

「日本周辺の大陸棚の海底資源ポテンシャル」

東京大学大学院理学系研究科 浦辺 徹郎

1. はじめに

平成 20 年 11 月 12 日に日本が大陸棚限界委員会 (CLCS) に提出した大陸棚延伸申請に対し、平成 21 年 9 月に小委員会が設置され審査が開始されようとしている。そこで、我が国の領海・排他的経済水域 (EEZ) 内に予想される海底鉱物資源にはどのようなものがあり得るのかを整理してみたい。ただし、領海と EEZ を合わせると国土面積の 12 倍 (延伸申請部分を含めると 14 倍) もあり、海底鉱物資源についてはまだまだ分かっていないことのほうが多いので、これまでのまとめ (Rona, 2008) や、太平洋海域でなされてきた数多くの海洋調査 (Hein et al., 2005 など) も参考にして考えることにする。

2. 日本周辺の海底鉱物資源

現在、世界中で経済的に採取が行われている海洋鉱物資源はすべて浅海域のもので、隣接する陸上から風化・浸食・運搬作用によってもたらされた漂砂鉱床 (placer deposit) がほとんどである (第 1 表)。それらは多くの場合水深 30 メートル以浅の沿岸で、海浜の砂や海底谷沿いの堆積物に含まれる重鉱物を比重選鉱などにより採取する方法で採取されているが (Kudrass, 2000; Rona, 2008)、我が国では海砂そのものを建設用細骨材として採取しているのが主である (有田, 2001)。

第 1 表. これまでに知られている海底鉱物資源の種類。(Rona (2008) などをもとに作成)

海底資源	起源	鉱物資源	その他の資源
浅海資源 (=大陸縁辺部)	陸源物質 (=陸上岩石 の風化侵食)	砂金、砂ダイヤモンド、砂 スズ、砂鉄、希土類、砂チ タンなど 海砂(細骨材)	岩塩
	続成	リン灰岩(phosphorite)	
	生物成	石炭、石灰岩、	石油、メタンハイドレート
深海資源 (=大洋底、海山)	水成 (=海水起源)	マンガンクラスト マンガン団塊	海水ウラン 海水リチウム
	生物成		石油、メタンハイドレート
	火山成	海底熱水鉱床、 鉱脈鉱床、斑岩銅鉱床、 重金属に富む堆積物	
	正マグマ成	ニッケル、クロム、銅	

将来の資源として注目されている海底鉱物資源として万人が認めるのは、海底熱水鉱床、コバルトリッチ・マンガンクラスト（以下マンガンクラスト）、およびマンガン団塊である。日本周辺に限っていうと、大陸縁辺部に産する鉱物資源に乏しく、深海資源に富んでいるという特徴がある。日本の領海および排他的経済水域(EEZ)の中には、世界中で最も古い海底から、活発な海底火山活動が見られる島弧まで、さまざまな地質構造を持つ深海底が含まれているからである。そしてそれが我が国周辺海域に上記の3鉱種に代表される高い鉱物資源ポテンシャルをもたらしている。

たとえば、現在知られている最も古い海底である太平洋プレート西端部にはマークス・ウェーク海山列のように約1億年前のホットスポット海山群が存在する。その条件が幸いして、百万年に2-7mmという遅い成長速度が特徴のマンガンクラストが露岩域に広汎に発達している。一方、島弧では海底火山活動に伴って海底熱水鉱床が生成している。これらの火山は、プレート沈み込み帯において発生した島弧マグマが噴出したもので、我が国の陸上と海底にはあわせて世界の約15%の島弧火山が存在することが知られている。1960年代、東北地方を中心に数多くの黒鉱（くろこう）鉱床が発見され、秋田県だけで9400万トンもの銅、鉛、亜鉛、金、銀鉱石が採掘された。その黒鉱は当時深い海に覆われていた東北日本島弧の火山活動（約1400万年前）に伴うものであったことが知られている。現在の伊豆・小笠原や沖縄トラフの海底熱水鉱床には陸上鉱床と比して遜色ない規模のものが幾つか知られているが、生成機構の類似性からそれらは現世の黒鉱鉱床ということが出来る（Ishibashi and Urabe, 1995; 浦辺ほか, 2009）。

また、調査が進んでいないものの、資源兆候として知られているものに、浅熱水性金銀鉱床などの鉱脈型鉱床がある（第2表）。浅熱水性金銀鉱床というのは、岩石中の割

第2表. 島弧系に見られる金属鉱床。()内は実例。【】は可能性があるが未発見のもの。

	活動的島弧・背弧	古島弧・古背弧*	古拡大軸**	金属種
海底熱水鉱床	伊豆小笠原弧 沖縄トラフ	小笠原諸島 (父島金石浜)	【四国海盆】 【パレスペラ海盆】 【CBF】***	Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Ga, Ge, In
熱水性鉱脈型鉱床	伊豆小笠原弧 (海形海山)	【九州パラオ海嶺】 【大東海嶺群】	—	Au, Ag, Cu, Zn
斑岩銅鉱床	?	伊豆小笠原背弧 (万治海山) 【九州パラオ海嶺】 【大東海嶺群】	—	Cu, Au, Mo
重金属に富む堆積物	伊豆小笠原弧 (スミス海盆)	—	?	REE, P, Mn
正マグマ成鉱床	—	—	【四国海盆】 【パレスペラ海盆】 【CBF】***	Cr, Ni, Cu
マンガンクラスト	(低品位の熱水性)	九州パラオ海嶺 大東海嶺群	パレスペラ海盆 CBF	Cu, Co, Ni, Mn, Pt, REE, P, Ti

* 削剥により、火山帯内部が露出していることが期待される。
 ** 地形的高まりがなく、堆積物により覆われている可能性が高い。
 *** CBF: セントラル・ベーズン・フォールト（西フィリピン海の拡大軸）

れ目に熱水から金銀や石英が沈殿してできた鉱床のことで、鹿児島県の菱刈(ひしかり)鉱山などの例が知られている。陸上の火山に多く伴うことが知られているが、小笠原島弧の火山である海形(かいかた)海山において火山岩中に石英の細脈が見られ、その中に少量の金銀の濃集が見られたことから、海底火山にも浅熱水性金銀鉱床があることが分かった(Urabe et al., 1987)。また、パプアニューギニアでは、オセアニア最大の金鉱床のあるリヒア島の延長上の島弧火山コニカル海山に高い金の濃集が発見され(Petersen et al., 2002)、現在 Neptune Mineral 社による探査活動が行われている。

もう一つの例として、斑岩銅鉱床(ポーフイリーカップパー)がある。これは花崗岩質の半深成岩中に、銅、モリブデン、金などの鉱物が散点状に(鉱染状という)見られるもので、南北アメリカ大陸西岸山脈など陸上のみ知られていた資源である。しかし、これも伊豆弧北部の西側に分布する伊豆小笠原背弧の万治(まんじ)海山で採取された試料から現地性のポーフイリーカップパーと考えられる鉱石塊が見つかっており、海底にもできることが分かった(Ishizuka et al., 2002)。

これらの情報を基に、我が国の大陸棚の鉱物資源(およびエネルギー資源の一部)のポテンシャルをまとめたのが第2表である。ここには第1表の内、日本周辺に資源ポテンシャルが有るもののみを抜き書きしてある。海底熱水鉱床一つにしても、現在発見されている活動的島弧のみならず、古島弧など他の場所での発見が期待されることが分かる。また、海底熱水鉱床以外の鉱物資源についても、常に念頭に置いて探査が行われるべきである。大東海嶺群から九州パラオ海嶺に至る海域のように、まだ資源ポテンシャルの詳細が分かっていない所もあるが、大陸棚延伸調査などにより多くの情報が得られており、今後が期待される。

さらに、太平洋海域では金属銅を含む鉱石なども回収されており(Hein et al., 2005)、さまざまな可能性が残されている。このように、島弧はさまざまな鉱物資源を産することで特徴付けられるが、東北日本弧もかつては黒鉱や金銀熱水性鉱脈鉱床を多産する、世界有数の資源地帯であった。現在の伊豆小笠原島弧や沖縄トラフ島弧は、それと規模・地質学的特徴が類似しており、水面下にあるだけの違いと言っても良いだろう。

3. 探査の必要性と技術開発

このような海底資源の内、最も調査が進んでいる海底熱水鉱床については10年以内の商業的開発に向けた検討が進んでいる。2008年5月、経済産業省資源エネルギー庁は、石油天然ガス金属鉱物資源機構(JOGMEC)の下に、海底熱水鉱床の開発促進化技術調査委員会および3つのWG(環境影響評価、資源開発、製錬技術)を設置し、同年8月に海底熱水鉱床の具体的開発計画を取り纏めた。同計画は経済産業省・総合資源エネルギー調査会の鉱業分科会の審議およびパブリックコメントを経て、経済産業大臣へ答申され、内閣官房総合海洋政策本部において了承された。こうして現在 JOGMEC を中心に、海底熱水鉱床開発へ向けての技術的課題の検討と、既知鉱床の鉱量確定を目的とした海底設置型掘削装置(BMS)による稠密ボーリング調査が始まっている。

しかし同時に、活動的な熱水鉱床周辺に見られる熱水生態系の保全に対する懸念から、熱水活動が停止した鉱床が有れば、開発がより容易になるという考えが共有されるよう

になった。これは海外においても同様にウッズホール海洋研究所で開催された検討会においても、その可能性を追求すべきとしている(Drew, 2009)。文部科学省では2009年4月、海洋資源の有効活用に向けた検討委員会において、「海洋鉱物資源の探査に関する技術開発のあり方について(中間とりまとめ)」を公表し、そのような“死んだ”鉱床の探査に必要な探査手法のありかたをまとめている。同省はそれをもとに海底熱水鉱床などの探査技術(センサー等)の開発を実施する競争的研究資金制度「海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム」の公募を行った。

2009年に採択された海底下構造・物性の探査手法は10提案(反射法地震探査法4、重力探査法3、電磁探査法3)で、海底熱水鉱床の成因論等を考慮した新たな探査手法は6提案(地化学探査4、電磁探査法1、マッピング1)であった。これらはいずれも堆積物に覆われた鉱床を探査するための手法で、技術開発ができれば上記のさまざまな鉱床の探査にもそのまま応用できるものと大いに期待される。

潜在資源ポテンシャルが高いことと実際に埋蔵鉱量があることとの間には大きなギャップがある。そのギャップを埋めるのが探査であり、日本が世界に先駆けてその技術開発と探査活動を開始することの意義は大きい。ただし、技術開発がなされた後の海域テストについては海洋研究開発機構(JAMSTEC)がシップタイムの提供を行うものの、実際の探査活動の展開についてはめどが立っていない。2種類の大型掘削装置や各種の調査機器を搭載した新海洋資源調査船(6100トン)が平成24年2月頃就航することが発表され(平成22年1月、JOGMECプレスリリース)、大いに期待されるが、対象となる海域の広さを考えると、今後とも府省連携の下に更なる対策が必要であろう。

4. 各論：マンガンクラスト

上記の海底資源の中で、コバルトリッチ・マンガンクラスト(マンガンクラスト)はやや異なった位置を占める。これは堆積物に覆われていない海山や海台などの露岩域を1-20cmの厚さで、数十km以上に亘り覆うものなので、探査の必要がないように誤解されることがある。しかし厚さ分布等はほとんど分かって居らず、基質岩石も不明なので、そこにクラストがあっても技術的・経済的に回収できるとは限らない。つまりクラストの採鉱はマンガン団塊のそれより難しい課題であり、他の鉱物資源とは異なった新しい探査法が確立される必要がある。つまりマンガンクラストの探査は、海山表面で採鉱可能な面積の比率や、基質岩石の混入による品位低下の見積もりなど資源量評価法や採鉱法の確立に向けたものである必要がある。

講演では拓洋第5海山(南鳥島南西120km)の水深3,000mから山頂の950m地点まで、無人探査機ハイパードルフィンを用いて行われた結果を紹介する。この海域最大級の平頂海山である拓洋第5海山のマンガンクラストは、平頂部よりもむしろ水深1500m付近の「肩」に当たる部分に厚く分布しており、3000mの調査最深部以深にも続いている。全ての水深のクラスト中で、表面に向かうほど、つまり時代が新しくなるほど、Mn/(Mn+Fe)比が減少することが分かった。微量元素もそれに伴い、上位に向かって減少するものが多いなど、資源としての評価を行う上で重要な結果が得られている。

マンガンクラストは、マンガン・銅・コバルト・ニッケル・リン・チタンなどのほか、

将来深刻な供給障害が予測される白金（最大 3 ppm、北太平洋平均 0.8 ppm）および希土類元素（最大 2000 ppm、平均 1500 ppm）などのレアメタルを含有する（臼井ほか, 1994）のみならず、生息する生物種・量が熱水鉱床に比して少ないため、注目を集めている。さらに、これは地層中に類似の鉱床が知られていない、現世特有の低品位巨大鉱床であり、その遅い成長速度から数百万年にわたる海洋環境の変遷を表している可能性がある。つまり、マンガングラストは過去の環境の記録であり、かつ将来の資源なのである。

5. 引用文献

- 有田正史(2001) 200 万分の1 「海底細骨材賦存状況図」地質調査所月報, 52(1),54(要旨) (詳しくは <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db059/index.html> 参照)
- Drew, L.W. (2009) The promise and perils of seafloor mining?: Can minerals be extracted from the seafloor without environmental impacts? *Oceanus*, Nov.,2009 (Online Jour. WHOI) <http://www.whoi.edu/oceanus/printArticle.do?id=62986>
- Hein, J.R., McIntyre, B.R., and Piper, D.Z., (2005) Marine mineral resources of Pacific Islands—a review of the exclusive economic zones of islands of U.S. affiliation, excluding the State of Hawaii. U.S. Geological Survey Circular, 1286, 62pp. (<http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1286/>)
- Ishibashi, J. and Urabe, T. (1995) Hydrothermal activity related to arc-backarc magmatism in Western Pacific. In B. Taylor ed., "Backarc Basins: Tectonics and Magmatism", Plenum Press, N.Y.p. 451-495
- Ishizuka O, Yuasa M, Uto K. (2002) Evidence of porphyry copper-type hydrothermal activity from a submerged remnant back-arc volcano of the Izu-Bonin arc - Implications for the volcanotectonic history of back-arc seamounts, *Earth Planet. Sci. Lett.*,198, 381-399.
- Kudrass, H.R., (2000) Marine placer deposits and sea-level changes. In: Cronan, D.S. (Ed.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 3-26.
- Petersen S, Herzig PM, Hannington MD, et al.(2002) Submarine gold mineralization near Lihir Island, New Ireland fore-arc, Papua New Guinea, *Econ. Geol.*, 97(8), 1795-1813.
- Rona, P.A. (2008) The changing vision of marine minerals, *Ore Geology Reviews*, 33, 618-666.
- Urabe, T., Yuasa, M., Nakao, S. and on-board scientists (1987) Hydrothermal sulfides from a submarine caldera in the Shichito-Iwojima Ridge, Northwestern Pacific, *Marine Geol.*, 74 , 295-299.
- 浦辺徹郎・飯笹幸吉・石橋純一郎(2009) Modern Analogy としての海底熱水鉱床, *資源地質*, 59(1), 43～72.
- 臼井朗・飯笹幸吉・棚橋学 (1994) 日本周辺海域鉱物資源分布図, 特殊地質図 No.33.
- Usui, A. and M. Someya (1997) Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the morhtwest Pacific. In: (K. Nicholson et al. Eds.) *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Geol. Soc. Spec. Public. No. 199, 177～198.