

# 南アの先カンブリア紀花崗岩類と錫鉱床

石原舜三<sup>1)</sup>

## まえがき

花崗岩類については今回の巡検ではバーバトン地域でごく一部を見学したに過ぎないが、カープバル地塊を中心として、かなり広く分布する。始生代の花崗岩類が磁鉄鉱系かチタン鉄鉱系のいずれに属するかは大変興味深い問題で、私はかつてカナダ楕状地のいくつかの花崗岩の  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  比から、始生代の花崗岩類は全て還元的なチタン鉄鉱系であろうと予想したことがある (Ishihara, 1977)。

しかし最近では、始生代の大気は酸素に満ちていたとする提案もあって (Ohmoto, 1993), 水圏を通して大気とも反応する始源地球の大陸地殻が必ずしも還元であったとは言えない可能性が生じている。そこで、この機会に始生代の花崗岩類を中心に、南アの花崗岩類のほとんど全てと言って過言でない先カンブリア時代の花崗岩類と、還元型鉱床の代表である同じ時代の錫鉱床について、概観することにした。

## バーバトンの花崗岩類

バーバトン緑色岩帯の周辺にはトランスバル地方から隣国スワジランドにかけて、花崗岩類が広く分布している (第1図)。バーバトン緑色岩体は巨大な残存ルーフとして北東-南西方向に伸長して分布する。

花崗岩類 (写真1) は10岩体からなり、35-27億年 (以下に示す年代は主に自形ジルコンについての U-Pb 年代) の生成年代をもつ。これら岩体はほぼ南北方向に伸長する2つの岩群に分けられる。西列帯は Mpageni-Mbabane-Ngwempisi-Sicunusa 岩体で代表され、東列群は Sinceni-Mooihoek-

Mhlosheni-Godlwayo-Spekboom-Kwetta 岩体で示される (第1図)。これらの岩体は生成年代と岩質によって、古い方から新しい方へ次の4系列に分けられる。

## TTG スウィート

これはこの地域で最も古いもので、バーバトン緑色岩と密接に関連して分布する。Na に富むトータル岩/トロニウム岩および花崗閃緑岩からなるもので、それぞれの頭文字をとって TTG の名称で呼ばれる。一般に岩体の輪郭と平行な流理構造を有し、特に周縁部では接触面に平行な片状構造や片麻状構

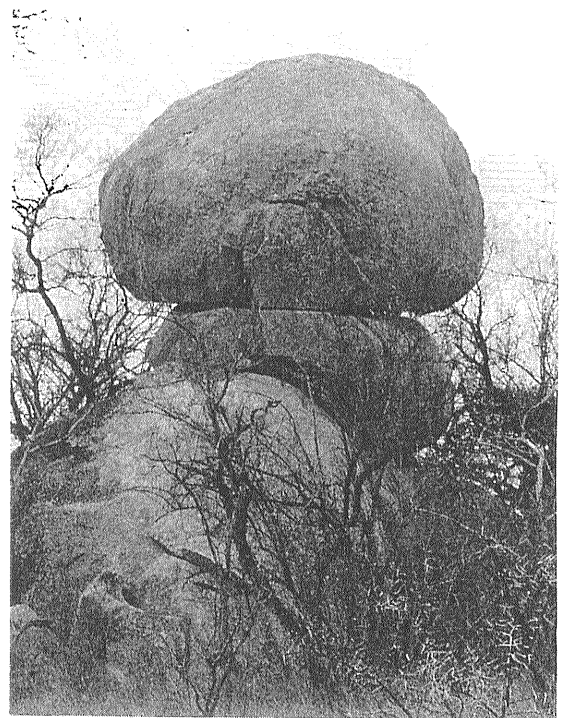
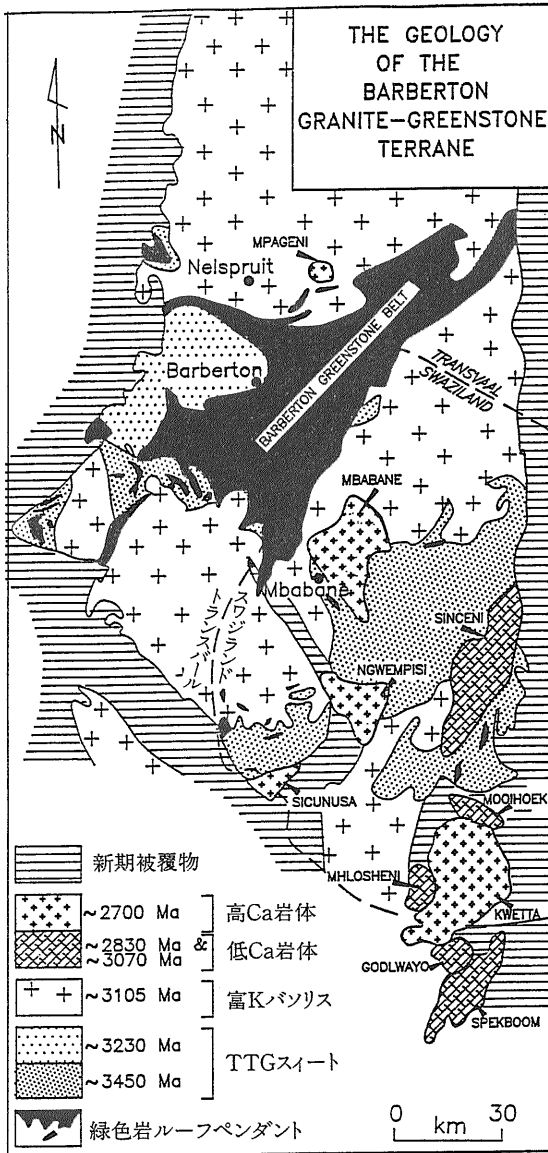


写真1 カープフェール高原の花崗岩露頭。平原にマウンド状に露頭が現れ、近づくと写真のように節理沿いに風化し、ポルダー状である事が分かる。

1) 北海道大学理学部 地球惑星物質科学教室 :  
〒060 札幌市北区北10条西8丁目

キーワード: 始生代, 花崗岩, トロニウム岩, ブッシュフェルト, 錫鉱床



第1図 バーバトン花崗岩-緑色岩地域の地質図。Meyer et al. (1993)原図。

造を持ち(写真2), バーバトン緑色岩類中の低変成岩類や片麻岩類の生成と同時貫入の関係(synkinematic)にあるものと思われる(Robb and Anhaeusser, 1983). この花崗岩類は年代的に~34.5億年\*(古期)と~32.3億年(新期)の2群に分けられる(Meyer et al., 1993). 筆者が観察した Theespruit 岩体の派生岩体(Honningklip)は古期に属する細中粒の角閃石-黒雲母トロニウム岩で(写真3-6),

\* 34.5億年かそれ以前の意。以下同様。



写真2 片状構造を持つ緑色火山岩類に貫入する Stentor トロニウム岩(白)。



写真3 バーバトン地域の TTG スウィートに属するトロニウム岩(Theespruit 岩体)露頭① 片状構造を持つ均質部分のクローズ・アップ。

自形のスフェンが多数認められた。小型磁石を当て見る限り磁性を欠き、チタン鉄鉱系に属すると判定できる。

### 高K花崗岩バソリス

これは南北方向に数100 km に亘って露出する大岩体である。一般に粗粒で片状構造を持たず、Kが多い花崗閃緑岩-モンゾ花崗岩からなり、その放射年代は~31.1億年である。

空中磁気図によるとバーバトン地域で著しい磁気異常は緑色岩分布地域でみられ、その原因は超塩基性-塩基性岩の蛇紋岩化や熱水変質によって大量の磁鉄鉱が生じた結果と考えられる。一方その周辺の TTG スウィートや高K花崗岩バソリスは磁気異常を示さず、これらがチタン鉄鉱系に属することを示している。

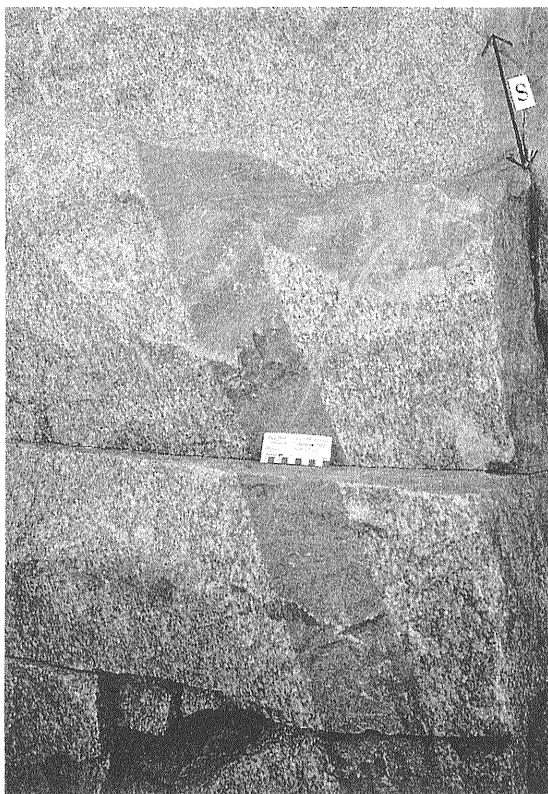


写真4 トロニウム岩露頭② 片理面にそって苦鉄質岩脈が貫入し、圧砕帯(S)の発達によって屈折し、更に後期の動きで母岩ともども圧砕帯(矢印部分)となる。

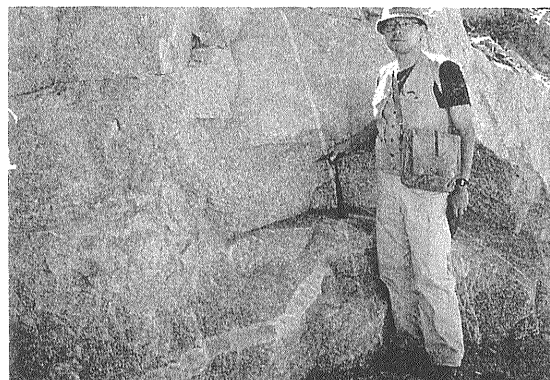


写真5 トロニウム岩露頭③ 本体の固結後に水平と垂直方向に貫入した大・小のアプライト岩脈。人物は古野正憲氏。



写真6 トナル岩露頭④ 周辺部で角礫状緑色火山岩類に貫入する部分。

### 低 Ca 花崗岩体

これは東列に特徴的に分布し(第1図)、粗粒斑状、灰色-ピンクの色調を持つ。一般に黒雲母花崗岩であるが、少量の白雲母を含む。放射性年代は一般に~28.6-28.2億年であるが、一部で~30.7億年も得られている。この花崗岩は長石類の白雲母化、黒雲母の緑泥石化などの熱水変質を受ける。シンセニ岩体では、4個の全岩について  $Fe_2O_3/FeO$  比は平均0.22(L. J. Robb, 1994私信)であり、著しく還元である。この岩体南部の接触部付近に錫ペグマタイト鉱床が産出する。この岩体の形成深度は5-6kbと想定されている。他の岩体では岩体周縁部にルーフの火山-堆積岩層であるボンゴラ累層の珪岩や泥岩を捕獲岩として多量に伴うことがある。

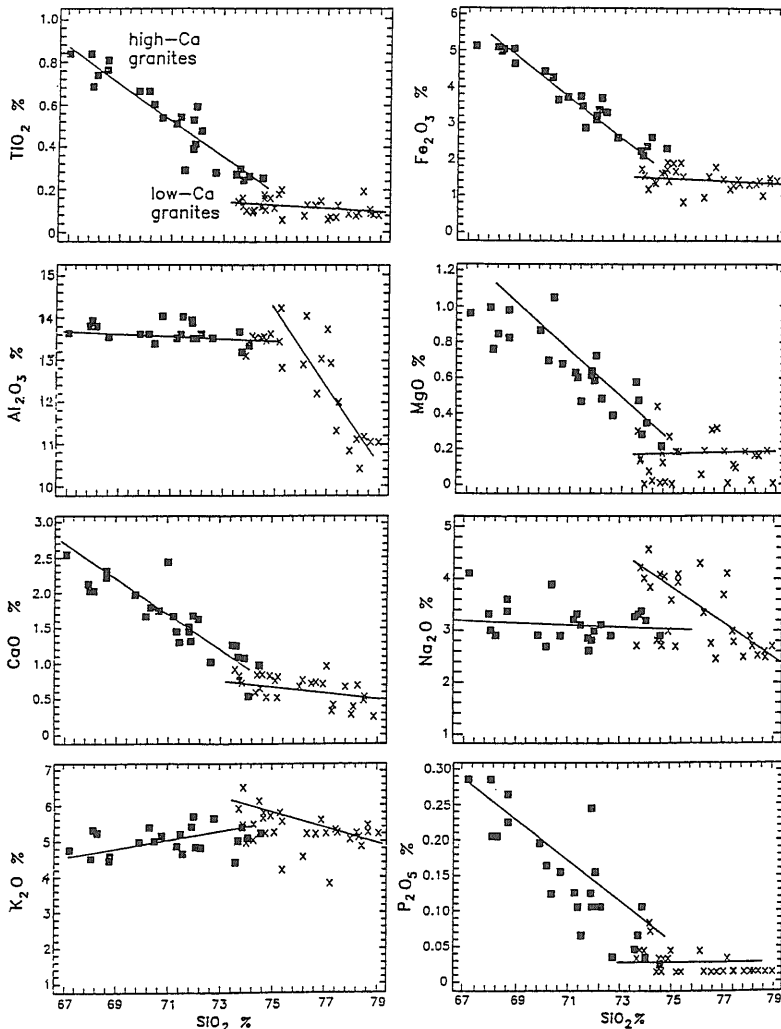
低 Ca 花崗岩類の微量鉱物は微粒の半自形メタミクト鉱物で特色付けられる。これは EPMA 解析からモナズ石と Ca-Th 磷酸塩鉱物からなると判定さ

れた。他には微量のジルコンとアパタイトが存在するのみで不透明鉱物に乏しく、この花崗岩はチタン鉄鉱系に属するものと思われる。

### 高 Ca 花崗岩体

これは前者の西側に南北に並走するかたちで分布する。粗粒の灰色、閃雲花崗岩であり、マイクロクリンの巨晶が特徴的である。年代的には~27.4と~26.9億年が得られている。

高 Ca 花崗岩は微量鉱物に特色が見られ、1-2 mm に達する自形で累帯構造を持つジルコンとアラナイトを含む。アパタイト、螢石、閃ウラン鉱がこれらに次ぎ、不透明鉱物は主に磁鉄鉱である。ジルコンとアラナイトは共に黒雲母中に含まれる。アラナイトはジルコンより後期晶出であるが、スフェンよりは早期の晶出である。



第2図 バーバトン地域の高・低Ca花崗岩の主化学成分の特徴. Meyer et al. (1993)原図.

S/I タイプ花崗岩類

以上のようにバーバトン地域の花崗岩類は主としてチタン鉄鉱系であり、最末期の高Ca花崗岩のみ磁鉄鉱系のようなものである。全体として若い世代で酸化型となる点は日本などの全体的な姿と同じで大変興味深い。

ところでMeyer et al. (1993)は低Ca花崗岩類と高Ca花崗岩類が、それぞれSタイプとIタイプに相当するものではなかろうかと考えた。ハーカー図(第2図)によると、高Ca花崗岩はSiO<sub>2</sub>の増加に対して、TiO<sub>2</sub>、CaO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の減少とK<sub>2</sub>Oの増加が明瞭で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はほぼ無変化である。他

方、低Ca花崗岩は、

- (i) CaのみならずTiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>に関しても著しく低い。
- (ii) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がSiO<sub>2</sub>の減少と共に著しく減少する。K<sub>2</sub>OはSiO<sub>2</sub>の増加に対してむしろ減少している。

などの特異な変化を示す。

オーストラリア学派のS/Iタイプ生成モデルによれば、両者は地殻中で溶ける時に原岩の相異を反映しながら生じるものである。そしてハーカー図で直線的な良い相関関係はマグマ発生母体の残存物、レスタイトから、発生したメルトが逐次分離上昇したことを意味する。

高 Ca 花崗岩のハーカー図上のパターンは、これが角閃岩相当の原岩から発生した I タイプマグマであろう事を示し、 $Al_2O_3$  に関してはレスタイトとメルトとの間に差が生じなかったものと考えられる。低 Ca 花崗岩の特異な分布は次の様に説明できる。常に低い  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $P_2O_5$  などは元来これら成分に乏しい事を意味し、 $Na_2O+K_2O$  の減少に比べて  $Al_2O_3$  の著しい減少は原岩に長石が少なかったことを意味する。その様な原岩としてシリカとイライトに富む珪質頁岩が考えられる。

同位体研究結果(第1表)は  $\delta^{18}O$  については S/I タイプの考えを支持する結果が得られているが、Sr 初生値については共々大きなばらつきを持っており、今後の更なる研究が必要である。

### ブッシュフェルトの花崗岩類

南アにおける他の一方の花崗岩類はブッシュフェルト塩基性貫入岩体に伴って産するものである。超塩基性岩から花崗岩まで成層して産出すること、錫鉱床を伴ない過去に10万トン以上の錫金属量を生産している点、大変特異で興味深い地質体である。

ブッシュフェルト貫入岩体付近では、始生代のカーブパルクラトン上の東西に伸長する盆地に、原生代に入って陸成・海成の堆積火山岩類が堆積し、トランスバル累層群を形成した。23.5-21.3億年前のことである。これにブッシュフェルト岩体が貫入する(～21.0～17.6億年)。この貫入岩体は下部の塩基性岩層と上部の酸性岩層からなり、前者が一般にブッシュフェルト貫入岩体として著名である。

酸性岩類はブッシュフェルト複合岩体の中央にかなり広く分布する(第3図)。塩基性岩類より後期に、ほぼ連続して貫入したと思われるが、その同位体年代は U-Pb 法で20.5-12.9億年、Rb-Sr 法で17.9-16.0年であり、かなり若く出ている。その原因は、これら酸性岩類が放射性成分に富むために冷えにくく、後マグマ期の熱水変質が非常に長時間続いたためと思われる(Walraven et al., 1985)。酸性岩類は大きく Rashoop グラノフィア系列と Lebowa 花崗岩系列に分けることができる。

#### Rashoop グラノフィア系列

これはグラノフィアと文象質グラニュライトに大きく二分し得る。文象質グラニュライトはグラノフ

第1表 高・低 Ca 花崗岩類の Sr 初生値と酸素同位体比。Meyer et al. (1993)による。

Low-Ca Plutons			High-Ca Plutons		
	$R_o$	$\delta^{18}O$		$R_o$	$\delta^{18}O$
Sinceni	0.7116	6.63	Mpageni	0.70654	6.69
Mooihoek	-	5.04	Mbabane	0.7119	7.76
Mhlosheni	0.7880	4.60	Ngwempisi	0.7110	6.69
Spekboom	0.7048	-	Sicunusa	0.7006	7.70
Godlwayo	0.7048	-	Kwetta	0.7065	-

ィアが下位の貫入岩体の熱変成によりグラニュライト化したものと思われる。

前者に属する Stavoren グラノフィアは上位の Rooiberg 層に斜交して貫入する。90%は文象組織の長石と石英とからなり、約5%の苦鉄鉱物は針状角閃石、二次的な黒雲母、緑泥石からなる。磁鉄鉱と赤鉄鉱ダストが苦鉄鉱物と密接に現れる。また二次的蛍石も産出する。文象質グラニュライトは成層シート岩体で、底部でグラニュライト組織を示し、上方へ向けて文象状となり、最上部では文象斑岩となる。

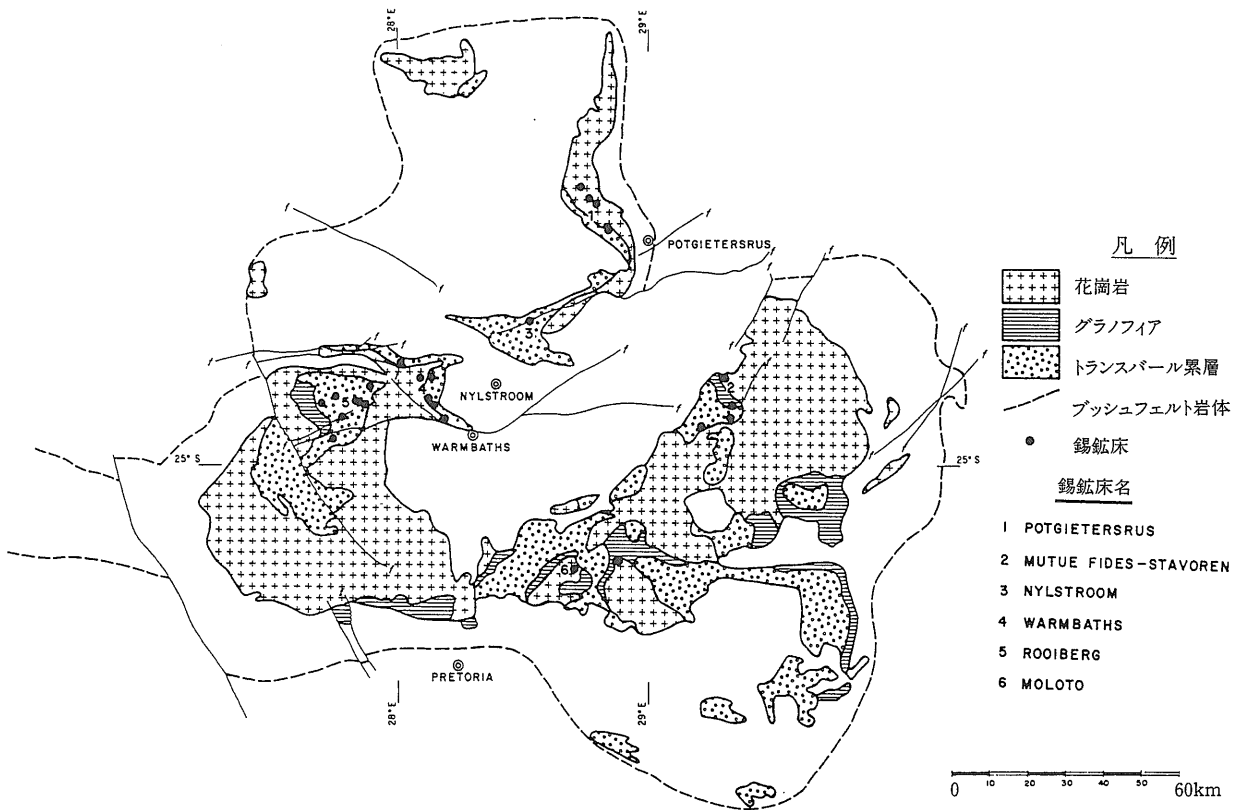
苦鉄鉱物は5-15%である。その多くは針状黒雲母や磁鉄鉱を取り込んだ緑泥石である。初生的角閃石は一般に緑色黒雲母と緑泥石に変質している。また初生的な褐色黒雲母も緑色緑泥石に変質している。磁鉄鉱はダスト状で主として二次的なものであるが、稀に初生的と思われるものもある。二次的蛍石も存在する。

#### Lebowa 花崗岩系列

これは浅所に貫入した層状岩体で、平面的に半円形、断面では楔状で、貫入中心部で厚い。灰色花崗岩、赤色花崗岩、微晶花崗岩などに分けられる。

灰色花崗岩(Nebo 花崗岩)は粗粒、等粒状の花崗岩(石英20-30%)である。岩体底部は15%の角閃石を含み優黒質である。少量の角閃石リムを持つ透輝石質輝石、微量のスフェン、磁鉄鉱、チタン鉄鉱を含む。上部では5%の角閃石、黒雲母を含む。この黒雲母は緑色で、角閃石から変質したものである。

赤色花崗岩(Bobbejaankop 花崗岩)は灰色花崗岩の分化相で、パーサイトのみからなるアルカリ花崗岩であるが、ノルム鉱物上は正長石と斜長石とは等量である。パーサイトには初生的に Na 長石が K 長石から離溶したものと、正長石がアルバイト-オリゴクレーン斜長石を交代したものと二種類があ



第3図 ブッシュフェルト貫入複体の酸性岩相と錫鉱床の分布。Rozenaal(1986)原図。1, 2, 6の地域は主に花崗岩体内鉱床, 3と5は被貫入岩体内鉱床, 4の地域には双方が分布する。

る。この交代作用によってカリ長石のみの花崗岩となった。

苦鉄鉱物は5%, そのほとんどはFeOに富む褐色黒雲母であるが、しばしば緑泥石と鉄酸化物に分解している。磁鉄鉱は緑泥石化黒雲母の劈開沿いに晶出し、明らかに二次的である。

微花崗岩はシート状や赤色花崗岩を覆うフードとして産出する。最も厚い所(150 m)では構成鉱物が径1-4mmの等粒状であり、優白色である。所によってはアプライト質で、その場合は一般に熱水変質が著しい。グライゼン化、緑泥石化をうけたポケットに硫化物が濃集することがある。また石英ペグマタイトの近くでは緑色雲母、緑泥石、炭酸塩鉱物、螢石、ペグマタイト性正長石、石英、硫化物がネスト状に産出する。

### ブッシュフェルト錫鉱床の特徴

ブッシュフェルト複体に関する錫鉱床は第

3図に示したように6ヶ所に纏められる。鉱床は東北系と西北西系の広域的構造規制を受けた鉱染状あるいは割れ目規制パイプおよび鉱脈型で、F, Bに富む鉱液活動によってマグマ期最末期から後マグマ期にかけて生じたものである(Simpson and Hurdley, 1985)。

鉱床には花崗岩体内鉱床(endogranitic)と被貫入岩体内鉱床(exogranitic)が認められ、前者はPotgietersrus地域で、後者はRooiberg地域で代表される。

### 花崗岩体内鉱床

Potgietersrus地域の鉱床は1906年に発見され、これまでに8鉱床から錫金属量にして21,348トンが生産され、そのうちの80%はZaaiplaats鉱床から得られているので、この鉱床について紹介してみよう。

Zaaiplaats鉱床はLebowa花崗岩の最頂部を構成するいずれも優白質なBobbejaalkop, Lease, "Foothill"花崗岩類(第3図参照)など、マグマ分化

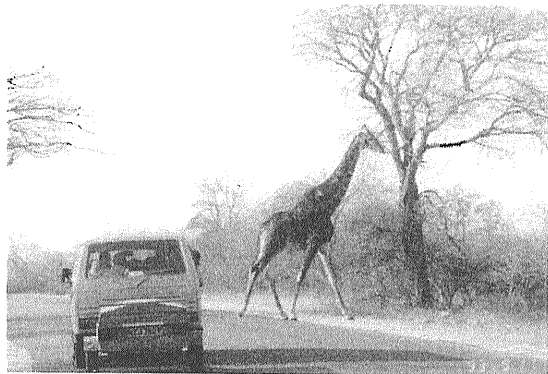


写真7 クルーガー公園で、我々のマイクロバスの前を悠々と横切るキリン。

が著しく進んだ岩相中に産出する。その産状は鉱染状、レンズ状、パイプ状、ポケット状、割目鉱化などからなる。

鉱染状鉱床は Lease 花崗岩と Bobbejaankop 花崗岩の境界部と平行にシート状分布する低品位鉱床で、Bobbejaankop 花崗岩を母岩とする。鉱体の厚さはカットオフ品位によって2-20mと変化する。鉱体発見時には採掘品位は5%Sn、すぐに1%(カットオフ0.5%Sn)、1978年には採掘品位0.19%Sn(カットオフ0.1%Sn)へと低下した。これは直径1-3mmの錫石が造岩鉱物のように鉱染するもので、変質は緑泥石化が普遍的なものであり、特に硫化物、螢石、炭酸塩化が強い所で著しい。

レンズ状鉱床は Lease 花崗岩のベグマタイト直下に限られている。断面で瀘斗状を示し、下方のパイプ状鉱体に連続する。鉱石は暗黒色を示す高品位鉱で、錫石のほか緑泥石と硫化物(磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱)が多く、少量の螢石、灰重石、鉄マンガ重石、方解石、絹雲母を含む。

パイプ状鉱床はレンズ状鉱体の幹の部分に相当するが(第4図)、経済的な鉱石は Lease 花崗岩中のレンズ状鉱体と出会う所か、鉱染状鉱体を通過する所だけである。パイプは直径0.1~3mの円筒状である。パイプ状鉱床は構成鉱物から錫石-長石型と錫石-絹雲母型の二種類に分けられる。長石はしばしば絹雲母化しており、後者は前者の一部が後に絹雲母化を受けて生成したものである。絹雲母化と共に螢石、方解石、硫化物を伴う。

パイプの多くはその外側に、長石分の溶脱によりシリカが増加したと思われる白色の珪質花崗岩リン

グを伴う。その内側は黒色電気石と石英からなる第二のリングで Luvullianite Ring と呼ばれている。パイプ下部の不毛部ではパイプ全体が電気石-石英で満たされており、上部の稼行部分ではこのリングに次の鉱物が多種の組み合わせで含まれる：錫石、絹雲母、赤色長石、螢石、方解石、黄鉄鉱、黄銅鉱、硫化鉄鉱、灰重石と微量の REE 鉱物。

以上のように Zaaipplaats 鉱床はブッシュフェルトで最も分化した酸性の花崗岩質マグマがキャップロック下の閉鎖的環境で晶出して生じた。錫石はマグマ期-ベグマタイト期から晶出したが、その多くは中温熱水期に沈殿したものと思われる。

#### 被貫入岩体内鉱床

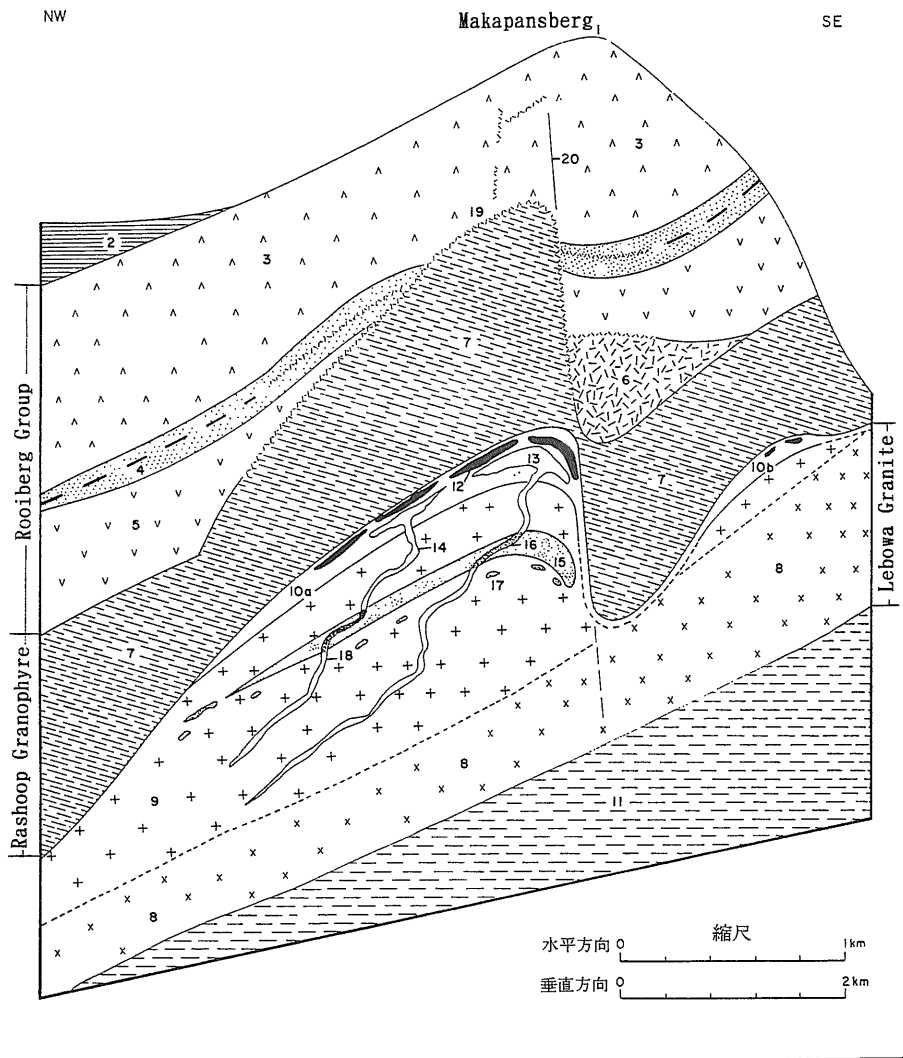
この種の鉱床の代表的なものは Rooiberg 地域の鉱床である。この地域の鉱床は開発以来500年の歴史を有しているが、生産量が急増したのは、今世紀に入ってからであり、これまでに錫金属量8万トン以上が生産された。

鉱床はブッシュフェルト岩体の西部にあって、ここではトランスバール累層群に Rашoop グラノフィアと Lebwa 花崗岩が貫入する。この地域のトランスバール累層群は二回の褶曲作用を受けて一方に開いた同心円的な褶曲構造を持つ。さらにブッシュフェルト岩体の貫入作用によって垂直方向と水平方向の割目を発達させた。鉱床は層理面と裂か系の規制を受けたもので、層理面型、ポケット型、非整合型に分けられる。

層理面型鉱床は層理面と平行に発達する板状の錫石鉱染鉱床である。ポケット型鉱床は錫石が層理面や裂か系に規制されて不規則塊状産出するものである。非整合型鉱床と呼ばれるものは急傾斜割目に規制された鉱脈鉱床である。

構成鉱物は錫石のほか、黄鉄鉱、緑泥石、電気石、カリ長石からなるが、錫石中のNb含有量の低さや流体包有物の生成温度から推定して、中温熱水性以下の低温であったものと思われる。

同様な被貫入岩類中の鉱石は Naboomspruit 地域にも知られており、ユニオン錫鉱山ではこれまでに錫金属量1万トンを生産している(Pringle, 1986)。また少数ではあるが、鉱脈型の螢石鉱床も知られている(Absolom, 1986)。



第4図 Zaaiploort地域の錫鉛床の模式断面図。Crocker(1986)原図。

2. Waterberg 統, 3. Schrikklouf 層, 4. Union Tin 凝灰岩層(破線はチャート層), 5. Kwaggasnek(3-5は Rooiberg 統), 6. Stavoren グラノフィア, 7. 文象質グラニュライト(6-7は Rashoop グラノフィア), 8. Nebo 花崗岩, 9. Bobbejaankop 花崗岩, 10a. Lease 花崗岩, 10b. Foothills 花崗岩(8-10は Lebowa 花崗岩系列), 11. Rustenburg 層状岩体。

鉛床: 12. 石英-長石-ペグマタイト岩床, 13. レンズ状グライゼン鉱体, 14. 石英-電気石パイプ, 15. 鉛染状錫石鉱体, 16. 含錫石パイプ, 17. 含電気石パイプ, 18. 含硫化物-電気石パイプ, 19. 角礫鉱化, 20. 断列系。

### 結 語

トランスバール地方の始生代花崗岩類は基本的には磁鉄鉱を含まないチタン鉄鉱系と思われる。最末期活動の高Ca花崗岩類で若干の磁鉄鉱が含まれるが、恐らくあまり酸化的是ではなかったであろう。今後は全岩のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・FeOの測定やFe-Ti酸化鉱物

・黒雲母などの造岩鉱物の研究が行われることに期待したい。Sタイプ的な花崗岩が若干存在するが、大部分はIタイプ・チタン鉄鉱系であろうと思われる。この事実は始生代のマントル起源のマグマ、大陸地殻ともども還元的事であったことを示している。

ブッシュフェルト貫入複合岩体の原生代花崗岩類



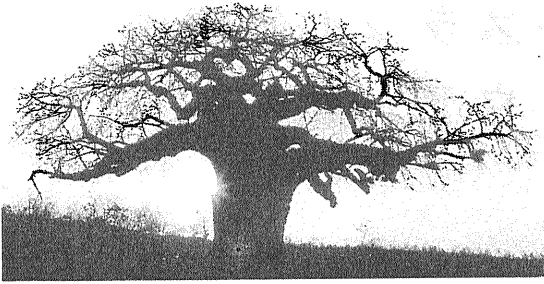


写真8 カーブパール高原の落陽。

は、Zaaiplaats ではごく微量の初生磁鉄鉱を含み、磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系の中間の苦鉄鉱物組合せを持っている。しかし、錫鉱床が広範囲に分布することは、この花崗岩類が全体的にはチタン鉄鉱系であろうことも暗示している。鉱床を伴う変質岩には既述のように鉄酸化鉱物が知られており、この花崗岩が浅所で固結したために、後マグマ期には地表水の混入などより酸化的雰囲気が生じたことを示している。すなわち、気圏・水圏に関しては始生代より酸化的であった可能性がある。

錫鉱床そのものは世界の他地域の鉱床と同様に、分化が進み揮発性成分に富むマグマから、それ自身の頂部とその周辺に生じている。揮発性成分は変質鉱物に螢石、また近くに螢石鉱床も存在すること (Absolom, 1986) から主に F と B であり、Li には乏しかったようである。

しかし、F・Li の絶対量はエルツゲビルゲ (石原, 1975) などと比較して少なかったものと思われ、また鉱床の生成温度もツインワルダイトやトバズが変質帯に欠如している事から考えて、エルツゲビルゲよりも低温であったと思われる。

謝辞：南アフリカ連邦の花崗岩類について、種々の情報を賜ったウィットウォーターズランド大学 Dr. L. J. Robb および地質調査所の Dr. C. de Ronde に感謝する。また今回の巡検を企画・実行された浦

辺徹郎・de Ronde 両氏、粗稿を読まれた佐藤興平氏にも謝意を表したい。

#### 文 献

- Absolom, S. S. (1986): The Buffalo fluorspar deposit, Naboomspruit District. Mineral Deposits of Southern Africa, Vol. II, 1337-1341.
- Crocker, I. T. (1986): The Zaaipplaats tinfield, Potgietersrus District. Mineral Deposits of Southern Africa. Vol. II, 1287-1299.
- 石原舜三(1975): エルツゲビルゲの旅。地質ニュース, No. 249, 18-35.
- Ishihara, S. (1977): The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Mining Geol. 27, 293-305.
- Meyer, F. M., Robb, L. J., Reimold, W. U. and de Bruijn, H. D. (1993): Possible Archean S- and I-type granites in the Barberton Mountainland, Southern Africa. Lithos (in press).
- Ohmoto, H. (1993): 3.4-billion-year-old biogenic pyrites from Barberton, South Africa: Sulfur isotope evidence. Science, 262, 555-557.
- Pringle, I. C. (1986): The Union tin mine, Naboomspruit District. Mineral Deposits of Southern Africa, Vol. II, 1301-1305.
- Robb, L. J. and Anhaeusser (1983): Chemical and petrogenetic characteristics of Archean tonalite-trondhjemite gneiss plutons in the Barberton Mountain Land. Spec. Publ. Geol. Soc. S. Afr. No. 9, 103-116.
- Rozendaal, A., Toros, M. S. and Anderson, J. R. (1986): The Rooiberg tin deposits, West-Central Transvaal. Mineral Deposits of Southern Africa, Vol. II, 1307-1327.
- Simpson, P. R. and Hurdley, J. (1985): Relationship between metalliferous mineralization and Sn-Y-F-rich mildly alkaline high heat production (HHP) granites in the Bushveld Complex, South Africa. High Heat Production (HHP) Granites, Hydrothermal circulation and ore genesis. Inst. Mining Metall., London, 365-382.
- Walraven, F., Kleemann, G. J. and Allsopp, H. L. (1985): Disturbance of trace-element and isotope systems and its bearing on mineralization in acid rocks of the Bushveld Complex, South Africa. High Heat Production (HHP) Granites, Hydrothermal circulation and ore genesis. Inst. Mining Metall., London, 393-408.
- 
- ISHIHARA Shunso (1994): Precambrian granitoids and tin ore deposits of South Africa.
-