

探る

1

深海から地球を考える



藤岡 換太郎
FUJIOKA Kantaro

独立行政法人海洋研究開発機構
特任首席研究員

人類にとって地球最後のフロンティア「深海」の世界とはどういうものか。太陽の光の届かない暗黒の深海には、どのような生物がいるのか。世界最深を誇る有人探査船「しんかい6500」や探査機などにより、深海の生物や地形・地質構造などが次第に明らかになってきた。

深海とは

図1は海の深さに伴って様々な異なる生物が生息していることを示しています。海には多様な生物が生息していますが、それは海の環境が多様に変化するからなのです。地球上に生命が、人類が生息できるのは海があるからなのです。

深海といえば皆さんはどんなイメージを持たれるでしょうか。多くの人が暗くて寒く、とても行ってみたいとは思わないのではないのでしょうか。子供の頃、海岸に立って、海は遠くに行けばいくほど深くなると思ったことがあります。サンゴ礁の海にはたくさんの魚が泳いでいますが、深海にもこのような世界があるのだろうか。このような疑問に、今ようやく回答を与えることが出来るようになってきました。

深海とはどこを言うのでしょうか。生物学者は太陽の光の通る水深200mくらいを境にして、それより深い海を深海と言っています。海に潜ったこと

ある人は、浮力と水圧の変化を直接に感じたことがあると思います。10m潜るごとに、水は1気圧ずつ圧力が増加します。従って、水深1,000mでは100気圧、1cm²あたり100kgの圧力を、最も深いマリアナ海溝のチャレンジャー海淵では1cm²あたり1tという途方もない圧力を受けているのです。実際には海水の密度は水より大きいので、もう少し重いのですが。

光は海水中では減衰して200mくらいまでしか届きません。そのため光合成をする植物プランクトンはそれ以上の深さでは生きられません。一方、音(波)はどこまでも届きます。そのため海の深さを測るには音が使われています。

海水は圧力だけでなく温度や成分、そして流れに



写真1(左) 1989年に建造された4,439t、長さ105mの調査船「よこすか」。「しんかい6500」の母船としてやマルチチャンネル音波探査を主とし、その他の海洋観測のために用いられてきた

写真2(右) 3,000mの深さまで作業が出来る無人探査機「ハイパードルフィン」。高感度ビデオによる深海の映像や画像を提供する他、海底で作業やサンプリング、計測などのできる

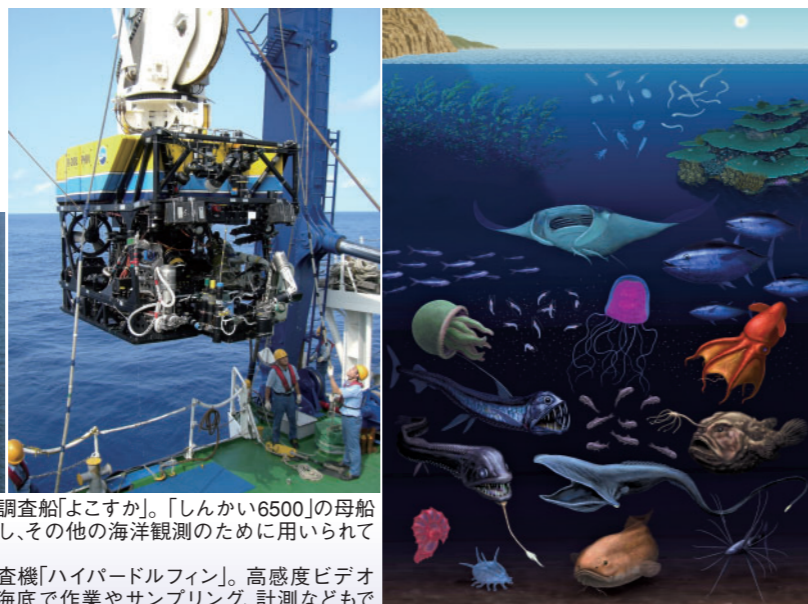


図1 海洋生物の鉛直分布図



写真3 自律型の無人探査機「MR-X1」。全長2.5m、幅0.8m、高さ1.2mで重量は800kgと小型軽量であり、ハンドリングが極めてやさしい



写真4 地球深部探査船「ちきゅう」。掘削された泥や岩石の屑を泥水で船の上まで押し上げるライザーと呼ばれる太いパイプと、暴噴防止装置をもつ



写真5 沖縄トラフ南奄西海丘の熱水系。ここでは真っ黒い煙ではなく、透明な高温の水が噴き出している。周辺には炭酸ガスの泡も見られる

よっても変化します。海水の温度は温度躍層を境にして変化します。水塊の異なる場所では深さ方向にいくつかの温度躍層が存在し、そこでは塩分も変化します。また深海底にも流れがあり、速いところでは0.5ノット(約0.93km/h)にもなります。この原動力は様々ですが、おおむね極域の冷たい水が海水中に沈んでいって海底に沿って流れるためです。これは2000年ほどで地球を一周しているようです。海水の循環は地球の気候を調整する重要な役割を果たしています。

調査船と探査機

人間が深海に潜ってもせいぜい170mくらいまでが限界でしょう。海の平均の深さは3,800mです。このような深さに到達するには、船や特殊な調査器機が必要です。観測船とか調査船とかいうものは観光船とは違って海の持つ様々な性質を調べるための器機や、研究する実験室を持った船のことです。探査機には海底の地形や生物を観察したり、海水の成分を分析したり試料を採集するためのものがあります。それには有人の潜水調査船と無人の探査機とがあり、どちらも同じような機能をもっています。無人探査機には電源や情報を伝達するための索(ケーブル)を持つ「ハイパードルフィン」や、無索無人で動ける自律型探査機「MR-X1」などがあります。

また、海底下の様々な情報を得るための掘削船もあります。地球深部探査船「ちきゅう」は海底下7,000mまで掘削して堆積物や岩石を採集し、海底下の環境を調べるための船です。さらに大気や、大気と海洋の相互作用を調べる船もあります。そしてこれら以外にも、多くの観測船や探査機を使って海や海の下の地球の研究がなされているのです。

地形

宇宙から海水が取り去られた地球を垣間見たら、

こんなふうに見えるだろうというのが図2です。この図から海陸を含めた地形が読み取れます。海底には陸上よりも大規模な地形が存在することがわかるでしょう。

海嶺は海中の山脈で、水深約5,000mの海底から3kmほどそびえる玄武岩の山で、大西洋ではその真中に存在します。ここでは地下深部から溶岩の元になるマグマが出てきて、新しい「プレート」と呼ばれる岩盤を形成します。プレートは年間数cmから10数cmで海嶺の両側へ移動しています。その厚さは大きいところでは100kmにもなります。それでも地球の半径6,400kmに比べたら板(プレート)のようなものです。

海溝は陸に近いところであって、水深6,000mより深い溝状の地形のことです。多くの海溝が環太平洋の陸に近いところを取り巻いています。海溝では海嶺で出来たプレートが地球の内部へと沈み込んでいます。それゆえ、海は陸に近いところが深く、海岸から遠くへ行くほど浅くなるのです。

海嶺に直交する方向の線状の大きな地形がトランスフォーム断層です。これは海嶺で新しくプレートが生産される拡大軸が、お互いに「すれ違う」あるいは「ずれる」ところになります。長いものでは何と6,500kmにもなります。海嶺やトランスフォーム断層では比較的浅い地震が発生しますが、海溝では深さ670kmにいたる深発地震が起こり、大きな津波が發

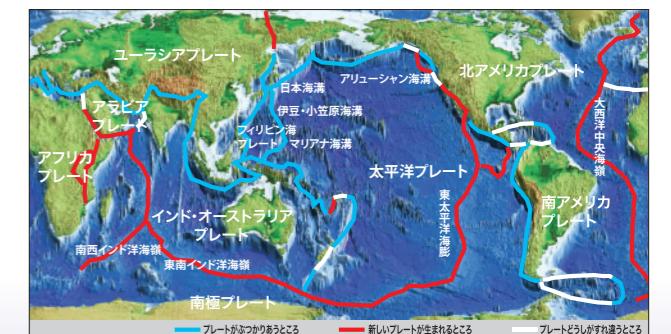


図2 世界の海底地形とプレートの分布図。赤は海嶺(拡大軸)、青は海溝(沈み込み帯)、白はトランスフォーム断層(すれちがい)

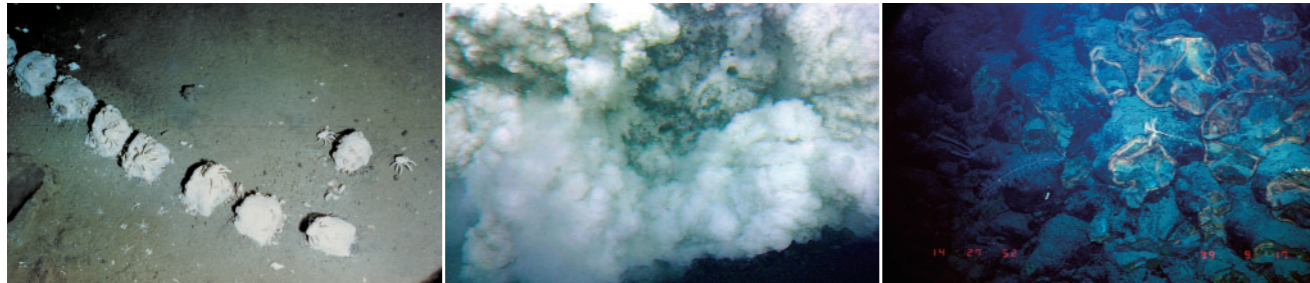


写真6 鯨骨生物群集。伊豆・小笠原弧南方鳥島の東150kmの海底の水深約4,000mで見つかった鯨の背骨に群がる奇妙な生態系。世界で2例目の発見

写真7 ロタ島周辺海底の噴火。無人探査機で見つかった世界初の海底噴火の目撃写真。煙の中に噴火で飛ばされた黒い破片(火山弾)が見られる

写真8 ハワイ周辺の海底で撮影された枕状溶岩

生しています。

海底には富士山より規模の大きな円錐形の地形が散在しています。これは火山活動で出来たものがほとんどで、海の山「海山」と言っています。海山よりはるかに規模が大きく、その頂上が比較的平坦なものを海の台地「海台」と呼んでいます。

海の中にはこのように大きな特徴的な地形が存在し、地球の表層、海の形、そして大陸の分布を変えているのです。そして、海水の流れや生物の生息条件に大きな制約を与えています。

生物

深海底には生物がないというのが過去の研究者の考えでした。これを検証するため、バケツを海底におろして引きずりまわして試料を採集する「ドレッジ」が開発され、英国のチャレンジャー号が世界一周航海に出ることになったのです。1872～1876年のことでした。この航海では世界中の海底から生物や堆積物、岩石などの標本が得られ、海水の温度や化学組成などの観測が行われました。およそ100年後の1977～1979年にかけて、ガラパゴス海嶺や東太平洋海膨の深海底で、潜水調査船「アルビン」によって海底の熱水系が相次いで発見されました。熱水とは350℃の真っ黒い煙のようなものが、金属の硫化物でできた煙突から噴出しているものです。その周辺には奇妙な生物がオアシスを形成しています。

これらの生物は太陽の恵みを受けられないので、光合成とは違う別の方法で生活しています。シロウリガイやハオリムシといった軟体動物やゴカイの一種は、共生する細菌が硫化水素やメタンといった人間にとっては毒になる化学物質から栄養を得ています。細菌を体内に飼うことによってエネルギーを得ているのです。このように、化学反応によってエネルギーを得ている生物を化学合成生物と呼んでいます。深海底には餌が極めて乏しいので、生物はこのようにして生息しているのです。メタンや硫

化水素の発生しやすい海嶺の熱水系や海溝の周辺などでは、多くの化学合成生物が生息しています。

これらとはまったく関係なく、鯨の死骸、特にその骨に群がる生物群集が世界で2例見つかっています。鯨の骨が酸素のない状態で分解するとメタンが発生しますが、それを使った一種の化学合成生物群集です。現在では陸に乗り上げた(ストランディング)鯨を使って人工的な鯨骨生物群集が作られて、生物の変化などが観察されています。深海には思いもよらない生物が存在しますが、このようなことがわかったのはほんの30年ほど前のことなのです。

火山活動

海底にも火山活動が見られます。しかし海水があり、大きな水圧のために陸上の活動とは異なります。実際に火山活動が目撃された例はほとんどありません。マリアナ諸島のロタ島西の海底で、噴火が無人探査機によって目撃されました。陸上であれば爆発的な噴火であったのですが、海底であるために水圧で噴火が抑えられました。

海底の火山活動は、主として拡大軸や水没している島弧(日本列島のような島が弓状に連なった地形)の火山フロント(火山がまるで前線のように線状に連なっている)で起こっています。1,000℃にも達する熱いマグマは、冷たい海水に接すると急冷され表面が固まります。しかし内部はまだ熱く、斜面などであれば中のマグマが表面の皮を突き破って、まるで蛇花火のように、にょろっと出てきて、長いラグビーボールをつないだようなロープのような形になります。その横断面が枕のように見えるので、枕状溶岩と呼ばれています。

島弧や拡大軸以外では、ハワイの火山のように大量の溶岩が短時間に出てきて海底から島を作るようになることがあります。ハワイではプレートの底よりも深いところからマグマが上がってきて噴火するのです。プレートは時間とともに移動するので、火山は

プレートの動く方向に島を残していきます。そのような島は一種の鎖のようにつながって見えます。ハワイから西北西につながる島の列とその先に続く海山の列は、ハワイ-天皇海山列と呼ばれています。その源になったマグマは7,000万年以上前から現在のハワイ島の下にあって、これらの列を作ったのです。そのような場所をホットスポットと呼んでいます。ホットスポットや、もっと大きくもっと深くから上がってくるスーパープルーム(巨大な煙のようなもの)というものは、巨大なマグマの生産地です。現在、スーパープルームは東アフリカとフレンチポリネシアの地下にあります。大量のマグマは火山を作るだけではなく、地球の気候や環境、海水の組成などにも大きな影響を与えています。

海溝

プレートが行き着くところに、海底の溝状の深い地形があります。これが海溝です。海溝はすでに述べたように6,000m以深のものをいいますが、それより浅くてもそこにプレートが沈みこんでいれば海溝です。そのような例として、南海トラフや相模トラフなどがあります。トラフは舟状海盆と訳し、全体の形が細長い船のような形をした地形です。日本列島の周辺は海溝がいくつもあって、その研究には都合のいい場所です。北から千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝、相模トラフ、駿河トラフ、南海トラフ、琉球海溝、パラオ海溝、ヤップ海溝など世界の1/3の海溝があります。

海溝では沈み込むプレートと沈みこまれるプレートとの間のせめぎあいがある、大きな地震が発生します。沈み込まれる側が剝削されたり、沈み込まれる側に海溝にたまった砂や泥などが付加したりして、陸地が増えたり減ったりしています。沈み込む側ではプレートがたわんでその表面に亀裂が出来たり、マグマが海底に出てきてプチスポットという火山地形を作っています。沈み込んだプレートは最終的に深さ670km付近で横たわります。そして密度が大きくなると下部マントルを突き抜けて、マントルと核の境界である深さ2,900kmまで落ちていきます。深さ110～140km付近では、沈み込むプレートから供給された水が周辺の岩石の融点を下げてマグマが発生しますが、これが島弧の火山を作っているのです。海溝ではその陸側の斜面に、地下から湧き出したメタンや硫化水素を使った化学合成生物が数多く見つかっています。

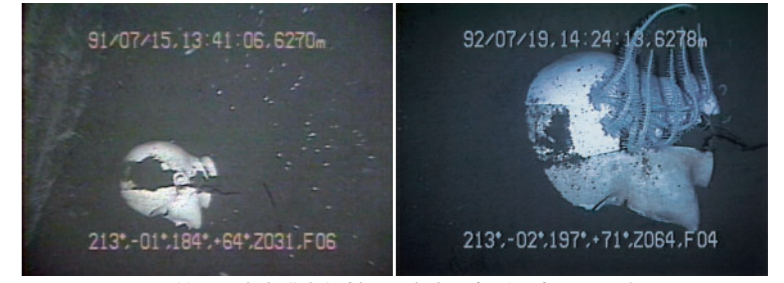


写真9、10 三陸沖の日本海溝海側斜面の海底の亀裂の中で1991年に見つかったマネキンの首(左)。発見された1年後には堆積物に埋まって変な生物が付着(右)。1995年にはすでに埋もれていた

大陸移動とプレートテクトニクス

図2には現在の海陸分布とプレートの分布が示されています。では、海はどのようにして出来てきたのでしょうか。地球上で最初の海は、マグマオーシャンが冷えて宇宙空間に散らばっていた揮発性成分が一挙に凝縮して大雨を降らせ、それが当時の凹地にたまったものであると考えられています。40億年ほど前にプレートの運動が始まると、沈み込みが起こって島弧が形成されました。島弧はプレートによって運ばれ、互いに衝突し、やがて大きな大陸(超大陸)が形成されます。大陸はその中に拡大軸が出来ることによって引き裂かれ移動し、その間に新しい海が形成されました。これらの大陸の破片は、やがて反対の方向に集まって、また一つの巨大な大陸を作ります。およそ2～3億年かけて行われる大陸の移動と集積のサイクルは、「ウィルソンサイクル」と呼ばれています。過去に地球上には数回の超大陸が存在しました。同様に超海洋も存在したのです。そして生命が38億年ほど前に誕生し、様々な地球の環境の変遷にもめげず、絶滅と進化を繰り返しながら現在に至っています。地球自身もこのようにダイナミックに変化し進化して現在に至ったのです。

深海の世界

深海の世界を垣間見た人は宇宙に行った人より少ないでしょう。それゆえ、深海を研究している人たちが実際に見たものを茶の間に配信し、深海の世界を多くの人々に知っていただけるようにすべきかと思えます。今回紹介したものは、深海に関するものがほんの少しでしかありません。それでも深海の世界の一端をご理解いただけたかと思えます。『海底二万里』のネモ船長が言うように、広大な深海にはまだ我々が知らない謎がたくさんあります。ようやくこのような謎が少しずつ明らかになってきているのです。

<資料提供>
独立行政法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)