

太平洋で発見されたレアアース泥の特長と開発可能性

加藤 泰 浩

2011年7月4日、我々の研究グループは、ハイテク産業に必要な不可欠な資源であるレアアースを高濃度で含む海底堆積物「レアアース泥」が太平洋の広い範囲に分布していることを発見した。この発見は国内のほとんどすべての主要紙の1面や朝7時のNHKニュースなどで大きく取り上げられたのみならず、ロイター、BBC、ウォールストリートジャーナルなどの海外主要メディアでも広く報道され、世界的に大きな反響を呼んだ。

本稿では、レアアースの重要性とそれを巡る現在の資源問題について解説し、次に我々が発見した新資源「レアアース泥」の特長について述べる。さらに、つい最近報道された南鳥島周辺のレアアース泥について紹介する。

キーワード：レアアース泥、海底鉱物資源、フロンティア資源、深海底堆積物、資源セキュリティ

1. レアアースの重要性

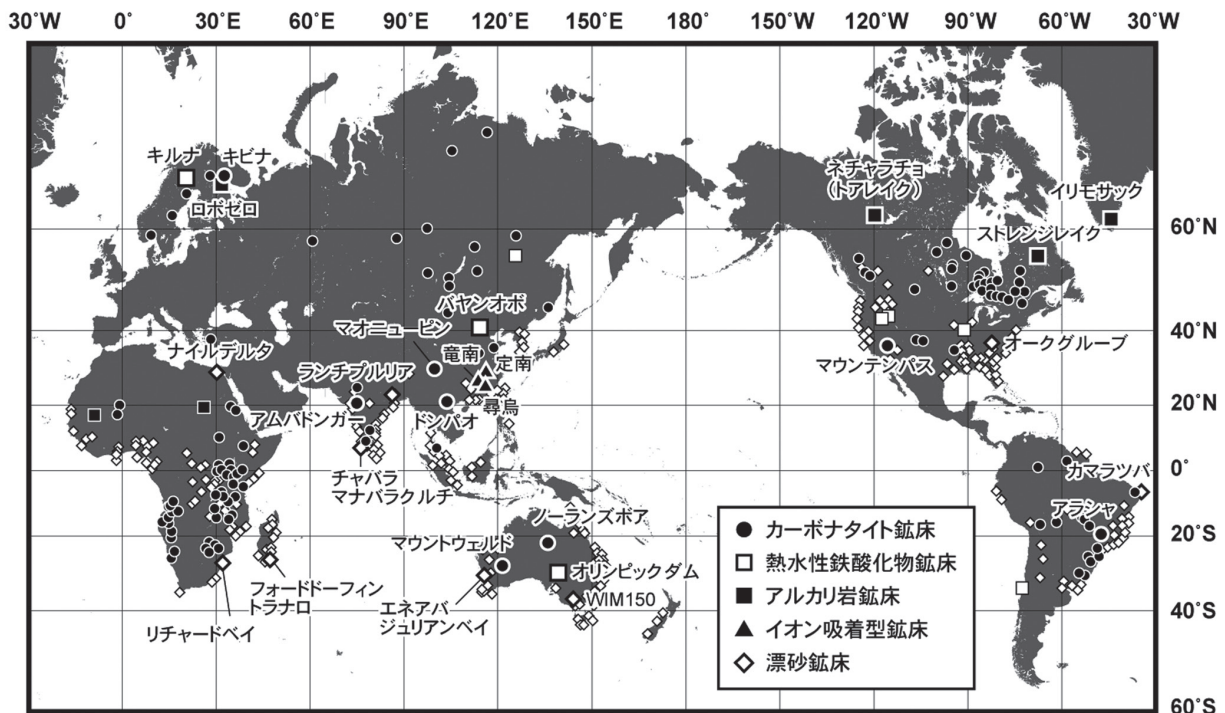
レアアース（希土類元素）とは、周期律表の第3族に属する元素のうち、原子番号57番から71番までのランタノイド15元素（ランタン（La）、セリウム（Ce）、プラセオジウム（Pr）、ネオジウム（Nd）、プロメチウム（Pm）、サマリウム（Sm）、ユウロピウム（Eu）、ガドリニウム（Gd）、テルビウム（Tb）、ジスプロシウム（Dy）、ホルミウム（Ho）、エルビウム（Er）、ツリウム（Tm）、イッテルビウム（Yb）、ルテチウム（Lu））の総称であり、同じ第III族元素である21番のスカンジウム（Sc）、39番のイットリウム（Y）を含める場合もある。また、ランタノイド15元素のうち、ランタンからユウロピウムまでを軽レアアース、ガドリニウムからルテチウムまでを重レアアースと呼称する。

レアアースの原子は、N殻に空席があるにもかかわらず、先に外側のO殻とP殻に電子が入り、その後でN殻の空席を電子が埋めていくという特殊な電子配置を持つため、素材原料として用いることで極めて独特な特性を発揮する。例えば、その磁気的特性を生かした素材としては、ネオジウム・鉄・ボロン磁石（耐熱性を上げるためにジスプロシウムも添加されている）やサマリウム・コバルト磁石があり、特に前者は「最強の永久磁石」としてハイブリッドカーのモーターやハードディスクなどに広く使用されている。また、

ユウロピウムやテルビウム、イットリウムなどは優れた蛍光特性を持つことから、古くはブラウン管カラーテレビ、現在では三波長形蛍光ランプやLED電球、液晶テレビのバックライトなどに用いられている。そのほかにも、二次電池や燃料電池の材料としてランタンやセリウム、サマリウムが、デジタルカメラや望遠鏡、顕微鏡に使われる光学ガラス材料としてランタン、ガドリニウム、イットリウムが、DVDやブルーレイディスクなど光ディスクの記録層にはガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウムが、半導体や液晶ガラス基盤の研磨剤や自動車用排気ガス浄化触媒、石油精製のFCC触媒にはランタンやセリウムが使われているなど、その利用は多岐にわたっており、レアアースは現代社会において欠かすことのできない重要な資源であるといえる。

2. レアアースを巡る資源問題

このように、レアアースは我が国を支えるハイテク・省エネ技術産業に必要な不可欠な資源であるが、現在世界のレアアース生産量の約97%を中国一国が生産するという歪な供給構造を持っている。中国は世界最大のレアアース鉱山である内モンゴル自治区のバヤンオボ（白雲鄂博）鉱床をはじめとした巨大鉱山を多数有しており（図—1）、これらから産出されるレアアースを大量に安価で売りさばくことで外貨獲得の手段と



図一 世界のレアアース鉱床の分布図¹⁾

してきた。しかし2005年以降、環境保護、自国資源の長期的保護、内需拡大のための国内産業の発展などを名目として、鉱山での採掘量規制や輸出力規制、輸出関税の導入など規制強化政策へ急激な転換を図っており、レアアースの供給不足や価格高騰が懸念されてきた。そしてついに、2010年9月の尖閣諸島漁船衝突事件の報復として中国はレアアース資源の輸出停止や制限を行い、その不安は現実のものとなった。このいわゆる“レアアース・ショック”は、日本だけではなく欧米諸国をも巻き込み、世界中でレアアースの資源問題がクローズアップされることとなった。このレアアース輸出停止措置は10月末～12月までには解消されたものの、その後も中国は2005年以降の5年間で国内のレアアース埋蔵量が激減したと発表し、レアアース開発企業の集約化やレアアース探鉱権・採鉱権の全面整理、レアアース資源税の引き上げなど更なる生産管理の強化を進めている。それに伴って2011年に入ってからレアアース価格は異常な高騰を続けており、8月の価格は1月と比べて3倍から10倍に達する高値を更新した。現在の価格は下落傾向にはあるものの、重要なレアアースであるユウロピウムやジスプロシウム、テルビウムなどの価格は依然として高い水準で推移を続けている。こうした事態に対して、2010年10月には日米欧が連携してレアアースの安定調達や削減技術について検討する作業部会が初めて開催されたほか、2012年3月には、日本、アメリカ、EUが共同でレアアース輸出規制を行う中国を世界貿

易機関(WTO)に提訴し、現在争議中である。

また、レアアース価格の高騰は国内レアアース産業に大きな影響を与えており、国内業者はレアアースを使用した製品の値上げを余儀なくされている。中国は国内販売価格と輸出価格に差をつけることで、日本を初めとする海外企業の生産工場の国内誘致を強く推進している。これにより、日本の持つハイテク産業の生産技術の流出が強く懸念されている。さらに中国は、尖閣諸島問題でも明らかになったように、レアアース資源を外交カードとして利用しており、レアアースの安定確保は日本にとって喫緊の懸案事項であるといえよう。

中国がこうした強硬な姿勢に出ることができるのは、前述したように世界でも有数のレアアース鉱床を国内に数多く持つためである(図一)。例えば、内モンゴル自治区のバヤンオボ鉱床は5,740万トンもの鉱量を持つ世界最大の軽レアアース鉱床である。また、四川省のマオニューピン鉱床も2,000万トンの鉱量を持つ大鉱床である。こうした鉱床に含まれる高レアアース含有鉱物はマグマ活動によって形成されるが、マグマの分別結晶作用を通じて軽レアアースを強く濃集し、総レアアース含有量は～10%にも達する。しかし非常にやっかいな問題は、これらの軽レアアース鉱床には、トリウムやウランなどの放射性元素も同時に高濃度で濃集してしまうことである。軽レアアース鉱床は米国や豪州など世界中に分布するが、中国以外の国々ではこの放射性元素の処理がネックとなり、開

発が極めて困難となってしまうことが多い。中国では、レアアースを回収したあとに発生する放射性元素が多く残留した廃さいが無造作に貯蔵されており、深刻な環境問題や健康被害を引き起こしている。

これらの軽レアアース鉱床とは別に、さらに中国には「イオン吸着型鉱床」と呼ばれる重レアアース鉱床が存在する。高温多湿の中国南部（主に江西省）において、花崗岩が風化されてできた粘土鉱物にレアアースが吸着・濃集したものである。主な鉱床としては竜南鉱床、尋烏鉱床などが知られており、地表部に広範囲に存在していることが特徴である。類似の気候条件下にあり、風化花崗岩が分布するベトナムやカンボジアなどの東南アジア諸国でも、同様のイオン吸着型鉱床が存在すると期待されているが、今のところ有望な鉱床は見つかっていない。つまり現時点では、最重要の資源である重レアアース鉱床は南中国にしか存在しないのである。このイオン吸着型鉱床は、軽レアアース鉱床と比べると、総レアアース含有量はかなり低い（0.05～0.2%）が、レアアースの回収が極めて容易であるという特長を持つ。そのレアアース回収法は、山体に直接硫酸アンモニウムを流し込み、不透水層に沿って流れ出したレアアースの抽出溶液を回収する“in-situ leaching”という極めて荒っぽいやり方である。

開発が非常に容易なために不法生産が後を絶たず、採掘地の荒廃が大きな問題となっている。また最も深刻な問題は、回収されずに拡散した抽出液が河川や田畑に流れ込み、土壤汚染を引き起こしている点である。このように、現在陸上で開発されているレアアース鉱床は非常に深刻な環境問題を抱えており、持続可能な資源開発の最大の障害になっているといえる。もしかすると、中国においても近い将来にレアアース鉱床の開発は難しくなるかも知れないのである。

3. 新しい海底鉱物資源“レアアース泥”の発見

このような状況の中、我々の研究グループは、太平洋の4,000m以深の深海底にレアアースを高濃度で含有する泥（レアアース泥）が広範囲に分布していることを発見した（図-2）。我々が発見したレアアース泥は、(1) 中国のイオン吸着型鉱床より高いレアアース含有量（特に重レアアース含有量）を持つこと、(2) 資源量が膨大かつ探査が容易なこと、(3) 開発の障害となるトリウムやウランなどの放射性元素をほとんど含まないこと、(4) 希硫酸や希塩酸で容易にレアアースが抽出可能であり、製錬が極めて容易なことなど、まさ

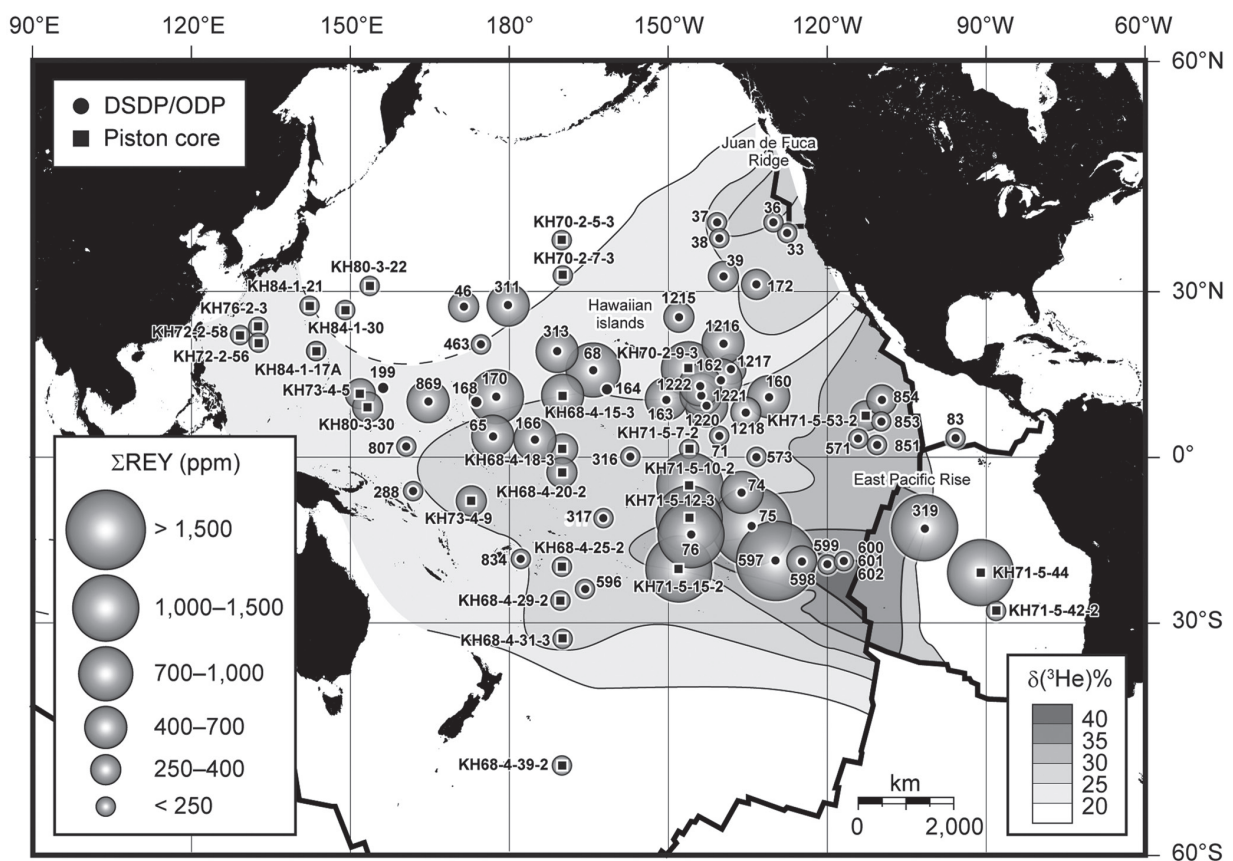


図-2 太平洋におけるレアアース泥の分布（＜2mの表層）と平均総レアアース含有量²⁾

に夢のような海底鉱物資源といえる。これまで海底鉱物資源としては、中央海嶺や島弧・背弧に分布する熱水性硫化物鉱床や、海山の表面に薄い皮膜状・層状に発達するマンガン（コバルトリッチ）クラスト鉱床、深海底を広く覆って分布する団塊状のマンガンノジュール鉱床の3つが知られていたが、レアアース泥はそれらに続く第4の海底鉱物資源になると期待されている。

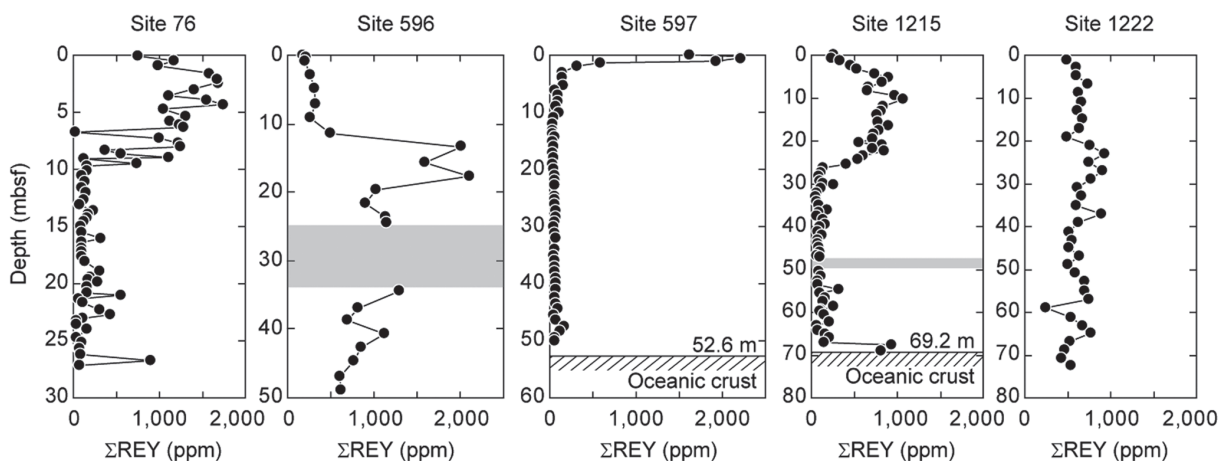
太平洋全域から採取された2,000を超える膨大な数の深海底の泥試料について、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）による全岩化学組成分析を行った結果、タヒチ周辺の南東太平洋（5–20° S, 130–150° W）とハワイを中心とした中央太平洋（3–20° N, 130° W–170° E）において、高いレアアース含有量を持つ泥が広く分布することが明らかになった（図—2）。南東太平洋においては、現在中国南部で採掘されているイオン吸着型鉱床の2倍以上のレアアース含有量（重レアアース含有量に至っては約5倍）の泥が層厚2～10 m程度の厚さで分布している（図—3）。一方、中央太平洋のレアアース泥は、レアアース含有量こそ南東太平洋に比べると低いものの、最大70 mの厚さ（平均23.6 m）にも達することがわかった（図—3）。この2つの海域の資源量を計算してみると、現在陸上に存在するレアアース埋蔵量のおよそ800倍になる。場所によっては1平方キロメートルの海底面下を開発するだけで、世界の年間レアアース消費量の1/5を供給することが可能である。また、レアアース泥には、バナジウム、コバルト、ニッケル、モリブデンなどのレアメタルも高濃度で含有されているので、これらのメタルも回収できれば、資源価値はさらに高くなる。

膨大な化学分析データを独立成分分析で解析した結果、レアアースを濃集させたメカニズムは、中央海嶺

の熱水活動によって放出された鉄質懸濁物質とゼオライト鉱物の一種であるフィリップサイトによって、海水中のレアアースが吸着されたことであると判明した。泥に含まれるレアアースは鉱物相にゆるく吸着されているだけなので、希硫酸や希塩酸に室温で1時間程度浸すだけで、ほとんどすべてのレアアースを抽出することが可能なのである。

4. レアアース泥による日本の資源戦略

太平洋で発見されたこのレアアース泥は、マスコミ報道では、公海上の資源であることが強調されていたが、実際にはそうではない。タヒチ沖の一部はフランスの排他的経済水域（EEZ）、ハワイ沖は米国のEEZに属することに注意を払う必要がある。我々がこの新規資源の発見を世界で最も権威のあるネイチャー系の科学雑誌で公表したのは、まずは科学上の発見として科学の進展に大きく寄与することを目的としたことは言うまでもないが、もう一つの大きな目的は、レアアース資源を独占する中国を強く牽制できると考えたからである。公海上の資源であれば世界中の国々を巻き込むことができるし、フランスや米国にとっては大いにやる気にさせられる発見のはずである。レアアースを巡って日本だけが中国と敵対するのではなく、できるだけ多くの国を巻き込む、これがまず我々が意図したことである。中国にとってレアアースは、中東にとっての石油と同じような、最重要の戦略物質である。その戦略物質を我々の発見が大きく脅かしているのである。中国は今までのように思うままにレアアースの価格を上昇させることはできないであろう。これ以上の価格上昇は、深海底のレアアース泥を実際に開発することの十分なインセンティブになり得るからである。実際にフランスは、タヒチ沖でレアアース泥の開発に



図—3 代表的なコア試料のレアアース泥の深度分布と総レアアース含有量²⁾

動くと思われ。フランスは、世界最高水準の海洋資源開発の技術を有しており、さらにレアアースの製錬技術にも優れているからである。我々日本人が発見したレアアース泥をフランスに先に開発されてしまうことにはやや複雑な思いがあるが、中国一国がレアアースを独占している現在の状況を打破することは大いに歓迎すべきことであろう。

5. 南鳥島レアアース泥の発見とその開発への取り組み

今年2012年6月28日、我々は日本のEEZ内である南鳥島周辺海域にレアアース泥の存在を確認し、その研究結果を公表した。この研究成果はNHKの夜7時のニュースで大きく取り上げられ、翌29日の朝7時のトップニュースとしても報道された。このEEZ内のレアアース泥は、コアの回収率が悪いためその情報は断片的だが、Site 800では平均総レアアース濃度が1,070 ppmに達する泥が分布している（図-4）。そこでは、海底面下10m以深に10m程度の層厚でレアアース泥が分布していることが確認されており、Site 800周辺の1,000 km²の海域だけで、日本の国内消費量の約230年分にあたる約680万トンのレアアースが存在すると推定される。これから需要が特に逼迫すると懸念される重レアアースのジスプロシウムは約400年分、テルビウムに至っては約4,600年分の資源

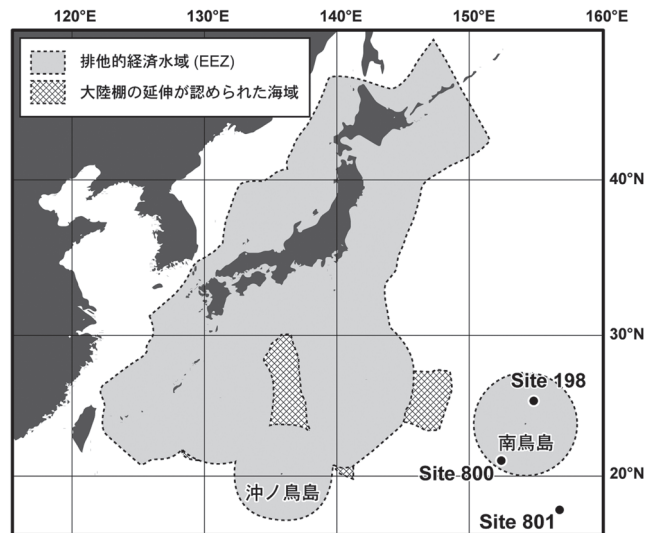


図-4 南鳥島 EEZ 内で確認されたレアアース泥³⁾

量である。また、南鳥島の北に位置する Site 198 や、EEZ からは外れるが Site 801 においてもレアアース泥が確認されている。したがって、南鳥島の EEZ 全体ではさらに膨大な量のレアアース泥が存在すると予想される。

もしこうした EEZ 内のレアアース泥を開発できれば、レアアースを自給する道が開けることになる。最大の問題の一つは、水深が5,000 mを超える深海底に存在するレアアース泥を揚鉱することができるかどうかであるが、同様の水深に存在するマンガンノジュールの採掘シミュレーション結果などに基づけば、それ

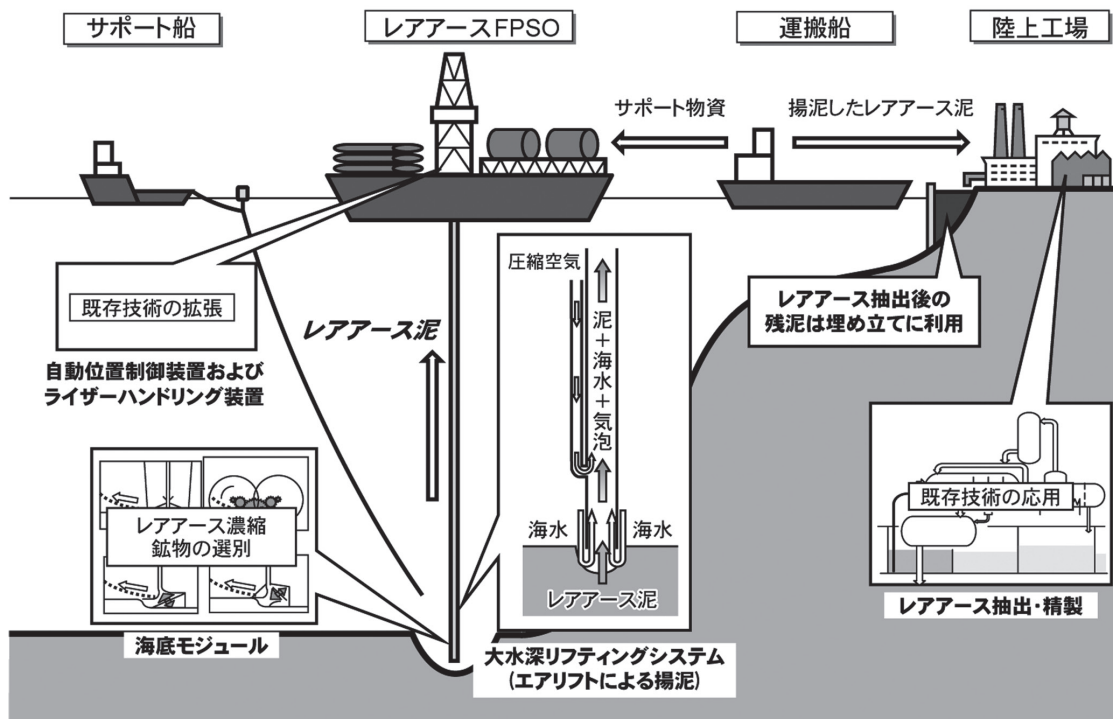


図-5 レアアース泥開発システムの概要³⁾

ほど難しくはなさそうである。また、今から30年ほど前の1980年代に、紅海の水深2,000mに分布する硫化物泥の揚鉤がドイツの企業によって実証されており、一艘の船で年間約260万トンの泥が採れると試算された。我々は三井海洋開発との共同研究により、圧縮空気を送り込んで泥に空気を混ぜ、密度を軽くして引き揚げるエアリフトという方法で、年間約300万トンのレアアース泥を一艘の船で採ることを目指している(図-5)。これにより、レアアースの国内需要のほぼ10%を賄うことができるが、まずはこの量で十分であると考えられる。日本がレアアース泥を採取できることを示せば、中国はレアアースの輸出価格を下げることで、このプロジェクトをつぶそうとするはずである。その場合、日本としては、残りの国内需要の90%を充たすレアアースを中国から安く買えることになるので、総じて非常に得をすることになる。レアアース泥を採ることで仮に赤字が生じたとしても、簡単に相殺することができる。日本がレアアースの価格をコントロールする調整弁を握ることができるのである。これこそ日本が執るべき資源戦略であろう。まずは

刻も早く、南鳥島EEZ内の海域について重点的な資源探査を展開し、レアアース泥の資源ポテンシャルを把握することが重要である。レアアース資源が十分に確保できれば、既存のレアアース産業の更なる発展と新規のレアアース産業の創出を誘発し、日本再生の起爆剤になることが大いに期待される。

JICMA

《参考文献》

- 1) 足立吟也(監修): "希土類の材料技術ハンドブック 基礎技術・合成・デバイス製作・評価から資源まで", NTS, 978p, 2008
- 2) Y. Kato et al: "Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements", Nature Geoscience, vol. 4, 535-539, 2011
- 3) 加藤泰浩: "太平洋のレアアース泥が日本を救う", PHP 新書, 253p, 2012

【筆者紹介】

加藤 泰浩(かとう やすひろ)
 東京大学大学院
 工学系研究科
 エネルギー・資源フロンティアセンター
 教授



大口徑岩盤削孔工法の積算

——平成24年度版——

■改訂内容

- ・国交省の損料改正に伴う関連箇所全面改訂
- ・ダウンザホールハンマ工、ロータリ掘削工法の積算方法の改定
- ・工法写真、標準積算例による解りやすい説明
- ・施工条件等に対応した新たな岩盤削孔技術事例の追加
- ・施工実績の改定

- A4判/約250頁(カラー写真入り)
- 定 価
 非会員: 5,880円(本体5,600円)
 会 員: 5,000円(本体4,762円)
 ※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。
- ※送料は会員・非会員とも
 沖縄県以外 450円
 沖縄県 340円(但し県内に限る)
- 発刊 平成24年5月

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館)

Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289 <http://www.jcmanet.or.jp>