

ブラジル, ロンドニアのラパキビ花崗岩と錫鉱化作用

石原 舜 三¹⁾

まえがき

ラパキビ(Rapakivi)花崗岩はフィンランド南部を中心にロシアからスウェーデンにかけて分布する原生代の非造山帯に浅所貫入する, 非常に粗粒の斑状花崗岩に対する名称である。ラパキビとはフィン語で, 崩れやすい(rapa)岩(kivi)を意味する。この花崗岩が非常に粗粒であるために深層風化し易く, 一般の片麻岩, 花崗岩類などと異なる外観を呈するために名付けられたものと思われる。

ラパキビ花崗岩は次の特徴的な組織を持つ(RAMÓ and HAAPALA, 1995)。

- イ) 卵型のカリ長石巨晶を持つ(岩石名はpyterlite)。
- ロ) その多くは斜長石外殻(ラパキビ組織)を持つ(岩石名はwiborgite)。
- ハ) カリ長石と石英の晶出に2時期あり, 早期石英は高温型である。

卵型のカリ長石が斜長石外殻を持つものがラパキビ組織であり, その逆の斜長石にカリ長石外殻を持つものは極稀に認められ, アンチラパキビ組織と呼ばれる。前者の斑状花崗岩は, フィンランドの模式地名からwiborgiteとも名付けられているが, 我が国では, バルチック・ブラウンの商品名で輸入され, 壁材や床材として使用されており, フィンランドに行かなくても市中の近代建築物に見かけることが出来る。ラパキビ花崗岩には, 等粒状の花崗岩も混在しており, 首都ヘルシンキのシベリウス音楽堂はピンク色のこの花崗岩で建設されている。

ラパキビ花崗岩に関しては, 山田(1991)が本誌に詳しく紹介しているが, 近年, この花崗岩に関す

る国際研究プロジェクトがヘルシンキ大学のハーパ教授により興され(IGCP315, 1991-1996), これに関する研究が著しく進展し, 北欧のみでなく, 世界各地で知られるようになった。ブラジルのロンドニア地方では20年前に錫鉱床の発見で世界的なブームを起こし, 引き続きラパキビ花崗岩の研究が進展したところである。ここでは, 最近の論文(HAAPALA, 1995; RAMÓ and HAAPALA, 1995; BETTENCOURT, 1997)を参照しながら, ロンドニアのラパキビ花崗岩を中心に紹介してみたい。

世界のラパキビ花崗岩類

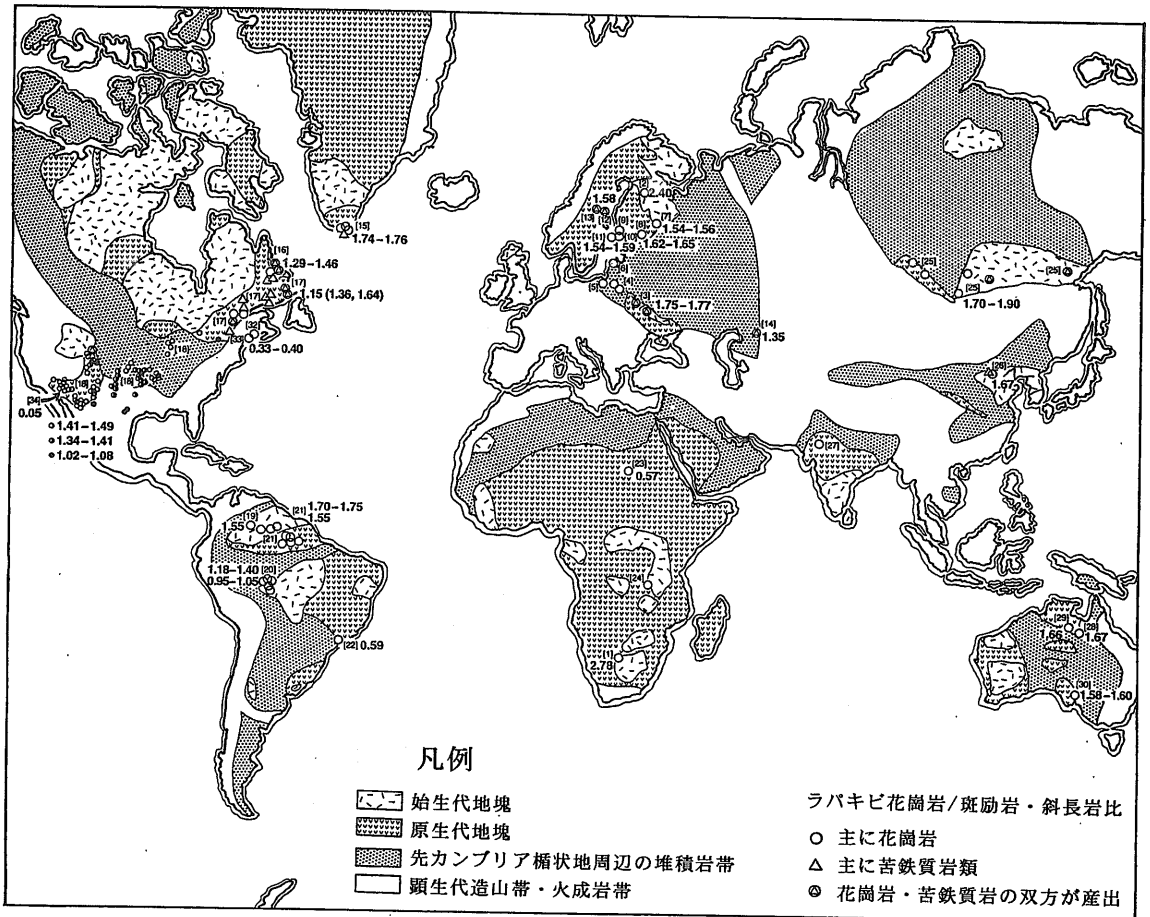
第1図にこれまで発見されている世界のラパキビ花崗岩類の分布をRAMÓ and HAAPALA(1995)から示した。その多くは大西洋を挟んで分布し, その時代は27.8-0.5億年であるが多くは原生代中期(15億年前後)である。典型的な地質環境としては原生代初期の変成岩や先カンブリア地塊の周辺の堆積岩地帯に非整合的に貫入する。顕生代のもものはアパラチア造山帯やアメリカ西部などの限られた地域にのみ産出する。日本の足摺岬花崗岩類はその一部でラパキビ組織を有し, ラパキビ花崗岩と認められている(村上・今岡, 1984)。その時代は中新世であり, 世界で最も若いラパキビ花崗岩といえる。

(1) ウクライナとフェノスカンディア

名称発祥の地, フィンランド南部を含むフェノスカンディア楕状地の南東部からロシアプラットフォームの西側にかけて多数の岩体が分布し, その年代は17.7-15.4億年であるが, フィンランド中東部で24

1) 地質調査所 顧問

キーワード: ロンドニア, フィンランド, ラパキビ組織, Aタイプ, 花崗岩, 錫, ボムツツロ鉱床, サンタバーバラ鉱床, 錫価格崩壊。



第1図 世界のラパキビ花崗岩の分布 (RAMO and HAAPALA, 1995).

億年のものが見つかっている。一般に花崗岩質であるが、ウクライナとスウェーデンではかなりの量の苦鉄質岩を伴う。ウラル山脈(13.5億年)のものも同様に珪長質岩と苦鉄質岩が共存する。

(2) 北アメリカとグリーンランド

この地域ではラパキビ花崗岩はグリーンランド南部からラブラドル、大陸中央部を通過してカリフォルニア南部に至る線に分布する傾向がある。時代は地域により異なり、グリーンランド南部では17.4-17.6億年でウクライナのものに似る。ラブラドル中央部のラパキビ花崗岩は12.9-14.6億年で、斜長岩と共に産出する。

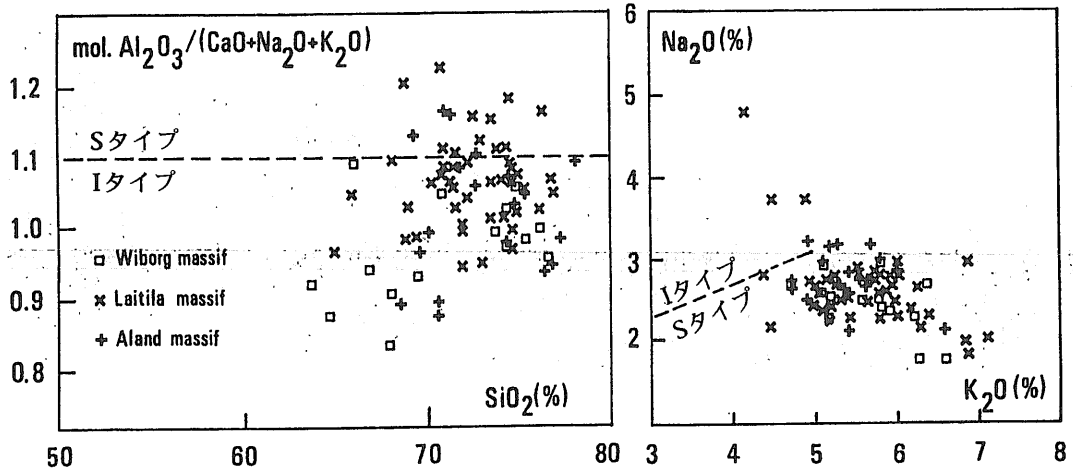
カナダ東部のグレンビル地区とアメリカ合衆国北東部では16.4, 13.6, 11.5億年の時代からなり、若いものが最も多量であるが、合衆国南西部では14.9-14.1億年が広く分布し、14.1-13.4, 10.8-

10.2億年などは少量である。合衆国南西部や中央部のラパキビ花崗岩は少量の苦鉄質岩を伴うに過ぎない。

古生代のラパキビ花崗岩はメイン州に産出し、古第三紀(0.5億年)のものが、原生代のラパキビ花崗岩と近接してネバダ州南部にみられる。

(3) 南アメリカ

南アメリカのラパキビ花崗岩はブラジル、ベネズエラ、ギアナにあって、苦鉄質岩類を伴っている。ベネズエラのパルグアザ パソリスは最大規模で(730,000km²), 15.5億年の年代を持つ。ベネズエラからブラジルにかけてのギアナ楕状地に分布するものは17.5-17.0億年と15.5億年の時代を持つ。 Rondônia地方では後述するように14.0-11.8億年と10.5-9.5億年からなり、サンパウロ付近の小岩体は5.9億年と更に若い。



第2図 フィンランドのラパキビ花崗岩のアルミナ飽和度とアルカリ比 (HAAPALA, 1988).

(4) アフリカ, アジア, オーストラリアと南極

アフリカでは3カ所で知られている。南アでは唯一のアーケアン(27.8億年)を示すものが分布するが、これは珪長質火山岩類や苦鉄質深成岩を伴っている。

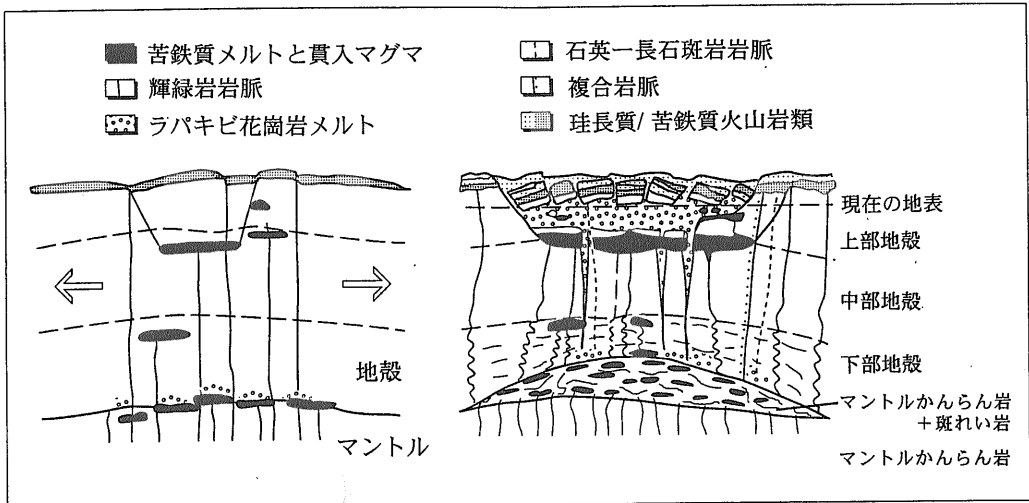
アジアではシベリア東部のアルデン楕状地に東西方向に19-17億年の年代を持つものが苦鉄質岩と共に分布する。中朝地塊の北京の北東方には16.7億年のラパキビ花崗岩があり、斜長岩と共に産出する。

オーストラリアでは中北部のMt. Isa地区などに16.7-16.6億年、南部には16.0-15.8億年のものがあって、後者は著名なオリンピックダム(Fe-) Cu-U-Au-Ag 鉱床の生成に関係する。

ラパキビ花崗岩の起源

ラパキビ花崗岩の成因には、その発生起源から、ラパキビ組織の出来方、アルバイト花崗岩の成因まで、様々なレベルで行われているが、ここでは起源論についてのみ述べたい。

フィンランドのラパキビ花崗岩は、岩質的には主に亜アルカリ岩的なモンゾ・閃長花崗岩である。アルミナ飽和度からみれば主にメタアルミナス、一部パーアルミナスであるので、Iタイプ(火成岩起源)的であり(第2図)、Na₂O/K₂O比ではS(堆積岩起源)タイプ的である(第2図)。鉄・チタン酸化鉱物についてはまだ明らかではないが、早期晶出の花



第3図 ラパキビ花崗岩の生成モデル (RAMO and HAAPALA, 1996).

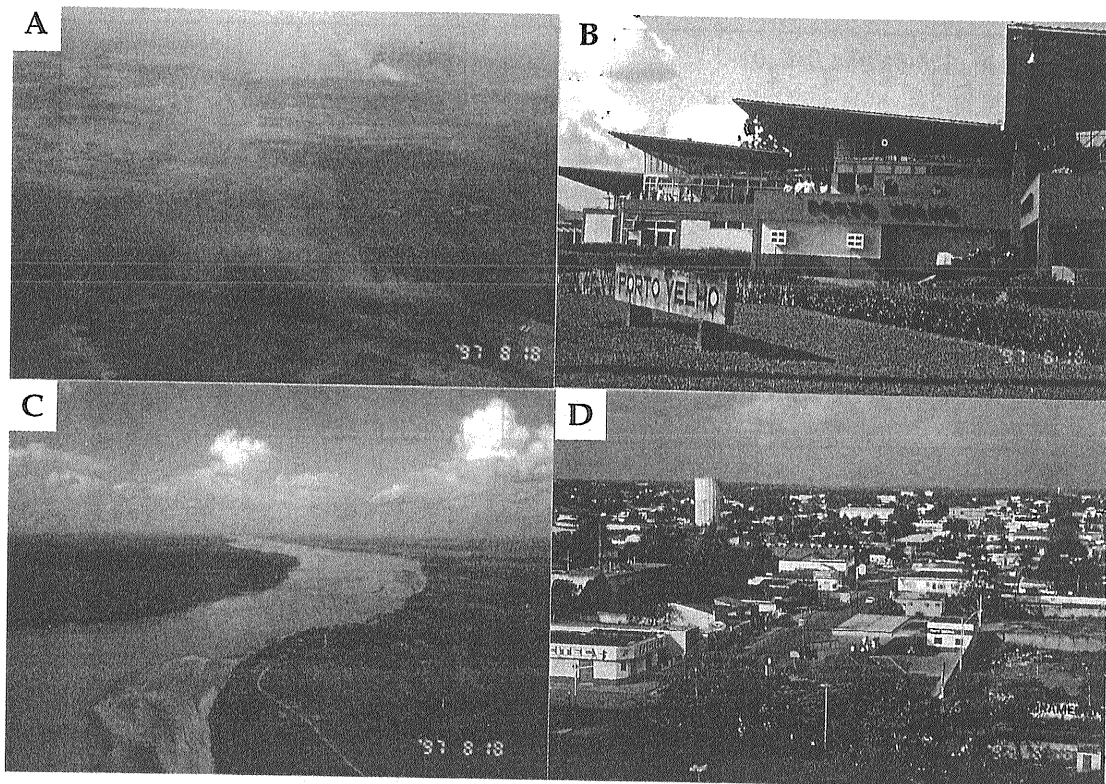


写真1 A. 機中から見るポルト・ベリョ西方の焼畑農業風景。巨木の採取後に雑木を切り乾燥させて焼却し、コーヒー園・パイナップルなどの果樹園・その他に変える。B. 機中から見るマデイラ河。マデイラは流木を意味し、アマゾン奥地から流れ出す自然の流木が多かったことを忍ばせる。C. ポルト・ベリョ空港。小さな空港であるが空港建物はブラジルらしく奇抜なデザインと色が目立つ。D. ホテル・リカ(豊かなホテル)の5階より望む、ポルト・ベリョの町並み。

崗岩類やモンゾニ岩・閃長岩では磁鉄鉱を含み、最末期のより分化した花崗岩類では磁鉄鉱を含まずチタン鉄鉱系のようなものである。

化学的には SiO_2 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, Fe/Mg , F , Rb , Zr , Nb , Ga , Zn , Sn , Y , Th , U , Eu を除くREEなどの親石元素に富み、 CaO , Ba , Sr が低い。これらはAタイプ花崗岩に最も近い特徴である。

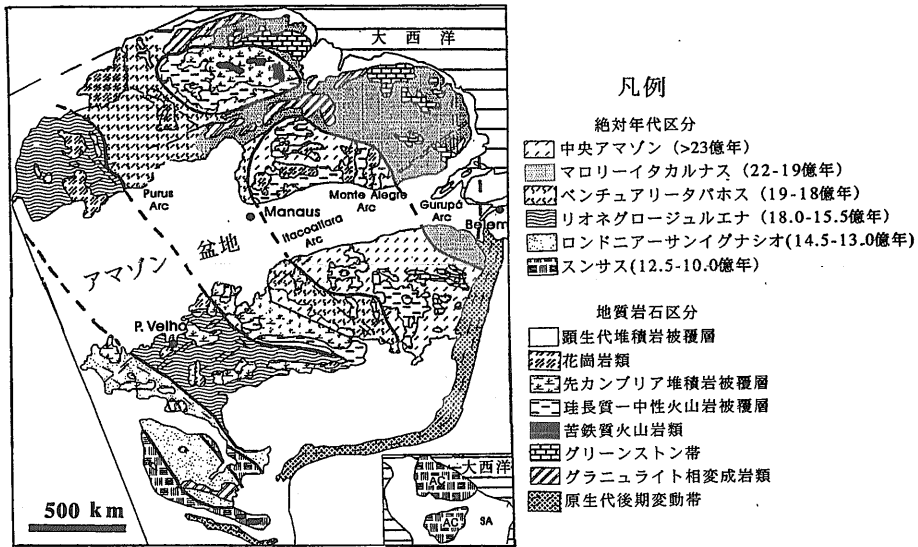
世界のラパキビ花崗岩類の産状が判明するに従い、この花崗岩はかんらん石輝緑岩、斑れい岩、斜長岩とほぼ同時期に上昇・貫入したことが明らかとなり、その起源にマントルからの苦鉄質マグマの関与が判明した。しかし量的に莫大な花崗岩を苦鉄質マグマの分化作用で作ることは出来ないから、地殻下部の珪長質物質が溶けていることは明瞭である。事実、 Nd , Sr , Pb 同位体比は大陸地殻起源を示唆している。

ラパキビ花崗岩のある部分には鉄かんらん石や輝石類が含まれ、その固結初期段階では高温

(900°C)で、無水ないし水に乏しい($\text{H}_2\text{O} < 4\%$) マグマであり、固結末期へ向けて水・ F ・ Li ・その他の揮発性成分に富む傾向が認められる。従って、ラパキビ花崗岩マグマは下部地殻で高温の無水苦鉄珪酸塩鉱物を含む珪長質グラニュライトから発生したものと考えられており、原岩 (protolith) については世界的に意見の一致をみている。

オーストラリア学派のレスタイトモデルは、石原(1988)で紹介したように、この様な成因論の一つであって、これは造山期に一度花崗岩質マグマを発生せしめた下部地殻の珪長質グラニュライト相が、再度の温度上昇で溶融し、Aタイプマグマを生ずるとするものである。このモデルは巨大なバソリスに伴われて産出するオーストラリアのAタイプをうまく説明する。

一方、フィンランドで代表的なWiborg岩体では輝緑岩と石英斑岩岩脈あるいはグライゼンや石英脈までもほぼ平行に産出し、そのマグマ活動は張



第4図 アマゾンの先カンブリア地塊 (BETTENCOURT, 1997).

力場で発生したもの思われている。ラパキビ花崗岩は大陸内のリフト帯に生じたバイモーダルなマグマ活動と一般的には理解されている。またラパキビ花崗岩地帯には混成岩岩脈や礫状の同生岩脈がしばしば認められ、これは magma mixing (マグマ混合, すなわちメルト同志の混ざりあい) と magma mingling (メルトと固相その他との混ざりあい) の証拠と考えられる。そこで世界の多くの人々は、レスタイトモデルのようにマントルは熱のみを供給したのではなく、苦鉄質マグマが直接ラパキビ花崗岩マグマの生成に関与していると考えている。ヘルシンキ大学の研究者の生成モデルを第3図に示す。

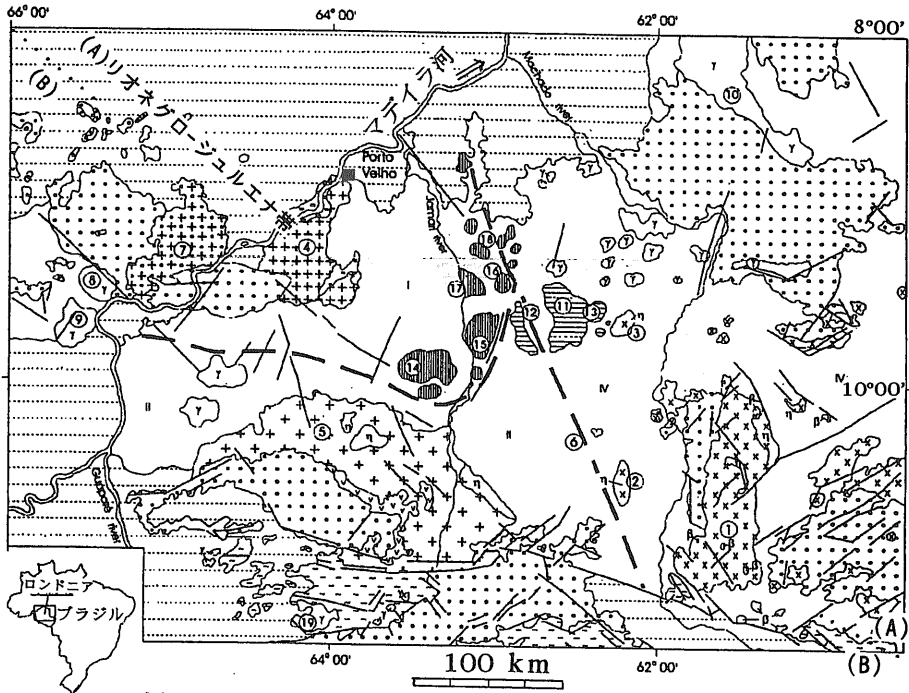
すなわち、マントル起源の苦鉄質マグマはマントル/地殻境界部に貫入し、マントルかんらん岩+斑れい岩からなる下付け層 (underplating) を生じると同時に、一部は地殻上部へ向けて移動し、斑れい岩貫入岩体・輝緑岩岩脈・火山岩類として晶出する。高温の苦鉄質マグマ (1,200°C) は下部地殻を溶融せしめて珪長質マグマを発生させ、それがラパキビ花崗岩・斑岩類・火山岩類として晶出する。苦鉄/珪長両物質の混ざりあいが、部分的なハイブリッドを生じる。この地殻の部分溶融と花崗岩質マグマの上方移動は、張力的な構造場と相まって下部地殻を薄くさせた。

ロンドニアの花崗岩類

ロンドニアはブラジル西部の州の一つで、アマゾン流域の南西部を占める。その北部を東方へマデイレ (Madeira, 流木の意味) 河が流れ、それはマナウスでアマゾン河本流と合流する。州都はポルト・ベリョ (P. Velho, 古い港), その人口は約20万人、旅行中の見聞によれば、焼畑農業によるコーヒー、パパイヤなどの生産と牧畜業が主たる産業である (写真1)。ラパキビ花崗岩と錫鉱床は州都の南方に分布する。

ブラジルには北北西-南南東方向に伸長する23億年より古いアーケアンの地塊があって (第4図)、それを取り巻いてマロリーイタカルナス統 (22-19億年) が分布し、更に南西方向へリオ・ネグロジュールエナ帯 (18.0-15.5億年)、ロンドニアサン・イグナシオ帯 (15-13億年)、スンサス-アグアペイ帯 (12.5-13.0億年) の諸岩石が分布する。

リオ・ネグロジュールエナ帯 (第5図の北東側) の花崗岩類はその Sr 初生値が低い (0.703) こと、古い基盤岩質が無いことから、沈み込みに関係した火成弧と考えられる。ロンドニアサン・イグナシオ帯 (第5図南西側) とスンサス-アグアペイ帯は共に古い基盤の核を持ち、より大陸的火成活動の産物であると言える。



凡例

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 顕生代堆積岩被覆層 ノヴァ・フロresta層 ロンドニア新期花崗岩類 サンタ・クララ進入岩群 サン・ロウレンソ-カプリナス進入岩群 シンキキ苦鉄質-超苦鉄質岩類 アルト・カンデイアス進入岩群 (η: チャルノカイト) テクトニオ進入岩群 サント・アントニオ進入岩群 | <ul style="list-style-type: none"> セラ・ダ・プロビデンシャ進入岩群 (η: チャーノカイト, β: 斑崗岩) 未区分原生代花崗岩類 未区分原生代苦鉄質岩類 未区分原生代堆積・火山岩類被覆層 ノヴァブラジランディア変堆積・火山岩類 基盤岩類 (ジャマリ複合体) I-サミュエル正片麻岩 II- アリケメス統 IV-チャノッカイト正片麻岩類 断層 リオネグロ-ジュルエナ帯(A)とロンドニア-サンイグナシオ帯(B)との境界 |
|---|---|

第5図 ロンドニア地方の地質図 (BETTENCOURT, 1997)。バソリス名・地名: 1セラ・ダ・プロビデンシャ, 2オウロ・ブレト チャルノカイト, 3ユニド地塊, 4サント・アントニオ バソリス, 5アルト・カンデイアス バソリス, 6ジャル チャルノカイト, 7サン・ロウレンソ-カプリナス バソリス, 8サン・シマン地塊, 9アブナ地塊, 10イガラベ地塊, 11サンタ・クララ地塊, 12マンティガ地塊, 13オリエンテ・ノヴォ地塊, 14マッサンガナ地塊, 15サン・カルロス地塊, 16ペドラ・ブランカ地塊, 17カリチアナス地塊, 18サンタ・バーバラ地塊, 19コスタ・マルケス層群。

ロンドニア錫鉱化地帯の基盤はジャマリ変成岩複合体であって、これは、

- (イ) 花崗岩質片麻岩、一部トータル岩質片麻岩 (写真2-A) からなるサミュエル正片麻岩 (第5図 I),
- (ロ) 苦鉄質グラニュライト・ミグマタイトからなるアリケメス統 (同 II), および
- (ハ) チャルノカイト質正片麻岩類 (写真2-B) ・ミグマタイトからなる。

サミュエル正片麻岩中の片状閃緑岩のSHRIMPによるU-Pbジルコン年代は17.5億年である。これ

ら及び未区分の変成岩類に下記の花崗岩類が貫入する。

(1) セラ・ダ・プロビデンシャ進入岩群

これはセラ・ダ・プロビデンシャ バソリスといくつかの衛星岩体とからなり、塊状と片状花崗岩類のほか、若干の苦鉄質岩やチャルノカイトを伴う。塊状花崗岩のU-Pbジルコン年代は16.1-15.5億年である。Sr初生値は高く(0.713)、大陸地殻物質の関与を示唆する。

セラ・ダ・プロビデンシャ バソリスは粗粒の斑状モンゾ花崗岩 (pyterlite) に少量のwiborgite (写真

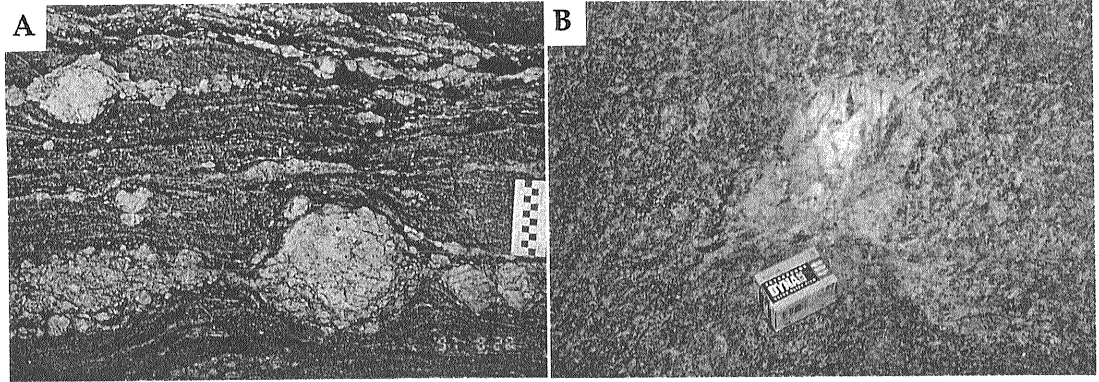


写真2 Rondônia地方の基盤岩類:A. トナル岩質眼球片麻岩 (17億年). B. チャルノカイト片麻岩と含まれる珪質捕獲岩 (写真中央).

3), ピンク斑状モンゾ花崗岩, ピンク等粒状閃長花崗岩 (写真4-B), 花崗斑岩などからなる. 苦鉄鉍物は角閃石・黒雲母であるが, 後2者では黒雲母のみを含む. バソリスには少量の斑れい岩 (写真4-A)・斑れいノーライト・チャルノカイト・マンゲライト (閃長岩・モンゾニ岩・閃長岩) なども含まれる.

(2) サント・アントニオ進入岩群

これはサント・アントニオ バソリス (2,000km²) と付近の小岩体からなり, そのU-Pb年代は14.1億年である. バソリス北西部のポルト・ベリョ付近では次の2岩相から構成される.

イ) 粗粒, seriate (斑晶の大きさが石基へ連続的に変化するもの) から部分的に斑状の黒雲母花崗岩 (写真5). ラパキビとアンチラパキビ組織は共に稀であるが共存する. ポルト・ベリョに近いREMA採石場 (写真6) における粗粒岩は磁鉄鉍を含み, 磁鉄鉍系列であった. また雨滴状

石英 (高温型石英の周囲が溶融したもの, 口絵参照) を含む.

ロ) 中粒等粒状黒雲母モンゾ花崗岩. 黒雲母シュリーレンや苦鉄質エンクレープ, ペグマタイトポットが含まれる. 細粒岩には輝水鉛鉍が鉍染する.

ほかに小規模岩相として細粒閃雲石英モンゾニ岩混成岩脈, 輝緑岩質同生岩脈があり, これらはバイモーダルなマグマ活動があったことを意味するものと思われる.

(3) テオトニオ進入岩群

これはサント・アントニオ岩体の一部を占めるもので, そのU-Pbジルコン年代は13.9億年である. 岩相は粗粒鉄ヘデン輝石アルカリ長石花崗岩, ピンクの中-粗粒アルカリ長石石英閃長岩, 閃長花崗岩などからなる. アルカリ長石閃長岩脈や中性の同生岩脈などが貫入する. ヘデン輝石や鉄かんらん石が産出することから, この花崗岩は無水マグマで

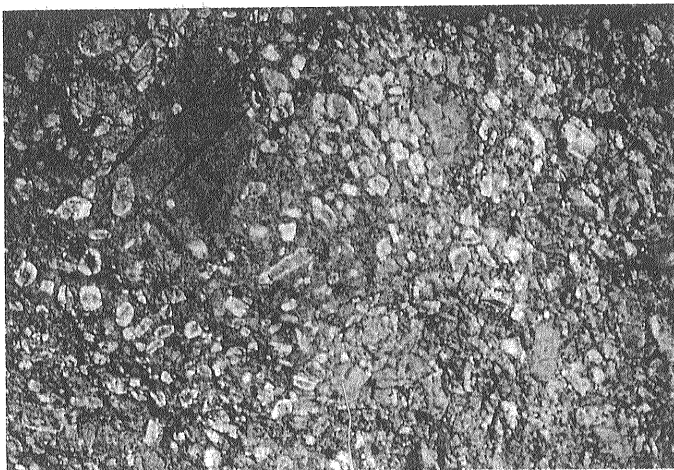


写真3

PorphyriticとSeriate: Porphyritic (斑状) は写真左側の様に細粒石基に斑晶が目立つもの. Seriateは斑晶の大きさが石基の同一鉍物まで連続的に変化するもの (写真右側).

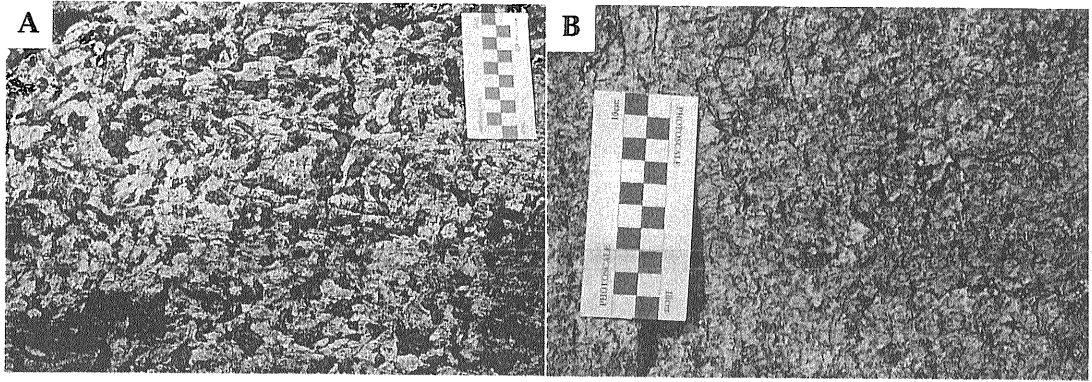


写真4 セラ・ダ・プロビデンシャ進入岩群：A.粗粒斑れい岩. B.中粒花崗岩.

あったと思われる。マディラ河の大露頭(写真7)の風化砂には磁鉄鉱が濃集しており、この花崗岩が磁鉄鉱系であることを示している。

(4) アルト・カンディアス進入岩群

これは巨大なバソリスと2衛星岩体からなり、U-Pbジルコン年代は13.5億年、Rb-Sr全岩年代は13.6億年でSr初生値は0.703と低い。

これは主に粗-中粒の斑状またはpyterlite状、角閃石含有黒雲母花崗岩からなり、少量の中-細粒等粒状黒雲母花崗岩、アプライト、閃長岩、チャルノカイトを伴う。錫鉱化作用が等粒状黒雲母花崗岩に伴われる。

(5) サン・ロレンソーカリブナス進入岩類

この花崗岩類の年代はRb-Sr全岩年代で12.7-11.9億年、最近のU-Pbジルコン年代は13.1億年を示し、Rb-Sr年代が固結後に若返っている事を示す。

岩質は主に閃長花崗岩とアルカリ長石花崗岩で、

組織はpyterlite状、斑状、等粒状、wiborgiteは少量である。苦鉄鉱物は主に黒雲母、少量の角閃石、局部的に普通輝石、鉄かんらん石が含まれる。微量鉱物にジルコン、燐灰石、チタン鉄鉱、螢石、極微量の磁鉄鉱、スフェン、褐簾石が見られる。

石英-長石斑岩や斑れい岩が一部に産出し、錫石グライゼン、鉄マンガン重石-錫石-石英脈が細-中粒の等粒状黒雲母花崗岩やアルカリ長石花崗岩に付随する。

(6) サンタ・クララ進入岩群

この花崗岩類は10.8億年前後のU-Pbジルコン年代を持ち、Rb-Sr全岩年代は10.5億年、そのSr初生値は0.710である。

サンタ・クララ進入岩群は主に粗粒の斑状モンゾ花崗岩と閃長花崗岩であり、次いで石英モンゾニ岩、pyterlite斑状岩は少ない。構成鉱物は基本的にマイクロクリン、雨滴状石英(drop quartz)、斜長



写真5 サン・アントニオ岩体の斑状花崗岩。細粒花崗岩を核として斜長石外殻(白色)を持つカリ長石(桃色)斑晶が成長する点に注目。

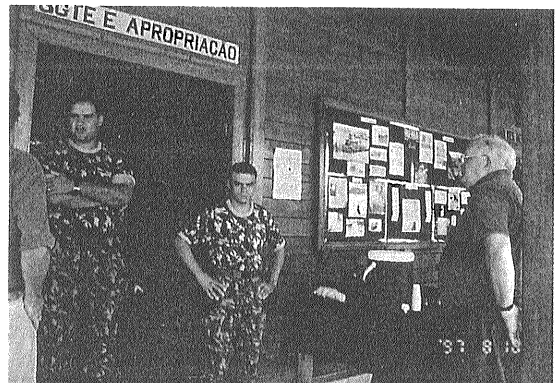


写真6 陸軍が道路工事に保持する採石場、REMA。迷彩服の兵隊さんから茶の接待を受ける。



写真7 マデイラ河に面するテオトニオ花崗岩の大露頭。

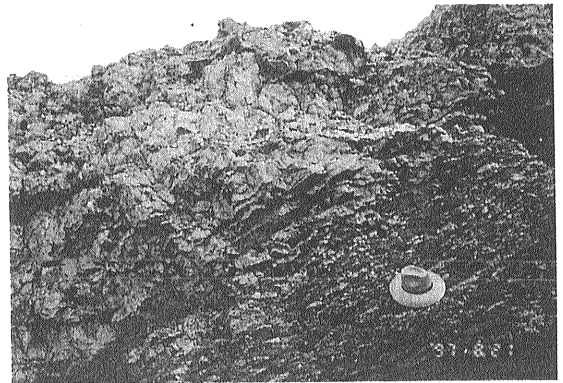


写真8 サン・ドミンゴ錫鉱床の緩傾斜石英脈と下盤側に発達する縞状石英細脈群。

石、黒雲母、少量の角閃石であり、微量鉱物はジルコン、燐灰石、チタン鉄鉱、磁鉄鉱、褐簾石、螢石、そして角閃石含有相でスフェンが産出する。

(7) Rondônia 新期花崗岩類

この花崗岩類はポルト・ベリョ南東方にストック状に産出し、Rb-Sr全岩年代は9.98-9.51億年を示すものである。主要岩体はマサンガナ、アリケメス、サン・カルロス、カリティアナス、ペトラ・ブランカ、サンタ・バーバラ、ジャクンダなどである(第5図)。

この花崗岩類には次の2系列がある。(イ) 亜アルカリ岩的なサブソルバス(カリ長石と斜長石が2相共存して晶出した)花崗岩、および(ロ)より少量のアルカリ岩的なハイパーソルバス(長石がアルカリ長石1相のみ)花崗岩。時期的には後者が前者に貫入する。

亜アルカリ岩は時期的に明瞭に区分される3岩相を持つ。最早期貫入岩はマサンガナ岩体に見られ、粗粒のpyterlite状ないし斑状の黒雲母(角閃石)閃長花崗岩であり、微量鉱物としてジルコン、燐灰石、チタン鉄鉱、磁鉄鉱を伴う。

中期貫入岩相は閃長花崗岩とアルカリ長石花崗岩で、これは中-細粒、斑状-等粒状、黒雲母と局部的には角閃石をも含む。微量鉱物は前者と同じであるが、磁鉄鉱に欠ける。

最末期岩相は量的に少ないが、主に(トパズ-)リシウム雲母-アルバイト花崗岩、(トパズ-)石英-長石斑岩からなる。錫・その他の鉱化作用は中期と最末期貫入岩相に付随する。その鉱化形式は次の4種類である。

- イ) 錫石鉱染・リシウム雲母・アルバイト花崗岩。少量のコロンブ石・タンタル石を伴う。
- ロ) トパズ-緑柱石-錫石ペグマタイト;少量のコロンブ石・タンタル石を伴う。
- ハ) 錫石グライゼン。
- ニ) 錫石-鉄マンガン重石-石英脈(写真8)。
- ホ) Cu-Pb-Zn-Fe硫化物-石英脈。

アルカリ花崗岩類はアルカリ長石花崗岩、パーアルカリ花崗岩、アルカリ長石閃長岩と微閃長岩、亜アルカリ石英-長石斑岩と混成岩などからなる。苦鉄鉱物は花崗岩類では黒雲母とNa角閃石が特徴的であるが、閃長岩類では普通輝石と角閃石が一般的である。混成岩は石英閃長岩質で小眼状石英が輝石や角閃石で包まれる組織を有する。苦鉄質エンクレーブが石英閃長岩に含まれる。

Rondônia の錫鉱業

Rondônia の錫鉱業は、その初期段階において次の2点で世界の人々に強い衝撃を与えた。一つは地質学的な意味で、先カンブリ時代にも大きな錫鉱床が存在することを示した点であり、他の一つは1986年の錫価格の暴落に一役買った点である。

(1) 発見と開発の歴史

1952年、当時ほとんど未開発であったRondônia地方にゴム園入植者が入り、表層堆積物から錫石を採取した。この発見はGARIMPO (garimpeiros)と呼ばれる個人採掘業者の注目を集め、1960年代に入ると探鉱が活発化し、数千人もの労働者がゴム園(seringais)を占拠すると共

第1表 ロンドニア地方の錫生産量(BETTENCOURT, 1997)。この統計以外にもかなりの量がアマゾン経由でボリビアに密輸されたと推定されている。

西暦年	ガリムボ 生産量 (トン)	鉱山会社 生産量 (トン)	合計 (トン)
1959	19	0	19
1960	49	0	49
1961	35	0	35
1962	678	0	678
1963	1,038	0	1,038
1964	818	0	818
1965	2,459	0	2,459
1966	2,040	0	2,040
1967	2,239	0	2,239
1968	2,800	0	2,800
1969	3,500	0	3,500
1970	4,721	385	5,106
1971	1,452	1,701	3,153
1972	0	3,754	3,754
1973	0	3,674	3,674
1974	0	3,941	3,941
1975	0	5,094	5,094
1976	0	6,710	6,710
1977		7,494	7,494
1978		8,100	8,100

西暦年	ガリムボ 生産量 (トン)	鉱山会社 生産量 (トン)	合計 (トン)
1979	0	9,639	9,639
1980	0	10,256	10,256
1981	0	11,980	11,980
1982	0	12,147	12,147
1983	0	11,542	11,542
1984	0	12,131	12,131
1985	0	10,775	10,775
1986	0	8,844	8,844
1987	0	7,745	15,080
1988	7,335	8,622	43,733
1989	35,111	8,974	54,192
1990	45,218	3,319	32,500
1991	29,181	2,414	15,293
1992	12,879	2,748	12,442
1993	9,694	4,999	21,970
合計(トン)	178,237	166,988	345,225
錫石(トン)			
錫精鉱中の Snメタル量	106,942	100,192	207,135
1994 - 錫精鉱中のSnメタル推定量: 約8,000トン			
1959-94年間の総メタル量215,135トン			

に、正規の鉱区域にも不法に入り込み、非合法採掘を行った。この時期に表層の砂錫高品位鉱床はパニングと極流水選により、採掘されてしまった。鉱床近傍の花崗岩類は先カンブリア時代と考えられ、その珍しさと鉱床規模の大きさで地質家の注目を集めた。

1969年に連邦政府は錫資源評価プログラムを起こして組織的探鉱を奨励し、ロンドニアを中心に87,000km²の有望地を設定した。個々の地域について企業の探査活動が活発化し、1971年には探鉱関係者は4,000人に増加した。企業による生産量は1980年代へ向けて増加し、その後GARIMPOによる生産量の比重が再び高まっている(第1表)。

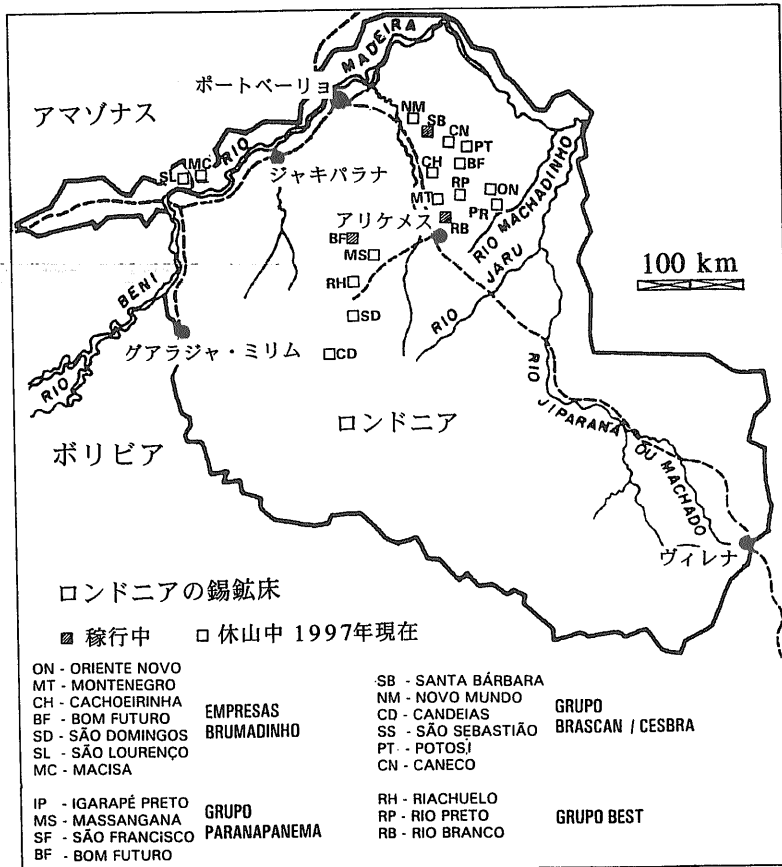
1962年から1984年の間、ロンドニア地方の錫生産量は全ブラジルの79%を占めた。現在でも国内における優位性は変わらない。これまでの稼行鉱床は4地区20鉱床である。現在稼動中ものは後述する巨大2鉱床を含めて3鉱床のみであるが(第6図)、GARIMPOによる盗掘は小規模には今でも続いている。採掘は第四紀の風化残留鉱床および河成砂鉱床から行われており、現在の採掘品位は代表的なボム・フツロ鉱床の場合800ppm/m³、カット

オフ500ppm/m³と、マレー半島の同種鉱床と比較してかなり高い。

(2) 国際錫価格協定の崩壊

国際錫価格は、1956年以降、一種の管理価格に置かれていた。それはロンドンに事務局をおく国際錫コンシル(International Tin Council, ITC)が需給のバランスを取りながら適正価格を維持しようとしたもので、方法は(イ)主要生産国の輸出調整、および(ロ)ITCによる備蓄制度であった。備蓄財源は主要生産国からの拠出金と一般の借入金でまかなった。

この協定には世界の多くの国が参加したが、生産国では社会主義国の大手であるソ連・中国などは加盟せず、また消費国では、規制には一般に反対するアメリカ合衆国が入っていない欠点があった。第6次協定は1982年7月1日-1987年6月30日の期間であったが、主要生産国ではボリビアが脱落し、マレーシア・インドネシア・タイ・ナイジェリア・ザイール・オーストラリアが加盟していたが、社会主義国およびブラジルからの輸出、さらにロンドニアの錫精鉱はボリビア経由で密売されるなど、供給過剰の状態となり、1985年秋にはITCによる備蓄



第6図 Rondônia の錫鉱床の分布 (BETTENCOURT and DALL'AGNOL, 1995).

も6万トンに達して支えきれず、遂に価格は金属錫トン当たり300万から100万円に暴落し、価格協定は崩壊した。

価格暴落後もRondôniaの生産量は衰えず、1988-89年には年間5万トン程度生産し(第1表)、生産量を落としたタイ・マレーシアなどに変わって、

世界の国別第一位に躍進した。この背景には、森林伐採者が発見したピチンガ、組織的探査で発見されたボム・フツロなどの高品位鉱床が生産に入ったことがある。なお、ブラジルは、現在では形を変えた錫生産国連合 (Association of Tin Producing Country) に加盟している。



写真9 ボム・フツロ錫鉱床全景。

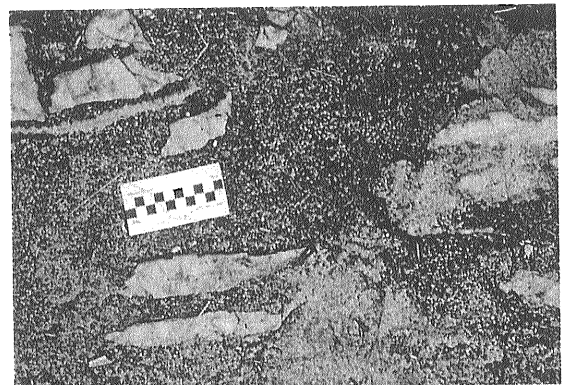


写真10 基盤片麻岩に網状に貫入する石英脈、ボム・フツロ錫鉱床。

ロンドニアの錫鉱床

ロンドニアの錫鉱床は第四紀の風化残留鉱床および河成砂鉱床である。地形的にみて原岩から大きく移動しているとは思えず、従って砂鉱床の近傍には初生錫鉱床があるはずである。錫石はもともと浅成花崗岩体の頂部から周辺の岩石にかけて、鉱染状-脈状に濃集していた。初生鉱床をボム・フツロ鉱床とサンタ・バーバラ鉱床について見てみよう。

(1) ボム・フツロ鉱床 (写真9-11)

ここには2つの丘があるが、パランケッタ丘では基盤の片麻岩類に貫入した小花崗岩プラグが外側から内側へ向かって斑状花崗岩、細粒花崗岩、石

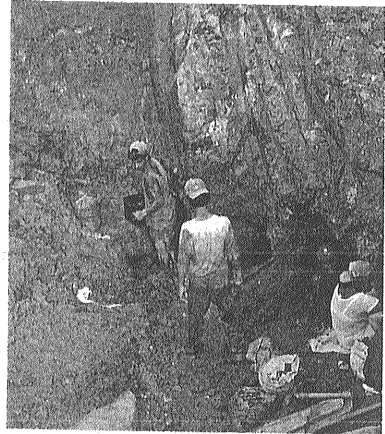
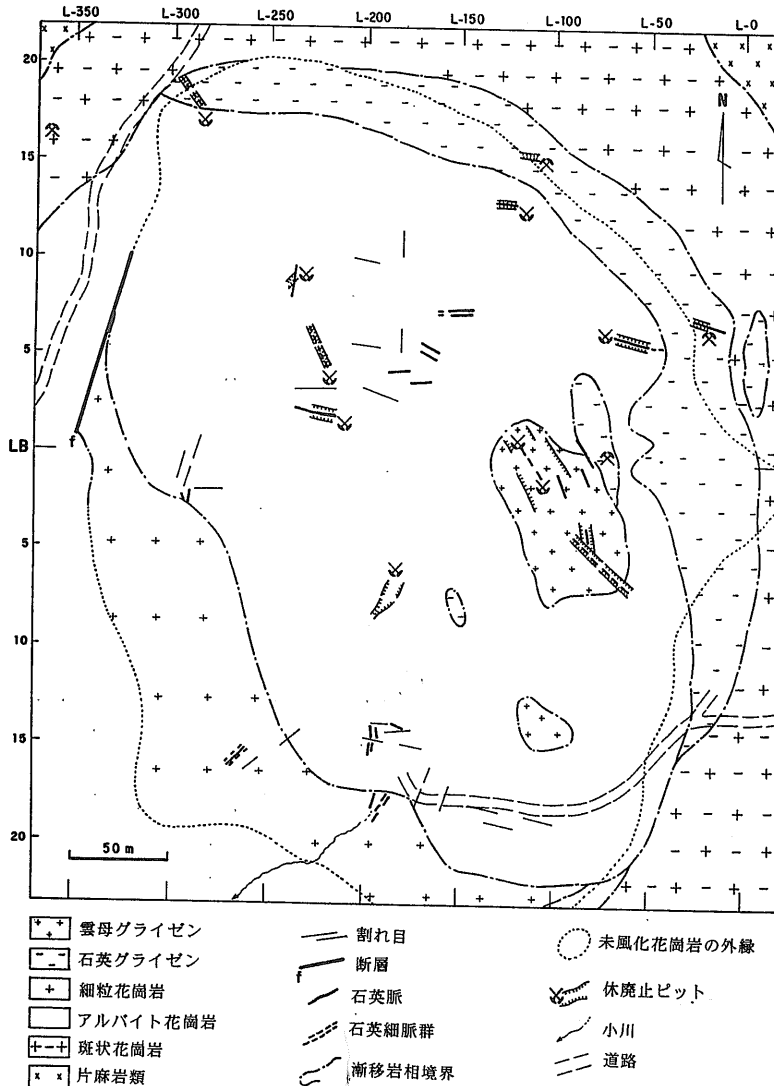
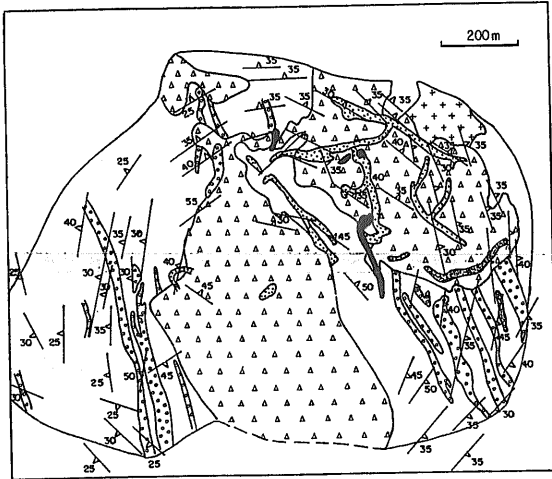


写真11 ガリムポによる高品位部の採掘風景、ボム・フツロ錫鉱山。



第7図
ボム・フツロ錫鉱床におけるアルバイト花崗岩と鉱床の産状 (SILVA et al., 1995).



凡例
 石英脈の走行・傾斜
 花崗斑岩
 角礫岩/アルカリ流紋岩
 網状鉱体/アルカリ流紋岩
 パラ片麻岩/角閃岩

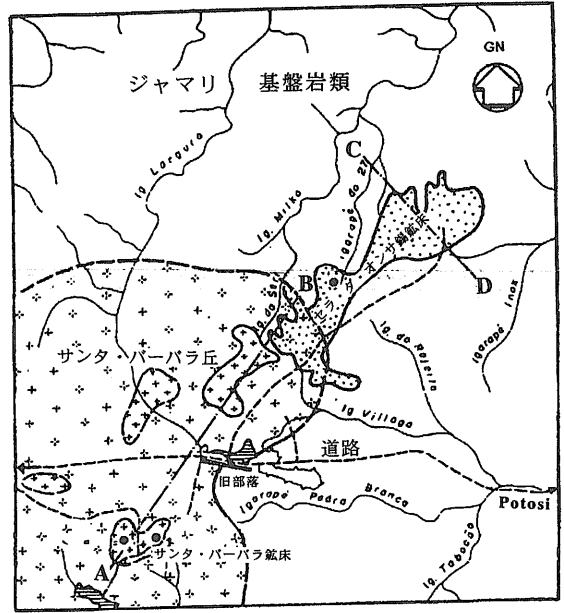
第8図 ボム・フツロ鉱床における角礫パイプと貫入岩類の産状 (VILLANOVA and FRANKE, 1995).

英グライゼン、アルバイト花崗岩の累帯配列を示す(第7図)。アルバイト花崗岩が主な鉱床母岩で、これはピンク色の斑状細粒岩で、斑晶は直径2-5mmで、石英、マイクロクリン、少量のアルバイト、トパズからなる。石基はアルバイト、石英、マイクロクリンを主とし、トパズ、緑灰色雲母、蛍石、不透明鉱物、錫石などを伴う。グライゼンはアルバイト花崗岩を取り巻く石英グライゼンとアルバイト花崗岩中に局在する雲母グライゼンとからなる。グライゼンはLi雲母、トパズと石英が種々の割合で含まれるもので、少量の錫石、局部的に鉄マンガン重石、硫化物(方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄銅鉱)などを含む。錫石高品位部が割目規制をうけて局部的に点在し、その方向は主に北北西系である(第8図)。

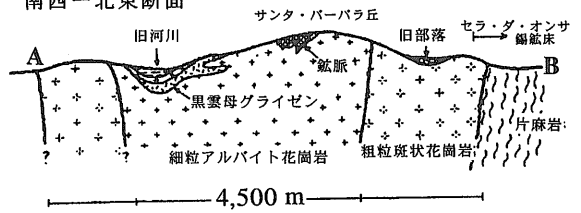
またこの丘の南東方500mには基盤の片麻岩・角閃岩中に北北西の方向に伸長する角礫岩パイプが分布し、高品位鉱体をもたらし、1987年以降盛んに稼行された。角礫岩は2列に分けられ、東側のパイプは岩脈状のトパズ-石英-長石斑岩(アルカリ流紋岩)と密接である。錫石は角礫岩パイプの石英脈と同細脈に伴われ、それはリング状で外側に傾斜する走向・傾斜を示す(第8図)。

(2) サンタ・バーバラ鉱床

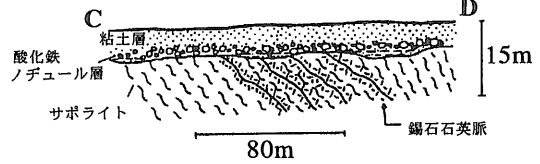
サンタ・バーバラ鉱床では直径5kmの丘に3種の黒雲母アルカリ長石花崗岩類、すなわち、



南西-北東断面



北西-南東断面



第9図 サンタ・バーバラ錫鉱床の地質平・断面図 (BET-TEM COURT, 1997).

- (イ) 中-粗粒, 等粒状(セラ・アズル花崗岩),
- (ロ) 粗粒斑状(セラ・ド・キセロ花崗岩),
- (ハ) 中-細粒, 等粒状(サンタ・バーバラ花崗岩)が分布する。

セラ・ド・キセロ花崗岩はプラグ状にサンタ・バーバラ花崗岩の貫入をうける(第9図)。これらは後マグマ期のマイクロクリン化、アルバイト化、グライゼン化、珪化、粘土化などを受けるが、特にサンタ・バーバラ花崗岩で著しい。初生錫鉱化作用は鉄マンガン重石を伴いながらこの花崗岩中のグライゼン化が著しい部分と石英脈にみられる。

この花崗岩体内鉱床の北東方には基盤の片麻



写真12 サンタ・バーバラ鉱山の河成錫鉱床の断面。

岩中に錫石石英網状脈および錫石グライセン脈鉱床があり、セラ・ダ・オンサ鉱床と呼ばれている(第9図)。採掘は河成砂鉱床の部分で行われている(写真12,13)。その断面は基底部から上位へ、saprolite(熱帯湿潤気候下で生じる風化粘土層, 口絵参照), 酸化鉄ノジュールを含む礫層および未固結粘土層からなるが、錫石は後2者から水圧破碎採掘法により採掘(写真13)され、比重選鉱により回収されている。

おわりに

ラパキビ花崗岩はその斑状組織のユニークさからかつて注目されたが、最近ではここに紹介したように、その貫入場や構造的意味など、地質体として、また付随する鉱床との関連において、注目を集めている。特に、Cu, U, Au-Agと言う特異な組み合わせにおいて高品位の大鉱床、オリムピック・ダム(オーストラリア)の発見は北米大陸の研究者に強い衝撃を与え、同種鉱床の探査と原生代花崗岩類の研究を著しく進展させた。

ブラジルにおいても錫鉱床の発見が原生代花崗岩類の研究を推進せしめたが、現在までマッピングと年代決定が重要な研究テーマであって、詳細な研究は今後に委ねられる。ブラジルには初生の緑簾石花崗岩もあって、今後のこの国に於ける原生代花崗岩の研究には興味深いものがある。

錫鉱床は原生代と言えども、F, Liに富むラパキビ花崗岩の最末期相のチタン鉄鉱系花崗岩に付随する点で、エルツゲビルグ・マレー半島・中国などの顕生代の鉱床と共通している。ただし、二次濃



写真13 サンタ・バーバラ鉱山の河成錫鉱床の採掘風景。

集に関してはマレー半島の砂錫鉱床が河川や海水による淘汰・濃集を受けているのに対し、ロンドンアでは風化残留鉱床の要素が大きいようである。謝辞：原稿を読まれ、錫価格に関する資料を提供された平野英雄博士に感謝する。

文 献

- BETTENCOURT, J.S. (1997) : The rapakivi granites of the Rondonia tin province, northern Brasil. ISGAM II, Excursion Guide, 3-32.
- BETTENCOURT, J. S. and DALL'AGNOL, R. ed. (1995) : The rapakivi granites of the Rondonia tin province and associated mineralization. Excursion Guide, 48 p., Federal Univ. Para.
- HAAPALA, I. (1988) : Metallogeny of the Proterozoic rapakivi granites of Finland. CIM Spec. Vol., 39, 124-132.
- HAAPALA, I. (1995) : Metallogeny of the rapakivi granites. Mineral. Petrol., 54, 149-160.
- 石原舜三(1988) : Aタイプ花崗岩とREE鉱床. 地質ニュース, no.409, 6-24.
- 村上允英・岡照喜(1985) : 高知県足摺岬のラパキビ花崗岩. 地質雑., 91, 179-194.
- RAMO, O.T. and HAAPALA, I. (1995) : One hundred years of Rapakivi granite. Mineral. Petrol., 52, 129-185.
- RAMO, O.T. and HAAPALA, I. (1996) : Rapakivi granite magmatism: A global review with emphasis on petrogenesis. In Petrology and Geochemistry of Magmatic Suites of Rocks in the Continental and Oceanic Crust (D. DEMAIFFE ed.). Univ. Libre Bruxelles, Tervuren, 177-200.
- SILVA, L.F.S. DA, COSTI, H.T. and TEIXEIRA, J.T. (1995) : Faciologic mapping and preliminary petrography of Palanqueta albite granite - Bom Futuro, Rondonia State (Brasil). Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, Abst. Vol., 73-74.
- VILLANOVA, M.T. and FRANKE, N.D. (1995) : Serra do Bom Futuro-Rondonia; A volcanic breccia pipe hosted tin mineralization. Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, Abst. Vol., 83-84.
- 山田哲雄(1991) : ラパキビ花崗岩. 地質ニュース, no.443, 30-41.
- ISHIHARA Shunso (1997) : Rapakivi granites of Rondonia, Brasil.

<受付：1997年9月17日>