



## 《第53回》 レーザー光を用いた海中化学モニタリング技術の開発

高橋 朋子

### 1. きっかけ

——海は月よりよっぽど近いのに未知のことがよっぽど多い——大学4年生の授業で聞いた言葉が筆者の研究の始まりである。水と圧力に阻まれ光の届かない未知の世界だからこそ探査技術が重要だ、という話に引き込まれ、卒業研究のテーマを選んだ。研究室に配属されて間もなく参加した初めての研究航海で、トラックほどの大きな遠隔操縦ロボット (Remotely Operated Vehicle; ROV) を海に投入し、1000 m もの深海でもくもくと煙を出す海底熱水鉱床や、その周りに群がる真っ白なエビやびしりと岩を覆うカイの群集のリアルタイム映像を見たときは、鳥肌が立った。そのときから今まで、筆者の研究の原動力は心動かされる「わくわく」である。

### 2. 学生時代の研究

学生時代の研究は、レーザー分光を使った海中現場型の岩石元素分析技術の開発がテーマであった。海底岩石は、地質調査ではもちろん、先の熱水鉱床のような場所は鉱物資源としてのポテンシャルが高く、岩石組成を知ることが重要である。そのためには、サンプリングによる分析を行う必要があるが、海でのサンプリングになると途端にハードルがあがる。まず船でサンプリング地点の海域に行き、海底で岩石を取れるサンプラーやROVを投入する。こういった装置の運用には多大なコストと人手が必要な上、一度に船上にもち帰れる量に限りがあるため、広い調査域をカバーするにはなかなか時間がかかる。そこで、現場型のセンサでリアルタイムにスクリーニングができれば、サンプリングしたい場所をピンポイントに絞ることができたり、広いエリアの岩石組成を細かい間隔で調べたりできる。そこで、レーザー誘起破壊分光分析 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy; LIBS) という、強力なレー

ザーを励起光としてターゲット中の元素由来の発光を見る方法を応用して現場型元素分析センサを作ろう、というのがプロジェクトのモチベーションであった。LIBS技術は、同じようにサンプルのもち帰り数に制限がある(海よりもずっと難しい!) 火星探査でも使われていて、リモートセンシングと相性がよい。ただし、水の中で元素由来の発光を起こすのが難しい、定量精度が悪いなど、課題がたくさんあった。プロジェクトを進める中で研究室のグループにとどまらず、元素発光のメカニズムを研究している物理研究者、海底鉱物研究者など、多岐にわたる研究者の方々とディスカッションをしたりラボに行って実験を一緒にしたりする機会が多くあり、新しい知識を学ぶのに必死だったが、その分野の第一線の研究を肌で感じる事ができるのが新鮮だった。一つ一つ課題をクリアしていき、ついに装置を深海で動かし、海底熱水鉱床で金属元素を現場検出できたときの喜びはひとしおだった(図1が海底での装置運用試験のようす)。実は研究を始めたときは研究者になりたいと明確に思っていたわけではないが、運

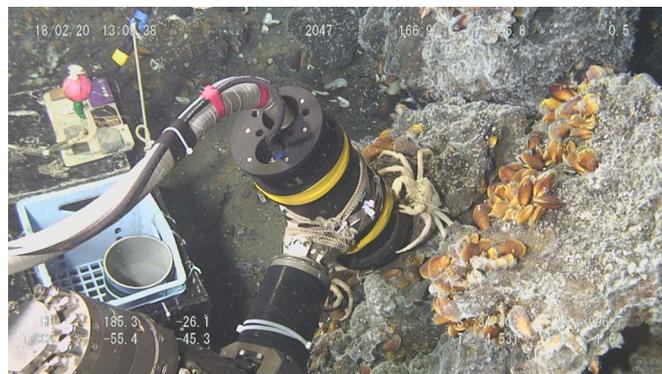


図1 海底 1000 m の熱水鉱床での LIBS 装置運用試験 (© JAMSTEC)

用するとさらに課題が出てきて、それを解決して……と積み重ねて技術がブラッシュアップされるプロセスが面白く、いつの間にかこの道を進もうと思うようになった。

### 3. 在外研究

博士卒業後は、近年警鐘が声高になっているマイクロプラスチックなどの浮遊粒子を海中現場でモニタリングする手法の開発に携わり、一つのレーザーを共通光源として、画像と化学分析両方できる手法を共同研究で考案した。ホログラフィという画像撮影法により海中浮遊粒子の代表格であるプランクトンの分析が以前より行われているが<sup>1)</sup>、さらに分子発光分析手法であるラマン分光分析を同じセットアップに組み合わせて、形だけでは判別しにくいマイクロプラスチックなども判別できるようにしよう、という手法である<sup>2)</sup>。このプロジェクトの一環で今も海中現場型モニタリングデバイスとして開発を進めているのだが、ラマン分光分析では原理的に数百  $\mu\text{m}$  より小さい粒子を測定することが難しい。この数百  $\mu\text{m}$  未満というのはサンプリング調査でも一つの壁で、粒子を捕集するためのネットの目があまり小さいとすぐに目詰まりしてしまうので、多くの場合 100  $\mu\text{m}$  以上の目のネットを使ってサンプリング調査をしている。そこで、ラマン分光分析をさらに進化させた、コヒーレント反ストークスラマン散乱分析 (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering; CARS) という分析方法が生命医学・化学分野で発展していて、サブミクロンスケールでの細胞中化合物化学マッピングなどに応用されているのを知り、その分野を牽引しているイギリス・サウサンプトン大学の研究室に1年滞在するチャンスを得た。研究グループはがんなどの病気を細胞レベルで初期検知することを主な応用分野としつつも先進的なフォトンクス技術の開発にも注力していて、光学設計から応用分野まで幅広いバックグラウンドをもつ研究者・学生が在籍する。全く分野の異なる私を歓迎してくれ、マイクロプラスチックや粒子の測定に最適な条件やセットアップを一緒に検討してくれた。サウサンプトン大学でとにかく驚いたのが、個々の研究室の垣根が低いことである。研究室単位での居室や実験室はなく、学部内のほかのグループと共有して開かれた研究空間として、教授・学生同士が日々の交流から研究の意見交換まで自由かつ活発に行っている。また、サウサンプトン大学周辺には連携研究機関である大学病院や National Oceanography Centre Southampton (NOCS) があり、学部、組織の垣根も超えて研究者が密に連携している。ホストの教授や研究室メンバーは、必要に応じほかのグループや組織の研究者をつぎつぎに紹介しながら

ら、分析の知識やノウハウを提供してくれた。これまで専門家を探しては訪ねに行っていたが、望めば簡単にアクセスできる環境が整っているのである。滞在中は学生時代に戻ったように、新たな知識を吸収できることにわくわくし、研究ネットワークもどんどん広がっていった。数十  $\mu\text{m}$  のマイクロプラスチックやプランクトンを水流の中で連続モニタリング検出・区別する画期的な成果を収めることができ<sup>3)</sup>、現在もこのネットワークを基盤に、生物内のマイクロプラスチックマッピングという新しい研究テーマも加わり、年に数か月現地に滞在してイギリスとの国際共同研究を継続している。

### 4. さいごに

海の探査技術の開発では、現場観測が重要なターゲットを見極め、その性質にあった測定手法を見つけたり考案したりして応用することが重要であり、それが未知の海の解明に一步つながる。ターゲットなり手法なり、その分野の最先端の研究者たちと協調して新しい知識を学びながら開発を進め、実際に運用に成功したときの達成感は何にも代えがたい。それでも海はまだまだ知らないことだらけだが、これからもセンシング技術を駆使して少しでも有用な情報を得て、海洋環境の把握の貢献に挑んでいきたい。

(2023年3月30日受付)

#### 参考文献

- 1) H. Sun, et al.: Underwater Digital Holography for Studies of Marine Plankton, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **366**–1871, 1789/1806 (2008)
- 2) T. Takahashi, et al.: Identification of Microplastics in a Large Water Volume by Integrated Holography and Raman Spectroscopy, *Appl. Opt.*, **59**–17, 5073/5078 (2020)
- 3) T. Takahashi, et al.: Selective Imaging of Microplastic and Organic Particles in Flow by Multimodal Coherent Anti-Stokes Raman Scattering and Two-Photon Excited Autofluorescence Analysis, *Anal. Chem.*, **93**–12, 5234/5240 (2021)

#### [著者紹介]

高橋朋子君

2017年東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻博士後期課程卒業。同年東京大学生産技術研究所特任助教、2019年国立研究開発法人海洋研究開発機構 Young Research Fellow、2022年同研究員、現在に至る。海中工学、特に分光分析の海洋化学センシング技術への応用の研究に従事(環境学博士)。

E-mail: takahas@jamstec.go.jp

所属：国立研究開発法人海洋研究開発機構 神奈川県横須賀市夏島町 2-15