

将来の貴重な資源 「海底鉱物資源」

近年、世界的に鉱物資源の権益を確保する動きが活発化している。経済産業省はマンガンを含む35種の重要鉱物を選定し、安定供給を確保するための取り組みを発表している。鉄鋼材料としても重要なマンガンの海底資源について紹介する。

南鳥島沖で、フリーフォールグラブ(縦約80 cm、横約100 cm、高さ約50 cm)を使用してマンガン団塊を採取する様子。

画像提供:日本財団

海底鉱物資源とは

四方を海に囲まれている日本は、4つのプレート境界に位置しているため、周辺には、千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフ、南西諸島海溝などの海溝が存在する。また、日本の排他的経済水域 (EEZ: Exclusive Economic Zone) 内では、その面積の約50%が水深4,000 m以上であり、水深6,000 m以上の海域が約6%と、世界有数の深海域を有している。

その深海に眠る膨大な鉱物資源が、現在、世界の注目を集めており、採掘性や採算性などから、「マンガン団塊」、「コバルトリッチクラスト※(マンガンクラスト)」、「海底熱水鉱床」の3種類の海底鉱物資源の調査・開発が進んでいる。これらの資源は世界中の海底に存在しているが、特にハワイ沖にあるクラリオン・クリップトン断裂帯で囲まれた海域 (CCZ: Clarion-Clipperton Zone) では高品位のマンガン団塊が存在していることが知られている(図1)。なお、マンガン団塊はマンガノジュールや多金属団塊 (polymetallic nodules) と呼ばれることもある。

日本のEEZ内にはこれらの海底鉱物資源のほかにも、メタンハイドレートや天然ガス・石油、レアアースを豊富に含んだレアアース泥が存在し、2024年に発表された「第4期海洋基本計画」ではこれらの海洋資源開発を推進していくことが謳われている。なお、国際的にはレアアース泥は海底鉱物資源には含まれないが、日本では経済安全保障上の観点から開発すべき海底鉱物資源の一つとしている(図2)。

※crustは皮や甲羅、地殻を意味し、マンガンの酸化物などが岩盤上に皮膜状に覆うことからこう呼ばれる。

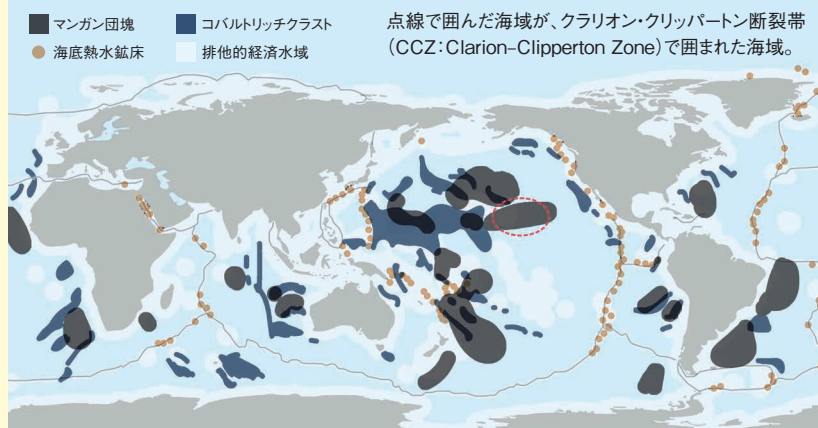


図1 海底金属資源の分布

世界資源研究所 (World Resources Institute) などの資料を基に作成。

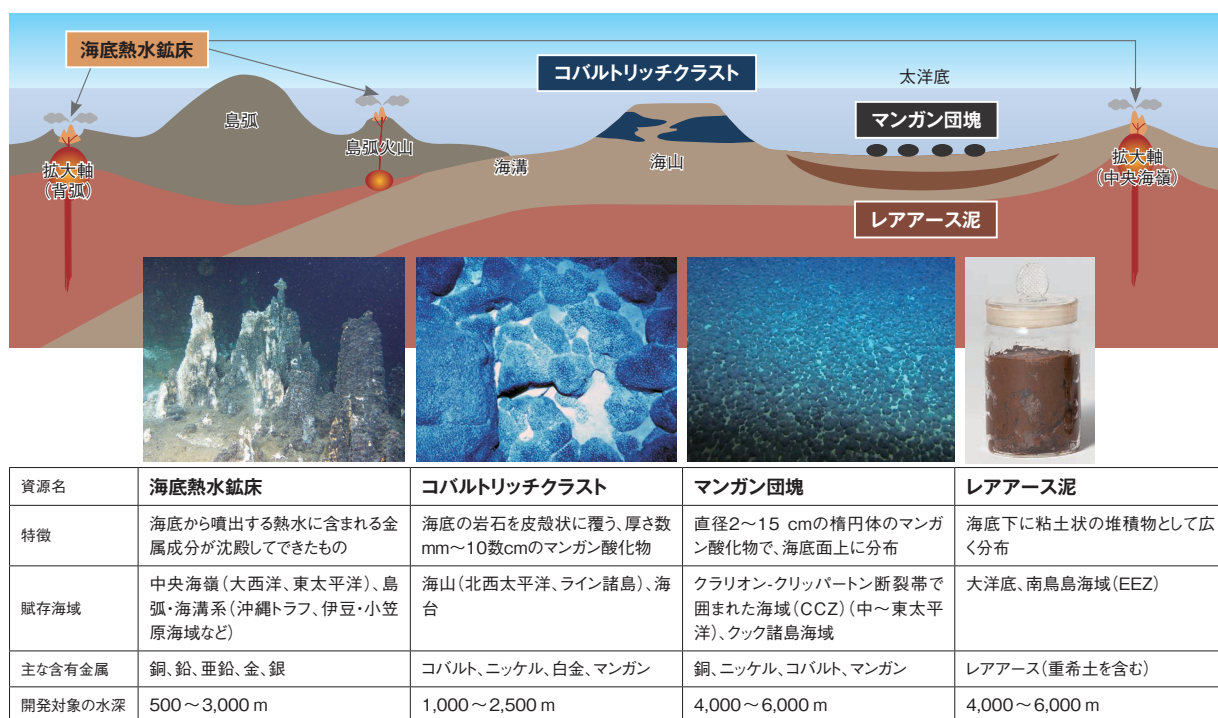


図2 主な海底鉱物資源の種類

（独）エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）、深海資源開発（株）などの資料を基に作成。
 画像提供：JOGMEC（海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト）、日本財団（マンガン団塊）、
 東京大学工学部11号館HASEKO-KUMA HALL（レアアース泥）

再注目されるマンガン団塊

日本の海底鉱物資源の調査は、1975年の深海底鉱物資源探査専用船「白嶺丸」によるマンガン団塊の調査から始まる。その後、1985年からは海底熱水鉱床、1987年からはコバルトリッチクラスト、2012年からはレアアース泥の調査が開始されている。

1997年には南鳥島南東の公海域でマンガン団塊の集鉱実験が行われ、約7トンのマンガン団塊の揚鉱に成功している。しかし、その後、金属価格の低下など採算性の課題などがあり、日本のマンガン団塊の開発は1996年から2011年まで中断している。

近年、マンガン団塊が再び注目されている背景の一つには、電気自動車（EV）の普及がある。ガソリン車1台には23.0 kgの銅と0.2 kgのレアアースが使用されているといわれるが、EVでは銅が83.0 kg、レアアースが0.8 kg、リチウムが7.2 kg、ニッケルが27.5 kg、コバルトが11.0 kgと使用する金属量が大幅に増加するとの試算がある。

また、2020年に政府が「2050年カーボンニュートラル宣言」を発表し、それを達成するための水素社会の実

現や、再生可能エネルギーの活用などにも、レアメタルをはじめとした金属材料の使用量の増加が予測される。

マンガン団塊が注目されている理由の一つはその存在形態にある。直径2～15 cmの楕円体が水深4,000～6,000 mの海底にあたかも「置いてあるように」、密集して存在している。そのため、ほかの海底鉱物資源と比較して、集鉱が容易という特徴を持つ。

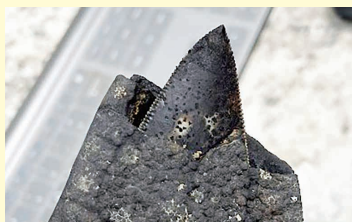
これに対して海底熱水鉱床では海底火山活動によって生成される煙突状の構造物（チムニー）が成長・倒壊を繰り返すことで、マウンド上の鉱床を形成している。コバルトリッチクラストは海底の岩石上に堆積しており、いずれも採掘・集鉱のための専用機を開発する必要がある。レアアース泥も海底を数10 m掘削する必要がある。

また、マンガン団塊、コバルトリッチクラスト、レアアース泥のいずれも、その生成過程は解明されていない。マンガン団塊は球形のものや不定形のものもあり、形状や大きさは多彩である。典型的なマンガン団塊は球形で、海面側の半球では凹凸が細かく、海底に面している半球では凹凸が粗くなっているが、その理由も明らかになっていない（図3）。



楕円体のマンガン団塊には、海面側と海底側で表面の形状が異なるものがある。画像は両者の境界が明確なサンプル。

図3 マンガン団塊の典型例



マンガン団塊に沈積しているマンガ酸化物は表面の泥を流水で流す際に剥離するほど脆い構造になっている。画像では核になったメガロドンの歯が確認できる。

図4 マンガン団塊内部のサメの歯

画像提供:日本財団

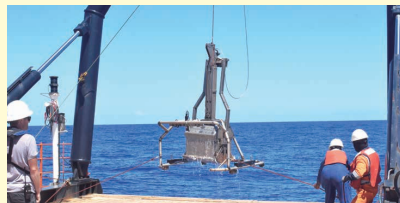
マンガン団塊の内部には泥や生物由来の核があり、その周りに酸化物が沈積していくことで成長することが分かっており、その成長速度は百万年で数mm程度と見積もられている。これまでに、約2,300万年から360万年前に生息していた巨大なサメの一種「メガロドン」の歯を核にしているものが多数発見されている(図4)。

コバルトは77年分の資源量

日本財団と東京大学のチームは、2024年4月から6月にかけて、南鳥島沖でマンガン団塊の調査を行っている。調査海域は南鳥島沖のEEZで、約100 km四方の海域で100回以上の揚鉱を行い、水深5,200～5,700 mの海底から約400 kgのマンガン団塊を採取した。

揚鉱にはフリーフォールグラブ(巻頭写真)とボックスコーラー(図5)が用いられた。フリーフォールグラブでは海底表面のマンガン団塊のみをつかみ取るのに対し、ボックスコーラーではマンガン団塊が海底に分布している状態を保存したまま揚鉱することが可能だ(図6)。深さ75 cmまでの海底の泥も同時に採取することができるが、泥の中にはマンガン団塊が存在しないことが明らかになっている。

揚鉱されたマンガン団塊の平均品位は、マンガン:18.32%、鉄:16.25%、コバルト:3,744 ppm、ニッケル:4,216 ppm、銅:2,290 ppmで、CCZのマンガン団塊と比較して面積当たりの品位を上回る高品位であ



調査ではフリーフォールグラブのほかに、ボックスコーラーと呼ばれる採取機器が用いられた。

図5 観測機材ボックスコーラー



マンガン団塊を海底と同じ状態で引き揚げるができる。

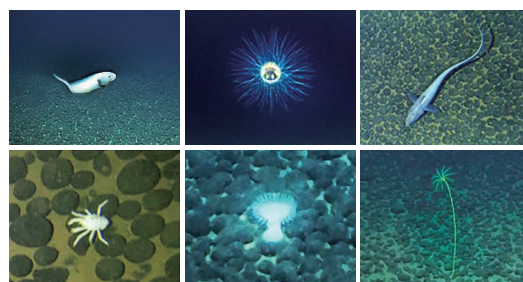
図6 ボックスコーラーにより採取されたマンガン団塊

画像提供:日本財団

ることが分かった。

今回の調査範囲は南鳥島EEZの2%程度であり、今回発見された有望海域全体でのマンガン団塊の賦存量は約2.3億トンと見積もられている。これは商業化に可能な年間約300万トンの採掘を20年間行うのに十分な賦存量であり、将来、商業的に成り立つ鉱区となり得る。

また、コバルトの資源量は約62万トン、ニッケルは約66万トンと見積もられ、それぞれ日本の消費量の77年分、10年分に相当する資源量である。コバルトについては陸上鉱床の埋蔵量と比較するとコンゴ、オーストラリアに次ぐ世界第3位の埋蔵量になる膨大な資源量である。



海底の泥中に生息する微生物なども含め、今後、海底の生態系の把握と揚鉱による影響評価が行われる。

図7 南鳥島沖の海底生物

画像提供:日本財団

生態系への影響評価が課題

マンガン団塊をはじめとした海底鉱物資源の採掘・揚鉱では、深海に生息するさまざまな生物や生態系へ与える影響を十分に評価する必要がある(図7)。フランスをはじめとした32カ国は生態系への影響を懸念して、海底鉱物資源開発の禁止や一時停止の立場を表明している。

商業的にマンガン団塊を揚鉱する場合、海底で自走式の採鉱機がマンガン団塊と海底の泥を攪拌しながら収集し、海水とともに母船に輸送する方式が想定されている(図8)。母船でマンガン団塊と分離された海水は採鉱した場所の近傍に泥とともに戻される。

もし仮に採鉱を行うとすれば、それが深海の生態系にどのような影響を与えるのかを調査するために、環境影響評価が計画されている。これは数年間をかけて、国際基準に沿う形で、慎重に実施されるとのことである。

国連海洋法条約に基づき、公海域に存在するマンガン団塊をはじめとした国家管轄権外の深海底の鉱物資源は「人類共同の財産」とされ、国際海底機構(ISA: International Seabed Authority)が管理している。ISAは各国への鉱区の割り当てなどを行っているほか、鉱物資源の探査規則などを策定したり、生態系を守るための保護区の設定などを行っている。

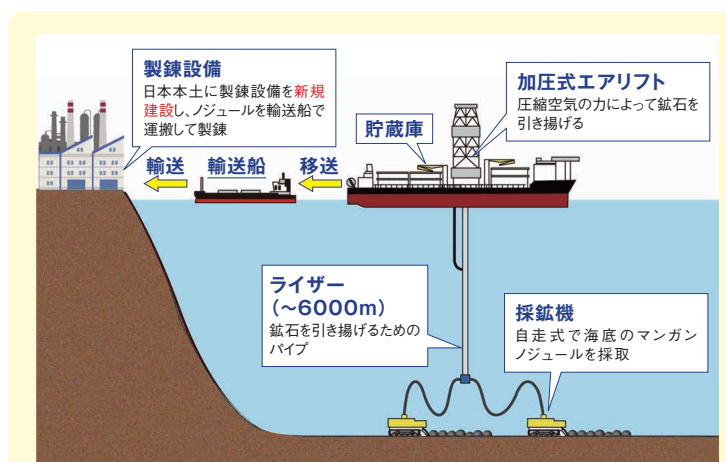


図8 マンガン団塊の商業化のイメージ

画像提供: 日本財団

アメリカ、インド、中国などでも試験的な集鉱・揚鉱を行っているが、生態系の保護を含めた「人類共同の財産」をどのように活用していくか、一層の国際協力が必要になる。

コバルトとニッケルというバッテリーメタル資源として、現在、マンガン団塊が注目されているが、経済安全保障の点からも、海底熱水鉱床やコバルトリッチクラスト、レアアース泥などの開発も同時に進めていく必要がある。EEZ内の豊富な海底鉱物資源の活用が期待される。

●取材協力: 日本財団、深海資源開発(株)

●取材・文: 石田亮一

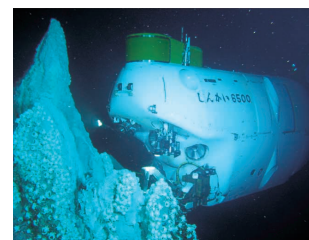
各国が最大深度を競う有人深海調査

世界の海洋の98%は6,000 m未満の水深であるが、日本海溝(最深部約8,000 m)、伊豆・小笠原海溝(最深部約9,800 m)、地球上で最も深い海底である太平洋のマリアナ海溝(チャレンジャー海淵: 最深部約11,000 m)などを調査することは、資源開発だけでなく生態系の解明や、地震の研究などにとって非常に有効である。

日本の「しんかい6500」は2040年代に耐用年数を迎えるとされ、その後継機の開発が課題になっている。現在、有人による深海探査は水深11,000 mまで達成されているが、文部科学省では今後、自律型無人探査機(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)や遠隔操作型無人探査機(ROV: Remotely Operated Vehicle)も含めて、深海調査船の開発を検討していく必要があるとしている。



(国研) 海洋研究開発機構(JAMSTEC)の資料などを基に作成。



「しんかい6500」 画像提供: JAMSTEC/NHK



支援母船「よこすか」 画像提供: JAMSTEC