

第二章 有人潜水調査船「蛟竜」と中国の海洋科学技術

2012年6月、中国はある科学技術の分野で世界一となった。深海底などの様子を観察するとともに、深海の試料や生物を採取する有人潜水調査船「蛟竜 (JiaoLong)」が、海中深く潜航した深度で達成した。ここでは「蛟竜」について述べるとともに、あわせて中国の海洋科学技術についても述べたい。



蛟竜の外観 (写真：人民网)

一. 有人潜水調査船「蛟竜」

未知なる世界、深海

人類は、未知なる世界に挑戦し続けている。とりわけ20世紀後半は、宇宙への挑戦が際だつ時代であった。ソ連が初めて有人宇宙飛行を行ったのは1961年であり、米国のアポロ11号による月面着陸は8年後の1969年である。現在でも、米国、ロシア、日本、欧州の4極による国際宇宙ステーション・プロジェクトや、中国単独での宇宙ステーション「天宮」計画が進められており、地球近傍の宇宙に対する知見は着実に増えている。

一方、深海の方はどうだろうか。深海は宇宙と並び、人類にとって未知なる世界の代表選手であった。フランスの小説家のジュール・ベルヌ(1828～1905)が「海底2万里」を発表したのが1870年であり、その意味では宇宙より遙かに深海の方が身近であったが、その後は遅々として探査が進まなかった。

深海の探査が宇宙に比べ遅れた理由はいくつかある。まず、地上との通信手段の違いである。宇宙は電波を使うことができるが、深海は電波が全く役に立たない。実用的に使える通信手段は音波だけである。音波に載せて送ることができる情報量は非常に少なく、伝達速度もきわめて遅い。また海中では光がほとんど通らないため、深海に光源を持ち込んだとしても、自分の目で見ることができるのは数メートル先の限られた範囲である。さらに深海の水圧は極めて高く、例えば 1 万メートルの深海での水圧は 1,000 気圧に達する。1,000 気圧とは、1 平方センチメートル当たり 1 トンの圧力がかかる状態を指す。この水圧に耐えて活動を行う必要があるのだ。

「バチスカーフ」と「トリエステ」

深海を自分の目で見るといふ冒険に挑戦したのが、スイスの科学者であるピカール親子である。父のオーギュスト・ピカール（1884～1962）は、1930 年代から深海探査に乗り出し、1947 年に電気推進式の「バチスカーフ」と呼ばれる有人潜水調査船を発明した。1954 年には、「バチスカーフ」に自ら乗って、約 4,000 メートルの深海に到達している。

さらに 1953 年には、「バチスカーフ」と同様の設計思想に基づき、2 人乗りの有人潜水調査船「トリエステ」が進水した。深海の水圧に耐えて人間の乗る空間を維持する耐压殻は潜水調査船の心臓部であり、「トリエステ」の耐压殻はドイツのクルップ社が製造した。直径約 1.8 メートルの球状鋼鉄製で、厚さは 12.7 センチ、全体の重さが約 14 トンであった。この耐压殻により、マリアナ海溝の最深部にあるチャレンジャー海淵での水圧およそ 1,100 気圧に耐える設計となっていた。

「トリエステ」は米国海軍に買い上げられ、1958 年に米国カリフォルニア州のサンディエゴ海軍基地に運ばれた。そこで改修の後、1960 年にチャレンジャー海淵に潜航し、10,911 メートルの深度に到達した。この時の搭乗者は、オーギュスト・ピカールの息子であるジャック・ピカール（1922～2008）と、米国海軍大尉のドン・ウォルシュ（1931～）であった。ただ「トリエステ」は、大量のガソリンを浮力材としているため取り扱いに危険を伴い、海中での動きもきわめて緩慢であった。

科学目的の有人探査船

「トリエステ」の成功は画期的であったが、深海をより科学的に探査しようとする、安全で機動的な有人潜水調査船が必要と考えられた。そこで乗員数を増やし、より安全性と機動性を高めることを意図して開発されたのが、米国の「アルビン」である。米国海軍は、3 人（研究者 2 名、運航者 1 名）乗りで、設計潜航深度 4,500 メートルの「アルビン」を 1964 年に就航させ、マサチューセッツ州ボストン市の近郊にあって、海洋研究で有名なウッズホール海洋研究所に運用を行わせた。

「アルビン」を有名にしたのは、事故により海中に落下した水素爆弾の発見である。1966 年、米国空軍の爆撃機と空中給油機がスペイン南部で空中給油中に衝突事故を起こし、両

機が墜落した。この事故は「パロマレス米軍機墜落事故」と呼ばれているが、墜落した爆撃機には4個の水素爆弾が搭載されており、3個が地上に1個が海中に落下した。海中に落ちた水素爆弾の探索に「アルビン」が投入され、事故の約2ヵ月半後に水素爆弾が発見され、海中より引き上げられた。

また、1912年に冰山との衝突して沈没した豪華客船タイタニック号は、1985年に大西洋の海底3,650メートルに沈んでいるところを米仏の調査団により発見され、翌1986年に「アルビン」による潜水調査が実施されている。

1964年の「アルビン」の就航から20年を経て、ようやく他の国も有人深海探査船の運航に乗り出す。フランスは、1984年にフランス国立海洋研究所(IFREMER)が運用者となって設計潜航深度6,000メートルの「ノチール」を、続いてソ連(現ロシア)は1987年にソ連科学アカデミー(現ロシア科学アカデミー)が運用者となって同じく設計潜航深度6,000メートルの「ミール」を、それぞれ就航させている。

日本は、先行諸国における開発状況を踏まえ、科学目的である有人潜水調査船としての設計潜航深度で、世界一を目指して技術開発を重ねた。まず設計潜航深度が2,000メートルと比較的小さく、運航者や研究者が乗る耐压殻の設計製作が容易である「しんかい2000」を1981年に完成させ、この運用結果を基に1989年に「しんかい6500」を建造した。日本は、世界最深の日本海溝を近傍に抱えていることなどから、設計潜航深度を世界最高となる6,500メートルとした。

兄は海の技術者、弟は宇宙の技術者

「蛟竜」は、中国により開発された有人潜水調査船である。1992年にプロジェクトが提案され、政府部内の検討を経て2002年より開発が行われた。「蛟竜」の設計、開発、試験を行う主体CSSRC(China Ship Scientific Research Center)は、上海市の西北に位置する江蘇省無錫市にあり、中国船舶重工集団公司傘下の研究所である。一方、「蛟竜」を所有し運用を行う主体は、北京市に本部を有するCORMA(China Ocean Mineral Resources R&D Association)である。

「蛟竜」は、まだ竜とならない「蛟(みづち)」のことで、水中にひそみ雷雨に会して天に上る想像上の動物として知られるが、これは日本語としての「蛟竜」であって、中国人にとって「蛟竜」とは、竜の中でも最も優れた強い竜を指す。

CSSRCの副所長で「蛟竜」開発の責任者の一人である崔維成(1963～)博士は、江蘇省海門市で生まれた技術者である。崔は、1986年に北京市の清華大学の工程力学課程を卒業し、英国に留学の後、博士号を取得している。中国の研究所の上層部には留学経験のある人が多いが、彼もその一人である。ちなみに、彼は4人兄弟の長男で、弟の崔維兵は宇宙関連機関の1つである中国航天科工集団公司(CASIC)の技術スタッフで、2012年女性宇宙飛行士らを載せて打ち上げられた「神舟9号」プロジェクトに関連した業務に就いている。つまり兄は海を、弟は宇宙を開発する技術者なのである。



崔維成氏（左、写真：人民网）

「しんかい 6500」を抜いて世界一に

「蛟竜」の開発のねらいは、やはり科学目的の有人潜水調査船において世界一の潜航深度を達成し、中国の科学技術力を誇示することにある。中国側の説明によれば、最深潜航深度を 7,000 メートルとしたのは、政府部内での調整の結果である。当初の最深潜航深度は 6,000 メートルを考えていたが、今更 6,000 メートルの有人潜水調査船を開発したとしても世界的にはあまり評価されないことが予想されたため、世界一となる 7,000 メートルを目指した。

「蛟竜」は、2008 年 1 月に CSSRC の屋外水槽で全体システムの動作試験を終了、2009 年 8 月に海上試験出航式を行い、2012 年 6 月にマリアナ海溝で 7,062 メートルの潜航に成功した。これで、「しんかい 6500」が 1989 年に達成した 6,527 メートルという潜航記録を、「蛟竜」は抜いたことになる。開発した有人潜水調査船が、設計値通りに 7,000 メートルの深海に達することができたのは、中国の科学技術力の確かさの証である。

記録の意義とは

ただ、この快挙には少し留保を付ける必要がある。

先に、潜水調査船の歴史的な経緯のところで述べたように、今から 50 年以上前の 1960 年に、米国の「トリエステ」はマリアナ海溝のチャレンジャー海淵で、10,911 メートルという「蛟竜」よりもはるかに深いところに有人で潜水した記録を有している。また 2012 年 3 月には、映画の「タイタニック」や「アバター」の監督として著名なジェームス・キャ

メロン氏が、「直立魚雷」と自らが呼んでいる 1 人乗りの潜水艇「デープシー・チャレンジャー」でチャレンジャー海淵の潜航に挑戦し、10,898 メートルという「トリエステ」の記録に迫る地点に到達した。そして、数時間深海底に留まり、標本採取、写真・ビデオ撮影などを行った後に、海水面に帰還している。

では、なぜ日本の「しんかい 6500」が世界的に注目されたのかというと、キャメロン監督の挑戦のような単発的かつ冒険的な形ではなく、所要の計測装置などを搭載して、科学調査目的が十分達成できる形で、繰り返し潜航できるようになった点に意義があった。したがって、「蛟竜」が本当に意味のある有人潜水調査船として認められるためには、今後潜航回数を着実に積み上げ、科学的な調査の実績を挙げなければならない。

利用目的が不明

日本では、今回の「蛟竜」が達成した潜航深度記録更新のニュースを、中国の軍事的な意図と重ねて報道する向きがあったが、「蛟竜」はあくまで「アルビン」や「しんかい 6500」と同系統の有人潜水調査船なので、中国は資源探査を含めて科学目的を中心に運用するはずである。しかし現在までの情報では、世界一の設計潜航深度を持つ「蛟竜」を用いて、どのような科学探査を行うかがはっきりしない。

日本の場合、2011 年の東日本大震災を含め、海溝型の大地震が有史以来たびたび発生しており、海溝型地震のメカニズムを知る上で深海底の状況調査は重要である。さらに深海の生態系の調査、深海底に堆積した物質調査、熱水調査などによる物質循環の分析も、気候変動や地球環境保全などの研究につながる。このため、「しんかい 6500」を運用している海洋研究開発機構では、自らも研究チームを有するとともに、大学や他の研究機関の研究者を集めて運用を協議する場を設置している。

今後中国が「蛟竜」を活用していくとなると、国内の研究者を含めた研究コミュニティとの連携が重要と考えられ、そのシステムの構築がこれからの課題となろう。

重要部品はロシアから

「蛟竜」を子細に見ると、中国流の技術開発の特徴が見えてくる。1 つ目の特徴は、自前技術にこだわらないという点である。

もともと中国は深海で活動できる有人潜水調査船の技術を持っておらず、1992 年のプロジェクト計画時点では 300 メートルまでの有人潜水調査船を製造した実績があるだけであった。日本の場合には、6,500 メートルの有人潜水調査船を開発する前段階として自国の技術により「しんかい 2000」を開発し、いろいろな角度から技術実証を進めたうえで、自国の技術を改良しながら次のステップに移っている。一方中国は、最終的な目的達成のためには、自前の技術でなくても問題ないという方針に出た。

有人潜水調査船の建造で技術的に一番重要なのは、深海での水圧に耐えて、乗っている人間の安全を保つ耐圧殻の製造である。日本は耐圧殻を自主開発したが、「蛟竜」はロシア

から輸入している。ロシアには、ニッケル鋼製の「ミール」の耐圧殻やチタン合金製の「コンサル」の耐圧殻の製造実績を有しており（いずれも設計潜航深度 6,000 メートル）、これをベースとして「蛟竜」の耐圧殻を製造し中国に輸出した。

また「蛟竜」の外観はミールによく似ており、全体の設計もロシアの技術が反映されている。さらに、7,000 メートルの深さに対応した浮力材が英国製であるほか、障害物探知ソナーやドプラー式対地速度計（DVL）など主要なセンサーもほとんど外国製である。

開発は時間をかけて着実に

「蛟竜」開発に見られる中国流技術開発の 2 つ目の特徴として、着実に順を追って進めるという姿勢が挙げられる。

「蛟竜」は、2008 年 1 月に全体のシステムの動作試験を終了し、2008 年 8 月に海上試験を開始している。したがって、システム動作試験終了時点から 7,000 メートルの設計潜航深度を達成した 2012 年の 6 月まで、およそ 4 年半の年月が経過している。「しんかい 6500」は 1989 年 1 月に進水式を行っており、同じ年の 8 月には目標であった 6,500 メートルをクリアする 6,527 メートルの潜航深度を達成している。何事につけトップダウン方式と思われる中国が何を手間取っているのだろうか、何か不測の事態でも起きたのだろうか、疑問を持った日本の関係者も多かった。2012 年の 6 月に 7,000 メートルの設計潜航深度をクリアする前、「蛟竜」が 7,000 メートルまで潜航しないのはロシアから輸入した耐圧殻に問題があり、乗務員の安全性を考慮して実験を実施しないのだという噂が、日本国内で流れていた。

7,000 メートルの実験航海に出発する前の 2012 年 1 月、我々の関係者が「蛟竜」を視察して中国の開発・運用関係者に会っている。話をした中国側は実に悠然たるもので、課題は 1 つ 1 つ着実にクリアしており、7,000 メートルの達成も慌てることはない、という態度であった。むしろ日本の専門家に対して、今後の「蛟竜」のオペレーションやメンテナンスにおける課題や悩みをぶつけ、日中の協力関係構築の可能性について言及してきた。その後「蛟竜」は実験航海に出航し、2012 年 6 月に 7,062 メートルの記録を打ち立てており、中国関係者の余裕は本物だったのである。

早期の経済的なリターン

3 つ目の特徴は、研究開発の段階にあっても経済的な利益に敏感なことである。

「蛟竜」はシステム動作試験から設計深度の 7,000 メートルに到達するまでの 4 年半は、「開発中」という位置づけだった。しかし、資金回収ができるのであれば運用すべしという考え方から、調査潜航を実施している。具体的には、中国や日本も参加している国際海底機構（ISBA: International Seabed Authority）からの委託契約に基づく調査を実施した。国際海底機構は、国連海洋法条約により人類の共同の財産であると規定された深海底（いずれの国の管轄権も及ばない区域、つまり各国の大陸棚の外側の海底およびその下）

の資源の管理を主たる目的として、1994年に設立された国際機関であり、事務局はジャマイカの首都キングストン市に置かれている。

日本の場合、開発中の潜水調査船が運用されることは想定されない。なぜなら、製造するメーカー（「しんかい 6500」の場合には三菱重工業）と運用主体（独立行政法人海洋研究開発機構）とが厳密に分かれており、設計潜航深度を達成したのちメーカーから運用主体に引き渡され、初めて運用が開始されるからだ。ところが中国では、製造者と運用主体が一体となって開発しているので、このようなやり方ができるというわけだ。

課題は今後の運用

「蛟竜」は、「しんかい 6500」の潜航深度を抜き、科学探査を目的とする有人潜水調査船として世界一となった。しかし、単に設計潜航深度に達しただけでは、有人潜水調査船を作った意味はない。中国側の関係者もその辺の事情は十分に理解しており、「しんかい 6500」の運用開始後における試験、検査や部品の取替え頻度等について、強い関心を持っている。「しんかい 6500」の20年以上にわたる運用実績は、中国側にとって大変参考になる。

今後の運用で気になる点は、「蛟竜」の保管場所である。「蛟竜」の開発、実験を担当するCSSRCは海に面しておらず、「蛟竜」はメンテナンスの度に陸路で保管場所まで運ばれている。一方、「しんかい 6500」の場合は、母船から直ちに海に面するメンテナンス・エリアに移動できる。海に面していないと使い勝手が悪く、運用効率が大幅に減少するおそれがある。また、長時間の陸路輸送の際の振動が、調査船本体に悪影響を与えるおそれもある。今後の検討が必要である。



蛟竜の保管場所 海から離れた場所にあり、輸送リスクが課題

さらに、潜航中の動力源である電池の種類も、運用にとって重要なファクターである。

現在「蛟竜」の電池は、酸化銀亜鉛を用いている。一方、日本の「しんかい 6500」の電池は、リチウムイオン電池を使用している。リチウムイオン電池は、エネルギー密度や寿命などの観点で優れた特性を持っており、中国側としてはこの辺の情報についてもアクセスを期待したいところであろう。



支援母船「よこすか」へ搭載作業中のしんかい 6500

(提供：独立行政法人海洋研究開発機構)

しんかい 6500 は海に近接する保管庫に収納されている

二. 中国の海洋科学技術

ここで、中国の海洋科学技術全般について述べておきたい。中国は基本的には大陸国であるが、領土そのものが大きいゆえに、国土の東南を、渤海、黄海、東シナ海、南シナ海に囲まれ、比較的長い海岸線を有している。近年は資源開発や安全保障の観点から、これらの海洋部分に関する開発が中国にとってきわめて重要となっており、海洋科学技術にも力を入れている。

遅れてきた海洋大国

中国の歴史を振り返ると、中国が強大な海軍力によって南アジア地域ににらみを利かせた時代も存在している。15 世紀初めに明の鄭和（1371～1434）は、時の皇帝永楽帝の命を受けて、大艦隊を組織して現在の東南アジア地域からインド、さらには中東やアフリカ東海岸まで遠征を試みている。これは、ポルトガルの航海者ヴァスコ・ダ・ガマによる、大航海時代の開始を告げる 1498 年のインド航路発見よりも、百年近く前のことであり、鄭和の船団は当時の世界最強船団であった。しかし、鄭和が死亡した後はこれを継ぐものではなく、明の後継王朝である清もほとんど海洋進出に関心を示さなかった。

中国の経済発展が始まる 20 世紀後半以降になり、ようやく中国の海洋進出は強化された。とりわけ、1982 年に採択され 1994 年に発効した国連海洋法条約が引き金となって、

中国においても海洋資源の持続的な利用、海洋環境・生態系の保護、海洋経済・海洋公益サービスの拡大などが重要視されてきた。これを受けて 1996 年に海洋総合管理を目的として「中国海洋アジェンダ 21」が策定され、さらに 2008 年に中国海洋開発の基本政策として「国家海洋事業発展計画」が策定されている。

海洋調査船と観測衛星

海洋管理や海洋権益保護のために、各国とも関連する機関が海洋調査船を運用している。中国も同様に、海岸線調査、海底地形調査、鉱物資源調査、漁業資源を含む生物環境調査などの海洋調査を、それぞれの目的に適した機材を装備した海洋観測船により実施している。

一方、このような国家権益にからんだ海洋調査とは別に、学術調査も行われている。中国の誇る科学調査船は、中国大洋協会所属の「大洋 1 号」であろう。船の全長が 100 メートルを超え、排水量が 5,600 トンの大型船舶であり、1995 年の就航以来、世界一周を数回実施して熱水鉱床や熱水チムニーなどを調査してきた、先進国並みの科学調査船である。

最近の動きとしては、中国科学院により第 11 次 5 カ年計画の一環として総合海洋調査船「科学」の建造が進められ、2011 年 11 月に湖北省武漢市で進水式が行われた。船の全長が約 99.6 メートル、総トン数が 4,864 トン、継続航海能力 60 日、定員 80 名の大型船舶である。2012 年より運航を開始し、向こう 10 年から 20 年の間、中国の海洋科学調査の主力となる。

中国は、海洋観測に特化した人工衛星も所有し、運用している。日本では、地球観測衛星を打ち上げる場合、多くのセンサーを搭載するが、中国は 1 衛星 1 センサーの小型衛星を原則としており、その一環に海洋観測衛星がある。

海洋観測用として、中国は海洋シリーズの人工衛星を 5 基打ち上げることとし、2012 年現在、海洋 1 号 A、海洋 1 号 B、海洋 2 号の 3 基を打ち上げて、運用を行っている。観測の内容は、中国近海での赤潮発生、油漏れ、海氷モニタリング、大陸棚や河口の動態観測などである。

南極観測の実施

海洋科学技術に関連するものの一つに極地観測があり、特に科学技術的な面で実績を積み重ねてきているのが、南極観測である。中国には、中国国家海洋局の傘下に中国極地研究所がある。

中国は日本と同様、南極条約（南極地域の平和的利用を定めた条約。1961 年発効）に加盟し、積極的に南極観測等を実施している。1984 年に初めての南極観測隊を出発させ、翌年に南極海のキング・ジョージ島に長城基地を建設し、南極観測のスタートを切った。さらに、1989 年には中山基地、2009 年には崑崙基地を完成させている。崑崙基地は南極内陸部にあつて、各国の南極基地の中でも最も高度の大きい海拔 4,093 メートルに位置して

いる。

また中国は、極地調査船として「雪竜」という船を保有している。「雪竜」は、元々ウクライナの砕氷船であったが、中国が購入して改造し、1994年に極地調査船として就航させた。

日本の南極観測は、1956年の永田武（1913～91）隊長以下53名の第1次観測隊が最初であり、翌1957年には、昭和基地を開設しているの、中国は日本に比べておおよそ30年の遅れがある。

韓国と世界一を競う造船業

海洋に関連する技術として、造船技術の事例を見てみよう。中国は、近年急速に造船能力を拡大しており、世界トップを走る韓国と覇を競っている。

中国の造船業は、1980年代まで旧態依然たる設備や技術力しかなく、建造対象も自国内航船が中心で、造船量も少なかった。1990年代にいたり、自国貨物は自国の船で輸送し、自国の船は自国で建造することを基本とする「国輸国造政策」が強力に推進され、地方に分散していた造船所が主として「中国船舶重工業集团公司」と「中国船舶工業集团公司」の2つのグループに統合された。江蘇省無錫市で「蛟竜」を建造したCSSRCは、前者の下部機関である。

2つのグループは、海外からの技術や資本導入を通じて着実に競争力を高め、2007年に受注量で世界第1位、手持ち工事量で第2位、竣工量で第3位となり、日本の造船業を抜いて韓国に肉薄した。さらに2010年には、上記の3つの指標いずれにおいても中国は韓国を追い抜き、世界一の造船国である。

ただ中国の造船技術は、造船効率やデジタル化において韓国や日本に後れを取っており、これを安い労働力や船舶用鋼板の国内自給力などで補っている。

将来を見据えた海洋石油・天然ガス開発

世界の石油・天然ガスの開発は、陸地を中心としたものから海洋へと移りつつある。とりわけ最近では、海底掘削技術の進歩によって、より深い海底からの石油・天然ガスの開発が実施されている。

中国で、海洋の石油・天然ガス田の探査、採掘、開発などを実施しているのは、国有石油会社である「中国海洋石油総公司（CNOOC）」である。CNOOCは、これまでのところ渤海、南シナ海などの水深数百メートルの比較的浅いところで石油・天然ガス田の開発を実施してきたが、南シナ海の水深300～3,000メートルに大きな鉱区が発見されており、近年この開発に力を入れている。また、ナイジェリアやアンゴラの沿岸域においても、CNOOCは油田・ガス田開発を行っている。

石油開発技術は多くの先端技術を必要とするが、現在のところ中国の技術は、他の石油掘削先進国に比較すると高くない。しかしCNOOCは、上海交通大学などの国内の大学、

研究機関、あるいはノルウェーなどの外国企業と提携して、技術開発に努めている。この背景には、国内の急激な経済発展に伴うエネルギー需要の増大があることはいままでもない。