

海底鉱物資源探査-研究の動向と今後の課題-

藤岡 換太郎¹⁾

1. はじめに

わが国は四方を海に囲まれ、海洋には様々な資源が存在する。特に大陸棚は、海底や海底下の生物および鉱物資源の利用や、石油・天然ガスのエネルギー開発などの可能性がある。国連海洋法条約では、一定の条件を満たせば沿岸国が主権的権利を有する海域を排他的経済水域(200海里:約370km)の外側へ延ばすことが可能になると定めている。延長できるのは二国や三国が互いに接していない公海域である。単に接している二国や三国の場合はお互いの協議の上で解決することになっている。各国が大陸棚の海域の精密な地形調査や地質調査によって、それらの情報を2009年5月の期限までに大陸棚限界委員会(CLCS: Commission on the Limits of the Continental Shelf)に提出し、CLCSの勧告によって大陸棚延伸ができるのである。平成14年6月7日には内閣官房に「大陸棚調査に関する関係省庁連絡会議」が設置され、国土交通省、経済産業省、文部科学省が中心となって、現在そのための基礎調査と延伸のためのシナリオ作りが行われている。もし、日本の大陸棚が、従来の国連海洋法条約によって決定されている200海里より外側にまで延伸できた場合には、新たに主権的権利が得られる海域の海底には一体どのような資源が含まれているのだろうか。もし、この海域に多くの資源が眠っていれば、わが国の経済や産業の発展に大きく貢献することになるであろう(辻野, 2007)。

第3期科学技術基本計画のフロンティア分野の推進戦略において、「深海探査技術」及び「海洋利用技術」などの海洋関連の重点課題には、深海の資源開発などの研究開発目標が示されている。

小文ではこのような時期に鑑みてわが国の海底に存在する金属資源に関してその研究開発の動向をレビューし、いくつかの問題点を指摘する。さらに今後の海底金属資源の開発に向けての提言を行う。

2. なぜ今鉱物資源なのか

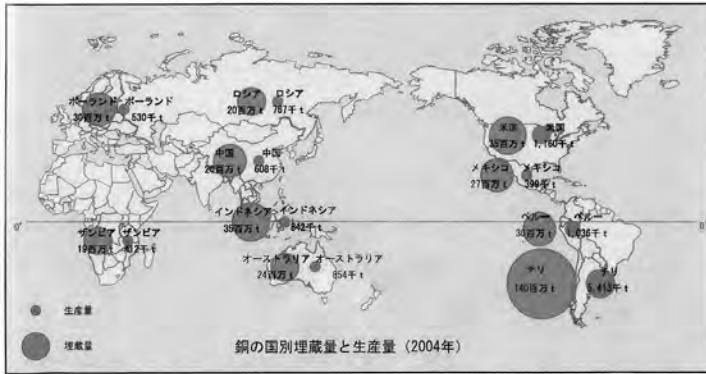
海底の資源には石油・天然ガスや金属などの有機・無機資源、魚などの生物・微生物資源がある。一方、我が国の陸上の鉱物資源は極めて乏しいのが現状である。ちなみに鉱物資源のうちわが国で自給できるのは硫黄だけである。それ以外の鉱物資源はすべて輸入にたよるざるを得ない。第1~3図には世界の主要金属鉱床の分布を示す。それらを見ると南アフリカ、米国、ロシア、ブラジル、インド、中国などBRICsが圧倒的に多いことがわかる(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2006)。

しかし世界的に見ても、これら陸上の鉱物資源はやがては枯渇し、氷に覆われた南極大陸や広大な海洋からそれらを採集せねばならなくなるであろう。実際、海洋では水深200m以浅の大陸棚などでは海底油田の開発が行われており、現在ではメキシコ湾などの水深3,000m程度の深海底までが開発の対象になっている。

(独)物質・材料研究機構は、これまでの金属の使用量と経済成長との関連の解析をもとに、成長過程にありこれから大幅な金属の使用量が予想されるBRICs諸国を中心に、2050年までの累積金属使用量の予測を行なった。その結果、2050年までに多くの種類の金属が現有の埋蔵量ではまかないきれなくなり、中には埋蔵量の数倍の使用量が予想される金属もあることがわかった。2050年までの累積で現有埋

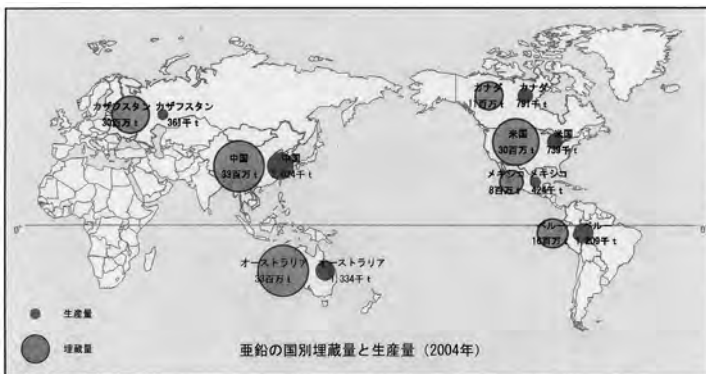
1) 海洋研究開発機構 海洋地球情報部

キーワード: 海底金属鉱床, 大洋中央海嶺, 熱水マウンド, ブラックスモーカー, 黒鉱, 島弧-海溝系, 伊豆・小笠原弧, 沖縄トラフ



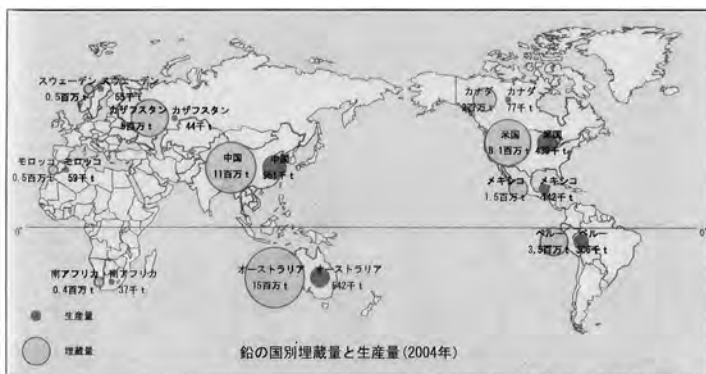
第1図
世界の主要ベースメタルの分布(銅)(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2006).

出典：・1900年～1925年 World Ferrous Metal Production and Prices, 1700-1976
 ・1926年～1949年 COPPER
 ・1950年～1959年 World Copper Statistics (WMS)
 ・1960年～2004年 World Metal Statistics (WMS)
 ・2004年 Mineral Commodity Summaries (MCS)



第2図
世界の主要ベースメタルの分布(亜鉛)(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2006).

出典：・1954年～1973年 Metal Statistics
 ・1974年～2004年 World Metal Statistics (WMS)
 ・2004年 Mineral Commodity Summaries (MCS)



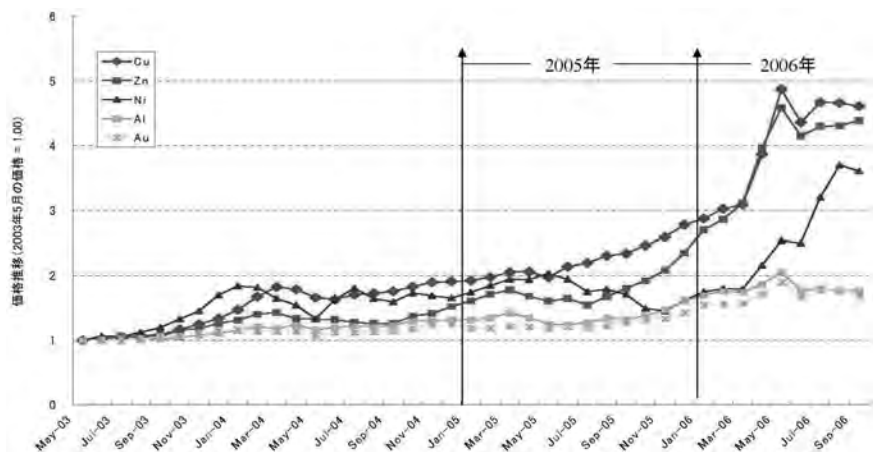
第3図
世界の主要ベースメタルの分布(鉛)(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2006).

出典：・1954年～1971年 Metal Statistics Metallgesellschaft
 ・1972年～2004年 International Lead and Zinc Study Group
 ・2004年 Mineral Commodity Summaries (MCS)

蔵量の数倍の使用量が予想される金属は、銅、鉛、亜鉛、金、銀、錫、ニッケル、マンガン、アンチモン、リチウム、インジウム、ガリウムである。特に、金、銀、鉛、錫の累積使用量は2020年の時点で現有埋蔵量を超えることが予想される。このうち、銅、鉛、亜鉛、錫、金は経済成長がある段階に達すると一人当たり

のGDPの増加に対して減少する傾向が現れているが、それでもBRICs諸国の使用量の増大が大きく、現有埋蔵量を突破してしまうことが指摘されている(物質材料研, 2007)。

我が国は鉱物資源をほとんど輸入に頼っているが、輸出する国々が資源の輸出を制限するようになれば、



第4図
金属の価格の変遷(澤田, 2007).

やはり海底からそれらを求めざるを得ない。実際インジウムなどは中国が国内にとどめており、ほとんど輸出されていない。

2006年の鉱業界の十大ニュースとして金属価格の高騰が第一番にあげられている。金属の単価は世界の経済政策や状況に応じて大きく変化する。第4図に2003年以來のさまざまな金属の単価を示す。それによれば銅、鉛、亜鉛、コバルト、白金などの金属はすべて2005年に大きく変化している。2003年を基本にすれば大きいものではその10倍、小さな金や銀でも約2倍にまで跳ね上がっている(澤田, 2007)。

こういう情勢では、我が国が鉱産資源を海底から獲得して自身で所有していることが重要である。資源の枯渇、輸入の枯渇、単価の高騰などの理由から今後の海底資源開発が望まれる。ここでは海底の熱水系とそれに関係する鉱山をとり上げる。

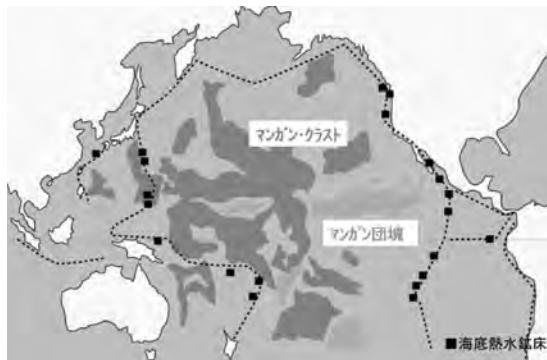
3. 海底の熱水鉱床

海底の石油や天然ガスは日本列島周辺ではほとんど期待されないが、金属資源は大いに期待される。それらは海底熱水鉱床とマンガン団塊やコバルトリッチクラストなどであるが、中でも海底熱水鉱床はマンガン団塊などに比べ産出深度が浅く、有望な資源と考えられる(第5図)。

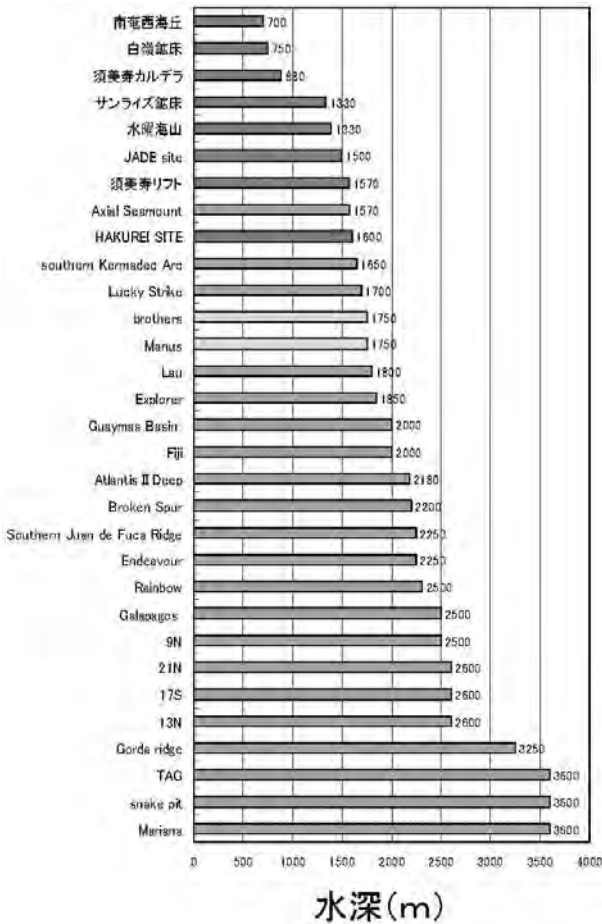
海底の金属に富んだ堆積物は1960年代にアフリカ大陸とアラビア半島間の紅海の底から発見された。それは高温(70℃程度)の濃厚な塩水に溶け出した金属硫化物を大量に含む堆積物で、ドイツの研究船

の調査によって報告されている(Degens and Ross, 1969)。その後、金属硫化物から成る熱水系が大西洋や東太平洋、インド洋などで発見されている。これらは「大洋中央海嶺」と呼ばれる新しくプレートが生産される場所である。

1977年から78年にかけて海洋底地球科学や生命科学の分野では画期的な発見がなされた。ガラパゴス海嶺の拡大軸で高温の熱水チムニーとその周辺に群がる奇妙な生物群集が見つかったのである(Francheteau *et al.*, 1979; Corliss *et al.*, 1979)。ガラパゴス沖の海底での熱水噴出孔の発見は最初ナショナルジオグラフィックに掲載された(Ballard and Grassle, 1979; 湯浅, 1983a, 1983b)。熱水チムニーの温度は何と360℃にも達し、まるで蒸気機関車の煙のように勢い良く真っ黒な煙が噴出していたのであった。このような高い温度でも水が沸騰しないのは水圧が高いからである。水深2,200mで温度が370℃の



第5図 海底の金属資源の分布(柴崎, 2007)。



水深 (m)

第6図 世界の熱水系の深さ分布 (Van Dover (2000) に 棚橋氏がデータを加えて作成). 単に水深の浅い物から深い物へプロットした. 3,600mより深い熱水系は今のところ見つかっていない.

条件に達すると水は超臨界 (気体でも液体でもない状態) になることが知られている. 深海底の熱水を作る水は実は超臨界状態にある.

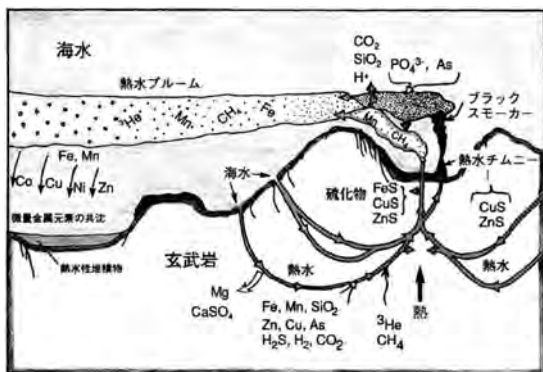
熱水の発見は以下の点で画期的なものであった. まず鉱物資源にとって重要である. 熱水チムニーは銅, 鉛, 亜鉛などの金属元素の硫化物に富むのでそのまま資源として利用できる. もう一つは生物関係である. 熱水地域は地球上に生命が発生した折の環境に類似している. そのため熱水を研究すれば生命の起源に迫ることになる. このうち前者が多くの科学者によって研究されてきている. 生物や微生物に関しては共生や多様性が研究されてきている (長沼, 1996; 浦辺, 1996).

マンガン団塊は18世紀のチャレンジャー号の航海 (1872-76年) ではじめて知られたもので, 海水中に含まれる金属が固まってできた水成のマンガン団塊やコバルトリッチクラストなどがある. これらは大西洋や太平洋, インド洋の深海底の至る所から見ついている.

マンガン団塊と熱水鉱床の違いは以下のようである. まず前者は水深4,000m以上の深さにあること. その生成には地質学的な時間がかかること. たとえばその厚さは100万年に数ミリ程であり, 採算が取れる十分な鉱石を得るには少なくとも5千万年程度たったものでなければならない. このことは一旦マンガンを取り尽くした場合には同じ場所で採集するためにはあと数千万年待たねばならないことを意味している. マンガン団塊から得られる資源はマンガン, ニッケル, コバルトなどの金属資源である.

一方, 熱水系の分布する水深はマンガン団塊に比べて浅く700-3,600mである. 熱水チムニーは勢いよく噴出し, 一旦採集しても一週間程度で数cmから数10cm程度まで成長する. したがって数年おきにさまざまな熱水系をめぐること新鮮な熱水鉱床を採掘できるわけである. これは持続可能な資源であると言える (第6図).

海底の熱水系が作る海底熱水鉱床は, 銅・鉛・亜鉛などの金属に代表される金属の硫化物からなる鉱床であり, 主に大洋中央海嶺系で生産される. 日本列島の周辺では島弧-背弧に存在する. 熱水の形成のメカニズムは第7図に示したように, 拡大軸などの近くで海底の割れ目などから海水が地下5km位の深さまで染みこんでいく過程で, 海水中に含まれていたマグネシウムや硫酸イオンなどが取り去られ, 逆に岩石の中に含まれていた金属元素が水の中に溶け込んで取り込まれ, これがマグマの熱に暖められて海底へと勢いよく噴出してくる. その際最初に吸い込まれた海水とは似ても似つかない化学組成になっている. 海底は温度が低いので, 冷やされた熱水から金属の硫化物が結晶として晶出するが, これらは海水より重いので沈降する. 一方ガスなどの成分は水より軽いので, それが釣り合う高さまで (通常は海底から200-300m位) 昇って水平にたなびく. これをブルームなどと呼んでいる. 冷却された硫化物は煙突の様な構築物となって高さ20mに達することもある. そこから温度の高い (360℃の黒い煙 (ブラックスモーカー) や



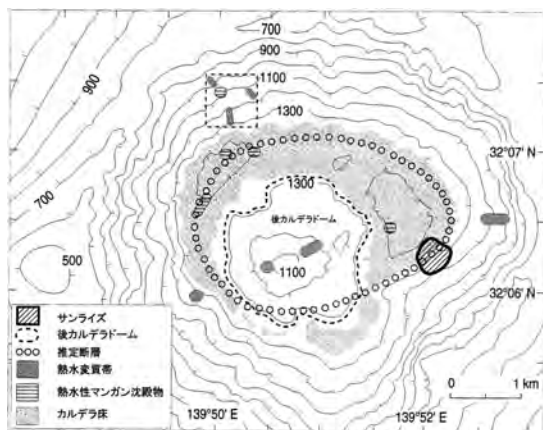
第7図 熱水鉱床のでき方(蒲生, 1996).



第8図 大西洋中央海嶺の巨大な熱水TAGの全体像(藤岡, 1996). 図中にかかれた大仏, マナティ, 千葉バー, クレムリン, ジャイアントケルプ, 兵士などの言葉はTAGを研究していた研究者の間で作業用に付けられた名称であってここではその語源については説明しない.



第9図 TAGの中央にある勢いよく真っ黒い煙を吐く巨大なブラックスモーカーの一部. 大きすぎて, また煙が黒いため全体が見られない.



第10図 明神カルデラのサンライズ鉱床の地形(飯笹, 2000).

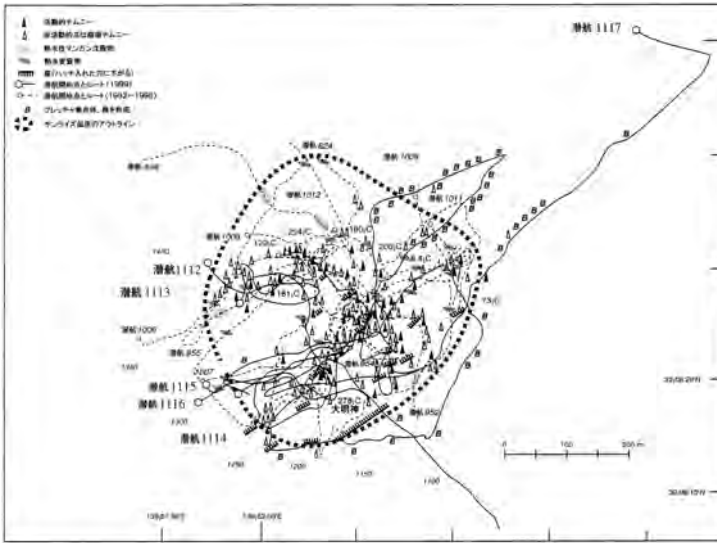
220℃程度の白いホワイトスモーカー, 更に温度の低い透明な水の湧き出し(Shimmering)などが見られる. これがたくさんチムニーからなる熱水系で, 硫化物でできたマウンドを形成している. マウンド全体としては大きいものでは直径250mで高さも70m程度にまで成長する. 第8及び9図に大西洋中央海嶺で発見された熱水TAG(Trans Atlantic Geotraverse)の例を, 第10~12図に明神カルデラで発見されたサンライズ鉱床の例を示す.

第13図に示すように, 日本列島の周辺では, 海底熱水鉱床は琉球列島の中国大陸寄りに分布する海盆である沖縄トラフと東京から南へ硫黄島まで連なる伊豆・小笠原弧の海底で知られている.

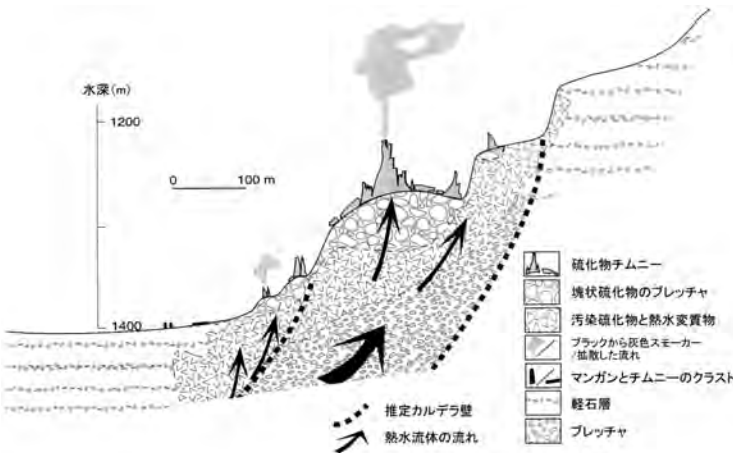
まず沖縄トラフでは南奄西, 伊平屋北, 伊平屋, 伊是名, 与那国海丘, 鳩間海丘, SPOT (Southern Part of Okinawa Trough) 地域などが知られる. SPOTはこの図にはないが, 鳩間海丘と第4与那国海丘と台湾の間に分布する小さな熱水系である.

伊豆・小笠原弧では, サンライズ(明神海丘)(飯笹, 2000), ベヨネーズ(JOGMEC資料集, 2007), 水曜海山で存在が知られている. これ以外にもまだまだ新しく発見される可能性がある.

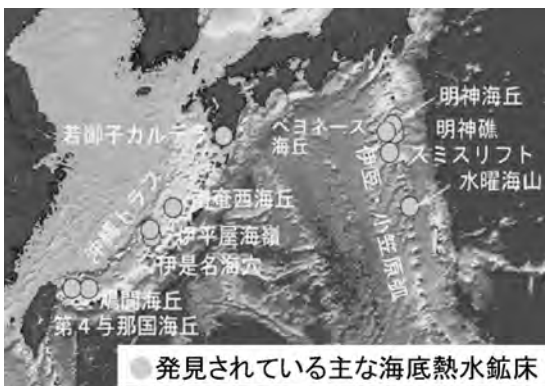
沖縄トラフの熱水はトラフの地下にあるマグマに温められた海水が海底に噴出している. その温度は南奄西海丘では360℃であるがそれ以外では220℃程度の透明な熱水である. 形成されているチムニーは



第11図
サンライズ鉱床のスマーカーの平面分布
(飯笹, 2000).



第12図
サンライズ鉱床の模式図(飯笹, 2000).



第13図 日本列島周辺の熱水系の分布図(棚橋, 2006).

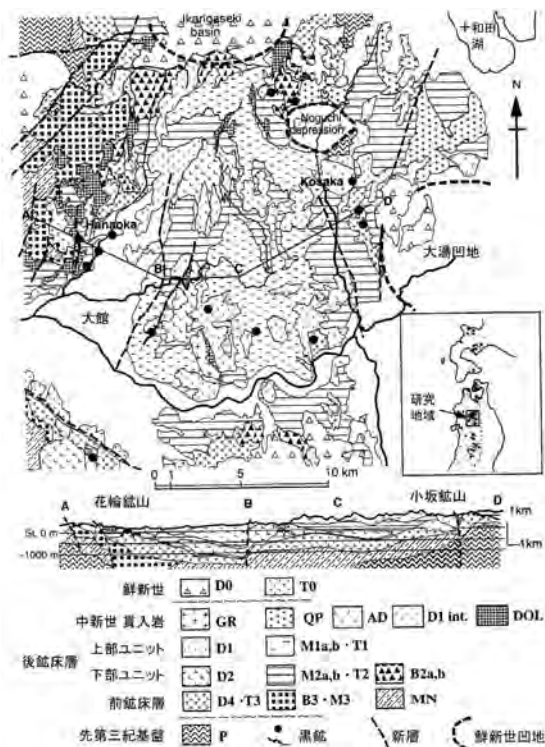
高さ2m以上あり金属の硫化物からなる。ここでは炭酸ガスが液体の状態で噴出している。これは伊豆・小笠原弧の熱水系とは異なる。

4. 海洋起源の陸上の熱水鉱床

日本の陸上にはかつて石炭、石油、天然ガス、金属の鉱山などあらゆる鉱物資源が存在した。江戸時代の佐渡の金山や石見の銀山など幕府の直轄で莫大な量の金や銀が採掘されたが、これらの金属は大量に外国に流れた。わが国の銀は当時世界でもっとも生産量が高かったといわれている(第14図)。



第14図 東北地方の黒鉱ベルト(井上, 1969).



第15図 大館盆地の地質断面(高橋, 1983).

明治以降の近代になって特に東北日本に多数の黒鉱の鉱山が開発された。これらは昭和に入って大いに発展した。花岡鉱山や小坂鉱山には大きな町ができた。しかし多くの鉱山が次々と閉山になって、現在稼働しているのは鹿児島県の菱刈金山だけである。

黒鉱とはその名のとおり黒い鉱石である。現在では「Kuroko」は世界語になっている。これは層準規制型多金属硫化物硫酸塩鉱床、火山性塊状硫化物鉱床などとも言われているが黒(閃亜鉛鉱)、黄色(黄鉄鉱)、白色(石英)などの鉱物がまだらに縞状になったものである。これら全体を総称して黒鉱と呼んでいる(石川, 1991)。

黒鉱の鉱石は実は海底の熱水鉱床の鉱石と同じ組織を持っている(第15図)。黒鉱の胚胎する層準や周辺を構成する岩石は海底の火山岩や深海性の泥が主体で、形成された場が海底で、しかも島弧-海溝系の背弧であることが指摘されている。すでに述べたように海底の熱水系は1977年に発見され、1980年

代には金属鉱床としての研究が大いに進められた。そして陸上の鉱山と海底の熱水系との比較研究が1980年代から90年代にかけて行われた。1990年代には大洋中央海嶺のみならず伊豆・小笠原弧や沖縄トラフなどの島弧や背弧の海底からも更に多くの熱水鉱床が発見された。このことがわかったのは鉱山の開発がもうピークを過ぎて閉山になる寸前であった。陸上の鉱山の閉山は早すぎたのである。

黒鉱鉱床の主要な産地は、東北地方の現在の脊梁山地のすぐ西側の盆地や凹地に産出する。それは狭くて細長い分布であったので「黒鉱ベルト」の名で呼ばれていた(井上, 1969)。黒鉱ベルトの中でも秋田県と青森、岩手の県境近くの北鹿盆地の中にある鉱床は際立って大きく、総量1,000万トンの規模の生産があった。大館や小坂の鉱山である(高橋, 1983)。

今まで見てきたとおり陸上の資源は過去に海底で生産されたものが多い。現在の海底の研究から陸上の鉱山の成因を見直すべきである(藤岡, 1983)。

5. 海洋基本法制定への動き

2006年4月、与党を中心とする有志議員と有識者による海洋基本法研究会が開かれ海洋政策全般を包括する初めての法案となる海洋基本法のあるべき姿が議論され、素案が検討されてきた(海洋基本法, 2007)。基本法の中には深海底鉱物資源についても明記されている。以下は資源に関する部分の抜粋である。

(4) 持続可能な海洋資源の開発・利用の推進

陸域の資源に恵まれないわが国にとって、海洋資源の開発利用は最重要課題のひとつであり、海洋環境や海洋生態系の保護・保全に最大限の配慮をしながら持続可能な海洋資源の開発・利用を推進する必要がある。そのため、海洋及び海洋資源に関する研究開発及び人材教育を積極的に推進することが望まれる。

わが国の資源安定供給に資するため、広大な排他的経済水域・大陸棚に賦存が期待される石油・天然ガスの探鉱開発並びに将来の鉱物資源として有望なメタンハイドレートや深海底鉱物資源(海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト等)の探鉱活動を推進するとともに、その生産等のための技術開発を積極的に推進する。

- a) 排他的経済水域・大陸棚における石油・天然ガス資源の探鉱、開発の促進
 - b) メタンハイドレートの探鉱活動及び生産等のための技術開発の推進
 - c) 深海底鉱物資源の探鉱活動及び生産等のための技術開発の推進
- である。

このような基本法が制定されれば深海底の資源開発に対しての援助は大いに進むであろう。特に現在のように鉱物資源の枯渇を目前に控え、さらに外国からの輸入も難しくなってくる時期には、研究者や関連する人々が声を大にしてこの状況を訴えるべきである。そうすれば、基本法の制定はわが国の鉱物資源を海底から開発しようという動きに拍車をかけるものと思われる。

6. 今後の展望と問題点

陸上に存在する、あるいはかつて存在した鉱床(鉱山)は、長い地質学的時間を経て形成されてきた。特に石油、天然ガスなどの非金属の生成やマンガン団塊の形成には実に長い時間がかかっていることがわかっている。これらの資源が枯渇した場合にはすぐには生産されることはなく、再生には当然同じような地質学的時間が必要である。そして陸上の資源の少ないわが国では輸入に頼るしかない。しかしこれらの資源の輸入が難しくなった場合はもはや海底から得るしか方法がない。実際中国などの資源に富む国ではある種のレアメタルなどの輸出を制限し始めており、BRICsでも自国の経済成長に合わせて金属を保存する動きが出始めている。

鉱床関係の開発は、現在では相次ぐ鉱山の閉鎖のため、我が国の直面する問題としては、今までの資源の跡地の汚染の問題解決がいまだに急務である。足尾鉱毒事件などのように、鉱山の開発は周辺の地域の汚染を代償としてなされてきた。まずは、これらの跡地を安全安心に住めるようしなければならず、そのために国や多くの鉱山会社が現在取り組んでいる大きな問題である。

もう一つの方向は、発展途上国における鉱山開発に対する援助である。黒鉱鉱床は日本だけでなく、よく似た地質を持つインドネシアやフィジーなどにも産出する。また黒鉱鉱床以外の鉱山ではポーフィリーカップパーやニッケルの鉱床などが環太平洋やアンデス山脈などの国々に産出する。これらの国々の開発に対してアドバイスを行うことである。

熱水鉱床開発の問題として水深の問題がある。熱水鉱床の分布は水深では700mから3,500mまで知られている。もっとも深い場合には約350気圧の水圧に耐える機器を準備しなければならない。さらに海水は塩分を大量に含み、熱水は硫化物を含むため機器類の腐食が大きな問題である。海底の研究が宇宙に比べて進まない理由は水深と腐食の問題があるからである。

さらに鉱区の問題がある。外国の鉱山会社がこぞって日本列島周辺の海底の熱水系に焦点を当てて今後の開発をねらっている。日本の中で早くに鉱区を設定したり、開発作業に着手しないとすべて外国に先

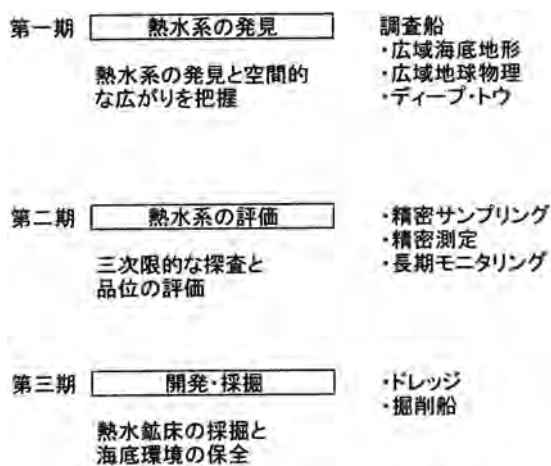
行されてしまうことが危惧される。Neptune社等外資系企業の鉱区争奪戦が既に始まっており、実際つい最近、伊豆・小笠原、沖縄海域でも合法的に多数の鉱区申請がなされたことが明らかになっている(Neptune社, 2007)。

過去にマンガン団塊の調査が行われ、その開発には莫大な費用がかかることがわかってついに実用的な開発は行われなかった。それは一つにはマンガン団塊の産出する水深の大きさにある。しかし、熱水系には産出する水深が2,000mより浅いものもいくつも存在するので、それらの開発は可能で、莫大な費用がかかるわけではない。そのためいち早くこれに着手すべきである。また熱水は人間の生きている尺度では再生可能であるので、採り尽くしてもまた1週間あるいは1ヶ月で、また十分な鉱石が形成される。そのためある意味では持続可能、再生可能な資源と呼べる。マンガン団塊の再生には地質学的な時間がかかるのでその限りではない。

現在の海底の技術開発はその他の分野の工学系のものに比べて遅れているのが現状である。その原因は上に述べた水深と腐食の2つの点にある。今後の開発が期待される。

7. 海底金属資源の探査・開発法

海底の金属資源の開発には以下の三つの段階が必要であると考えられる。第一期はそもそも海底から新しい熱水系を探し出すことである。現在日本列島の周辺には約10の海底熱水系が見ついている。熱水系はプレート¹の生産される境界すなわち中央海嶺や背弧²拡大軸と島弧³の火山フロントの周辺に形成されている。そこには地下深くから海底に向けて熱の移動があるからである。しかしこのような広大な場所から特定の熱水系を発見するのは並大抵のことではない(第16図)。そのため第一期では海底地形や地球物理、地球化学的な調査と併せてDeep-towによる探査を広域にわたって行う必要がある。Deep-towには海底を目視観察できるカメラやビデオを搭載する必要がある。現在考えられている最も有効な調査方法は第7図に示した熱水のブルーム⁴を見つけることである。活動的な熱水のブルームは周辺の海水に比べて温度が高く、粒子やガスなどに富み海底から200-300mのあたりをたなびいている。これを捕まえるために



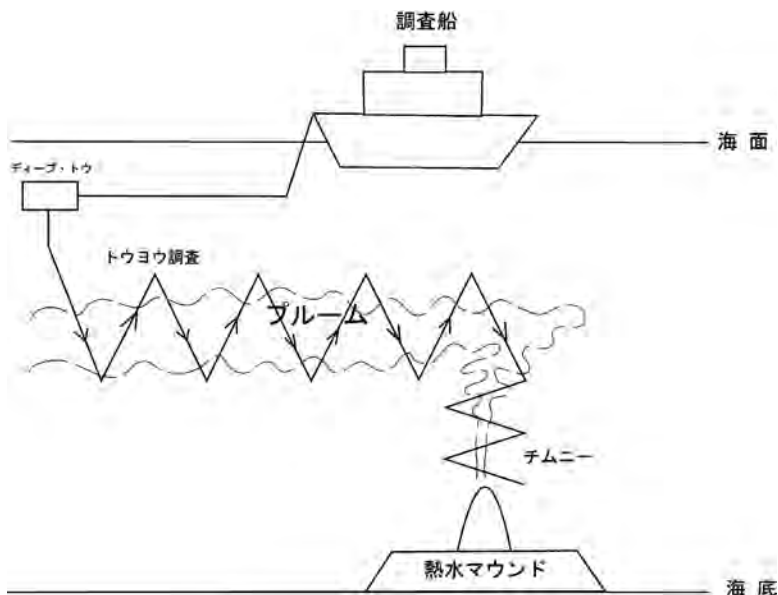
第16図 海底金属資源の探査・開発。

Tow-yow⁵(「ようよう」をやりながら曳航(Towing)すると言う意味)という方法が考えられている。

これは米国のNOAAの研究者たちがやった方法で温度や濁度などを感知するセンサーを取り付けた曳航体を船の後ろからたらし海底の上200-300mの間を日本のおもちゃである「ようよう」をしながらか引張る方法である。このような方法で東太平洋海膨の多くの熱水系が見ついている。実際には熱水に敏感な温度、濁度、pH、Eh(酸化・還元電位)などのセンサーをつけて探査する。こうしてブルームが見つければその最も濃い部分を今度は鉛直方向にTow-yowしながら海底にまで達して煙を出している根源を特定する。特定できればカメラやビデオなどを駆使して熱水の空間的な広がりを確認する。第一期では熱水の発見とともにその空間的な広がりや熱水系を含む広域的な地形や地球物理的な探査を行う(第17図)。

海底の熱水鉱床を開発するにはまだ多くの問題がある。まずどこに鉱床があるかを特定しなければならない。これは現在の研究のレベルで十分であるが、まず船が必要であり地形調査や地球物理探査に加えて熱水の化学組成や鉱石のサンプリングから品位を決定しその水平分布、垂直分布から鉱量を決定しなくてはならない。現在は10あまりの鉱床しか見つかっていないがこれがもっと増えることは間違いない。

第二期では熱水の鉱床としての品位を評価する。そのためには海底に降り立って熱水そのものの試料を採集することが必要である。熱水の温度測定、熱水の採集、粒子のサンプリング、などを行って鉱石と



第17図
熱水系発見のための方法。

しての品位を検定する。そのためには無人探査機や有人の潜水調査船が必要になる。鉱床の平面だけでなく鉱量を推定するために三次限的な探査が必要であり掘削などの手段が必要になる。

第三期は評価の高い熱水鉱床の開発、採掘である。それには現在持っている掘削機器や大型のカメラつきのグラバや潜水船を用いたサンプリングの他に、海底の掘削も必要になるかも知れない。掘削を行った場合には熱水マウンドに冷たい水が入るためにマウンドの温度が一旦低下することになるので注意を要する。また、場合によっては新しいサンプリングの機器やさらに効率良く、周辺の海底環境を考慮した新しい機器を開発する必要がある。その際には熱水のマウンドの詳しい地形図が必要になってくる。

海底の鉱床を開発する場合の問題点として陸上の鉱山同様まず汚染の問題が挙げられる。海底には珍しい生態系が存在することはその発見当時よりわかっている。調査や開発によってこれらの生物を絶滅させないように配慮が必要である。また有害物質によって周辺の生物資源が枯渇してはならない。

熱水鉱床の開発は必ずしも第一期から順番にやる必要はない。これらは既存の機器の活用などを考慮しながらすでに見つかっている熱水系から着手するのが早道であろう。また国際的な立場で協力的に行うのか競争的に行うのかは難しい問題であるが、鉱床の探査という点では米国、カナダ、イギリス、ドイツ

などのすでに多くの経験を積んだ国々との協力が必要であろう。

8. おわりに—海底金属資源に関する提言—

前章までの「海底鉱物資源探査」の現状や将来の展望などの動向を踏まえて日本列島周辺の海底鉱物資源の開発に関する提言を行う。今後の課題として可及的速やかに海底鉱物資源の開発に着手することを提案したい。なぜならば陸上の金属資源の枯渇に伴う輸出の制限、外国資本による経済水域への資源開発参入などの問題が目前に迫っているからであり、大陸棚延伸や海洋基本法の設定などの海底の開発を促進する条件が整う時期にきているからである。

開発には上に述べた三つの段階、海底鉱物資源の発見、評価、採鉱が考えられる。まず第一期としては日本列島周辺の熱水系の存在することがわかっており更に新しい熱水系が見つかる可能性のある沖縄トラフ、伊豆・小笠原島弧の海域の広域調査である。海底熱水系(鉱床)の発見には日本の有するすべての観測機器を導入して地形、堆積物、底質とその厚さ、熱水系の分布、重力、地磁気などの広域調査を行う。開発には省庁の枠を超えて日本全体としてそれぞれの省庁の得意な部分を出し合って行うべきである。

わが国の熱水系の研究はすでに大西洋中央海嶺、東太平洋海嶺、インド洋中央海嶺、マヌス海盆、フィ

ジー、ハワイ、北極、沖縄トラフ、伊豆・小笠原弧などのさまざまな地域に及んでおり、ある程度のノウハウを有している。海底資源の開発に関してわが国が世界をリードする可能性は高い(玉木, 2006)。海底熱水鉱床の開発の必要性はすぐ目前に迫っており、いち早く着手すべきである。

謝辞: この小文はもともと筆者の政策研究所客員研究官の時期に用意されていたが事情があって地質ニュースに書かれた。この文章を書くにあたり石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の菱田元、棚橋道郎、岡本文人、澤田賢治の諸氏より資料の提供をいただきご意見を賜った。政策研の辻野照久氏には原稿に目を通して貴重なご意見を賜った。また全体会議に出席された政策研の研究員及び客員研究員の方々からは貴重なご意見をいただいた。地質ニュースに書くにあたって産総研の湯浅真人氏と七山太氏は原稿を読んで様々なご意見をくださった。これらの方々には感謝いたします。

文 献

- Ballard, R. D. and Grassle, F. (1979) : Return to oases of the Deep. *National Geographic*, 156, 689-705.
物質材料研 (2007) :
<http://www.nims.go.jp/jpn/news/press/press178.html>
- Corliss, J.B., Dymond, J. R., Gordon, L. S., Edmond, J. M., Von Herzen, R. P., Ballard, R. D., Green, K., Williams, D. L., Bainbridge, A., Crane, K. and Van Andel, T. H. (1979) : Submarine thermal spring on the Galapagos Rift. *Science*, 203, 1073-1083.
- Degens, E.T. and Ross, D.A. (1969) : Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea. SpringerVerlag, 368-401.
- 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (2006) : ベースメタル国際事情と我が国鉱物資源政策の変遷。平成16年度情報収集事業報告書第14号。
- Francheteau, J., Juteau, T. and Rangin, C. (1979) : Massive deep-sea sulphide deposits discovered on the East Pacific Rise. *Nature*, 277, 523-528.
- 藤岡換太郎 (1983) : 黒鉱鉱床はどこで形成されたか。鉱山地質特別号, 11 55-68.
- 藤岡換太郎 (1996) : 世界最大の熱水マウンドTAG。岩波科学, 66, 500-506.
- 蒲生俊敬 (1996) : 海底熱水活動による化学元素の循環。岩波科学, 66, 485-491.
- 堀越 叡 (1971) : 紅海の底—金属に富む堆積物。岩波科学, 41, 617-625.
- Iizasa, K., Fiske, R. S., Ishizuka, O., Yuasa, M., Hashimoto, J., Ishibashi, J., Naka, J., Fujiwara, Y., Imai, A. and Koyama, S. (1999) : A Kuroko-type polymetallic sulfide deposit in a submarine silicic caldera. *Science*, 283, 975-977.
- 飯笹幸吉 (2000) : 明神海丘カルデラ・サンライズ鉱床の成長史。JAMSTEC深海研究, 16, 9-17.
- 井上 武 (1969) : 東北グリーンタフ地域における新第三紀鉱化期並びに黒鉱ベルト。秋大地下資源研報, 33, 17-30.
- 石川洋平 (1991) : 黒鉱—世界に誇る日本的資源をもとめて—。共立出版株式会社, 119p.
- JOGMEC資料集 (2007) :
www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai_index/index.html
- 海洋基本法 (2007) :
http://www.sof.or.jp/topics/2007/pdf/070105_01.pdf
- 長沼 毅 (1996) : 海底熱水系の微生物。岩波科学, 66, 492-499.
- Neptune社 (2007) : <http://www.neptuneminerals.com/>
- 澤田賢治 (2007) : 2006年世界の非鉄金属の趨勢について。(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 「平成18年度(第10回)非鉄金属関連成果発表会」配布資料。
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai/070125/breifing_070125_1.pdf
- 柴崎洋志 (2007) : 日本近海の海底鉱物資源賦存状況調査。(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 「平成18年度(第10回)非鉄金属関連成果発表会」配布資料。
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai/070125/breifing_070125_5.pdf
- 高橋敏夫 (1983) : 北麓火山構造性陥没帯の地質とクロコ—鉱床生成の場。鉱山地質特別号, 11, 167-182.
- 玉木賢策 (2006) : 海底資源開発で世界をリードしよう。海洋政策研究財団 : ニューズレター。
www.sof.or.jp/ocean/newsletter/150/a01.php
- 棚橋道郎 (2006) : 伊豆・小笠原背弧リフト帯ベヨネーズ海丘で発見された大規模海底熱水鉱床。資源地質, 56, 185-196.
- 辻野照久 (2007) : 海底活用のための探査技術。科学技術動向, 72, p.20.
- 浦辺徹郎 (1996) : 東太平洋海膨の巨大熱水ブルーム群。岩波科学, 66, 470-477.
- Van Dover C., L. (2000) : The ecology of deep-sea hydrothermal vents. Princeton University Press.
- 湯浅真人 (1983a) : 海底熱水鉱床について。地質ニュース, no.345, 34-45.
- 湯浅真人 (1983b) : 海底熱水鉱床について(2)。地質ニュース, no.346, 14-21.

FUJIOKA Kantaro (2008) : Inquiry of Submarine metal resources -trend of their investigation and future problems-.

<受付: 2007年9月14日>