

科学の
峰々

63

と き：2011年4月19日
と ころ：東京科学機器協会会議室

東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センター教授・センター長

浦 環 先生 に聞く

自律型海中ロボット研究と 海底探査 ①

聞き手：佐藤 紀一 東京科学機器協会 副理事長／広報委員長
 藏満 邦弘 同 事務局長／編集長
 岡田 康弘 同 事務局／主任
 (取材・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)



浦 環先生のプロフィール

1972年 東京大学工学部船舶工学科卒業
 1974年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
 1977年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 工学博士
 1977年 東京大学生産技術研究所講師
 1978年 東京大学生産技術研究所助教授
 1992年 東京大学生産技術研究所教授
 1999年 東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センター長
 2007年 IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
 フェロー、東京大学機構海洋アライアンス機構長

〈賞〉

1日本造船学会賞(1979年、1994年、1997年)
 日本機械学会技術賞(1999年)
 IEEE/OES Distinguished Technical Achievement Award(2010) ほか

〈学会・学術関連〉

IEEE フェロー
 高等海難審判庁参審員
 内閣官房総合海洋政策本部参与
 日本船舶海洋工学会副会長 ほか

〈主な著書〉

『海中ロボット総覧』(成山堂書店)
 『海中ロボット』(成山堂書店)
 『海中技術一般』(成山堂書店)
 『大型タンカーの海難救助論』(成山堂書店)など

錨と海底の泥に関する研究から 海中ロボットの開発へ

— プロフィールを拝見すると、浦先生は大学では船舶工学を学ばれ、しばらくは船のご研究をされていたようですが、その後、どのようにして海中ロボットの研究を始められたのか、その経緯などからお話いただけますでしょうか。

浦 どうして海中ロボットの研究をやっているのかと、よく聞かれるのですが、ロボットの研究を始めたのは1984年のことでした。それまでは船の輸送の安全について研究をしていました。

私が大学に入学したころ、日本では造船が非常に盛んで、船は巨大化していき、事故も多く起こっていました。例えば、ほりばあ丸やかりふおるにあ丸という大型船が日本の近くで沈没しました。

私は卒業論文から貨物船の事故を扱っていました。鉄鉱石を積んだ船がどうして事故を起こすのかを研究し、船倉内の貨物の挙動を解析していたのです。その後、銅鉱石のような粉状の貨物（微粉精鉱とよばれます）が水分を多く含むと液状化して荷崩れし、大事故を起こす原因を研究していました。

また、船の錨の効き、海底の泥に関する研究もしていました。泥の中で錨が反転してしまい、錨が効かなくなって船が流されるのです。洞爺丸事故がその例で、錨が海底からすっぽ抜けたのです。

これらの研究はたいへんうまくいき、日本だけでなく、世界的にも高い評価を受けました。

錨の研究では実際に海へ行き、海底の泥の性質を調べていました。そのため道具も作っていました。そうした中、海中での作業を自動化できないかと考え始めていたのですが、あるとき、地震の研究者であり、地震予知連絡会の会長にもなられた浅田敏先生がやって来て、海中ロボットを作ってみなさいと言われたのです。

私はけっこう気が多いので、ロボットも面白そうかなと思い、海中ロボットの研究を始めることにしました。それまで、海底の泥と錨に関する世界的な権威にもなり、バラ積み貨物に関しても国際的な規則を作っていました。自分の中ではその2つは済んでいたのですが、ロボットという新しい研究を始めようという気持ちになったのです。

2000年になり海中ロボットが 世界から注目される

— 海中ロボットの研究に取り組み、研究は順調に進んでいったのでしょうか。



2007年に完成した自律型海中ロボット「ツナサンド」。1500mの深さまで潜ることができ、過酷な環境でも観測を行える

浦 1984年から海中ロボットの研究を始めましたが、海中ロボットのマーケットがあるわけでもなく、当初は興味を持ってくれる人はそれほど多くはありませんでした。

そんな海中ロボットに光が当たったのは2000年。世界的にも研究が進み、観測の成果が出たことによって、海中ロボットはブームになりました。

そこまで辿り着くのに長い時間はかかりましたが、その頃には私たちの研究は世界の海中ロボットを牽引するリーダー的存在になっていましたし、ロボットの研究は面白く、飽きることはありませんでした。

自律型のロボット研究から 鉄腕アトムが生まれる

— 浦先生が開発している海中ロボットの特徴は、どのような点にあるのでしょうか。

浦 私たちの海中ロボットの特徴は自律型であることで、それをAUV (Autonomous Underwater Vehicle)、自律型海中ロボットとよんでいます。



1999年に開発された自律型海中ロボット「トライドッグ1号」。狭い範囲での詳細な観測に用いられる

そもそもロボット学には2系統あり、1つは、コントロールやメカを研究している人たちが、モノを掴めるようにしたり、2足歩行ができるようにしたり、いかにロボットの機能を高めるかに取り組んでいます。

もう1つは、ロボットを人が行けないような場所へ行かせ、何か役に立つことをさせる、具体的な作業目標を持った取り組みです。自律型ロボットでは何をどうやるかはロボット自身が決める。これが私たちが取り組んでいる目的を明確にした自律型ロボットの研究です。

ロボットの研究者というのは、皆、鉄腕アトムが大好きで、多くの人が2足歩行のできるロボットの開発に取り組んでいます。しかし、私の考えは「鉄腕アトムは海から生まれる」というもの。陸上で動くロボットは自律して動く鉄腕アトムにはならず、海の底にこそ鉄腕アトムのようなロボットが必要となるのです。

つまり、深海とか、宇宙とか、人の手が届かず、人とのインタラクションがほとんどできない場所では、何をやるかを人に聞いたりできないため、やるべきことをロボット自身がディジションメイキングする。すべてがロボットの中で完結している必要があります。鉄腕アトムのような自律型のロボットは、そういう環境の中から生まれてくるに違いありません。

宇宙へ行ったロボットとしては、1990年代にNASAが火星へ送った

ソジャーナがあります。遠隔操作をしています、電波のやり取りに長い時間がかかるので、かなりの部分は自動で動くようになっています。

これに対し、陸のロボットは人が近づけるので、ロボットが転んだといつては、人が近づいていつて起き上がらせることができる。これでは鉄腕アトムのようにはなれないのです。

— 自律型ロボットという発想は、いつごろからお持ちになっていたのでしょうか。

浦 私たちの研究室では、当初から自律型ロボットの研究に取り組んでいました。もともと私は造船屋で、船自体が大きなロボットのようなものです。法律的には無人船を航行させることはできませんが、やろうと思えば、無人の船を遠隔操作によって動かすことはできるのです。

海中ロボットの目的は 鉱物資源の調査や生物の捕獲

— 先程、ロボットに何か役に



自律型海中ロボットのパイロットモデルとなった「プテロア150」。1989年に進水

立つことをさせると言われましたが、先生の海中ロボットはどのようなことをするのでしょうか。

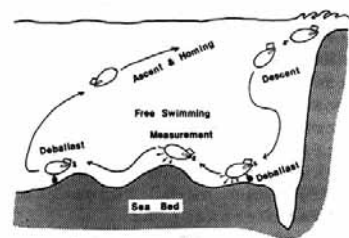
浦 ロボットにとって重要なのは、人の行けないところへ行き、そこで仕事をすることです。海中ロボットであれば、深海へ行き、そこに何があるかを調査することとなります。

私たちの海中ロボットは、これまで海の中を動き回って、海中の映像を撮影したり、音波を出して海底の構造を調べたりしています。

海底でも砂地のような平坦なところは調査しても面白くはないので、私たちが関心を持っているのは、例えば、熱水地帯がどう広がっているのか、そこに熱水鉱床やコバルトリッチクラストといった鉱物資源がどれだけあるのかということです。

こうした熱水地帯の調査は、1984年に私が研究を始めた時から掲げているもので、今でも私たちのロボット開発の重要なテーマとなっています。

加えて最近では、レアアースやレアメタルが資源セキュリティという点でにわかに重要となり、日



「プテロア150」の計画は、母船から海底の目標に向かい、海底面を一定の高度を保って航行、海底を調査し、母船に帰還するというもの

本の海でもこれらを開発しようという動きが出てきました。その調査のために海中ロボットが注目されており、私たちの自律型海中ロボットは科学的な目的だけでなく、産業的な面からも注目されるようになってきました。

それともう1つ、このところ取り組んでいるのが、カニやクラゲを掴まえる海中ロボットの開発です。熱水鉱床付近に集まる特殊なカニや生物、深海にいる変わったクラゲなどを取ってこようというもので、今はまだできませんが、もう少しで可能になるでしょう。

ケーブル付きのロボットと自律型ロボットとの違い

— 海の中で動くロボットという、メキシコ湾の海底油田事故で使われた遠隔操作のロボットなどが思い浮かびます。浦先生の海中ロボットとこうしたロボットとの違いは何なのでしょう。

浦 メキシコ湾の海底油田の事故では、深さ1500mぐらいのところ、ケーブル付きのロボットを使って、海底油田のバルブを閉めたり、蓋を閉めたりしていました。ついているケーブルは、ロボットに電源を供給したり、ロボットから送られてきた映像を見て、ロボットを遠隔操作したりするためのものです。

こうした遠隔操縦式のロボットをROV (Remotry Operated Vehicle) と言いますが、私たち

の研究室ではROVの研究は行いません。鉄腕アトムにケーブルをつけてどうするのか、という考えがあるからです。

自律型ロボットの開発にも2つの進め方があり、遠隔操縦式のロボットをだんだんと自律型にしていくものと、開発の初めから自律型のロボットとし、能力を少しずつ高めていくやり方です。

普通の海中ロボットの技術者はまずケーブル付きのロボットを作り、最終的にケーブルをはずして自動化しようと考えます。しかし、このやり方はたいてい失敗します。いつまでたってもケーブルを切り離すことができないからです。

ロボットにケーブルがついていると、エネルギーの供給も容易にでき、器用な作業もさせることが可能です。しかし、そのケーブルをはずすと、それまでできていたことが途端にできなくなってしまうのです。

それと、ケーブル付きのロボットだと、紐がついているため広い範囲を動くことができないというデメリットもあります。

私たちの研究室では、当初から自律型ロボットの研究に取り組みました。結果として、これがよかったわけです。

各パーツの性能を把握しバランスのとれた設計をする

— 浦先生のロボット研究の中で自律型であることが大きなポイントということですが、自律型ロ

ボットを開発する上で、大切なことはどんなことなのでしょう。

浦 陸上のロボットでも全自動で買物に行かせるのは、かなり難しいことです。海中ロボットは人が行ったことのない真っ暗な深海へ行き、何かの作業を行うわけです。そのためできることが、陸上のロボットよりどうしても限られてしまいます。

また、海中ロボット開発の大変な点は、深海で必要となる道具を誰も作っていないので、それを1から作らなければならないことです。そして、道具のレベルが1つでも低いと、そのレベルでロボット全体の性能が決まってしまうのです。

例えば造船であれば、舵、エンジン、プロペラ、などの推進装置、レーダー、GPSなどの航海計器、船体構造などそれぞれの性能を考え、全体としてバランスのとれた設計が必要になります。このとき、もしプロペラの性能が低ければ、船はスピードが出せません。その場合、全体としてのパフォーマンスを考えれば、大きな船を造らず、プロペラの性能に見合った小型の船を造ることになります。

全体を考え、バランスの取れた船を設計するのが造船設計であり、バランスの取れたロボットを設計するのがロボット学ということになるでしょう。

— 実際のロボット開発の中で、どんなことがあったのでしょうか。

浦 最初に作った海中ロボットは、水深2000mまで潜れるように作ったのですが、実際には深さ40mまでしか潜らせることができませんでした。1つ1つのパーツは深海に行けるように設計したのですが、全体としては信頼性が低く、無人で行かせると行方不明になるおそれがあったためです。要するに、3歳児には3歳児のパフォーマンスをさせればいいのであって、高校生のパフォーマンスを無理にやらせれば、こけてしまうわけです。

しかし今では、私たちの海中ロボットは、3000mの深海に潜れるようになりました。研究を始めてから20年かかっていますが、技術が少しずつ進歩し、それぞれのパーツも良くなってきました。

また、宇宙へ行くロボットでも、海中ロボットでも同様ですが、パーツは圧力容器の中に入れるため、小さい方がいいのです。大きくなると、ロボット全体が大きくなってしまいます。今はIC化の中で、さまざまなパーツがどんどん小さくなっていて、ロボット開発にはいい時代になりました。

中央インド洋海嶺の複雑な地形を明らかにする

—ここで海中ロボットがどのような成果を出してきたのか、いくつかご紹介していただけますか。

浦 インド洋に中央インド洋海嶺という、1500kmほど続く海底山脈があります。その海底山脈の真



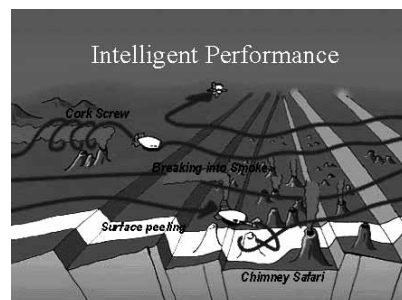
インド洋中央海嶺などの調査を行った海中ロボット「r2D4」

ん中あたりを、60kmにわたり海中ロボットを走らせて海底の音響写真を撮りました。

その調査により、そこには広大な溶岩大平原が広がり、平原の北には小さな岩山があり、その場所で熱水活動が起きていることが分かりました。複雑な地形を持つ地域でしたが、海中ロボットによってその地形が明らかになり、調査は大きな成果を上げました。なお、このような広い地域の調査はケーブル付きのロボットでは決してできないことです。

日本の海では、メタンハイドレート調査をしようと新潟県の直江津沖の海底に自律型海中ロボットを潜らせました。自律型海中ロボットは海底を5m間隔で網の目状に進んでいき、海底の写真をくまなく撮影してきました。

予想はついていたのですが、ロボットが撮ってきた写真には、1000mほどの海底に棲みついているベニズワイガニの様子も写っていました。メタンが湧出しているところに、ベニズワイガニの餌になるものが豊富にあり、そこにびっしりとベニズワイガニがいたの



「r2D4」計画の熱水地帯での観測の概要。海中ロボットが熱水地帯を広域かつ連続的に動き回り、海底の様子を観測する

です。写真を見ると、ベニズワイガニがいるところも、いないところもよく分かります。

この写真には大きな意義があり、水産総合研究センターの理事長にお見せすると、「これまで見たこともないベニズワイガニの生態が写っている、素晴らしい成果だ」と絶賛してくれました。

こうして写真に撮ることができたので、次は海中ロボットがベニズワイガニを取ってこれるようにしたいと思います。

ベニズワイガニやクラゲの捕獲を2~3年のうちに実現する

—水深1000mのところにいるベニズワイガニは、どのようにして取るのでしょうか。



海中ロボットにより新潟県直江津沖の1000mの海底で撮影されたベニズワイガニの様子

浦 漁師さんはカゴで取るのですが、私たちの自律型海中ロボットは一匹一匹つかんでとるのです。それほど難しいことではないので、2~3年のうちには可能になると思っています。

同様に、水深7000mぐらいのところにいるクラゲも取ってこうよと考えています。この辺りにいるクラゲの写真は撮影されているのですが、まだ捕獲はされていません。私たちはホースで吸い込もうとしています。バラバラになってしまってもDNAが採れればよいので、これも2~3年のうちには実現したいと思っています。

海底に深く潜ることで より正確な海底の地形が分かる

— 先程、インド洋で海中ロボットを使って海底の音響写真を撮ったというお話がありましたが、海底の地形図などを作るとき、従来の方法では船の上から測っていたのでしょうか。

浦 そうです。船の上から音波を出し、その反射で測ります。音波はメガフォンのような感じで細いビームとして出しますが、その角度はせいぜい1度。海底まで1000mあるとすると、海底では音波が20m×20mに広がります。そのためこの場合、20m×20mの広さの平均によって、その海底の地形としているだけになります。

その点、海中ロボットが海底から高さ100mの位置で音波を出せ

ば、角度が1度として、海底に届いたとき2m×2mになります。さらに海底から高さ10mのところから音波を出せば、メートル単位以下で海底の地形を測定することができ、海底の小さな起伏さえも分かってくるのです。

— 海中ロボットが海の中へ深く潜ることによって、より詳細な海底の様子が分かるということですね。

浦 私たちの海中ロボットを使うと、海底の微小な変化を調べることができます。今年3月の大地震によって、震源のあたりでは海底が東へ50mくらいずれたと言われています。私たちの研究室では、そのずれを測るシステムを開発しているところです。

センシングを行動に反映させる 賢いロボット

— 海中ロボット研究にとって、深く潜るというのは大切な要素と言えるのでしょうか。

浦 私たちの海中ロボットは3000mの深さまで潜ることはできませんが、重要なのは、いかに深く潜るかよりは、いかに賢いロボットを作るかということです。

ロボットにとってセンサーはとても大切で、新しいセンサーが開発されると、ロボットも新しいことができるようになります。近くであれば、水中でライトを点けテ

レビカメラで見、遠くは音波を出して、その反射で理解する。また、海底から吹き出す熱水の周りではphの値が上がるので、そこに熱水があると分かる。

今、私たちの研究室では、コバルトリッチクラストの厚さや海底のデコボコをミリメートル単位で測定できるセンサーを開発しています。最近福島原発事故に関連して、水に溶けている物質の分析、具体的にはガンマー線の線量を水中で測れる道具の開発にも着手しました。原発事故が起きた福島第一原発近くの海には人は近づけないので、そこでガンマー線を測るのは、まさにロボットの仕事になります。

さらに重要な点は、センシングによってロボットが状況を理解し、それを行動に反映させることです。つまり、ロボットは闇雲に動くのではなく、センシングによってガンマー線量の多いところを把握し、ロボットが自らガンマー線の多い方へと近寄っていくようにすれば、計測がより効率的に行えます。セシウムなら、セシウムを検知し、それが吹きだまっているようなところを自ら探しに行くのです。

私たちの研究室が目指しているのは、そうした賢いロボットの開発なのです。

次号では浦環先生
自律型海中ロボット研究と海底探査
(下)
において続きをお話いただきます。