

鹿児島県入来町諏訪地域の変質鉱物

著者	森元 千博, 富田 克利, 河野 元治
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	27
ページ	61-78
別言語のタイトル	Alteration Minerals in the Suwa Area, Iriki Town, Kagoshima Prefecture
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006955

鹿児島県入来町諏訪地域の変質鉱物

森元千博¹⁾・富田克利¹⁾・河野元治²⁾

Alteration Minerals in the Suwa Area, Iriki Town, Kagoshima Prefecture

Chihiro MORIMOTO¹⁾, Katsutoshi TOMITA¹⁾ and Motoharu KAWANO²⁾

Abstract

Alteration minerals in the hydrothermally altered andesite and andesitic tuff breccia of Imuta Volcano in the northern part of Kagoshima Prefecture were studied. Alteration minerals were examined by means of X-ray diffraction analysis, differential thermal analysis, infrared absorption analysis, and scanning electron microscopic observation. Hydrothermally altered rocks could be divided into four zones, Zone I, Zone II, Zone III, and Zone IV by the differences of the constituent alteration minerals. Zone I is characterized by kaolinite, Zone II by mixture of kaolinite and smectite, Zone III by smectite, and Zone IV by halloysite.

All smectites in the surveyed area were identified as dioctahedral type with d (060) value. Alunite was often accompanied with kaolinite and found in only Zone I. Jarosite and pyrite were found in some samples bearing kaolinite and smectite. In almost all samples, cristobalite and tridymite were present. Feldspars were not found in Zone I, and were rarely found in Zone II. Most of feldspars in Zone I and Zone II was transformed to kaolinite and smectite under hydrothermal conditions. But it is considered that only halloysite in Zone IV is a weathering product by the observation of the outcrop. 7 Å-halloysite in Zone IV was formed by dehydration of interlayer water from halloysite.

Key words: Hydrothermal alteration, Imuta volcano, Kaolinite, Smectite.

¹⁾ 鹿児島大学理学部地学教室 〒890 鹿児島市郡元1丁目21-35
Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto,
Kagoshima 890, Japan

²⁾ 鹿児島大学農学部生物環境学教室 〒890 鹿児島市郡元1丁目21-24
Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima
University, 1-21-24 Koromoto, Kagoshima 890, Japan

1. はじめに

入来カオリン鉱床は蘭牟田火山の西麓に位置し、藤井ほか(1989)、河野・富田(1991)らにより入来カオリン鉱床の生成過程や生成に伴われた変質鉱物等の報告がなされているが、熱水変質が及んでいる範囲については報告されていない。そこで鉱床の南側周辺で試料採取を行ない、入来カオリン鉱床の形成に至った熱水変質が鉱床周辺のどこまで影響しているかを変質鉱物に関して研究した。変質鉱物については、X線回折分析、示差熱分析、赤外線吸収分析および走査型電子顕微鏡観察を行なったのでその結果を報告する。

2. 試料および実験方法

諏訪地域では、鮮新世の凝灰質砂岩～泥岩を、蘭牟田火山を形成する更新世の両輝石安山岩と同質凝灰角礫岩が覆っている。蘭牟田火山岩類は新第三紀鮮新世の火山岩類に区分されていたが、

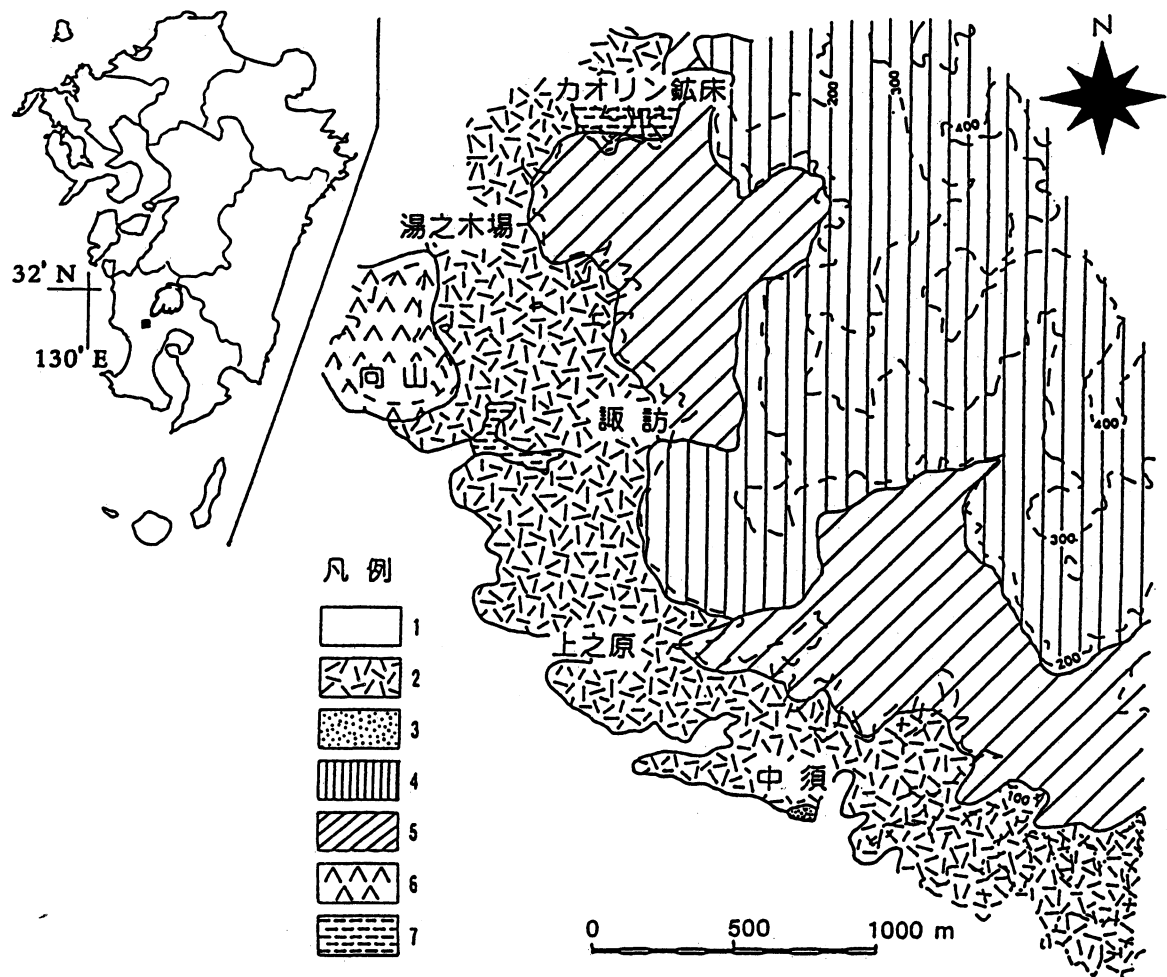


Fig. 1 Geological map of the surveyed area.

1: Alluvium, 2: Ito Pyroclastic Flow Deposit, 3: Ata Pyroclastic Deposit, 4: Two Pyroxene Andesite, 5: Two Pyroxene Andesitic Tuff Breccia, 6: Hornblende Andesite, 7: Tuffaceous silt.

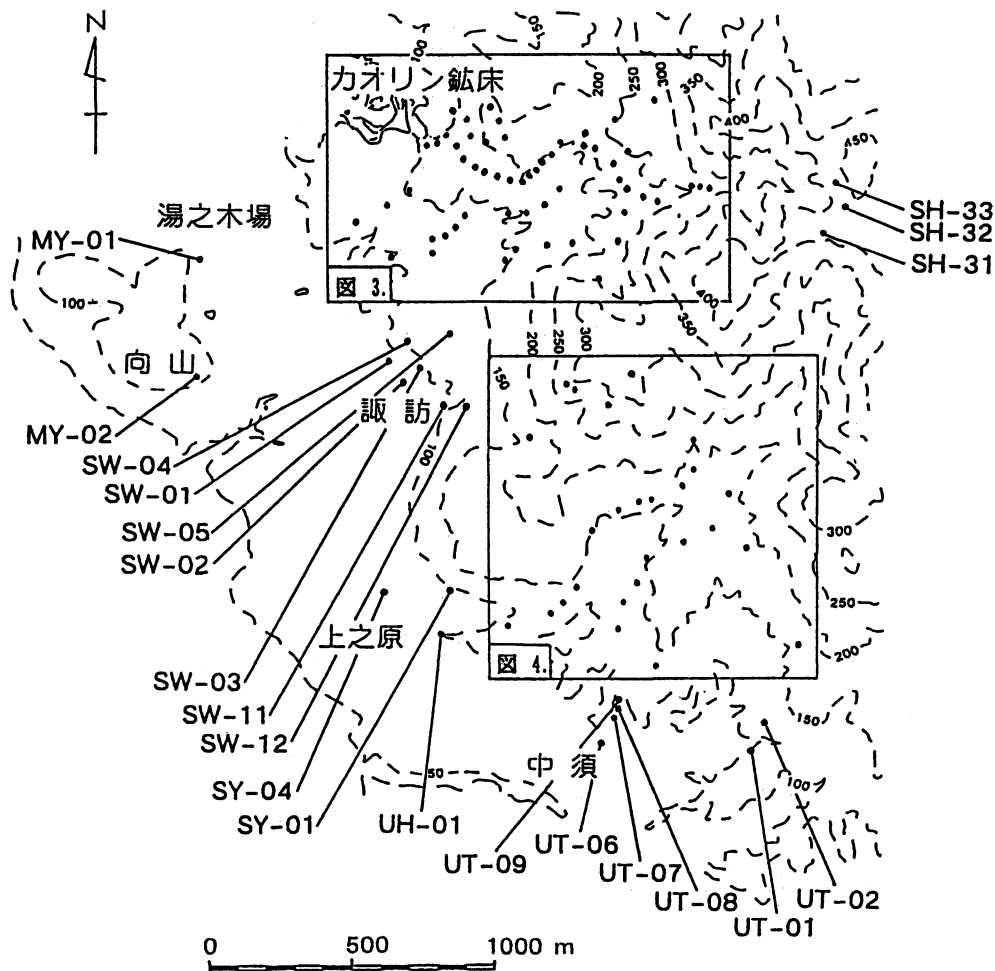


Fig. 2 Distribution map of the sampling points.

松本・藤井(1989)による K-Ar 年代測定の結果, 第四紀更新世の噴出物であることが明らかにされた。また本地域およびその周辺地域には, 上記の地層を入戸火砕流堆積物が不整合に覆うように広く分布している。本地域の地質図を Fig. 1 に示す。

分析用の試料は調査地域内の104点から121個を採取した。試料採取は, 風化による影響を減らすために露頭表面部から少なくとも10cmは掘った場所から行なった。試料採取の位置と試料番号を Fig. 2, 3, および 4 に示す。採取した原土試料から分離採集した $2\mu\text{m}$ 以下の粒子について X 線回折 (XRD) 分析, 示差熱分析 (DTA), 赤外線吸収 (IR) 分析, 走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察を行なった。XRD 分析は理学電機製ガイガーフレックスを用い, 30kV, 15mA, $2^\circ/\text{min}$ の測定条件で行なった。DTA は理学電機製サーモフレックスを用い, $10^\circ\text{C}/\text{min}$ の昇温速度で 1050°C まで加熱測定した。IR 分析は, 日本分光赤外分光光度計 (A-302) を用い, KBr 錠剤法で $5040\sim 330\text{cm}^{-1}$ の範囲を測定した。走査型電子顕微鏡観察は, JOEL JSM-25S を用い, 加速電圧 25kV で観察を行なった。

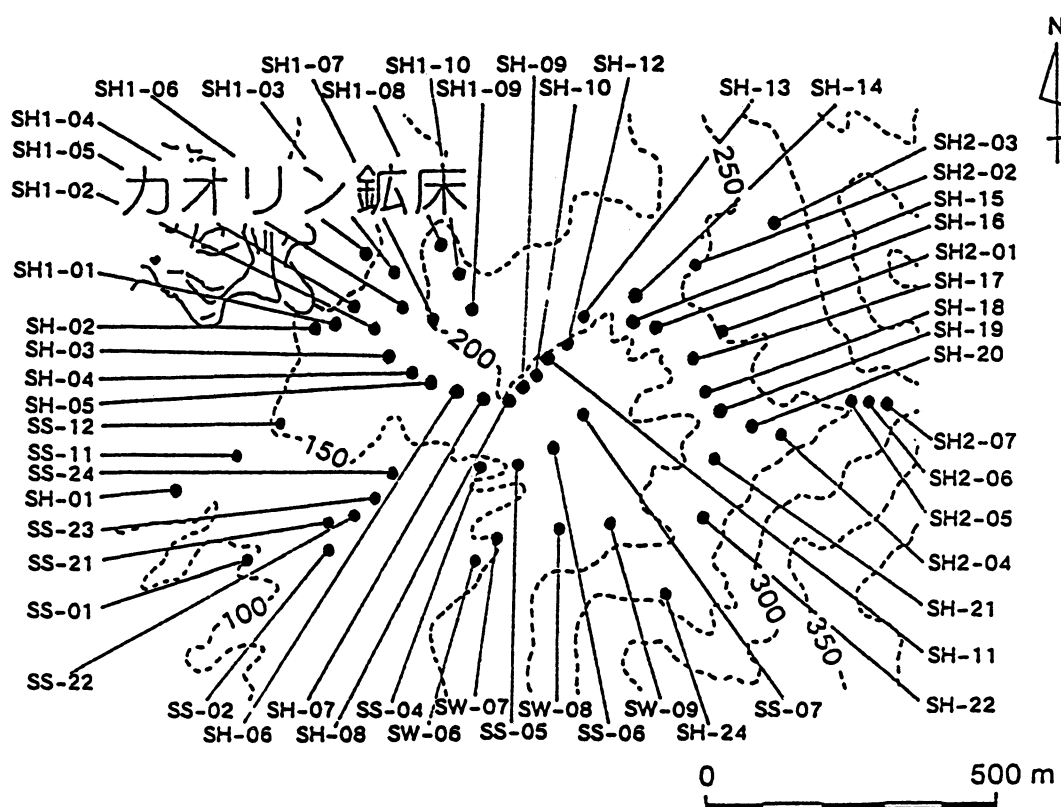


Fig. 3 Distribution map of the sampling points.

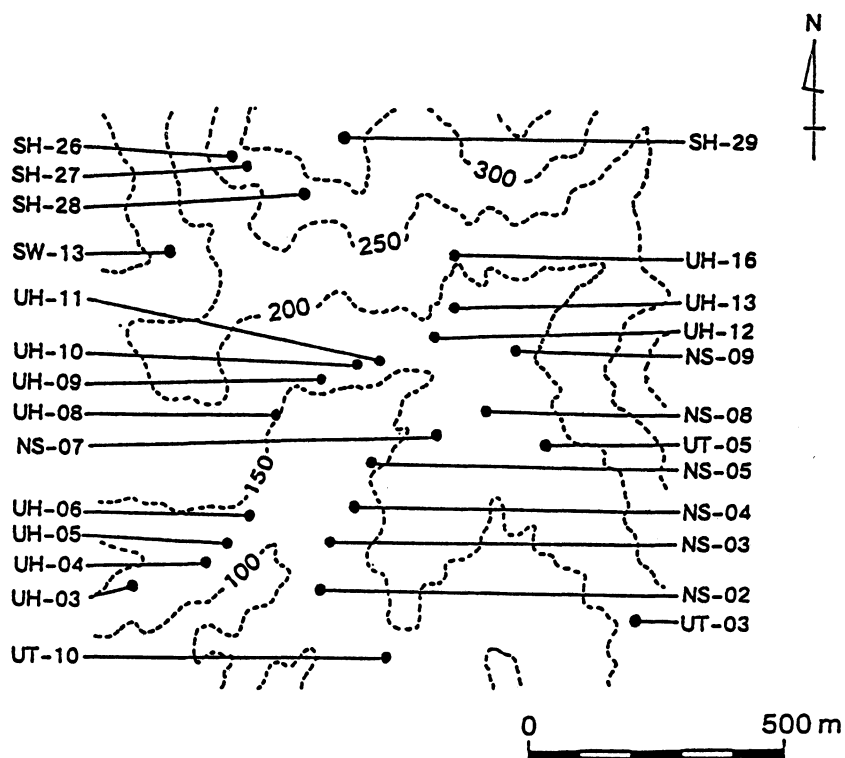


Fig. 4 Distribution map of the sampling points.

3. 実験結果

調査地域で採取した試料について XRD 分析を行なった結果、同定された鉱物は次の通りである。XRD 分析により確認された変質鉱物は、カオリナイト、スメクタイト、ハロイサイト、石英、クリストバライト、トリディマイトで、明礬石、ジャロサイトおよび黄鉄鉱を伴うことが明らかになった。残留鉱物としては一部の石英、斜長石が見出された。試料の採取地点毎に見られる粘土サイズの鉱物組成を Table 1 に示す。

カオリナイトおよびスメクタイトはカオリン鉱床の周辺部に見られ、10Åハロイサイトはカオリナイトおよびスメクタイトの見られる場所よりもっと離れた所で見られた。クリストバライトとトリディマイトはほとんどすべての地域において見られた。明礬石はカオリナイトに伴って見られ、ジャロサイトおよび黄鉄鉱はカオリナイトとスメクタイトの両方が存在する場所あるいはスメクタイトのみ認められる場所において見られた。XRD 分析で認められた変質鉱物の組み合わせの違いによって変質分帯を行なった。分帯は含まれる粘土鉱物により行なっており、全部で I～IV までの 4 つに分帯される。変質鉱物の組み合わせについては、Fig. 5 に示してある。

	I	II	III	IV
カオリナイト				
スメクタイト				
ハロイサイト			
クリストバライト			
トリディマイト			
明 礬 石			
ジャロサイト			
黄 鉄 鉱			

Fig. 5 Zones of alteration minerals.

Zone I (カオリナイト帯).

粘土鉱物としてカオリナイトのみが産する地域をゾーン I とする。カオリナイト帯は、全体的に白色～灰白色を呈し、軟質で粘性が高く、脈状あるいは塊状の珪化岩を胚胎している。また赤褐色を呈する部分や原岩の凝灰角礫岩の組織を明瞭に残している部分も認めることができる。このゾーンにあたる試料の XRD 分析パターンを Fig. 6 に示す。構成鉱物としてはカオリナイトおよび明礬石に特徴づけられ、共存鉱物として石英、クリストバライトおよびトリディマイトが部分的に認められた。斜長石については認めることができなかった。

Table 1 Mineral composition of the specimens.

Sample No.	K	S	H	M	Q	C	T	A	J	P	F	Zone
SH-01			+		+	+++	+++					II
SH-02	+	+++			+						+	II
SH-03		++			+	++	+				+	II
SH-04	+	++			+	+++	++				+	II
SH-05	+	++				+	+					II
SH-06	+++	+++			+				+			II
SH-07		+++				+			+			II
SH-08a			+			++	+				+	II
SH-08b	+											II
SH-08c	+	+++				+					+	II
SH-08d		+++				+				+	+	II
SH-08e	+	++										II
SH-09	+	+++				+				+		II
SH-10a	+++				+							I
SH-10b	+++				++							I
SH-10c	+++				+							I
SH-11		+									+	II
SH-12	+	++				+	+					II
SH-13	+	+				++	++				+	II
SH-14	++	+	+			+						II
SH-15	+++	++			+							II
SH-16	+	++				+	+					II
SH-17a	+	+++				++	+				+	II
SH-17b		+++									+	III
SH-17c		+++								+	+	III
SH-17d		+++			+	+						III
SH-17e			+			+	+				+	III
SH-17f		+	+			+					+	III
SH-17g		++									+	III
SH-18a		+	++			++	+				++	III
SH-18b		++				++	+				++	III
SH-19		+++	+			+	+				+++	III
SH-20	+	+++	+		+						+	II
SH-21		+	++			++	+					III
SH-22		+	+			+						III
SH-24		+			++	++	+				++	III
SH-26			+			++	+				++	IV
SH-27			++			++	+				++	IV
SH-28			+			+++	++				+	IV
SH-29			+++			+						IV
SH-31			+			++	+				+++	IV

Table 1 (Continued).

Sample No.	K	S	H	M	Q	C	T	A	J	P	F	Zone
SH-32a			++	+		+	+				+++	IV
SH-32b			++	+		+	+				+++	IV
SH-32c			+	++		+	+				+++	IV
SH-33			++			+++	+				+	IV
SH1-01	+	+			+	++	+					II
SH1-02	+	+				+++	++					II
SH1-03	++	+										II
SH1-04	+++					+	+					I
SH1-05	+++	+										II
SH1-06	+	+				+++	+					II
SH1-07					+	+	+					
SH1-08	++							+				I
SH1-09						++	++	+				
SH1-10	+							+				I
SH2-01						+	+				+	
SH2-02						++	+				++	
SH2-03						++	+				++	
SH2-04						++	+				++	
SH2-05		++				+					+++	III
SH2-06			+			++	+				++	IV
SH2-07		+++				+++	+				++	III
SS-01	+	+++									+	II
SS-02					+	++	++				++	
SS-04			+			++	+				+	IV
SS-05	+	+++			+	+	+					II
SS-06	+	+++			+							II
SS-07	++	++				+	+					II
SS-11			+	+	+	+++	+					IV
SS-12			+	+	+	+++	+				+	IV
SS-21		+++				+					+	III
SS-22		+++				+	+				+	III
SS-23		+++				++						III
SS-24		+++				++	+					III
SW-01			+			+++	++				+	IV
SW-02		+	+	+		++	+				+	
SW-03a			+			+++	++				+	IV
SW-03b			+	+		+++	++				+	IV
SW-04			+		+	+++	+				+	IV
SW-05			+			++	+					IV
SW-06		+++				+					++	III

Table 1 (Continued).

Sample No.	K	S	H	M	Q	C	T	A	J	P	F	Zone
SW-07		+++				+	+				+	III
SW-08		+++				+	+				+	III
SW-09		++				+	+				+	III
SW-11			++	+	+	++	+				+	IV
SW-12			++		+	+	+					IV
SW-13			+		+	+++	+++				+	IV
MY-01						++	+				+	
MY-02						++	+				+	
SY-01			++	+	+						+	IV
SY-04		+				++	+				+	III
UH-01			+			+++	+					IV
UH-03			+			+++	++					IV
UH-04			++			++	+					IV
UH-05			+			+	+					IV
UH-06			++	+		++	+					IV
UH-08			++			+	+				++	IV
UH-09			+			++	++					IV
UH-10			+			++	+				+	IV
UH-11			+			+						IV
UH-12			+		+	+++	++					IV
UH-13			++			+					++	IV
UH-16			++			++	+				+	IV
NS-02			++	+		+++	+					IV
NS-03			++			++	+				+	IV
NS-04			++		+	++	+					IV
NS-05			+	+	+	+++	+				+	IV
NS-07			+	+	+	+++	+				+	IV
NS-08			+			+						IV
NS-09			++			+++	+				+	IV
UT-01			++	+	+	+					++	IV
UT-02			++	+	+	+++	+				+	IV
UT-03			+++			+++	+				+	IV
UT-05			++			++	+				+	IV
UT-06a			+	+		+	+					IV
UT-06b			+	+		++	+				+	IV
UT-07			++	+		+	+				+	IV
UT-08a			++	+		+						IV
UT-08b			+	+		++	++					IV
UT-09			++	+		+	+					IV
UT-10			++	+		++	+				+	IV

K: kaolinite, S: smectite, H: 10 Å-halloysite, M: 7 Å-halloysite, Q: quartz, C: cristobalite, T: tridymite, A: alunite, J: jarosite, P: pyrite, F: feldspar.

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

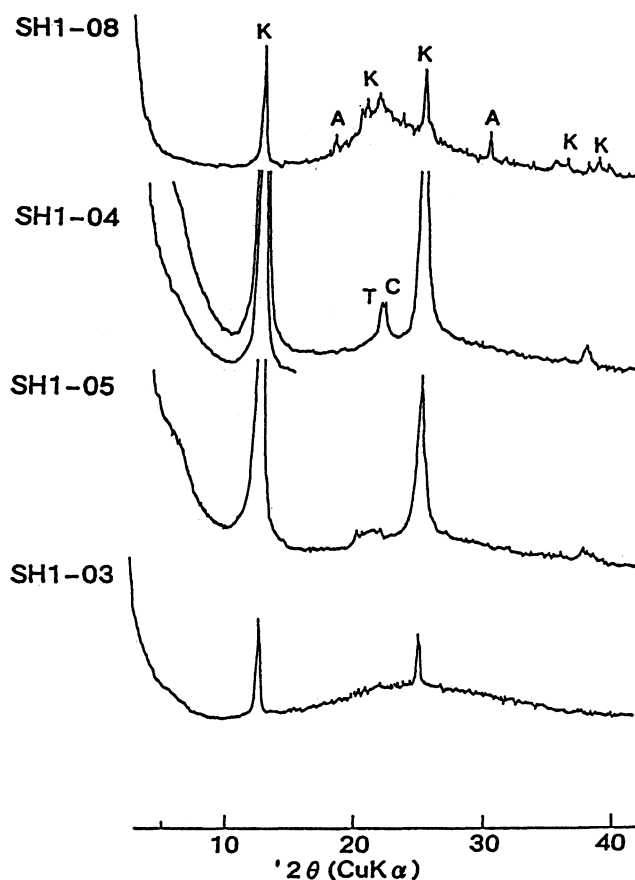


Fig. 6 X-ray diffraction patterns in zone I.
K: kaolinite, A: alunite, C: cristobalite, T: tridymite.

このゾーンに産する試料のうちでかなり純粋なカオリナイトの DTA 曲線 (Fig. 8) と IR 分析結果 (Fig. 9) を示す. DTA では, 585℃の吸熱ピークは珪酸塩層中の OH 基の脱水に伴う吸熱反応であり, 吸熱反応から980℃の吸熱ピークまではメタカオリンと呼ばれる X 線的には非晶質の状態である. 980℃の発熱ピークはメタカオリンが γ - Al_2O_3 (スピネル相) とムライトへの変化によるものである. IR 分析結果では, OH の振動による吸収線として3500~3700 cm^{-1} に3本認められる. これらの帰属については3625 cm^{-1} 付近の吸収が1:1層内部の OH, 3650, 3700 cm^{-1} 付近の吸収が1:1層外部の OH に起因するものである. 3400~3500 cm^{-1} 付近の幅広い吸収は吸着水のものであり, 1000~1100 cm^{-1} 付近には Si-O の振動による吸収線が3本 (1105, 1040, 1015 cm^{-1}) 認められる. 1000 cm^{-1} 以下には OH (940, 920 cm^{-1} 付近), Si-O (690, 475, 430 cm^{-1} 付近) の振動による吸収帯が認められる.

カオリナイトの結晶度を示す尺度となるものに Hinckley 指数 (Hinckley, 1963) があるが, 採取した試料中では4試料のみ測定でき, その結果は 1.18 (試料番号: SH-10a), 0.88 (SH-10b), 0.75 (SH-10c), 0.67 (SH1-08) であった. SH-10a の試料の SEM 写真を Fig. 7 に示す. 藤井ほか(1989)によると, 入来カオリン鉱床から採取したカオリナイトの Hinckley 指数は最低が0.86で, 大部分が1.00以上であり, 入来カオリンは平均的に高い結晶度を有している. このことから鉱床周辺のカオリナイトは, 鉱床内に見られるカオリナイトからすると結晶度はあまり良くないと推定される.

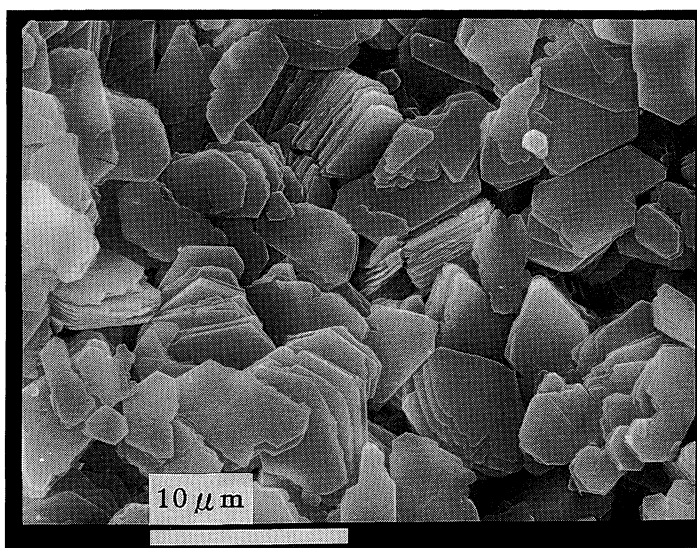


Fig. 7 Scanning electron micrograph of the typical kaolinite in zone I.

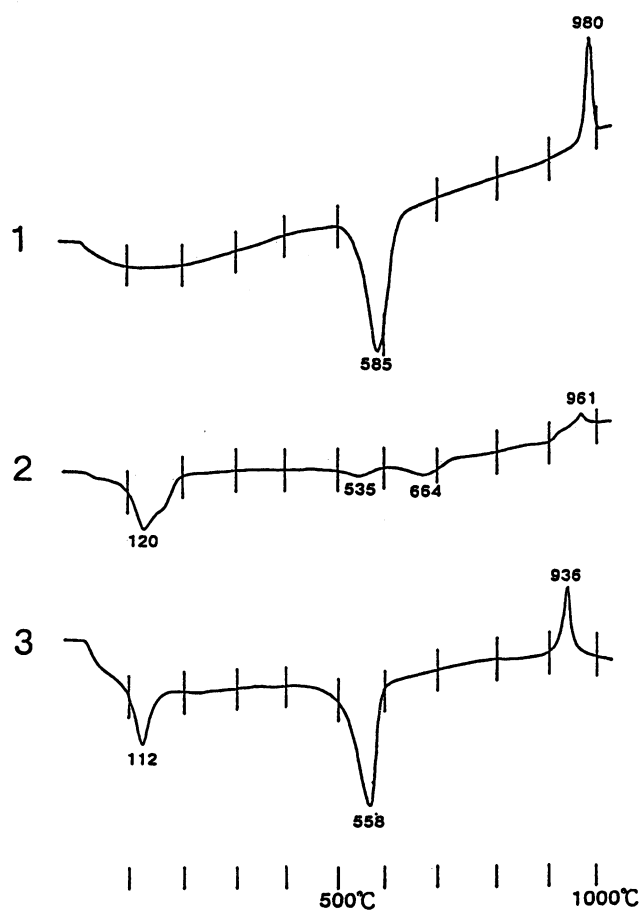


Fig. 8 DTA curves for kaolinite, smectite and 10 Å halloysite.
1: kaolinite, 2: smectite, 3: 10 Å halloysite.

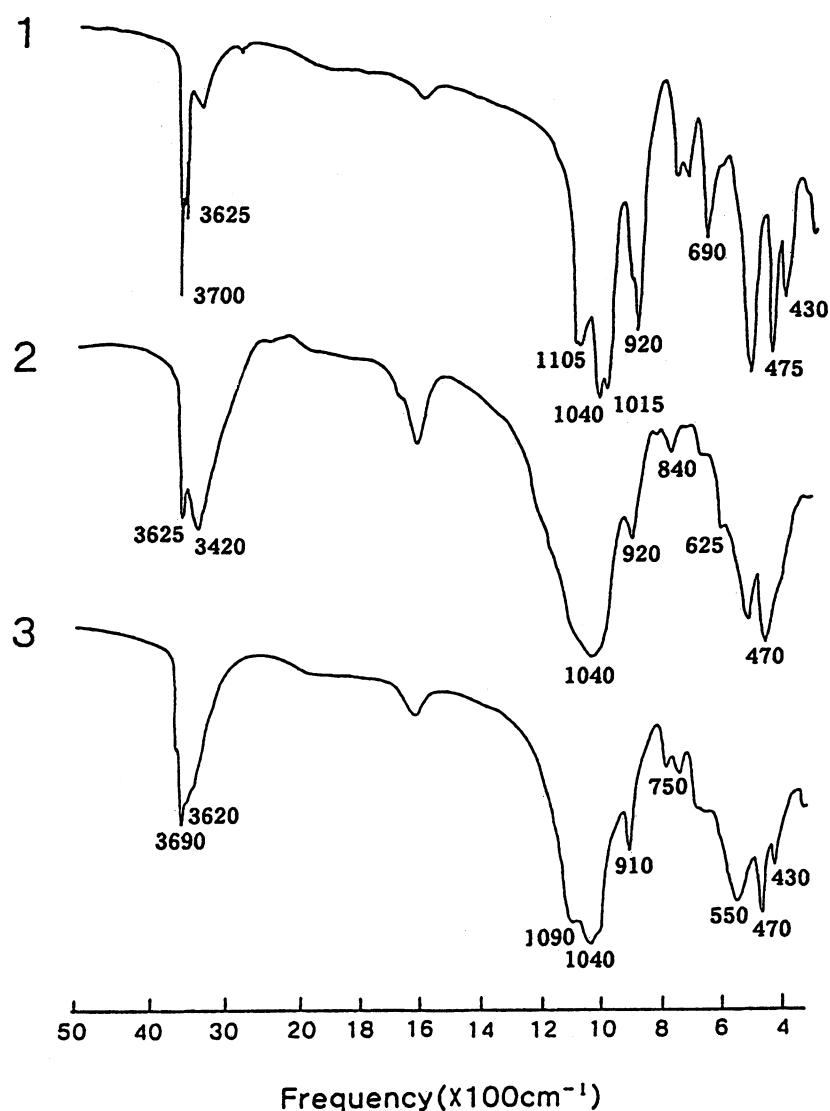


Fig. 9 Infrared absorption spectra for kaolinite, smectite and 10 Å halloysite.
1: kaolinite, 2: smectite, 3: 10 Å halloysite.

Zone II (カオリナイト+スメクタイト帯).

カオリナイトとスメクタイトの共生する部分をもってゾーン II とする。このゾーンは、ゾーン I (カオリナイト帯) と次に述べるゾーン III (スメクタイト帯) との間に分布する。原岩の組織は比較的明瞭な部分とそうでない部分があり、灰白色、青灰白色、淡赤褐色などの色調の変化が著しい。このゾーンの XRD パターンを Fig. 10 に示す。ゾーン II に含まれる試料中にカオリナイトおよびスメクタイトと共存する鉱物としては、クリストバライト、トリディマイトが多くの地点で認められ、石英、ジャロサイト、黄鉄鉱の見られるところもある。一部の試料に 10 Å ハロイサイトを含むものがあるが、これは風化の産物であると考えられるので分帯ではゾーン II に含まれる。

ジャロサイトはナトロジャロサイトとの固溶体をなすが、XRD では d 値に差異がみられ、調査地域内のジャロサイトは K- ジャロサイトの端成分に近い組成であると考えられる。またジャロサイトについては Burnham (1991) のプログラム LCLSQ を用いて格子定数を求めた。その

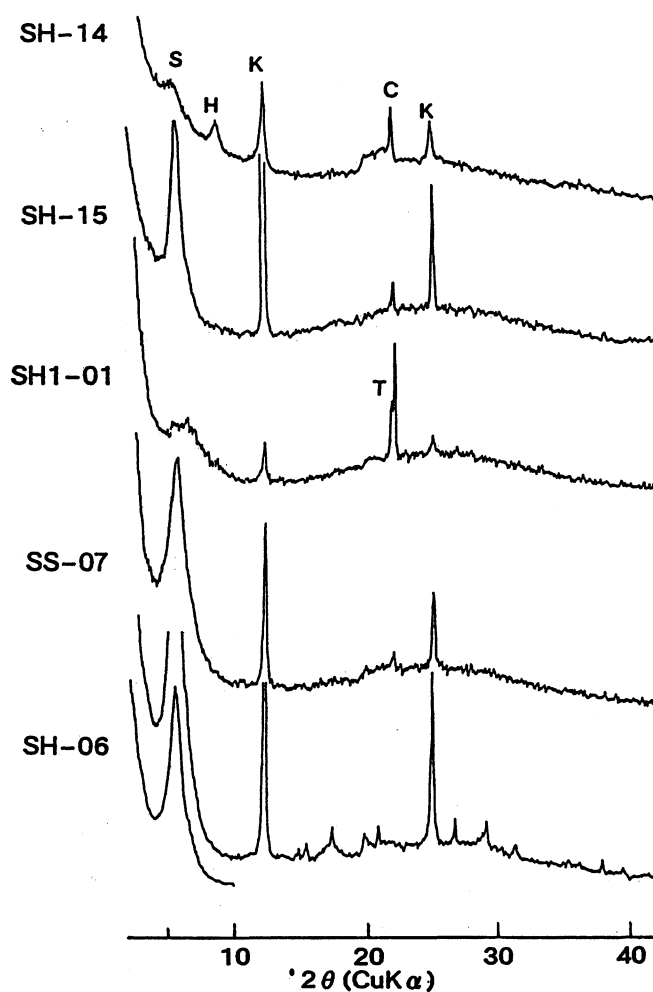


Fig. 10 X-ray diffraction patterns in zone II.

K: kaolinite, S: smectite H: 10 Å halloysite, C: cristobalite, T: tridymite.

結果, $a = b = 7.327 (\pm 0.005)$, $c = 17.179 (\pm 0.023)$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ であり, ジャロサイトの結晶系は六方晶系であることがわかる (Table 2, Fig. 11).

スメクタイトとカオリナイトの $d(001)$ 値の回折ピークの面積比を調べ, その量比を田中 (1989) のスメクタイトとカオリナイトの定量用検量線を用いて求めた (Fig. 12). 鉱床の東方約 500m 付近にスメクタイトよりカオリナイトが多く含まれる部分があるが, これは地質的な弱線か何かがそこに存在し, 熱水が上昇してきたためと考えられる. その他多数の地点ではスメクタイトの含まれる量が多い傾向にある. カオリン鉱床の近くの試料採取位置である SH1-01, SH1-06 にスメクタイトがカオリナイトより多く存在するのは, 採取位置が鉱体の最上部にあたる部分であるためと推察される.

Table 2 XRD data and unit cell parameters of jarosites.

hkl	1	2
	d	d
101	5.98550	5.93000
003	5.75310	5.72000
012	5.12570	5.09000
021	3.12110	3.11000
113	3.08940	3.08000
024	2.54950	2.54200
107	2.28690	2.28700
033	1.98280	1.97700
220	1.83160	1.82500
a (Å)	7.32737	7.29000
b (Å)	7.32737	7.29000
c (Å)	17.17983	17.16000
α (DEG.)	90.00000	90.00000
β (DEG.)	90.00000	90.00000
γ (DEG.)	120.00001	120.00000

1. Jarosite from Suwa, Iriki Town, Kagoshima Prefecture.
2. Jarosite. Data from Smith, Plessey Co. Ltd. Caswell, Towcaster Northants, U.K.

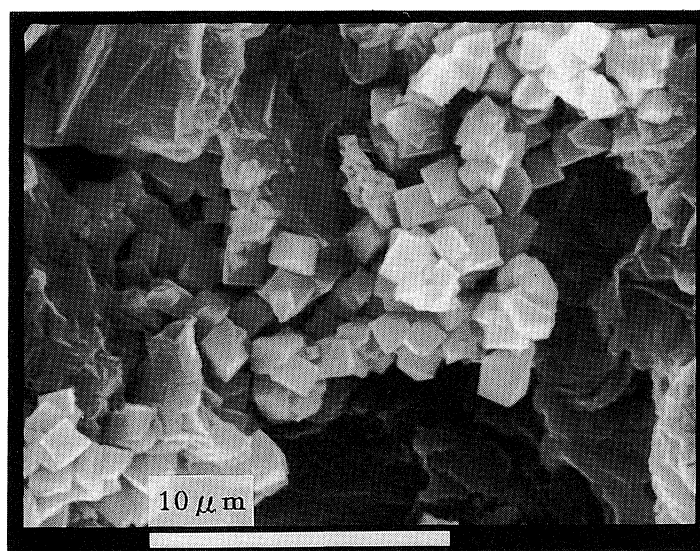


Fig. 11 Scanning electron micrograph of jarosite.

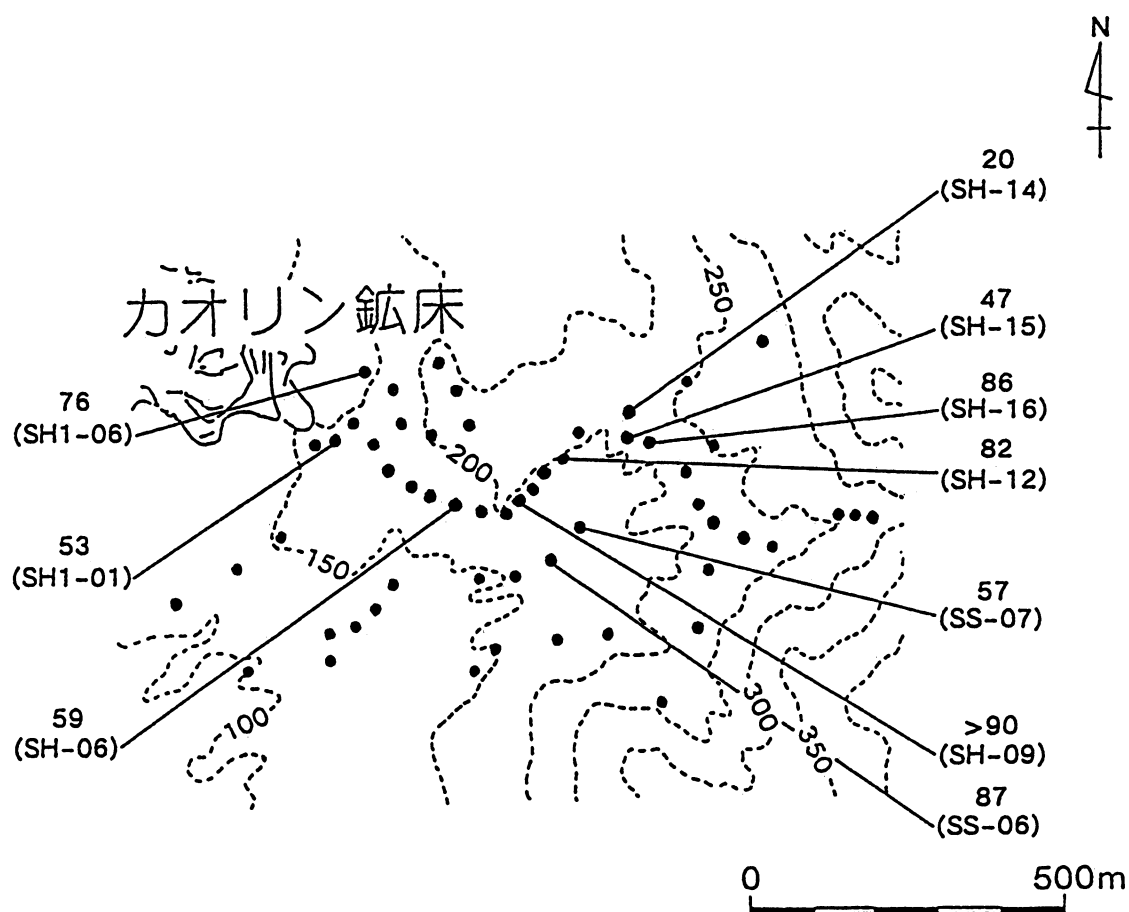


Fig. 12 Quantitative analysis of kaolinite and smectite.
smectite/ (kaolinite + smectite) %.

ZoneⅢ (スメクタイト帯).

粘土鉱物としてはスメクタイトのみ存在する所をもってゾーンⅢとする。露頭において原岩の組織は比較的明瞭で青灰色、黄褐色などの色調を示し非常に軟質である。スメクタイト帯中の典型的なスメクタイトの XRD パターンを Fig. 13 に示す。15.5 Å の底面反射が顕著であり、クリストバライトやトリディマイトも認められる。斜長石を含む試料もある。

このスメクタイトの DTA 曲線と IR 分析結果を Fig. 8, および 9 に示す。DTA 曲線の 100~200 °C にある二重のピークは珪酸塩層間の H₂O の脱水による吸熱反応である。これは Grim (1953) によると乾燥窒素フローに長時間置いた時、層間に Ca, Mg, Li イオンを持つスメクタイトの特徴であるとされている。535°C と 664°C に 2 つの吸熱ピークがあるが、500~570°C 領域の吸熱反応はカオリン層の存在によるものであり(武司・宇野, 1974), 664°C のピークは珪酸塩層中の OH 基の脱水によるものである。500~700°C に二つの吸熱ピークをもつスメクタイトは "abnormal montmorillonite" (Greene-Kelly, 1957) にあたる。発熱ピークが 961°C に見られ、この発熱ピークの直前にある小さな吸熱ピークは八面体層中に比較的 Mg²⁺ が少なく Fe³⁺ が多いスメクタイトの特徴である(加藤, 1961)。IR 分析では、珪酸塩層中の OH の振動による吸収線が 3630cm⁻¹ 付近に、層間の水分子の振動による吸収線が 3420cm⁻¹ 付近に認められる。その他, Si-O 振動による吸収線が 1040, 625, 470cm⁻¹ 付近に、X-OH の振動による吸収線が 920cm⁻¹ と 840cm⁻¹ 付近に認められる。

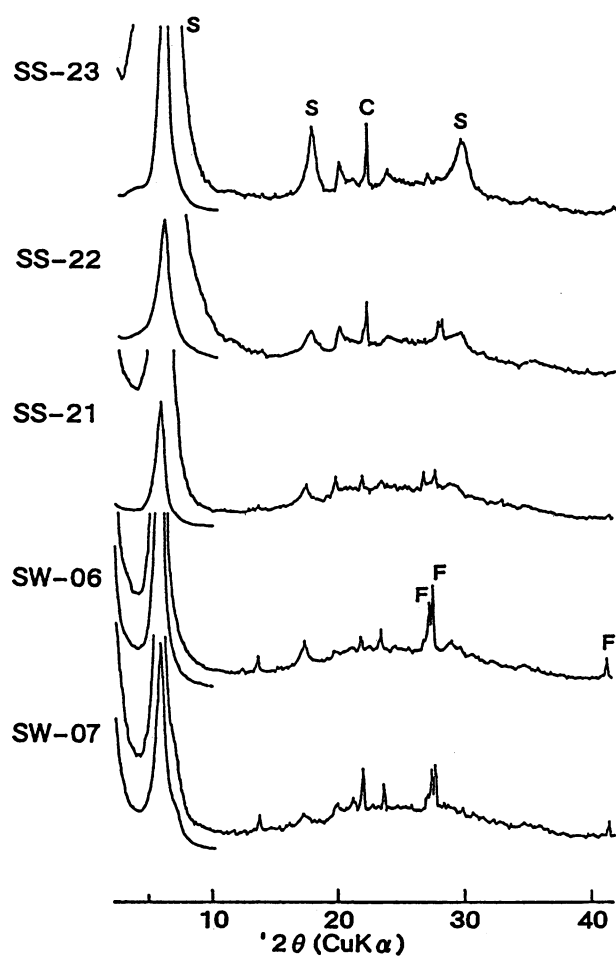


Fig. 13 X-ray diffraction patterns in zone III.
S: smectite, C: cristobalite, F: feldspar.

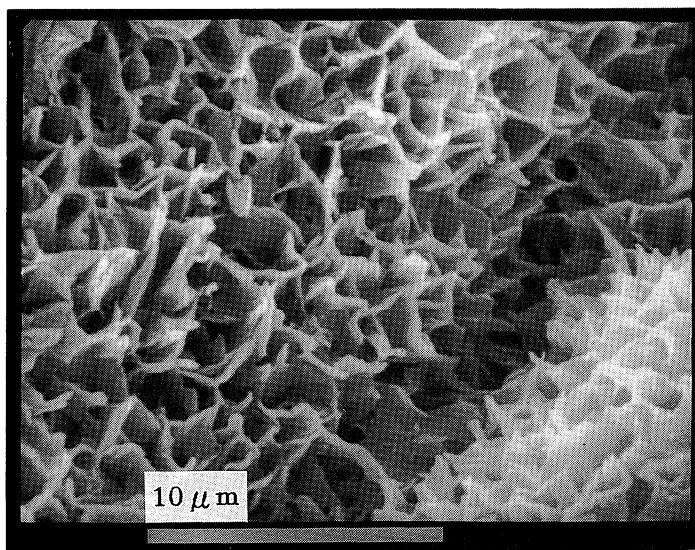


Fig.14 Scanning electron micrograph of the typical smectite in zone III.

SEM 観察では一般にスメクタイトはフレーク状の外観を示すが、Fig. 14 はその典型に近い形態である。

スメクタイト帯を含め、スメクタイトの含まれるすべての試料について $d(060)$ 値を測定した。ほとんどすべての試料の $d(060)$ 値は $1.49 \sim 1.50 \text{ \AA}$ の間に含まれており 2 八面体型のスメクタイトであることがわかる。

Zone IV (ハロイサイト帯)。

10 \AA ハロイサイト（あるいは 10 \AA ハロイサイト + 7 \AA ハロイサイト）の生成をもってゾーンとする。露頭において両輝石角閃石安山岩質凝灰角礫岩中の角～亜角礫は紫色～赤紫色の色調を示し、原岩の組織は明瞭に認めることができる。角閃石等の有色鉱物には縁辺部が変質しているものも見られる。このゾーン中の典型的な試料の XRD パターンを Fig. 15 に示す。 10 \AA ハロイサイトはすべての試料において認められ、 7 \AA ハロイサイトが認められる試料もある。 7 \AA ハロイサイトの回折ピークは、ブロードで 10 \AA ハロイサイトの $d(001)$ 反射の位置まで広がっている。これは露頭においてあるいは試料を採取してから XRD 分析をするまでの間に、 10 \AA ハロイサイトの層間の H_2O が脱水して生成されたものであると考えられる。そのほか共存鉱物としてクリストバライト、トリディマイトおよび斜長石も認められる。

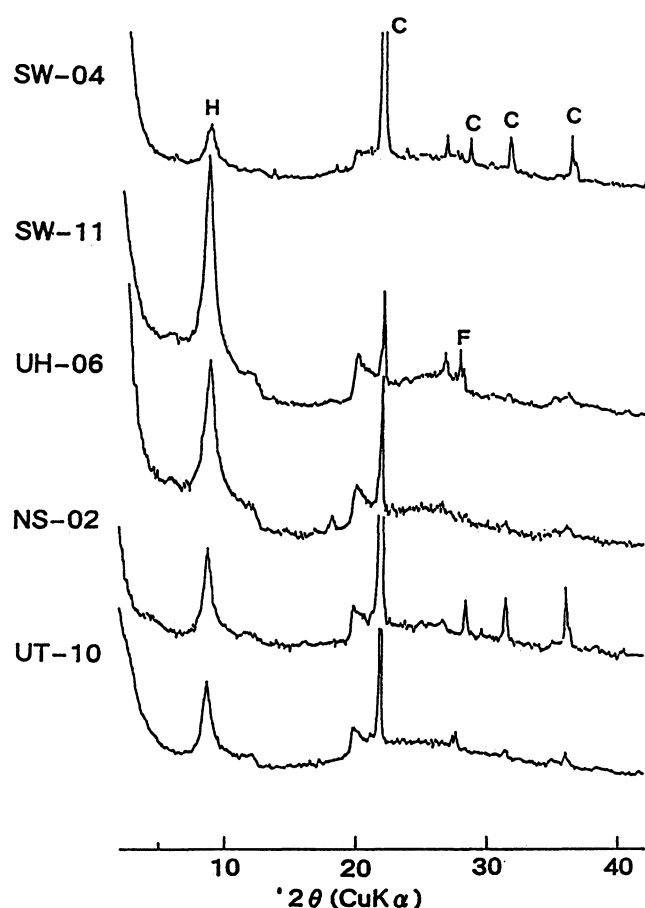


Fig.15 X-ray diffraction patterns in zone IV.
H: 10 \AA halloysite, C: cristobalite, F: feldspar.

Fig. 8, 9 に10 Å ハロイサイトの DTA 曲線と IR 分析結果を示す。DTA において60~120℃ 付近のピークは層間に含まれる H₂O の脱水による吸熱反応によるものであり、558℃ 付近に見られるピークは珪酸塩層中の OH 基の脱水に伴う吸熱反応によるピークである。936℃ の発熱ピークはムライトと γ -Al₂O₃ になることによる。IR 分析では、OH の振動による吸収線が3690, 3620cm⁻¹ 付近に認められる。珪酸塩層中の水分子による吸収は3500~3400cm⁻¹ 付近に、Si-O の振動による吸収が1090, 1040, 470, 430cm⁻¹ 付近に認められる。その他 Si-O-Al (750, 550cm⁻¹) の振動が認められる。

4. 考察

今回の研究で認められた鉱物は、カオリナイト、スメクタイト、ハロイサイト、石英、クリストバライト、トリディマイト、斜長石、明礬石、ジャロサイトおよび黄鉄鉱であった。これらの鉱物を主に粘土鉱物について組み合わせをして変質鉱物による分類を行なった結果、次の4つに分けることができた。

Zone I. カオリナイト帯

Zone II. カオリナイト+スメクタイト帯

Zone III. スメクタイト帯

Zone IV. ハロイサイト帯

粘土鉱物以外では、明礬石はカオリナイトにともなって見られ、ジャロサイトと黄鉄鉱はカオリナイトとスメクタイトの共存する試料にいくつか認められた。クリストバライトとトリディマイトは採取試料のほとんどに含まれていた。斜長石はカオリナイト帯にのみ認められなかった。

この4つのゾーンは、大まかにカオリン鉱床の東部を中心とし外側に向かってゾーン I からゾーン IV へと不明瞭ながら帯状配列している。この分布・産状については白水 (1985) が一般的に熱水変質や熱水性粘土について、(1)熱水変質は火成活動や構造運動に伴うので局地的に見られる、(2)熱水活動の中心あるいは熱水の通路から周縁あるいは外側に向かって、主として温度および化学的勾配に対応して形成される、(3)多量の熱水溶液が供給されて生じた顕著な熱水変質帯では鉱物組成の単純化が見られる、などの特徴があるとしていること、また長沢 (1987) が、火山・温泉地域で浅所の熱水作用による変質は一般に酸性の熱水溶液によって起こり、著しい溶脱を伴い、粘土鉱物としては、カオリナイト、ディッカイト、ハロイサイトなどを主とし、石英などの珪酸鉱物、明礬石、黄鉄鉱などを随伴するとしている。これらのことから調査地域内の変質鉱物は、熱水溶液の上昇により生成されたと推察される。調査地域の南部に見られるハロイサイトについては地表条件下で安定な鉱物であり、また現地調査の際行なった露頭観察からして風化による産物であると考えられる。

熱水変質作用の起こった時代については、藤井ら (1989) が入来カオリン鉱床の形成について鉱床内で変質が安山岩集塊岩にもおよんでいることから、蘭牟田火山の初期の活動に関わる凝灰角礫岩が流出・堆積した後であるとしている。しかし今回の研究において、鉱床東部に分布している複輝石角閃石安山岩の熱水溶液による変質が確認されたので、熱水変質作用は、松本・藤井 (1989) が K-Ar 年代を用いて得た初期溶岩流の45.3万年より若い年代であると考えられる。

本地域で熱水変質作用により生成した諸鉱物が、どのような順で晶出したかを決定するような結果は得られなかった。このことについては藤井ら (1989)、河野・富田 (1991) の報告があり、それらでは走査型電子顕微鏡での観察から、原岩から一旦スメクタイトが生成され、その後スメ

クタイトの溶解消失とカオリナイト結晶の析出と成長が進行した可能性があるとし、熱水変質作用は少なくとも2回にわたってあった（初めは中性～弱アルカリの熱水溶液による、その後酸性熱水溶液による変質）と考えられている。ただゾーンⅠでは斜長石がまったく認められず、ゾーンⅡおよびゾーンⅢにおいては外側へ向かって斜長石の含まれる試料が多くなる様な傾向が見られた。これより変質鉱物が熱水変質作用で火山ガラスのほか斜長石からも変質して生成されたことがわかる。

ゾーンⅡの試料でカオリナイトとスメクタイトとの定量分析を行った結果、わずかではあるがカオリン鉱床の東部でカオリナイトの含まれる量が多い傾向が見られ、これより熱水変質作用が東西方向へ広がっていると推察される。またこれについては通産省（1993）がシュランベルジャー法電気探査を行っており、鉱床の発達の方角についてさらに東西方向に広がる傾向があるとしている。

5. 謝辞

本報告を作成するにあたり、鹿児島大学理学部地学教室岩石及び鉱物学講座の山本温彦助教授には有益な御指導、御助言を賜った。

入来カオリン(有)鉱山所長の浜口安吉氏には貴重な試料をいただいた。

以上の方々に、この場をかりて厚く御礼申し上げます。

文 献

- Burnham, C.W., 1991. LCLSQ: Lattice parameter refinement using correction terms for systematic errors. *Amer. Miner.*, **76**, 663-664.
- 藤井紀之・月村勝宏・Julio, J.M., 1989. 鹿児島県入来カオリン鉱床の産状と形成過程. 地質調査所月報, **40**, 299-322.
- Greene-Kelly, R., 1957. The Differential Thermal Investigation of Clays. 140-164. *Miner. Soc., London*.
- Grim, R.E., 1953. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Hinckley, D.N., 1963. Variability in "Crystallinity" Values among the Kaolin Deposits of the Coastal Plain of Georgia and South Carolina. *Clays Clay Miner.*, **11**, 229-235.
- 河野元治・富田克利, 1991. 鹿児島県入来カオリン鉱床産のカオリナイトの鉱物学的性質と生成過程. 粘土科学, **30**, 229-239.
- 松本哲一・藤井紀之, 1989. 鹿児島県蘭牟田火山溶岩の K-Ar 年代. 一入来カオリン鉱床の生成時期と関連して. 岩鉱, **84**, 398-402.
- 長沢敬之助, 1987. カオリン質粘土の鉱床学. 粘土科学, **27**, 53-61.
- 白水晴雄, 1985. 熱水作用による粘土鉱物の生成とその性質. 粘土科学, **25**, 113-118.
- 武司秀夫・宇野泰章, 1974. カオリノーモンモリロナイト混合層鉱物の生成. 鉱物学雑誌, **11**, 162-168.
- 田中純朋, 1988. 鹿児島県指宿市中部の地質及び変質鉱物について. 昭和63年度鹿児島大学理学部地学科卒業論文, 117pp.
- 通商産業省資源エネルギー庁, 1993. 平成4年度広域地質構造調査報告書北薩・串木野地域, 35-44.