

# 東南アジアの錫花崗岩

## — エスカップ地域鉱物資源開発センターの特別プロジェクトについて —

佐野 俊一 (元所員) ・ 佐藤 興平 (鉱床部) ・ 斎藤友三郎 (海外地質調査協力室)  
Shun-ichi SANO Kohei SATO Tomosaburo SAITO

### エスカップ地域鉱物資源センターの設立と活動

エスカップ (ESCAP—国連アジア太平洋経済社会委員会) 地域鉱物資源開発センター (RMRDC) は 1973 年10月エスカップ事務局産業天然資源部 (現天然資源部) 鉱物資源課内に設立されて以来 日本および西独をはじめとする先進国の援助により次第に規模を拡大し 1978年に国連開発計画 (UNDP) の地域プロジェクトとして国連の資金援助を受けるようになり 9ヶ国のエスカップ域内国の代表からなる管理理事会が発足した。 1979年8月にはタイ国バンコックのエスカップ事務局からインドネシア国バンドンの鉱業技術開発センター (MTDC) 内に移転して組織の強化と業務の拡大をはかった。 これまでのセンターの活動は既に報告した (佐野 1978および佐野 1984) が 1985年8月末東京で第8回管理理事会が開催されたので いずれセンターの現況が報告されるものと思われる。

地域鉱物資源開発センターの規約にきめられた目的はエスカップ域内国の要請に応じて 地質調査および鉱物資源開発を担当する国立機関を強化し拡大するよう援助することにある。 この目的を追求するために センターは 1) 専門家による諮問サービスを提供する 2)

各国の鉱物資源探査開発プロジェクトの計画作成や資金調達について援助する 3) どのような訓練が必要であるかを調査し 訓練プログラムを組織する 4) 鉱物資源データのとりまとめを含む情報サービスを実施する および 5) 地域内の実験施設を組織化して高度な技術の普及をはかるという5つの機能をそなえることを要求されている。

このような機能は 1) 先進国からその国の経費負担で派遣された専門家によるエスカップ途上国に対する諮問サービス 2) 主として国連開発計画の資金によるワークショップ/セミナーや集団研修の実施 および 3) 主として日本政府の援助による特別プロジェクトの実施などにより実現された。

オイルショック以来の世界経済の停滞にともない 国連開発計画の資金も高度成長時代のような拡大は望めない。 したがって 国連開発計画は既存の地域プロジェクトに対して人件費を主とする管理経費を打切る方針を打出し 地域鉱物資源センターに対しては その活発な活動を評価し 各国がその存続を充分支持すると判断して 1982年末で所長 (Co-ordinator) の人件費の援助を打切った。

筆者の1人 佐野は 1982年末センターを去った元所長

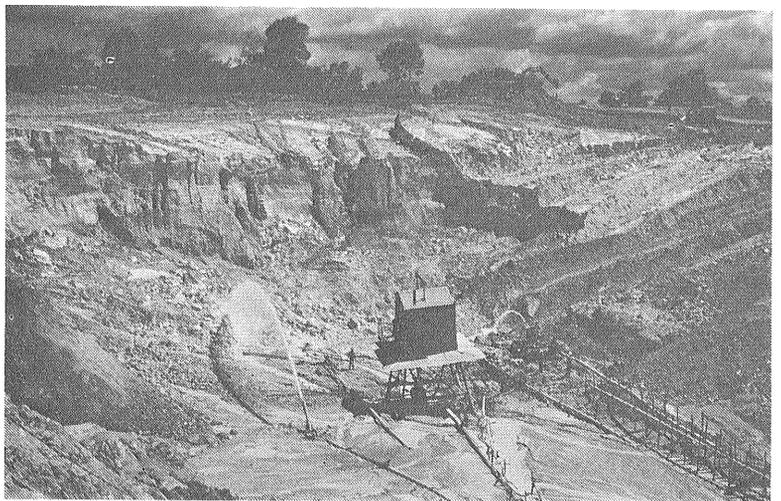


写真1  
パンカ島の砂錫採掘場。ウ  
ォータージェットで第四紀層  
をつきくずし 比重の大きい  
錫石を分別回収する。

第1表 錫精鉱の主要生産国別年産額

	1980	1981	1982	1983
世界	229,479	243,074	214,641	-----
インドネシア	32,527	31,296	33,786	26,520
タイ	33,686	42,960	26,207	19,944
マレーシア <sup>1)</sup>	61,404	59,856	52,342	41,364
中国	*16,000	*16,000	*16,000	-----
ブラジル	6,930	7,320	* 8,279	13,080
ボリビア <sup>2)</sup>	27,271	29,796	26,773	24,312
イギリス <sup>3)</sup>	3,028	3,864	4,177	4,104
ザール	3,159	2,472	2,174	2,124
ナイジェリア	2,527	2,496	1,708	1,452
南アフリカ	2,910	2,400	3,035	2,604
オーストラリア	12,379	11,136	12,750	10,296

錫精鉱(混合錫石)の錫含有量で、トンで表わす。

- 1)西マレーシアのみ。 2)輸出金属中の錫含有量を含む。  
3)タングステン鉱石を含む。 \* 暫定又は推計値。(総務庁統計局編 国際統計要覧1985, 1983による)。

Dr. P. H. LJUNGRREN の要請により 当面のセンターの管理運営に当たったが ユネスコ (UNESCO) を退職してインドネシアに滞在中の Dr. James E. McDIVITT が エスカップ事務局の非常勤コンサルタントの形で1983年6月より2年間所長に任命された。しかし専任所長を望む声は強く 西独は2回にわたってセンターに専門家として派遣した Dr. H. GEBERT を85年末より所長として勤務させることを了承した。佐野は1983年10月センターを離れて帰国したが 実施中の特別プロジェクトの作業がまとまるようセンターに対する協力を続けた。

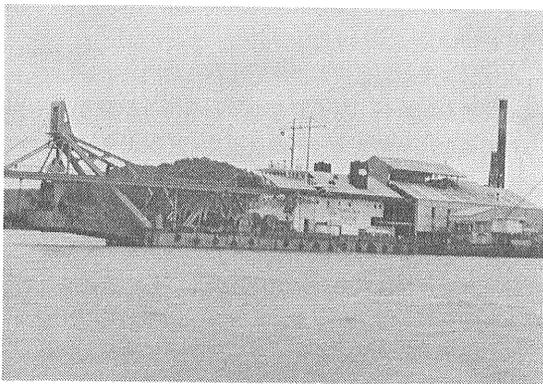


写真2 錫の漂砂鉱床を採掘するためのドレッジ船。船首から海底の砂を採取し 船中で錫鉱を分離して船尾から鉱滓を廃棄する。タイ プケ島沖で撮影。

このような事情でセンターの人員は1982年の専門家9名および補助職員6名を頂点として減少し その組織は弱体化せざるを得なかったが 先進国特に日本および西独は発足の当初から援助を続けており ホストであるインドネシアをはじめエスカップ途上国もその存続を支持しているの で 地域鉱物資源開発センターの活動が中断することなく更に発展することが期待されている。発足当時の事情などによると思われるが 途上国による分担金が他の地域プロジェクトに比較して少額であり 財政的な安定度を高めるために 関係者の一層の努力が望まれる。

### 東南アジアの錫花崗岩帯と鉱業事情

東南アジアのインドネシア・マレーシア・タイ3国は世界の錫鉱生産額の半分以上を産出する(第1表)。これらの錫鉱はおもに第四紀の地層に含まれる漂砂鉱床から採掘されているが 鉱石鉱物である錫石の起源はこの地域に広く露出する中生代の花崗岩やそれに伴う鉱床に求められる(写真1および2)。この地域の錫鉱業は100年余りの歴史を持ち 特にマレーシアでは長年にわたる採掘の結果渾濁に向い 今後は花崗岩中あるいはそれに伴う初生鉱床の探査が望まれている。

錫を伴ない あるいは錫の期待される花崗岩帯は南はマレー半島からインドネシアの錫の島 すなわちバンカ島およびビロン島に至る。また北方へは 分岐し断続しながら中国・朝鮮半島からシベリアへ延びているが 北側ではタングステンの産出が多くなり 中国は世界第一のタングステン産出国として有名である。また 東南アジアの中では タイが韓国・北朝鮮に匹敵する年産額を保っている(第2表)。これらの花崗岩は付随する鉱物資源にもとずいて錫花崗岩(東南アジア)または錫-タングステン花崗岩(東-東南アジア)と呼ばれている。厳密な定義があるわけではないが この地域の錫やタングステンの資源をもたらした花崗岩であるということをよく表現しているし 共通の性質も認められる。大きな特徴として磁化率が低いことが挙げられよう。

さて 錫はプラスチックなどの新しい素材との競合が激しく 需要が伸びなやみ 価格が低迷を続けてきた。このため 東南アジア3ヶ国およびボリビアなど7つの伝統的錫生産国は生産カルテルを結成して生産制限を行い 生産国と消費国とで構成される国際錫理事会(ITC)に緩衝在庫制度を設け 市場価格1キログラム当り29.15マレーシア・ドル(=1トン当り約8,500ポンド)を限度として買い支えを行ってきた。ところが ブラジルおよび中国などの新興生産国が輸出をのばしてきた

第2表 タングステン精鉱の主要生産国別年産額

	1980	1981	1982
世界	65,449	61,452	57,345
韓国	3,242	3,333	2,817
北朝鮮	*2,770	*2,770	*2,770
タイ	2,037	1,526	1,080
中国	*18,900	*17,000	*15,800
アメリカ合衆国 <sup>1)</sup>	3,453	4,469	1,790
カナダ <sup>1)</sup>	4,007	1,736	2,947
ボリビア	4,235	4,418	4,028
オーストリア	1,886	1,826	1,713
ポルトガル	1,958	1,759	1,714
オーストラリア	4,494	4,512	3,843
ソビエト	*11,000	*11,150	*11,320

タンングステン精鉱(混合鉱石を含む)の三酸化タンングステン含有量が1,000トンで表わす。1)鉱山からの出荷額。\*暫定又は推定値。(総務庁統計局編 国際統計要覧1985による)。



凡例

● 主に磁鉄鉱系

■ 主にチタン鉄鉱系

第1図 東一東南アジアにおける磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系花崗岩質岩の分布 (Takabashi 他 1980)。

め 市場価格は低落する一方で 買い支え資金は底をつき ついに1985年10月24日 国際錫理事会はロンドン金属取引所 (LME) における錫の取引停止を要請した。その後関係者間の会議がしばしば開かれているが 取引は停止されたままである。同時にマレーシアのクアラルンプール錫市場の取引も停止されたため マレーシアの中小鉱山は一時閉鎖におい込まれることが続出し また今後価格下支えができない場合 国際相場は取引停止前の半値まで下がる恐れさえある という (朝日新聞 1985年11月24日)。もちろん 小額の取引は各地で行われてきた。12月17日タイ国政府は課税標準額として1キログラム当り21マレーシア・ドルを設定し その後毎日標準価格を発表することとした。一方 クアラルンプール錫市場は錫生産者の圧力によって1986年2月3日取引を再開した。初日の取引価格は1キログラム当り18マレーシア・ドルであった。これに伴ないタイ政府は錫標準価格の発表を取止めた (主として Far Eastern Economic Review 1985年12月-1986年2月による)。

錫鉱石を精製したあとに残る鉱滓はタンタルを含み マレーシアおよびタイは1980年頃まで西側で最大のタンタル原料の供給元で 一時は廃棄された鉱滓まで掘り返すさわざもあつた。タンタルの主要な用途はコンデンサーで 超硬工具用あるいは高温用の合金にも使われるが最近コンピューター産業の急激な発展によって再び需要増が見込まれている。錫の生産制限による鉱滓の減少

はタンタル原料にも影響し 東南アジアのシェアは減少している。タイでは1986年中に西独の技術によるタンタル精鉱処理プラントが完成する予定で 政府はこのプラント用の原料を確保するため鉱滓の輸出を禁止するであろうといわれている (Engineering and Mining Journal 1985年3月)。

東南アジアの錫鉱業が直面している諸問題に対して既に何年も前から 解決のためにいろいろな努力が続けられてきた。エスカップの後援で インドネシア・マレーシア・タイ3国は 東南アジア錫研究開発センター (SEATRAD Centre) を政府間機構としてマレーシアのイポーに設立し 国連開発計画の資金援助を得て 錫の探鉱・採鉱・精錬ならびに利用にわたって基礎的な研究や訓練が行われている。また 国際地質対比計画 (IGCP) の Project 220 として「東南アジアおよび西太平洋地域の錫/タンングステン花崗岩の対比と資源評価」が取上げられ 多くの科学者を組織して活動している背景としても 東南アジアの鉱業の深刻な問題が反映して

いると考えられる。

地域鉱物資源開発センターの第1回管理理事会(1978年)において 東南アジアの錫花崗岩ベルトの重要性が強調され この地域の錫鉱業が涸渇に向いつつある標砂鉱床への依存を脱却し さらに新しい鉱種の開発をはかるため 空中物理探査を共同で実施することが提案された。

3カ国にわたる広大な地域をカバーする空中探査に要する巨額の資金の準備の困難さと 関係各国の航空関係事業に対する政策の相異など国情の違いによって この共同空中探査計画は実現されなかったが 地域鉱物資源開発センターはこのような空中物理探査の基礎となる錫花崗岩ベルトの岩石の物理的性質の研究を特別プロジェクトとして実施した。本稿はこのプロジェクトの概要を紹介するものである。

なお マレーシアでは非鉄金属鉄床の探鉱を目的とする空中物理探査が1980年に半島マレーシアのセントラル・ベルトで実施された。また アジア開発銀行(ADB)の援助によりタイ全土の空中物理探査が行われている(1985—1986年)。インドネシアではアジア開発銀行の援助により空中探査用機材を購入し 全国的な探査事業を計画している。

## プロジェクトの目的と経過の概要

このプロジェクトの正式名称は「インドマシア・マレーシア・タイの錫花崗岩ベルトの岩石磁性およびその他の物理的性質に関するエスカップ地域鉱物資源開発センターのプロジェクト」である。「岩石磁性プロジェクト(Rock Magnetism Project)」と略称されたが 古地磁気学的研究を目的とするものではない。

このプロジェクトの直接の目的は 1) 東南アジア3国にまたがる錫花崗岩ベルトに沿って分布する岩石の岩石磁性(磁化率および自然残留磁化)およびその他の物理的性質(放射能および力学的性質)を調査し 2) 測定結果を解析して物理探査結果の解釈や鉱床生成の考察に応用することである。

このプロジェクトは地域鉱物資源開発センターが計画・組織し インドネシア地質研究開発センター・マレーシア地質調査所・タイ鉱物資源局の参加 工業技術院地質調査所およびインドネシア錫公社(P. T. Timah)の協力により実施された。そして アカデミックな研究に走らず 発展途上国の機関で実施できる手法を中心として 実用的なデータを得るように努めた。かつて工業技術院地質調査所が担当してインドネシア地質調査所(当時の組織)と共同で実施した工業技術院の国際研究1986年5月号

協力プロジェクト「東南アジアの地質構造—インドネシア ジャバ島の重力および地質学的研究」(1973—1976)で岩石の物理的性質の測定技術が移転されたので インドネシア地質研究開発センターが今回のプロジェクトの活動の中心となって 国連のプロジェクトの要素として重視される 発展途上国内技術協力(TCDC)を取り入れるよう計画された。

このプロジェクトの実施に必要な資金として 日本—エスカップ協力基金(JECF)から1980年に20,748米ドルが また1982年に54,805米ドルが地域鉱物資源開発センターに割当てられた。この資金は専門家および研修員の国外旅費 外部に委託した岩石試料の測定・分析等の役務費 器材の購入費 報告書の印刷費およびエスカップ事務局の管理経費等に使用された。専門家の旅費以外の現地調査の経費は 原則として インドネシア・マレーシア・タイの政府がカウンターパートとして負担した。工業技術院地質調査所およびインドネシア地質研究開発センターは専門家を派遣し 岩石試料の処理・測定・分析を行い また研修員を受け入れた。

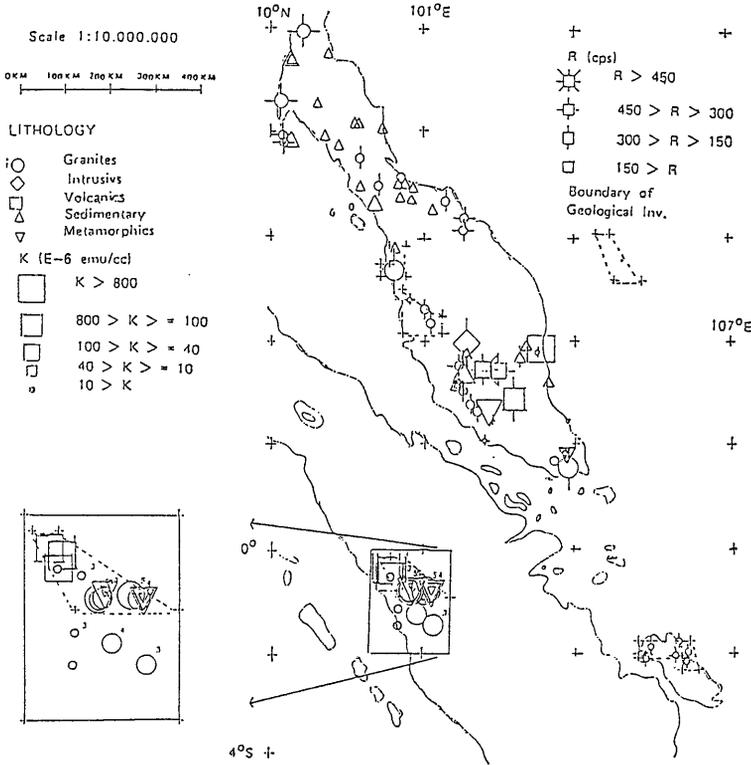
このプロジェクトの下で行われた諸作業は概略次の通りである。

1981年4—5月 南タイおよび半島マレーシアにおいて 花崗岩質岩およびその周辺に分布する岩石の試料の採取が斎藤友三郎およびS. HARTOSUKOHARJO(インドネシア地質研究開発センター)の指導の下に行われ(SAITO 他 1981, UDOMRATN 他 1981)。この調査で採取された岩石試料の物理的性質の測定がインドネシア地質研究開発センターで行われた(HARTOSUKOHARJO 1982)。

1981年10月 インドネシア地質研究開発センターにおいて 佐野浚一および同センターの専門家を講師として岩石の磁性および力学的性質の測定法の研修コースが開催され マレーシア地質調査所・タイ鉱物資源局より各2名 インドネシア錫公社より1名の研修員が参加した(SANO 1981)。

1982年10月 斎藤友三郎はインドネシア地質研究開発センターの岩石磁気実験施設を調査して測定法の改良について若干のコメントを与えるとともに(SAITO 1982) 同センターのチームによって西スマトラで行われた主として花崗岩質岩の試料採取を指導した(SUNATA 他 1983)。

1983年5—6月 佐藤興平は花崗岩質岩の地質学的・地球化学的特性を研究するため マレーシア地質調査所およびインドネシア地質研究開発センターと協力して半島マレーシアの北西部 インドネシアのパンカ島および西スマトラで 花崗岩質岩の化学分析用試料を採取し カップメーターによる磁化率および携帯用ガンマ線スペ



第2図

東南アジアの錫ベルトおよび西スマトラの岩石試料の磁化率と放射能(Sano 他 1985)。記号の形は岩石の種類を、記号の大きさは磁化率の大小を、また記号から射出している短い直線の数は放射能の強さを表わす。点線でかこまれた地域は化学分析用の試料が採取された地域である。

クトロメーターによる放射能の測定を行った (SATO 1983, 佐藤 1984)。この調査で採取された試料は工業技術院地質調査所で寺島滋により 一部は外部に委託し

て 各種の分析が行われた (SANO 他 1985)。

1984年2—3月 工業技術院地質調査所で1982年にインドネシアの西スマトラで採取した試料の物理的性質の測定が行われた。この測定はインドネシア専門家 S. HARTOSUKOHARJO の超電導磁力計による測定の高級研修の形で実現され 斎藤友三郎および上嶋正人が指導



写真3 エンジン付オーガーによる岩石試料の採取。タイ、ソクラ付近。

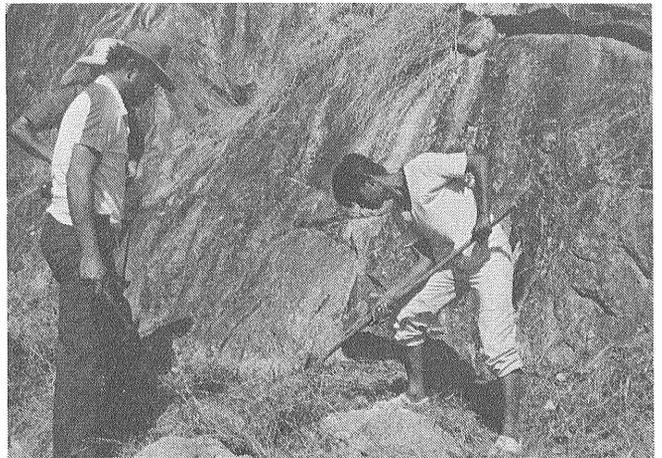


写真4 大型ハンマーによる岩石試料の採取。タイ、ソクラ付近。

に当たった。

1984年10月 エスカップおよび中国政府との共催で錫鉱床の地質学に関する国際シンポジウムが中国の南寧市で開催され 佐野浚一およびインドネシア・マレーシアのプロジェクト関係者が参加してこれまでの成果を発表した。

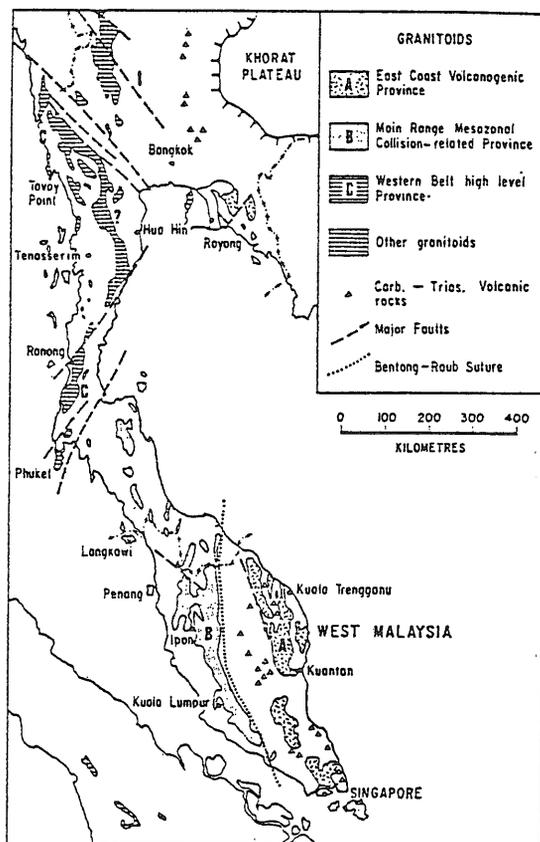
1985年に入って 地質調査所で斎藤友三郎は佐藤興平がパンカ島で採取した花崗岩質岩試料の磁性的測定を行いその他の物理的性質の測定を川崎地質(株)で大井豊樹が行った。これらの結果をまとめて最終的な報告書を8月末に東京で開催された地域鉱物資源開発センターの管理理事会に提出した(SANO 他 1985)。印刷された中間報告は引用文献に示したが 今後は学術誌上にも成果を公表する予定である。

### 錫花崗岩の物理的性質

1981・1982年に行われた物理的性質の測定のための岩石試料の採取では 自然残留磁化の測定のため方位試料(Oriented sample)が採取された。採取にはエンジン付オーガーも試みられたが(写真3) 必ずしも有効でないとして主にハンマーにより採取され(写真4)。さらに角柱状または円柱状の試料片を切り取って室内測定に用いた。

磁化率は Bison 磁化率計により 自然残留磁化は交流消磁の前後に スピナー 磁力計(感度 $3 \times 10^{-8} \text{ emu/cm}^3$ )により測定された。測定された力学的性質は自然密度 乾燥密度 湿潤密度 孔隙率ならびに弾性波(P波およびS波)速度である。乾燥状態および湿潤状態は試料片を4日間以上それぞれ110°Cの乾燥器に入れておくか水に浸すことによって作りだされた。孔隙率は乾燥密度および湿潤密度から求められる。弾性波速度はチタン酸バリウム(BaTiO<sub>3</sub>) トランスデューサーをシンクロスコープに組み合わせた装置で測定された。放射能は各国の参加機関から提供されたシンチレーション・カウンターによって露頭上のガンマ線強度として測定された。これらの異ったカウンターによる測定値は重複した測定値を用いて求めた係数によって マレーシアで用いた測定器(Exploranuim GR 101 A)に対する値に補正した。

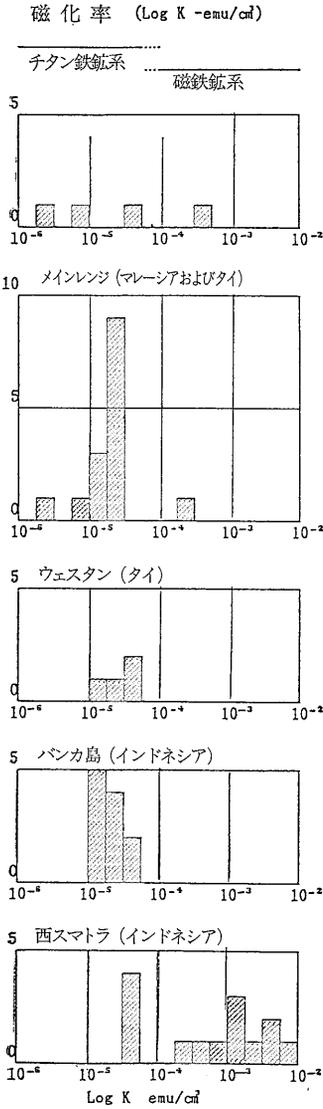
今回測定した物理的性質のうち 磁化率と放射能の全地域にわたる分布を第2図にまとめた。記号の位置は試料の採取地点に対応し 記号の形は岩石の種類を 記号の大きさは磁化率の大小を示す。また 記号から射出している短い直線の数は放射能の強さを表わしている。この図では採取されたすべての試料の測定値を示 1986年5月号



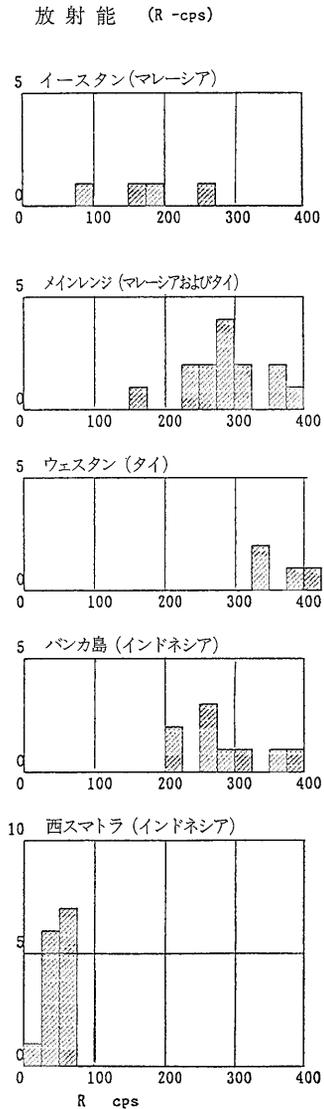
第3図 半島マレーシアおよび南タイの錫花崗岩ベルトの分帯(Hutchison 1978) A:イースタン・サブベルト, B:メインレンジ・サブベルト, C:ウェスタン・サブベルト。

したが 以下の議論では花崗岩質岩だけを取り上げる。

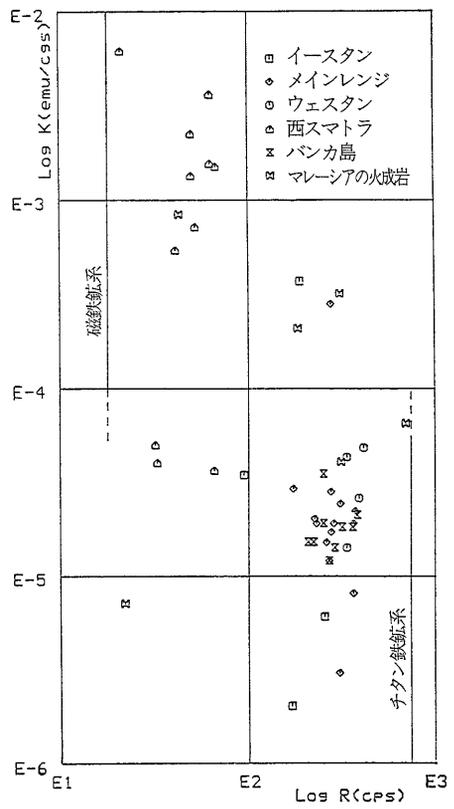
HUTCHISON and TAYLOR (1978) はマレー半島の錫花崗岩をイースタン(Eastern) メインレンジ(Main Range) およびウェスタン(Western)の3つのサブベルト(分帯)にわけ(第3図) その地質構造上および鉱床生成上の意義を論じた(HUTCHISON 1978)。イースタンおよびメインレンジ・サブベルトはそれぞれ半島マレーシアの東海岸および西海岸に沿い 北は北北東に南は南南東に延び セントラルベルトによってわけられている。このセントラルベルトには錫花崗岩とは異なった種類の花崗岩が露出し 鉛・亜鉛などの非鉄金属鉱床の開発が期待されているが 小型の深成岩体以外の花崗岩質岩は錫花崗岩に類似し 錫の探鉱にも注意が向けられるべきである(SATO 1983)。メインレンジ・サブベルトは南タイに北上し その西側にウェスタン・サブベルトが延びている。



第4図 東南アジアの花崗岩質岩の磁化率(対数目盛)の頻度分布。



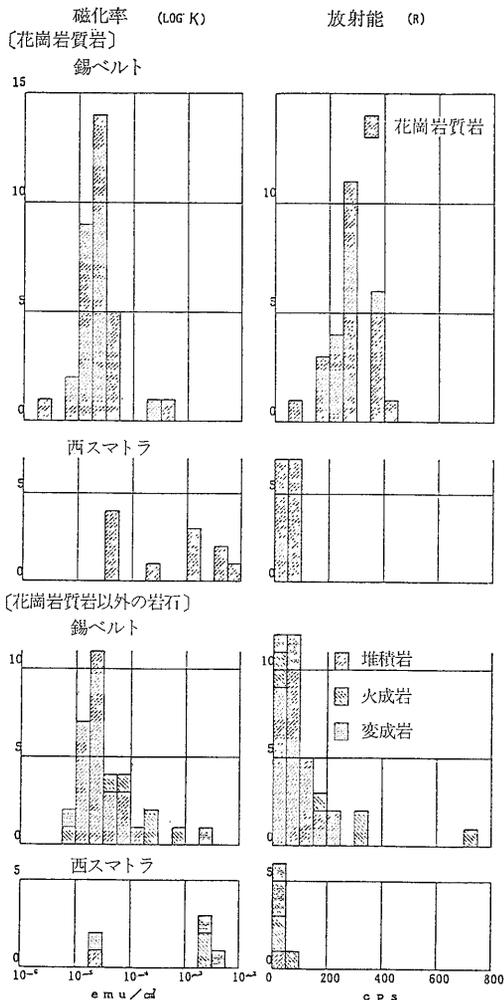
第5図 東南アジアの花崗岩質岩の放射能の頻度分布。



第6図 東南アジアの花崗岩質岩の磁化率と放射能の相関(対数目盛). 半島マレーシアの他の火成岩も含む。

インドネシアのバンカ島は半島マレーシアの恐らくメインレンジ・サブベルトの延長と考えられるが一応錫花崗岩ベルトに属する別の地域として取り扱う。西スマトラの試料採取地域では錫の鉱床または鉱化作用は知られていないので錫ベルトの外側の地域と考えられる。しかし試料採取地域外では錫の鉱化作用が報告されており英国地球科学研究所(IGS)が行った広域地球化学探査によると北スマトラで錫の異常が確認されているからスマトラにも錫ベルトが存在することが推定される。

そこでこのような5つの地域にわけて花崗岩質岩の物理的性質の測定結果を検討してみよう。第4図は磁化率の頻度分布を比較したグラフで錫ベルト(3つのサブベルトとバンカ島)の花崗岩質岩はいくつかの例外を除いてチタン鉄鉱系(5×10<sup>-6</sup>emu/cm<sup>2</sup>以下)に属するが西スマトラの花崗岩質岩は磁化率の高いものが多い。一方放射能の頻度分布は第5図に示したように錫ベルトで高く西スマトラで低く顕著な差を示している。錫ベルトの中ではISHIHARA and MOCHIZUKI (1980)に報告されているようにウェスタン・サブベルトで特に高

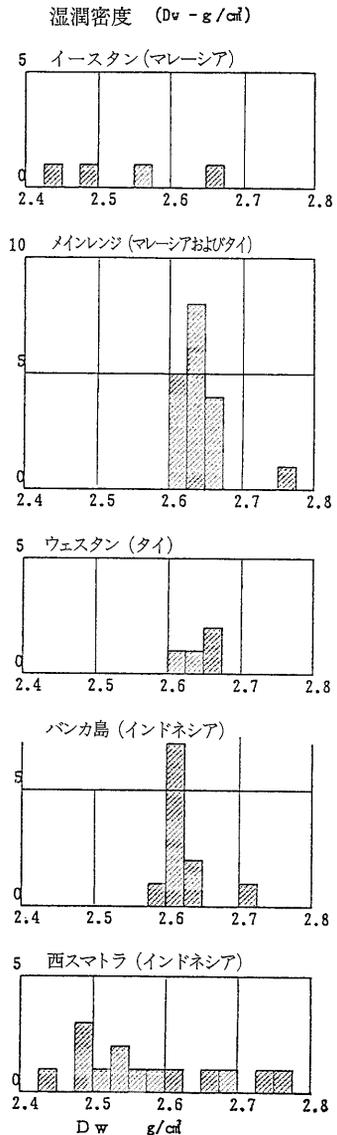


第7図 東南アジアの花崗岩質岩および他の岩石の錫ベルトおよび西スマトラにおける磁化率および放射能の頻度分布の比較。

い。さて磁化率と放射能の相関図(対数目盛)を作ると第6図のようになる。ここで半島マレーシアで採取した花崗岩質岩以外の火成岩のデータも加えた。もしこれらの岩石が同じマグマから分化したものであればもっと明瞭な逆相関がみられる筈である。磁化率の低いところすなわちチタン鉄鉱系花崗岩質岩では逆相関は全くみられない。

このように錫花崗岩は低い磁化率と高い放射能とで特徴づけられる。したがって空中物理探査(磁気・放射能)をかけた場合錫花崗岩は磁気異常を与えず放射能異常だけを示す。錫ベルトをまとめて花崗岩質岩と非花崗岩質岩の磁化率と放射能を西スマトラと比較したグラフが第7図である。錫ベルトでは堆積岩の一

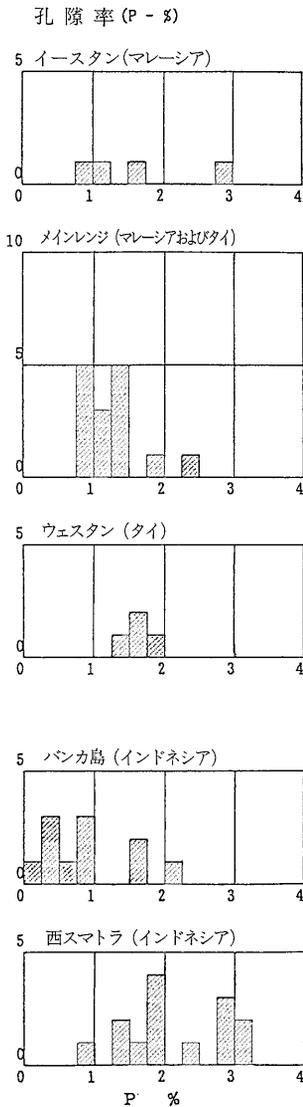
1986年5月号



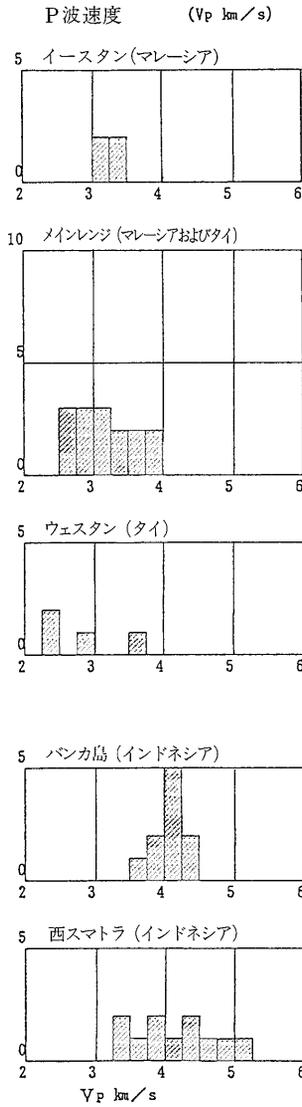
第8図 東南アジアの花崗岩質岩の湿潤密度の頻度分布

部と他の火成岩の大部分もかなり高い放射能を示す。なお錫花崗岩の2倍程度の高い放射能を示した岩石はマレーシアのセントラルベルトの流紋岩であった。

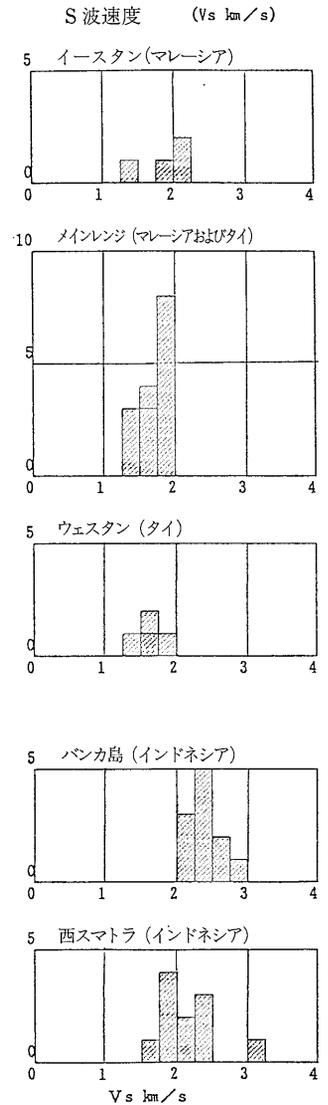
測定された3種類の密度のうち現地での岩石の状態をよく表現する量として湿潤密度を取り上げ第8図に頻度分布を示す。かなりバラツキを示す地域もあるが2.6 g/cm<sup>3</sup>を中心として分布し従来から報告されている値と一致する。日本の花崗岩質岩を研究した寺島(1983)は磁鉄鉱系花崗岩質岩の密度はチタン鉄鉱系花崗岩質岩より約0.1 g/cm<sup>3</sup>だけ高いと述べておりこの結果は両系の鉱物成分の差からも理解されるが今回



第9図 東南アジアの花崗岩質岩の孔隙率の頻度分布。



第10図 東南アジアの花崗岩質岩の弾性波P波速度の頻度分布。



第11図 東南アジアの花崗岩質岩の弾性波S波速度の頻度分布。

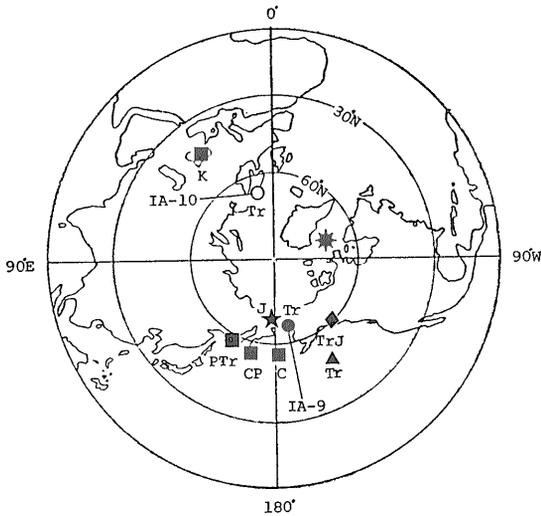
の測定では明瞭な差は認められなかった。

第9図は孔隙率の頻度分布である。新鮮な花崗岩質岩では本来実質的にゼロである筈であるが測定値は1—3%に達し熱帯地方ではげいしとされている風化の影響であろう。西スマトラでは採取地域の北縁をスマトラ大断層が走っているためか特にバラつきが大きい。

弾性波(P波およびS波)速度の頻度分布はそれぞれ第10図および第11図である。大陸地域の花崗岩質岩のP波速度は6km/s前後であるが(例えば物理探鉱技術協会 1979)日本の花崗岩のP波速度は3—5km/s程

度で錫花崗岩の値に近い(服部・杉本 1975)なお弾性波速度の測定は自然状態(室内で放置された状態)で行われ乾燥状態に近かった。若干の試料が現地での状況に近いと思われる湿潤状態で測定されたが15%程度の速度の増加が認められた。

これまで調べてきたように錫花崗岩の物理的性質のサブベルトによる差異は認められなかった。ただしイースタンおよびウェスタン・サブベルトについては試料数が全く不十分であり同じサブベルトの中でも北と南とでは多少性質がちがうことも考えられる。また力学的性質については錫花崗岩の特徴は全くみられな



- ★ 現在の地磁気北極 (IGRF1960)
- 西スマトラ (北極)
- 西スマトラ (南極)
- ◆ スマトラ (佐島ほか1978)
- ▲ 中部スマトラ (HAILE, 1979)
- マレーシア (McELHINNY et al., 1974)
- ★ タイ (HAILE & TARLING, 1975)

第12図 インドネシア、マレーシアおよびタイの既存の研究結果と比較したインドネシアの西スマトラの2つの花崗岩試料による仮想磁極位置。

った。

自然残留磁化は 磁鉄鉱を含む試料についてもほとんどの場合地球磁場による誘導磁化に比べて小さい。すなわち これらの岩体によって生ずる磁気異常で残留磁化の影響は無視できる。さて 西スマトラでは1地点で1—2 mおきに数個の試料を採取して (写真5) 交流消磁後の残留磁化の安定性を調べた結果 少なくとも2組

の花崗岩試料について自然残留磁化の方向が信頼できることが結論された。したがって この2地点のデータによって岩石が固結した当時の地球の磁気双極子の方向すなわち仮想磁極位置 (VGP) を計算したところ 第12図に示すように スマトラおよびその周辺地域での従来の古地磁気学的研究の結果と矛盾しないことがわかった (JARRARD and SASAJIMA 1980)。

### 錫花崗岩の地球化学的性質

1983年の調査で採集された花崗岩質岩試料の主成分と微量元素 (Sn・W・F・Cl・Rb・U・Th など) が検討された。主成分と微量元素の一部は依頼により ICAP 法と中性子放射化法で Sn・F・Rb は寺島滋氏により原子吸光および吸光光度法 (TERASHIMA 1974; 寺島 1975) で分析された。これらの結果は予報としてすでに公表されたが (佐藤ほか 1985; SANO et al., 1985) その一部を紹介しよう。

分析結果を既存のデータも合せ 第13図には SiO<sub>2</sub> 含有量のヒストグラムで 第14図には CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O 比で示した。錫ベルトの試料は SiO<sub>2</sub> に富むが (68~78 wt. %) 西スマトラには磁化率の高い苦鉄質な岩石が出現する。錫ベルトの中でもっとも SiO<sub>2</sub> に富む岩石はバンカ島の初生錫鉱床であるペマリ (Pemali) 鉱床の露天掘採掘場で また もっとも SiO<sub>2</sub> の乏しい岩石は同じ島の中で唯一錫を伴わない岩体であるケラパ (Kelapa) 岩体で得られた (写真6)。第14図にみられるように 錫ベルトの花崗岩質岩は日本の花崗岩類に比べ 高い K/Na 比で特徴づけられる。とくにバンカ島とマレーシアのメイン レンジ・サブベルトの岩石は高い K/Na 比をもち 南タイ (タイ半島部) の花崗岩質岩とともに同

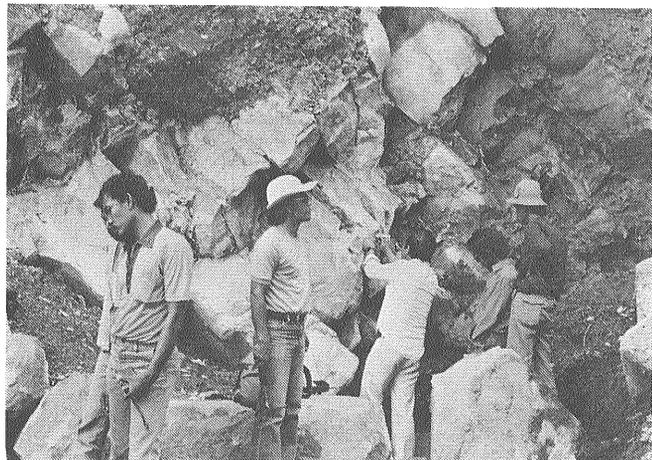
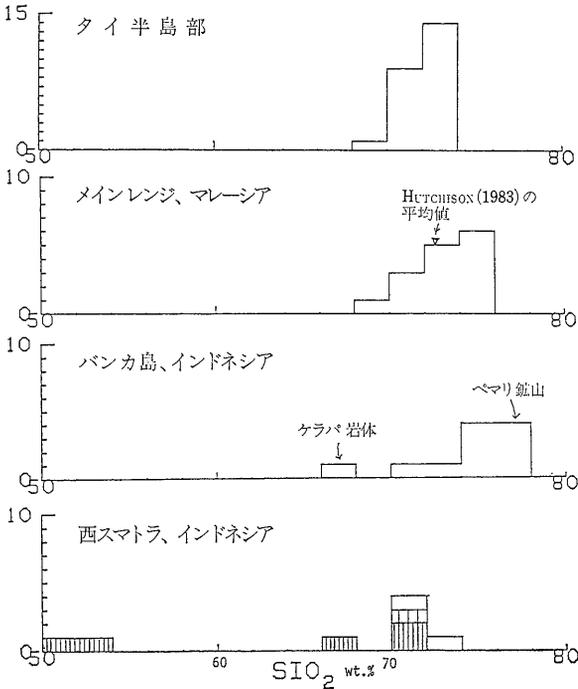
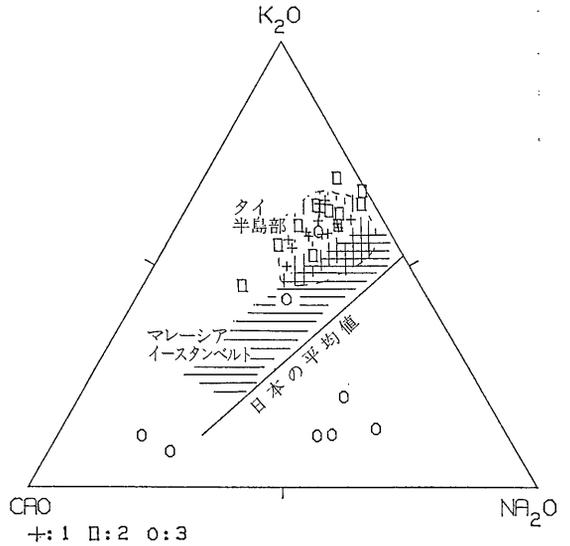


写真5  
インドネシア、西スマトラでの岩石試料の採取。1箇所からいくつかの試料を採取した。



第13図 東南アジアの花崗岩質岩の  $\text{SiO}_2$  含有量の頻度分布。南タイの花崗岩質岩のデータ (Ishihara 他 1980) およびマレーシアのメインレンジ・サブベルトの平均値 (Hutchison 1983) も示した。縦線でハッチを入れた部分は磁化率の高い岩石に対応する。

一の岩石区に属すると推察される。これに対し マレー半島東部のイースタン・サブベルトの花崗岩質岩はやや低い  $\text{K}/\text{Na}$  比を示す。西スマトラには 錫ベルトの岩石と似た  $\text{K}/\text{Na}$  比をもつ岩石も産するが 検討した岩石の多くは  $\text{K}_2\text{O}$  に乏しいことで特徴づけられる。西スマトラでもっとも高い  $\text{K}/\text{Na}$  比をもつ岩石は



第14図 東南アジアの花崗岩質岩の  $\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  重量比。南タイ (Ishihara 他 1980) およびマレーシアのイースタン・サブベルト (Rajah 他 1979) のデータ範囲ならびに日本の花崗岩質岩の平均成分比 (Aramaki 他1972) を加えた。地域を示す記号は1) メインレンジ、2) バンカ島、3) 西スマトラで以下の図も同じである。

後で述べるように  $\text{Sn} \cdot \text{F}$  含有量が高く また低い磁化率を示し錫ベルトに属するものと考えられる。このように 錫をもたらした花崗岩質岩は主成分では  $\text{SiO}_2$  と  $\text{K}_2\text{O}$  に富み鉱物組成としてはカリ長石と石英に富むという特徴がある。

F 含有量は 検討した試料で 300 から 3,000 ppm の広い範囲にわたり  $\text{SiO}_2$  含有量の増加とともに増加する傾向を示す。最高の F 含有量のはっとも  $\text{SiO}_2$  の多い

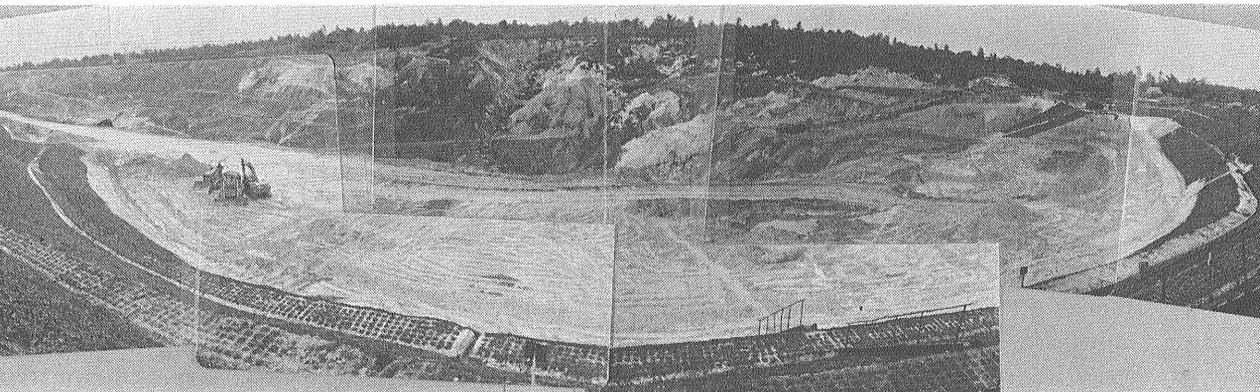
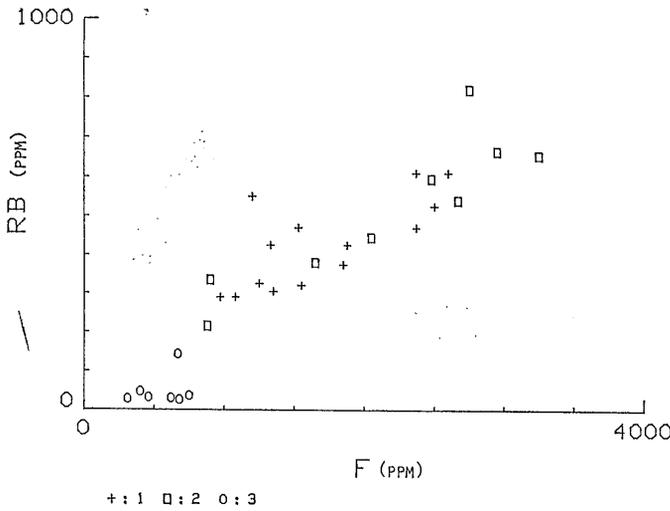
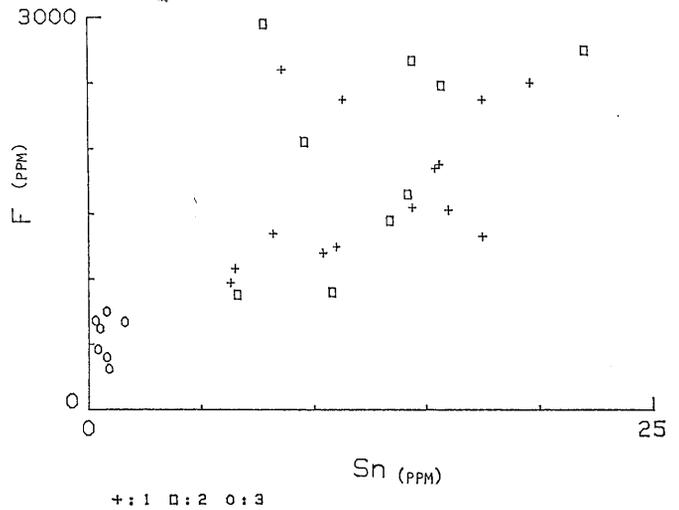


写真6 インドネシア バンカ島のベマリ初生錫鉱床。 グライゼン化した花崗岩中を露天堀で採掘している。



第15図  
東南アジアの花崗岩質岩のF含有量とRb含有量との関係。地域を示す記号は第14図と同じである。

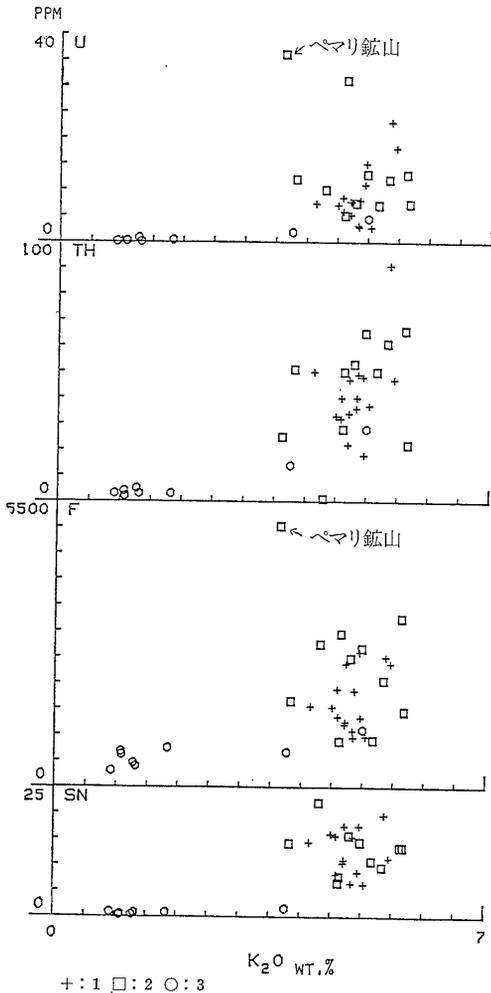


第16図  
東南アジアの花崗岩質岩のF含有量とSn含有量との関係。地域を示す記号は第14図と同じである。

ペマリ鉱山の試料で得られた。また F含有量は Rb含有量と良い相関を示し(第15図) メインレンジ・サブベルトとバンカ島のデータの分布範囲は重複し両者は区別できない。この点からもバンカ島がメインレンジ・サブベルトに属すると考えることができよう。第15図にみられるように錫ベルトの花崗岩質岩はFに富むことを特徴とし(1,000~3,000 ppm) 一般に少量の螢石を含む。これとは対照的に西スマトラの花崗岩類は磁性には関係なくFおよびRbに乏しい(F<700ppm Rb<200ppm)。図には示していないがその後の検討で第14図で高いK/Na比をもつ低磁化率の岩石のみは高いSn・F含有量をもつことが明らかとなった。錫ベルトに相当する花崗岩質岩の存在はスマトラ島にも錫鉱床賦存の可能性が高いことを意味しよう。

Sn含有量については0.4~60 ppmの値が得られた。Sn含有量もF含有量と相関するがRb-F相関図ほど明瞭ではない(第16図)。Sn-F相関図上でもバンカ島とメインレンジ・サブベルトは区分できない。西スマトラでは錫ベルトに似た岩質をもつ上記の高いK/Na比の岩石以外は磁化率に関係なく約1 ppmという低いSn含有量を示す。

岩石の放射能(ガンマ線強度)は主に放射性のK・U・Th含有量に依存する。第17図はK<sub>2</sub>O含有量とUおよびTh含有量との関係を示す。放射能はU・ThおよびK<sub>2</sub>Oに富む錫花崗岩で強く最高のU含有量は今回の調査でもっとも放射能の強かったペマリ鉱山の試料で得られた。錫ベルトとは対照的に西スマトラの花崗岩質岩は一般にU・Th含有量が低く測定された



第17図 東南アジアの花崗岩質岩の U, Th, F および Sn 含有量と K<sub>2</sub>O 含有量との関係。地域を示す記号は第14図と同じである。

放射能が低いことと調和している。このように放射能強度は野外で錫鉱床賦存の可能性のある花崗岩質岩を抽出するうえで有力な判定基準となりうる。すなわち磁化率が低かつ放射能強度の高い花崗岩に注目することで有望探査区域を抽出することが可能となろう。これらの測定は野外で簡単に実施できるものであり今後の広域探査でいっそう活用されることが望まれる。

おわりに

地域鉱物資源開発センターの今回のプロジェクトにより東南アジアの錫花崗岩の特徴がかなり明らかになった。調査した地域の面積や採取した試料の数は決して

十分とは言えないけれども 従来の地質・鉱床に関する知識とてらしあわせて プロジェクトで得られた結果は十分普遍性を持ち 空中磁気放射能探査 露頭での磁化率や放射能の測定あるいは採取された試料の測定や分析などの結果に適用して 錫の鉱化作用を伴なう花崗岩質岩を選び出すことができる。

このプロジェクトの諸作業 特に現地調査と物理的性質の測定は東南アジア3ヶ国の参加機関によって行われ今後このような調査がより実用的な目的で実施される際の基礎となった。

もとより このプロジェクトは錫の探鉱だけを目的としたものではなかった。この地域の花崗岩質岩に関連する他の鉱物資源 タングステン タンタル(およびニオブ)あるいはアンチモンなどについて研究するためにはさらに多くのデータが必要で 調査地域をさらに(主に北に)広げること 分析する元素の種類と分析法を再検討すること およびこれらの鉱物資源の鉱化作用に関する詳細なデータを集めることなどを考慮しなければならない。採取された試料の年代は主に同じ岩体の絶対年代測定値によってきめられたが 必ずしも信頼できない場合があり 結局今回は議論されなかった。今後の調査では信頼できる測定値にもとづいて花崗岩質岩の年代についても議論されることが望ましい。

幸い 地域鉱物資源開発センターの管理 理事会は 1985年の会合で 今回のプロジェクトの活動を高く評価し そのフォローアップとして東南アジアの錫花崗岩ベルトのレアメタル資源に関する調査を特別プロジェクトとして実施するため 日本政府の資金援助を要請することを決定したので 錫花崗岩ベルトの調査が続けられることが期待される。

(昭和61年1月23日稿)

参考文献

ARAMAKI, S., HIRAYAMA, K. and NOZAWA, T., 1972, Chemical composition of Japanese granitoids, part 2. Variation trends and average composition of 1,200 analyses: *Jour. Geol. Soc. Japan.*, vol. 78, p.39-49.  
 物理探鉱技術協会, 1979, 物理探査用語辞典 付録4. 岩石の弾性波速度と弾性波定数: 東京, ㈱ラテイス, p. 386-388.  
 HARTOSUKOHARJO, S., MUBROTO, B., CHOW, W. S., SIRISENA, U. W. A., SAKDEJAYONT, K., UDOMRATN, C., SAITO, T. and SANO, S., 1982, Progress Report, October 1982-ESCAP RMRDC Project on rock magnetism and other physical properties of rocks in Malaysia-Thailand tin granite belt: RMRDC Report No. 165, 96p.  
 服部保正・杉本卓司, 1975, 岩石のP波伝播速度に関する統計的研究(I), (II): 物理探鉱, 28巻, p. 3-12およびp. 43-56.

- HUTCHISON, C.S., 1978, Southeast Asian tin granitoids of contrasting tectonic setting: *Jour. Phys. Earth*, vol. 26, Supplement, p. S 221-S 232.
- HUTCHISON, C.S., 1983, Multiple Mesozoic Sn-W-Sb granitoids of Southeast Asia: *Geol. Soc. America, Memoir* 159, p. 35-60.
- HUTCHISON, C.S. TAYLOR, D., 1978, Metallogensis in SE Asia: *Jour. Geol. Soc. London*, vol. 135, p. 369-376.
- ISHIHARA, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks: *Mining Geology*, vol. 27, p. 295-305.
- ISHIHARA, S. and Mochizuki T., 1980, Uranium and thorium contents of Mesozoic granites from Peninsular Thailand: *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 31, p. 369-375.
- ISHIHARA, S., SAWATA, H., ARPORN SWAN, BUSARACOME, F. and BUNGRASKEARTI, N., 1979, The magnetite-series and ilmenite-series granitoids and their bearings on tin mineralization, particularly of the Malay peninsula region: *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, no. 11, p. 103-110.
- ISHIHARA, S., SAWATA, H., SHIBATA, K., TERASHIMA, S., ARRYKUL, S. and SATO, K., 1980, Granites and Sn-W deposits of Peninsular Thailand. *Mining Geol. Spec. Issue*, No. 8, p. 223-242.
- JARRARD, R.D. and Sasajima, S., 1980, Palaeomagnetic synthesis for Southeast Asia: Constraints on plate motions. in *American Geophys. Monog.*, no. 23 (Ed. Hayes R.E.), p. 293-316.
- RAJAH, S., CHAND, F. and SINGH, D. S., 1979, The granitoids and mineralization of the Eastern Belt of Peninsular Malaysia: *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, vol. 9, p. 209-232.
- SAITO, T., 1982, Advisory report on rock magnetism laboratory at Geological Research and Development Centre, Indonesia: RMRDC Report No. 185, 11p.
- SAITO, T., HARTOSUKOHARJO, S., CHOW, W. S., LOH, T.H., SAKDEJAYONT, K., UDOMRATN, C. and SANO, S., 1981, Progress Report-ESCAP RMRDC Project on rock magnetism and other physical properties of rocks in Malaysia-Thailand tin granite belt: RMRDC Report No. 141, 23P.
- 佐野俊一, 1978, エスカップ地域鉱物資源開発センター: 地質ニュース, 228号, p. 14-25.
- SANO, S., 1981, Report of training of counterparts for ESCAP RMRDC Rock Magnetism Project in laboratory measurement and interpretation: RMRDC Report No. 154,
- 佐野俊一, 1984, エスカップ地域鉱物資源開発センターの活動: 地学雑誌, 93巻, p. 221-235.
- SANO, S., SATO K., and SAITO, T., 1985, Draft final report of ESCAP RMRDC Project on rock magnetism and other physical properties of rocks in Indonesia-Malaysia-Thailand tin granite belt: エスカップ地域鉱物資源開発センター管理理事会第8回会合提出文書.
- SATO, K., 1983, Progress Report, July 1983, Geological investigations for ESCAP RMRDC project on rock magnetism and other physical properties of rocks in Indonesian-Malaysia-Thailand tin granite belt: RMRDC Report No. 191, 28p.
- 佐藤興平・石原舜三, 1983, 甲府花崗岩体のと帯磁率と化学組成. 地調月報, 34巻, p. 413-427.
- 佐藤興平, 1984, 東南アジアの花崗岩と錫鉱床を訪ねて. 地質ニュース, 353号, p. 20-36.
- 佐藤興平・寺島滋・斎藤友三郎・佐野俊一, 1985, 東南アジアのSnベルトとスマトラの花崗岩類のSn・F含有量および帯磁率. 日本地質学会第92年学術大会講演要旨集, p. 427.
- 総務庁統計局編, 1985および1983, 国際統計要覧 1985および1983, 東京 大蔵省印刷局, p. 248.
- SONATA, W., SARTONO and LATIF, S., 1983, Preliminary report on rock magnetism survey in West Sumatra: Geophysics Division, Geological Research and Development Centre, Bandung, LGP no. 285, 14p.
- TAKAHASHI M., ARAMAKI, S. and ISHIHARA S., 1980, Granitic magmatism and related mineralization: *Mining Geology*, Special Issue, no. 8, p. 13-28.
- 寺島進世意, 1983, 磁鉄鉱系-チタン鉄鉱系花崗岩類の帯磁率と密度: 物理探鉱, 36巻, p. 345-353.
- TERASHIMA, S., 1974, Spectrophotometric determination of chlorine and fluorine in the standard silicate rocks. *BULL. GEOL SURV. JAPAN* vol. 25, p. 175-180.
- 寺島 滋, 1975, アルゴン-水素フレイム原子吸光法によるケイ酸塩中の微量スズの定量. 分析化学, 24巻, p. 319-321.
- UDOMRATN, C., JUNGAHAN, P. and SAKJDEYONT, K., 1981, Report on rock magnetism in southern Thailand: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Bangkok,