

地球化学・地球生物学分野への分子イメージング手法の応用

豊福 高志¹⁾、小栗 一将¹⁾、Lennart Jan de Nooijer²⁾、野牧 秀隆¹⁾、土屋 正史¹⁾、北里 洋¹⁾

1) 海洋研究開発機構

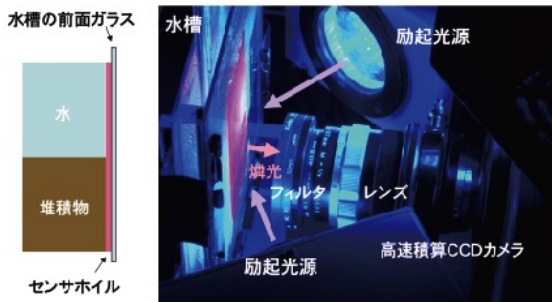
2) アルフレッドウェゲナー極地海洋研究所

分子イメージング技術の発達により、従来のセンシングでは不可能だった面的かつ時系列に高精度な、その場環境計測が可能となった。このような手法は、海洋での地球生物化学的現象を研究対象とする、地球化学・地球生物学の分野においても福音たり得る。本発表では、分子イメージング技術を応用した海洋観測の実例として(1)白金ポルフィリンおよびルテニウム錯体センサホイルを用いた深海底堆積物-水境界における溶存酸素量の長期観測機器の開発と観察(図 1、2、3¹⁾)、(2)ピレン系試薬(HPTS)を用いた海洋原生生物の細胞内環境計測を中心に、ユニークな分子イメージング技術の応用例を紹介する(図 4、5²⁾³⁾)。

参考文献

- 1) Oguri, K., Kitazato, H. and Glud, R.N. Platinum octaethylporphyrin based planar optodes combined with an UV-LED excitation light source: an ideal tool for high-resolution O₂ imaging in O₂ depleted environment. *Mar. Chem.*, 100, 95-106, 2006.
- 2) Toyofuku, T., L. J. de Nooijer, H. Yamamoto, and H. Kitazato, Real-time visualization of calcium ion activity in shallow benthic foraminifera. Cells using the fluorescent indicator Fluo-3 AM. *Geochemistry, Geophysics and Geosystematics*, Doi: 10.1029/2007GC001772, 2008.
- 3) De Nooijer, L.J., Toyofuku, T., Oguri, K., Nomaki, H., and Kitazato, H. Intracellular pH distribution in foraminifera determined by the fluorescent probe HPTS. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 6, 610-618, 2008.

酸素濃度を可視化する装置の開発



現場観測用の装置

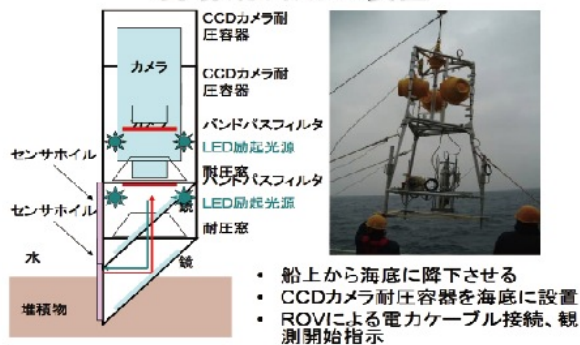


図1: 海底における親生物元素の分布や、その変動を調べることによって、海底の海洋、ひいては地球環境に対する役割を理解することができる

例えば海洋表層で生産される有機物は、マリンスノーとして沈降した後、海底でほとんどが分解される

有機物の生産量や地球の表面に対する海底の面積を考えれば、海底での有機物の好気分解（無機化）は、地球の炭素循環に少なからぬ貢献をしていると推測される

有機物の分解過程を知るためのセンサは未だに開発が進んでいないが、その代わりに酸素濃度や、二酸化炭素濃度は好気分解の指標となる

JAMSTEC では、蛍光寿命が変化する蛍光分子(PtOEP 等)を用いた二次元センサを開発し、深海で半自動的に計測できるシステムを開発し、深海底における現場観測を始めている

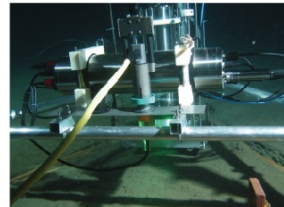


海洋調査船なつしま

コントロールルーム



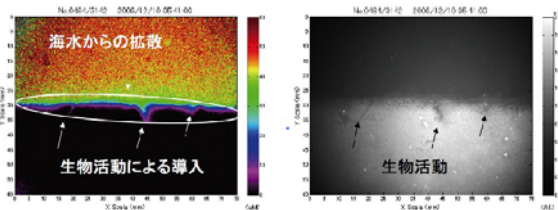
3000m級無人探査機「ハイパードルフィン」



深海に設置した観測装置

図 2: JAMSTEC の深海調査技術を生かし、観測システムを初島沖深海ステーションに接続して電力を受けることで、世界的にも例のない、深海における長時間の高時間分解連続観察が可能になった

海底への酸素の浸透: 拡散と生物活動による供給



- 拡散でもたらされる深さは、表面から約6mm。
- 活発な底生生物の活動。
- 底生生物活動によって、酸素は短時間のうちに、さらに深くまで供給される。

図 3: 本システムを活用することで、深海底における、非常にアクティブな生物の活動や、それに伴う酸素の挙動を詳細に観察することが出来た

たとえば、生物活動に伴う酸素の供給が予想以上に活発だったことが明らかになった

これは、従来の電極による、一点のみ、一度きりの測定では得られることができない、面的かつ時間的に分解能の高い化学環境計測ならではの結果である

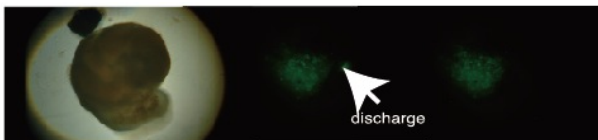


図 4: Fluo-3 を用いた、有孔虫細胞内のカルシウムイオンの分布

有孔虫は海底や海水中に生息する原生動物で、炭酸カルシウムの殻を作る

この殻は、化石として堆積物や地層内に残るため、地質学・古生物学・地球化学などの分野では、過去の海洋環境を化学成分として記録する「小さなタイムマシン」として広く利用されている
 その一方で、殻が作られるメカニズムについては解明されておらず、はっきりしない点も多い
 今回、Fluo-3 を用いた体内のカルシウムイオンの可視化によって、有孔虫は石灰化の際に海水からカルシウムを濃集する経路の一端が明らかになった
 この結果は、世界で初めて海産原生動物の細胞内におけるイオン分布を可視化した例である

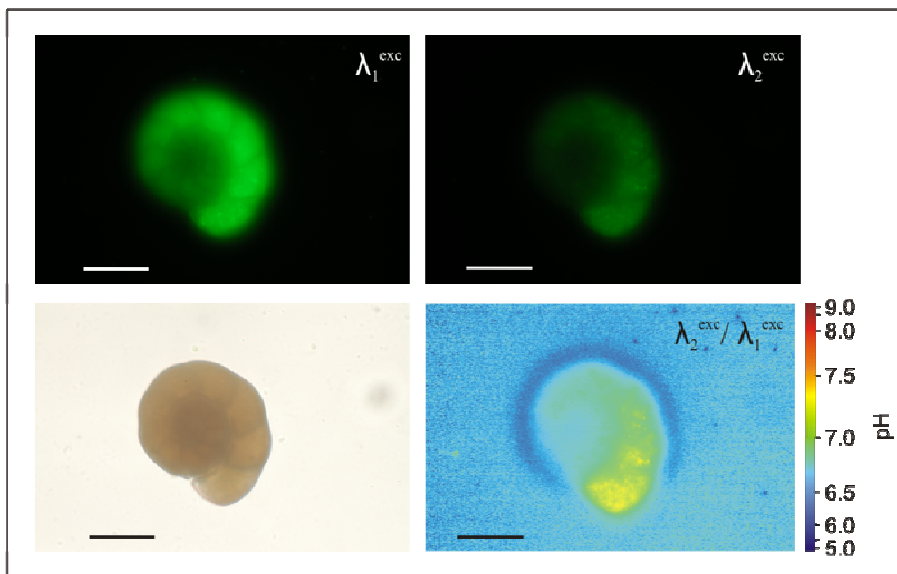


図 5: HPTS を用いた、有孔虫細胞内の pH 分布(スケールバー=μm)

pH によって蛍光強度が変化する指示薬(HPTS)を使い、有孔虫が殻を形成する時、細胞内の pH が変動する様子を可視化した

HPTS は 400nm と 460nm 付近にそれぞれ吸収帯を持ち、520nm の蛍光を発するが、pH によって、それぞれの波長で励起したときの蛍光強度が変化する

そのため、細胞内に HPTS を取り込ませ、蛍光強度比を測定することで、殻を通した細胞内の pH を可視化することができる

この結果から、殻が形成される場所だけで、周囲よりも pH が高くなっていることが明らかになった
 分子イメージングによって、従来推定されていた石灰化の過程を、実際に裏付けることができた