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)—

三 浦 清*

The Weathering of Daito Granodiorite Mass, Shimane Prefecture, Japan

—Weathering in Plutonic Rocks (Part 3)—

Kiyoshi MIURA

The Daito granodiorite mass is widely exposed in Kisuki-Daito district. This rock has a somewhat homogeneous composition and is medium to coarse-grained rock consisting chiefly of plagioclase, quartz, orthoclase, biotite and hornblende, accompanied by small quantities of apatite, magnetite, zircon and sphene.

Whole rock and their biotite were examined by X-ray powder diffraction method and chemical analysis.

The grade of chemical weathering that have taken place in rocks was determined by A.D.F. proposed by present writer.

The amount of leaching from the parent rocks, relating to the cation, have intimate relations with A.D.F.

By weathering reaction, biotite is altered to the mixed matters composed of biotite and kaolinite at about 15 in A.D.F., passing through the mixed matters composed of unstable biotite, interstratified biotite-vermiculite mineral and kaolinite at about 89, interstratified vermiculite-montmorillonite mineral, interstratified biotite-vermiculite mineral and kaolinite at about 77, interstratified biotite-(vermiculite-chlorite intergrade) mineral and kaolinite at about 19 in A.D.F. value.

The results indicates that the altered products of biotite gives a measure of the proceeding on the weathering process of parental rock.

1. ま え が き

侵食、崩壊などのいわゆる地盤変動に関する調査、研究などにおいて、岩石の風化が占める役割が大きいことは当然である。しかしながら、これら応用地質学的分野と岩石学的分野との間が十分に埋められているとは云えない。筆者はこの領域を指向しつつ、研究を進めているが、本論文もその一貫として書かれたものである。

2. 地 質 概 説

大東花崗閃緑岩体は、木次附近を中心としてNE-SW方向に帯状をなして延長する岩体で河野等¹⁾の研究によるとその貫入時期は44~58(my)と考えられている。本岩体をはさんでその南北には、これに貫入する黒雲母花崗岩が分布する(図-1 参照)。これらを被覆して、第四紀の大山、三瓶両火山起源の火山降下堆積物を見ることがある。

本岩体の風化帯には、豪雨性崩壊が多発し、それに関

する多くの研究が筆者²⁾、黒田等³⁾、大八木⁴⁾、安藤等⁵⁾などによってなされ、報告されている。

3. 大東花崗閃緑岩体の岩石学的性質

本岩石は、やや粗粒で、一般に塩基性包有岩片を含むことが多い。

主成分鉱物は石英、斜長石、正長石、黒雲母、角閃石からなり、少量の磁鉄鉱、磷灰石、クサビ石、ジルコンなどを含む。

石英は不規則な外形を示し、大きいもので2mm×2mm程度である。

カリ長石はすべて正長石で、大きいものでは2.5mmのものが観察される。一般に短柱状をなし、わずかにパーサイト構造を示し、斜長石との接触部で微文象構造が認められることがある。

斜長石は、他の造岩鉱物に比して、やや明瞭な結晶輪郭を示し、カルルスパッド、アルパイト、ペリクリン式などの双晶を示す。大きいもので4.5×2.2mm程度の大いさをもつ。平均的に斜長石のAn含量は29~30%

* 島根大学教育学部地学研究室

1: 大東花崗閃緑岩, 2: 黒雲母花崗岩, 3: 沖積層

A点: 試料 48031501, 49051001, 49051002 採取地点

B点: 試料 48031502, 48031503, 48031504, 48031505 採取地点

図-1 地質図

表-1 造岩鉱物の容量パーセント

造 岩 鉱 物			容量パーセント
石		英	26.36
斜	長	石	51.12
正	長	石	13.35
黒	雲	母	6.20
角	閃	石	2.50
そ	の	他	0.47
計			100.00
斜長石の An (%)			30~28

程度である。

黒雲母は $1.6 \times 1.4 \text{ mm}$ 程度の大きさを示し、時には緑泥石、緑簾石化を受けていることがある。

角閃石は長柱状を示し、その大きさは大きいもので $4 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 程度である。

造岩鉱物の含量は、産地によって多少の変化が認められるが、平均的には表-1 に示すようなものである。Chayes⁶⁾ の分類に従うなら B/H II P_{9.17} とすべきであろう。なお、表-2 の (1) は、図-1 の A 地点で採取した 3 個の新鮮な岩石の化学組成の平均値を示したものである。

表-2 新体岩とその風化岩ならびに崖錐土の化学組成

成 分	番 号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
SiO ₂		66.30	65.24	65.29	62.70	59.60	58.58	54.87
TiO ₂		0.55	0.65	0.67	0.70	1.00	0.77	0.78
Al ₂ O ₃		15.24	16.28	17.58	19.08	19.53	18.45	24.09
Fe ₂ O ₃		1.76	2.50	1.05	5.07	6.55	8.19	4.50
FeO		2.42	2.00	1.11	0.33	0.25	0.32	0.28
MnO		0.07	0.08	0.08	0.02	0.02	0.01	0.01
MgO		2.11	2.35	1.97	0.64	0.41	0.87	0.80
CaO		3.91	4.25	3.69	0.41	0.05	0.02	0.01
Na ₂ O		3.64	3.76	3.86	0.56	0.31	0.26	0.16
K ₂ O		2.48	1.81	1.75	2.57	2.49	2.52	1.94
H ₂ O(-)		0.24	0.24	0.67	1.66	2.31	2.52	3.77
H ₂ O(+)		1.06	1.03	1.50	6.25	7.77	8.09	8.81
P ₂ O ₅		0.15	0.22	0.10	0.10	0.10	0.36	0.12
Total		99.93	100.41	99.32	100.09	100.39	100.96	100.14
A.D.F.		100.00	88.89	76.54	18.52	12.35	14.81	11.11

(1): 48031501 (2): 49051001 (3): 49051002 (4): 48031502 (5): 48031503 (6): 48031504

(7): 48031505 (崖錐土)

表-3 研究試料の地質的諸元

試料番号	採取地点	地質関係	風化土色調	密度	A.D.F.
48031501	図-1 A 地点	新鮮な花崗閃緑岩		2.75	100.00
49051001	"	新鮮岩上 約 4 m			88.89
49051002	"	" 13 m			76.54
48031502	図-2 B 地点	崖錐土基底部下 3.7 m	7.5Y R8/6		18.52
48031503	"	" 2.5 m	10R7/8	1.27	12.35
48031504	"	" 1.3 m	10R6/8	1.24	14.81
48031505	"	崖錐土基底部分 (崖錐土)	10R5/8	1.29	11.11

4. 風化作用の時代

上述のように、本岩体は、場所によって、第四紀火山の降下堆積物によって被覆され、それを利用して風化を受けた時代を推定することが出来る。

赤色風化の模式地は、図-1 の B 地点、すなわち、木次町寺領小学校運動場の崖地である。ここでは、最上部に、二枚の火山降下堆積物がみられ、その直下に約 1 m の花崗閃緑岩起源の古崖錐堆積物をみることが出来、その下位から、いわゆる花崗閃緑岩となっている。二枚の火山降下堆積物のうち、上位のものは松井等⁷⁾によると三瓶火山起源のもので、その時代は少なくとも 25,600 ± 1,000 年よりもやや古いとされている。一方、下位のものは、大山中部火山灰に相当し、その降下年代は、30,200 ± 3,500 年と考えられている⁸⁾。

この露頭で見る限り、下部の火山降下堆積物には赤色風化作用の影響がみられるが、上部の火山降下堆積物にはみられない。

赤色風化作用の開始時期については不明であるが、その末期は少なくともこの上下両火山降下堆積物の時代差の間に入ってるくことだけは明らかである。

5. 研究試料

実際問題として、一露頭で新鮮なものから赤色土化したものまで観察される場合は稀れであろう。この地域においても、そのような露頭は存在しないので、図-1 の A, B 地点にまたがって研究試料を採取した。その地質的關係などを表-3 に示す。

前述のように、B 地点では風化試料上に直接約 1 m の厚さをもつ古崖錐土が堆積し、さらにその上を上下二枚の火山降下堆積物が被覆する。そして下部火山降下堆積物以下が赤色風化を受けて赤色土化し、下部に向かって次第に黄色化する。

全体としてみるなら、上部から下部に向かって A.D.F. 値⁹⁾を増している。

6. 風化作用による岩石の化学組成変化

表-2 は新鮮岩とその風化岩ならびに崖錐土の化学組成を A.D.F. の値と共に示したものである。分析値に示されるごとく、相対的变化量として Fe_2O_3 , Al_2O_3 , H_2O などは風化の進行につれて増加し、逆に FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O は特徴的に減少する。 K_2O の変化は少ない。

これら分析値に示される値の変化は相対的なものであるから、密度測定試料について岩石中 1 m³ の各酸化物のグラム数、モル数、グラムイオン数を求めることによって、それらの絶対的な変化量を得た。その結果を表-4, 5, 6 に示す。

表-7 は表-6 の値から計算した各陽イオンについて、岩石の風化にともなう減少率ならびに増加率を示したものである。

これによると A.D.F. = 12.35 のものでは各イオンの

表-4 1 m³ 中のグラム数

番号 成分	(1)	(2)	(3)	(4)
SiO ₂	1,824,900	753,974	719,485	706,830
TiO ₂	15,125	12,649	9,461	10,049
Al ₂ O ₃	419,375	247,066	226,610	310,322
Fe ₂ O ₃	48,400	82,855	100,589	57,973
FeO	66,550	3,162	3,931	3,612
MnO	1,925	254	124	129
MgO	58,025	5,182	10,689	10,307
CaO	107,525	635	248	129
Na ₂ O	100,100	3,924	3,199	2,064
K ₂ O	68,200	31,496	30,950	24,987
H ₂ O(-)	6,600	29,223	30,950	48,569
H ₂ O(+)	29,150	98,298	99,361	113,494
P ₂ O ₅	4,125	1,270	4,427	1,548

(1): 48031501 (2): 48031503 (3): 48031504

(4): 48031505 (崖錐土)

表-5 1 m³ 中のモル数

番号 成分	(1)	(2)	(3)	(4)
SiO ₂	80,385	12,554	11,979	11,769
TiO ₂	189	158	118	126
Al ₂ O ₃	4,114	2,424	2,223	3,044
Fe ₂ O ₃	303	519	630	363
FeO	926	44	55	50
MnO	27	4	2	2
MgO	1,439	129	265	256
CaO	1,917	11	4	2
Na ₂ O	1,616	63	52	33
K ₂ O	724	334	329	265
H ₂ O(-)	367	1,624	1,719	2,698
H ₂ O(+)	1,619	5,461	5,520	6,305
P ₂ O ₅	29	9	31	11

(1): 48035101 (2): 48031503 (3): 48031504
(4): 48031505 (崖錐土)

表-6 1 m³ 中のグラムイオン数

番号 元素	(1)	(2)	(3)	(4)
Si ⁴⁺	30,385	12,554	11,979	11,769
Ti ⁴⁺	189	158	119	126
Al ³⁺	8,228	4,847	4,446	6,088
Fe ³⁺	606	1,038	1,260	726
Fe ²⁺	926	44	55	50
Mn ²⁺	27	4	2	2
Mg ²⁺	1,439	129	265	256
Ca ²⁺	1,917	11	4	2
Na ⁺	3,232	127	103	67
K ⁺	1,448	669	657	531
H ⁺ (-)	733	3,247	3,439	5,397
H ⁺ (+)	3,239	10,922	11,040	12,610
P ⁵⁺	58	18	62	22

(1): 48035101 (2): 48031503 (3): 48031504
(4): 48031505 (崖錐土)

減少する順位が Ca²⁺>Na⁺>Fe²⁺>Mg²⁺>Mn²⁺>P⁵⁺>Si⁴⁺>K⁺>Al³⁺>Ti⁴⁺>Fe³⁺>H⁺(+) となり, A.D.F. =14.81 のものでは Ca²⁺>Na⁺>Mn²⁺>Fe²⁺>Mg²⁺>Si⁴⁺>K⁺>Al³⁺>Ti⁴⁺>P⁵⁺>Fe³⁺>H⁺(+) となる。両者を比較すると Mn²⁺, P⁵⁺ を除いてよく一致していると云える。Mn²⁺ については, この程度の風化岩においてその酸化物がしばしば斑点状に析出していることがあったり, 脈状をなすことがあるのでその影響が現われたのであろう。

表-7 岩石 1 m³ 中のグラムイオン数減少率

計算式 元素	(1)-(2) (1) × 100	(1)-(3) (1) × 100	(1)-(4) (1) × 100
Si ⁴⁺	58.68(%)	60.58(%)	61.27(%)
Ti ⁴⁺	16.40	37.57	33.33
Al ³⁺	41.09	45.96	26.00
Fe ³⁺	⊕ 71.28	⊕ 107.92	⊕ 19.80
Fe ²⁺	95.25	88.66	94.60
Mn ²⁺	85.19	92.59	92.59
Mg ²⁺	91.04	81.58	82.21
Ca ²⁺	99.43	99.79	99.90
Na ⁺	96.07	96.81	97.93
K ⁺	53.83	54.63	63.33
H ⁺ (-)	⊕ 342.97	⊕ 369.17	⊕ 636.30
H ⁺ (+)	⊕ 237.20	⊕ 240.85	⊕ 289.32
P ⁵⁺	68.97	⊕ 6.90	62.07

⊕ 印は増加率

(1): 48035101 (2): 48031503 (3): 48031504
(4): 48031505 (崖錐土)

Al₂O₃ が風化過程において不変とする意見もあるが, 実際には減少することが理解され, 前報^{9),10)}や Hendrick et al¹¹⁾ の研究においてもそれが支持される。

Ca²⁺, Na⁺ は大部分が斜長石成分であり, それが風化によって著しく影響を受ける鉱物であることを示し, 逆

表-8 黒雲母とその風化物の化学組成

番号 成分	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SiO ₂	35.66	35.36	33.93	38.28	37.36
TiO ₂	4.08	3.88	5.23	2.21	2.29
Al ₂ O ₃	15.46	14.58	11.41	25.88	24.92
Fe ₂ O ₃	4.72	11.58	17.17	10.51	11.20
FeO	13.75	5.29	1.43	0.29	0.22
MnO	0.23	0.20	0.20	0.09	0.06
MgO	13.98	11.88	10.15	5.06	4.28
CaO	0.62	1.04	2.14	0.13	0.00
Na ₂ O	0.03	0.54	0.24	0.03	0.09
K ₂ O	6.50	4.09	2.41	1.51	1.69
H ₂ O(-)	0.61	5.29	6.94	3.88	3.22
H ₂ O(+)	3.37	5.65	8.93	12.34	13.84
P ₂ O ₅	0.34	0.30	0.29	0.30	0.49
Total	99.35	99.68	100.47	100.51	99.66
母岩の A.D.F.	100.00	88.89	76.54	18.52	11.11

(1): 48035101 (2): 49051001 (3): 49051002
(4): 48031502 (5): 48031505

に K^+ の減少順位が低いのは正長石が風化しにくい鉱物であることを示す。この事は 表-8 における黒雲母の風化過程における K^+ の挙動によっても支持される。

7. 風化にともなう黒雲母の変化

風化の指標として黒雲母のもつ意義は大きく、長沢¹²⁾ はこれについて詳述している。

表-8 は黒雲母の風化過程における化学組成変化を示したものである。残念ながら、著しく風化したものでは、附着物質の除去に問題があるので満足な実験結果が得られなかったのを省かざるをえなかった。しかし、 K_2O 、 FeO の減少、 Al_2O_3 、 $H_2O(+)$ の増加など、後述するその鉱物学的変化とよく調和している。

図-2 においてその鉱物変化が示されている。さらに、その各々について検討する。

図-2 黒雲母とその風化物とX線回折図（無処理）
（番号は 表-2 の分析番号と同じ）

図-3 黒雲母風化物のX線回折図 (4905001)
(1) 無処理, (2) 200°C 加熱, (3) 300°C 加熱,
(4) 400°C 加熱, (5) 500°C 加熱, (6) 600°C 加熱,
(7) エチレン・グリコール処理, (8) HCl (1:1) 処理,
(9) $MgCl_2$ 処理, (10) NH_4NO_3 処理, (11) KCl 処理

図-3 は A.D.F.=88.89 の黒雲母に関するX線回折図である。10.28 Å 附近の強い回折線は主として黒雲母型格子に由来するものであろうが、 $MgCl_2$ 、KCl、 NH_4Cl 各溶液処理後の変化をみるとそれが容易にパーミキュライトに移行しやすい不安定な状態の黒雲母に変化していると解釈される。12.10 Å 附近のピークは、加熱変化、KCl、 NH_4Cl 各溶液処理の結果から、それが黒雲母とパーミキュライトの混合層鉱物によるものと判断される。この段階では僅かのカオリナイトが生成されているのが 7 Å 附近のピークからうかがえる。

図-4 は A.D.F.=76.54 の黒雲母に関するX線回折図である。各処理の結果から判断すると 14 Å 附近にみられるピークはその主体がパーミキュライトと判断されるがその中に膨潤型格子をもつ鉱物が含まれている。恐らく、それはモンモリロナイト型鉱物が混合層として含ま

図-4 黒雲母風化物の X 線回折図 (49051002)

れている可能性を示すかもしれない。7 Å 附近のピークはカオリナイトによるものであろう。

図-5 は A.D.F.=18.52 の黒雲母に関する X 線回折図である。7.31 Å で示される強い回折線はカオリナイトによるものである。また、11.63 Å の強い回折線は、各処理の結果から判断すると黒雲母と (Vermiculite-Chlorite intergrade)¹⁹⁾ の混合層鉱物であろうと判断される。

(Vermiculite-Chlorite intergrade) はバーミキュライトの層間陽イオンを交代して Al-hydroxy が入ったもので、その層間陽イオンが非交換性の為に K⁺ や NH₄⁺ 処理で縮まないものと解釈される。

図-6, 7 は A.D.F.=12.35 および 14.81 の黒雲母に関する X 線回折図である。10.52 Å 附近の幅広いピークは各処理を通じて黒雲母に由来するものと解釈される。また、7.43 Å, 7.37 Å に見られるピークはカオリナイトに由来するものである。

図-5 黒雲母風化物の X 線回折図 (48031502)

以上の結果を要約すると表-9 の如くなる。これから理解されるように、黒雲母の変化様式が式が風化過程における意味ある指標を与えていると云うことが出来るであろう。

8. む す び

以上、大東花崗閃緑岩について、その風化過程における化学的変化と黒雲母の鉱物学的変化について述べた。

これらの結果は、応用地質学的諸事象の岩石学的検討に対する方法論の確立に一つの暗示を与えるものと云える。

(1) 無処理, (2) 300°C 加熱, (3) 500°C 加熱, (4) 600°C 加熱, (5) エチレン・グリコール処理, (6) HCl 処理, (7) MgCl₂ 処理, (8) NH₄NO₃ 処理, (9) KCl 処理

図-6 黒雲母風化物の X 線回折図 (48031503)

(1) 無処理, (2) 300°C 加熱, (3) 400°C 加熱, (4) 500°C 加熱, (5) 600°C 加熱, (6) エチレン・グリコール処理, (7) HCl 処理, (8) MgCl₂ 処理, (9) NH₄NO₃ 処理, (10) KCl 処理

図-7 黒雲母風化物の X 線回折図 (48031504)

表-9 黒雲母の風化過程にともなう鉱物変化

A.D.F.=100	88.89	76.54	18.52	14.81-12.35
Biotite	Unstable Biotite	Interstratified Vermiculite Montmorillonite mineral		
	Interstratified Biotite- Vermiculite mineral	Kaolinite (minor content)	Interstratified Biotite- (Vermiculite-Chorite intergrade) mineral	Kaolinite
	Kaolinite (minor content)	Interstratified Biotite- Vermiculite mineral	Kaolinite	Biotite

参 考 文 献

- 河野義礼, 植田良夫 (1967): 本邦火成岩の K-Ar dating (VI)——花崗岩類, 総括——, 岩鉱, Vol. 59, No. 5, pp. 177~187.
- 三浦 清 (1966, 67): 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, Vol. 56, No. 6, pp. 256~283, Vol. 57, No. 1, pp.

11~24.

- 黒田和男, 窪木時雨郎 (1973): 島根県大原郡下の風化花崗岩地帯における山くずれの地質学的研究, 防災科学技術総合研究報告, No. 30, pp. 7~22.
- 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, No. 14, pp. 113~127.

- 5) 安藤 武, 黒田和男, 柴藤喜平, 三浦 清 (1968): 島根県大原郡地方における崩壊とそれに関連する花崗岩の風化機構について, 防災科学技術総合研究報告, No. 14, pp. 31~75.
- 6) CHAYES, F. (1957): A provision reclassification of granite: *Geo. Mag.*, Vol. 94, pp. 58~68.
- 7) 松井整司, 井上多津男 (1971): 三瓶火山の噴出物と層序, *地球科学*, Vol. 25, No. 4, pp. 147~163.
- 8) 山陰第四紀グループ (1969): 山陰海岸地域の第四系, 日本の第四系 (地図研専報 15), pp. 356~376.
- 9) 三浦 清 (1973): 深成岩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*, Vol. 14, No. 3, pp. 1~16.
- 10) 三浦 清, 樋口和之 (1974): 深成岩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*, Vol. 15, No. 1, pp. 23~34.
- 11) HENDRICKS, D.M., and WHITTING, L.D. (1968): Andesite weathering II. Geochemical changes from andesite to saprolite: *Jour. Soil Sci.*, Vol. 19, pp. 147~153.
- 12) 長沢敬之助 (1972): 風化過程におけるウンモの変質, *鉱物学雑誌*, Vol. 10, No. 6, pp. 528~539.
- 13) BIRKELAND, P. W. (1974): *Pedology, Weathering, and Geomorphological research*: (Oxford Univ. Press).

(昭和50年5月14日受理)