2-2) 砂岩・泥岩

砂岩の新鮮物は、Siの他にはAl・Feが多く、K・Mnも微量にみられる。これが風化するとMnがなくなり、Tiが生じる。反対に、Alが多くなる。また、K・Feは変化はない。

風化した赤色砂岩は、前記の風化した白色砂岩と差異はない。

2. 風化鉱物のキャラクタリゼイション

なお、風化泥岩も赤色砂岩と大差はないが、Kが多くて、反対にTiがやや少ない。また、基質も風化泥岩と大差はなく、単にTiがないのみである。

表3. E P M Aによる元素分析表

No	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1						A			
2		R			C	A			R
13		C			A	A	vR		C
6		R			C	A		R	C
7		R			A	A	R		C
8		R			A	A	R		C
9		C			A	A	vR		C
10		C			A	A			C
3					R	A	R		
4		R			C	A			R
5		C			A	A			C
14		C	vR		A	A	vR		C
11	R	R	R	A	C	A	vR		R
12		C			A	A	vR		C

A, abundant C, common R, rare vR, very rare

B 地層の場合

3-2-3) 石英砂岩

この新鮮なものは、Siがもっとも多く、AlとTiは少ない。これが半風化すると、Siは変化はないが、Tiがなくなり、反対にAlが多くなる。そして、FeとKが生じてくる。これがさらに風化作用を受けると、半風化物と大差はないが、AlとK・Feが増加する。

特に、Alは風化が進んでくるにつれて、だいに多くなるという特徴がある。これはチャートでも同様である。

また、新鮮な赤色凝灰岩は風化泥岩によく類似しているが、これにはMgがきわめてわづかに存在していることのみが相違である。

3-2-4) 塩基性凝灰岩

この新鮮物は各種の元素がそろっている。すなわち、Siが多く、Alは少ない。しかし、他の試料と異なってCaが多く含まれ、また、Mg・Naが含まれていることも相違点である。しかし、これが風化すると、CaやMg・Naがなくなる。反対に、K・Feは増加し、また、Alも増加する。

以上を概括すれば、風化作用が進むときに、増加する元素はAlであり、KやFeも増加する。反対に、減少する元素はNaやMg・Caなどである。また、同じく円行寺付近の蛇紋岩の露頭からでも、その強風化物から粘土鉱物を検出しており、これは水熱状態におけるAlの溶脱実験から

証明されている¹⁰⁾¹¹⁾.

これらの元素移動はこれまでの諸結果とも一致している³⁾⁴⁾

これらによって、AIが増加して、ケイ酸アルミニウムの層状ケイ酸塩、すなわち、粘土鉱物が生成するのである。そして、これが層間に水を含み易くなり、これによって地滑りや山崩れが起こるのである。

なお、SEM写真については、膨大になるのでここでは省略する。

IV. まとめ

以上の15種類の試料のX線回折・EPMA・SEMによる変化の結果を要約すれば、次のようになる。

- 1) チャートの新鮮物は α -石英のみであるが、風化するに従って高角度側にシフトし、さらに長石が加わり、最終的には粘土鉱物が生じる。石英砂岩も風化が進むと粘土鉱物を生じる。
- 2) 他の砂岩・泥岩も初めに含まれていた長石類は風化が進んで粘土鉱物となる。また、基質は泥岩より長石類や粘土鉱物類が多い。塩基性凝灰岩は風化すると、石英・粘土鉱物類が増えて方解石・長石類が減少する。
- 3) 元素類については、風化が進行するにつれて、Al・K・Feが増加してくる。反対に、Na・Mg・Caは減少する。
- 4) 以上によって、AIが増加することによって粘土鉱物が生成し、地滑りや山崩れが起こり易くなるのである。

今後はAIの濃縮機構を解明する必要がある。

謝辞

この報告をなすに当たり、ご協力いただいた高知大学農学部の玉井佐一教授・理学部地質学教室の岡村真助教授、および、環境変動研究会に厚く感謝します。

文献

- 1) 菅野一郎編、1966、日本の土壤型、460 pp.
- 2) 大政正隆、1984、土の科学、225pp.
- 3) メイスン、B. (一色・松井訳)、1985、一般地球化学、485pp.
- 4) ストラーホフ (水野他訳)、1967、堆積岩の生成ーそのタイプと進化、I. 235pp.
- 5) Mitusio, T. 1989, The middle terrace problems in Shikoku, Japan. *Kuroshio spec.* vol. 4 : 187-202.
- 6) 満塩大洸・野田耕一郎、1991、花粉層序学的研究、その2、高知県中央部・西南部の第四紀層。高大学研報、40: 71-83.
- 7) 満塩大洸・古川博恭、1988、四国の第四紀層。地質学論集、(30) : 145-154.
- 8) 満塩大洸・山下修司・大山道也・木村壮一郎、1990、未利用岩石の有効利用、その2、加熱による風化。ウェイストリソース、(22) : 13-20.
- 9) 満塩大洸、1992、赤色クサリ礫風化の実験的研究—防災の基礎的研究Ⅰ—。くろしお、特別号、(6) : 3-10.

2. 風化鉱物のキャラクタリゼイション

- 10) 満塙大洸, 1985, 未利用資源の有効利用, その4, 腐植質火山灰の加熱による色の変化と第四系の色との比較. 海洋・資源, (13) : 25-32.
- 11) Mitusio, T., Matsuoka, K., Nishizawa, H., Yamasaki, N. and Yanagisawa, K. 1983, Interaction of water and serpentinite. *Proc. 4th Intern. Symposium on Water and Rocks* : 337-339.