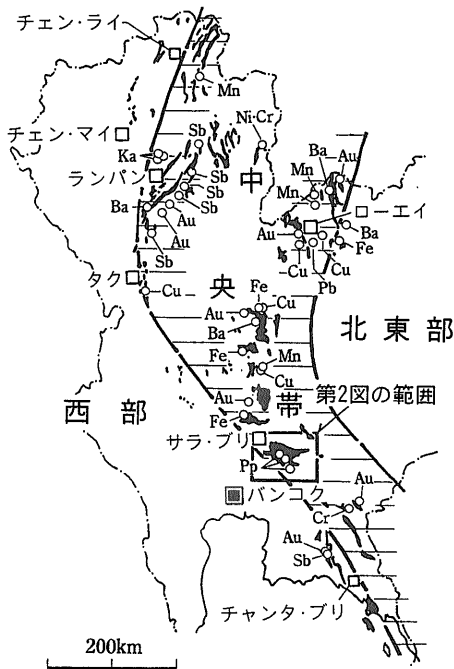


タイの鉱物資源(3) サラ・ブリ地区のろう石鉱床

須藤 定久¹⁾

1. はじめに

タイの中央部を南北に走る中央帯には古～中生代の中～酸性火山岩が点在分布しており, 多くの鉱床が伴われている. タイの首都バンコクの北東150km付近のサラ・ブリ市からナコン・ナヨク市にかけての丘陵地帯は, タイで最もまとまった古期火山岩類の分布があり, タイを代表するろう石の産地



第1図 中央帯の火山岩類と鉱床. 火山岩類とそれに伴われる主要鉱床の分布を示した. 鉱種は, Mn=マンガン, Ni=ニッケル, Cr=クローム, Sb=アンチモン, Au=金, Ba=重晶石, Ka=カオリン, Cu=銅, Fe=鉄, Pp=パイロフィライト. (Jungyusuk N. and Khositanont S.,1992を一部改変)

となっている(第1図).

タイ国鉱物資源局(DMR)との共同研究を実施する中で, 1991年に, この地域のろう石鉱床を訪ねる機会を得た. この地域の鉱床の概要を紹介し, その成因や存在意義について考えてみよう.

2. サラ・ブリの町

バンコクから国道1号線を北へ約2時間, 100km程進むと, サラ・ブリの町に到着する. この町は北部の中心地チェン・マイを経てタイ北端の町チェン・ライへ向かう国道1号線と, メコン川を挟んでラオスの首都ヴィエンチャンと向かい合う町ノンカイに至る国道2号線の分岐点となっている交通の要衝である. 国道の上り車線はバンコクへ向う車でいつも渋滞している(写真1).

サラ・ブリ市はタイを代表する鉱業都市でもある. 町の北東側の山地には厚い石灰岩が分布し, タイ最大の石灰石産地であり, セメントの一大生産

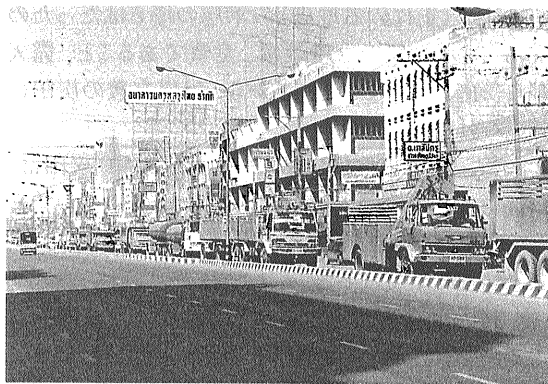


写真1 サラ・ブリの交通渋滞. 国道1,2号線が合流するこの町では, 向こう側の上り線がいつも渋滞している.

1) 地質調査所 鉱物資源部

キーワード: タイ国, 鉱物資源, 工業原料鉱物, ろう石



写真2 活気あふれるサラ・ブリの市場。山積みされた魚や野菜の横には底抜けに明るいおばさんの笑顔がある。

基地でもある(山田尚男・阿部 昭, 1991, 石灰石鉱業協会技術委員会, 1993). 発展を続けるバンコクとその周辺地域に向けて, セメントや石灰石の碎石を満載して南下していくトラックも目につく。まさにタイの基盤を支える地区である。このように活気あふれる町であり, あちらこちらで活気あふれる市民の生活を見ることができる(写真2)。

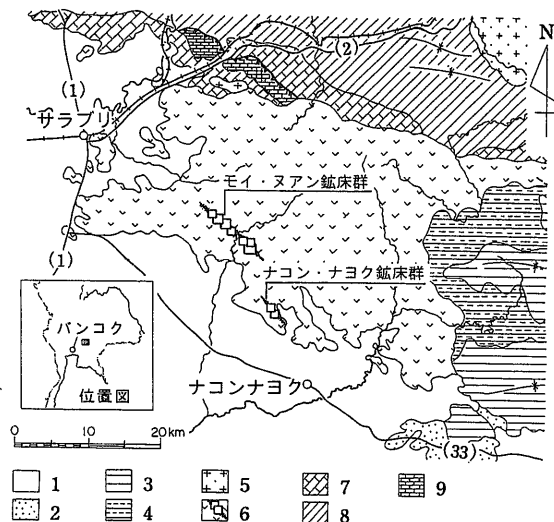
3. サラ・ブリ地域の地質概要

サラ・ブリ地域の地質図を第2図に示した。この図からわかるように, この地域の古期岩類は基本的に緩い南傾斜である。北から南へ, 古い岩石から若い岩石が分布している。

サラ・ブリの北側の山地には, 二疊紀のラップリ層群が広く露出し, その主体をなす石灰岩がこの地域の重要な資源となっていることは既に述べたとおりである。

町の南東側の丘陵地帯には二疊紀のラップリ層群を不整合に覆ってろう石鉱床を胚胎する火山岩類が発達している。この火山岩類の形成年代は, ペルム紀～ジュラ紀で, 構成岩石は安山岩～流紋岩質の凝灰岩, 溶結凝灰岩, 凝灰角礫岩, 熔岩などからなる。東西60km, 南北40kmにわたって広い分布を示すが詳しい層序や構造は未だ解明されていない。

近年この火山岩類についても年代測定が行われ, 2億2,500万年前後の値の他に, 7,000万年前後の若い年代も報告されている。この火山岩類の



第2図 サラ・ブリ地域の地質図。1=沖積層(砂礫, 泥=第四紀), 2=洪積層(砂礫, 粘土=第四紀), 3~4=コラート層群ウィハン累層(ジュラ紀後期), 3=同累層上部(砂岩, 頁岩, チャート), 4=同累層下部(砂岩, 頁岩, チャート), 5=ソイオイ花崗岩(三疊紀後期), 6=ろう石鉱床とカオヤイ火山岩類(流紋岩類, ペルム～三疊紀), 7~9=ラップリ層群(ペルム紀), 7=ソップボン累層(砂岩, 頁岩, チャート, 石灰岩), 8=カオカッド累層(石灰岩, チャート, 砂岩), 9=パンアソ累層(頁岩, 砂岩, 石灰岩)。25万分の1地質図幅「アユタヤ」(DMR)の一部を簡略化。

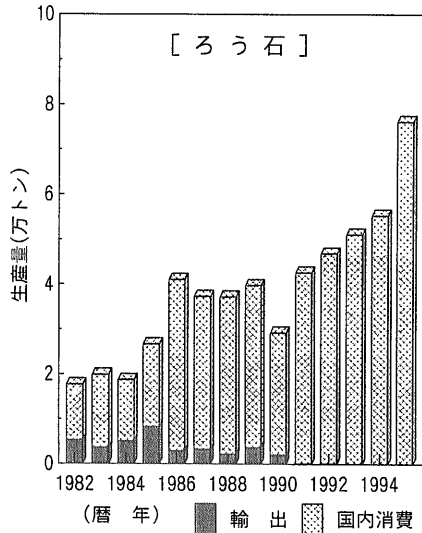
詳細の解明にはまだ時間がかかりそうである。

さらに南東方, ナコンナヨク市東方の山地にはこの火山岩類を覆うとされるジュラ紀の地層が広い分布を示している。

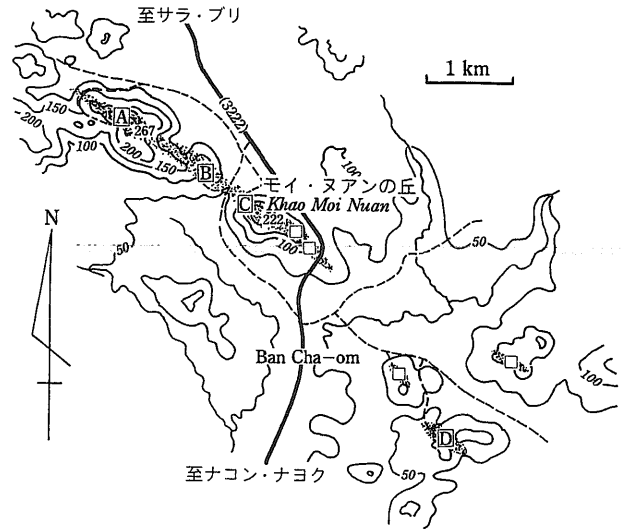
4. ろう石鉱床

タイのろう石生産: ろう石は耐火性が強いことから, 近代製鉄業の開始とともに, 溶鉱炉用の耐火煉瓦の主要原料として使われてきた。しかし最近では, ガラス繊維の主要な原料として重要視されている。というのは, ガラス繊維は布におられ, プラスチックの間に挟み込まれ, コンピュータなどの電子機器の部品を集積する基盤となるからである。電子産業を支える重要な資源となっているのである。

最近の, タイのろう石生産量を第3図に示した(ディッカイトとして集計されてきた)。1985年以前は年産2万t前後であったが, その後生産量が増加す



第3図 タイのろう石生産推移。DMRの統計資料に基づいて作成した。1992, 1993年は筆者による推定値。



第4図 ろう石鉱床群の分布見取図。A=ピーアールデー鉱山, B=ピアン・ディン・ソン鉱山, C=モイ・ヌアン鉱山, D=マライポーン鉱山。砂目模様でろう石変質帯の方向性を示した。数字は海拔高度 (m)。



写真3 拡幅が進む国道4号線。2車線から4車線へと着々と工事が進められている。サラ・プリの東郊外で。

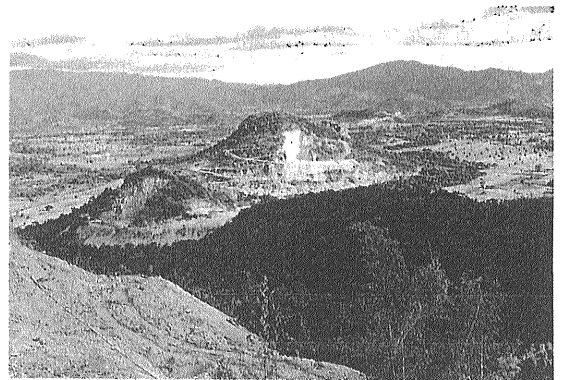


写真4 モイ・ヌアン鉱床群の直線的配列。この地域の鉱床がほぼ一直線上に配列しているのがよくわかる。PRD 鉱山から南東方向を遠望した。

るとともに、輸出は減らされ、1992年以降全量国内消費となり、生産高も1995年には7万5千tに達している。タイの電子産業の伸びを反映したものであろう。生産地は、サラ・プリ市からナコン・ナヨク市へかけての地域のみである。

ろう石鉱床へ：サラ・プリの市街地から国道2号線を東へ進む。いたるところで国道を拡張する工事が進められている(写真3)。10km程進んだところで右折し、地方道3222号線を20km程南下する。緩やかな起伏の丘陵地を進んでゆくと、前方の丘

のうえに採掘場が見えて来る。

採掘場のひとつに上ってみると、南東方向が広く見渡せた。南東方向にはほぼ一直線に丘が並び、それぞれに採掘場が見える。鉱床がまさに一直線に並んで分布しているのが見える(第4図、写真4)。風化に弱いはずの鉱床が残丘状に残ったのは、鉱床の周辺に形成されている珪化帯が風化・侵食から鉱床をまもったためであろう。

これらの鉱床は北西から南東へ、PRD 鉱山、ピアン・ディン・ソン鉱山、モイ・ヌアン鉱山、マライポ

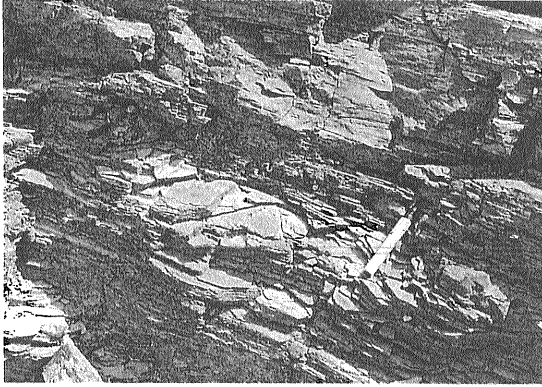
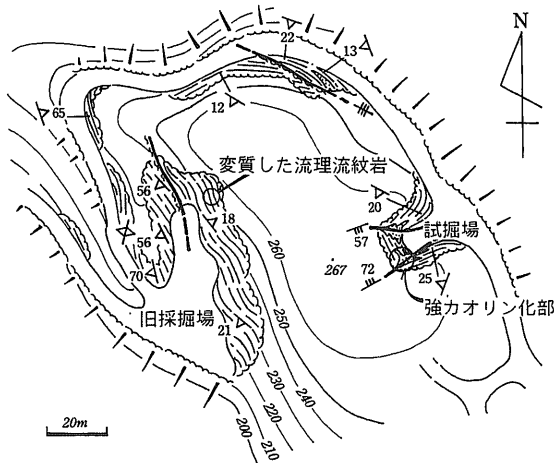


写真5 流理の著しい陶石(PRD鉱山)。流理に沿って薄く剥離する。石英とセリサイトを主成分とし、黄鉄鉱に汚染されている。



第5図 ピーアールデー鉱山付近の見取り図。流紋岩の流理の走向・傾斜は一定しない。丘の頂上近くに旧採掘場と試掘場がある。

ーン鉱山の鉱床だという。脈状の陶石質ろう石、塊状のパイロフィライト質ろう石、層状のカオリン質ろう石鉱床と個性的な鉱床が並んでいる。そのいくつかを紹介してみよう。

(1) ピーアールデー鉱山のろう石鉱床

ピーアールデー(PRD)鉱山(Suwan Thoraney Co.)はこの地域の鉱床群の北西端、標高256m、比高200mの丘の頂上付近にある。この丘は、流理の著しい流紋岩からなり、標高210m付近に馬蹄形の小さな旧採掘場がある。ここには石英・セリサイトを主成分とし黄鉄鉱に汚染された低品位ろう石が露出していた(写真5)。黄鉄鉱の少ない良質部が採掘された後休山したらしい。

第1表 ろう石の化学組成。代表的試料の化学分析値(上)とそれに基づいて計算した粘土ノルム組成(下)を示した。産地の略号はP.R.D.=ピーアールデー鉱山, M.N.=モイ・ヌアン鉱山, M.=マライポーン鉱山。鉱物組合の略号はQz=石英, Ka=カオリン, Se=セリサイト。化学分析はケメックス(株)。粘土ノルムの算出は五十嵐(1984)の方法により、鉱物略号は: Q=石英, ab=曹長石, ka=カオリン, se=セリサイト, mo=モンモリロナイト, pp=パイロフィライト, gi=ギブサイト, li=褐鉄鉱, il=イルメナイト, ru=ルチル, ap=アパタイト, ot=そのほかの鉱物。

分析番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
産地	P.R.D.	P.R.D.	M.N.	M.	M.	M.
試料	ろう石鉱	流紋岩	陶石質鉱	ろう石鉱	陶石質鉱	ろう石鉱
鉱物組合	Dic	Qz,Se	Qz,Se,Ka	Pp,Qz	Qz,Ka,Se	Pp,Qz
SiO ₂	44.86	81.90	74.87	76.97	66.66	75.69
TiO ₂	0.07	0.22	0.28	0.47	0.53	0.25
Al ₂ O ₃	39.82	11.80	17.05	16.79	19.08	18.40
Fe ₂ O ₃	0.01	0.58	0.09	0.19	0.13	0.19
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.01	0.43	0.02	0.01	0.01	0.01
CaO	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01
Na ₂ O	0.01	0.04	0.07	0.08	0.21	0.06
K ₂ O	0.01	3.43	2.45	0.01	1.64	0.04
P ₂ O ₅	0.02	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05
Ig. loss	14.62	2.85	5.46	4.07	11.20	4.67
Others	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01
Total	99.46	101.37	100.37	98.68	99.60	99.39
Q		66.96	54.48	37.29	43.35	32.37
ab	0.04		0.51	0.63	1.73	0.46
ka	96.09		22.65		33.90	
se	0.08	29.01	20.72	0.08	13.87	0.34
mo	0.12	3.08	0.24		0.12	0.12
pp/gi	gi 2.75			pp 58.69		pp 64.15
li	0.01	0.65	0.10	0.21	0.14	0.21
il	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ru	0.06	0.21	0.27	0.46	0.52	0.24
ap	0.02	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02
ot	0.27	1.48	1.37	1.14	5.91	1.46
Total	99.46	101.46	100.38	98.68	99.60	99.39

さらに、頂上付近まで探鉱用の道路が造られていた。この探鉱用道路の切り割りや試掘場には、黄鉄鉱汚染がほとんどない良質なカオリン鉱が露出していた(第5図)。良質なカオリン鉱は断層沿いに限られ、鉱量的には不十分であるが、深部に向かって膨張するものと考えられ、一層の探査が期待される。

この鉱床から15試料を採取して鉱物組成を検討したが、すべてカオリン・セリサイト質で、パイロフィライトは検出されなかった。また、外見上も本鉱床産の鉱石は白色で蠟感に乏しく、鉱物組成からみても陶石質ろう石と呼ぶべきものである。

代表的な鉱石(変質流紋岩)の化学組成は第1表

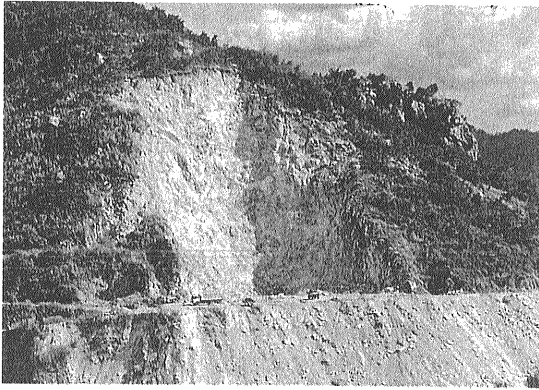


写真6 モイ・ヌアン鉱山のろう石鉱床。鉱山北西側の丘にあるピアン・ディン・ソン鉱山から。



写真7 モイ・ヌアン鉱山で採掘されたろう石鉱を小割・選鉱する作業員。強い日差しと、白い崖からの照り返しで、とてもまぶしい。

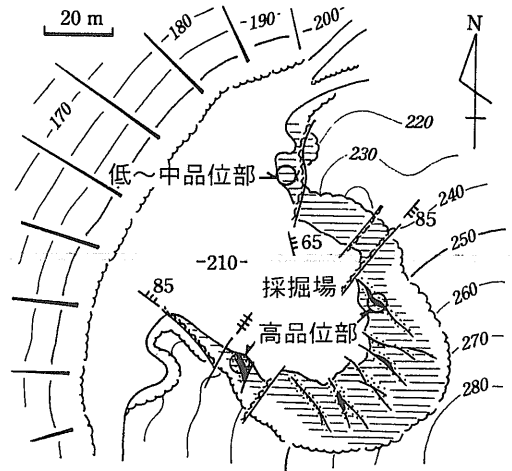
のNo.2に示したとおりであり、これに基づいて算出されるノルム粘土鉱物量は約32%である。また、断層沿いに観察される高品位ろう石鉱(第1表のNo.1)ではカオリナイトの含有量が96%と、極めて高品位であった。

(2) モイ・ヌアン鉱山のろう石鉱床

モイ・ヌアン(Moi Nuan)鉱山は、モイ・ヌアンの丘の北西側斜面にある。幅約120m、高さ約70mの採掘場が設けられ、盛んに採掘中である(写真6)。月産1,000tで、一部高品位鉱を台湾へ輸出しているという。

急な崖の中程では作業員が、削岩機でダイナマイト用の穴をあけている。崖下の広場では、覆面をした作業員が鉱石をハンマーで小割りしながら、高品位鉱を選り分けている(写真7)。

採掘場とその周辺は変質が進んでおり、白色・



第6図 モイ・ヌアン鉱山の見取図。傾斜面採掘法の採掘場の規模は幅70m、高さ70m程である。

やや硬質で、原岩は判然としない。しかし、一部に角礫状の組織がわずかに残存することから塊状の凝灰角礫岩ではないと思われる。

鉱床は全体としては塊状であるが、採掘場の崖を観察すると、NW-SE方向とそれを切るNE-SW方向の割れ目が観察され、高品位部はNW-SE方向割れ目に沿って配列しており、鉱化作用は主としてNW-SE方向の割れ目に沿って行われたと考えられる(第6図)。この方向はこの地区全体の鉱床の配列方向とほぼ並行している。

鉱石は石英・カオリンを主成分とし、極局所的にはあるが純粋なカオリン鉱も産出する。高品位鉱は緻密で灰色ないし淡い黄緑色で、蠟感に富んでおり、典型的なカオリン質蠟石である。割れ目沿いから採取された試料からは少量のダイアスポアや明パン石が検出された。しかし採取した15試料からはパイロフィライトは検出されなかった。

中品位鉱の化学組成は第1表のNo.3に示した。ノルム組成では、概ね石英55%、カオリン・セリサイトが45%と算出された。

(3) マライポーン鉱山のろう石鉱床

マライポーン(Malaiporn)鉱山の鉱床はこの地域の鉱床群の南東端に位置する鉱床である。この鉱床はこの地域では1番の規模を有している。長年にわたり、鉱石を台湾に輸出しており、累計輸出量は20万tに達する。現在は月産1,500t程である。

東西方向に伸びた比高60~100mの丘に、新旧

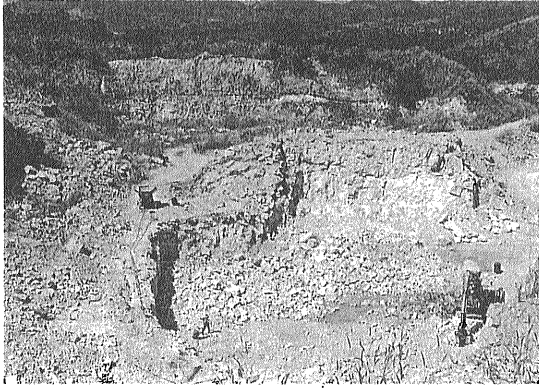
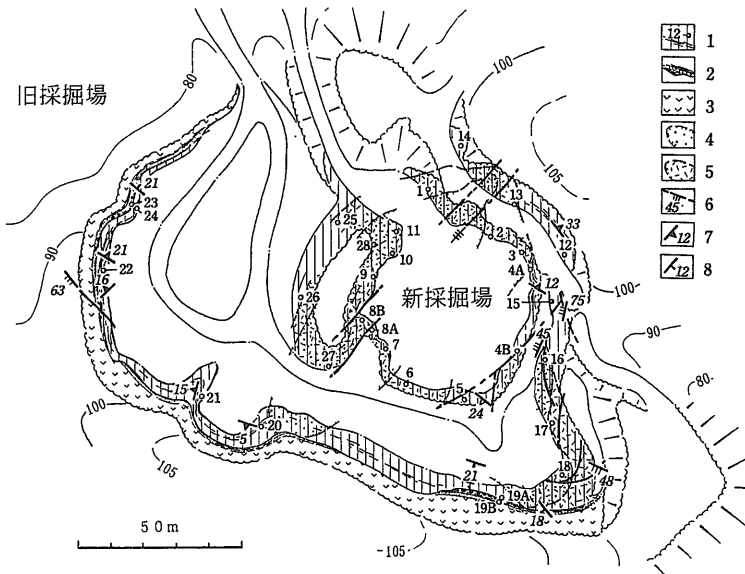


写真8 マライポーン鉱山の露天採掘場。採掘場中央から西を望む。後ろの崖のむこうに旧採掘場がある。手前の崖付近が鉱化中心。



写真9 ろう石化した凝灰岩(マライポーン鉱山)。細かいガラス片からなり、所々に暗褐色の扁平化した本質レンズが含まれる。



第7図

マライポーン鉱床の地質・鉱床図。1=凝灰岩類(細線は成層部)と試料採取位置・番号, 2=砂岩・頁岩, 3=溶結凝灰岩, 4=鉱床の高品位部, 5=中品位部, 6=断層・節理とその走向・傾斜, 7=凝灰岩の葉理面の走向・傾斜, 8=層理面の走向・傾斜。凝灰岩類とその上位の砂岩・頁岩の間に非整合面があり、凝灰岩類は著しく変質している。

2つの採掘場が設けられ、西側の旧採掘場は中心部に水がたまり既に草が生い茂っていた。東側の新しい採掘場では重機を使って採掘が行われていた(写真8)。新しい採掘場の地質・鉱床図を第7図に示した。

A. 地質層序

層序は下位より鉱化された凝灰岩類、薄い堆積岩層、溶結凝灰岩層で、構造はほぼ水平である。

凝灰岩類は、下部はやや扁平化した長径50mm以下の暗褐色本質レンズを含み、斑晶鉱物が少なく、殆どガラス片のみからなる凝灰岩(写真9)で、上部は次第に成層するようになり、採掘場西端部では凝灰質な砂岩・泥岩互層となる部分もある。

堆積岩層は、厚さ最大3mの暗灰色～黒色の凝灰質砂岩・頁岩互層であり、場所によっては欠如することもある。下位の凝灰岩層の若干削剥された面を覆っており(非整合)、鉱化変質を全く受けていない(写真10)。

最上部は堆積岩層を覆って発達する厚さ20m以上の溶結凝灰岩であり、鉱化変質を受けていない。暗灰色の硬質岩石で、扁平化した長径最大30mm程度の暗灰色の本質レンズが点在し明瞭な溶結構造を示す(写真11)。斑晶鉱物は最大5mm、容量比20%程度で、多い順にカリ長石、石英、曹長石、すること、大型結晶を含む細脈が出現することなどは、この部分がかって高温であったこと、つまり熱

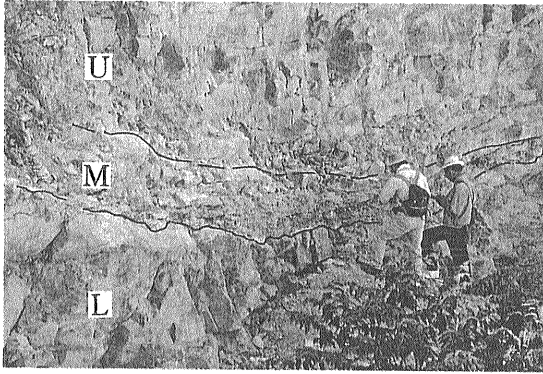


写真10 鉱床を覆う溶結凝灰岩(マライポーン鉱山). 鉱化作用を受けた凝灰岩(L)を、堆積岩層(M), 溶結凝灰岩(U)が覆う。構造は緩い。

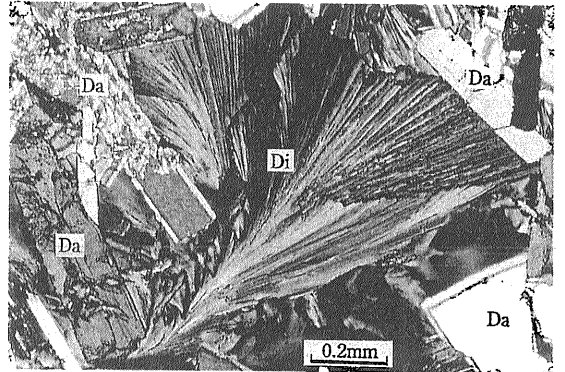


写真12 ろう石脈の顕微鏡写真(マライポーン鉱山). 写真の左右が約1mm. 自形のダイアスポア(Da)の間を繊維状(板状結晶の断面)のディッカイト(高温型のカオリン, Di)が埋めている。

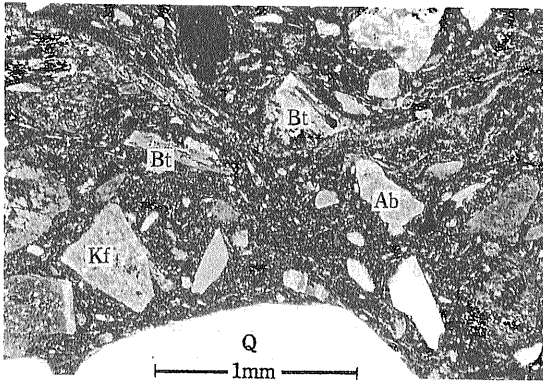


写真11 溶結凝灰岩の顕微鏡写真(マライポーン鉱山). カリ長石(Kf), 石英(Q), 黒雲母(Bt:緑泥石と緑れん石に変質)の結晶破片の間を細かいガラス破片が埋め、明瞭な溶結構造を示している。

黒雲母である。斑晶鉱物の量比から流紋岩質の溶結凝灰岩と考えられる。

B. 鉱床・鉱石

採掘場中央部に最も変質の強い部分が認められ、これを中心に高品位部、中品位部、低品位部という帯状配列が認められる。

「高品位部」：白色，硬質で，割れ目沿いに不規則な空隙が点在する。時にカオリンやダイアスポアからなる細脈が伴われる。パイロフィライトを主成分とし，石英，ダイアスポア，カオリンなどを伴う。

「中品位部」：灰色，硬質な塊状鉱石。パイロフィライト，石英からなり，カオリンやセリサイトが伴われる。

「低品位部」：鉱床の周辺部に広く分布し，灰色で塊状のもの，脆く割れるものなど多様な外見を呈する。構成鉱物は石英，セリサイト，カオリン，パイロフィライトなどで，変化に富む。

下段採掘場の入り口付近には，厚さ数mmの透明なろう石細脈が，割れ目に沿って平板状に，あるいは不規則にうねった形で産出する。鏡下で観察すると壁面側に自形のダイアスポアが晶出し，この間を大型のディッカイトの結晶が埋めているのが観察される(写真12)。

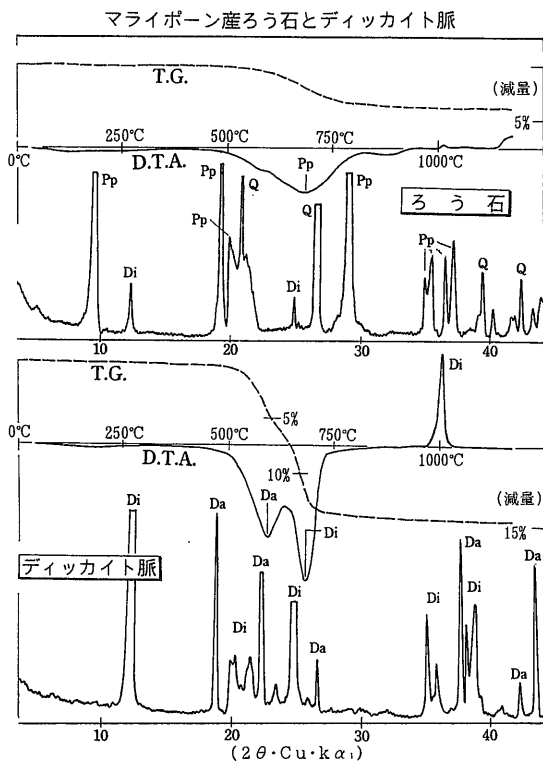
典型的なパイロフィライト質のろう石鉱とろう石細脈のX線回折パターンと熱分析試験の結果(T.G-D.T.A.パターン)を第8図に示した。ろう石鉱はパイロフィライトの他に少量のディッカイト(高温型のカオリン)と石英を伴っていることがわかる。また，細脈はディッカイトとダイアスポアからなり，その比率がおおよそ6:4程度である。

典型的なパイロフィライト質のろう石鉱，カオリン・セリサイト質な陶石質鉱の化学組成を第1表に示した。それぞれパイロフィライト含有量が60%前後，カオリン・セリサイト含有量が47%程度と推定され，良質な原料であることがわかる。

C. 鉱化作用

本鉱床の形態は下限が露出していないために判然としない。しかし，層一塊状の鉱床であることは疑う余地はない。

一方採掘場中央部において，自形ダイアスポアが出現すること，割れ目沿いに不規則な空隙が出現



第8図 ろう石の試験結果. 熱分析試験結果(T.G.-D.T.A.パターン)とX線回折パターンを示した. 試料はいずれもマライポーン産. 鉱物名の略号はPp=パイロフィライト, Q=石英, Di=ディッカイト, Da=ダイアスポア.

水の上昇部であったことを示すものであろう. おそらく, ろう石鉱化作用(変質作用)は採掘場中央部を上昇した中高温の熱水によっておこなわれ, 熱水は側方に拡がり, きこの状の鉱床を形成したのであろう.

その後, 鉱床は露出し, 上部は浸食を受けたが, 上位の地層(堆積岩層, 溶結凝灰岩層)が堆積し, 保存されたと考えられよう.

5. ナコンナヨクの鉱床

ナコン・ナヨク(Nakhon Nayoku)市の北西側山麓にもろう石鉱床の記述があるので, 訪ねてみた. 鉱床の手前1kmの所にゲートが設けられていた. この付近は最近, 陸軍の用地となり, 軍の立派な教育施設が建てられていた. 施設内に立ち入る許

可が得られ, かつてのカオ・チャ・ノック(Khao Cha Ngok)ろう石鉱山の採掘場跡をのぞくことができた. すっかり荒れ果てていたが, かるうじて鉱石のかげらを拾うことができた. 薄い褐色を帯びた乳白色のやや珪質なろう石であった.

6. おわりに

バンコク郊外のろう石鉱床群を紹介した. これらの鉱床は, まさしく日本でいう「ろう石」鉱床であった. そしてそこにかつての日本の「ろう石」鉱山の風景が残っていた思いがする.

鉱床分布のしっかりした方向性とまとまった火山岩類の分布は, 今後の探査による新鉱床発見の余地を示しているのかもしれない.

最近(1996年10月), タイはろう石等の一部工業原料鉱物の輸出を禁止とした. また, ろう石生産量は近年急激な伸びを見せ始めた. これらに, タイの電子機器分野への本格的参入意志と, タイの急速な経済・技術発展の力強さを読みとることができよう.

文 献

Department of Mineral Resources (1985): Geological map of Thailand, 1:250,000 "Changwat Pranakhon Si Ayutthaya", D.M.R., Thailand.

五十嵐俊雄(1984): 粘土質試料のノルム計算(N88 BASICプログラム). 地質ニュース, no.353, 37-47.

Jungyusuk N. and Khositantont S. (1992): Volcanic rocks and associated mineralization in Thailand. Geologic resources of Thailand: potential for future development, p.522 - 538, DMR, Bangkok, Thailand.

Sampattavanija S., Sukserm W., Utha-aron C. and Jaitabutra A. (1992): Review on some important industrial minerals and rocks in Thailand. p.24-35, National conference on Geologic resources of Thailand: Potential for future development, D.M.R., Thailand, Bangkok.

石灰石鉱業協会技術委員会(1993): タイ・ホンコン現地技術委員会報告. 石灰石, No.262, 31-49.

Sthithaworn E. and Wasuwanich P. (1992): Metallogenic Map of Thailand. p.1-15, National conference on "Geologic resources of Thailand: Potential for future development", Dept. of Mineral Resources of Thailand, Bangkok.

山田尚男・阿部昭夫(1991): 世界の石灰石資源-I. タイ国. 石灰石, No.254, 54-68.

SUDO Sadahisa (1997): Mineral resources of Thailand -3. Pyrophyllite resources of Saraburi area.

<受付: 1997年2月25日>