

活かす

# 4 海底資源の開発に向けて



益山 忠  
MASUYAMA Tadashi

東海大学海洋学部海洋資源学科  
非常勤講師

人口増加と経済発展が資源の大量消費をもたらす、陸上資源の枯渇と資源争奪が相上りしている。近年、海底鉱物資源や海底エネルギー資源の開発が注目されており、人類の幸せと世界平和のためにも海底資源開発システムの確立は急務となっている。

## 海底資源開発

陸上の天然資源量が豊富でない我が国は、経済発展に伴い、鉄及び非鉄金属等の金属鉱物資源を始め、石炭、石油及び天然ガス等のエネルギー資源に至るまで、多くを輸入に頼っているのが現状であり、石灰石及び砕石が辛うじて自給可能な状況である。なお、国内鉱山にて培われた資源開発利用技術は、発展途上国への技術援助及び海外自主鉱山開発並びに国内の資源リサイクル、水処理等の環境保全に活用されてきている。

さて、1972年にローマクラブが出した報告書『成長の限界』並びに1973年に始まった石油危機は、世界の資源問題を我々に突き付けたと言っても過言ではない。すなわち、人口増加と経済発展に伴う資源消費は資源の枯渇をもたらす、また、自国の資源管理を優先する資源ナショナリズムの台頭は資源供給の不安定とその恐れを醸し出した。とりわけ、日本を含む主要先進国の多くは産業活動に不可欠な特定金属

資源(マンガン・ニッケル・銅・コバルト等)をほぼ100%輸入に頼る状態にあるため、資源安全保障の観点からこれら問題について議論がなされた。また、資源開発の多様化として海洋資源開発に目が向けられ、水深約5,000mの海洋底のマンガン団塊や、水深800～2,500mの海山山腹のコバルト・リッチ・クラスト(以下、CRC)の開発が研究の対象として取上げられた。

本稿では海洋底に賦存するマンガン団塊等の深海金属鉱物資源並びに海底石油・メタンハイドレート(以下、MH)等のエネルギー資源の意義と、その開発に関する日本の動向について概説する。

## 深海洋底金属鉱物資源

将来開発の対象となる深海洋底金属鉱物資源としては、マンガン団塊、CRC及び海底熱水鉱床が考えられている。この深海底に鉱物資源が賦存している可能性を示唆したのは、19世紀の大航海時代、英国

表1 海底鉱物資源の概要

鉱床	マンガン団塊	CRC鉱床	海底熱水鉱床
含有有用金属及び品位概略	マンガン 28.8% 銅 1.0% ニッケル 1.3% コバルト 0.3% 30種類以上の有用金属含有	マンガン 24.7% 銅 0.1% ニッケル 0.5% コバルト 0.9% 白金 0.5ppm	銅 1～3% 鉛 0.1～5% 亜鉛 30～55% 金、銀、レアメタル
賦存水深	4,000～6,000m	800～2,400m	1,500～3,000m
分布海域(代表的海域)	大洋の深海底(ハワイ南東方海域等)	大洋の海山・海台(南鳥島・ウェーク島・マーシャル諸島・ハワイ諸島等周辺)	海底拡大軸、背弧海盆(東太平洋膨、沖繩諸島、伊豆・小笠原諸島等)
産状	直径2～15cmの球形ないし楕円形酸化物海底面上に分布し、堆積物中に半埋没	基盤岩を皮殻状に覆う酸化物、厚さは数mm～10数cm	海底面から噴出する熱水から金属成分が沈殿して出来た多金属硫化物鉱床、チムニー・マウンド

出典: 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)

表2 陸上資源とマンガン団塊との比較

(単位: 千トン)

主成分	マンガン	ニッケル	銅	コバルト
世界の陸上鉱山埋蔵量(A)	670,000	58,000	340,000	32,000
世界の年間消費量(B)	15,679	1,150	14,561	31.8
静的耐用年数(A/B)	約43年	約50年	約23年	約101年
マンガン団塊	推定埋蔵量(a) 推定埋蔵量の寿命(a/B)	6,300,000 約8,770年	5,000,000 約5,478年	1,250,000 約39,308年
埋蔵量の地域偏在性(上位3国)	南アフリカ80% ウクライナ10.4% ガボン3.2%	オーストラリア15.6%、キューバ14.4%、カナダ・ニューカレドニア9.4%	チリ24.6% アメリカ13.8% ペルー6.2%	コンゴ25% キューバ18% オーストラリア16%

出典: 『2009～2010資源エネルギー年鑑』

の海洋調査船チャレンジャー号の世界一周探検航海(1872～1876年)における36個のマンガン団塊の採取に拠ると言われている。

さて、これらの海洋底金属鉱物資源には、表1に示されるように、銅・鉛・亜鉛等のベースメタルとマンガン・ニッケル・コバルト等のレアメタルが含まれている。また、表2はマンガン団塊の主要鉱物資源推定埋蔵量と陸上資源埋蔵量との比較を示したものであり、静的耐用年数(同表のA/B)が約23年と資源枯渇の恐れが高い銅は、マンガン団塊の開発によりその寿命が約340年強に延びる可能性がある。

公海海洋底に賦存するマンガン団塊の開発には「深海底の資源は人類共通の財産」の認識に立って設けられた『国連海洋法条約』における取り決めに従って行おうとの制約は存在するが、その規則に準拠すれば開発が可能となる。すなわち、国連が認めた適切な方法に従えば開発が可能となることから、鉱物資源量の乏しい日本にとっては公海海洋底のマンガン団塊は準国産資源として価値あるものとなり得る。なお、日本は1975年から1986年までのハワイ南東沖(日本ではマンガン銀座と呼んでいる)におけるマンガン団塊賦存状況調査により、1987年12月に約7.5万km<sup>2</sup>(北海道とほぼ同じ面積)のマンガン団塊有望鉱区を国連に登録し排他的探査権を確保している。

CRCについては1980年代からのドイツと米国とによる、また、1980年代後半からの日本・ロシア等による太平洋を中心とした調査研究がなされて来ているが、世界の賦存量を確実に見積り得るまでのデータ集積に至っていない。しかし、粗い見積りではあるが米国の太平洋における排他的経済水域(以下、EEZ)内に賦存するCRCだけでも約40億tと推定され、世界の年間消費量の約1,460年分のコバルトが含まれていると言われている。また、日本のEEZにも将来採鉱対象になり得るCRCは賦存しており、公海深海底のマンガン団塊とは異なり、日本の意志にて開発し得る国産資源として非常に高い意義を持っている。

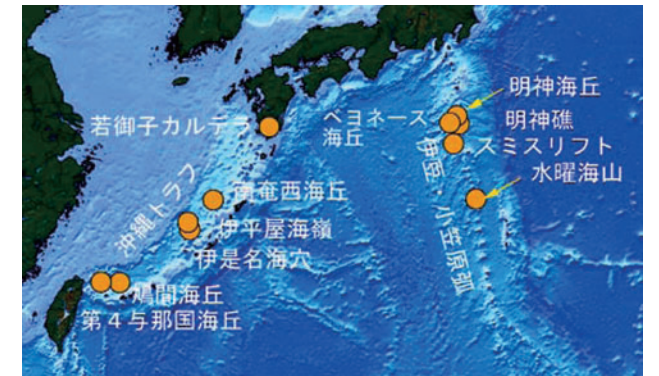


図1 日本のEEZにおいて発見されている主な熱水鉱床

海底熱水鉱床については1965年、米国が派遣したアトランティスII号による銅、鉄、マンガン等を含む重金属堆積物の紅海海底における発見に始まり、東太平洋海嶺、ガラパゴス海嶺等においても発見されている。また、図1に示すように日本のEEZにおいても発見されており、将来価値ある国産資源となり得る。

一方、これらの海底鉱物資源の多くは水深約1,000m以上の海底に賦存しており、人間の立ち入り困難な極限環境下にある。それ故、これらの資源を開発するには極限環境に対応し得る機器の開発が肝要である。我が国の深海底開発機器類の開発は、マンガン団塊開発に向けてなされた国家プロジェクト研究に拠るところが大きい。

## 国家プロジェクト研究

海洋底鉱物資源の開発システムは、①海洋底資源掘削装置、②採掘した鉱石を集め、かつ一次粉碎・選別可能な集鉱装置、③海底から洋上まで鉱石を搬送する揚鉱装置、④作業場を兼ねる採鉱船、⑤陸上まで鉱石を運ぶ運搬装置(船)等から構成される。また、開発には海洋環境の保全とこれらの装置の効率的な運用が望まれる。

前述の国家プロジェクトは、半分埋まった状態にて深海底に存在する数mmからこぶし大程度のノジュール(団塊)を採鉱するため、図2に示す採鉱システム(概念図)の構築に向けて、1982年に始まり1997年に



終了している。このプロジェクトは、国立資源環境技術総合研究所(現在の独立行政法人産業技術総合研究所:AIST)による基礎的開発研究と応用・開発技術の研究が、技術研究組合海底鉱物資源開発システム研究所への委託研究として実施され、①トータルシステム、②集鉱システム、③リフトシステム(ポンプ方式とエアリフト方式)、④ハンドリングシステム、⑤計測制御システムの研究開発を行うとともに、最終年度には平頂海山の水深約2,200mにあるノジュールを揚鉱対象として構成要素毎の検証実験を行っている。これにより、マンガン団塊採鉱のための基礎的な技術の開発が達成された。

CRCについては南鳥島の公海域において、国際海底機構への鉱区申請のための調査が精力的になされており、将来における開発システムにはマンガン団塊揚鉱システムの成果を踏まえ、自走機械式採鉱・集鉱システムが想定されている。

海底熱水鉱床については沖縄と伊豆・小笠原海域を対象に、ボーリング調査を中心とした資源量評価が2008年度からなされており、更に、2018年度の経済性評価に向けて、環境影響評価・資源開発技術・製錬技術に関する開発計画が資源エネルギー庁にて立てられている。また、この計画に沿って資源開発技術の確立が期待されているのが現状である。

以上のレアメタルを含むマンガン団塊、CRC並びに熱水鉱床の本格的開発は、陸上鉱物資源の枯渇に伴ってなされると予想されるが、陸上鉱物資源の争奪が始まる前に、商業ベースに乗り得る深海底鉱物資源開発システムの確立が世界平和のためにも望まれる。

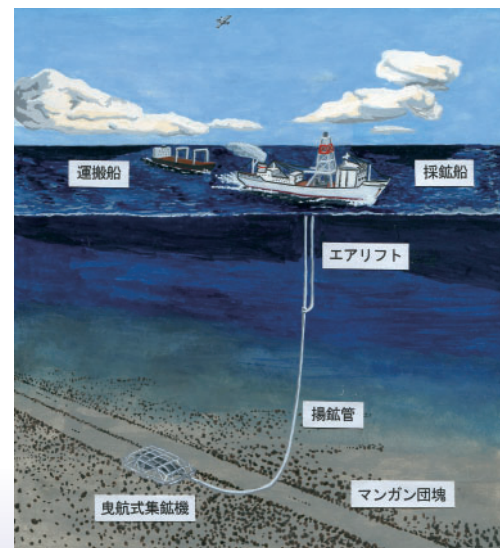


図2 マンガン団塊採鉱システム概念図

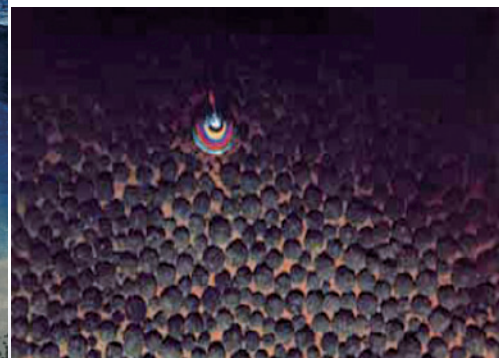


図3 マンガン団塊

## 海底油田

石油埋蔵量の概念には地殻内にある全体量を表わす究極量があり、これには人類が発見可能な量を表わす発見期待量及び既に発見済みの量を表わす既知量とがある。また、この既知量には確認量、推定量及び予想量の概念が存在する。更に、これらの量にはそれぞれ原始量及び可採量の区別があり、これは地下に存在する石油、すなわち原始量のうち数%~数十%しか採取し得ないことによる。なお、一般に言う埋蔵量とはこの確認可採埋蔵量を指す。

世界の原油究極可採量としては予測者並びに予測年によって相違が認められるものの、米国地質調査所は2000年に $3.345 \times 10^{12}$ バレル、石油鉱業連盟は2002年に $2.741 \times 10^{12}$ バレルと推定している。また、海洋底に賦存する石油量の75%程度が大陸棚・200海里以内、すなわちEEZに賦存していることからそれぞれの国にとっては大きな意味合いを持っている。一方、世界の石油確認可採埋蔵量は、2005年末にて $1.200 \times 10^{12}$ バレルと推定されており、静的耐用年数は40.6年である。なお、この静的耐用年数は1990年から約40年を維持しており、これは消費量に見合う埋蔵量が採取率の向上と新油田の発見により補われていることを意味する。このことは、石油鉱床探査技術並びに石油生産・回収技術の向上は石油枯渇延命に繋がることを示唆しているが、減耗資産である石油はいずれ生産ピーク(悲観的推定によれば2030年頃)を迎え、その後、枯渇へ向かって推移すると心すべきであり、我々は自然エネルギーを含めたエネルギー開発に努め、石油枯渇に備える必要がある。

さて、海洋底油田開発用掘削装置としては、固定式掘削プラットフォーム(掘削装置を搭載したプラットフォームを杭にて海底に固定。稼働水深100m前後)、接地式甲板昇降型海洋掘削装置(掘削装置を搭載した船体部と昇降可能な脚で構成。稼働水深100m前後)、半潜水型掘削装置(掘削装置を搭載したプラットフォームをコラムと潜水浮体にて支持し、位置決めはアンカーチェーン方式と自動位置保持装置方式。稼働水深600m前後)及びドリルシップ(掘削装置を搭載し位置決めは自動位置保持装置方式。

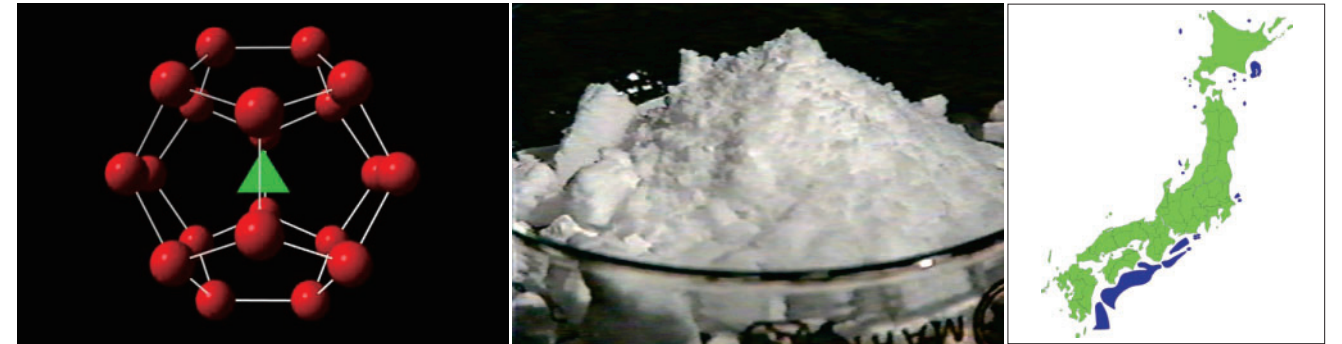


図4(a) メタンハイドレート模型(緑:メタン、赤:水) 図4(b) 人工メタンハイドレート

図5 日本近海域のメタンハイドレート分布状況

実績稼働水深6,000m)がある。なお、建造目的は異なるが、海洋研究開発機構のライザー式掘削装置を搭載している地球深部探査船「ちきゅう」(図3)はドリルシップの一種である。

## メタンハイドレート(MH)

非在来型のエネルギー資源として注目されているMHは、図4に示されるように水分子の立体網目構造の中にメタンガス分子(CH<sub>4</sub>)が入り込み安定な構造をなす包接化合物の氷状固体結晶である。また、MHは図5に示されるように日本のEEZにも存在し、東部南海トラフの原始資源量は約 $1.1 \times 10^{12}$ m<sup>3</sup>(日本の年間天然ガス消費量約13年分)と試算されている。

経済産業省はこのMHの商業生産のための技術の整備を目指す「MH開発促進事業」を、2001年会計年度(FY)に策定したことからMH研究コンソーシアム(通称MH21)が組織され技術開発が活発化してきている。この開発ロードマップは、図6に示されるように3フェーズに区分され、かつ目標が掲げられている。フェーズ1(FY2001~2008)は探査技術・基礎物性・分解生成等の基礎研究、賦存状況の把握並びに連続生産技術の検証であり、それぞれについて優

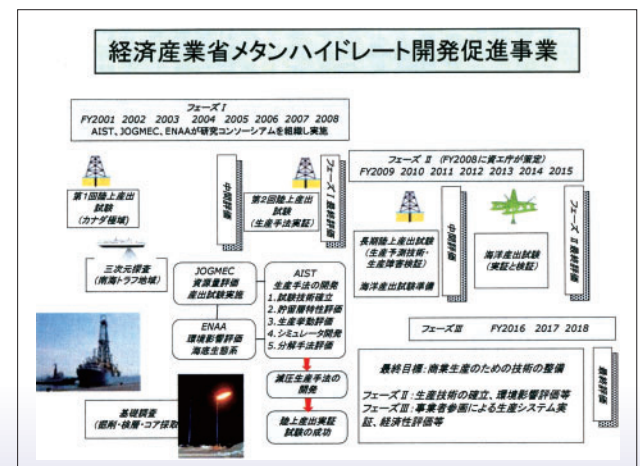


図6 経済産業省MH開発促進事業計画

た成果が上げられ、とりわけ、カナダ極域にて行われた産出試験(第1回温水循環法:5日で約470m<sup>3</sup>産出、第2回減圧法:5.5日で約13,000m<sup>3</sup>産出)の成功と減圧法による生産の有効性を示し得た。フェーズ2(FY2009~2015)では生産技術・環境評価等の基礎研究並びに日本周辺海域(東部南海トラフ海域有望)での洋上産出技術の実証試験の実施と、商業的産出のための技術課題の抽出を行うことになっている。フェーズ3(FY2016~2018)では商業生産のための技術の整備を目指し、事業者参画による生産システムの実証並びに経済評価の実施が予定されている。更に、これらの成果が実操業に結びつくことが期待されている。

## 海底資源開発システムの確立

日本のEEZ海域に存在する深海底金属鉱物資源並びにMH等のエネルギー資源の意義と開発動向について、今世紀には幾つかの資源が十分に供給されない恐れが高いことから、我が国にとっては資源リサイクル・省資源とともに海底資源開発システムを確立することが急務である。

また、資源リサイクル・省資源に関する教育と深海底鉱物資源開発システムの確立は、世界平和と資源争奪回避への保険であると考えられる。

### <引用/参考文献・ウェブサイト>

- 1) 飯笹幸吉(2010)「日本近海に大鉱床が眠る」技術評論社
- 2) (独)海洋研究開発機構(JAMSTEC)http://www.jamstec.go.jp/
- 3) メタンハイドレート資源開発コンソーシアム(MH21) http://www.mh21japan.gr.jp/
- 4) (社)日本エネルギー学会・JOGMEC調査部編(2009)「石油資源の行方」コロナ社
- 5) (社)日本船舶海洋工学会編(2007)「海洋資源」海事プレス社
- 6) 石油技術協会(1983)「石油鉱業便覧」ラテイス
- 7) (独)産業技術総合研究所(AIST)http://www.aist.go.jp/
- 8) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)http://www.jogmec.go.jp/
- 9) 志賀美英(2006)「鉱物資源論」九州大学出版会
- 10) 資源エネルギー年鑑編集委員会編(2009)「2009~2010資源エネルギー年鑑」通産資料出版会
- 11) 白井朗(2010)「海底鉱物資源」オーム社

### <図提供>

- 図1,3 JOGMEC 図4(a),MH21 図4(b),5,6 AIST