

## 21 世紀の南米の銅資源開発

前サンチャゴ海外調査員 五十嵐吉昭報告

### 要旨

チリの銅生産は 2000 年に 460 万 t にまで達し、世界の銅生産の 35%を占めるに至った。これは主に 90 年代の外資による大型鉱山開発、及び SX/EW(溶媒抽出・電解採取法)技術の導入に特徴づけられる。73 年のアジェンデ政権崩壊まで、チリ政府は資源ナショナリズムの世界的高揚を背景に米国系鉱山会社の権益を国家に取り戻すことに腐心していたが、ピノチェット政権は CODELCO を国家の管理下に残しつつ外資法 DL600 の制定等で外資による鉱山開発を目指した。90 年代に平均 12%の高い伸びを記録したチリの銅生産も、今後は既存鉱山拡張による増産が中心で、新規鉱床の発見がない限り飛躍的な成長は望めない。

世界最大の銅生産社である CODELCO も、民間企業との J/V を認める法改正を実施するなど改革を進め、90 年代後半から生産量は増加している。Villarzu 新総裁は、豊富な資金力をバックに既存鉱山の拡張と新鉱床の開発、及び民間企業との J/V や企業買収により生産量の拡大を目指している。同時にチリ国内に対象を限定せず、国際化により中南米を主体に案件を物色しているが、必ずしも順調には進んでいない。更に 21 世紀の課題として、国営の株式会社を目指す CODELCO 近代化法案と軍への納付金を規定する銅所有権法の廃止を目指しているが、政治がらみでもあり先行き不透明である。

米国で開発された低コストの SX/EW はチリの理想的な環境で花開き、現在では世界の 6 割の SX/EW が集中し、チリの銅生産の 3 割を占めている。対象となる酸化鉱に限りがあるが、技術開発も進展しており、バクテリアを利用した二次硫化鉱の浸出は実用化され、現在の課題は難処理鉱である一次硫化鉱の精鉱を対象とするプロセスである。精鉱を処理する限りコスト的に乾式製錬に対して優位性はないが、不純物を含む鉱石や低品位な廃石を対象とする研究が進められている。

鉱業の発展に伴い顕在化してきた鉱害問題に対して、チリでは 90 年代に環境規制強化が進み、製錬所の排ガス基準から水質の基準へ、更に今後は閉山規制も整備されつつある。チリの国営製錬所の硫酸回収も漸く軌道に乗りだし、回収された硫酸は SX/EW に使用されている。但し未だ回収率は先進国レベルに達せず、廃棄物処理も含めて課題となっている。

チリに続く南米の産銅国としてはペルー、アルゼンティン、ブラジルが有望で、特にペルーでは今後新規鉱山の開発から 2005 年には年間 100 万 t を越える見込み。アルゼンティンは国境付近のチリとの鉱床、ブラジルではカラジャス地域の開発が鍵となる。

日本はチリに銅精鉱の 42%を頼っており、日本企業が出資している 4 つの大型鉱山からの精鉱が 9 割を占める。この出資買鉱は原料供給の安定性を確保すると同時に、チリ側鉱山にとっても資金

調達等で利点がある。チリ一国への集中は原料供給上問題もある。

チリに続いて南米各国が法改正により外資導入に積極的になり、チリの優位性が薄れる中、今後は探査技術や湿式製錬技術の進展が望まれる。南米では地域統合が進んでおり鉱業統合条約のように鉱物資源開発を促進する可能性もある。銅資源の一大供給地となった南米に対し、今日本の資源政策が問われている。

## 目次

1. はじめに
2. チリの銅資源開発の進展
  - (1) チリにおける銅開発の歴史
  - (2) 1990 年代以降のチリの銅生産
3. CODELCO の動向
  - (1) 生産量拡大計画
  - (2) 加速される J/V と国際化
  - (3) 21 世紀に向けての CODELCO の課題
4. SX/EW 技術の進展
  - (1) 南米における SX/EW による銅生産
  - (2) 浸出(リーチング)技術開発
  - (3) 今後の展望
5. 環境規制及び銅製錬所
  - (1) チリの鉱業に係わる環境規制
  - (2) ラゴス政権下の環境規制の進展
  - (3) チリの製錬所における硫酸回収と SX/EW 鉱山
6. チリに続く南米産銅国
  - (1) ペルー
  - (2) アルゼンティン
  - (3) ブラジル
7. 日本との関係
  - (1) 日本の銅精鉱輸入量推移と銅地金生産
  - (2) 日本企業が資本参加しているチリの銅鉱山
  - (3) Los Pelambres 鉱山
  - (4) 日本企業の精鉱確保
8. おわりに

参考図：チリ・アルゼンチンの銅鉱業、ブラジルの銅鉱業、ペルー・主要銅産業

## 1. はじめに

2000 年 12 月の Mining Journal 誌によれば、今や世界の銅資源開発は南半球に集中し、特に南米における銅生産の増強は目覚ましく、高コストの北半球、特に北米の銅鉱山は銅価変動の影響を受けやすい一方で、大規模で低コストな南米の銅鉱山が勝ち組になりつつあることを指摘している。事実、2000 年の世界の銅生産では、チリー国で 460 万 t を生産して世界の 35% を占めており、これにペルー、アルゼンティン等他の南米諸国を加えると 534 万 t に達し、実に世界生産の 4 割を南米が供給するに至った。近い将来においても、Escondida 鉱山フェーズ 4 や El Teniente 鉱山拡張に象徴されるチリにおける既存大型鉱山の拡張計画、ペルーの Antamina 鉱山の生産開始、及び産銅国として名乗りを挙げることになるブラジルのカラジャス地域開発等、銅生産増加となるプロジェクトが相次いで発表されている。国際銅研究会(ICSG)の発表によれば、中国やインドにおける旺盛な銅需要の伸びにより、世界の銅需要は 2001 年に 5.1%、2002 年には 2.8% の伸びを予測している中、世界の銅供給地として南米の重要性は益々高まっている。

本稿は筆者が金属鉱業事業団サンチャゴ事務所に在籍していた 97 年 10 月から 2001 年 3 月までに執筆したカレントトピックスを中心にとりまとめたもので、20 世紀末におけるチリの銅生産の著しい増加の背景を振り返り、21 世紀の南米における銅資源開発の行方を考察するものである。

## 2. チリの銅資源開発の進展

### (1) チリにおける銅開発の歴史

図 1 に 70 年以降のチリの銅生産量推移と、世界の銅生産に占める割合を示す。20 世紀前半のチリにおける銅資源開発は、Kennecott 社や Anaconda 社のような米国系の大企業によって支配されていた。これに対してチリ政府は、銅からの収入を米国に持ち去られないようにするため、50、60 年代に徐々に政府による銅鉱山の権益確保を図り、法令 16,425 号を根拠に 70 年 1 月までに主要鉱山の 51% の権益確保に成功した。また、国際的にも 1960 年の OPEC 結成に刺激を受け、1968 年に銅生産国カルテルである CIPEC を結成した(当初チリ、ペルー、ザンビア、旧ザイール)。こうした背景には、植民地支配からの経済的脱却や南北問題が注目を集める中、62 年の国連会議での決議「天然資源に関する恒久主権」等を論拠に、自国資源を自国民の発展のために利用することを求める資源ナショナリズムの世界的な高揚があった。このようなチリにおける資源ナショナリズムの動きは、70 年に誕生したアジェンデ社会主義政権においてピークを迎えることになり、71 年には 5 大銅鉱山の完全国有化が実施され、米国系企業との間で補償問題が発生するに至った。しかしながら、アジェンデ政権の急進的な改革は政府の財政支出を急速に増加させ、財政赤字が GDP の 25% に達して、年率 600% のハイパーインフレーションを引き起こすことになり、社会的混乱に乗じたピノチェット将軍による軍事クーデターを招いた。ピノチェット軍事政権はいわゆるシカゴボーイズと呼ばれる右派の経済学者の政策を採用し、自由市場経済の下で政府の経済活動への関与を最小限に抑え、外資導入を図るため 74 年には外国投資法 DL600 を制定した。但し一方では、国有化した 5 大銅鉱

山を 76 年に CODELCO として国の管理の下に残し、売り上げの 10%を引き続き軍の資金源として確保し、CIPEC としても 74 年末に 10%の銅輸出削減を実施する等、国の基幹産業(73 年の輸出額の 77%を占める)である銅産業を自由市場経済にそのまま委ねたわけではなかった。また、83 年に新鉱業法が制定されるまで、鉱業権(concession)は所有権的なもので物件として不可侵な権利として認められてはいなかった。加えて 80 年代前半には深刻な対外債務危機から IMF 等の国際金融機関の救済を仰ぐなど経済社会的に不安定な状況で、外国資本による銅鉱山開発も、Exxon 社による 78 年の Disputada 社買収等一部を除けば限定的であった。DL600 による鉱業分野における外国投資額をみれば、74 年から 89 年までの総額は 2,401 百万ドルに留まり、この数字は 90 年代、即ち 90 年から 99 年までの総額 12,322 百万ドルの 5 分の 1 以下にすぎない。しかも前者の 2,401 百万ドルには 90 年代の大規模な外国資本による鉱山投資の呼び水となった Escondida 鉱山の初期投資 836 百万ドルの大半が含まれていると思われる。Escondida 鉱山の場合、79 年に探査が開始され、81 年に鉱床を発見したが、ファイナンスが成約して建設が始まったのは 88 年、生産開始は 90 年末である。その後の度重なる拡張工事による総投資額は 2,800 百万ドルに達している。また、Phelps Dodge 社と住友グループの Candelaria 鉱山の場合は、83 年に探鉱を開始して 87 年に鉱床を発見、93 年に建設を開始して生産開始は 94 年末である。

このように 74 年に外資法 DL600 が制定されて以来、外資にとってより利便性を高めるための修正を何度か経て、新鉱業法の制定により鉱業権を物件として確立し、固定相場制の廃止や金融自由化等の更なる経済自由化によって 90 年代のチリ銅産業の急速な発展の基礎が固められたと言える。併せて、探査の進展による新たな鉱床発見、SX/EW(溶媒抽出・電解採取法)に象徴される最新技術の導入、及び 89 年に民政移管のための国政選挙が実施され、90 年のエルウィン大統領就任に伴い 16 年半続いた軍事政権に終止符を打ったことも重要な要因であったと思料される。

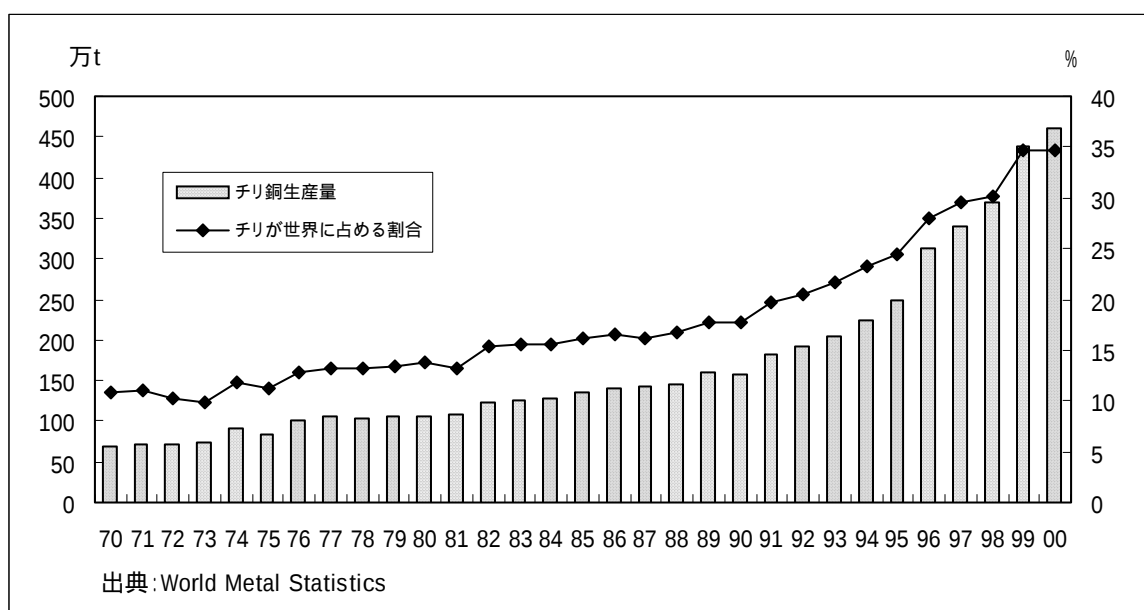


図 1. チリの銅生産量推移(1970-2000 年)

## (2) 1990 年代以降のチリの銅生産

鉱物資源開発を外資に開放した結果、図 2 に示すとおり、90 年代半ばには民間鉱山の銅生産量の合計が CODELCO の生産量を上回った。90 年代に CODELCO の銅生産量は年産で 120 万 t から 162 万 t に増加しているが(EI Abra 鉱山の権益分を含む)、CODELCO 以外の民間鉱山は 39 万 t から 274 万 t に増加し、CODELCO がチリ全体の銅生産に占める割合は大きく低下した。90 年代の民間鉱山の著しい生産量の伸びは、銅量で年産 20 万 t を越す超大型鉱山が、主に欧米の非鉄メジャーにより相次いで開発されたことが大きく寄与している。94 年に Candelaria 鉱山(20 万 t)、96 年に Escondida 鉱山の大拡張(92 万 t)、97 年の EI Abra 鉱山(19 万 t)、98 年の Collahuasi 鉱山(44 万 t)、及び 99 年の Los Pelambres 鉱山(31 万 t)である(数字はいずれも 2000 年の生産量)。但し、Los Pelambres 鉱山の 6 割の権益を握る Luksic グループは英国に籍を置くチリ企業である(7. (3)で後述)。もう一点の特徴は、図 3 に示すとおり SX/EW による銅カソード生産が急激に増加したことである。90 年には年産 12 万 t で 8%弱を占める程度であったが、98 年には 100 万 t を突破し、現在では生産量全体の約 3 割を占めるようになった。2000 年の銅生産実績によれば(WMS)、全世界の銅生産に占める SX/EW の割合は 17%程度であるため、チリにおける比率は際だって高い。

このように平均 12%にも達する 90 年代におけるチリ銅生産の高い伸びは、いち早く自国鉱区を外資に開放した結果の外資系鉱山の開発ラッシュ、及び SX/EW 技術の導入による新たな鉱山開発、あるいは後述する CODELCO 自身の改革による 90 年代後半の生産量増加に裏付けられたものであるが、21 世紀に入ってもこの勢いは続くのであろうか。表 1 にチリにおける新規銅鉱山プロジェクトを示す。97 年のアジア経済危機に端を発した銅価の下落は、99 年上半期にはポンド当たり 60 セント台前半まで水準を下げ、その結果、相次いで新規鉱山開発及び拡張プロジェクトが凍結となったことから、2001 年から 2002 年にかけての生産量増加は極僅かとなる見通しである(図 3 参照)。99 年下半年期以降の銅価回復により、凍結されていた新規プロジェクトが相次いで動きだし、この影響は 2003 年以降に現れてくると予想される。しかしながら、この生産増加の大部分は既存大型鉱山の拡張であり、新規鉱山開発で年産 10 万 t を越える規模は Billiton 社の Spence と CODELCO の Gaby Sur 程度である。一般に鉱山開発では早く投下資本を回収する目的で先ず品位の高い部分から採掘を始めるため、年数をおうごとに採掘品位の低下が避けられず、鉱石の処理量を大幅に拡大しない限り生産量は減少する傾向がある。一方、新たな鉱床発見については、Gaby Sur のように地表下 50m を越える潜頭鉱床も発見されているが、昨今大型鉱床の発見は伝えられていない。従って、遠からずチリの銅生産量が年産 500 万 t を突破することは確実であるが、その後の生産量の増加は、銅価格の上昇に加えて、潜頭鉱床を対象とする探鉱成果と、経済的にマージナルな鉱床の開発を可能とする鉱石処理技術の向上が必要となろう。

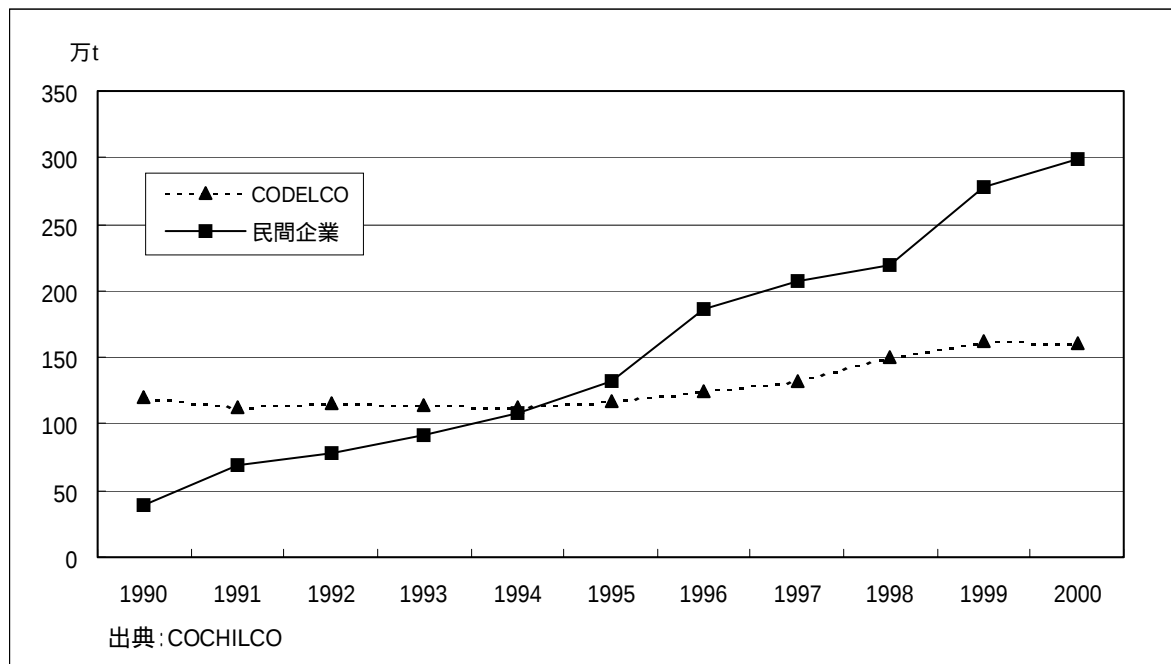


図 2. CODELCO と民間企業の銅生産量比較

表 1. チリにおける銅鉱山開発プロジェクト(2001 年)

| プロジェクト           | 会社                           | 鉱種           | 生(増)産量   | 投資MUS\$ | 生産開始 | 備考                            |
|------------------|------------------------------|--------------|----------|---------|------|-------------------------------|
| R. Tomic拡張       | CODELCO                      | SXEW         | 76,000t  | 171     | 2001 | 25.6万t体制                      |
| El Tesoro        | Luksic/<br>Equatorial        | SXEW         | 75,000t  | 300     | 2001 | 2001年生産開始                     |
| Los Pelambres    | Luksic/Nikko/<br>Mitsubishi/ | 銅精鉱          | 60,000t  | 24      | 2002 | 36.5万t体制                      |
| El Abra ROM      | Phelps Dodge/<br>CODELCO     | SXEW         | 55,000t  | 70      | 2002 | 低品位鉱リーチング、最大28万t体制            |
| Atacama Kozan    | Nittetsu/<br>Inverraz        | 銅精鉱          | 25,000t  | 110     | 2002 | 初期投資をおさえ2001.4建設工事着工          |
| Escondida 4期     | BHP/RTZ/JECO/IFC             | 銅精鉱          | 300,000t | 1,045   | 2002 | 2002年から順次稼働                   |
| Escondida低品位     | BHP/RTZ/JECO/IFC             | SXEW         | 80,000t  |         | 2003 | バイオリーチングで低品位鉱処理               |
| Escondida Norte  | BHP/RTZ/JECO/IFC             | 銅精鉱/<br>SXEW | -        | 400     | -    | Escondida本体の生産量を維持するため既存施設で処理 |
| Los Bronces拡張    | Disputada(Exxon)             | 銅精鉱          | 60,000t  | 200     | 2003 | El Soldadoと併せて30万t体制          |
| El Teniente PDT  | CODELCO                      | 銅精鉱          | 130,000t | 405     | 2003 | 48万t体制                        |
| Andina拡張         | CODELCO                      | 銅精鉱          | ?        | 600     | -    | 選鉱能力倍増による第2次拡張                |
| Salvador         | CODELCO                      | SXEW         | -        | 2       | 2003 | 生産量維持が目的                      |
| Collahuasi拡張     | Falconbridge/<br>AAC/Mitsui/ | 銅精鉱/<br>SXEW | 70,000t  | 200     | 2004 | UjinaからRosario鉱体へ転換、45万t体制    |
| Spence           | Billiton                     | 銅精鉱/<br>SXEW | 220,000  | 1,675   | 2004 | 97年発見、1,000MUS\$で18万t/年の代替案   |
| Gaby Sur         | CODELCO                      | SXEW         | 110,000t | 425     | 2004 | 坑道調査、F/S中                     |
| Mansa Mina       | CODELCO                      | SXEW         | 20,000t  | 200     | 2004 | Billiton社とのバイオリーチングJ/V        |
| Fortuna de Cobre | Falconbridge                 | SXEW         | 60,000t  | 246     | -    | Lomas Bayasに鉱山の拡張             |
| Cerro Casale     | Placer Dome/<br>Arizona/Bema | 金/<br>銅精鉱    | 130,000t | 1,430   | -    | 金鉱山として開発するため金価格しだい            |
| Altamira         | Pudahuel/ENAMI               | 銅精鉱          | 20,000t  | 48      | -    | 出資者募集中                        |
| Chimborazo       | Escondida                    | SXEW         | 45,000t  | 274     | -    | 2000.11 Phelps Dodge売却、探鉱中    |
| San Antonio      | CODELCO                      | 銅/金          | 60,000t  | 250     | -    | J/V入札不調のため個別交渉中、CODELCOは開発せず  |
| Antucoya         | SQM(Soquimich)               | 銅精鉱          | 70,000t  | 300     | -    | J/V相手選考中                      |

出典：海外鉱業情報 2001 年 5 月号を基に、Mine Search Database 等の情報を加味して作成。

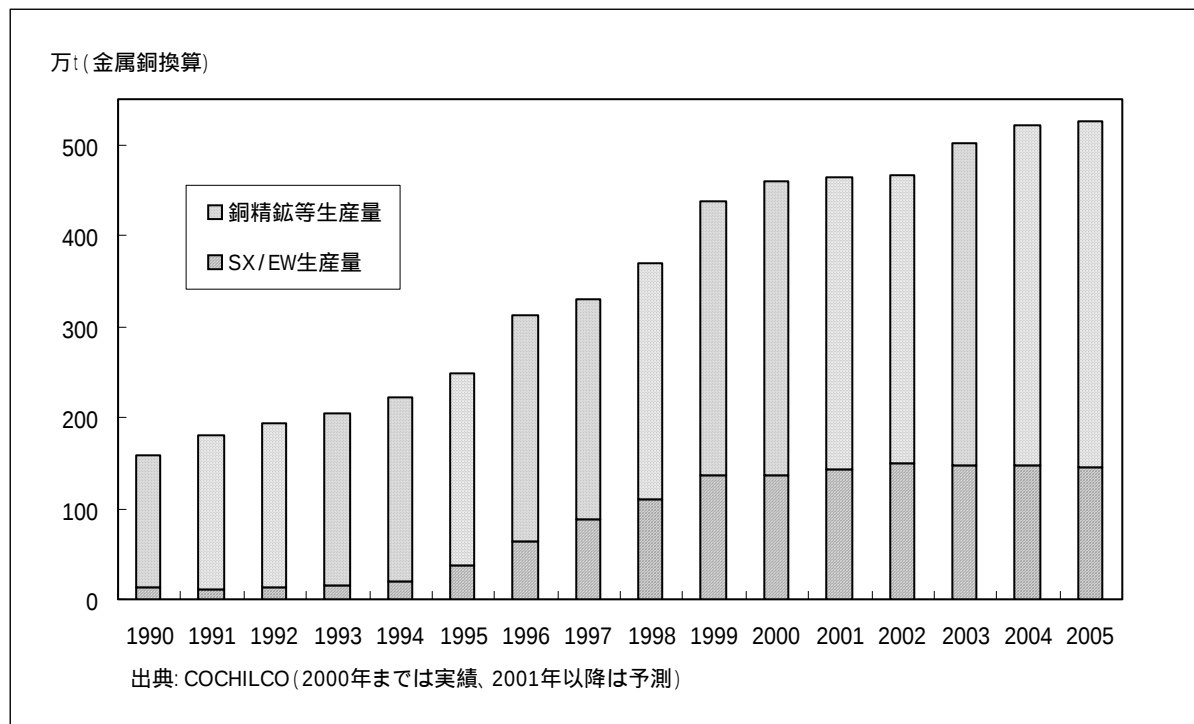


図 3. チリにおける銅生産量推移(1990-2005 年)

### 3. CODELCO の動向

ピノチェット政権の民営化政策の中、国の管理下に残された CODELCO は、国営企業としての制約もあり 90 年代半ばまで銅生産量は伸び悩んだ。しかし 90 年代に入り、CODELCO と民間企業の共同探鉱開発を認める法令 19,137 号等の経営近代化を目指した改革により、90 年代半ばより生産量は増加に転じている。図 4 に CODELCO の鉱山別の銅生産量推移を示す。96 年には初の民間企業との J/V となった Cyprus Amax 社(現在は Phelps Dodge 社)との El Abra 鉱山が、97 年末には CODELCO が初めて自ら開発した Radomiro Tomic 鉱山が各々生産を開始し、98 年末には Andina 鉱山の拡張工事が完了した。一方では、97 年末からの著しい銅価下落に対して労資協調による緊急プランで徹底的なコスト削減を実施して競争力を高め、同時に国の環境規制強化に沿って製錬所を主体に大規模な環境投資も実施した。2000 年 3 月に発足したラゴス新政権の人事により、94～96 年に続いていた再登板となった CODELCO の Villarzu 新総裁は、新世紀に向けて以下のような戦略の下で引き続き世界一の銅生産社の地位を保とうとしている。

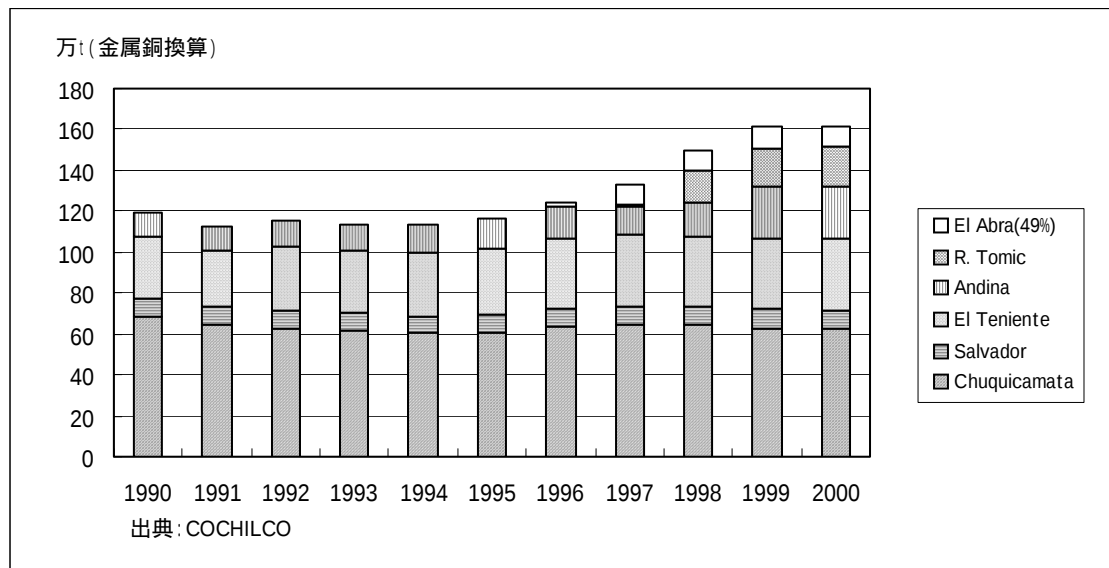


図 4. CODELCO 鉱山別銅生産量推移

#### (1) 生産量拡大計画

CODELCO の資産価値は 90 億ドルと言われるが、Villarzu 総裁は 6 年間でこの資産を倍増するとしている。国から認められた 6 年間の投資額は 36 億ドルであるが、金融市場から 10 億ドル以上の資金調達が可能とされる。世界の銅消費が今後年間 3% 上昇とした場合、CODELCO が引き続き現在のシェアを守るためには、平均で年 5 万 t の増加が必要である。豊富な資金力をバックとする CODELCO の方策は、既存鉱山の拡張と発見した新鉱床の自力開発、並びに後述するチリ国内外における民間企業との J/V による鉱山開発である。1915 年に開発された Chuquicamata 鉱山では、20 年後の鉱量枯渇に備えて坑内掘りへの転換が検討されている。一方で、酸化鉱を産出している Mina Sur が 2004 年に終掘することから、Chuqui Norte 鉱床の開発や酸化鉱廃石からの SX/EW プロジェクトが課題である。世界最大の坑内掘り El Teniente 鉱山については、大幅な生産拡大計画(PDT)がチリ政府機関により認められたことから、2005 年までに年産 48 万 t への拡張を見込む。99 年に第 1 次拡張工事を完了した Andina 鉱山は、選鉱能力の更なる拡大からなる第 2 次拡張計画を準備している。一番規模の小さい Salvador 鉱山では、新たな酸化鉱体開発と硫化鉱処理能力の拡大が課題である。世界最大級の SX/EW 鉱山である Radomiro Tomic 鉱山は 171 百万ドルをかけた拡張工事が完了し、2001 年から増産体制に入っている。

一方、新規プロジェクトとして期待がかかるのは 96 年に発見された Gaby Sur 鉱床で、酸化鉱主体で鉱量 4 億 t 以上と推定され、現在 F/S 段階に入っている。ヒ素含有量が高い等で開発が難しいとされた Mansa Mina 鉱床は、Billiton 社との J/V でバイオリーチングを利用した年産 2 万 t 規模のパイロットプラントを建設する。

#### (2) 加速される J/V と国際化

1992 年 5 月に成立した CODELCO 法改正(法令 19,127 号)により実現した民間企業との J/V で、現

在操業しているのは El Abra 銅鉱山と Agua de la Falda 金鉱山だけで、他案件は開発に至っていない。ここで CODELCO が新たに掲げている戦略が国際化、即ち海外進出である。いかにチリが世界の 3 割の銅資源を有し、巨大な斑岩銅鉱床の賦存するポテンシャルが高くても、チリ国内だけに活動の場を限定しては銅の生産シェア維持が困難となり、また新たな優良鉱山開発の可能性も限られてしまう。メキシコ北部でのグラスルーツ探鉱は 300 万ドル程度の予算でボーリング調査を実施中である。世界銅生産 3 位の Grupo Mexico とのペルーにおける J/V 探鉱、及び鉄鉱石生産で世界一のブラジルのリオデセサ社との J/V は進展していないが、Barrick 社とブラジルで銅の探鉱を実施する。ザンビアの銅鉱山開発への参加は結局断念したものの、南アの AAC 社との交渉は、将来の CODELCO の海外進出にとって貴重な経験となったとされる。2000 年 8 月には Noranda 社と組んで Rio Algom 社に TOB を仕掛け世界を驚かせたが、結局 Rio Algom 社は Billiton 社の手に落ちた。2001 年にもチリの Disputada 社買収が話題となっている。CODELCO の海外進出については、国営企業が外国に資本を投入して鉱山開発を行えば、チリ国内における雇用創設の機会を奪うと異論を唱える向きもあり、外国鉱山企業の買収についても国費の投資先として教育分野や国内のインフラ整備に比べて適切かどうか反対意見も根強くある。必ずしも順調とはいえない CODELCO の海外進出ではあるが、南米を中心に自社の銅鉱山開発・操業のノウハウを活かす道を探ることになるだろう。

### (3) 21 世紀に向けての CODELCO の課題

Villarzu 新総裁の新ビジョンは単に生産量拡大や買収によるシェア確保に留まらない。新総裁は CODELCO の現状について、法律解釈や司法機関との協議に時間を割き、資金調達にも財務省の承認が必要など数々の制約があると訴え、(他の非鉄メジャー企業同様)柔軟で透明性を備えた経営により、競争力と収益力の高い組織になる必要があるとした。また手続きに関しては、El Teniente 鉱山拡張に必要な承認事項が 400 件近くあると CODELCO 幹部は地元紙に不満を語っている。更に、軍への納付金は周辺国、特に過去に戦火を交えたペルー等の国民感情からして、CODELCO の周辺国への進出にとって障害となっており、Group Mexico とのペルーにおける J/V の話は宙に浮いたままである。

このため政府が取り組む改革は、近代化法案による CODELCO の株式会社化、及び売上の 10%を軍部に納付する銅所有権法の廃止の 2 点である。これら 2 つの改革は CODELCO の政治面における課題とも言え、以下のとおり原則的に議会をクリアする必要がある。

#### ・CODELCO 近代化法案の再審議

1994 年のフレイ政権発足当時、前回 Villarzu 氏が CODELCO 総裁であった時、CODELCO 近代化法案が議会に提出された。この法案は CODELCO 本体を持ち株会社化し、各鉱山を子会社化して独立性を与えるものであったが、上院野党は更なる政府の影響排除と既存鉱山への民間資本の導入を唱えて反対し、結局法案は上院鉱業委員会で否決され未だ休眠状態となっている。総裁によればこの法

案は今も有効であり、100%国営の株式会社を目指す点は変わらないが、規模のメリットを活かすため各鉱山の分権化をやめ、むしろ一つの巨大な会社にする必要があるとした。一方、経営者側と新たな6年間の戦略的同盟に合意した CODELCO の労働者代表は、株式会社化は CODELCO 民営化の道を開くものとして否定的な立場をとっていた。法案の修正、議会での再審議は大統領府が握っており、懸案事項白押しのラゴス政権が本件を優先するかどうかは不透明である。

- ・銅所有権法(Ley Reservada del Cobre)の廃止

CODELCO の売上の10%を軍に納付する銅所有権法は、軍政前に導入された制度ではあるが、16年半続いたチリ軍政の遺物とも言え、ラゴス政権は、国防費は議会において(シビリアンコントロールの下)国家予算を通して調達すべきとし、同法案の廃止を目指している。ただ、かつての軍政を支えた野党右派に加え、軍関係者4名を含む任命上院議員を擁する上院においては、与党が過半数を得ることは難しく、同法廃止のための法案提出時期は未定とされている。軍事政権時代に制定された現行の憲法は、民政移管後も軍の影響力を維持するため、任命上院議員制度のような条項を巧妙に残し、上院における憲法改正を難しくしており、軍との妥協の産物であるチリの不完全な民主化を象徴しているとされる。従って、21世紀への CODELCO の課題は単なる経営改革ではなく、ラゴス政権の民主化達成という大きな政治的課題にも関わっていると言える。

#### 4. SX/EW 技術の進展

##### (1) 南米における SX/EW による銅生産

2000年、全世界の銅生産の内17%にあたる232万tがSX/EWによるものであったが、図5のとおりチリはこの内137万t、全世界の6割を生産している。チリ北部では比較的地表近くに多くの銅酸化鉱が存在し、雨が極端に少ないアタカマ砂漠の気象条件と周囲の人口密度の低さ、及び良好な投資環境が同国のSX/EWの発展に寄与した。チリにおいてSX/EWが商業的に実用化されたのは、高性能な抽出剤が開発された80年代に入ってからで、チリのPudahuel社がLo Aguirre鉱山において、米国のエンジニアリング会社のプロセスを改良し、TL(薄層)プロセス法として特許を取得したことに始まる。この特許は1996年1月に期限切れとなったが、現在チリで操業している多くのSX/EW鉱山が、TLプロセスの概念を採用しているとされる。生産コストが低いSX/EW鉱山は競争力があり、前述のとおり90年代後半にチリにおいて急速に生産量を伸ばし、現在ではチリの銅生産量の3割以上を占めている。主な対象鉱石である酸化鉱の埋蔵量に限りがあるため、2000年以降に大きな生産量の増加は望めないが、それでも、2001年にはEl Tesoro鉱山の生産開始と、CODELCOのRadomiro Tomic鉱山の拡張があり、その後もCODELCO期待のGaby Sur鉱床やBilliton社のSpence鉱床等の開発により生産量の拡大が見込まれている。

一方、チリ以外に南米でSX/EWによる銅生産が行われているのは、アタカマ砂漠の北に続くペルー南部にある3鉱山のみである。ブラジルやアルゼンティンにもSX/EW適用を検討しているプロジ

エクトは存在するが、近い将来南米において SX/EW による銅生産の増加が見込まれるのはチリとペルーの2か国である。

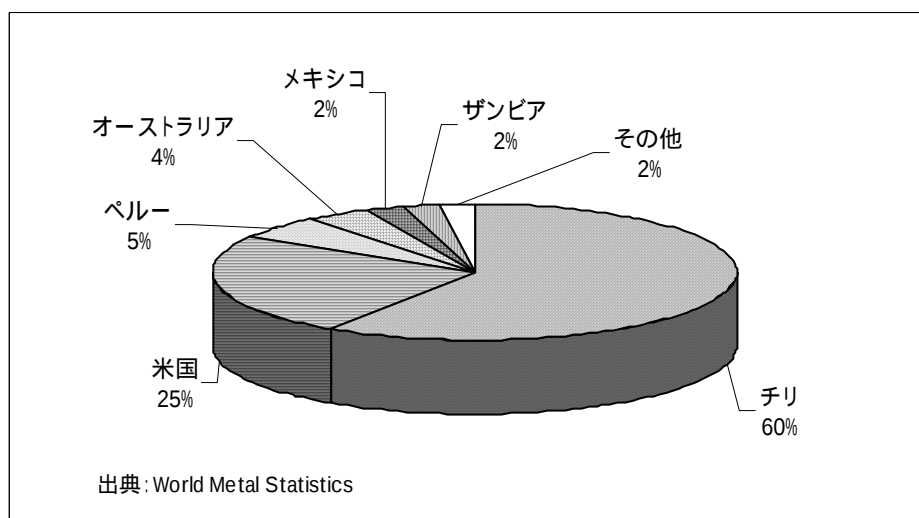


図 5. 2000 年の世界の SX/EW 生産国

## (2) 浸出(リーチング)技術開発

硫酸で容易に浸出できる酸化鉱から湿式製錬で銅地金を得る手法は、SX/EW 法として 1968 年に米国で工業化されている。酸化鉱は硫化鉱に比べて一般に鉱量が少ないため、従来は乾式製錬で処理されていた硫化鉱への湿式製錬の適用が現在盛んに研究されている。既に斑岩銅鉱床の二次富化帯に存在する輝銅鉱( $\text{Cu}_2\text{S}$ )、銅藍( $\text{CuS}$ )等の二次硫化鉱(鉱床生成後に酸化帯で溶脱された銅分が下部の一次硫化鉱と反応して生成)に対しては、バクテリアの力を借りて浸出する手法が実用化されており、現在技術開発の主体は銅資源の中で最も大量に存在する黄銅鉱( $\text{CuFeS}_2$ )等の一次硫化鉱の浸出となっている。一次硫化鉱は従来の浸出法では時間がかかりすぎて現在のところ一般的に実用化されていない。硫化鉱を対象とする湿式製錬プロジェクトとして、世界的には Intec 法等クロライド液を用いた研究が先行しているが、南米においては以下の3つの手法が試みられている。

### ・アンモニア浸出

1990 年に生産を開始した世界最大の Escondida 銅鉱山が、95～98 年に積出港のあるコロソにおいて実施した。山元から送られた精鉱中の二次硫化鉱を対象として、アンモニアを用いて常温常圧で 40%程度の銅を浸出する。硫安の発生を抑えるため反応の速い輝銅鉱のみを浸出して残りのアンモニアはリサイクルに廻し、同時に残渣中の銅藍を精鉱として輸出した。当初年間 8 万 t の銅地金生産を目指したが、浸出率が十分上がらないため最大でも年間 6 万 t 台の生産に留まり、コスト高のため銅価の下落した 98 年に生産を停止した。銅価がある程度回復した現在も再開の予定はなく、技術者は酸化鉱を対象とする山元の SX/EW 施設に振り替えられた。本法は二次硫化鉱の精鉱を対象とする特異なケースである。

#### ・硫酸加圧浸出

リオドセ社がブラジル北部のカラジャス地域に所有する Salobo 銅鉱床開発に適用を検討している。熔鉱炉を痛めるフッ素の含有量が高いため通常の乾式製錬をあきらめ、カナダの Cominco 社の子会社が有する CESL 法を適用し、精鉱中の一次硫化鉱を加圧酸化することで浸出する。選鉱と加圧酸化の前工程は必要であるが、浸出した硫酸銅溶液は通常の SX/EW 法で処理可能で、浸出過程の残渣から金銀及び硫黄を回収できる利点がある。Cominco 社のラボに大量の鉱石試料を送って実証試験を行った結果、技術的には可能とされている。現在、経済性を含めて詳細な評価を実施している。

#### ・バクテリアリーチング

二次硫化鉱を対象とするバクテリア浸出は、通常の SX/EW 鉱山同様に粉碎した鉱石を野積みにして硫酸浸出する際バクテリアを利用するもので、チリでは 1985 年から商業的に導入されており、現在チリでは 4 つの銅鉱山に適用されている。一方、CODELCO と Billiton 社が新たに発表した J/V(Alliance Copper Limited)は、一次硫化鉱である黄銅鉱主体の銅精鉱をバクテリアの作用により比較的短時間でタンク内において浸出する計画である。二次硫化鉱に適用されるバクテリアより高温域で活動する好熱性細菌を利用して、難溶性の一次硫化鉱を生物酸化するプロセスである。この J/V では、Chuquibambilla 鉱山の南部に隣接し、高濃度のヒ素を含む Mansa Mina 鉱床の鉱石を対象として、2 億ドルを投じて年産銅 2 万 t のレベルのパイロットプラントによる評価を実施する。

### (3) 今後の展望

エネルギー消費が少なく排ガスも無いことから、環境に優しいという追い風もあり湿式製錬技術の進展は近年目覚ましいものがある。特に銅の場合、SX/EW 鉱山による生産が 90 年代に世界で 3 倍以上に増え、対象となる鉱石も酸化鉱から二次硫化鉱に広がってきた。確かに銅資源の大部分を占める黄銅鉱のような一次硫化鉱が直接効率よく浸出され、どこの山元でも地金生産が可能となれば、精鉱の需給、または日本のようなカスタムスメルターと精鉱を供給する鉱山との関係に影響を与えるであろう。しかしながら、一次硫化鉱の精鉱を対象とする限り、酸化鉱を直接浸出する現在の SX/EW 鉱山に比べて選鉱過程が入るだけ、次頁の表 2 に示す概算コストのとおり明らかにコスト高となる。山元に新しい乾式製錬所を建設するよりは有利かもしれないが、償却や環境投資の終了した既存の乾式製錬所のシェアを削ってまで、新しい湿式製錬がここ 20 年で生産を伸ばすとは Billiton 社や CODELCO も予想していない。乾式製錬でも生産規模を拡大し、よりエネルギー効率を高め、生産性を上げる弛まぬ努力が行われている。従って現時点での南米における湿式製錬の方向性は、不純物を含む鉱石や低品位の廃石など既存の乾式製錬では採算に合わない鉱床の開発に向かっているように見える。同時に、CODELCO の幹部も指摘していることだが、将来一部の鉱山で酸化鉱が終掘する際、既存の SX/EW 施設を活用するために一次硫化鉱の湿式製錬が利用される可能性も

ある。いずれにせよ、現在競われている各手法の技術開発が鍵を握っており、CODELCO と Billiton 社の J/V は、将来開発する技術で特許を取り、この技術を用いて開発される鉱山の権益を取得することを想定している。

表 2. 概算コスト比較

|              | 酸化鉱 SX/EW | 硫化精鉱 SX/EW | 硫化精鉱乾式製錬 |
|--------------|-----------|------------|----------|
| 採掘・浮選/ヒープ造成  | 30        | 50         | 50       |
| 精鉱リーチング      | -         | 20         | -        |
| SX/EW        | 20        | 20         | -        |
| 熔錬(smelting) | -         | -          | 13       |
| 精製(refining) | -         | -          | 4        |
| 合計           | 50        | 90         | 67       |

単位：銅 1 ポンド当たりのコスト(米セント)

出典：Mineria Chilena 1999 年 5 月号

## 5. 環境規制及び銅製錬所

### (1) チリの鉱業に係わる環境規制

1990 年代のチリにおける銅生産の伸びは目覚ましいものであるが、この生産増加が環境を犠牲にしてのものであるなら、精鉱にしる地金にしる先進国の市場に受け入れられるものではない。80 年代までのチリの銅生産は、例えば Salvador 鉱山が浮遊選鉱の残渣である尾鉱(テイリング)を河川に垂れ流し、河口付近の住民から提訴を受けたり、国営製錬所で亜硫酸ガスをほとんど回収せずに排ガスを放出したり、国営の CODELCO 及び鉱山公社(ENAMI)の環境対策はずさんなものであった。逆に外資系の企業は、チリに環境規制が未整備であっても、欧米の厳しい環境基準に基づいて鉱山開発を進めていた。80 年代までにチリの鉱業分野に影響を与えた規制は、尾鉱堆積場の設置及び操業に関する規則(1970 年)及び鉱山保安規則(1986 年)程度であった。

1990 年代に入り、先ず 90 年 9 月に国の環境行政の調整機関として国家環境委員会(CONAMA)が新たに設立された。これは鉱業分野に限らず、チリにおける経済発展やサンチャゴ首都圏への人口集中に伴い、大気汚染、水質汚濁、廃棄物処理等の公害問題が顕在化するとともに、土壌浸食、自然環境の破壊が進行したため、国として環境問題に積極的に取り組む必要が生じたためである。この成果は 94 年の環境基本法の成立により結実し、環境問題に関係する諸機関が CONAMA を頂点に意志の疎通、情報の交換を行いつつ、協調性をもって環境問題に取り組むことになった。鉱業分野でも環境規制が着実に進み、先ず、92 年には鉱業省最高布告 No.185「亜硫酸ガス、粉塵及びヒ素を発生する工場活動に関する規則」が施行され、98 年の「ヒ素の大気への排出基準」と併せて、チリの各製錬所に厳しい排出規制を課し、これにより 2 つの国営公社 CODELCO と ENAMI は 1990 年代に莫大な環境投資を強いられることになった(各製錬所の状況については(3)で後述)。94～99 年に CODELCO の環境関連投資は 7 億 2,700 万ドルに達し、この間の総投資額の 4 分の 1 近くを占めた。ENAMI についても、2 つの製錬所への環境投資が、多額の債務として現在も経営に重くのしかかっている。

また、97 年に告示された「環境影響評価に関する規則」についても、鉱業の場合は探鉱、採掘、選鉱、尾鉱・スラグ処理まで含まれ、鉱山開発や拡張プロジェクトの着手に先立ち、州環境委員会(COREMA)または CONAMA の環境影響評価を受けることになった(環境影響宣言を除く)。その他 90 年代に以下のような規則が定められた。

- ・産業廃棄物の中和及び浄化に関する規則(1992 年)
- ・汚染防止及び汚染除去計画作成のための手順及びステップを定める規則(1995 年)
- ・環境基準及び排出基準の公布に関する規則(1995 年)

## (2) ラゴス政権下の環境規制の進展

2000 年 3 月に就任したラゴス新大統領は、初の大統領教書の発表において、2010 年頃までに先進国の仲間入りをすることを目指すとし、2006 年までの任期中の政府プログラムに「持続的成長のための環境保全に向けた法制度整備」を盛り込んでいる。90 年代の環境規制強化に引き続いて、ラゴス新政権下においても、鉱業に影響を与える法案や政令が相次いで準備されつつある。先ず、2001 年 3 月には鉱山廃水の基準として特に鉱業への影響が大きいと思われる「(液体)産業廃棄物の地表水への排出基準」が官報に告示された。CODELCO の El Teniente 鉱山のモリブデンと硫酸塩の基準に例外を設けた政令案が憲法と矛盾するとされ、2000 年 7 月に法律監査院に却下された政令が漸く発効したものである。また、チリ銅委員会(COCHILCO)を取りまとめ役として鉱業省、CONAMA、チリ地質鉱山局(SERNAGEOMIN)、業界団体等がワーキンググループを作って 2 年間にわたって検討してきた結果、2000 年末に「チリにおける鉱業事業所の閉鎖基準・プログレスリポート」がまとめられた。閉山の管理・監督機関として SERNAGEOMIN を指名し、操業中の鉱山を含む全ての鉱山企業に閉山規制が適用され、企業が対処不能になった場合の国の財政保証の必要性が盛り込まれている。政令ではなく法律であるため国会審議を必要としているが、鉱山会社に与える影響も大きいため、国会提出前に慎重な検討が行われている。他にも鉱業に影響を与える可能性のある政令他が以下のとおり検討されており、今後、鉱業関連の環境基準及び規制は益々整備が進むものと予想される。但し、これらは既に 90 年代から手続きを開始、または構想があったもので、ラゴス政権の環境規制強化を特に意味するものではない。サンチャゴ市内の大気汚染や NGO の活動を通じて、徐々に国民の環境意識が目覚め、環境基本法の制定に始まる一連の環境基準・規制の作成が進んでいるものである。

- ・地表大陸水の環境基準(法律監査院で最終チェック)
- ・有害固形廃棄物の取り扱い規制(厚生省管轄で基準作成)
- ・酸性水取り扱いガイドライン(実態調査中)
- ・地下水の水質基準(原案を作成し一般意見を聴取中)
- ・海水の水質基準(検討に着手)
- ・降下粉塵(PM2.5)の基準(検討に着手)

水質基準が相次いで作成されているのは、1990 年代末に製錬所等の大気汚染問題が一段落し、第 2 ステージとして基準作成が水質に移ってきたためとされる。地下水の基準は特に鉱業を意識した政令ではないが、近年チリ北部で急激に増加した SX/EW 鉱山において、硫酸溶液や有機溶媒のリークがある場合、環境に優しいはずの SX/EW 鉱山が環境規制の対象となる可能性もある。

### (3) チリの製錬所における硫酸回収と SX/EW 鉱山

表 3「チリの銅製錬所一覧表」中の硫黄捕集率または硫酸生産量の変遷から、チリの国営製錬所が 90 年代にいかに急速に環境対策を進めたか明らかである。この背景には、90 年代に入り、SX/EW 鉱山が生産量を急速に伸ばし、大量の硫酸を必要としたため、回収した硫酸を容易に売却できるようになった事実を見逃せない。図 6 にチリの硫酸生産量、輸出入量、及び SX/EW 生産量を示す。硫酸の生産量と SX/EW 生産量は極めて似通った増加を示しており、94 年のみ硫酸生産の伸びが急で輸出量が輸入量を上回っているが、概ね 95 年あたりまで硫酸の需給バランスはとれていた。96 年以降は製錬所で回収される硫酸の量に比べ、SX/EW 鉱山で使用される硫酸量の伸びが上回り、ペルーや日本からの硫酸輸入量が増加している。今後順調に各製錬所の硫酸回収プラントが稼働すれば、酸化鉱を主体とする鉱床に限りがあり、SX/EW 鉱山の硫酸使用量も 90 年代後半ほどは伸びないと予想されるので、硫酸の不足も限定的になると思われる。逆に Alto Norte 製錬所が 2003 年に反射炉を新型炉に置き換えて熔錬量を拡大する他、CODELCO や ENAMI の製錬所も熔錬量拡大を計画しているため、将来的に硫酸回収量は大幅に増加する可能性もある。更に、Antofagasta 北部に隣接する Mejillones 巨大港湾には、Outokumpu 社または CODELCO の新しい製錬所建設の計画もある。

しかしながら一方では製錬所の硫酸回収は必ずしも順調に進んでいない。2000 年末に完成した Caletones 製錬所の第 2 硫酸回収プラントが設備のトラブルによりヒ素中毒者をだした。また、地域住民の反対により暫定的な硫酸のトラック輸送を鉄道輸送に切り換える必要がある。Chuquicamata 製錬所は、99 年までに当初の汚染除去計画を達成できなかったため、亜硫酸ガス排出について新たな上限値が設定され、2003 年まで汚染除去計画を継続することになった。CODELCO は 2005 年までに全ての製錬所において硫黄捕集率を国際標準以上の 95%にすると発表しているが、環境基準を達成せずに熔錬能力を拡張することは困難であろう。加えて硫酸を回収する際発生する煙灰や廃酸にはヒ素や鉛等の有害物質が大量に含まれており、これら有害物質の処理が将来的に問題となる可能性もある。特にチリ北部の銅鉱床は、地化学的にヒ素濃度が高い特徴を持っており、大量に発生するヒ素化合物をどのような形で半永久的に安定して保管するのか検討されている。現在厚生省が作成中の「有害固形廃棄物の取り扱い規制」(上述(2))が施行される場合、各製錬所における有害廃棄物の処理に影響を及ぼすことになる。

表 3. チリの銅製錬所一覧表

| 製錬所          | Chuquicamata | Caletones | Potrerillos | Ventanas | Paipote | Alto Norte | Chagres   |
|--------------|--------------|-----------|-------------|----------|---------|------------|-----------|
| 所属           | CODELCO      | CODELCO   | CODELCO     | ENAMI    | ENAMI   | NORANDA    | DISPUTADA |
| 1989 年時点     |              |           |             |          |         |            |           |
| 精鉱溶錬量(千 t/年) | 1,379        | 1,109     | 451         | 313      | 229     | -          | 123       |
| 硫黄捕集率(%)     | 32           | 6         | 3           | n.d.     | 32      | -          | 75        |
| 硫黄生産量(千 t/年) | 425          | 26        | 0           | 0        | 47      | -          | 63        |
| 1999 年時点     |              |           |             |          |         |            |           |
| 精鉱溶錬量(千 t/年) | 1,650        | 1,250     | 520         | 390      | 280     | 395        | 414       |
| 銅溶錬量(千 t/年)  | 450          | 380       | 141         | 108      | 72      | 107        | 113       |
| 硫黄捕集率(%)     | 85           | 55        | 75          | 90       | 90      | 85         | 96        |
| 硫酸生産量(千 t/年) | 1,503        | 430       | 394         | 322      | 234     | 288        | 389       |
| ヒ素排出量(t/年)   | 1,170        | <2,200    | <1,450      | 120      | 40      | <126       | <45       |
| 2003 年計画     |              |           |             |          |         |            |           |
| 精鉱溶錬量(千 t/年) | 1,850        | 1,550     | 550         | 550      | 390     | 816        | 414       |
| 銅溶錬量(千 t/年)  | 502          | 423       | 149         | 150      | 106     | 221        | 113       |
| 硫黄捕集率(%)     | 95           | 90        | 90          | 90       | 90      | 92         | 96        |
| 硫酸生産量(千 t/年) | 1,884        | 1,410     | 500         | 455      | 322     | 644        | 389       |

出典：CIMM(但し、1989 年のデータは鉱業省・チリ大学)

注) Caletones 製錬所は CODELCO の El Teniente 鉱山に、Potrerillos 製錬所は CODELCO の Salvador 鉱山に属する。

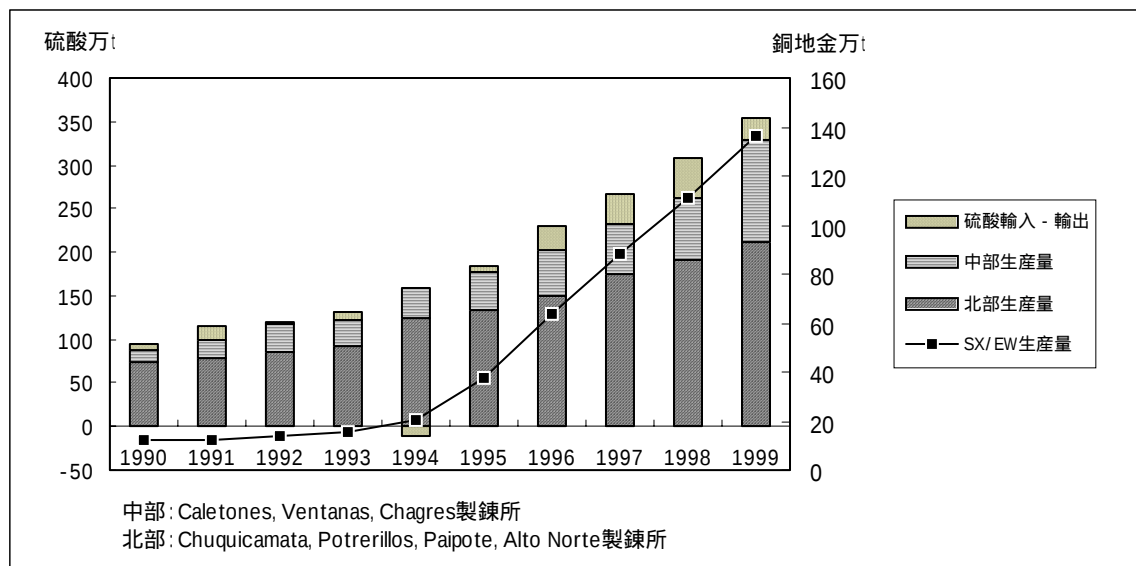


図 6. チリの硫酸生産・輸出入と SX/EW 生産量

## 6. チリに続く南米産銅国

### (1) ペルー

2000 年の銅生産量は 55 万 t であったが、今年生産を開始した Antamina 鉱山により大幅な増産となる。Antamina 鉱山は年間金属量で当初 10 年間銅を 30.5 万 t、亜鉛を 28.3 万 t 生産する見込みの開発総額 23 億ドルにおよぶ巨大プロジェクトで、三菱商事が 10%の権益を握っている。今後も Cuajone、BHP Tintaya 等の増産や Quellaveco、La Granja 等の新規開発により、ペルーの銅生産量は 2005 年には 112 万 t に達すると見込まれている。現在の主要な銅鉱山と将来開発が見込まれる主なプロジェクトを表 4 に示す。

銅地金生産については、現在 2 つの SX/EW 鉱山で年間 13 万 t 程度のカソードを生産しており、

製錬所も Ilo 及び La Oroya にある。前者は SPCC が所有し、Toquepala 及び Cuacone 鉱山の精銅を使って年間 30 万 t 程度の地金を生産している。後者は 97 年に Doe Run 社が Minero Peru から買収したもので、地金で年間 8 万 t 程度の熔錬能力がある。両製錬所ともに反射炉を使用しているが、Ilo 製錬所では環境適正化計画に対応するため、6 億ドルを投じて反射炉を新型炉に置き換え、熔錬能力も拡大する計画がある。三井物産は Ilo 製錬所と長期買地金契約を結んでいる。

表 4. ペルーの主要銅プロジェクト

| プロジェクト名      | 権益保持者                                     | 鉱量・品位                  | 年生産量      | 開発予定他                            |
|--------------|-------------------------------------------|------------------------|-----------|----------------------------------|
| Antamina     | Noranda, Billiton, Teck, Mitsubishi       | 559 百万 t<br>Cu:1.24%   | 305 千 t   | 2001 年生産開始<br>開発投資 2,300 MUS\$   |
| Quellaveco   | AAC 100%                                  | 213 百万 t<br>Cu:0.94%   | 200 千 t   | ファイナンス検討<br>開発投資 827 MUS\$       |
| La Granja    | Billiton 100%                             | 3,830 百万 t<br>Cu:0.53% | 75 千 t 以上 | F/S 見直し中<br>開発投資 600 MUS\$       |
| Tambo Grande | Manhattan Minerals 75%<br>Minero Peru 25% | 82 百万 t<br>Cu:1%       | 80 千 t    | 環境影響評価<br>開発投資 300 MUS\$         |
| Minas Congas | Newmont 51.35%<br>Buenaventura            | 531 百万 t<br>Cu:0.36%   | 45 千 t    | 2000 年 pre-F/S<br>開発投資 600 MUS\$ |
| Cerro Corona | Corona 100%                               | 40.8 百万 t<br>Cu:0.7%   | 100 千 t   | 2000 年 F/S<br>開発投資 100 MUS\$     |
| Cerro Negro  | Phelps Dodge 100%                         | 70 百万 t<br>Cu:0.53%    | 20 千 t    | 開発延期、SX/EW<br>開発投資 100 MUS\$     |
| Magistral    | Anaconda 65%<br>Inca Pacific 35%          | 130 百万 t<br>Cu:0.81%   | 100 千 t   | 精密探鉱、pre-F/S<br>開発投資 200 MUS\$   |

## (2) アルゼンティン

カタマルカ州の Bajo de la Alumbrera 鉱山の開発により産銅国の仲間入りを果たした同国では、その後に続く銅鉱山開発は無く、金属価格の低迷もあって一部探鉱プロジェクトの撤退も伝えられる。銅については現在表 5 の 3 プロジェクトの開発が期待されている。鉱業統合条約は外交上 2000 年 12 月に発効したが、金属価格の低迷もあり、期待されていた 5 年間で 60 億ドルの鉱業投資は進展していない。連邦制をとっていることから州政府の権限が強く、カタマルカ州では鉱山側と州政府の間でロイヤルティーの算定方法についてもめていたが、山元金属価値から減価償却を除く生産コストを控除した額の 3%にすることで 2000 年 12 月に決着した。国としては鉱業投資促進のため更なる法律の改定とインフラ整備を進めている。なお、銅製錬所については建設の構想はあるものの実現していない。

表 5. アルゼンティンの主要銅プロジェクト

| プロジェクト名   | 権益保持者                            | 鉱量・品位                | 年生産量    | 開発予定他                                 |
|-----------|----------------------------------|----------------------|---------|---------------------------------------|
| El Pachon | Noranda 100%                     | 880 百万 t<br>Cu:0.62% | 200 千 t | F/S の見直し<br>Los Pelambres 鉱山施設利用      |
| Agua Rica | BHP 70%<br>Northern Orion 30%    | 750 百万 t<br>Cu:0.62% | 174 千 t | Alumbrera 後の開発検討<br>400 ~ 1,200 MUS\$ |
| San Jorge | Northern Orion 85%<br>Climax 15% | 113 百万 t<br>Cu:0.6%  | 30 千 t  | 銅価格回復待ち<br>SX/EW 適用                   |

### (3) ブラジル

多様な地質環境に恵まれながら、現在操業中の銅鉱山は東北部のバイア州内陸部の Caraiba 鉱山のみで、2000 年の生産量は 31,786t である。将来的にブラジルの銅生産はリオドセ(CVRD)社がカラジャス地域に保有する表 6 の 5 プロジェクトの行方にかかっている。同社によれば今後 6~7 年で年間 70 万 t 程度の銅を産出するとし、銅地金を生産するため Caraiba 製錬所を買収する動きもある。カラジャス地域は内陸地ゆえに開発は不利との見方もあるが、付近はカラジャス鉄鉱山をはじめとしてマンガンや金の鉱山もあり、インフラは整っており、サンルイス近くの港湾施設まで 890km の鉄道で結ばれている。

国内の製錬所は Bahia 州 Camacari にある Caraiba 製錬所のみで、2000 年の拡張工事により年産 22 万 t の銅地金を生産する。Outokumpu Flush 炉を使用し、国内で不足する精鉱は主にチリ及びペルーから輸入している。国内の堅調な銅需要の伸びを背景に、2005 年頃までに大幅な拡張計画があるが、カラジャス地域の銅資源開発と密接な繋がりがある。

表 6. ブラジルの主要銅プロジェクト(カラジャス地域)

| プロジェクト名    | 権益保持者                        | 鉱量・品位                   | 年生産量    | 開発予定他                                 |
|------------|------------------------------|-------------------------|---------|---------------------------------------|
| Sossego    | CVRD 50%<br>Phelps Dodge 50% | 219 百万 t<br>Cu:1.14%    | 150 千 t | 2004 年生産開始<br>開発投資 500 MUS\$          |
| Cristalino | CVRD 50%<br>BNDES 50%        | -<br>Cu:0.8%            | 150 千 t | 2001 年 pre-F/S                        |
| Alemao     | CVRD 67%<br>BNDES 33%        | 170 百万 t<br>Cu:1.5%     | 80 千 t  | 2001 年 pre-F/S                        |
| Alvo118    | CVRD 50%<br>BNDES 50%        | 100-120 百万 t<br>Cu:0.8% | 50 千 t  | 2001 年 F/S                            |
| Salobo     | CVRD 50%<br>AAC 50%          | 1900 百万 t<br>Cu:0.65%   | 200 千 t | 2004 年生産開始、湿式製錬法<br>適用、開発投資 600 MUS\$ |

## 7. 日本との関係

### (1) 日本の銅精鉱輸入量推移と銅地金生産

図 7 に 1990~2000 年の日本の銅精鉱輸入量推移、また図 8、9 に 1990 年と 2000 年の日本の銅精鉱輸入国の内訳を示す(データは全て通関統計)。通関統計によれば 2000 年に日本が輸入した精鉱は 446.9 万 t(乾重量)で、その内チリからは 189.8 万 t で全体の約 42%を占めるに至った。この比率は 1990 年には 10%で、チリはフィリピンに次ぐ 4 番目でしかなかった。1990 年と 2000 年を比較すると精鉱の総輸入量は約 27%増加しているが、チリからの輸入量は 5 倍以上に膨らんだ。チリ以外の国では新鉱山や既存鉱山の拡張で生産量を伸ばしているインドネシア、また南米では新規大型プロジェクトが動き出したペルーや、新たな産銅国として名乗りを挙げたアルゼンティンの今後の動向が注目される。

一方、10 年前には約 100 万 t であった日本の銅地金生産量(スクラップ回収を含む)は、2000 年には 148 万 t に達し、日本の製錬所はコスト競争力を高めるため、生産量を近年徐々に増加させている。2001 年は一部製錬所の改修工事等により前年より若干減産となるが、低迷する国内銅消費の

伸びに対して、国内余剰分を近隣諸国へ輸出する傾向がある。また、高い金属回収率や環境保全等の優れた技術力を持つ日本の製錬会社は、銅需要の高い伸びが見込めるアジア市場を意識して、中国の金隆製錬所やインドネシアのグレッシック製錬所のように、積極的に海外における製錬を始める動きもある。今後は、循環型社会を目指す一連の法整備に対応して、家電製品等のリサイクル事業で大きな役割を果たすことが日本の製錬所に求められている。

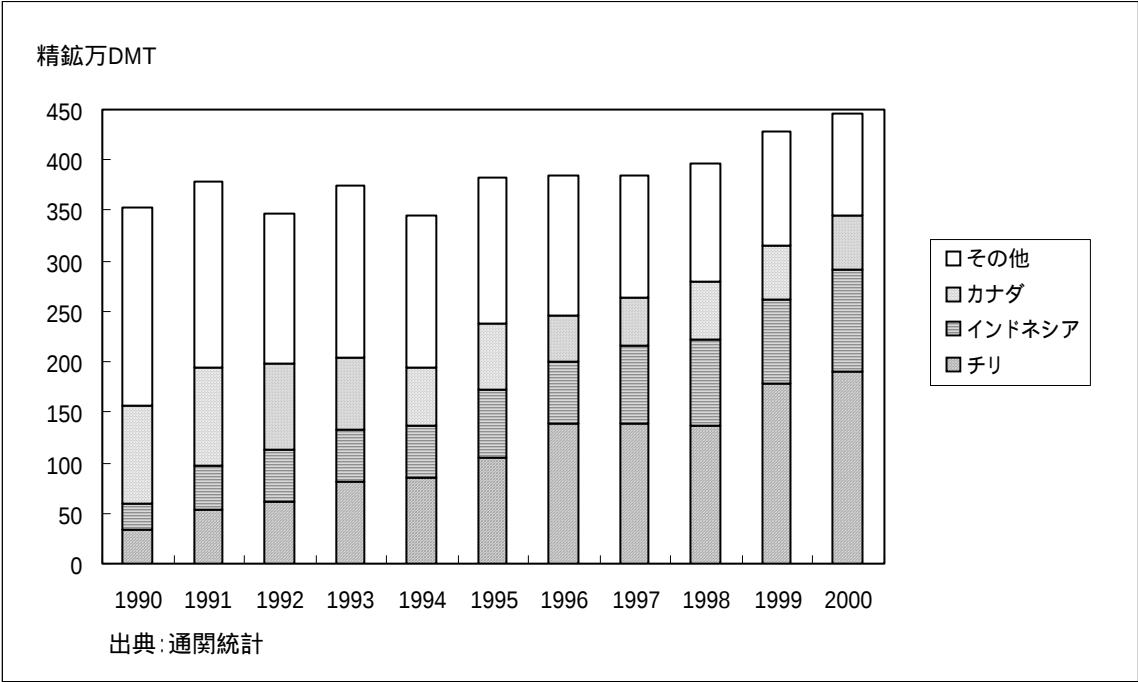


図 7. 日本の銅精鉱輸入量の推移(1990-2000 年)

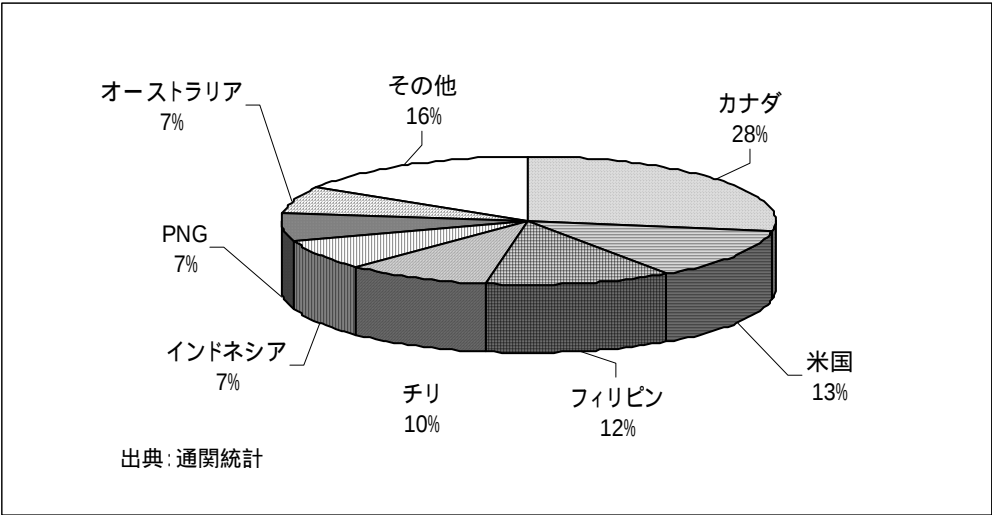


図 8. 1990 年の日本の銅精鉱輸入国の内訳(3,523kDMT)

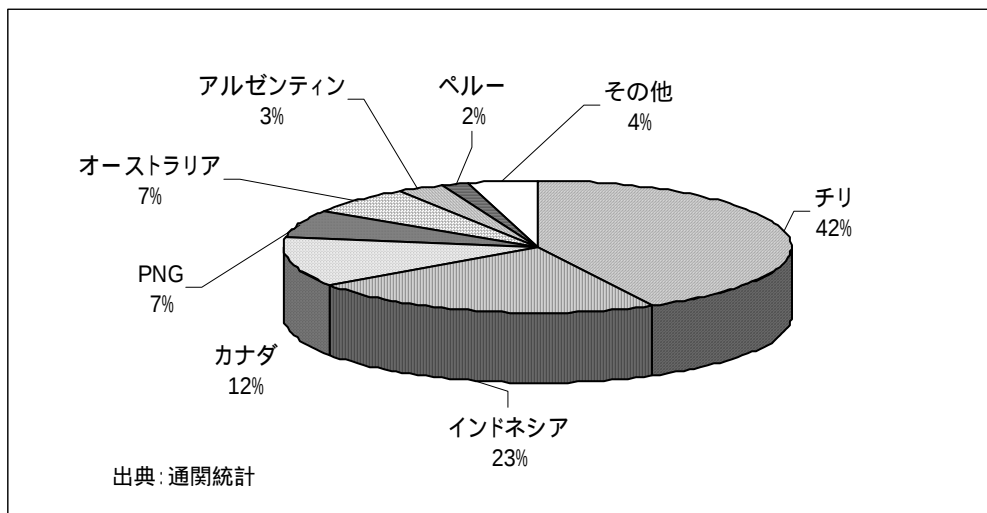


図 9. 2000 年の日本の銅精鉱輸入国の内訳(4,469kDMT)

## (2) 日本企業が資本参加しているチリの銅鉱山

表 7 に日本企業が出資している、現在生産中または開発中であるチリの銅鉱山を示す。図 7 で示した、チリからの精鉱輸入の飛躍的増加に大きく貢献したのが、99 年までに相次いで生産を開始した表 7 中の 4 つの大型銅鉱山、すなわち 90 年に Escondida、94 年に Candelaria、98 年に Collahuasi 鉱山、及び 99 年に Los Pelambres 鉱山がそれぞれ生産を開始している。各鉱山に 2000 年の日本への精鉱輸出量を個別に聴取したところ、長期契約以外にもスポットやトレーダーによる取引も加えて、Escondida が 64.7 万 t、Candelaria が 31.4 万 t、Collahuasi が約 27 万 t、Los Pelambres が 40 万 t であった。従って、これら 4 鉱山からの輸入総計は 163.1 万 t となり、チリからの輸入量の 9 割近くを占めることとなる。世界全体で見た場合も、日本の銅製錬所は、これら 4 鉱山に原料の 36.5%を依存していることになる(精鉱乾重量ベース)。

一方、現在開発中の Atacama 銅鉱山は他の 4 鉱山とは異なり、日本側の日鉄鉱業が 60%とマジョリティーをとり、単なる資本参加ではなく日本の技術者を投入して自主開発を目指している。生産が開始されれば、年産約 9 万 t の銅精鉱のうち約半分が日比共同製錬(株)の玉野製錬所に供給される予定。

表 7. チリにおける日本企業の鉱山開発プロジェクト

| 鉱山名                 | Escondida銅鉱山                                       | Candelaria銅鉱山           | Collahuasi銅鉱山                         | Los Pelambres銅鉱山                                             | Atacama Kozan銅鉱山 |
|---------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|
| 位置                  | 第 州アントファガスタ南東160km                                 | 第 州北アタカマ南20km           | 第 州イキケ南東180km                         | 第 州サマタカ東45km                                                 | 第 州北アタカマ南20km    |
| 開発形態                | 資本参加                                               | 資本参加                    | 資本参加                                  | 資本参加                                                         | 自主開発             |
| 日本側企業               | JECO 10%<br>(三菱商事 6%)<br>(三菱マテリアル 2%)<br>(日鉱金属 2%) | 住友金属鉱山 15%<br>住友商事 5%   | 三井物産 6.9%<br>日鉱金属 3.6%<br>三井金属鉱業 1.5% | 日鉱金属 15%<br>三菱マテリアル 10%<br>丸紅 8.75%<br>三菱商事 5%<br>三井物産 1.25% | 日鉄鉱業 60%         |
| 相手側企業               | BHP(豪) 57.5%<br>RTZ(英) 30%<br>IFC 2.5%             | Phelps Dodge(米) 80%     | Falconbridge(加) 44%<br>AAC(南ア) 44%    | Luksic(チリ) 60%<br>(Antofagasta(英))<br>(Anaconda(チリ))         | Inverraz(チリ) 40% |
| 鉱床タイプ               | 斑岩銅型                                               | マント型                    | 斑岩銅型                                  | 斑岩銅型                                                         | マント型             |
| 埋蔵量                 | 21億t(ノルテ鉱床除く)                                      | 398百万t                  | 31億t(可採6億t)                           | 24億t(可採9.3億t)                                                | 20百万t            |
| 品位                  | 銅 1.31%                                            | 銅 1.06%、金 0.25g/t       | 銅 0.82%                               | 銅 0.63%、モリブデン 0.02%                                          | 銅 1.5%           |
| 採掘方法                | 露天掘り                                               | 露天掘り                    | 露天掘り                                  | 露天掘り                                                         | 坑内掘り             |
| SX/EW               | 有り                                                 | 無し                      | 有り                                    | 無し                                                           | 無し               |
| 2000年生産量<br>(金属銅換算) | 銅精鉱 72.3万t<br>銅カソード 13.9万t                         | 銅精鉱 21.1万t              | 銅精鉱 37.8万t<br>銅カソード 5.8万t             | 銅精鉱 31万t                                                     | 銅精鉱 2.5万t(予定)    |
| 開発費                 | 836百万ドル<br>拡張工事 1,506百万ドル                          | 592百万ドル<br>拡張工事 300百万ドル | 1,760百万ドル                             | 1,360百万ドル                                                    | 110百万ドル          |
| 開発着手                | 1988年                                              | 1993年                   | 1996年                                 | 1997年                                                        | 2001年            |
| 操業開始                | 1990年                                              | 1995年(拡張完了1998年)        | 1998年                                 | 1999年                                                        | 2003年(予定)        |

出典：鉱山 Vol.51, No.8, Oct., 1998(日本鉱業協会)他

### (3) Los Pelambres 鉱山

1999 年 11 月に生産を開始した Los Pelambres 鉱山は、年間 70 万 t 以上の銅精鉱とモリブデン精鉱を生産するチリでも五指に入る大型鉱山で(2000 年の生産量は金属銅換算で約 31 万 t)、長期買鉱契約ベースで、日鉱金属に 25 万 t、三菱マテリアルには 15 万 t の精鉱を年間供給している。Los Pelambres 鉱山は他の 3 つの日本企業出資鉱山と比べて 40%と日本側出資比率が高い。注目されるのは残りの 60%を所有するパートナーがいわゆる欧米の非鉄メジャーではなく、チリの財閥 Luksic グループであるという点である。Luksic は、ロンドンに籍を置き Antofagasta plc を通じて同鉱山の権益を握っている。Luksic は Antofagasta plc を通して、鉄道、銀行、ビール等幅広くチリで事業を展開しているが、常に銅に高い関心を持ってきたとされる。Los Pelambres 鉱山の成功で、遂に主要産銅会社に仲間入りを果たしたが、年産 6 万 t 程度(金属銅換算、内 5 万 t は SX/EW)の Michilla 鉱山レベルの実績しかない Luksic にとって、当初は欧米の非鉄メジャーがこのプロジェクトに関与すべきとの声があった。これに対して、Luksic はチリ企業だけでも技術的問題を含めて解決できるとし、一方、銅精鉱の長期引き取りや融資でこれを支援したのが日本企業であった。

### (4) 日本企業の精鉱確保

チリは世界最大の銅生産国であると同時に、93 年以降日本の製錬所に対する最大の銅精鉱供給国でもある。2000 年からの Los Pelambres 鉱山の本格操業により、チリに対する銅資源の依存度は乾重量で 42%(通関統計)、銅量では 49%(日本鉱業協会)に達した。主にこの精鉱を供給している鉱山は上述の 4 つの大型銅鉱山で、日本の鉱山会社、商社及び銀行等が出融資の形で参加することで、主に長期契約で精鉱を調達している。チリの鉱山側としては日本側の出資を引き入れることで、莫大な初期投資のリスク分散と精鉱販売先を確保すると同時に、日本側の国際協力銀行(旧輸銀)等から有利なプロジェクトファイナンス(P/F)を引き出すケースもある。実際、上述の 4 鉱山の内、Collahuasi 以外の 3 鉱山はこの P/F 対象となっている。一方、チリの鉱山に出資することにより日本の鉱山会社は安定的に精鉱を確保することが可能で、同時に配当収入も期待できる。すなわち、自社が出資している鉱山からの原料(精鉱)調達比率である「自山鉱比率」を高め、製錬所の安定的な操業に資することになる。「自山鉱比率」とはとっても、マジョリティーを取っているケースは日鉄鉱業の Atacama 鉱山のみで、他はマイナーシェアのため実際は“出資買鉱”であるが、Los Pelambres 鉱山の開山により日鉱金属は約 60%、三菱マテリアルはインドネシアのスンバワ島の Batu Hijau 鉱山も加わったことで、約 65%に達したとされる。日本の銅製錬会社は、近年徐々に生産量を伸ばしており、今後も生産力増強によるコスト削減を図り、海外で進む銅業界再編による競争激化に勝ち残ろうとしている。生産力の増強に伴い益々必要とされる銅精鉱の供給先として、チリの重要性は揺るぎ無いものとなる。

しかし、政治・経済的に安定しているとして南米の中では高い評価を受けているチリとはいえ、

銅精鉱調達先として一国集中の危険性は当然指摘されてしかるべきである。港湾施設の民営化に伴う港湾労働者のストについては、精鉱の輸出が上述の4鉱山全て専用港のため影響は軽微であるが、干魃による水不足からくる電力供給の一時的断絶や大地震による積出施設の損害等、インフラや自然災害等による落とし穴が無いとは言えない。今後は生産量増加が期待される他の南米諸国にも調達先を分散させることも必要であろう。

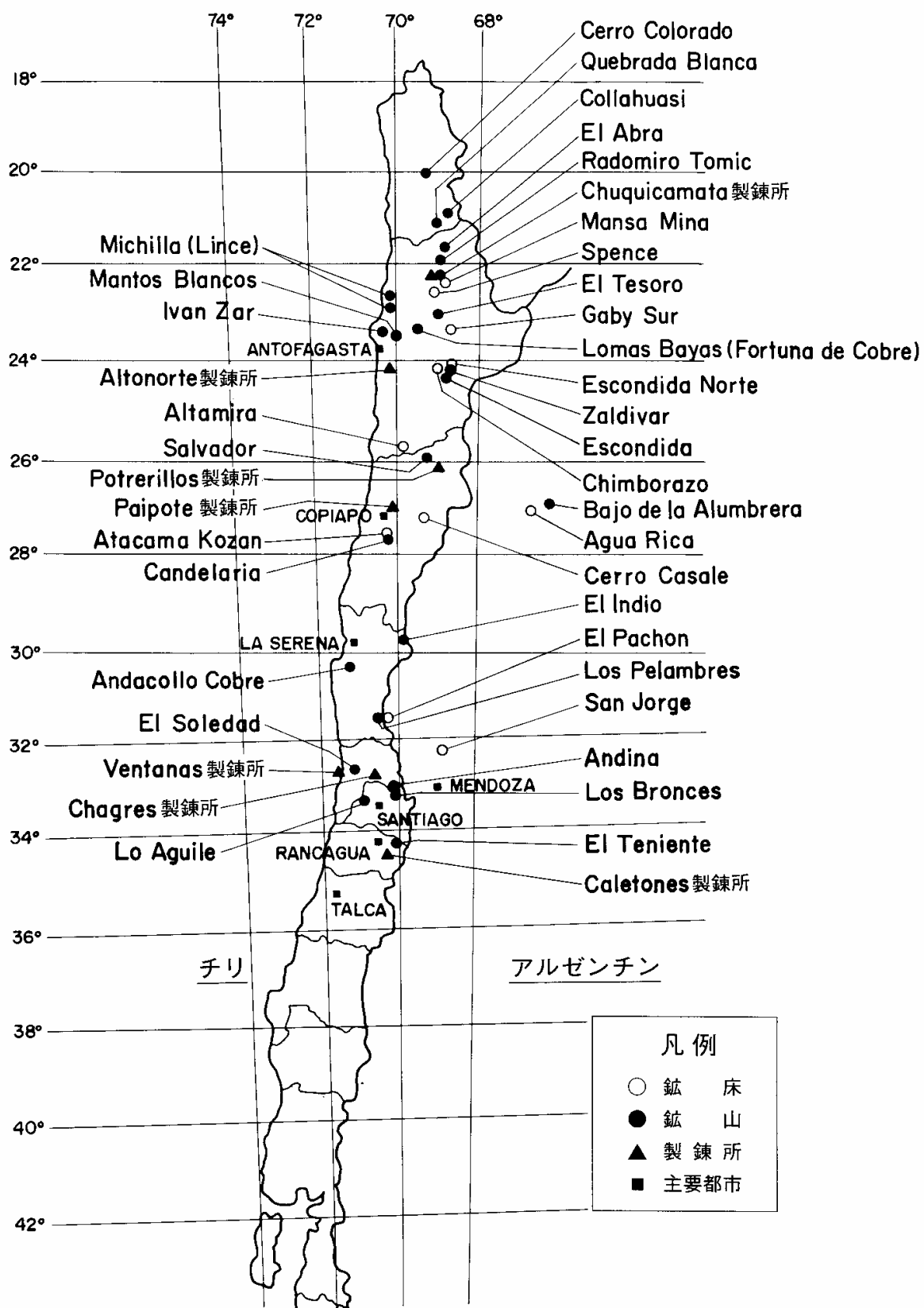
## 8. おわりに

膨大な銅の鉱化帯を伴う斑岩銅鉱床(porphyry copper deposit)を数多く胚胎するアンデス山脈地帯が、銅資源開発にとって地質環境的に有利であったのは確かであるが、チリの外資導入政策が90年代における集中的な銅資源開発を可能にしたのも事実であろう。かつて60年代に産銅レベルが同程度であった同じCIPECメンバーのザンビアに比べ、チリは2000年に19倍もの銅を産出した。このようなチリの成功を目の当たりにして南米の周辺諸国も相次いで外資導入による鉱業活性化を図っている。ペルーは92年に新しい鉱業一般法を公布し、アルゼンティンは93年に鉱業投資法を、95年に鉱業法を改正した。ボリビアも97年に新しい鉱業法を制定し、また鉱山の民営化と鉱区解放を進め、ブラジルでも95年に憲法を改正して外資規制を撤廃し、引き続いて鉱業セクターの改革を断行している。その結果、いち早く外資開放を始めたという「先行者のうまみ」は薄れつつあり、もはやチリの銅資源開発に特段の優位性があるとは限らない。今後チリの銅生産を更に拡大するためには、物理探査技術の向上による新たな潜頭鉱床の発見や、SX/EWの適用範囲を低品位鉱や不純物を含む鉱石に広げる湿式製錬技術の向上が重要であろう。具体的な例をあげるなら、前者であれば第2州や第3州に比べて表層堆積物の被りが厚いため鉱床発見が少ないチリ最北部の第1州での新鉱床発見、後者であればCODELCOとBilliton社が開始したJ/Vのように、ヒ素を高品位に含む一次硫化鉱を低コストで処理できる湿式製錬法の開発が期待される。世界経済の減速から銅をはじめとする金属価格が低迷している折、99年に銅価が60セント近くまで下がった時と同様、各鉱山がコスト競争力を高めて生き残る必要があることは言うまでもない。

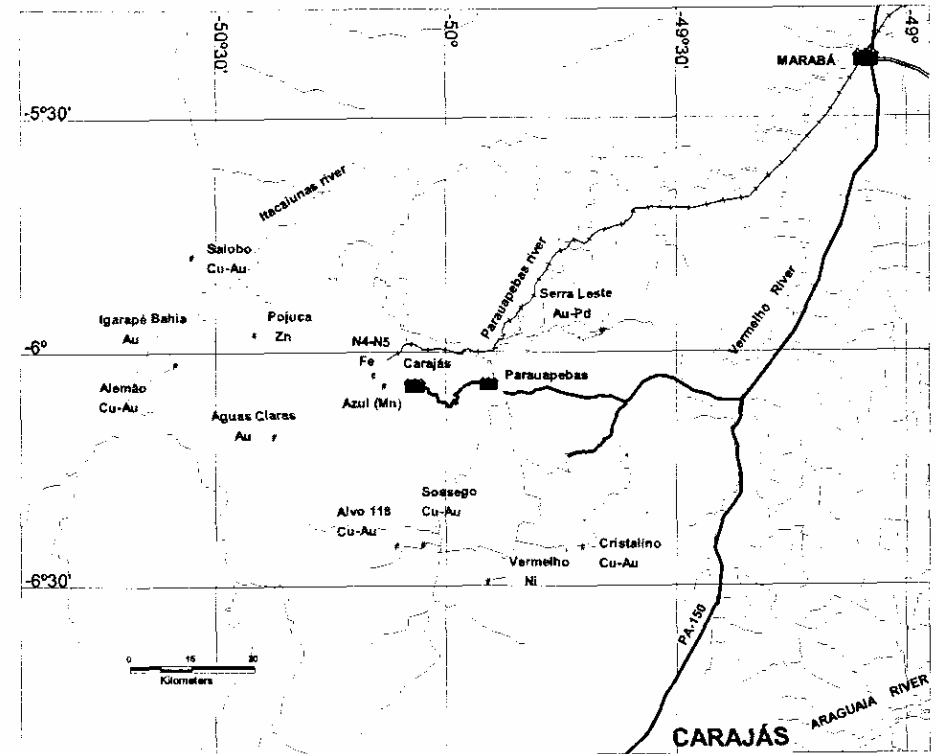
もう一点、南米における銅資源開発の鍵を握る要因として地域統合がある。かつての政治的な対立から経済発展を重視して、南米には南米南部共同市場(MERCOSUR)とアンデス共同体の2つの関税同盟が90年代に相次いで発足したが、鉱業分野においても、かつて戦火を交える寸前までに至ったチリとアルゼンティンが長年の国境をめぐるわだかまりを乗り越えて遂に鉱業統合条約を発効させた。正式な国交のないチリ、ボリビア間においても、同条約を参考にして話し合いが始められており、また、ボリビアとアルゼンティンの間でも検討が進められている。本来、地質鉱床は人為的に引かれた国境とは関係なく連続するもので、Pascua-Lama金銀鉱床とLos Pelambres鉱山に隣接するEl Pachon銅鉱床の開発の行方が、同条約が問題なく機能するかどうかの試金石となる。また、チリのTocopilla港を利用する予定のボリビアのSan Cristobal亜鉛・銀鉱山開発も、鉱業分

野における今後の二国間の経済協力の行方を占う上で重要となろう。

開発途上国の域を出ない南米諸国にとって、鉱物資源開発は重要な外貨獲得手段であるばかりでなく、地域経済の活性化、インフラ整備等、巨大化する鉱山開発が国に与える恩恵は計り知れない面がある。実際、2000年の金属鉱産物の輸出額が全体に占める割合はチリで47%、ペルーで46%、ボリビアで40%程度と高い値を示し、チリ北部で最も立派な道路は鉱山道路だと言われている。その一方で、長年に亘る鉱業活動による各種鉱害問題の顕在化や地域住民との摩擦等、鉱物資源開発が併せ持つ弊害も無視できない面がある。銅をはじめとする鉱物資源を常に必要とする資源小国日本として、民間ベースで実施される鉱山開発への資本参加や自山鉱開発、それを後押しする政策金融、並びに鉱害防止や廃棄物処理等、日本が進んだ技術を持つ分野における政府間ベースの技術協力等をどのように組み合わせて南米の鉱物資源を確保するのか、今南米に対する日本の資源政策が問われている。

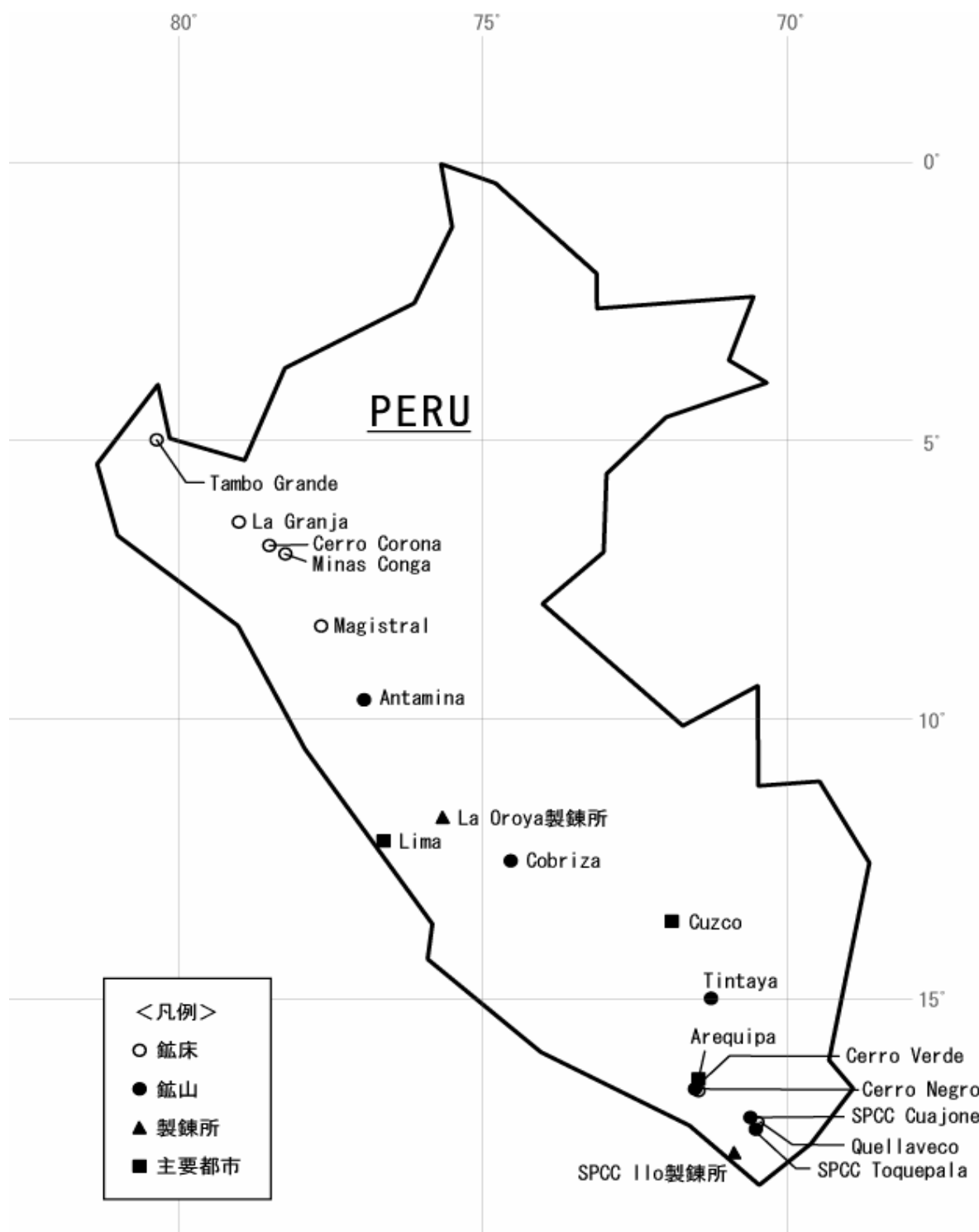


チリ・アルゼンチンの銅鉬業



〈カラジャス地域〉

## ブラジルの銅鉱業



ペルー・主要銅産業