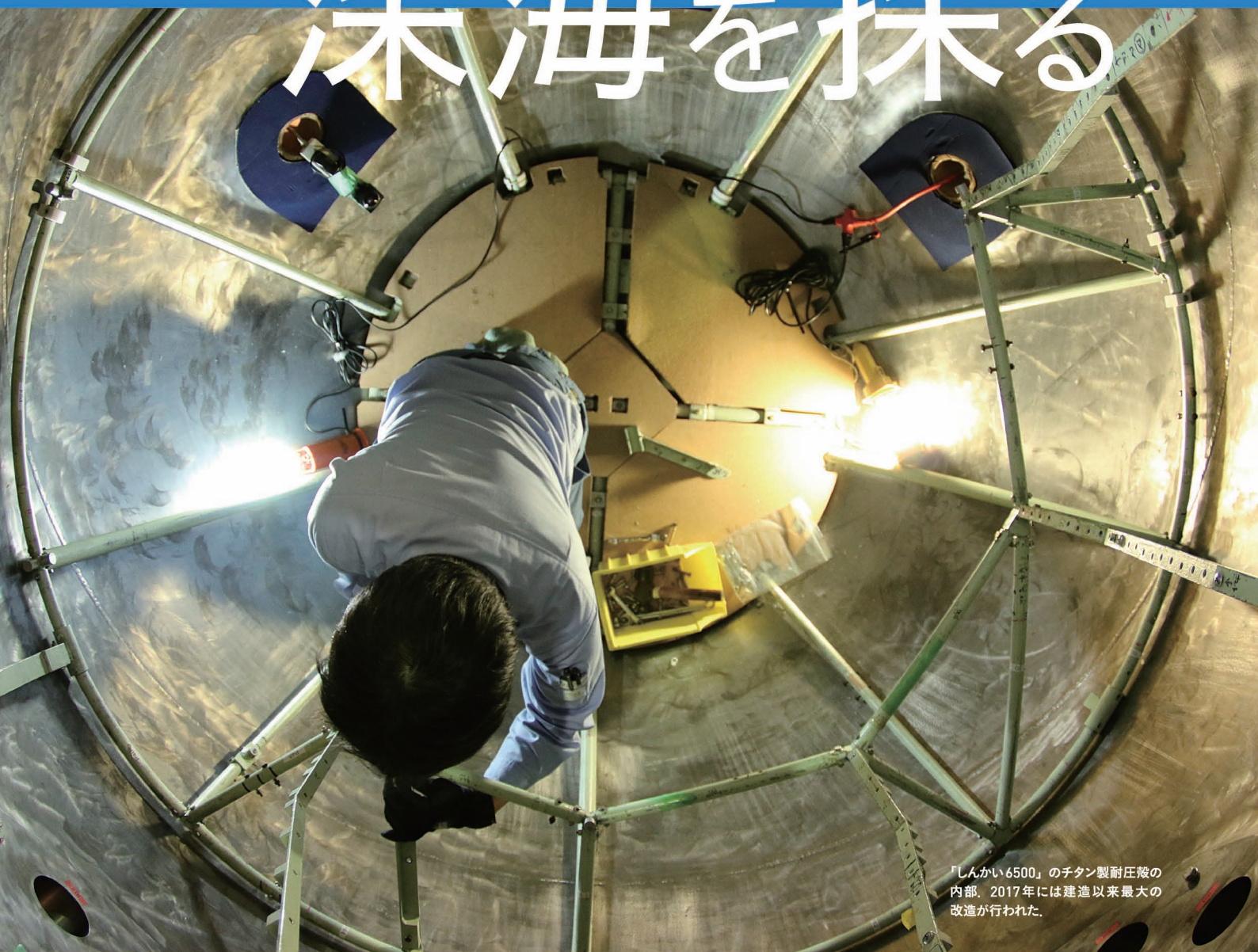


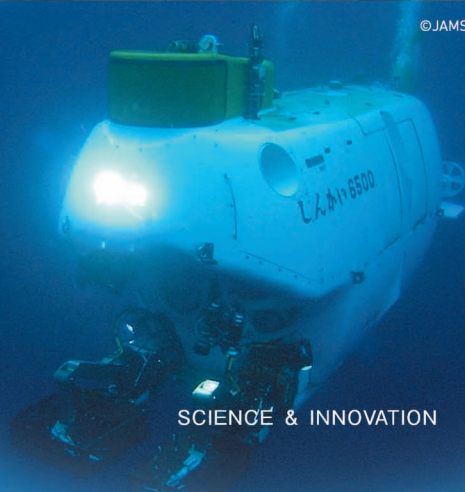
未知なる 深海を探る



「しんかい6500」のチタン製耐圧殻の内部。2017年には建造以来最大の改造が行われた。

人類が月に到達した今日でも
海底地図は地球上のたった10%の海底しか、鮮明にとらえられていない。
海底には山もあれば谷もある。多くの生物が太陽エネルギーに頼らず生息し、
レアメタルなどの豊富な金属資源の存在も期待されている。
巨大な水圧に耐える調査船とともに、
未知なる深海を探る挑戦はさらに深く進もうとしている。

©JAMSTEC



高压、低温、暗黒の世界 それが深海

地球上の生物の起源は海だったという。人類にとってなくてはならない海。しかし、世界一深い海であるマリアナ海溝チャレンジャー海淵（10920 m）に、今まで到達した人はわずか3名しかいない。深海はいまだに未知の世界である。

海は地球表面の約7割を占めているが、その95%は深海である。深海とは、植物プランクトンが光合成できる限界である水深200 m以下を指す。

深海は高压、低温、暗黒という過酷な環境である。圧力（水圧）は、10 m深く潜るごとに0.1 MPaずつ増えていく。水深1000 mで約10 MPaに達する。また、深海の水温は水深約1000 m以深で2～4℃の低温である。さらに、深海は太陽の光が届かない。太陽の光は、水深200 m程度で海面の0.1%の量になり、水深1000 m前後では100兆分の1程度のわずかな光になる。これは生物が検知できる光の限界だとされており、その先は完全な「暗黒の世界」となる。

地球や生物の謎に挑む 「しんかい6500」

なぜ、人は深海に向かうのだろうか。

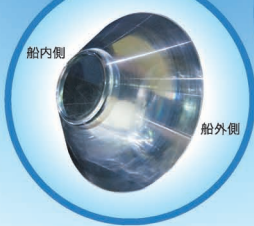
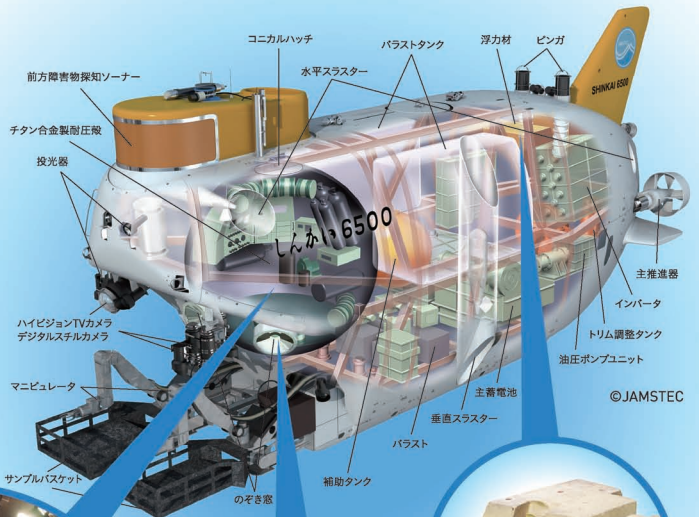
深海を探索する目的の一つは、地球内部の動きを解明する手掛かりとするためである。巨大地震の発生場所であるプレートが海底で沈み込んでいるようすや、新しくプレートが生まれる中央海域など、地球内部の動きに大きくかわる現象を調べることができる。地震の多い日本では、プレートの動きと巨大地震の関係を解明するために、深海の情報は重要である。

しんかい6500の構造

全体はチタン合金製フレームとFRP製外皮で覆われている。新造されて以降、耐圧殻とフレームは変わらないが、調査用設備などの多くは更新されている。

耐圧殻の内部

内径2 mの中に3名が乗務する。2017年の改造により、機器類はできるかぎり球体の上半分に移動され、居住性の向上が図られた。



のぞき窓
のぞき窓の厚さは138 mmでメタクリル樹脂を3枚貼り合わせたもの。外が大きい円錐形とすることで耐圧性を高めている。

浮力材
外皮の内側にシタクティックフォーム（微小な中空ガラス球を樹脂で固めた浮力材）が貼り付けられている。

その他、深海の生物群を観察することも大きな目的である。深海には、独自性に富んだ生物群や、地球内部から湧き出す熱水に含まれる化学成分をエネルギー源とする化学合成細菌などが生息しており、地球の生物の起源や進化の解明に役立つ。

深海を探索するためには、有人調査船や無人探査機が必要であり、探査の目的に応じて使用される。日本では海洋研究開発機構（JAMSTEC）の有人調査船「しんかい6500」が活躍している。1989年に完成した「しんかい6500」は水深6500 mまで潜ることができる⁽¹⁾。活動範囲は日本近海を始め、太平洋やインド洋、大西洋にまで及び、これまで延べ1509回の潜航を行っ

てきた（2017年8月4日現在）。このように大深度まで潜ることのできる有人調査船は、世界でも7隻しかないため、国際的な深海調査研究においても重要な役割を果たしている。

巨大な圧力に耐える チタン製耐圧殻

潜水調査船には、深海の特殊な環境で作業ができるように特殊な設計が施され、最適な材料が使用されている。しんかい6500が潜る水深6500 mでの水圧は約68 MPaにも及ぶ。この環境で船体の構造を守るため、船体の中で壊れてはいけない箇所は耐圧構造とし、それ以外は海水と同じ



小倉 訓 さん
海洋研究開発機構
海洋工学センター企画調整室室長

地球最深部へのチャレンジが始まった

これまでしんかい6500で約250回の潜航を行ってきた。地上と同じように深海には山や谷、水の流れなどがある。世界一地殻変動が激しいといわれるチリ沖（東太平洋海膨）で、短期間に海底地形が変化する様子を目の当たりにした時は、地球の変動を感じることができて、印象深かった。深海調査では無人探査機も活躍しているが、しんかい6500のように人が乗って探査することの意義は大きい。撮影した

画像を見るのとは違い、人がその場で見ることによって視野が広がるので、研究者にとっては貴重な機会となる。

現在、次世代の深海調査船の検討が始まっており、地球最深部の海底まで到達することを目指している。水圧はさらに厳しくなるので、船体の形状や構造は新たに開発する必要がある。材料も、圧縮強度の優れた構造材料や、三次元加工に適した材料が求められるのではないかと

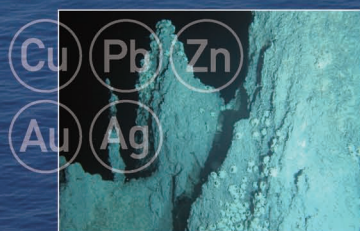
圧力の均圧構造としている。船体全体を形作るのは、チタン合金製のフレームとそれを覆うFRP製の外皮である。外皮の内側には、シンタクティックフォーム（微小な中空ガラス球を樹脂で固めた浮力材）が組み込まれている。フレームの内側には耐圧殻と呼ばれる操縦室や電気設備が収められている。

最も大きい部品は、フレームの内側にある耐圧殻であり、内径2 mの球形をしている。3名の乗員が乗るために十分な剛性を確保しつつ、船の運動性を確保するために小型軽量化が図られている。耐圧殻の材質は、チタン合金（Ti-6Al-4V-Eli（Extra Low Interstitial））である。以前に建造されたしんかい2000では、耐圧殻に高張力鋼板（NS90）が使われていた。しんかい6500では、鋼板に比べ比強度が大きく軽量化が図れるチタン合金が採用された。そのため、鋼板で必要だった腐食しるを設ける必要もなくなった。

耐圧殻は、まず板厚1.25 mmのチタン合金板をプレス加工して2つの半球を製作した。これを球の赤道部で電子ビーム溶接し、残留応力除去のため熱処理して球体とした。こうしてできた耐圧殻は板厚73.5 mm、真球度わずか1.004で、ほぼ真球に近い寸法を実現した。また圧壊強度は、当初計画を上回る約132 MPaを確保しており、水深6500 mレベルを超えても十分な性能を発揮する⁽²⁾。

現在、しんかい6500に続く有人、無人の調査船の検討が始まっている。しんかい6500が建造されてからすでに30年がたち、深海は自然科学の研究対象にとどまらず、エネルギーや資源の開発など、社会や産業からの期待も高まっている。調査船の潜水能力としては、世界で一番深いマリアナ海溝の探査が可能な12000 mクラスへの期待が膨らむ。今後、どのような探査システムや探査船が検討されていくのか、興味を持って見守りたい。

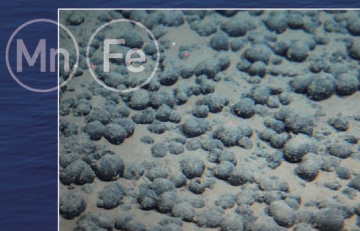
地球深部探査船「ちぎゅう」



海底熱水鉱床のチムニー



鉄マンガンクラスト



マンガン団塊

世界が注目する 海底のレアメタル

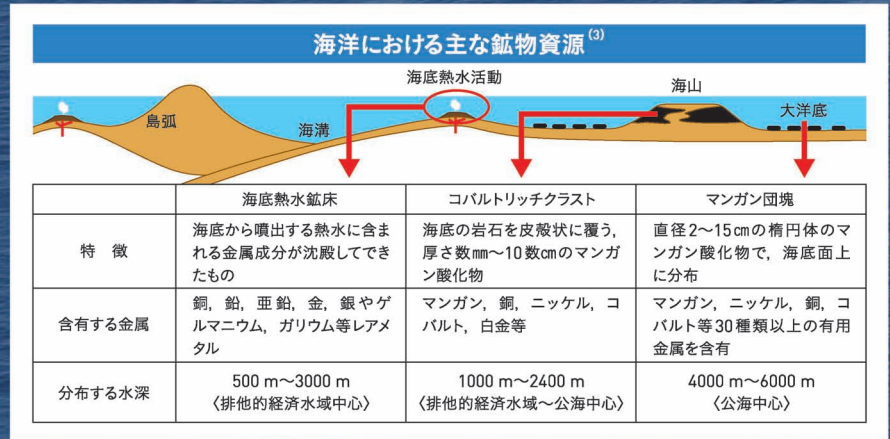
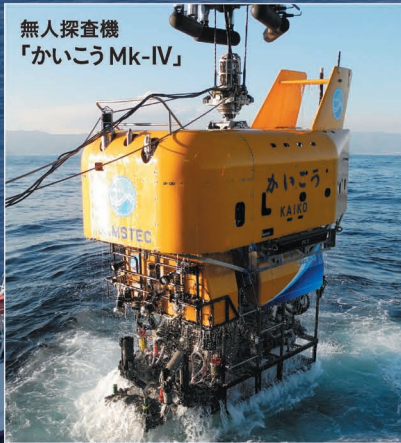
最近、深海に存在するさまざまな海洋資源への期待が高まっている。海では、これまで石油や天然ガスなどのエネルギー開発が行われてきたが、最近注目されているのはレアメタルなどの鉱物資源である。レアメタルは、構造材料の特性向上や、電子材料・磁性材料などの機能性材料などに使用されているが、産出国が限定されていることや消費国が偏在していることから、資源確保は各国の急務となっている。海洋国である日本の排他的経済水域は世界第6位と大きく、優先的に資源利用や開発を行うことができる水域は広い。ここでレアメタルが得られれば、将来まで安定した資源戦略を立てることができる。

現在有望とされている海底資源には、海底熱水鉱床、鉄マンガンクラスト、マンガン団塊などがある。

海底熱水鉱床とは、海底に噴出する高

海底に眠る レアメタルを求めて

地球深部探査船「ちきゅう」は、マントルや巨大地震発生域への大深度掘削が可能な世界初のライザー式科学掘削船。無人探査機「かいこう Mk-IV」は5000 m超の調査が可能で、海上からの操作によって重量物の採取や運搬、高解像度カメラによる撮影を行うことができる。



温(250~300℃)の熱水より沈殿する鉱床で、噴出孔には、煙突状の構造物「チムニー」が形成されている。日本周辺の海底は、熱水活動が盛んな海域として、世界でも有数の場所である。ここには銅、鉛、亜鉛、金、銀や、ゲルマニウム、ガリウムなどのレアメタルが含まれている。鉄マンガンクラストとは、海山の斜面や頂部に玄武岩や石灰岩等の基盤岩を覆うように存在する鉄・マンガン酸化物で、数100~数1000万年をかけて成長したものと考えられている。中でも、コバルトに富んだものをコバルトリッチクラストと呼んでいる。マンガン団塊は、マンガンと鉄を主体として、ニッケル、銅、コバルトなどのレアメタルを含有している鉱物で、最近では銅の含有量が多いものに注目が集まっている。

これらの資源について、まずは海底観測等により有望な海域を探索する作業が始まっている。広い海の中から貴重な資源を見つけるために、様々なチャレンジが行われている。

日本近海で発見されたコバルトリッチクラスト

2016年2月、南鳥島近海で、世界で初めて5500 mを超える深度の海山の斜面において、コバルトリッチクラストが広く存在していることが確認され、注目を集めた⁽⁴⁾。JAMSTECと高知大学の研究チームによるもので、場所は日本の南東約1800 km沖の「拓洋第5海山」と名付けられた巨大海山の南斜面である。

太平洋側には古いプレートに伴う古い海山があり、コバルトリッチクラストが成長している可能性があるとして期待されていた。しかし問題となるのは、広い海からコバルトリッチクラストが豊富に存在している場所を探すには、現状では莫大なコストがかかることだ。そこで、有望な海域を絞り込んで効率よく採取するため、コバルトリッチクラストの成因を解明し、存在する環境条件を把握することになった。

調査は、世界トップクラスの機動性を持つ無人探査機「かいこう Mk-IV」で行われた。潜航調査が始まってから3日目のこと、前日までの

水深1000 m付近の調査を終え、水深5500 mに達したところ、海山の斜面にいったいコバルトリッチクラストが映し出され、研究者たちは驚きに包まれたという。調査前の予想では、水深が深いところほどコバルトリッチクラストの量は減ると思われており、この結果は予想を覆すものとなった。

その後、2017年6月には房総半島沖約350 kmの海山の水深1500~5500 mの斜面でもコバルトリッチクラストが発見された。

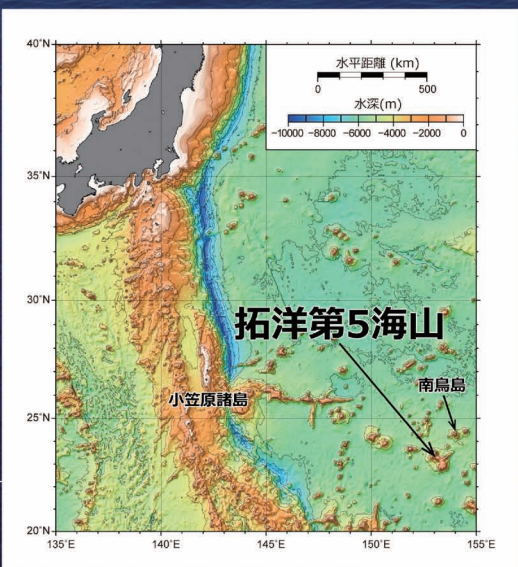
将来、このようなコバルトが、コストの面を考慮して安定的に海洋から、得られるようになったら、その影響は計り知れない。コバルトの用途は、モバイル機器などのリチウムイオン二次電池をはじめ、切削工具などに使われる超硬合金や、高速度鋼や耐熱鋼、永久磁石、石油精製時の脱硫触媒などがある。

コバルトに限らず多くのレアメタルは、将来の社会や産業の高度化を支えるために重要である。長い地球の歴史とともに、多くの生命を育んできた海は、鉱物資源を蓄え、人類にもたらしてくれるかけがえのない存在だといえるだろう。

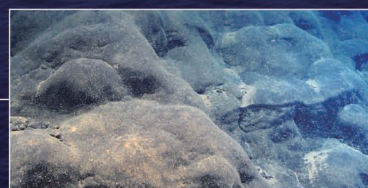
(取材協力：海洋研究開発機構 (JAMSTEC))

文献

- (1) 有人潜水調査船しんかい6500, JAMSTECホームページ:
<http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/> (参照日: 2017年8月21日)。
- (2) 高川真一, 木内大助, 高橋健二, 山内裕, 井上和也, 西村孝: 海洋科学技術センター試験研究報告 JAMSTEC R 23 (1990), 329-343。
- (3) 資源エネルギー庁ホームページ:
http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/mineral_resource/002/。
- (4) ニュースリリース (2016.2.9), JAMSTECホームページ:
http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160209_2/。



拓洋第5海山は、日本の南東約1800 km沖、南鳥島の西にある。



拓洋第5海山の水深5500 m付近のコバルトリッチクラスト。



房総沖で採取されたコバルトリッチクラストは、厚さ13 cmで北西太平洋最大級であった。