

「北極海の海洋生物の現状と展望」

原田 尚美（海洋研究開発機構 地球環境部門 部門長）

北極海は地球上で最も温暖化に敏感に応答する地域の1つであり、北半球の平均的な気温上昇のおよそ2倍の速さで温暖化が進んでいる。どう敏感に応答しているのか？その代表例が海に張り出す氷（海氷）で、年を追うごとにその面積や体積を縮小させ、今世紀中頃には、夏の海氷がほぼ消失するのではないかと予測されている。図1に北極海における海洋生態系の営みを模式的に記した（AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost, SWIPA2011 Overview Report. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, xi+97pp）。北極海に張り出す海氷の一年氷の直下では5月ごろから弱い光環境に適応して繁茂するアイスアルジーが活発に生産を始める。アイスアルジーは大量に有機物を合成し、動物プランクトンなどがそれを餌にする以外に、海底に直接落下し、底生生物の餌にもなる。その後、氷縁部では、もう少し強い光に適応した植物プランクトンが春の大発生（ブルーム）を起こし、海洋中の食物網に組み込まれ高次の魚にまでエネルギーを伝播する。このような海水域特有の生態系システムは「底生・遠洋システム」と呼ばれ、海氷があって初めて成り立つシステムであることから、温暖化によって加速している海氷の消失は、北極海の海洋生態系に大きな影響を及ぼすと考えられる。では具体的にどのような影響が想定されるのだろうか？本講演では、正の影響、負の影響、正負どちらとも判別が難しい影響など多様な方向から北極海の海洋生態系の将来を考えてみたい。

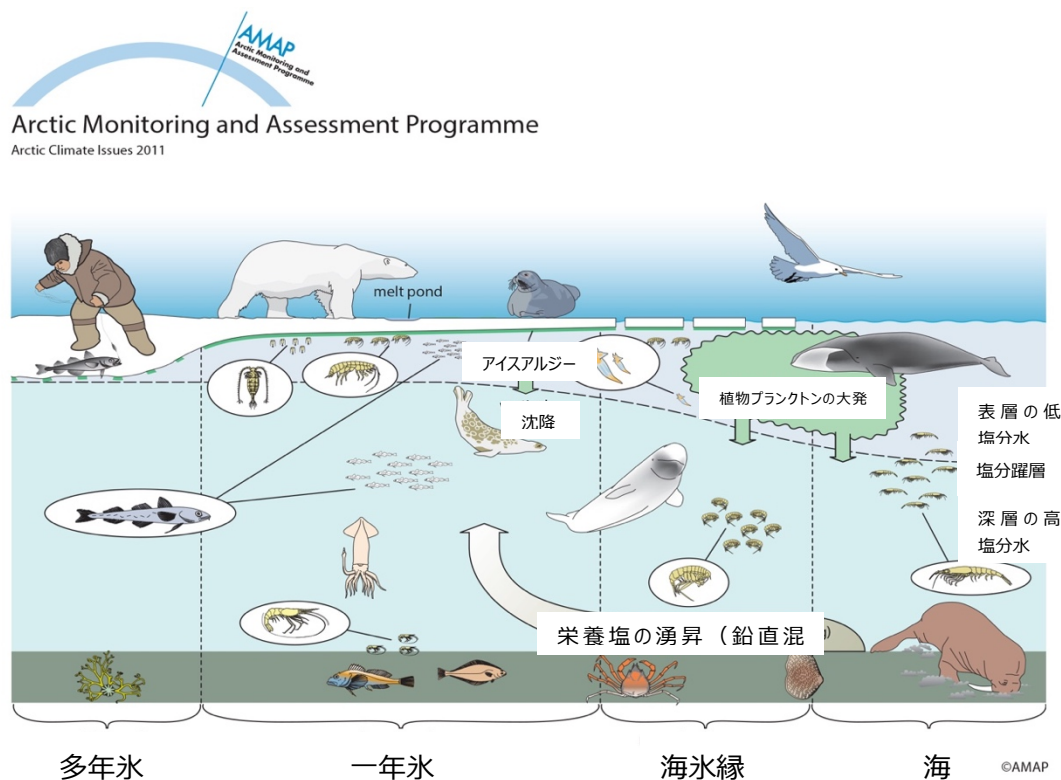


図1 北極海の海洋生態系と海水の関係

広い海から限られた海底資源をどのように探すか
鈴木 勝彦（海洋研究開発機構・海底資源センター・センター長）

私たちの生活に金属は欠かせません。周囲を見渡すと、鉄、アルミニウム、亜鉛、銅などすぐに目につくものから、電気自動車や風力発電のモーターに使われるネオジム、ディスプレイシウムなどのレアアース、バッテリー材料の1つであるコバルトなどのレアメタルも重要な金属です。これらは現在陸上の鉱山から採取されていますが、数十年で枯渇すると考えられている金属もあります。そこで、金属を使わない技術の開発やいわゆる都市鉱山からのリサイクルの試みが続けられています。

新たな金属鉱床の発見は極めて困難ですが、一方、海に目を転じると、海底には大量の鉱物資源が存在することが明らかになり、非常に期待されています。海底鉱物資源には熱水鉱床、マンガンクラスト、マンガンジュール、レアアース泥の4種類が存在し（下図）、それぞれ鉱物資源ができる場所と環境に特徴があります。例えば、長期に渡る火山活動に伴って、亜鉛、鉛、銅、時には金や銀を濃集する熱水鉱床は、地球の表面を覆っているプレートが地球深くマントルまで沈み込んでいく「沈み込み帯」に見られます。コバルトやテルルなどレアメタルに富むマンガンクラスト（コバルトリッチクラスト）は海山の水深1000mから

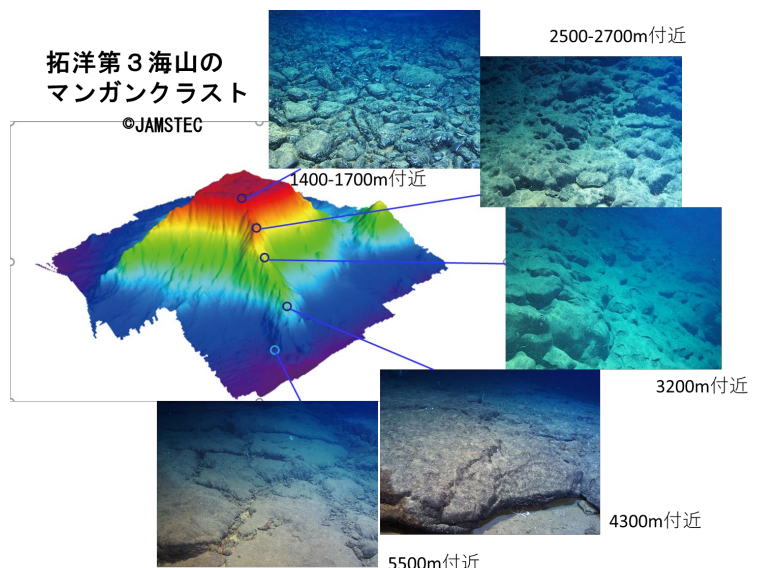
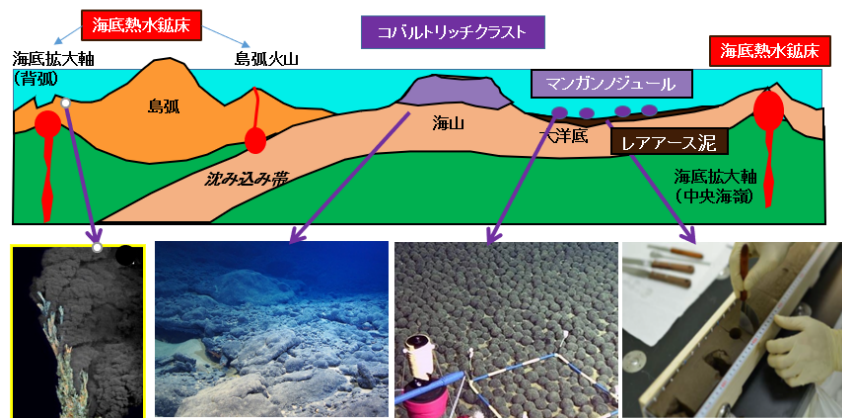
4つの海底鉱物資源

5500mの斜面に形成されます。沈み込み帯に位置して海底火山が多く見られ、マンガンクラストが発達しやすい古い海山が多数存在する日本周辺の海は、実は海底鉱物資源の宝庫です。

海は地球の表面積の約7割を占めます。この広い海で、そして光が届かず何も見えない海底でどのようにして海底資源を見つけるの

でしょうか。海底資源はその場所にそのタイミングで作られる理由があります。その理由がわかれば、探す場所を絞り込むことができます。理由を知るには、科学的研究が大きな役割を果たします。沈み込み帯で火山ができる海域がありますが、その中でも海底下で大規模な鉱床ができる海底下の器が必要です。器ができる条件を科学的に探って調査する海域を絞り込みます。一方、マンガンクラストは成長速度が非常に遅く、百万年に数mmということがわかっています。つまり、厚いクラストは古い海山にできます。右図は1億年前に形成されて現在房総沖にある拓洋第3海山で見つかったマンガンクラストです。古い海山にはこのようにくまなくクラストが見られます。

今はまだ深海からこれら鉱物資源を低コストで取り出す技術を開発している段階ですが、将来環境影響を抑えた採鉱技術の開発が進めば、これら海底鉱物資源を利用する日がやってくるでしょう。その日を目指して私たちは研究・開発を続けています。



海洋マイクロプラスチック汚染問題にどう取り組むか

土屋 正史（海洋研究開発機構地球環境部門／東北大学大学院農学研究科客員准教授）

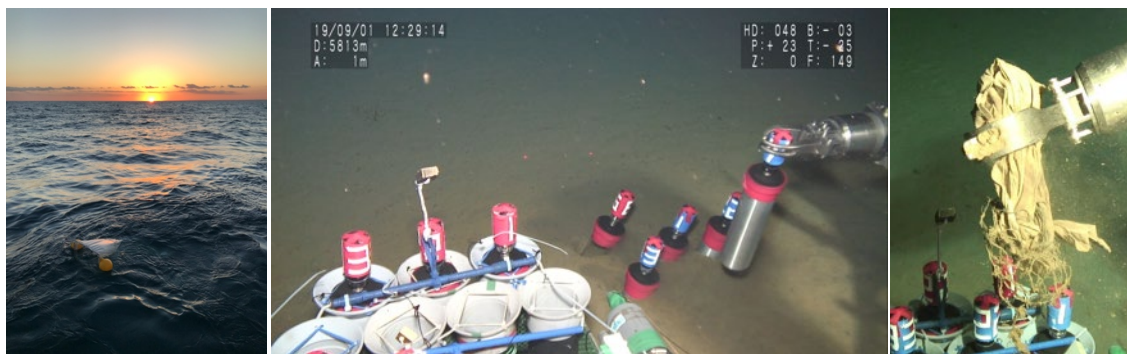
海洋プラスチック汚染は世界的な関心を集めており、国連が設定する「持続可能な開発目標 (SDGs)」の中でも、プラスチックを含む海洋汚染の削減が目標のひとつになっています。プラスチックは紫外線や波の力により細くなり、マイクロプラスチック (MPs) と呼ばれる 5 mm よりも小さい粒になります。海洋の MPs 汚染の程度や範囲を知ることは急いで対応しなければいけない世界的な取り組みの一つです。プラスチックの規制や海洋に流れ出るプラスチックごみの対策をきちんと行うためには、深海など海洋へ流れ込む MPs などのプラスチックごみの動きを明らかにしなければなりません。

海洋プラスチック汚染は、海岸や海の表面だけではなく、北極や南極、マリアナ海溝などにまで広がっています。また、海洋生物などにも影響があり、プラスチックを誤って食べたりすることで消化管が傷ついてしまうことがあります。例えば、プラスチックで満腹になったものの、消化されずに糞（ふん）として出されないために、それ以上栄養を取ることができずに栄養不足で死んでしまうことがあります。また、プラスチックには有害な化学物質が含まれていることがあります。この化学物質が溶け出して生物に取り込まれたり、海水中の化学物質がプラスチックについたりもします。有害な化学物質がついたプラスチックを生物が取り込むことで、動きが弱まったり、体重が減ったりする例もあります。

海の表面や海底は、プラスチックごみが集まる場所だと考えられています。海洋研究開発機構では、プラスチックの発生する場所やその動き、汚染の程度や範囲を知ることなどを目的に、2019 年から海洋プラスチックの研究を本格的に開始しました。海洋プラスチックごみの調査のほか、生物への影響を調べたり、新たな分析手法を考案したりしています。

2019 年の調査では、房総半島から約 500 km 沖合の水深 6,000m 付近の海底に、ポリ袋や食品の包装フィルムなどの使い捨てプラスチックごみが見つかりました。その数は、1 平方キロメートルあたり平均 4,561 個でした。この数は、これまでに知られている海底プラスチックごみよりも 2 桁も多い量でした。

では、わたしたちはプラスチックごみにどう向き合えばよいのでしょうか？プラスチック自体は軽く衛生的なので、完全に使わなくすることはできません。むしろ、軽いために自動車から出てくる環境を汚す物質や温暖化の原因の一つとなる二酸化炭素が出るのを抑えることもできます。プラスチックごみをしっかりと管理することはもちろんですが、近年、豪雨災害をはじめとした自然災害が世界各地で増えており、管理されていながらも人の手では抑えきれないほどのプラスチックごみが海に流れ出る原因にもなっています。プラスチックごみ問題だけに注目することなく、温暖化を防ぐなど地球の環境を良くするなど、広い視野で海洋プラスチックごみの問題に取り組む必要があると言えます。



左図：ニューストンネットで海洋表層の MPs を採取する様子。中図：「しんかい 6500」を用いて海底堆積物を採取する様子（水深 5813 m）。右図：マニピュレーターを用いて深海底のごみ（衣類・漁網）を採取する様子（水深 5721 m）。

海の温暖化 気候変動は未来をどう変えるか

東北大学大学院理学研究科 須賀利雄

地球温暖化を気温の上昇とだけ捉えると、その影響を過小評価してしまいます。地球温暖化は、人間活動にともない大気中の温室効果ガスが増加して、地球全体の平均気温が上昇していることであるという認識は間違っていない。しかし、地球温暖化を、温室効果ガスの増加によって、地球が赤外線のかたちで宇宙に放出するエネルギーが減り、その分の熱エネルギーが地球の気候システムに蓄えられている現象であると捉えるほうが、より本質的なその意味が見えてきます。

今年8月に公表された最新のIPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）の報告書（第6次評価報告書 第1作業部会報告書）によると、地球は過去約50年間に434 ZJ（ゼタジュール： 10^{21} ジュール）のエネルギーを蓄えました。これを日本全体の2018年一年間のエネルギー消費量に換算すると約24,000年分に相当します。その91%が海に溜まっていました。大気に溜まったのはわずか1%ですが、これが気温の上昇をもたらしたのです。海は、膨大な熱を吸収することで、気温上昇を大幅に和らげていました。残りの熱は陸域の温暖化（5%）と氷の減少（3%）として蓄えられました。

この膨大な熱の蓄積は、気候システムを構成する大気、海洋、陸域、雪氷圏の広範囲に急速な変化をもたらしています。海に着目すると、その昇温は加速しており、1993～2017年の昇温率は、1969～1993年の2倍以上に増加しています。海洋熱波と呼ばれる海水温の異常高温現象の発生頻度も増加し、その期間と強さ、空間的な広がりも増しています。海の浅いところほど昇温が速いため、浅い層と深い層の密度差が増します。これを成層の強化といい、表面付近の水と深部の水との混合を抑制します。このため、深部への酸素供給と、表面付近への栄養塩供給が減少します。水温上昇による海水の膨張と氷床・氷河の融解により、海面水位が上昇しています。平均海面水位の上昇は、極端に高い潮位の発生頻度の増加につながっています。

海は、熱を吸収するだけでなく、人間活動にともなって大気中に排出された二酸化炭素の一部を吸収しています。すなわち、海は大気中の二酸化炭素の増加を和らげてきました。しかし、二酸化炭素の吸収は、海水のpHを低下させる、いわゆる海洋酸性化を引き起こしています。水温上昇と、成層強化にともなう貧酸素化、そして酸性化は、それぞれが、また、互いに密接に関連し合いながら、海の生態系に大きな影響を及ぼしています。

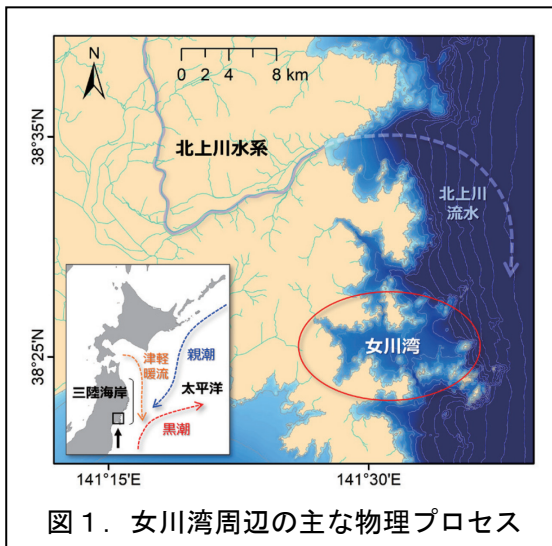
このように、海は気温上昇や温室効果ガスの増加を左右することから、将来の気候予測の不確実性を縮小するためには、海による熱や二酸化炭素の吸収に関わる諸過程をよりよく理解する必要があります。同時に、人類が海の恩恵を持続的に享受するためには、海の変化が生態系にどのような影響を与えるのかを、そのメカニズムとともに理解する必要があります。ここで強調したいのは、海に関するそれらの諸過程やメカニズムの多くは、密接に関連し、互いに影響を及ぼし合っていることから、これまでおもに別々に発展してきた海の物理学的・化学的・生物学的な側面の科学を統合した理解が求められているということです。

そのような理解を目指す海洋科学を支えるための全地球的・持続的な海洋観測を推進する仕組みとしてIOC-UNESCO（ユネスコ政府間海洋学委員会）が主導する国際プログラムGOOS（Global Ocean Observing System：全球海洋観測システム）があります。GOOSに貢献する、自動観測装置による全球海洋観測網Argo（アルゴ）は、海への熱の蓄積の見積もりの不確実性を飛躍的に低減し、地球温暖化の実態把握に貢献してきました。統合的な海の理解に向けたArgoの拡張計画についても紹介します。

三陸沿岸海域における環境モニタリングと社会・生態システムの変動に関する研究
藤井豊展（東北大学大学院農学研究科）

私の専門分野は海洋生態学です。これまでの研究では、主に海洋環境における生物の多様性や個体数、地理的分布といった事柄を対象に、これらがどのような環境条件や人為要因から影響を受け、そしてどのように応答しているのかを、様々な時間・空間的スケールに渡って考察して参りました。

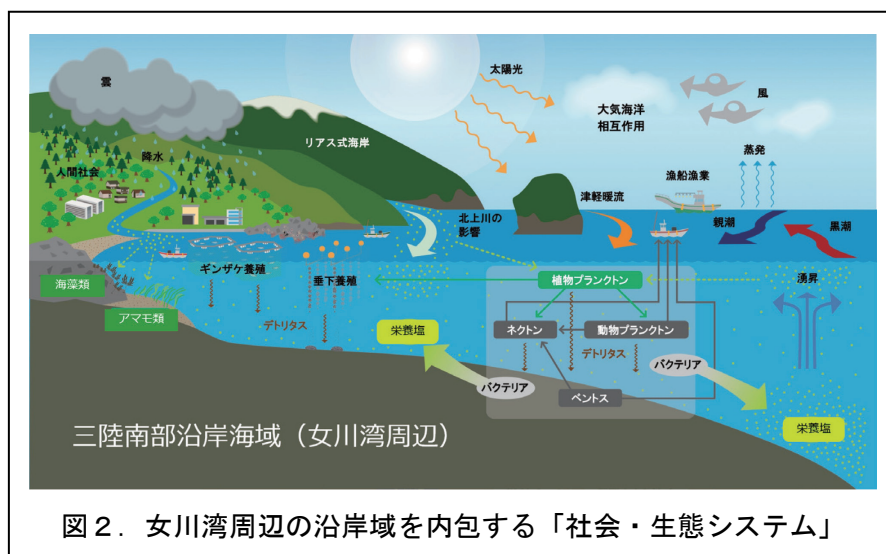
現在は、三陸海岸のほぼ最南部にある女川湾において（図1）、2011年の東北地方太平洋沖地震と津波が与えた影響や沿岸生態系の変動メカニズム等の解明に取り組みながら、地域の漁業復興や持続可能な社会の確立に貢献できるよう努めています。



三陸沿岸の町の多くは、リアス式海岸という天然の良港と、三陸沖という親潮（寒流）・黒潮（暖流）のぶつかり合う世界有数の好漁場に恵まれ、古くから沿岸漁業や養殖漁業の拠点として発展してきました。沿岸海域における水産資源量の変動メカニズムを把握するためには、水温・塩分などの基本的な環境データに加え、生物、気象、地形、海流、栄養物質の供給、人間活動の影響など、海と社会のインターフェイスである「社会・生態システム」を構成する多元的な生物・物理・社会経済データを考慮する必要があります（図2）。

女川湾で継続的に行われてきた環境モニタリングを通して蓄積された、これらの多元的データを整理および可視化し、震災が起こる前から後にかけての海洋環境の時間的・空間的

変動を統合的に解析することによって、自然災害や環境、人間活動の変化が、沿岸生態系や水産資源量の変動パターンにどのような影響を与えているのかを、多角的な切り口から研究しています。



データの蓄積が明らかにする海洋環境変化

安中さやか（東北大学 大学院理学研究科）

海洋環境を把握するために、海洋観測が続けられてきました。例えば海面水温は 1800 年代から、海洋内部の水温は 1900 年代から、海洋中の栄養塩濃度や CO₂ 分圧は 1950 年代から、世界の海で測定されています。そして、その後の技術革新に伴って、観測されるデータ数が増加してきました。このようなデータの蓄積があったからこそ、地球温暖化などの長期的な変化を捉えられるのです。

地球温暖化に伴って、海水温は上昇しています。海は表面から暖められるので、表層で、より早く、より大きく昇温しています。表層で大きな昇温があると、海の表層と深層は、より混ざりにくい状態になります。深層に多く存在する栄養塩は、混ざりにくい状態になると、表層で枯渇すると予想され、実際のデータでも、その兆候が見られます。栄養塩は、植物プランクトンが光合成をする際の必須の要素なので、太陽光の届く表層で枯渇すると、光合成量、ひいては海の CO₂ 吸収量にも影響を与える可能性があります。今のところ、海の CO₂ 吸収量は、2000 年ごろから増加していると見積もられていますが、その理由はよく分かっていません。海の CO₂ 濃度増加は、海の酸性化を招き、生態系に大きな影響を与えます。

海洋環境の現状を知り、今後を予想するために、観測の継続が望まれます。

