

資 料

インドネシア・マレーシアの錫鉱床に伴う
未利用鉱物資源について

金山清一*・港種雄*

Unutilized Mineral Resources Associated with Tin
Deposits in Indonesia and Malaysia

Seiichi KANAYAMA* and Taneo MINATO*

The annual production of tin in Southeast Asia has not increased significantly in the last 20 years in spite of new exploratory. The main reason are a relative increase in low-grade tin ore and a lack of large-scale mining operation.

Tin deposits in Southeast Asia are, however, also accompanied with various kinds of useful minerals, such as ilmenite, zircon, monazite and xenotime,

which have not been fully exploited. Efforts should be made to recover these minerals besides discovering new tin deposits, because extraction of these accessory minerals will, at the same time, result in an increase in the production of tin.

In this paper the occurrence, aggregates and chemical composition of these minerals are discussed.

I はじめに

東南アジアの錫鉱床帯は主要鉱石の錫石をはじめ多種多様の有用鉱物を産することによく知られている。

しかし、これらの地域は近年の精力的な探査の努力にもかかわらず、錫の生産は微増ないし横ばいの状態である。

これは次第に細粒～微粒化する錫石を選鉱することの困難さや、小規模開発の容易な陸上から大型の開発を必要とする海岸～沖合地域へと鉱床が拡大されるに伴って生じる錫品位の低下と無関係ではないだろう。

これらの地域の錫鉱業にはこのような鉱床

に係わる問題のほかに、錫鉱床から産する有用鉱物のうち、錫石、モナズ石、ゼノタイムなど2,3の鉱物をのぞいた他の多くの鉱物は有利に回収されずに放置されているという問題がある。

この原因は、鉱床中のこれらの諸鉱物の産状が不規則であったり、不明であること、また風化作用によって物理的性質が変化したり、細粒～微粒であることなど、その多くは鉱物学並びに選鉱学上の問題に帰するものと考えられる。

鉱物資源の有効利用の立場からは、これらの有用鉱物を回収することは、新規の鉱床を開発することと並んで、明らかに錫鉱床の価値を増大させることにつながる。

そこで今回は、筆者らが前に踏査したインドネシア、マレーシアの錫鉱床から産出する

* 京都大学工学部資源工学科; Department of Mineral Science and Technology, Faculty of Engineering, Kyoto University

各種の鉱物のうち未利用あるいは回収率の低い鉱物を中心に, それらの産状, 鉱物組成, 化学組成などについて鉱物学・鉱床学的な検討を加え, 併せて今後の錫鉱探査・開発・選鉱のための基礎資料としたいと考える。

II アマン鉱石

東南アジアの錫鉱床からは錫石のほかに, アマン (Amang) とよばれる種々の鉱物が産出する。

現地で錫石を選鉱する際には主にジグやテーブルを利用した比重選鉱法が用いられ, 錫石精鉱と中鉱ないし尾鉱とに分離されるが, この中鉱・尾鉱を総称してアマンという。したがってアマンの中には精鉱中に捕捉できなかった錫石を含めるのが普通である。

アマン鉱石は, 地域によってその構成鉱物に差異がみられ, 東南アジア錫帯の北縁にあたるビルマや北部タイでは錫石よりもアマンから採られる灰重石や鉄マンガン重石などを主要鉱石としている鉱山が多くみられる。

筆者らが調査したマレーおよびバンカ島の錫鉱床から産出するアマンには, 酸化鉱物, 珪酸塩鉱物, 燐酸塩鉱物, 硫化鉱物, ハロゲン化鉱物など鉱物学・鉱床学的に興味ある鉱物がある。

東南アジア地域の錫鉱床は鉱床の型式としては初生鉱床およびそれが風化して二次的に形成された漂砂鉱床とがある。いずれの型の鉱床であれ, 鉱床を構成する各鉱物はこの地域の岩石の機械的分解作用と風化作用が進んでいるために, ほぼ完全に単体分離が行われている。したがって今回実験室においては, 採取した試料の粉碎は行っていない。

さて, 現在までにバンカ・ピリトン島においてその存在が知られている鉱物 [8] と今回同定されたアマン鉱物はまとめて表 1 に示した。

表 1 バンカ・ピリトン島に見出されるアマン鉱物

| | |
|---------------------------------|---|
| Cassiterite | SnO ₂ |
| Magnetite | Fe ₃ O ₄ |
| Hematite | Fe ₂ O ₃ |
| Limonite | Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O |
| Ilmenite | FeTiO ₃ |
| Rutile | TiO ₂ |
| Anatase | TiO ₂ |
| Brookite | TiO ₂ |
| Columbite | } (Fe, Mn) (Nb, Ta) ₂ O ₆ |
| Tantalite | |
| Quartz | SiO ₂ |
| Zircon | ZrSiO ₄ |
| Sphene* | CaTi(SiO ₄) (O, OH, F) |
| Topaz | AlF ₂ SiO ₄ |
| Apatite | Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH, F, Cl) |
| Monazite | (Ce, La, Th) (PO ₄) |
| Xenotime | YPO ₄ |
| Plumbogummite* | PbAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| Florencite* | CeAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| Pyrite | FeS ₂ |
| Marcasite | FeS ₂ |
| Pyrrhotite | Fe _{1-x} S |
| Arsenopyrite | FeAsS |
| Chalcopyrite | CuFeS ₂ |
| Bornite* | Cu ₅ FeS ₄ |
| Bournonite* | PbCuSbS ₃ |
| Chalcocite* | Cu ₂ S |
| Covellite* | CuS |
| Sphalerite | ZnS |
| Galena | PbS |
| Bismuthinite* | Bi ₂ S ₃ |
| Native silver* | Ag |
| Wolframite* | (Fe, Mn)WO ₄ |
| Siderite | FeCO ₃ |
| Fluorite | CaF ₂ |
| Tourmaline | |
| Biotite | |
| Chlorite | |
| Amphibole | |
| Pyroxene | |
| Feldspar | |
| Garnet (Spessartine, Andradite) | |
| Calcite* | |
| Vivianite* | |
| Prehnite* | |
| epidote* | |
| Ilvaite* | |
| Fayalite* | |

(*Rare)

表2 アイル・カントン選鉱所（バンカ島）における選鉱産物の鉱物組成（wt. %）

| 選鉱産物名 | 重量% | 錫石 | チタン鉄鉱 | ゼノタイム | モナズ石 | ジルコン | 金紅石 | 硫化鉄鉱 | 酸化鉄鉱 | 菱鉄鉱 | 黄玉 | 電気石 | 石英 | 計 |
|---------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 輸出用錫精鉱 | 74.85 | 90.20 | 4.4 | 0.7 | 1.7 | 1.2 | 0.1 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.2 | 0.4 | 100 |
| スクリーン・オーバーサイズ | 0.29 | 30.00 | 0.0 | 3.0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 30.0 | 1.5 | 0.0 | 30.0 | 2.0 | 2.0 | 100 |
| チタン鉄鉱精鉱 | 5.62 | 1.20 | 96.8 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.1 | 100 |
| 黄鉄鉱・錫石 | 3.12 | 53.58 | 14.6 | 0.2 | 2.6 | 0.8 | 2.1 | 24.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.5 | 100 |
| 高品位ゼノタイム | 0.06 | 1.40 | 20.6 | 60.1 | 8.1 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 2.0 | 2.5 | 0.0 | 4.9 | 0.1 | 100 |
| 低品位ゼノタイム | 0.60 | 0.86 | 38.0 | 15.2 | 23.1 | 0.5 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 21.2 | 0.8 | 100 |
| モナズ石精鉱 | 0.26 | 0.21 | 4.4 | 1.1 | 90.5 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 2.7 | 0.9 | 100 |
| ジルコン・石英精鉱 | 1.75 | 1.42 | 0.6 | 0.2 | 14.0 | 29.4 | 0.2 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 11.4 | 0.6 | 41.5 | 100 |
| 尾 鉱 | 13.45 | 2.04 | 18.8 | 0.6 | 1.0 | 0.4 | 0.5 | 3.6 | 0.8 | 0.1 | 6.6 | 2.0 | 63.6 | 100 |
| 計 | 100.00 | (69.65) | (12.0) | (0.8) | (2.1) | (1.5) | (0.2) | (1.7) | (0.2) | (0.0) | (1.7) | (0.6) | (9.7) | 100 |

しかし、これらの鉱物のうちで実際に回収されているのは先に述べた2, 3の鉱物のみで、ほかはほとんど放置されている現状である。

III アマンの鉱物組成

錫鉱床の構成鉱物は地域により、また鉱床のタイプにより若干の差異がみられるが、実際の選鉱所における一次精鉱の鉱物組成の一例として、バンカ島の県都パンカルピンナンの南方約20kmに位置するアイル・カントン選鉱所の分析結果¹⁾を表2に示す[10]。

バンカ島では島内にある各事業所において、主としてサンド・ポンプで採掘された粗鉱を簡単な比

1) この分析は副産物を積極的に回収するために試験的に行なったもので、島内のすべての選鉱所でこれらの副産物の回収が行われているわけではない。

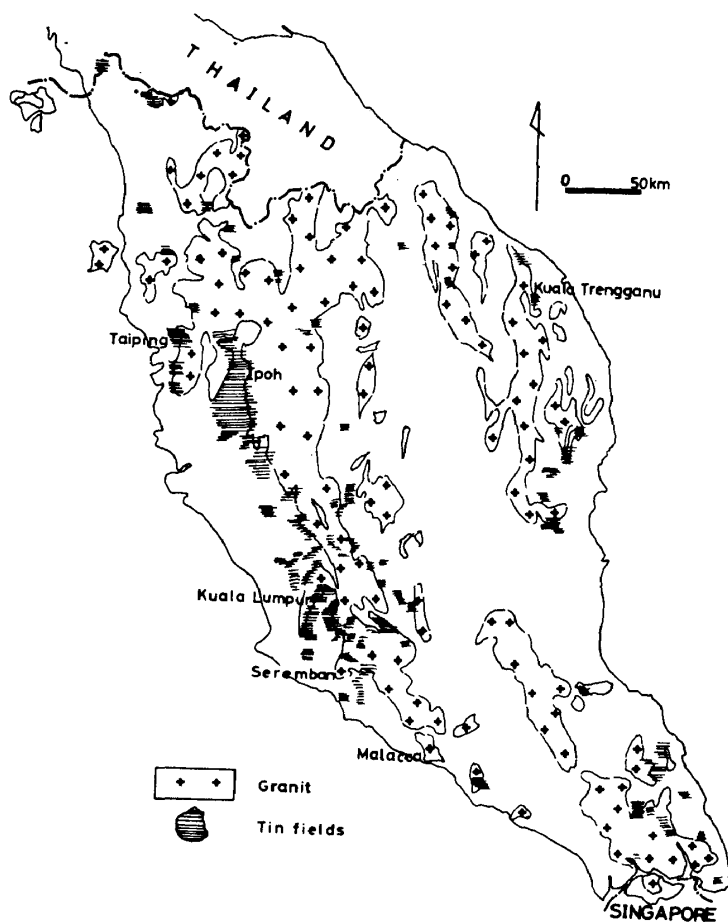


図1 マレーシアにおける錫鉱床とカコウ岩の分布 (Hosking [4] を簡略化した)

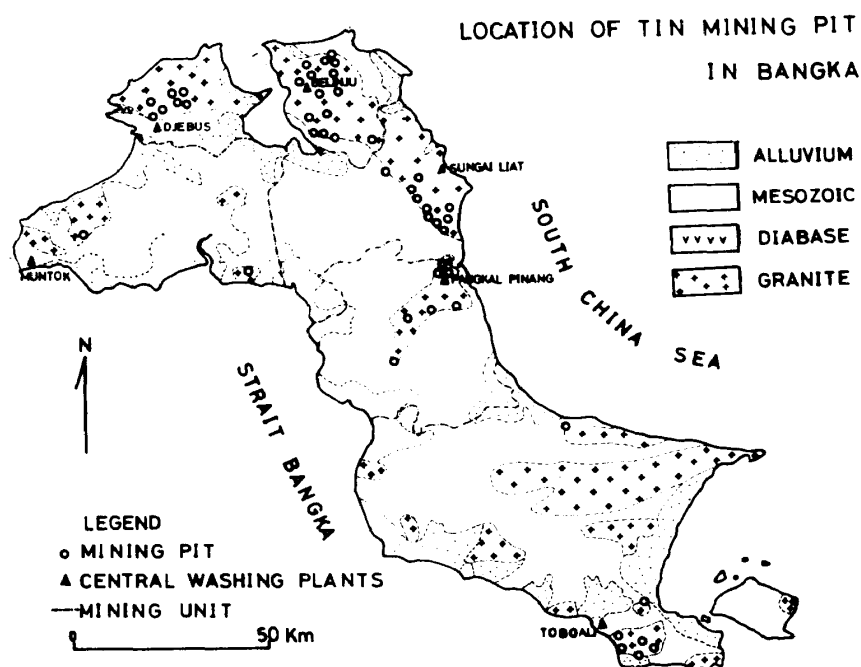


図2 バンカ島の錫鉱床と地質概略図

重選鉱法を用いた一次処理によって、錫石品位60~70%まで濃集して島内6カ所にある各事業区の中央選鉱所に運び、最終的には錫石品位90%くらいまで高めたのち、精錬あるいは輸出精鉱に供している。

アイル・カントン選鉱所に供給される鉱石は、錫石69.65%、石英9.7%、錫石と石英以外の鉱物20.65%からなっている。

さらに、錫石以外で実際に回収されている鉱物はチタン鉄鉱、ゼノタイム、モナズ石、ジルコンの4種であり、錫石を含めたこれら5種の鉱物の回収される割合はそれぞれ、96.8%、60.91%、15.2%、90.5%、29.4%となっている。

ここでゼノタイムとジルコンの回収率の低いことが目立つが、まずゼノタイムについては、モナズ石との分離が不完全であること、ジルコンについてはそれらが細粒であることなどによるものであろう。また、これら以外の鉱物は、それぞれ鉱石全体に占める割合が1%内外であるので、そのほとんどが分散し精鉱として回収することが困難である。

さて本報告に用いたアマン鉱石は、バンカ島の各鉱山区の中央選鉱所で得られたもののほか、各地区の選鉱所で一次処理をしたもの、海浜のドレッジ船からのもの、またマレーシアのイポの西方にあるタイピン地区のものなどからなる。なお図1, 2にはこれらの試料を採取したマレーシア、インドネシアにおける陸上錫鉱床の分布の概略を示した[4; 7]。さらに今後の開発が期待される東南アジアのオフショア錫鉱の分布を図3に示した[3]。

室内では、まずアマンを分級したのち、水ひ、磁選、静電分離、重液分離などの方法を利用して各鉱物を分離した。実験室における鉱物分離のためのフロー・シートの一例を表3に示す[10]。

IV アマン中の主な鉱物

IV・1 錫石 (SnO₂)

錫石は精鉱としてほぼ完全に回収されているが、一部はアマン中にみられるので、一応アマン鉱物に含める。

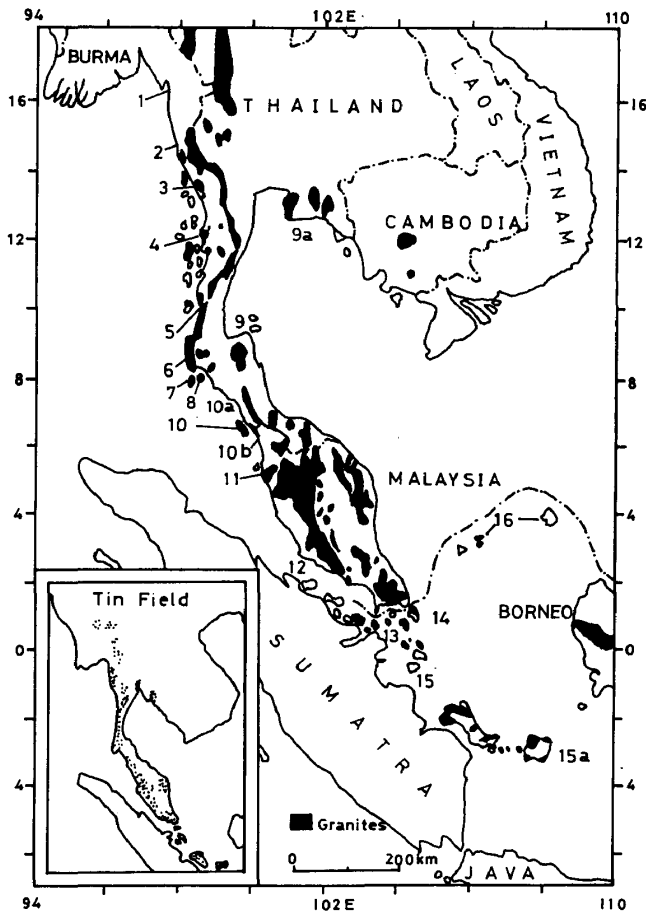


図3 東南アジアのオフショア錫鉱床（沖浜）地域とカコウ岩の分布

1. Belugyanu 島; 含錫石漂砂鉱床。本島からタイ国境の Ranong までのオフショア地域が有望視されている。
2. Heinze Basin; 潮干帯中の錫石。
3. Spider 島 (Palauk 河の河口付近); 海浜砂中の錫石と鉄マンガン重石。
4. Tenasserim Delta と隣接する島; デルタからの錫石の回収。
5. Ranong とその南方の海岸; 陸上からオフショアへと広がる漂砂鉱床。初生タングステンの有望地域。
6. Takuopa; オフショアでドレッジが稼行中。
7. Thai Muang; 海浜砂中の錫石。
8. Phuket; 東海岸はドレッジで採掘中、西海岸も錫石の濃集が期待される。
9. Ko Phangan と Ko Samui; 錫の弱鉱化作用が認められるが、鉱床の規模は不明。
- 9a. Rayong; 海浜砂およびオフショアの錫石。
10. Langkawi 諸島; 本島とマレー半島との間の海域に錫鉱床の存在が有望視される。ザクロ石中に 2% の Sn および黄錫鉱が確認された。

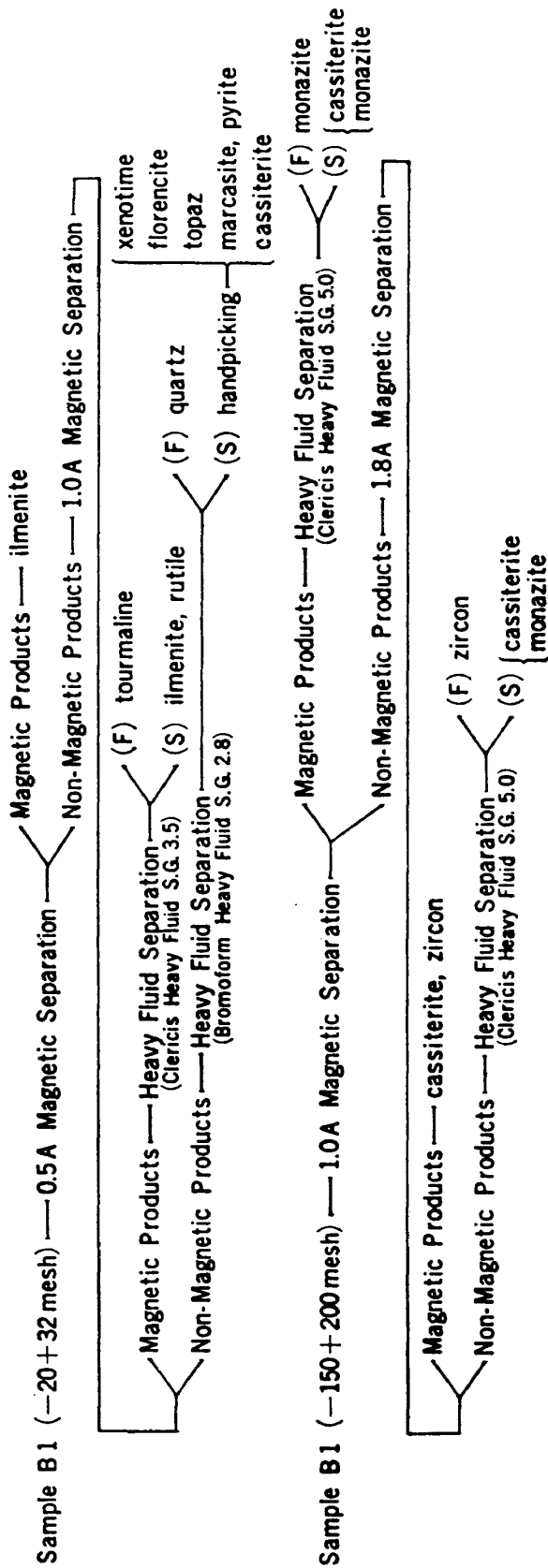
- 10a. Ko La Wi と Ko La Dang (Langkawi 島の西北西); 近年錫石の産出が報告された。
- 10b. Kedah Peak の西方の島; 海浜砂中の錫石。
11. Lumut-Dindings; Hantu 岬と Katak 島付近の海浜砂とオフショア。
12. Malacca; Linggi 河と Udang 河との間の海浜とオフショア。マレーシアでは最も有望視されている地域。
13. Karimun 島と Kundur 島; 錫石が存在するが、鉱化作用は弱い。
14. Bintan 島; 小規模なオフショア鉱床の存在。
15. インドネシアの錫島; オフショア鉱床の探査が継続中。
- 15a. Billiton 島と Borneo との間の海域; 海底のカコウ岩の露頭を探査中。
16. Anambas 島と Natuna 島; 東南アジアの錫帯からはずれるが、錫石の産出が知られる。

マレーシアおよびバンカ・ビリトン地域の錫石の大部分は漂砂鉱床からの産出であり、外形は磨耗して全体に丸みをおびているのが特徴である。しかし一部には柱状あるいは錐状を示すものもみられる。表面は金属光沢を有し、破面は脂肪光沢を呈する。色調は暗褐～赤褐色や帯黄のほか透明に近いものなど種々のものがある。薄片の鏡下観察では、しばしば明瞭な累帯構造や(011)面を双晶面とする接触双晶や貫入双晶が認められる。

錫石の粗鉱中の品位を明確にすることは困難であるが平均 0.5% (wt.) くらいであろう。しかし他の鉱物との関係もあるが、0.1% 程度でも採掘されることがある。またその粒度は産地によって異なるが、おおよそ 50~100 mesh あたりのものが主である。近年海浜の鉱床では 200 mesh 以下のものも無視できなくなっている。

ほぼ純粋と考えられる 11 個の錫石試料中の微量元素含有量を原子吸光分析法並びに蛍光 X 線分光分析法で調べたところ、いずれも最高値で、Fe 9,000 ppm (以下同じ)、Zr 700, Nb 4,000, Ta 2,700, Ti 1,500, W 2,000 含ま

表3 実験室におけるアマン鉱石の分離のためのフロー・シートの一例



れていることがわかった。このほかわずかではあるが含まれている元素は Co, Ni, Zn, Pb, In, Mn, Cu など、この地域の錫石中には平均（酸化物に換算）して1% (wt.) 内外の不純物が含まれているようである [6]。これらの元素は純粋に Sn⁴⁺ を置換して存在するものと、いわゆる他の鉱物相として包有物の形で存在するものとの二つのタイプがあるようである。薄片において錫石中にみられるハローを有する鉱物はモナズ石あるいはコロンブ石と考えられるし、磁性を有する錫石中には全体に高い Fe 値を示すことと、その磁氣的性質から微粒の磁鉄鉱の存在が推測される。

今後東南アジアの錫資源が陸上から海底へとその採掘の場を変えるに従い、精鉱中に捕捉できない数%の錫石と微粒～細粒の錫石の回収が大きな課題となるだろう。

N・2 チタン鉄鉱 (FeTiO₃)

チタン鉄鉱はこの地域の錫鉱床中に普遍的に見い出され、アマン中に占める割合が一番大きく、また、その一部はチタン原料として回収されている。

この地域の Fe-Ti-O 鉱物には明瞭な三つの相が存在する。第1の相は変質をほとんど受けていない純粋なチタン鉄鉱であり、その粒の外形は不規則であるが一部に菱面体を呈するものもある。磁性が強く、0.3~0.4 amps の電流で誘引される。研磨片の顕微鏡観察では内部反射はなく、中程度の反射率で、強い白～暗灰色に至る異方性を示す。

第2の相は第1の相のチタン鉄鉱の構造が完全に破壊されて、物質は非晶質となっている。外形は第1の相と全く同じであるが、表面の光沢が鈍く、赤味がかかった色を呈する。鏡下では、第1の相に比べて反射

率は著しく低下し、異方性はなく、赤色の内部反射を示す。

第3の相は物理的にも化学的にも第1と第2の相の中間に位置するものである。

実際の選鉱過程では、この第1と第2の相のチタン鉄鉱の一部は錫石と挙動を同じくする。したがって錫精鉱中の Fe, Ti 分の一部はこの物質に由来している可能性がある。この物質の外形はチタン鉄鉱の菱面体を保持しているが、X線粉末回折では顕著な回折線がほとんどみられない。しかし、一部ルチル (TiO_2) の回折線に相当するものが認められることもある。またこれらの変質は粒子の外側から内部へ、粒内の割れ目や結晶面に沿って進行し、化学的には、チタン鉄鉱の Fe 分が溶脱されることによって相対的に TiO_2 の増加をもたらしたものと考えられる。物理的には Fe^{2+} が Fe^{3+} に変化したことによって帯磁率の低下を生じた。なお、この非晶質 Fe-Ti-O 物質から再び二次的にルチル (TiO_2) やアナテース (TiO_2)、ヘマタイトが結晶していることが知られている [1]。

第2の相の非晶質物質を空气中で加熱したところ、約 800°C では変化はみられないが、 900°C および $1,100^\circ\text{C}$ 加熱試料では鋭いルチルとシュードブルカイト (FeTiO_3) の X線回折ピークが得られた。

実際のアマン中ではこの第3の相には種々の段階のものがあつり、その磁性も有用鉱物である錫石、ゼノタイム、モナズ石、コロンブ石などのそれと近似する場合には、この物質の存在はこれらの鉱物の選鉱に障害となることが考えられる。

このチタン鉄鉱の変質は熱帯の風化作用の産物であることは間違いないが、詳細な過程はまだよくわかっていない。

N・3 モナズ石 ($\text{Ce, La, Th}(\text{PO}_4)_3$)・ゼノタイム (YPO_4)

マレーシア・インドネシアの錫鉱床から産出する希土磷酸塩鉱物には、従来からモナズ石、ゼノタイムが知られており、最近、金山・港により含鉛フロレンス石 (plumbian florencite) が同定された [5]。

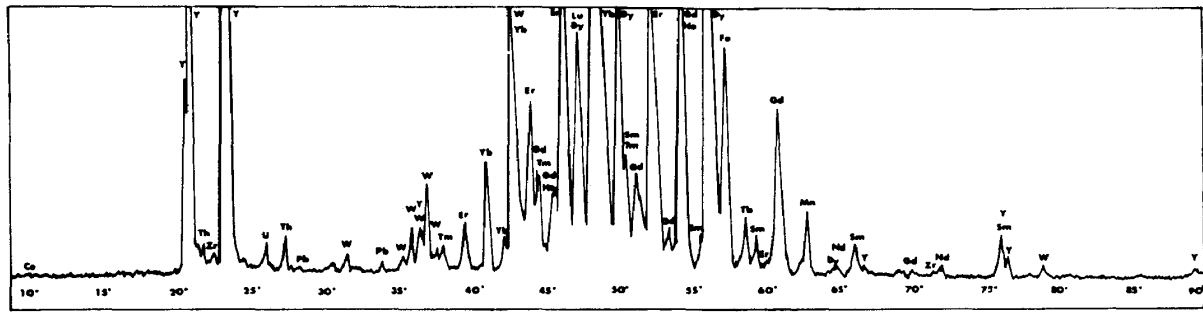
これらの鉱物のうちモナズ石とゼノタイムは、錫鉱床中に広範囲に分布し、錫石の副産物として重要である。フランス型磁選器を用いてこれらの鉱物を分離したところ、モナズ石は $0.8\sim 1.0$ アンペア (おおよそ $9,000\sim 10,000$ ガウス) でその90%以上が誘引され、ゼノタイムは $0.4\sim 0.6$ アンペア ($5,000\sim 7,500$ ガウス) ではほぼ完全に誘引されることがわかった。これらの鉱物はすべて碎屑性のもので、多くは含錫石カコウ岩に由来するが、ある種のものにはペグアタイトや、グライゼンに由来する。両鉱物は外見上はよく似ており、よく円磨され単体分離されているが、一般に、インドネシア産のものがマレーシアのものに比べて円磨度が高いようである。粒径は大体 $0.1\sim 0.4\text{mm}$ 、平均 0.3mm 程度である。色調は新鮮なものは濃い黄色であるが、鉱物の表面が酸化すると樹脂状光沢を示すようになり、灰白色から完全不透明に至る種々の色を呈する。またモナズ石はときにジルコンと連晶することがある。

次に、モナズ石の帯磁率は前述したようにチタン鉄鉱とジルコンの中間にあるが、その変化の程度は希土類元素の組成に関連がある。

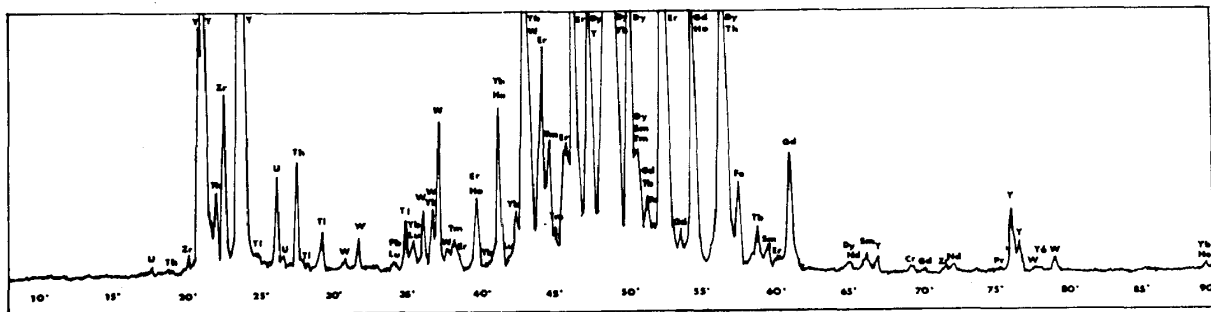
しかしながら、この地域から産出するモナズ石の化学組成に関する研究 [2] は少なく、磁性と化学組成との関係は詳細にはわかっていない。

N・4 ジルコン (ZrSiO_4)

ジルコンは酸性岩の副成分として広く産出するが、この地域においても広く見いだされる。鉱床付近の比較的新鮮なカコウ岩の黒雲



(2 θ)
X-ray fluorescence analysis pattern of xenotime (C.W.P. Bangka)



(2 θ)
X-ray fluorescence analysis pattern of xenotime (Malaya)

図4 ゼノタイムの蛍光X線分析図形。バンカ島 Pangkal Pinang 中央選鉱所産(上)とマレーシア Taiping 地区 Razac 鉱山産(下)。

母中にはハローを形成しているジルコンが多数観察される。砂錫中のジルコンは無色のものから、淡黄、淡褐に至るまで種々のものが存在し、その外形は短柱状で、一部には長柱状のものもある。粒度はモナズ石、ゼノタイムに比べて小さく、圧倒的に 100 mesh 以下のものが多く、特に 150~200 mesh 付近に顕著な濃集がみられる。

実験室において、普通、砂鉱からジルコンを分離するには磁選、静電選鉱法が用いられるが、ジルコンの持つ磁氣的、電氣的性質から細粒の石英と挙動を同じくするので、最終的には重液を用いて分離した。このようにして濃集したジルコンを蛍光X線分析法で検したところ、微量の U, Th が含まれることがわかった。そこで、マレーシア西海岸の Pusing, Taiping 産のもの 4 試料、バンカ島の Belinju 産のもの 1 試料の計 5 試料につい

て蛍光X線分析法により U, Th の定量を行なってみた。その結果、Uは産地の違いによる変動はみられず平均含有量は 0.21% (U_3O_8 換算), Th は産地の変動がみられマレーシアのもので平均 0.18% (ThO_2 換算), バンカ島で 0.34% 程度含まれていることがわかった。

地球化学的資料によれば、ジルコン中の U, Th 含有量は $U=0.01\sim0.6\%$ 平均 0.133%, $Th=0.01\sim1.0\%$ 平均 0.056% である。この値と比較すると、マレーシア・インドネシア産のジルコン中の U, Th 含有量はいずれもこの平均値より大きく、かつ産地による変動が少ない。ジルコン中の U, Th の抽出はそれらが珪酸塩であるために非常に困難であるが、漂砂鉱床中に産し、錫の副産物であることを考慮するならば、この含ウラン、トリウムジルコンは注目に値すると思われる。

表4 ジルコン中のウラン・トリウム含有量

| | 試料採取地および鉱山名 | 鉱山概要 | U ₃ O ₈ % (wt.) | ThO ₂ % (wt.) |
|---------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| マレーシア産 | Taiping, Razac | Dredger 採掘跡, 深 30 ft. | 0.19 | 0.23 |
| | Pushing, You Foh | Dredger 採掘中, 深 100 ft. | 0.21 | 0.20 |
| | Taiping, Nam Chen Lee | Dredger 採掘中, 深 30 ft. | 0.21 | 0.19 |
| | Taiping, Thye Yik | Dredger 採掘跡, 深 30-50 ft. | 0.21 | 0.12 |
| インドネシア産 | Bangka, Belinju | 海浜近くの Dredger, 深 20-30 ft. | 0.22 | 0.34 |

N・5 コロンブ石 (Fe, Mn) (Nb, Ta)₂O₆

コロンブ石とタンタル石は完全固溶体を形成し, Nb>Ta をコロンブ石, Ta>Nb をタンタル石という。

この地域の Nb-Ta 鉱物はタンタル石成分に乏しく, 多くはコロンブ石成分に富むようである。選鉱過程では, 前述した非晶質 Fe-Ti-O 鉱物とはほぼ似た行動を示すが, 静電分離法によって比較的容易に分離される。しかし一部の試料では希土類元素や放射性物質に富む一部の変種ジルコンとともに行動することが判明した。

肉眼では不規則塊状で, 暗褐～赤褐色を呈し, 鏡下では不透明～半透明である。

産地別ではインドネシアのものよりマレーシア産のアマン中にこのコロンブ石の含有量が多い。粒度は 35～100 mesh 付近に集中し, アマン中の存在量を Nb₂O₅ で示せば, 0.1～0.3%の範囲となり, 0.3%前後のものが多い。

N・6 金紅石 (TiO₂)

金紅石は高温生成の鉱物で, 当地域の錫鉱床中にはジルコンと同様普遍的に随伴する。一部 Ti 原料として回収されている。金紅石と同質異像の anatase や brookite もわずかに認められる。一般に赤色を呈するが無色に近いものもある。粒度は 100～150 mesh のものが多く, アマン中に占める割合は平均0.2%くらいである。

V その他の鉱物

V・1 硫化鉱物類

アマン鉱石中に見い出された硫化鉱物には, 黄鉄鉱, 黄銅鉱, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 白鉄鉱などがある。このうち, 黄鉄鉱はわずかであるが, 普遍的に各地の鉱床から産出する。黄銅鉱, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱はさらに産出が少なく, わずかに 2, 3 の鉱床にみられる程度である。

もともとこの地域では, これらの硫化鉱物の産出が少ないうえ, 一般に機械的強度も小さくて漂砂鉱床中に単体の粒子として存在することが困難と思われる。それ故, これらの硫化鉱物は, 風化に強い石英中にとり囲まれたりしてわずかに存在するにすぎない。

白鉄鉱は初生鉱床にかぎらず沖合の海底鉱床からかなり多量に産出する。形状は一般に細長い繊維状や中空の棒状で, 長いもので 10～15mm に達するものもある。さらに本鉱物の表面には多数の虫食い状の小孔があり, その内部に遊離硫黄並びに潮解性の硫酸塩を生じていることが多い。

V・2 ハロゲンを含む鉱物

ハロゲンを含む鉱物には螢石, 黄玉, 電気石などがある。これらの鉱物は多くはペグマタイト期ないし気成期に晶出する鉱物である。螢石はタイ・マレーの錫鉱床には比較的

多く産出するが、バンカ島では極めて少なく痕跡程度にすぎない。

電気石は黒色から褐色まで濃淡各種の色を呈し、長柱状ないし短柱状で粒も比較的大きく、磁選で容易に他の鉱物と分離される。本鉱物はこの地域の錫鉱床では石英と並んで代表的な脈石鉱物である。

黄玉はわずかに存在する程度で、資源的な価値は乏しい。

V・3 カオリン

本鉱物は通常アマンに含めないようであるが、この地域の錫鉱床とその近傍には広範囲にかつ大量に産出するのでとりあげた。

ビリトン島にみられるように、カオリンの一部はすでに陶磁器の原料として利用されている。バンカ・ビリトン地域のカオリンの生成には大別して、(1)カコウ岩類が風化分解して生じたものと、(2)中生代系の堆積岩の表層部が粘土化したものがある[11]。陶磁器用原料として重要なものは(1)であり、レンガその他の低級陶器原料に適するのは主に(2)である。バンカ島の Pangkal Pinang の海岸や沖合におけるカオリン層は 20~30m の厚さを有し、原岩の長石や未風化の黄鉄鉱、雲母を若干含んでいるが、白色度も高く陶磁器原料に十分堪えうるものである。代表的なカオリン鉱物のカオリナイトの結晶系には単斜晶系のものと三斜晶系のものとが知られているが、バンカ島産のものは三斜晶系で結晶性は良好であった。一般にこの地域の現在の河川や古水系に堆積したカオリンは精確な資料に乏しいけれども膨大な量になるものと考えられる。

V・4 珪砂

バンカ島の北部および東部海岸やビリトン島の北部海岸はほとんど石英だけからなる海浜珪砂で広くおおわれている。両地域のいず

れの珪砂も黒雲母カコウ岩の風化産物である。一般にこの珪砂層の厚さは 1.5~2.5m で海岸の波打際約 50~80m の幅にわたって存在する[11]。この珪砂はガラス原料、鑄鉄用還元物質として重要なものであり、その埋蔵量は莫大なものといえるだろう。

VI む す び

インドネシア・マレーシアを中心として錫鉱床を構成する主な鉱物についてその概要をのべた。

10数年前まではアマンそれ自体は錫精鉱および錫精錬に対する障害物としてのみ評価されていたが、近年の探査・開発の拡大に伴い必然的に低品位鉱(細粒錫石)の処理とともに副産物の処理も増大し、これらのアマンを再評価する必要に迫られている。現実には、各地で有効な処理法が見い出されるまでアマンをストックすることが立案され、一部実施されていると聞く。

概観したように、適当な方法さえ講じられれば、モナズ石、ゼノタイム、チタン鉄鉱、ルチル、ジルコンなどの諸鉱物は明らかに錫石に対して付加価値を有するものであり、その反対に黄鉄鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱などの硫化鉱物はマイナスの要因として働くものと思われる。

今後はこれらの付加価値を有する鉱物の地域的な分布パターンを解明するとともに、それらの鉱物の化学的、物理的性質を明らかにしていく必要がある。

最後に、現地調査の機会を与えていただいた京都大学東南アジア研究センター前所長市村真一教授、鉱物分離に有益な助言をいただいた京都大学資源工学若松貴英教授、並びに中広吉孝講師、X線分析に多大な尽力をいただいた木村訓技官の方々に、深甚の謝意を表

する次第である。また、現地において、多大の御援助をいただいたインドネシア国营アネカ鉱山会社並びにマレーシア産アマン試料の一部をいただいた石原産業株式会社中央研究所に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Flinter, B. H. 1959. The alteration of Malayan ilmenite grains and the questions of arizonite. *Econ. Geol.* 54: 720-729.
- 2) Flinter, B. H.; Butler, J. R.; and Harral, G. M. 1963. A study of alluvial monazite from Malaya. *Am. Mineral* 48: 1210-1226.
- 3) Hosking, K. F. G. 1971. The offshore tin deposits of South-east Asia. *CCOP Technical Bull.* 4: 112-129.
- 4) ————. 1972. Primary mineral deposits. In *Geology of Malaya Peninsular*, edited by Gobbett and Hutchison, pp. 335-390. Wiley-Interscience.
- 5) 金山清一; 港 種雄. 1977. 「インドネシア・バンカ島産の含鉛フロレンス石について」『鉱物学雑誌』13(3): 171-181.
- 6) ————. 1978. 「各種鉱床産錫石中の微量成分, 格子定数および磁性について」『日本鉱業会誌』94(1089): 1-6.
- 7) 向井 滋; 港 種雄; 中広吉孝; 金山清一. 1972. 「インドネシアの鉱業事情について」『浮選(秋)』No. 48, 20-32 ページ.
- 8) Omer-Cooper, W. R. B.; Hewitt, W. V.; and Wees, H. van. 1974. Expotation for cassiterite-magnetite-sulphide veins on Belitung, Indonesia. Fourth World Conference on Tin, Kuala Lumpur. Paper No. 2.5, pp. 1-23.
- 9) Rogers, J. J. W.; and Adams, J. A. S. 1969. Abundance in Thorium & Uranium Minerals. In *Handbook of Geochemistry*, edited by K. H. Wedepohl, 90-D and 92-D.
- 10) Simatupang, M. 1974. Problems arising from the presence of accessory minerals in tin mining operation in Indonesia. Fourth World Conference on Tin, Kuala Lumpur. Paper No. 2.7, pp. 1-12.
- 11) 上野三義. 1976. 「インドネシア領ピリトン島の地質と鉱物資源」『地質ニュース』258: 39-54.

〔写真説明〕

1. Bangka 島, Pangkal Pinang 選鉱所における錫石精鉱。
2. Malaysia, Taiping 地区 Razac 鉱山産錫石。
3. Bangka 島, Belinju 地区産錫石にみられる累帯構造。
4. Bangka 島, Belinju 地区産錫石中のモナズ石様包有物とハロー (薄片, 単ニコル)。
5. Bangka 島, Pangkal Pinang 地区産チタン鉄鉱 (第1の相)。
6. Malaysia, Taiping, Nam Chen Lee 鉱山産の菱面体を呈するチタン鉄鉱 (第1の相)。
7. Bangka 島, Belinju 地区産チタン鉄鉱の結晶面やクラックに沿った変質を示し, 第3相に相当する (研磨, 単ニコル)。本文参照。
8. Bangka 島, Mining Unit 12の尾鉱中のゼノタイム。
9. Malaysia, Taiping, Razac 鉱山産ゼノタイム。
10. Malaysia, Taiping, Razac 鉱山産モナズ石。
11. Bangka 島, Mining Unit 12の尾鉱中に見い出された含鉛フロレンス石。
12. Bangka 島, Belinju 地区産ジルコン。
13. Malaysia, Taiping 地区産透明ジルコン。
14. Malaysia, Taiping 地区産磨耗したジルコン。
15. Malaysia, Taiping 地区産有色および透明電気石。
16. Malaysia, Taiping 地区産金紅石。
17. Malaysia, Taiping 地区産ザクロ石 (Spessaralite)。

