

山形県板谷カオリン鉱床の研究

——第1報 第2鉱体の地質と変質作用——

富樫 幸雄* 藤井 紀之*

Study on the Itaya Kaolin Deposit, Yamagata Prefecture, Northeastern Japan

——Part 1 Geology and Alteration of the Ore Body No. 2——

By

Yukio TOGASHI and Noriyuki FUJII

Abstract

The Itaya kaolin mine, Yamagata Prefecture, northeastern Japan, is one of the largest kaolin mines in Japan. It produces about 170,000 tons of paper-coating clay per year (1967) and shares over 40% of the market in Japan. The kaolin deposit consists of two ore bodies. The results of the investigations for the ore body No. 2, the minor one, are reported in this paper.

The ore body No. 2 has dimensions of 80 m at north-south and 180m at east-west directions, and the thickness is 40 m at its maximum; so that it forms an elongated tabular shape, though it is irregular. The original rocks replaced by the ore body and the surrounding altered rocks are andesitic pyroclastic rocks, dacitic welded crystal tuff and rhyolitic intrusion breccia; the later mud flow bed covers all of them unconformably. These rocks are considered to be the products of the activity of the Azuma volcano, among which several volcanic peaks are still active, and they occupy a wide area in the south west of this mine.

By ^{14}C method, the age of the carbonized wood found in the dacitic welded tuff at the eastern part of the ore body was determined to be $30,600 \pm 2,200$ yrs. B.P., namely the latest Pleistocene age.

Five alteration zones are found around the ore body, and they distribute zonally in the following order from the core to the periphery of the alteration halo;

- 1) Silicified zone
- 2) Soft-type kaolinized zone
- 3) Hard-type kaolinized zone
- 4) Montmorillonitized zone
- 5) Weakly-altered zone

Among these altered rocks, the soft-type kaolinized rocks and some of the hard-type kaolinized ones are mined as economically valuable ore.

Clay minerals in the ore are of kaolin group. Most of them are kaolinite, and dickite is also found in a few specimens, while sericite, which is found abundantly in the ore body No. 1, the main deposit of this mine, is not observed. In addition to these minerals, the ore contains small amounts of quartz, pyrite, alunite, cristobalite and tridymite. Three kinds of kaolin minerals from the ore, kaolinite, dickite and a mineral, found to show some intermediate characters between the first two minerals, are investigated mineralogically by x-ray diffraction, d.t.a., and electron microscopic observation. But there remains a possibility that the specimen of the third mineral is a mixture of kaolinite and dickite.

* 鉱床部

From the consideration on the alteration zones and the mineral assemblages of the alteration products, as well as the genetic relation between the alteration zones and the original rocks, it is concluded that the rhyolitic intrusion breccia is supposed as the main heat source for the alteration, and that a strongly acid hydrothermal solution must be required to form the ore body No. 2 and the alteration halo around it.

要 旨

山形県板谷カオリン鉱床はわが国の製紙用クレーの約40%を供給する有数の鉱床である。この鉱床は大小2つの鉱体からなり、この第1報は小さい方の第2鉱体についての調査研究結果をまとめたものである。

第2鉱体はほぼ東西に延びた長さ約180m、幅約80m、厚さの最大が約40mと推定される扁平な不規則塊状鉱床である。この鉱体およびその周辺の変質域を構成するのは、安山岩質火山砕屑岩類、石英安山岩質熔結結晶凝灰岩類、およびこれら貫く流紋岩質侵入角礫岩などで、以上の岩層を、より新期の泥流堆積物が不整合に覆っている。

鉱床とその周辺には変質帯の累帯分布が見られ、流紋岩質侵入角礫岩の分布する中心部から外縁部へむけて、けい化帯→軟質カオリン化帯→硬質カオリン化帯→モンモリロナイト化帯→弱変質帯の順に配列している。このうち、カオリン鉱床として採掘の対象となっているのは軟質カオリン化帯および一部の硬質カオリン化帯である。

鉱石に含まれる粘土鉱物はすべてカオリン鉱物で、第1鉱体産の鉱石に多く含まれるセリサイトは存在しない。カオリン鉱物は大部分がカオリナイトからなり、一部にディッカイトが認められる。このほか、石英、黄鉄鉱、明ばん石、クリストパライト、トリデイマイトなどが普通に含まれている。ここでは、カオリナイト、ディッカイト、および両者の中間的性質を示すカオリン鉱物試料についてX線回折、示差熱分析、電子顕微鏡観察などにより鉱物学的検討が加えられている。

変質帯と変質鉱物の分布、変質帯と原岩層との相関関係、原岩の分布と構造などの検討から、第2鉱体とその周囲の変質帯は、吾妻火山活動の一環として洪積世末期に侵入した流紋岩質侵入角礫岩の活動と密接に関係する強酸性の熱水変質作用によって形成されたものと考えられるに至った。

1. 緒 言

わが国のカオリン鉱床は成因的には堆積性のものと熱水性のものに2大別される。後者の起源によるもの

中で、山形県板谷鉱山のカオリン鉱床は最大の規模をもつものの一つである。この鉱床については、これまでに多くの調査がなされ、鉱床および周辺の地質の様相が明らかにされてきている。カオリン鉱床とその周辺の変質帯については、山田(1954)、増田・岡田(1961)、谷田(1962)、岡田ほか(1963)、本多ほか(1964)などにより記載的な報告がある。また、鉱山周辺の地質、とくに新第三系の層序と構造は村井(1970)、北ほか(1970)、田宮ほか(1970)などの報告により明らかにされている。

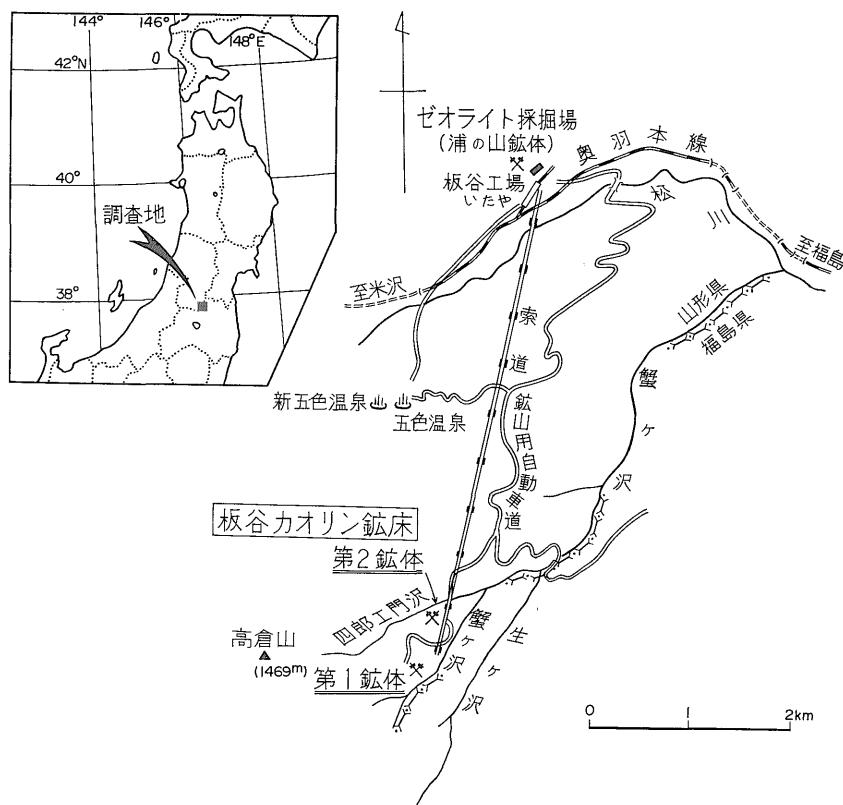
しかし、カオリン鉱床内部における変質帯および変質鉱物の詳細な分布とその特徴、原岩の岩相とその時代などについては十分な記載がいまだになされず、従って鉱床形成の際の熱水変質作用の性格やその時代についても明確な結論が下されていない。筆者らはこのような状況のもとで、露天採掘場を中心とした精密な鉱床調査を行ない、鉱床の賦存状態、変質帯と変質鉱物の分布と累帯配列、鉱石の鉱物組成、変質帯と原岩との関連、原岩の岩相と構造などの観察をもとに、上に述べた問題点の解明を目的としてこの研究を行なった。

筆者らの野外調査は1967年より1970年にわたって行なわれ、第1年目には第2鉱体、第2年目以降は第1鉱体と鉱床周辺地域をそれぞれ主な調査対象とした。この報告はその第1報として、主として第2鉱体についての研究結果を述べるものである。なお、露天採掘場内での調査には平板測量を併用し、1/500鉱床図を作成した。また、鉱床周辺部の地質調査には、鉱山提供の1/500、1/1,000、1/2,000、1/5,000の各地形図を使用した。

2. 鉱山の概況

2.1 位置および交通

板谷鉱山カオリン鉱床は山形県米沢市板谷地内に所在し、国鉄羽羽本線板谷駅の南方約5kmの福島県との県境に接して位置している(第1図)。付近は吾妻連峰の東端に位置する家形山および高倉山の中腹に相当し、その標高は約1,000mである。板谷駅と鉱山の間は約8kmの自動車道で結ばれている。冬季間の積雪は多いが、この道路は四季を通じて大型トラック・バスの通行が可能で、鉱山従業員の通勤用に毎日3往復のバスの運行が確保されており(1970年10月現在)、板谷駅～鉱山間の所要



第1図 山形県板谷カオリン鉱床の位置・交通図

Locality map of the Itaya kaolin deposit, Yamagata Prefecture

時間は約40分である。

2.2 鉱業権

当鉱山の鉱業権は次の通りである。

鉱区番号 山形県採掘権登録第505号

登録鉱種 ろう石・耐火粘土ほか

鉱業権者 ジークライト化学鉱業㈱

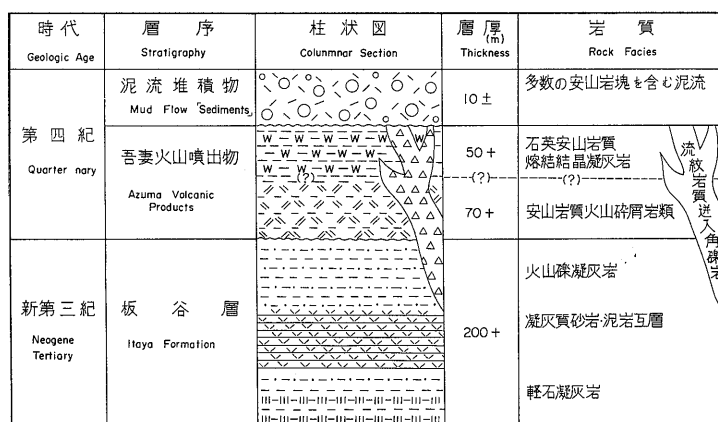
2.3 開発状況

当鉱山は、1920年頃に現在の第1鉱体の採掘が板谷クレー工業所により開始され、主として紡績用に出荷された。しかし、1940年にはジークライト化学研究所(現在のジークライト化学鉱業㈱)に経営権が移り今日に至っている。その間、製品の用途は次第に製紙用へと変わり、現在は製紙用クレーの全国需要の40%以上を供給するに至っている。板谷鉱山第1鉱体の採掘法ははじめ坑内掘りであったが、1963年より露天採掘に切り替えられ、ベンチカット法により表土の剝土および鉱石採掘が行なわれている。一方、第2鉱体は近年になって発見され、開発が始められたのは1962年である。この鉱体は規模が小さく、筆者らの調査後には掘り尽くされ、1970年

には採掘が中止されて現在に至っている。なお、現地では第1鉱体より産するカオリン鉱石を「ジークライト原鉱」、第2鉱体よりのそれを「カオリン原鉱」と呼び区別している。

生産量は1967年7月現在、第1鉱体より月産14,000～15,000t、第2鉱体より同約2,500tである。両鉱体の採掘開始時以来の総生産量は、第1鉱体については1946年1月～1971年12月で218万3,000t(1946年以前は不祥であるが約2万tと考えられる)、第2鉱体については、1962年7月～1969年6月で18万4千tである(鉱山側資料による)。

鉱石の運搬は鉱山と板谷駅に接する板谷工場との間に設置されている架空索道によって行なわれているが、同時にトラック輸送も併用されている。鉱石運搬用索道は鉱山より板谷駅付近の板谷工場まで北北東へ4.5kmにわたって架設されている。鉱石運搬バケットの容量は1/5tで、毎時約26tの鉱石の運搬が可能であり、1972年3月現在、20.6時間/日の操業で約530t/日の鉱石を運搬している。



第2図 板谷カオリン鉱床地域の模式地質柱状図
Schematic geologic column of the Itaya mine area

なお、近年板谷工場に接して、ぼう大な量のゼオライト鉱床が発見され、1963年から同社によって採掘されている。このゼオライト岩は板谷工場で粉碎・乾燥されたのち、土壌改良剤・農業用キャリアーとして出荷され、その量は月産約 1,500 t (1967年8月現在)である。

3. 地 形

板谷カオリン鉱床は吾妻火山群の北東隅に位置する高倉山(1469m)の中腹にあり、露天採掘場は標高 950~1,100mにわたって位置している。鉱山の南東方には家形山(1890m)・一切経山(1948.9m)・昭元山(1892.6m)などの火山群が連なり、鉱山周辺は吾妻火山噴出物の新期泥流堆積物に広く覆われた比較的なだらかな地形を呈し、谷の解析はあまり進んでいない。鉱山付近には、山形一福島県境にあたる蟹ヶ沢が北東へ流れ、四郎エ門沢および生ヶ沢と合流して松川峡谷へ注いでいる。

4. 地質概説

板谷カオリン鉱床およびその周辺の地質は新第三紀中新世の凝灰質堆積岩類と、それを覆う第四紀の吾妻火山噴出物からなっている(第2図)。

新第三系は第2鉱体には認められず、これに隣接する第1鉱体露天採掘場およびその付近の蟹ヶ沢の一部に露出している。これは火山礫凝灰岩・軽石凝灰岩・砂質細粒凝灰岩・凝灰質砂岩泥岩互層などからなり、一般に著しい変質作用をこうむって粘土化している。これは中新世女川期に堆積したものと考えられ、村井(1970)により蟹ヶ沢層、北ほか(1970)、田宮ほか(1970)により板

谷層と、それぞれ名づけられている注¹⁾。第1鉱体下部で観察された限りでは、走向はほぼ NW-SE、傾斜は 30~40°NE を示しており、層厚は約 200m+である。

第四系はすべて吾妻火山の活動に伴う噴出物と考えられ、第1鉱体北部および第2鉱体では安山岩質火山砕屑岩類・石英安山岩質熔結結晶凝灰岩などが分布しており、第2鉱体中央部では流紋岩質侵入角礫岩がこれらを貫いている。さらに、以上の岩層を、より新期の泥流堆積物が不整合に覆って広く分布している。これら吾妻火山噴出物の厚さは正確にはわからないが、第2鉱体付近での観察では、安山岩質火山砕屑岩類が70m+、石英安山岩質熔結結晶凝灰岩類が50m+、泥流堆積物が10m±である。

また、鉱床周辺では E-W 性で N 落ちの階段状構造を形成する平行断層群が認められる。

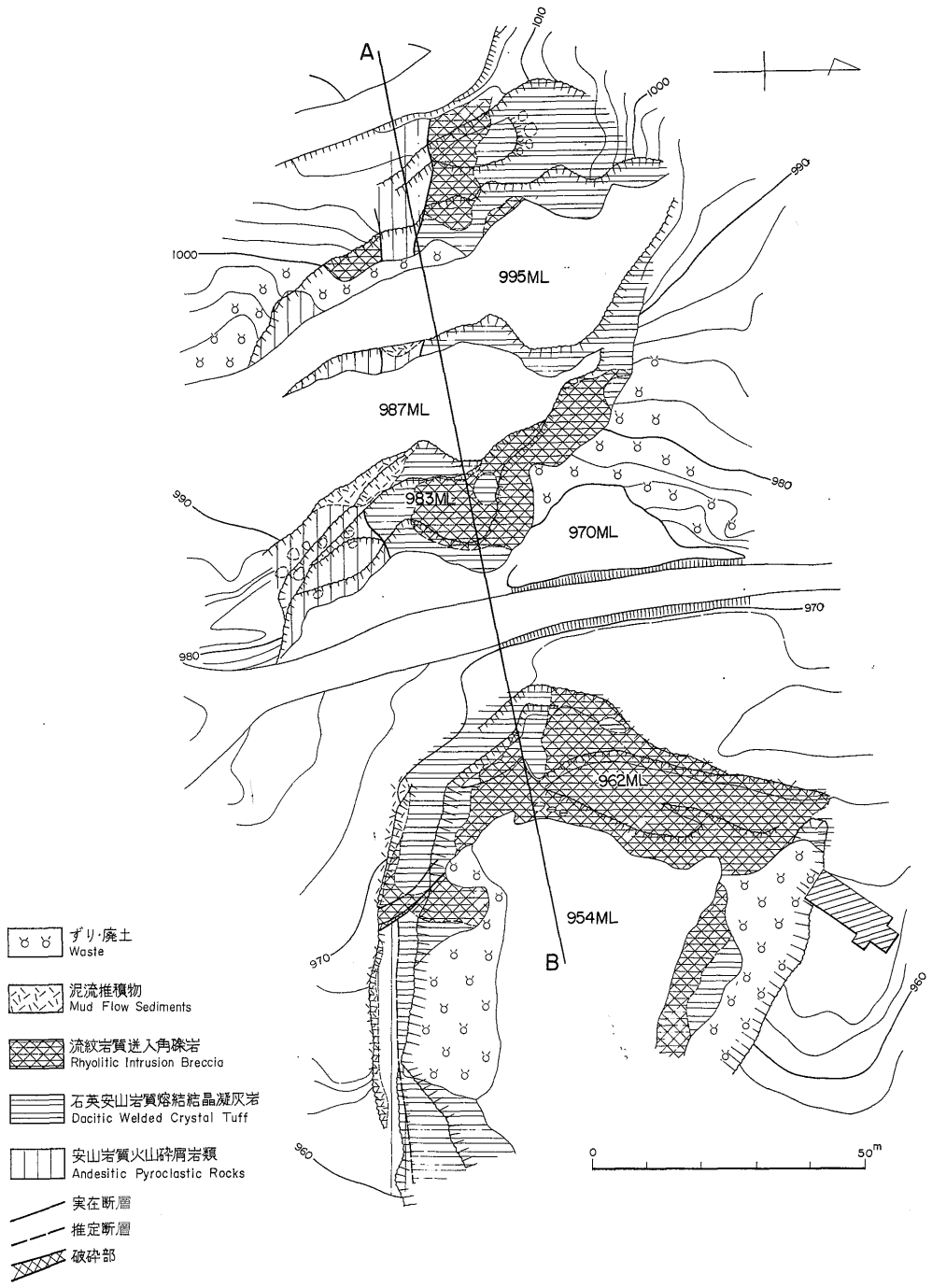
5. 鉱 床

5.1 概 説

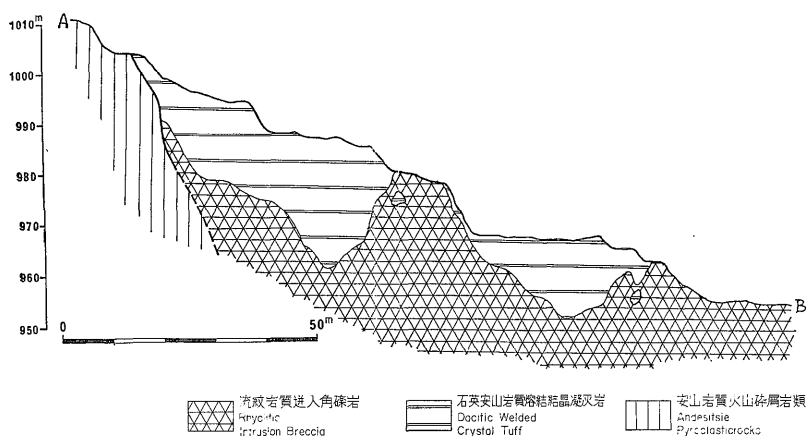
板谷カオリン鉱床第2鉱体は周囲の変質帯を含めても規模は第1鉱体より小さく、その大きさは東西約 180m、南北約 80m の楕円状をなし、厚さの最大が約 40m と推定される、ほぼ扁平な不規則塊状鉱床である。すでに述べたようにこの鉱体からは1962~1969年に約12万 8千 t の鉱石が採掘され、その後休山中である。

第2鉱体が含まれる変質帯は、吾妻火山噴出物の安山岩質火山砕屑岩類および石英安山岩質熔結結晶凝灰岩に流紋岩質侵入角礫岩が貫入した際に、それに関連する熱

注1) 第2図では北ほか(1970)、田宮ほか(1970)にしたがい、地層名は板谷層と名づけた。



第3図 第2鉱体の原岩地質平面図
Geologic map of the original rocks



第4図 第2鉱体の原岩地質断面図
Geologic profile of the original rocks

水変質作用によって形成されたと考えられ、この侵入角礫岩の周囲に一連の変質帯の累帯分布が認められる。この中で、カオリン鉱床として採掘されるのは軟質カオリン化帯の全部と硬質カオリン化帯の一部で、これらのカオリン化帯は主として石英安山岩質熔結凝灰岩と流紋岩質侵入角礫岩との境界部を中心として分布している。また、変質帯の中心部および下部には厚いけい化帯が伴われている。

第2鉱体のカオリン鉱石の鉱物組成は、第1鉱体の鉱石に一般に含まれるセリサイトを全く含まず、認められる粘土鉱物はカオリナイトと少量のディッカイトなどのカオリン鉱物のみである。また、これに付随して少量の石英・明ばん石・黄鉄鉱・クリストパライトおよびトリデイマイトが認められる。

5.2 第2鉱体を含む変質帯の原岩

第2鉱体を含む変質帯の中心部では変質作用が強く進んでいるため、原岩の判別は多くの場合容易ではない。しかし、比較的変質度の低い部分を基準として肉眼観察と鏡下観察を行なった結果、原岩の識別を行なうことができ、第2鉱体の原岩とその構造を明らかにすることができた。この結果は第3図(平面図)および第4図(断面図)に示されている。

5.2.1 複輝石安山岩質火山碎屑岩類

鉱体南部の断層の南側には、変質程度の比較的に弱い複輝石安山岩質凝灰岩礫岩および同質集塊岩からなる火山碎屑岩類が分布する。これはモンモリロナイト化あるいは弱変質作用を受けているのみで、他の岩層に比べて比較的に明瞭に元の岩相が残されている。しかし層理はほとんど明らかではなく、まれに挟まれる炭質物の状態から、地層がほぼ水平であることが推定されるのみであ

る。このように地層が水平であると仮定すると、第2鉱体付近では標高1,010m地点まで露出が認められ、一方ボーリングにより標高940m相当点までの存在が確認されているので、その層厚は70mと推定される。

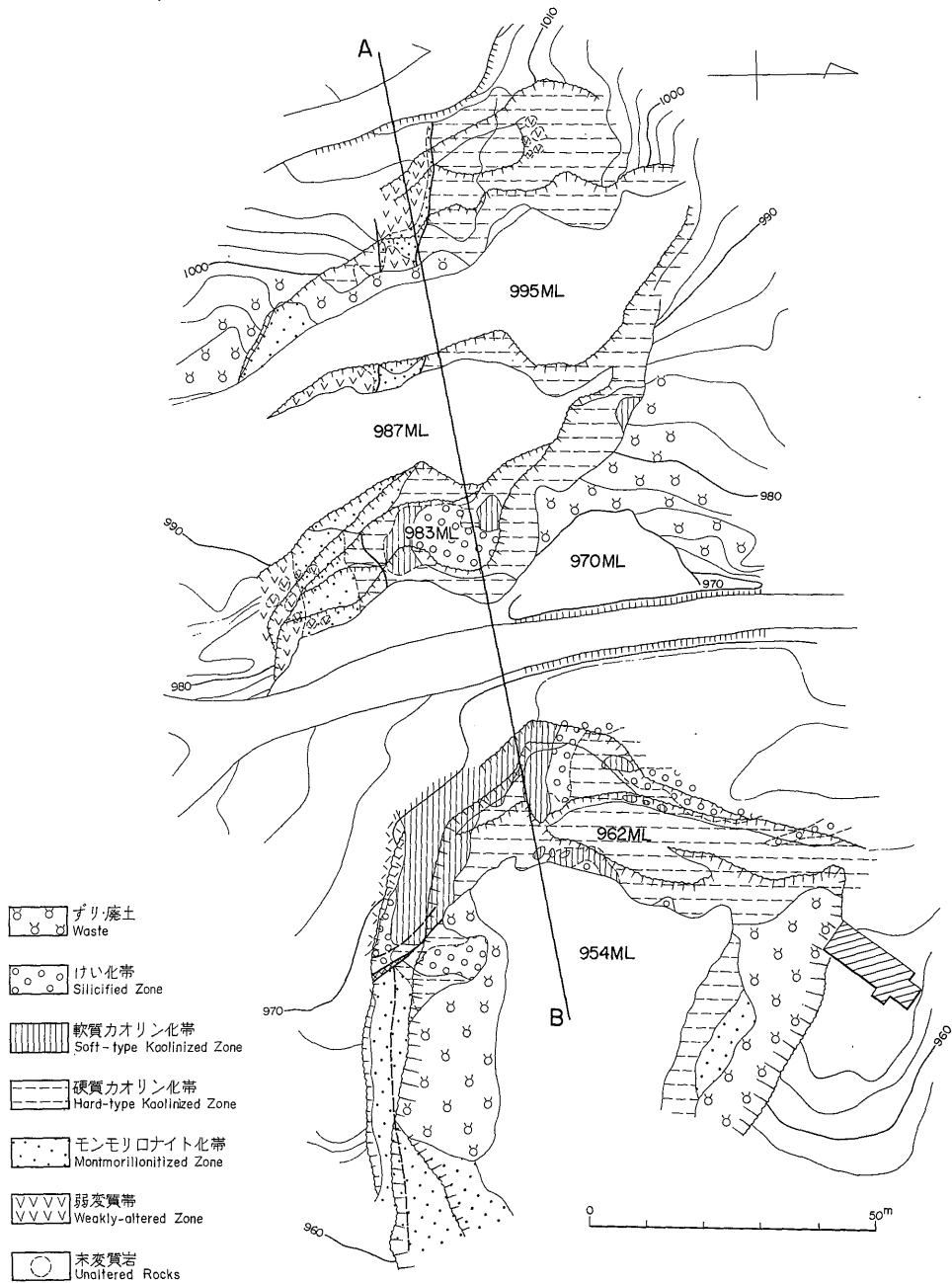
集塊岩中の安山岩礫は径1m程度のものが最大で、比較的新鮮で一般に暗緑褐色を呈する。これを鏡下で観察すると、斑晶は長さ0.5~2mmの紫蘇輝石・普通輝石および斜長石(An 30~50)からなり、これらを微粒の輝石類、長さ0.05mm程度の短冊状斜長石およびガラス質物質が埋めている。2次的変質鉱物としては細脈状または粒状の炭酸塩鉱物、および少量の褐鉄鉱・黄鉄鉱が認められる。

また、岩塊を膠結した凝灰質の部分は大部分がモンモリロナイト化され、肉眼的に黄緑色・暗緑色・黄褐色などを呈している。礫も比較的小さなものは若干の変質を受け、紫緑色・緑白色・淡緑色などの色調を呈している。

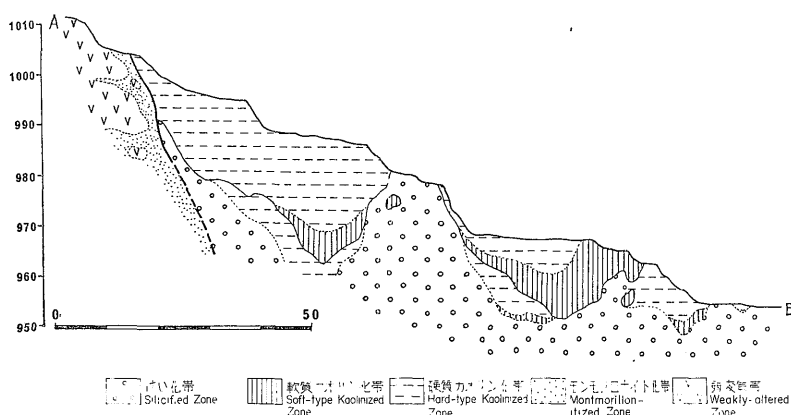
5.2.2 石英安山岩質熔結結晶凝灰岩

これは鉱体南縁の断層の北側に分布し、流紋岩質侵入角礫岩とともに第2鉱体の原岩の大部分を構成している。その正確な厚さは不明であるが、露天採掘場内では標高の落差約50mにおける分布が確認されている。全体的に塊状無層理で地層の傾斜は全く不明であるが、前項に述べた安山岩質火山碎屑岩類についてと同様に、まれに含まれる炭化木片の存在状態からほぼ水平である可能性が大きいので、その層厚は標高差の値から約50mと推定される。

この岩層は径1~5mm程度の石英および長石の結晶を多く含み、主として灰白色を呈するが、ときに黄白色・灰黒色などの色調を有する。結晶粒については、きわめて斑晶に富むものから、結晶粒の割合が約50%程度の



第5図 第2鉱体の変質帯平面図
Geologic map of the altered zones



第6図 第2鉱体の変質帯断面図
Geologic profile of the altered zones

ものまで変化に富んでいる。

鏡下観察では、粗粒結晶としては石英と斜長石が認められ、後者の多くはカオリン鉱物・非晶質物質（オパール？）などの2次的変質鉱物によって交代されている。石英は多くは破碎された形状を呈し、その破碎面をカオリン鉱物が充填していることが多い。石基の部分は変質した微細な斜長石の短冊状仮晶およびそれをうめるガラス様物質からなり、火山ガラスが強く熔結された組織がしばしば見られる。

5.2.3 流紋岩質侵入角礫岩

流紋岩質侵入角礫岩は第2鉱体を含む変質帯の中央に、ほぼ東西に延びる岩脈状をなくして分布している。その幅は変化が著しく、変質帯東部では約60mであるが、西部ではやや狭くなり、15~20mである。

変質帯内部では、本岩は石英安山岩質熔結結晶凝灰岩を貫く場合がほとんどで、複輝石安山岩質火山碎屑岩類の分布範囲では局部的に露出するだけである。これらの岩層との接触面は不規則な凹凸に富んでいて、水平的な分布から見れば、本岩は変質帯の西部・中部および東部の各部分に分かれているが、熔結凝灰岩との接触面は不規則な起伏を示しながらも、下部で連続しているものと思われる（第4図）。さらに、数カ所においては、径3~5mの熔結凝灰岩の捕獲岩塊が見いだされる。

肉眼観察において特徴的なのは、ガラス質角礫から変質したと思われる最大径約3cm、平均径0.5~1cmの角礫状の白色粘土塊を多数含むこと、および、基質部が石英に富み堅硬で、径0.5mm程度の石英粒を多く伴うことである。また、変質帯西部(962mレベル)では一部に流理構造が認められる。

鏡下観察によれば、前述の角礫部を構成するのはモザ

イク状石英・カオリン鉱物、あるいはガラス質物質の集合体で、それぞれの集合体の大きさは径1.5~2mm程度である。基質部には溶蝕形の石英斑晶（最大径2.5mm、平均径0.5mm）が散在し、それを微細な石英とカオリン鉱物の密雑混合したものが充填している。また、しばしば、長さ1.5~2mmの斜長石様の外形を示すカオリン鉱物・明ばん石の集合体が認められる。

5.2.4 泥流堆積物

以上に述べた各岩層を不整合に覆って、より後期の火山活動に伴う泥流堆積物が広く分布している。第2鉱体の含まれる変質帯では、その中央部の深さ1~3mの谷状部を埋めて存在しているほか、変質帯周辺部にも広く認められ、その厚さは平均10mである。これは多くの弱変質安山岩塊や小亜角礫を含み、それらを取りまく泥質部は下底部ほど顕著なモンモリロナイト化をうけている。不整合面を境にして下位に位置する他の岩層が次項に述べる激しい変質作用をこうむっているのに対し、この岩層は上記のような弱い変質作用しかこうむっていないことは注目に値する。

5.3 変質帯の分布と性状

第2鉱体が含まれる変質帯は、肉眼的に、けい化帯・軟質カオリン化帯・硬質カオリン化帯・モンモリロナイト化帯・弱変質帯の5つの変質帯に分帯することができる（第5図および第6図）。これらのうち、カオリン鉱物として採掘の対象となっているのは、軟質カオリン化帯と、一部の硬質カオリン化帯である。これら5つの変質帯はけい化帯を中心とし、外側へ向かって上述の順に配列する累帯分布を示している。また、鉱体内で実施された約10本の試錐の結果をみると、いずれも現在の地表より12~27mでけい化帯に達しており、深部ではけい化帯

が連続的に発達しているものと考えられる。

5.3.1 けい化帯

けい化帯は変質帯の下部および中央部を占めて広く分布している。その分布は流紋岩質侵入角礫岩体の内部に限られており、大よそ東西方向に延びた状態をなしている。試錐結果では、地表部より最大70mの深さまでけい化帯が連続して分布することが確認されており、垂直方向での発達が顕著である。

けい化岩は一般に緻密・堅硬で、全体として灰白色ないし暗灰色を呈するが、その地表部付近およびけい化帯周縁部では酸化鉄により暗赤褐色を呈することがある。後述する硬質カオリン化岩との漸移部では、原岩の進入角礫岩の角礫部のみが白色粘土に交代されて軟質となっていることが多い。角礫をとりまく基質部は灰白色または灰色で、多数の石英粒を伴っている。また、けい化岩の一部には、溝状ないし斑点状の孔隙を伴うものも認められる。

鏡下では、角礫部は微細なモザイク状石英およびカオリン鉱物、ないしはそのどちらかの集合体に交代されている。とくに、カオリン鉱物はかなり明瞭に結晶の外形が識別されることがあり、その直径は約15 μ におよんでいる。角礫の原組織はほとんどの場合識別できないが、まれに安山岩様組織がわずかに認められる例があった。しかし、これはおそらく進入角礫岩の進入の際に捕獲された安山岩片であろうと思われる。基質部は微細な石英とカオリン鉱物が密雑混合したものからなっていて、その中には最大径約3mm、平均径約0.5mm程度の破片状あるいは粒状の石英斑晶が多数認められる。その他、葉片状明ばん石の集合体、黄鉄鉱、非晶質物質などが伴われている。

5.3.2 軟質カオリン化帯

カオリン化帯はけい化帯の外側に比較的広く分布しているが、その硬さと変質の特徴とによって、ここで述べる軟質カオリン化帯と次項に述べる硬質カオリン化帯に分けられる。

軟質カオリン化帯は流紋岩質侵入角礫岩の一部と、それに貫入された石英安山岩質熔結結晶凝灰岩の接触部付近に分布し、とくにカオリン化作用が顕著で全体が著しく軟質となっている部分である。進入角礫岩を原岩とする場合には、角礫部と基質部がともに軟質となることが特徴的で、角礫部のみが軟質のカオリン鉱物集合体に交代されて基質部は硬質である硬質カオリン化帯とはよい対照をなしている。

軟質カオリン化岩は採掘の対照とされるカオリン鉱石で、一般に灰白色、ときに黄白色を呈し、微細な黄鉄鉱

に富む部分はやや暗灰色を呈する。全体として均質な外観を呈し、柔らかく、容易に手でもみほぐすことができる。

鏡下観察によれば、軟質カオリン化岩は、大部分1~6mmの粒状のカオリン鉱物の集合体からなり、その間のわずかな間隙を黄鉄鉱・カオリン鉱物、および少量の石英、微粒の不明鉱物が埋めている。また、葉片状の明ばん石が斑状の小集合体をなしてこれらの間に散在している。

なお、けい化帯との境界は比較的明瞭であるが、次に述べる硬質カオリン化帯とは漸移的な関係にあることが多い。

5.3.3 硬質カオリン化帯

硬質カオリン化帯は第2鉱体を含む変質域の地表部においては最も広い分布を示している。これは流紋岩質侵入角礫岩と石英安山岩質熔結結晶凝灰岩を原岩とする場合がほとんどであるが、鉱山道路よりも西側の一部では安山岩質火山砕屑岩類を原岩としている。これはけい化帯と軟質カオリン化帯の周囲に分布しており、鉱体西部(995mレベル)では比較的軟質の一部が「チミツ鉱」として採掘されているのみで、通常は稼行の対象とはなっていない。

この変質帯と軟質カオリン化帯との違いは主に硬さの程度によるものであるが、一般にこの硬質カオリン化帯の方が変質の程度は弱く、原岩の岩相が比較的明瞭に認められることが多い。例えば、進入角礫岩を原岩とした場合には、軟質カオリン化帯では角礫部と基質部との間には硬さにおいても、色調・鉱物組成においても差異がほとんど認められないのに対して、硬質カオリン化帯では角礫部のみが軟質・灰白色のカオリン鉱物に交代され、それをとりまく基質部は石英・黄鉄鉱を主として硬質・暗灰色を呈するという対照を示している。同様に、石英安山岩質熔結結晶凝灰岩を原岩とする場合も、色調は不均質で変化が激しく、局部的に粗粒の石英を多数含み、ときには原岩の縞状模様がそのまま残っているなど、原岩相が比較的明瞭に残っていることが多い。また、黄鉄鉱の濃集がこの変質帯にはとくに顕著である。

石英安山岩質熔結結晶凝灰岩を原岩とした変質岩を鏡下で観察すると、径0.5~3mmの溶食石英粒が多数認められ、その周囲はモザイク状の石英微晶にとりかまれていることが多い。また、カオリン鉱物は斜長石を交代したと思われる柱状の集合体として、または石英粒の破砕された間隙を埋める細脈として認められる。これらの集合体を、きわめて細粒の石英およびカオリン鉱物が充填して基質部が構成されている。また局部的には非晶

質物質が認められるほか、少量の葉片状明ばん石が小集合体をなして散点している。

この変質帯は軟質カオリン化帯と漸移し、鉱体東部一帯では断層を境にモンモリロナイト化帯または弱変質帯に接している。また、西部ではモンモリロナイト化帯と漸移している。

5.3.4 モンモリロナイト化帯

モンモリロナイトによって特徴づけられる変質帯は、鉱体南縁の東西性断層を境として、その南側一帯に分布するほか、鉱体東部においても、硬質カオリン化帯の周囲をとりまくように分布している。南側に分布するのは安山岩質火山砕屑岩類を原岩としており、東部に分布するのは石英安山岩質ほか熔結結晶凝灰岩を原岩としている。これらのほかに、すでに述べたように、鉱体の含まれる変質域とその周辺の泥流堆積物が全体的にモンモリロナイト化している。

モンモリロナイト化岩は一般に黄緑色または緑褐色・灰白色・暗緑色などの種々の色調を呈し、これに紫緑色・緑白色などの小歪角礫が含まれるなど、色調の変化が著しい。一般に緻密で、比較的堅硬であるが、崩れやすい土状を呈することもある。また、ときには小斑状または細脈状のカオリン鉱物を伴う。鏡下ではモンモリロナイトと思われる複屈折の高い繊維状鉱物の集合体が多く認められる。原岩に斜長石が含まれる場合には、モンモリロナイトはその輪郭に並行して繊維の伸びが認められ

る。このほか、石英・黄鉄鉱・炭酸塩鉱物(X線回折によれば菱鉄鉱と同定される)を伴い、X線回折では、以上の鉱物のほかに、さらにカオリン鉱物・クリストパライトを伴う場合がある。

5.3.5 弱変質帯

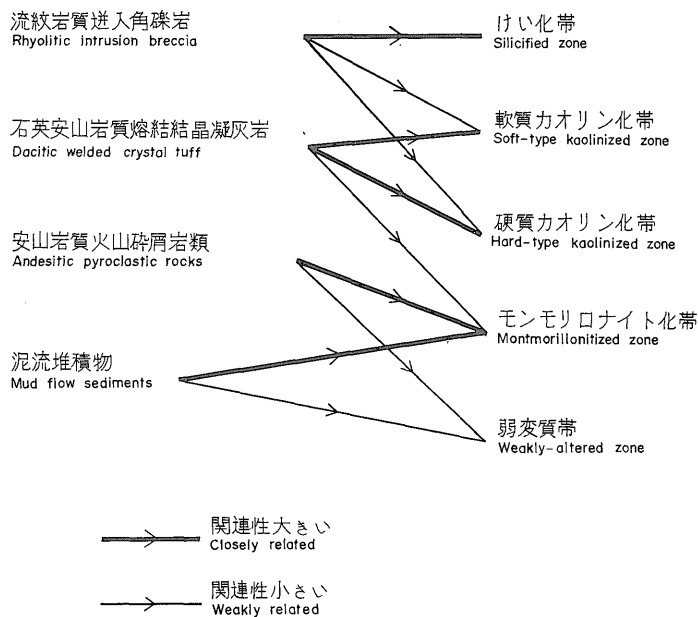
弱変質帯は複輝石安山岩中にみられる。この岩層の節理および断層に沿う部分はモンモリロナイト化されており、この中心部に、塊状に弱変質帯が存在している。この弱変質安山岩塊は表面に近い部分ほど変化が進み、中心部ほど新鮮となっている。

鏡下では、複輝石安山岩の組織が明瞭に残されているが、輝石類の斑晶はしばしば分解され、炭酸塩鉱物、クリストパライト、まれに粘土鉱物に交代されているのが認められる。

5.4 変質帯と原岩との成因的關係 (第7図)

以上述べてきた第2鉱体とその付近の変質帯と原岩との成因的關係を第7図に示す。ここで注目されるのは次の点である。

- (1) けい化帯はつねに進入角礫岩中に限られて賦存しており、不規則な凹凸を示しながら下部では連続していると推定される。角礫岩自体は東西方向に延びる岩脈状をなして貫入しており、けい化帯の分布もそれに沿ったものであると推定される。
- (2) 軟質および硬質カオリン化帯はけい化帯の外側に分布していて、その一部は進入角礫岩を、大部分は



第7図 第2鉱体における原岩と変質帯との成因的關係

Genetic relationship between original rocks and altered zones at the Ore Body No. 2

熔結結晶凝灰岩を原岩としている。とくに、進入角礫岩との接触部付近ではカオリン化は著しく、その軟質の部分が良質の鉱石となっている。

- (3) モンモリロナイト化帯は鉱体南縁の断層を境に、その南側に分布するものと、鉱体東部でカオリン化帯の外側に分布するものが見られる。前者の場合は火山砕屑岩類を、後者の場合は熔結結晶凝灰岩をそれぞれ原岩としている。

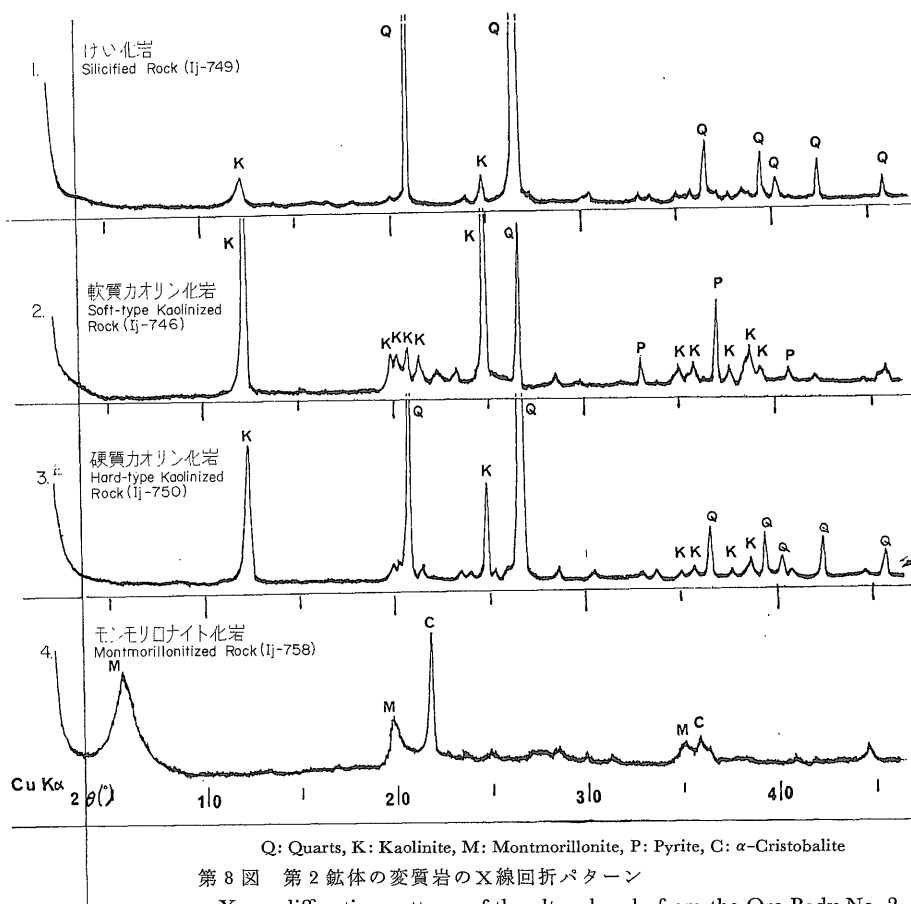
6. 変質帯各部の鉱物組成と化学組成

6.1 各変質帯における鉱物組成の変化

以上に述べた変質帯のうち、弱変質帯を除く4つの変質帯から採取した計40個の試料についてX線粉末回折をおこない、その組成鉱物を同定した。試料は風乾・磨砕ののち、スライドガラス上にアセトンでぬりつけ、半方位試料として試験に供したものである。各変質帯の代表的試料におけるX線粉末パターンを第8図に示す。

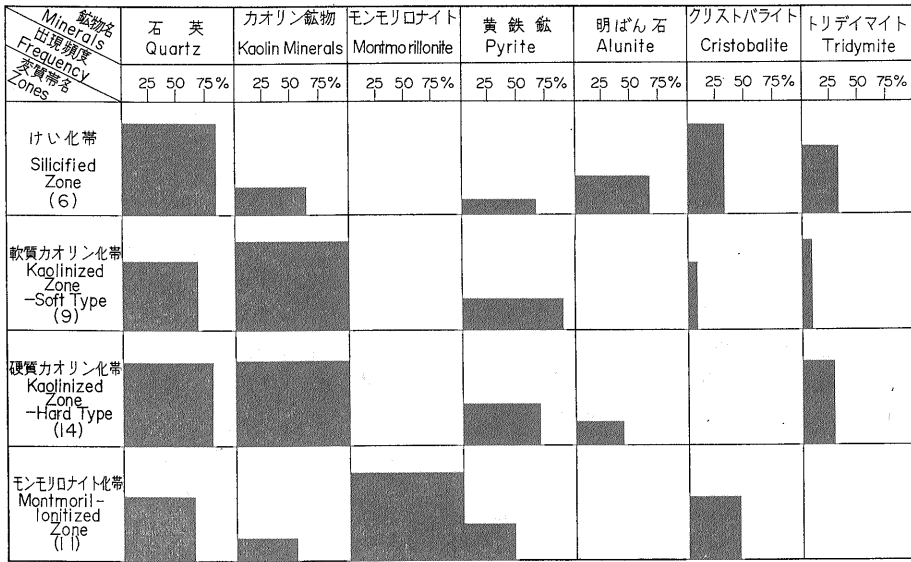
また、各変質帯の組成鉱物の量比の推定を試みた(第9図)。この図の横軸は各変質帯のそれぞれの鉱物の出現頻度を百分率で表わし、縦軸は回折線のおおよその平均強度を表わしている。このようにして得られた各欄の四角形の面積が、その変質帯におけるその鉱物の相対量を表わすものとする、次のような各鉱物の特徴を見ることができる。

- (1) 石英・カオリン・黄鉄鉱は、量の増減を伴うが、すべての変質帯に存在している。
- (2) モンモリロナイトはモンモリロナイト化帯以外には認められない。
- (3) 明ばん石はモンモリロナイト化帯を除く各変質帯に認められる(X線粉末回折では軟質カオリン化帯には明ばん石は確認できなかったが、5.3.2に述べたように、顕微鏡下では少量ながら明ばん石が認められている)。
- (4) クリストバライトは硬質カオリン化帯を除く各変



第8図 第2鉱体の変質岩のX線回折パターン

X-ray diffraction patterns of the altered rocks from the Ore Body No. 2



第 9 図 各変質帯における変質鉱物の組成

() 内の数字は研究対象となった試料数を表す

Assemblages of the alteration minerals in the alteration zones

Numbers in parentheses show those of specimens investigated

質帯に、トリデイマイトはモンモロロナイト化帯を除く各変質帯に、それぞれ分布している。とくに、比較的多量のクリスタバライトがモンモロロナイトと共生するのが注目される。

このように、各変質帯を構成する鉱物の種類と量比を見ると、けい化帯および軟・硬両カオリン化帯の間には漸移的な要素が強い一方、モンモロロナイト化帯はモンモロロナイトの多量の生成と明ばん石の欠除という点で他の変質帯とは異なった特徴を有することがわかる。

6.2 化学組成の変化

第 2 鉱体を含む変質帯を形成した熱水変質作用が原岩に対してどのような化学組成の変化をもたらしたかを知るために、とくに、流紋岩質侵入角礫岩中の角礫部について検討を行なった。けい化帯および軟・硬両カオリン化帯の各変質帯から採取した 5 試料から、角礫部および角礫部を交代した粘土質部のみを分離したものの化学分析結果を第 1 表に示す。これら 5 分析試料について、試料番号、採取地点、変質帯とともに、肉眼的特徴を以下に記す。

No. 1 (IJ-774, 983 m レベル, けい化帯) 全体として緻密、堅硬なけい化岩中の灰黒色けい質角礫。

No. 2 (IJ-730, 970 m レベル, けい化帯) 孔隙の多いけい化岩中の角礫。けい質で全体として灰黒色であ

るが一部は灰白色を呈する。

No. 3 (IJ-772, 983 m レベル, けい化帯) 全体としてけい質であるが、カオリン化作用も受けており、やや軟質、灰白色となっている角礫。

No. 4 (IJ-747, 962 m レベル, 軟質カオリン化帯) 角礫および基質部全体がほぼ完全にカオリン化され、軟質となっている。カオリン化岩の角礫部。

No. 5 (IJ-746, 954 m レベル, 硬質カオリン化帯) 角礫部のみがほぼ完全にカオリンに交代され、軟質であるが、基質部はややけい質で比較的堅硬である。

これまでの野外観察では、明らかに未変質と考えられる流紋岩質角礫岩の試料は得られず、したがって、それに対応する化学分析値も欠いている。また、比重の測定も行なわれていないので、単位容積当たりの実値的な化学成分の移動量は計算できない。これらの理由から、第 2 鉱体およびそれを含む変質帯を形成した際の熱水変質作用の過程での各化学成分の詳細な挙動を今知ることはできない。しかし、第 1 表に与えられた限りでの分析値から、以下のような傾向を知ることはできるであろう。

(1) SiO_2 はけい化帯では明らかに増加しているが、カオリン化作用の程度が進むにつれて減少してゆく。このように、カオリン化作用により減少するのは、 SiO_2 のほかに、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 SO_3 な

第1表 第2鉱体の流紋岩質侵入角礫岩中に含まれる角礫部の化学組成

Chemical composition of the breccias involved in the rhyolitic intrusion breccia

	1 Ij-774	2 Ij-730	3 Ij-772	4 Ij-747	5 Ij-746
SiO ₂	88.94%	84.41%	67.24%	40.56%	49.45%
TiO ₂	0.19	0.80	0.60	0.76	1.22
Al ₂ O ₃	6.30	2.66	17.26	34.41	30.49
Fe ₂ O ₃	0.05	0.54	0.11	0.78	0.28
FeO	0.13	0.14	0.17	0.14	0.14
MnO	0.01	<0.01	0.00	<0.01	<0.01
MgO	0.04	0.10	0.03	0.02	0.02
CaO	0.03	0.29	0.02	0.13	0.10
Na ₂ O	0.12	0.12	0.19	0.01	0.12
K ₂ O	0.05	0.04	0.06	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.02	0.08	0.03	0.06	0.09
SO ₃	0.11	3.07	0.50	0.06	0.19
S	0.74	<0.01	3.23	6.17	3.48
Fe*	0.64	0.00	2.81	5.37	3.03
H ₂ O ⁺	2.71	4.93	6.75	10.69	10.47
H ₂ O ⁻	0.22	2.76	0.68	0.36	0.54
Total	100.30	99.94	99.68	99.53	99.63

(分析者: 阿部喜久男・寺島 滋)

1. および 2. けい化岩中の角礫部。
 3. 少量のカオリンを含むけい質な角礫部。
 4. 侵入角礫岩全体がカオリン化されたものの角礫部。
 5. 角礫部のみがカオリン化された侵入角礫岩の角礫部。
- * FeS₂ 換算で S 量に相当する Fe 量を Fe₂O₃ より算出したもの。

1. and 2. Part of breccias in silicified rocks.
3. Siliceous breccia containing a small quantity of kaolin.
4. Part of breccias of the intrusion breccia, the whole of which is perfectly kaolinized.
5. Part of breccias of the intrusion breccia, only the breccia part of which is kaolinized.

* Values of this item are calculated from the formula of FeS₂, on the basis of measured values of S.

どがある。

- (2) Al₂O₃ は SiO₂ とは反対に、カオリン化作用の進行にともない、顕著に増加する。このように、カオリン化作用により増加するもの、あるいは増加の傾向を示すものは、Al₂O₃ のほかに、Fe + S, CaO, H₂O[±] などがある。
- (3) TiO₂, P₂O₅ などには以上のような増減の傾向はとくに認められない。

7. カオリン鉱物

第2鉱体から産する粘土鉱石中に含まれる粘土鉱物はすべてカオリン鉱物である。そのほとんどはカオリナイトで、ごく一部のみにディッカイトを伴う。ディッカイトを産するのは954m レベル中央部の軟質カオリン化帯

の一部である。また、ディッカイトを産する地点付近のカオリン化帯からは、X線粉末パターン、示差熱分析曲線などにおいてカオリナイトとディッカイトの中間的性質を示すカオリン鉱物試料が得られたので、これら3種のカオリン鉱物試料について、以下の鉱物学的検討を行った。

7.1 X線粉末回折

第2鉱体に産するカオリナイト (IJ-773, 990 m レベル), ディッカイト (IJ-753, 954 m レベル), および両者の中間的性質を示す試料 (IJ-747, 962 m レベル—以下の検討では単に IJ-747 試料とのみ記す) の3種のカオリン鉱物についてX線粉末回折を行った。その結果としての回折パターン (第10図A~C) および回折データ (第

2表A~C)を示す。X線走査条件は以下の通りである。
Radiation; CuK α (Ni フィルター), 出力; 30 KVP 10 mA, Ratemeter; 8, Multiplier; 1, 時定数: 2, スリット系: 1°-1°-0.4 mm, 走査速度: 2°/min., チャート速度 2 cm/min.

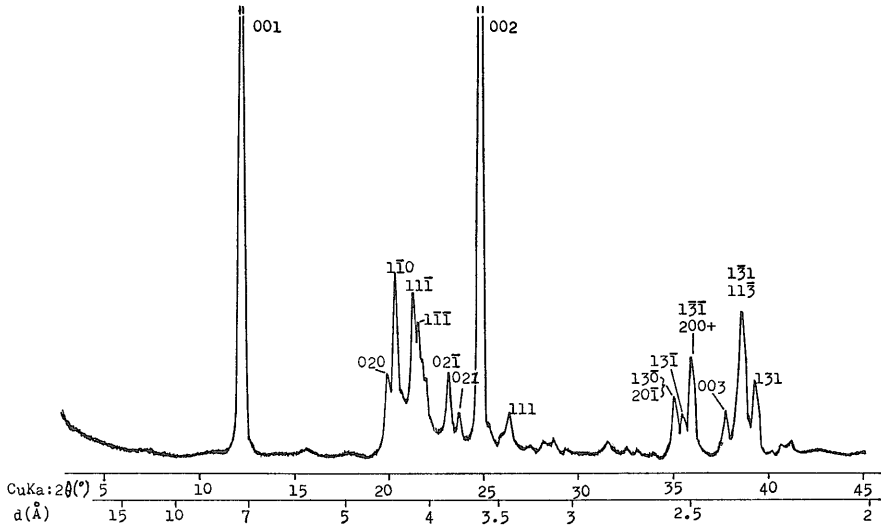
カオリナイトのパターンには, $2\theta = 20\sim 22^\circ$ に若干の2次の非対称散乱が認められるが, 110, 11 $\bar{1}$, 1 $\bar{1}$ 1などの反射は明瞭であり, カオリナイトの中でもかなり結

晶度の高い部類に属する。また, $2\theta = 35\sim 40^\circ$ の領域における, カオリナイトに特徴的な2組の三重回折線の分離も明瞭である(第10図A)。

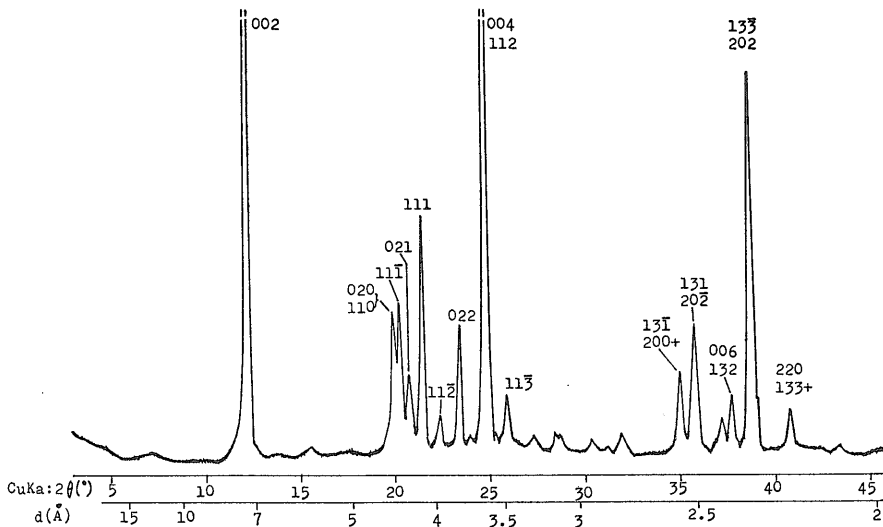
ディッカイトのパターンでは, それぞれの反射はきわめて鋭く分離しており, カオリナイトに認められた2次の散乱は全く認められない。また, $2\theta = 35\sim 39^\circ$ では, ディッカイトに特徴的な2組の二重回折線が明瞭に認められる(第10図B)。

第10図 第2鉱体に産するカオリン鉱物のX線回折パターン

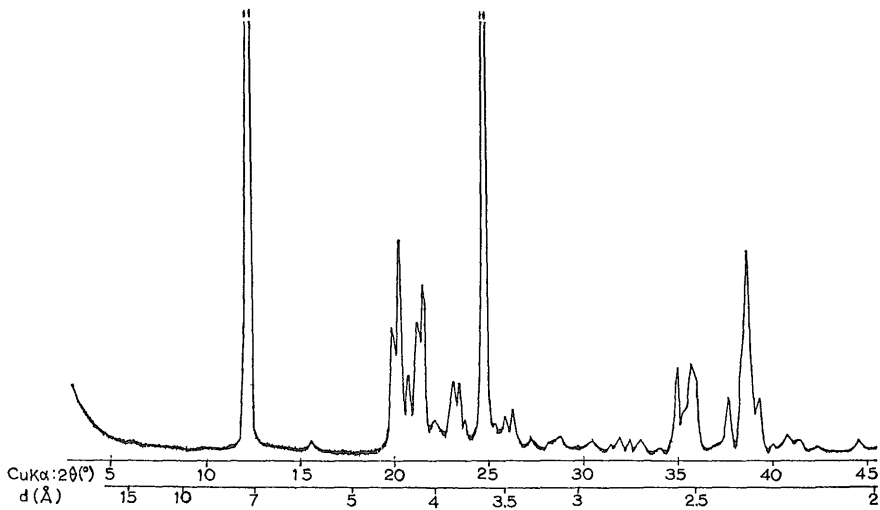
X-ray diffraction patterns for kaolin minerals from Ore Body No. 2



第10図-A カオリナイト
Kaolinite



第10図-B ディッカイト
Dickite



第10図-C IJ-747 試料中のカオリン鉱物 (指数は不明)
Kaolin mineral in IJ-747 specimen (indices unknown)

一方、I J—747試料のパターンは底面反射その他から判断して、カオリン鉱物であることは間違いない。しかし、得られた回折線を検討すると、カオリナイトとディッカイトのどちらのパターンとも一致していない。例えば、 $2\theta = 20 \sim 24^\circ$ の領域では、カオリナイトに見られる2次元的非対称散乱は認められないと同時に、ディッカイトとしても説明できないいくつかのピークが現われている。さらに、 $2\theta = 35 \sim 40^\circ$ の範囲でも、カオリナイトに特徴的な2組の三重回折線と、ディッカイトに特徴的な2組の二重回折線とが、あたかも重複しているかのようなパターンが認められる(第10図C)。

7.2 示差熱分析

前項で述べた3種のカオリン鉱物試料について示差熱分析を行なった(第11図A～C)。使用した装置は理学電機(株)製自動示差熱天秤装置で、測定条件は次の通りである。

Sample Weight:	0.300 gr.
Sensitivity of D.T.A.:	$\pm 100 \mu\text{V}$
Preset Temperature:	1050°C
Heating Rate:	$10^\circ\text{C}/\text{min}$.
Thermocouple:	Pt-Pt, Rh (13%)
Sample Holder:	Pt(8 mm ϕ \times 15 mm)
Standard Sample:	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
Atmosphere:	air
Chart Speed:	180 mm/hr.

これら3試料のD.T.A. 曲線では、 980°C 付近の鋭い

発熱ピークについては、ほとんど変化は見られないが、とくに注目されるのは $500 \sim 600^\circ\text{C}$ における吸熱ピークの位置と形状の変化である。すなわち、カオリナイトにおいては 606°C を頂点とした、ほぼ左右対称の吸熱ピークが描かれているのに対し、ディッカイトでは比較的高温の 658°C を頂点として、低温側に緩く、高温側に急な勾配の非対称の形状を示すピークが描かれている(第11図A, B)。

一方、I J—747試料では、わずかに非対称とわかる程度の吸熱ピークが 624°C を頂点として認められ、その位置・形状ともに、カオリナイトとディッカイトの中間的な様相を示している(第11図C)。

なお、カオリナイトを除く2試料の曲線において、 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ に認められる幅広く不規則な形状の発熱ピークは微細な硫化鉄の酸化によるものと考えられる。

7.3 電子顕微鏡観察

以上述べてきた3試料について、電子顕微鏡下で結晶形態の観察を行なった(Plate 44, 45)。使用した装置は明石電機(株)製TR—80型電子顕微鏡で、撮影時の電圧は80 kV, 原倍率は8,000倍である。

結晶の形態は、カオリナイトにおいて、やや輪郭の不明瞭な粒子が若干認められるほかは、3試料とも輪郭のかなり明瞭な六角板状を呈している。X線回折で認められた結晶度の良好さは、結晶粒子の外形にも反映しているものと考えられる。

結晶粒子の大きさは

第2表 第2鉱体に産するカオリン鉱物のX線回折データ

X-ray diffraction data for kaolin minerals from Ore Body No. 2

カオリナイト (A) Kaolinite (IJ-773)			ディッカイト (B) Dickite (IJ-753)			IJ-747 試料中のカオリン鉱物 (C) Kaolin mineral in IJ-747 specimen		
d(Å)	I/I ₁	hkl*	d(Å)	I/I ₁	hkl**	d(Å)	I/I ₁	hkl
7.21	100	001	7.22	100	002	7.21	100	
4.47	10	020	4.46	20	020,110	4.46	15	
4.373	25	110	4.392	20	111	4.384	30	
			4.287	10	021	4.287	10	
4.191	20	111				4.187	15	
4.141	15	111	4.133	35	111	4.145	25	
			3.983	5	112	4.001	5	
3.850	10	021				3.854	10	
			3.814	20	022	3.805	10	
3.754	5	021						
3.587	100	002	3.593	100	004,112	3.576	100	
			3.440	10	113	3.440	5	
3.383	5	111				3.383	5	
2.566	10	130,201	2.564	10	131,200+	2.566	10	
2.535	5	131	2.514	20	131,202	2.522	10	
2.501	15	131,200+						
2.388	5	003	2.390	10	006,132	2.390		
2.340	20	131,113	2.327	50	133,202	2.332	30	
2.296	10	131				2.297	5	
			2.216	5	220,133+			
1.990	5	132	1.976	10	224,204+	1.982	5	
1.663	5	133,240	1.652	10	152,137+	1.658	5	
			1.559	5	137,208			
1.490	10	331,311+	1.489	10	060,331	1.490	10	

* ASTM カード No. 14-164 による.

** ASTM カード No. 10-430 による.

* Indices by ASTM card No. 14-164.

** Indices by ASTM card No. 10-430.

A) カオリナイト : 0.1 ~ 1 μ

B) ディッカイト : 0.5 ~ 4 μ

C) IJ-747試料 : 0.4 ~ 1.5 μ

で、ディッカイトが最も粗粒、カオリナイトが最も細粒で、IJ-747試料はその中間の大きさを有している。また、電子線の透過の程度から結晶粒子のおおよその厚さを推定すると、ディッカイトには厚い粒子が多く、カオリナイトには一般に薄い粒子が多い。また、IJ-747試料はその中間的な様相を示している。

7.4 IJ-747試料について

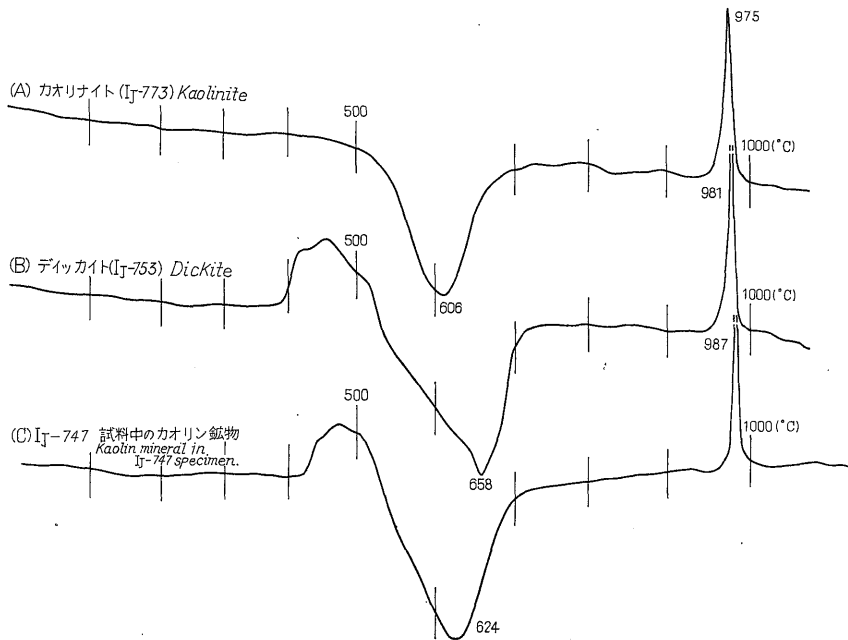
以上に述べたように、カオリナイトとディッカイトとの対比において、X線粉末回折、示差熱分析、電子顕微鏡観察などによって、IJ-747試料中のカオリン鉱物の検討を行なった。その結果、この鉱物がカオリナイト

とディッカイトの中間的な性質をもつ可能性の強いことが明らかになった。

しかし、一方ではIJ-747試料が単なるカオリナイトとディッカイトの混合物にすぎない可能性も残っており、この両者の可能性のいずれが真実であるかは現在のところ不明である。この点については、さらに今後の検討に待ちたい。

8. 鉱床の形成過程に関する考察

これまでに述べてきた変質帯と変質鉱物の分布と特徴、鉱床の賦存状態、変質帯と原岩との相関関係などの検討から、第2鉱体とそれを取りまく変質帯の形成には流紋岩質侵入角礫岩の活動が密接に関係していることが明らかになった。以下に、鉱床が形成された時期と、鉱



第11図 第2鉱体に産するカオリン鉱物のD.T.A.曲線
D.T.A. curves for kaolin minerals from Ore Body No. 2

床の形成にあずかった熱水変質作用の性格について若干の考察を試みる。

8.1 鉱床形成の時期

流紋岩質侵入角礫岩に貫かれる石英安山岩質熔結結晶凝灰岩中には、5.2.2に述べたように、まれに炭化木片が含まれる。C-14法によって測定されたその炭化木片の絶対年代は $30,600 \pm 3,200$ 年 B.P.であった(富樫, 1969)。すなわち、石英安山岩質熔結結晶凝灰岩は約3万年前の洪積世末期における噴出物であることが明らかになった。流紋岩質角礫岩の侵入はそれ以後のことで、その侵入活動と密接に関連し、おそらくはほぼ同時期と考えられる第2鉱体の熱水変質作用も、したがってそれ以後のことであると考えられる。

この点について、村井(1970)は板谷カオリン鉱床全体の変質時期を論じた際に、次のように述べている。すなわち、上記の炭化木片を含む安山岩質火砕岩(この一部は筆者らの石英安山岩質熔結結晶凝灰岩にあたる)の堆積に続き、松川および蟹ヶ沢沿岸に分布する河岸段丘堆積層が堆積し、次いで生じた断層を通じて上昇した熱水溶液によって変質作用が始まったとしている。そして、この作用は火山砕屑物(筆者らの泥流堆積物にあたる)の堆積した幾分あとまで続いたとし、その理由として、火山砕屑物は一般にその下部のマトリックス部のみが弱い変質をうけ、これに含まれる安山岩礫にはほとんど変

質が及んでいないことをあげている。

第2鉱体とその周辺の変質域における筆者らの観察からも、5.2.4に述べたように、泥流堆積物における変質作用の様相は同様のものであるとの見解を得ている。しかし、この泥流堆積物の詳しい堆積時期については、いまだに明確にはわかっておらず、したがって、より詳細な第2鉱体の形成時期については今後の検討に待ちたい。

8.2 熱水変質作用の性格

第2鉱体とその周辺の変質帯の産状は、中心部に大部分 SiO_2 からなるけい化帯が分布し、その周囲へ、けい化帯→軟質カオリン化帯→硬質カオリン化帯→モンモリロナイト化帯→弱変質帯の順に分布する累帯配列によって特徴づけられる。このような産状は岩生(1949)、MUKAIYAMA(1959)、藤井(1967)らによってしばしば総括されているように、強酸性の熱水溶液による変質作用を想定することによって合理的に説明できる。

すでにくり返し述べたように、変質帯と変質鉱物の分布、原岩と変質帯との対比、その他の検討から、この熱水溶液が流紋岩質侵入角礫岩の活動と密接に関連を持つものであることが明らかである。上昇した熱水溶液および火山性ガスは地下水と接触することによって強酸性の熱水溶液となり、流紋岩質侵入角礫岩自体と強く反応することによって、最初にけい化帯が形成されたであろう。次に、このとき溶脱された Al_2O_3 がpH値のより大

き環境下で、 H_2O とともにカオリン化帯を形成したと考えられる。

すでに述べたように、軟質カオリン化帯と硬質カオリン化帯とは、野外観察では比較的容易に区別できるが、鉱物組成の点では本質的な差異はない。したがって、鉱床としての軟質カオリン化帯の生成については、進入角礫岩と熔結結晶凝灰岩の接触部付近が軟質カオリン化帯を形成し易い条件にあったであろうと推定される程度にすぎない。また、カオリナイトよりも比較的高温の条件下で安定といわれるゼイシカイトが鉱体中央部の軟質カオリン化帯でのみみだされる事実についても、軟質カオリン化帯の形成条件をそれほど具体的に示しているものではない。鉱石としての利用度では軟質・硬質両カオリン化岩の間には大きな違いがあるが、両者の生成条件の違いについては、このように未解決の点が多い。

一方、けい化帯とカオリン化帯を形成した熱水溶液は周囲の岩石と反応しつつ、次第にpH値を増すと同時に、温度を減じていったと考えられる。それに応じて、カオリン化帯からモンモリロナイト化帯へ、さらに弱変質帯へと変化する累帯構造が形成されるに至ったものであろう。

9. 結 言

これまでに述べてきた調査研究の結果として、第2鉱体とその周囲の変質域の地質、鉱体の形状と賦存状態、変質帯と変質鉱物の分布と特徴、原岩層と変質帯との相関関係などを明らかにしてきた。また、鉱床が形成された時期、熱水変質作用の性格についても、ある程度の推定がなされた。

しかし、板谷カオリン鉱床全体の中に占める第2鉱体の位置はごく限られたものであり、板谷カオリン鉱床をより総合的に把握するためには、第2鉱体の南側に隣接する第1鉱体の解明と両者の比較検討が不可欠である。第1鉱体は原岩、変質帯と変質鉱物の種類と分布、鉱体の規模と形態などの多くの点で第2鉱体とは異なった性格をもつことがすでに知られている(富樫・藤井, 1971)。

また、これら2つの鉱体の周辺に広く点在する小変質帯、硫黄鉱床、温泉などとの関連についても今後検討が必要である。吾妻火山全体の活動史と関連させつつ、本地域の熱水変質作用の性格を総合的にとらえてゆくことが今後に残された課題と考えられる。

謝辞 本研究を進めるにあたり、広域調査山形吉野班(班長元地質調査所鉱床部北卓治氏)のメンバーの方からは、板谷周辺の新第三紀の地質について多くの有益な

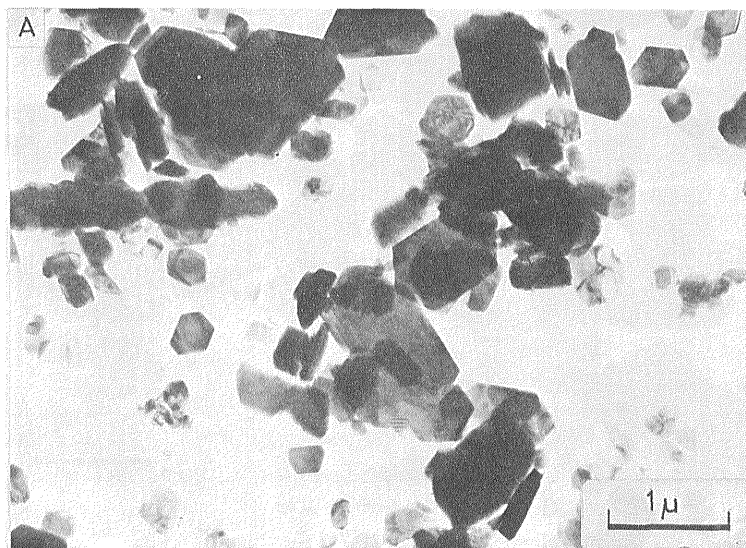
助言をいただいた。電子顕微鏡写真の撮影に際しては本所五十嵐俊雄技官のお世話になった。また、化学分析は本所阿部喜久男・寺島滋両技官にいただいた。現地調査においては、ジークライト化学鉱業採鉱部長関口正氏、同部採鉱課長一当時一佐藤末雄氏、技術部資源開発課長一当時一川上隆氏、および両課の課員の方達に多くの助言と御協力をいただいた。これらの方達に厚く御礼を申し述べる次第である。

引用文献

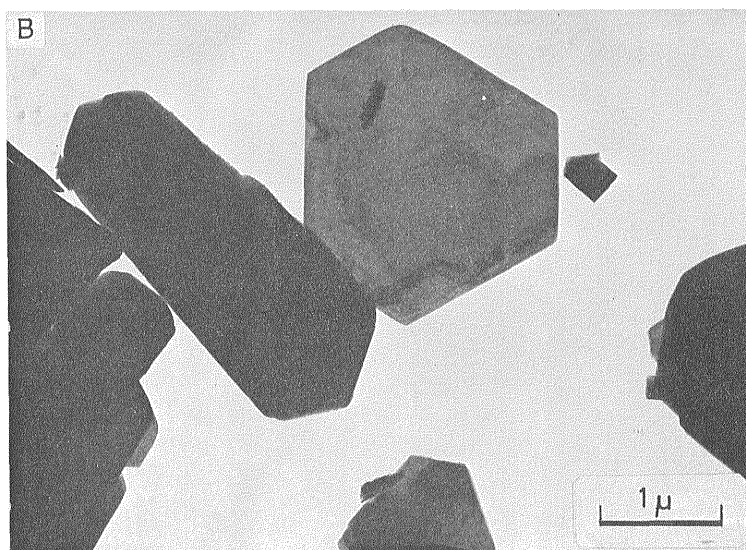
- 藤井紀之(1967): 長野県梵天山ろう石鉱床の産状とその形成過程に関する考察. 鉱山地質, vol. 17, p. 261 ~ 271.
- 本多朔郎・三浦 徹・大平芳美・玉ノ井正俊(1964): 山形県米沢市高倉山のカオリン粘土. 東北の工業用鉱物資源. 第4輯, p. 87 ~ 95.
- 岩生周一(1949): 日本の明礬石鉱床調査報告. 地質調査報告, no. 130, 100 p.
- 北 卓治ほか14名(1970): 昭和43年度山形吉野地域報告書, 28p., 通商産業省.
- 増井淳一・岡田 久(1961): 山形県米沢市板谷カオリン粘土. 東北の工業用鉱物資源. 第1輯, p. 180 ~ 189.
- MUKAIYAMA, H. (1959): Genesis of sulphur deposits in Japan, *Jour. Fac. Sci. Tokyo Univ., Sec. II*, XI, no. 30, 148 p.
- 村井貞允(1970): 山形県米沢市板谷ジークライト鉱山付近の地質. 岩手大学工学部研究報告, vol. 22, p. 1 ~ 10.
- 岡田広吉・福地義寛・三品裕正(1963): 山形県米沢市板谷鉱山周辺のカオリン粘土. 東北の工業用鉱物資源 第3輯, p. 96 ~ 107.
- 田宮良一ほか9名(1970): 5万分の1地質図幅「吾妻山一福島」および同説明書, 44p., 山形県.
- 谷田勝俊(1962): 山形県米沢市五色および元小屋のカオリン粘土. 東北の工業用鉱物資源. 第2輯, p. 124 ~ 131.
- 富樫幸雄(1969): 山形県板谷鉱山カオリン鉱床産炭化木片の ^{14}C 年代. 鉱山地質, vol. 19(4), p. 172 ~ 175.
- 富樫幸雄・藤井紀之(1971): 山形県板谷カオリン鉱床の地質と変質作用(その3)(要旨). 岩鉱, vol. 65, p. 202.
- 山田正春(1954): 山形県板谷ジークライト粘土鉱床調査報告. 地調月報, vol. 5, p. 63 ~ 66.

第2鉱体に産するカオリン鉱物の電子顕微鏡写真

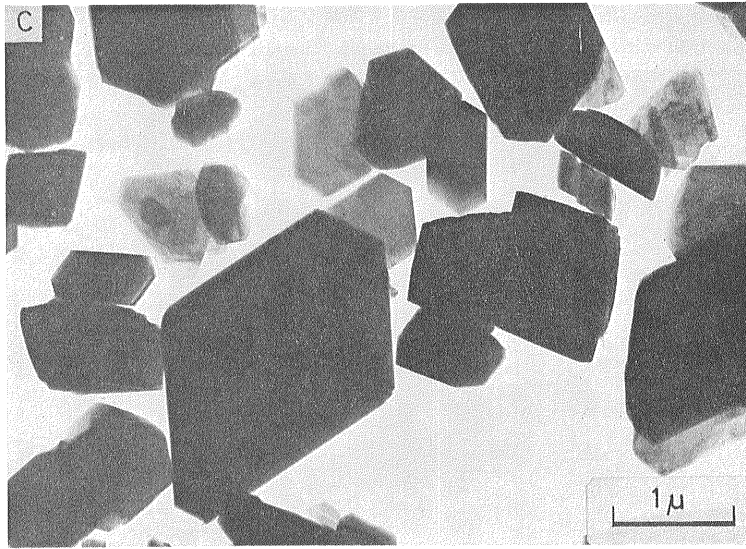
Electron microscopic photographs for kaolin minerals from Ore Body No. 2



カオリナイト (IJ-773)
Kaolinite



ディッカイト (IJ-753)
Dickite



IJ-747 試料中のカオリン鉱物
Kaolin mineral in IJ-747 specimen