

## ■ 展望・解説 ■

## 「しんかい2000」「しんかい6500」による資源探査

Resource Investigation by Manned Submersible “SHINKAI 2000” and “SHINKAI 6500”

高川 真 一\*  
Shinichi Takagawa

## 1. はじめに

昨1992年11月に、「しんかい2000」による小笠原海域における金鉱の発見、そして「しんかい6500」による鯨の骨の発見が相次いで報道された。これらの発見は、深海という簡単には見ることのできない領域での発見であり、深海底での事象を探索・調査するためには潜水調査船という手段がいかに有用でありかつ不可欠であるかを如実に示した好例である。

また深海底にはミニチュアの海底火山である熱水噴出孔が各所で見られ、この周囲には種々の有用鉱物資源が濃厚に存在する。現在陸上で露天掘り等により採掘されている鉱山のうちのかなりの部分は、実は太古の昔に熱水噴出でできた鉱脈であって、長い年月をかけて陸上に上がってきたものであるとされている。さらに地下からしみだすメタンや硫化水素を養分とするバクテリアと共存する大型生物も多数見られ、太陽光を基礎とする光合成とは異なる「化学合成」という特殊な代謝をしていることから、このバクテリアの増殖により新規の薬品等が抽出できるのではないかと期待

されている。

一方、地球の表面である地殻を構成するプレートの境界を確認することは、地球物理学や地震予知の点からも重要であるが、多くの場合、堆積物に覆われていると確認は難しい。従来は地球物理学と生物学とは互いに相いれない学問分野であったが、プレート境界からしみだす地下水が堆積層を通して海底に現れ、その線に沿って生物が生息することが確認され、以来生物群を指標としてプレート境界が確認されるようになった。

近年、地球環境問題から地球温暖化と炭酸ガスの関連が種々議論されているが、深海底における液化した炭酸ガスの発見は、地球温暖化と海洋の関係に改めて注目を促したところである。

このように地球科学の進展や資源の探査、そして地球環境問題には、深海底における調査活動が不可欠であり、潜水調査船があってはじめて可能となる。

しかし、「しんかい2000」や「しんかい6500」の活動についてはしばしば報道されることから知っているものの、このような潜水調査船とはどのようなものであるかについてはあまり知られていない。そこでここではこれらの有人潜水調査船についての概要と、資源探査との関連について示すこととする。

なお、深海調査にはこれらの有人潜水船の他に、水上船舶に曳航されて海底付近を航走する無人曳航体や、水上船舶から伸びる索を経由して操縦する海中のロボットが実用化されている。また自律機能のある人工の頭脳を搭載して自由に海中・海底で行動するロボットの研究開発も盛んに行われている。本稿では無人のロボットについては割愛し、有人潜水調査船についてのみ論ずることとする。

## 2. 海中活動の基本

科学調査にしても資源探査にしても、海中活動の基本はまず見ることと走り回ることである。そしてその上で、採る、切る、掘る、設置するといった目的に依

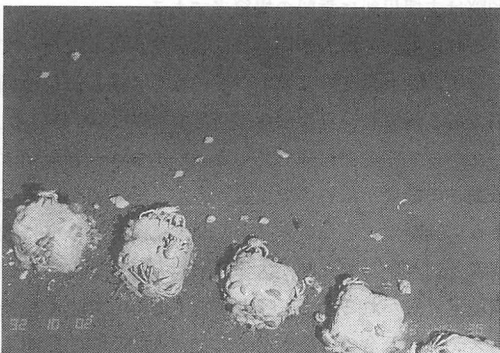


図-1 「しんかい6500」が発見した鯨の骨

\* 海洋科学技術センター 深海開発技術部研究主幹・工学博士  
〒237 横須賀市夏島町2-15

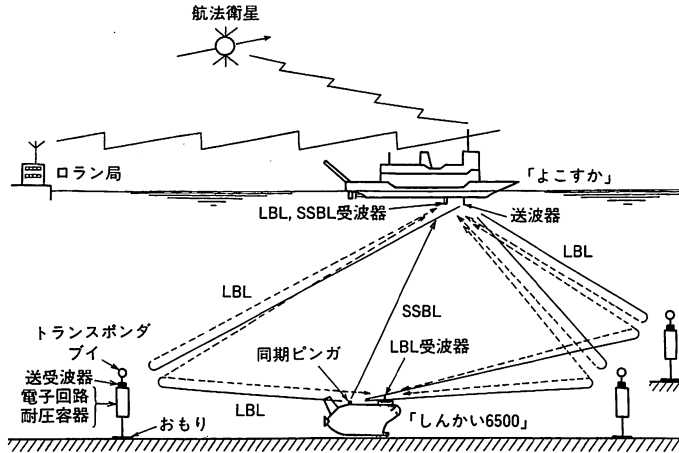


図-2 「しんかい6500」の航法システム

じた作業が行われる。

見るためには、肉眼観察用の窓やTVカメラが必要となる。あるいは水中で遠達性のある水中音響を用いたソナー情報を映像化して、あたかも見ているように表示することも行われる。

走るためには目的に応じてさまざまな方式がある。魚のように泳ぎ回るのが主目的であれば、自分の水中重量と浮量を一致させて水中に漂うようにした上で、スクリュープロベラにより航走する。大きな力仕事をするのが主目的であれば、しっかりと足を地に着けて踏ん張らねばならないので、キャタピラ走行となる。あるいは脚歩行式も開発されている。

作業内容は目的によって千差万別であり、それぞれに適した道具が用いられる。汎用的なものはマニピュレータ（機械の腕）であり、この腕に道具を持たせて作業することが多い。しかし一般に汎用のマニピュレータは腕力が小さいため、大きな力が必要な作業では目的に応じたモジュールを持ち込むことが多い。

海中で活動する上でのもう一つの重要なポイントは、自分の現在位置を把握しておくことである。陸上や宇宙と異なり、海中の見通しは非常に悪く、通常で5～10m程度先しか見えない。したがって視覚だけに頼っているのは、広大な海中で迷子になってしまう。科学調査や資源探査では、ある時に何か重大な発見があれば、それ以後いつでも確実に同じ場所に行けることが必要である。

この現在位置の把握には、海面にいる支援母船がGPS等を用いる衛星航法や電波航法で地球上の絶対位置を求め、海中については水中音響を用いる音響航

法システムによって求めて、両者を併せて水中での絶対位置を定めている。

### 3. 有人潜水調査船の概要

科学調査や資源探査では、ある特定の地点で特定目的のために集中的に行動するよりも、いろいろな場所に赴いて、できるだけ広い範囲を機敏に動き回って調査することが求められる。そのためは、海底走行式よりも魚のような遊泳型である方が良く、調査や探査を目的とした潜水調査船は世界中すべてこの型である。

#### 3.1 有人であるために

潜水調査船には有人と無人がある。無人の場合は現在実用化されているものではケーブルが母船と潜水調査船の間につながっていて、電力の供給と信号のやりとりを行っている。すなわちこの場合の潜水調査船の頭脳は支援母船に乗船の操縦者である。

これに対して有人の場合は、ケーブルはつながっておらず、潜水調査船はエネルギー源を装備し、かつ頭脳である操縦者自身が潜水調査船に乗り込んでいる。したがって完全に自律している。しかもケーブルによる動きの拘束がないので、乗り込んだ操縦者が好きなように動かすことができる。反面、操縦者ならびに観察者という生身の人間が大気圧とは言え完全な狭閉鎖環境下に置かれるので、呼吸系を主体とした生命維持システムに万全の体制が必要な他、人間工学的配慮も重要となる。

一般には有人潜水調査船は三人乗りが多く、「しんかい2000」と「しんかい6500」では共に二名が操縦者、一名が観測者である。標準潜航時間（潜航のためのハッ

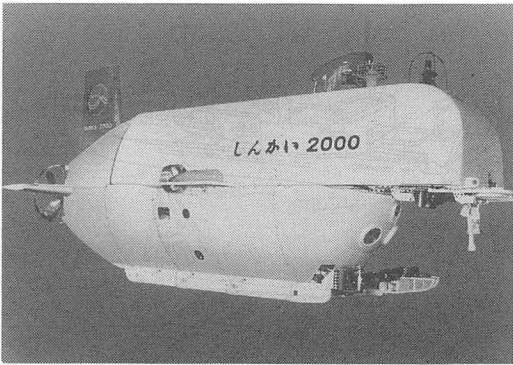


図-3 「しんかい2000」

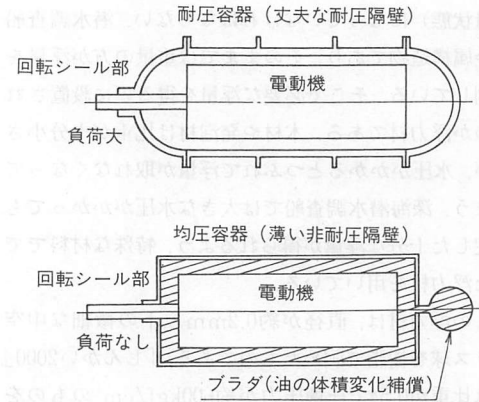


図-5 水中電動機と均圧機構

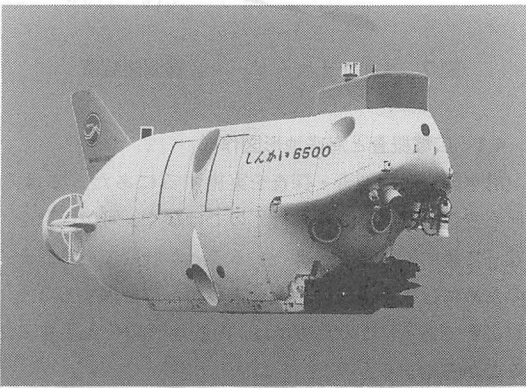


図-4 「しんかい6500」

チ閉鎖から浮上・回収後にハッチを開くまでの標準的な時間)は前者が8時間、後者が9時間となっている。また万一に備えて予備の酸素量と炭酸ガス吸収剤を保有し、その量は「しんかい2000」で3日分、「しんかい6500」で5日分である。

常々話題になるのは、潜航中の生理現象対策であるが、原則として潜航前日から水気を控える等の節制はしてもらうことになる。しかしそれでも催すことがあるので、小については近年オムツで用いられている尿を固化する薬剤の入った袋が用意してある。大については、健康体で節制しておれば標準潜航時間程度では普通は催さないで、特別な用意はしていない。

### 3.2 推進と均圧

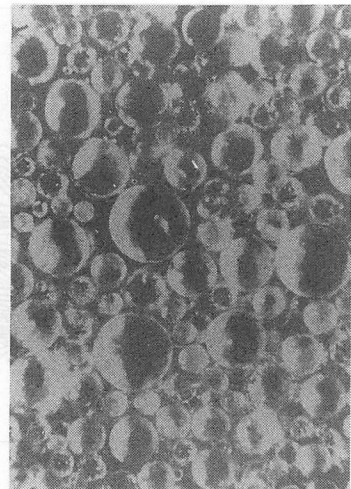
潜水調査船が海中を走り回るための動力は電池であり、これで電動機を駆動してプロペラを回す。「しんかい2000」や「しんかい6500」では電池から得られる直流はインバータにより交流に変換され、三相誘導電動機を駆動している。電動機は内部が油で充填されており、水圧がかかっても内外差圧が生じない均圧構造となっているため、充填油の圧力による粘性変化の影

響はあるものの、深度によって性能が大きく変化することはない。このような均圧構造はいたるところに取り入れられており、耐圧構造となっているのは、乗員が入る耐圧殻と繊細な電子機器類を封入した容器等ごくわずかである。

潜水調査船が海底付近を観察しながら航走する際は、海水中の光の透過度が良くない(通常は5~10m程度先しか見えない。)ので、1ノット(毎秒約0.5m)程度の速力で走ることになる。これだけの低速になると舵は効かない。そこで舵は設けずに、電動機と一体となったプロペラそのものの向きを変える方式を採用している。

### 3.3 浮力材

潜水調査船が海中・海底を魚のように泳ぎ回るためには、重量と浮量とが一致して海中に漂う状態(中正



(丸く見えるのが微小中空ガラス球、周囲は樹脂)

図-6 浮力材の顕微鏡写真

浮量状態)になっていなければならない。潜水調査船は金属構造物であり、そのままでは重量の方が浮量を圧倒している。そこで必要な浮量を得るのに設置されるのが浮力材である。木材や発泡材は比重が十分小さいが、水圧がかかるとつぶれて浮量が取れなくなってしまう。深海潜水調査船では大きな水圧がかかっても安定した十分な浮量が得られるよう、特殊な材料でできた浮力材を用いている。

この浮力材は、直径が約0.2mm以下の微細な中空ガラス球を樹脂で固めたものである。「しんかい2000」では比重が0.54で圧壊圧力が約600kgf/cm<sup>2</sup>のものを約11m<sup>3</sup>、「しんかい6500」では比重が同じく0.54で圧壊圧力が約1,300kgf/cm<sup>2</sup>のものを約14m<sup>3</sup>、それぞれ取扱い易いように小分けして搭載している。

#### 4. 海底の調査・探査

潜水調査船は冒頭に述べたように海底の調査・探査に欠かすことのできないものであるが、これがあれば即できるかというそうではない。視認できる範囲は非常に狭く、かたや調査・探査の対象となる海は非常に広い。「しんかい6500」が休みなく10年間稼働したとしても、視認調査範囲は淡路島の面積にしかならない。一日24時間、年365日間一時も休まずに海底を走り回ったとしても、地球の全海底を視認調査するには単純計算で数百万年かかってしまう。これではまったく意味をなさない。

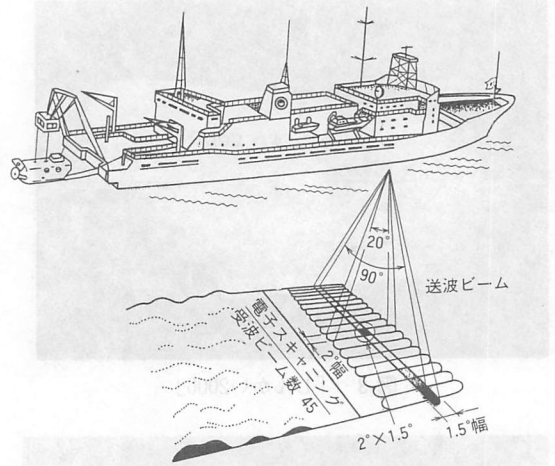


図-7 マルチナロービーム音響測深装置

#### 4.1 広域概査と海底地形図作成

潜水調査船で調査・探査を実施するにあたっては、何ら変哲もないところへ行くのではなく、何か目標を絞って集中的に調査・探査することが肝要であり、そのためにはまず海底の状況を大づかみに把握することが必要である。このためには、海底地形図を入手することから始まる。

海底地形図(等深線図)は、従来は測量船が直下の水深を計測し、そのデータを多数プロットして人間が手で描いていたが、今日ではマルチナロービーム(Multi-Narrow-Beam)音響測深装置の出現により、測

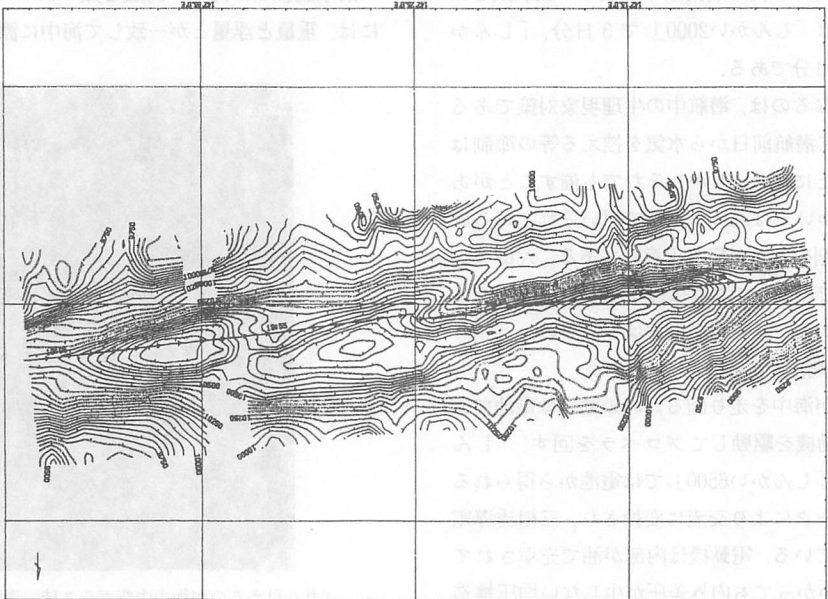


図-8 記録された等深線図

量船が航走するだけで水深と同程度から数倍の幅で測深し、そのデータからコンピュータが自動的に作画してくれるようになっている。そして測量船を矩形に航走させることにより、オフラインでデータ処理して一枚の大きな海底地形図が得られるようになっている。

海底地形図から海の中の山や谷の場所が確認できるが、地球物理学的、生物学的、あるいは資源としての興味深い地点は、平地であることは稀で、これらの山や谷付近であることが多い。そこで位置が確認されたこれらの場所へ、潜水調査船が急行して詳細に調査するという形を取るのが最も効率的である。

「しんかい2000」では支援母船「なつしま」にはこの装置が搭載してないが、かわりにこの装置を搭載している「かいよう」という同じく海洋科学技術センター所有の海洋調査船で前もって海底地形状況を調査して、潜航地点を定めている。一方「しんかい6500」では支援母船「よこすか」にこの装置が搭載してあり、航走しつつ常に海底地形の状況を把握している。

#### 4.2 潜航

上記の広域概査で潜航地点が確定すると、いよいよ潜水調査船による潜航が始まる。

目標海域に到達すると、まず支援母船は海底での基準点であり灯台となるトランスポンダという音響応答器を船上から投入して海底に設置する。支援母船ならびに潜水調査船は自身とこのトランスポンダとの間で音響信号のやり取りを行って自分の位置を確認する。

潜水調査船は過剰に搭載したおもりの重量で海底に向かって下降し、海底付近で適正量のおもりを投棄して中正浮量状態にする。そしてこの状態でプロペラを駆動して海底付近を航走し、興味深いものが見つけれ

ば着底して詳細に観察し、あるいはマニピュレータを操作して採取する。

深海底は死の世界と思われがちであるが、ほとんどの海底に行ってもまずナマコ類やイソギンチャク類が出迎えてくれる。また、熱水噴出孔付近や地下水のしみだしている付近では貝やカニ、エビ、それに得体の知れない奇妙な生物達が大勢で出迎えてくれる。決して死の世界ではなく、逆に非常に賑やかな世界である。深海底で見つかる生物はほとんどすべてが新種であるという。とすれば生物学者にとってこれほどうれしいことはない。彼が、次から次と見つかる新種の常に第一発見者になるからである。

何の変哲もない海底の泥の中にもさまざまなバクテリアが多数生息している。「しんかい2000」が取ってきた海底の泥の中から原油分解菌が抽出されたのもその好例である。

熱水噴出孔付近の沈着物には、金、銀、銅、亜鉛等さまざまな鉱物資源が濃厚に含まれている。小笠原海域で発見された金鉱はその好例である。また沖縄海域でも同様に金が発見されている。

地球温暖化と炭酸ガスの関連が種々議論されている折りに、「しんかい2000」が深海底で液状化した炭酸ガスが湧きだしているのを発見した。従来は今までに発生したと考えられる炭酸ガスの量と大気中存在する炭酸ガスの推定量の間に大きなギャップがあり、このギャップは海洋が何らかの関係を持っているに違いないと考えられていた。この深海底における液状化炭酸ガス噴出の発見は、俄然地球温暖化問題に対する海洋の役割に関心を集めることとなった。まず現れたのは、排出される炭酸ガスを集めて加圧液化して深海底の下

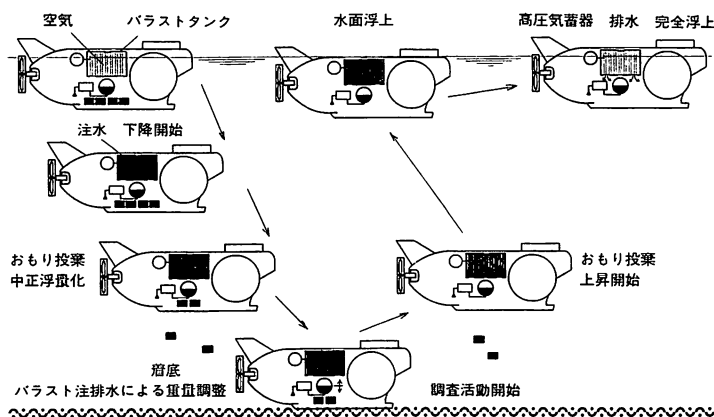


図-9 「しんかい6500」の潜航方法

に埋めてしまうという意見である。しかし埋めた後に炭酸ガスがどのように変化・拡散するか不明であることから、見送りになっている。そしてむしろ、海洋と炭酸ガスの関係を十分見極めることが先決として、研究が進められている。

海底でこのようなさまざまなものを見、かつ必要なものを撮影・採取して調査行動を行った後に、潜水調査船は残っているおもりを投棄して、海面に向かって上昇する。そして海面に浮上した後に、支援母船上に揚収され、一回の潜航を終了する。

## 5. 資源探査について

海中・海底には、現在の人間の社会活動にとって有用な資源となるものが非常に豊富に存在する。また、深海微生物のように、まだ良く分からないものの、資源として潜在的な可能性のあるものも豊富にある。さらに、例えば炭酸ガス問題のように、放っておいては将来人間の社会活動を大きく制限してしまうような要素を解放する鍵も海中・海底にはある。これは直接利用するという形の資源ではないが、別の意味でやはり資源と見なすべきであろう。

海洋にはこのように資源が豊富にあり、まさに海洋は資源の宝庫である。しかし残念ながら外から窺い知ることのできない世界でもある。資源を探査するためには、ある特定の資源を目指して探査するのの一つの方法ではあるが、どこに、どのような資源がどの程度存在するかほとんど分かっていない海洋で、資源の種を特定した探査を行うのは得策ではない。想定外の資源に遭遇しても見落としてしまうからである。むしろ、地球を知ることとを目的とした科学調査を遂行して、その過程で見いだされたさまざまな資源（見いだされた時点で場所と種が特定される。）について、改めてその広がりを確認し、有望であれば産業レベルの利用方法に関する検討が開始されるというのが筋ではなかろうか。

この意味で、まず科学調査を幅広く遂行することが必要であろう。そしてこの外から窺い知れない世界に乗り込む最良の手段は潜水調査船であり、丹念に海底を調査して行くことにより、さまざまな資源が見つかっていくであろう。

しかし潜水調査船が見渡せる範囲は非常に狭く、ほとんど点に過ぎない一方で、相手にする海洋は余りにも広い。そこで科学調査を効率的に行うためには、この点を線に、そして線を面に広げることが必要である。

さらに時間の要素も入ってくる。すなわち、現象は未来永劫同じ現象を続ける訳ではなく、さまざまな変化をするであろうし、発生場所も移動するであろう。

このような面的・時間的な変化も考慮した調査を遂行するのに、人間が乗り込むことに伴うさまざまな制約がある有人潜水調査船にすべてを託すことは、あまり良いとはいえない。有人潜水調査船は、調査範囲を絞り込んだ重点的な詳細な調査に振り向け、線的、面的、さらには時間的経過を含めた調査は、さまざまな機能を有するロボット群に委ねる方が効率的である。また、人間の自律性、柔軟性には及ばないが、近年の海中ロボット技術の進展には目を見張るものがあり、現状では水上船舶からケーブルを通して遠隔操縦されるロボットが主体であるが、近い将来には水上船舶から独立して、長時間、広範囲を航走して調査できる自律型ロボットや、定点で長期間諸現象の変遷を調べる長期観測ステーションの実際の運用も期待される。

一方、有人潜水調査船や各種の海中ロボットが調査できるのは、基本的に海底の表面から上である。しかし、地球科学という面で考えても、また資源探査という面で考えても、海底から下の状況をとらえることも非常に重要であることは明らかである。これを実施するために従来から、地震探査や重力・磁力計測が行われていたが、そこに何があるかを確認するには、やはりその試料を採取してくる以外にはない。これができるのは掘削である。

海洋底に掘削孔を明ければ、その試料が採取できるだけでなく、孔の中にいろいろな計測機器を設置し、長期変動の計測ステーションとしても活用できる。さらに多数の掘削孔にこのようなステーションを設けて、これらをネットワークとして利用すれば、このネットワークでカバーされた領域でどのような事象が長期的変動として生じているかが分かり、地球科学上からも貴重なデータが得られる。

「しんかい2000」や「しんかい6500」といった有人潜水調査船は、深海底の科学調査や資源探査には欠くことのできない重要な手段である。しかし同時に、これがあればすべて事足りるという訳ではない。有人潜水調査船で調査ができるのはあくまでも海底表面の一点だけであり、これを点から線へ、線から面へ、海底面から海底下へと対象を拡大し、さらに時間的要素も加えた調査を実施することによって、地球科学、資源探査が進展する。そのためには、各種の海中ロボットや長期海底ステーション、深海掘削船といったハード

ウェアの開発と運用，ならびにネットワークの構築といったさまざまな機材，機能を有機的に結び付けた一大システムが必要である。

このような大規模システムの構築には，開発費は勿論のこと，その運用費も莫大である。しかし費用が莫大であるからといって手を付けずにいる訳にはいかない。陸上資源の枯渇は決してはるか遠い未来の話ではない。また地球環境は蝕まれつつある。地球を救い，陸上資源枯渇問題を解決する鍵は海洋にある。そのためにこそ，海洋科学，地球科学を大きく進展させなければならない。

#### 参考文献

- 「しんかい6500」について：  
高川真一；6500m潜水調査船，日本版サイエンス，日経サイエンス社，1987年5月号，62～72
- いろいろの海中機器について：  
(財)日本造船学会海中技術専門委員会編著；海中技術一般（1992年2月），成山堂
- 「しんかい2000」，「しんかい6500」による調査について  
海洋科学技術センター；「しんかい2000」研究シンポジウム報告書，第1回（1985年8月）～第7回（1991年9月）  
海洋科学技術センター；潜水調査船「しんかい2000」500回潜航記録，1991年11月  
海洋科学技術センター；しんかいシンポジウム報告書，1992年12月（注：「しんかい6500」が就航したので「しんかい2000」と併せた報告書となっている。）

