

海底熱水フィールドの蛍光観測法の開発

Development of the fluorescence observation method for seafloor hydrothermal fields

篠野雅彦、中島康晴、山本讓司(海上技術安全研究所)、
古島靖夫(海洋研究開発機構)

M. Sasano, Y. Nakajima and J. Yamamoto (National Maritime Research Institute)
Y. Furushima (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

Abstract

Seafloor hydrothermal deposits are expected to have high potential as mineral resources. A new in-situ observation technology is required to observe deep-sea organisms and minerals around hydrothermal fields. The authors have developed the observation system of fluorescent images using ultraviolet-light emitting diode (UV-LED) for in-situ observation of deep-sea organisms, and have developed the prototype of violet laser induced spectrometer system for laboratory observational experiment of minerals. An in-situ experiment was carried out at a depth of 990 m in Okinawa Trough, and the experimental results imply the features of fluorescent images would be characterized by biological species. This method would be useful for habitat mapping on seafloor hydrothermal fields.

1. はじめに

近年、日本近海の深海底に相次いで熱水フィールドが発見され、銅、鉛、亜鉛、金等の重金属やレアメタル等の鉱物資源として開発の期待が高まっている¹⁾。一方で、熱水フィールドには、太陽光に依存しない特異な深海生態系が存在しており、その詳細調査や、採掘に関する環境影響評価が求められている²⁾。現在、深海生物分布や鉱物分布の現場観測は、遠隔操作無人探査機 (ROV) に白色灯とビデオカメラを搭載し撮影する方法が一般的である。本研究では、深海生物・鉱物調査の効率化を目指し、白色灯の代わりに紫外線発光ダイオード (UV-LED) を用いた蛍光観測法の開発を行っている。また、紫色レーザー励起分光計による蛍光・ラマン光スペクトル観測の技術開発を進めている。

2. 深海生物の UV 励起蛍光撮影

深海底では昼夜を問わず太陽光が届かないため、光合成による一次生産者が存在しない。ただし、深海熱水フィールドでは、化学合成細菌を一次生産者とした特異で豊かな生態系が確認されている。このため、海底熱水鉱床の採掘には、周辺海域の生物群集の詳細調査、環境影響評価、及び、掘削前後の連続的な生態系モニタリングが必要である。しかし現状では、深海底の生物分布量を明確にするために、多大な調査時間と労力が必要である。熱水噴出孔付近の優占種であり、比較的大型のオハラエビ・ゴエモンコシオリエビ等については、ROV 搭載の白色灯およびビデオカメラの映像解析により、個体数分布を得ることができる。しかし、十分な映像分解能を得るためには、対象生物に接近して撮影する必要が生じる。これは広範囲の海底モニタリングを困難にする一因となる。また、バクテリアマット等の微小生物に関しては、分布調査のための有効な現場観測手法が存在しない。一方で、深海生物には蛍光性を有するものが多い。そこで本研究では、より効率的な現場観測法の開発を目指し、深海調査に蛍光観測法を適用した。

まず事前調査として、地上で水槽飼育されている深海生物に UV-LED 灯 (中心波長 375 nm、半値全幅 10 nm) 照射による蛍光撮影を行い、白色光照射時の画像と比較した。Fig. 1 に示すように、オハラエビは内臓部が赤色の蛍光を示し、ユノハナガニは体表面の剛毛が黄緑色の蛍光を示した。これはそれぞれに共生している細菌の種類が異なることに起因する可能性がある。Fig.1 の比較により、蛍光撮影の方が、対象生物と背景とのコントラストが高まること、照明による陰影が軽減し個体の輪郭が明瞭化すること、蛍光色や蛍光部位が生物種によって異なること等が確認できる。これらのことから、深海底においても、蛍光撮影により対象生物の特定が容易になると期待できる。



(1) Hydrothermal vent shrimp (*Alvinocaris longirostris*)



(2) Yunohana crab (*Gandalfus yunohana*)

Fig.1 Comparison of photo images (left) and fluorescent images (right) of deep-sea organisms (1) Hydrothermal vent shrimp and (2) Yunohana crab in aquarium. The photo images were obtained with a white light while the fluorescent images were obtained with a UV-LED light (peak wavelength 375 nm, FWHM 10 nm).

次に深海用 UV-LED 灯 (中心波長 385 nm、半値全幅 10 nm、放射束 15 W、耐圧 3,000 m) を製作し、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 所有の ROV 「ハイパードルフィン」 に搭載して、沖縄トラフ伊平屋北熱水フィールドの水深約 990m の深海生物群集に照射した。この照射領域について、ハイパードルフィン搭載水中カメラで撮影し、蛍光イメージを取得した。観測実験の様子を Fig.2 に示す。また、得られた蛍光イメージの例を Fig.3 に示す。同じ UV 照射条件でも、ゴエモンコシオリエビ、オハラエビ、シンカイヒバリガイでそれぞれ蛍光強度、蛍光色、蛍光部位が異なることが確認できる。ただし、オハラエビの内臓の赤色蛍光はわずかに確認できるものの、飼育水槽のオハラエビの蛍光 (Fig.1 右上) ほど鮮明ではない。これは、飼育水槽実験と違って、実際の深海底観測では対象生物とカメラの間に数 m 程度の距離があり、その間に海水が存在するために、赤色蛍光が吸収され、光量が減衰したためと考えられる。

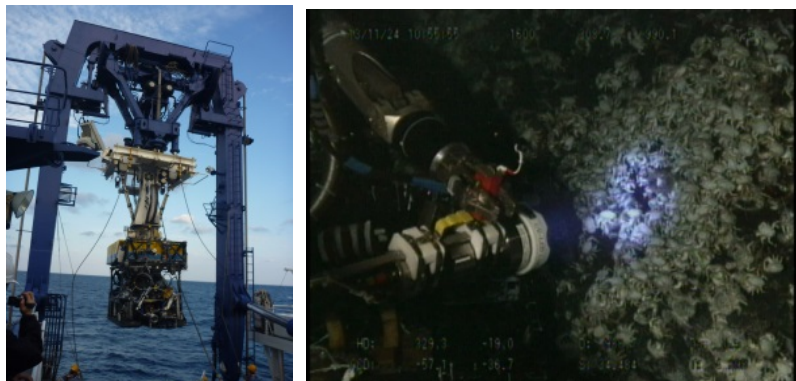


Fig.2 Overview of the ROV "Hyper-dolphin" (left) and in-situ fluorescent observation of deep-sea organisms (right) with UV-LED light.
(peak wavelength 385 nm, FWHM 10 nm)
(2013.Nov.24, Iheya north hydrothermal fields, Okinawa Trough)



Fig.3 UV-excited fluorescent images of deep-sea organisms.
 (upper-right) hydrothermal vent shrimps (*Alvinocaris longirostris*)
 with weak red fluorescence on internal organs
 (upper-left) deep-sea mussels (*Bathymodiolus platifrons*)
 with weak yellow-green fluorescence on the edge of the shells
 (lower) hydrothermal vent galatheid crabs (*Shinkaia crosnieri*)
 with blue-green fluorescence on the bristles

3. 深海生物・鉱物の紫色レーザー励起分光スペクトル観測

深海生物は蛍光性を示すものが多く、その蛍光色は分子構造に依存するため、生物種や部位によって異なるスペクトルを有する。従って、レーザー励起分光スペクトル観測を行うことで、生物蛍光の波長ピーク等、詳細な生物情報を得ることが期待できる。また、鉱物の中には、硫酸鉛鉱やマンガン方解石等、紫外線励起により蛍光発光することが知られている鉱物が存在する³⁾。このため、レーザー励起分光スペクトル観測は、蛍光性を持つ鉱物の分布調査にも役立つものと期待される。また、海水は励起光に対して水ラマン散乱を示す。水ラマン散乱光は、分光スペクトルのピークが鋭いため、蛍光との識別が可能である。

室内実験として、水道水で満たされた長さ 40 cm の水槽の中に石灰岩と玄武岩を設置し、Fig.4 に示す紫色レーザー励起分光計で観測を行った。この分光計の仕様を Table 1 に示す。使用したレーザーは波長 405 nm の CW レーザーで、拡がり角を 2~3 mrad に調整しており、最終的な深海用レーザー励起分光計ではこのレーザーを 2 本使用する予定である。この時の分光スペクトル観測例を Fig.5 に示す。石灰岩の観測では、岩石蛍光と水ラマン散乱光の両方が確認できるのに対し、玄武岩の観測では、水ラマン散乱光のみを確認することができる。また、波長 405 nm 用ノッチフィルターの影響により、スペクトル上に弾性散乱光のもれ光や、550~700 nm の波長領域に波状のスペクトル形状が見られるが、波長 407 nm 用シャープカットフィルタに交換することで、これらの影響を回避することを予定している。



Fig.4 The prototype of the CW violet laser induced spectrometer.

Table 1 Specifications of the violet laser induced spectrometer for laboratory experiment.

Laser	Wavelength	405	nm
	Intensity	0.5	W
	Spread angle	2~3	mrاد
Correction Mirror	Diameter	110	mm
	F ratio	9.4	
Optical Fiber	Core diameter	400	um
Optical Notch Filter	Blocking wavelength	405	nm
	Optical depth	4	
Spectrometer	Observational range	400~700	nm
	Spectral resolution	1.77	nm

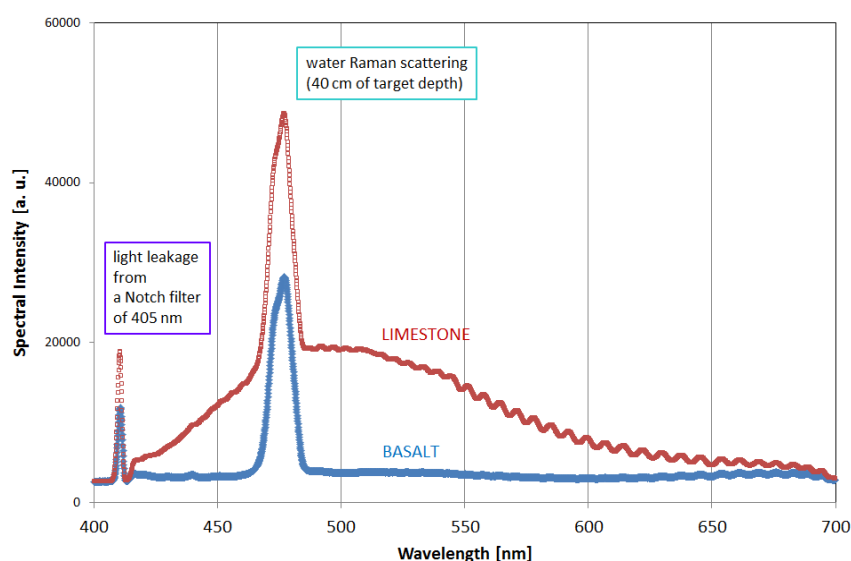


Fig.5 Violet laser induced spectra of limestone and basalt in water.
The spectrometer system was settled at 5 m from targets,
where the path-length in water was 40 cm.

4. まとめと今後の展望

海底熱水鉱床周辺の深海生物分布と鉱物分布の調査のための現場観測技術として、UV-LED（中心波長 385 nm）を励起光とする蛍光撮影法の開発を進め、深海生物群集の現場蛍光撮影に成功した。今後、深海生物種による蛍光の違いを解析する予定である。また、紫色レーザー（波長 405 nm）を励起光とする分光計測法の開発を進めた。今後、深海用のレーザー励起分光計を製作し、日本近海の海底熱水フィールドで観測を行って、これらの観測法の有効性を確認する予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24360365 の助成を受けたものです。また、海洋研究開発機構なつしま調査研究航海において、首席研究者のブレア博士には深海での調査の機会を賜った。船上での調査に関しては、ハイパードルフィンチームの皆さま、なつしま乗組員の方々の協力を賜った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「海底熱水鉱床の平成 21 年度の取り組み成果」、JOGMEC 金属資源レポート vol.40 no.3 (2010) 11-19.
- 2) 「海と地球の研究 5 ヶ年指針」、JAMSTEC、http://www.jamstec.go.jp/maritec/j/public_offering/sisin/
- 3) 「鉱物/無機材料のラマンスペクトル・データベース」、(独) 産業技術総合研究所、http://riodb.ibase.aist.go.jp/rasmin/index_list.html