

Nd および Dy の資源問題

渡辺 寧

産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

1. はじめに

NdFeB 永久磁石の材料として使用される Nd と Dy は希土類を構成する 17 元素に含まれる。希土類は、かつては触媒や冶金、研磨剤が主要な用途であったが、最近、磁石が最も大きな需要分野になっている(第 1 表)。希土類の資源埋蔵量は世界全体で 1 億 1000 万トンと見積もられている(第 2 表; USGS, 2013)。この量は現在の世界の年間需要(約 14 万トン)に比べはるかに多い量であり、今後

も資源が枯渇することは予想されない。しかしながら希土類資源の 90%以上は中国で生産されており、中国以外の地域は、希土類の供給を中国に頼らざるを得ない状況が続いている。中国では希土類資源の用途として磁石が顕著に伸びており、2011 年には中国国内の希土類需要のうち 44%が磁石材料であるという報告がされている(第 1 図; Chegwiddden, 2012)。このことは希土類の中でも磁石材料として主として使用される Nd と Dy の供給が特に危ぶまれることを示唆する。

第 1 表 2012 年の世界の希土類の需要予測(Kingsnorth, 2012)

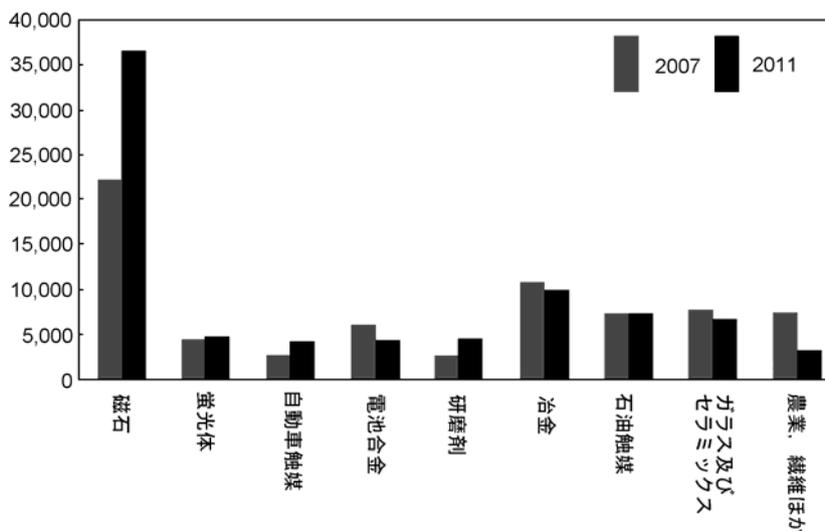
用途	中国	日本及び北東アジア	米国	その他	合計	市場シェア	
触媒	12,000		2000	5000	2000	21000	18%
ガラス	5500		1000	500	500	7500	7%
研磨剤	15000		2000	1000	1000	19000	16%
冶金	16000		4000	1000	1000	22000	19%
磁石	18000		3500	500	500	22500	20%
蛍光剤	7000		1500	500	500	9500	8%
セラミックス	2500		2000	1500	500	6500	6%
その他	3500		1500	1500	500	7000	6%
合計	79000		18000	11500	6500	115000	100%
市場シェア	69%		16%	10%	5%	100%	

数字の単位はトン(希土類酸化物換算, ±15%の誤差を含む)

第 2 表 希土類の生産量と埋蔵量(USGS, 2013)

	鉱山生産量(t)		埋蔵量(t)	
	2011 年	2012 年		
米国	なし		7,000	13,000,000
豪州	2,200		4,000	1,600,000
ブラジル	250		300	36,000
中国	105,000		95,000	55,000,000
インド	2800		2800	3,100,000
マレーシア	280		350	30,000
その他	不明		不明	41,000,000
世界合計(概算)	111,000		110,000	110,000,000

但し中国の違法採掘分を含まない。



第1図 中国の希土類の2007年と2011年の用途別需要(Chegwidden, 2012). 単位はトン(希土類酸化物換算)

中国政府は川上から川下までの希土類産業の独占をめざし、自国の希土類産業の保護や資源の温存、採掘時や製品生産時の環境問題の改善のために希土類の生産規制、価格調整、輸出規制、輸出税の付加を2005年から顕著に実施してきた。それでもなお中国では違法な希土類の採掘や過剰な希土類製品の生産が続いており、中国政府は政府のコントロールを強めるために希土類資源の生産企業の統合を行うとともに零細企業による違法採掘の取り締まりを強化している。

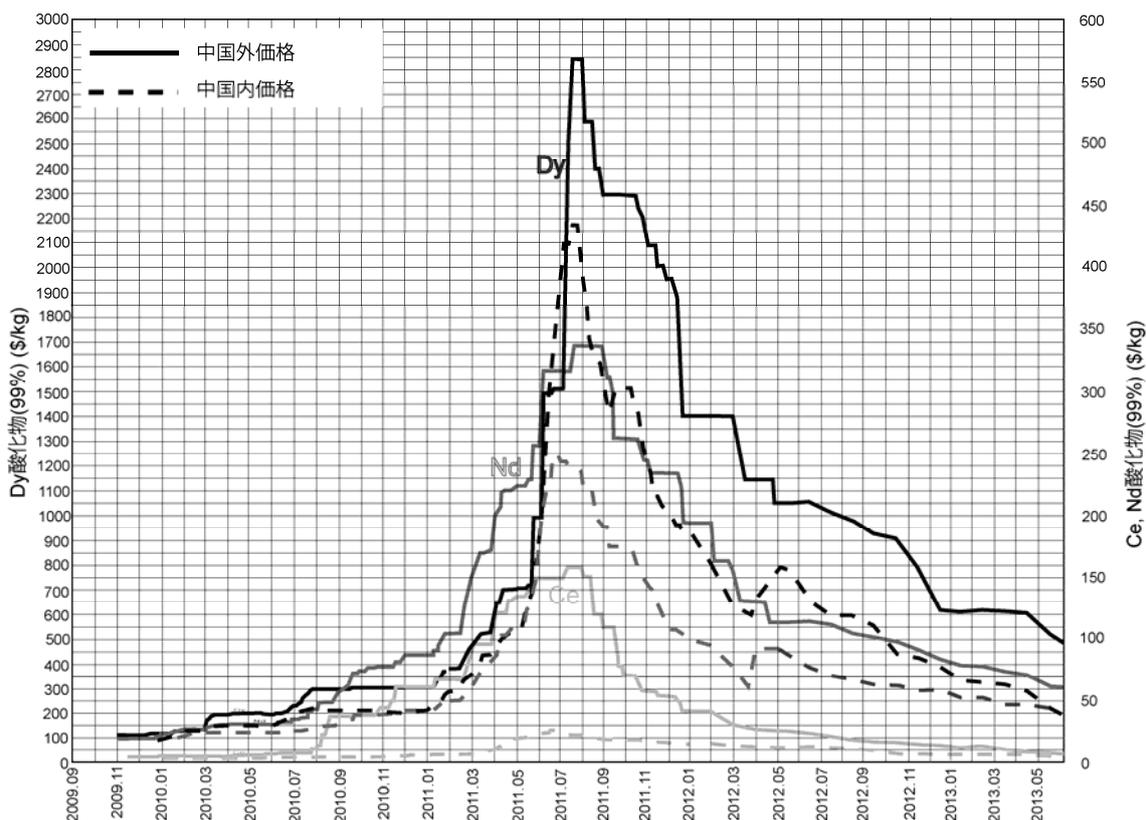
このような中国政府による希土類資源に関する各種の規制強化のために希土類の価格は高騰し、2011年には中国外でNd酸化物が300ドル/kg、Dy酸化物が2800ドル/kgを超え、中国内の価格とも数100ドル/kgの差を生じる事態となった(第2図)。この希土類資源の高騰は中国外の希土類資源開発に火をつけるとともに、中国外一特に日本一の希土類の需要を冷え込ませた。2012年から2013年前半にかけては、日本での需要が急激に減少したために希土類製品の在庫が増え輸出価格が沈静化してきたが、2013年の中国政府による違法採掘撲滅キャンペーンにより希土類の中でも重希土類元素の生産量の減少が予想され再びDy価格が上昇を始めている。

Nd, Dyを含む希土類資源の問題を解決し、今後もNdFeB磁石を我が国で安定的に生産(増産)するためには、需要に見合った資源量を安定的に供

給する供給チェーンを構築する必要がある。ここでは希土類資源の供給の現状と現在進められている資源開発プロジェクトをもとに今後の希土類資源の供給状況を予測し、NdやDyの安定供給のためになすべき方策について述べる。

2. 現在希土類を生産している鉱床の種類と特徴

希土類は、原子中の電子配置により軽希土類元素(La~Gd)と重希土類元素(Tb~LuとY)との2つのグループに分けられるが、前者にはNd、後者にはDyが含まれる。これら希土類元素は自然界では鉱物に様々な濃集度で含有されており、希土類資源はこれらの鉱物の中でも特に希土類の濃集度の高い鉱物(バストネサイトやモナザイト)から主として生産されている(第3表)。一方、希土類の含有量は低いにも関わらず、他の元素の副産物として希土類が生産されたり(アパタイト)、希土類の分離濃縮コストが安いために希土類が生産される場合もある(イオン吸着鉱)。現在、主として軽希土類元素はカーボナタイトに含有されるバストネサイトやモナザイトから、また一部のモナザイトは漂砂鉱床から生産されている。重希土類元素はイオン吸着鉱と呼ばれる花崗岩が風化することにより形成された粘土(イオン吸着型鉱床)から生産されている。



第2図 Dy, Nd, Ce 酸化物の価格の推移(メタルページ社による)

第3表 希土類を含む主な鉱物

	化学式	希土類含有量 (酸化物概量)	生産量に占める割合 (Roskill, 2007)	鉱床タイプ
バストネサイト	(REE)(CO ₃)F	60-70%	64%	カーボナタイト
モナザイト	(REE)PO ₄	60-70%	9%	カーボナタイト, 漂砂
ゼノタイム	YPO ₄	48%	0%	カーボナタイト, アルカリ花崗岩, 錫花崗岩, 堆積岩胚胎ウラン鉱床
フェルグソナイト	REENbO ₄	20-40%	0%	アルカリ閃長岩, アルカリ花崗岩
ロパライト	(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O ₃	29-33%	2%	アルカリ閃長岩
アパタイト	Ca ₄ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	0-3%	0%	カーボナタイト, 酸化鉄アパタイト鉱床, 鉱脈
イオン吸着粘土	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0.05-0.2%	25%	イオン吸着型鉱床

2.1 カーボナタイト鉱床

カーボナタイトは、炭酸塩鉱物からなる火成岩の名称で、厳密には 50 堆積%以上の炭酸塩を含有し、20 重量%以下の SiO₂ を含むと定義されている。しかしその化学組成には多様性があり、少し緩やかに 30 堆積%以上の初生炭酸塩からなる火成岩をカーボナタイトとする定義もある(Mitchell, 2005)。カーボナタイトマグマはアルカリ岩マグマ

と同様、地下 50-200km のマントル内で炭酸塩に富む岩石が部分的に溶融して形成される。その際、上部マントルに存在するチタン鉱物が分解し、チタン鉱物に含まれている希土類はマグマに溶け出すと考えられている(Wyllie et al., 1996)。マグマの分別結晶作用、地殻での珪酸塩との不混和を経て炭酸塩に濃縮したカーボナタイトとなり、希土類元素もこのマグマに濃縮する。カーボナタイト

には、主要構成鉱物の方解石やドロマイトのほか、パイロクロル、アパタイト、モナザイト、バストネサイトを含む。これらの副成分鉱物には希土類元素が濃集することから、カーボナタイトは一般に希土類元素を数 1000ppm から数パーセント含む。

現在採掘されているカーボナタイト鉱床は、平均品位 8%の米国のマウンテンパス鉱床やオーストラリアのマウントウェルド鉱床、3-4%の中国のバヤンオボーやマオニューピン鉱床であり、マウントウェルド鉱床を除いて、いずれも軽希土類元素に富むバストネサイトから希土類が生産されている。

2.2 アルカリ閃長岩に伴う鉱床

ロシア北西部のコラ半島に分布するロボゼロ岩体は、直径約 25km のラコリス状のネフェリン閃長岩からなる貫入岩体である。希土類を含有するロパライトはネフェリン閃長岩に普遍的に含まれるが、閃長岩が数 cm から数 100m の厚さの層状の構造(集積構造)を形成する部分では、部分的に体積量で最大 25%を占めるまでに濃縮している。鉱石として採掘されている層には平均 1~2%のロパライトが含有されている。他のアルカリ岩体と異なり、ロボゼロ岩体中のロボゼルスコエ(Lovozerskoye)鉱床が希土類鉱床として採掘可能なのは、アルカリマグマが結晶する過程で、マグマから晶出した重鉱物がマグマ溜りの底に集積し、ロパライトに富む層状構造を形成したことによる。

ロボゼルスコエ鉱床で採掘されるロパライトには29-33%の希土類(酸化物換算), 37-40%の TiO_2 , 7-9%の Nb_2O_5 , 0.5-0.8%の Ta_2O_5 , 0.5%の ThO_2 を含む。希土類のうち Ce は 53.8-54.3%を占め、その他の元素は La: 25.8-26.3%, Nd: 13.0-13.5%, Pr: 5.0-5.1%, Sm: 0.96-0.99%, Eu: 0.15-0.17%, Gd: 0.19-0.21%で重希土類元素はほとんど含まれない。2,700 万トンの希土類埋蔵量(酸化物換算)が見込まれており、2010年には5,339tのロパライト濃縮物から1,495tの希土類と397tのニオブ(酸化物換算), 27tのタンタル(酸化物換算), 1,480tのスポンジチタンが生産されている(Detkov, 2011)。

2.3 漂砂鉱床

漂砂鉱床は、花崗岩や変成岩を後背地に持つ第三紀または第四紀堆積物中に形成される。最も一般的なものは現在の海岸線に沿って分布する海浜砂であり、チタン鉱物の副産物としてジルコンやモナザイトが回収される。ゼノタイムを含むこともある。規模の大きな漂砂鉱床は、西オーストラリア、インド、南アフリカ、マダガスカルに分布する。漂砂鉱床中のモナザイトはかつて盛んに採掘されたが、モナザイトに含まれるトリウムの処理が困難なため、トリウムを回収しているインドを除くと、現在ではブラジル、マレーシア、ベトナム等でそれぞれ 1,000-2,000t の鉱物濃縮物が生産されているにすぎない。マレーシアやベトナムで生産されたモナザイトは中国に輸出され(Academy of Science Malaysia, 2013)、中国で希土類の精製が行われている。

2.4 イオン吸着型鉱床

イオン吸着型鉱床は、希土類元素に富む花崗岩の風化により形成される。風化殻の上部では希土類元素を含有する鉱物が分解され、風化殻下部で同じく花崗岩を構成する長石の風化により生じた粘土鉱物の表面に希土類イオンが吸着されることにより希土類元素を濃縮する。希土類元素を供給する鉱物は、花崗岩が熱水による交代作用を受けて形成した風化に弱いイットロシンキサイトやガドリナイト、チェルノバイト、含希土蛍石である。イオン吸着型鉱床は、軽希土に富むものと重希土に富むものが知られているが、これは母岩である花崗岩の希土類組成を反映したものである。このタイプの鉱床は中国南部の江西省・広東省・湖南省・広西自治区に主として分布し、その分布域は中生代の花崗岩分布域と一致する。その中でも江西省南部の竜南鉱床や尋烏鉱床は大規模でそれぞれ 50 万トン以上の希土類埋蔵量が報告されている。特に竜南鉱床は重希土類元素に富んでおり、世界の重希土類資源の貴重な供給源となっている。

竜南地域には最大で 30-40m の風化殻が発達する。風化帯の構成粘土鉱物はカオリナイトが最も

多く、ハロイサイトがこれに次ぐ。基盤花崗岩は 200-300ppm の希土類含有量であるが、風化帯ではその 2~2.5 倍の希土類含有量に達する(Wu et al., 1990)。このイオン吸着型鉱床の希土類品位は、0.05~0.2% と他の希土類鉱床タイプと比べ極端に低い。希土類元素の回収が容易なため鉱床として採掘されている。現在のイオン鉱から生産された希土類の中国国内での価格を見ると重希土類に富む竜南地域のものが 210 元/kg (32.0 米ドル/kg)、軽希土類に富む尋烏地域のものが 130 元 (20.8 米ドル) である(広西稀土協会)。

イオン吸着型鉱床は現在のところ中国南部でしか開発が行われていないが、希土類に濃縮したチタン鉄鉱系列花崗岩はベトナムやラオス、タイにも分布し(例えば Wu and Ishihara, 1994)、これらの地域では粘土鉱物に富む風化殻が発達することから、類似の鉱床は東南アジア地域にも存在することが期待される。

3. 希土類資源の供給の現状

2000 年代前半から 2012 年まで希土類資源は 90% 以上が中国から供給されてきた。2012 年の中国での生産量は約 14.3 万 t で、内モンゴル自治区のバヤンオボーから 6.0 万トン、四川省のマオニューピン他の鉱床から 2.0-2.5 万トン、華南のイオン鉱から約 3.0-3.7 万 t が生産されたと推定されている(アルム出版社, 2013, Metal-Pages, 2013)。このうち華南のイオン鉱では中国政府の採掘総量規制が 17,900t であるのに対し合計で 33,200t の希土類が製錬されており少なくとも政府規制量の 2 倍以上の 37,000t が採掘されたと推定されている(Metal-Pages, 2013)。アルム出版社(2013)によると、2012 年には世界で約 2 万トンの Nd_2O_3 と 1,200-1,300t の Dy_2O_3 が供給されたと見積もられており、中国およびその他の国の需要をほぼ満たしたと推定されている(Kingsnorth, 2012)。

2013 年には米国のマウンテンパス鉱山で本格的な希土類生産が開始した。マウンテンパス鉱山を操業する Molycorp 社は年間 1.5 万トンの希土類の生産キャパシティを持っており、2013 年前半で 6,313t の希土類を販売している(Molycorp, 2013)。

一方豪州のマウントウェルド鉱床を操業する Lynas 社は、15,710t の精鉱(5,626t の希土類を含有)が豪州で生産された。Lynas 社のマレーシアの工場は 2 年間の任期付き操業認可をマレーシア政府から受け、年間 1.1 万トンの生産量を目指して操業を開始している。2013 年第二期には 144t の希土類が生産され 117t が売却された。

また 2013 年後半にはカザトムプロムと住友商事との合弁企業である Sumit Atom Rare Earth 社がカザフスタンのウラン鉱床の残渣から年間 1,500t の希土類の生産を予定している。インドでは豊田通商と Indian Rare Earth 社がウラン・トリウム残渣から年間 4,000t の希土類の生産が予定している。このように 2013 年後半からは、中国外のプロジェクトからの希土類生産が本格化し、中国の希土類生産シェアは低下することが予想される。

4. 希土類資源開発プロジェクト

2011 年をピークに中国外での希土類資源開発プロジェクトが活発化した。それらは 1) 中国外でのイオン吸着型鉱床、2) カーボナタイト、3) アルカリ閃長岩、アルカリ花崗岩に伴う鉱床、4) 堆積岩胚胎熱水性ゼノタイム鉱床、5) 錫花崗岩に伴ゼノタイム鉱床を含む。また日本では南鳥島近辺の深海底で重希土類元素に富む泥が発見されている。

4.1 中国外でのイオン吸着型鉱床

イオン吸着型鉱床の利点は希土類の含有品位が低いにも関わらず、希土類の抽出が容易であること、鉱石に Th や U といった放射性元素がほとんど含まれないことにある。中国外でのイオン吸着型鉱床に対する開発プロジェクトはマダガスカルとマラウイで行われている。マダガスカルでは Tantalus Rare Earth 社が閃長岩上部の風化殻の探査を行い、1435Mt の推定鉱量(品位 0.08% REO, 34.8 万トンの酸化希土類)を確認した。 Nd_2O_3 、 Dy_2O_3 の含有量はそれぞれ 115ppm, 15ppm であり、50,025t の Nd_2O_3 と 6,525t の Dy_2O_3 が鉱石に含まれる。硫酸アンモニウム水溶液と海水による 2 段階

のリーチングテストで 70-80%の希土類の回収が可能であることが示されている(SRK Exploration, 2013). マラウイではチャンベベイズン地域で石油天然ガス金属鉱物資源機構と Gold Canyon Resources Inc との合弁企業である Spring Stone Exploration 社が閃長岩上部のイオン鉱の探鉱を実施している. ここでは約 600ppm の希土類が含まれており平均 100ppm の Nd と 17ppm の Dy が含有される. リーチングテストの結果平均 35%の希土類の回収率(Nd: 41%, Dy: 51%)が示されている(Le Couteur, 2011). その他にマレーシアでも地質科学局が国内のイオン吸着型鉱化作用の評価を 2013 年から開始する予定である.

4.2 カーボナタイト

カーボナタイト鉱床は世界各地で探査が行われている. 主なプロジェクトはブラジルの Araxa, カナダの Ashram Main, Clay-Howells, 米国の Bear Lodge, 南アフリカ共和国の Glenover, Zandkopsdrift, マラウイの Kangankunde, Songwe, ケニアの Mrima Hill, タンザニアの Ngualla, Wigu Hill, ナミビアの Lofdal, モザンビークの Xiluvo, 豪州の Mount Weld Duncan, グリーンランドの Sarfartoq で半数以上がアフリカでのプロジェクトである. ただし現在開発されているカーボナタイト鉱床の最低希土類品位 3-4%以上のものは Araxa, Kangankunde, Mont Weld Duncan, Ngulla と限られている.

4.3 アルカリ閃長岩, アルカリ花崗岩に伴う鉱床

アルカリ岩に伴う鉱床はこれまでロシアのロボゼルスコエ鉱床以外開発されてこなかった. 希土類品位が低く含有鉱物が多彩で選鉱, 製錬に困難が伴うとみなされてきた. しかしながら最近の重希土類元素の価格高騰により重希土類元素に富む鉱床の探査プロジェクトが進められている. 代表的なものは米国の Bokan, カナダの Foxtrot, Kipawa, Nechalacho, Strange Lake, グリーンランドの Kvanefield, スウェーデンの Norra Karr, 豪州の Dubbo 等である. このうち Bokan はゼノタイムをターゲットとしているが, Kipawa, Kvanefield, Norra Karr はユーダイアライト, Foxtrot はフェル

グソナイト, Nechalacho はジルコンとフェルグソナイト, Dubbo はジルコンとこれまで希土類が生産されてこなかった鉱物が選鉱の対象で, 選鉱・製錬に関する技術開発が探鉱と同時に進められている.

これらのプロジェクトの中で, カナダの Kipawa 鉱床の開発はカナダ Matamec 社と豊田通商株式会社とのジョイントベンチャーとして実施されている. この鉱床は 19.7Mt (平均品位 0.41%)の鉱量を持ち, 選鉱・製錬で 70%の回収率が見込まれている. 2016 年末の開山を目指し, 鉱山寿命は 15.2 年, 年間 3,653t の混合希土(Nd₂O₃: 469.2t; Dy₂O₃: 140.6t)の生産を想定している(Matamec, 2013).

4.4 堆積岩胚胎熱水性ゼノタイム鉱床

このタイプの鉱床は堆積岩胚胎ウラン鉱床の分布地域に形成している. カナダサスカチワン州のアタバスカ堆積盆と豪州北西部, カザフスタンが主な分布地である. カナダの Douglas River や豪州の Browns Range では砂岩中のゼノタイムが探鉱の対象となっている. 非常に重希土類元素に富むがこれまでのところ十分な鉱量が公表されていない. 今後の探鉱によりどこまで鉱量が確保されるかが課題である.

4.5 錫花崗岩に伴ゼノタイム鉱床

錫鉱床にゼノタイムが伴うことは古くから知られており, ブラジルのピティンガやマレーシアの錫花崗岩から錫を採掘した残りのアマンと呼ばれる排滓からゼノタイムを回収するプロジェクトが進められている.

5. 今後の希土類資源の供給状況

2013 年の米国のマウンテンパス鉱山, 豪州のマウントウェルド鉱山の 2 大鉱山からの希土類の生産開始で希土類の生産地図は中国独占から多極化への様相を呈し始めた. 予想される中国外の希土類資源生産量は 2013 年が 16,700t, 2014 年が 37,550t であり(アルム出版社, 2013), 現在の中国外の希土類の需要(2012 年 36,000t; Kingsnorth,

2012)は、今後これらの中国外の供給で賄うことが可能である。将来、中国外の需要が増加しても、マウンテンパスやマウントウェルド鉱山は生産キャパシティを増やすことが可能であり(マウンテンパスは年間4万トン、マウントウェルドは年間2万トン)、十分需要の増加に対応することができる。従って現在世界で進められている多くの新規希土類プロジェクトは、余程の経済性がない限り生産を開始するのは困難であろう。

Nd と Dy についてみると2014年の中国外の予想資源生産量は、Nd₂O₃は5,326t、Dy₂O₃は19tである。一方、日本の2013年の金属NdとDyの需要はそれぞれ3,700-4,600t (Nd₂O₃: 4,309-5,358t)、

470-580t (Dy₂O₃: 544-671t)と予想されている(第4表; アルム出版社, 2013)。従って、2014年にはたとえ中国からのNdの供給が途絶えても、中国外の希土類供給地から日本へのNdの供給は可能となる。一方Dyの中国外の資源生産量はわずかであり今後も中国からの供給に頼らざるを得ない。希土類の中国からの供給が突然途絶えることは考えにくいだが、中国国内での非常にアンバランスな磁石生産に特化した希土類産業の成長をみると、近い将来中国からNdとDyが供給されなくなる可能性が高いと予想される。従って重希土類元素の富む鉱床—特に日本企業が関与しているプロジェクト—の早期開発が望まれる。

第4表 中国外の希土類資源生産予想(アルム出版社, 2013)

	合計	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
中国外の生産量合計											
2013	16,700	4,600	7,807	790	2,400	239	37	73	6	9	22
2014	37,550	10,551	17,516	1,737	5,326	530	71	167	12	19	47
豪州 マウントウェルド											
2013	6,000	1,530	2,804	319	1,110	136	26	45	4	7	15
2014	11,000	2,805	5,141	585	2,035	250	48	83	8	13	28
米国 マウンテンパス											
2013	7,000	2,324	3,437	304	840	56	7	12	1	2	7
2014	19,050	6,325	9,354	827	2,286	152	19	32	4	6	10
ロシア ロボゼロスコエ											
2013	2,000	521	1081	101	266	20	3	4			
2014	2,000	521	1081	101	265	20	3	4			
インド インデアン希土類											
2013	1,000	225	485	56	185	27		12			
2014	4,000	900	1,940	224	740	108		48			
カザフスタン SARECO											
2013	700										
2014	1,500										

一方で中国の重希土類元素に富むイオン鉱の安い生産コスト・販売価格を考えると、ゼノタイルを鉱石鉱物とする鉱床の開発以外は安定的に鉱山を操業することはかなり困難であることが予想される。Dyを含む重希土類元素は副産物としての生産も検討する必要があるであろう。産業技術総合研究所では現在肥料原料として生産されているアパタイトからの希土類の回収試験を始めており、今後の成果が期待される(金属時評, 2013a, b)。

引用文献

- Academy of Science Malaysia (2013) Revitalising the Rare Earth Mineral Programme in Peninsular Malaysia as a Strategic Industry. ASM Study Report 1/2013, Akademi Sains Malaysia, 107p.
- アルム出版社(2013) 工業レアメタル 129, アルム出版社, 東京, 150p.
- Chegwidden, J. (2012) Overview of the Chinese rare earth market. 8th International Rare Earths Conference, Hong Kong, 13th - 15th November 2012.

- Detkov, P. (2011) Rare earths resources in Russia. The 7th International Rare Earths Conference, Hong Kong, November 15-17 2011.
- Kingsnorth, D. (2012) “The Rare Earths Industry: Comatose or In Limbo?” 8th International Rare Earths Conference, Hong Kong, 13th - 15th November 2012.
- 金属時評(2013a) 希土類開発 重希土に絞った副産物回収, イオン吸着鉱, 高品位鉱床の開発脚光 開発コンセプトは「早く」, 「安く」, 「小規模に」の3点に集約 金属時評 2244号, p. 1-3.
- 金属時評(2013b) 希土類分離・抽出技術 産総研, 副産物から重希土類を高効率・選択的に分離回収できる新吸着剤開発に成功 金属時評 2245号, p.1-3.
- Le Couteur, P. C. (2011) Geological report on the Chambe basin area of exclusive prospecting licence EPL 0325/11, Mulanje Massif, southern Malawi, East Africa. P.C. Le Couteur, President, Micron Geological Ltd., 101p.
- Matamec (2013) Matamec Announces Results of Positive Feasibility Study for Kipawa JV Heavy Rare Earth Project. News Release, Matamec Explorations Inc., September 4, 2013.
- Metal-Pages (2013) Unknown sources behind 70% of ion-adsorption rare earth concentrate at southern separating companies-report. 08 August 2013 by Metal-Pages
- Mitchell, R. H. (2005) Carbonatites and carbonatites and carbonatites. The Canadian Mineralogist, 43, 2049-2069.
- Molycorp (2013) Molycorp Reports Second Quarter 2013 Results. Molycorp website: <http://www.molycorp.com/molycorp-reports-second-quarter-2013-results>
- Roskill (2007) The Economics of Rare Earths & Yttrium, thirteen edition. Roskill Information Services Ltd., 275p.
- SRK Exploration (2013) A Competent Persons Report on the Tantalus Project, Northern Madagascar. SRK Exploration Services Ltd., ES7520, 140p.
- USGS (2013) Mineral Commodity Summaries 2013. U.S. Department of the Interior, 198p.
- Wu, C. and Ishihara, S. (1994) REE geochemistry of the southern Thailand granites. Journal of Southeast Asian Sciences, 10, 81-94.
- Wu, C., Huang, D. and Guo Z. (1990) REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan area, Jiangxi province, Acta Geologica Sinica, 3, 193-214.