

鹿児島県坊ノ津町南部の粘土鉱物および沸石の研究

著者	富田 克利, 香月 祐宣, 黒岩 寛明, 山本 温彦, 大庭 昇
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	19
ページ	67-86
別言語のタイトル	The Study of Clay Minerals and Zeolites in the Southern Part of Bonotsu-cho, Kagoshima Prefecture, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00003924

鹿児島県坊ノ津町南部の粘土鉱物および沸石の研究

富田 克利*・香月 裕宣**・黒岩 寛明*
山本 温彦*・大庭 昇*

(1986年9月8日受理)

The Study of Clay Minerals and Zeolites in the Southern
Part of Bōnotsu-chō, Kagoshima Prefecture, Japan

Katsutoshi TOMITA*, Hironobu KATSUKI**, Hiroaki KUROIWA*,
Masahiko YAMAMOTO* and Noboru ŌBA*

Abstract

Hydrothermally altered volcanic rocks are widely distributed in the southern part of the Bōnotsu-cho area. These altered rocks are subjected to hydrothermal alteration such as propylitization and/or silicification. Clay minerals such as chlorite, smectite, sericite, interstratified mica/smectite, and interstratified chlorite/smectite are formed in the altered rocks. Chlorite and sericite were probably formed by propylitization. The smectite and interstratified mica/smectite were probably formed from sericite by the degrading process, and the interstratified chlorite/smectite was formed from chlorite. Stilbite and laumontite are also formed in the altered rocks. The paragenesis of clay minerals and the formation mechanisms of the clay minerals in this area were clarified.

1. はじめに

本地域には南薩層群が分布し、本地域に隣接する地域には、南薩型金鉱床が存在する。これらの鉱床の生成時期については、井沢ら (1984) や富樫ら (1984) によって研究されている。本地域の南薩層群も広域変質作用に伴うプロピライト化作用ならびにこれら鉱床生成に伴う鉱化作用、珪化作用等を複雑に受けている。今回、これらの変質作用によって生成した粘土鉱物や沸石類の種類、分布、共生関係等を明らかにしたので、それらの結果から変質作用の性質および変質機構を解明するとともに、本地域に産する粘土鉱物、特に混合層粘土鉱物の成因について考察したので報告する。

2. 地質概説

この地域の基盤をなすもっとも古い地層は、中生代白亜紀の四万十層群であり、砂岩および頁岩の互層よりなり、この地層の一般走向は NS~N30°E、傾斜は 70°~80°E または W である。こ

* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

** 日本ボーリング株式会社 Nippon Boring Co. Ltd.

の四万十層群を傾斜不整合におおって南薩層群が堆積している。本調査地域では、南薩層群は鈿迫層、車岳凝灰岩、番屋山層、草野岳安山岩およびエイ浦岳安山岩の5つの層に分けることができる。これらはすべて整合に重なっている。鈿迫層は基底礫岩、凝灰質泥岩、凝灰質シルト岩よりなり、車岳凝灰岩は主に凝灰岩からなり、石英含有角閃石両輝石安山岩質溶岩と両輝石安山岩質溶岩を数枚はさんでいる。番屋山層は礫岩、凝灰質泥岩、凝灰質砂岩よりなり、草野岳安山岩

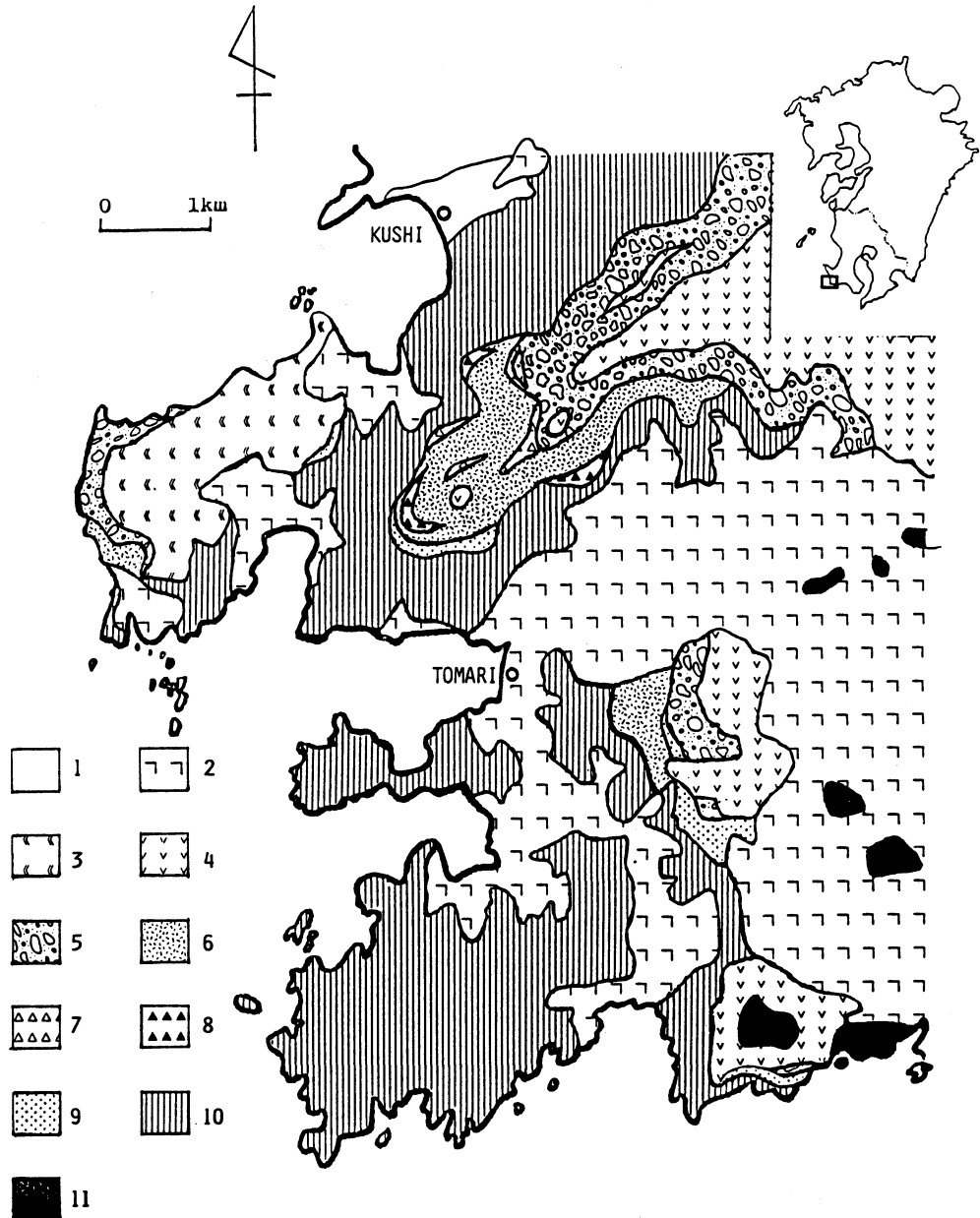


Fig. 1. Lithologic map of the surveyed area.

1. Alluvial deposits, 2. Welded tuff, 3. Hornblende andesite, 4. Hornblende bearing two pyroxene andesite, 5. Tuff breccia, 6. Tuff, 7. Quartz bearing hornblende two pyroxene andesite, 8. Two pyroxene andesite, 9. Conglomerate, tuffaceous sandstone and siltstone, 10. Sandstone and shale, 11. Silicified rock.

は、角閃石含有両輝石安山岩質溶岩と同質の凝灰角礫岩よりなる。エイ浦岳安山岩は、角閃石両輝石安山岩質溶岩が主で、同質の凝灰角礫岩を少量はさんでいる。これらの層は顕著なプロピライト化作用および珪化作用、鉍化作用をうけており、種々の粘土鉱物や沸石が生成している。南薩層群を不整合に阿多火砕流堆積物がおおっており、この火砕流堆積物は主に強溶結凝灰岩である。現在の河川に沿って沖積層が堆積している。調査地域の岩質図を Fig.1 に示した。

3. 粘土鉱物の分布

広域的な変質作用と珪化作用、鉍化作用をうけている南薩層群に属する変質した岩石を採取し、採集地点を Fig.2 に示し、これらの試料に含まれる鉍物を X 線粉末回折法によって同定した結果を Table 1 に示した。すべての試料に石英が認められ、鏡下においてもほとんどの岩石中に 2 次的に生成した石英が認められる。これはプロピライト化作用だけでなく、後の珪化作用に伴うものと考えられる。珪化作用に伴う熱水の影響は、違いの差はあるが、本調査地域全域にあったものと考えられる。緑泥石の認められる試料には、すべて方解石も認められる。鏡下観察においても、有色鉍物が緑泥石や方解石に変化しているのが認められる。本調査地域の南の海岸の珪化帯

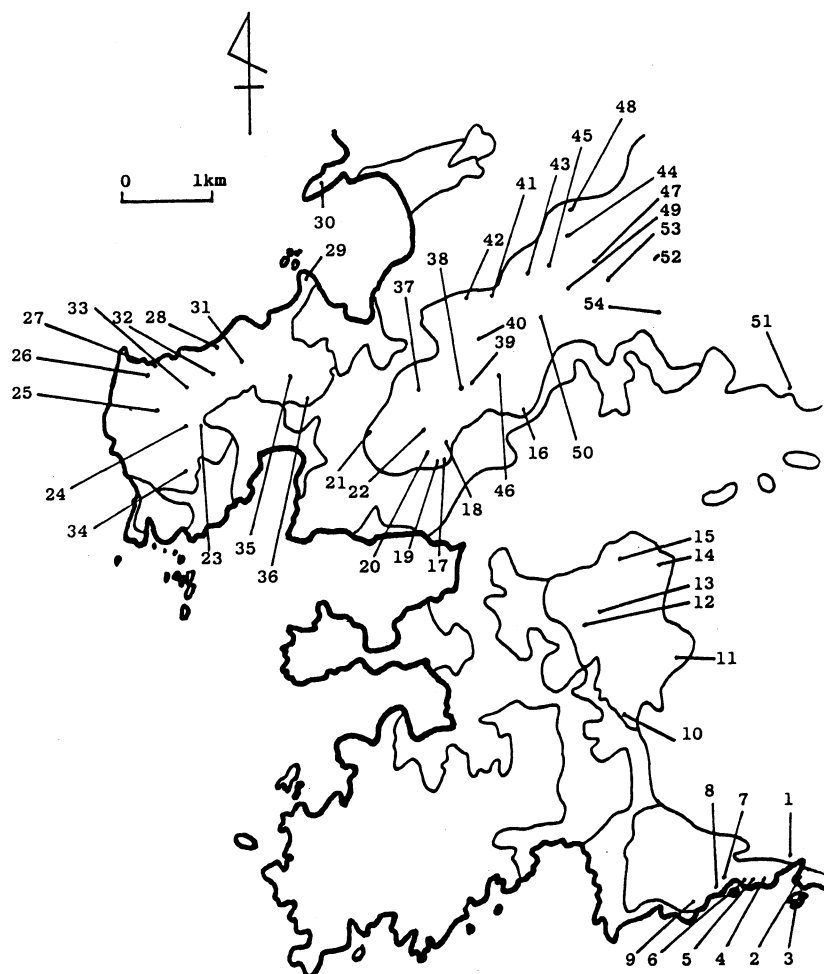


Fig. 2. Sampling points.

Table 1. Mineral paragenesis in the collected samples

No.	Qz	Pl	Ca	Ch	Sm	Mi	M/S	C/S	Ha	Ka	Ja	Ho	Py	Al	Cr	Remarks
1	+	++														WT
2	++									-						AN
3	++									++						AN
4	++							-		++	+					AN
5	+	++	-	++				-								AN
6	++	++	+	++												TB
7	++	++	+	++			++									TB
8	++	++	+	++	-		+									TB
9	++	++		+		++										GP
10	++	++		-				+								SS
11	++	++	+	++		+										AN
12	++	++	+	+				-								AN
13	++	++	++	++				+								AN
14	++	++	+	++	+		+									TB
15	++	++	+	+	-	+										TB
16	++				+	++										AN
17	++	++	+	++		++										AN
18	++			++				-								SS
19	++	++		++		++										SI
20	+	++	-	++		+										TU
21	++	++	+	++	+											AN
22	++	++	+	++		-										AN
23	++	++	++	++	+		-									AN
24	++	++	+	-				++								AN
25	++	++		+	++	+										AN
26	-	++		+	+			+								AN
27	++	++		+	-			+								AN
28	++	++	+	+	++		-	+				+				AN
29	+	++		+												AN
30	++	++	+	++												AN
31		++			++											AN
32					++										++	AN
33					++								+		++	AN
34	++	++			++											AN
35	++	++	-	++	+	-										AN
36	++	++	++	++			-	++								TB
37	++	++	++	++				++								TB
38	-	++	+	++		-										AN
39	++	++	+	++			+									AN
40	++	++	+	++		+										AN
41	++	++	+	++			+									TB
42	++	++	+	-		+	+	++								TB
43	++	++	+	++	+	-	+									TB
44	++	++						+								TB
45	++	++		+		-	-									TB
46	++	++	-	++		-										TB
47	++	++		++		+										AN
48	++	++	+	+		-	-									TB
49	++	++		++	++							+				AN
50	-	++		+	+			+				+				AN
51	+	++		++	-	-										AN
52	++	++		++												AN
53	+	++		-	+											AN
54	+	++		++	+	-										AN

++: abundant, +: common, -: rare.

Qz: quartz, Pl: plagioclase, Ca: calcite, Ch: chlorite, Sm: smectite, Mi: mica, M/S: interstratified mica/smectite, C/S: interstratified chlorite/smectite, Ha: halloysite, Ka: kaolinite, Ja: jarosite, Ho: hornblende, Py: pyrite, Al: alunite, Cr: cristobalite, WT: welded tuff, AN: andesite, TB: tuff breccia, GP: granite porphyry, SS: sandstone, SI: siltstone and TU: tuff.

付近を除くと、緑泥石と雲母の共生がどこでもみられる。雲母は境下観察の結果、絹雲母であることがわかった。これらの緑泥石、方解石、絹雲母はプロピライト化作用に伴ってできたものである。溶結凝灰岩中には10Åハロイサイトがみられ、珪化岩中には明ばんが認められた。この10Åハロイサイトは風化によってできたものと考えられる。この地域には、緑泥石が広域にわたって認められ、雲母も海岸線沿いの地域を除く広い範囲にわたって認められる。スメクタイトは、プロピライト化作用をうけていない西の半島に集中して認められる。また、緑泥石/スメクタイトと雲母/スメクタイトの混合層鉱物が点在して認められ、特に珪化帯周辺部に多く認められる。

4. 粘土鉱物の共生関係

本地域に分布する緑泥石/スメクタイトおよび雲母/スメクタイト混合層鉱物の成因を考える目的で、これら混合層鉱物と他の粘土鉱物の共生関係を主に調べた。Fig.3に緑泥石/スメクタイト混合層鉱物と緑泥石、スメクタイトの共生関係をFig.4に、雲母/スメクタイト混合層鉱物と雲母、スメクタイトの共生関係を、Fig.5に雲母と緑泥石の共生関係を示した。これらの3つ

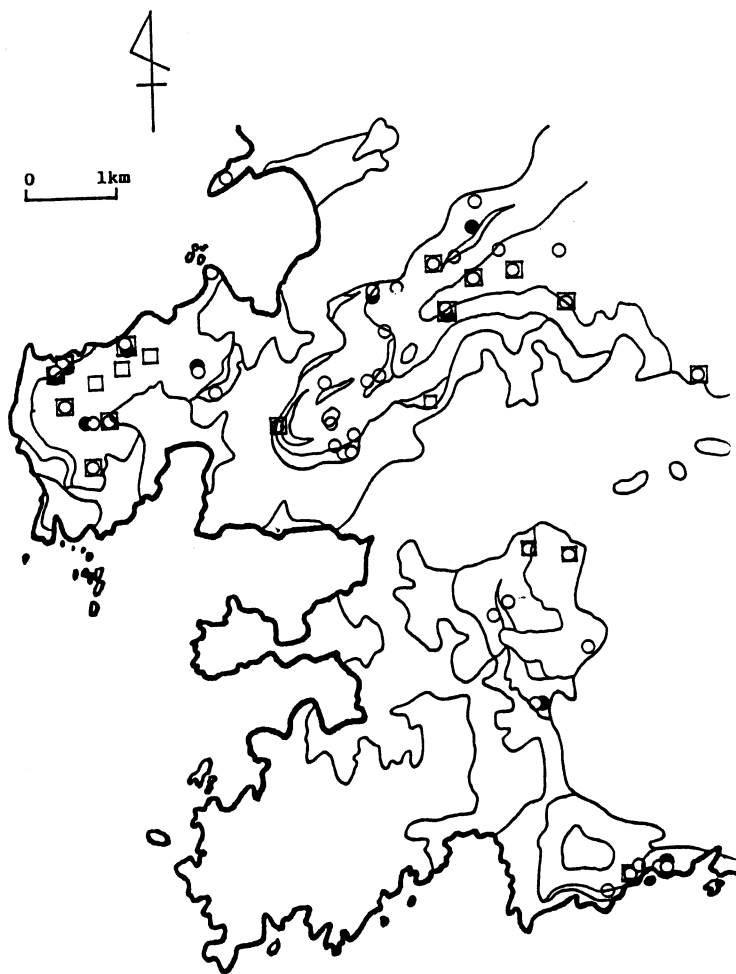


Fig. 3. Distribution map of chlorite, smectite and interstratified chlorite/smectite.
○: chlorite, □: smectite, ●: interstratified chlorite/smectite.

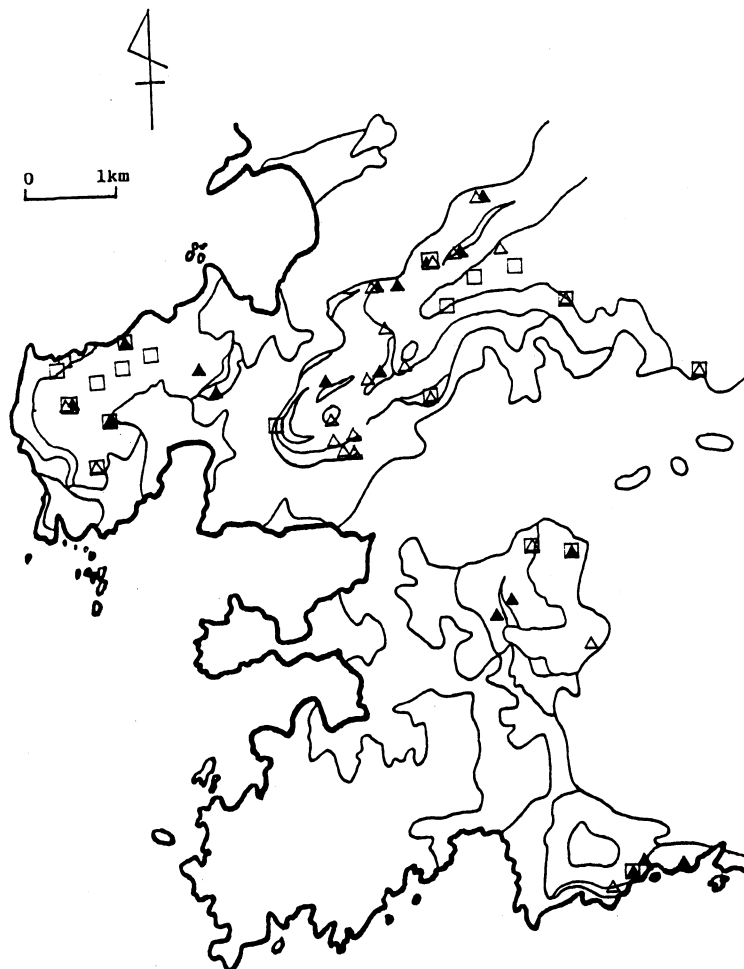


Fig. 4. Distribution map of mica, smectite and interstratified mica/smectite.
 ▲ : mica, □ : smectite, ▲ : interstratified mica/smectite.

の図から次のようなことが云える。緑泥石と雲母は非常に強い共生関係にある。雲母は東部地域に分布するものを除けば、単独に分布するものはない。しかし、緑泥石は単独に分布するものがある。東部地域に単独で分布している雲母は珪化岩中のもので、他の地域に分布する雲母とは生成条件が違うものと思われる。緑泥石と雲母が共生している所には、ほとんどスメクタイトは認められない。緑泥石とスメクタイトが共生している所には、ほとんど雲母は認められない。緑泥石、雲母、スメクタイトが共生している所は、珪化帯の周辺のみである。これらの事実から考えられることは、雲母と緑泥石は同時期に生成したものと考えられる。

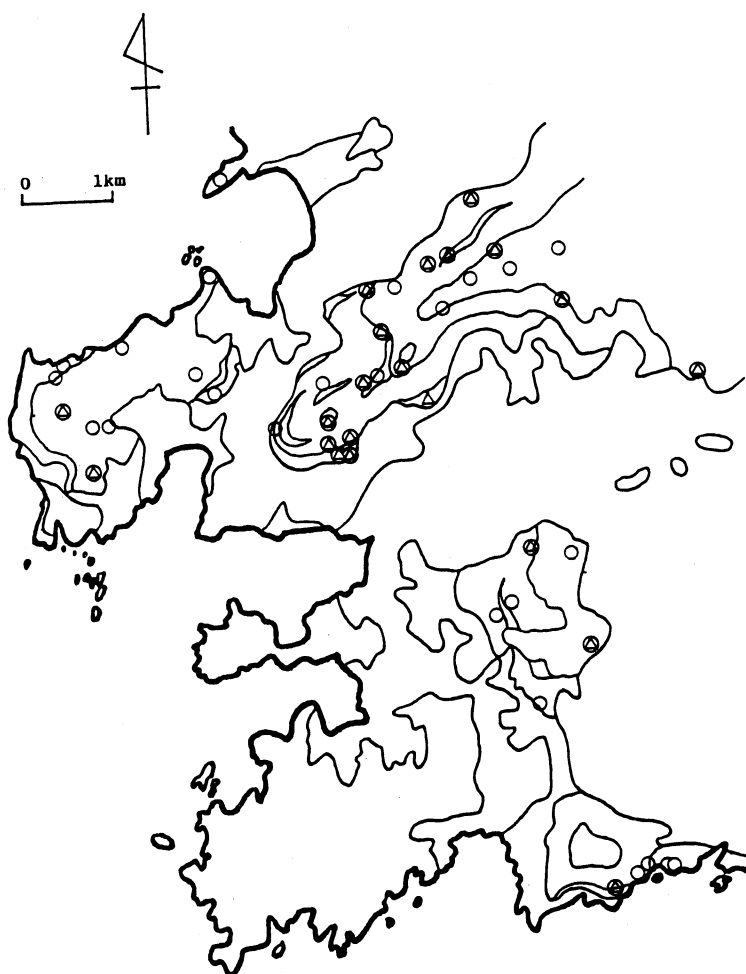


Fig. 5. Distribution map of mica and chlorite.
 △ : mica, ○ : chlorite.

5. この地域に産する粘土鉱物および沸石の性質

a. 緑泥石について

本地域に最も広く分布する粘土鉱物は緑泥石であるが、単独で分布することはあまり多くない。単独で分布する緑泥石から水ひ法により $2\mu\text{m}$ 以下の緑泥石を集め、緑泥石のポリタイプを X 線粉末回折曲線から決定した結果、この地域に産する緑泥石はほとんどが IIb または Ia 型であることがわかった。このことから本地域の緑泥石は熱水変質によって生成したものと推定される。Oinuma ら (1972) のダイアグラムを使って緑泥石の結晶化学的性質を調べた。Oinuma らのダイアグラムにプロットしたものを Fig.6 に示した。この図から明らかなように、ほとんどの試料が ADB の領域に入り、2 : 1 層に鉄が多く入っている組成を示す。あまり違った組成を示す緑泥石がないことから、同一時期に同質の熱水によって生成されたものと考えられる。

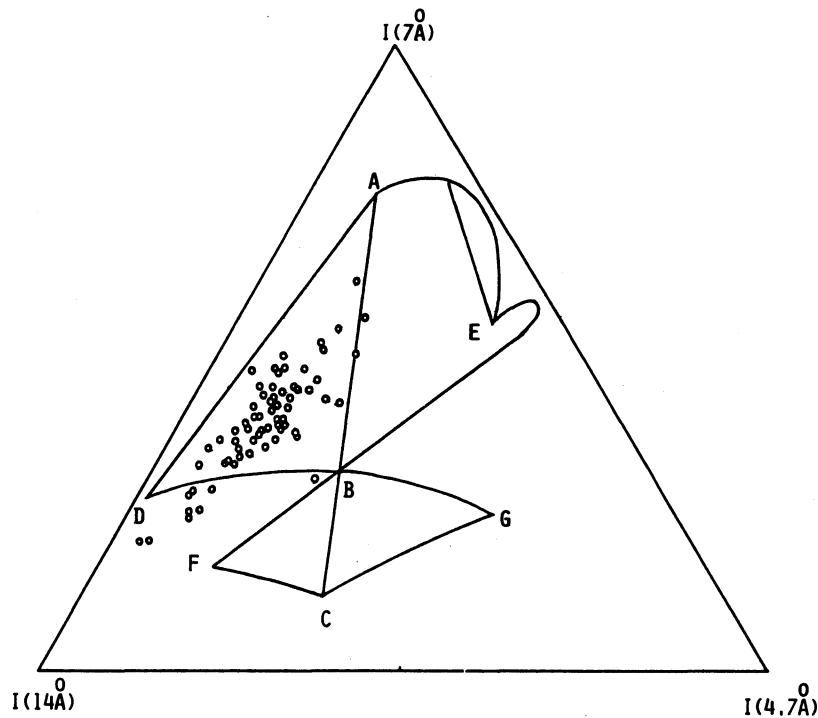


Fig. 6. Plots of chlorites on Oinuma's diagram.

b. 混合層粘土鉱物について

本地域には、数ヶ所の露頭で緑泥石／スメクタイトと雲母／スメクタイトの混合層鉱物が認められた。緑泥石／スメクタイト混合層鉱物を多く含む試料No.35のX線粉末回折曲線をFig.7に、雲母／スメクタイト混合層鉱物を多く含む試料No.36のX線粉末回折曲線をFig.8に示した。これらの混合層鉱物のそれぞれの構成鉱物の存在確率および継がる確率をTomita and Takahashi (1985)の図を使って決定し、結果をTable 2に示した。混合層鉱物は純粋に混合層鉱物単独で産することはほとんどなく、他の鉱物が含まれているので、混合層鉱物の構成鉱物の存在確率および継がる確率を決定できるものは少なかったが、いくつかの雲母／スメクタイト混合層鉱物を多く含む試料について、Sato (1965)の図にプロットしたものをFig.9に示した。構造の違いについては、地域的な特徴はみられなかった。すなわち、混合層鉱物は、狭い範囲での変質作用等で生成されたと考えられる。そこで、栗ヶ野付近の南の海岸の露頭の試料を詳細に調べた。この露頭は南薩層群の草野岳安山岩からなり、安山岩質溶岩と同質の凝灰角礫岩層が東傾斜で重なっており、東側には珪化帯がある。この露頭のスケッチと試料採集個所をFig.10に示し、採集した試料のX線粉末回折曲線をFig.11, Fig.12, Fig.13に示した。これらの試料のうち、混合層鉱物はいずれも雲母／スメクタイト混合層鉱物であった。混合層鉱物の雲母層とスメクタイト層の存在確率およびこれらの継がる確率をTomita and Takahashi (1985)の図を使って求め、結果をSato (1965)の図にプロットしたものをFig.14に示した。この露頭では、Iの安山岩質溶岩中およびIIの安山岩質凝灰角礫岩中においては、それぞれ珪化帯から離れるにしたがって、スメクタイト層が増え、また、スメクタイト層—スメクタイト層と継がる確率も増えている。しかし、IIIの安山岩質溶岩中では、逆の傾向がみられる。このことからHの試料を採集した地点の西側

下方 (IVの下方) にも珪化帯が存在することが考えられる。この地点での混合層鉱物生成には珪化帯の生成が大きく影響したことが推察される。

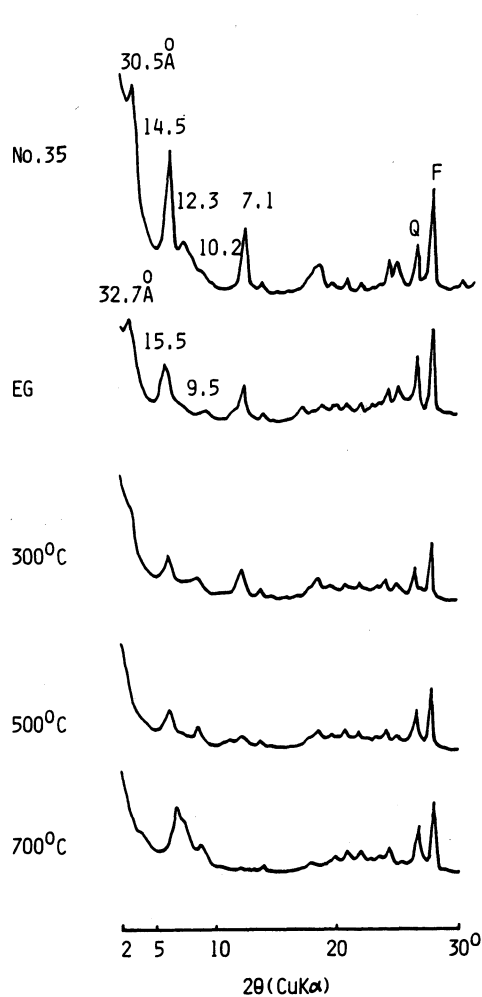


Fig. 7. X-ray powder diffraction patterns of an interstratified mineral of chlorite/smectite (specimen No.35) after various treatments. EG : treated with ethylene glycol, Q : quartz, F : feldspars.

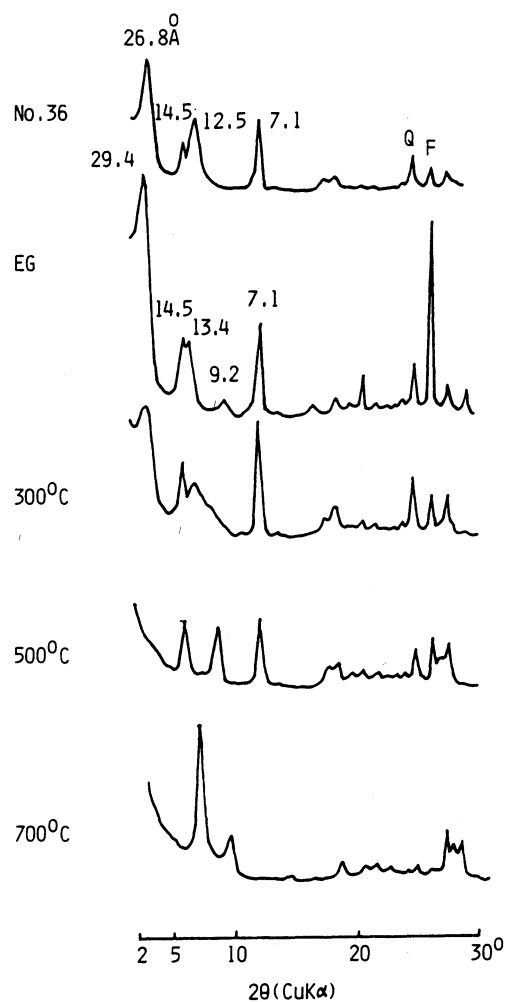


Fig. 8. X-ray powder diffraction patterns of an interstratified mineral of mica/smectite (specimen No.36) after various treatments. EG : treated with ethylene glycol, Q : quartz, F : feldspars.

Table 2. Interstratifications of the interstratified minerals

1		2	
P_C	0.56	P_M	0.59
P_S	0.44	P_S	0.41
P_{CC}	0.21	P_{MM}	0.33
P_{CS}	0.79	P_{MS}	0.67
P_{SC}	1.0	P_{SM}	0.95
P_{SS}	0.0	P_{SS}	0.05

1. Interstratified mineral of chlorite/smectite (specimen No.35).

2. Interstratified mineral of mica/smectite (specimen No.36).

P_C represents the frequency of occurrence of chlorite layer, P_S that of smectite layer, and P_M that of mica layer. P_{CS} is the probability that smectite layer succeeds chlorite layer, assuming that the first layer is chlorite layer; P_{CC} , P_{SC} , P_{SS} , P_{MM} , P_{MS} and P_{SM} are similarly defined.

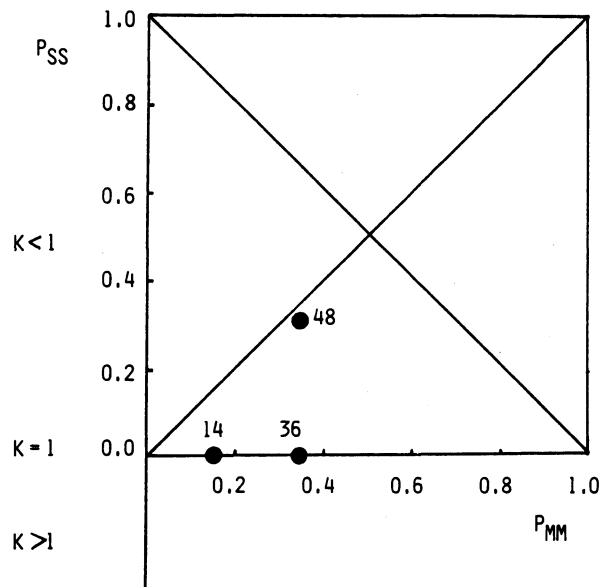


Fig. 9. Plots of some specimens of interstratified mica/smectite on Sato's diagram, where P_{MM} is the probability that mica layer succeeds mica layer, assuming that the first layer is mica, and P_{SS} is similarly defined.

$K = P_M/P_S$, where P_M represents the frequency of occurrence of mica, and P_S that of smectite.

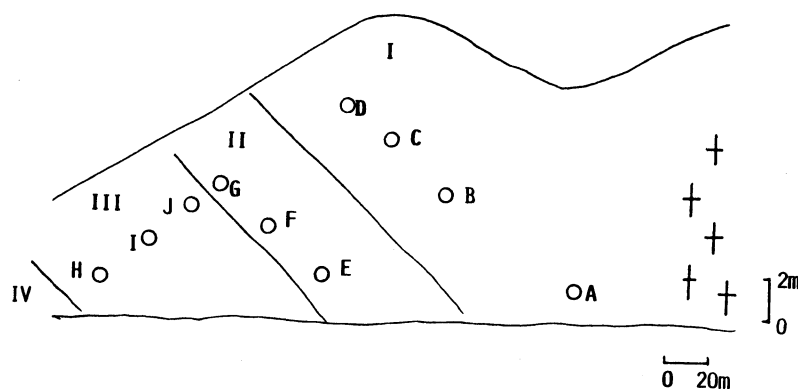


Fig. 10. Sketch of an outcrop and sampling points.

+ : silicified zone, I : Andesitic lava, II : Andesitic tuff breccia, III : Andesitic lava, IV : Andesitic tuff breccia.

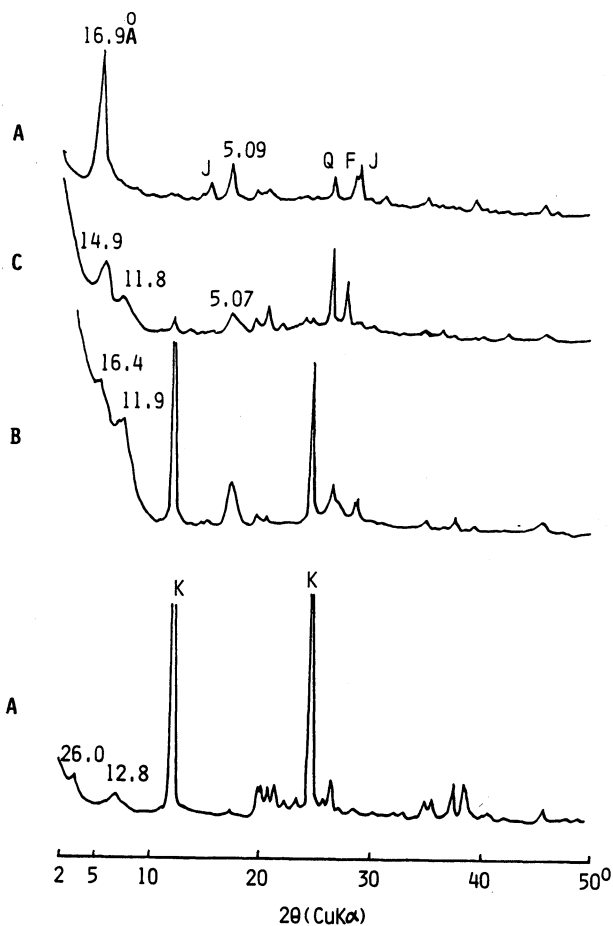


Fig. 11. X-ray powder diffraction patterns of some specimens collected from the andesitic lava (I).

K : kaolinite, Q : quartz, F : feldspar, J : jarosite.

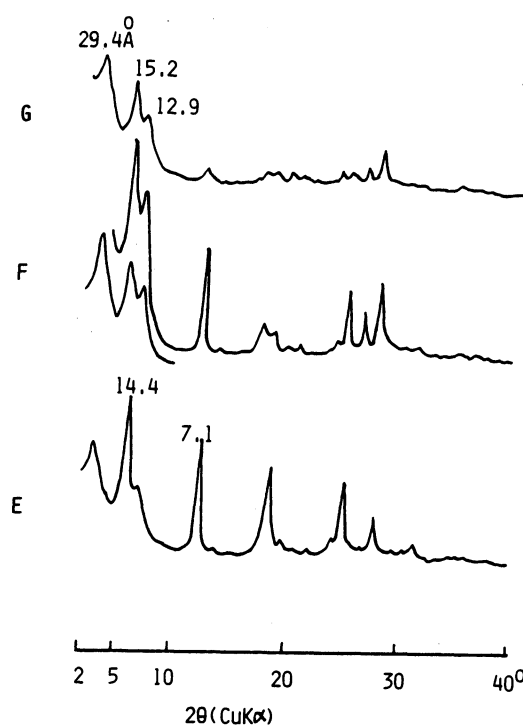


Fig. 12. X-ray powder diffraction patterns of some specimens collected from the andesitic tuff breccia (II).

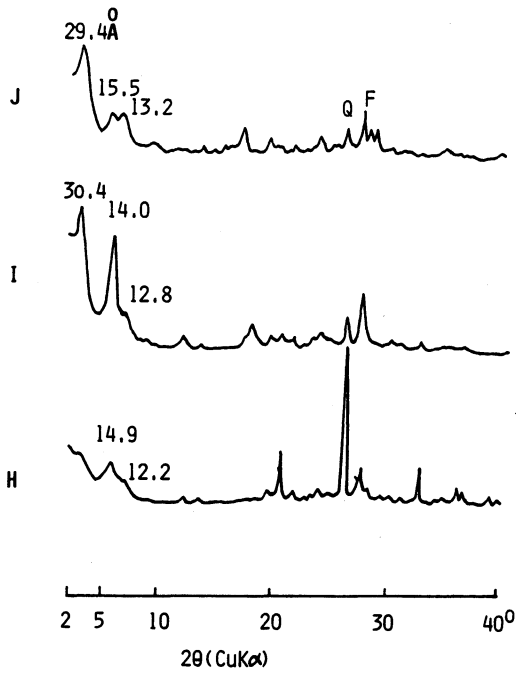


Fig. 13. X-ray powder diffraction patterns of some specimens collected from the andesitic lava(III).
Q : quartz, F : feldspar.

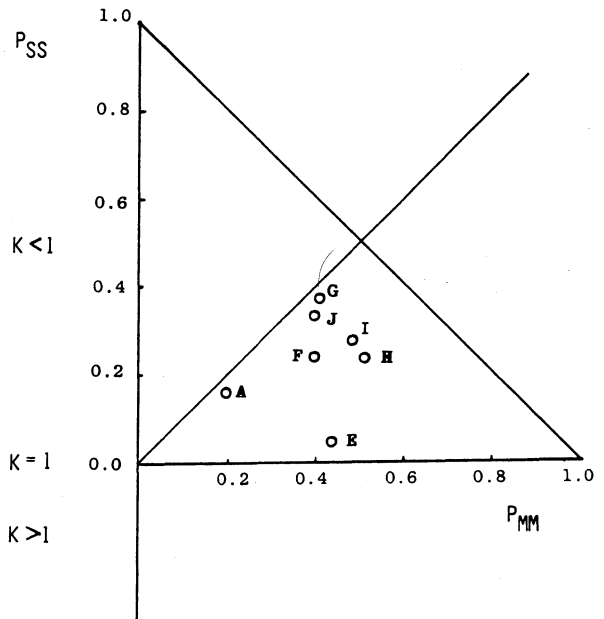


Fig. 14. Plots of some specimens of interstratified mineral on Sato's diagram.

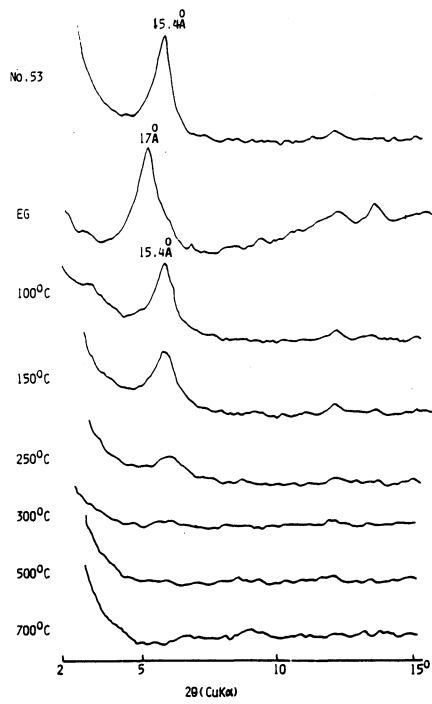


Fig. 15. X-ray powder diffraction patterns of a smectite after various treatments.
EG : treated with ethylene glycol.

c. スメクタイトについて

エイ浦岳と丸木浜を有する半島の西部の安山岩質溶岩中には、スメクタイトが多量に含まれている。鏡下観察においても、極く少量の緑泥石および方解石が認められるが、多量のスメクタイトが認められる。1つの露頭で露頭の上部から下部へ50cm間隔で6試料を採取したところ、ほとんど含まれる粘土鉱物はスメクタイトのみであった。また、これらのスメクタイトのX線粉末回折曲線中の(060)の反射を検討した結果、8面体層中には Al^{3+} が多いことがわかった。No.50とNo.53の試料に含まれるスメクタイトは、他地域のスメクタイトとは違った性質を示した。一般的にスメクタイトは、加熱処理によって層間水が脱水すると約10Åに(001)の反射が移動するが、これらの試料はFig.15に示したようにエチレングリコール処理で17Åに膨潤するが、300°C、1時間の加熱でほとんど壊れてしまう。このことから、このスメクタイトは結晶度の悪いスメクタイトと考えられる。

d. 沸石類について

本地域に産する沸石としては、東沸石、濁沸石、それに濁沸石の脱水したレオンハルダイトが認められる。産出地点はFig.16に示した。東沸石は南薩層群草野岳安山岩中の凝灰角礫岩中に認められる。東沸石が産出する露頭の特徴は、他よりも緑色チャート化した角礫を含んでいることである。東沸石は肉眼で観察でき、放射状に晶出している。東沸石の写真をFig.17に示した。この東沸石のX線粉末回折データと格子定数をTable 3とTable 4にそれぞれ示した。この東沸石に伴ってレオンハルダイトが産するが、そのX線粉末回折データと格子定数をTable 5とTable 6にそれぞれ示した。濁沸石は南薩層群草野岳安山岩中の安山岩中に認められ、安山岩中の割れ目に石英が脈状に発達しているが、そのまわりに濁沸石が晶出している。濁沸石の写真をFig.18に示し、そのX線粉末回折データと格子定数をTable 7とTable 8にそれぞれ示した。



Fig. 16. Sampling points of zeolites.

A : stilbite, B : leonhardite, C : laumontite.

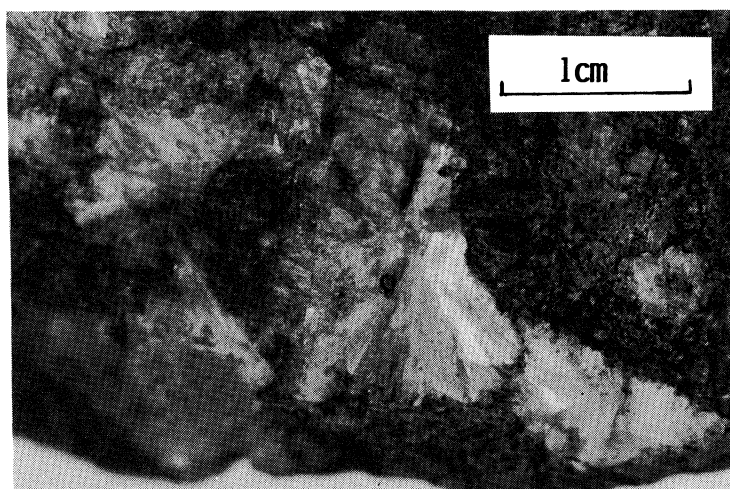


Fig. 17. Photograph of stilbite.

Table 3. X-ray powder diffraction data for stilbites

hkl	1		2	
	d(Å)	I	d(Å)	I
001	9.16	100	9.04	100
$\bar{2}21$	5.41	3	5.43	6
$\bar{1}31$	5.31	5	5.30	12
220	4.68	18	4.65	40
$\bar{3}11$	4.29	9	4.28	14
041	4.06	55	4.07	95
$\bar{2}03$	3.75	5	3.73	14
$\bar{2}42$	3.48	3	3.49	10
$\bar{1}13$	3.40	9	3.40	20
$\bar{4}03$	3.20	13	3.19	18
330	3.04	53	3.04	70
$\bar{2}43$	2.88	5	2.88	6
243	2.83	1	2.87	4
$\bar{3}14$	2.78	13	2.78	35

1. Stilbite from Bōnotsu-cho, Kagoshima Prefecture.
2. Stilbite from Cape Blomidou, Nova Scotia, Canada (Aumento, 1966).

Table 4. Lattice constants of stilbites

	1	2
a	13.628 [±] 0.247 ^Å	13.681 ^Å
b	18.175 [±] 0.111 ^Å	18.128 ^Å
c	11.258 [±] 0.209 ^Å	11.300 ^Å
β	128.31 [±] 1.21 [°]	129.13 [°]

1. Stilbite from Bōnotsu-cho, Kagoshima Prefecture.
2. Stilbite from Cape Blomidou, Nova Scotia, Canada
(Aumento, 1966).

Table 5. X-ray powder diffraction data for leonhardites

hkl	1		2	
	d(^Å)	I	d(^Å)	I
110	9.51	100	9.49	100
200	6.87	21	6.86	50
020	6.38	2	6.54	
$\bar{2}01$	6.14	2	6.19	15
120			5.91	
111	5.06	5	5.02	20
220	4.74	17	4.73	18
$\bar{2}21$	4.49	13	4.50	30
310			4.31	
130	4.16	36	4.16	95
131			3.77	
$\bar{4}01$	3.66	4	3.67	30
002	3.51	10	3.51	90
400			3.41	
$\bar{3}12$	3.36	11	3.37	15
040	3.28	11	3.27	25
$\bar{3}31$	3.21	2	3.21	12
330	3.11	5	3.15	
420	3.01	36	3.03	35

1. Leonhardite from Bōnotsu-cho, Kagoshima Prefecture.
2. Leonhardite from Dillsburg, Pennsylvania, U.S.A.
(Lapham, 1963).

Table 6. Lattice constants of leonhardites

	1	2
a	$14.701^{+0.089}\text{\AA}$	$14.75^{+0.05}\text{\AA}$
b	$13.056^{+0.048}\text{\AA}$	$13.08^{+0.02}\text{\AA}$
c	$7.576^{+0.04}\text{\AA}$	$7.5^{+0.05}\text{\AA}$
β	$112.17^{+0.56}^{\circ}$	112.0°

1. Leonhardite from Bōnotsu-cho, Kagoshima Prefecture.
2. Leonhardite from Dillsburg, Pennsylvania, U.S.A.
(Lapham, 1963).



Fig. 18. Photograph of laumontite.

Table 7. X-ray powder diffraction data for laumontites

hkl	1		2	
	d(Å)	I	d(Å)	I
110	9.61	100	9.51	100
200	6.86	50	6.86	45
$\bar{2}01$	6.24	7	6.19	5
111	5.08	9	5.06	9
220	4.75	17	4.75	8
$\bar{2}21$	4.52	13	4.50	11
201)	4.17	69	4.17	60
130)				
$\bar{1}31$	3.78	3	3.78	3
$\bar{4}01$	3.68	18	3.66	20
002	3.52	43	3.52	23
131	3.43	8	3.42	8
$\bar{3}12$	3.38	12	3.36	5
040	3.28	23	3.28	26
311	3.22	13	3.20	16
330	3.18	15	3.16	9
$\bar{4}02$	3.11	3		
420	3.05	25	3.05	22
$\bar{5}11$	2.89	14	2.88	11
$\bar{4}22$	2.81	9	2.79	5
331	2.64	13	2.64	2

1. Laumontite from Bōnotsu-cho, Kagoshima Prefecture.
2. Laumontite from Kinzan, Kagoshima Prefecture, Japan (Tomita et al., 1979).

Table 8. Lattice constants of laumontites

	1	2
a	14.804 [±] 0.015Å	14.765 [±] 0.007Å
b	13.126 [±] 0.009Å	13.135 [±] 0.005Å
c	7.574 [±] 0.001Å	7.561 [±] 0.004Å
β	111.95 [±] 0.08°	111.76 [±] 0.04°

1. Laumontite from Bōnotsu-cho, Kagoshima Prefecture.
2. Laumontite from Kinzan, Kagoshima Prefecture, Japan (Tomita et al., 1979).

6. 考 察

本地域は広い範囲にわたって南薩層群の岩石がプロピライト化作用、珪化作用、鉍化作用をうけており、これらの岩石中に種々の粘土鉍物および沸石が生成している。これら変質鉍物の種類、分布、共生関係を調べてみると、ほぼ全域的に緑泥石が認められる。また、緑泥石の結晶化学的性質は、共生鉍物にあまり関係なく、ほぼ同じような性質を持っている。このことから同時期に広い範囲にわたってプロピライト化作用をうけたと考えられる。緑泥石は方解石と伴って産することが多く、Ⅱb型のものが多いことから、熱水変質作用によって生成されたことが確実と思われる。雲母もこれら緑泥石と伴うことが多いので、やはり同時期に生成されたと考えられる。緑泥石/スメクタイト混合層鉍物は緑泥石と、また雲母/スメクタイト混合層鉍物は雲母と密接に共生していることが多く、これらの純粋な混合層鉍物だけを分離することは難しかった。混合層鉍物の周囲にはスメクタイトが存在することが多いが、緑泥石と雲母が共生するところにはスメクタイトが存在しない。南の海岸に面した露頭では、雲母/スメクタイト混合層鉍物がみられるが、珪化帯から離れるにしたがって混合層鉍物中の雲母層の存在確率が小さくなり、スメクタイト層が増える現象が認められた。これらのことから、この雲母/スメクタイト混合層鉍物の成因について2通りの仮説が考えられる。まず1つは、最初に雲母が生成したが、熱水変質作用を強くうけた部分とそうでない部分とで、結晶度に少しずつ違いがあり、それは一連のもので漸移的であった。こうした雲母が、その後の風化作用やスメクタイトが生成するような弱い熱水変質作用をうけると、結晶度の良いものは雲母のままで残るが、結晶度の悪い雲母はスメクタイトに変化し、その中間の結晶度のものは混合層鉍物に変化したと考えられる。このような生成機構は、雲母を出発物質にして混合層鉍物を合成した実験(上田, 1966; Ueda and Sudo, 1966; Tomita and Sudo, 1968a,b, 1971; Hoda and Hood, 1972; Tomita and Dozono, 1972; Tomita, 1974, 1977, 1978, 1979b; 富田, 1979a, 1985; 富田・金岡, 1984)からも十分可能なことである。もう一つの考え方は、まず最初にスメクタイトが生成し、その後雲母が生成するような熱水変質作用をうけた際に、強くその作用をうけたところは雲母に変化し、ほとんど作用をうけなかったところはスメクタイトのままで残り、その中間の熱水変質作用をうけたところは雲母/スメクタイト混合層鉍物に変化したという考え方である。この考え方は、スメクタイトを出発物質にして混合層鉍物を合成した実験(Eberl, 1978a,b, Eberl *et al.*, 1978; Eberl and Hower, 1976, 1977; Frank-Kamenetskij *et al.*, 1971, 1972; Inoue, 1983; 松田, 1979; Roberson and Lahann, 1981)からも可能なことである。これらの実験では、混合層鉍物が生成する温度より高い温度では雲母が生成している。

海岸に面した露頭における雲母/スメクタイト混合層鉍物の産状から判断して、第1の考え方の方が正しいように思われる。

緑泥石/スメクタイト混合層鉍物も本地域の所々にみられるが、この混合層鉍物の生成機構についても、同じように2つの仮説が可能である。1つの考え方は、まずプロピライト化作用で緑泥石が生成したが、緑泥石の結晶度には種々の違いがあり、後のスメクタイトが生成するような弱い熱水変質作用や風化作用をうけて、結晶度の悪いものはスメクタイトに変化し、結晶度の良いものは緑泥石として残ったが、中間の結晶度のものは混合層鉍物になったという考え方である。2つ目の考え方は、まず最初にスメクタイトが生成し、後に緑泥石ができるような熱水変質作用をうけて、緑泥石/スメクタイト混合層鉍物ができたとする考え方である。本地域の混合層鉍物は、どちらの生成機構によって生成されたものか決定することは難しい。

本地域には、沸石類の産出がみられたが、濁沸石の合成実験 (Liou, 1971) から考えて、この産出地点での沸石を生成した熱水の温度は100℃以上300℃以下と考えられる。東沸石と伴って産出する地点もあるが、これは熱水の温度が低下する過程で東沸石が生成したものであろう。海岸沿いの溶結凝灰岩中にしばしば10 Åハロイサイトがみられるが、これは風化作用によって生成したものである。

7. 謝 辞

井ノ上幸造, 金井敏正, 立石賢二, 中村淳子, 坂元宏成, 萩原千恵子の諸氏には御助言・御討論をいただいた。ここに感謝の意を表します。なお、この研究を進めるにあたり、研究費の一部に文部省科学研究費を使わせていただいた。当局に厚く御礼申し上げます。

8. 引用文献

- Aumento, F. (1966), Thermal transformations of stilbite. *Can. J. Earth Sci.*, **3**, 351-366.
- Eberl, D. (1978a), The reaction of montmorillonite to mixed-layer clay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 1-7.
- Eberl, D. (1978b), Reaction series of dioctahedral smectite. *Clays and Clay Minerals*, **26**, 327-340. Pergamon Press.
- Eberl, D. and Hower, J. (1976), Kinetics of illite formation. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **87**, 1326-1330.
- Eberl, D. and Hower, J. (1977), The hydrothermal transformation of sodium and potassium smectite into mixed-layer clay. *Clays and Clay Minerals*, **25**, 215-227. Pergamon Press.
- Eberl, D., Whitney, G. and Khoury, H. (1978), Hydrothermal reactivity of smectite. *Am. Mineral.*, **63**, 401-409.
- Frank-Kamenetskij, V. A., Kotov, N. V., Goilo, E. A. and Klotchokova, G. N. (1971), Structural transformations of some clay minerals under pressure in hydrothermal conditions. *Miner. Soc. Japan Spec. Pap. I, Proc. IMA-IAGOD Meetings' 70*, IMA Vol., Tokyo, 88-97.
- Frank-Kamenetskij, V. A., Kotov, N. V., Goilo, E. A. and Klotchokova, G. N. (1972), Some aspects of structural transformations of clay minerals under hydrothermal conditions. *Proc. Int. Clay Conf.*, 1972, Madrid, Spain, *Serratos, J. M. ed.*, 303-312.
- Hoda, S. N. and Hood, W. C. (1972), Laboratory alteration of trioctahedral micas. *Clays and Clay Minerals*, **20**, 343-358. Pergamon Press.
- Inoue, A. (1983), Potassium fixation by clay minerals during hydrothermal treatment. *Clays and Clay Minerals*, **31**, 81-91.
- 井沢英二・浦島幸世・大久保義和 (1984), 南薩型金鉱床の生成時期—春日・岩戸・赤石産明ばん石の K-Ar 年代—。鉱山地質, **34**, 343-351.
- Lapham, D. M. (1963), Leonhardite and laumontite in diabase from Dillsburg, Pennsylvania. *Am. Mineral.*, **48**, 683-689.
- Liou, J. G. (1971), P-T stabilities of laumontite, wairakite, lawsonite, and related minerals in the system $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Jour. Petrology*, **12**, 379-411.
- 松田敏彦 (1979), 規則混合層鉱物の水熱合成。鉱物学雑誌, **14**, 特別号, 58-69.
- Oinuma, K., Shimoda, S. and Sudo, T. (1972), Triangular diagrams for surveying chemical compositions of chlorites. *Jour. Toyo Univ., Gener. Educ. (Nat. Sci.)*, **15**, 1-33.
- Roberson, H. E. and Lahann, R. W. (1981), Smectite to illite conversion: effects of solution chemistry. *Clays and Clay Minerals*, **29**, 129-135.
- Sato, M. (1965), Structure of interstratified (mixed-layer) minerals. *Nature*, **208**, 70-71.
- 富樫幸雄・柴田賢 (1984), 鹿児島県岩戸金鉱床産明ばん石の K-Ar 年代。鉱山地質, **4**, 14, 205-212.
- Tomita, K. (1974), Similarities of rehydration and rehydroxylation properties of rectorite and 2M clay mica. *Clays and Clay Minerals*, **22**, 79-85. Pergamon Press.
- Tomita, K. (1977), Experimental transformation of 2M sericite into a rectorite-type mixed-layer mineral

- by treatment with various salts. *Clays and Clay Minerals*, **25**, 302-308. Pergamon Press.
- Tomita, K. (1978), Experimental transformation of 2M sericite into a rectorite-type mixed-layer mineral by treatment with various salts. II. Experiments using a magnetic stirrer and a centrifuge. *Clays and Clay Minerals*, **26**, 209-216. Pergamon Press.
- 富田克利 (1979a), 雲母/モンモリロナイト規則型混合層鉱物の合成とその生成機構. 鉱物学雑誌, **14**, 特別号, 104-128.
- Tomita, K. (1979b), Experimental formation of a regular mixed-layer mineral of mica and montmorillonite from 2M sericite by treatment with solution containing sodium cobaltinitrite. *J. Japan. Assoc. Miner. Pet. Econ. Geol.*, **74**, 443-449.
- 富田克利 (1985), 混合層鉱物の合成. 粘土科学, **25**, 79-88.
- Tomita, K. and Dozono, M. (1972), Formation of an interstratified mineral by extraction of potassium from mica with sodium tetraphenylboron. *Clays and Clay Minerals*, **20**, 225-231. Pergamon Press.
- 富田克利・金岡繁人 (1984), 陽イオン交換によるウンモ/スメクタイト型混合層鉱物の合成. 鉱物学雑誌, **16**, 275-282.
- Tomita, K. and Sudo, T. (1968a), Interstratified structure formed from a pre-heated mica by acid treatments. *Nature*, **217**, No.5133, 1043-1044.
- Tomita, K. and Sudo, T. (1968b), Conversion of mica into an interstratified mineral. *Rept. Faculty of Sci., Kagoshima Univ.*, No.1, 89-119.
- Tomita, K. and Sudo, T. (1971), Transformation of sericite into an interstratified mineral. *Clays and Clay Minerals*, **19**, 263-270. Pergamon Press.
- Tomita, K. and Takahashi, H. (1985), Curves for the quantification of mica/smectite and chlorite/smectite interstratifications by X-ray powder diffraction. *Clays and Clay Minerals*, **33**, 379-390.
- Tomita, K., Koiso, M., Yamamoto, M. and Ōba, N. (1979), Laumontite in an andesite from Kinzan, Satsuma-cho, Kagoshima Prefecture. *J. Japan Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, **74**, 443-449.
- 上田智 (1966), フロゴパイトからの混合層鉱物の合成について. 地球科学, **82**, 31-36.
- Ueda, S. and Sudo, T. (1966), Synthesis of an interstratified mineral from mica. *Nature*, **211**, 1393-1394.