

モリブデン鉱業界の現状： チリ鉱業における「モリブデン」インパクトについて

中山 健¹⁾

1. はじめに

近年、アジアとりわけ中国の経済成長による鉱物資源の需要増に伴い、国際価格が高騰しているが、モリブデンについても価格高騰とともに、数年前に比べて生産状況が大きく変化した。モリブデン価格は、2003年前半から高騰をはじめ、2005年の平均価格は、2001年の平均価格の13倍US\$69.9/kgを記録した。チリのモリブデンは全量ポーフィリー銅鉱床の副産物として生産されるが、銅需要の伸びでチリの銅生産量も大幅に増加しており、銅とともにモリブデンも2003年には世界最大の生産国となった。2005年のモリブデン輸出額は2001年の実に18.7倍の32.7億ドルに増加し、2004年以来銅に次ぐ第二の輸出品となっている。

モリブデン鉱山は、モリブデンのみを採掘するプライマリー鉱山と銅、鉛・亜鉛といった他の金属の副産物としてモリブデンを回収するバイプロダクト鉱山 (by-product) もしくはコプロダクト (co-product) 鉱山に分けられる。チリで生産されるモリブデンは、北米のEndakoやClimaxといったプライマリー鉱山とは異なり、銅鉱山の副産物であることから、これまでモリブデンは経営の足かせにならない限り回収をしていた程度で、余り注目されていなかった。しかし、昨今のモリブデン価格高騰で、これまではモリブデンを回収していなかったCollahuasi鉱山でも2005年9月からモリブデンの回収を開始した。また世界最大の銅生産を誇るEscondida鉱山でもモリブデン回収の検討を始め、Falconbridge (現在Xstrata) のAltonorte銅製錬所でもモリブデンの焙焼を始めるなど、チリにおいてモリブデンが俄然注目されるようになってきた。本誌においては、これまで4回、産業技術総合研究所・石原舜三特別顧問により世界のモリブデン鉱床およびモリブデン鉱業の現状が紹介された (石原, 1962;

石原, 1965; 石原, 1982および石原, 2002)。本稿はモリブデン鉱業界の現状として、活況を呈するチリのモリブデン生産の現状とそのチリ経済へのインパクトについて紹介する。

2. モリブデン含有鉱床分布とその特徴

自然界でモリブデンを含む鉱物は、硫化鉱物として輝水鉛鉱 (MoS_2)、ジオルデナイト (MoS_2)、酸化・水酸化鉱物として黄鉛鉱 (PbMoO_4)、水鉛華 ($\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、モリブダイト (MoO_3)、パウエル鉱 ($\text{Ca}(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4$) が知られているが、輝水鉛鉱 (MoS_2) 以外は稀である (石原, 1962)。モリブデンが単独で経済性を有する品位まで濃集するプライマリー鉱床は、Climaxタイプおよびポーフィリー型モリブデン鉱床で、主に中国、米国、カナダに分布する。銅もしくは鉛・亜鉛の副産物として経済的に回収可能な品位まで濃集するバイプロダクト鉱床あるいはコプロダクト鉱床としては、ポーフィリー銅鉱床およびスカレン鉱床があげられる。これらはチリ、ペルー、米国ほかのポーフィリー銅鉱床およびスカレン鉱床に含まれる (第1表および第1図)。

世界で生産されているモリブデンのうち約62%はバイプロダクトもしくはコプロダクト鉱床から生産される。これらは、銅鉱山として開発されることから、銅の生産拡大に伴って必然的に増加することになる。チリで生産されているモリブデンは全てポーフィリー銅鉱床の副産物として産する。

3. チリのポーフィリー銅・モリブデン鉱床分布とその資源量

チリのポーフィリー銅鉱床は、白亜紀以降の南米大

キーワード: チリ, モリブデン

1) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構
サンティアゴ事務所

第1表 世界の主要モリブデン生産鉱山一覧表(2004年).

(1) プライマリー鉱山 (単位:トン)

鉱山	国名	2004年	2005年	会社
Henderson	米国	12,474	14,606	Phelps Dodge
Thomson Creek	米国	3,600	500	Thompson Creek
Questa	米国	1,800	1,600	Molycorp
Endako	カナダ	6,350	4,800	Thompson Creek
Sorsk	ロシア	3,175	3,000	Bazovy Element/JSC Molibden
Daheishan	中国	864	?	Daheishan Mining Co.
Huaxian	中国	13,800	12,430	JDC
Shanfanggou	中国	1,375	?	Luoyang Mudu Mining
Xinhua	中国	1,100	?	Chaoyang Jinda Moly Co.
			?	
合計		62,638		

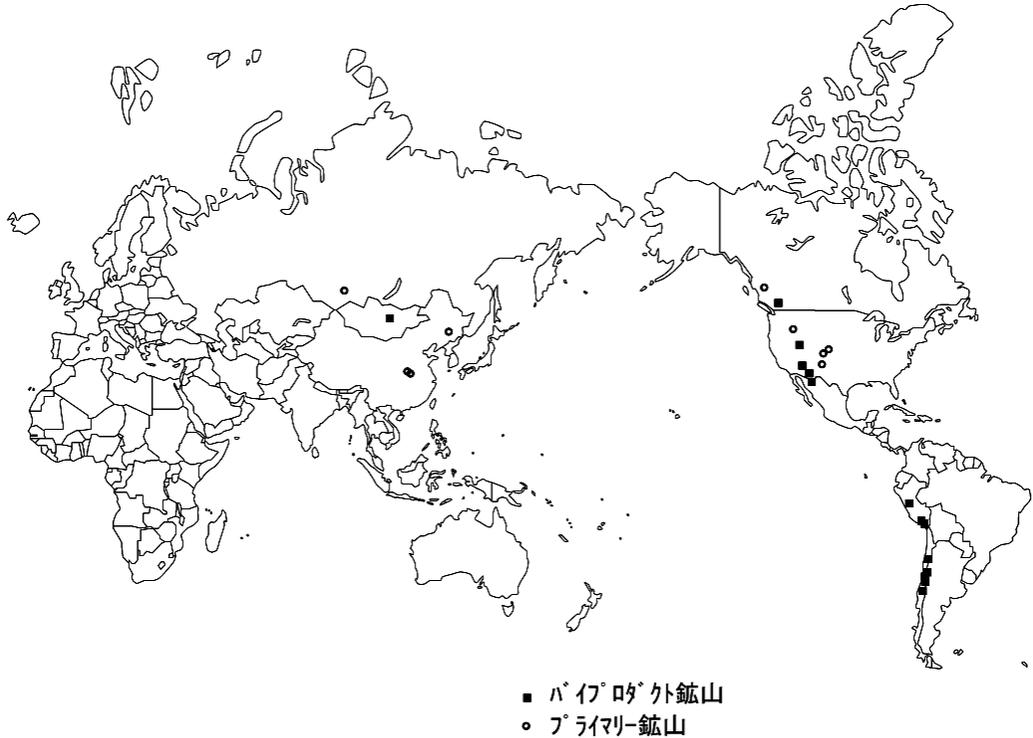
(2) バイプロダクト鉱山 (単位:トン)

鉱山	国名	2004年	2005年	会社
Chuquicamata	チリ	24,271	26,825	CODELCO
El Teniente	チリ	3,919	5,249	CODELCO
Andina	チリ	2,980	3,244	CODELCO
Salvador	チリ	1,154	1,248	CODELCO
Los Pelambres	チリ	7,853	8,710	Antofagasta Minerals
Los Bronces	チリ	1,706	2,123	Sur Andes
Bagdad/Sierrita/Chino	米国	13,608	13,655	Phelps Dodge
Bingham Canyon	米国	6,100	15,600	Rio Tinto
Highland Valley	カナダ	3,311	2,860	Teck Cominco
Cuajone	ペルー	4,867	5,279	Southern Peru Copper
Toquepala	ペルー	4,316	5,324	Southern Peru Copper
Antamina	ペルー	2,800	6,720	BHP Billiton
La Caridad	メキシコ	5,500	4,200	Grupo Mexico
Erdenet	モンゴル	998	1,600	Russia/Mongolia JV
その他		19,700	?	
合計		103,083		

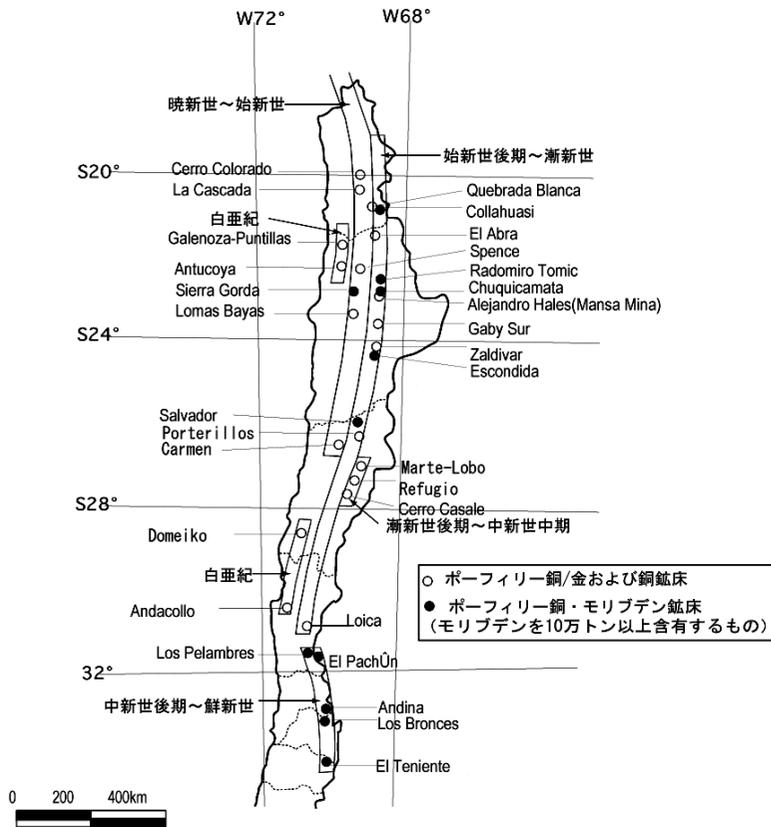
COCHILCO (2005) に加筆

陸縁辺部における太平洋からのプレートサブダクションに起因するマグマ熱水活動により形成されたもので、第2図に示すように、形成年代により、太平洋側から内陸側に向かって、白亜紀から鮮新世にかけての南北に伸長する5つのゾーンに区分される(Camus, 2003)。モリブデン含有量の時代束縛性は明らかでな

いが、白亜紀および中新世前期～中期(マリクンガ帯)のものにはモリブデンが含まれず、中新世後期から鮮新世の大型ポーフリーー銅鉱床(El Teniente, Los Bronces, AndinaおよびLos Pelambres)には例外なく大量のモリブデンを含有するという傾向が見られる。



第1図
世界の主要モリブデン生産
鉱山分布。



第2図
チリのポーフィリー銅鉱床分布。

第2表 チリのポーフィリー銅鉱床のモリブデン含有量。

ゾーン	鉱床名	銅資源量		銅	銅	銅資源量+ 既生産量 (百万トン)	モリブデン	モリブデン	金	金
		百万トン	Cu%	金属量 百万トン	既生産量 百万トン		品位 Mo%	含有量 百万トン	品位 g/t	含有量 トン
(a) Cretaceous	Andacollo	540	0.43	2.43	0.00	2.43	0.01	0.05	0.25	135
(b) Paleocene	Cerro Colorado	194	1.00	1.94	0.57	2.51	0.015	0.029	0.000	0
	Spence	497	0.92	4.57	0.00	4.57	0.000	0.000	0.180	89
(c) Eocene- Oligocene	Esperanza	514	0.60	3.08	0.00	3.08	0.000	0.000	0.260	134
	Gaby Sur	700	0.49	3.43	0.00	3.43	0.000	0.000	0.000	0
	El Salvador	974	0.63	6.14	5.15	11.29	0.022	0.214	0.100	97
	Quebrada Blanca	400	0.83	3.32	0.48	3.80	0.015	0.060	0.100	40
	El Abra	1,544	0.55	8.49	0.85	9.34	0.005	0.077	0.000	0
	Toki	2,411	0.45	10.85	0.00	10.85	0.000	0.000	0.000	0
	La Escondida	2,262	1.15	26.01	6.48	32.49	0.021	0.475	0.100	226
	Escondida Norte	1,615	0.87	14.05	0.00	14.05	0.000	0.000	0.000	0
	Collahuasi (Rosario)	3,108	0.82	25.49	0.00	25.49	0.024	0.746	0.010	31
	Colahuasi (Ujina)	636	1.06	6.74	0.94	7.68	0.000	0.000	0.000	0
	Radomiro Tomic	4,970	0.39	19.38	0.55	19.93	0.015	0.746	0.000	0
	Chuquicamata	7,521	0.55	41.37	25.00	66.37	0.024	1.805	0.040	301
(d) Early-middle Miocene (Maricunga Belt)	Refugio (Verde)	216	0.10	0.22	0.00	0.22	0.000	0.000	0.88	190
	Cerro Casale	1,285	0.35	4.50	0.00	4.50	0.000	0.000	0.70	900
	Lobo	80	0.12	0.10	0.00	1.10	0.000	0.000	1.60	128
(e) Late Miocene- Pliocene	Los Pelambres	4,193	0.63	26.42	0.46	26.88	0.02	0.67	0.02	84
	Río Blanco/Los Bronces	6,991	0.75	52.43	4.30	56.73	0.02	1.26	0.04	245
	El Teniente	12,482	0.63	78.64	15.71	94.35	0.02	2.50	0.04	437
合計		53,133		340	60	401		8.632		3,037

Camus (2005) から作成

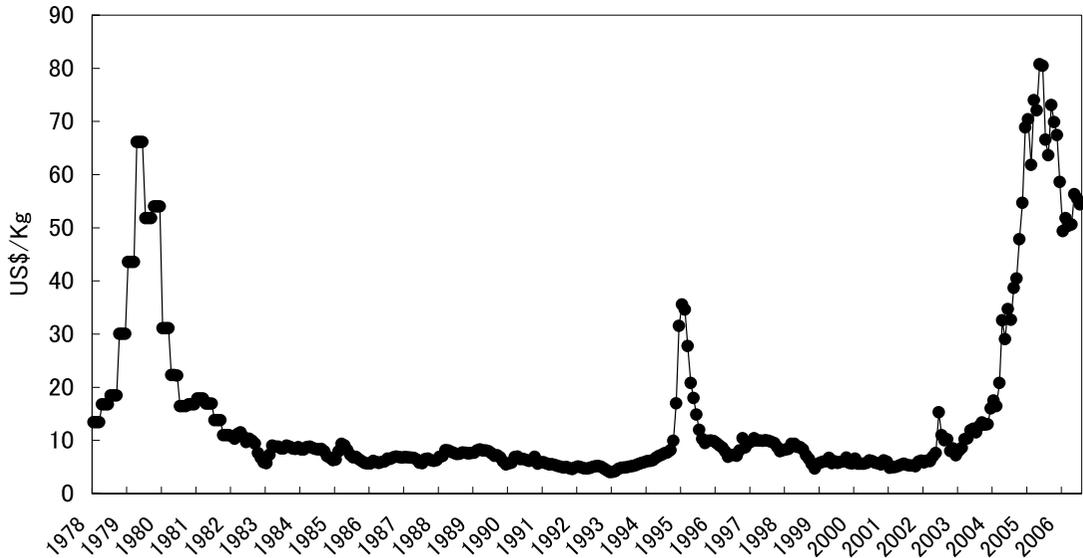
最大のモリブデンを含有するEl Teniente鉱床のモリブデン含有量は既採掘分を含めると2,500千トンに達する。そのほかChuquicamata鉱床の1,800千トン、Los Bronces-Andina鉱床1,260千トンと続き、チリのモリブデン資源量(含既採掘量)は8,632千トンと見積もられている(第2表)。一方Mineral Commodity Summaries (USGS, 2005)によると2004年のモリブデン資源量は中国、アメリカに次ぎ世界第3位の2,500千トンと見積もられている。両者には大きな違いがあるが、前者には既採掘量が含まれていることもある。

残念ながらチリのポーフィリー銅鉱床のモリブデン含有量とポーフィリー銅鉱床とりわけ関係火成活動、周辺地質鉱床との関係について議論された文献は見

当たらない。なお、チリのポーフィリー銅・モリブデン鉱床のなかでのモリブデン鉱化作用の特徴については稿を改めて紹介する。

4. モリブデン価格推移と最近の高騰要因

モリブデン価格は、戦後これまで数回の高騰を除けばUS\$7/kg内外で推移してきた。この間1979年にUS\$66.14/kg、1995年にUS\$35.55/kgを記録しているが、1年程度で元の価格に回復している。1979年の価格高騰は、Endako鉱山のストライキで需給のバランスが崩れたため生じたが、パイプロダクト鉱山からの供給が増加して価格はもとに戻った。1995年の価



第3図 モリブデン価格推移。

格高騰は、中国のモリブデン出荷停止による供給不足によるものである(第3図)。一般に需給バランスが崩れると価格が変動するが、2000年以降は需要が供給を上回りながらも価格は低迷していた。2001年からの銅価格低迷で銅生産が抑制されたためパイプロダクトのモリブデンの生産も減少し、供給不足になるとの懸念で投機買いが入り、2002年6月に一時的にUS\$15.27/kgに上昇した。チリにおいては、最大のモリブデン生産を誇るChuquicamata鉱山(口絵参照)では、確かに2002年一時的にモリブデン生産が落ち込んだが、銅生産を抑制していたわけではない。その後2003年に入ってから下記に示す理由から急騰に転じ、2005年5月にはUS\$80.74/kgを記録した。その後US\$50/kg台に下げているが2006年9月時点でUS\$59.8/kgで依然として高止まりの状態が続いている。

ところで2003年から現在も続くモリブデン価格高騰の要因は何処にあるのだろうか？2003年後半以降の世界的なエネルギー・鉱物資源価格の高騰は、アジアとりわけ中国の経済成長に伴う資源需要の急激な増大に起因するが、モリブデンに限ってみると、以下の要因があげられる(COCHILCO, 2005ほか)。

①世界第3位の生産を誇る中国の中小モリブデン鉱山が保安上の問題で閉山し、国内需要を賄いきれなくなった。

- ②世界経済の回復によるステンレス等の特殊鋼および環境問題絡みでモリブデンを使用する触媒の需要が増大した。
- ③液晶ディスプレイのバックライトや大型液晶テレビといった液晶関連の新需要が発生した。
- ④モリブデン鉱石から三酸化モリブデンにするためのロースティング能力が減少し、鉱石生産に比例してモリブデン製品供給が出来ない。

このように複数の要因が絡んでいることが明らかである。更に1970年代に経験した石油危機のような、資源供給危機に対する過剰反応とそれに付和雷同した投機的思惑買いがある。

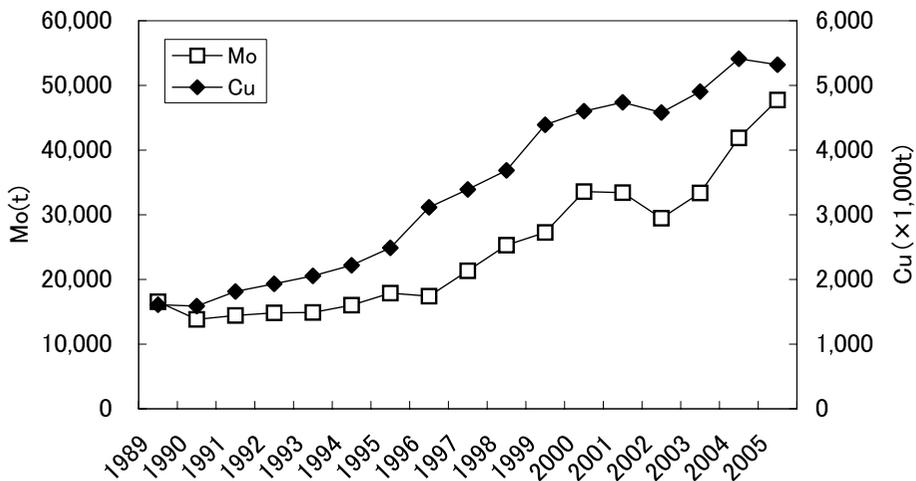
5. チリのモリブデン生産状況-鉱山生産から輸出までの流れ-

チリのモリブデンは、Collahuasi, Chuquicamata, El Salvador, Los Pelambres, Andia, Los Bronces およびEl Tenienteの7鉱山から生産されており、2005年は、47,748トン(モリブデン含有量)を生産した(第3表)。この量は米国の60,230トンに次ぐ世界第2位の生産量で世界の生産量の27%を占める(WBMS, 2006)。2002年、2003年に生産が減少したが、これまで銅生産の増加と呼応して生産が増加してきた(第4図)。モリブデン精鉱と銅精鉱の割合は大よそ19:

第3表 チリの鉱山別モリブデン生産量推移.

(単位:トン)

年	Chuquicamata	El Salvador	Andina	El Teniente	Los Bronces	Los Pelambres	Collahuasi	合計
					0	0	0	
1990	9,332	573	1,292	2,633	0	0	0	13,830
1991	10,293	652	1,206	2,283	0	0	0	14,434
1992	10,203	822	1,372	2,443	0	0	0	14,840
1993	10,388	818	1,681	2,011	0	0	0	14,898
1994	11,045	965	1,700	2,239	79	0	0	16,028
1995	11,773	1,259	1,656	2,029	1,172	0	0	17,889
1996	9,535	1,158	2,002	2,652	2,067	0	0	17,414
1997	12,564	1,352	1,751	3,181	2,491	0	0	21,339
1998	14,861	1,740	1,623	3,385	3,689	0	0	25,298
1999	14,194	2,059	3,294	4,240	3,483	0	0	27,270
2000	13,905	2,259	3,592	5,188	3,190	5,450	0	33,584
2001	15,219	1,575	2,724	4,720	2,322	6,864	0	33,424
2002	11,620	1,600	2,172	3,905	2,370	7,800	0	29,467
2003	14,000	1,800	2,200	4,325	2,325	8,725	0	33,375
2004	24,271	1,154	2,980	3,919	1,706	7,853	0	41,883
2005	26,825	1,248	3,244	5,249	2,123	8,710	349	47,748

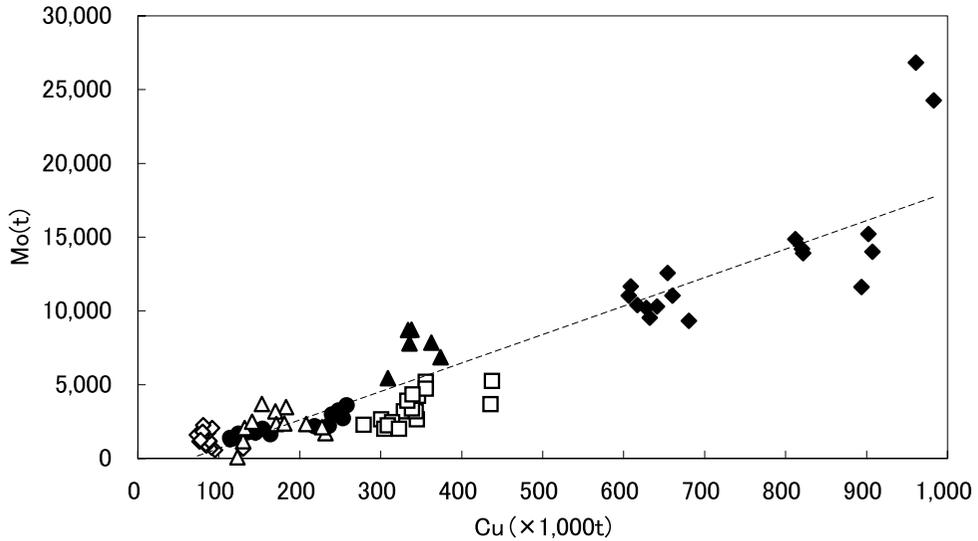


第4図 チリの銅・モリブデン生産推移.

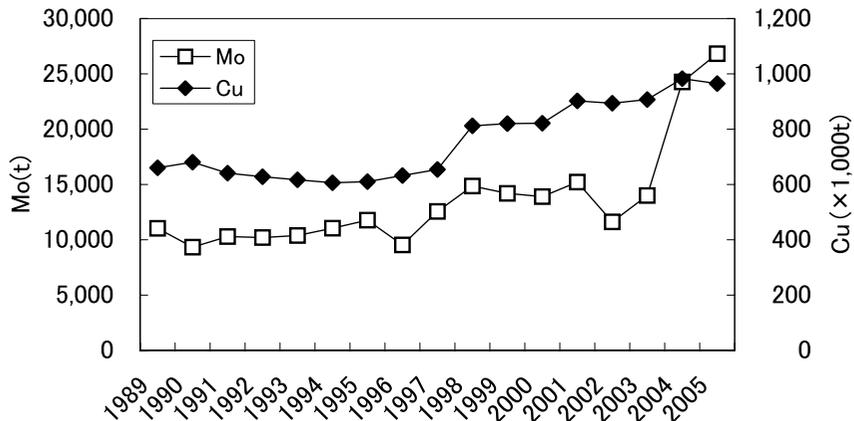
1,000となる(第5図).

チリで最大の生産量を誇るCODELCO NorteディビジョンのChuquicamata鉱山では、2003年の14,000トンから2004年には24,271トンに、更に2005年には26,825トンに増産した。露天採掘の場合、基本的にはピットの設計に従って採掘するため、副産物であるモ

リブデンの品位コントロールはきかないと思われるが、超大型露天採掘鉱山であるChuquicamata鉱山ではモリブデン価格高騰に合わせて高品位部を優先的に採掘したことを示している(第6図)。Chuquicamata鉱山と肩を並べる露天採掘ピットを有する米国ユタ州のBingham Canyon鉱山でも2004年の6,800



第5図 鉱山別モリブデン・銅生産割合(1989-2005年)。1点は1年間のモリブデン・銅生産量を示す。Los Pelambres 鉱山は2000年以降のデータ。黒菱形：Chuquicamata，白正方形：El Teniente，黒三角：Los Pelambres，黒丸：Andina，白菱形：El Salvador，白三角：Los Bronces



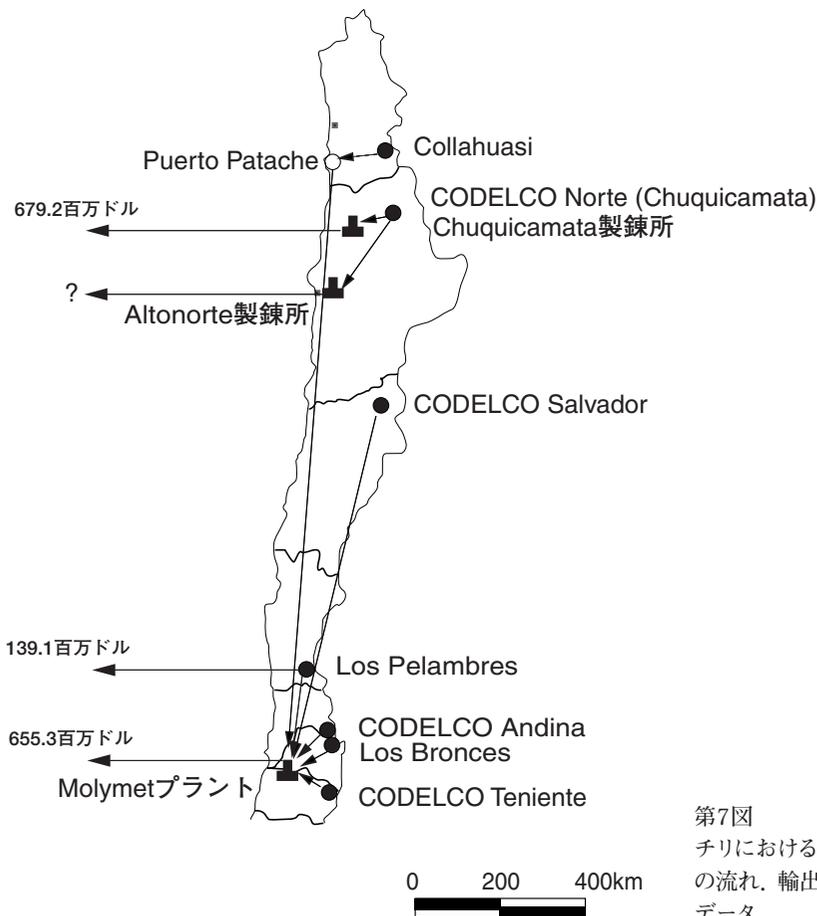
第6図 Chuquicamata 鉱山の銅・モリブデン生産推移。

トンから2005年の15,600トンに大幅に増産をしており、大型露天採掘鉱山ではパイプロダクトとはいえ生産調整が可能であることを示している。

Los Pelambres 鉱山は、1999年から操業を開始し、2000年からモリブデンの生産を開始した。2005年のモリブデン生産量は8,710トンであるが、モリブデン精鉱と銅精鉱の割合は22：1,000で他の6鉱山に比べて高いという特徴を持つ(第5図)。鉱石品位の高さと実取率の高さを物語っている。

Collahuasi 鉱山は、採掘現場がUjina 鉱床からモリブデン品位の高いRosario 鉱床に移ったことからこれに合わせて2005年10月から生産を始めた。当面年産4,000トン規模であるが、深部で品位が上昇し年産8,000トンまで拡張する計画である。

世界最大の年産銅生産を誇るEscondida 鉱山では2006年下期から4,000トン/年程度のモリブデン回収を開始すると発表し、同鉱山の銅精鉱積出港であるColosoに選鉱デモプラント建設のための環境影響評



第7図
チリにおけるモリブデン生産から輸出
の流れ。輸出額はCOCHILCO (2005)
データ。

価の承認まで取得したが、現在計画を見直している。

2010年の操業開始予定のEsperanza鉱床では深部に高品位のモリブデンが存在することが判明しており (Perello et al., 2004), 開山後5年後位にモリブデンの生産が開始されることになる。

面白いところでは、カナダのAmerigo Resources社がEl Teniente鉱山の選鉱廃さいから銅およびモリブデン回収を行っており、2005年には286トンのモリブデンを回収した。2005年のモリブデン価格では20百万ドル近い売上をしたことになる。

銅鉱石のモリブデンの品位は、概ね0.003%以下である。含モリブデン鉱石からのモリブデン精鉱の分離は、総合浮遊選鉱により含モリブデン銅精鉱を分離した後、NaHSを加え銅精鉱とモリブデン精鉱に分離される。モリブデン精鉱品位は50%前後で実収率は90%近くになる。銅精鉱からモリブデン精鉱の分離は、山元の選鉱プラントで行われるが、Collahuasi鉱

山の場合は、鉱山から約150km離れた銅精鉱の積出港であるPuerto Patacheで銅精鉱から分離される。モリブデン精鉱は、650℃以上の高温で焙焼され、硫黄分を飛ばしモリブデン純度57以上の工業用酸化モリブデンおよびフェロモリブデンとして輸出されている(第7図)。

現在チリには、CODELCO Chuquicamata銅製錬所、Xstrata社のAltonorte銅製錬所およびサンティアゴ市郊外のMolymet社が焙焼炉プラントを有する。チリでフェロモリブデンおよび化学用モリブデン製造プラントはMolymet社のみが有する。モリブデン価格高騰の要因の1つとされている焙焼能力は、チリでもChuquicamata製錬所の9,000トン、Altonorte製錬所の11,000トン、Molymet社の21,000トン合計41,000トンで、モリブデン精鉱量(モリブデン金属量)に比べて6,700トンが不足している。

第4表 Los Pelambres鉱山およびCODELCOにおけるモリブデンの貢献度。

Los Pelambres 鉱山

年	生産量(トン)		売上(百万ドル)			売上に占める モリブデンの 割合(%)	価格(US\$/lb)	
	銅	モリブデン	銅	モリブデン	金・銀		銅	モリブデン
2002	335,500	7,800	499.3	65.3	12.1	11.3	70.6	3.77
2003	337,800	8,725	620.5	105.4	11.3	14.3	80.7	5.32
2004	362,600	7,853	991.1	331.1	16.3	24.7	130.1	16.41
2005	333,800	8,710	1331.0	588.4	23.4	30.3	167.1	31.70

Antofagasta Plc. HPから作成

CODELCO

年	生産量(トン)		売上(百万ドル)			売上に占める モリブデンの 割合(%)	価格(US\$/lb)	
	銅	モリブデン	銅	モリブデン	その他		銅	モリブデン
2001	1,699,000	24,238	2,987	122	479	3.4	71.6	2.55
2002	1,630,000	19,297	2,792	151	547	4.3	70.6	3.77
2003	1,674,000	22,325	2,952	237	593	6.3	80.7	5.32
2004	1,840,000	32,324	6,585	1,042	577	12.7	130.1	16.41
2005	1,831,000	36,566	7,458	2,255	778	21.5	167.1	31.70

CODELCO HPから作成

6. チリにおけるモリブデンインパクト

(1) 銅鉱山の売上げへの貢献

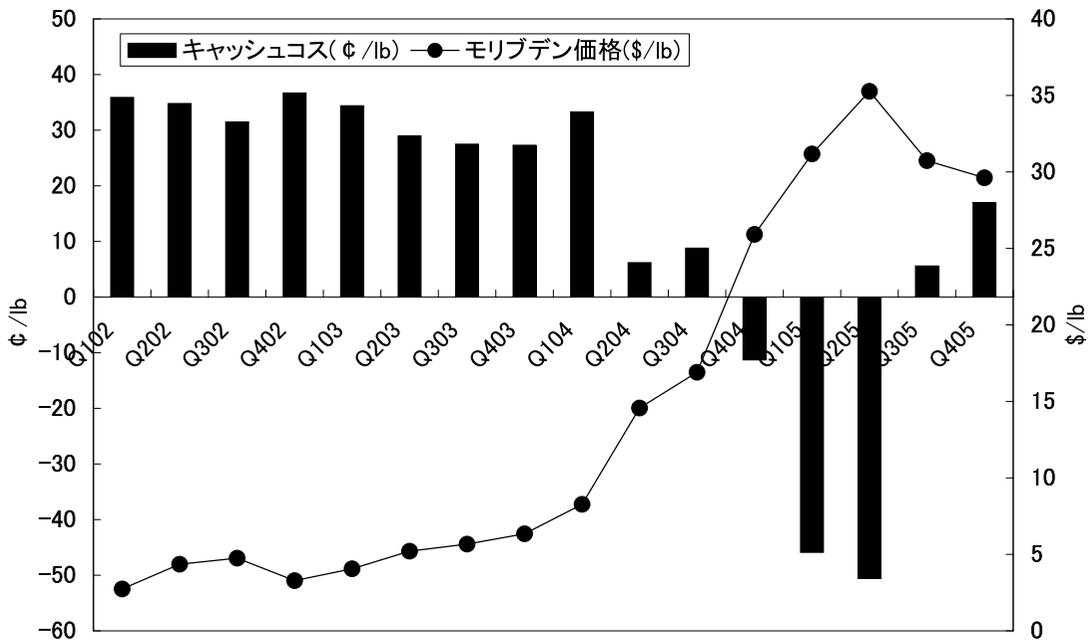
こうして、チリ国内でモリブデンを副産物として産する鉱山では、モリブデン価格高騰が売上に大きく貢献した。2005年5月2日付けチリ地元一般紙まで、「モリブデンはチリ鉱業の星」とこれまであまり紙上で話題になることはなかったモリブデンを大きく取上げ紹介した。2005年のCODELCOのモリブデン売上高は、2,255百万ドルで全売上高の21.5%を占めた(第4表)。Los Pelambres鉱山では、売上高に占めるモリブデンの割合は、2002年に11.3%であったものが2005年には30.3%となり、モリブデン売上高も約9倍の5.9億ドルに大きく上昇した(第4表)。これは勿論チリばかりの現象ではなく、モリブデンを副産物として産する世界のポーフィリー銅鉱床はどこも同じ現象となった。

Chuquicamata鉱山では、2005年にはモリブデン価格高騰に合わせて、モリブデン採掘および回収に重

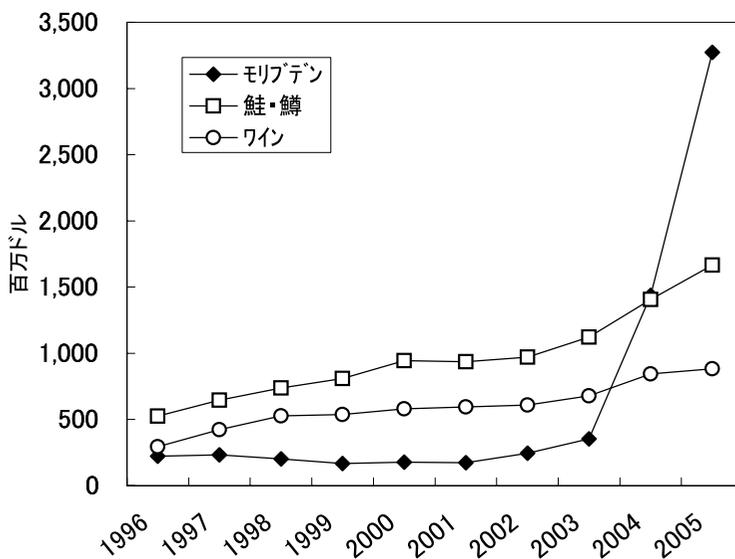
点が置かれた結果、銅生産量は前年比2%減の964,000トンになったが、モリブデン生産量は前年比10.5%増の26,825トンとなった。

(2) 銅生産コストの大幅低下

キャッシュコストと称される鉱山コストは、金利、減価償却費および間接コストを除いた生産コストである。利益を出すためには、当然銅の市場価格より生産コストを低くしなければならないことは言うまでも無い。副産物も売上げに貢献し、その売上を加えて計算される。2005年Los Pelambres鉱山の場合、副産物のモリブデンの売上を含まない銅地金1ポンド当りのキャッシュコストは74.7セントであったが、銅地金1ポンド生産する過程で副産物として生産されたモリブデンの売上のみで91.8セントとなり、銅生産コストを上回ってしまうという現象が現れた。2005年第4四半期には副産物のモリブデンを含めたキャッシュコストは、実に銅1ポンド生産するのに-50.6セントという結果になった(第8図)。Chuquicamata鉱山を有するCODELCO Norteディビジョンでも-18.3セントを記録



第8図 Los Pelambres 鉱山のキャッシュコスト推移。「Q102」は2002年第1四半期を示す。キャッシュコストとは金、減価償却費および間接コストを除いた生産にかかるコストのことを指す。



第9図 チリのモリブデン輸出額推移。

した。銅鉱山というよりもむしろモリブデン鉱山と言った方が良いのかもしれない。

(3) 輸出への貢献

一方モリブデン輸出額も価格安定期の2003年まで

に比べると著しく増加し、2005年の輸出額は実に2001年の19倍の3,372百万ドルを記録し、チリ全輸出額の9%に達した。2004年には遂にチリの特産品であるワインおよびサク・マス抜き、引続き2005年も

銅に続きチリ第2の輸出品となっている(第9図)。

7. おわりに

モリブデン供給国チリにとって今回のモリブデン価格高騰は予想外のことであったに違いない。モリブデンを生産する鉱山では収益に大きく貢献した。また輸出も銅に次ぐ第2の産品となり、チリの外貨獲得に大きく貢献した。ここのところ好調な鉱業とは裏腹に銅・モリブデン価格の高騰によるペソ高でワインやサケ・マスといった輸出産業は大きな痛手を蒙っており、2006年の輸出は大幅に減少している。

モリブデン生産国チリとは逆に最大の需要国である日本にとっては、この高騰は大変な負担で、13倍という原料価格高騰に鉄鋼メーカーは悲鳴を上げているのが現状である。いずれ我々の生活に跳ね返って来ることになる。「チリさんお宅で使う鉱山機械はこれまでのような価格じゃ売れないよ。原材料が高騰したから。」と言いたいところである。今回のモリブデン価格高騰によるサプライサイドとデマンドサイドに見られる現象は、資源を持つ国と持たざる国の悲喜を象徴としており、鉱物資源の偏在という人的要因の外の話でいたし方のないところであるが、資源のない我国にとって、何と羨ましい話ではないだろうか。空中室素の固定で、硝石の価値を失って大打撃を受けた経験を持つチリでは、モリブデンの代替品の出現を

警戒している。いずれにしろ、早く適正な価格水準に落ち着くことを願いたいところである。

産業技術総合研究所・石原舜三特別顧問には原稿執筆を勧めて頂き、また拙文を校閲いただき衷心よりお礼申し上げます。

文 献

- Camus, F. (2003) : Geologia de los sistemas porfiricos en los Andes de Chile. SERNAGEOMIN, 267p.
- COCHILCO (2005) : Mercado nacional e internacional del Molibuden. 20 p.
- 石原舜三 (1962) : モリブデン. 地質ニュース, No.89, 6-11.
- 石原舜三 (1965) : モリブデン 鉱床の問題点と鉱業の話題— 鉱山地質家のあり方に寄せる—. 地質ニュース, No.130, 1-11.
- 石原舜三 (1982) : 中国の鉱物資源 (2) ポーフイリー型Cu, Mo 鉱床. 地質ニュース, No.335, 18-32.
- 石原舜三 (2002) : モリブデン 鉱業界の現状 : 特にポーフイリー型鉱床の特性について. 地質ニュース, No.569, 14-30.
- Perello, J., Brockway, H. and Martini, R. (2004) : Discovery and geology of the Esperanza porphyry copper-gold deposit, Antofagasta region, northern Chile. SEG Special Publication 11, 167-186.
- U.S.Geological Survey (2005) : Mineral Commodity Summaries 2005.197p.
- WBMS (2006) : Molybdenum, World mine production. 99.

NAKAYAMA Ken (2007) : Present status of molybdenum mining in the world, with special reference to molybdenum impact to Chilean mining industry.

<受付：2006年11月28日>