

(独) 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

1 はじめに

あらゆる生命の故郷、「海」。地表の約70%の面積を占め、世界で最も深い海溝といわれているマリアナ海溝は、その最深部は水面下10911mであるとされている。海は、私たちの生活に欠かせない水産資源を与えてくれる。海底には未開拓の資源が眠っている。未知の生物も生息している。海は大きく、深く、そして知らないことだらけである。

この海を対象にした研究開発機関がある。今回訪問させていただいた、(独) 海洋研究開発機構(以下、JAMSTEC)である。日本随一の海洋関連研究組織である同所では、どんな研究開発を行っているのだろうか。機械や機械系研究者・技術者は、どのように活躍しているのだろうか。

2 JAMSTEC の概要

JAMSTECは、海洋に関する基盤的研究開発、海洋に関する学術研究等を総合的に行うことにより、海洋科学技術水準の向上を図るとともに、学術研究の発展に資することを目的としている。

JAMSTECは神奈川県横須賀市にある本部のほか、横浜研究所、むつ研究所、高知コア研究所の三つの研究所がある。また、同所保有の深海映像・資料等の電子化業務や海洋・地球環境情報の収集・加工・提供を行う国際海洋環境情報センター、東京事務所からなる。職員数(任期制職員を除く)は324名(2011年)である。

JAMSTECが関与する研究・開発分野の広さには驚かされる。私たちメカライフ学生委員が同所に関心を持ったきっかけは「しんかい6500」であったが、JAMSTECの研究・開発

分野からしてみると、「しんかい6500」は、そのごく一部でしかない。研究部門だけで、地球環境変動領域、地球内部ダイナミクス領域、海洋・極限環境生物圏領域という三つの領域がある。簡単に言えば、理学部の生物系、地球科学系、化学系の研究を盛んに行っている。機械系の研究者は、これら領域の研究者に対して、機械的な技術開発を行うことで協力している。さらに同所には、開発・推進部門があり、海洋工学センター、地球シミュレーションセンター、地球情報研究センター、地球深部探査センターに分かれている。

3 有人潜水調査船 「しんかい6500」

まず最初に見せていただいたのが、今回の目玉といえる「しんかい6500」。その名のとおりに、水深6500m(世界1位)まで潜ることができる有人潜水調査船である。TV番組などにもたびたび登場しているので、一般にも広く知られている。その調査海域は日本の海域に留まらず、1990年の完成以来、太平洋、大西洋、インド洋などでも活躍。2007年には通算1000回目の潜航を達成した。

「しんかい6500」の大きさは、全長9.5m、幅2.7m、高さ3.2m、重さは26.7t。そのミッションは次のような研究に資することである。①地球内部の動きをとらえる、②生物の進化を解明する、③深海生物の利用と保全、④熱・物質循環を解明する、である。有人潜水調査船であるため、無人の探査機と比較して、より細かな調査ができることは言うまでもない。今回、丁度整備中であったため、特別にコックピット内に入れていただくことができた。

私たちが訪問したとき、実機は外皮が外されており、コックピット=耐压殻(球状の部分)が外から見える状態であった(図1)。この耐压殻(内径)

の直径は、わずか2m。この中に、パイロット2名と研究者1名が入り込み、潜航から海面浮上までの時間(一度の潜航は8時間)を過ごす。耐压殻の素材は、厚さが73.5mmもあるチタン合金である。水深6500mでの水圧は凄まじく、少しのゆがみでも壊れてしまうため、可能な限り真球に近づけられており、その真球度は1.004である!! 耐压殻のどの部分を測っても、誤差はわずかに0.5mm以下である。

図2は、「しんかい6500」を真正面から見たところ。耐压殻の前と左右にある円形の蓋がされている部分には、本来は、のぞき窓が装着されている。窓の素材はガラスではない。深海では、強靱な耐压殻も僅かながらに変形する。それに追従する必要があるため、メタクリル樹脂でできている。メタクリル樹脂というのは水族館の水槽に使われているのと同じ素材。透明度が高く丈夫、適度な柔軟性を備えている。残念ながら、のぞき窓の実物を見ることはできなかったが、2枚のメタクリル樹脂板(厚さ7cm)を貼り合わせて作られているという。

「しんかい6500」船体の前後と左右にはプロペラがついている。後ろについているプロペラは主推進器と呼ばれ、前後方向の移動を、左右の小さなプロペラは垂直スラストとして垂直方向の移動を司る。主推進器のプロペラ自体が左右80度ずつ首を振ることで方向制御するため「しんかい6500」には舵がついていない。

図3は、バラストタンク。潜航あるいは浮上時に、このタンク内に海水を出し入れすることで浮力を調節している。それに加えて、ウェイトと、先に紹介した推進器を利用することで、効率的な潜航、浮上を行う。

図4は、コックピットを上から見たところである。その狭さをおわかりいただけるだろうか。右手前の梯子を

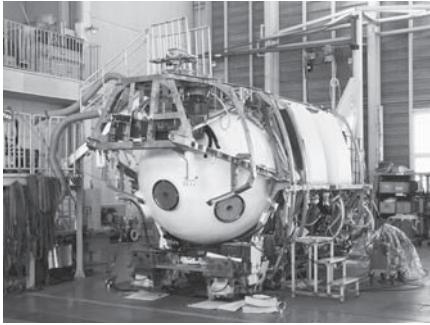


図1 整備のために陸に揚げられた「しんかい6500」

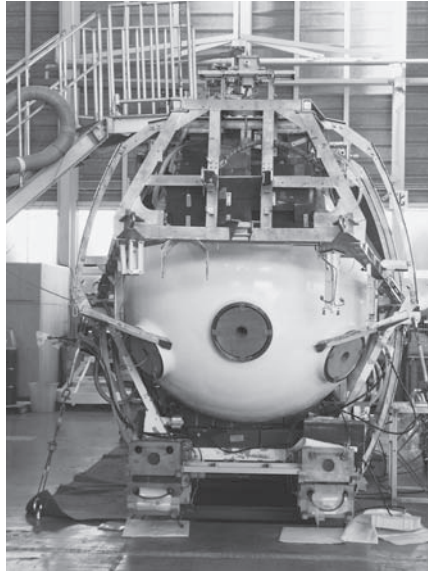


図2 正面から見た「しんかい6500」

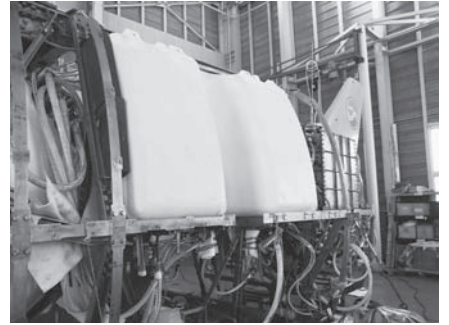


図3 「しんかい6500」のバラストタンク

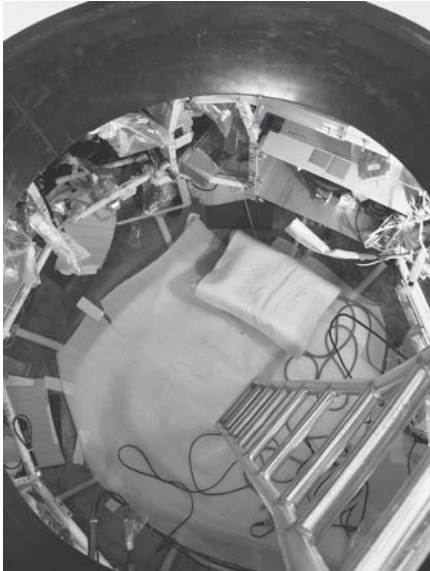


図4 「しんかい6500」コックピット

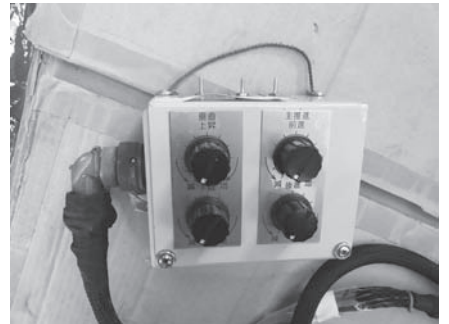


図5 「しんかい6500」のコントローラ

使いコックピット内に降りて行く。その内部に大人3人が座ると、嫌でも膝を突き合わせた状態になる。深海6500mという極限状態に人を送り込むのだから快適性など求められない。取材当日はメンテナンスのため内部の計器類は取り外されていたが、コントローラがポツンと残されていた(後述)。

「しんかい6500」について説明してくれたのは、一等潜技士の松本恵太氏。1992年に日本海洋事業(株)に入社、運航チームに配属されて有人潜水船「しんかい2000」業務に携わる。以降、「しんかい2000」の最終潜航、2002年から「しんかい6500」のパイロットを務める、この道のエキスパートである。

またとない機会なので、インタビューさせていただいた。

メカライフ学生委員(以下、**委員**) 潜っていくときは、どんな感じなのですか？

松本(敬称略) 部屋がそのまま沈んでいくような感覚です。体に感じるものは何もありません。もちろん気圧も大気圧のままです。だから正直に言うと、自分たちがどこ(どの深さ)に居るのかも、わかりません。地上に居るときと、とくに変わりはないのです。1分間に45mくらいの速さで潜ったり、浮かんだりしますが、それすらも感じないのです。

委員 耳が痛くなることもありませんか？

松本 それもありません。私たちパイロットと研究者は「しんかい6500」に乗って深海という特殊な場所に行くのですが、行く人自体は特殊な環境下に曝されることはないのです。

委員 深海では視界が狭くて暗いですね。どれくらい先が見えるのですか？

松本 前方を照射しても10mくらい先までしか見えません。ただ、船は人が歩く程度の速さでしか動かしませんし、常にソナーを使って前方の様子を

確認しています。また潜航前に全体の地形図を持って潜りますから、必要な調査を行うことができるのです。

委員 調査では、実際にどんなことをするのですか？

松本 ハイビジョンのカメラ2台で動画を撮影し、デジタルカメラで写真を撮影します。深度や塩分濃度はセンサを搭載していて、データを保存しています。それらを研究者に提供しています。

委員 船の操作は難しいですか？

松本 慣れが必要ですね。実際の操作には、コントロールボックスを使います(図5)。といっても、四角い箱にボリュームがついていて、各スラスタをボリューム操作で動かすだけ。だから操作と船の挙動に個人差があって、少し難しい面があり、それには慣れが必要なのです。2012年には、ゲームコントローラーのようなジョイスティック型に変更されます。それにより個人差が出にくくなって、どのパイ

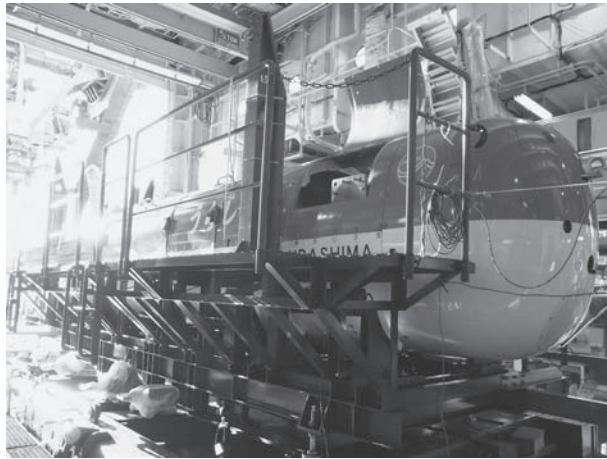


図6 深海巡航探査機「うらしま」

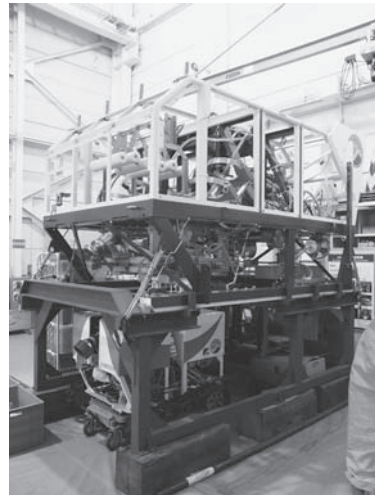


図7 大深度小型無人探査機「ABISMO」

ロットが操作しても同じように操船できるようにしたいと思います。

委員 パイロットから開発の方に、船についてリクエストすることはありますか？

松本 「しんかい6500」はできてからすでに20年経ち、完成度も高まっていますので、頻繁に要望をあげることはありません。でも、たとえばこれから操船がジョイスティックになったら、お願いすることが増えるかも知れません。調整についてですね。

委員 潜航中にトラブルが起こったことはありませんか？

松本 命に関わるようなものはありません。そもそも「しんかい6500」は電源系に重大な不具合が発生すると、錘が自動で落ちるようになっています。だから自動で浮き上がってくれます。私は100回以上乗船していますが、電源が落ちたことは一度もありません。「しんかい6500」は非常に安全な乗物なんですよ。

委員 いくら3人一緒とはいえ、深海では不安ですよ。外部と連絡はとれるのですか。

松本 音波を使って、母船「よこすか」と連絡がとれます。常に交話可能になっています。双方向で交話することで、スムーズな調査が可能になっているのです。

委員 操縦者になるための資格や規準はあるのですか？

松本 「しんかい6500」のパイロットを養成するところは、ここしかないのです。ここで働く、ということが一つの資格ですね。免許の面で言えば、必

要なのは小型船舶1級の免許ですが、これは普通に取得できるものです。それから資格ではありませんが、パイロットは整備もします。3年間くらい深海機器全般の整備を学ぶ必要があります。パイロットは研究者の要望や機械系技術者の努力を積んで潜航するのですから、重要な任務なんですよ。

4 深海巡航探査機「うらしま」

次に見せていただいたのは、深海巡航探査機「うらしま」。ここから先は、同所海洋工学センターの百留忠洋氏が解説してくれた。

「うらしま」は無人の探査機である。だから長時間（長距離を）巡航しながらの探査が可能である。「うらしま」の特徴は、自律型深海探査ロボット（Autonomous Underwater Vehicle；AUV）であること。遠隔操作型の探査機（Remotely Operated Vehicle；ROV）はケーブル類などで母船と繋がれているため行動範囲が狭い。自律型ならば、事前にプログラミングされたとおりに、自分の位置を計算しながら、広範囲の探査が可能である。「うらしま」は実際の探査に使われているが、JAMSTECにおける位置づけは実験機である。JAMSTECでは北極海の氷の下の航行を目指しているが、「うらしま」は、そのために必要な各種基礎データを得る目的で開発されたのである。

訪問時の「うらしま」（図6）は探査のための出港前日ということで、母船「よこすか」上で整備の真最中であっ

た（「よこすか」は、図15のバックに写っている）。「うらしま」の大きさは、全長10.6m、幅1.3m、高さ1.5m、重さは搭載する電池の種類により異なり、リチウムイオン電池のときは約6.5t、燃料電池のときは約10t。先に見せていただいた「しんかい6500」と比較して、幅が半分以下、そして重さも半分以下と軽量である。

「しんかい6500」は、降りていった先をじっくり見るとするならば、「うらしま」は広い範囲を動いて詳細に調べるのに使われる。普通の調査での潜航距離は1日30km。TVカメラを搭載しておらず、海底面の凸凹や質感を、超音波を使って調査している。また塩分濃度を測る分析装置を備えている。2ノット程度で移動し、電池の能力で言えば、一度の充電で40時間の潜航が可能である（運用上は8時間の潜航としている）。

「うらしま」は自律型だから動力源が必要である。燃料電池の実証試験を行った後、今では使い勝手のよいリチウムイオン電池がメインとなった。動力源をリチウムイオン電池にしたことで、船体はかなり軽量化されたという。その軽量化された分、数種の観測機器を標準装備とすることが可能になった。超音波で海底面を調べる観測機器、塩分濃度と水温を計る機器のほか、研究者が要望した新しく開発された機器を搭載できるようになったという。

「うらしま」の運用上での最大のメリットは、海底面に接近（海底面から80mくらい）できることにある。海底面を調査する際、船からも超音波を



図8 「ABISMO」のクローラ

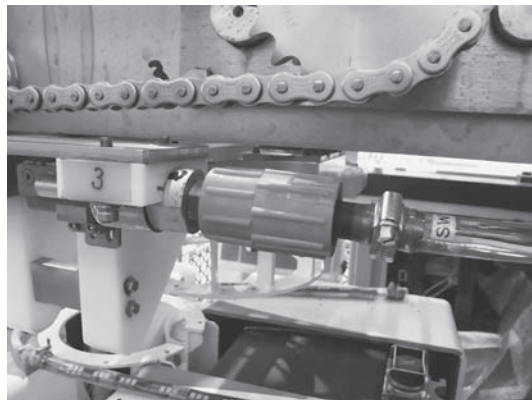


図9 油漬けにして保護されたケーブル



図10 作業型自律探査機「MR-X1」

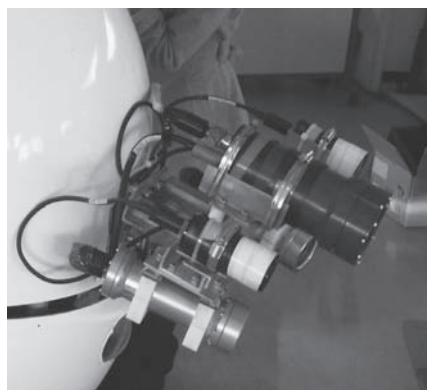


図11 「MR-X1」のステレオカメラ

飛ばすことは可能だが、これでは解像度が低くなる。「うらしま」ならば海底面に近づけるので解像度が高く、詳細な調査が可能となるのだという。

5 大深度小型無人探査機「ABISMO」

「ABISMO」は、深いところを探査する無人の探査機である(図7)。同所には以前「かいこう」という探査機があったが、事故により失ったため、新たに開発された。11000mという大深度の世界から土壌を採取したり、モニタすることができる。「ABISMO」は、大まかに、上と下に分かれている。上は中継器であり、仕事をするのは下の部分。「ABISMO」はROVだから母船とケーブルで繋がられている。長さ10kmにもなるケーブルと直接繋がっているのは、スムーズな作業ができない。そのため母船からの重くて長いケーブルは中継器でカバーし、中継器から先は細いケーブルに繋ぎかえて、仕事をする下の部分を動きやすくしている。

「ABISMO」は海底ではクローラ(図

8)で移動する。海底面は多くの場合、何千年もの堆積物がふわふわと乗った、非常に不安定な状態である。そこへスクレーパーで侵入してしまうと調査環境を汚染してしまう。視界も悪くなる。それを防ぐための仕組みである。

「ABISMO」に近づいて細部を見ると、なんとなく私たちに馴染みのある部品が使われていることに気がついた。ビニールテープや結束バンドである。ケーブルの一部は手作り。テプラやシールも船体に貼られている。ビニールテープなどは大深度の水圧で密着するから、付きが非常によいのだとか。おもしろい。またケーブルの一部は油漬けにして保護してあった(図9)。耐圧容器に格納すると大型になってしまうが、このように処理することで小さくできる。水中では重さは性能に大きく関与しないのかとも考えていたが、そうではないという。構造は極力簡単に、重量は軽く造るのが基本なのである。

6 作業型自律探査機「Marine Robot Experimental-1(MR-X1)」

次に見せていただいたのは自律型の探査機「MR-X1」である(図10)。「うらしま」同様、自律型の探査機だが、より小型であり、作業ができるのが特徴である。重さは約800kg、長さ2.5m、設計潜航深度は約4000mである。観測装置として、ハイビジョンTVカメラ、NTSCカメラ3台、サイドスキャンソナー、CTDを標準搭載している。「MR-X1」は「うらしま」より、もっと詳細に調べたいときに使われる。

「MR-X1」には、もう一つ、別の側面がある。小さいから整備もしやすく、探査も比較的容易であるため、開発機器のテストベッドとして利用されているのである。たとえば、開発中のリチウムイオン電池の試験や、テレビカメラ=ステレオカメラ(図11)の搭載などである。

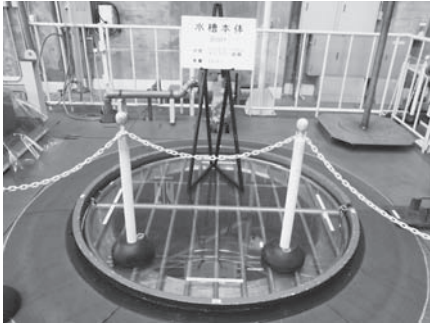


図 12 高圧実験水槽設備

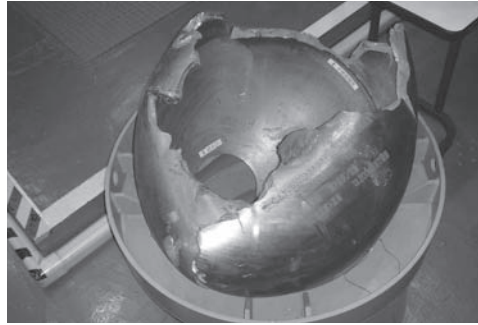


図 13 「しんかい 6500」を作る前の耐圧殻のスケールモデル

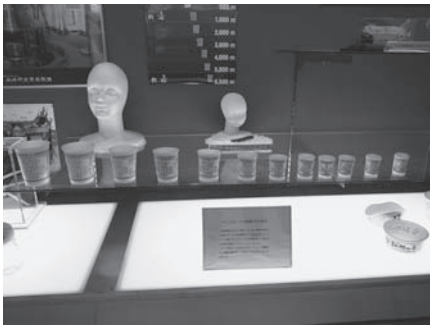


図 14 カップヌードル容器の水圧に応じた変形



図 15 「よこすか」を背景に JAMSTEC の皆様と学生委員との記念撮影

7 高圧実験水槽設備

深海機器，耐圧機器の性能を試験している（図 12）。水を満たした水槽内に物を入れて蓋をして，圧力を掛ける。当所製造品はもちろん，外部製造委託した場合でも，ここで試験している。

ちなみに JIS 規格では安全率 3 程度が一般的だが，JAMSTEC で開発されている探査機では，「しんかい 6500」の耐圧殻を除いて，安全率 1.2～1.5 で作っているという。ここから，いかに重量が問題となっているかわかる。

試験設備棟内には，「しんかい 6500」を作る前の耐圧殻のスケールモデルでの試験により破壊した鋼球が展示されていた（図 13）。カップヌードル容器の圧力に応じた変化が，展示してある。これは子供たちにも水圧の力がわかる展示として，評判なのだから。確かにおもしろい（図 14）。

8 おわりに

今回の取材では，海洋探査機を中心

に取材させていただいた。海は私たちにとって身近なものであるが，JAMSTEC が研究調査している深海は決して馴染み深いものではなかった。取材を通じて，深海における調査は，まさに圧力との闘いであることがわかった。他分野の研究者がよりよい研究を行うための機器開発は極めて实际的で，それもまた訪問前に感じていた JAMSTEC からの印象とは異なるもので，大変興味深かった。そして何より，あの「しんかい 6500」のコックピットに座るといって，とても貴重な体験をさせていただいた。

なお，今回の取材にあたっては，同所海洋工学センター長の磯崎芳男氏に，JAMSTEC の概要を説明していただいたうえ，海洋研究の現状と展望についても詳しくお話ししていただいたが，残念ながら誌面の都合上紹介できなかった。報道室の和田幸子氏には，本取材実現のために，ご尽力いただいた。記事中でも紹介したとおり，潜行士

の松本恵太氏には「しんかい 6500」について，百留忠洋氏には「うらしま」，「ABIMOS」，「MR-X1」，高圧実験水槽設備について，詳しくご説明いただいた。ご協力くださった皆様に，この場を借りてお礼申し上げます。（メカライフ学生編修委員 益子雄太郎，市川賀康，中村恭子）