

インドネシアの錫花コウ岩と漂砂錫鉱床 —— とくにバンカ・ビリトン島を中心として ——

金 山 清 一*

Tin Bearing Granites and Tin Placers in Bangka and Billiton Islands, in Indonesia.

by

Seiichi KANAYAMA

The tin in Indonesia is mainly exploited from placers containing cassiterite. Chemical analysis by the author made clear that mother rocks which liberate the placers belong to the tin granites of the Collision type, which has more popularity in Europe and the United States than the Cardilleran type of Japan.

One hundred and nine sampling sites which are located within placers to check the grade distribution indicated that economically rich cassiterite concentrations are limited to an area within 14 to 15 km from the fringes of the granitic mother rocks under the existing topographic and climatologic environment of the Tin Islands of Indonesia.

は じ め に

東南アジアは世界で最大の錫の供給地であり、その産出は毎年およそ世界の6割にも達し、タングステンとならんで東洋の金属とよばれる。錫は他の金属と異なって、ある地方に濃集され、ある地方に少ないような傾向がみとめられる。このように錫の大きな鉱床が地球上のある部分にかたよって集まっていることは、他の地方に錫の鉱物が極めて少ないことを示し、これはその地方の岩石中の錫の量が少ないことと一致しているようである。東南アジアの錫地帯は北ビルマからタイ・マレー半島を経て、インドネシアの Bangka・Billiton に至るおよそ1,800マイルにわたる広大な地域を覆っている。これらの地域の錫の開発の歴史は古く、18世紀にさかのぼることができるが、現在の陸上の錫資源の枯渇にともなって、今後はオフショアの錫鉱床の開発の必要性が増大するであろう。しかしながら、この地域の錫鉱床に関する組織的な研究は開発の長い歴史にもかかわらず、乏しい現状である。本報告では、第I章に初生錫鉱床を

* 京都大学工学部資源工学科

胚胎する花コウ岩の化学組成および錫の鉱化作用についての他の地域産のものとの比較検討を試み、第Ⅱ章では、初生錫鉱床から風化作用によって遊離した錫鉱石（主に錫石 SnO_2 ）が地質時代を通じて堆積濃集したプロセスを概観し、Bangka・Billiton 島地域の野外調査から得られた結果をもとに、花コウ岩と既堆積岩との境界からの漂砂錫鉱床の賦存限界の距離を算出した。

I Tin belt の深成岩

東南アジアのいわゆる Tin belt を構成する花コウ岩質深成岩類の分布は図1に示すとおりである。これらの深成岩のへい入の時期は石炭紀から古第三紀に至るとされている。

錫鉱床をもたらしたこれらの深成岩類のうち、石炭紀のものは明らかに変動時花コウ岩類であり、マレー半島の Pahang 錫鉱山やタイ国の一部の錫鉱床に関連がある。古第三紀のへい入になるものは後変動時花コウ岩類であり、一般に錫鉱床との関連は乏しいようである。錫鉱床を伴う花コウ岩類の年代は、Natuna 島の試料では $73 \pm 3 \text{ m. y. (K/Ar)}$ となっているように、⁹⁾ Tin belt 全体においても上部三畳紀から白亜紀の花コウ岩類が最も錫鉱床との関連が深いようである。

マレー半島の西側地域から南東方向に延びる花コウ岩類は、インドネシアの錫島 Bangka・Billiton 両島に豊富な錫鉱床をもたらしており、近年の調査では、Kundur および Karimun 諸島にまで広がっていることが明らかとなった。一方、マレー半島の東側地域の海岸に沿ってわずかに花コウ岩類が知られているが、これらの東西の花コウ岩類には含まれたマレー半島の中央背稜部には、種々の深成岩類が知られており、一般に非花コウ岩質深成岩が優勢である。インドネシアにおいても同様で、Bangka, Billiton, Singkep などの島々の深成岩類はすべて花コウ岩とされていたが、近年の研究によれば各地に花コウ岩というより中性ないし塩基性の深成岩類の存在が知られるようになった。^{1,3)}

従来より、この地域の花コウ岩類の化学組成・鉱物組成に関する研究はほとんど行なわれておらず、今回はこれら深成岩のうち、おもに錫鉱床を伴う花コウ岩の化学組成について検討を試みる。

I-1 Bangka 島の花コウ岩類と初生錫鉱床

バンカ島に分布する花コウ岩類の多くは粗粒黒雲母花コウ岩であり、構成鉱物には、石英、正長石、曹長石、灰長石、黒雲母と少量のジルコン、燐灰石などが認められる。

その他、角閃石や黒雲母を多く含む花コウ岩ないし花コウ閃緑岩が存在する。錫鉱床の近傍には黄玉、電気石などの気成鉱物のほか、モナズ石、ゼノタイムなどの希元素鉱物も認められる。

バンカ島の初生錫鉱床には種々の型式のものがあ、野外観察からは次のように分類される。

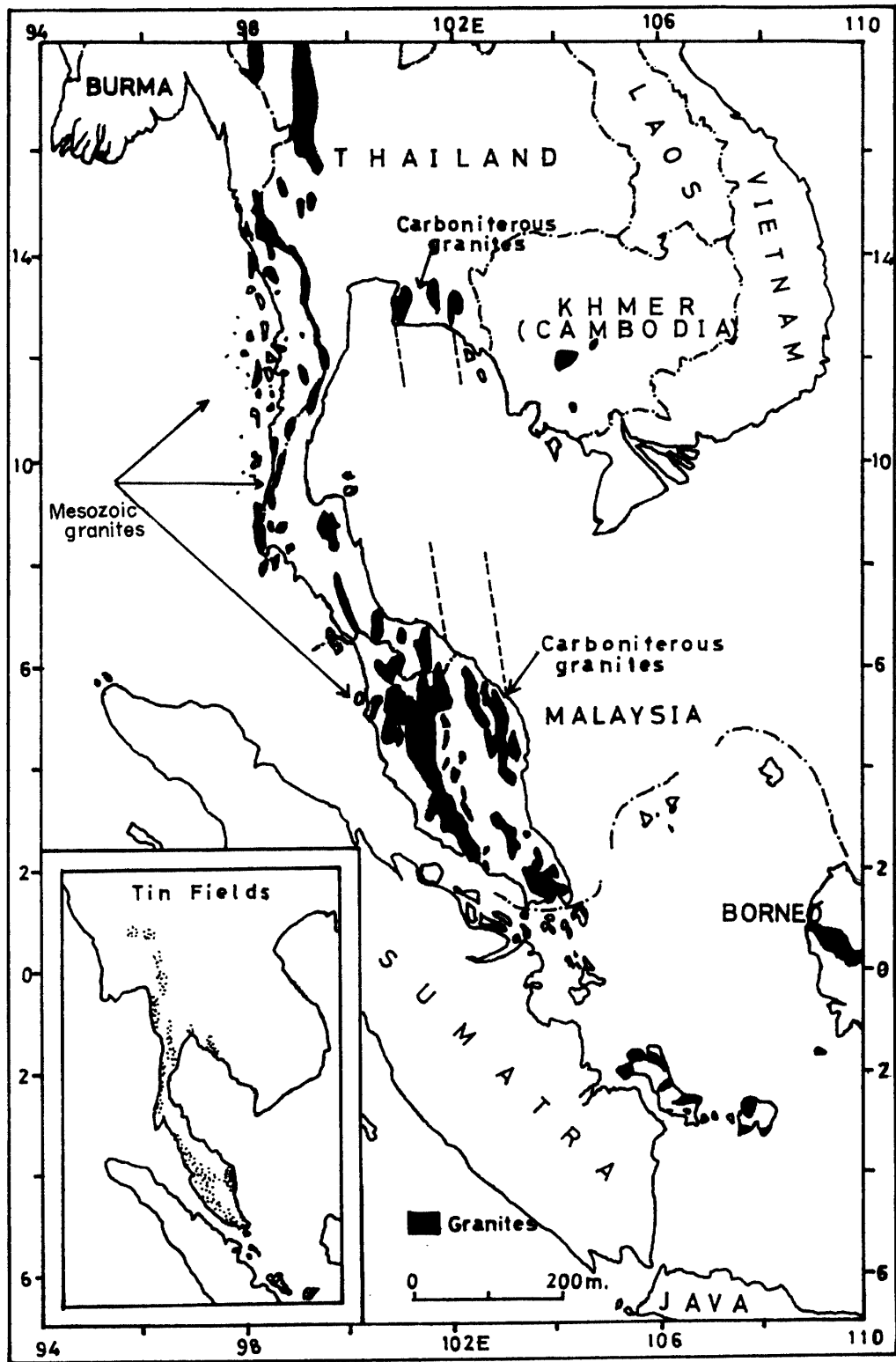


図 1 東南アジアの花コウ岩および錫鉱床の分布

1. 花コウ岩中のグライゼンに伴って産するもの。
2. 花コウ岩中のペグマタイトあるいは石英脈中に産するもの。
3. 花コウ岩と既存の堆積岩との接触部に産するもの。

今回、化学分析に供した花コウ岩試料の採取地は図5に示す。試料 S-1 および S-4 は Bangka 島北部 Belinju 鉱山区にある粗粒黒雲母花コウ岩である。試料採取地は海岸地域で花コウ岩の露出もよく、比較的新鮮な試料である。その付近には、花コウ岩中のグライゼンの風化した部分に、原地堆積性の錫鉱床がみられるほか、花コウ岩のくぼみを流れる河川の河床部に漂砂錫鉱床が点在している。この採取地から沖合 1 km 付近の海底鉱床も盛んに採掘されている。試料 S-2 は, Sungailiat の南方 15 km 地点にある Sambonggiri 鉱山（現在は初生鉱床を掘り尽して廃山）から採取した粗粒ないし中粒黒雲母花コウ岩である。錫鉱床は主として花コウ岩と堆積岩との境界部で、接触変質をこうむった珪岩に伴っている。この珪岩中には細かい鉱脈があって、細粒の錫石を伴っているが、局所的に鉱脈のふくらむところでは粗粒の錫石をはさむ。ここには錫石のほか、黄鉄鉱、白鉄鉱、電気石および石英などがみられる。本試料 S-3 は、Pangkalpinang の北西 35 km 付近にある Pemali 鉱山の Pemali cupola と呼ばれる花コウ岩の小突起部から採取した黒雲母花コウ岩である。この花コウ岩キューボラは、しばしば Bangka・Billiton 地域で、優勢な初生錫鉱床をもたらすものである。Pemali 鉱山付近を構成する岩石は、ジュラ紀ないし白亜紀に貫入したと考えられる花コウ岩とジュラ紀の結晶片岩、砂岩、頁岩、チャートなどから成っている。錫鉱床は、これらの堆積岩類と花コウ岩キューボラとの接触帯に沿って、あるいは花コウ岩キューボラの内側に発達している。しかし、錫鉱床はしばしば接触帯の外側にも不規則に分布することもある。

I-2 化学分析および結果

採取した花コウ岩試料の分析は、通常の湿式分析法によってこれを行なったが、Na と K は蛍光分析により、Ti は比色分析によって行なった。分析結果は表1に示す。表中のAは日本の錫鉱床の運鉱岩18個の花コウ岩の平均化学組成であり、Bは9個のヨーロッパ・アメリカ産錫花コウ岩の平均化学組成である。¹¹⁾ 図2は縦軸に SiO₂ 量を示した Bangka 島産花コウ岩の成分変化図である。Bangka 島産のいずれの試料にも共通にみられる化学組成の傾向としては、K₂O, Na₂O, CaO, FeO, MgO の順

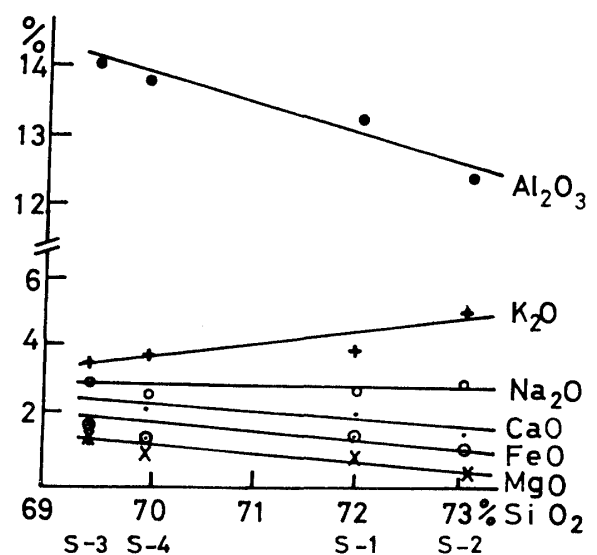


図2 バンカ島産花コウ岩の成分変化図

表 1 バンカ島産花コウ岩の化学組成 (wt %)

	S-1	S-2	S-3	S-4	A	B
SiO ₂	72.04	73.06	69.48	69.95	72.16	74.31
Al ₂ O ₃	13.30	12.34	14.48	13.90	13.93	14.53
TiO ₂	0.20	0.19	0.20	0.25	0.35	
Fe ₂ O ₃	0.36	1.64	0.78	1.50	0.49	0.77
FeO	1.76	1.20	1.60	1.60	2.23	0.93
MnO	0.36	0.90	0.80	0.75	0.19	
MgO	0.70	0.45	1.47	0.85	0.63	0.40
CaO	2.06	0.60	1.12	2.20	2.02	0.69
Na ₂ O	2.58	3.01	2.70	2.70	3.61	2.44
K ₂ O	3.90	5.03	3.69	3.95	3.23	5.60
P ₂ O ₅	0.87	0.57	0.67	0.70	0.22	
H ₂ O ⁺	0.72	0.73	0.87	0.85	0.62	0.93
H ₂ O ⁻	0.20	0.20	2.21	0.25	0.19	
Total	99.05	100.38	99.63	99.45	100.00	100.00
Q	41.16	35.78	30.74	36.62	32.24	38.58
or	22.00	27.96	32.23	22.70	19.46	29.47
ab	22.10	25.45	23.21	23.62	30.39	20.44
an	4.35	3.98	1.22	6.64	8.34	3.06
C	2.05	0.38	1.93	1.77	1.43	3.88
en	2.29	1.56	4.85	2.86	1.60	1.00
fs	2.63	0.60	1.98	2.76	3.56	1.9
mt	0.29	1.33	0.64	1.27	0.70	0.93
il	0.33	0.30	0.33	0.42	0.61	
ap	1.63	1.13	1.32	1.33	0.97	

A： 18個の日本の錫鉱床母岩の花コウ岩の平均

B： 9個のヨーロッパ産錫花コウ岩の平均

で含有し、とくに K₂O が Na₂O より多く含まれる点で日本産錫花コウ岩と異なっている。また、CaO 量も日本産に比べて若干少なく、全体の化学組成はヨーロッパ・アメリカの錫花コウ岩に類似する。Or-Ab-An ダイアグラムを作成し、ノルム長石の分布を示すと図3のようである。この場合も、バンカ島産花コウ岩はヨーロッパ・アメリカの錫花コウ岩に近接することがわかる。

図4には Q-Ab-Or ダイアグラムを作成し、各産地別の花コウ岩の組成変化を示したものである。これによれば、試料 S-1 は、Tuttle のダイアグラム¹³⁾ ではわずかにグライゼン化領域に落ち、同様に試料 S-3 はカリ長石化領域に落ちることがわかった。図4の中央の斜線部は世界の花コウ岩の平均的な領域である。

花コウ岩へい入に関連の深い造山運動を大きく二つの型に分けた場合、大陸地殻と海洋地殻の間に生じたコルディレラ型 (Cordilleran-type) に属する本邦の錫花コウ岩と、大陸地殻と大

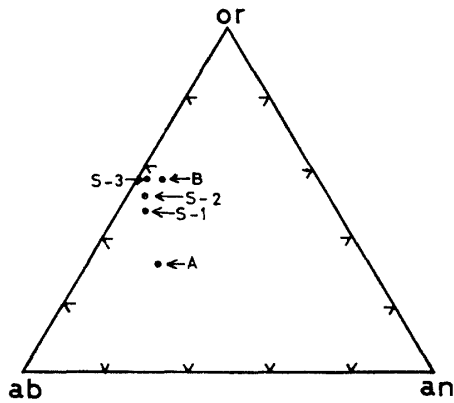


図 3 or-ab-an ダイアグラム

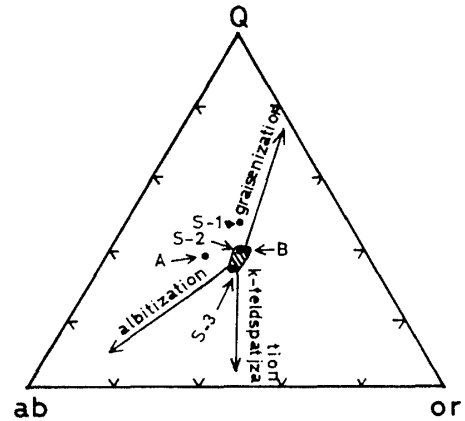


図 4 Q-ab-or ダイアグラム

O.F. Tuttle (1964). 斜線部は predominant granites

陸地殻の間に生じた衝突型 (Collision-type) であるヨーロッパ・アメリカの錫花コウ岩が考えられるが、東南アジア、とくに Bangka 島の錫花コウ岩の化学組成が後者の衝突型に属する錫花コウ岩のそれに類似することがわかる。

I-3 花コウ岩中の微量元素

東南アジアの錫鉱石はほとんど錫石 (SnO_2) から得られるのであるが、錫花コウ岩中の各鉱物中の微量元素の分布を調べることは、錫鉱床の成因を考える場合大変重要なことである。

今回は他鉱物に比して、Fe, Mg 分に富み比較的分離が容易な黒雲母について検討を行なった。花コウ岩の細粉試料(60~80メッシュ)から新鮮な黒雲母を分離し、発光分光分析を行なった結果を表2に示す。なお試料番号は化学分析に供したものと同一である。検出された元素はおよそ30であるが、K, Na, Mg, Al, Si, P, Ca, Ti, Mn, Fe までは花コウ岩の主要元素であり、化学分析の項において述べたとおりである。また、V, Zn, Ga, As, Sr, Zr, Hg, Li, Be, Sb, Sn, Cr, Pb, Y, Yb などは微量元素である。これらの分析から明らかにされた微量元素の挙動はおよそ次のようである。

表 2 バンカ島産花コウ岩および黒雲母中の微量成分

Samples	Elements																												
	K	Na	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Zn	Ga	As	Sr	Zr	Hg	Li	Be	Sb	Cd	Sn	Ge	Cr	Ba	In	Pb	Y	Yb
S-1 (Gr)	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-			-			-?		-					+	-?	-?
S-2 (Gr)	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-?			-					-					+	-?	
S-3 (Gr)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-?						-		-	+	-?	+		+	-?	
S-4 (Gr)	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+		-?	-	-	-?			-?					+	+	
S-5 (Gr)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			-	-	-?			-?					+	-?	-?
S-1 (Bio)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-?	-?	-	-	-	+	-	+				-	+	+	-
S-2 (Bio)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	-	-	-	+		-?		-	+	-	-
S-3 (Bio)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			-	-	+	-?	+	-	+		-	-	+	-	-?
S-4 (Bio)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			-	-	+	-	-	+				+	+	+	+
S-5 (Bio)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-			+	+	+

Apparatus : Spectrographer of JACO Ebert type

$$\cdot^+ \cdot^+ > \cdot^+ \cdot^+ > \cdot^+ \cdot^+ > \cdot^+ > \cdot^+ > - > - ? >$$

Gr : Granite Bio : Biotite

Relative Concentration

1) 花コウ岩中の黒雲母に著しく濃集される元素には、Zn, Zr, Sb, Sn, Y などがみとめられ、やや濃集している元素に、As, Li, Be, などがみとめられる。鏡下においても黒雲母中にはジルコン、モナズ石などがみとめられることから理解される。

2) 錫には Sn^{2+} と Sn^{4+} との2種類のイオンがあり、そのイオン半径はそれぞれ $1.10 \text{ \AA}$ および $0.74 \text{ \AA}$ で大きさにかなり差があるので、その行動も複雑になる。 Sn^{2+} は Ga^{2+} ($1.06 \text{ \AA}$) におきかわり、 Sn^{4+} は Fe^{2+} ($0.83, 0.75 \text{ \AA}$), Sc^{3+} ($0.83 \text{ \AA}$), Ti^{4+} ($0.64 \text{ \AA}$), W ($0.68 \text{ \AA}$), Ta^{5+} ($0.74 \text{ \AA}$), Nb^{5+} ($0.69 \text{ \AA}$) などにおきかわることが考えられる。しかしながら、珪酸塩中にジアドキー (Diadochy) 的に錫がおきかわることのできるのは、極めてかぎられた量であり、その過剰は錫石として分離するものであるといわれている。このような性質があるので、マグマ中の錫は珪酸塩マグマの分別結晶作用の末期の残留液の方に濃縮されることになり、イオン半径の大きい希元素などと共にさらに十分に濃度が大きくなり、希元素鉱物、錫石、黄錫鉱などとして独立の鉱物を形成することになる。特に普通の珪酸塩造岩鉱物がほとんど結晶し終わったあとの残留マグマを代表する気成期～熱水期部分に多い。とくに気成時代においては、錫はフッ化物などとして供給されるといわれ、これが高温において水蒸気のために、加水分解を受けて独立の錫鉱物が多量に生成され、錫の鉱石の主要な部分を占めるにいたるのである。この時期の黒雲母には $\text{Sn}=0.03\%$ 、電気石には $\text{Sn}=0.005\%$ が知られている。Ahens¹²⁾ らの研究によれば61個の雲母中の錫の含有量は $\text{Sn}=0.0004 \sim 0.40\%$ に達するものがあり、すべての雲母中に錫は認められ、錫は一部分錫石として存在し、一部分は雲母の格子中に入りこんでいる。

Bangka 地域の花コウ岩中の黒雲母には、Zr, Y, Yb などの希元素の他に Sn が濃集されており、この黒雲母が気成ないし熱水時代に晶出したものと推定されるのである。

また、このように錫の鉱化作用はマグマの分別結晶作用の末期にあたるので、生成した鉱物と気体および液体との交換反応なども活発に行なわれ、リシア雲母、螢石、黄玉などの揮発性成分を多量に含んだ鉱物を伴って産出するのである。

II 漂 砂 錫 鉱 床

I に述べたように、スンダ陸棚の島々には花コウ岩類のへい入に伴って種々の型の初生錫鉱床ならびに漂砂鉱床群がみられる。しかし、スンダ陸棚にはインドネシア領の島が数百も存在しているにもかかわらず、錫鉱床と深い関連がみられるのは、わずか六つの島にかぎられ、これらは北から Karimun, Kundur, Bintan, Singkep, Bangka および Billiton の各島であり、特に後者の三つの島の錫の産出が重要である。1971年度インドネシア産金属錫（世界総生産の約15%）19,000トンのうち、バンカ島69%、ビリトン島27%、シンケップ島4%の産出量となっている。

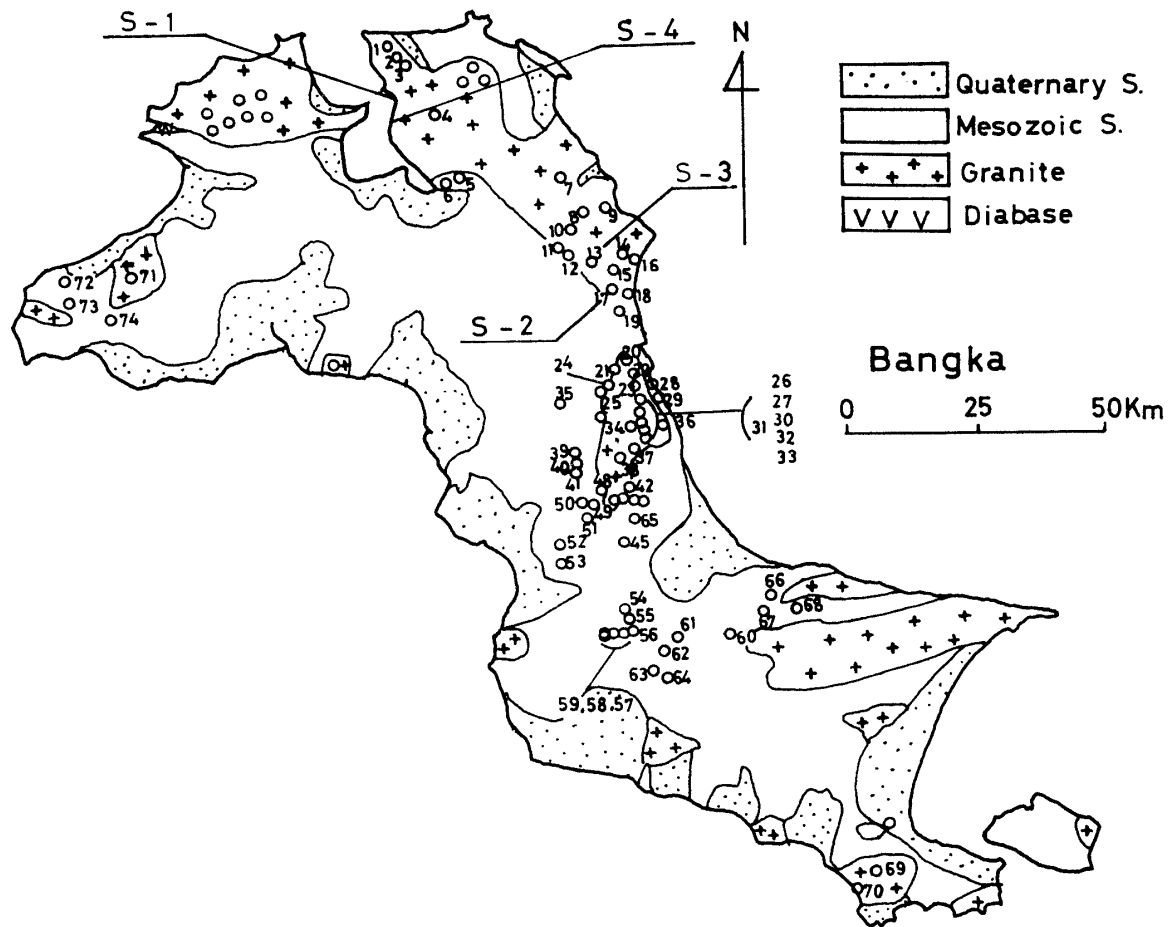


図 5 バンカ島の錫鉍床位置と花コウ岩採取位置図

図 5 と図 6 はそれぞれ Bangka, Billiton 両島の錫鉍床の位置を示したものであり、過去に採掘されたものも並記されている。また、図中の番号は表 3 と表 4 に示された両島における錫鉍床の記載と同一のものである。

Bangka 島には多数の初生錫鉍床が知られており、これらは表中の Remarks 欄に primary として記されている。Bangka 島の花コウ岩で初生錫鉍床と関連の深いのは島の北東部を中心に分布しているいわゆる Sungailiat granites と呼ばれる花コウ岩で, Pemali, Balai Bandung, ならびに Sambonggirri の諸鉍床が知られている。その他, Bangka 島南部に位置する Toboali granites には B. Muntai などの初生錫鉍床が存在する。それらの初生錫鉍床の粗鉍中の Sn 平均品位は, 0.12~0.16%である。

Billiton 島では初生錫鉍床はおよそ次の四つの鉍区に分布する。1. Burung Mandi, 2. Batu Besi, 3. Gurumedang, 4. Gunung Manggar の地域である。この Billiton 島地域唯一の坑内掘鉍山は Tikus 錫鉍山で, これは石英脈中に錫石と鉄マンガン重石を伴う多数の鉍巢

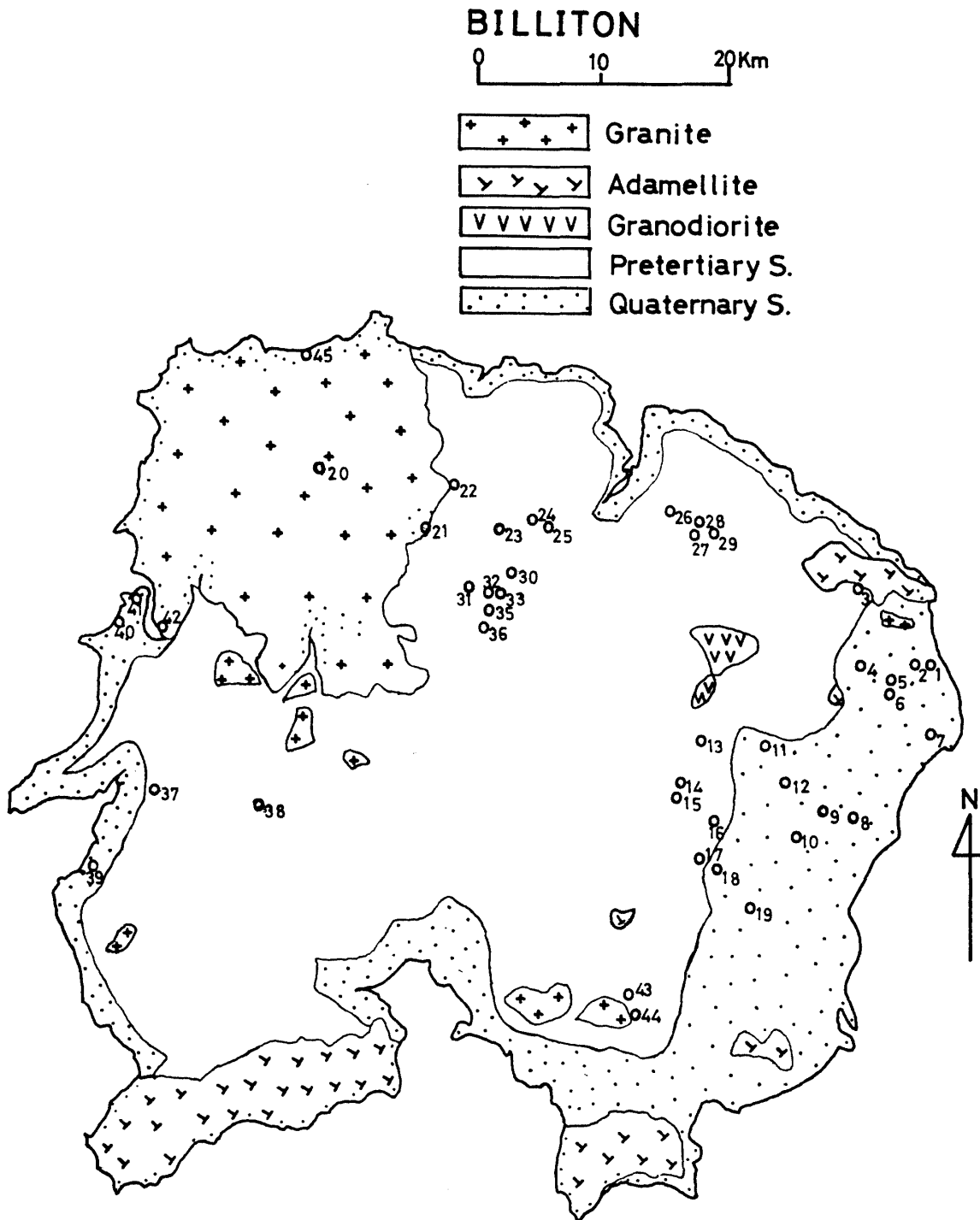


図 6 ビリトン島の錫鉱床位置図

表 3 バンカ島の錫鉱床

No.	locality	Tin Deposits in Bangka			distance from granite (km)	topographical feature**	remarks***
		surrounding rocks*	strike & dip	altitude (m)			
1	S. Bubus	gr & all		10		s. b.	
2	—	gr & all		10		s. b.	
3	—	gr & all		10		s. b.	
4	S. Pandji	ss, sh & gr	N 65°E, 75°S	20-30		s. b.	
5	S. Lajang	sch	N 60°W, 55°S	10	6.5	s. b.	
6	—	ss	N 75°W, 50°S	10	6.0	s. b.	
7	S. Diniang	gr & all		10-20		s. b.	
8	Tutut	gr & all		20-30		s. b.	
9	Sungailiat	gr & all		10		s. b.	
10	S. Sigembir	gr		20-30		s. b.	
11	—	gr		20-40		h. f.	
12	—	gr		20-40		h. f.	
13	Pemali	ss, sch & gr		100		h. f.	primary
14	Paritpadan	gr & all		10-20		h. f.	
15	—	gr		25		h. f.	
16	Rebo	gr & all		5		b.	
17	Sambonggiri	gr		15-20		v. f.	primary
18	Njahin	gr		30-50		h. f.	
19	Balaibandung	sh & all	N 80°E, 85°N	10	2.5	s. b.	primary
20	A. Barm	ss, sh & all		10	5.0	s. b.	
21	Semabong	ss, sh & all		5-15	3.5	s. b.	
22	A. Melaju	ss, sh & all	N 60°W, 90°	10	1.5	s. b.	
23	—	ss, sh & all		10-15	1.0	s. b.	
24	S. Besar	ss, sh & all	N 80°W, 90°	10-15	3.0	s. b.	
25	—	ss, sh & all		10-15	2.0	s. b.	
26	Benkuang	ss, sh & all	N 30°W, 90°	20		s. b.	primary
27	S. Mesu	ss, sh & all		20		s. b.	
28	Mesu	ss, sh & all		5	4.0	v. f. - b.	
29	—	ss, sh & all		5-10	2.0	s. b.	
30	—	ss, sh & all		10		s. b.	
31	Ajer Mesu	gr & all		50		h. f.	
32	—	gr		50		h. f.	
33	—	gr		50		h. f.	
34	A. Langkap	gr & all		30-40		s. b.	
35	S. Lurok	ss, sh & all		30-40	3.0	s. b.	
36	Salinte	ss, sh & gr		15-20	1.0	s. b.	primary
37	Djambei	ss, sh & gr		50-70		h. f.	
38	S. Tampoi	gr & all		50-60			
39	S. Bakasam	gr & all		50-70		s. b.	
40	—	gr & all		50-70		s. b.	
41	Kerata	gr & all		50-70		s. b.	

金山：インドネシアの錫花コウ岩と漂砂錫鉱床

No.	locality	Tin Deposits in Bangka			distance from granite (km)	topographical feature**	remarks***
		surrounding rocks*	strike & dip	altitude (m)			
42	Tjiluak	ss, sh & all		30-40	4.5	s. b.	
43	—	ss, sh & all		30-40	5.0	s. b.	
44	Pinangsebatang	ss, sh & all		15-20	6.5	s. b.	
45	S. kratei	ss, sh & all		15-20		s. b.	
46	Kratei	ss, sh & all		15-20	6.5	s. b.	
47	—	ss, sh & all		15-20	6.5	s. b.	
48	S. Puput	ss & all		20	5.0	s. b.	
49	Lampor (Djirak)	ss, sh & all		15-20	6.0	s. b.	
50	—	ss, sh & all		15-20	6.0	s. b.	
51	—	ss, sh & all		15-20	6.0	s. b.	
52	S. Galang	ss, sh & all		10-20	13.0	s. b.	
53	—	ss, sh & all		10-20	12.0	s. b.	
54	S. Kuning	ss, sh & all	N 60°W, SW	30	11.5	s. b.	
55	—	ss, sh & all		30	11.5	s. b.	
56	—	ss, sh & all		30	11.5	s. b.	
57	S. Djambu	ss & all	N 50°W, SW	10	12.0	s. b.	
58	—	ss, sh & all		10	12.0	s. b.	
59	—	ss, sh & all		10	12.0	s. b.	
60	A. Blau	ss, sh & all	N 75°E, SE	50-60	1.5	s. b.	primary
61	S. Kuran	ss, sh & all		70-80	2.5	s. b.	
62	—	ss, sh & all		80-100	3.5	s. b.	
63	A. Baru	ss & all		20-30	3.5	s. b.	
64	—	ss & all					
65	S. Kundur	ss, sh & all	N 70°W, SW	20	12.5	s. b.	
66	S. Nibung	ss, sh & all	N 85°E, 85°N	20-30	3.5	s. b.	primary
67	—	sh & all	N 80°W, 60°S	35	1.5	s. b.	
68	A. Djangkong	ss, sh & all	N 75°W, 70°N			s. b.	
69	B. Muntai	ss, sh & gr		20		h. f.	primary
70	Tetili	all		5	4.	r. m.	
71	Kampongberang	gr		15-20		s. b.	primary
72	S. Bundul	ss & sh		5-10	2.0	s. b.	
73	—	gr & all			0.5	s. b.	
74	G. Murut	gr		50		h. f.	

* gr; granite ss; sandstone sh; shale sch; schist all; alluvium

** s. b.; stream bed h. f.; hill flank b; beach r. m.; river mouth

*** primary; primary deposit, blank means placer tin deposit

表 4 ビリトン島の錫鉱床

No.	locality	Tin Deposits in Billiton			distance from granite (km)	topographical feature**	remarks***
		surrounding rocks*	strike & dip	altitude (m)			
1	Pengkal Danau	ss, sh & all	N 90°E, 60°S	20-20	2.5	h. f.	primary
2	Garumedang	ss, sh & all	N 90°E, 80°S	10-20	2.5	s. b.	
3	Bungun	ss, sh & all	N 85°W		0.1	h. f.	
4	Amru	ss, sh & all	N 85°W	140	4.5	s. b.	
5	Air Kering	ss, sh & all	N 85°W	30-50	5.7	h. f.	
6	A. Langsung	ss, sh & all	N 70°W	30-50	4.2	h. f.	
7	Koen	all		30-50	9.5	s. b.	
8	Pulsometer-gang	all		30-50	11.0	s. b.	
9	A. Meranti	ss, sh & all	N 65°W	30-50	10.0	s. b.	
10	Linggang	ss, sh & all	N 90°E		8.5	s. b.	
11	A. Parak	ss, sh & all	N 60°W, N	20	8.0	s. b.	primary
12	A. Selumar	ss, sh & all	N 60°W, 90°	20	11.0	s. b.	
13	Madu	ss, sh & all	N 90°E, 75°N	20	3.0	s. b.	
14	Baturimau	ss, sh & all		20-30	4.0	s. b.	
15	A. Mertut	ss, sh & all		30-50	5.5	s. b.	
16	Pagardamar	ss, sh & all		150	5.0	h. f.	
17	pudas	ss, sh & all		150	9.0	h. f.	
18	Tebu	ss, sh & all	N 60°W, 60°N	20	9.5	h. f.	
19	Sabung	ss & sh	N 60°W, 60°N	20	9.0	h. f.	
20	Belikan (Tikus)	gr		30-40		s. b.	primary
21	A. Dibe	gr		30-40		h. f.	
22	G. Pitung	ss, sh & gr	N 90°E, 80°N	50		h. f.	
23	Seniebuk	ss, sh & all		20	6.0	s. b.	
24	A. Limpas	ss, sh & all		10-20	7.0	s. b.	
25	Djangkat	ss, sh & all		10-20	8.0	s. b.	
26	A. Gumba	ss, sh & all	N 60°W, N	10-20		s. b.	
27	Klapakampit	ss, sh & all	N 60°W, 90°	150	9.0	h. f.	
28	—	ss, sh & all		150	9.0	h. f.	
29	—	ss, sh & all		150	9.0	h. f.	
30	A. Batu	all	N 85°E, 90°	10-20	9.0	s. b.	primary
31	Tadjem	all	N 90°E, 80°N	10-20	6.0	s. b.	
32	Djulung	all	N 90°E, 80°N	30-40	10.0	s. b.	
33	—	all		30-40	10.0	s. b.	
34	A. Tanduk	all	N 85°E, 85°S	40	6.0	s. b.	
35	A. Rongan	all		40	5.0	s. b.	
36	A. Burungdajang	all		20-30	10.0	s. b.	
37	Peran	all		50	10.5	h. f.	
38	A. Limtang	all			5.5		
39	Ulin	all			6.0	b.	
40	Tg. Sabang	all			2.5	b.	
41	Djuru	all			1.0	b.	
42	S. Tjerutjuk	all			0.5	s. b. - b.	
43	Lilangan	ss, sh & sch		30-50	1.0	s. b.	
44	A. Kulat	ss, sh & gr		20-40		s. b.	
45	Pendaunan sidjuk	gr				b.	

注：*, **, *** 表3に同じ。

から成っている。一般に本鉱山中の粗鉱中の Sn 平均品位は Bangka 島鉱石に比べて幾分高いようである。

II-1 漂砂錫鉱床の生成

スンダ陸棚の Bangka・Billiton 島において、第三紀層の欠除は錫鉱床を胚胎している造山帯が、少なくとも第三紀の初期には削剝の場であったことを示している。

第三紀の初頭より、更新世までの長い削剝期間のうち、漂砂錫鉱床が最初に形成された時代は不確かであるが、Osberger^{1,2,3)} は、インドネシアの漂砂錫鉱床の形成は多く中～後期更新世にはじまり、いくつかは現世にはじめて形成が完了したと述べている。しかしながら、若干量の錫石がスマトラの Palembang 西方の第三紀礫岩層中に存在することからも、第三紀に漂砂錫鉱床の形成がなかったとは断言できない。しかし、現在までのところ、第三紀層に経済的に価値のある錫の濃集が行なわれたとする有力な根拠はない。

花コウ岩質岩石中の諸要素（石英、長石類、雲母類、希土類鉱物、錫石や種々の気成鉱物など）の碎屑物の混合物から、比較的比重が大きく、風化に強い錫石が分離されるためには、軽い物質をすべて洗い去り、重い物質だけを残留させるような強力な水流が必要である。

第四紀時代を通じての数回の海水位の低下時には、河川勾配は現在のそれよりはるかに急であり、これによってひきおこされた大きな掃流力は錫石の分離を容易にしたはずである。

重鉱物が流水中で分離される際にはストークスの法則に従って粗粒の砂に伴って堆積する。すなわち、錫石の大きな比重がその小さな容積を補償している。一方小さな比重の鉱物の濃集は同じ法則に支配され細粒の砂、時には粗粒のシルトに伴って堆積する。いずれにしても、Bangka・Billiton 島地域の河川には多少とも錫石の痕跡を有しており、錫花コウ岩の鉱物組成、錫石の粒径ならびに周囲の地形・地質条件によって、同じ河川系の中でも錫石の濃集に大きな差異が認められ、ある場所では鉱床として存在し、他の場所では鉱量的にも採掘されるほどに濃集しないのである。

II-2 オフショア（沖浜）の錫鉱床の生成

陸上の錫鉱石の枯渇とオフショア鉱床の発見ならびに大型ドレッジャー船の発達によって、東南アジア諸国、なかでもタイやインドネシアにおいては、大規模にオフショア錫鉱床の開発が行なわれている。現在までのところ、地質鉱床学的には東南アジアのオフショア鉱床は次の三つの型に分類される。

(A) 残留性で海底河谷の外にあり、風化殻の最上部にあるもの。

(B) 海底河谷の充填物として存在するもの。

(C) 海底河谷内と海底斜面の両方にわたって覆う堆積物として存在するもの、などである。

(A)の型の鉱床は風化した基盤岩中に含まれている錫石の主に垂直的な移動によって形成されたものである。(B)の型は主に水平方向の運搬作用によって形成されたものである。(C)の

型は(B)の型より大規模な水平的な運搬作用によって形成されたものである。

一般に、海底堆積物は粘土（主にカオリン）から砂に至るまでの種々の型の混合物からなっており、礫（20 mm ϕ 以上）はまれである。Bangka・Billiton 地域では、堆積物中の粘土の占める比率が多くなるほど錫石の品位は低下し、かつ錫石の粒径が減少する傾向がある。例外としては、(A)の型にみられるように基盤岩のすぐ上に発達する粗粒の石英とカオリンからなる花コウ岩質残留物である。しかし、この堆積物は選鉱過程において簡単に破壊せず、細粒の錫石を含む粘土ボールとなってドレージの尾鉱に入ってしまう。

この地域におけるオフショア堆積物の厚さは海岸からの距離に伴って増大する。すなわち、海底谷床面と海底面は平行でない。Bangka 島の Muntok 近くの海底では、海底谷床面の傾斜は 1:1,000 ないし 1:100 にわたって変化する。海底の傾斜とオフショア錫鉱床との関係は今後の海底ボーリングなどの調査結果から解析されなければならないが、これらは海底探査の結果が公表されていないので今後残された課題となろう。

II-3 地質構造と鉱化作用

インドネシアの錫鉱床は、東南ビルマから南方に延びる褶曲山脈の末端部に位置し、この山脈は図 1 に示したように北西-南東系褶曲軸にほぼ平行する数列の山系とゆるやかな丘陵よりなっている。

中生代以前の堆積岩系は、マレー半島から Riau 諸島にかけてその走向は西北西-東南東系であり、Bangka 島の北東部においてその走向は北北西-南南東系となり、さらに Bangka 島の南東部では東西系と折れ曲っている。さらに Billiton の西方では、この地層の背斜軸と地層の走向は大体東西系で、Billiton の東方では北西-南東系となっている。このように堆積岩の走向と褶曲軸の方向はわずかながら変化しており、さらにこれらの堆積岩類を切断する多数の断層や節理が知られている。⁴⁾ Bangka・Billiton 地域のこれらの断層と節理との主要方向は東西系と南北系の二つの系が顕著である。またこの地域の北方に位置する Riau・Lingga 諸島では、断層や節理の主要走向は南北、北東-南西および北西-南東系が優勢である。

一方、花コウ岩のへい入後の錫含有鉱化ガスや溶液は花コウ岩の周縁部に分布する地層面や、断層帯、堆積岩と花コウ岩の接触帯などに沈殿の場を求め、ここに錫の初生鉱床を生成させた。さらに鉱化作用末期に生じた熱水溶液によるカオリン化作用ならびにその後の風化作用によって、鉱床母岩は周囲の岩石に比べて著しく粘土化が進行した。ひきつづきこれらの粘土化帯は容易に開析され、河川を形成した。

したがって、この地域における河川は初生鉱床からの錫石の運搬路であったばかりでなく、一部の河川はかつての初生錫鉱床の場であったと推定される。Billiton 島において、河川的主要方向は南北、東西、北西-南東、北東-南西系などがみられるが、主に錫鉱床を胚胎する河川系は前二者の系であり、これはこの地域の主要断層方向にほぼ一致するのである。Bangka お

よび Singkep においても錫鉱床を有する河川の主要方向は Billiton のそれとほぼ似ている。このようにこれらの地域の河川には多くの錫鉱床を胚胎する河川系とそうでないものとがみられる。

II-4 花コウ岩と漂砂錫鉱床との距離

現在、東南アジアにおいて鉱量的に安定な漂砂錫鉱床は原岩（錫含有花コウ岩、石英脈、ペグマタイト脈など）の崩解によって、錫石が河川流により下流に運搬され、堆積濃集して鉱床を形成したものであるが、錫石の濃集の度合（品位）、粒度は種々の条件によって変化することが考えられる。

しかしながら、化学的に安定で機械的強度の大きい錫石が濃集する場合には、原岩と漂砂鉱床生成の間には臨界の距離が存在する。

表3と表4は Bangka・Billiton 島の陸上における錫鉱床の産状の記載であるが、これらの諸鉱床のうち、花コウ岩地域から明らかに離れて分布する鉱床は Bangka では74地点中42地点で、Billiton では45地点のうち34地点であり、これらの鉱床について花コウ岩露頭からの距離を横軸に、その頻度を縦軸に採り、三点平均法によって両者の相関を曲線で表わしたものが図7である。しかしながら個々の鉱床の規模は考慮しないことにする。また、明らかに漂砂鉱床と思われるものではあるが、花コウ岩地域内の河谷に堆積した原地堆積性漂砂鉱床などは實際上原岩の位置を決定することが不可能で、距離の算出ができないため除外した。

図7のグラフから Bangka・Billiton 島のいずれにも二つの大きなピークが認められる。すなわち、Bangka 島では 3～5 km と 11 km 付近において、Billiton 島では 5～6 km と 12 km 付近においてその頻度のピークがみられるのである。これらのピークの偏在は、原岩（花コウ岩あるいは初生鉱床）から錫石が分離され再び堆積する際に錫石の濃集が一様に行なわれたのではなく、局部的な地形・地質などの諸要素のほか鉱床生成時の水準面などの外的環境によって、濃集が変化したことによるものであろう。

また、Billiton のグラフの曲線が Bangka のものに比べて不規則であるのは、Billiton 島が Bangka 島に比べて地形の起伏が激しく、準平原化が未発達のために漂砂鉱床の形成が不完全であることによるものであろう。

いずれにしても、Bangka・Billiton 島地域の漂砂錫鉱床は花コウ岩と既堆積岩類との境界からすくなくとも 14～15 km 以上離れた地域では、経済的に有効な錫の濃集は過去および現在において認められていない。しかし、近年の海底ボーリング探査によれば、⁴⁾ およそ3分の1のコアの最上部（海底面）に錫石の存在を認めている。したがって、河川によって運搬された錫石のある部分は海面下において再び移動を行なっていると考えられる。

現在の陸上の漂砂錫鉱床の賦存領域に関する限界が海底において適応するためには海面下の錫石の再移動に関する若干の補正が必要である。

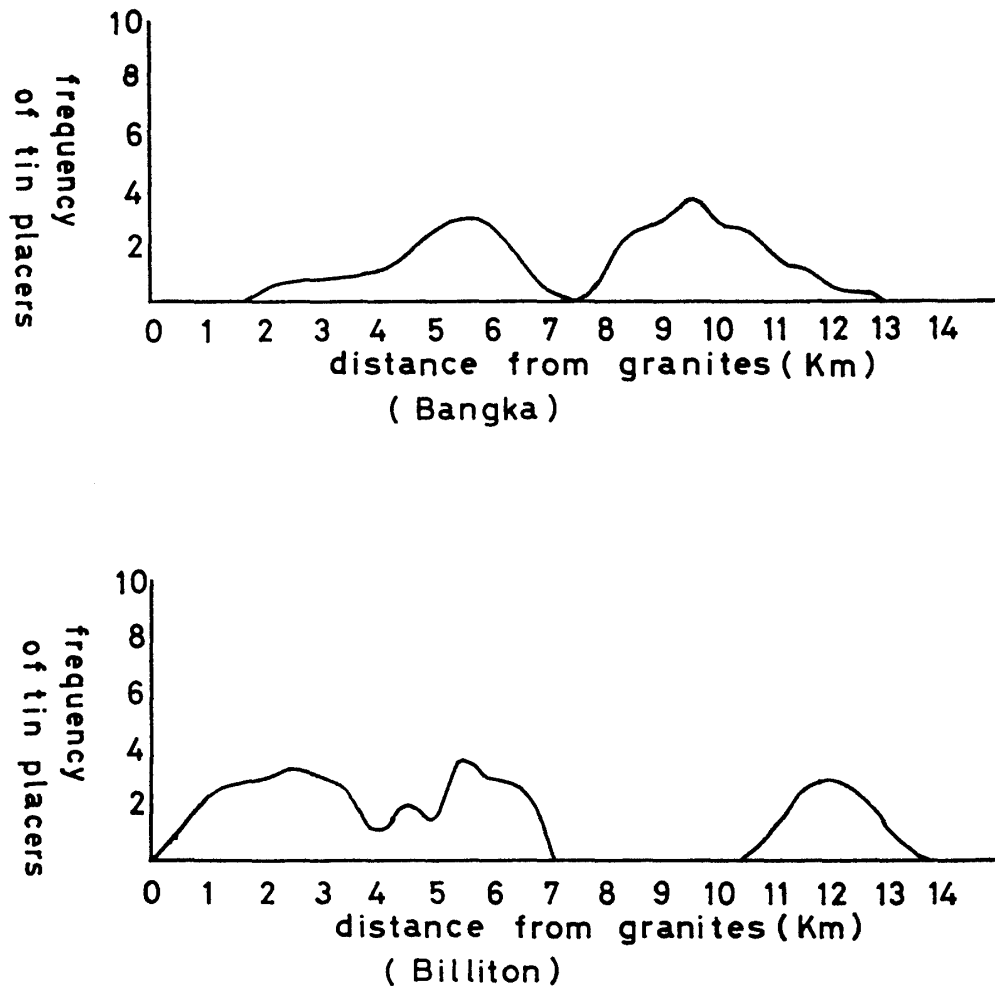


図 7 バンカ・ビリトン島の漂砂錫鉱床と花コウ岩露頭からの距離

む す び に

Tin belt の南端に位置するインドネシアの Bangka 島の錫花コウ岩の化学分析結果から、次のような結論がみいだされた。

1. 世界のいずれの錫産地にもみられるように、Bangka 島の錫花コウ岩と周辺の非錫花コウ岩との化学組成の違いは顕著ではない。

このことは花コウ岩質マグマ分別結晶作用の末期になって花コウ岩が晶出したのち、錫の濃度が大きくなって、ペグマタイト期あるいは気成期にイオン半径の大きい希元素を含む鉱物などと共に錫の鉱物が晶出したことを示している。

2. Bangka 島の錫花コウ岩は本邦産錫花コウ岩に比べて $K_2O > Na_2O$ なる特色がある。これはヨーロッパ・アメリカの Collision-type の錫花コウ岩にみられる特徴である。

3. 漂砂錫鉱床の野外観察によれば、化学的に安定で機械的強度の大きい錫石の有効な濃集

は、Bangka-Billiton 地域では錫花コウ岩露頭から 14～15 km 以上離れると、もはや存在しないようである。しかしながら、将来の錫資源を担うオフショア鉱床においては、精細な海底調査による錫石の再移動に対する補正が必要であろう。

謝 辞：実験の指導と助言を賜った京都大学工学部資源工学科の港教授をはじめ、草稿を読んでもいただき助言を賜った東南アジア研究センターの高谷助教授に対してここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Osberger, R. 1967. "Prospecting Tin Placers in Indonesia," *Mining Magazine*, Vol. 117, 97-103.
- 2) Osberger, R. and C. M. Romanowitz. 1967. "How the Offshore Indonesia Tin Placers are explored and sampled," — *World Mining*, Nov., 7.
- 3) Osberger, R. 1968. "Billiton Tin Placers: Types, Occurrences and How They were formed," — *World Mining*, Vol. 118, 34-40.
- 4) Bemmelen, R. W. 1949. *Geology of Indonesia*.—Martinus Nijhoff. The Hague, Vol. IA, 236-242.
- 5) Klompe, Th. H. F. 1954. Geological Map of Indonesia. Scale 1 : 5,000,000—Rep. Indonesia Dpt. Perindustrian Dasar Pertambangan Diawatan Geologi Bandung.
- 6) Geologische Kaart van Banka. Schaal 1 : 100,000.—unpublished.
- 7) Geologische Kaart van Billiton. Schaal 1 : 100,000.—unpublished.
- 8) Schuilin, R. D. 1967. "Tin Belt on the Continents around the Atlantic Ocean," *Econ. Geol.*, Vol. 62, 540-550.
- 9) Hosking, K. F. G. 1971. "The Offshore Tin Deposits of Southeast Asia," ECAFE, *CCOP. Tech. Bull.* 4, 112-129.
- 10) Tuttle, O. F. and P. J. Wyllie, 1964. "Experimental Investigation of Silicate Systems Containing Two Volatile Components, Part III," *Amer. Jour. Sci.* 262, 930-939.
- 11) Takimoto, K. 1944. "Studies on Tin Deposits of Japan," *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, 19, 204-211.
- 12) Ahens, L. H. & W. R. Liebenberg 1950. *Am. Mineral.*, Vol. 35, p. 571.
- 13) Stempok Miroslav. 1971. *Proc. IMA-IAIGOD Meetings '70, Joint Symp.* Vol. I, 112-118.
- 14) 金山清一・港 種雄. 1973. 「バンカ島の錫鉱床を伴う花コウ岩類とその化学組成について」『昭和48年度日本鉱業会春季大会講演要旨』, 31-32.