

## 縞のなかに——秋田県一ノ目潟

一ノ目潟の湖底から採取した堆積物には美しい縞模様が刻まれている。黒い層とオリーブ色の層のセットで1年分。それが連綿と積み重なってできた縞模様だ。この縞のなかには、気候変動の歴史を1年ごとに追うことができる情報が詰まっている。

(→24ページ「研究の現場から」)



撮影：藤牧徹也

2012年10月発行 隔月6回発行 第24巻 第3号 (通巻119号)

編集・発行 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部 広報課  
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25



取材協力 **原田尚美** 地球環境変動領域 物質循環研究プログラム  
古海洋環境研究チーム チームリーダー・技術研究主幹

**長島佳菜** 地球環境変動領域 物質循環研究プログラム  
古海洋環境研究チーム 研究員

**山田和芳** 早稲田大学 人間科学学術院 人間環境学科 助教

## 一ノ目潟の湖底から気候変動を追う

秋田県男鹿半島にある一ノ目潟は世界的にも注目を集めている場所だ。一ノ目潟の湖底堆積物は驚くほどはっきりとした縞模様を有し、現在から連続した少なくとも3万年間の記録を保持するからだ。1年ごとに記録を追える、これほどの分解能を持った堆積物は、世界的にも珍しいという。地球温暖化について、日本周辺での研究はほとんどなされていない。日本ではこれまでにいったいどのような変化が起き、そしてこれから何が始まるようとしているのか？一ノ目潟の湖底堆積物に残された手掛かりから、気候変動をはじめとするさまざまな地球環境の変遷が読み解かれようとしている。一ノ目潟での掘削プロジェクトに密着した。

8月7日火曜日、朝5時。日はすでに昇っているが、曇天のせいか8月にしては冷涼な風が駆け抜けていく。秋田県男鹿半島の国定公園内にある一ノ目潟での掘削作業の始まりだ。いつの間にかでき上がった各自の役割を、テンポよく研究者たちがこなす。その数、延べ15人。海洋研究開発機構(JAMSTEC)と全国の大学・研究機関からのさまざまな専門分野の研究者たちが混成チームをつくり、一ノ目潟の掘削プロジェクトに参加している。

JAMSTECからは、観測研究責任者として原田尚美チームリーダー(TL)と長島佳菜研究員が参加した。共同研究者の早稲田大学・山田和芳助教らは2006年、2011年と同じ場所で掘削を行ってきた。彼らは、湖底堆積物調査を専門とし、ペルーなど国内外で豊富な経験と実績を持つ。

### ■ 直径600mほどの一ノ目潟は限りなく円に近い

波のほとんどない静かな湖面に降ろされたゴムボートに数名が乗り込み、手のひらサイズのGPSと水深計を使って掘削場所に向かう。一ノ目潟の湖底地形は鍋のように岸から急に深くなり、湖底はどこも水深45m前後でおおむね平らだ。

目的地を特定し、船に積まれた重力式サンプラー(採泥器)をセットする。このサンプラーは、湖底の泥を円筒形に切り出すことができる。原理は至って簡単だ。アルミ容器のなかには、透明なアクリルの筒がセットされている。アルミ容器の底面にはふたが付いており、沈める前にフックに掛けてふたが開いた状態で湖底に到達させると、サンプラーは自分の重さでそのまま湖底に沈み込んでいく。沈み込みが止まったところで、今度は少しのコツをもって引き上げると、フック

が外れて底面のふたが閉じる。これで湖底の円柱状試料(コア)はサンプラー内に閉じ込められる仕掛けになっている。

約10kgのサンプラーをボートから降ろす。同時にサンプラーに取り付けられた回収用のロープが、ボートからすると滑り降りていく。40mを示す黒いテープのところまで、いったんサンプラーの降下を中断し、サンプラーが湖面に対して安定するのを待つ。ここから再び一気にサンプラーを落とす。ロープの動きが止まったところで、思い切って引くと、ボートがやや傾いた。十分にコアが採れている手応えだ。ボートに引き上げ、くりぬいたサンプルコアの層が乱れないように垂直に保ちながら、ゴムボートで岸辺まで慎重に運ぶ。

### ■ 美しい縞模様を持つコアが姿を現す

湖岸で待ち構えていた研究者が、首尾よくサンプラーを受け取る。アルミ容器の側面に取り付けられた留め具をカチャリと開錠すると、内側に仕込まれたアクリルの円筒内には、湖底の泥が30cmほどの高さでくりぬかれていた。上面はかなりふわふわし、この状態でもコアが黒い層とオリーブ色の層が交互に重なっていることが肉眼で分かる。まさにしましまだ。コアの上部に残っている湖水をスポイトで丁寧に吸い出す。その後、コアの入った内側のアクリルの円筒だけをスポンジの上に移し、ドライアイスの詰まった金属の細い円筒形の棒をコアの中心部に挿入する。ドライアイスでコアを凍らせるのだ。

砕いたドライアイスで金属の棒に次々と補充していく。30分ほどドライアイスで補充し続けると、コアが中心部から凍り付く。ここでドライアイスの棒を引くと……、コアがそのまま抜けてくる。きれいに引き抜かれたコアは、巨大なアイスキャンディーのようだ。

採取した直径9cmのコアの周囲を、へらを使って切り落とし、余分な部分はそぎ落とす。コアはたちまち細くなり、凍結した中心部が現れた。水をかけると、それはまるで漆細工の模様が浮かび上がるようだ。凍結したコアを素早くラップでくるみ、採取した地点を記録してアイスボックスに詰め込まれる。

この作業は、この日1日で11回ほど繰り返された。水がかけられ、縞模様が浮かび上がる瞬間は感動的だ。とても自然にできたとは思えないほど、はっきりした縞模様をコアは記録していた。



調査用ボートが浮かぶ一ノ目潟。直径約600m、水深約45m。水蒸気爆発によってできたマール湖という珍しいタイプの湖で、2007年には国の天然記念物に指定された



撮影：勝牧徹也



1 グラビティ・コア・サンブラーをセットし、湖へ落とす



2 引き上げたサンブラーを開けて、堆積物上の湖水をスポイトで吸い出す



3 ドライアイスの詰まった金属の棒を指す。コアが凍るまで30分ほどドライアイスを追加しながら待つ



4 凍り付いていないところを、へらでざっくり切り落とす



5 凍っている部分だけを掘り出して水洗いすると、よりはっきりとした縞模様を確認できる

そして、この縞模様は、一ノ目潟での掘削で知りたいことのすべてが凝集されている。

### ■ 縞模様ができる理由

縞模様は、専門的な用語で「湖沼年縞<sup>ねんこう</sup>」と呼ばれる。一ノ目潟では黒い層とオリーブ色の層の1セットで1年を示している。春から夏にかけてケイ藻というプランクトンが大繁殖し、主にその死骸に含まれる有機物が酸化分解される際に湖底付近の酸素を消費し尽くす。やがて嫌気性の硫酸還元細菌の繁殖により硫酸の酸素も使う。硫酸は還元され、その結果、硫化物イオンが発生し湖水中の鉄や銅などの金属と反応して黒い沈殿物となり、黒い層をつくると考えられる。逆に生物活動が抑えられる冬から春にかけては上記のような反応が起きるほど有機物の生産がないため、周囲の土壌や大気を經由して

降下してくる粘土がオリーブ色の堆積層を構成する。これほどはっきりと縞模様が現れる湖沼年縞は一ノ目潟のものだけだ。なぜ一ノ目潟ではこうした縞模様が現れるのだろうか。

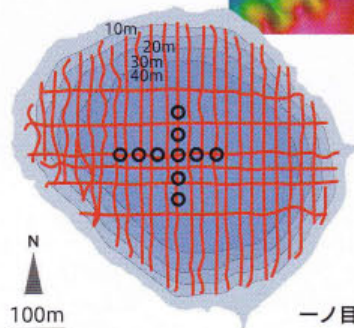
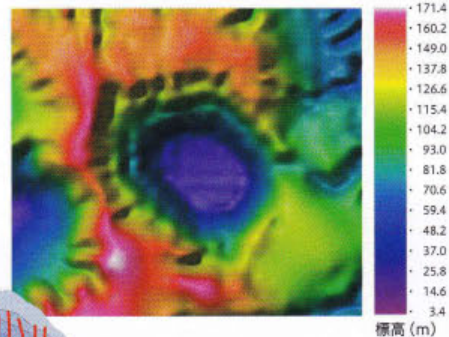
一ノ目潟はいまから7万～6万年前に火山の水蒸気爆発によってできたと考えられている。地学用語では「マール湖」と呼ばれる。火山活動によってマグマが地下の帯水層と接すると大爆発が起こる。爆発によって周囲が吹き飛ばされ、大地に開いた円形の爆裂火口をマール地形といい、そこに地下水がたまるとマール湖となる。周辺にはほかに二ノ目潟、三ノ目潟というマール湖があり、3つ合わせて男鹿目潟マール群と呼ばれる。名前は古い順になっており、一番新しい三ノ目潟は2万4000～2万年前に形成された。

マール湖の水は一般的に川からの流入ではなく、地下水で補給され、外部からの流入物は比較的少ない。また湖の直径





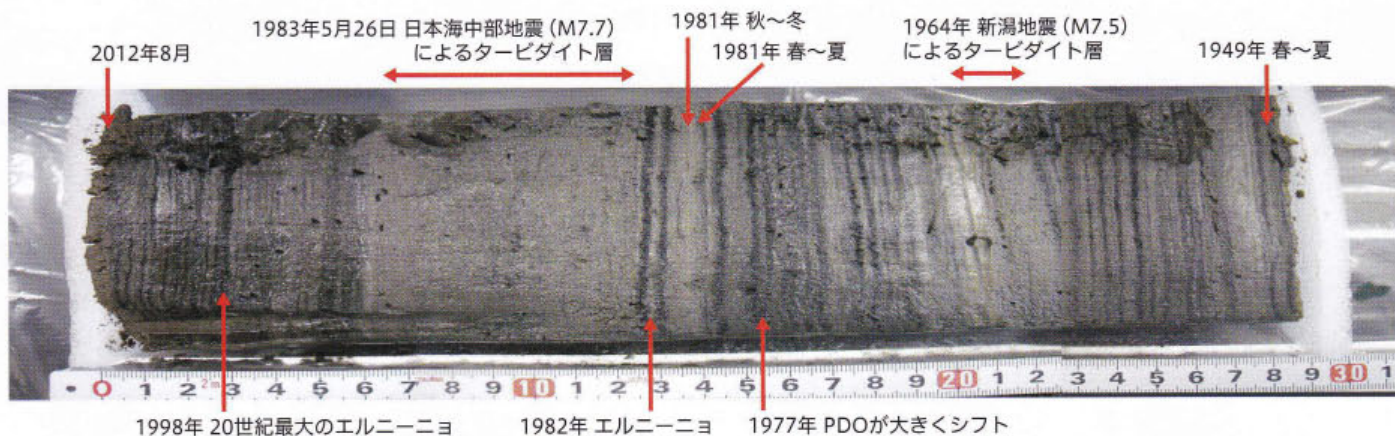
左が大阪市立大学・原口強准教授、右はJAMSTECの原田尚美TL。原田TLが手にしている黄色い水深計で深さを測り、GPSで位置も確認して掘削場所を決める  
撮影：藤牧徹也



2006年に原口准教授が、赤い線に沿って音波探査で測定した地形。湖は鍋のような姿をしていることが分かる。左の○印は今回サンプリングを行った場所

一ノ目潟の湖底地形

下は処理後のコア。幅の広い模様の層はタービダイトと呼ばれる。1983年には日本海中部地震があったため、そのときの衝撃でできたと考えられる。100年分のコアのなかに7回、3万年分のなかに269回現れるタービダイトは、ほとんどが地震の発生年と一致する



が比較的小さいにもかかわらず、水深が深い。この特徴が年縞の保存に非常に大切なのだと山田助教はいう。「嵐のような強い風が吹いても、直径のわりに水深が深いため、湖底まで水がかき回されることがありません。湖底はいつも酸素がない還元的な状態になることで、年縞が保存されるんです」。還元的な状況は、湖底で生物の息を許さない。そのため、ひとたびたまった層が生物によって崩されずに済む。さらに、年縞ができるためには、その地域に季節があり、季節ごとに堆積物に変化する必要がある。季節性については、日本はほとんどの湖がクリアできるが、堆積した層が乱されないという条件を満たす湖は数少ない。現在、山田助教が確認しているだけでも7カ所しかないという。そのなかでも、マール湖である一ノ目潟の年縞は特に厚く、その美しさは際立つ。

### ■ 一ノ目潟に世界の注目が集まっている

男鹿半島の3つのマール湖のなかでも一ノ目潟は最も古い歴史を刻んでいる。さらに、過去に大きな崩落が起きていない。大きな崩落は、湖底の層が壊れる原因となる。3つの湖のなかで最も原型をとどめているのが一ノ目潟だ。

一ノ目潟で掘削を始めたのは2006年のこと。山田助教、北海道大学・篠塚良嗣博士研究員、千葉商科大学・五反田克也

准教授の3人が中心となって、そのときの掘削は行われた。湖にやぐらを立て、機械でコアを採取した。調査で得られたコアには過去3万年分の年縞が含まれていた。しかし、この一度きりでは、本当に1年に決まった数の層ができるかどうか、はっきりしない。そこで2011年3月に再び掘削を行った。このときに得られたコアとの比較から、一ノ目潟は1年に黒い層とオリーブ色の層が1セットで堆積することが突き止められた。さらに、1962～63年に行われたアメリカの水爆実験によって放出されたセシウム137も検出された。今回採取したコアには、おそらく2011年に起きた福島第一原子力発電所の事故の記録が残されているだろう。こうした歴史が、年縞の正しさの証明となっていく。

1年の単位で分析できる分解能があり、なおかつ私たちがいま、生きているこの環境から連続して3万年前までの環境変動、古環境を知り得るといふポテンシャルを持つ一ノ目潟に、世界的にも注目が集まっている。

### ■ 人為的な温暖化の影響を見極めたい

実は1年という単位でデータを出せる堆積物は特別だ、と原田TLはいう。普段、海底の堆積物調査が専門の原田TLは、海底堆積物の分解能はよくて数十年オーダーだと語る。海と

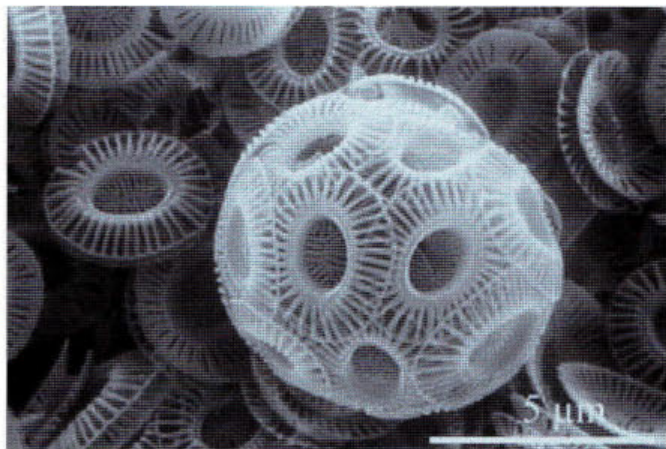


いう堆積環境では、コアから1年ごとの解析を行うのは不可能なのだ。年単位で堆積物を検証できる一ノ目潟の年縞は、海の堆積物との比較においても、とても貴重な研究材料となる。

原田TLはこの精度の高い一ノ目潟の詳細なデータを用いて、温暖化の影響を解析するつもりだと語った。原田TLは、ベーリング海東部陸棚域における過去70年間の海底堆積物の解析から、1970年代後半を境にして円石藻という植物プランクトンの発生が増えてきていることを突き止め、2012年6月に発表した。これは温暖化によって食物網の底辺を支える生物が影響を受けていることを示す初めての報告となった。しかも、円石藻が合成する有機化合物は水温や気温など、過去の環境を明らかにする有力な手掛かりとなる。原田TLの事前調査から、この円石藻が合成するものとまったく同じ有機化合物を一ノ目潟の年縞堆積物からも検出している。

温暖化の影響は、地域差、たとえば降雨量といったパラメータの強弱のコントラストがはっきり出ると考えられている。「だからこそ、日本で調べることに大きな意味がある」と原田TLはいう。特に原田TLが注目しているのは、人為的な温暖化と太平洋10年規模振動（PDO）の関係だ。PDOは、太平洋の東西でシーソーのように、暖かくなったり寒くなったりを20～30年周期で繰り返す自然な状態の気候変動。PDOの駆動力となるアリューシャン低気圧の西側にあたるのが日本だ。冬のベーリング海に君臨するアリューシャン低気圧が勢力を増すと、その低気圧が反時計回りにぐるぐると回転することで北からの寒波が西側の日本に吹き付けることになる。逆に東側にあたるアラスカやベーリング海東部には南からの暖かい太平洋水の流入が活発になり、温暖になる。

PDOの作用として1970年代後半に西側でちょうど温暖化から寒冷化へのシフトが起きたときに、温暖になった東側のベーリング海では円石藻が大繁殖していた。ところが、1930～40年代の同様の環境のときには大繁殖のないことが、原田TLの研究から明らかになった。円石藻の大繁殖は基本的には1970年代後半からの、ごく最近のできごとに限られたことだったのだ。円石藻は、低栄養で海があまりかき回されない（鉛直混合の弱い）穏やかな環境を好む。ここ20年間を見ると、



円石藻 *Emiliana huxeyi*。一ノ目潟にも近縁種がいることが、バイオマーカー（アルケノン）から確認されている。円石藻が合成するアルケノンは、海では水温との相関が取られており、この物質を分析すれば水温との関係から気温を割り出すことができる



千葉商科大学・五反田克也准教授

JAMSTEC長島佳菜研究員



さまざまな大学・研究機関の混成チーム



早稲田大学・山田和芳助教

撮影：藤牧徹也

ベーリング海は水温上昇に加えて低塩化していた。「水温の上昇と低塩化によるベーリング海表層の成層構造の発達を、円石藻の大増殖から見ることができます。PDO自体は自然変動ですが、1970年代後半に起きた円石藻の大発生は人為的な温暖化の影響と考えられます」と原田TLはいう。「一ノ目潟の今回の掘削では過去数十年分の記録が得られるはずで、そこから水温の指標となる有機化合物の分析によって過去の水温や気温を読み解き、東側のベーリング海との比較から環太平洋における人的な温暖化の影響をより深く見極めた」。原田TLはそう語った。

また原田TLと同じ研究チームの長島佳菜研究員は風成塵<sup>じん</sup>に注目している。風成塵とは、強風により巻き上げられた微細な土ぼこりで、アジアでは一般的に黄砂と呼ばれる。コアに含まれる風成塵を分析すると、中国やモンゴルのどこの砂漠由来かが判明する。風成塵の由来を知ること、風成塵の発生・運搬に関わる偏西風の経路や、さらには偏西風ジェット的位置に関連したアジアモンスーンの降雨分布が分かるという。温暖化の傾向が強くなる年に、アジアモンスーンの降雨域はどのように変化するのか、日本にはどのような影響が出るのか。それを一ノ目潟のデータを使って明らかにする計画だ。「温暖化傾向が強くなると、アジアモンスーンがどのような振り舞いをするのか、シミュレーションにはばらつきがあります」と長島研究員は語る。全体として雨が増えるということではなく、この場所ではモンスーンによる降雨量が増え、別の場所では減るといったように空間的なばらつきをもって、温暖化の影響が現れる可能性が高い。日本で質の高いデータをそろえることが未来を知るための最も近道となる。

「いま、地球46億年の歴史のなかで経験したことがないようなスピードで、環境は刻々と変化しているのです。いま、この時代を読み解かなくて、いつやるのだ、そういう時期に来ていると思うのです」。原田TLと長島研究員は別々のタイミングで同じことを口にしていた。

BE