

第5回 資源小国の呪縛を捨てよ！—日本の海、海底資源開発が動き出す—

システム工学研究所(株)取締役社長 中澤 直樹



1. 資源輸入大国日本

日本は多くの種類の資源を大量に輸入し、それを主に運輸燃料や電力生産の原料、また、工業製品の原料としている。本連載では石油、石炭、天然ガスという化石資源御三家について日本の輸入の現状を見た。しかし、日本はこれらエネルギーの原料となる資源のほかにも多くの資源を輸入している。表1に示す数字で見よう。ご覧のように日本は化石資源ばかりでなくベースメタル（鉄、銅、鉛、亜鉛など）や近年その重要性が注目されているレアメタル（タングステン、バナジウム、白金など）、更には希土類と呼ばれるレアアース（ネオジム、イットリウムなど）でも世界有数の輸入国である。つまり日本は世界中から資源エネルギーを集め、それを糧として世界第二位の経済規模を築き、それによって国民が物質的には豊かな生活を維持しているのである。では、これからもその経済規模の維持は可能なのであろうか。表1に見られるように、資源の輸入は米国、中国、そして日本の3か国が世界の上位を独占している。しかし、これまで学んだように米国と中国は資源輸入大国であると同時に資源保有大国でもある。自国の豊富な資源を武器に、その市場に大きな発言力を持つことができるのである。近年中国の資源輸入の急増が話題になることが多い。2010年には経済規模で日本を抜き、世界第二位の経済大国となる中国は、自国の豊富な資源を消費しつつも世界中から資源を集める戦略を実行に移している。中国の

表1 資源輸入の世界順位

資源の種類	1位	2位
石油	米国	中国
石炭	日本	韓国
液化天然ガス	日本	—
鉄鉱石	中国	日本
銅鉱石	中国	日本
レアメタル	日本	—

アフリカ資源外交、海外資源開発会社の買収、外国企業との油ガス田の共同開発、そして石炭、レアメタル、レアアースなど自国に豊富にある資源の輸出規制など、中国は戦略的にエネルギー政策を進めている。

日本はどうだろうか。一方的な資源輸入国であるにもかかわらず、資源エネルギー戦略がないと言われる。「産業の米」と呼ばれる鉄や銅などのベースメタル、「産業のビタミン」と呼ばれるハイテク製品や鉄鋼の生産に欠かせないレアメタルやレアアース、本稿では日本の製造業に欠かせない原料である鉱物資源について考えてみよう。

2. レアメタルとレアアース

—産業のビタミンを確保せよ—

2003年3月のイラク戦争開始後に始まった原油価格の高騰、石油から温暖化ガスの排出が比較的少ない天然ガスへのエネルギーシフト等により、石油と天然ガスの需給に対する関心が高まっている。しかし、ベースメタルやレアメタルなどの鉱物資源についても、近年、消費量が世界的に拡大し続けていることから価格も高騰している。表2¹⁾に数種のベースメタル、レアメタル、およびレアアースの価格の上昇率を示す。2003年7月の価格に対する2006年7月の価格の上昇率で示しているが、価格の急騰ぶりが表れている。2008年10月のリーマンショックによる経済の混乱と一時的な減速により、2009年11月時点では価格は全般的に下がっているが、将来的には再度上昇に転じると考えられる。

レアメタルの産出地は中国、アフリカ諸国、ロシア、および南北アメリカ諸国に偏在しており、ほとんどの

表2 ベースメタル、レアメタル、レアアースの2003年7月価格に対する2006年7月価格の上昇率

鋼種	上昇率
鉄鉱石	+211%
銅地金	+451%
亜鉛地金	+404%
鉛地金	+204%
白金地金	+180%
ニッケル地金	+302%
タングステン鉱	+348%
コバルト地金	+133%
モリブデン鉱	+473%
フェロマンガン	+228%
フェロバナジウム	+353%
インジウム	+425%
レアアースネオジム	+353%
ジスプロシウム	+436%

レアメタルが産出量上位3か国で50%~90%の埋蔵量を占めている。特に中国は図1²⁾に示すように各種のレアメタルで世界トップの産出量を誇り、特にレアアースでは世界の9割以上を産出する資源大国である。しかし近年、中国は経済成長に伴う内需の拡大を背景に、すでに銅、ニッケル等については資源輸入国となった。レアメタルやレアアースについてはいまだ世界への供給国であり、特に世界のレアアースの50%近くを消費する日本は多くの種類で中国に大きく依存している。しかし、中国が自国の資源の輸出規制政策を進める中、中長期的な安定供給確保に対する懸念が生じている。中国に続き、インドやロシアでもこれら資源の消費が拡大しており、石油や天然ガスなどのエネルギー資源同様、鉱物資源についても国際的な資源獲得競争が激化するに至っている。

レアメタルとレアアースは、ハイテク産業になくて

はならない材料であることから³⁾、日本にとっては石油や天然ガスと同じように重要な資源である。ゆえに日本ではレアメタル7鉱種(ニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウム)の60日分の備蓄量確保を目標とした国と民間による備蓄制度がある。レアアースの生産は中国が世界の9割近くを占め、消費量では日本が世界の約半分を占めている現状を忘れてはならない。

3. 日本の海

—資源の宝庫—

3.1 世界第6位の領海・排他的経済水域

我々は子供の頃から「日本は国土が狭く資源のない国」という教育を受けてきた。確かにそうである。国土面積は世界61位(38万km²)、資源は既に学んだように多くを輸入に頼っている。しかし、日本は本当に国土の狭い資源小国なのだろうか。四方を海に囲まれた日本、ならば海に目を転じてみよう。日本の領海と排他的経済水域を合わせた広さ447万km²は世界第6位である。排他的経済水域(EEZ: Exclusive Economic Zone)とは、国連海洋法条約に基づいて設定される経済的な主権が及ぶ水域のことを指す。沿岸国は国連海洋法条約に基づいた国内法を制定することで自国の沿岸から200海里(約370km)の範囲内の水産資源および鉱物資源などの非生物資源の探査と開発に関する権利を得られる。図2⁴⁾に日本の排他的経済水域を示す。太平洋に点在する島々が、世界第6位の面積の排他的経済水域(領海を含む)を日本にもたらしめている。この広さは国土面積の12倍にもなるのである。

近年この日本の海に多くの資源が存在していること

図1 レアメタル(バナジウム、タングステン)およびレアアースの世界産出量国別割合(2007年度データ): 中国はこのほか、モリブデンでも世界の25%を産出している。

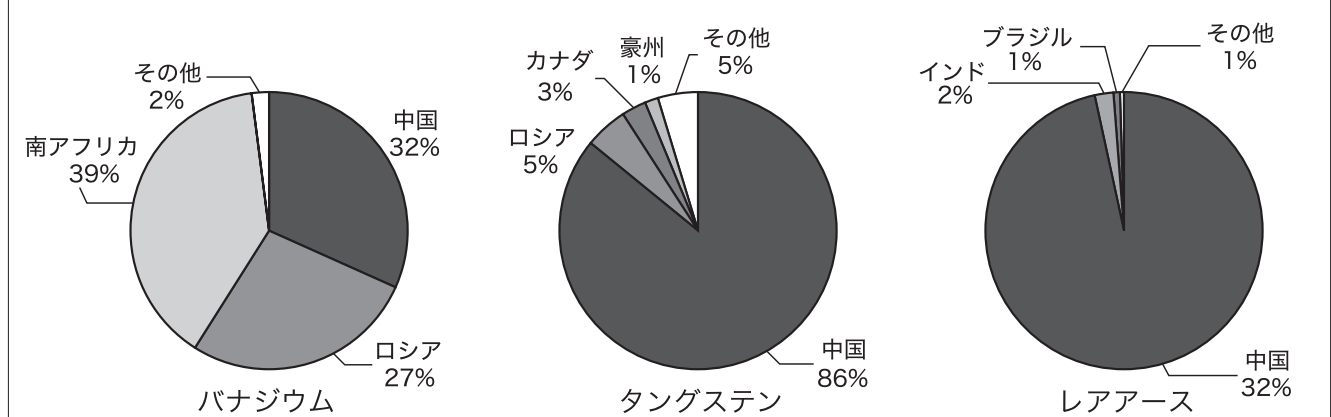
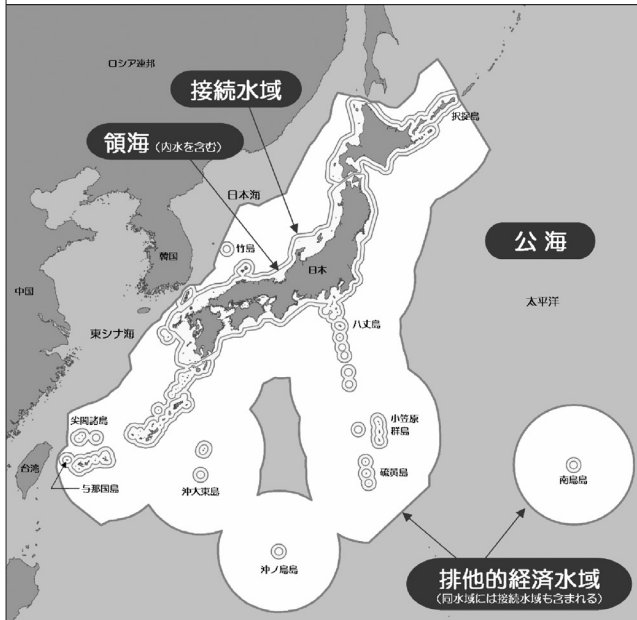


図2 世界第6位の海域面積を有する日本の排他的経済水域（領海を含む）



がわかってきた。海底熱水鉱床やメタンハイドレートである。

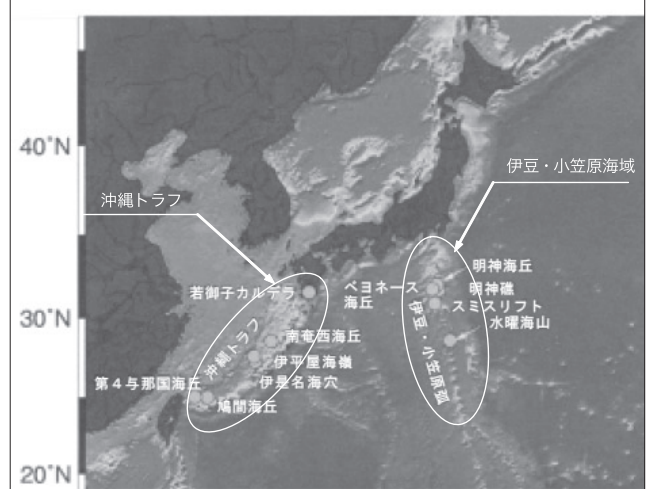
3.2 海底熱水鉱床、鉱物の宝庫？

海底熱水鉱床とは、海底の割れ目から数 km もしめ込んだ海水が、マグマの熱によって周囲の岩石中に含まれている金属成分を溶かし込んだ熱水となり、これが上昇して温度の低い海底あるいは海底付近に硫化物を形成する。この硫化物の化学組成には地域の特徴はあるものの、一般に銅、亜鉛、鉄などの主要金属元素と金や銀などの貴金属元素が含まれている。

東京大学教授飯笹幸吉氏のレポートで日本の海底熱水鉱床を見てみよう⁵⁾、⁶⁾。図3⁵⁾に日本周辺海域の海底熱水鉱床の分布位置を示す。

日本の排他的経済水域内における島弧や背弧の海底では、活発な熱水活動が生じている。特に、日本南方海域の伊豆・小笠原弧や九州南西方の沖縄トラフには、海底熱水活動に伴う複数の黒鉱型鉱床が発見されている。これらの水深は、1,000m 前後と浅く、その地理的位置は陸域に近いこともあり、潜在的な資源としての要素を十分に備えている。一方、日本の大陸棚延長海域やその周辺にも地質時代に活動した海底火山を多数伴う古島弧や背弧が分布している。このような海域内において採取された堆積物中には、熱水活動に伴って生成したと思われる硫化物粒子が認められている。日本の EEZ や大陸棚延長海域を含めた広大な海底にはまだ知られていない資源濃集域が存在する可能性が十分

図3 日本周辺海域における海底熱水硫化物の分布位置：伊豆・小笠原海域と沖縄トラフに多く発見されている。



に期待される。今後の調査・研究によって黒鉱型鉱床の発見数が高まるとともに、より高精度の資源量評価も可能となる。活動的な熱水域には多様な生物群集が棲息していることなどもあり、開発を見据えた環境調査も重要な課題となってくる⁶⁾。

熱水鉱床にはどのような資源がどのくらい含まれているのだろうか。伊豆・小笠原海域の明神海丘サンライズ鉱床は、カルデラ南東部のカルデラ壁急崖直下から火口床へかけての斜面に 500m × 400m の広がり分布する。鉱化帯では 20 ~ 40m の高さのマウンド上にチムニー群が存在する (図4⁷⁾)。表層部から採取された試料の化学組成分析では、Au (金) : 13.3g/t、Ag (銀) : 516.4g/t、Cu (銅) : 6.96%、Pb (鉛) : 0.88%、Zn (亜鉛) : 22.83% であり、Au、Ag、Zn の含有量が非常に多いが、その下部で採取された試料は、Au:1.1g/t、Ag:39.7g/t、Cu:6.55%、Pb:0.07%、Zn:2.40% という化学組成であった⁶⁾。これらの数値をまとめると熱水鉱床 1 トンあたりには金が数グラムから十数グラム、銀が数十グラムから数百グラム、銅、鉛、亜鉛では種類によって異なるが数キログラムから数百キログラム含まれていることになる。

これまでの海底調査により、日本近海には上記のような熱水鉱床が 15 ほどあると考えられている。鉱物種やその資源量を評価するためには詳しい海底地形調査やボーリング調査が必要であるが、日本は決して資源小国ではない可能性が出てきたことは確かなようである。

3.3 メタンハイドレート、燃える氷？

メタンハイドレート (Methane Hydrate) は、メ

図4 海底熱水鉱床の想定断面図：海底熱水鉱床が分布する海底は、数mから数10mのチムニーが林立しマウンドを形成するなど、急峻な地形が形成されている。これらが黒鉱型鉱床を構成し、この中に有用な鉱物が含まれている。

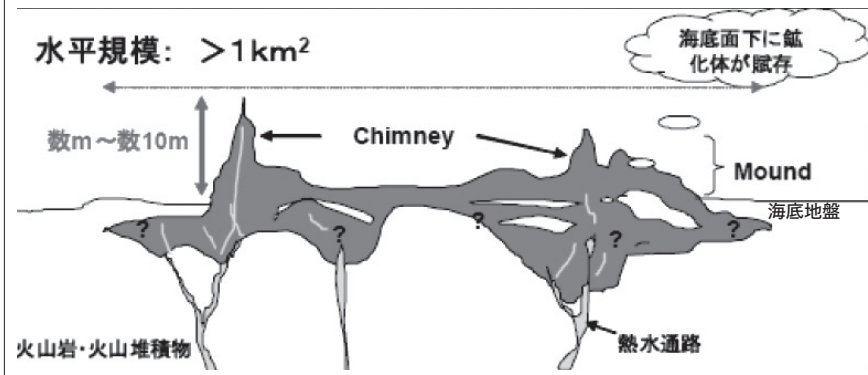


写真1 「燃える氷」人工メタンハイドレートの燃焼

タン (CH_4) を水 (H_2O) が囲む構造の物質であり氷のような固体である。天然ガスの成分であるメタンが含まれているために、非在来型天然ガス資源として注目されている。ある程度の低温と高圧条件下で生成し、海底 (Seabed) や凍土 (Permafrost) 地帯などに存在することが確認されている⁸⁾。

メタンハイドレートは低温で見た目はシャーベット状であり、火を近づけると燃え始めることから「燃える氷」と呼ばれる (写真1⁹⁾)。このメタンハイドレート、日本近海の海底に大量にあることがわかっており (図5⁹⁾)、排他的経済水域内の海底下15か所に分布することが確認されている。その合計資源量は、1996年の時点で液化天然ガス換算で7兆3,500億 m^3 と推計されている。これは現在の日本の液化天然ガス消費量の約100年分に相当する。日本は比較的早い時期からメタンハイドレート利用の実用化をめざして取り組んできた。この研究で日本は、世界のフロントランナーの役割を果たしている¹⁰⁾。

経済産業省は2001年に「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を発表し、メタンハイドレートを経済的に掘削・生産回収するための技術開発を推進しており、2002年には「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」が発足し、数社の大手ゼネコンも参加してその研究が進められている。また、2008年に閣議決定された「海洋基本計画」では、メタンハイドレートを将来のエネルギー安全保障上重要かつ有望な国産エネルギーとなりうると位置付け、今後10年程度をめどとした商業化を目標に国が先導的役割を担うことが明記された。しかし、深海底からメタンハイドレートを連続的に取り出す技術や海底環境に与える影響についての研究は始まったばかりであり、商業生産への道は平坦ではない。すでに残り10年を切っ

た2018年での商業化を行うためには、国による集中的な投資と民間

技術の結集が必要であろう。日本は世界最大の液化天然ガス輸入国である。国内消費のほぼ100%を海外に依存し、2008年には約7千万トンの液化天然ガスが輸入されており、その輸入額は4.6兆円を超えている。この分が国内資源でまかなえるとしたならば、エネルギー安全保障に対する大きな貢献であり、更には日本経済に与えるプラスの影響は計り知れないものがある。

メタンハイドレートの開発については、土木学会誌2009年11月号に清水建設(株)西尾伸也氏の報告が載っている¹¹⁾。同誌に土木技術者による一次エネルギー開発の報告が載ることは珍しい。土木技術者のエ

図5 日本近海に存在するメタンハイドレート資源の位置：資源量は合計で液化天然ガス消費量の100年分と言われる。

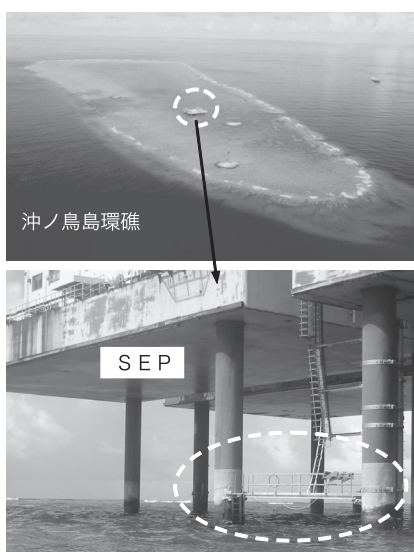


エネルギー開発への積極的な参加を願う筆者にとってはうれしい記事であるとともに、氏らの研究が更なる成果を生むことを期待する。

3.4 海水中にもレアメタル？

海水には全元素の約7割の種類が溶存しており、ウラン、リチウム、バナジウム、コバルト、チタン、マンガン、ストロンチウムなど多くの有用希少金属が溶存している。海水中から有用希少金属を回収するための捕集技術は、ウランでは(独)日本原子力研究開発機構¹²⁾、¹³⁾、リチウムでは(独)産業技術総合研究所¹⁴⁾が長年研究を行っている。更に両者の捕集剤を使った実海域実験では(財)エンジニアリング振興協会の研究がある(写真2¹⁵⁾)。これらの研究により捕集剤の吸着能力の向上や捕集方法の改良が重ねられた結果、日本の海水中レアメタル捕集技術は世界の最先端を走っている。読者の中には海水からのレアメタル捕集研究をご存じない方が多いと思う。資源のない日本で、国内産資源を求めて世界最先端の研究が行われているのである。

写真2
沖ノ鳥島環礁(上)と洋上施設(SEP)の捕集材設置場所(下)：2007年に沖ノ鳥島と沖縄県西表島において実海域レアメタル捕集実験が行われた。



4. 資源小国の呪縛を捨てよ！

我々は子供のころから「日本は資源のない国、加工貿易の国」と教えられ、資源は海外から買うもの、そのために良い工業製品を売って資源を買うお金を稼ぐということを考えてきた。それは決して間違った考えではなく、そのお陰で日本は経済大国となり、豊かな国民生活を維持してきた。しかし、日本は本当に資源のない国なのであろうか。気がつけば中国とその権利を巡って政治問題となっている東シナ海の春暁油ガス田開発があり、事実上その石油と天然ガスは中国の

支配下にある。第二次世界大戦以前はその南半分が日本領であったサハリン、1980年代に石油と天然ガスの大規模な埋蔵が確認されたことから、日本からの巨額の投資もあり、現在、世界でも有数の油ガス生産地帯になろうとしている。もし、東シナ海とサハリンの海底に豊富な石油と天然ガスがあることがわかっていたら、日本の戦前戦後の歴史は今と違ったものになっているかもしれない。今一度考えてみよう。日本は本当に資源小国なのか。

本稿で学んだように日本の海には豊富な資源エネルギーが眠っていることがわかってきた。資源を持たない国から持てる国へと変貌を遂げるべく、今後、資源量把握のための調査、生産のためのシステムや技術の開発、海洋環境保全のための技術開発、資源技術者の育成、教育機関の充実などのために集中的な投資が必要である。そして、資源エネルギー開発のために、マクロエンジニアリングの専門家である土木技術者の頭脳と実行力が今、求められている。

参考文献

- 1) 「最近における鉱物資源需給の動向と鉱物資源政策の状況について」、資源エネルギー庁、平成18年10月13日
- 2) 世界資源マップ2007年度データ、ダイヤモンド社
- 3) 森川市参(2004)：「世界のレアアース需要—世界のレアメタル(3)一」、金属資源レポート2004.11
- 4) 海上保安庁ホームページ <http://www.kaiho.mlit.go.jp/>
- 5) 飯笹幸吉(2008)：「わが国の排他的経済水域内の海底熱水鉱床について」、第48回海洋フォーラム
- 6) 飯笹幸吉(2006)：「深海底鉱物資源(3)海底熱水鉱床：日本と世界」、金属資源レポート
- 7) 「JOGMECにおける海底熱水鉱床の探査の現状と技術的課題」、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、平成20年12月18日
- 8) 広島大学ホームページ http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rene_M.html
- 9) (独)産業技術総合研究所ホームページ <http://www.aist.go.jp/>
- 10) 十市 勉(2008)：「埋蔵量100年分の国産資源「燃える水」を商業化できるか?」、日経BP社
- 11) 西尾伸也、杉山博一(2009)：「水底表層のメタンハイドレート資源開発に関する取組み」、土木学会誌、vol.94, no.11, November 2009.
- 12) 玉田正男ほか(2006)：「モール状捕集システムによる海水ウラン捕集のコスト試算」、日本原子力学会和文論文誌、Vol.5, No.4, pp.358-363.
- 13) (独)日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門公式ホームページ
- 14) 坂根幸治ほか(2006)：「海水から採取したリチウム脱着液から高純度無水塩化リチウムの生産」、日本海水学会第57年会研究技術発表会、平成18年5月31日、高松
- 15) 黒川 明ほか(2008)：「海水中希少金属の捕集実験」、土木学会海洋開発論文集、pp309-314、2008年6月25日