

海底温泉で形成される海底熱水鉱床

木川 栄一

国立研究開発法人海洋研究開発機構海底資源センター 企画調整統括

ここでいう海底温泉とは海底より噴き出している熱い海水のことであり、世界で初めて目視確認されたのは1977年のことである。その後、海底温泉は、海面付近の浅いところから水深4,960メートルの深海でも観察されており、熱源として考えられるのは海底直下の火山活動で、陸上の多くの温泉と同様である。ただし、実際に観察されるのが地表付近である温泉と違い深海底であることから、水圧の関係で海底温泉の水温は400°Cを越すまさに熱水と呼ばれる高温に達する。海底下まで上昇した1,200°Cのマグマと低温の海水が接触することにより、熱水中にマグマ中の有用な(金属)元素が抽出され、その熱水が海底に噴出することにより冷却されて沈殿し生成する鉱体が海底熱水鉱床である(図1)。主成分は鉄、鉛、亜鉛、銅の硫化物であるが、銀(硫化物)、金も含まれる。

海底熱水鉱床が生成されていると考えられる海底熱水系は図2に見られるように線上の特徴的な分布を示す。

これは成因となる海底の火山活動がごく限られた海域でしか起こっていないためである。具体的には、海底近傍での火山性マグマ活動にはカテゴリー分けで以下の4つのタイプがある(図3)。

1) **中央海嶺**: 所謂海洋プレートが生成される海嶺と呼ばれる大規模な海底山脈である中央海嶺がまずあげられる。中央海嶺の総延長は約7万キロあるが、これはすなわち地球2周分ほどの長大な活火山山脈が海底にあり、そこで海底熱水鉱床が生成されているということである。

2) **ホットスポット**: 海洋プレートよりもさらに深いマントル内深部で発生した高温異常域の上昇が原因となって海底付近で引き起こされるマグマ活動があり、ホットスポットという。典型例としてあげられるのはハワイ諸島である。ホットスポットの海域の海底では海底熱水鉱床は生成されていると考えられるものの、マグマの総量は4つのタイプの中では一番小さい。

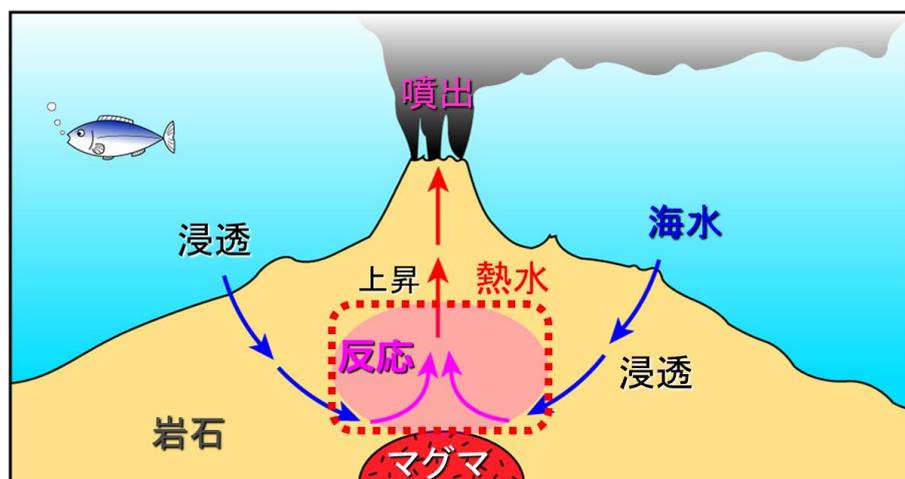


図1 海底熱水鉱床形成イメージ(中村謙太郎氏提供)

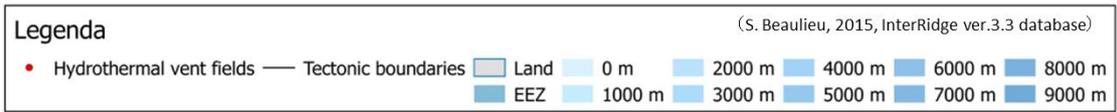
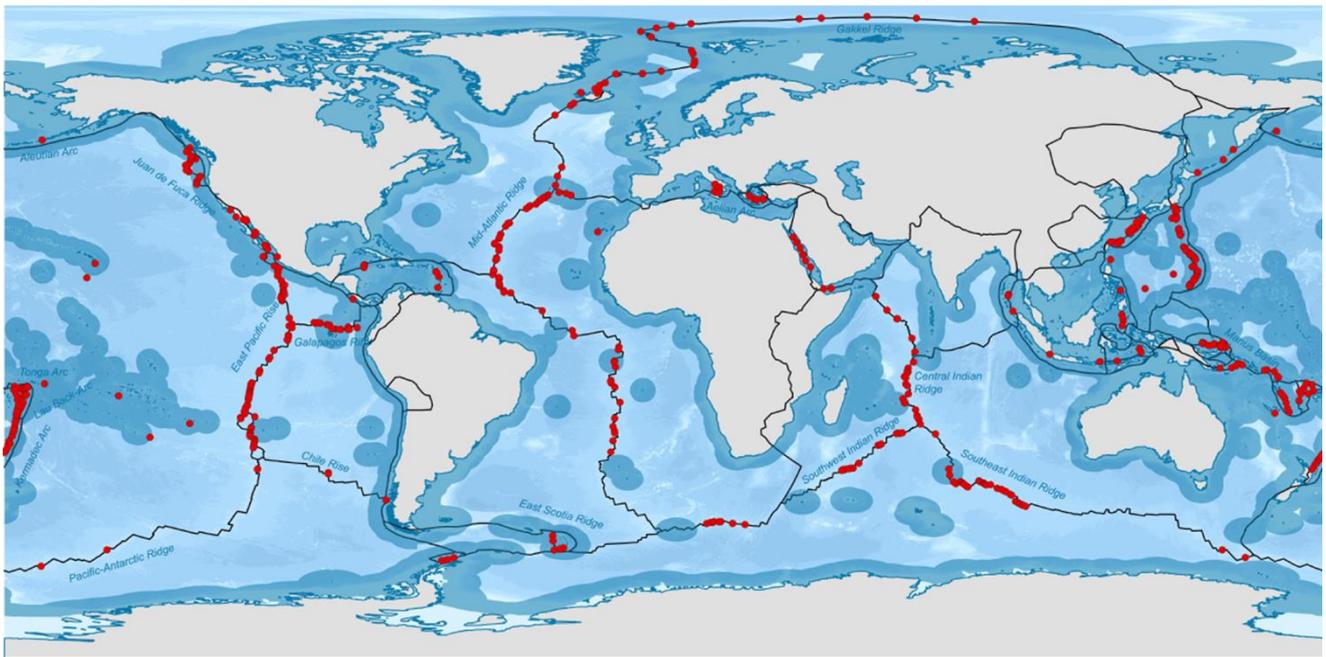


図2 活動的・海底熱水系の分布

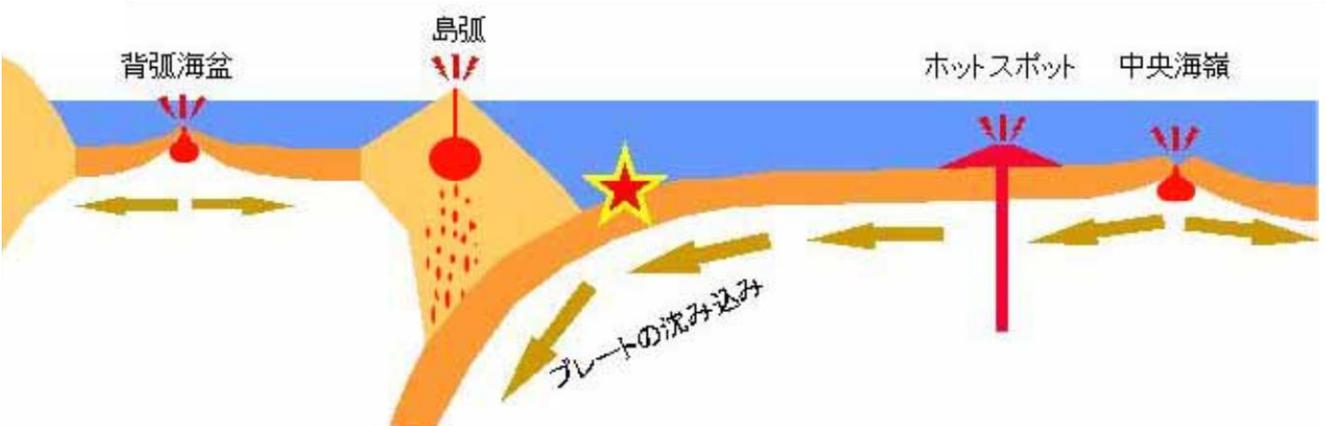


図3 4つのタイプの海底におけるマグマ活動

日本火山の会のホームページより(解説執筆:平野直人、作成協力:赤司卓也・竹内真吾):一部修正

3) 島弧型火山: 島弧型火山は、別のプレートの下に沈み込んだ海洋プレートによりマントル深部で生じるマグマ活動が原因となるもので、現在、我が国の領海拡大に一役買っている西之島新島をはじめとした伊豆小笠原諸島海域、そして日本列島の火山も学術的にはこの範疇に入る。

4) 背弧海盆: 背弧海盆での海底火山活動は、島弧型火山活動とほぼ平行な配列で起こることが知られているが、両者の決定的な相違は、前者が伸長場であるのに対し、後者は圧縮場であることである。島弧型火山活動のマグマを引き起こした海洋プレートの沈み込みによって誘発されたマントル内の反流によるマント

ル物質の上昇及び海水の流入が背弧海盆での海底火山活動に関連するとされているが不明な点が多い。上述したように伸長場であることも関係してか、供給されるマグマの量が圧縮場の島弧型火山に比べて多く、沖縄トラフなどの背弧海盆でこれまで発見された海底熱水鉱床の規模も大きい。

この4タイプの中では、海嶺のマグマ活動の規模が圧倒的に大きいと考えられるが、産業化という観点では、海嶺に準じた規模を持ち、陸から近く水深が浅い背弧海盆で生成される海底熱水鉱床が一番適しているといえる。

海底の活動的熱水系(海底温泉)が海水の組成に及ぼす影響について一つの興味深い事実がある。海底熱水活動が確認される1970年代までは河川水や降雨など大気からの物質供給と海中・堆積物中の微生物活動、続成作用などによる物質除去の収支バランスはどう見積もっても合わなかった一方、海水と河川水の化学組成が大きく異なるにも関わらず、少なくとも過去1億年における海水の化学組成は不変であることであった。海底熱水系でおきている地球内部からの化学成分の供給と化学反応系に伴う元素の除去の果たす役割を考慮すること

により、これらを統一的に理解することができるのではないかと考えられている(図4)。

海底温泉で生成される海底熱水鉱床の品位、言い換えればマグマから熱水への金属の溶出・溶解については、温度、火山ガス、塩が果たす役割が大きい。温度については、高温になるほどより多くの金属が溶け、火山ガスは熱水に溶けると酸を生じ、この酸が金属を溶かす。熱水中の塩(Cl)のため塩化物錯体の形で溶存するマグマ中の金属の量は、同じ温度の純水に比べて数百から数千倍であることがわかっている(図5)。つまり、塩があれば、それだけ金属が溶けるということである。塩の果たす役割は、海底熱水鉱床の形成においても見いだすことができるのである。

陸上で生成される熱水鉱床は、海底熱水鉱床と同様にマグマと水の反応によるものであるが、介在するのは海水ではなく地下水(真水)である。本日の別の講演で解説されると思うが、陸上にも高塩分温泉は存在し、その塩の起源としては、地殻変動などで陸上に地下水として地中深部に閉じ込められた海水(化石水)や、沈み込んだ海洋プレート起源の島弧マグマ中にもともと存在する塩分が火山ガスとなって地下水に溶けたもの、さらに

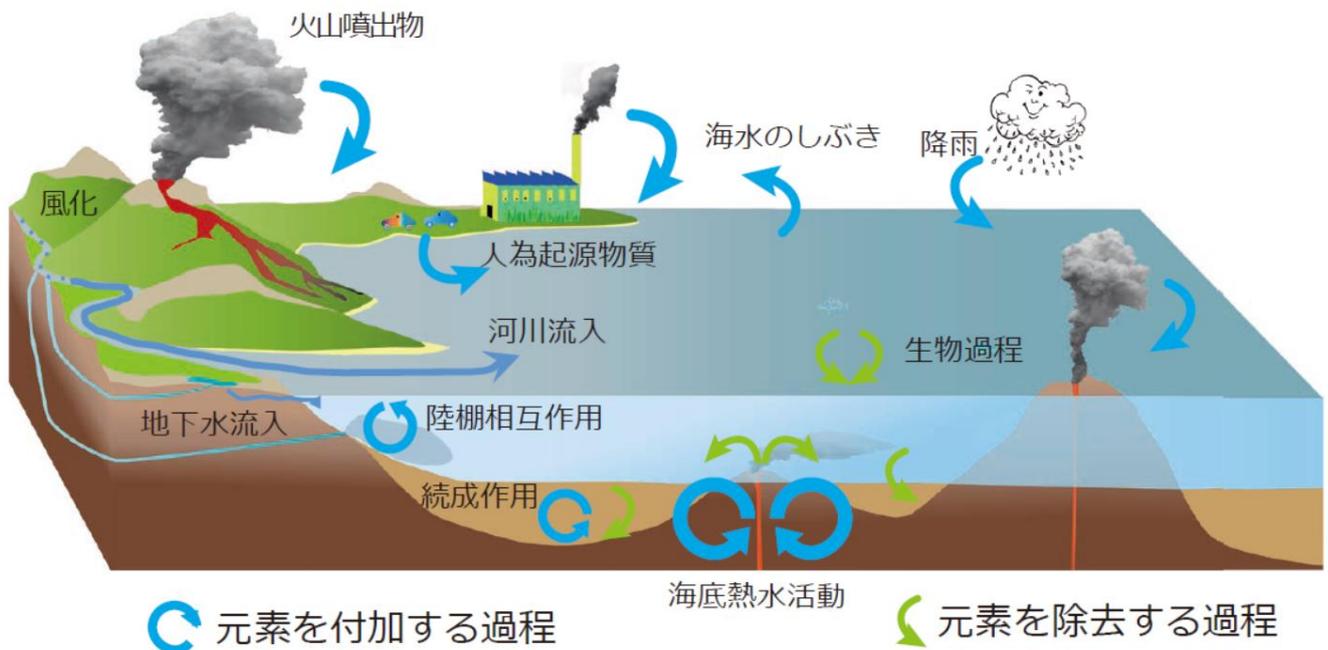


図4 海水の元素収支(石橋純一郎氏提供)

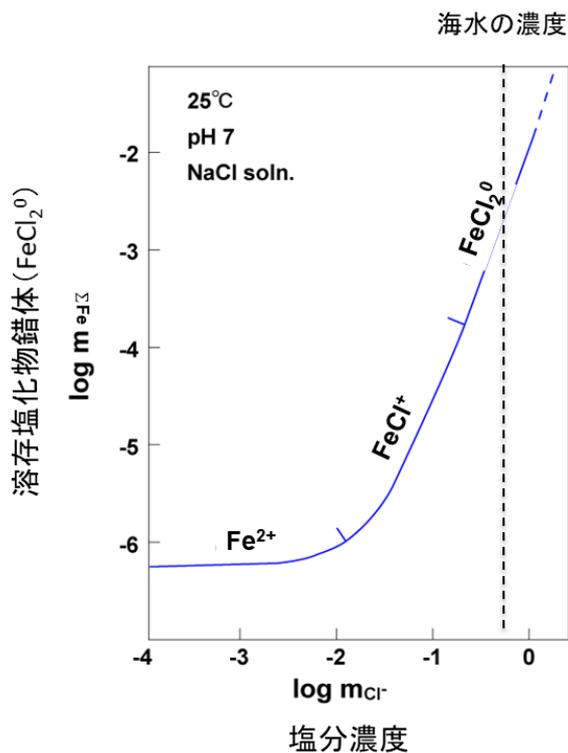


図5 塩分濃度と溶存塩化物錯体 (FeCl_2^0) の関係

は今ひとつ原因がわからない有馬温泉のようなものまである。いずれの場合も、上述した海底温泉と同程度の金属濃集寄与は期待できないが、局所的なものに限れば高品位な濃集域を形成する可能性はあるかもしれない。

最後に海底熱水鉱床の成因についてのより詳細な記述は、<https://www.jamstec.go.jp/sip/pdf/resultList01.pdf>

を参照されたい。

講演者略歴

木川 栄一(きかわ えいいち)

国立研究開発法人海洋研究開発機構海底資源センター企画調整統括。東京大学大学院修了、理学博士。1988年通産省工業技術院地質調査所研究員、1990年テキサスA&M大学客員助教授(米国勤務)、1992年地質調査所主任研究官。1993年科学技術庁専門職、1994年富山大学助教授、1998年より海洋科学技術センター(現海洋研究開発機構)研究副主幹。以後、2000年ワシントン事務所長、2004年地球内部変動研究センター研究推進室長、2010年高知コア研究所所長代理、2011年海底資源研究プロジェクトリーダー、2014年海底資源研究開発センター長、2019年4月より現職。1959年東京生まれ。

主な著書

- ・「大陸を分裂させる原動力」(日経サイエンス 1987年)
- ・「プルームテクトニクスと全地球史解説」(岩波書店 熊澤峰夫・丸山茂徳編 2002年)
- ・「フィールド科学の入口 海の底深くを探る」(玉川大出版 白山義久・赤坂憲雄編 2015年)
- ・「地球のふしぎ」(KADOKAWA 2016年)