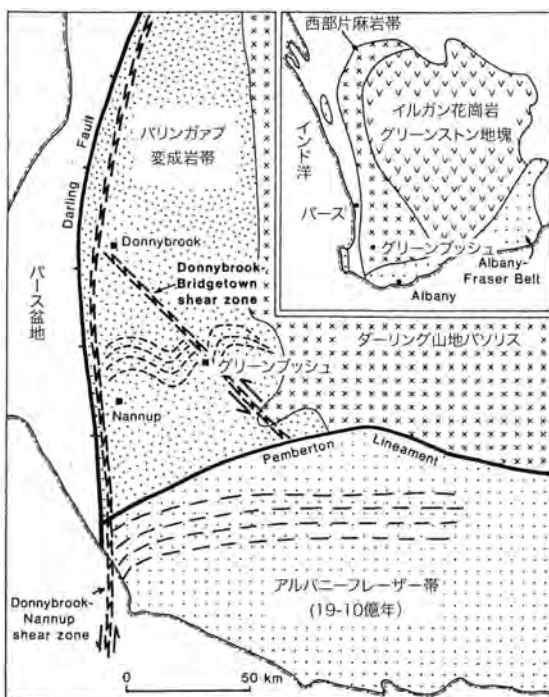


# タンタル資源とオーストラリアの グリーンブッシュ ペグマタイト見学記

石原 舜 三<sup>1)</sup>

## 1. まえがき

タンタルはニオブと共にタンタライト-コロンバイト固溶体を形成し, 主に高温性鉍床に産出するが, 一般岩石では花崗岩類を中心として少量含まれるに過ぎない. 大陸地殻中の存在量はNb:Ta=11:1ppm (地学辞典, 1996)であり, タンタルはニオブの1/10以下, 非常に希少である. コンゴでは, タンタルや錫などの希少金属が資源戦争や政争道具に利用されているが(朝日新聞2008年2月9日朝刊), そのタンタルは堆積性銅鉍床起源である.



第1図 西オーストラリア州南西端の地質概略図 (Battennay et al., 1988).

大陸地殻は広義の花崗岩と見ることができるが, チタン鉄鉍系の“錫花崗岩”ではニオブ・タンタル含有量は増加し, 日本の苗木花崗岩西岩体の場合, 主岩相の黒運母花崗岩が平均してNb:Ta=14.0:1.8ppm (n=5), より後期のペグマタイト-アプライトは平均して, Nb/Ta=39.9/4.2ppm (n=3)へと増加する (Ishihara and Murakami, 2006). 両元素共にチタン鉄鉍系マグマの結晶分化作用により末期の優白花崗岩や鉍床に濃集する傾向がある.

世界のタンタル生産量の60%近くは西オーストラリア州の南西端に位置する(第1図)グリーンブッシュ (Greenbushes) 鉍山のペグマタイト質アプライト岩脈から得られている. したがって, その市況はこの鉍山の稼行状況によって大きな影響を受ける. 先端産業で生きる我が国にとってはレアメタルの安定供給は死活問題であり, その地質環境を明らかにすると共に資源確保に向けた独自の努力が求められている.

筆者は2005年9月の西オーストラリア州の先カンブリア紀花崗岩類の見学時(石原, 2007)に, B. W. Chappell氏の案内で同地を訪ねることができたので, この鉍床の概要を紹介しながらタンタル資源生成の地質的条件について考察したい. なおこの鉍床は後述するように, 品位としてはリチウムが最も高く, 次いでニオブ, 錫であり, タンタルは最も低い. 鉍山所有者は, 見学当時はSons of Gwaliaであったが, 現在はTalisn Mineralsである. この小文が今後の資源問題を理解するための一助となれば幸いである.

## 2. 用途と価格

タンタルの用途・価格・需給などについては南(2008)による解説がある. これによるとタンタルの最大の用途は, タンタルコンデンサである. タンタルを陽

キーワード: グリーンブッシュ, ペグマタイト, アプライト, タンタル, リチウム, 錫, 原生代初期

1) 産総研 特別顧問

第1表 世界の年間別タンタル需要 (Ta純分トン)。

	1997	1998	1999	2000	2001
電解コンデンサ	792	795	1,014	1,381	751
炭化物	144	140	128	175	198
圧延加工物, 酸化物	560	543	596	701	614
金属添加用, その他	0	0	0	0	0
合計	1,496	1,478	1,738	2,257	1,563

出典：南(2008)

第2表 タンタル鉱山生産量と残存資源量 (Ta純分トン)。

	2005年	2006年	Reserves	Reserve base
オーストラリア	730 (57.9%)	730 (56.6%)	40,000	80,000
ブラジル	250 (19.8%)	260 (20.2%)	NA	73,000
カナダ	70 (5.6%)	70 (5.4%)	3,000	NA
コンゴ(キンシャサ)	25 (2.0%)	10 (0.8%)	NA	NA
エチオピア	45 (3.6%)	70 (5.4%)	NA	NA
モザンビーク	81 (6.4%)	81 (6.3%)	NA	NA
ブルンディ	6 (0.5%)	9 (0.7%)	NA	NA
ナミビア	3 (0.2%)	3 (0.2%)	NA	NA
ナイジェリア	5 (0.4%)	5 (0.4%)	NA	NA
ルワンダ	40 (3.2%)	50 (3.9%)	NA	NA
アメリカ合衆国	—	—	NA	1,500
その他	5.0 (0.4%)	1 (0.1%)	NA	NA
合計	1,260	1,290		

\*NA, not available. 出典：USGS. Mineral Commodity Summaries 2007

極酸化して得られる酸化皮膜は整流作用を持ち、誘電率がアルミニウムの2.7倍と大きい。この特性を利用したタンタルコンデンサは、通信機器・大型コンピュータ等の産業用機器、携帯電話・パソコン・デジタルカメラ・ゲーム機等の民生用機器、いわゆる電子工業向けに広く用いられている。このうち、近年では携帯電話・パソコン向けの需要増が顕著となっている。

その他の用途としては、電子デバイス(半導体及び液晶)に用いるスパッタリングターゲット材、真空または不活性雰囲気中での高温炉ヒーター(真空熱処理炉等に用いる)、リフレクタ等の耐熱材、耐食性熱交換器及び反応器、携帯電話・パソコン等に用いる表面弾性波(SAW)フィルタ、光学レンズ添加材(五酸化タンタルTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、超硬工具(炭化タンタルTaC)等がある(南, 2008)。

タンタルに関する国際的な価格決定機構は存在しないが、Metal Bulletin誌等にはタンタル鉱石のスポット価格(30%Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ベース：CIF)が掲載されている。

このタンタル鉱石の価格は、1980年に約\$120/lbまで高騰して以来、1980、90年代と約20年間にもわたり、一時的な急騰はあったものの\$20～30/lb前後の範囲で推移してきた。ところが2000年に旺盛なIT需要を背景に原料不足が表面化して、暴騰を招くこととなったが、2001年春にはIT不況に陥ったため、携帯電話・パソコンの生産の伸びは停滞し、それに伴いコンデンサも生産調整に入ってタンタル鉱石の価格は急落し、以前の価格帯(\$20～30/lb)にまで戻った。しかし2004年には、中国国内での需要増に対して中国タンタルメーカーの旺盛な買いが入ったため、価格は若干上昇して\$35/lb前後になり、現在に(\$37-42/lb、吉竹豊私信)至っている。

### 3. 需要と供給

世界のタンタル需要を第1表に示すが、1997-2001年間の年間需要は1,478～2,257トン(Ta純分)であり、

最大用途は電解コンデンサ用(粉末)であった。2002-2006年の間も年間需要は1,380~2,534トン推移しているが、その詳細は不明である。我が国の消費量は2006年の場合546トンであり、これは世界需要量2,534トンの21.6%に相当する。需要量の内訳は粉末277トン、化合物122トン、加工品147トンである(南, 2008)。輸入は半製品~製品輸入であり、輸入鉭石を原料とする生産は1999年以降は行っていない。

輸入先としてはアメリカ合衆国(31.2%)、中国(24.9%)、ドイツ(22.0%)、タイ(14.7%)などが主要国である。

第2表に世界の国別タンタル生産量を示した。タンタルはニオブと共に酸化物として産出し、完全なタンタライト-コロンバイト系列の固溶体 < (Fe, Mn) (Ta, Nb)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> > を形成する。そのうちタンタライトに富む鉭床がタンタル資源となる。ペグマタイトのグリーンブッシュが最も良い例であるが、この鉭床は巨晶でゾーニングを示すペグマタイトとは異なり、細粒のペグマタイト質アプライトの岩脈または岩床と呼べるものである。

一方、タンタルは錫石の微量成分としても含まれ、その含有量が多いと錫石の黒褐度が増加するので、高タンタル錫石は肉眼的に識別が容易である。錫生産量は一般にタンタル生産量より遥かに多いので、錫を回収した後のアマンやスラッグからのタンタル生産は重要である。タイ南部、プーケット島のタイ精錬・精製所では年間115トンの生産能力を持ち、筆者が同地に滞在していた1970-1980年代の錫全盛期には(Ishihara *et al.*, 1980)、平均1.5% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を含む錫精鉭や15-20% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含有錫スラッグからタンタルを盛んに生産していた。なおタイ南部の砂錫の起源は花崗岩質マグマと熱水鉭液の双方に由来したものが風化・流出し、更に地表水や海水により重力選別を受けたものである(Cobbing *et al.*, 1992)。

錫石精鉭からの抽出法は、精鉭を電気炉中でコークスと反応させ錫炭化物とし、これを精製しアルカリ処理してタンタル分を濃縮する。このタンタル精鉭からフッ酸溶解・溶媒抽出法によってタンタルを分離する。分離したタンタルは、水溶液中でアンモニアにより中和沈殿させ、焼成して五酸化物とするか、水溶液に苛性カリウムとフッ化カリウムを加えて、フッ化タンタル酸カリウムの結晶を析出させる。この後、タンタル粉末を製造するにはフッ化タンタル酸カリウムの金属

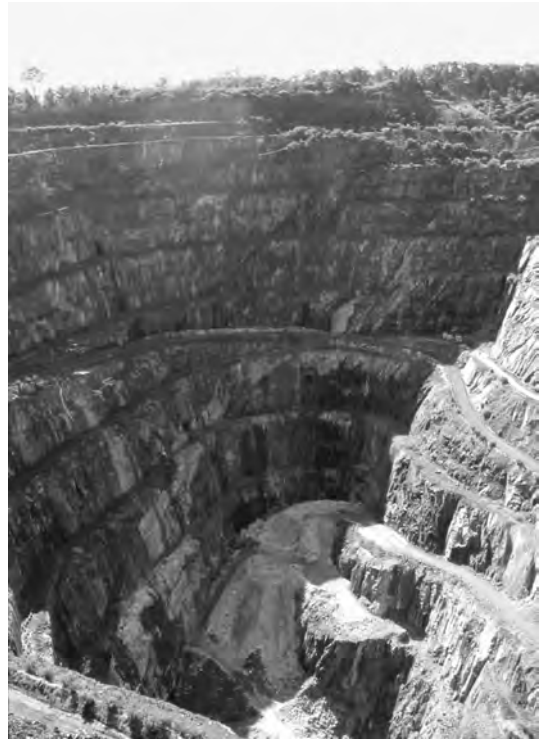


写真1 急傾斜の壁を持つコーンウォール ピット。採掘初期のもの。

ナトリウム還元法が主に用いられる(南, 2008)。

#### 4. グリーンブッシュ ペグマタイト 鉭床

グリーンブッシュは西オーストラリア州の南西端部、パースの南252キロに位置する。交通は至便であり、一般観光客用の鉭山展望台も設けられている。1888年に錫が発見されて町が建設されることになり、町の人口は1911年に最大の1,389人に達した。白人の入植以前は、ニュンガーあるいはBibbulmanの先住民が居住していたものと思われる。錫・タンタルのほか、近年では、リチウム・カオリンなども回収している。1991年のオーナー(Sons of Gwalia)の発表では、残存鉭量は次のようである(Partington *et al.*, 1995)。

錫粗鉭：5.4×10<sup>6</sup>トン、0.24% Sn(含有量=12,960トン)

タンタル粗鉭：4.7×10<sup>6</sup>トン、0.06% Ta(含有量=2,820トン)

ニオブ粗鉭：10.8×10<sup>6</sup>トン、0.42% Nb(含有量=45,360トン)



写真2 2006年秋に盛んに稼行されていたC1ピット。



写真3 坑内から高品位鉱石を運び出す巨大ダンパカー。

リチウム粗鉱： $7.1 \times 10^6$ トン4.06%  $\text{Li}_2\text{O}$  (含有量＝288,260トン)

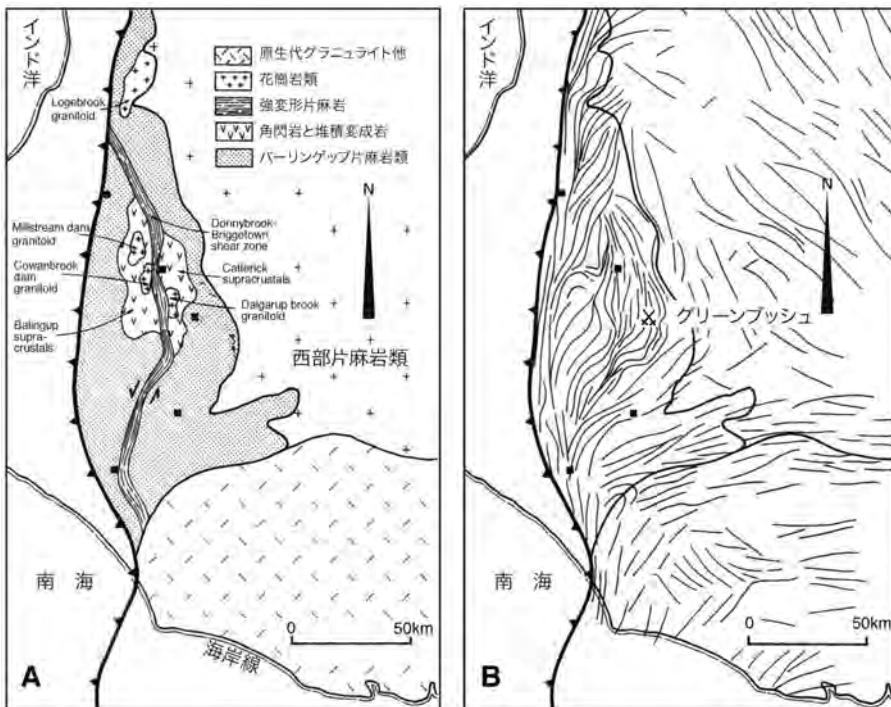
カオリン粗鉱： $2.3 \times 10^6$ トン(含有量＝690,000トン)

採掘は主に中規模のオープンピットにより(写真1, 2), また一部が坑内採掘で行われ, 巨大ダンパカーが鉱石を搬出していた(写真3). 筆者が訪問した2005年10月の情報では年間生産量が300万トン, 品位250 ppm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , 600ppm Liとのことであった. その後, Son of Gwalia社の破産申告によって所有権移動があって, 新所有者は採掘を中止し, 貯鉱販売に切り替

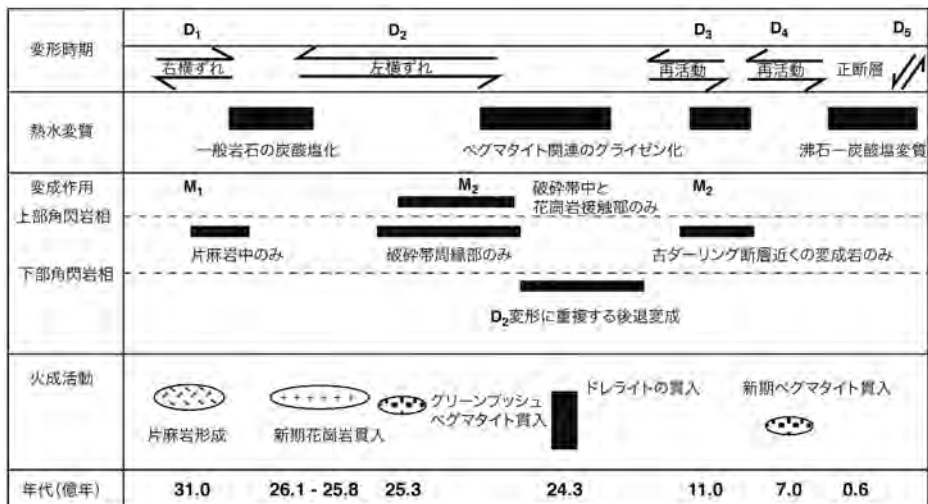
えていると言われている.

#### 4.1 広域地質

鉱床付近の岩石は西オーストラリアの始生代グリーンストーン-花崗岩地塊の南西周辺部に相当し(第1図), Western Gneiss Terrainと呼ばれる片麻岩地帯に属する. これはナール岩質の灰色片麻岩類に少量の苦鉄質岩, 堆積岩類を挟む片麻岩類複合体である. その最西部にはパーリングアップ(Balingup)古期片麻岩類が分布し(第2A図), それは恐らく最下底層



第2図  
Greenbushes周辺域の  
広域地質図(A)とリニア  
メント図(B) (Partington,  
1990).



第3図 Greenbushesペグマタイト鉱床の火成活動史 (Partington, 1990).

と思われる始生代グリーンストーン起源様の細粒角閃岩と関連縞状鉄鉱層、粗粒角閃岩、珪長質な塊状～片状パラ片麻岩から構成される。パラ片麻岩は西オーストラリア州地質調査所ではグラノフェルス (granofels) と呼ばれている。これらの岩石は主要な構造線やリニアメントと平行に発達する片麻状構造を持つが、特にバーリングアップ片麻岩類で著しい(第2図B)。

これらの変成岩類は、石英-黒雲母-長石-斑岩岩脈、ドレライト岩床、ドレライト岩脈、そして花崗岩ストックの貫入を受ける。ついで鉱化ペグマタイトが貫入し、鉱化後に不毛なペグマタイトとドレライト岩脈が貫入する。この鉱化後ドレライト岩脈は東西系で明瞭に鉱体を切り(第3図参照)、ペグマタイト細脈に切られる。この細脈ペグマタイトはドレライト貫入時に、その熱で既存のペグマタイトが再溶融して発生した可能性がある (Bettenay *et al.*, 1988)。

鉱床付近には花崗岩類が小規模なストック状に貫入する。それらは鉱化以前の古期と、鉱化期の新期に二分される。新期花崗岩類はミグマタイトの片理面と平行なダニーブルック-ブリッジタウン (Donnybrook-Bridgetown) 破砕帯方向に伸長して貫入する。グリーンブッシュ ペグマタイトの形成時期はダニーブルック-ブリッジタウン破砕活動と密接であり、同様に密接な関係を持つ新期花崗岩類からは 2612 ± 5 Ma の SHRIMP ジルコン年代が得られているので、鉱化年代は原生代古期である。

グリーンブッシュ付近の褶曲・変形運動には、ダニ

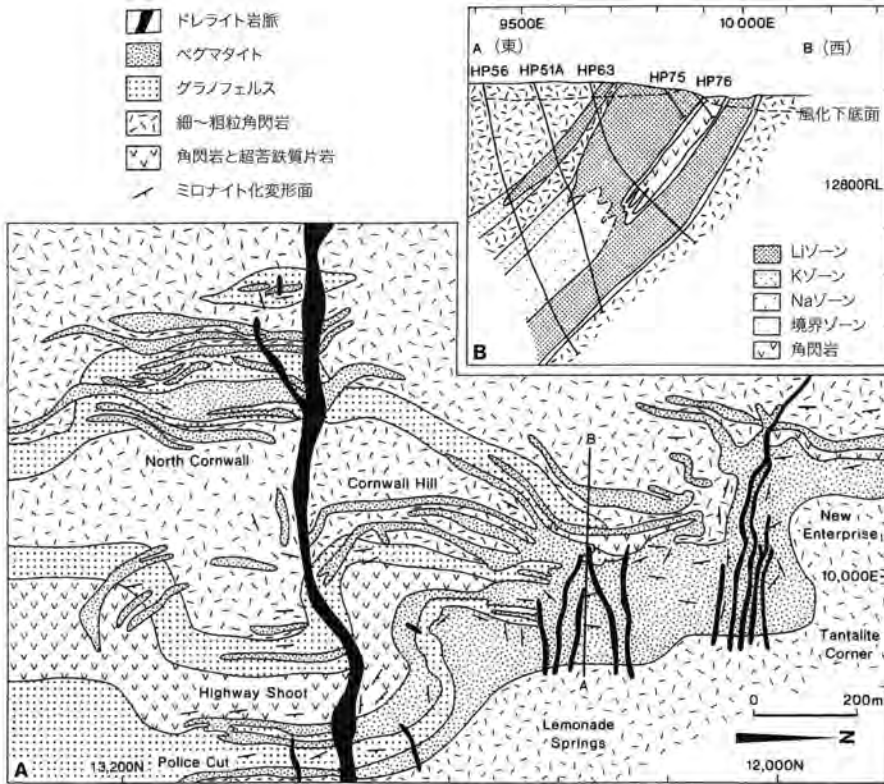
ーブルック-ブリッジタウン破砕活動に絡む4時期が認められている。最古期は右横ずれの D<sub>1</sub> 期であり、これは始生代と思われる(第3図)。D<sub>2</sub> 期は基本的には左横ずれ運動で、鉱化前から発生し鉱化期間中にも活動した。D<sub>3</sub> 期は鉱化後であるが、鉱体を切る東西系のドレライト岩脈よりも前である。D<sub>4</sub> 期の活動はドレライト岩脈後であり、その一部は古生代に入る。

変成作用は一般に上部角閃岩相であり、ブリッジタウン片麻岩中にのみ認められる M<sub>1</sub> 期を最古とし、ダニーブルック-ブリッジタウン破砕帯中の花崗岩との接触部に見られる M<sub>2</sub> 期、古ダーリング断層近くの表成岩で見られる M<sub>3</sub> 期などが識別される(第3図)。

#### 4.2 鉱床地質

グリーンブッシュ ペグマタイト鉱床は不規則形状で南北に貫入する多数のペグマタイト岩脈・岩床からなる(第4図、写真4、5)。個々の延長は数百mから数kmに達し、幅は数十～数百mである。傾斜は東へ約60度である。エション状にペグマタイトポッドが並ぶ“富鉱部”は角閃岩とグラノフェルス間の D<sub>2</sub> 期変形が集中したところに当たる。ペグマタイトはその後の D<sub>3</sub> 期-D<sub>4</sub> 期の変形を受けているが、変形を免れた初生の鉱物結晶や包有物を保つものもあって、変形応力に不均一性が認められる。

ペグマタイトには一般に構成鉱物にゾーニングが見られるが、ここでも巨視的には三次元なゾーニングを示す。南部の主鉱体ではリチウム ゾーンが下盤側、



第4図  
Greenbushes ペグマタイト  
鉱床の平面図と断面図  
(Partington et al., 1995).



写真4 母岩の片理面沿いに分岐して貫入したペグマタイト-アプライト岩脈(C3ピット)。

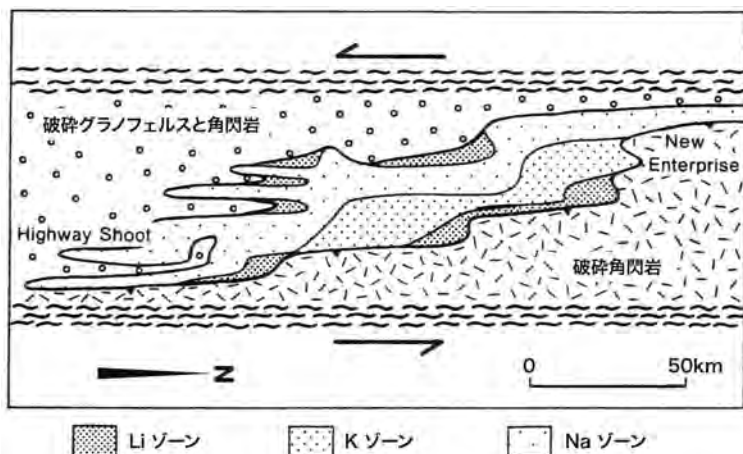


写真5 緩傾斜の変成岩類に貫入したペグマタイト-アプライト岩床(C3ピット)。

上盤側の周縁相に現れる。これが日本の阿武隈ペグマタイトなどの周縁重鉱物相に相当する。上盤側リチウムゾーンは厚さは北方へ減少する傾向がある。主にカリ長石からなるカリウムゾーンは鉱体中心の上盤側にのみ現れ、その厚さは北方へ減少する。主にアルバイトからなるナトリウムゾーンは鉱体中心の下盤側に産出する傾向がある(第5図)。一般的に知られているペグマタイトの中核を構成する石英塊は当鉱

床では存在しない。有色鉱物では電気石が目立つ(写真6)。

北部鉱床は単純構成鉱物からなるペグマタイト岩脈やポッドを伴う。ここでは一般にアルバイト>カリ長石であり、リチウムが減少し、錫・タンタル、そしてK/Rb, Sr/Rb, K/Li, Nb/Taが増加する。ペグマタイトの周縁部はアプライト質で粒状組織を示す。各ゾーンの構成鉱物は次の通りである(Partington et al.,



第5図  
Greenbushesペグマタイト鉱床に見られるゾーニング (Partington et al., 1995).



写真6 電気石(黒色)が目立つペグマタイト鉱石(坑内鉱石).

1995).

接触変成帯 >860℃: アルバイト, 石英, 電気石, 黒雲母, 柘榴石, 錫石, Ta 鉱物, ジルコン, スカポライト

ナトリウムゾーン >860℃: アルバイト, 電気石, 石英, リシア輝石, 錫石, Ta 鉱物, 白雲母, ジルコン, マイクロクリン

カリウムゾーン >700℃: マイクロクリン, ペルト長石, 石英, リシア輝石, 電気石

リチウムゾーン >690℃: リシア輝石, 石英, 燐灰石, 電気石, ペルト長石, Ta 鉱物

当鉱山にとって最も重要な Sn-Ta 鉱化作用はナトリウムゾーンに錫石・タンタライトとして見られる。少量の鉱石鉱物としてパイロクロア族の Ta 鉱物であるマイクロライト (Na, Ca)<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (O, OH, F), タピオライト (tapiolite, FeTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), ウオッジナイト (Ta, Nb, Sn, Mn,

Fe)<sub>15.78</sub>O<sub>32</sub>}, holtite (Al, Sb, Ta)<sub>7</sub> (B, Si)<sub>4</sub>O<sub>18</sub>, アンチモンを含むタンタライトである stibiotantalite などがある。カリウムゾーンは径 80cm 以上に達するペルト長石の巨晶が目立つが、鉱石含有量は微量に過ぎない。

リチウムゾーンは Li 資源として最重要であり、それは鉄に乏しい種類のリシア輝石 (LiAl (Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)) を主とし、アパタイト・石英から構成され、5% Li<sub>2</sub>O に達する品位を持つ。リチウム白雲母は随所に見られるが、リチウムペグマタイトで一般的なりシア雲母 (lepidolite), 葉長石 (petalite, LiAlSi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sub>2</sub>), アンブリゴナイト (amblygonite (LiAl (F, OH) (PO<sub>4</sub>))), ユークリプトナイト (eucryptite, LiAlSiO<sub>4</sub>) などは産出しない。このゾーンは石英-リシア輝石の文象組織で特徴付けられ、ペグマタイト岩体の周縁相であることを示している。

### 4.3 化学的性質

鉱石・母岩などの平均化学分析値を第3表に示す。鉱体別では SiO<sub>2</sub> 66.6-70.1%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14.3-15.7%, アルカリは幅広く変化するが、一般に Na<sub>2</sub>O > K<sub>2</sub>O である。アルミナ飽和指数 (A/CNK, モル比) は高く (1.12-1.29), S タイプ花崗岩の領域である 1.1 より大きい。主要鉱体と比較して北部鉱体は Li, Cs, Rb に乏しく, Sn, Ta, Nb, As, U, Th などの重金属元素に富んでいる。

鉱石ゾーン別では、ナトリウムゾーンが Na<sub>2</sub>O 6.1% と高く, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 6.9 である。カリウムゾーンは逆に K<sub>2</sub>O が 5.75% と高く, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 0.4 である。カリウムゾーンではカリ長石の K<sup>+</sup> を置換する Rb (1.2%),

第3表 Greenbushes 鉱床における鉍石・花崗岩などの化学分析値 (Partington *et al.*, 1995).  
苗木花崗岩は Ishihara and Murakami (2006) による.

	鉍石・鉍体							花崗岩類			苗木岩脈
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SiO <sub>2</sub> (%)	69.14	66.64	70.14	68.75	74.57	68.48	73.74	73.75	75.68	76.90	76.46
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.07	0.06	0.07	0.04	0.06	0.19	0.11	0.04		0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.67	15.66	14.28	13.93	13.20	15.06	13.94	13.91	13.20	13.40	13.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.31	1.74	1.14	0.73	0.84	1.60	0.85	2.00	1.64	1.20	1.04
MgO	0.23	0.27	0.22	0.28	0.40	0.23	0.16	0.40	0.13	0.20	0.02
CaO	0.97	1.40	0.79	0.31	0.39	1.28	0.45	1.73	1.17	1.26	0.58
Na <sub>2</sub> O	4.82	6.53	4.14	2.27	1.33	6.10	2.57	3.72	3.86	3.92	4.11
K <sub>2</sub> O	2.07	0.66	2.64	5.75	4.78	0.89	1.50	3.92	4.05	3.00	4.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.61	0.96	0.47	0.22	0.22	0.82	0.20	0.03	0.05	0.04	<0.01
Li (ppm)	2,325	955	2,873	907	1,460	1,008	12,734	12	10	10	n.d.
Cs	501	219	613	1119	612	308	374				23
Rb	4,159	1,160	5,358	11,999	9,114	1,693	2,656	134	129	104	428
Sr	65	55	69	131	95	47	34	251	84	130	2.0
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	183	246	158	88	93	233	86				4.2
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	132	192	107	33	55	178	61				39.9
Sn	707	1,363	444	12	224	1,000	179	1.68	1.5	2	6.2
Be	125	129	123	31	126	146	74				n.d.
Zr	27	42	20	8	6	36	11.5				2.8
Ni	2-25	14	11	12	10	12	12				2.8
As	79	141	45	31	4	104	60				3.8
U	12.6	21.4	10	6.6	4.7	16.3	6.2				9.6
Th	11.3	25.3	7.2	2.3	3.3	16.5	3.1	34.7	24	27	51.7
K/Rb	4.1	4.2	4.1	3.9	4.3	5.9	5.2	356	305	267	87.0
K/Li	7.4	5.8	7.1	93.6	29.3	14.1	4.8	3,520	7,582	4,339	n.d.
Nb/Ta	0.7	0.8	0.7	0.4	0.6	0.8	0.7				9.5
Rb/Sr	64	21.1	77.7	100	100	8.3	33	0.2	1.3	0.5	214
A/CNK(モル)	1.23	1.12	1.29	1.32	1.64	1.13	2.09	1.03	1.03	1.12	1.00

1.グリーンブッシュペグマタイト, 2.北部ペグマタイト, 3.主ペグマタイト, 4.カリ長石ゾーン, 5.グライゼン化ペグマタイト, 6.アルバイトゾーン, 7.リチウムゾーン, 8.黒雲母花崗岩, 9.片麻岩, 10.準片麻岩, 11.苗木ペグマタイト-アプライト複合岩脈, 苗木岩脈は, Ishihara and Murakami (2006) による.

Cs (1,119ppm) などが多く含まれ, Sn (12ppm) などの重金属元素に乏しい. リチウムゾーンは1.3% Liを含んでいる. リチウムゾーンのアルミナ飽和指数は最も高く(ASI=2.1), ここには紅柱石などのアルミナ鉱物が含まれている可能性がある.

これらに対して鉱床近傍の花崗岩類は若干パーアルミナスであるに過ぎない(ASI=1.03). ルビジウムに乏しく(134ppm Rb), Rb/Srは低く(0.2), 結晶分化

が進んだマグマから晶出したものではなさそうである. この点は日本の苗木地方の黒雲母花崗岩から分化したペグマタイト-アプライト岩脈の一例(第1表, no.11)と比較すると明瞭である. グリーンブッシュ鉍体の化学分析値は母岩の片麻岩や近傍の花崗岩類とは明らかに異なった性質を示しており, 独自のマグマ起源を持つものと考えられる.



## 5. グリーンブッシュ ペグマタイトの成因

SHRIMP法によるジルコンのU/Pb年代は、グリーンブッシュ鉱床について2,527±2Maが得られている。一方、近くのLogue Brook花崗岩体からのジルコンは2,612±5Maを示し、約85Maの年代差がある。また、ペグマタイトの総容積量は1.2km<sup>2</sup>と見積もられ、これを結晶分化作用で作るためには80km<sup>2</sup>以上の親マグマが近傍か地下深部に必要である。このような岩体は現在のところ発見されていない(Partington *et al.*, 1995)。これらを総合するとグリーンブッシュペグマタイト マグマは独自に発生し、貫入した可能性が高い。

グリーンブッシュ ペグマタイトは左横ずれのダニーブルックーブリッジタウン破碎帯の中央部に位置し、その生成時期はこの破碎活動の最盛期に当たる。母岩は上部角閃岩相に相当する広域変成作用を受けており、熱流量が高い異常な環境下に存在していた。このような時期に大陸地殻内部の珪長物質が小規模に部分溶融してマグマが生じ、破碎帯沿いの上方へ移動し、比較的深所で固結したものと思われる。

## 6. あとがき

グリーンブッシュ ペグマタイトは既述のように、始生代末期から古生代に至る間歇的な左横ずれ破碎活動の中で、広域変成作用が上部角閃岩相まで上昇した時期に、大陸地殻の珪長質部分が溶融して生じた簡溶性マグマから生成したものと考えられる。その形成には先カンブリア時代ならではの時間を必要としており、恐らく環太平洋地域の若い造山帯にはこの種の鉱床は期待できない。その意味で非常に貴重な得がたい資源である。

同様な鉱床はオーストラリア北西部のピルバラ始生代地塊のペグマタイトに見られ、マウントキャンシテライトでは精鉱生産量として1904-1998年にTa 308トン、Sn 193トン、残存鉱量としてTa<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,070トン、SnO<sub>2</sub> 8,785トンが得られている。またウオッジナ鉱床では、

1905-1994年にTa 308トンの生産があった(石原, 2003)。

世界第二位の生産量を持つブラジルではカーボナタイトに伴われるパイロクロア(Na, Ca)<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(O, OH, F)が風化残留物に濃集し、そこからニオブを回収している。この鉱物は同族のマイクロライト(Ca, Na)<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(O, OH, F)を含むのでタンタルを回収することが可能である。この両者とも環太平洋地域の造山帯には産出しない。私達、若い造山帯の住人にとっては、マレー半島で見られたようにタンタルに富む錫石を発見し、そのスラッグを利用することが身近な供給源と考えられる(2007年稿)。

## 文 献

- Bettenay, L. F., Partington, G. A., Groves, C. F. I. and Paterson, C. (1988) : Nature and emplacement of the giant rare-metal pegmatite at Greenbushes, Western Australia. Proc. 7<sup>th</sup> IAGOD Sym., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 401-408.
- Cobbing, E. J., Pitfield, P. E. J., Darbyshire, D. P. F. and Wallick, D. I. (1992) : The granites of the South-East Asian tin belt. British Geol. Surv., Overseas Mem. 10, 369 p.
- 石原舜三(2003) : 西オーストラリアのピルバラ始生代地塊に見る花崗岩類と金属鉱床：特に酸化・還元状態の評価。地質ニュース, no.588, 4-22.
- 石原舜三(2007) : 新しい始生代花崗岩類の分類法。-西オーストラリア州、イルガン地塊を訪ねて-。地質ニュース, no.630, 42-55.
- Ishihara, S. and Murakami, H. (2006) : Fractionated ilmenite-series granites in Southwest Japan: Source magma for REE-Sn-W mineralization. Resource Geology, 56, 245-256.
- Ishihara, S., Sawata, H., Shibata, K., Terashima, S., Arrykul, S. and Sato, K. (1980) : Granites and Sn-W deposits of Peninsular Thailand. Mining Geology Special Issue, no. 8, 223-241.
- 南 博志(2008)レアメタル2007(5)タンタルの需要・供給・価格動向等。金属資源レポート。34, 79-84.
- Partington, G. A. (1990) : Environment and structural controls on the intrusion of the giant rare metal Greenbushes pegmatite, Western Australia. Econ. Geol., 85, 437-456.
- Partington, G. A., McBaughton, N. J. and Williams, I. S. (1995) : A review of the geology, mineralization and geochemistry of the Greenbushes pegmatite, Western Australia. Econ. Geol., 90, 616-635.

ISHIHARA Shunso (2009) : To visit the Greenbushes pegmatite and tantalum resource of the world.

<受付：2008年11月4日>