

## 間隙水測定から推定される湧水様式と水の起源

土岐 知弘(琉大理)

海底湧水現象は、世界中の沿岸域やプレート境界を中心に観測、あるいはその活動が提唱されてきている。日本周辺の海底においても、いくつもの湧水が報告されてきている。「観測」できるほど湧き出している湧水は、利尻島沖の海底や富山湾内沿岸の海底、沖縄本島南部などに見られるが、それらはいわゆるSGD (Submarine Groundwater Discharge) と呼ばれる「海底地下水湧出」現象であって、あくまでも地下水ポテンシャルに支配された比較的沿岸に限られた現象である。一方、南海トラフや佐渡沖の海底には海底湧水が「提唱」されており、実際に海底面に「観測」できるものとしてはシロウリガイやチューブワーム、バクテリアマットといった化学合成生物群集であり、最終的には潜水艇による柱状採泥を経て、間隙水の化学分析を行った結果を根拠として湧水の活動が「提唱」されると言った方がよい。

湧水活動の「提唱」を裏付ける化学的な根拠としては、化学合成生物群集の存在と表裏一体のことではあるが、間隙水中のメタン濃度が高く、硫酸還元反応が極めて表層で活発に起きており、その結果として化学合成生物群集のエネルギー源となる硫化水素濃度が高いことが挙げられる。こういった化学組成を説明するためには、海底表層には本来ほとんど分布していないメタンが、海底下の浅層や深部から海底表層に供給されていることが必要条件として考えられ、その媒介として流体の上昇、すなわち湧水の存在が示唆されるという考え方である。ただし、これだけではいまだに湧水様式を論ずることはできない。メタンや硫化水素濃度が高いといった化学的特徴だけでは、定常的に移流が存在するのか、あるいはイベントとして爆発的に噴出したものであるのか区別できない。さらには、湧水とは関係なく有機物の豊富な場所であるだけでも、これらの化学成分の分布を説明することができる。なぜなら、これらの化学成分が、海底下の浅い層であればどこでも起こりうる「初期続成過程」と呼ばれる有機物の分解過程に関わっているからである。

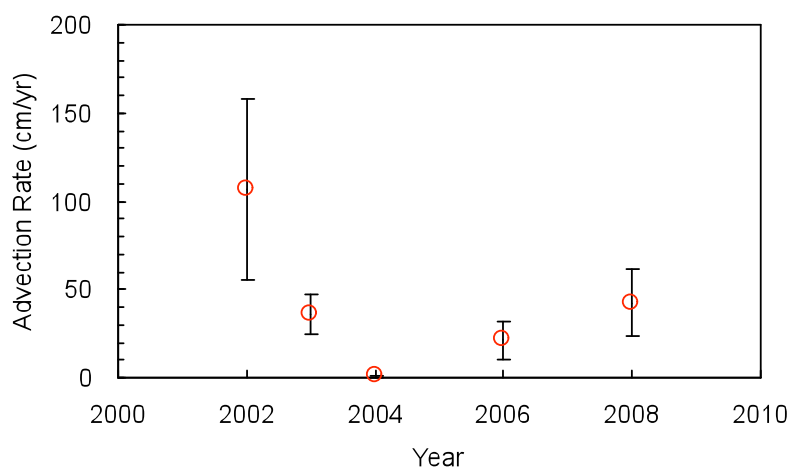
湧水の輸送様式をよりよく見定めるためには、初期続成過程に関わらない化学成分で、湧水によって輸送されているだけの化学成分に注目すべきである。このような化学成分のひとつとして、塩化物イオンが挙げられる。しかし、間隙水中の塩化物イオン濃度に異常がなければ、やはり湧水の様式を議論することはできない。つまり、塩化物イオン濃度の異常が検出された上で、その鉛直分布を見ることによって、はじめて拡散が支配的な輸送様式であるか、移流が起きているのか、水平方向からの流入の可能性があるか、などを議論することができる。間隙水の塩化物イオン濃度の異常は、南海トラフであれば、大峰リッジ、第二渥美海丘、竜洋海底谷、熊野泥火山群などで観測されており、鉛直分布が下に凸で滑らかな曲線であることから、微弱な移流が起きていることが示唆される。さらに、定常状態を仮定することにより、移流速度を推定することも可能となる。

たとえば、大峰リッジであれば、2002年以降断続的に観測を行ってきているが、下図のような移流速度の変動を示している。ただし、これらの間隙水は同じ場所で採り続けたわけではなく、湧水現象は極めて局所的に多様性を示すことが知られている。つまり、本データを見ただけで、各年の湧水の活動度を評価するのは拙速であるが、同

年に採取した間隙水から得られた移流速度の標準偏差を考慮して見ると、観測開始以来2002年をピークとして湧水活動が減衰している可能性が指摘される。実際には、こういった経年変化と地震イベントとの関連を追及するためには、モニタリングをする必要がある。特に、湧水のもっとも活発な場所は、海底直下において炭酸塩が形成されていたり、底質に砂や礫が卓越していたりするために、間隙水を採取することが困難なこともある。その点、CAT-meterと呼ばれる観測装置は、底質によらず水の流れを見ることができるという点では優れた装置と言える。ただし、最終的に地震イベントとの因果関係を議論するためには、化学分析は必要不可欠である。

こういった地震イベントと湧水活動の因果関係を追及する上で、鍵となるのは湧水の化学成分の中でも、海底下深部の起源でしか説明のできない化学成分である。コスタリカの沈み込み帯では、陸側地殻の断層に分布するリチウムやホウ素の化学組成および同位体組成が深部起源であることが示された。さらに、近年ヘリウム同位体においても、海底下深部からの供給が見られたという報告がなされており、沈み込み帯としては画期的な知見である。その点、これまで一定の知見を与えてきたメタンの炭素同位体比やメタンとエタンの存在比は、表層において微生物が行うメタン生成によって情報が上書きされることから、泥火山群のように相当量の供給がなされている場合以外は深部情報を読み取れない可能性がある。しかし、リチウムやホウ素に関しては、高温では反応性が高いにも関わらず、低温での反応が乏しいことから、深部情報を読み取るには大変有用であると言える。

深部というよりもより遠くの情報を読み取るために、反応性の極めて乏しい化学成分である塩化物イオンおよび水の酸素・水素同位体を用いて、湧水の起源を推定する試みも行われてきている。たとえば、南海トラフにおいても観測されている低い塩化物イオン濃度の湧水の起源については、「地下水」に似た同位体組成の供給源、海底下深部で起こる粘土鉱物の脱水起源の流体源、さらにはメタンハイドレートの崩壊起源の流体の影響も見られている。ただし、IODPによる浅層掘削の結果、南海トラフ付加体浅層の間隙水は、地下水に似ている同位体組成を持つことが示されている。今後、室内実験やモデル計算なども合わせて、こういった同位体組成の間隙水の分布について検討してゆく必要があるだろう。



間隙水中の塩化物イオンの鉛直分布から推定される移流速度

※YK02-02, YK03-03, YK06-03およびYK08-04航海で採取されたMBARIコア、  
ならびにKY04-11航海で採取されたピストンコアの結果に基づいている。