

紫色レーザーを用いた深海生物・鉱物調査技術の開発

Development of the survey technology for deep-sea organisms and minerals using violet laser

篠野雅彦、中島康晴、山本譲司(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

Sea-floor 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 vents. The authors propose to employ fluorescence imaging with violet laser on deep-sea organisms, and violet laser-induced fluorescence and Raman spectroscopy on deep-sea organisms and minerals for the in-situ observation. These methods would be useful for habitat mapping and mineral mapping on sea-floor.

1. はじめに

近年、日本近海に相次いで海底熱水鉱床が発見され、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、海底熱水噴出孔周辺には、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等が求められている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) に白色灯と可視域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標とし、白色光の代わりに紫色レーザーを用いる蛍光撮影法、および紫色レーザー励起による蛍光・ラマン分光法の、深海生物分布調査や鉱物分布調査への適用の有効性を検討している。

2. 深海生物の紫色レーザー励起蛍光イメージ

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、深海熱水活動域では、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おり、生物学の分野からも注目を集めている。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は、大変な調査時間と労力を要する。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 搭載ビデオカメラの映像により、個体数分布を得ることができる。しかし、個体確認が可能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。そこで本研究では、より効率的な観測法の開発を目指し、深海調査への紫色 CW レーザー (波長 405 nm) の適用を検討した。まず、このレーザーを拡がり角約 350 mrad で励起光源として使用し、海洋研究開発機構及び新江ノ島水族館で飼育されている深海生物の蛍光撮影を行った。Fig. 1 に示すように、熱水噴出孔付近の優占種であるオハラエビは体内の内臓部が赤色の蛍光を示し、ゴエモンコシオリエビ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。また、Fig.2 に示すように、熱水活動域にはあまり分布していない大型深海生物であるダイオウグソクムシやタカアシガニ等についても、関節部や鰭の縁が黄緑色の蛍光を示した。生物蛍光画像は、対象物と背景とのコントラストが高まること、及び対象物の蛍光色や蛍光パターンが固有であることから、対象物と距離があり画像の解像度が落ちて、対象物を特定しやすいという特徴がある。



Fig.1 Fluorescence photographs of an *Alvinocaris longirostris* (left) and a *Shinkaia crosnieri* (right) illuminated by violet laser.



Fig.2 Fluorescence Photographs of a *Bathynomus giganteus* (left) and a *Macrocheira kaempferi* (right) illuminated by violet laser.

3. 試験水槽および浅海域における蛍光撮影実験

紫色レーザー励起蛍光撮影の観測可能距離を確認するため、水が清澄な試験水槽において観測距離を変化させて水中蛍光撮影実験を行った。観測対象として蛍光剤入りのプラスチック製疑似サンゴを約 70 cm×70 cm の範囲に 9 個配置し、防水ケースに収めた紫色 CW レーザー (500 mW、350 mrad) 2 本とビデオカメラ (CANON iVis HF M32) を用いて、観測距離を変えながら得た蛍光画像を Fig. 3 に示す。この図から、距離が増えるほど蛍光画像のコントラストは落ちていくが、水が清澄な場合では、距離 10 m 以上の蛍光撮影でも対象物を確認できることが確認できる。

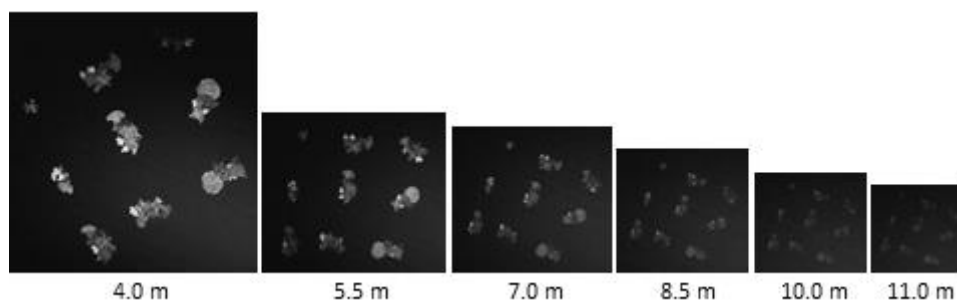


Fig.3 Violet laser induced fluorescent images of pseudo coral targets made from plastic with fluorescent agent.

The observation distances are from 4.0 m to 11.0 m in 1.5m increments.

また、小型 ROV を用いて、人が潜水調査することが技術的に難しい水深 40m の海底について、紫色レーザー励起蛍光観測の実験を行った。観測場所は沖縄県瀬底島の北側海域、観測対象は、薄光層の造礁サンゴ、観測時間は日中晴天時である。このときに用いた小型 ROV の写真と、得られた蛍光画像を Fig.4 に示す。この水深では、まだ太陽光の影響が強く、広い範囲において十分なコントラストの蛍光画像を得ることは困難であったが、対象物に接近することで紫色レーザー励起蛍光画像を

得ることはできた。

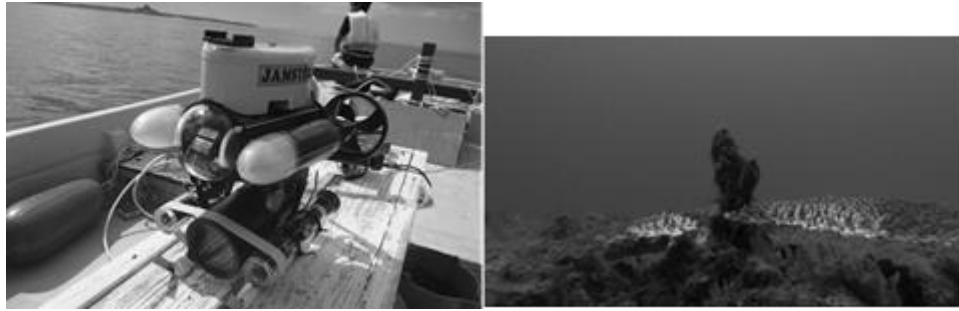


Fig.4 A photograph of a small ROV with two violet lasers operated in the north area of Sesoko island, Okinawa (left), and a violet laser induced fluorescence photograph of reef-building corals at 40 m depth (right).

4. 室内における鉱物蛍光・ラマン光観測実験

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。このため、紫色レーザー照射による蛍光撮影は、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、励起光に対して蛍光を示さない鉱物でも、ラマン散乱光を示す場合がある³⁾。ラマン散乱光は、一般的に蛍光よりも強度は弱いですが、分光スペクトルのピークが鋭いため、分光器でスペクトル観測すれば蛍光とラマン散乱光の分離は可能である。また、ラマン散乱光は散乱体により波長シフトが固有であるため、対象物の推定が可能である。例として、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、紫色レーザー励起分光計で観測した際の分光スペクトル観測例を Fig.5 に示す。石灰岩のレーザー励起蛍光と、水ラマン散乱光を確認することができる。

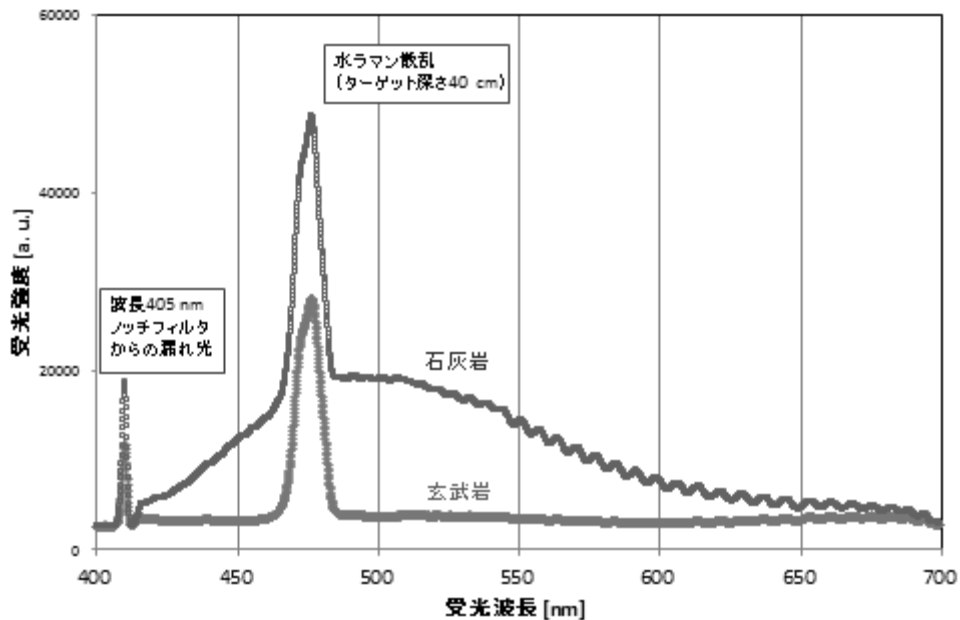


Fig.5 Violet laser induced spectra of limestone (up) and basalt (down) in the fish tank with tap-water of 40 cm path-length, and the observation system is 5 m distance from targets.

5. 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、紫色レーザー（波長 405 nm）を励起光とする蛍光撮影法および蛍光・ラマン分光法の開発を進めた。今後、日本近海の海底熱水鉱床において蛍光観測実験を行い、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、水槽飼育深海生物の撮影では、新江ノ島水族館に多大なご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

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