



# 深海底における水-鉱物-生命の関わりを探る

## 熱水噴出孔の電気化学

石井陽祐 Yosuke ISHII

深海の熱水噴出孔には、地球内部から放出される化学エネルギーを利用して生活する特異な生物が存在する。近年の宇宙探査によって、地球の熱水噴出孔と類似した環境が地球外にも存在することがわかってきた。地球外生命体の探索に向けて、熱水噴出孔の地球化学とそこに暮らす生物の化学が注目されている。本稿では、熱水噴出孔における水-鉱物-生命の密接な関わりについて紹介する。

### はじめに

「地球の生命はどのように誕生したのか?」、「地球以外にも生命は存在するのか?」これらは誰もが一度は抱いたことのある疑問にちがいない。宇宙探査機を用いた調査によって、太陽系の惑星・衛星についての理解が急速に深まっている。例えば、木星の衛星「エウロパ」や土星の衛星「エンケラドス」からは、膨大な量の水(海)が存在していることを示すデータが得られている<sup>1,2)</sup>。地球上のすべての生物に欠かすことのできない「水」の発見は地球外生命体の探索に向けた大きな前進であり、インパクトの大きなものである。

これらの衛星の調査で、最近特に注目されているキーワードが「熱水活動」である。エンケラドスで大規模な熱水活動が観測されたことが、2017年の *Science* 誌に掲載された<sup>3)</sup>。2018年にはエウロパでも熱水活動が確認され、*Nature Astronomy* 誌で報告されている<sup>4)</sup>。有力な科学誌に立て続けに論文が掲載されていることから、このテーマに対する関心の高さがうかがえる。なぜ熱水活動が注目されているのだろうか? 本稿では地球の熱水活動にフォーカスし、そこに存在する地球化学反応に依存した特異な生態系を紹介する。

いしい・ようすけ  
名古屋工業大学大学院工学研究科生命・応用化学専攻 助教  
〔経歴〕2014年名古屋工業大学大学院工学研究科物質工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。名古屋大学工学研究科研究員を経て、15年1月より現職。〔専門〕電気化学、炭素材料科学。〔趣味〕写真撮影、旅行。  
E-mail: ishii.yosuke@nitech.ac.jp



### 熱水噴出孔とは

熱水活動は、地球の深海にも見られる自然現象である。地熱活動の活発な地域の海底には、300℃を超える高温の水(熱水)が連続的に放出される場所がある。これは熱水噴出孔とよばれ、2000~4000 mの水深で多く見られる。深海には高い水圧がかかっているため、水は100℃を超える温度でも沸騰しない。

熱水噴出孔が存在する深海は太陽光の届かない暗黒の世界であり、生物はほとんど存在しない。しかし、熱水噴出孔の周囲は例外で、化学合成生物とよばれるユニークな生物が数多く生息している。深海の熱水環境は、光合成生物が誕生する以前の地球に近いものであると考えられており、生命の起源や進化を探る研究者たちの注目を集めている。

熱水噴出のメカニズムを図1に示す。熱水噴出孔が存在する深さの海水の温度は、通常2~4℃程度であ

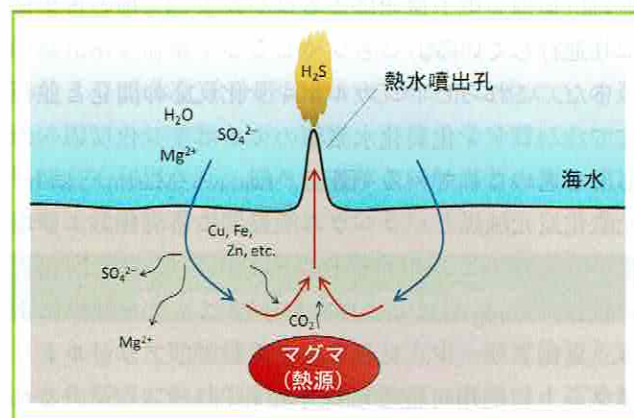


図1 深海底における熱水噴出のメカニズム



る。この海水が断層などの隙間を通過して地下数 km まで浸透すると、地下のマグマだまりによって 350 °C 前後まで加熱される。加熱された海水は密度が小さくなり、浮力を得る。浮力によって上昇した熱水はやがて海底面に到達し、熱水噴出孔を通過して海水中へ放出される。放出された熱水は周囲の海水によって冷却され、元の水温にもどる。つまり、地下を経由した大規模な海水循環が起きていることになる。

### 熱水噴出孔を利用した生物のエネルギー生産

化学合成生物は、熱水噴出孔から放出される化学エネルギーを利用して生活している。熱水噴出孔から湧き出す水の組成は、周囲の海水と大きく異なる。地下では海水と岩石の化学反応が起きているからである。この反応によって、 $O_2$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  の濃度が減少し、Fe、Cu、Zn、Pb などの濃度は上昇する。さらに熱水には、マグマから放出される揮発性成分 ( $H_2S$ 、 $HCl$ 、 $CH_4$ 、 $H_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  など) も溶け込む。このような変化を経ることで、熱水噴出孔から湧き出す水は、周囲の海水よりも還元的なものとなっている。

化学合成生物は、熱水噴出孔から放出される還元性物質を酸化することで、生命活動に必要なエネルギーを得る。例えば、熱水噴出孔に生息するチューブワームやシロウリガイなどの化学合成生物は、熱水噴出孔から放出される  $H_2S$  を、 $S$  や  $H_2SO_4$  に酸化することによって、エネルギーを獲得している。

### 熱水噴出孔の電気化学

化学合成生物が熱水噴出孔から獲得できるエネルギーは、「酸化還元電位」という指標によって評価できる<sup>5)</sup>。これは、酸化還元反応のエネルギーを電圧に換算したもので、電気化学の分野で日常的に用いられているものである。様々な種類の化学反応について、酸化還元電位の値がデータベース化されている。

熱水噴出孔の電気化学的な解析にむけて、筆者が関心をもっているのは圧力の効果である。熱水噴出孔は数百気圧を超える超高压環境に存在するため、そこで生じる化学反応は常圧のものとは大きく異なる。この

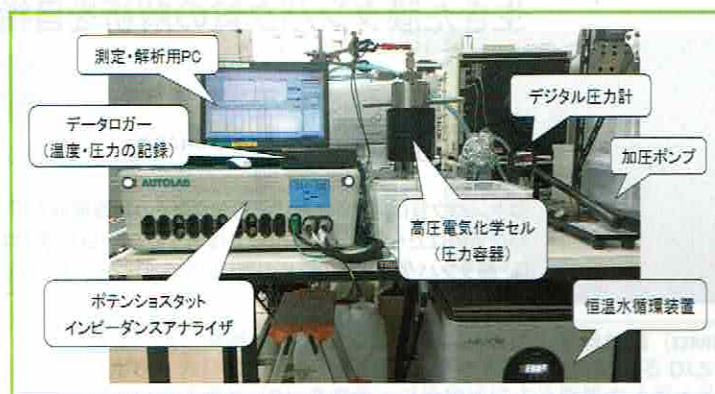


図2 筆者らが開発した高压環境電気化学測定システム

ため、深海の生命活動の議論をするときには常圧とは異なる値の酸化還元電位を使用しなくてはならないはずである。しかしながら、高压力下における電気化学測定は実験技術的に難しく、酸化還元電位に及ぼす圧力の影響は、ほとんど明らかになっていない。

電気化学反応に与える圧力の影響の解明を目指して、筆者らは最大 400 MPa (約 4000 気圧) までの圧力下で電気化学実験が行える独自の装置 (図 2) を開発し、研究を進めている。まずは反応メカニズムが詳しくわかっている電池電極系を対象とした基礎実験を行っており、酸化還元電位の値が圧力によって明瞭に変化する様子を観測することに成功した<sup>6)</sup>。

今後、この装置を用いた実験を熱水噴出孔の系にも展開し、深海の生命活動に与える圧力の影響を、電気化学の視点から明らかにしていきたいと考えている。

### おわりに

本稿では、深海の化学合成生物が、地球化学反応と密接に関係したユニークな生命活動を営んでいることを紹介した。熱水噴出孔の水-鉱物-生物のかかわりを理解することで、生命の起源や進化についての研究を加速させることができると期待している。

- 1) J. Anderson et al., *Science* **1998**, 281, 2019.
- 2) H. Hsu et al., *Nature* **2015**, 519, 207.
- 3) J. Waite et al., *Science* **2017**, 356, 155.
- 4) X. Jia et al., *Nature Astronomy* **2018**, 2, 459.
- 5) M. Yamamoto et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, 56, 5725.
- 6) Y. Ishii et al., Abstract of the 69<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry **2018**, S06a-122.

© 2019 The Chemical Society of Japan