

# 自律型 海中ロボット r2D4

東京大学浦研究室

海上の母船とつなぐケーブルが不要な無人潜水機。いったん潜航すれば、海中の広範囲を探索して浮上するまで、すべての行動はロボット自身の判断で行われる。東京大学が開発した最新鋭の自律型海中ロボットを北原逸美が取材した。

東京から南に400キロ、小笠原沖に「明神礁」とよばれる海底火山がある。2005年8月、東京大学の浦環教授（生産技術研究所海中工学研究センター長）らのグループは、明神礁を海中ロボットで探索し、金、銀、銅、亜鉛などの資源が期待される「熱水鉱床」の存在を示す証拠を発見した。

明神礁は1870年～1970年の100年間に11回の噴火を起こしている。1952年の噴火では、海上保安庁の第5海洋丸が遭難し、31人が犠牲となった。浦教授は「熱水鉱床があると予想されてはいたものの、噴火の危険性があり、またその周辺は黒潮の流れも速いため、これまで詳しい調査はむずかしかった」と語る。

浦教授らは、みずからが開発した自律型の海中ロボット「r2D4」を明神礁にある直径7キロのカルデラ内に潜らせ、6時間にわたって、水深1000メートルのカルデラ底から水深500メートルのカルデラ縁の間を往復させて調査。中央火口丘の西側斜面で、水中のマンガンイオン濃度の高い場所を見つけた。「この所見から、その近くに熱水鉱床のある可能性が高い」と東京大学の玉木賢策教授（研究航海首席研究員）は分析する。

## ポイントは全自動

r2D4は、2003年に建造された最新鋭の無人潜水機である。名前のrはridge system（海嶺）、2は開発番号、Dはdepth（深度）、4は最大潜航深度4000メートルを表している。大きさは、全長4.4メートル、幅1メートル、重さ1.6トン。外形は水から受ける抵抗を最小限にするため、細長い流線型をしている。最も重要な特長は、通常は通信や電力補給のために必要な、海上の母船からつながるケーブルがないことだ。このような無索無人型の潜水機を「AUV（Autonomous Underwater Vehicle）」とよぶ。

さらにr2D4の場合は、母船上からの遠隔操作もいっさい必要とせず、全自動ですべての調査が行えるように設計されている。事前にインプットされた緯度、経度、深度で示した潜航計画表にしたがって、海底の地形データや水温、pH、溶存酸素濃度、濁度、金属イオン濃度などの値を計測しながら航行する。周囲の海水環境と異なる地点に達すると、ロボット自身の判断で近づき、そこをより詳しく観測することもできる。母船にいるオペレーターは、音響通信装置によっ

てr2D4の位置を常にモニターしているが、たとえば急に海況が悪化して浮上せざるをえないなどの緊急時を除いては、指令を出すことはない。

「つまりロボットの位置だけは見ているが、あとは放ったらかしで、船に帰ってくるのを待つだけ」と浦教授は話す。これまで世界で実用化されたAUVには、ノルウェーの「Hugin」やアメリカの「ABE」などがあるが、海中で全自動の調査だけを行っているのはr2D4のみである。電力は内蔵されたリチウム電池でまかなわれ、1回で最大12時間、60キロの連続潜航が可能である。

AUVに対して、ケーブルをつないで母船から遠隔操作をする有索無人型の潜水機は「ROV（Remotely Operated Vehicle）」とよばれる。浦教授は「現在はROVが主流だが、今後はAUVの利用が進むだろう」と考えている。なぜなら、ROVは船上のケーブルを取り扱う装置（ケーブルウインチなど）が巨大で、作業も容易ではないからだ。それに、ケーブルが切れる事故が後を絶たない。

2003年5月、日本が世界に誇る1万メートル級のROV「かいこう」が、

高知県室戸岬沖の南海トラフで行方不明となる事故が発生した<sup>1</sup>。親機のランチャーと子機のビークルをつなぐ2次ケーブルが切れたことが原因であった。2004年には、中国の3500メートル級のROVも、やはりケーブルが切れて失われている。「ROVにとってケーブルは命綱だが、逆にそれが命取りになっている」と浦教授は指摘する。

### 海底熱水地帯の探査が目的

大学院で船舶工学を専攻した浦教授は、20数年前、「これからはロボットが活躍する時代が必ず来る。広い海の中を自由に動きまわられるロボットを作りたい」と考え、海中ロボットの研究をはじめたという。1989年に作製したPTEROA150は、ケーブルなしで海中を調査することに成功。続いて開発したR-Oneロボットは、2000年に伊東市沖の海底火山「手石海丘」に潜航し、水深90メートルの火口付近を全自動で観測することに成功した。そして、2001年からR-Twoプロジェクトがはじまり、建造されたのがr2D4である。

r2D4の大きな目的は、海底にある熱水地帯を広域的に調査することにある。熱水地帯とは、海洋地殻の割れ目からしみこんだ海水がマグマによってあたためられて熱水となり、上昇し、海底面から噴き出している場所のことである。煙突のような形をした熱水噴出孔（チムニー）から出る熱水には金属の硫化物がとけており、その地下には金、銀、銅、

亜鉛など経済価値の高い金属鉱床（熱水鉱床）が存在する可能性がある。また付近には、チューブワーム（環形動物）など珍しい生物が生息し、地球に初めて生命が誕生したときの環境に似ているのではないかと考えられている。

このような理由から、熱水地帯は地球科学者に注目され、これまで有人潜水艇やROVなどによって調査が行われてきたが、「カルデラなど複雑な地形の場所を探査するには、AUVが最も効率的だ」と玉木教授は主張する。今までに見つかった熱水噴出孔はまだ少なく、その中でも熱水鉱床を伴っているものはわずか1割にすぎない。しかし、明神礁のように日本領海の島弧海底火山には熱水鉱床が多くみられ、全世界の熱水鉱床の9割がそこに集中しているといわれている。

玉木教授は「どのような場所で熱水が噴出して、どのような条件下で金属が濃集するのかを調べて、熱水鉱床ができるメカニズムを明らかにしたい」と語る。その知見は、熱水鉱床の今後の探査戦略に役立てられ、資源の乏しい日本にとっての切り札となるかもしれない。

r2D4は2003年7月に駿河湾北部の海域に初潜航し、続いて日本海佐渡島両津沖の海底断層を観測した<sup>2</sup>。同年12月には、石垣島沖の「黒島海丘」で最大深度663メートルまで潜航し、詳細な地形データを取得した<sup>3</sup>。2004年、マリアナ諸島の1つロタ島沖の「ロタ海丘」を探索（最大深度1400メートル）<sup>4</sup>。マグマの活動が活発で危険度の高い海域でも安全に潜航し、崖など起伏に富んだ複雑な海底面で、熱水プルームや熱水の湧出などの観測に成功している。浦教授は「今後も、ロボットにより困難な課題を与えて、海中を探検させたい」という。そうすることが、さらに高性能なロボットの開発につながるからだ。来年以降、r2D4はマリアナ背弧海盆の熱水地帯やインド洋中央海嶺の探査にも挑戦する予定だ。

### AUV にかける夢

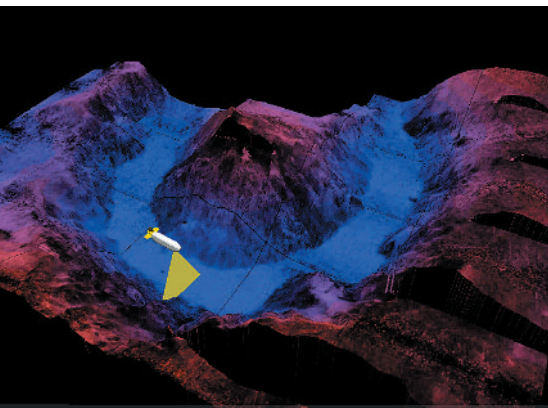
AUVは、従来の海底地形地図を大きく塗りかえる可能性を秘めている。これまで海底の地形データは、船から海中に下ろしたにケーブル付きセンサーを牽引することで計測されていた。この方法では船が揺れるたびに海中のセンサーも揺れてしまうため、精度の高い地図は作れなかった。しかし、ケーブルのないAUVは波の影響を受けなくてすむ。AUVに10センチの精度のセンサーを搭載すれば、陸と同じような精度の海底地図を作ることも夢ではなくなる。「正確な海底地図の実現は、海底地震や資源探査などの研究に革命をもたらすだろう。それはAUVにしかしないことだ」と玉木教授は語る。

海は広く、いまだ謎に満ちている。その海を詳細に調べるためには、どんな船でも運ぶことができ、毎日のように潜航させることのできる、小型で低コストのロボットが不可欠だ。浦教授は「r2D4の開発費用は3億円だったが、機能を単純化し、小型化して量産すれば製作費を数千万円におさえることができる。研究者が1人1台の海中ロボットを使って研究する時代もそう遠くはない」と期待する。

さらに、浦教授は潜水機だけでなく、それを運ぶ船を無人化することも考えている。研究者は陸上に残り、潜水機をのせた無人船だけを衛星通信による遠隔操作で観測地点まで赴かせ、全自動ですべての観測をさせる計画だ。安全性が高く、時間と労力を大幅に節約する「無人船とAUVの共同作業」は、海洋研究を大きく飛躍させることだろう。

北原逸美はNatureのローカル・コンテンツ・エディター。

1. Nature(news), 424, 120(2003)
2. 浦環ほか, 第15回海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集, 48-51(2003)
3. 浦環ほか, 第16回海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集, 16(2004)
4. 浦環・小原敬史, 月刊地球号外, No.51, 213-219(2005)



明神礁クレーターのマルチビーム画像とそこを潜るr2D4。