

海底熱水循環系の数値シミュレーション：硬石膏の沈殿による高温熱水域の形成

Numerical simulations of sub-oceanic hydrothermal system: formation of high temperature fluids by the precipitation of anhydrite

川田 佳史[1], 吉田 茂生[1], 渡邊 誠一郎[1]

yoshifumi kawada[1], Shigeo Yoshida[1], Sei-ichiro Watanabe[1]

[1] 名大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Nagoya Univ.

Introduction

海底熱水系の性質を特徴付けるのは、熱水循環の循環構造である。循環構造に影響を及ぼす要因には、鉱物の沈殿をはじめ、海水の2相分離、海水の臨界点付近の振舞い、岩石の脆性 塑性転移などがある。このうち鉱物の沈殿は、地殻内の割れ目構造を変化させ循環構造に決定的な影響を及ぼすという意味で重要な要素である。

鉱物の沈殿が熱水循環の構造を決めている例として、水曜海山(伊豆 小笠原弧)があげられる。ここはアーキアンパーク計画によって調査が行なわれた。その結果、2次的に沈殿した鉱物の不透水層が形成し、熱水系を高温の熱溜と低温の循環に分割していることが推定された。

本研究では、硬石膏の沈殿が循環構造に与える影響を数値計算により明らかにする。また、計算結果を水曜海山の熱水系に応用する。

Situation of Calculation

硬石膏は、温度の上昇とともに溶解度が減少する鉱物である。硬石膏が沈殿する過程の一つは、硬石膏成分に富む海水の加熱である。もう一つは、海水と、高温に熱せられ既に硬石膏成分を失った流体との混合である。

海底熱水系は、上で示したような硬石膏沈殿の条件を有する。それは熱水系が、上部が流れやすく下部が流れにくい2層構造の浸透率や、非一様な下部熱源をもつことによる。このとき熱水循環として、上部層を突き抜け下部層まで達する大スケールの循環と、上部層のみを流れる小スケールの循環が形成すると力学的に推定される。前者の熱水は高温で硬石膏成分に乏しく、後者の熱水は低温で硬石膏に富んでいるから、2種類の循環による2種類の熱水が混合すれば、硬石膏は沈殿する。

本研究では以上の状況を想定した上、簡単のため、下部層を通ってくる大スケール循環の上昇流域のみ、すなわち熱源の直上の領域について2次元の流体力学計算を行なう。大スケール循環の下降域は低温海水の水柱と仮定した。地殻内の浸透率構造は2層とし、また、鉱物は硬石膏成分単一とした。

計算領域の上部は海底とし、ここには海底深での静水圧がかかるとする。計算領域の下部は熱源直上である。この面には大スケール循環の水が流入するのであるから、この圧力は、大スケール循環の下降域による静水圧+海底の静水圧がかかるとする。つまり流体は、両面の圧力差で駆動される。このような系では、計算の結果として、海底や熱源直上から流体が流入するか流出するかが決まる。本研究では、計算領域の下部から流入する流体は、高温で硬石膏成分に欠乏した熱水とし、計算領域上部から流入する流体は、低温で硬石膏成分に富む水(海水に相当)とした。

Results and Discussion

解は非定常であるが、統計的に定常である。計算の結果、地殻内部の浸透率が急に変化する場所に硬石膏の不透水層が形成することが分かった。この層が、熱水循環を高温の循環と低温の循環に分ける。ここで低温の循環とは、上部の浸透率が大きい層内のみを流れる循環で、硬石膏成分に富む海水が循環しているものである。低温の循環はほぼ定常に保たれるが、ある時間スケールで不安定を起こす。高温の循環とは、高温で硬石膏成分に乏しい熱水が領域下部から上昇し、不透水層の下部に沿って噴出するものである。この流れは、下部層は一様流だが、上部層では集中した流れとなる。2種類の循環は硬石膏の不透水層に遮られ、ほぼ混じることなく海底から噴出する。

計算を詳しく見ると、硬石膏の不透水層は2つのステージを繰り返しながら成長することが分かった。1)ほとんどの時間では対流は定常である。このとき、低温循環と高温循環の境界で硬石膏の層が非常に遅い時間スケール、たとえば千年程度で成長する。これは、層の原料である海水中の硬石膏成分が微量であることによる。2)低温の熱水循環がある時間スケール、たとえば数百年で不安定になる。このとき高温の熱水循環の流体は、硬石膏の層の一部を突き破り低温の熱水循環に侵入し、海水に達する。

本研究では、硬石膏の不透水層が、低温の熱水循環と高温の熱水循環の間に安定に存在できることを示した。この構造は水曜海山で推定された不透水層の配置と似ており、水曜海山の構造は本研究で示したプロセスで形成された可能性をもつ。他方本研究では、不透水層の形成には長い時間が必要であることを示した。水曜海山の熱水系の循環構造は、長い時間を経て発達して来たことが考えられる。