セシウム鉱物資源

松 田 亀 三*

Cesium: its mineral resources

By

Kamezo MATSUDA

I. 利用の状況

1. 金属の性質

金属セシウムは銀白色、蠟の様に軟かい金属で圧力を受けるとゴム状となり、 $1/2$ の容積に迄圧縮される。アルカリ金属中最も反応性が大きく、水に触れて爆跳し湿った空気に接すれば自然着火する。他のアルカリ金属と比べると諸性質は第1表のようになる¹⁾。

第 1 表

種名	原子量	比重 (20°C)	融点 (°C)	沸点 (°C)	イオン 化電圧 (V)	イオン 半径 (Å)
Li	6.94	0.53	186.0	1336	5.39	
Na	22.99	0.97	97.5	883	5.14	0.98
K	39.10	0.86	63.7	758	4.34	1.33
Rb	85.84	1.53	38.5	700	4.18	1.48
Cs	132.91	1.90	28.5	670	3.89	1.65

Cs に光を当てると自由電子が放出される光電効果は、既に30年も前から電子管に応用され、現在では真空管、増幅管、シンチレーション計数管、写真露光計、光電管、暗視野照準器（夜間監視装置、Sniperscope）等に Cs 塩類が用いられ、その消費は着実に伸びては居るが、日本の消費は塩類として5～6 Kg/月程度であり、鉱石から金属や塩類の抽出は行なわれて居ない。

上表から見ればアルカリ金属中 Cs は、イオン半径最大、イオン化電圧最低、熔融点最低、原子量最大等の性質があり、之の特質を生かす調査研

究が専ら行なわれて居るのがその現状である。

2. 調査研究の状況

主として行なわれて居るものには3つある。

1) 熱電子発電器 (Thermoionic Generator)

Cs ガスを封入した真空管内でタングステン板を加熱すると Cs から熱電子が放出され、電流が生じ得る。ソ連邦では kW 級のものの開発に成功したと伝えられる²⁾。

2) 電磁流体発電法 (Magnetohydrodynamic

Generation, 略称 MHD 発電) 此原理は既に1831年 FARADAY により考案され、磁場間に導電体としての水銀を移動させて電流を検定し得る事を示したが、現在より約20年前迄は全く顧みられなかった。近年 MHD 発電によれば熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換可能であり、従来の廻転部分のある発電設備より遙かに高能率と考えられるので1960年には米国でアルゴンプラズマを用いて10 kW の発電を数秒間得た³⁾。日本政府も昭和41年度より7年間に156億円の研究開発費を投入する事になったと云う⁴⁾。

1970年、ソ連邦はモスクワに8 MW の火力と MHD の複合発電所の運転を始め、米国も50 MW のものの建設を計画⁵⁾、カナダ政府も1500 MW のものの研究開発に3億弗の支出を許可したと報ぜられた⁶⁾。MHD 発電の作働流体としては種々のイオン化燃焼ガスから成る導電性プラズマを磁場に直交して超音速で流し、生じた電流を採り出すのであるが、其燃焼ガスの熱電離を促進する為に、イオン化電圧の最も低い Cs を、炭酸塩で1～2%混入(Seeding, 種蒔き)する。600 MW の

* 国際鉱産 コンサルタント。 International Minerals Survey.

発電には初回装入量として100万 lb. (500 s.t.)、操業には700万 lb./Yr (3500 s.t.) の Cs_2CO_3 が必要と云われる⁷⁾。猶 1958 年カナダで Cs 鉱床が発見されたが、ソ聯邦は 67~71 年に亘り鉱石 450 t の買付を行ない、更に増量の見込で之の大部分は MHD 発電に使用される筈と云われる⁸⁾。

3) イオンロケットエンジン Cs 蒸気が加熱した多孔質板から拡散して正荷電イオンとなり、その高温高压のガス気流が更に電場間に於て加速されると時速 48 万 km の高速を示す事となり、之をノズルから噴射させると、強烈な推進力を展開できる。

ソ聯邦では、1964 年 3 人乗りの宇宙船に之を用い、Voskhod 号では、1 回の航行に Cs 数 t を消費すると謂われる⁹⁾。米国では航空宇宙局(N. A.S.A.)が 1968 年実験衛星—D に搭載した¹⁰⁾。

3. 需要見込

Cs の生産は米国では 1961 年から発表を禁止されて居るが、まだ戦略備蓄物資には入って居ない。1961 年の数字を基礎にして、米国鉱山局が 68 年及び 2000 年の米国に於ける Cs の需要見込を行なった数字は第 2 表の様である¹¹⁾。

第 2 表

需 要	1968 年 需要量 (lb.)	2000 年需要量予想 (lb.)	
		大	小
製 薬	300	500	200
電 子	700	3,500	1,500
研 究 開 発	4,500	30,000	8,000
其 他	500	3,000	1,000
計	6,000	37,000	10,700

米国では嘗つてポラックス石¹²⁾ 50 t 程度を採掘した事もあるが、現在は採掘終了状態であり、ポラックス石はロデシアから、塩類は主として西独から輸入して居た。米国鉱山局の報告では 1968 年もポラックス石の自由世界年産は、20 t 程度で今後の研究開発の動向により著しい増産が見込めるとして居たが、モザンビークでは 1969~70 年に其数倍を産出して居り¹³⁾、意外に早く需要の増大が期待されるのではないか。その予想では 2,000 年に於て甚だ需要が伸びた時には、各国の需要量も

同程度に伸びるとして 1968 年度推定の 6 倍程度 68,000 lb (34 s.t.) を考えて居る。

II. セシウム含有鉱物

Cs は花崗岩質ペグマタイト、特に晩期熱水性複合ペグマタイト中の加里を含む鉱物中に、Rb と共に濃集する。火成岩の平均含有量は 1 p.p.m 以下に過ぎないが¹⁴⁾、花崗岩では 115 p.p.m に達するものがある¹⁵⁾。水成岩形成の過程では粘土に吸着される事が多く、水成岩平均は 4 p.p.m となつて居る。Strunz によると Cs 含有鉱物は 5 種があげてある。

1. ポラックス石(後出)
2. ローディザイト(Rhodizite)
等軸, $H=8$ $G=3.4$
色彩, 白—灰, $N=1.694$
成分, $(\text{Cs}, \text{K}, \text{Rb}) \text{Al}_4 \text{Be}_4[\text{B}_{11}\text{O}_{26}(\text{OH})_2]$, $\text{Cs}_2\text{O}=7.54\%$
3. CsBF_4 人工鉱物 斜方
4. $\text{Cs}[\text{FeSi}_2\text{O}_6]$ 人工鉱物 等軸
5. Cs-carnotite 人工鉱物 単斜 成分
 $\text{Cs}_2[\text{UO}_2\text{I V}_2\text{O}_8]$

現在ポラックス石だけの採掘は行なわれて居ないが、自由世界で鉱石として扱われるのはポラックス石だけと思われて居た。併し昨年ソビエトロシアでは、アルタイ山地のアルカリペグマタイトからセシウムクプレカイトと云う新鉱物を発見し、ポラックス石に次ぐ Cs 鉱石になり得るものと発表した¹⁷⁾。之はクプレカイト(Kup letskite , $(\text{KNa})_3(\text{MnFe})_7(\text{TiNb})_2[\text{Si}_8(\text{O}\cdot\text{OH})_{31}]$)で Cs_2O 11.6% を含み、三斜系、星葉石—蛭石状、黄金褐色、劈開完全、 $H=4$, $G=3.68$, であると云う。

其他 Cs を含む鉱物としては Cs 鉱物を含むペグマタイトから産する鱗雲母 (Cs_2O 0.08~0.7%), 白雲母 (0.06~0.2%), 黒雲母 (0.3~3.5%), 緑柱石 (0.5~7.5%), 微斜長石 (0.11~0.14%), 曹長石 (—0.28%) 等がある。

海水中では苦汁に集中し、スタッフルト産カーナライト ($\text{K}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Cl}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) に CsCl 0.8%¹⁸⁾、又山口県福川塩田産海水には Cs として 10~2 × 10⁻³ mg/l 含まれる報告がある¹⁹⁾。

猶鉱石ではないが、嘗つて米国でロデシア産鱗

雲母から Li を抽出し、その残渣は ALKARB (Alkali carbonate の商品名) と称され、 Cs_2CO_3 2~3% を含むので米国では、Cs の貴重な資源と見做されたが、ボラックス石の出現により寧ろ Rb 原料(Rb_2CO_3 20~25%)として重視され²⁰⁾、現在は使用されて居ない。

III. ボラックス石の性質

本鉱物は石英に酷似することにより有名であり、産出極めて稀と思われて居たが、石英と区別困難の儘放置されて居り、それほど稀産ではなくなつて来た。

1. 物理性

結晶形：等軸晶系に属するが結晶形を示すものは殆んどない。ペグマタイトの最終期である Cs 交代作用の結果として、塊状、又電気石、黝輝石、葉長石、アンブリゴン石等の仮晶を為す例がある。

劈開：殆んど認められない。

光沢色彩：石英に酷似するが、無色硝子状のものと、不透明で白色一弱帯紅白色、長石状のものとある。長石状のものは白色緑柱石、加里長石、葉長石、アンブリゴン石等との区別が必要である。又ボラックス石は、風化すると K_2O の大部分は残るが其他のアルカリは流亡して、 Cs_2O 9

%を含む軟質、白色、カオリン状の物質に変わる²¹⁾。風化面を細かに見れば石英とは区別出来る筈であるが、坑内ではまず不可能であろう。

硬さ：モース硬度 6.5 となつて居るが大部分のものは 5~6 の間にある。

比重： $G=2.68\sim 2.98$ で Cs_2O の含有量の高いもの程比重が大である。

屈折率：鏡下での屈折率は硝子状のものも、長石状不透明白色のものも、共に等質で、石英長石の共生体を含む事が多く、 $N=1.507\sim 1.527$ 間に変化し、含有水分が増加すれば屈折率は減少する。此屈折率ならば曹長石($\alpha=1.527$)より多少低く、杉油($N=1.516$)よりは少し高いと云う事になる。勿論クローブ油、バルサムよりは低い。

紫外線：紫外線を照射すると白色又はピンク色の螢光を発するものがあり、米国メイン州のものは長波(3650 Å)で、淡オレンジ色を出す、短波(2537 Å)では反応がないと云う²²⁾。決定的な試験方法ではない。

熱発光：全く研究が無い。

X線：粉末回折法が最もよく使われる。単位格子の大きさは $13.63\text{Å}\sim 13.65\sim 13.68\text{Å}$ である²³⁾。

2. 化学性

冷塩酸には徐々に溶解して粉状珪酸を分離する。焰色を分光器に通すと 4355Å と 4593Å の輝青

第 3 表

産 地	N	G	SiO_2	Al_2O_3	Cs_2O	Rb_2O	Li_2O	K_2O	Na_2O	H_2O	計		
カナダ① マントバ	1.520	2.88	44.7	14.9	36.2	0.10	0.05	0.06	1.74	1.44	100.09		
スエーデン② バルトレスク		2.917	46.28	16.71	30.77	1.60	0.25	0.51	1.87	1.80	100.08	P_2O_5 0.25	F 0.03
南西阿③ カルビブ	1.517	2.865	45.7	17.2	30.2	+ K_2O 1.3			2.8	2.66	99.86		
ロシア④ ビキタ			47.09	17.41	26.60	0.91	0.41	2.00	3.02	2.20	99.94	P_2O_5 0.30	
米国⑤ メイン州	1.507	2.68			24.48					3.80			
米国⑥ ダコタ州			47.88	17.96	23.46	1.06	0.12	1.06	3.58	3.82	99.44	CaO 1.04	MgO 0.38

① E. H. NICKEL(1961), *Dept. Min. Tech. Surv. Can.* T. B. 20, June.

② P. QUENSEL(1956), *Arkiv. Min. Geol* 2(2), p. 9-125.

③ H. J. NEL(1944), *Amer. Min.* p. 443-51.

④ D. G. COOPER(1964), *Geol. of Some Ore Deposits of So. Afr.* Vol. 2, p. 460.

⑤ W. E. RICHMOND, F. A. GONYER(1938), *Amer. Min.* p. 783-9.

⑥ G. M. SCHWARZ(1930), *Econ. Geol* p. 275-84.

線の確認が出来る。

ボラックス石の表面を弗化水素酸で侵し、之に KBiI_4 の試薬を1滴落せば $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$ の緋色の沈澱を生ずる²⁴⁾。此反応は薄片上の染色にも用いられるが、弗酸は危険であり塩酸処理が適當である。低品位鉍の場合には鏡下に $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$ の結晶の確認を行う²⁵⁾。

上記反応は弗酸の代りに弗化アンモンで鉍物粉末を熔融しても同様な反応が見られる。

化学成分、無水物としての $\text{CsO} \cdot \text{A}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ($\text{Cs}_2\text{O}=45\%$) は天然には産せず、天然産は何れも Na_2O , H_2O 等を含み、 $\text{H}_2\text{O}(\text{Cs} \cdot \text{Na})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ として $\text{Cs} : \text{Na}=5:2$ の場合は $\text{Cs}_2\text{O}=31.4\%$ となる。STRUNZ²⁶⁾ はその化学式を $[(\text{Cs} \cdot \text{Na})(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\text{H}_2\text{O}]$ として居る。

分析例を第3表に挙げる。

之を要するにX線粉末回折法が利用できれば問題は無いが、湿式定性反応と鏡下の性質で充分決定できる筈である。

IV. 含ボラックス石ペグマタイト

現在セシウムの需要も微々たるもので、従つてボラックス石だけを採掘する鉍山はない。有名産

地は何れもタンタライト、リシウム鉍、緑柱石等を採掘し、その副産物としてボラックス石を産出する。ソ連邦ではボラックス石の大鉍床存在の発表はないが、曹灰長石—金雲母脈をも鉍床に含めて居り²⁷⁾、セシウム鉍物資源の探査に極力努めて居る様に見られる。

之等の鉍床を通覧するに、大規模のものは2つの著しい特徴がある。1つは何れも先寒武系中の花崗岩に伴うペグマタイトで旧期(ソ連邦及びボロデシア²⁷⁾)のものも新时期(南西阿²⁸⁾及びモザンビーク²⁹⁾)のものもある。次いで、ペグマタイトは何れも累帯配列をする複合型のもので、リシウム鉍物の黝輝石、特に鱗雲母を伴い、帯青色片状—糖晶状曹長石(クリーブランド石)を伴う特徴がある。此のペグマタイトの貫入した急冷相の部分の雲母の微量成分の検討はペグマタイト中にボラックス石の伏在を推定するには極めて有力な手段で³⁰⁾、GORDIYENKO はペグマタイト中の微斜長石と白雲母の分析を薦めて居る³¹⁾。産地の概要を次に紹介する。

1. カナダ、マニトバ州 Bernic Lake

位置：ウィニペグ市北東110 km.

沿革：探鉍目標が決らない為に開山迄約40年経

Isopach map of the Montgomery Pegmatite, Bernic Lake, Manitoba.

第1図 試錐分布図(等層厚線図) C.M. WRIGHT(1963)による

VERTICAL CROSS SECTIONS OF THE MONTGARRY PEGMATITE,
BERNIC LAKE, MANITOBA

第2図 断面図 C. M. WRIGHT (1963) による

— Schematic Plan of the Economic Mineral Assemblages.

第3図 坑道探鉱図 A. C. A. HOWE & J. C. ROWNTREE (1969) による

過し、探鉱費だけで100~150万弗を費した。

1929年 錫石調査の為堅坑掘下げ。

1930年 試錐1本で黝輝石を確認。

1954~57年 CHEMALLOY 社、試錐44本、26000呎、堅坑掘下げ308呎地並迄。

1957年後半に AMAX 社が探鉱オプション、

1958年試錐21本6693呎、同社技師 HUTCHINSON がポラックス石帯を確認したがオプションは放棄。

1959~61年 CHEMALLOY 社 坑内探鉱、堅坑掘下げ339呎地並迄、水平坑道、7,680呎、坑内試錐182本、猶ポラックス石及び緑柱石帯確認の為の地表試錐19本6,584呎を実施したが、62年休山。

1967年 GOLDFIELD CORP. N.Y. 社の援助の下に探鉱再開。

1969年 タンタル鉱山会社を設立しタンタライ

ト鉱 500 t/d の選鉱場を設け操業に入った。生産開始迄の総起業費は 930 万弗、開発に踏み切った時の鉱量は 190 t、 Ta_2O_5 、0.23%であった⁸²⁾。

鉱床：此地方は氷河堆積物と湖水だけで露頭は殆んど無いので試錐で鉱体の形を推定した。(第1図 試錐分布図)⁸³⁾

母岩は先寒武系片麻岩、角閃岩で之等を貫く花崗岩質ペグマタイトが鉱床をなし、その過半は湖底下に在る。ペグマタイトは横臥円盤状、走向略東西、傾斜北方 15° 、その大きさは直径 450 m、厚さ最大 85 m である。母岩の斜長石角閃岩は、ペグマタイトに接する部分だけが電気石化作用を蒙り、之に接するペグマタイトの急冷相の部分は石英斜長石の集合体になって居る。

此のペグマタイトは複合型で、急冷部から岩体内部に向つては結晶粗大となり、ペルト石で長さ

4 呎, 黝輝石, アンブリゴ石で長さ 3 呎に達する。ペグマタイト内部は次の 5 帯に分類される(第 2 図参照)⁸⁴⁾。

- 1) ペルト石—石英—斜長石 白雲母 内壁部
- 2) 黝輝石—ペルト石—斜長石—石英 中間帯
- 3) 黝輝石—石英 //
- 4) 微斜長石—石英 //
- 5) 石英 内核部

内核部と中間帯の間にレンズ状に含まれる半花崗岩質クリーブランド石は、糖晶状の集合体で厚さ 13 m に及ぶ指示相をなし、之に近く産する細粒緻密のポラックス石帯及び鱗雲母帯は、HUTCHINSON によると交代性成因と考えられると云う。猶 HOWE, ROWNTREE によれば、鱗雲母中には Ga 成分が一様に分布し、0.1~0.2% Ga を示すと云う事実は、鉱物種名の決定迄は行なっていないが、甚だ注目に値する。随伴鉱物としては、貫入部周辺のみに見られる緑柱石、又上記クリーブランド石岩体の周辺に伴うものとしてタンタライト、チンワルド雲母(ラベンダー色)、錫石(黄—ピンク色)、柘榴石、電気石等がある。ポラックス石鉱体は延長 180 m, 最大厚さ 13 m のレ

ンズ状をなし、他に小鉱体が 2 つある。ポラックス石だけの単一組成で、粒径 1 cm 以下のものの集合体である。

鉱量：試錐数本だけで推定した鉱量は坑道探鉱してからのものとは品位に於て多少の相違があり(第 3 図 坑道探鉱図参照)。当初は埋蔵鉱量として 30 万 t Cs_2O 20.4%⁸⁵⁾と発表されたが、最近の発表では 293,863 t, 品位 Cs_2O 23.67% となつて居る。最近現鉱体の下部 150 呎に試錐で、更に新しいペグマタイトを捕捉したので⁸⁶⁾上記の数字は増加の見込である。

2. ロデシア, マシヨナランド州, Bikita³⁷⁾

位置：ソルスベリ市の南微東 170 km, Fort Victoria の東 50 km である。

沿革：1911 年 Bikita 錫鉱地帯に現地残留性錫石、タンタライトの存在が明かになり、鉱区設定が行なわれた。1916 年~1950 年間に錫石, 200 t, タンタライト 100 t を産出したが、此間に緑柱石、葉長石等が発見され採掘対象が之に移つた。1952 年 SELECTION TRUST 社が之に興味を持ち探鉱契約し, BIKITA MINERALS を設立、之に AMAX 社と AM. POTASH CHEMICAL 社が加わり、20

Geology on 900-ft level horizon, Al Hayat and Bikita sectors.

第 4 図 ビキタ鉱山 900 呎地並地質図 R. SYMONS (1961) による。

Geology on 1000-ft level horizon, Bikita sector.

第5図 1000呎地並地質図 R. SYMONS (1961)による

Section (A-B) through Bikita sector on section line 2N.

第6図 AB線断面図 R. SYMONS (1961)による。

カ月間の探鉱の結果、鱗雲母鉱の採掘だけで投資可能と考えて、開発に踏切った。契約終了後は3地並で14,877呎の坑道探鉱を行ない、5000 t/週の選鉱設備を以つて出鉱を始めた。此間ボラックス石の産出は、1953年からで数 t/Yrであつたが、1962年 20 t, 1964年 26 t (Cs₂O 27%)の産出が報ぜられたが³⁹⁾、1966年からは産出が無い。1959～65年間には 160 t を産した³⁹⁾。

鉱床：先寒武系基盤岩類のメンバーである緑色岩類を貫く花崗岩質ペグマタイト（絶対年代26億5000万年、始生代）が鉱床となつて居り、複合累帯構造を示して居る。その走向略南北、傾斜東方14°～45°の板状体で探鉱終了部分は全長8 kmの内延長1600 mで、厚さ30～65 m、北半の Al

Hayat 区は葉長石を採掘し、南半は鱗雲母を採掘する（第4、5、6図参照）。

母岩の緑色岩は変質塩基性噴出岩で、地表では緑色粘土に変化し、ペグマタイトの貫入による変質作用は上盤側だけに見られ、電気石、黒雲母等が生じて居る。ペグマタイトその物は地下20 m迄は風化霉爛するが、累帯構造の内核部である塊状鱗雲母帯は風化に耐え、残存して屹立した急崖となる。累帯構造は内壁部、中間帯、内核部とに分れ、中間帯では葉長石の長さ2 m、厚さ30 cmに達するものを産する。此のペグマタイト中に産する鉱物は30種に達するが、採掘して居るものは葉長石、黝輝石、アンブリゴン石、ユークリプト石、緑柱石、タンタライト、マイクロライト、錫

石で、随伴鉱物にはビキタ石、シンプソン石、ユークセン石、ヘルパイト、燐灰石、黄玉等がある。

ボラックス石は肉眼で不純物が殆んどない様なものでも、 SiO_2 40%内外を含む事があり、粗鉱品位は Cs_2O 6~30%に変化する。

鉱量：米国鉱山局の発表によると⁴⁰⁾、鉱量15万tと発表して居るが品位は未詳である。

3. 南西アフリカ Karibib 及び Omaruru 地方

位置：ウィンドフック市の北西 100 km 周辺である。ボラックス石の認められた Helicon 鉱床は、Karibib の東南東 21 km, Okongawa Ost 農園の北東端に在る⁴¹⁾。

沿革：当地方は古くから知られたペグマタイト地帯で Erongo の錫鉱は1929年から、Karibib のリシウム鉱は1932年から開発され、ボラックス石の存在は1944年に報告されたが1966年からはその産出は無い⁴²⁾。

鉱床：当地区は先寒武系の褶曲した苦灰岩、珪岩等の變成岩類を貫く花崗岩質ペグマタイトが多数産する部分で、米国地質調査所の CAMERON 技師は白雲母、緑柱石の調査を目的として、約60本のペグマタイトを踏査して居る⁴³⁾。

当所のペグマタイトは新旧 2 期の花崗岩の内、新期のものに伴い、何れも累帯構造を示し、幅 30 cm 以下の急冷相より内部に向い、内壁部、中間帯、内核部が見られる。その大きさは延長 40~450 m、幅 2~180 m で著しく大きいものではない。主な採掘対象である緑柱石は白-緑-黄金黄色を示し、之の採掘で賄えなければ他の随伴鉱物では到底採算迄には至らないと云われる。主な随伴鉱物は葉長石、アンブリゴン石、タンタライト、錫石、マイクロライト、自然蒼鉛、電気石(紅色)、黄玉(青色)等があり、内核部の石英帯を囲んで鱗雲母を産する。

ボラックス石は Helicon ペグマタイト試掘地で、石英内核部と上盤アンブリゴン石帯との中間に延長 10 m、幅 3 m で露出し、数立方メートルの掘跡が在る。

鉱量：米国鉱山局の発表によると⁴⁴⁾鉱量 5 万 t (品位不詳)を挙げて居るが Helicon のものだけ

では無理である。

4. モザンビーク、ザンベジア州, Alto Ligonha 地方

位置：海港の Beira、及び Lumbo の中間の Mocuba 部落から、その北東 180 km の Alto Ligonha 部落を中心とするペグマタイト地帯である。

沿岸：詳しい沿革はわからないが 6 鉱山でタンタライト、緑柱石等を採掘し⁴⁵⁾ていたり、中止したり⁴⁶⁾して居る。ボラックス石の生産は緑柱石、鱗雲母の生産に伴い1961年 6 t、1969年 200t、1970年 100 t と報告されて居る⁴⁰⁾。

鉱床：先寒武系後期の花崗岩、花崗片麻岩、變成片岩類が基盤をなし、之を貫いて多数のペグマタイトがある⁴⁸⁾。何れも複合ペグマタイトで、鱗雲母、アンブリゴン石、タンタライト、緑柱石、蒼鉛、雲母等が稼行されるが、花崗岩中のペグマタイトには有用鉱物を欠き、變成片岩類中のペグマタイトには有用鉱物を産すると云う。その大きさは延長 200~1000 m、幅 10~250 m である。HUTCHINSON の調査当時にはボラックス石は報告されてはなかつたが1961年に始めて 6 t を輸出し、副産物としての生産が見られる様になった。だがその賦存状態に就いての報告はない。

鉱量：発表されたものはない。

5. その他の諸国

スエーデン：北部スエーデン Varuträsk のものは先寒武系を貫く複合型黝輝石ペグマタイトで、Cs 交代作用により葉長石を交代してボラックス石が産出し、鉱化作用の最末期にクリーブランド石が出来て居る⁴⁹⁾。ペグマタイトの大きさは走向延長 60~400 m、幅最大 100 m で数本存在する。主な Cs 鉱体は、楕円形乃至不規則形塊状をなし、ボラックス石の集合体は延長最大 10 m 程度、幅 0.5~8 m で 10 個見当賦存する様である⁵⁰⁾。鉱量品位は未詳だが大きいものではない。

アメリカ：4 州にボラックス石の産地があるが略採掘終了と見てよいのであろう。

日本：福岡市今宿長垂には戦時中にリシウム鉱を採掘した跡があり、その研中から桑野範行氏により本邦初産のボラックス石が報告された⁵¹⁾。その決定には、粉末 X 線曲折法と赤外線吸収スペク

トルを使つてある。

地質は後期白亜紀の花崗岩と之を貫くペグマタイトから成り、ペグマタイトは35~36本在るが長垂トンネル西口に近いものだけがリシウム鉍を含む。昭和15年から Li_2O 2%の鉍石200を出鉍して採掘終了したと云う⁵²⁾。ペグマタイトに産する鉍物としては鱗雲母、アンゴリゴン石、葉長石、緑柱石(白一バラ紅色)、クリーブランド石等が見られるが、鉍量品位は未詳である。

V. 鉍石の処理工程

1. 採 鉍

ペグマタイトの産状により露天掘りなり、坑内掘りによるのであるが粗鉍は数回の手選で研を除きて売鉍される。

2. 選 鉍

現在は手選塊鉍で商品になるが将来はペグマタイト粉鉍からポラックス石の回収も当然考えるべきで、米国鉍山局では既に1962年其試験を行なつた⁵³⁾。此実験はメーン州産のものをを用い、逆浮選法で雲母、黝輝石、長石等を浮上させて除去し、ポラックス石を沈鉍に濃集して回収する。—100目に碎き硫酸酸性とし、弗酸でポラックス石の浮上を抑制し、カチオン試薬を用いて、上記鉍物を浮上させる。元鉍品位 Cs 8%のものから精鉍品位20%のものを収率 Cs 87%で得て居り、原鉍中の Rb の82%は浮上雲母中に濃集して居る模様である。

3. 抽 出

ポラックス石から Cs の抽出法としては主なものに酸リーチング、塩化焙焼又は揮発法、直接還元法等があるが、最も生産コストの高いのが直接還元法、又安いのは酸リーチングの内でも塩酸によるものであると云う⁵⁴⁾。以下に概要を紹介する。

酸リーチング 第2次大戦中、理化学研究所が福島県飯坂水晶山の黒雲母から、硫酸リーチングで光電材料のクロム酸セシウムを回収した。弗化臭素酸による方法もある⁵⁵⁾。塩酸抽出の場合は8.8 N-HCLで100°C、6時間の抽出を行い、脱珪酸後、精製する。

塩化焙焼、揮発法 精鉍に石灰石、塩化カル

シウムを混合し、900°Cに焙焼して煅焼物を水中で抽出する。又1300°Cに加熱し揮発昇華物を精製する。前者の実収率は96%、後者では98%に達する。

直接還元法 精鉍に還元剤を加えて、直接還元をする。各種還元剤の内、Caが再蒸溜の必要がなく最も好成績を挙げた。ポラックス石のCs含量に対し、12倍のCaを加えて団鉍としアルゴン気圏中で3時間、700°Cに加熱する。鉍石中のCsの92%が揮発し、72%が凝集、凝集部の品位は90.1%であつた。上記の試験で、Cs 10%の鉍石を3500 t/Yr処理するとして、鉍石価格20\$/tならば、Csの直接生産費はMgによる直接還元法で最も高く3\$80/Cs lb.、塩酸リーチング法によるのが最も安く1\$50/Cs lb.であつたと云う。斯の様にして得られた金属Csは其取扱、貯蔵、運搬には細心の注意が必要で、パイレックス硝子又ステンレス容器中に真空、又はアルゴン気中に密封して収め、衝撃防止の方法を充分に講じて市場に出される。

VI. 価 格

抽出の技術が発達して、鉍石需要があり、鉍石価格が決るのであるが、現在の様に僅かな需要では相場とか国際価格の様なものは無い。結局各鉍山が需要家との間に交渉によつて決める値段と云う訳である。ポラックス石は石英と区別困難なので、品位を一定にして売鉍するには充分な試料分析と数回の手選鉍が必要で、其為鉍石価格も割高となる。近年の鉍石価格を見ると次の様である。

Bikita 産(1964年)、26 t, Cs_2O 27%, 山元 FOB 2272 £=88 £/t=244 \$/t⁵⁶⁾, Bernic Lake 産(1960年)、425 \$/s.t⁵⁷⁾ (1971年)、品位 Cs_2O 20%保証、山元 FOB 13\$50/20 lbs(one unit)=270\$/s.t⁵⁸⁾

但し1970年、ソビエトロシア向けは Cs_2O 20%ベースで305\$/t Cs_2O 1%増毎に5\$/tを加えるので Cs_2O 27%では340\$/t あつた⁵⁹⁾。

Mozambique 産(1970年)、品位未詳だが英国向け140 tを10,000 £で売鉍した⁵⁹⁾。71.42 £/t=178 \$55/t

ヨーロッパ、相場は一応建つて居るが名目許りで、 Cs_2O 24%以上、FOB 価格、4.773 £/unit (=11 $\text{\$/unit}$ ($\text{£}=2.50\text{\$}$ とする) で、 Cs_2O 24% なら 114.552 £/s.t. 、又は 286.32 $\text{\$/s.t.}$ となつて居る⁵⁸⁾。

Cs 塩類価格も鉍石同様で市中価格は無い。米国と日本の輸入したものの一部を見ると次の様である。

米国(1968年) CsCl (西独) 1160 lb. = 45,000\$ = 38.8 $\text{\$/lb}^{60)}$ = 86.20 $\text{\$/kg}$

日本(1968年) Cs_2CO_3 (西独, Cs 85%) 5~60, 000円/ $\text{kg}^{61)}$

金属 Cs は其純度により標準種 Cs 99.5%以上と高純度種99.9%以上とに分れ、その細かい仕様は省略するが、1961年頃は、2~4 $\text{\$/gr}$ であつたのが最近では 100 $\text{\$}$ ~375 $\text{\$/lb}$ 即ち 0.22 $\text{\$/gr}$ ~0.79 $\text{\$/gr}$ となつて居る⁶⁰⁾。

要 旨

熱、光のエネルギーを、直接電気エネルギーに変換できるセシウムの需要は、今後の調査研究の成果に俟つ処が甚だ大きい。其結果によつては20年以内に、或いは現在の世界消費の6倍、34tに達するかも知れないと謂われる。現在の消費は微々たるもので、従つてその原鉍石たるポラックス石だけを採掘する鉍山は無く、副産物として回収されて居るに過ぎないが、1968年の世界生産量20t/年が100t/年を越す様になつて来たのは。研究開発の結果に著しく発展が見られる事を物語るものであろう。セシウム鉍源の探査に甚だ力を入れて居るのはソ聯邦で、自由世界では考え難い低品位鉍をも処理の対象にして居る様である。ポラックス石はペグマタイト中にのみ産し、大規模の鉍床は先寒武系内に限られ、カナダ Bernic Lake の鉍床は世界最大のものと云える。その随伴鉍物には特徴があり、ロシア鉍物特に鱗雲母、帯青色クリブランド石を必ず伴う。従つて此等の随伴鉍物を産するもので、石英があれば、ポラックス石としての再検が必要であり、更に発見の可能性がある。先ず既存ペグマタイトの随伴鉍物の検討から始める事が、新鉍床捕捉の端緒となるであらう。

文献及び注

- 1) R. SISSELMAN(1971): *Min. Eng.* No. 8, p. 74-6を補足した。沸点は、理化学辞典、無機化学ハンドブック (p. 326) では760°C, Phillipsborn, U.S.B.M. Bull. では705°C, Gmelin, Merck, 新版地学辞典では670°Cとなつて居るが茲ではGmelin等の数字を挙げてある。
- 2) R. SISSELMAN (1971) 前出。
- 3) 高橋秀穂、吹田徳雄(1964): エネルギー変換論, ラティス, p. 153.
- 4) 玉置琢磨、荻原宏康(1967): MHD発電, 総合図書, p. 24.
- 5) *Min. Ann. Rev.* 1971, p. 93.
- 6) N. MINER (1971): *Dec.* 2, p. 1264.
- 7) N. MINER (1971): 前出。
- 8) R. SISSELMAN (1971): 前出。
- 9) *Min. Ann. Rev.* 1971, p. 93.
- 10) R. SISSELMAN (1971): 前出。
- 11) R. A. HEINDL (1970): *U.S.B.M. Bull.* No. 650, p. 527-34.
- 12) Pollucite (Cs, Na) $(\text{Al Si}_2 \text{O}_6)_2 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Cs}_2\text{O}=30\sim36\%$ 現在唯1の Cs 鉍石と見做される。
- 13) W. MINING (1971): *June*, 25, p. 135.
- 14) E. L. HORSTMAN(1957): *Geohim. Cosmochin. Acta* Vol. 12, No. 1-2, p. 1-28.
- 15) R. GREENWOOD(1960): *Min. Eng.* No. 5, p. 482-3.
- 16) H. STRUNZ (1970): *Min. Tabellen*, 5 Auflage.
- 17) A. F. IEFIMOV & OTHERS (1971): *Dokl. Akad. Nauk*, S.S.S.R, No. 6, p. 1394-7.
- 18) 松田俊治(1958): 鉍物誌, Vol. 3, No. 6, p. 523.
- 19) 原田保男(1943): 日, 化, 会誌, Vol. 64, No. 8, p. 1049-53.
- 20) D. E. EILERTSEN (1965): *U.S.B.M. Bull.* No. 630, p. 205-9.
- 21) P. QUENSEL (1938): *Geol. För. Förh.* Bd. 60, p. 612-34.
- 22) S. GLEASON (1960): *Ultraviolet Guide to Minerals*. D. Van Nostrand. N.Y.
- 23) B. M. SHAUB & B. J. SCHENK(1954): *Am. Min.* No. 7-8, p. 661-4 及び後出 51) 桑野氏(1970)文献参照。
- 24) K. F. G. FOSKING (1961): *Min. Mag.* May p. 280-2.

- 25) K. C. DEAN & I. L. NICHOLS (1960) : U.S.B.M. R. I. No. 5675.
- 26) H. STRUNZ (1970) : 前出.
- 27) L. N. OVCHINNIKOV & N. A. SOLODOV (1971) : *Sov. Geol* No. 7, p. 15-30.
- 28) E. N. CAMERON (1955) : *Tr. Proc. Geol. Soc. So. Afr.*, Vol. 58, p. 45-70.
- 29) 森永 茂(1969) : アフリカ印度新金属資源買付促進調査報告, 新金属協会, p. 46.
- 30) R. GREENWOOD (1960) : 前出. R. B. BHAPPU (1965) : *So. Afr. Min. Eng. Jnl.*, Oct. 8, p. 2342-4.
- 31) V. V. GORDIYENKO (1971) : *Intern. Geol. Rev.*, Feb. p. 134-42.
- 32) R. GARLICK (1969) : *Can. Min. Jnl.*, Nov. p. 47-51.
- 33) C. M. WRIGHT (1963) : *Bull. Geol. Soc. Am.* July. p. 919-46.
- 34) R. W. HUTCHINSON (1959) : *Econ. Geol.* No. 8, p. 1525-42. C. M. WRIGHT. (1963) : 前出. A. C. A. HOWE & J. C. ROWNTREE (1967) : *Can. Min. Met. Bull.* Feb. p. 207-12.
- 35) A. C. A. HOWE & J. C. ROWNTREE (1967) : 前出.
- 36) N. MINER (1972) : Feb. 25, p. 143-4.
- 37) R. SYMONS (1961) : *Bull. Inst. Min. Met.* Dec. p. 129-72.
- 38) METAL BULL. (1965) : Spt. 14, p. 25. 工業レアメタル (1968) : No. 38, p. 71-2.
- 39) *Mining Ann. Rev.* 1971, p. 93.
- 40) U.S.B.M. (1965) : Bull. No. 630, 前出.
- U. S. B. M (1965) : Bull.
- 41) C. ROERING & T. W. GEVERS(1964) : "The Geology of Some Ore Deposits in So. Afr." Vol. 2, p. 484. C. Roering (1966) : *Econ. Geol.* No. 6, p. 1064-98.
- 42) *Mining Ann. Rev.* 1971, p. 93.
- 43) E. N. Cameron(1955) : *Tr. Proc. Geol. Soc. So. Afr.* Vol. 58, p. 45-70.
- 44) U.S.B.M (1965) : Bull. No. 630, 前出.
- 45) 村岡 誠(1961) : 鉱山地質, No. 45-46号, p. 199-200.
- 46) 森永 茂(1969) : 前出.
- 47) W. MINING, (1971) : Jun. 25, p. 135.
- 48) R. W. HUTCHINSON & R. J. CLAUS (1956) : *Econ. Geol* No. 8, p. 757-80.
- 49) P. QUENSEL (1966) : *Econ. Geol.*, No. 6, p. 1069-70.
- 50) P. QUENSEL(1956) : *Arkiv. Min. Geol.*, 2(2), p. 9-125.
- 51) 桑野範之(1970) : 地学研究, No. 11-12, p. 416-21.
- 52) 木下亀城(1961) : 九州地方鉱床誌, 朝倉書店.
- 53) K. C. DEAN & L. C. NICHOLS(1962) : U.S.B.M, R. I No. 5940.
- 54) K. C. DEAN & ZOTHERS (1966) : *Jnl. Metals*, Nov., p. 1198-1202.
- 55) R. SISSELMAN (1971) : 前出.
- 56) *Metal Bulletin* (1965) : 前出.
- 57) N. MINER (1960) : April 11, p. 804.
- 58) N. MINER (1972) : Jan 20, p. 54.
- 59) *Min. Ann. Rev.* 1971, p. 93.
- 60) U.S.B.M (1970) Bull No. 650, 前出.
- 61) 工業レアメタル(1968) : No. 38, 前出.