

深海底に降り積もった堆積物から地球の環境変動を解明し 将来を予測する

海底堆積物に記録された地球からのメッセージを読み解く



取材協力：
あ は ごん なおかず
阿波根 直一 研究員
むつ研究所 第一研究グループ

地球はその46億年の歴史のなかでダイナミックな環境変動を繰り返してきた。そして、変動の痕跡は様々なかたちで地球上に残されている。そうした地球環境変動の記録は、海底にも残されている。海底堆積物だ。海洋の表層で形成されたプランクトンの化石や有機物は、やがて海底に沈み、その時代の海洋環境の重要な情報を保ちながら層をなして堆積していく。陸域では削剥のために連続した記録を得ることが難しいが、海底は比較的安定しているため、より信頼度の高い情報を得ることができるのだ。この海底堆積物を採取して、過去の地球の姿を読み解こうとする研究が盛んに行われている。特に、地球温暖化が注目されるなか、地球の気候変動を解明するために、過去約200万年の間に何度も繰り返されてきた氷期・間氷期の環境変動を明らかにしようとする研究に大きな関心が集まっている。過去の気候変動がどのようなプロセスで進行したのかを知り、将来予想に役立てようというのだ。海洋科学技術センターの研究拠点のひとつである青森県・むつ研究所でも、そうした研究が進められている。深海底のミクロの痕跡は、いかにして壮大な地球の歴史を語ってくれるのだろうか。



顕微鏡で有孔虫の微化石を観察する
阿波根研究員



海洋堆積物から抽出した微化石は種類ごとに細かく分類・保存される



津軽海峡で採取した浮遊性有孔虫
むつ研究所では、過去の海洋環境復元の精度向上を目指して、古海洋指標として用いられる有孔虫の生態や炭酸塩殻の形成過程について飼育実験を行いながら研究を進めている。写真は津軽海峡にて採取した浮遊性有孔虫の一種 *G. quinqueloba* であり、この種は一般に沿岸域や亜寒帯域に多産する。

海底堆積物は深海底に眠る地球環境変動の歴史記録

海洋科学技術センターむつ研究所が取り組んでいる主な研究テーマは2つある。ひとつは、北太平洋を中心とした物質循環の研究、もうひとつが、今回紹介する海洋環境変遷に関する研究だ。

海洋環境変遷の研究とは、一言でいえば過去の海洋の様子を明らかにすることだが、それは同時に気候変動の歴史を理解することでもある。それほどに、海洋は地球の気候変動に深く関わっている。そして、過去の海洋の様子や気候変動を理解することは、これから先、地球の環境がどのように変動していくのか、そのなかで海洋はどのような役割を果たすのかを知るための重要な情報になる。というのも、地球には今日までのおよそ200万年の間、自然の変動幅において、何度も氷河期と呼ばれる非常に寒冷な時代と間氷期と呼ばれる温暖な時代が交互に訪れているからだ。たとえば、かつて温暖化が進行した時代に、海洋の生態系はどのように変化していったか、気候の変動にどのようなプロセスが関わっていた

かが明らかになれば、地球温暖化が進行しているといわれる今日において、これから先の気候変動を予測していくために重要な、多くの情報を得ることができる。

いまでは、数多くの観測機器によって気温や水温など様々なデータが観測されているが、過去の気象や海象について実際に観測機器を使って調べた記録は、わずかに1～2世紀分が残っているに過ぎない。また、過去に遡るほど、観測された場所も非常に限られている。そこで、過去の地球の気候変動や海洋環境変動を知るためには、自然のなかで過去の気候変動を記録しているものを見つけ出す必要がある。たとえば、身近なものでは、樹木の年輪やサンゴ骨格の年輪にも多くの情報が含まれている。また、夏でも溶けることのない極域の氷を用いて、気候変動の様子を高い精度で解析する取り組みも進められている。だが、より確かな地球気候変動を理解するためには、長期にわたって、しかもより多くの場所で全球的に変動の記録を整理し、積み上げることが求められる。そこで注目されるのが海底堆積物だ。地球の表面積の

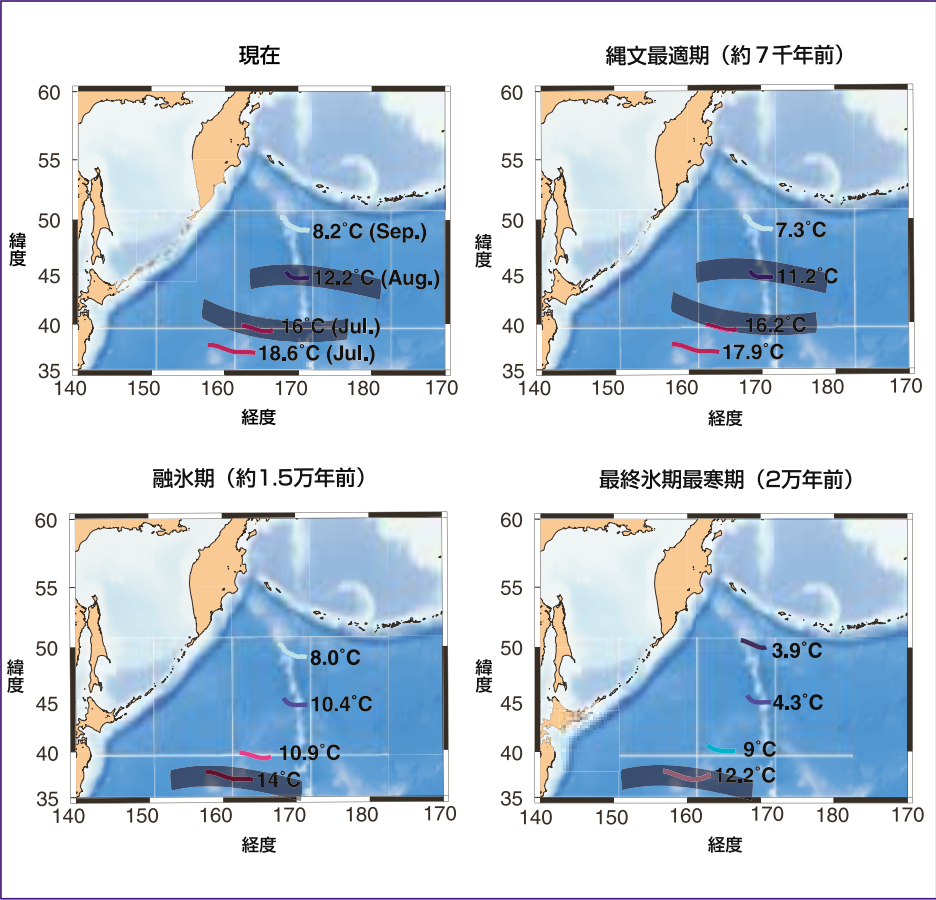
約7割は海洋であり、海底堆積物は広範囲にわたって、それぞれの海域の過去の変動を記録している。また、海洋底は陸域の地層に比べて比較的安定しており、状態のよい連続した記録を手に入れやすい。

堆積物というと、私たちは泥や砂をイメージするが、陸から離れた深海底の堆積物には、粘土や岩屑などとともに、プランクトンの小さな化石や様々な有機物など、生物を起源とするものが非常に多く含まれている。海洋生物の痕跡は、質的にも量的にも、その生物が生きていた時代の海洋環境を色濃く反映しており、こうした生物に由来する堆積物を詳しく調べることによって、地球環境の変動の歴史を解き明かしていくことができるのだ。

小さな生物の化石が語る海洋環境の移り変わり

海洋地球研究船「みらい」には、最大20mの深さの海底堆積物を、層をほとんど乱すことなく採取できるピストンコアラー（採泥器）が搭載されている。パイプの内部にピストンがついたこの道具を海底に突き刺し、堆積物を

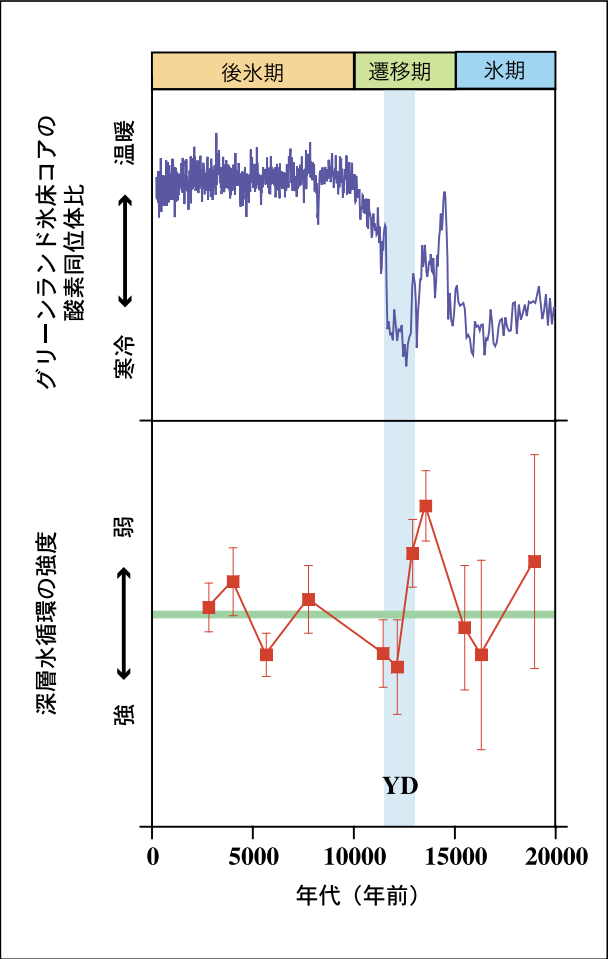
特集 海洋底から見てくる地球のしくみ



アルケノバイオマーカーから復元された北西部北太平洋の亜寒帯域における表層水温変動
過去2万年の中から、代表的な4つの時代を切り出して比較を行った。現在の海流系としては、最も北の点から、亜寒帯ジャイア、亜寒帯前線域、亜寒帯境界、黒潮分岐前線に相当し、南北方向に水温や塩分勾配が大きな海域である。表層水温の温度勾配がもっとも大きいのは現在も縄文の温暖期も北緯40～45度付近であるが、それより以前の融氷期や最盛期ではより低緯度側にシフトしていた。このことから亜寒帯フロントが現在よりも低緯度側に移動していた事がわかる。また、表層水温は過去2万年以降、徐々に上昇していくが緯度によって昇温の速度が異なり、高緯度ほど早い段階で現在の水温に近い値となり、低緯度ほど昇温のタイミングが遅かった。高緯度域ほど温暖化に対して敏感に反応していることが古海洋記録からも伺える。



有孔虫の微化石を同位体分析装置にかけている様子



過去2万年間の北西太平洋中緯度における深層水循環の強度変化
「みらい」で採取した北西太平洋の堆積物から、浮遊性および底生有孔虫化石を抽出し、その同位体情報から過去2万年間の深層水循環の強度を復元した。現在の強度（図中の緑線）との相対的な変化を示す。グリーンランド氷床コアの記録と比較すると、地球が氷期から後氷期へと向かう遷移期、特にヤンガードリアス期（YD）付近で深層水循環に著しい変化があったことが明らかとなってきた。



写真①



写真②

海底堆積物に残された気候変動の記録
写真は北太平洋の天皇海山列において海洋地球研究船「みらい」で採取した堆積物の顕微鏡写真である。温暖期（間氷期）には、有孔虫などのプランクトン化石が主に堆積しているが（写真①）、寒冷期（氷期）には海水によって沿岸から運ばれてきた陸源粒子の量が著しく増加している（写真②）。

採取する。円柱状の堆積物試料はコアと呼ばれる。

海底の堆積物は、海域や深度によってその構成成分や性質は大きく異なっている。海域によって堆積速度が異なるため、ピストンコアラで得られたコアにどのくらいの年代の記録が含まれるかは一概にはいえない（一般に陸域に近いと堆積が速く、離れると遅くなる）。また、海底の傾斜が大きいと堆積しにくくなるなど、地形にも影響される。さらに、北太平洋では、海底が3,000mを超えるような深海では浮遊性有孔虫などの炭酸カルシウムでできた化石は溶けてしまう（炭酸塩溶解。深層水の性質によって補償深度は異なる。北太平洋の深層水は大西洋の深層

水と比較して炭酸カルシウムを溶解させやすい）。こうしたことから、コアを採取するには、どれくらいの時代まで遡って解析するのか、どれくらいの時間分解能を必要とするか、何を分析するのかなど、研究目的に応じて採取する海域や深度を選択する必要がある。そのため、「みらい」ではコアを採取する前に、シービームやサブボトムプロファイラーなどによって、海底地形の確認が行われている。

では、実際に海底から採取された堆積物のなかで、過去の海洋環境を知るために、研究者らはどのような物質に注目するのだろうか。非常に有効な研究材料となっているのが、有孔虫に代表されるような、原生生物などで硬い

殻を持つ生物の微化石だ。これらの殻は、主に石灰質（炭酸カルシウム、有孔虫や円石藻）とケイ酸塩質（ケイ藻や放射虫）に分けられるが、当時の海洋環境に応じて卓越する微化石の群集組成は様々であり、これらの化石に含まれる微量元素や同位体を合わせて調べることによって、水温や塩分の分布、海流など、その生物が生きていた時代の海洋についての様々な環境が浮かび上がってくる。たとえば、有孔虫には浮遊性のものと底生のものがある。カドミウムは水中の栄養素のひとつであるリンとよく似た挙動をとることが分かっているので、底生有孔虫の化石に含まれるカドミウムを測定すると、その時代の海水の栄養素の量を推定する

ことができる。また、特定の地層から両方の有孔虫の化石を取り出し、炭素14で年代の見かけの差を調べれば、その時代の深層水の速さを推察することもできる。

コアに含まれる有機物の元素や組成も、微化石と同様に有力な情報源となる。たとえば、有機化合物のなかには、特定の生物しか生産しないものが存在する。こうした化合物を抽出することができれば、その起源を特定することができる。こうした化合物群はバイオマーカーと呼ばれる。たとえば、特定の石灰質ナノプランクトン（ハプト藻類）が形成するとされるアルケノンという有機化合物を活用すると、この植物プランクトンが生息した過去の表層

水温を復元することができる。一方、有機物や微化石を構成している炭素や酸素、窒素などの元素は、それぞれ複数の安定同位体を持っている。これらの安定同位体は、物理的なプロセスや生物地球化学的なプロセスを経てその比が変化する。したがって、安定同位体比の解析は環境情報の復元に大きな力となる。

こうして見ていくと、海底堆積物がいかに多くの情報を秘めているかがよく分かる。そして、今日、古海洋学分野では、堆積物が内包している過去の情報をより多く引き出すための新しい手法が次々と開発されつつある。むつ研究所でも、非常に微量の有機化合物から、そこに含まれる炭素14を測り、

年代測定を行うための技術開発に、精力的に取り組んでいるという。また一方では、現在生息する浮遊性有孔虫の飼育実験にも取り組んでいる。浮遊性有孔虫は、現在の海洋では約40種ほどがいるといわれ、それぞれの種が様々な海洋環境に適応して生息しているという。これらをコントロールされた環境で飼育し、微化石に取り込まれる環境情報をより正確に把握し、堆積物内に含まれる微化石の解析に役立てようとしている。

海洋底に保存された地球環境の歴史記録ともいえる海底堆積物は、今後、まだまだ私たちの知らない多くの事柄を語りかけてくれるに違いない。