

■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源(31)

クロム資源の現状

The Present Status of Chromium

西山 孝*

Takashi Nishiyama

1. はじめに

クロム元素は1797年に紅鉛鉻 ($PbCrO_4$) から同定されたのが最初とされ、古くは主として顔料に使用されていた。20世紀になって鉄との合金用の元素として使われるようになり、高速度鋼やステンレス鋼の需要の増大とともに重要性が増してきた。最近では先端技術の発展にともなって注目を集めている希金属の一つに数えられている。クロムの市場規模はニッケル、チタン、白金とともに希金属のなかでは大きな市場をもち、用途にはミサイル、潜水艦、航空機なども含まれ、重要な戦略物質になっている。

一方、地質学的にみると、比較的恵まれた資源であるにもかかわらず高品位の鉻床が著しく偏在しているために、つねに供給不安がつきまとっている資源である。このようにクロムは種々の問題を含んだ資源であ

るが、ここでは、主に統計からみた現況分析と安定供給の二点から検討してみよう。

2. クロム資源の現況

2.1 生産量

クロムの鉻石鉻物はクロム鉄鉻 ($FeCr_2O_4$) で、歴史的にはソ連のウラル山脈、トルコ山地、フィリピン、ギリシャ、イラン、ユーゴスラビア、インドおよびアメリカなど世界の各地から生産されているが、現在では南アフリカとソ連に生産が集中している。1989年の生産量をみると、世界のクロム鉻石生産量は1200万トンで、そのうち南アフリカが38%、ソ連が27%、アルバニア6%、フィンランド6%、インド6%、トルコ5%、ジンバブエ5%などとなっている(表1)。主な生産国は10ヶ国であるが、クロム鉄鉻石の生産量の65%をソ連と南アフリカでしめ、また34%は共産圏

表1 クロム鉻石世界生産量 (1000トン)

	1985	1986	*1987	*1988	*1989
世界合計	10,516	11,094	10,917	11,666	11,960
南ア共和国	3,699	3,907	3,789	4,200	4,500
ソ連	2,940	3,185	3,150	3,240	3,240
アルバニア	825	850	830	750	750
フィンランド	506	678	543	700	700
インド	560	630	624	700	700
トルコ	589	543	*600	625	620
ジンバブエ	536	533	*570	600	600
ブラジル	190	223	*225	230	230
フィリピン	272	174	188	190	200
マダガスカル	127	83	107	110	
ニューカレドニア	23	72	62	70	
ギリシャ	59	*62	64	63	
キューバ	38	50	*60	60	
イラン	56	*56	*56	56	
ベトナム	15	15	15	14	
スーダン	9	*9	13	13	
日本	12	11	12	10	
パキスタン	5	8	10	10	
オーマン	—	5		4	
その他市場経済国					350
中央計画経済国					70

e: 推定値 p: 概算値 r: 修正値

出典: Minerals Yearbook, Bureau of Mines (1985~1988)
Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines 1990

* 京都大学工学部資源工学科 助教授

〒606 京都市左京区吉田本町

諸国のものである。将来は南アフリカとジンバブエの生産量がさらに増大するものと推測されている。

2.2 用途

クロム鉱石あるいは精鉱は一般に冶金用、耐火物用、化学用に分けられ、冶金用には Cr_2O_3 48%以上が、耐火物用には28~40%、化学用には50%程度のものが使用されている。また用途によってはシリカの含有量あるいはアルミナの含有量にも制限がある。クロム鉱石は電気炉で炭素還元により製造される高炭素フェロクロム、さらに低炭素フェロクロム、フェロクロムシリコン、金属クロムに分けられている。製錬は以前にはアメリカ、ヨーロッパ、日本などの工業国において行われることが多かったが最近の傾向は鉱石生産国に製錬所が建設され、付加価値の高いフェロクロムを輸出するようになってきている。

クロムの消費量の大半は冶金用で、とくに特殊鋼生産のために使われている。鋼にクロムを添加すると、焼入れ性、耐摩耗性、強度など種々の機械的性質が改善され、さらに耐食性、耐酸性、耐熱性が向上する。特殊鋼のうちでもっとも代表的なものはステンレス鋼で、通常12%以上のクロムを含み、多いものは36%のクロムを含んでいる。特にクロム18%とニッケル8%を含んだステンレス(SUS304)は広く使用されている。用途は化学プラント、輸送用機器、建築用、家庭用などきわめて広い。また工具鋼には1~12%程度のクロムが添加されており、構造用特殊鋼は数%のクロムを含んでいる。耐熱合金の分野では鉄やニッケル、コバルトにクロムを添加し、金属表面に Cr_2O_3 の不動態膜を形成させ、高温での耐食性を向上させている。超高力合金ではニッケル、モリブデン、バナジウム、タングステンなどとともにクロムは鉄に添加する必須成分となっている。またニッケルとクロムの合金で電気抵抗が高く、耐酸性に優れたニクロム線は古くから発熱体として利用されている。

磁性材料の分野ではクロムは保磁力、ヒステリシスなどの磁性を改善するために広く利用され、今後需要の増大が期待されている磁気記録材の重要な素材でもある。その他高密度記録材料として注目されている光記録材料としてクロムの合金が、湿度センサーやガスセンサーに酸化クロムが研究されており、太陽エネルギー利用技術の分野でもクロムの酸化物の薄膜の利用が考えられている。

化学工業用としては、重クロム酸ナトリウムは顔料用、皮革用、染料などに使用されており、無水クロム

酸はクロムめっきなど金属表面の処理に用いられているが、最近では環境規制から需要は減少している。酸化クロムは顔料用、研磨材用、耐火材用に、クロム明ばんは重クロム酸塩とともになめし工業に、クロム鉄鉱あるいはクロム化合物はガラス着色用に用いられている。また触媒材料として脱水素触媒、アルコール製造の水素化触媒などにクロム化合物が古くから使われ、最近では水素吸蔵合金が研究されている。

耐火物としてはクロム・マグネシウム質耐火物が製鋼炉、セメント製造用ロータリーキルン、石灰あるいはドロマイト焼成炉、溶性燐肥製造用電気炉などの築炉材に利用されている。さらに天然で砂状になったクロム鉄鉱、あるいはクロム鉱石を粉碎して砂状にしたものはクロマイトサンドと呼ばれ鑄物砂として使用されている。

2.3 埋蔵量と需給予測

冶金用、化学用を45% Cr_2O_3 、耐火物用を35% Cr_2O_3 を基準にしてアメリカ鉱山局によって求められたクロム鉄鉱の埋蔵量および埋蔵量ベース（経済状況の変化によっては採掘可能になるであろう鉱量も含めた量）はそれぞれ10億トン、68億トンと見積られており（表2）、埋蔵量でみると80%までが南アフリカに集中している。その他ソ連が10%、ジンバブエ、フィンランド、フィリピン、インドなどとなっている。なお埋蔵量ベースでは南アフリカ、ジンバブエ、ソ連の順になる。埋蔵量および埋蔵量ベースを1989年の生産量で割った静態的耐用年数はそれぞれ86年、568年で、他の金属資源に比べるときわめて長い耐用年数をもっている。

一方、1985年にアメリカで出版された2000年までの需給予測をみると（表3）、年平均成長率は4.4%で、2000年のクロムの需要は一次、二次あわせて620万ト

表2 埋蔵量および埋蔵量ベース（1000トン）

	埋 蔵 量	埋蔵量ベース
世界合計	1,030,000	6,800,000
南ア共和国	828,000	5,700,000
ジンバブエ	17,000	750,000
ソ連	102,000	102,000
トルコ	4,000	70,000
インド	13,000	60,000
フィンランド	17,000	29,000
フィリピン	14,000	29,000
アルバニア	6,000	20,000
アメリカ	—	10,000
ブラジル	8,000	9,000
その他の自由経済国	17,000	23,000
中央計画経済国	3,000	3,000

出典：Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines 1990

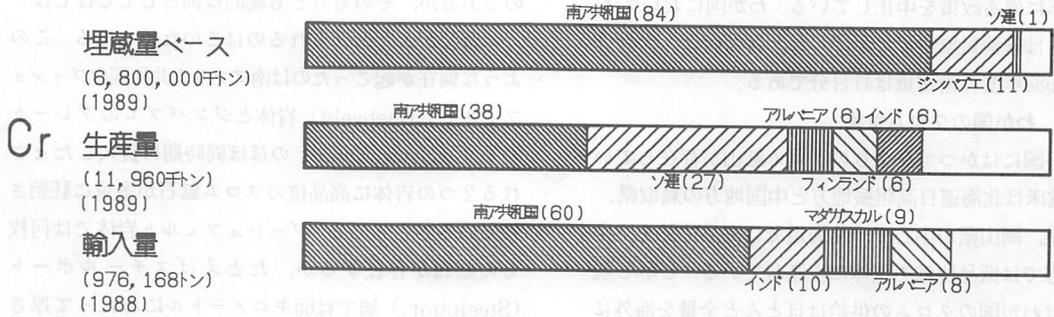


図-1 クロム資源の世界の埋蔵量ベースと生産量およびわが国の輸入量

表3 2000年までのクロムの需給予測 (1000トン)

埋蔵量	1,057,000
1983-2000の累積需要量	67,000
平均成長率 (%)	4.4

出典: Mineral Facts and Problems, 1985 Edition, Bureau of Mines Bulletin 675, p. 152, 153

ン、1983-2000年の累積需要量が6,700万トンとなっている。

2.4 価格

クロム鉱石、フェロクロムとも国際的な価格を決める機構は存在せず、フェロクロムでは需要者と生産者との間で価格は決められている。クロム鉱石の価格については次第に資源保有国の意向が反映される傾向にある。近年のクロム鉱石の価格は表4のようになり、比較的安定していたが1988年以降高騰している。1989年のクロム鉱石の価格は1トンあたり高品位のトルコでは200ドル、低品位鉱(Cr₂O₃44%)の南アフリカでは72ドルとなっている。

表4 クロム鉱石の価格

	1985	1986	1987	1988	1989
トルコ(ドル/トン)	125	125	100	180	200
南アフリカ(ドル/トン)	42	42	46	56	72

出典: Mineral Commodity Summaries

2.5 代替品、リサイクルと備蓄

クロムの代替品については、特殊鋼の分野では用途に応じてほう素、マンガン、モリブデン、ニッケル、珪素が代替可能で、非鉄合金の分野ではアルミニウム、銅との合金については代替が可能とされているが、ニッケル、鉄・ニッケル、コバルトとの合金に対しては十分な代替品は存在していない。工具鋼についてはクロムの代替品はない。耐火物については少量のクロムを含む炉材あるいはドロマイトからつくられた炉材が現在の炉材に代替できるとされている。化学工業用では

顔料としては有機物あるいは酸化鉄によって代替できるとされ、まためっきについても多くの用途では代替可能である。触媒については同じような目的を持った触媒が存在しており、クロム化合物が使用されているのは価格の面からである。

リサイクルについては、ステンレス鋼などのスクラップに含まれているクロムの回収は固形廃棄物の処理技術が進歩するとともに増加してきている。アメリカではスクラップから回収されたクロムは1985年には需要量の27%に達していると推測されている。

クロムは重要な戦略物資であり、アメリカでは積極的に備蓄政策がすすめられてきている。1988年のアメリカの備蓄量は表5のとおりである。アメリカの他にもフランス、西ドイツが備蓄をすすめている。イギリスでも短期の供給中断に対する備蓄を始めたが、財政負担が大きいこと、制度維持が困難なことなどから

表5 アメリカと日本のクロムの備蓄 (1000トン)

1) アメリカ

	1988. 3. 31	
	目標	在庫量
クロム鉄鉱 (冶金用)	2,903	1,769
クロム鉄鉱 (化学用)	612	220
クロム鉄鉱 (耐火物用)	771	355
高炭素フェロクロム	168	488
低炭素フェロクロム	68	289
フェロクロムシリコン	82	53
金属クロム	18	4

出典: Mineral Facts and Problems, 1985 Edition, Bureau of Mines Bulletin 675, p.149
米国議会への戦略重要物質報告書, 特殊金属備蓄協会

2) 日本

年度	1988
国家備蓄 (日分)	32.9
民間備蓄 (日分)	14.1
計 (日分)	47.0

出典: 金属鉱業事業団資料

1984年に備蓄政策を中止している。わが国においてもクロムは備蓄対象物資にあげられ、目標値は2ヶ月分で、1988年度の備蓄量は47日分である。

2.6 わが国のクロム鉱業

わが国にはかつて70余りのクロム鉱山が存在していた。鉱床は北海道日高胆振地方と中国地方の鳥取県、広島県、岡山県が中心で、北海道では高品位鉱を、中国地方では低品位鉱を主体に生産している。しかし現在ではわが国のクロムの供給はほとんど全量を海外に依存しており、クロム鉱石とフェロクロムの形で輸入されている。1988年ではクロム鉱石の輸入は98万トンで、主な輸入先は南アフリカ(60%)、インド(10%)、マダガスカル(9%)、アルバニア(8%)などとなっている(表6)。一方1988年度の需要は77万トンでそのうち鉄鋼用が86%、耐火物用4%などとなっている。またフェロクロムについてみると、1988年では国内生産量31万トン、輸入量は48万トンである。最近の傾向としてフェロクロムは国内生産量に比べ輸入量のしめる割合が増加してきている。この傾向は鉱石生産国の意向であるとともに、製錬の際に多量に消費される電力がわが国では高価格になっているためである。

金属クロムについてはわが国の生産量は1986年では3,000トンで、消費は国内消費が1,100トン、輸出が1,700トンとなっている。用途別では超合金が58%、溶接棒が20%、非鉄合金が17%、その他が5%である。

表6 わが国のクロム鉱石(精鉱を含む)輸入(トン)

	1984	1985	1986	1987	1988
合計	823,394	987,240	670,625	684,703	976,168
南ア共和国	418,259	542,805	379,867	454,757	585,648
インド	138,911	125,154	49,710	39,479	96,024
マダガスカル	60,488	59,499	102,567	81,227	85,775
アルバニア	58,251	94,123	37,659	24,937	78,584
ソ連	31,680	52,400	26,500	14,350	41,700
ニューカレドニア	25,970	35,600	25,680	28,061	36,057
トルコ	37,198	28,649	34,611	16,056	32,418
フィリピン		40,369		23,609	14,292
パキスタン	4,587				5,543

出典：大蔵省通関統計月報

出所：工業レオメタル

3. クロム資源の地理的偏在と安定供給

3.1 埋蔵量の地理的偏在と地質学的豊富さ

すでに述べたようにクロムの埋蔵量は著しく遍在しており、埋蔵量ベースでみると南ア共和国が84%、ジンバブエが11%でこの2カ国だけで95%に達している。もともと鉱物資源の地理的分布は偏在しているも

のであるが、そのもっとも端的な例としてしばしばクロム資源がとりあげられるのはこのためである。このような偏在が起こったのは南アフリカ共和国のブッシュフェルト(Bushveld)岩体とジンバブエのグレートダイク(Great Dyke)のほぼ同時期に貫入したとされる2つの岩体に高品位のクロム鉱石が多量に胚胎されているからである。ブッシュフェルト岩体では何枚もの鉱層が存在するが、たとえばスチールポート(Steelport)層では65キロメートルにわたって厚さ1メートルの鉱層が広がっている。またUG-2と呼ばれる層では白金族金属を対象に採掘されているが、この層にもクロム鉄鉱が濃集しており、副産物としてクロム鉄鉱が回収されている。計算方法により値は大きく異なっているが、ブッシュフェルト層状貫入岩体全体でクロム鉄鉱の埋蔵量ベースは9億~60億トンと見積られている。ジンバブエでは5~10キロメートルの幅をもった層状をなしたグレートダイクが530キロメートルつづいており、そのなかに5~45センチメートルの幅をもった高品位のクロム鉄鉱層が広がっている。15センチメートル以上のところが採掘対象となっている。この岩体は地質学的には層状貫入岩体と呼ばれる特異な岩体で、マントルマグマが静かに冷却する過程で比重の大きいクロム鉄鉱がマグマ溜りの底に濃集し、形成されたとされている。この種の岩体はブッシュフェルト岩体、グレートダイク以外にも、グリーンランドのスカエルガード(Skaergaard)岩体、アメリカのスティルウォーター(Stillwater)岩体などが知られている。これらの岩体においてもクロム鉄鉱の濃集している部分は存在するが、ブッシュフェルトやグレートダイクのように高品位で多量のクロム鉄鉱が存在するものはみつからない。

一方、アルプス型カンラン岩と呼ばれる層状貫入岩体中でも、クロム鉱床が発見されている。もっとも大きく、よく知られているのは、ウラル山脈南部の鉱床であるが、鉱床の規模などくわしい資料は発表されていない。また同じ型の鉱床は、アルプス山脈とヒマラヤ山脈、太平洋の西縁などに多数存在している。しかしいずれも規模が小さく、形も不規則なために採鉱、採鉱が困難な場合が多い。

南アフリカとジンバブエの層状貫入岩体が特異で、連続性もよく、この2ヶ国に埋蔵量が集中しているが、この資源が枯渇し、低品位鉱を開発することになれば、ブッシュフェルト、グレートダイク以外の層状貫入岩体やアルプス型カンラン岩中に多量の鉱石が発見され

表7 わが国のクロム精鉱に関するデータ
(精鉱1000トン)

年 度	1984	1985	1986	1987	1988
供給	1,179	1,312	937	1,015	1,272
生産	9	11	11	9	11
輸入	891	965	543	769	1,038
需要	1,145	1,183	915	892	1,124
内需	809	800	678	638	766
鉄鋼用	698	689	576	573	655
耐火物用	38	37	31	29	32
その他	73	74	71	67	79
期末在庫	336	383	237	223	358
輸出	—	—	—	—	—

出典：鉱業便覧

ることになる。すなわち、資源量でみると南アフリカやジンバブエのように高品位の鉱石の存在は限定されているが、低品位鉱ならば世界各地に多量に存在しており、資源の枯渇という点では全く心配のない元素である。問題は高品位鉱の地理的偏在性である。この点でクロム資源は、銀、銅、鉛、亜鉛などの資源枯渇とは基本的に異なっている。

3.2 クロムの安定供給への対策

これまで埋蔵量の偏在性についてみてきたが生産量においても同様で、埋蔵量ほど極端ではないが政情不安を懸念される南アフリカ共和国と共産圏諸国が大半をしめ、やはり著しく偏在している。わが国の輸入先も60%が南アフリカ共和国から輸入され、供給構造はきわめて脆弱となっている。それでは安定供給を計るための対策としてどのようなことが考えられるであろうか。

まず最初に考えねばならないのは人種差別により国連からの経済制裁を受けている南アフリカ共和国からの供給を減少することである。このためにもっとも好ましいのはすでにのべたような世界各地にみられる低品位鉱をも含めて開発することである。しかしながら、クロム市場はベースメタルに比べると市場規模が小さく、南アフリカに存在する高品位鉱に対抗して低品位

鉱を開発すると多大の経済的犠牲を強いることになる。そこで次善の策として、南アフリカ共和国や共産圏諸国以外の、現状では埋蔵量には入れ難いが埋蔵量ベースには入るクロム資源の探査開発が考えられよう。それには、フィリピンやトルコに存在するアルプス型カンラン岩中に胚胎するクロム鉱床とジンバブエのクロム鉱床の開発が好ましい。とくにジンバブエでは埋蔵量ベースでみると7.5億トンで、これは南アフリカ共和国に比べると1/7程度にすぎないが、この埋蔵量だけでも1989年の世界生産量の63倍に相当している。少々増産がおこなわれても枯渇するような量ではない。地質学的には、ジンバブエの鉱床の多くは鉱層をなしているので計画的な開発が容易であり、一時的な価格変動に対処できるように配慮すればジンバブエからの安定供給が可能と思われる。

4. おわりに

クロムは種々の特性をもった元素であり、近代産業においてますます重視されてきている資源である。一方供給面においては、特異な地質現象と特別な政治態勢がからみあい複雑な様相を呈しており、今後とも安定供給のためには細心の注意を払う必要がある。

引用文献

- 1) 西山 孝；鉱物資源の現状 (1989), アルム出版社
- 2) Bureau of Mines; Minerals Yearbook, United States Department of the Interior
- 3) Bureau of Mines; Mineral Facts and Problems (1985 Edition), United States Department of the Interior
- 4) Bureau of Mines; Mineral Commodity Summaries, United States Department of the Interior
- 5) 工業レアメタル, アルム出版社
- 6) 資源エネルギー庁長官官房鉱業課監修；鉱業便覧, 通商産業調査会