

観測で分かる深海の世界：生物と環境

今回は、海溝域における探査技術の開発と深海生物の調査や分析を通して、生物の多様性や生態系の研究を進めている国立研究開発法人 海洋研究開発機構の小栗氏を講師としてお招きし、同機構が日本放送協会（NHK）と共同で撮影に成功した、マリアナ海溝の水深8,178m（世界最深記録）で遊泳する魚類の映像をご紹介します。また極めて高い水圧のためにアプローチすることが難しい海溝域における調査による海底の状況や海洋の生態系等の最新情報についてご講演いただきました。

開催日時：2017年12月11日（月）15：00～17：00

参加者：25名



小栗一将氏

独立研究開発法人 海洋研究開発機構
東日本海洋生態系変動解析
プロジェクトチーム
主任技術研究員

■プロローグ

私は、ご紹介いただきましたように海洋研究開発機構（JAMSTEC）で海の仕事をしています。今回は、深海の魚の話ということで、せっかくの機会ですので、テーマを3つ設けました。

①海は何か？という基礎の話を中心にします。

私たちは深いところばかりではなく、浅いところも調査しています。三陸の海の調査からわかる海洋の生態系や海洋科学の基礎、海とはどういうところかということをお話します。

②その次に、超深海、ほとんど知られていない水深6000mより深い世界について、我々が今まで調査してきたことをお話します。

③そして、第三部が今日のメインになるかもしれませんが、実録マリアナ海溝調査という、NHKとの共同研究のお話しをしたいと思います。

■第一部：三陸の海から知る、海洋生態系の基礎と生物について

□海の基礎

地球の写真からわかることは海が多いということです。実際に海がどれだけの比率を占めているかというと、全体の表面積の約7割です。陸が1/3で残り2/3が海です。海のうち1/3が太平洋で、大西洋とインド洋を足したのが残りで、北極海はわずかな割合です。

水深はどうかというと、浅いところがあってだんだん深くなり、平均水深が3729mです。4000m、5000mという水深の海が一番多くあります。我々の潜水艇が潜れるのがここまです。

そこから下、6000mより深い超深海はほとんどありません。統計によると、6000mより深いところは海全体の1.3%しかありません。

海の地形はどうなっているかというと、一番深いところが真ん中にあるわけではなく、どちらかというと大陸に近い端のところに分布しています。

大陸の近くには大陸棚といって水深200m程度の浅い海が広がっています。その向こうに斜面があって深い部分があり、さらにその向こうは深海平原という5000～6000mの水深がなだらかに続いています。

太陽の光がどこまで届くかというと、100m程度で海の表面に届く光の1/100ぐらいいなくなります。これより深くなると光合成はできなくなります。

人間の目で光を確認できるのは、おそらく数百mぐらいいまでで、100mより深く見えなくなるまでの深さをトワイライトゾーンと呼んでいます。

そこから下、1000mぐらいいになると人間の目で光を確認することはほとんどできません。真っ暗な世界です。したがって海という世界は、ほとんどが暗黒の世界であるということがわかると思います。

□マリンスノー

これは北極海で撮った写真です。綿埃のようなものが舞っています。時々線のように細長いものもあります。こういうものが海中をいっぱい漂っています。非常に幻想的で、見ていると引き込まれてしまいます。

マリンスノーを集めて顕微鏡で見ると、珪藻等の植物プランクトンの死骸とか鉱物粒子とか、それらを食べる動物プランクトンとかバクテリアなどが重なっていることがわかります。あるいは動物プランクト

ンが糞を出すのでそういうものもこの中にごちゃごちゃに集まっています。これがマリンスノーの正体です。

これが常に上から下に降っているの、マリンスノーは、海の表面で作られた有機物をまとめてゆっくり海の底に落としていくという、そういう役割も持っているわけです。

珪藻の細胞の中には光合成を行う葉緑体がありますが、この葉緑体の中には「クロロフィルa」という色素があり、この色素が重要な役割を果たします。

このクロロフィルaが海の表面で結構増えるのですが、海の上でどこでたくさん増えているかを調べるために人工衛星を使います。

2002年から2004年の平均的な値を積算すると、クロロフィルaの濃度の高いところというのは、だいたい決まっています。中緯度から極域（南極、北極）、それから赤道から沿岸で高くなっています。

これはなぜかというと、植物プランクトンというのは光と二酸化炭素だけではなく栄養が必要だからです。窒素やリン、ケイ酸塩といった栄養塩類がないと育たないのです。

北の方や赤道は栄養塩類をたっぷり含んだ水が海の下の方から上がってきてやすいので



すし、沿岸は川があるのでこれによってどんどん栄養が流れてきます。

逆に、栄養があまりなく、川からも離れている太平洋の南の方などは温度が高くても増えることができないので、濃度も低くなります。

簡単にまとめてみますと、海の表面は、栄養があって日が当たって植物プランクトンがどんどん増えて、それが固まってマリンスノーになって餌になって食われながら分解しながら海底に沈んでいくということになります。

水深が100mを超えると光が届かなくなって光合成ができなくなってしまうので、こういうことが起こるのは水深が浅い部分だけです。ということは、浅いところでプランクトンがいっぱいできて、それが死んで分解され元素がバラバラになって、そしてそれが戻って作られるというふうに、大部分の有機元素が浅いところでグルグル回っているのです。そしてごく一部が下に落ちていくということになります。

ここで最初に植物プランクトンによって有機物が光合成で作られることを「一次生産」といいますが、下まで落ちていくのはあまり多くなくて、落ちていく分は「新生産」という別の言い方をしています。

ではマリンスノーはどれくらいたくさん落ちていて、水深が深くなるとどうなるのかということをお調べするといろいろなことがわかります。

セディメントトラップという道具を海の底にぶら下げておきます。実際の調査では、千島列島の南のところで水深1000m、3000m、5000mの3つの深さのところにずっとぶら下げました。

その結果を見ますと、マリンスノーは、降るときは降るが降らないときは降らない、しかも季節変化があるということがわかりました。一定ではないんです。

同じような結果は、岩手県三陸の沖合でも出ています。これはセディメントトラップを450mと600mと800mのところにぶら下げたのですが、ある時点でドーンと増えて、また急に減っていることがわかりました。

□第一部まとめ

栄養と水温と光の条件でプランクトンがいっぱい増えると、動物がたくさんやって来て食物連鎖網ができるということになります。

それで植物プランクトンはマリンスノーになって固まって落ちていきますが、途中で

だんだんとバクテリアなどに食べられて少しずつ量を減らしていき、海底にはごく一部しか届かないが、その海底にもそれを待ち構えている動物がいて、季節的にマリンスノーが増えると生き物がいっぱいやって来てそれを食べる、というシステムが海の中で構築されているわけです。

■第二部：超深海～ほとんど知られていない水深6000m以深の世界

□超深海の分布と調査方法

6000mを超える海を超深海といいます。10000mを超える深い海はどれくらいあるかというと、実は世界で4か所しかありません。あの有名で一番深いマリアナ海溝が10910m、次がトンガ海溝で10800m、そのほかはフィリピン海溝の10540m（あまり厳密に調べられていないので諸説あります）、ケルマディック海溝の10047mです。この4か所しかありません。

我々は有人の潜水艇は持っていないのですが、「かいこう」という無人探査機を作りました。7000mまで潜れる無人探査機です。テレビの映像ケーブルを通じて送ることができます。ただ、10000mまで潜るとなるとケーブルが非常に重くなってしまい、1つだけではとても無理だということで、親亀（ランチャー）と子亀（ビーグル）の切り離し方式により、ランチャーでケーブルの重量を支え、さらに短いケーブルで一番下まで行くという方法で達成しました。

では、どのようにして超深海の調査をするかというと「ランダー」というものを使います。



浅海から超深海まで：「ランダー」
• (a)「採泥器付きフリーフォールカメラシステム」(JAMSTEC製)
• (b)「酸素センサー付きランダー」(デンマーク・イギリス製、JAMSTEC改造)
• (c) 海底探査装置のガレージランダー(ドイツ製)

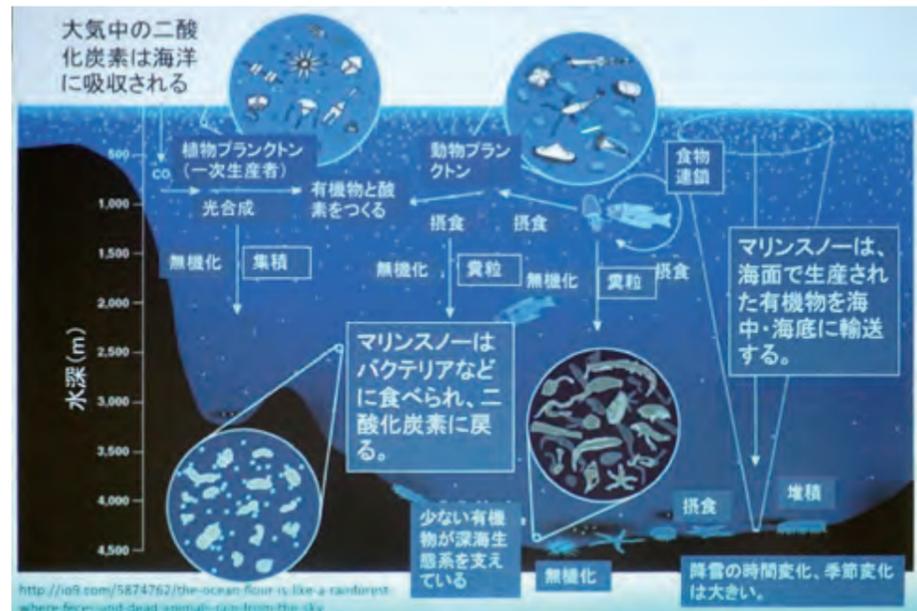
左側の写真が我々がよく使うJAMSTEC製のランダーで、海底に着底したときに泥を採取できるように、採泥器付きフリーフォールカメラシステムを搭載しています。真ん中の写真はデンマークとイギリスが、右側の写真はドイツが作った同様のランダーです。

この「ランダー」を使っていろいろなことを調べたのですが、東北震災によって日本海溝で何が起きたかについてお話ししたいと思います。

2011年7月に調査を行いました。仙台から270km離れていて震源から110km東南東に位置しています。海溝の辺りで一番深い7553mの地点と、海溝の軸から少し太平洋側の7261mのところの2つの観測点にそれぞれ「ランダー」を下ろしました。

海底付近の濁りをグラフにしてみました。そうしますと、一番深い海溝軸で海底から50mのところまで急激に濁りが強くなっています。太平洋側も30mから上が急激に濁りが強くなっています。

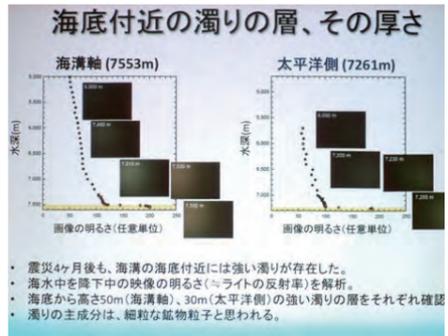
こういうのはマリンスノーのような粒ではなくて非常に細かい粒なので、おそらく



この濁りの主成分は非常に微細な鉱物粒子だと考えられます。

海溝軸 7553 mの様子は、強い濁りがあり、魚は流れに逆らって自分の力で泳ぐことができないくらいの強い流れがあります。よく見ると流れのところに縞状のものが見えます。これはリップルマークといって強い流れがあると海底にできる、砂丘にある風紋のような模様です。

太平洋側の 7261 mでも同じような強い濁りがあります。



採取した泥を調べてみました。そうすると、すごいことがわかりました。採取した泥を産業用CTを使って分析したのですが、密度が高い層と低い層があることがとてもよくわかりました。

これによると30cm ぐらいのところまで密度が低く、途中で非常に密度が高い層が3枚入っていることがわかります。そこから下はそれなりに密度が高くなり割と落ち着いている状態です。

こうした結果を見てすぐにわかったことは、流れによってもものがダーツと流されてくると最初に密度が高いものが堆積して、その後密度の低いものがじわじわと堆積する。それが少なくとも3回起きているということです。

実際そうなのかということを検証するために分析を行いました。この泥の中の放射能の濃度を測ります。放射能にはいろいろなものがあります。私たちが注目したのは、鉛210、セシウム137、セシウム134の3つです。

鉛210とはどういうものかという、天然界にもともと存在するものです。半減期は22.3年です。

もう一つはセシウムです。セシウムには137と134の2つがあります。

これは天然にはほとんど存在しません。ですから自然界で検出されるものというのは、過去の核実験や原子力発電所の事故に由来するものです。

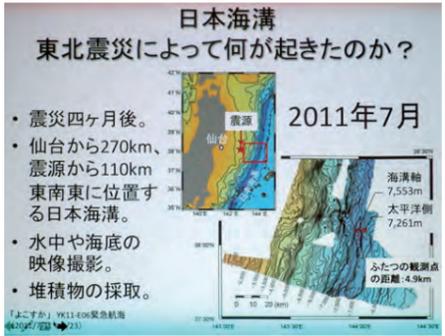
セシウム134は原子炉の中のように非常に

閉鎖的な空間でできた原子に中性子が当たるとできるものなので、これが出たということは2つの原因が考えられます。1つは原子力発電所の事故、もう一つは核燃料の再処理工場から出るものがあります。

まず海溝軸の堆積物の放射能の濃度です。鉛210で面白いのは、深さ30cmまではほぼ一定でしかも濃度が高く、そこから下になると急に減っている。これはどういうことかということ、半減期が22.3年なので同じ濃度ということはほぼ同時期にこれらが一気に堆積したということを示しています。30cmより下が減っているということは、ゆっくり溜まっていったということを示しています。

セシウム137をみると30cmまでは、濃度は低いのですが検出されていて、そこから下は全く検出されないということは、割と新しい核実験の影響を受けた泥が、このときに一気に溜まったというふうに考えることができます。ただこの深さではセシウム134は検出されませんでした。

次に太平洋側の堆積物をみてみます。上のほうは鉛210の濃度が一定で、セシウムもあって134が表層から検出されました。事故から4か月後に、もう事故で出たセシウム134が7000mの海底まで届いていました。やはりあの地震というのは、我々が住んでいるところだけではなく、深海にも大きな爪痕を残したということがわかります。



□マリアナ海溝

マリアナ海溝はグアムのすぐ南西側にあり、最深部は10900～910mといわれています。さらに南側は普通の深海平原がずっと分布していますが、この2つでどのように環境が違うのかを調べました。

まず水深6000mのマリアナ海溝近くの深海平原の海底です。海底には生物が作った山のようなものがあります。比較的静かな環境です。80cm ぐらいのかなり大きな魚も写っています。こういう大きな魚がいるということは、それなりに餌があるというこ

とです。下を向いてジグザグに動いているので海底にいる生き物を食べているのかもかもしれません。深海の生き物は動きが基本的に遅いです。無駄な動きや無駄なエネルギーを使うようなことはしないんだと思います。次にチャレンジャー海淵10900mの最深部です。6000mの海底に比べると山のようなものは見えません。少し流れがあるのかりップルマークのようなものが見えます。海底の色は少し茶色っぽいです。あまり動きのない環境です。

ここで我々は酸素の電極を深さ20cmまで差して調査しました。そうしたら意外なことがわかりました。

深海平原のほうは泥の中深くなっても酸素の量あまり減っていないことがわかりました。一方、チャレンジャー海淵のほうは、深くなるほど酸素濃度の減りが大きいのです。これは何を意味しているかということ、チャレンジャー海淵のほう酸素の消費が速い。要するに酸素がたくさん食われる、有機物もあるだろうし微生物の活動も盛んであるということを示唆しています。

有機物の濃度を測ってみると、深海平原よりもチャレンジャー海淵の有機物の濃度のほうが、下のほうまで高いことがわかります。それからクロロフィルaとその分解物の色素の濃度を測ると、チャレンジャー海淵のほう分解物の色素の濃度が圧倒的に高い。

バクテリアの量を顕微鏡でカウントすると、驚くべきことに深海平原のほうは20cmでほとんどいなくなってしまうのに対し、チャレンジャー海淵のほうはあまり減らず深いところまでたくさんいます。

この結果は、今までの“深くなるほど有機物は分解されて減る”ということをもまったく覆す結果でした。むしろ深いほうが多かったという非常に衝撃的な結果でした。

それはどういうことかということ、一旦、深海平原や斜面に堆積した有機物が、斜面を経由して海溝に流入して濃集している、要するに吹き寄せられているのではないか、ということです。

□第二部まとめ

超深海(6000m)の海域はかなり限られています。超深海以深に潜航できる探査機も限られています。「ランダー」による調査が進んでいます。

海溝では地震に伴う突発的な堆積現象が起きています。

有機物は横方向経路で濃集しているの

で、深海平原よりも微生物も多いし有機物の濃度も高い。

これは従来考えられてきた、深いほど栄養に乏しく生命活動も低い、という概念を覆すものでした。

■第三部：実録・マリアナ海溝調査

□経緯

そもそもこの調査を始めた理由は、NHKが超深海の環境や生物を取り上げる番組を作ることになりました。そのためにJAMSTECとNHKが共同研究契約を締結したので、マリアナの海底で生物の映像を撮ってくることにしました。

NHKのディレクターとやり取りをして、JAMSTECには「ランダー」の技術があったので「ランダー」を使い、餌で魚をおびき寄せて撮影しようという話になりました。

□これまでの記録

これまでの記録としては、「ヨミノアシロ」という魚を、1970年にデンマークのガラセア号という船の航海で網で採取したものが、この網を水深8370mまで入れたということがわかっています。

ところがセンサーによる測深もできていませんし、当時は技術が発達だったのでカメラもありません。たしかに8370mの海底を網が引きずったことは間違いないのですが、どこで捕れたのかわからないのです。なので幻の記録ですが、これが一番深いのではないかと言われてきています。



ところが最近「近年の研究結果 魚類の生息限界8200m説」というおもしろい仮説が出ました。

いろいろな深さの魚を採ってきてみると、体内の浸透圧が、深ければ深いほど上がっていくのです。もちろんそれでは困るので、魚は浸透圧を調整するための物質トリメチルアミン - N - オキシドを作り出しています。

いろいろな深さで魚を採り、この物質の濃

度を測ると、深くなればなるほど濃度が上がっていきます。

これはどういうことかということ、水圧によってタンパク質分子が変形を引き起こしてしまい、浸透圧の調整がやりにくくなる。なので一生懸命この物質を作ってなんとか浸透圧を低くしようと頑張る。それでも浸透圧が上がってしまうのですが、浸透圧のグラフをずっと伸ばしていくと8200mでついに海水の浸透圧と等しくなってしまうのです。つまり魚は8200m以深では生息できない、というのがこの仮説です。

□機材

調査するための潜水艇としてNHKと一緒に「フルデプスミニランダー」というものを作りました。大きさは、縦横1.1m、高さ2.18mで、錘をつけた空中重量は282kg、水中では40kgです。錘を落とすと浮力が働いて浮上します。

製作期間は2か月だったので大変でした。部品もコスト削減のため在庫品を活用しています。しかも水槽試験を行った後、船が出てから相模湾でリハーサルを1回やっただけでしたので、ほとんどぶっつけ本番になるという、非常にハードな開発でした。



上に浮力材がついています。非常用の切り離し装置も電気系統でついていて、ガラス球の中にカメラや電気回路が入っています。横にLEDのランプがついていて、下に錘がついて、錘は切り離し装置がついています。フレームの前に餌をくっつけて、これにおびき寄せられてきた生き物を写真で撮るといったことです。

魚の水深の記録を残すための、世界的に定評のあるセンサーも取り付けられています。

□魚の撮影に成功

魚の映像ですが、電池はもつのですが、4Kで撮影しているのでメモリが持たない。512GBのSDカードでも12時間撮れないのです。

とにかくずっと撮り続け、3回魚の姿を確認できましたが、みんな同じサイズ、同じものだったので、おそらく同じ一匹がずっと写っていたのではないかと考えています。つい最近論文が出ました。これはイギリスとアメリカのグループがずっとマリアナの海の魚を研究していて、我々の深さより浅いのですが、マリアナ海溝で魚を採って解析したところ新種であることがわかりました。

11月24日に出たばかりの論文ですが、その魚には「Pseudoliparis swirei」という名前が付きました。

我々が撮影した魚も、動画がそれほど鮮明ではないので断定はできないのですが、撮った場所を考えるとこの種である可能性が非常に高いです。

それから面白いのは、この仲間というのは世界7か所の海溝から採られているのですが、形態は似ているのですが、よくみるとちょっと違っていて全て別種だったということがわかっています。



□第三部まとめ

それぞれの海溝は化学的な環境が異なり、地形的にも隔離されています。

それぞれの海溝にはそれぞれの固有種が分布しているらしいということもわかります。つまり「海溝というのは深海生物のガラパゴス」かもしれません。

これから研究をやらおうとしているのは、真にそういうガラパゴスで、これがどういうふうにできたのか、どうやって生物が広がっていったのかといった仮説を検討したいということ、今、深海を調査している人たちは考えています。

環境といってもまったく異なる環境のお話しをしてきましたが、地球という観点からみてみますと、7割が海であって、我々が知っているのは陸ぐらいで海というのはほとんど知らない世界であり、地球の環境といっても実は別の惑星かもしれないようなところが7割もあるということが今日ご理解いただければ嬉しいです。(終)