

# 東南アジアの花崗岩と錫鉱床を訪ねて

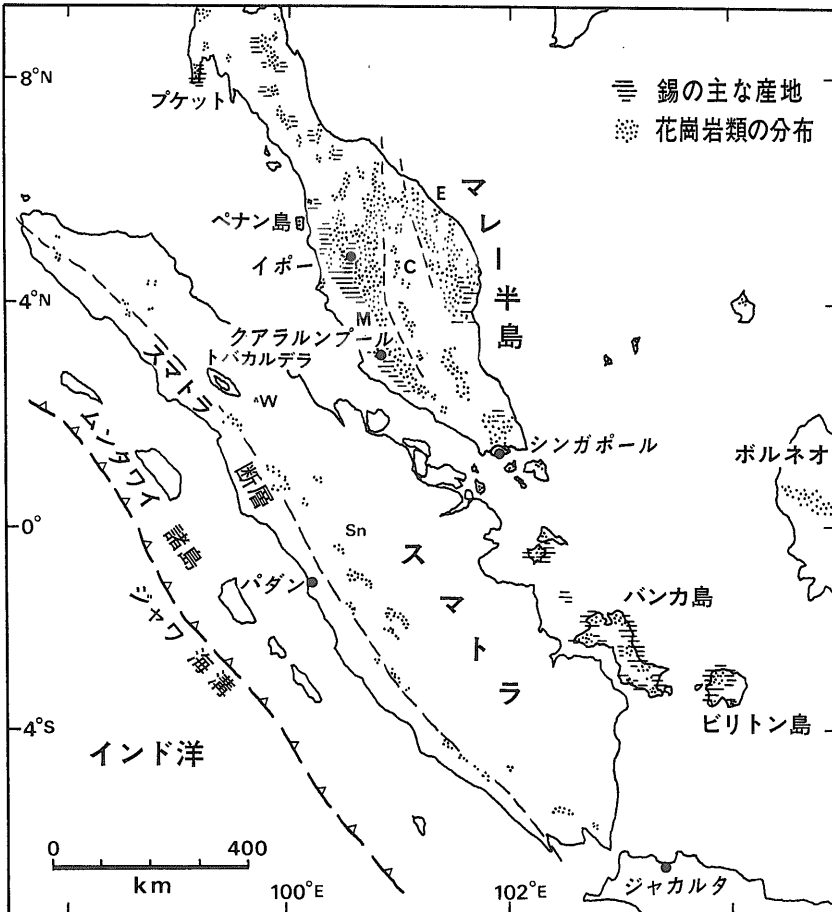
佐藤興平 (鉱床部)

SATO Kohei

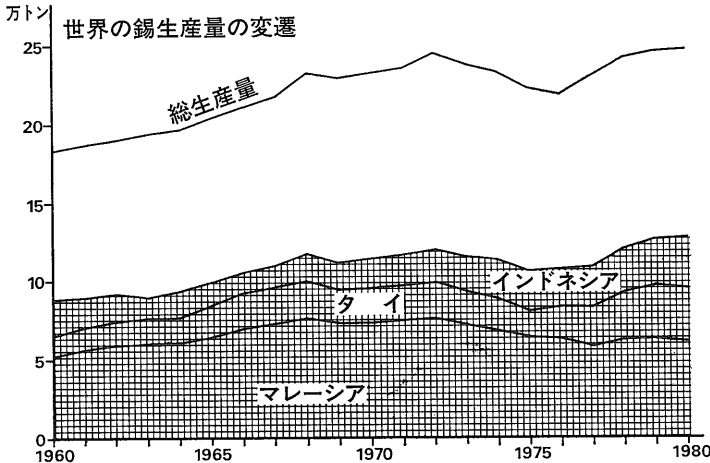
ジャングルの上を飛びつづけたプロペラ機が高度を下げ始めると 窓の外に一面の荒地が現われた。 広い平野がまるでじゅうたん爆撃でも受けたかの様に掘り返され 水の溜った池が遠くに霞む山の麓までつらなっている (写真1-1)。 世界最大の錫産地マレーシアのキンタ・バレー (Kinta Valley) の初印象は 鉱山地帯というよりは荒地と言うにふさわしいものだった。 錫はこの平野を形成している沖積堆積物などに含まれており 19世紀末から 100年近くにわたって掘り続けられている。 さらに高度を下げた機は 錫を採掘するドレッジ船を浮べた池の上をかすめるようにしてイポー (Ipoh) に着陸し

た。

国連 RMRDC (Regional Mineral Resources Development Centre の略 インドネシアのバンドンにある) の依頼によるこの調査旅行は キンタ・バレーを出発点にマレーシアとインドネシアの錫ベルトを経てスマトラのパダン高地に終るまで 1983年5月末から1カ月間にわたって行われた (第1図)。 この調査は RMRDC のスタッフである元地質調査所海外室長の佐野俊一氏によって企画されたプロジェクト “Rock Magnetism Project” の一部であり その主目的は 岩石とくに花崗岩類の磁性を検討し鉱化作用との関係について助言をするという



第1図  
マレーシア—インドネシア地域の花崗岩類と錫鉱床の分布。マレー半島の M・C・E はそれぞれ Main Range・Central Belt・East Belt を示す。スマトラ島の Sn と W ではそれぞれ錫とタングステンの鉱床が発見されている。



第2図

世界の錫生産量の変遷（1960～1980年）。  
東南アジア三国が総生産量のほぼ半分を占める。  
データは Minerals Year Book による。

ことにあった。花崗岩類についての調査結果は国連に対する報告書で述べたので (SATO, 1983) ここでは旅行中に見学できたマレーシアとインドネシアの錫鉱床を中心に報告したい。なお筆者の旅行中 両国の地質関係者とくにマレーシア地質調査所の諸氏にはたいへんお世話になった。記して感謝する。

### 1. 東南アジアの錫

東南アジアは世界でもっとも錫に富む地域であり 古くから多量の錫が採掘されてきた。第2図には1960年から1980年までの世界の錫生産量の変遷を示したが マレーシア・タイ・インドネシア三国の生産量が世界の総生産量のほぼ半分を占めていることがわかる。残りはソ連・中国・オーストラリア・ボリビアなどから生産されている。第1表には主要12カ国の生産量を示したがその合計は世界の総生産量の95%に達する。他の鉱物資源と同様 錫もまた偏在する資源の一つである。

世界の主要な錫の産地を第3図に示した。ソ連はマレーシアに次いで世界第2位の産出国とされているが大部分の錫はそのアジア地域から産する。中国の錫も東南アジアに近い南東部を主産地とする (佐藤, 1982, p. 40)。オーストラリアも含め世界の主要な錫産地が太平洋の西側に集中していることが注目される。この地域だけで世界の80%以上を占めていることになる。これに対し太平洋の東側はボリビアとブラジルの一部を除いて錫に乏しい。とくに北米大陸には錫の大鉱床が知られていない。このような偏在性はタングステンについても同

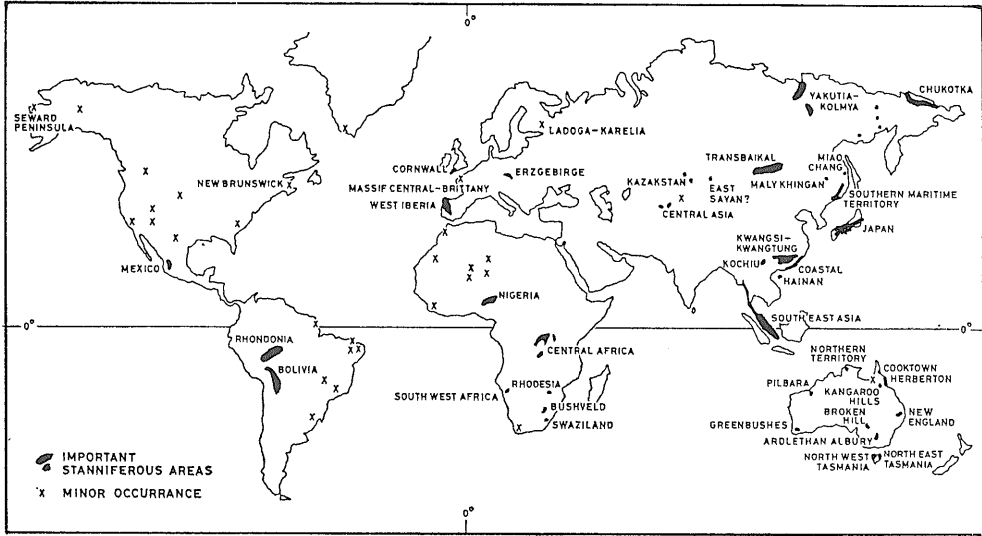
第1表 世界の主な錫産出国と生産量

生産国	年	1980	1975	1970
マレーシア		6,1404	6,4364	7,3792
ソ連*		3,6000	3,0000	2,7432
タイ		3,3685	1,6406	2,1778
インドネシア		3,2527	2,5337	1,9061
ボリビア		2,7272	2,4333	2,9407
中国*		1,4600	2,2000	3,0230
オーストラリア		1,1364	9577	8828
ブラジル		8000	5000 <sup>e</sup>	3610
ザイール		3000	4562	6458
イギリス		2960	4091	1722
南アフリカ		2800	2643	2011
ナイジェリア		2500	4652	7958
世界の総生産量		24,6247	22,2283	23,2156
Minerals Year Book		1980	1977	1972

データは Minerals Year Book による。単位はトン。  
\*ソ連と中国の生産量は推定値。



写真1-1 空から見たキンタ・パレー



第3図 世界の主な錫の産地。 SAINSBURY (1969) による。 図は TAYLOR (1979) から採用。

様で アジア・オーストラリア地域は何故か錫やタングステンに富む (佐藤, 1982)。

この太平洋の西側の“錫ベルト”の中でも 赤道付近のマレーシア・インドネシア・タイ地域は長い間生産量の点で圧倒的な優位に立ってきたのである。

## 2. キンタ・パレー

キンタ・パレーからは19世紀末以来マレーシアの錫の約30%が生産されてきた。まさに世界最大と言うにふさわしい錫の産地である。南北に約50km 東西に約20km の広がりをもつこの平野は まわりを花崗岩の山で馬蹄形に囲まれ 南側はマラッカ海峡に面する平野へとつながっている。

錫はこの平野を形成する第四紀の堆積物に錫石 (cassiterite,  $\text{SnO}_2$ ) として含まれており 比重の差 (錫石は6.8~7.1) を利用して砂や泥からより分けられる。副産物としてモナズ石 (monazite,  $(\text{Ce, La, Nd, Th})\text{PO}_4$ ) ・ジルコン (zircon,  $\text{ZrSiO}_4$ ) ・ゼノタイム (xenotime,  $\text{YPO}_4$ ) ・コロンバイト (columbite,  $(\text{Fe, Mn})(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_6$ ) ・ストルベライト (strüverite,  $(\text{Ti, Ta, Fe})_2\text{O}_6$ ) ・灰重石 (scheelite,  $\text{CaWO}_4$ ) ・鉄マンガン重石 (wolframite,  $(\text{Fe, Mn})\text{WO}_4$ ) などが少量回収される。他に重鉱物としてはイルメナイト (ilmenite,  $\text{FeTiO}_3$ ) ・電気石 (tourmaline,  $(\text{Ca, K, Na})(\text{Al, Fe, Mg, Mn, Li})_3(\text{Al, Fe, Mn})_3(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH, F})_4$ ) が普通に含まれている。

これらの重鉱物は無論第四紀に生成したものではない。風化作用によって軽い鉱物が取り去られたり 川の流れ

で重い鉱物が濃集することによって生成した砂鉱床である。マレーシアでは現在坑内採掘で初生の錫をとっている鉱山はマレー半島東海岸側に一か所あるだけであとはすべて砂鉱床が稼行対象となっている。この砂錫はどこから来たのだろうか。

## 石灰岩

キンタ・パレー北部にあるイポーの町でまず目につく風景は 中国の桂林に似た石灰岩の丘の群である (写真2-1)。このような丘が平野部の東のへりにそって多数分布しており (第4図) その形から石灰岩の丘であることが遠くから見ただけですぐわかる。化石のデータから この石灰岩はシルル紀から二疊紀の間主にデボン紀に堆積したものとされている。これまでの調査で第四紀堆積物の下にはこの石灰岩が広く分布することがわかっており 平野部は石灰岩の分布域とほぼ一致する

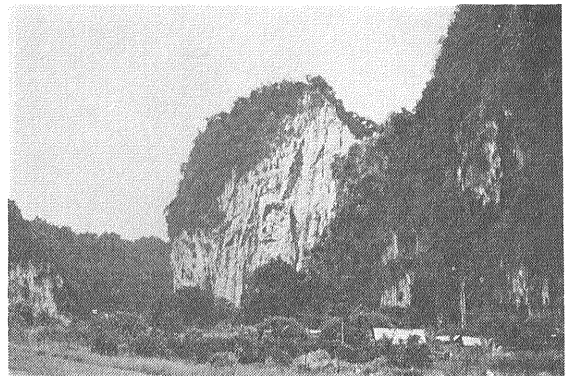
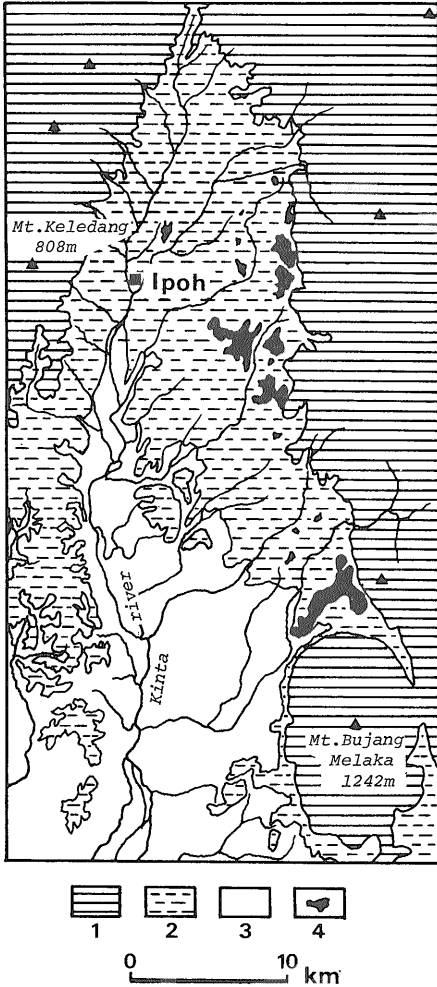


写真2-1 イポー郊外の石灰岩の尖塔



第4図 マレーシア キンタ・パレーの地形。  
 海拔により3つに区分した。1: 76.2m (250フィート) 以上, 2: 76.2~30.5m, 3: 30.5m (100フィート) 以下, 4は石灰岩の丘を示す。INGHAM and BRADFORD (1960) を簡略化。1の山地は花崗岩に、2と3の低地は石灰岩の分布域にほぼ一致する。

と考えてよい。第四紀層の厚さはイポー付近で約6m キンタ・パレーの南部で30m位とこのことであるからその水平的な広がりを考えれば この若い地層は古生代の石灰岩をおおう皮膜のようなものである。この地域の錫鉱山では 採掘が下部に進むとたいい基盤の石灰岩が現われてくる (写真2-2)。石灰岩の表面はカルスト状の形をしているので ドレヅジ船のバケットでは砂鉱を汲み上げることができない。そこで採掘がある程度まで進むとグラベルポンプ法に切りかえられる。この方法は 高压の水を放水して第四紀堆積物をつきくずし 泥水といっしょに錫石を汲み上げて選鉱するもので

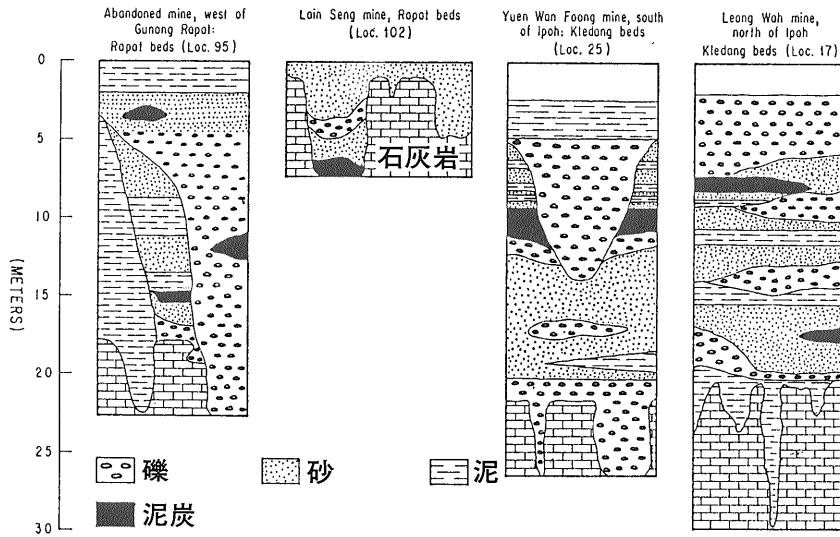


写真2-2 錫鉱山の一例  
 写真の左下と上方の採掘場には基盤の石灰岩が現われている。地質部寺岡司氏提供

ある (写真2-3)。  
 基盤の石灰岩がキンタ・パレーの東のへりで平地からつき出したような丘を形していることについては 古くからいろいろな議論がまき起されたと言われる。尖塔状の特異な地形が多くの地質屋の興味をそそいたのであろう。断層や割れ目にそう選択的な削剝あるいは石灰岩にはさまれる泥質岩層の風化を防げる効果などが重要であったと考えられた。しかしそれならばキンタ・パレーのいたる所に石灰岩の塔がニョキニョキと立っていても良さそうに思われる。これらの要素の他に かつての河川の流路や海水準の変化も考える必要があるのではないか 実際に石灰岩の丘を見に行った時にそんな印象を持った。丘の根元には現在の地面より1~3m上に水平の深いくぼみができている (写真2-4)。その一部は鐘乳洞とつながっており こういう空洞には中国式の寺院が建てられている (写真2-5)。ちなみにイポーの住民の半分位は中国系とのことである。写真2-4



写真2-3 グラベルポンプ法による錫の採掘場。  
 左端は錫石を含む泥水を汲み上げるポンプ小屋



第5図  
 キンタ・パレーの錫を含む第四紀層の模式断面図。  
 GOBBETT and HUTCHINSON eds., 1973) の162ページより。

に見られるような水平のくぼみはかつて水面がこの高さにあった事を示しているのであろう。当時の海面も現在より高く、川は現在のキンタ・パレーのあちこちを蛇行し、このあたり一帯が湿地帯の様なところだったのではないだろうか。事実あちこちの錫の掘り場で泥炭層がごく普通にみられる(写真2-6)(第5図)。

花 崗 岩

平地が石灰岩からなるのに対し、キンタ・パレーを馬蹄形に取り囲む山地は花崗岩からなる。地形と地質のこのような見事な対応は、熱帯地域で石灰岩の溶け方が花崗岩の削剝速度より速いためにおこるのであろう。この花崗岩は古生代末から中生代初期主に三畳紀に貫入したと考えられ、石灰岩に熱変成作用を与えている。山地に近い錫鉱山や石灰石の採掘場では粗粒の大理石質石灰岩がみられた。

新鮮な花崗岩は山の麓にあるいくつかの採石場で観察することができる。しかし、採石場以外では新鮮な岩石を採集することはまず不可能と言ってよく、道路わきの露頭でもハンマーの先がスポッと刺さる位に粘土化が進んでいるのが普通である(写真2-7)。このように風化が激しく、また植生が密な熱帯地域では、岩相分布を詳しく把握することはきわめて困難であろう。実際にこの地域を歩いてみると、たとえば従来の Rb-Sr の年代データの取り扱いもかなりの注意を要するのではないかと印象を強くする。

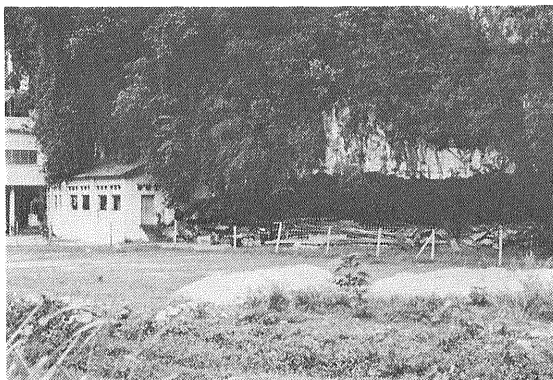


写真2-4 石灰岩の尖塔の基部にみられる水平のくぼみ



写真2-5 石灰岩の崖の基部に建てられた中国式寺院

採石場で観察した花崗岩はカリ長石の斑晶が発達した粗粒の黒雲母花崗岩で 帯磁率はきわめて低く実質的に磁鉄鉱を欠くとみられる。カリ長石の産状によって岩相区分できそうであるが 2~4 cmの自形斑晶の目立つ岩石がもっとも多い(写真2-8)。参考のために第2表にマレーシアの花崗岩の平均的な化学組成を示した。キンタ・パレーを含むメインレンジ(第1図)の花崗岩は マレー半島の中でもっとも $K_2O$ や $F \cdot Rb$ に富む。

東南アジアの錫ベルトの花崗岩は 高い $^{87}Sr/^{86}Sr$  初生値で特徴づけられ(第6図) 花崗岩マグマが地殻起源であるか地殻物質が大きく関与して生成したことを示す。錫が地殻起源だと考えられる根拠の一つには このようなストロンチウム同位体のデータがある。マレーシアの花崗岩についてみると、メインレンジは他の地域すなわちセントラルベルトやイーストベルト(第1図)よりも高い $^{87}Sr/^{86}Sr$  初生値をもつという傾向がある(第6図)。野外調査では 地殻物質の寄与を示す直接的な証拠が見られるのかどうかという点にも注意した。キンタ・パレーからペナン(Penang) 島に至る地域で調査した限りでは 花崗岩は見かけ上かなり均質で 堆積岩の捕獲岩もまれであり 周囲の堆積岩との貫入関係を直接観察することは残念ながらできなかった。すでに述べた露出条件の悪さから 短期間の調査で得られる野外のデータは限られたものになる。しかし マレーシアでの調査旅行の最後に キンタ・パレーの東のへりにあるクアラ・ディパン(Kuala Dipang) 採石場で多数の捕獲岩を発見することができた(写真2-9)。これらは1~10cmの泥質もしくは砂質岩源とみなされる捕獲岩で 採石場はブジャン・メラカ(Bujang Melaka) 山の岩体の北のへりに位置する(第4図)。花崗岩マグマの侵入時に周囲から取り込まれた堆積岩類は同化されてしまい 岩体の周辺部のみその痕跡が残された と推察さ



写真2-7 著しく風化の進んだ花崗岩露頭。  
イポー北西のトンネル工事現場で

れよう。このような同化作用を通じて もともと“地殻起源”のマグマはますますその性格を強めていったのではなかろうか。花崗岩質マグマが 貫入の場で周囲の堆積岩類と反応することにより その性質を変えることは 日本ではたとえば甲府岩体の例にはっきりとみられる(佐藤・石原, 1983など)。

さて キンタ・パレー付近の花崗岩では マグマの固結末期あるいは固結後に生成した鉱物として 電気石と螢石が目される(写真2-10)。電気石の細脈や電気石を含むペグマタイトはほとんどどこでも見出され 錫石といっしょに産する第四紀層中の電気石はこういう花崗岩の風化によりもたらされたものと考えられる。紫色の螢石の細脈もしばしば見られた。まれに錫石の細脈が産するとの事だが 今回の調査では発見されなかった。花崗岩の調査では帯磁率だけでなくガンマ線強度の測定も行ったが 初めに断ったように その結果は別に報告する(SATO, 1983)。

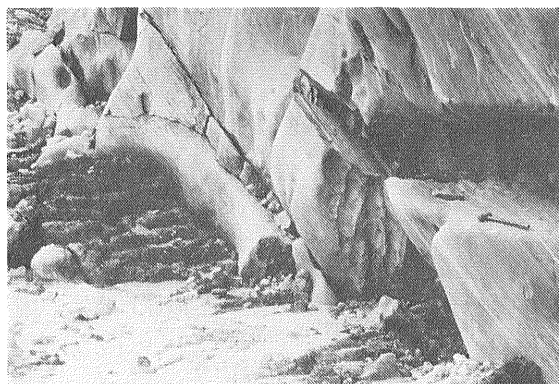


写真2-6 石灰岩の尖塔群の間を埋める泥炭層(左の暗色部)。  
ニュー・ラハ(New Rahat) 鉱山にて

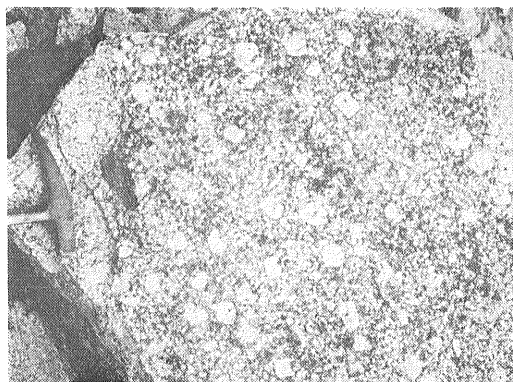


写真2-8 メインレンジの典型的な花崗岩。  
風化面でカリ長石の斑晶が目立つ。

第2表 マレーシア半島部の花崗岩類の化学組成

	Main Range & West Coast	Central Belt	East Coast Belt	Late Cretaceous granite
	n=74	n=38	n=49	n=7
SiO <sub>2</sub>	72.67 ( 65.8~ 78.2)	73.69 ( 64.5~ 78.2)	72.52 ( 64.9~ 79.5)	75.0 ( 73.4~ 79.1)
TiO <sub>2</sub>	0.37 ( 0.1~ 1.0)	0.24 ( 0.0~ 0.8)	0.27 ( 0.1~ 0.7)	0.20 ( 0.1~ 0.3)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.28 ( 11.7~ 18.0)	14.14 ( 11.9~ 20.0)	14.12 ( 10.3~ 17.2)	13.89 ( 12.6~ 15.1)
FeO*	2.38 ( 0.7~ 4.7)	2.30 ( 0.9~ 8.5)	2.92 ( 1.3~ 8.7)	1.53 ( 1.1~ 2.1)
MnO	0.05 ( 0.0~ 0.6)	0.04 ( 0.0~ 0.3)	0.06 ( 0.0~ 0.2)	0.04 ( 0.0~ 0.1)
MgO	0.65 ( 0.0~ 4.1)	0.77 ( 0.1~ 3.7)	0.61 ( 0.1~ 2.8)	0.25 ( 0.1~ 0.2)
CaO	1.47 ( 0.1~ 4.7)	0.94 ( 0.1~ 3.0)	1.90 ( 0.1~ 5.7)	1.09 ( 0.3~ 1.7)
Na <sub>2</sub> O	3.16 ( 0.3~ 8.9)	3.21 ( 0.1~ 4.6)	3.32 ( 0.9~ 4.4)	3.26 ( 1.3~ 3.9)
K <sub>2</sub> O	4.83 ( 0.2~ 8.9)	4.56 ( 1.4~ 6.5)	4.16 ( 2.2~ 5.6)	4.71 ( 3.6~ 5.3)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12 ( 0.1~ 0.5)	0.13 ( 0.0~ 0.4)	0.12 ( 0.0~ 0.6)	0.09 ( 0.0~ 0.1)
	n=183	n=15	n=51	n=7
Rb	543 ( 79 ~ 1125 )	330 ( 179 ~ 492 )	252 ( 40 ~ 990 )	228 ( 92 ~ 308 )
Sr	53 ( 3 ~ 621 )	192 ( 19 ~ 868 )	132 ( 40 ~ 460 )	195 ( 62 ~ 307 )
Ba	317 ( 34 ~ 1379 )	558 ( 246 ~ 1009 )	729 ( 300 ~ 1727 )	735 ( 158 ~ 1120 )
Zr	99 ( 29 ~ 236 )	164 ( 103 ~ 306 )	132 ( 60 ~ 332 )	128 ( 92 ~ 175 )
Sn	10 ( 1 ~ 25 )	6 ( 3 ~ 10 )	6 ( 2 ~ 15 )	5 ( 2 ~ 8 )
Nb	8 ( 1 ~ 19 )	7 ( 4 ~ 18 )	6 ( 2 ~ 30 )	6 ( 3 ~ 8 )
W	5 ( 0 ~ 40 )	6 ( 1 ~ 24 )	2 ( 1 ~ 4 )	2 ( 0 ~ 2 )
Pb§	111 ( 46 ~ 154 )	105 ( 15 ~ 240 )	72 ( 17 ~ 167 )	100 ( 33 ~ 162 )
Zn§	60 ( 31 ~ 92 )	51 ( 41 ~ 60 )	59 ( 42 ~ 87 )	40 ( 36 ~ 42 )
F§	1248 ( 745 ~ 1940 )	835 ( 693 ~ 1012 )	620 ( 416 ~ 1132 )	1086 ( 758 ~ 1313 )
Cl§	57 ( 8 ~ 207 )	69 ( 53 ~ 81 )	158 ( 58 ~ 236 )	24 ( 18 ~ 30 )

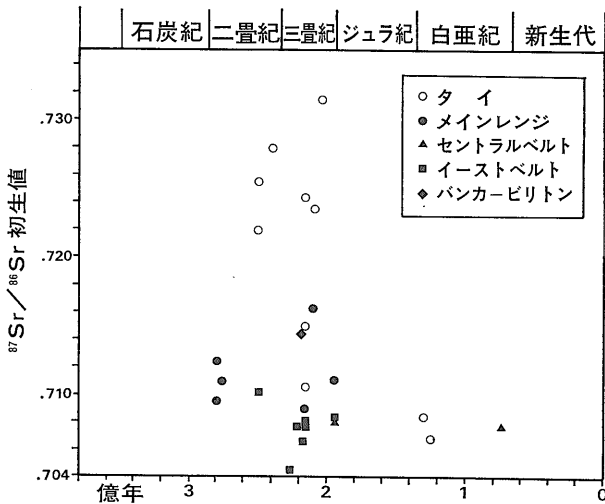
HUTCHISON (1983) による。主成分はwt. %。微量成分は ppm。nは分析数。

\* FeO に換算した全鉄含量 § 33個の分析結果。

錫 鉱 石

すでに述べたように キンタ・パレーの錫石は石灰岩

の基盤をおおう第四紀層から回収されている。この地層を構成する砂や泥や礫のほとんどは周囲の花崗岩山地から供給されたもので 第四紀の中でも更新世の前期か



第6図 東南アジアの錫ベルトの花崗岩の年代と <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初生値。HUTCHISON (1983) を簡略化。

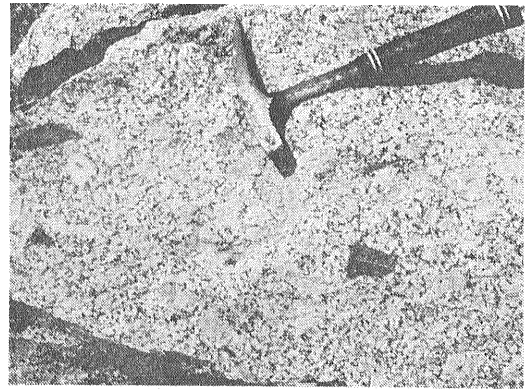
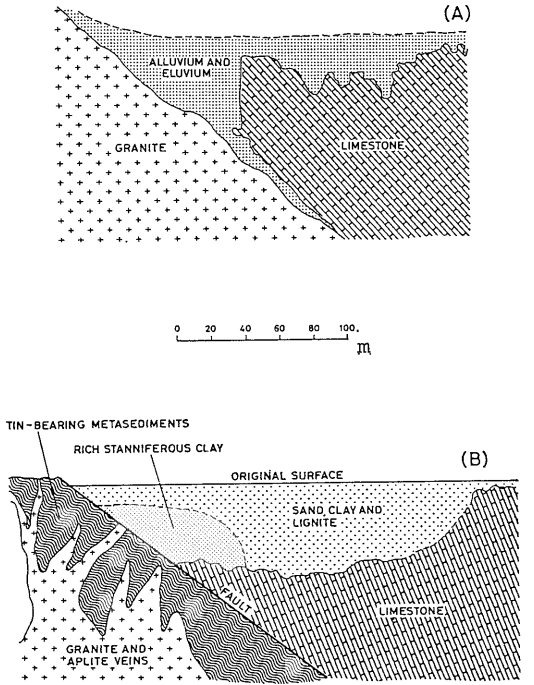
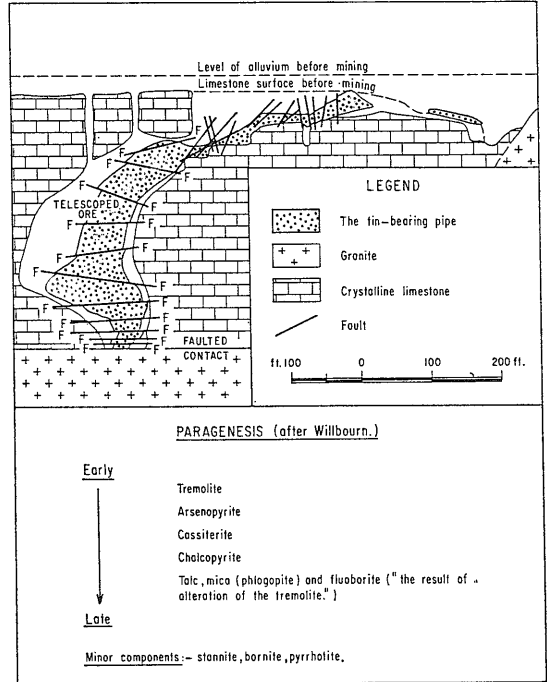


写真2-9 堆積岩の捕獲岩片を含む黒雲母花崗岩。キンタ・パレー南東部のクアラ・ディパン (Kuala Dipang) 採石場



第7図 キンタ・バレーの石灰岩・花崗岩および第四紀堆積物の産状。INGHAM and BRADFORD (1960) による。図は TAYLOR (1979) から採用



第8図 キンタ・バレーの初生錫鉱床の例。1920年代には稼行されていた。GOBBETT and HURCHISON eds. (1973) の365ページより。

ら中期に堆積したと考えられている注1)。第5図から推察されるように いったん堆積した地層が再び削剝されるという環境だったらしい。こういう過程で錫石は広く分散したのであろう 平野部のどこからでも発見されるという。しかし 錫石は山地の花崗岩に近い所で量が多く 花崗岩体のへりや花崗岩と石灰岩の接触部付近に生成した初生の鉱床からもたらされた錫石が砂鉱床を形成したと考えられる。

花崗岩と石灰岩の接触部に新鮮なスカルンが見られる

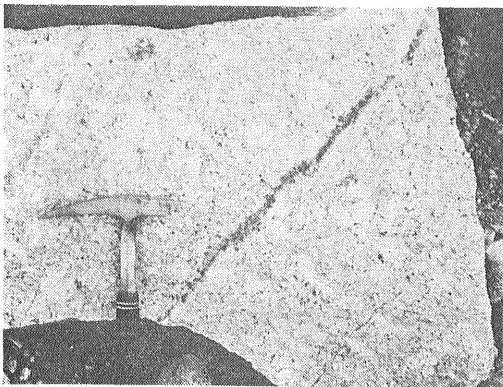


写真2-10 黒雲母花崗岩を切る電気石脈

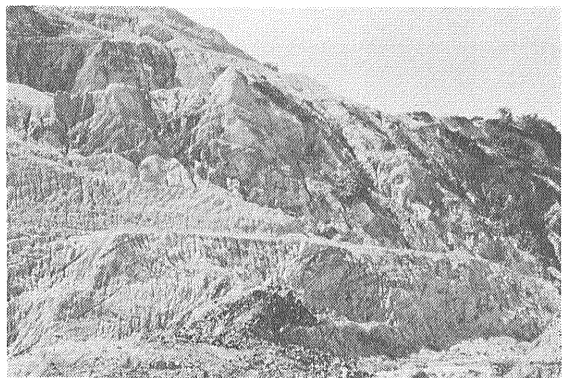


写真2-11 キンタ・バレー東部のテッカ (Tekka) 鉱山で見出された初生の錫鉱石 (中央下の暗色部)。崖は風化した花崗岩からなり これを切る電気石脈にも錫石が含まれる。



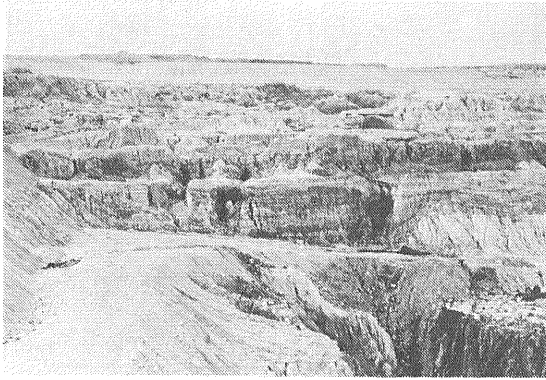


写真2-12 ニュー・ラハ鉱山の泥・砂・泥炭の互層。  
写真の左下は花崗岩 右下は厚い泥炭層。

見ることすら難かしいということのようだ。イポーの西にあるニュー・ラハ (New Rahat) と呼ばれる鉱山でも花崗岩と石灰岩の接触部を注意して観察したが泥炭がびっしりとつまっているだけで初生の錫石は発見できなかった (写真2-12)。もっともここは平地と山地の境界が直線的であること (第4図) から判断して花崗岩と石灰岩が現在断層で接している可能性もある。

### 3. クアラルンプール地域

クアラルンプール地域はキンタ・パレーに次ぐマレーシア第二の錫産地である。もともと錫の鉱山業で発展し首都となったクアラルンプール市の郊外には現在も多数の採掘場がある。この地域の地質は石灰岩を主とする古生層を中生代初期の花崗岩が馬蹄形に取り囲んでいるという点でキンタ・パレーに良く似ている。観光客が訪れるバトゥ洞穴はこの石灰岩中にできた鐘乳洞である。

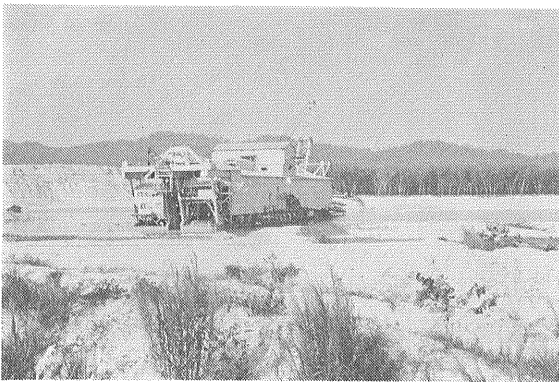


写真3-1 錫を採集するドレッジ船。  
クアラルンプール市郊外にて。背景はゴム園

5月30日の午後 マレーシア地質調査所の若い助手の案内で町の南西約15kmにある錫鉱山の一つを見学することになった。低い丘の間を走る道路の両側には整然としたゴム園が広がっている。ゴムも錫同様イギリス統治時代からの長い歴史をもつマレーシアの重要な産物である。平坦地に出て椰子の林の中をしばらく行くと突然視界が開けて大きなドレッジ船が姿を現わした (写真3-1)。

池の真中で作業中のドレッジ船に小船で移り内部を見学することができた。この船は1日5000m<sup>3</sup>処理する能力を持ち130個のバケットで水面下40mまで到達することができる と説明する鉱山の技士は得意顔であった。ここでは地表から9mまでは粘土と砂で錫は含まれておらず18m以下は基盤の結晶片岩となる。錫石は9~18mの沖積堆積物に含まれ品位は1.1~1.5kg/m<sup>3</sup>とのことである。重鉱物としては錫石・イルメナイトの他に多量の黄鉄鉱や赤鉄鉱 (初生的には磁鉄鉱だった可能性がある) が見られた。砂鉱の探査は地表からのボーリングで行われているという。

鉱山の事務所には直径1mもある錫石の塊が置いてあった (写真3-2)。このような錫石を見せられては何が何でも初生の錫鉱石を見たくなる。何トンもある錫石の塊がこんな平坦な所を長距離移動したとは考えられないからすぐ近くに初生の錫鉱石があるはずだ。こう考えて近くのオープンピットを見せてもらうことにした。車で500m程行くと大きな採掘場がいくつもあり基盤が見えている。岩石は変ってここでは石灰岩だ。キンタ・パレーと同じようなカルスト地形がピットの底に現われている (写真3-3)。ここもかつてはドレッジ船による採掘が行われていたが現在はグラベルポンプ法に切りかえられているとのこと。ピットの中に入っていくと一面白い砂で目が開けていられない位

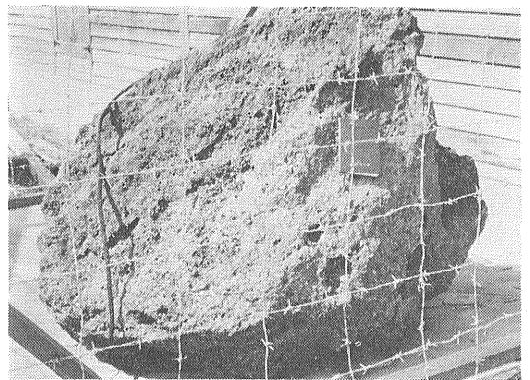


写真3-2 錫石・鉱石の巨大な塊。

明るく暑い。砂からつき出した様な石灰岩の中に黒い脈を見つけて近づくとこれが錫石脈であった(写真3-4)。幅1~3cmと規模は小さいが少量の黄鉄鉱とともに錫石がつまっている。囲りを見ると類似の鉱脈がいくつも認められた。石灰岩は細粒で強い熱変成を受けたとは思われない。鉱石も低温で生成したという感じを与える。鉱山の人に聞くと近くに花崗岩は見られないという。

クアラルンプールにもどって地質図を見ると花崗岩体のヘリから鉱山までの水平距離はおよそ1km 鉱山に行くまでに通ったゴム園の丘陵地帯は結晶片岩などからなるらしいということがわかった。見せてもらった地質図によるとこの地域の錫鉱山はほとんどすべて石灰岩地帯にあって結晶片岩のところにはまれである。マレーシア第一の錫産地キンタ・バレーも石灰岩地帯である事を合せ考えると初生および二次的な錫鉱床の形成に関して石灰岩が重要な役割を果たした事は間違いないだろう。花崗岩からもたらされた鉱液から錫石が沈澱するのに都合の良い化学的条件をまた砂鉱床形成の過程では熱帯の環境で錫石の濃集し易い地形的な条件を石灰岩は提供したのではなかろうか。

#### 4. マレー半島からジャワ島へ

マレーシアでの調査を終えインドネシアに移動したのは6月10日 予定をちょうど半分終えたところであった。今度の旅行では日曜日でも野外調査にあてたからこのような移動日が休日代りだ。ジャカルタに向う飛行機は錫ベルトの上を飛ぶ(第1図)。経由地のシンガポールでは早めにチェックインをすませ左の窓際に席を確保した。翼よりも前のファーストクラスに近い位置である。ここから下をのぞいてジャカルタまで1時間

半の旅を楽しむことにした。

シンガポールを離陸して30分余りの間 窓の下を次々と小さな島が通りすぎていく。島の名前はわからないが海はいかにも浅そうだ。将来の錫産地としてインドネシアはこの海域に大きな期待をかけることが出来る。詳細は別にしてもマレー半島からバンカ島・ビリトン島に至るこの地域は一連の錫ベルトに属するとみられるからである。30mより浅い水深は採掘上も有利な条件であろう。将来の広域探査という点ではむしろこの錫ベルトの広がりを検討することが重要と思われる。すなわち錫ベルトの延長はどこに続くのかビリトン島で終わってしまうのか？ 錫ベルトの幅はどの位の広がりをもつか？ スマトラ島にも同様の錫鉱床が存在するか？ などの問題が重要でありまた興味深い。旅行の終りにバンドンでいろいろな人の話を聞き文献を調べた筆者の印象ではこの錫ベルトはビリトン島付近で終り その延長部には大きな錫鉱床は期待できそうもない。これについては機会があれば別に論じてみたい。

機はやがて大きな島の上をさしかかった。雲が多く全景は見えないが飛行時間から判断するとバンカ島であろう。雲の間から錫の掘り場らしいいくつかの荒地が確認できた。しばらくすると右手に頂の尖った山群が見え始めた。ジャワ島の火山だろうか。やがて茶色の家が密集するジャカルタ市の上を大きく右に旋回して機は夕方のハリム空港に着陸した。

翌11日朝ムルデカ広場に面する鉱山エネルギー省のオフィスに行くと管理職を除いて部屋はカラッポだ。いったいどうしたのか？ ほとんどの人が10階の講堂にテレビを見に行ってしまったという。11時過ぎの日食を見るために朝から集まっているらしい。日食は危険だからテレビ「で」見るようにとのキャンペーンがはられていた。彼らはこの「で」を「を」と解釈したのだろうか。このオフィスでは地質図も地形図も手に入らな



写真3-3 オープンピットの底に現われたカルスト状の石灰岩。クアラルンプール市郊外にて。

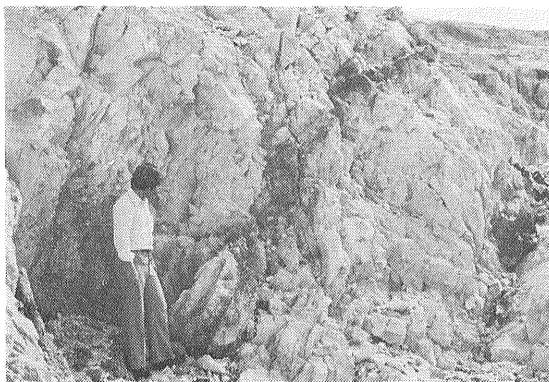
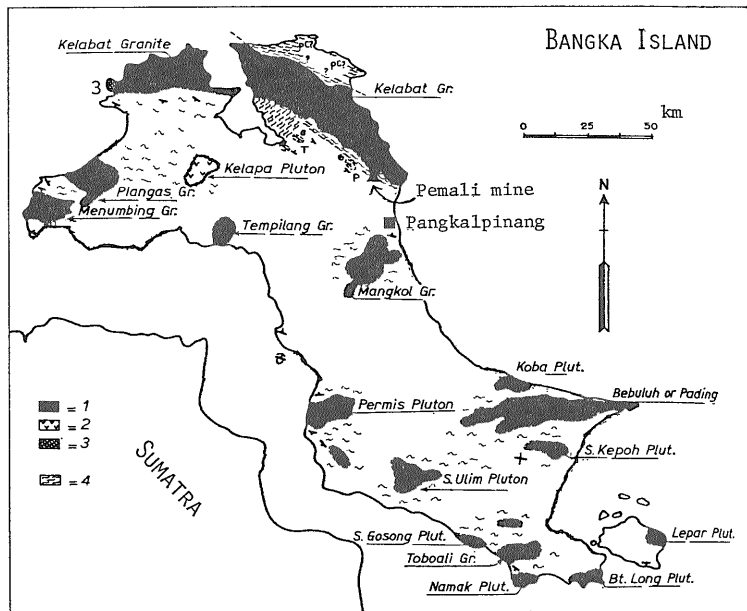


写真3-4 石灰岩中に胚胎する錫石脈(暗色部)



第9図 バンカ島の花崗岩の分布.

- 1: 錫を伴う花崗岩
- 2: 錫を伴わない花崗岩
- 3: 輝緑岩
- 4: 堆積岩 (主に砂岩).

い。これらはバンカ島やスマトラの調査で無くてはならないものだから、すぐにバンドンに電話して届けてもらうように手配し、何となく疲れてホテルに帰ってきた。帰国後にわかった事だが、この日家や知人に送った合計8枚の絵ハガキはついに一枚も届かなかった。

### 5. バンカ島

バンカ島はインドネシア第一の錫産地である。一昨日のルートをひき返すような形で、ジャカルタからパンガルピナン (Pangkalpinang) に飛んだ (第1, 9図)。四国と同じ位の大きさをもつこの島は、全体がなだらかな丘陵地帯からなり (写真5-1)、もっとも高いところで海拔700m位である。

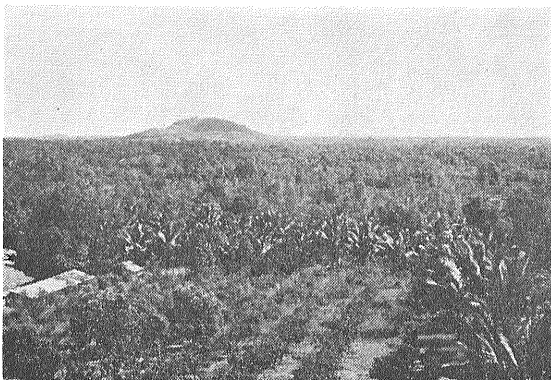


写真5-1 インドネシア・バンカ島の風景.

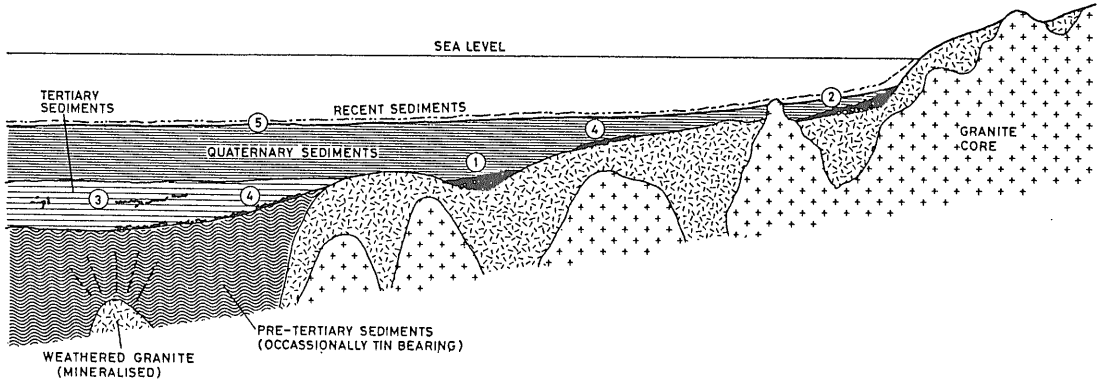
島の地質は古生代～中生代初期の千枚岩・砂岩と三疊紀とみられる花崗岩とからなる (第9図)。石灰岩は稀で、これまで一カ所で小規模なものが見つかっただけのこと。この点キンタ・バレーやクアラルンプール地域と異なる。花崗岩の露出も小規模で、マレーシアのメインレンジほど削剝が進んでいないという印象を受ける。島の低い所は広く沖積堆積物におおわれ、この中に含まれる砂鉱が錫の主要な供給源となっている。錫を含む堆積物は海底にまで広がっており (第10図)、島の沖合では日本製のドレッジ船を使った採掘が行われていた。

砂鉱床は花崗岩体の周辺部に集中しており、花崗岩の



写真5-2 バンカ島ペマリ (Pemali) 錫鉱山の採掘場 (1983年6月).

白色部は花崗岩、暗色部は変成堆積岩



第10図 バンカ島沖合の砂錫(1~5)の産状, TAYLOR (1979) より.

貫入時に形成された初生の錫石が砂鉱の起源であることを示す。パンガルピナンの北西にあるペマリ(Pemali)鉱山では花崗岩と千枚岩の境界部に胚胎する初生の網状錫石脈が採掘されている(写真5-2)。島内の花崗岩体はほとんどすべて砂鉱床を伴っているが一つだけ全く錫の見出されていない岩体が島の北西部ケラパ(Kelapa)にある(第9図)。花崗岩の性質が他と異なるにちがいないと見当をつけて野外調査の重点項目に加えた。道路の状況と日数の関係で調査は島の北半分で行われた。

この島でも新鮮な岩石を採取することは難かしい。ここの地質屋も新鮮な堆積岩は見ただけではない。ペマリ鉱山ではピットの底から100mボーリングしてもまだ風化してボロボロになった千枚岩が出てくるという。花崗岩の方は地元住民の採石作業のおかげで新鮮な岩石を見ることができた。転石や露頭の上で火を焚いて熱で破壊するというのが彼らの採石法である(写真5-3)。ダイナマイトを買うだけのお金は無いしまたそれ程多量の石が必要なのでもないという事らしい。

花崗岩はカリ長石の多い黒雲母花崗岩で帯磁率はき



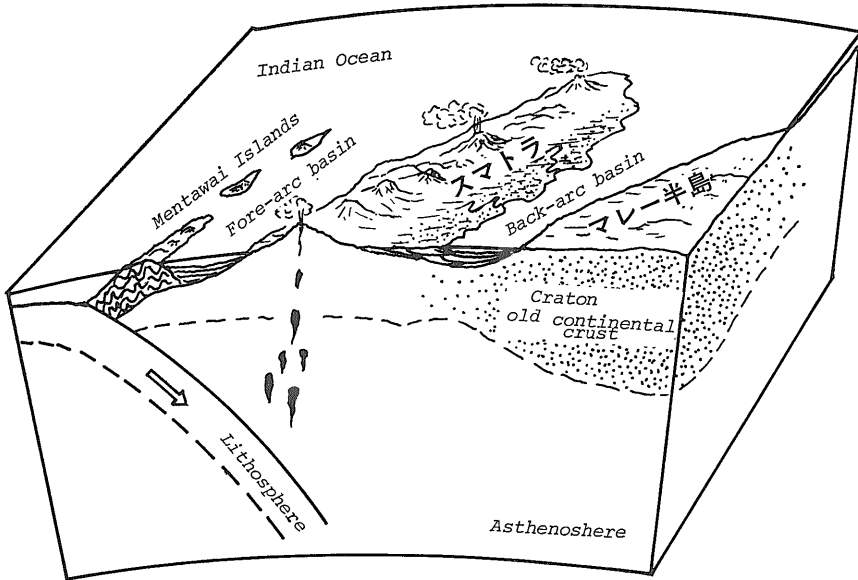
写真5-3 バンカ島の花崗岩採石風景。  
露頭の上で火を焚いて岩石を破壊する。

わめて低くガンマ線強度もマレーシアの花崗岩と同程度である。島の西端部の岩体で堆積岩源とみられる捕獲岩が見出されたが一般にはまれである。電気石はマレーシアの花崗岩程多くなかったがこれはどの露頭も小さかったので目立たなかったということなのかもしれない。問題のKelapa岩体を横断する道路には全く露頭がなく砂を見てもと花崗岩質岩だったという事がわかる程度で失望した。パンガルピナンに帰ってその話をするとイギリスのIGS<sup>注2)</sup>のチームは最近この岩体からサンプルを取ったという。どうも情報がワントンが遅い。詳しいサンプル位置がわからないというし平坦な地形から判断して露頭は無さそうだからこの情報にも疑問を持ったが予定を一日延期しペマリ鉱山を見学するとともに再度Kelapaへ行って転石を捜すことに決めた。

翌15日Kelapaに着いて地元の人に聞くとIGSのサンプルは地元のだれかからもらったものらしい。集ってきた住民の一人がここから北3km位のところに転石があるという。彼に案内を頼んでようやく畑の中にある転石にたどりついた。Kelapaの北西3.5km位の所である。サンプルを取った跡は無い。岩質は中粒の角閃石-黒雲母花崗閃緑岩で予想どおり錫を伴う他の岩体と異なる。帯磁率もわずかに高くガンマ線強度はずっと低い。コーラン(?)の聞えてくる小さな農家のわきを通ってもとの道路に引き返した。ラマダンが始ったばかりであった。

## 6. 西スマトラ

スマトラ島は現在もお活動中の島孤の一部であり多数の活火山・休火山がインド洋側の高地バリサン(Barisan)山脈に並んでいる(第11図)。島のマレー半島側は第三紀以後の新しい堆積物でおおわれた低地で



第11図  
スマトラ島付近の模式断面図。  
KATILI (1973), CCOP (1980) などによる。

あって パレンバンを始めとする油田の存在は良く知られている。著しく非対象な地形がこの島を特徴づけており西スマトラのパダン (Padang) から東に向う道路はカーブを繰り返しながら一気に海拔 1000m 余りの峠へと駈登って行くから 島の西斜面はインド洋へと落ち込んでいるという印象を与える (写真6-1)。

スマトラの花崗岩は 火山噴出物におおわれていることもあってその露出面積は小さく インド洋側のパリサン山脈にそって点々と分布する (第1図)。古生代の堆積岩類の露出もこの山地に限られる。花崗岩の時代

は三畳紀から第三紀までの広い範囲にわたり 第三紀の花崗岩はスマトラ断層の南西側に分布するという傾向がみられるが 中生代の花崗岩の時空分布は余り明瞭ではない。マレー半島も含め 三畳紀の花崗岩地域に白亜紀の花崗岩が重複して貫入したとみるべきだろう (第12図)。ただ マレー半島からバンカ・ビリトン島に至る錫をもたらした花崗岩は主に三畳紀のものであるから スマトラにも同時期の花崗岩が産するという事実は重要である。同じ様な錫の鉱化作用が期待されるからである。

インドネシアの鉱物分布図(DMR,1979)によると ス



写真6-1 インド洋に迫るパリサン山脈の山並み。西スマトラ・パダン上空から。

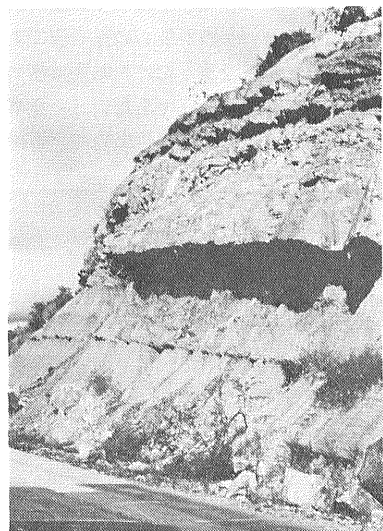
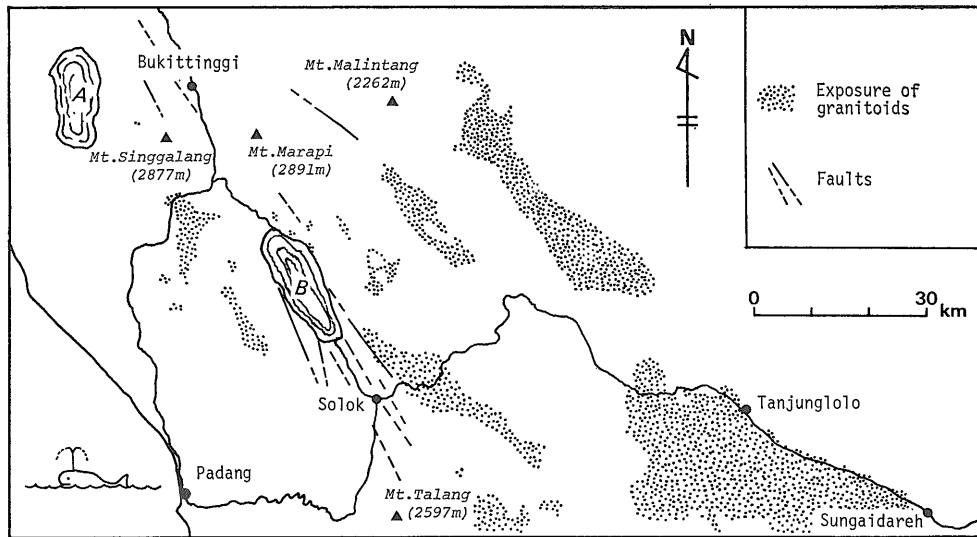


写真6-2 ソロ (Solok) 東方に分布する第三紀の夾炭層。ソロの東約40km付近にて



第12図 西スマトラ・パダン (Padang) 付近の花崗岩類の分布と調査ルート。

AとBはそれぞれマニンジョウ (Maninjau) 湖およびシンガラ (Singkarak) 湖 (本文参照)。

▲は標高2000m以上の主な第四紀火山を示す。

マトラ島の中にこれまで3カ所の錫の産地が知られている。このうちパダンの北東約150kmにあるバンキナン (Bangkinang) の近くでは少量ながら錫が採掘されたという (第1図)。また更新世の噴火でできたと言われる巨大なカルデラ=トバ湖の南東で最近ハタパン (Hatapang) 花崗岩株に伴うタングステン-錫鉱床が発見されたというニュースも興味深い。これらの鉱床の時代や産状の詳細は不明であるがバンキナンの錫は三疊紀の花崗岩からもたらされた可能性がある。もしそうだとすると三疊紀の花崗岩およびそれに伴う錫鉱床のベルトは現在の位置関係で幅500kmに達する広がりをもつことになる。スマトラの花崗岩類の特徴を明らかにすることは錫鉱床の探査という面からだけでなくマレー半島を含むこの地域の火成活動の歴史を解明する上で重要な課題であろう。

6月17日から3日間滞在した西スマトラではパダンの北約75kmにあるブキティンギ (Bukittinggi) から南東へソロ (Solok) を経て低地にさしかかるスンガイダレ (Sungaidareh) まで延長200kmの道路にそって山脈を斜めに横断する形で花崗岩の調査を行った (第12図)。この道路はスマトラ島を縦断する“アジアハイウェイ”の一部で幅は狭いものの良く舗装されていて短期間に広い範囲をカバーするためのルートとしては好都合だった (写真6-3)。

海拔1000mに近いブキティンギは赤道直下ながらかなり涼しい。毛布も無い鉄製のベットは持って来た

ものを全部着て寝てもまだ寒かった。スマトラ2日目の翌朝は土砂降り 東南アジアに来て初めての雨だ。地形図を手に入れるため昨夜のうちにパダンに戻って行ったカルソノ (RMRDCの事務官) を待つ間 町の西側にあるマニンジョウ (Maninjau) カルデラを見るため雨の中を車を走らせた。付近には日本の山村とそっくりな水田風景が展開する。そのあちこちに軽石流堆積物の崖が見られる (写真6-4)。直線にすれば15km余りの距離を1時間半以上かかってカルデラのへりにたどり着いた。南北30km東西7km位の湖が眼下に広がっているはずだが雨のため湖面はほとんど見えない。

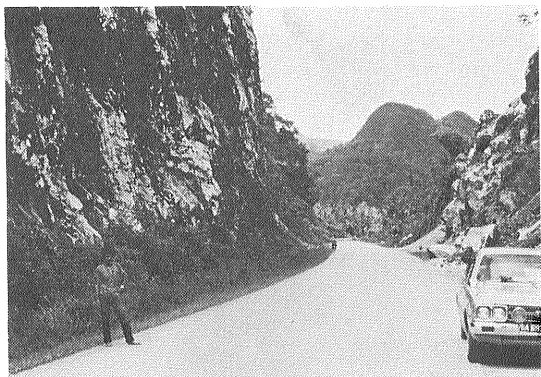


写真6-3 スマトラ島を縦断する“アジアハイウェイ”。タンジュンロロ (Tanjunglolo) にて。この付近は古生代の石灰岩からなる。

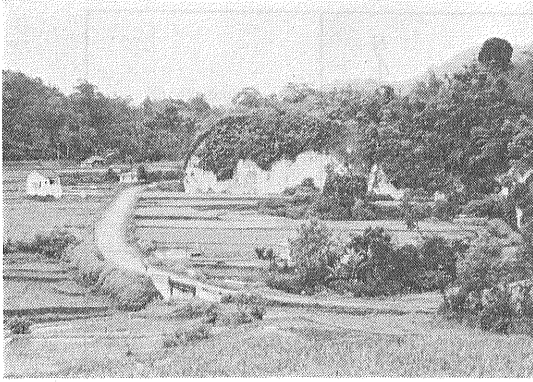


写真6—4 ブキティンギ (Bukittinggi) 西方の水田風景。  
中央の崖はマニンジョウ (Maninjau) カルデラの  
軽石流堆積物。

安山岩の試料を採集してブキティンギに引き返した。

星頃になってカルソノが戻って来た。彼の努力も空しく 適当な地形図が手に入らなかったとのこと。少し遅れてパダンから登って来た IGS の COBBING らと話しをしているうちに雨が止んだので バナナを昼食代りにしてソロに向った。日数が限られているので休んでいるわけにはいかない。なだらかな裾をひく火山の間を1時間位走ると 前方に湖が現われた (写真6-5)。スマトラ断層にそって長く伸びたシンガラ (Singkarak) 湖だ。延長20km幅は広いところで7kmある。断層地塊と火山に囲まれた地溝にできた湖である (写真6-6)。東の湖岸にわずかに花崗岩が露出している。すぐ上を安山岩質の火山岩におおわれており 時代はわからない。少し片状構造のみられる変質した中粒の白雲母花崗岩で帯磁率もガンマ線強度も著しく低い。ソロに移動しその東側の花崗岩の露頭を調べているうちに日が暮れた。

翌日の調査結果も合せると ソロからスンガイダレの



写真6—5 シンガラ (Singkarak) 湖遠望。

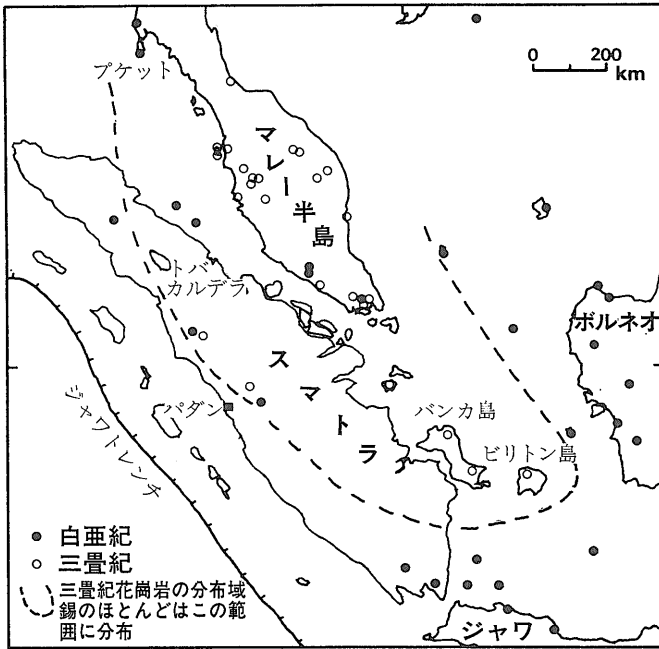
間に露出する花崗岩体は 黒雲母もしくは黒雲母-角閃石を含む中粒の花崗閃緑岩質岩を主とし高い帯磁率と低いガンマ線強度で特徴づけられる。カリ長石に乏しい点でもこれらの岩体はマレー半島の錫花崗岩と全く異なる。しかしソロの北東50km付近に分布する岩体はきわめて低い帯磁率を示すという (Dodo, 私信)。彼によればスマトラ南部の花崗岩類は概して高い帯磁率を示しパダンの北200km付近に点在する岩体はカリ長石の多い低帯磁率の花崗岩からなるという。第13図を参考にするとパダン付近を境にして北側に三畳紀の低帯磁率岩石が分布し 南側は帯磁率の高い白亜紀の花崗岩の分布域ということになるのかもしれない。もしそうならば錫鉱床の可能性があるのはおそらく島の北半分である。この点で トバカルデラの溶結凝灰岩が同じ第四紀の他の火山と比べ著しく高い  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比 (0.714) をもつことが注目される。その下部にはマレー半島から続く古い大陸地殻が存在するかもしれないからである。古くて厚い大陸地殻の存在する所に生じた低帯磁率の花崗岩が



写真6—6 シンガラ湖とメラピ (Marapi) (右)・シンガラ (Singgalang) (左) 火山。



写真6—7 スマトラ断層。  
パダン南東の上空から



第13図 東南アジアの花崗岩の年代データの分布。  
HAILE et al. (1977), HAMILTON (1979), JONES et al. (1977) および SUENSILPONG et al. (1983)などを参照。一般に白亜紀の花崗岩は高い帯磁率を三疊紀の花崗岩は低い帯磁率をもつと予想される。ただしタイのプケット (Phuket) に産する白亜紀の花崗岩の帯磁率は低く錫鉱床を伴うことが知られている。錫鉱床のほとんどは磁鉄鉱にきわめて乏しいこれら低帯磁率の花崗岩の分布域に存在する。

錫のターゲットとしてもっとも有望である というのが筆者の見解である

なお 第三紀とされる花崗岩体は パダンからプケティンギに至る道路でのみ観察することができた。中～細粒の黒雲母花崗岩で帯磁率は低いが 著しく低いガンマ線強度からして錫の鉱化は期待できないのではないかと思われた。スマトラの花崗岩については 岩体ごとに帯磁率は勿論化学組成や K-Ar 年代のデータをもっと蓄積する必要がある。このような感想を持って 短かかったスマトラの旅を終えパダンを飛び立った。眼下には シンガラ湖から一直線に延びるスマトラ断層がはっきりと望まれた。(写真6-7)

<1983年7月記>

注1) キンタ・パレーの第四紀堆積物に対しては alluvium という用語が用いられている。これは未固結の河川堆積物という岩相を示す名称で直接年代を示すわけではない。ところが日本では alluvium に対し沖積層 (世) という用語をあて更新世末から現世の堆積物を表わすことが多い (たとえば平凡社地学辞典)。したがってここでは誤解を避けるため沖積層という用語は使わず必要に応じて「沖積堆積物」を用いた。

注2) IGS は Institute of Geological Sciences の略で地質調査所に相当するイギリスの国立研究所。パレーの花崗岩の研究で有名な E. J. COBBING らが2年程前から東南アジアの花崗岩の調査を行っている。

主な参考文献

ALEVA, G. J. J., BON, J. I. and SLUITER, W. J. (1973) : A contribution to the geology of part of the Indonesian tin belt: the sea areas between Singkep and Bangka islands and around the Karimata island. Geol. Soc. Malaysia Bull. 6, 257-271.

BECKINSALE, R. D., SUENSILPONG, S., NAKAPADUNGRAT, S. and WALSH, J. N. (1979) : Geochronology and geochemistry of granite magmatism in Thailand in relation to plate tectonic model. Jour. Geol. Soc. Lond., vol. 136, 529-540.

BEMMELEN, R. W. VAN (1949) : The Geology of Indonesia, vol. 2 : Economic Geology, (Martinus Nijhoff, The Hague, 265p.

BIGNELL, J. D. and SNELLING, N. J. (1977) : The geochronology of Malayan granites. Overseas geology and mineral resources, No. 47, 70p.

CCOP (1980) : Studies in Eastern Asian tectonics and resources. United Nations ESCAP, CCOP Technical Publication No. 7, 257p.

GOBBETT, D. J. and HUTCHISON, C. S. (eds.) (1973) : Geology of the Malay Peninsula. Wiley-Interscience, New York, 438p.

HILE, N. S., McELHIMMY, M. W. and McDUGALL, I. (1977) : Paleomagnetic data and radiometric ages from the Cretaceous of the West Kalimantan (Borneo), and their significance in interpreting regional structure. Jour. Geol. Soc. Lond., vol. 133, 133-144.

HAMIDSYAH, H. and CLARK, M. C. G. (1982) : Discovery of primary tungsten and tin mineralization in N Sumatra, Indonesia. Proc. Symp. Tungsten Geology, Jiangxi, China, 1981, HEPWORTH, J. V. and YU, H. Z.



- eds., RMRDC, Bandung, 49-58
- HAMILTON, W. (1979): Tectonics of the Indonesian region. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 1078, 345p.
- HEHUWAT, F. (1976): Isotopic age determinations in Indonesia: the state of the art. United Nations ESCAP, CCOP Technical Publication, No. 3, Proc. Seminar on Isotopic Dating, Bangkok, 1975, 135-157.
- HOSKING, K. F. G. (1973): The primary tin mineralization patterns of west Malaysia. Geol. Soc. Malaysia Bull. 6, 297-308.
- .....(1977): Known relationships between the "hard rock" tin deposits and the granites of Southeast Asia. Geol. Soc. Malaysia Bull. 9, 141-157.
- HUTCHISON, C. S. (1977): Granite emplacement and tectonic subdivisions of Peninsular Malaysia. Geol. Soc. Malaysia Bull. 9, 187-207.
- .....(1979): Tin: A mantle or crustal source? Geol. Soc. Malaysia Bull. 11, 71-79.
- .....(1981): Review of the Indonesian volcanic arc. GRDC, Indonesia, Spec. Publ., 2, 65-80.
- .....(1983): Multiple Mesozoic Sn-W-Sb granitoids of southeast Asia. Geol. Soc. Am. Memoir 159, 35-60.
- HUTCHISON, C. S. and TAYLOR, D. (1978): Metallogensis in S E Asia. Jour Geol. Soc. Lond., vol. 135, 407-428.
- INGHAM, F. T. and BRADFORD, E. F. (1960): Geology and Mineral Resources of the Kinta Valley, Perak. Geol. Surv. Malaysia, District Memoir 9, 347p.
- ISHIHARA, S., SAWATA, H., ARPONSUWANM S., BUSARACOME, P. and BUNGBRAKEARTI, N. (1979): The magnetite-series and ilmenite-series granitoids and their bearing on tin mineralization, particularly of the Malay Peninsula region. Geol. Soc. Malaysia Bull. 11, 103-110.
- ISHIHARA, S., SAWATA, H., SHIBATA, K., TERASHIMA, S., ARYKUL, S. and SATO, K. (1980): Granites and Sn-W deposits of Peninsular Thailand. Mining Geol. Spec. Issue 8, 223-241.
- JONES, M. T., REED, B. L., DOE, B. R. and LANPHERE, M. A. (1977): Age of tin mineralization and plumbotectonics, Belitung, Indonesia. Econ. Geol., vol. 72, 745-752.
- KATIL, J. A. (1967): Structure and age of the Indonesian tin belt with special reference to Bangka. Tectonophysics, vol. 4, 403-418.
- .....(1973): Geochronology of west Indonesia and its implication on plate tectonics. Tectonophysics, vol. 19, 195-212.
- .....(1974): Sumatra. In: Spencer, A. M. ed. Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts, Data for Orogenic Studies. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., No 4, 317-331.
- .....(1975): Volcanism and plate tectonics in the Indonesian island arcs. Tectonophysics, vol. 26, 165-188.
- MITCHELL, A. H. G. (1977): Tectonic settings for emplacement of Southeast Asian tin granites. Geol. Soc. Malaysia Bull. 9, 123-140.
- NUTALAYA, P. (ed.) (1978): Geology and Mineral Resources of Southeast Asia. Asian Institute of Technology, Bangkok, 887p.
- PRIEM, H. N. A. (1976): Geochronological relationships in the Indonesian tin belts. United Nations ESCAP, CCOP Technical Publication No. 3, Proc. Seminar on Isotopic Dating, Bangkok, 1975, 129-135.
- RAJAH, S. S. (1979): The Kinta tinfield, Malaysia. Geol. Soc. Malaysia Bull. 11, 111-136.
- RAJAH, S. S., CHAND, F. and SINGH, D. S. (1977): The granitoids and mineralization of the Eastern Belt of Peninsular Malaysia. Geol. Soc. Malaysia Bull. 9, 209-232.
- SAINSBURY, C. L. (1969): Tin Resources of the World. U. S. Geol. Surv. Bull. 1301, 55p.
- SAINSBURY, C. L. and REED, B. L. (1973): Tin. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 820, 637-651.
- 佐藤興平(1982): 中国のタングステン鉱床. 地質ニュース 333号, 31-44.
- SATO, K. (1983): Geological investigation for ESCAP RMRDC project on rock magnetism and other physical properties of rocks in Indonesia-Malaysia-Thailand tin granite belt. ESCAP RMRDC] Progress Report No. 191, 28p.
- 佐藤興平・石原舜三(1983): 甲府花崗岩体の帯磁率と化学組成. 地調月報 34巻, 413-427.
- SUENSILPONG, S., PUTTHAPIBAN, P. and MANTAJIT, N. (1983): Some aspects of tin granite and its relationship to tectonic setting. Geol. Soc. Am. Memoir 159, 77-85.
- SUKAMTO, R. and SUHANDA, T. (1977): Some notes on magmatic activities and metallic mineral occurrences in northeastern Indonesia. Geol. Soc. Malaysia Bull. 9, 253-271.
- TAYLOR, G. G. (1979): Geology of Tin Deposits. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 543p.
- WHITFORD, D. J. (1975): Strontium isotopic studies of the volcanic rocks of the Sunda arc, Indonesia, and their petrogenic implications. Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 39, 1287-1302.

---

July, 1983, SATO, K.