鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）
No.27, 41-60, 1994.

鹿児島県入来町副田の変質鉱物の帯状分布

中田 卓[1)]・富田克利[2)]・河野元治[3)]

（1994年9月7日受理）

Zonal Distributuion of Altered minerals in the Soeda-area, Kagoshima Prefectuer

Takuya NAKADA[1)], Katsutosi TOMITA[2)], Motoharu KAWANO[3)]

Abstract

Hydrothermally altered andesites and tuff breccias are distributed in the Soeda-area, Iriki-cho, Kagoshima prefecture. The distribution of altered minerals in this area were studied. Altered minerals could be divided into fourzones, Zone Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ and Zone Ⅳ by the mineral assemblage. Zone Ⅰ is characterized by kaolinite and quartz. Zone Ⅱ is characterized by kaolinite and smectite. Zone Ⅲ is characterized by smectite and 7 Å-halloysite and Zone Ⅳ is 10 Å-halloysite. Degree of alteration is strongest in the Zone Ⅰ, the central part of the altered zones, then decreace toward Zone Ⅳ, the most outer part of the alterzone. Theresults of studies on specific minerals show that the morphology of kaolinite has hexagonal plates. Observation by SEM revealed that some kaolinite crystals were subjected to weak hydrothermal alteration at later stage.

Key Words: alteration, kaolinite, smectite, 7 Å-halloysite, 10 Å-halloysite

Ⅰ．はじめに

北薩の古期安山岩類はプロピライト化作用を受けているものが多く，本調査地域である入来町副田にも熱水変質作用により安山岩および安山岩質凝灰角礫岩がプロピライト化作用を受けてい

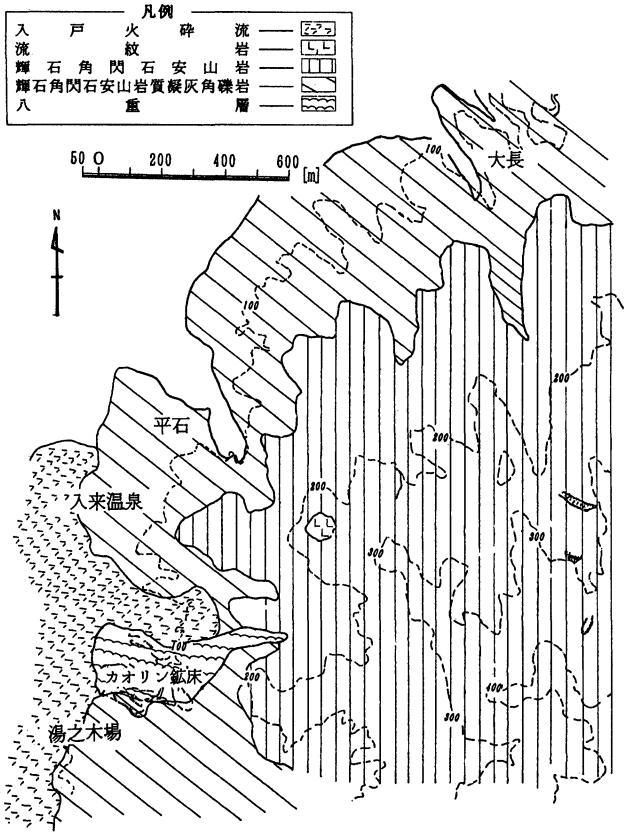
1) 日本基礎技術株式会社　〒530 大阪市北松ケ枝町6番22号
6-22 Kitamatsugae-cho, Osaka 530, Japan
2) 鹿児島大学理学部地学教室　〒890　鹿児島市郡元1丁目21-35
Institute of Earth Sciences, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890, Japan
3) 鹿児島大学農学部生物環境学教室　〒890　鹿児島市郡元１丁目21-24
Institute of Earth Sciences and Technology, Faculty of Aguricalture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima 890, Japan

る。熱水変質作用によって，生成される粘土鉱物には，溶液の性質および変質を受ける岩質によって，さまざまな種類がある。そこで今回調査地域において変質鉱物を採取し，熱水および風化変質によって生成した粘土鉱物の帯状分布を把握し，変質鉱物の成因について若干の考察を行ったのでここに報告する。熱水変質作用の一般的な解釈は歌田（1989）によって定義されており，本調査地域のカオリン鉱床の成因および鉱物学的組成については，藤井・月村（1989），河野・富田（1991）により述べられている。

Ⅱ．地質概説

南九州は200～300万年以降活発な火山活動の場であり，北薩地方にある薩牟田池など新生代第四紀に形成された薩牟田火山の西部にあたる本地域の地質にもそれが反映されている。

本調査地域である鹿児島県入来町副田の位置図および地質図を第１図に示す。調査地域には，更新世前期と考えられる八重層が基盤をなしている。この八重層は湖成堆積物であり，走向は一定しておらず泥岩質シルト～凝灰質砂岩よりなる。この八重層を不整合に被覆している輝石角閃石安山岩および同凝灰角礫岩礫岩は薩牟田火山より噴出したもので，時代については松本・藤井（1989）・藤井・月村（1989）により今から約45万年前の更新世中期と測定されている。以上の岩石はプロピライト化しており，カオリン鉱床付近で著しく熱水変質作用を受けている。同様なプロピライトは，大口，串木野鉱山母岩にも確認でき，これらの鉱床は，浅熱水性鉱床と呼ばれている。その後，今から約２万年前に入戸火砕流が堆積した。

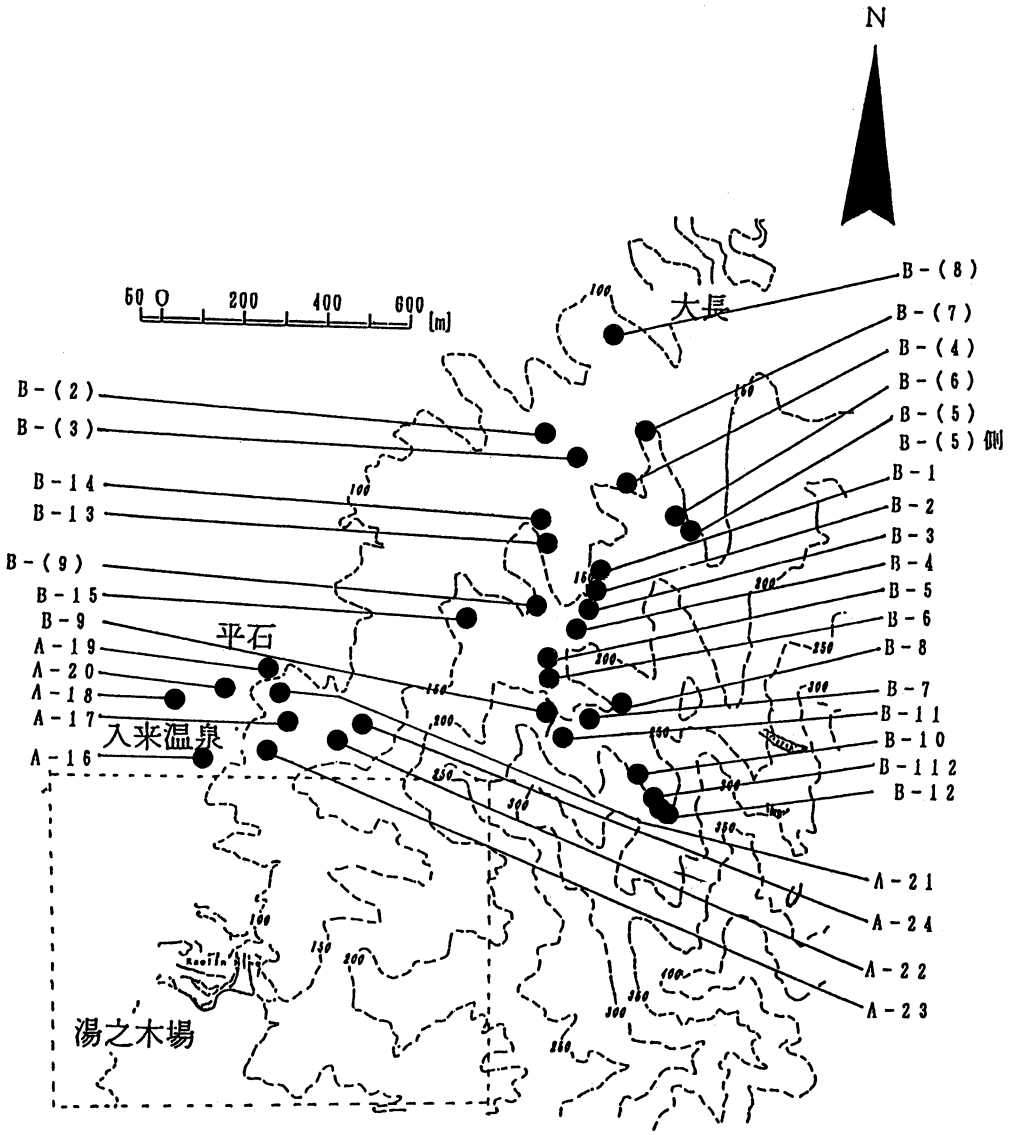


第１図　　鹿児島県入来町副田の地質図

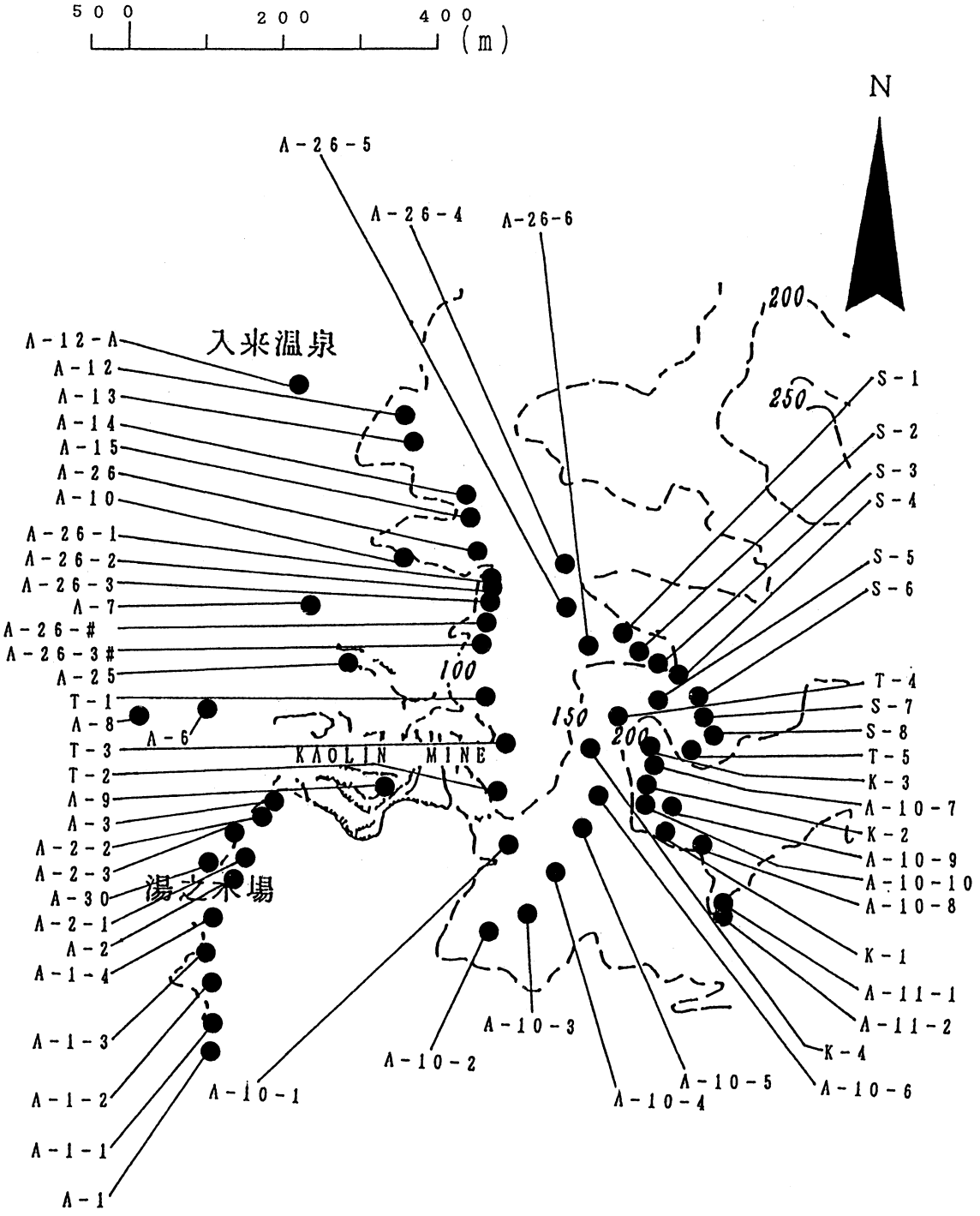
Ⅲ．試料および実験方法

試料は本調査地域に分布する熱水および風化変質鉱物を約140個採取した。採取地点を第２と第３図に示す。試料採取にあたっては表土から10～30cmの深さのものを採取した。すべての試料について2μm以下に水ひした試料をガラス板に貼りつけた定方位試料を作成し，一部の試料については不定方位試料を作成した。これらの実験用試料に含まれる鉱物をX線粉末回折法により同定した。実験は，CuKα線，30kV，15mAで行った。

また一部の試料については走査型電子顕微鏡観察，示差熱分析，赤外線分析を行った。走査型電子顕微鏡（SEM）観察については，JEOL JSM-25SⅡ を25kV で，また示差熱分析（DTA）は理学電機製サーモフレックス8001で毎分10℃の割合で上昇させ1050℃まで測定した。赤外線分析（IR）は日本分光工業株式会社製A 302 型を用い，試料については２μm以下に水ひしたものを用い，KBr 錠剤法を用いた。



第２図　　試料採取位置図



第３図　　試料採取位置図（点線を拡大）

Ⅳ. 結　果

本調査地域から採取した粘土鉱物を同定した結果，認められた鉱物は，カオリナイト，スメクタイト，SiO_2 鉱物（クリストバライト,トリディマイト,石英），ハロイサイト（10Åと7Åのもの），明ばん石およびアナターゼである。XRD による変質鉱物を，第1，2，3，4表に示す。

第1表　入来町地域から採取した試料中の変質鉱物

Sample No.	Ka	Sm	10H	7H	Q	Cri	Try	Al	An	Py	Mor	備　考	Type
A-1	◎					○	○					Opal-CT	Ⅰ
A-1-1	◎				−	○	○						Ⅰ
A-1-2	○				−	◎							Ⅰ
A-1-3	○					△							Ⅰ
A-1-4	○					△							Ⅰ
A-2	○				○	○	○						Ⅰ
A-2-1	◎					○							Ⅰ
A-2-2	◎				−	◎							Ⅰ
A-2-3	◎				△	◎							Ⅰ
A-3	◎				△								Ⅰ
A-3-1	○					○							Ⅰ
A-4													Ⅰ
A-5	◎			?		○							Ⅰ
A-6	○			?		○							Ⅰ
A-7													Ⅰ
A-8		○		○							○	八重層	
A-9	◎												Ⅰ
A-10													Ⅰ
A-10-1	○	◎		?									Ⅱ
A-10-2						◎	?						?
A-10-3	○	○			○	○							Ⅱ
A-10-4	○	△				○							Ⅱ
A-10-5													?
A-10-6	○			○		?	○	○				Opal-CT	Ⅰ
A-10-7						○	○					Opal-CT	?
A-10-8	○			?									Ⅰ
A-10-9-1	−			?				◎					Ⅰ
A-10-9-2							○	◎					?
A-10-10				○				◎				Opal-A	?
A-10-10-1	○			○	−	−		○				Opal-A	Ⅰ
A-10-10-2	○											Opal-A	Ⅰ
A-11												Opal-A	
A-11-1		○											Ⅱ?

Ka：カオリナイト，　Sm：スメクタイト，　10H：10Åハロイサイト，　7Åハロイサイト
Q：石英，　Cri：クリストバライト，　Try：トリディマイト，　Al：明ばん石
An：アナターゼ，　Py：黄鉄鉱，　Mor：モルデン沸石
Type：粘土鉱物による帯状分布の種類

第2表　入来町地域から採取した試料中の変質鉱物

Sample No.	Ka	Sm	10H	7H	Q	Cri	Try	Al	An	Py	Mor	備　考	Type
A-11-2	○	◎				−				◎		金属部分	Ⅱ
A-11-3		◎				○							Ⅱ
A-12				○		○	○					Opal-CT	Ⅳ
A-12-A	○	○		○	−	◎							Ⅱ
A-12-B	○	○		○		○							Ⅱ
A-12-C		−			○	−							Ⅱ
A-13	?	○		○		○							Ⅱ?
A-13-1		◎	○		○								Ⅱ
A-13-2		◎		○	○								Ⅱ
A-14-1		◎										Sm の濃集	Ⅱ
A-14-2		○		○		○							Ⅱ
A-15		◎			−	−	−					Sm の濃集	Ⅱ
A-16		−				◎							Ⅱ
A-17		○											Ⅱ
A-18			○	○	○	◎							Ⅳ
A-19			○	○	○	○							Ⅳ
A-20					○	◎	?						?
A-21													
A-22													
A-23		?	○	○	○	○							Ⅳ
A-24													
A-25	◎												Ⅰ
A-26		◎	◎	◎	○	○		○	○				Ⅱ
A-26-1			−		○	◎							Ⅳ
A-26-2		◎			◎								Ⅱ
A-26-3上	?	◎		○	−	◎							Ⅰ?
A-26-3下		○			−	◎							Ⅱ
A-26-2#	○	◎				◎							Ⅱ
A-26-3#	○	◎	○			−							Ⅱ
A-26-4	◎												Ⅰ
A-26-5	−	◎											Ⅱ
A-30		○	○	○	○					○			?
Kao, Mine	◎												Ⅰ
B-(1)						◎							Ⅳ

Ka：カオリナイト，　Sm：スメクタイト，　10H：10Åハロイサイト，　7Aハロイサイト
Q：石英，　Cri：クリストバライト，　Try：トリディマイト，　Al：明ばん石
An：アナターゼ，　Py：黄鉄鉱，　Mor：モルデン沸石
Type：変質鉱物による帯状分布の種類

第3表　入来町地域から採取した試料中の変質鉱物

Sample No.	Ka	Sm	10H	7H	Q	Cri	Try	Al	An	Py	Mor	備　考	Type
B-(2)			○		−	◎	○						Ⅳ
B-(3)				−		◎							Ⅳ
B-(4)			○	○	○	◎	◎						Ⅳ
B-(5) 側			△			◎							Ⅳ
B-(5)					○	◎							Ⅳ
B-(6)			○	○	○	◎	○						Ⅳ
B-(7)			○		−	◎	○						Ⅳ
B-(8)			○		−	◎							Ⅳ
B-(9)					○	◎							Ⅳ
B-1		△	△	△									Ⅲ
B-2													
B-3		−				−							Ⅲ
B-4													
B-5			◎			△							Ⅲ
B-6		○	○	△		◎							Ⅲ
B-7			◎			○							Ⅳ
B-7-1			◎		○	○							Ⅳ
B-7-2			◎		○	○							Ⅳ
B-8			○										Ⅳ
B-8-1		○	○	○	○	○							Ⅲ
B-9		○		○	○	○		○					Ⅲ
B-10													
B-11													
B-12-1		○	○	○		○							Ⅲ
B-12-2		△	−		○	○		◎	△				Ⅳ
B-112-2		△	○	○	○	○		○					Ⅲ
B-112-3		◎		○	○	○		○					Ⅲ
B-112-4		○	−		○	○		○					Ⅳ
B-112-5		○			○	○		○					Ⅳ
B-13		○	○		○	○							Ⅳ
B-14			○										Ⅳ
B-14変			◎		−	○							Ⅳ
B-15			◎	△	○	△							Ⅳ

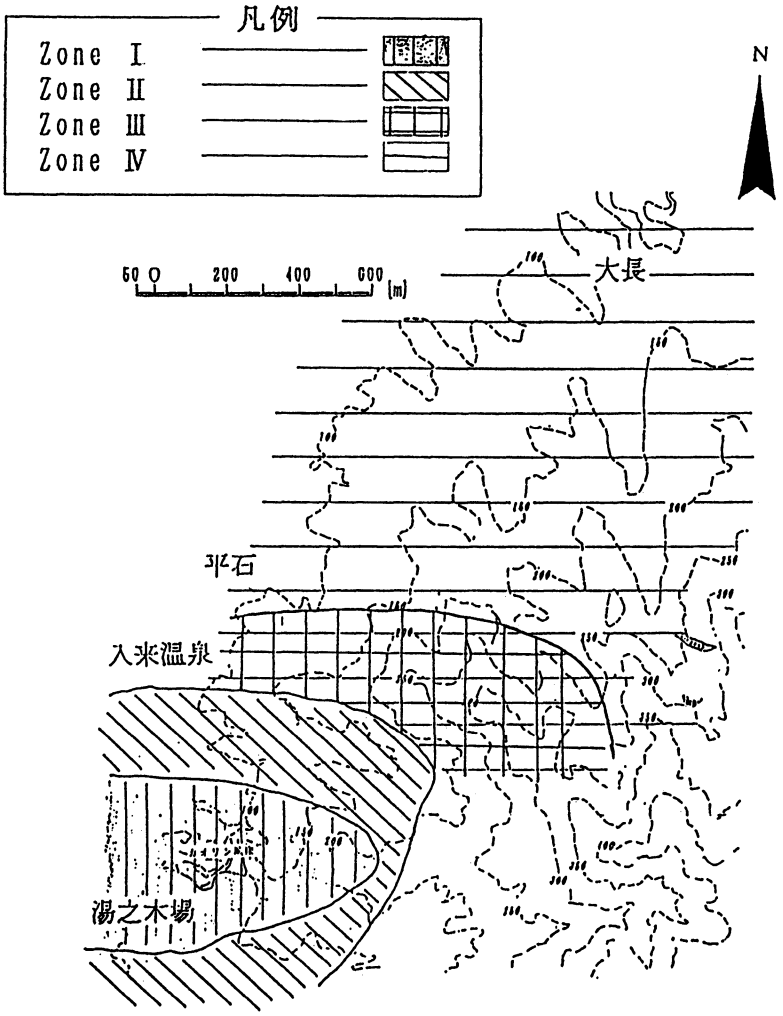
Ka：カオリナイト，　Sm：スメクタイト，　10H：10Åハロイサイト，　7Åハロイサイト
Q：石英，　Cri：クリストバライト，　Try：トリディマイト，　Al：明ばん石
An：アナターゼ，　Py：黄鉄鉱，　Mor：モルデン沸石
Type：変質鉱物による帯状分布の種類

第4表　入来町地域から採取した試料中の変質鉱物

Sample No.	Ka	Sm	10H	7H	Q	Cri	Try	Al	An	Py	Mor	備　考	Type
S-1		○								○			Ⅱ
S-2		◎											Ⅱ
S-2-1		◎											Ⅱ
S-2-2	○	◎				○							Ⅱ
S-2-3	○	◎											Ⅱ
S-2-4	○	◎											Ⅱ
S-3	○	◎				○							Ⅱ
S-4		◎			◎							Pyは肉眼的	Ⅱ
S-5	−	○			−							Na-Smectite	Ⅱ
S-6	○	◎			−							Pyは肉眼的	Ⅱ
S-7	○	◎			○	○						Pyは肉眼的	Ⅱ
S-8	○	◎			○	◎						Pyは肉眼的	Ⅱ
T-1	◎	◎											Ⅱ
T-2	◎	◎				○							Ⅱ
T-3	◎	○			○	△							Ⅱ
T-4	◎	◎			△								Ⅱ
T-5	◎												Ⅰ
K-1	○				−	−							Ⅰ
K-2	◎	○			−	△		○					Ⅱ
K-3	?	○		?	−	◎							Ⅱ
K-4	◎	△			△								Ⅱ
K-5	○	◎											Ⅱ
断層部	◎	−											Ⅱ
八重層（K）	○	◎			△	◎							Ⅱ

Ka：カオリナイト，　Sm：スメクタイト，　10H：10Åハロイサイト，　7Åハロイサイト
Q：石英，　Cri：クリストパライト，　Try：トリディマイト，　Al：明ばん石
An：アナターゼ，　Py：黄鉄鉱，　Mor：モルデン沸石
Type：粘土鉱物による帯状分布の種類

鉱物同定の結果，変質鉱物の違いによって大きく4つに分帯することができた。中心から外に向かって主にカオリナイトからなるZone Ⅰ。カオリナイト＋スメクタイトを主とするZone Ⅱ。スメクタイト＋7Åハロイサイトを主とするZone Ⅲ。10Åハロイサイトからなる Zone Ⅳとに分類できる。これらの帯状配列を第4図に示す。また以上の様に分けた鉱物組合わせを第5表に示す。これの鉱物の生成条件は，Zone Ⅰであるカオリナイトは弱酸性，スメクタイトは中性ないしアルカリ性（白水，1988）であり，ハロイサイトは風化生成物である（富田・大西，1976；知識ほか，1993）。



第4図　粘土鉱物の帯状分布

第5表　入来町地域に産する変質鉱物の違いによる分帯

Mineral　Zone	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Kaolinite				
Smectite				
7ÅHalloysite				
10ÅHalloysite				
Quartz				
Cristobalite				
Tridymite				
Alunite				
Anatase				
Pyrite				

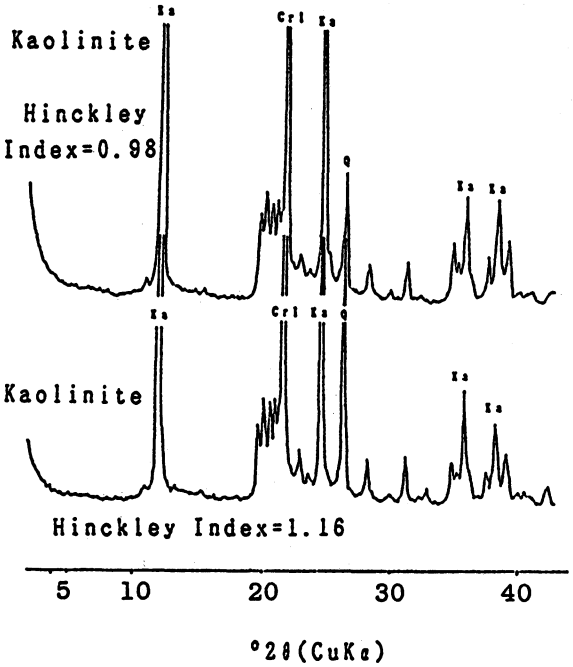
Zone　Ⅰ　カオリナイト
Zone　Ⅱ　カオリナイト＋スメクタイト
Zone　Ⅲ　スメクタイト＋7Åハロイサイト
Zone　Ⅳ　10Åハロイサイト

以下，各変質帯の鉱物学的性質を述べる。

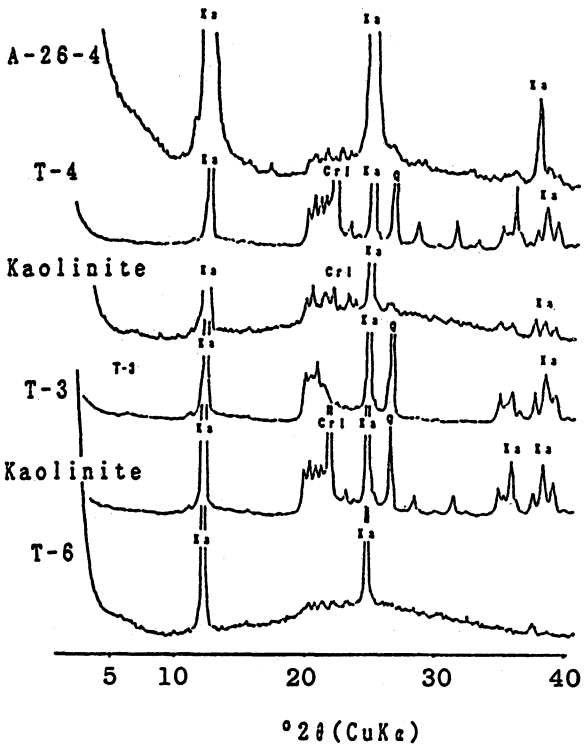
1－1．Zone Ⅰ（カオリナイト帯）

この Zone に入る試料には，酸性溶液によって生成されたカオリナイトを特徴的に含んでいる。この Zone に入る粘土鉱物の XRD パターンを第5a，b図に示す。この Zone に分布するカオリナイトは，軟質のものと硬質のものが分布しており，珪質カオリン（藤井ほか，1989の珪化カオリンに相当）は Zone Ⅰの南東部に分布している。珪質カオリンの原岩は，その組織から安山岩であると推定される。また珪質カオリンの東側には石英を主とする珪化帯が分布する。この珪化帯が分布する標高は，カオリナイト等の粘土化帯とほぼ同高度である。珪化帯は緻密な白色珪化岩からなり多孔質である（黄鉄鉱を含む）。この珪化岩の化学分析については，藤井・ほか（1989）により測定されており，微量ながら金および銀を含んでいる。珪化帯と密接な関係があると思われる明ばん石については今回の調査では不明であった。

カオリナイトは白色～灰白色を呈しており軟質である。しかしながら珪質カオリンは石英などの珪酸塩鉱物を多く含む（第5b図に示す）。カオリナイトの特徴的な反射として，4.18, 4.37, 4.19, 3.86, 2.56, 2.25, 2.49, 2.34, 2.29Å などが見られる。



第5図a　カオリナイトの XRD チャート

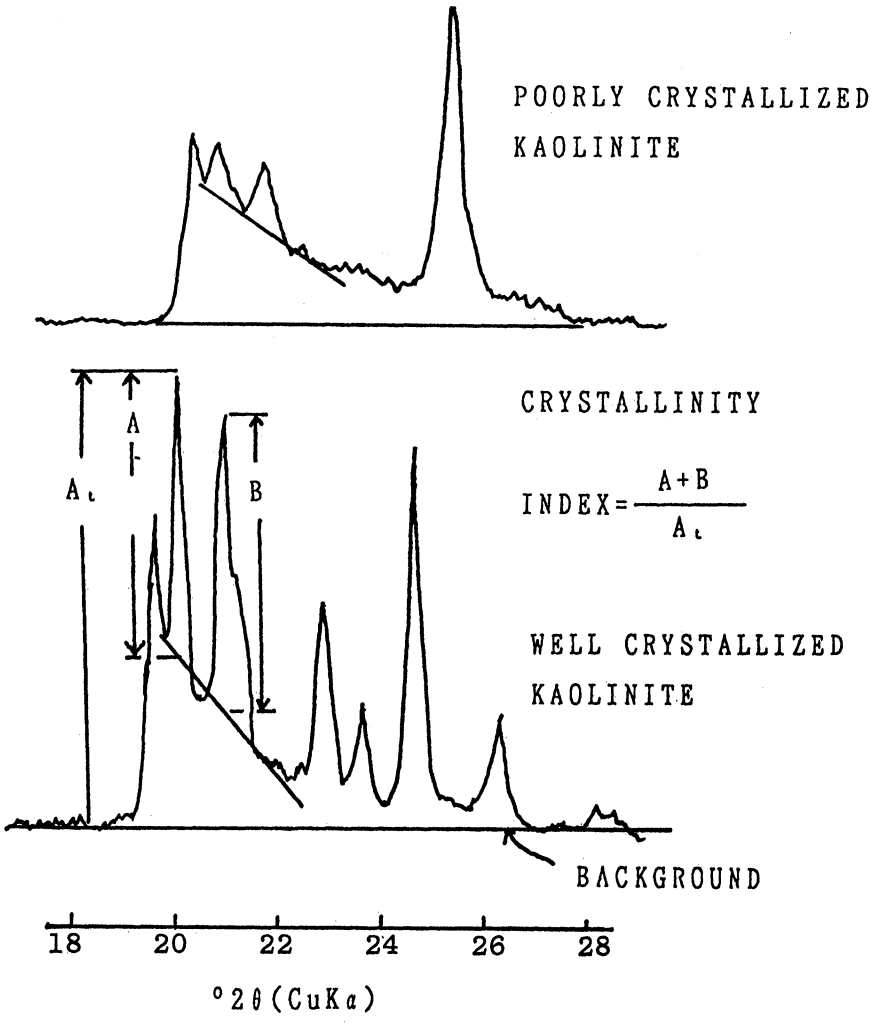


第5図b　カオリナイトの XRD チャート
（珪質カオリン）

1－2．カオリナイトの結晶度について

本調査範囲内のカオリン鉱床内のカオリナイトの結晶度については河野・富田（1991）により測定されているが，今回の調査では広範囲に分布するカオリナイトの結晶度指数を調査した。

カオリナイトの結晶度を知る上でヒンクレー指数を一つの方法として用いた。ヒンクレー指数については，Hinckley（1961）の方法で測定した。Hinckley index の測定法については，カオリナイトの（110）反射の高さAと（111）反射の高さBをたしたものをバックグランドから（110）反射までの高さAtで割って出す方法である。カオリナイトの Hinckley index の求めかたならびにその測定結果を第6図・第6表に示す。



第6図　カオリナイトの結晶度の求め方（Hinckley, 1963）

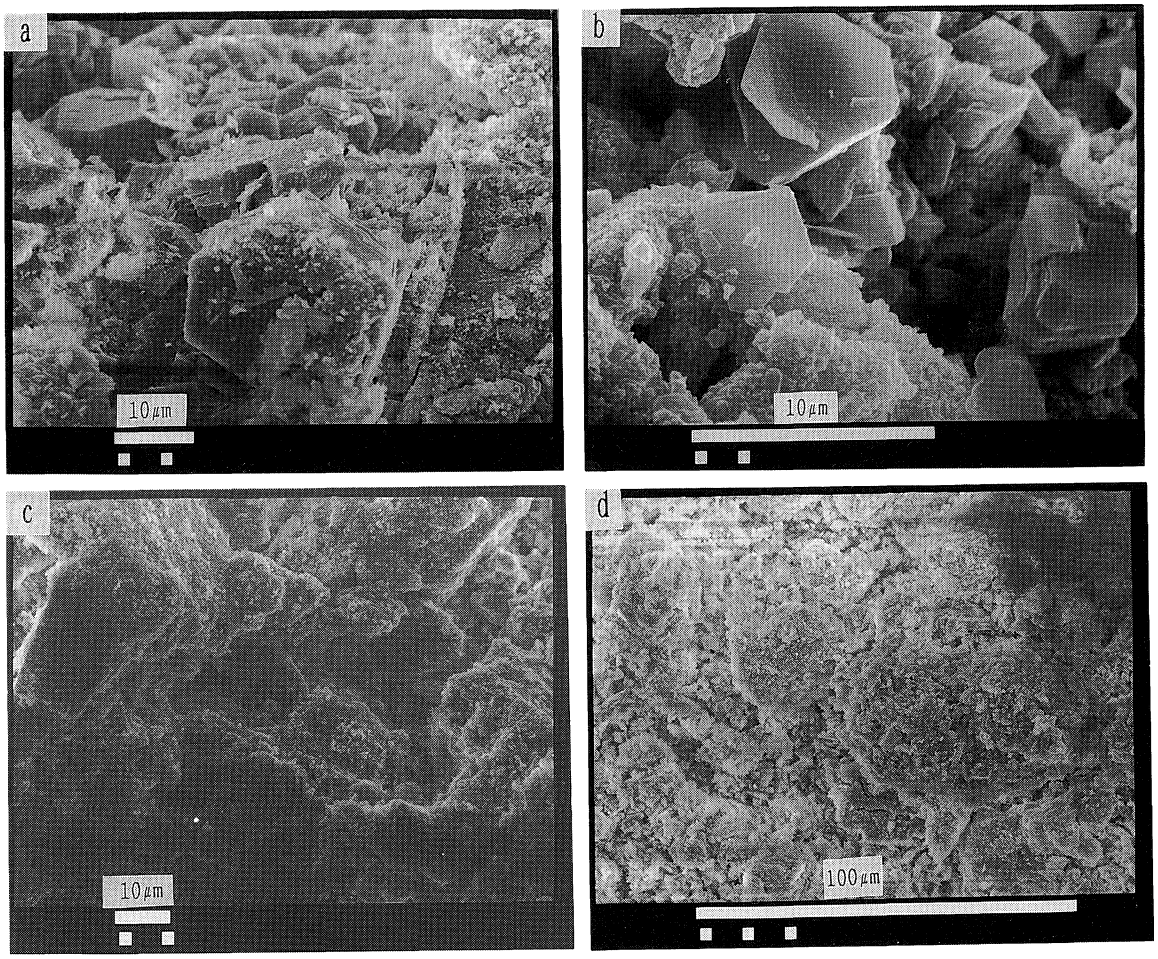
調査地域のカオリナイトの Hinckley index を測定した結果，第6表の様になった。この測定結果から本調査地域に分布するカオリナイトのうち最も結晶度の良いのもは1.32，悪いものは0.47であった。まだ悪い結晶度のカオリナイトも産出していると考えられるのだが，測定不可能であった。

第6表　代表的な試料のHinckley　Index　の値

Sample　No.	Type	Hinckley　Index	Remarks
Kaolinite（No.1）	1	1.16	カオリン鉱床
Kaolinite（No.2）	1	0.89	カオリン鉱床
Kaolinite（No.3）	1	1.33	カオリン鉱床
Kaolinite（No.4）	1	1.32	カオリン鉱床
Kaolinite（No.5）	1	0.87	カオリン鉱床
A-9	1	1.26	Zone　Ⅰ
A-26-4	2	1.16	Zone　Ⅱ
T-3	2	0.47	Zone　Ⅱ
S-5	2	1.32	Zone　Ⅲ

Type:　変質鉱物の種類

また代表的なカオリナイトの走査電子顕微鏡写真（SEM）を第7図に示す。カオリナイトは六角板状の形態を示している。一般に2μm以下のカオリナイトの粒子は薄い六角板状の単体粒

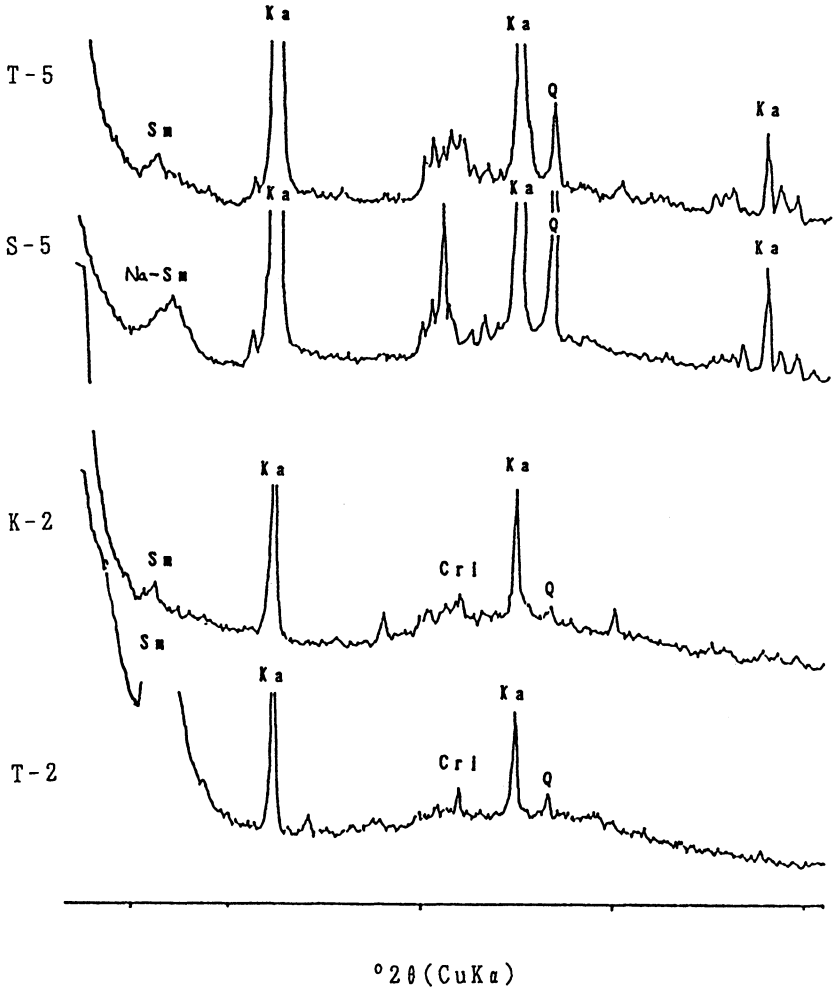


第7図a　　結晶度の良いカオリナイトの電子顕微鏡写真
第7図b　　結晶度の良いカオリナイトの電子顕微鏡写真（ブックホームが観察される）
第7図c，d　多重変質を受けたカオリナイトの電子顕微鏡写真
（カオリナイトの表面にスメクタイトが観察される）

子からなるのに較べて,2μm以上のカオリナイトは粒子が層状に強く結合している傾向にある（神野，1986)。結晶度のよいカオリナイトはブックホームと呼ばれる形態が観察される（第7図a，b)。しかしながら一部の試料においてカオリナイトは，多重変質を受けたような形態を示しており，カオリナイトの結晶の表面にスメクタイトが若干認められる（第7図 c，d)。

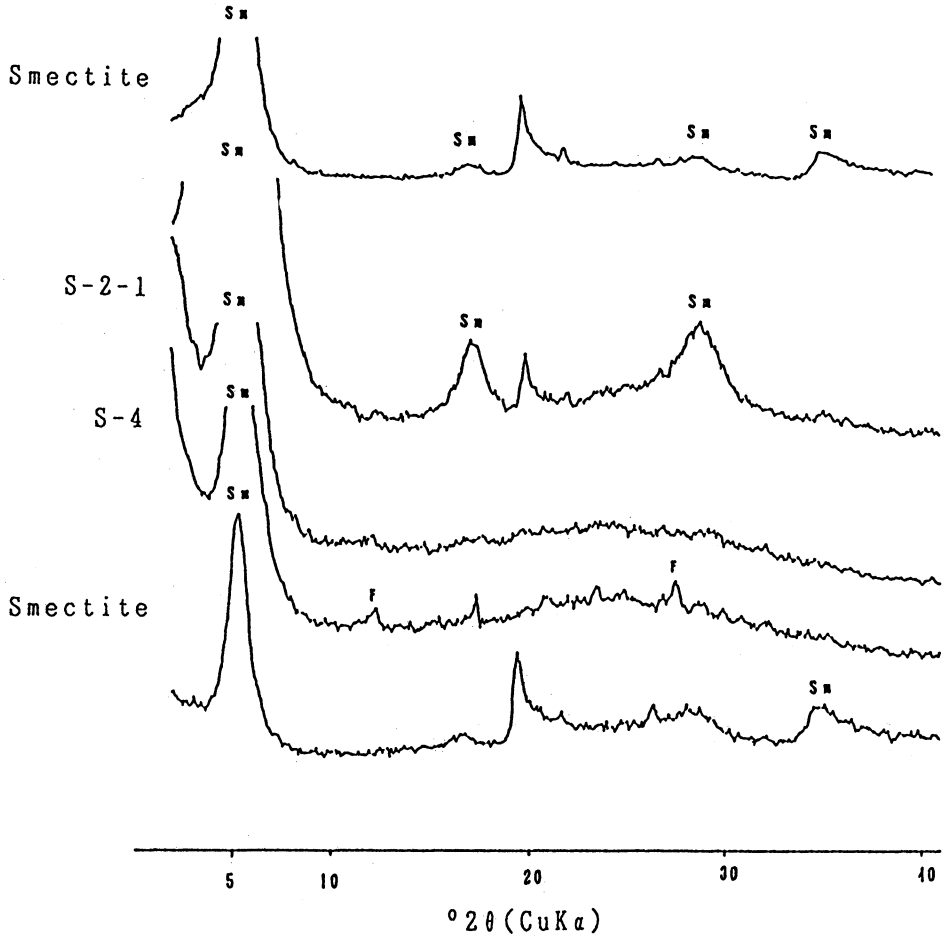
2－1．Zone Ⅱ（カオリナイトースメクタイト帯）

第8図にこのゾーンの特徴的なXRDパターンを示す。ここでは，カオリナイト，スメクタイト，クリストバライト，石英が認められる。このゾーンに入るカオリナイトースメクタイトは，混合層鉱物ではなく単なる混合物であり，採取地点によってカオリナイトとスメクタイトの量比が異なることから定量分析を行った（後に示す)。スメクタイトについては，エチレン・グリコール処理によってd（001）値が17Åに広がった。典型的なスメクタイトの反射は，15.5，5.91，3.04Åである。スメクタイトの濃集がみられるのもこのゾーンである。

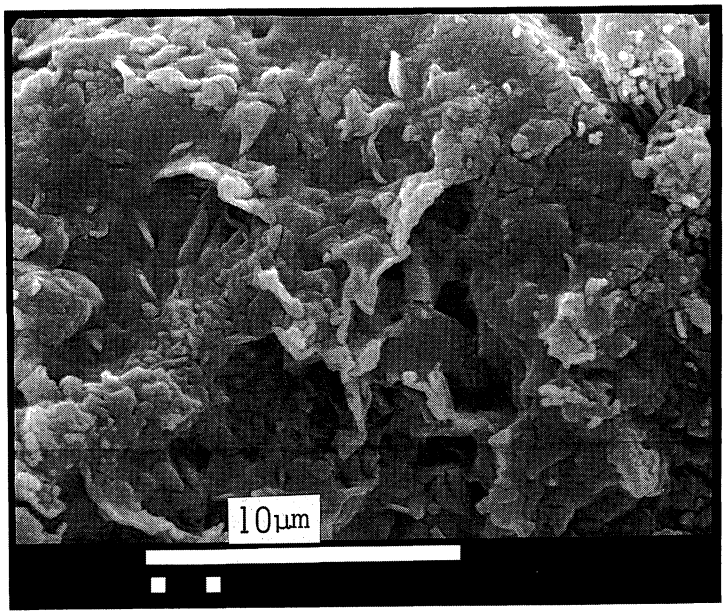


第8図　　ZoneⅡのXRDパターン

また代表的なスメクタイトのXRDパターンを第9図に示し，SEM写真を第10図に示す。電子顕微鏡下ではスメクタイトは薄い葉片状の形態を示している。



第９図　　スメクタイトのXRDパターン



第10図　スメクタイトの電子顕微鏡写真
（薄い葉片状を示すスメクタイト）

2－2．カオリナイト－スメクタイトの定量分析

熱水の進行の度合いを知るために，カオリナイトとスメクタイトの定量分析を行った。定量分析を行うにあたって，試料は乳鉢で5μm以下に磨破した原土を使用した。強度の測定については，プラニメーターを用いた。また田中（1989）のカオリナイトとスメク タイトの検量線を用いて分析を行った。またカオリナイトとスメクタイトの定量分析結果を第7表にしめす。

第7表　代表的試料のスメクタイトとカオリナイトの含有比

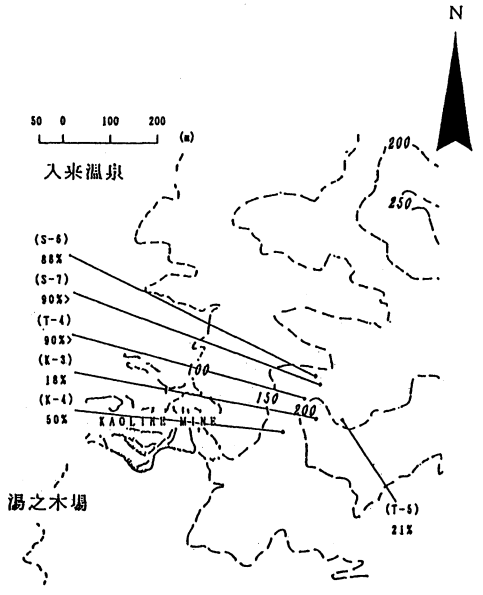
Sample No.	Ka	Sm	Sm/Ka (1)	Sm/(Ka+Sm)%
K-3	25.00	112.0	2.66	18.4%
K-4	42.00	12.0	0.48	50.0%
S-6	3.00	133.0	37.66	88.0%
S-7	2.00	152.0	76.00	>90.0%
T-4	3.50	175.5	50.12	>90.0%
T-5	69.00	18.0	0.62	21.0%

珪化帯からの測定試料の順序は，
K-4（50%）→ K-3（18%）→T-4（90%＞）→ T-5（21%）→ S-7（90%＞）→ S-6（88%）
である（スメクタイト／(カオリナイト＋スメクタイト)）。分析結果のばらつきは，地形的な影響，および熱水が不規則な形で影響を及ぼしたのだろうと考えられる。しかし微妙ながらカオリナイトからスメクタイトへの移行が認められる。

カオリナイト－スメクタイトの定量分析を行った結果を簡単なモデルで示すと，

珪化帯 ←――――――――――――――→ 外　帯
多　い ←――――― カオリナイト ―――――→ 少ない
少ない ←――――― スメクタイト ―――――→ 多　い

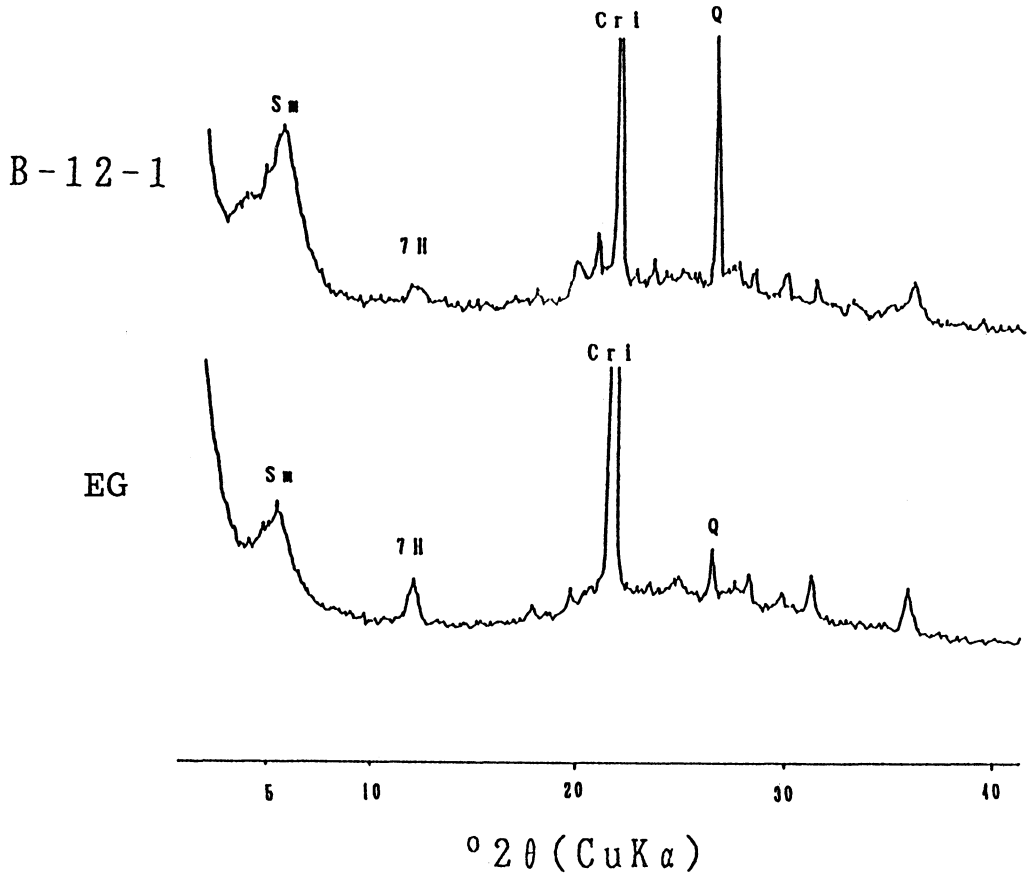
以上の分析結果をふまえたカオリナイト－スメクタイトの試料採取位置およびスメクタイトの%を第11図にしめす。



第11図　カオリナイトとスメクタイトの定量分析結果

3．Zone Ⅲ（スメクタイト−7Åハロイサイト帯）

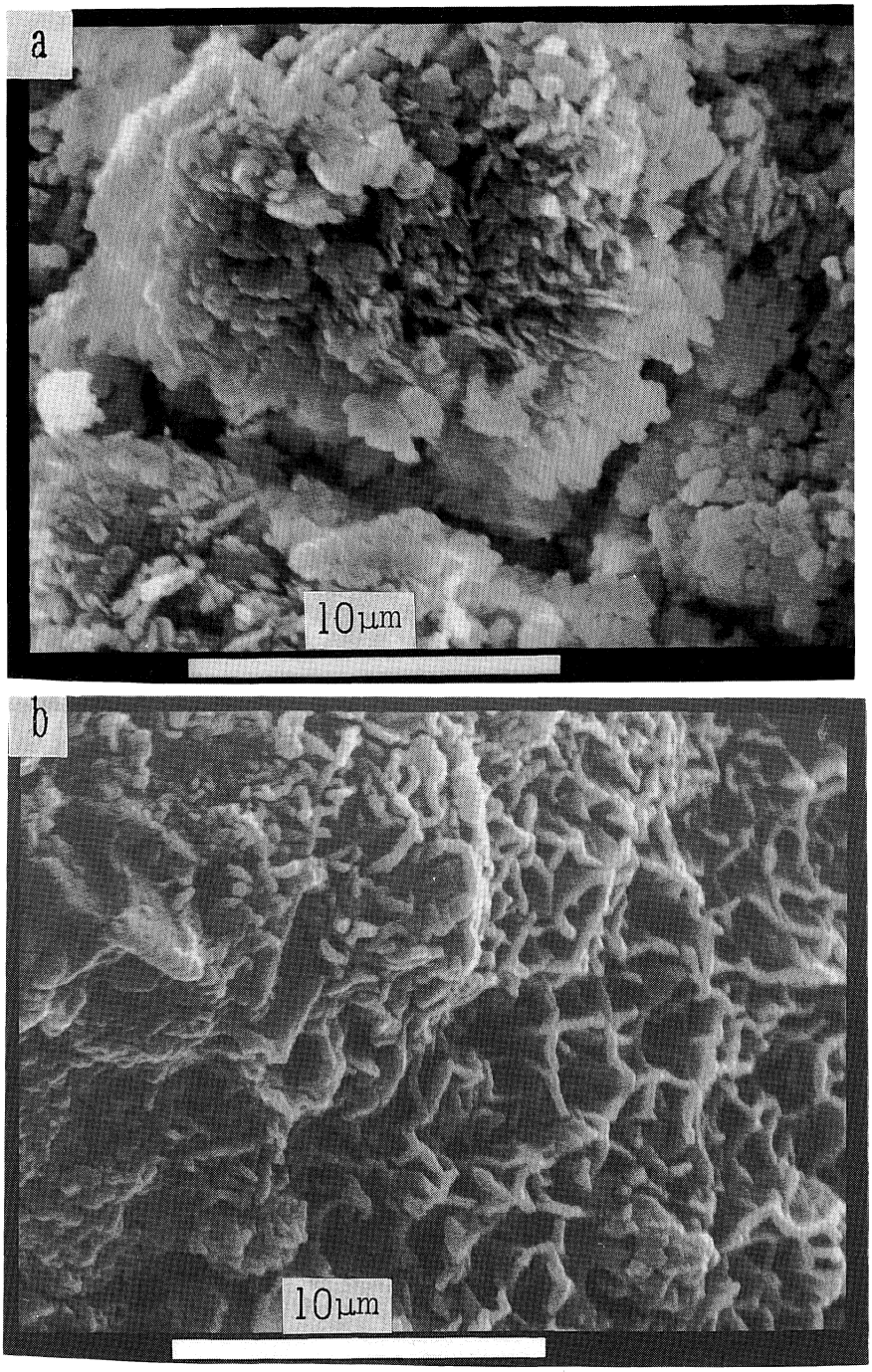
スメクタイト，7Åハロイサイトからなるこのゾーンの XRD パターンを第12図に示す。本調査地域においてはわずか5試料のみであったが，広範囲に分布しており，構成鉱物が顕著であったためゾーン分けを行った。またこの Zone には硫酸酸性溶液によって生成される明ばん石がごく狭い範囲に分布している。また明ばん石がスメクタイトと共生していることから，この部分に関与した熱水の酸性度はあまり高くなかったと考えられる。第13図a，b にスメクタイトおよび7Åハロイサイトの SEM 写真を示す。スメクタイトは一般に薄いフレーク状の形態を示している。7Åハロイサイトは球状および，短い短冊状を示している。



第12図　ZoneⅢのXRDパターン

4．Zone Ⅳ（10Åハロイサイト帯）

長石の風化とみられる10Åハロイサイトが特徴的にみられる Zone である。この Zone は熱水変質作用によって生成された粘土鉱物ではなく，安山岩，安山岩質凝灰角礫岩ならびにスメクタイトの風化作用によって生成されたと考えられる。



第13図a：スメクタイトの電子顕微鏡写真（薄いフレーク状を示すスメクタイト）
b：7Åハロイサイトの電子顕微鏡写真（ハロイサイトは球状および短柱状を示す）

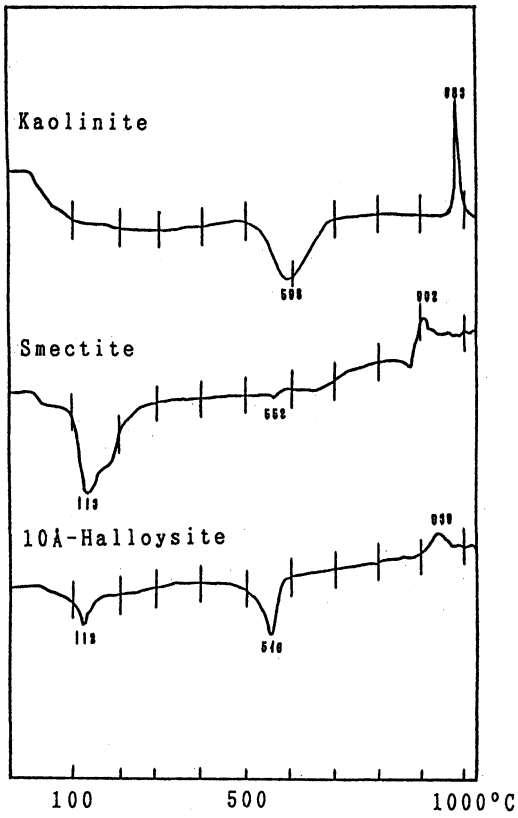
5－1．示差熱分析について

この地域で採取された試料のうち，典型的な粘土鉱物の示差熱分析の結果を第14図に示す。カオリナイト（Zone Ⅰ中の試料）については598℃でOHの脱水による吸熱ピークが現れメタカオリンと呼ばれる状態から非晶質の状態となり，983℃で発熱ピークが現れた。

スメクタイト（Zone Ⅱ中の試料）については，113℃に層間水の脱水によるピークが現れる。

また，550℃付近にある吸熱反応はカオリン層の存在によるもので，カオリナイトの混在，あるいは風化によってスメクタイトの中にカオリン層が生成されている状態を示すと考えられる（武司・宇野，1974）。スメクタイトのOH脱水は通常700℃付近に起こるが図14に示すように，2回のOH脱水による吸熱を示すものはabnormal smectiteと呼ばれる（白水,1988）。また900℃付近に小さな吸熱反応があるのは，八面体層に比較的Mg^{2+}が少なくFe^{3+}が多いスメクタイトに特徴的なものとされている（加藤,1961）。

10Åハロイサイト（Zone Ⅳ中の試料）については，112℃で層間水の脱水が起こり，546℃ではOHの脱水があり，939℃に発熱ピークが見受けられる。



第14図　示差熱分析チャート

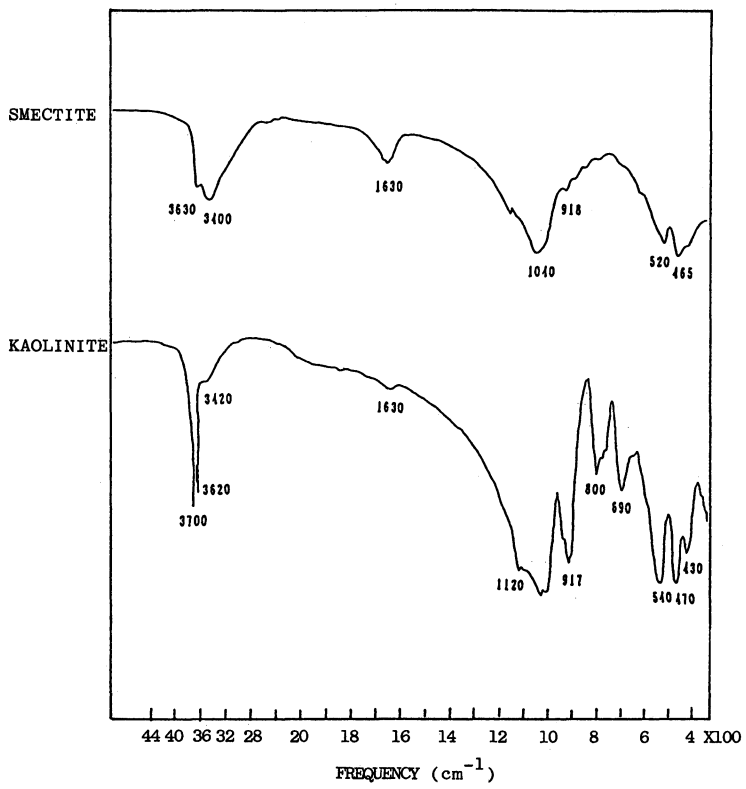
5－2．赤外線分析について

カオリナイトとスメクタイトの測定結果を図15に示す。

カオリナイトの分析の結果，OHの吸収領域（3700～3400cm^{-1}）に3～4つの吸収が認められた。3700～3400cm^{-1}はOHの伸縮運動のためである。また3420～3400cm^{-1},1620～1600cm^{-1}に見られる吸収は吸着水による振動である。Si-Oの振動は1100～1000cm^{-1}付近に現れている。540cm^{-1}の強い吸収線は$Si^{Ⅳ}$－O-$Al^{Ⅳ}$に関係した吸収線で470,420cm^{-1}の吸収線はSi-Oに起因する吸収線である。

一般に，3300～3800cm^{-1}に現れるOHに伸縮振動と，3400cm^{-1}付近に現れる吸着水あるいは層間水に起因するSi-O振動，1000～700cm^{-1}付近に現れるOH-X^{+3}の振動，800～500cm^{-1}付近に現れるSi-O-Xなど吸収線の現れる位置は含まれる成分によって異なる（下田，1985）。

スメクタイトの分析の結果，3610～3640cm^{-1}付近にOHに起因する吸収を生じる。また3400～3500cm^{-1}にも幅広い吸収が認められるが，これは層間水によるものである。これと共に1650cm^{-1}に現れている。また950～1100cm^{-1}にはSi-O伸縮振動による強い吸収が見られる。



第15図　カオリナイトとスメクタイトの赤外線分析チャート

V．考察とまとめ

本調査地域は熱水変質を受けており，さまざまな粘土鉱物が産出する。本調査地域に分布する粘土鉱物を調査した結果，カオリナイト，スメクタイト，7Åハロイサイト，10Åハロイサイト等が認められたが，これらの鉱物組合わせにより以下の様な帯状分布が認められた。

Zone Ⅰ　　カオリナイト
Zone Ⅱ　　カオリナイト＋スメクタイト
Zone Ⅲ　　スメクタイト＋7Åハロイサイト
Zone Ⅳ　　10Åハロイサイト

またカオリナイトとスメクタイトの詳細な帯状分布について，カオリナイトとスメクタイトの定量分析を行った結果，熱水変質の最も激しかったであろうと思われる地点から外帯に向かって，スメクタイトの量が多くなることが判明した。

粘土鉱物のほかにはクリストバライト・トリディマイト，および特定の部分に明ばん石・アナターゼが産出している。これらの鉱物は熱水変質作用により生じたもので，カオリナイトは酸性溶液中で生成されたと考えられる。またスメクタイトについては，白水（1988）により中性およびアルカリ性の熱水溶液中で生成されたものと考えられる。またハロイサイトについては，母岩である安山岩および同凝灰岩質角礫岩に含まれる長石の風化によって生成されたものと考えられる。

本調査地域では変質の中心部に近いほどカオリナイトが多くなり，中心部から離れるにしたがってハロイサイトに漸移する。またカオリナイトとハロイサイトの境界では，カオリナイトースメクタイトの混合物（混合層鉱物ではない）を含む。

カオリナイトとスメクタイトの混合物について定量分析の結果，カオリナイトからスメクタイトへの移行が微妙ながら認められた。また同時に行った走査電子顕微鏡観察の結果より，変質過程と粘土鉱物の帯状分布の関係が認められた。

本調査地域地域の入来町に分布する粘土鉱物は次の様な熱水変質作用を受けて生成されたものであると考えられる。

カオリナイト，スメクタイト，明ばん石およびアナターゼなどの粘土鉱物は薗牟田火山噴火後の熱水作用によって生成されたものである。それはカオリナイトなどの粘土鉱物は下位の八重層だけでなく，八重層を覆う薗牟田火山の安山岩および安山岩質凝灰岩質角礫岩にも見られることから明らかである。

また熱水変質作用は少なくとも3回にわたって起こったと考えられる。つまり初期に広範囲に及ぶ中性あるいはアルカリ性の熱水の影響によってスメクタイトが生成された。つぎに局部的な硫酸酸性の熱水作用によってカオリナイト，明ばん石およびアナターゼが生成された。その後中性あるいはアルカリ性の熱水変質作用によってカオリナイトの表面にスメクタイトが生成されたと考えられる。第7図cにカオリナイトが多重変質をうけてスメクタイトが生成されている過程が観察される。また調査地域内にある入来温泉の泉質はアルカリ性であり，アルカリ性の熱水が岩石と反応すれば，スメクタイト化作用がみられる（藤井ほか，1989）。この様なことから，調査範囲周辺では現在でも変質作用（スメクタイト化作用）が起こっていると推測される。

Ⅶ. 謝　辞

本研究を進めるにあたり，鹿児島大学理学地学教室ならびに農学部の諸先生方には有益な御助言をいただいた。厚くお礼申し上げる。

参考文献

藤井紀之・月村勝宏・James M.Julio, 1989. 鹿児島県入来カオリン鉱床の産状と形成過程. 地質調査月報, 40 , 299-322.

Keller, W. D., 1978. Classification of Kaolins Exemplified by Their Textures in Scan Electron Micrographs. Clays & Clay Minerals, 26, 1-20.

河野元治・富田克利, 1991. 鹿児島県入来カオリン鉱床産カオリナイトの鉱物学適性質と生成過程. 粘土科学, 30, 229-239.

松本哲一・藤井紀之, 1989. 鹿児島県薗牟田溶岩の K-Ar 年代－特に入来カオリン鉱床の生成時期に関連して. 岩鉱, 84, 398-402.

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.

————, 1988. 粘土鉱物学. 朝倉書店, 124-157.

田中純朋, 1988. 鹿児島県指宿市中部の地質および変質鉱物について. 昭和63年度　鹿大卒業論文.

知識正和・富田克利・広橋正一・河野元治, 1993. 鹿児島県入来町八重山東北部に分布する火砕岩中の変質鉱物. 鹿大理紀要（地学・生物）, 26, 53-65.

富田克利・大西一臣, 1976. シラス中の粘土鉱物－特にシラス崖崩れの見地から. 粘土科学. 16, 56-62.

歌田　実, 1985. 変質鉱物の累帯分布と生成条件. 粘土科学, 25, 119-125.