

風化による火山岩の化学成分の変化

広川 治* 陶山 たま*

Résumé

Chemical Changes of the Volcanic Rocks due to Decomposition

by

Osamu Hirokawa & Tama Suyama

The chemical changes of andesite and basalt undergone the weathering process are noted in this report. The results of chemical analyses of the fresh rocks and their weathering products are given in Table 1 and Table 2 in four varying stages of degeneration. The results calculated from those analyses (Table 7, Table 8) are shown in Figs. 1 and 2. The formula employed in the calculation is as follows;

$$Y = 100 \frac{A_o X_w}{A_w X_o}$$

in which Y, denotes decreased percentage of each oxide of decomposed rocks; A_o , the percentage of alumina or sesquioxide in the fresh rock; A_w , the percentage of alumina or sesquioxide in the decomposed rock; X_o , the percentage of any oxide in the fresh rock; X_w , the percentage of the same oxide in the decomposed rock. The values of SiO_2/Al_2O_3 and Fe_2O_3/Al_2O_3 calculated from the analyses in Table 1 and Table 2 are shown in Fig. 3, comparing with those of the other rocks and some weathering products.

まえがき

風化に関する研究は多いが、わが国の火成岩が風化して、土壌になつて行く過程を示す資料はきわめて少ない。そこで火成岩のうち、安山岩および玄武岩が風化して土壌になる過程、特に化学成分の変化過程を示す2例を報告し、風化によつて生ずる鉄床や土壌等に関する参考資料としたい。

1. 試料の産地および産状

試料は安山岩および玄武岩を原岩とするものであるが、いずれの試料も、浅熱水性作用や深層風化作用を受けたものでなく、地表近くの風化作用によると考えられる風化産物を選んだ。

安山岩¹⁾ およびその風化産物の採集地は、北海道南西部、那須火山帯に含まれる 1/50,000 岩内図幅内のチセヌプリ北方三角点 755.3 の北 300 m (岩内郡前田村大谷地北西方) の道路側の、樹木に覆われて蔭になつたところである。附近には熔岩流ないし泥流中の岩石が崩壊し、径 1~3 m の岩塊が多数散乱している。これらの岩塊には新鮮なものから、風化して軟らかくなつたものがあり、一部は分解して砂ないし土となつている。この附近の

Lang の雨量因数 = $\frac{\text{年降水量 (mm)}}{\text{年平均気温 (}^\circ\text{C)}} = \text{は約 } 114.7 \text{ (註1) である。}$

ある。

玄武岩²⁾ およびその風化産物の採集地は、静岡県伊豆半島東岸、網代町南 250 m、御石ヶ沢北方の道路側の切割りで、附近は海岸で大きな樹木はほとんどない。露出している風化した熔岩には径 1 m 内外の球状の部分が生じており、たまねぎ状に割れる。1つの球状の部分を考えた場合、内部から外部へ向かつて風化が進んでおり、球と球との間は土状を呈している。この附近の Lang の雨量因数は、約 138.8^{註2)} である。

2. 実験に供した試料

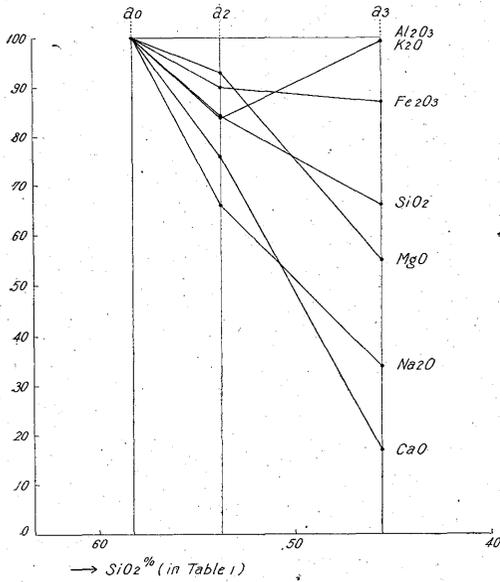
安山岩およびその風化産物¹⁾: 石英角閃石含有橄欖石両輝石安山岩であつて、更新世の中期~後期に噴出したものと推定される。散乱した岩塊ないし土砂から、風化過程を示すと考えられる4種の試料 ($a_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3$) を採集した。

a_0 最も新鮮なもので、堅硬、緻密で帯褐灰色を呈している。斑晶は斜長石・普通輝石・紫蘇輝石・橄欖石・角閃石であり、稀に石英を含む。

斜長石は曹灰長石~中性長石で、累帯構造がかなり発

* 地質部

註1) 註2) 諏訪 彰 (気象台) からの文書による。



第1図 風化した安山岩における各酸化物の減少百分率
 Fig. 1 Decreasing percentage diagram of each oxide in the decomposed andesite a_0 - a_2 - a_3 : Sample No.

達している。内部は新鮮なものと虫喰状に穴のあいているものがある。普通輝石はやゝ多色性が認められ、新鮮なものが多いが、周辺や割れ目に沿って塵埃状の鉄質物が附着しているものがある。紫蘇輝石は多色性が著しく、あるものは周囲が塵埃状の鉄質物で黒くなっており、またあるものは、しばしば単斜輝石で取り囲まれている。橄欖石は菌状の磁鉄鉱を伴ない、周辺や割れ目に沿って褐色の鉄質物が生じている。角閃石はオパサイト化作用を受け、周辺はやゝ褐鉄鉱化している。石英は一般に円い。石基は塊間組織ないし間粒状組織を示し、斜長石・ガラス・普通輝石・紫蘇輝石・磁鉄鉱・石英・クリストバル石からなっている。

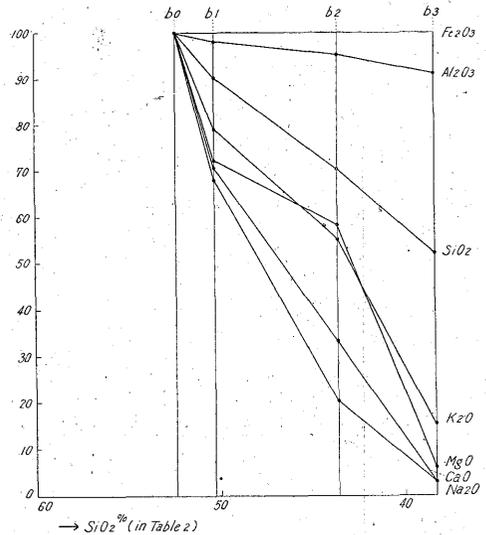
a₁~a₂ a₀よりやゝ風化の進んだものである。肉眼的には a₂は a₁より風化が進んだように見え、かつやゝ軟らかいが、顕微鏡下ではほとんど区別し難い。a₂は淡褐灰色を呈し、軟らかく、少し力を入れれば手で割れる。

斜長石は斑晶および石基のいずれにおいても、一部分割れ目に沿って虫喰状に粘土鉱物により交代されている。輝石の周囲は褐色となり、塵埃状の鉄質物が著しく生じている。角閃石の周囲の磁鉄鉱はもやもやとして外形が不明瞭である。石基は黒色~褐色の塵埃状の鉄質物でよごれているが、橄欖石の周囲はもやもやした不明瞭な輪廓を示し、クリストバル石・石英はほとんど変化していない。

a₃ 灰褐色で砂ないし土となつたものである。

玄武岩およびその風化産物²⁾: 多賀火山に属し、更新世前半期に噴出したものと考えられている。たまねぎ状に風化したものの中心部から周囲へ向かつて4種の試料(b₀・b₁・b₂・b₃)を採集した。

b₀ 中心部の最も新鮮な部分で、灰色を呈し、緻密、堅硬である。斑晶は、斜長石・単斜輝石・橄欖石および紫蘇輝石からなっている。斜長石は亜灰長石程度で、周辺部には僅かに累帯構造が認められ、単斜輝石を包有することがある。風化によつて僅かに粘土鉱物(?)により



第2図 風化した安山岩における各酸化物の減少百分率
 Fig. 2 Decreasing percentage diagram of each oxide in the decomposed andesite b_0 - b_1 - b_2 - b_3 : Sample No.

交代されている。単斜輝石は多色性はない。橄欖石は自形を呈し、単斜輝石の多数の小結晶に取り囲まれることがある。また紫蘇輝石は稀に単斜輝石の小結晶に取り囲まれることがある。石基は間粒状組織を示し、斜長石・単斜輝石・ガラス・磁鉄鉱・クリストバル石等からなっている。

b₁ b₀より外方のもので風化をやゝ強く受けたものである。やゝ黄褐色を帯びた灰色を呈し、緻密であるがやゝもろく、力を入れると手で割れる。斜長石は斑晶・石基ともに粘土鉱物によつて虫喰状に交代されている。磁鉄鉱の周りや単斜輝石は部分的に汚れている。橄欖石は割れ目等に沿って黄褐色に汚濁している。

b₂ b₁よりさらに風化の進んだもので、淡褐色で緻密であるが、手で容易に割れる。斜長石は全く粘土鉱物に交代され、以前の結晶の外形が僅かに推察される程度である。単斜輝石は斑晶の一部分が残るのみで、石基は全く、褐色~褐黄色の物質に交代されている。橄欖石は、斑

晶の一部分が僅かに残っている。クリストバル石は明瞭に残っている。磁鉄鉱の周辺は褐鉄鉱に変わっている。

b₃ b₂よりさらに風化が進み、黄褐色の砂または土となつたもので、一部軟らかい小礫が僅かに取り残されている。

3. 化学組成の変化

試料の化学組成は Table 1, Table 2 の通りである (分析者: 陶山たま, **は安藤武)

必ずしも正確な方法ではないが、岩石の風化の進行に伴う化学組成の変化を Leith と Meade³⁾ の試みた方法によつて示すことにする。この場合最も減少の少ない Al₂O₃ (または Fe₂O₃) を常に一定と仮定するのであるから、新鮮な岩石およびその風化産物の Al₂O₃ (または Fe₂O₃) の百分比をそれぞれ A₀, A_w とし、新鮮な岩石の重量を 100 とした場合に、それから生ずる風化産物の重量を T_w とすれば、次の関係となる。

$$T_w = \frac{100 A_0}{A_w}$$

そこで SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O および H₂O (+) の和を 100 とし (Table 3・4), 各風化産物の T_w (註3) を求め、この T_w を Table 3 および Table 4

Table 1 The chemical composition of the andesite, Chisenupuri, Maeda-mura, Iwanai-gun, Hokkaidō and its weathering products

	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
SiO ₂	58.29	57.33	53.77	45.54
Al ₂ O ₃	17.72	18.21	19.41	20.99
Fe ₂ O ₃	4.65	4.35	5.10	5.39
FeO	2.20	2.36	1.73	1.72
MgO	3.94	4.23	4.00	2.58
CaO	7.09	7.24	5.92	1.47
Na ₂ O	2.62	n.d.	1.87**	1.04**
K ₂ O	1.63	n.d.	1.50**	1.91**
H ₂ O+	0.66	0.67	2.66	8.82
H ₂ O-	0.62	1.23	2.82	8.97
TiO ₂	0.67	0.62	0.67	0.84
P ₂ O ₅	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	0.15	0.15	0.12	0.10
Total	100.24	96.39	99.57	99.37
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	3.29	3.15	2.77	2.17
$\frac{Fe_2O_3^*}{Al_2O_3}$	0.40	0.38	0.36	0.35

*(All Fe as Fe₂O₃)

**T. Andō, Analyst: T. Suyama

Table 2 The chemical composition of the basalt, Ajiro-machi, Izu peninsula and its weathering products

	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
SiO ₂	52.43	50.29	43.69	38.35
Al ₂ O ₃	17.18	18.08	19.60	21.85
Fe ₂ O ₃	2.92	4.09	9.17	17.94
FeO	9.34	9.14	6.01	0.49
MgO	4.65	3.60	3.22	0.40
CaO	7.36	5.56	2.88	0.29
Na ₂ O	2.14	1.56	0.50	0.10
K ₂ O	0.46	0.38	0.31	0.09
H ₂ O+	0.70	2.30	6.62	9.78
H ₂ O-	0.78	2.48	7.41	9.84
TiO ₂	0.94	1.26	1.33	1.44
P ₂ O ₅	0.10	tr.	tr.	tr.
MnO	0.12	0.19	0.09	0.13
Total	99.12	98.93	100.83	100.70
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	3.05	2.78	2.23	1.76
$\frac{Fe_2O_3^*}{Al_2O_3}$	0.77	0.79	0.81	0.85

*(All Fe as Fe₂O₃) Analyst: T. Suyama

に示された各風化産物の化学成分の百分比で配分した結果が Table 5・6 である。これによつて、新鮮な岩石の各成分をそれぞれ 100 とし、それに対する風化産物の各成分の減少の割合を示したものが Table 7・8 および Fig. 1・2 である。Fig. 1・2 では Table 1 および Table 2 における SiO₂ の百分比を横軸にとつて表示してある。

この結果、従来いわれていたように、Al₂O₃, Fe₂O₃ の減少の仕方が最も遅く、それについて SiO₂, (MgO, K₂O), (CaO, Na₂O) の順に減少の仕方が速くなっている。

4. 他の風化産物との比較

種々の岩石および風化産物の分析結果から $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ と $\frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3}$ とを計算し、それらの関係を図示すると Fig. 3 のようになる。

Fig. 3 の記号の内容は次の通りである。

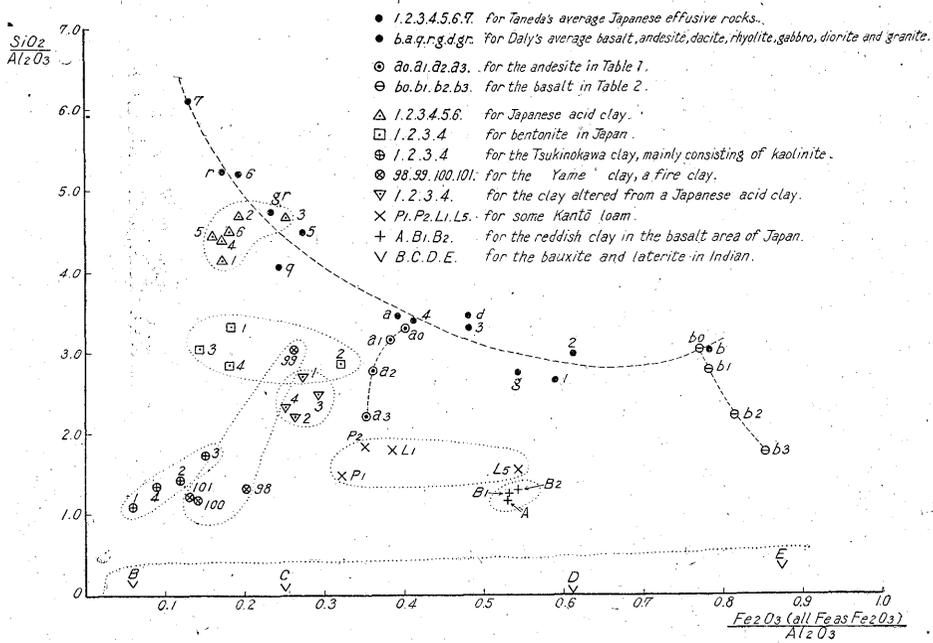
1) ●1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

●1: SiO₂ < 50%, ●2: 50% ≤ SiO₂ < 55%,

●3: 55% ≤ SiO₂ < 60%, ●4: 60% ≤ SiO₂ <

65%, ●5: 65% ≤ SiO₂ < 70%, ●6: 70%

註3) この場合、Aは Table 3・4 では、それぞれ Al₂O₃, Fe₂O₃ の百分比を表わすことになる。



第3図 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} - \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 図表

Fig. 3 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} - \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ diagram

$\leq \text{SiO}_2 < 75\%$, ● 7: $75\% \leq \text{SiO}_2$

2) ⁵⁾ ● b, a, q, r, g, d, gr

● b basalt, ● a andesite, ● q dacite,
● r rhyolite, ● g gabbro, ● d diorite, ● gr
granite

3) ⁶⁾ V, B, C, D, E

VB インド産ボーキサイト, VC, D, E, インド産
ラテライト

4) ⁷⁾ ⊕ 1, 2, 3, 4

調川粘土(長崎県)・凝灰岩等が特殊の条件の下に風
化変質を受けて粘土化したもので、礫土頁岩もこれに
属し、南方地方のボーキサイトに似る。

⊕ 1 灰色, ⊕ 2 淡紅色, ⊕ 3 木節, ⊕ 4 灰
黄色 (地質調査所分析)

5) ⁸⁾ ⊗ 98, 99, 100, 101

八女粘土(福島県)・第四紀火山灰からなる原岩が普
通の風化を受けたものと考えられている。

⊗ 98 室岡(1-A)原土, ⊗ 99 今福, 原土,
⊗ 100 飛行場水簸物, ⊗ 101 (1-A) 水簸物

(地質調査所分析)

6) △ 1⁹⁾, 2¹⁰⁾, 3¹¹⁾, 4¹²⁾, 5¹²⁾, 6¹²⁾

酸性白土, △ 1, 2, 3 は平均値

△ 4 白色粘土 }
△ 5 黄色粘土 } 新潟県北蒲原郡川東村小土産
△ 6 青色粘土 }

7) ⊕ 1¹³⁾, 2¹³⁾, 3¹³⁾, 4

ベントナイト

⊕ 4 大谷石(緑色凝灰角礫岩)中のミノ(軽石質
斜長流紋岩起源)

8) ¹⁴⁾ ▽ 1, 2, 3, 4

新潟県西頸城郡今井村(糸魚川町西方姫川右岸)の酸
性白土採取地において、酸性白土が風化して生成され
た土壌とみられる地点を選び、4層に分けおのおの
の試料を採取。

9) ¹⁵⁾ × P1, P2, L1, L5

関東ローム

× P1, P2 Pumice, × L1, L5 Loam

10) ¹⁶⁾ + A, B1, B2

佐賀県大浦村産, 支武岩地帯の赤色土

Fig. 3 によると、風化が進行するとともにここに述
べた安山岩においては、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ が減少するのに反
し、支武岩においては $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ が増加している。
この原因は資料が少ないので明らかでない。

この図表をみると、風化産物の特質が、かなりよく表

Table 3 Chemical composition of the andesite and decomposed rock recalculated on a basis of 100 (excluding minor elements)

Sample No.	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
$\frac{X_w}{X_0}$	X ₀ %	X ₁	X ₂ %	X ₃ %
SiO ₂	58.87	not recalculated	55.93	50.81
Al ₂ O ₃	17.89		20.19	23.42
Fe ₂ O ₃	7.14		7.28	8.12
MgO	3.98		4.16	2.88
CaO	7.16		6.16	1.64
Na ₂ O	2.64		1.95	1.16
K ₂ O	1.65		1.56	2.13
H ₂ O+	0.67		2.77	9.84
Total	100.00			100.00

X₀: Percentage of each oxide in the fresh rock.
X₂, X₃: Percentage of each oxide in the decomposed rock.

Table 5 Percentage of original each oxide saved in the decomposed rock (andesite)

Sample No.	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
$\frac{A_0}{A_w} X_w$	X ₀ %	X ₁	$\frac{A_0}{A_2} X_2$	$\frac{A_0}{A_3} X_3$
SiO ₂	58.87	not calculated	49.56	38.81
Al ₂ O ₃	17.89		17.89	17.89
Fe ₂ O ₃	7.14		6.45	6.20
MgO	3.98		3.69	2.20
CaO	7.16		5.46	1.25
Na ₂ O	2.64		1.73	0.89
K ₂ O	1.65		1.38	1.63
H ₂ O+	0.67		2.45	7.52
$100 \frac{A_0}{A_w}$	100.00			88.61

$100 \frac{A_0}{A_w}$: Percentage of the original rock saved in the decomposed rock.

X₀: Percentage of each oxide in the fresh rock.

$\frac{A_0}{A_2} X_2 \cdot \frac{A_0}{A_3} X_3$: Percentage of original each oxide saved in the decomposed rock.

Table 4 Chemical composition of the basalt and decomposed rock recalculated on a basis of 100 (excluding minor elements)

Sample No.	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
$\frac{X_w}{X_0}$	X ₀ %	X ₁ %	X ₂ %	X ₃ %
SiO ₂	53.44	52.43	47.18	42.93
Al ₂ O ₃	17.51	18.85	21.17	24.46
Fe ₂ O ₃	13.45	14.74	17.04	20.68
MgO	4.74	3.75	3.48	0.45
CaO	7.50	5.80	3.11	0.32
Na ₂ O	2.18	1.63	0.54	0.11
K ₂ O	0.47	0.40	0.33	0.10
H ₂ O+	0.71	2.40	7.15	10.95
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

X₀: Percentage of each oxide in the fresh rock.

X₁, X₂, X₃: Percentage of each oxide in the decomposed rock.

Table 6 Percentage of original each oxide saved in the decomposed rock (basalt)

Sample No.	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
$\frac{A_0}{A_w} X_w$	X ₀ %	$\frac{A_0}{A_1} X_1$	$\frac{A_0}{A_2} X_2$	$\frac{A_0}{A_3} X_3$
SiO ₂	53.44	47.84	37.24	27.92
Al ₂ O ₃	17.51	17.20	16.71	15.91
Fe ₂ O ₃	13.45	13.45	13.45	13.45
MgO	4.74	3.42	2.75	0.29
CaO	7.50	5.29	2.45	0.21
Na ₂ O	2.18	1.49	0.43	0.07
K ₂ O	0.47	0.37	0.26	0.07
H ₂ O+	0.71	2.19	5.64	7.12
$100 \frac{A_0}{A_w}$	100.00	91.25	78.93	65.04

$100 \frac{A_0}{A_w}$: Percentage of the original rock saved in the decomposed rock.

X₀: Percentage of each oxide in the fresh rock.

$\frac{A_0}{A_1} X_1, \frac{A_0}{A_2} X_2, \frac{A_0}{A_3} X_3$: Percentage of original each oxide saved in the decomposed rock.

Table 7 Decreased percentage of each oxide of the andesite due to decomposition

Sample No.	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
$100 \frac{A_0X_w}{A_wX_0}$	%	$100 \frac{A_0X_1}{A_1X_0}$	$100 \frac{A_0X_2}{A_2X_0}$	$100 \frac{A_0X_3}{A_3X_0}$
		%	%	%
SiO ₂	100	not calculated	84	66
Al ₂ O ₃	100		100	100
Fe ₂ O ₃	100		90	87
MgO	100		93	55
CaO	100		76	17
Na ₂ O	100		66	34
K ₂ O	100		84	99
H ₂ O+	100		366	1122

$100 \frac{A_0X_2}{A_2X_0}$, $100 \frac{A_0X_3}{A_3X_0}$: Decreased percentage of each oxide in the decomposed rock.

現されるので、風化産物の相互の関係、風化産物の起原などを知るうえに、多少寄与するものと考える。

(昭和30年5月稿)

文 献

- 1) 広川治・村山正郎: 5万分の1地質図幅, 岩内および同説明書, 地質調査所, 1955
- 2) 久野 久: 7万5千分の1地質図幅, 熱海および同説明書, 地質調査所, 1952
- 3) Leith, C. K. & Meade, W. J.: Metamorphic Geology, 1915
- 4) Taneda, S.: New Average chemical compositions of Japanese Effusive Rocks, Jour. Geol. Soc., Japan, Vol. 58, No. 686, 1952
- 5) Daly: Igneous Rocks and Their Origin, 1914
- 6) 小出 博: 応用地質, 岩石の風化と森林の立地, 古今書院, 1953
- 7) 大島敬義: カオリン質原料, 日本鉱産誌, III, 1949
- 8) 村 岡誠: 本邦の耐火粘土について, 地質調査

Table 8 Decreased percentage of each oxide of the basalt due to decomposition

Sample No.	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
$100 \frac{A_0X_w}{A_wX_0}$	%	$100 \frac{A_0X_1}{A_1X_0}$	$100 \frac{A_0X_2}{A_2X_0}$	$100 \frac{A_0X_3}{A_3X_0}$
		%	%	%
SiO ₂	100	90	70	52
Al ₂ O ₃	100	98	95	91
Fe ₂ O ₃	100	100	100	100
MgO	100	72	58	6
CaO	100	71	33	3
Na ₂ O	100	68	20	3
K ₂ O	100	79	55	15
H ₂ O+	100	308	794	1003

$100 \frac{A_0X_1}{A_1X_0}$, $100 \frac{A_0X_2}{A_2X_0}$, $100 \frac{A_0X_3}{A_3X_0}$: Decreased percentage of each oxide in the decomposed rock.

所報告, No. 145, 1951

- 9) 小林久平: 酸性白土, 丸善 K.K., 1925
- 10) 岡沢鶴治: 粘土類の研究, 第4報, 第10報, 理化学研究所彙報, Vol. 3, No. 4, 1924, Vol. 7, No. 2, 1928
- 11) 山本研一: 酸性白土の物理化学的性質, 工業化学雑誌, Vol. 36, 1933
- 12) 須藤俊男・岡野武雄: ベントナイトおよび酸性白土, 日本鉱産誌, IV, 1952
- 13) 内田宗義: 膨潤土(ベントナイト), 北隆館, 1946
- 14) 横井 肇: 土壤生成過程の化学的研究(第1報), 酸性白土の風化して生成せる土壤, 日本土壤肥料学雑誌, Vol. 24, No. 2, 1954
- 15) Tsuya, H.: Mineralogical and Chemical Composition of the Kantō Loam from Turumi, Yokohama, 地震研究所彙報, No. 17, 2冊, 1939
- 16) 菅野一郎・永井政雄・有村玄洋: 北九州玄武岩地帯の赤色土, 佐賀県藤津郡大浦村の例, 九州農業試験場彙報, Vol. 1, No. 3, 1953