

## 古いフィールドノートから(1)

# 入来鉱山のカオリン鉱床

須藤 定久<sup>1)</sup>

私が旧地質調査所に入所したのは1971年4月, 入所して1ヶ月目は, 人事院主催の研修, 工業技術院の研修があったような気がする。この後, 7月1日に配属先が決定されるまで, 2ヶ月間は地質調査所の研修, 各部課の見学・関東圏の関連事業所の見学(茂原のガス田・五日市のセメント工場など)などがあり, その後は約1ヶ月の鉱山実習があった。

私の年は, 兵庫県の名延鉱山の寮に泊まり込んで, 坑道を上り下りして, あちらの採掘現場, こちらの現場とまわって, 新たに採掘された坑道を測量し, 坑内図を作り, 鉱脈のスケッチ, サンプリングをするという作業をし, 事務所に戻って, 図面の清書・サンプル整理・分析発注を行い, その先の採掘や探査の方針を議論するといった鉱山現場の「地質屋さん」の仕事

体験した。

当時残っていた10ヶ所ほどの大型金属鉱山でのこのような研修は, 2~3年後には, 多くの鉱山が次々に閉山したために, 実施できなくなってしまった。金属鉱山に閉山とともに金属鉱床の研究は, 野外から室内での地球化学的な研究へとシフトしていった。

金属鉱山での研修のあと, 私は鉱床部非金属課に配属され, 粘土や長珪石などの多くの露天採掘鉱山の調査に従事することになった。しかし, 近年, 石灰石を除く非金属鉱山も終掘・閉山が相次ぎ, 国内で鉱山調査を行う機会が少なくなってしまった。

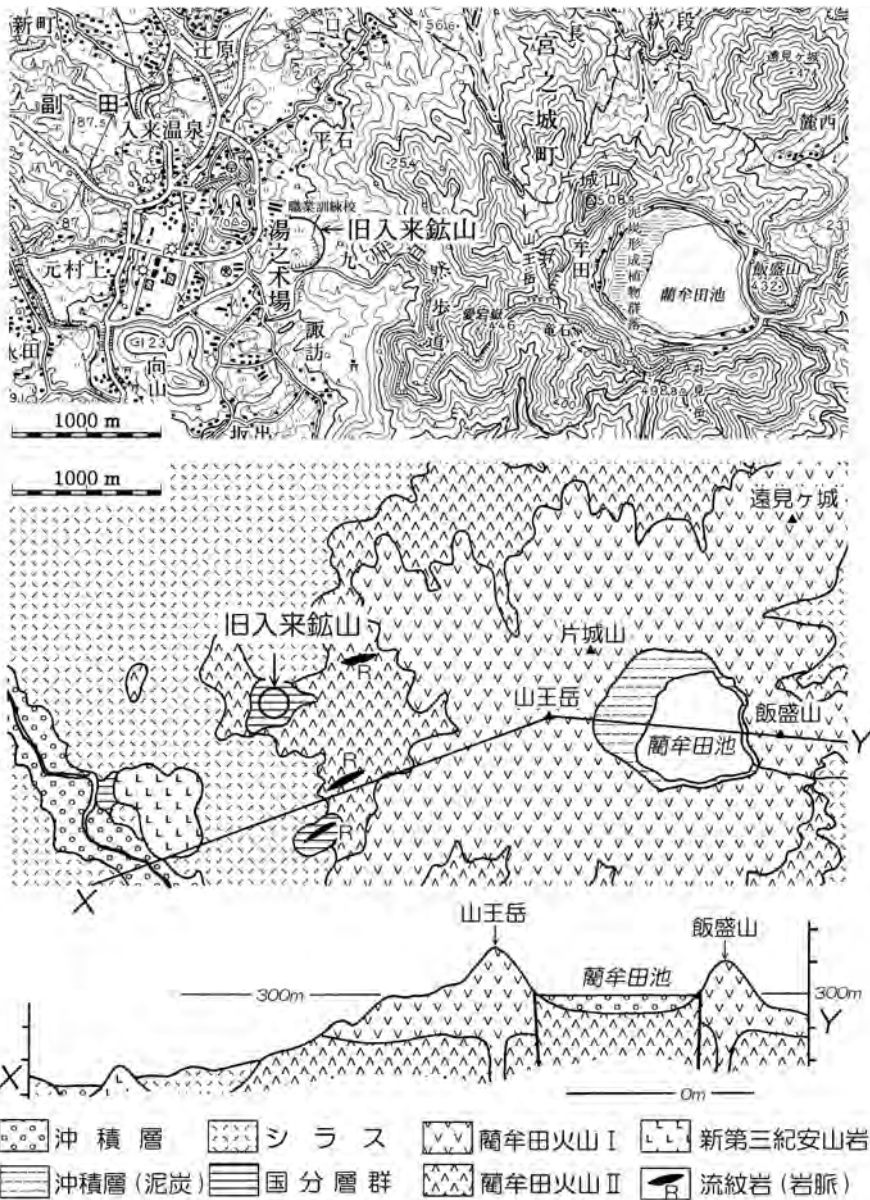
私が, 今までの鉱山調査の中で, どんな方法でどんな調査をし, どんな議論をしてきたかをお話することは, 鉱山調査の経験がない若い地質屋さんには



第1図 北薩地区の地質と鉱床. 須藤ほか(2003)を簡略化して作成. 主な鉱床は33.菱刈, 35.入来, 37.串木野など.

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: カオリン, 入来鉱山, 入来カオリン, 熱水変質作用, 粘土化作用



第2図 入来鉱山の位置と地質概要。地形図は国土地理院の5万分の1地形図「川内」の一部、地質は太田(1971)を簡略化。

貴重な情報ではないかと考え、古いフィールドノートに残された記録を掘り起こし、鉱床の調査例として紹介してみることにした。

### 1. はじめに

鉱床の調査例として最初に紹介する例は、鹿児島

県の入来鉱山のカオリン鉱床である。

入来鉱山は鹿児島県北西部、薩摩郡入来町にあり、入来カオリン有限会社により1964年(昭和39年)に開山され、2002年までに、約50万トンのカオリンが採掘され、主に製紙用に供給されてきた。日本を代表するカオリン鉱山の一つである。現在は、採掘を休止し、同社は中国やインドからカオリンを輸入し、精



写真1 蘭牟田池のあたり。右側の富士山型の山が飯盛山。池の左側には泥炭地が広がっている。



写真2 入来鉱山の露天採掘場。鉱山南西部高所から見た採掘場。2002年当時の状況である。

製・加工して販売している。

かつて、本鉱山付近は金鉱床として開発されたこともあり、カオリン鉱床と金鉱床の成因関係も注目され、鉱山周辺でも金属鉱業事業団による広域調査が行われ、構造ボーリング調査も実施されたこともある。

当時、地質調査所OBの藤井紀之氏から、「奇妙な鉱床だ」という情報をいただき、新たな「鉱床モデル」が作れるのでは？と考え、調査に向いたのは、平成7年(1995年)3月7日から10日までであった。

鉱山側より提供された地形図を修正しながら野外地質・鉱床調査を行った。同時に約150個の試料を10～20mの間隔で採取し、これらについてX線回折試験及び熱分析試験を行いこの鉱床の構造・成因などを検討した。一部は口頭発表(須藤, 2002)したが以下、その概要についてお話ししよう。

## 2. 北薩地区の地形・地質概説

入来鉱山は鹿児島県北西部、鹿児島市の北西方約25kmにある。この地域は、標高500～1,000mの山地で、最高点は紫尾山(標高1,067m)である。この山地の中央部を東の大口盆地から西の川内平野へ、川内川が深い谷を刻んで流下している。

この山地は白亜紀の堆積岩類が基盤となり、これを新第三紀の火山岩類が覆い、新第三紀の花崗岩類が貫いている。さらに第四紀更新世の小型火山が点在し、地域南部・東部には始良カルデラや加久藤カルデラ、霧島火山などの大型火山が見られる。

この一帯は、菱刈や串木野・大口などの日本を代

表する大型金鉱山が分布しており、北薩の金鉱床帯と呼ばれる。一方、カオリン鉱床も、大口カオリン・入来カオリン・川内カオリン鉱床があり、日本有数のカオリン鉱床帯でもある(第1図)。

入来カオリン鉱床は、入来温泉の東側、蘭牟田火山の西山麓にある(第2図・写真1)。この地区の地質は、蘭牟田火山噴出物がいわゆる「シラス」に覆われるところであり、鉱床付近には鮮新世の国分層群の酸性凝灰岩がわずかに露出しているとされる(第2図：太田, 1971)。

蘭牟田火山は、頂上に径1kmほどのカルデラを持つ小火山で、形成年代は新第三紀末期とされていた(太田, 1971)が、最近では第四紀更新世と考えられている(阪口・小林, 1989, 松本・藤井, 1989)。

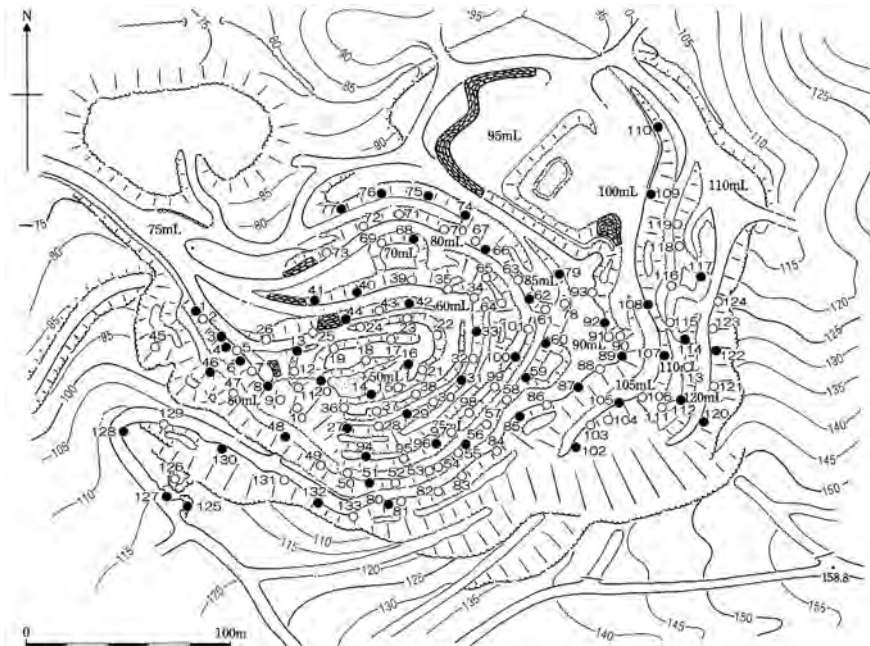
カオリン鉱床については藤井ほか(1989)の研究があり、鉱物については立山ほか(1986)、河野・富田(1991)、カオリンの精製については恒松ほか(1989)などの研究がある。

## 3. カオリン鉱床を調べる

現場に着くと、そこには長径300m、深さ100mほどの摺り鉢状の採掘場があった。粘土鉱山としてはかなり大きな部類である。まず、数日間でこの露天採掘場をどのように調べるか、どうすれば調べられるのかを考え、次のような手順で調査を行った。

第1日目は、鉱山側から提供された地形図を修正し、特徴的な地点の位置を確定させる作業を行い、層序区分・変質分帯についても区分基準の目安をつ





第3図 鉦山の地形と試料採取位置。鉦山より提供された地形図を簡易測量によって修正したもので原図のスケールは1:1000。

ける。夜間には、補正地形図を完成させ、翌日の調査に使用できるようにした(第3図)。

第2日目は、下部より順に、細かく層序・変質帯区分を行い、併せて10~20m間隔で、サンプリングを行った。夜間には、問題点を整理し、観察にポイント、サンプリング精度など若干の修正を決めた。

第3日目は、中部より順に、細かく層序・変質帯区分を行い、併せて10~20m間隔で、サンプリングを行った(第3図)。夜間には、層序・変質帯図を試作し、情報の足りない部分や野外で確認すべき事項を整理した。

第4日目は、情報の足りない部分や野外で確認すべき事項を中心に補足調査、補足サンプリングをした。

好天に恵まれ、何とか正味4日弱で一応の調査を終えた。

#### 4. 鉦床付近の地質

現地調査結果と採取試料の詳しい観察から、採掘場周辺の地質層序は下位より流紋岩質凝灰岩、下部変質安山岩、凝灰岩・凝灰角礫岩、上部安山岩と考えた。以下、各層について略述し、地質構造の復元

を試みる(第4、5図)。

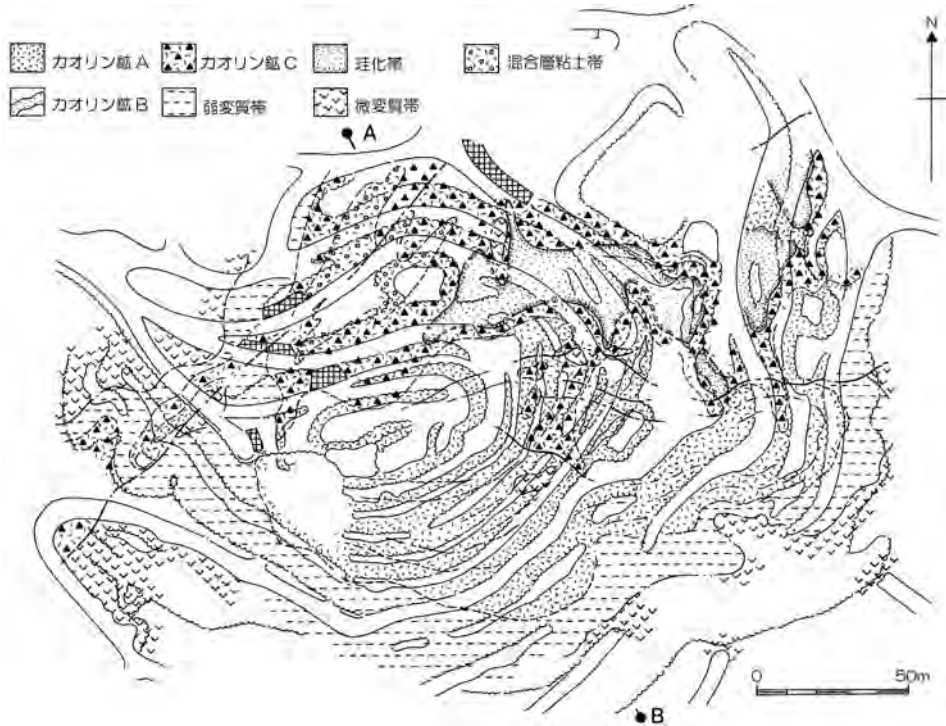
##### A. 地質層序

###### (1) 流紋岩質凝灰岩

採掘場北側の低所に分布している。淡褐色の流紋岩質凝灰岩で、脱ハリ作用により再結晶化しているものの変質作用は認められない。本岩中に旧入来鉦山の坑道が展開されており、金鉦床の母岩となっているものと考えられる。金属鉦業事業団のボーリング結果から、最下位層であり、おそらく鉦床付近の安山岩類の基盤をなしていると考えられる。

###### (2) 下部変質安山岩

採掘場北部入り口付近と南西縁辺部に分布する。金属鉦業事業団のボーリング結果から、流紋岩質凝灰岩を覆うものと考えられるが、地表では両者の関係はズリに覆われていて確認できない。赤褐色~緑灰色の安山岩で、細粒の石基中に、~2mmの自形・拍子木状の長石斑晶が点在する。広くモンモリロナイト化していて、脆い。南西縁辺部ではオパール~カオリン脈に貫かれる。



第4図 鉱床の地質と変質分帯。カオリン鉱の原岩が識別できないため地質と変質分帯を併せて示した。

### (3) 凝灰岩・凝灰角礫岩

採掘場の中央部に広く分布しており、北西側へ緩く傾斜した構造を示している。大局的には採掘場南側で下部変質安山岩にアバットしているように見えるが、正確な境界は急崖と強い変質のために確認できない。ほとんど礫を含まない凝灰岩、角礫を含む凝灰岩、ほとんど角礫のみからなる部分などが層を成して重なる。変質により組織が失われ岩石種が不明な部分も多い。著しい付加型珪化やカオリン化を受けており、岩石の組織が失われている部分も多い。

### (4) 上部安山岩

分布：採掘場南西部の高所、概ね標高120m以上に分布する。明らかに強く変質した凝灰岩・凝灰角礫岩を覆っている。青灰色の安山岩で、細粒の石基中に、～2mmの自形・拍子木状の長石斑晶が点在する。

変質：モンモリロナイト化しているが、玉状にかなり新鮮な部分が残存している。

## B. 地質構造

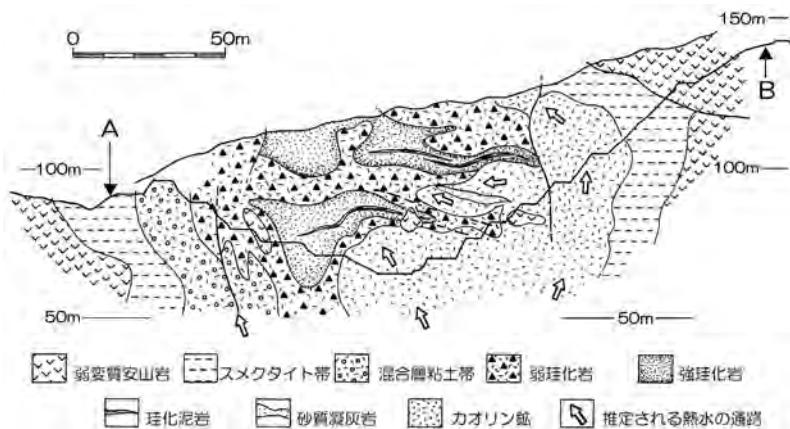
本鉱床付近に分布する角岩層は凝灰岩・凝灰角礫岩の一部に成層構造が認められるほかは、明瞭な地質構造を認めることができない。従って、岩石の露出状況から地質構造を推定してみよう。

採掘場の東西断面図に岩石の分布を投影して構造について考える。採掘場中央部の断面図を中心に、下部は採掘場北部の、上部は採掘場南部の断面を参考に作成した地質断面図を第5図に示した。この図から次のような点が確認される。

1. 採掘場中央部に広く分布する凝灰角礫岩は緩く西側へ傾斜している。
2. 凝灰角礫岩の東西両側には変質安山岩が分布し、両者は高角度の境界で接しているように見える。
3. 凝灰角礫岩中には変質安山岩に由来すると思われる巨大ブロックが含まれている(写真3, 4)。
4. 下部変質安山岩と凝灰角礫岩は上部安山岩に被われているように見える。

これらの観察事項に基づいて、下部変質安山岩中の凹地を凝灰角礫岩が埋め、それらの上位を、上部安山岩が被ったものと考えるのが妥当であろう。

凹地は深く、基盤と思われる流紋岩質凝灰岩や変



第5図 鉱床の地質と変質分帯(断面図)。A-Bの断面に、北東側高所の地質状況を併せて示した。推定される熱水の通路を矢印で示した。



写真3 巨大ブロック(B)の例。扁平な凝灰岩と思われる岩塊で、珩化し、鉄で汚染されている。



写真4 巨大ブロックの例。安山岩の組織を残し、スメクタイトが主たる変質鉱物である。

質した安山岩の角礫を含む凝灰角礫岩で埋められており、凹地の壁から崩れ落ちたと思われる巨大なブロックも認められる。火山性の深い凹地、おそらくは一種の爆裂火口であったと考えるのが妥当であろう。採掘場付近の凝灰角礫岩の分布は円形の漏斗状と推定される。

### 5. 鉱床付近の変質分帯

鉱床付近では下部変質安山岩、凝灰岩・凝灰角礫岩が強く変質し、特にカオリン化の強い部分がカオリン鉱として採掘されている。本項では採掘場で認められる変質について述べる。

採掘場において詳しい肉眼観察を行うとともに約

150個の試料を採取して、X線回折試験を行い、約半数については熱分析試験も行って鉱物組成を推定した。この結果、採掘場付近の岩石の構成鉱物として、カオリン、石英、雲母粘土鉱物、クリストバライト、モンモリロナイト(スメクタイト)、黄鉄鉱、混合層粘土鉱物、アルーナイト、オパールなどが検出された。

構成鉱物と肉眼的な特徴から、雲母粘土鉱物、クリストバライト、モンモリロナイト(スメクタイト)、混合層粘土鉱物などが分布する「弱変質帯」、石英分による膠着が著しい「珩化帯」、カオリンを多量に含む「カオリン化帯」の3帯を識別した。

#### (1) 弱変質帯

採掘場の周囲に広く分布している。安山岩や凝灰





写真5 珪化岩の例。暗灰色緻密で、礫は多孔質で脆くなっている。

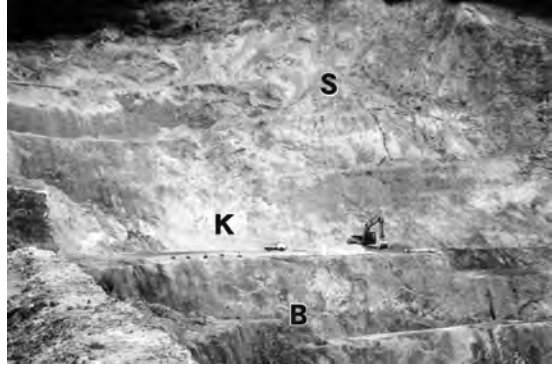


写真7 カオリン鉱床の上部。白色のカオリン鉱体が入道雲のように上方へせり上がっている。



写真6 珪化岩の例。角礫岩の組織がそのまま残され、鉄による褐色の汚染もひどい。

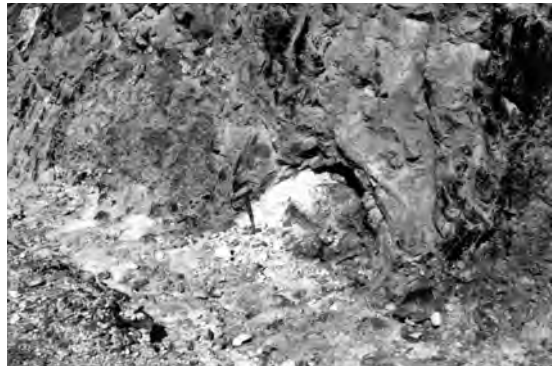


写真8 珪化岩とカオリン鉱床。カオリン鉱床の頭が珪化帯の下から覗いている。

岩の組織が残り、一般に安山岩を原岩とするものでは紫灰色を、凝灰岩を原岩とするものでは淡灰色を呈することが多い。

鉱物組成は石英、雲母粘土鉱物、クリストバライト、モンモリロナイト(スメクタイト)、黄鉄鉱、混合層粘土鉱物などからなり、まれにアレーナイトやオパールが伴われる。

## (2) 珪化帯

採掘場北東側中段を中心に分布している。凝灰岩や凝灰角礫岩を石英が膠着し、暗灰色～黒色で極めて緻密・硬質な岩石となっている。珪化岩中の角礫には珪化されずに弱変質のまま残っているものも多い。

珪化の強い部分では殆ど石英からなり、若干の雲母粘土鉱物、モンモリロナイト(スメクタイト)、黄鉄鉱、混合層粘土鉱物などが伴われている。

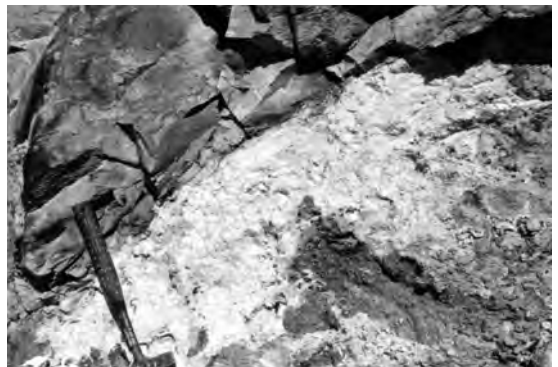
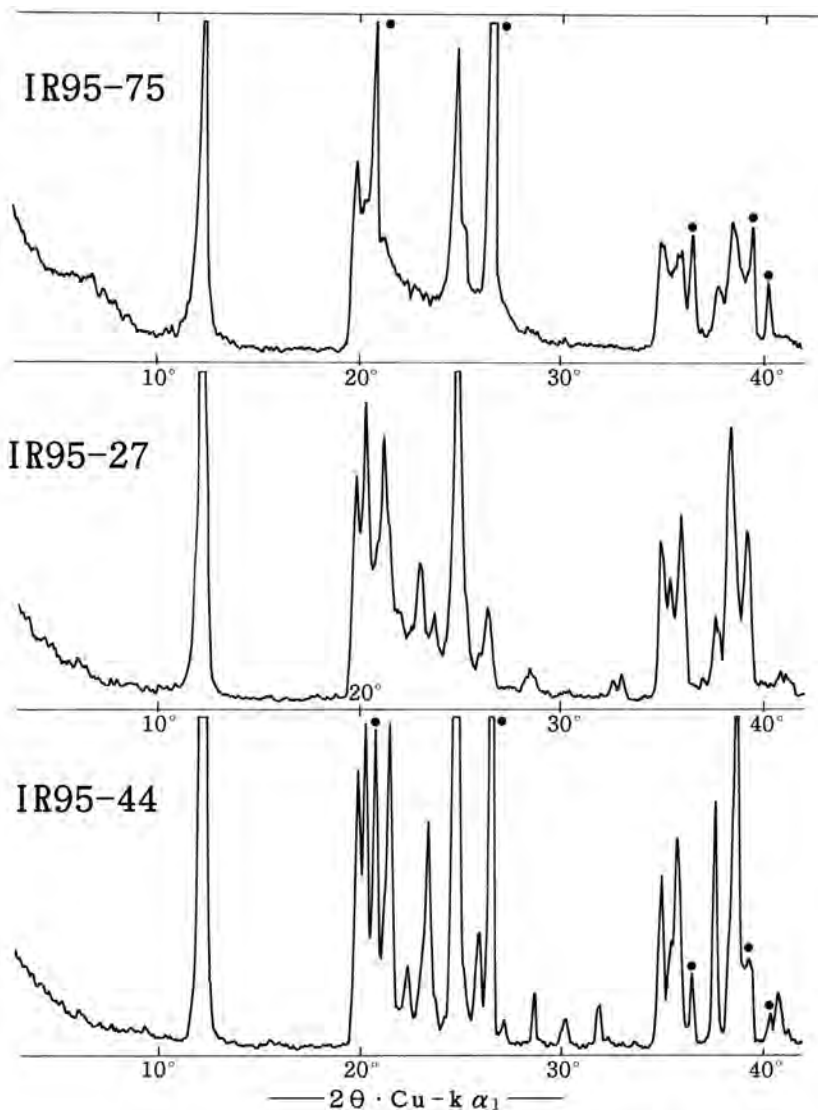


写真9 珪化帯とカオリン鉱床。写真8の一部を拡大。両者はシャープな境界で接し、漸移帯はない。

## (3) カオリン化帯

採掘場の西部から中央部、南東部にかけて広く分布している。上方へ延びる芋状あるいは入道雲のよ



第6図 カオリン鉱のX線回折パターン。実験条件は40KV, 150mA, 回折速度16°/分。機材はリガク製ロータフレックス。回折ピークの鋭さの異なる試料が見られる。

うな形を呈している(写真7)。採掘場周辺部では鉱床は弱変質帯へと漸移的に変わる。採掘場中央部では、珪化岩と鉱床の頂部はシャープな境で接しており、漸移帯は見られない(写真8, 9)。

強いカオリン化により組織は失われ、灰白色の粘土塊として産出する。カオリン品位の低いものでは原岩の組織が残存するものもある。

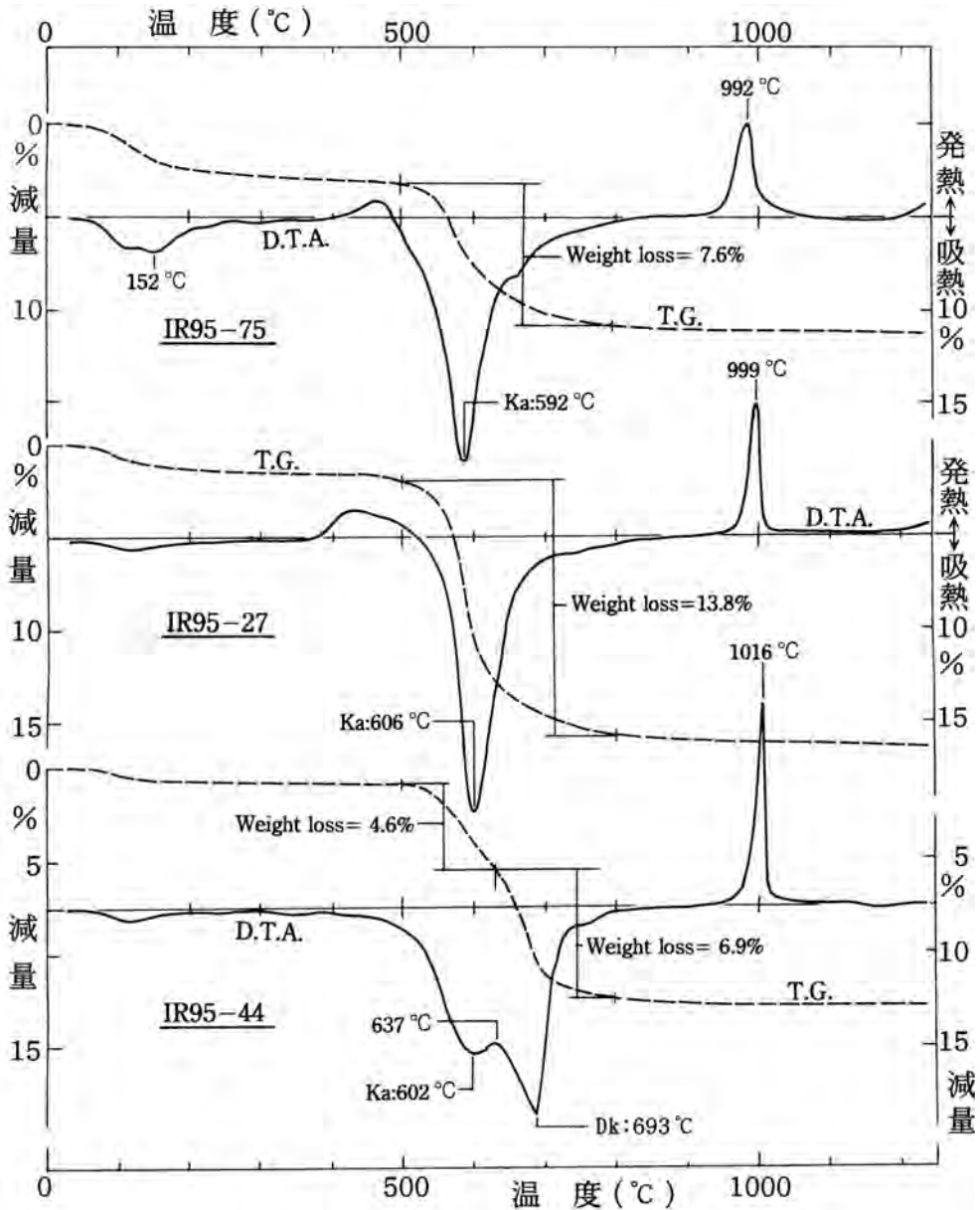
鉱物組成はカオリンを主成分とし、石英を普遍的に伴い、時に雲母粘土鉱物、クリストバライト、モンモリロナイト(スメクタイト)、黄鉄鉱などを伴うこともあ

る。

## 6. カオリン鉱床

本項では、本鉱床の稼行対象となっているカオリン鉱物について述べる。本鉱床では、上に述べたカオリン化帯のほぼ全部が採掘対象、つまり鉱床となっている。採取試料のうちカオリン化帯から採取されたカオリン鉱約80試料については熱分析試験を行い、カオリン含有量を半定量するとともに、分解温度の測





第7図 カオリン鉱のTG-DTAカーブ。実験条件は試料重量200mg, 昇温速度20°C/分。機材はリガク製サーモフレックス。X線回折パターンが複雑な試料ほど、主吸熱ピークの位置は高温となる。

定も行った。以下試験結果について述べる。

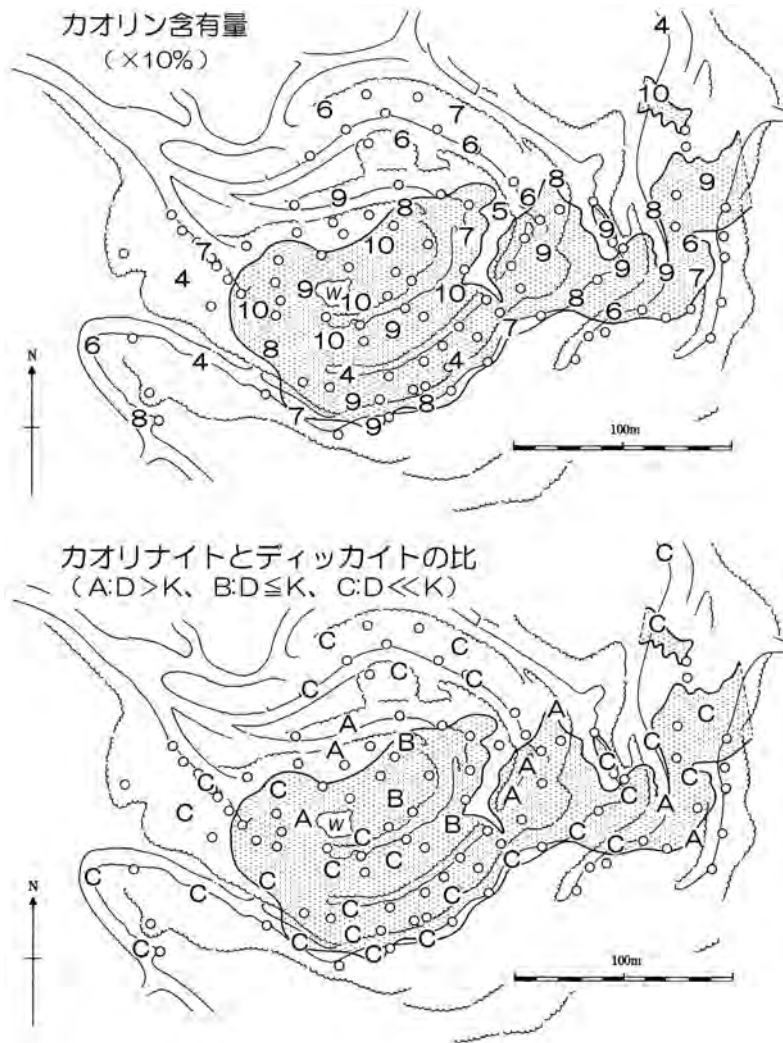
X線回折試験では、結晶性の比較的低いカオリナイトから、結晶性の高いカオリナイト、さらに結晶性の高いディッカイトが識別された(第6図)。

熱分析試験では、主に500～650°Cにおける結晶構造水の逸散に伴う変化に着目し、この間の減量を基にカオリン鉱物含有量を半定量した。また、DTAカ

ーブ上の吸熱ピークの温度は、X線回折試験で示されるカオリン鉱物の結晶性の高さと良い相関性があることが再確認された(第7図)。

#### (1) カオリンの品位分布と鉱床の形態

上記試験によって得られたカオリン含有量をカオリン鉱床図に示した。カオリンの品位は、鉱床の大部分



第8図 カオリン鉱床の内部構造、鉱床内でのカオリン含有量の変化とカオリナイト(Kと略記)とディッカイト(Dと略記)の比を表示した。

で70%を超えている。採掘場中央の高品位部では90%を超え、周辺部に向かって品位は低下している様子が把握された。

高品位部の形は縦長の芋状で、採掘場中央部から東部に主鉱体があり、これを形成した熱水の主要な流れは、矢印の様な経路であったと考えられよう。

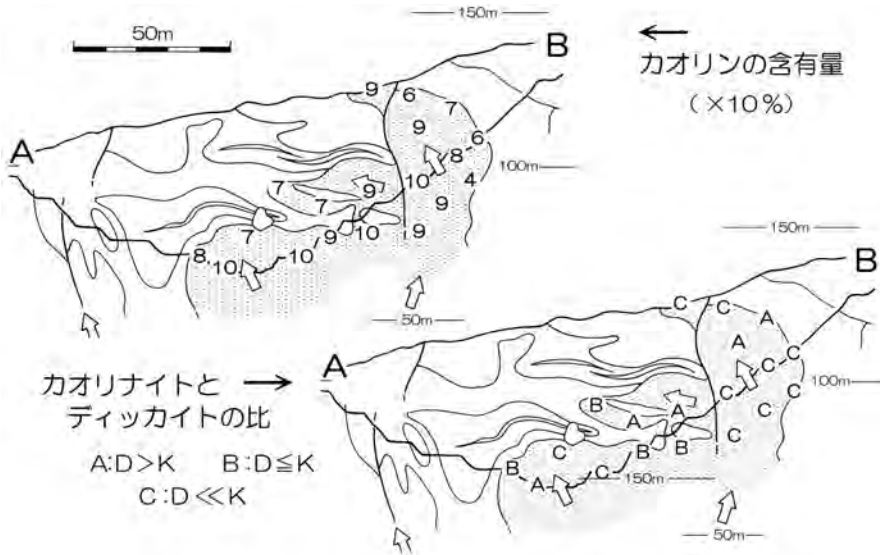
(2) 熱水系の熱構造

カオリンの結晶性・分解温度からより結晶性の高いカオリナイトは高温条件下で、ディッカイトはより高温の熱水条件下で形成されたものと考えられる。

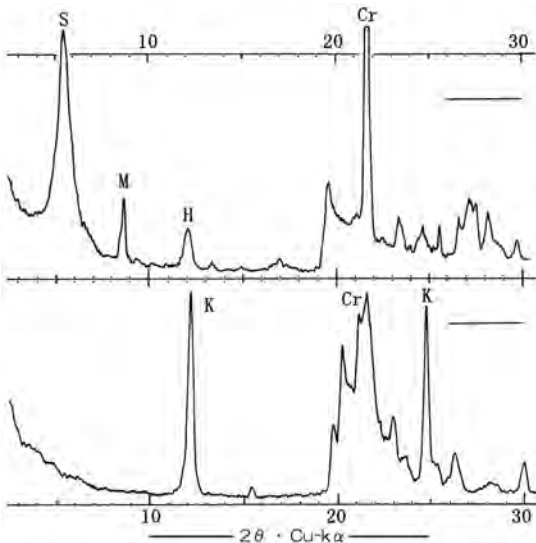
各試料について推定されるカオリナイトとディッカイトの相対的な量比を第8, 9図に示した。ディッカイトが多く含まれる試料、つまりより高温下で形成されたと思われる試料の多くは鉱床の周辺部に分布していることが判明した。つまり、熱水系は中心部よりも周辺部で温度が高かったように見える。

高温の熱水が下方より上昇し、その周囲をカオリン化させて鉱床を形成したとすれば、カオリン化作用の中心部ほどカオリン含有量が高く、その形成温度も高いはずである。

この鉱床の場合、カオリン含有量は中心部で高い



第9図 カオリン鉱床の内部構造(断面図). 鉱床断面でのカオリン含有量の変化とカオリナイト(Kと略記)とディッカイト(Dと略記)の比を表示した.



第10図 2つのクリストバライトのX線回折パターン. 実験条件は第6図に同じ.

ものの、高温で形成されたとと思われるディッカイトを多く含む試料は主に鉱床北側縁辺部に点在分布しており、鉱床の中心部では中～低温型カオリンが多く分布している。つまり高温部と鉱床の中心は一致していないようだ。

このことは、次のような鉱床の形成プロセスを想定

すれば説明可能であろう。熱水の活動が始まり、低～中温時にカオリン化がかなり進行した。その後熱水が高温化したが、鉱床の中心部は粘土化が進行していたため、熱水はその縁を伝って上昇し、鉱床の縁辺部に高温型のカオリンを形成したと解釈される。

鉱床の断面図に示されるように、鉱床の上部は積乱雲の頂部のように上に凸の形状を示し、珪化帯とは極めてシャープな境界で接する部分が見られる。このことは、カオリン化作用をもたらした熱水系が急速に上昇して、珪化帯を突き破るようにカオリン化させていったことを示すものであろう。

## 7. 鉱石・鉱物

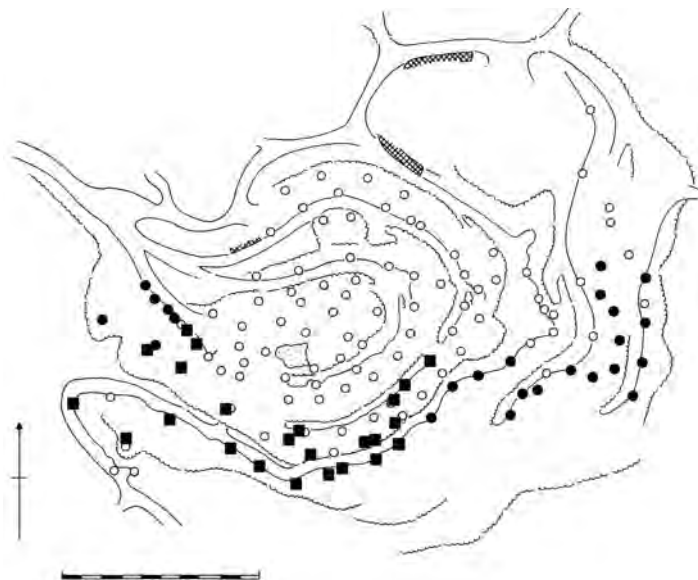
特異な鉱石や鉱物、その産状について述べ、鉱化作用の側面について考察する。

### (1) 2つのクリストバライト

X線回折試験から、鉱床周辺の弱変質の安山岩中には、クリストバライトが含有されるものも多い。これらに含まれるクリストバライトはX線回折パターンの21度付近に極めてシャープなピークを示している。

一方、採掘場の南西端部から鉱床南部にかけては、カオリン細脈の周辺部の試料を中心にクリストバ





第11図 2つのクリストバライトの分布。

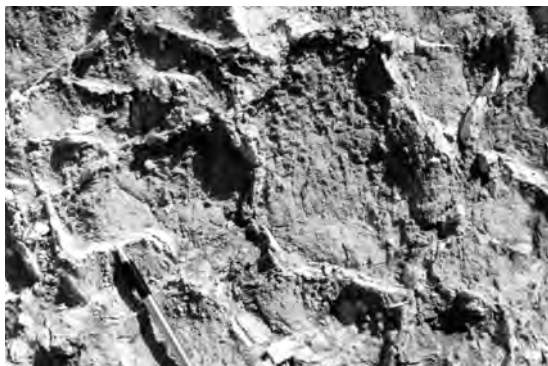
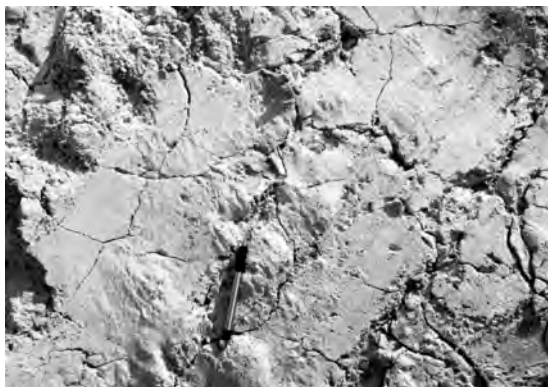


写真10 採掘壁に見られる亀甲状の乾裂(上)と乾裂を埋めたとと思われる亀甲状の石英細脈。まさに「現代は過去を解く鍵である」だ。

ライトが出現するが、これらはX線回折パターンの21度付近に極めてブロードなピークを示している。これは、一種のオパールCT(例えば鹿野, 1986)かも知れない。今後の検討を要する。

### (2) 亀甲状の石英細脈

採掘場下部のカオリン鉱に亀甲状の割れ目を埋めた厚さ数ミリ以下の薄い石英脈が観察された。カオリン鉱の表面にも、乾燥によってよく似た亀甲状の乾裂が観察される。おそらく、鉱床形成以後、開発される以前に、鉱体の一部が乾燥して亀裂が発生するような状況があり、その亀裂を埋めて細脈が形成されたことを示すものであろう。

## 8. まとめ

入来カオリン鉱床について概査を行い、次のような形成環境・形成プロセスを推定した。

1. 蘭牟田火山の活動前期に、鉱床付近に径200m、深さ50mほどの爆裂火口が形成された。
2. 火口は噴出岩塊や崩落物・火山灰などで埋積された。
3. 爆裂火口の下部で熱水活動が始まった。
4. 下方でカオリン化が起り、珪酸分に富む熱水が

上昇し、鉾床付近中部に珪酸分が沈着し珪化帯が造られた。

5. 熱水系が上昇しカオリン化帯が成長、珪化帯の下部をカオリン化し、一部は珪化帯を突き破って鉾床上部までカオリン化が及んだ。
6. 上部安山岩溶岩が流下して、鉾床の上部が覆われる。
7. 徐々に熱水活動が低下し、鉾床が保存された。

なお、鉾山のボーリング資料によれば、本鉾床の北々西側には同様のカオリン化した凝灰角礫岩の分布が確認されており、複数の爆裂火口が東北東-西南西方向に配列していた可能性もあり、類似鉾床が賦存する可能性も高い。

## 9. おわりに

2002年の資源地質学会で講演し、何人かの方から「興味深いので是非公表を」との要望をいただきながらも、月日のたつのは早いもので、既に5年立ってしまった。退職を前によく脱稿にこぎつけた。若い資源地質屋さんの参考になれば幸いである。

最後に、調査にあたりご協力いただいた入来カオリン(有)と、当時同社顧問であった藤井紀之博士に謝意を表します。

## 文 献

- 藤井紀之・月村勝宏・JULIO James M. (1989)：鹿児島県入来カオリン鉾床の産状と形成過程，地質調査所月報，40，6，299-322，地質調査所。
- 鹿野和彦 (1986)：オパールCTのd (101) 面隔-堆積物の熱史の指標-，堆積学研究会報，堆積岩の続成作用に関する研究，17/19，137-142，堆積学研究会。
- 河野元治・富田克利 (1991)：鹿児島県入来カオリン鉾床産カオリナイトの鉾物学的性質と生成過程，粘土科学，30，4，229-239，日本粘土学会。
- 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-入来カオリン鉾床の生成時期と関連して-，岩鉾・日本岩石鉾物鉾床学会誌，84，11，398-402，日本岩石鉾物鉾床学会。
- 太田良平 (1971)：5万分の1地質図幅「川内」および説明書，地質調査所。
- 阪口圭一・小林哲夫 (1989)：蘭牟田火山のK-Ar年代 (演旨)，日本火山学会講演予稿集，1989，1，7-7，日本火山学会。
- 須藤定久 (2002)：鹿児島県入来鉾床におけるカオリン鉾化作用 (演旨)，資源地質学会講演会講演要旨集，52，51-51，資源地質学会。
- 須藤定久・渡辺 寧・小村幸二郎 (2003)：50万分の1鉾物資源図「九州」，産業技術総合研究所。
- 立山 博・恒松絹江・神野好孝・広末英晴 (1986)：鹿児島県入来鉾山のカオリンと混合層鉾物について (演旨)，粘土科学討論会講演要旨集，no.30，p.21，日本粘土学会。
- 恒松絹江・立山 博・石橋 修・木村邦夫・広末英晴・陣内和彦 (1987)：入来カオリンの鉾物学的性状と高勾配磁気分離装置による精選，日本鉾業会誌，103，1191，309-314，日本鉾業会。
- 恒松絹江・立山 博・石橋 修・神野好孝・広末英晴・陣内和彦 (1989)：入来カオリンの分散・凝集性と高勾配磁気分散装置による精選，資源と素材，105，12，939-943，資源・素材学会。

---

SUDO Sadahisa (2008)：Kaolin ore deposit of Iriki mine, Kagoshima prefecture, Southwest Japan

---

<受付：2007年11月30日>