

海と地球の情報誌

Blue Earth

132

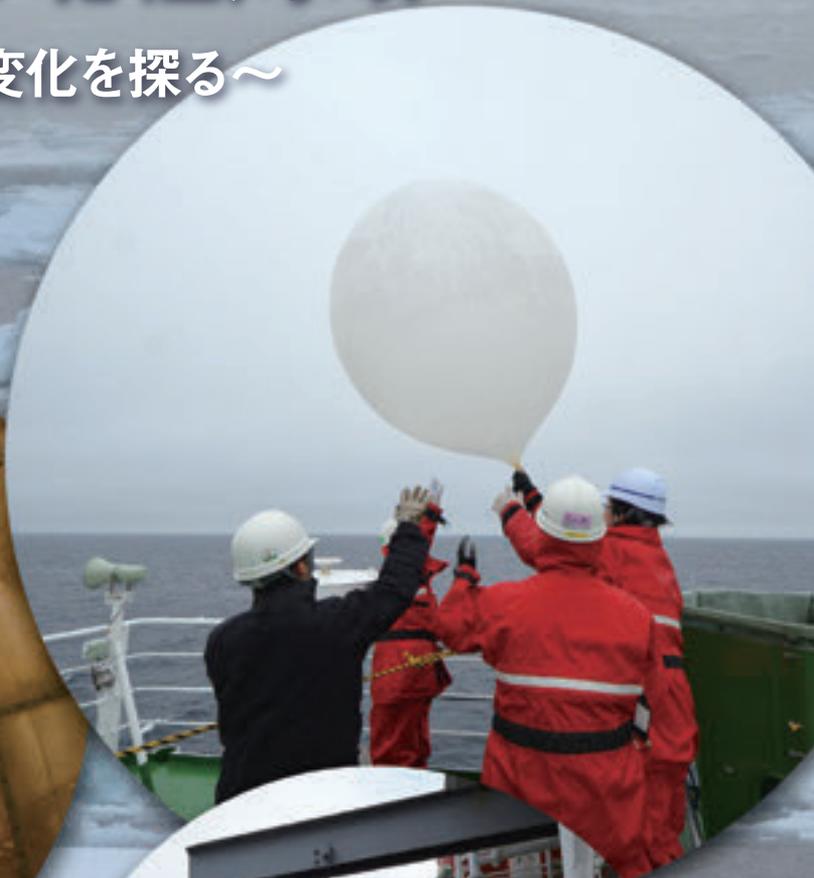


Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



激変する北極海域

～極北の環境変化を探る～



海底表層の堆積物を乱さず採取する採泥器
マルチプルコアラー

地震はどこまで予測できるのか

特集

1 **激変する北極海域**
～極北の環境変化を探る～

AQUARIUM GALLERY

18 おたる水族館
北の大地の子育て名人 エゾトミヨ

海拓者たちの肖像

20 **ダイポールモード現象の発見から
気候シミュレーションを社会に生かす**
ベヘラ スワディヒン
アプリケーションラボ気候変動予測応用グループ
グループリーダー

JAMSTEC Technology

24 海底表層の堆積物を乱さず採取する採泥器
マルチプルコアラー

Marine Science Seminar

28 **地震はどこまで予測できるのか**
できることとできないこと、目指していること
堀 高峰
地震津波海域観測研究開発センター
地震津波予測研究グループ
グループリーダー代理

BE Room

32 **編集後記**
『Blue Earth』定期購読のご案内
JAMSTECメールマガジンのご案内

裏表紙

PICK UP JAMSTEC

**「ハガキにかこう
海洋の夢コンテスト」
入賞者、「なつしま」
に乗船**

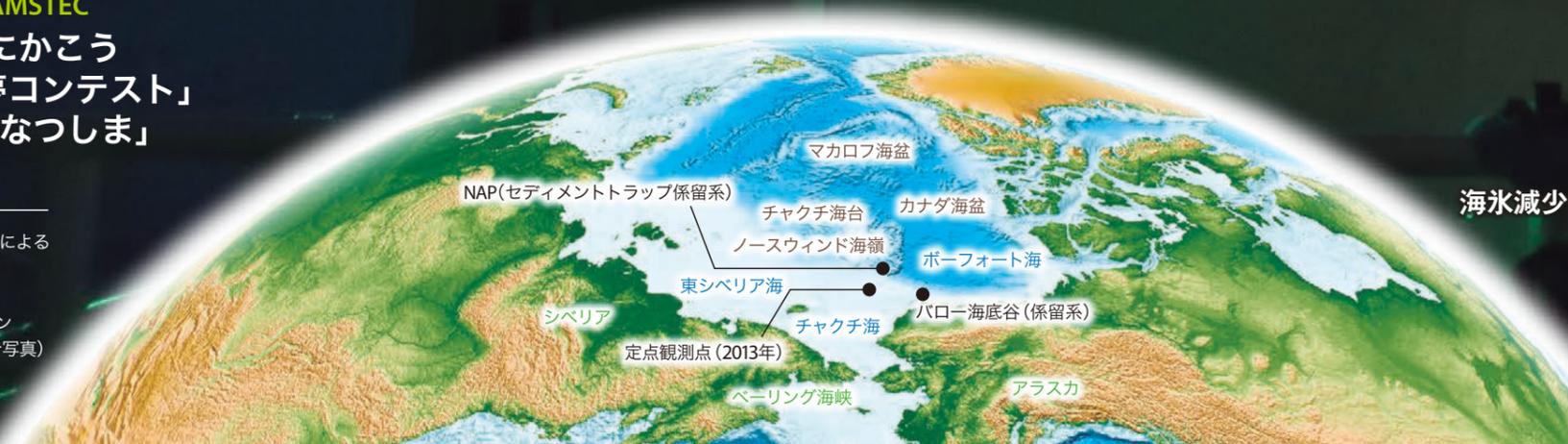
表紙 海洋地球研究船「みらい」による
2013年北極航海。
撮影：堀正岳（集合写真以外）、
（株）グローバルオーシャン
ディベロップメント（集合写真）

激変する北極海域

～極北の環境変化を探る～

北極域は、地球上で温暖化の影響が最も顕著に現れる地域のひとつとされる。平均気温の上昇は全球平均のおよそ2倍以上、北極海の海水は急激に減少し、今世紀半ばには夏季に北極海から氷が消えてしまうとも予測されている。海水の減少だけでなく、北極域では気象や生態系にもさまざまな変化が生じており、その変化は、日本を含む中緯度域にも影響を及ぼすことが少しずつ明らかになっている。

1990年代から北極海域を中心とした観測・研究に取り組んできた海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、海水減少に伴って進行する環境変化の実態をとらえ、その影響を理解することを目指し、2013年夏も海洋地球研究船「みらい」による北極航海を実施した。約1カ月半の観測航海やこれまでの解析研究から得られた、変貌する北極海域についての最新成果を紹介する。





急速に進む北極域の変化をとらえ 環境・気候システムへの影響を探る

2014年9月、海洋地球研究船「みらい」は、昨年に続き北極航海を実施した。夏季の北極海での観測・研究は、就航の翌年（1998年）以来、今回が12回目となる。これまでの航海で、「みらい」は北極海域で進行する環境変化の実態を明らかにするさまざまな成果を挙げてきたが、実はJAMSTECの北極研究は、「みらい」が就航するずっと前の1990年から始まっている（その準備段階となる研究は1987年から動き出していた）。

1990年は、北極圏諸国による国際的な研究組織「国際北極科学委員会（IASC）」が設立された年でもあった。米国・ソ連（当時）の冷戦が終結し、「北極開放」政策が提案されたことによって、北極科学研究は大きく進展することとなった。日本国内でも1990年に「北極圏における気圏・水圏・生物圏の変動及びそれらの相互作用に関する国際共同研究」が始まり、JAMSTECもその中の一課題（北極域における水圏の熱・水及び物質輸送過程に関する観測研究）を受けて北極研究がス

タートした。そのころは、米国・ウッズホール海洋研究所と協力して氷海用自動観測ステーションを用いた北極海の多年氷域での観測や、アラスカ大学の協力を得ての船舶や係留系による海洋観測などを行った。当初は海水に覆われた北極海でどのように観測データを得るかが研究・開発の主目的であった。

やがて1997年に「みらい」が就航し、JAMSTECの北極研究は大きく前進することとなる。90年代後半は、地球温暖化がクローズアップされ始めた時代でもあった。北極海の海氷が減少傾向にあることも認識され始めていた。「それでも当時は、減ったとはいえ北極海は海氷に覆われていましたから、2000年代の初頭までは、北極海が多年氷に覆われていたのはなぜか、そのための海洋の条件とは何かを解明することが大きなテーマでした」と菊地隆グループリーダー（GL）は当時を振り返る。

北極研究で解明すべき課題が大きく変化したのは、2000年代の後半からだった。2007年には、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次評価報告書がまとめられた。同時に北極海の夏季海水面積が大幅に減少し、最小値を大きく更新した年でもあった。これらのことから、地球温暖化が進行し、特に北極域でその影響が著しく現れていることが広く認知された。これを受けて、海氷減少のメカニズム解明、さらには海氷の減少は地球環境にどのような影響をもたらすのかを明らかにすることが、北極研究の大きな課題となった。JAMSTECでも、それまでの海洋物理観測に加えて、2009年以降は気象観測にも大きなウエイトをかけるようになった。さらに海洋生態系に関する観測・研究も進められ、北極研究はどんどん学際的な広がりを持ち始めた。

「海氷が減少していくことは明らかです。これからは、海氷減少によって何が起きるのかを理解していくことが重要です。そのためには変化の実態解明とともに、気象や生態系への影響などの評価をきちんと進めていかなければならないと考えています」と菊地GLは話す。

海氷の一生



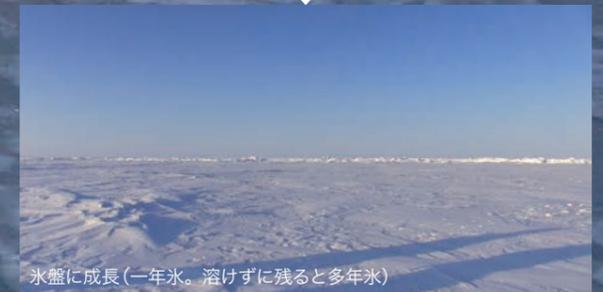
シャープベット氷



はず葉氷



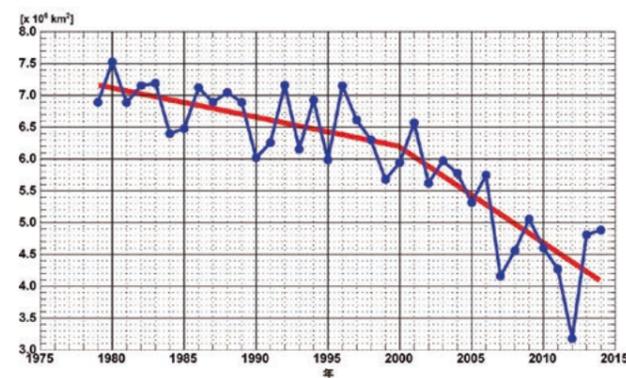
板状氷



氷盤に成長(一年氷。溶けずに残ると多年氷)



海氷の表面・側面・底面が溶けて融解が進む



北極海の海水面積の年最小値(経年変化)図

世界初、北極海上で 15日間の定点観測を実施

2013年8月下旬から10月初旬まで、「みらい」による約1カ月半の北極航海が実施された。近年は毎年のように北極航海を行っている「みらい」だが、昨年は、海洋環境の空間変動を把握するためのCTD(水温・塩分)・採水観測(酸素・二酸化炭素・栄養塩の濃度など)・気象観測や、係留系・セディメントトラップ観測による海洋物理・生態系のモニタリングなどに加えて、北極海(チャクチ海)北部の海氷消失域で、世界初となる15日間に及ぶ定点観測を成功させた。

通常、船舶による大気・海洋観測は、目的の海域を縦横に航行しながら面的に行う広域観測が一般的で、これまで「みらい」も、広域観測を中心に北極海の観測を行ってきた。「広

域観測は、確かに広い領域でデータを得ることができ、例えばラインに沿って観測を行えば、断面図として海の構造をとらえることができるなどのメリットがあります。しかし、航海が実施される初秋は、海氷が最も少なくなる後退期から海氷が成長し始める拡大期への季節の変わり目にあたり、季節変化が激しい時期でもあります。移動しながら得られた観測データが、場所によって夏を代表するものなのか、冬を代表するものなのかははっきりしないという課題もあります。それならば、1カ所にとどまってじっくり季節の進行を把握すれば面白い観測ができるのではないかと考え、定点観測を提案しました」と猪上淳招聘主任研究員は話す。

2012年は北極海の水氷面積が、人工衛星による水氷面積の観測が始まった1978年以降、最小を記録し、2013年も少なくなることが予想されたが、夏に寒気が北極海上空にとどまりやすい状況となり、海氷の融解が抑えられたことも影響して、海氷が比較的多く残った。そのため、できる限り高緯度域で定点観測を行う計画だったが、実際には北緯72度75分、西経168度25分において実施された。定点観測といっても、ずっと同じ場所にとどまって観測を行ったわけではない。定点から十数km離れた四方に4つの観測点を設定して1日1回CTD観測を実施し、「みらい」はこの4点を往復しながら、定点で気象および海洋観測を行った。

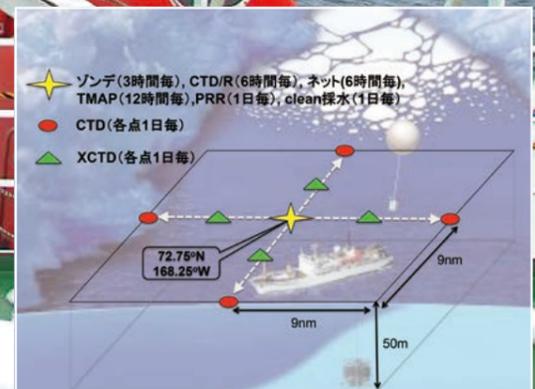
定点観測で特に力を注いだのは、高層気象データを取得するためのラジオゾンデ観測だった。この航海では、約1カ月間、1日に8回(3時間おき)のラジオゾンデ連続観測が行われたが、定点観測が行われた2週間は、さらにカナダのアラ

ト、ユーリカにある観測所、さらに北極海に浮かぶスピッツベルゲン島のノーオルスン基地でラジオゾンデ観測を行っているドイツの協力を得て強化観測を実施した。アラト、ユーリカでは通常1日2回のところを4回に、ノーオルスンでは通常1回のところを6回に増やして、詳細な観測データを取得することができた。得られたデータは、直ちに世界中の気象センターに送信されて、現業の気象予報に活用されるとともに、現在、「地球シミュレータ」によって再解析データセットを作成中で、これを活用して今回得られた高層気象データが、北極海や中緯度域の気象予測にどれほどインパクトがあるかを調べる予定だ。

「2週間に及ぶ長いシフトタイムを投じて実施した定点観測は、予想をはるかに上回る高い成果を挙げることができました」と猪上招聘主任研究員(その成果は次ページ以降で紹介)。2014年の「みらい」北極航海でも、昨年に続き、定点観測が実施された。



2013年「みらい」北極航海では、1日8回のラジオゾンデ(右の白い気球)観測が行われた。準備作業から放球、観測終了まで2時間以上かかるため、1日24時間ほぼ休みなしの作業だった。



2013年「みらい」北極航海で実施された定点観測の全体図

北極海全域を覆う巨大低気圧(2012年8月6日 NASA地球観測衛星「Aqua」より撮影)
北極海の水氷面積が衛星観測史上最小を記録した2012年の夏に現れたこの巨大な低気圧(最盛期は964hPa)が、強風で海水を吹き流すとともに、海面に蓄積した太陽熱を海水の下に潜り込ませて底面から海氷の融解を進行させ、海氷の大幅な減少を促進させたといわれている。

「みらい」定点観測が明らかにした北極海の気象

大気の詳細な時空間変化をとらえることに成功

取材協力/猪上淳 招聘主任研究員
地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループ
国立極地研究所気圏研究グループ准教授
佐藤和敏 研究生 地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループ
三井拓 研究生 地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループ

2013年の「みらい」北極航海で定点観測が行われたのは9月10～25日(さらに10月1日にも再び観測を行った)、場所はチャクチ海中央部の北側の海氷消失域だ。降水の位置や強さとともに、ドップラー効果により風の挙動もとらえることができるドップラーレーダー(最大探知半径300km)や、上空の大気循環を知る上で欠かせないラジオゾンデ(高度20km付近まで観測可能)の自動放球装置を搭載する「みらい」は、海水域での観測はできないが、気象データの空白域である北極海で充実した気象観測ができる世界でも有数の海洋調査船だ。定点観測では、北極海上空の大気の詳細な時空間変化を観測するとともに、併せて海洋観測データを取得することに成功した。

定点観測期間の前半は、ポーフォート高気圧が卓越し、海水域からの冷たい北東風が吹く気圧配置だったが、後半はアラスカ側から低圧部が近づき、高気圧が北へ移動するなど、大気の場合は大きく変化した。大気(ラジオゾンデ)および海洋(CTD)の観測結果を見ると、前半は比較的暖かく、後半はやや寒くなり、ちょうど中間に風が強い日が続いたことが分かる。海水温も水面に近い混合層で海上風が強くなった時期を境に水温が下がり、混合層が深くなっていく様子が現れている。また、前半は半日ごとにきれいに周期的な変化が見えていた密度躍層(海水の密度の鉛直勾配が特に大きくなる

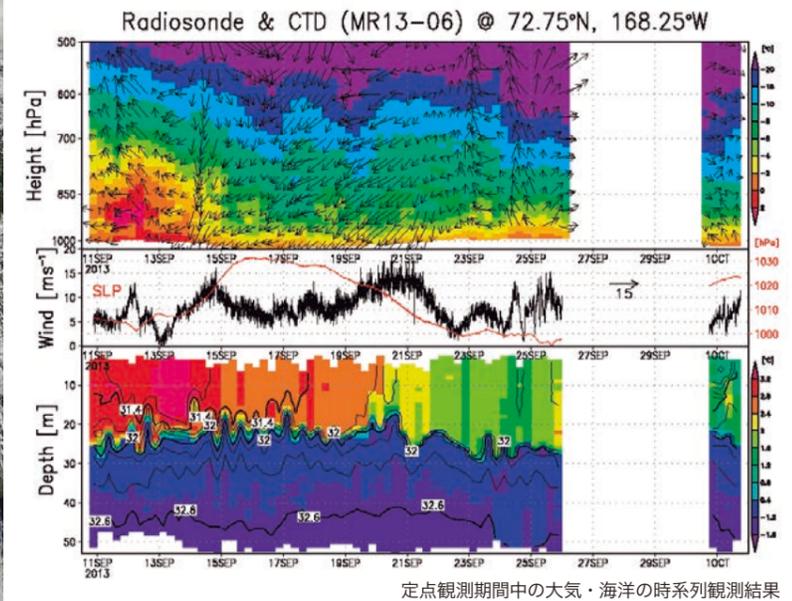
層)も後半ははっきりしなくなった。

現在、観測結果の詳細な解析が進められているが、猪上招聘主任研究員が目にするのは、定点観測の半ばに上空で観測された小さな雲の渦だ。「直径100kmにも満たない低気圧のタマゴのようなものですが、この小さな渦が通過する前後には対流圏の中層で気温が低下し、海上風を強めて海洋にも影響を与えたことが観測結果に現れています。こうした小さな渦でも、十分海洋にインパクトを与えていることが分かります」と言う。

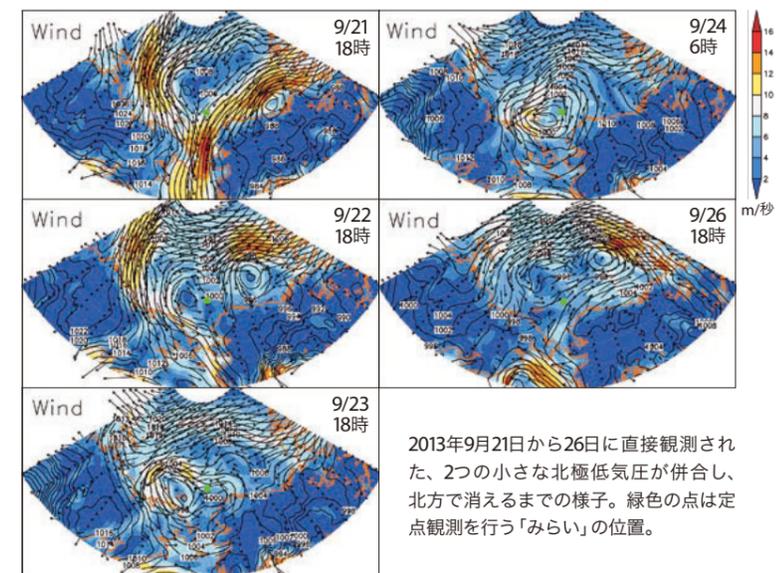
研究生として乗船した佐藤和敏さんは、10月1日にドップラーレーダーが「みらい」上空でとらえた渦状の雲雲に着目した。この渦がもたらした数時間の降雪により、船上でも約3cmの積雪があった。これまでの北極航海で最大の積雪量だった。「海氷が減少することで、海洋からの熱放出が強化されて渦ができやすい環境なのかもしれません。この渦状の雲

雲がもたらす海水上の積雪は海氷の成長を抑制する効果があるため、海氷の減少メカニズムの一部ではないかと考えています」と話す。同じく研究生として乗船した三井拓さんは、北極海で発生する低気圧をモデルで再現する研究に取り組んでいるが、定点観測期間中の9月21～25日に、低気圧のタネが徐々に北極海上で成長し、「みらい」直上付近で2つの小さな低気圧が併合して、弱いながらも降雪を伴う低気圧となり、北上して消えていく様子を観測した。「小さな北極低気圧の直接観測ができました。小さいとはいえ、大気中層の気温の下降や海面気圧の低下、風速も強くなるなど、低気圧のイベントがはっきりと観測されています。貴重なデータが得られました」と言う。

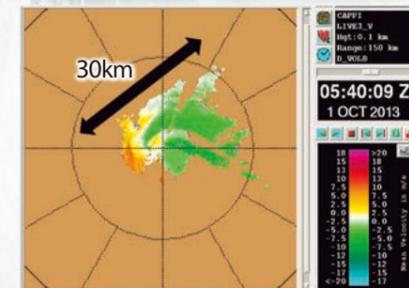
今回の北極海上での定点観測により、こうした気象学的なさまざまな成果が得られた。猪上招聘主任研究員は、「海水が減少したことによる直接的な影響だけでなく、海氷消失域の



定点観測期間中の大気・海洋の時系列観測結果



2013年9月21日から26日に直接観測された、2つの小さな北極低気圧が併合し、北方で消えるまでの様子。緑色の点は定点観測を行う「みらい」の位置。



2013年10月1日に「みらい」のドップラーレーダーにより観測された上空の渦。直径は約30km。

上空は、今回観測された渦や小さな低気圧が生まれやすい場所になっている印象を持っています。こうしたことを明らかにするとともに、気象予測の精度を上げていくためにも、北極海での気象観測データ、なかでも高層気象の観測データが、今後、さらに重要になると考えています。このような研究は北極海航路上の天気や海水の予測にとって必要でもありません」と話す。



大気イベントに対する海洋環境の変化を時系列で観測

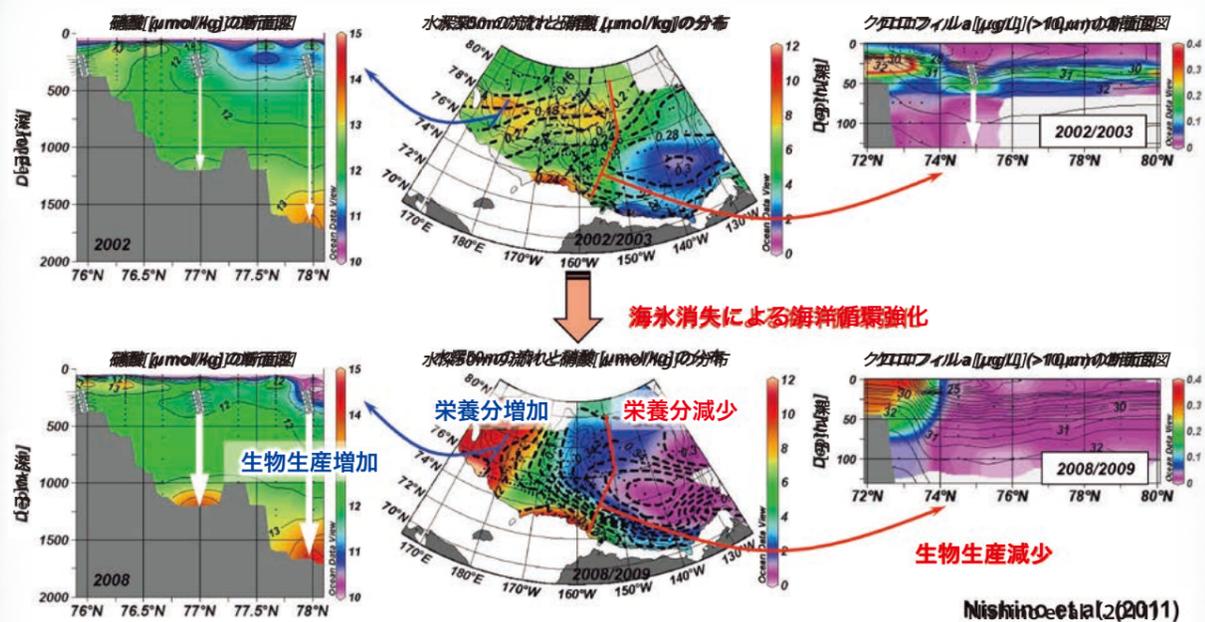
近年、北極海で見られる急激な海水減少は、海洋構造や海洋環境にどのような変化をもたらし、その変化に生態系はどのように応答するのか——これまで「みらい」は、北極海における広域観測などを継続することによって、こうした海水減少の影響について研究を重ねてきた。その結果、北極海の海水減少は、海洋循環や渦などの海洋物理場の変動を通して、海洋中の熱や栄養塩などの分布に変化をもたらし、生態系にも大きく影響していることが明らかになってきた。例えば同じ北極海中央部の海水消失域でも、シベリア側とアラスカ側では海洋や生態系の応答に違いが生じている。夏の海水減少が植物プランクトンの光合成（基礎生産）に必要な海中の光の環境を改善することはどちらも共通しているが、2000年代の前半と後半を比較したとき、シベリア側では表層の栄養塩が増加することにより、基礎生産の増大が期待されるのに対し、アラスカ側では表層の栄養塩が減少し、特に大型プ

ランクトンの基礎生産が減少していた。この違いには海洋循環が大きく関与している。シベリア側では太平洋やシベリア沿岸部からマカロフ海盆に向けて豊富な栄養塩が輸送されるが、一方のアラスカ側ではカナダ海盆上でポーフォート高気圧が駆動する海洋循環が強まり、循環内に海水融解水などの淡水が蓄積されて混ざりにくくなり、栄養塩躍層（栄養塩濃度の鉛直勾配が急に大きくなる層）が深くなることで表層の栄養塩濃度が低下していたことが、観測から明らかにされた。「広域観測からこうした成果が得られているものの、これまでの観測はスナップショットであり、実際に海上で強い風が吹くなどの大気イベントが起きたとき、北極海の海洋構造や海洋環境、さらには海洋生態系がどう変化するかを細かい時間スケールで長期間にわたって観測したことはありませんでした。そこで定点にとどまり、大気イベントと海洋の応答をとらえる観測（定点観測）を実施することにしました」と

西野茂人主任技術研究員は言う。「ただ、北極海ではこれまでに例のない観測で、例えば低気圧の通過で風が強まったとき、はたして本当に海水が混ざって栄養塩が海洋表層に供給され、基礎生産が増加するのか、はっきりとは分かっていませんでした。もしかしたら淡水蓄積の著しい北極海の表層は混ざりにくいので、何にも起こらないかもしれない。それもまた観測の結果ではあるものの、定点での観測が始まるまでは、『イベントよ、どうか起きてくれ!』と祈るような気持ちでした」と本音を明かす。しかし、西野主任技術研究員の心配は杞憂に過ぎなかった。定点域の水深は約55m。海洋は2層構造で、上層（混合層）は低塩分で高温、栄養塩の濃度は低い。深度20m付近の躍層を挟んだ下層は、高塩分で低温、栄養塩の濃度は高かった。定点観測の間、2回の強い北風イベントが発生し、それに呼応して海洋表層の乱流混合が強まり、表層の栄養塩濃度も一

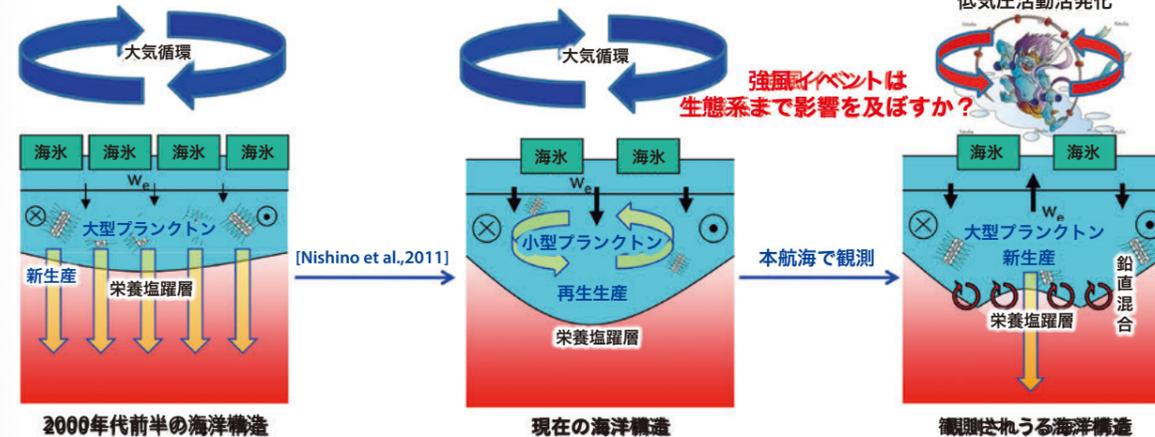
気に高まったことが観測された。下層からの栄養塩供給があったことを示唆している。さらに強風イベントの後、植物プランクトンの量を示すクロロフィル濃度が高まる様子も観測された。強風イベントに伴って、生物活動が活発化したことをとらえることができたのだ。成果の詳細は、現在解析が続けられている。「2013年の定点観測はチャクチ海の陸棚域で行われましたが、2014年は水深の深い海盆域での定点観測を計画しています。海盆域では高気圧性の循環の影響で躍層がより深くなり、強風イベントの影響を受けにくくなるかもしれませんが、海水の減少に伴う海洋や生態系の応答が、どこでどのように現れるのかを観測で明らかにすることにより、将来予測の精度向上に役立てることができると考えています」と西野主任技術研究員は話す。

北極海の海洋循環強化による生態系の変化



海水が減少すれば、植物プランクトンの光合成に必要な光の環境が改善され、基礎生産が高まると考えがちだが、それほど単純ではない。実際、北極海中央部のアラスカ側では表層の栄養塩が減少し、大型プランクトンの基礎生産も減少している。海水減少に伴う生態系の変化には海洋循環が大きく関与していることが、これまでの「みらい」による観測で明らかになっている。

大気イベントに対する海洋環境の変化



海水が減少することで大気イベントが海洋に及ぼす影響が強まると考えられるなか、大気イベントが植物プランクトン量や基礎生産の増大にどのようにつながっているのかを、時系列的な観測で明らかにすることが定点観測のねらい。



現場観測と数値モデルで変化する北極海の海洋生態系に迫る

海氷の減少で向上したプランクトンの生息環境

2010年秋から、北極海の家氷減少が海洋生態系に与える影響を調査する新たな観測が始まった。「みらい」が向かったのは、チャクチ海北方、カナダ海盆の西側に位置するノースウィンド深海平原と呼ばれる場所（ステーションNAP：北緯75度、西経162度、水深1,975m）だった。ここにセディメントトラップ係留系を設置し、通年観測を開始したのだ。

セディメントトラップは、海水中を沈降する粒子態の有機物や生物起源オパール（ケイ酸の殻）、炭酸カルシウム、さらには陸起源の鉱物粒子などを捕集する漏斗状の装置だ。これを浮き玉とともに取り付け（深度180mと1,300m）、下方に切り離し装置と錨（錘）が付いた係留系を海底に沈める。セディメントトラップには、2週間ごとに自動的に交換される捕集瓶が1年間分セットされており、係留系を沈めたまま時系列の試料を得ることができる。1年後、船上からの信号で切り離し装置を動作させ、浮上したセディメントトラップを回収する仕組みだ。

2010年に設置したセディメントトラップは、翌2011年に回収され、新たな係留系が設置された。2012年にも回収と設置が行われた。しかし、2013年はステーションNAP周辺が海氷に覆われていたため、「みらい」での回収が見送ら

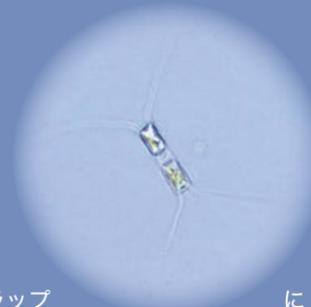
れた（2014年に回収成功）。また新たな係留系も、ステーションNAPからやや南の海域に設置された。

北極海でのセディメントトラップによる現場観測は、過去に数カ所で行われていたものの、太平洋起源水の下流域にあたる場所で複数年にわたって実施されるのは、世界で初めてのことで、この観測によって、これまでの予想を覆す成果が得られた。

「一般に極夜がある北極海域の生物生産は夏の時期に限られ、沈降粒子量も夏がピークで、それ以外の季節は低いと考えられます。ところが、観測結果を分析したところ、確かに夏も多かったのですが、極夜が始まり、海氷が広がり始めた10月以降の初冬期にも有機物粒子が大量に得られました」と地球環境観測研究開発センター海洋生態系動態変動研究グループの小野寺丈尚太郎主任研究員は話す。

なぜ2つのピークが現れたのか、なぜ海洋表層の生物生産が減少するはずの初冬期に生物起源の粒子が増えたのか——この謎を解くため、研究チームは数値モデルを用いたシミュレーション実験によって、ステーションNAPで何が起きたのかを解析することにした。

取材協力/小野寺丈尚太郎 主任研究員
地球環境観測研究開発センター海洋生態系動態変動研究グループ
渡邊英嗣 研究員
地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループ



レーション実験によって、ステーションNAPで何が起きたのかを解析することにした。

生物起源粒子の季節変動を明らかにするため、新たに「北極海物理生態系結合モデル」が開発された。基礎生産者となる植物プランクトンの生産活動は、光、水温、さらに海水に溶け込んでいる窒素・リンなどの栄養塩に依存する。こうした条件のもとで食物連鎖が起き、さらにその遺骸などが粒子となって沈降し、再び栄養塩として循環するまでを計算する海洋生態系モデル（北太平洋向けのモデル「NEMURO」を北極海向けに改良したもの）と、北極海の家氷・海洋の循環や熱的な変化などを物理法則に基づいて計算する海氷海洋物理モデル（現在の東京大学大気海洋研究所で開発された「COCO」）を結合させることにより、ステーションNAPを含む広い範囲の生物活動の再現を目指した。海洋渦などの小規模な現象まで表現できるように、数値実験には高度な計算性能を持つ「地球シミュレータ」を活用し、水平方向5km格子という高解像度で計算が行われた。

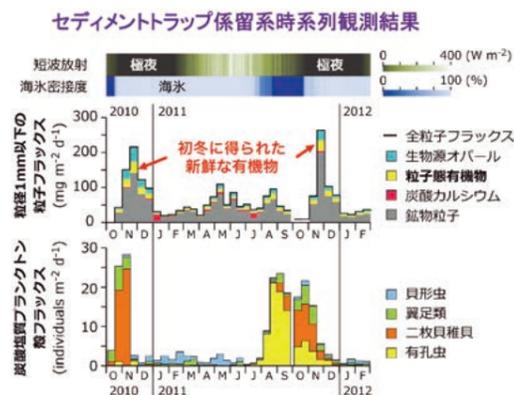
数値実験の結果、夏と初冬に2つのピークを持つステーションNAPでの季節変動が見事に再現された。さらに、カナダ海盆南部でも多くの生物起源粒子が沈降していることが示された。一般に北極海の家盆域は陸棚域に比べて栄養塩が少なく、海氷も多いことから生

物活動は活発ではないと言われてきた。そんなノースウィンド深海平原やカナダ海盆域に変化をもたらしたのは何だったのだろう。「重要な役割を担っているのは、海洋中の渦活動と関係があります」と数値実験を行った地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループの渡邊英嗣研究員は言う。「太平洋起源水がチャクチ海陸棚域を経てカナダ海盆に流れ込むとき、直径数十kmから100kmを超えるような海洋渦が生成されることが知られており、2010年には『みらい』が世界で初めてその詳細を観測しています。今回の数値実験の結果、この渦によって豊富な栄養塩を含む陸棚水が海盆域に輸送され、渦内部では動・植物プランクトンが活発に活動している様子が明らかになりました。初冬期に入ると海水下

でのプランクトン活動はほぼ休止状態ですが、海洋渦中では生産活動が継続され、生物起源粒子の沈降量のピークにつながったと考えられます。さらに、沈降粒子の分析を行った小野寺主任研究員も、「沈降粒子の中に、比較的水深の浅い沿岸海域に多く見られる二枚貝の稚貝が数多く含まれていたことや、沿岸で見られる珪藻類や鉱物粒子も存在したことから、観測からも初冬期のピークには、チャクチ海陸棚域からの海水の輸送が関与していることが推測されます」と話す。

北極海の家氷の減少に伴い、海洋表層の海流や渦などの海水の動きが強化されて、陸棚域の豊富な栄養塩が海盆域に運ばれ、動・植物プランクトンの生息環境が向上していることが、今回のセディメントトラップによる現場観測と数値実験を融合した研究により明らかにされたのだ。

ステーションNAPにおける生物由来粒子の沈降量

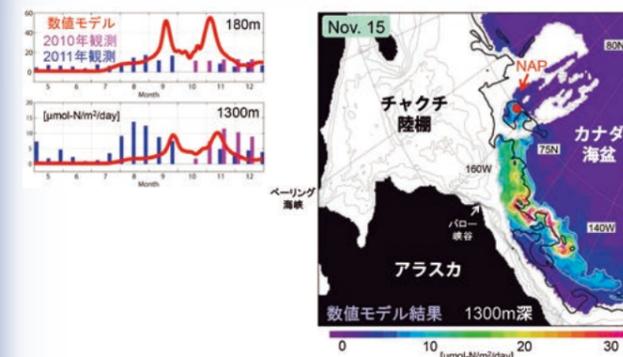


夏季だけでなく、極夜時期の10～12月に沈降量極大が見られる（短波放射と海水密度の時系列はNCEP-CFSR再解析データから作成）。右は動物プランクトンの顕微鏡写真。生体は「みらい」のプランクトンネット観測で捉えたもの、試料中の個体はセディメントトラップで捕集されたもの。



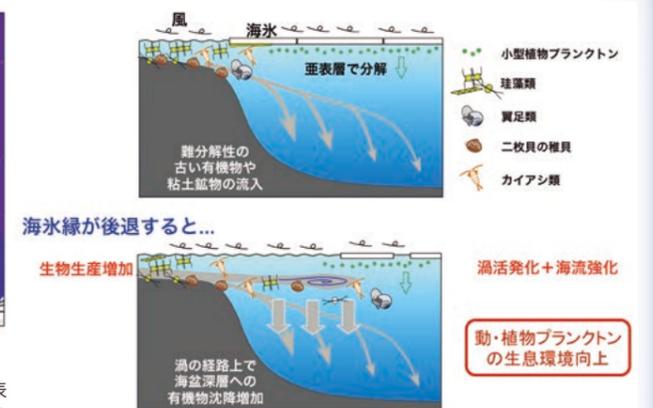
ステーションNAPに投入されたセディメントトラップ係留系。

数値実験で示された初冬期の海洋深層への生物粒子輸送



1,300m深での水平分布（図）とNAP地点での時系列（グラフ）。棒グラフで表したトラップ観測結果と同様に夏と初冬のダブルピークが再現された。実線で表したモデル結果で夏季ピークが遅れているのは、海氷底面に生息し海氷の融解とともに沈降するアイスアルジー（珪藻の一種）を扱っていないことに起因すると考えられる。

海氷減少に対する海洋生態系の応答



海氷で覆われる時期が短くなると、水深の浅い陸棚域では生物生産が活発化し、水深の深い海盆域では海洋渦活動や海流が強化されて海洋深層への有機物沈降が増加すると考えられる。



ベーリング海峡から流入する 太平洋水の海氷への影響を解き明かす

北極海の夏季の海氷面積の減少は1990年代後半から加速し、2012年は観測史上最小を記録した。なかでも海氷の減少が著しいのが、ベーリング海峡北方の太平洋側北極海だ。

海の温度や塩分の構造は、海の凍りやすさなど、海氷の成長、融解や分布に影響する重要な要因だ。海氷減少域は、ベーリング海峡を通過して海盆域に広がる高温・低塩分の太平洋起源の暖水（夏季太平洋水）の分布域と一致しているため、この暖水が、太平洋側北極海における海氷分布に影響を与えているのではないかと考えられるようになった。太平洋側北極海に存在する暖水には、太平洋起源と大西洋起源のものがある。熱量は大西洋起源（大西洋水）の方が大きい、高塩分で比較的軽く、中層（深度300~400m）に広がっている。一方、夏季太平洋水は、低塩分で軽いため、海氷直下の表層・亜表層に広がる。そのため、太平洋側北極海では大西洋水よりも、夏季太平洋水の熱が、海氷の減少に大きな影響を及ぼしていると推察された。

JAMSTECは、この太平洋水の変動を明らかにするため、1996年から係留系による通年で水温・塩分・流速の観測

を開始した。係留系の設置場所として選んだのは、アラスカのバロー沖に位置するバロー海底谷だ。太平洋水は、ベーリング海峡から流入し、水深30~80m程度の浅いチャクチ海陸棚域を岸沿いに北上し、北極海の内海へと広がる。バロー海底谷はその流路にあたることから、モニタリングには最



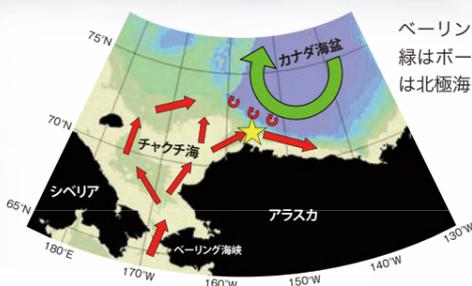
1年間の観測を終えて海面に浮上した係留系（黄色い浮き玉）を回収する様子。

適な場所だ。近年、夏季の海氷が減少しているとはいえ、冬季の北極域の海氷や気象状況は厳しく、船舶による現場観測は夏から秋のみに限られる。しかし、海のなかに観測装置を係留して観測する係留系は、海洋の季節・経年変動を1年を通じた時系列でとらえることができる強みがある。

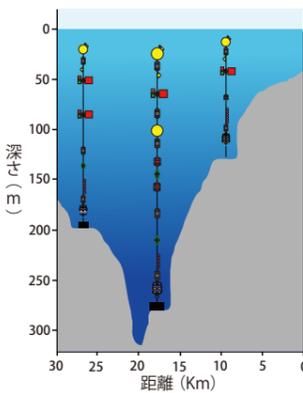
10年以上にわたる時系列データの蓄積から、さまざまなことが明らかになってきた。夏季太平洋水の水温の上昇もその1つだ。2007年は夏の北極海の内海面積が、それまでで最小を記録した年だったが、この年の夏、水温7~8℃という北極海では異常ともいえるほどの暖かい水塊が観測されている。「バロー海底谷で通年観測を開始して以来、これほど暖かい水を観測したのはこのときが初めてでした。それまでは暖かっても3~4℃。かつてはベーリング海峡からバロー海底谷に到達するまでにチャクチ海で、海氷を融かすことに太平洋水の熱が使われ、水温が下がっていたのですが、その年は、夏の早い時期からチャクチ海の内海が融けきってしまうことで、夏季太平洋水が高温のままカナダ海盆の入り口ともいえるバロー海底谷まで広がったことに、大きな変化を実感します。

この年以降、同じような暖かい水が何度か観測されています。このことが、北に広がる海盆域の海氷を減らすことや、冬季の結氷を遅らせることに影響している可能性があります」と地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループの伊東素代技術研究員は話す。

最近の観測結果から、チャクチ海の内海面積とバロー海底谷の熱量の変動には、高い相関があることも明らかになってきた。チャクチ海の内海が早い時期に融け切ってしまうと、太平洋水が海氷融解に熱を使われることなく高い温度を保ったままチャクチ海を北上することや、太陽放射をより多く吸収することでさらに水温が上昇することなどで、バロー海底谷の熱量も増加したことが予想されるという。一方、係留系の解析結果から、流量はチャクチ海の内海が関係しているとも明らかになってきた。「海盆域へどれだけの熱が運ばれるかには、海の温度の変動に加えて、大気場の変動も重要であるため、バロー海底谷に至るまでの間、チャクチ海で何が起きているのかを、風や気圧など大気場も含めて見ていく必要があると考えています」と伊東技術研究員は言う。



ベーリング海峡から流入する太平洋水の流路（赤い矢印、緑はポーフォート循環）。星印がバロー海底谷。太平洋水は北極海に、熱・淡水・栄養塩を供給する。



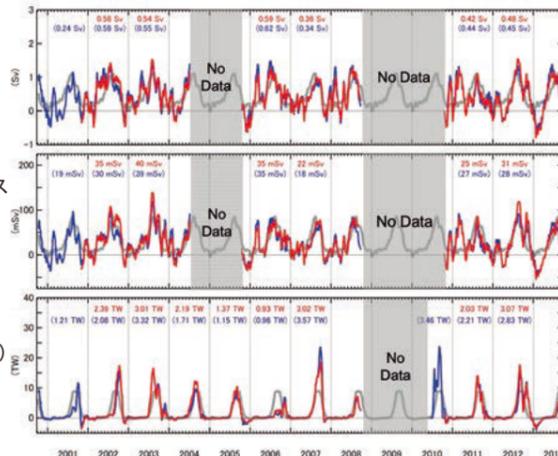
バロー海底谷に設置されている3つの係留系。水温・塩分・流速を観測。

バロー海底谷の流量、淡水、熱フラックス

流量
0.46 Sv
(誤差13%)

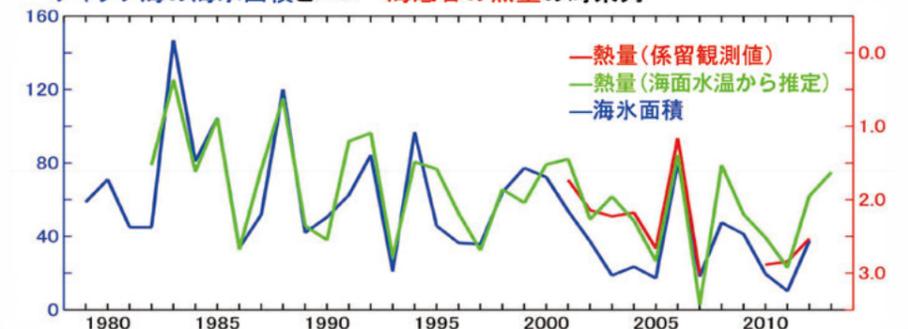
淡水フラックス
(S=34.8基準)
30 mSv
(誤差19%)

熱フラックス
(結氷温度基準)
2.27 TW
(誤差8%)



2001年からの観測で明らかにされたバロー海底谷の流量、淡水、熱輸送量。

チャクチ海の内海面積とバロー海底谷の熱量の時系列



チャクチ海の内海面積とバロー海底谷の熱量の変動は高い相関があることがわかる。

バレンツ海の海氷減少が日本に厳しい冬の寒さをもたらす

冬の平均気温がマイナス20℃を下回るほど寒い北極域は、日本から遠く離れた別世界のように思われがちだ。日本の気象の変動に関しては、赤道域で発生するエルニーニョやラニーニャの影響が語られることは多いが、北極域との関係についてはあまり語られてこなかった。だが、最近、冷夏や冬の寒さといった日本の気象に北極域の変動が関わっていることが、少しずつ明らかになってきた。

「北極振動」もその1つだ。北極振動は、北極域と中緯度域との間で、一方の気圧が高いときにもう一方が低くなるというシーソーのような現象だ。北極域の海面気圧が低く、中緯度域で高くなる時、「北極振動が正の状態」にあるとされる。「負の状態」では、北極域に高気圧、中緯度域に低気圧があるため、北極域の寒気が流れ出て、日本を含む中緯度域は寒くなる傾向があることが知られている。しかし、「中緯度域全体、季節全体という大きなスケールでの影響は説明できるものの、短期的な変化や日本にやってくる個々の寒波を北極

振動で説明することは難しい」と地球環境観測研究開発センター北極域環境・気候研究グループの堀正岳研究員は話す。

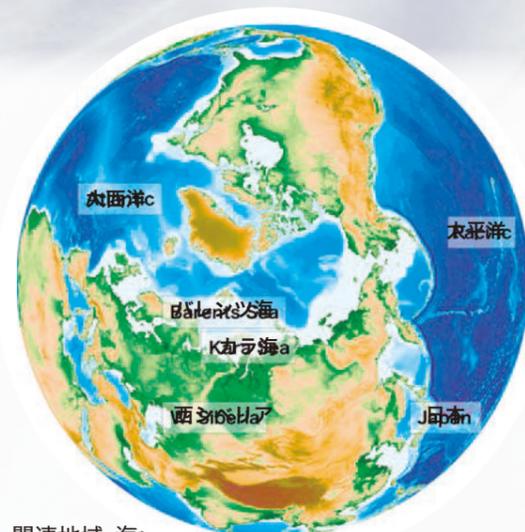
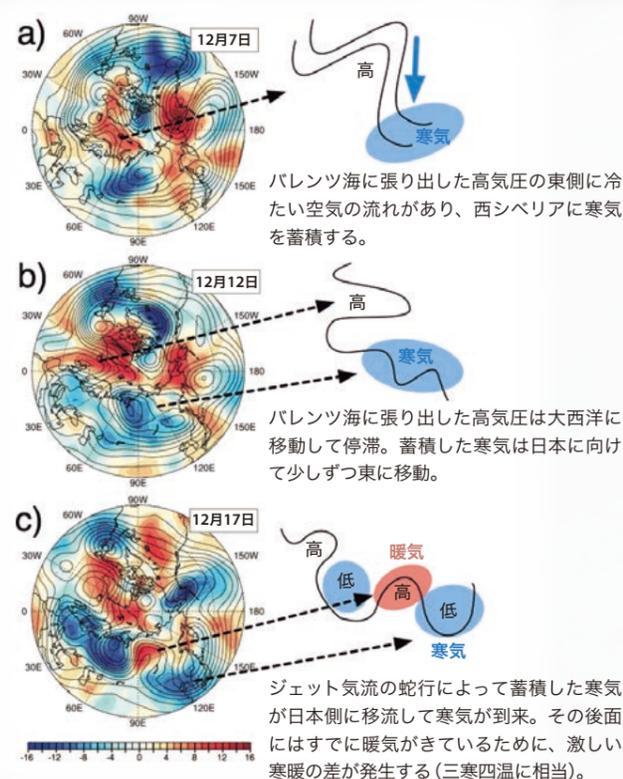
「もっとダイレクトに北極域の変動が影響するルートがあるのではないかと考えた堀研究員らが注目したのは、中緯度域の上空を流れ、気象に大きな影響を及ぼす偏西風の蛇行に伴って日本に運ばれる寒気だ。大西洋とつながる東部北極海のバレンツ海は、近年、海氷の減少が著しい。この海域の海氷の多寡が、大気循環の変調を通して日本にも影響するという指摘はすでにあつた。そこで、高層天気図などを用いて過去に日本を襲った寒波をさかのぼって調べたところ、その多くがバレンツ海上空の高気圧に起因していることが明らかになった。バレンツ海上空に高気圧が張り出すと、その東側で抱き込まれるように北極側から大陸側に寒気が南下する。寒気はカスピ海北東付近（西シベリア）の上空に蓄積し、大気の流れに沿って東に移動。ユーラシア大陸はチベット高原があるため、南からの暖気が入りにくい。そのため、寒気が

保たれたまま低気圧とともに東方に進み、日本に到達して寒波をもたらすというわけだ。寒気の蓄積の原因となるバレンツ海の高気圧が強化される過程については、まだ明らかにされていないが、「バレンツ海の水温上昇による大気への熱の供給や海氷の減少が、こうしたメカニズムを引き起こす一因となっている可能性があります」と堀研究員らは考えている。

さらに、より直接的なバレンツ海の変動の影響を明らかにするため、堀研究員らは冬季にバレンツ海で発生する低気圧の経路が、海氷の多い年と少ない年でどのように変化しているかを気象データから解析した。そして、バレンツ海の高気圧が少ない冬は、シベリア沿岸域を東方へ進む低気圧の多くが、より北極海側（北側）を通過していることがわかった。その結果、北極海上はより暖められて温暖化が促進される一方、冬季シベリア高気圧は北へ拡大し、北からの寒気が入り込みやすい状況が形成される。この寒気の影響は日本にも及び、厳しい寒さをもたらす原因の1つになっている。

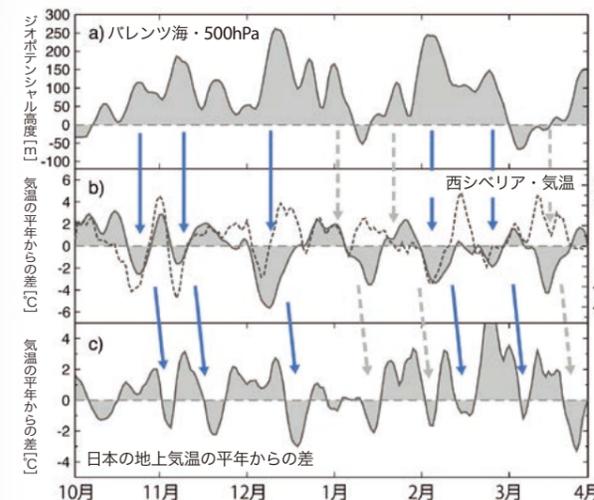
2011/12年、日本海側は最近の10年間で「平成18年豪雪」に次ぐ積雪を記録するなど、全国的に寒い冬になった。翌年の冬も全国的に低温、2013/14は北・西日本は平年並みだったが、東日本は3年連続の寒冬で、記録的な大雪に見舞われた。地球温暖化が進行するなか、日本で寒い冬が続き、その原因の1つが世界で最も激しく温暖化が進む北極域にあるというのはどういうことなのだろう。堀研究員は言う。「現状では、北極域の温暖化によって、日本を含む中緯度域の冬が寒冷化しやすい傾向にあることは間違いありません。しかし、これは北極域が確実に温暖化しているからこそ起きる、一時的な現象と思っています。このまま温暖化が進めば、やがて中緯度域に寒気もたらされなくなるフェーズがやってくるはずだ」。

北極域の温暖化で中緯度域の冬が寒くなるメカニズムが少しずつ見えてきた。次の課題は、「温暖化による低気圧活動の長期傾向を知ること」と堀研究員は話す。

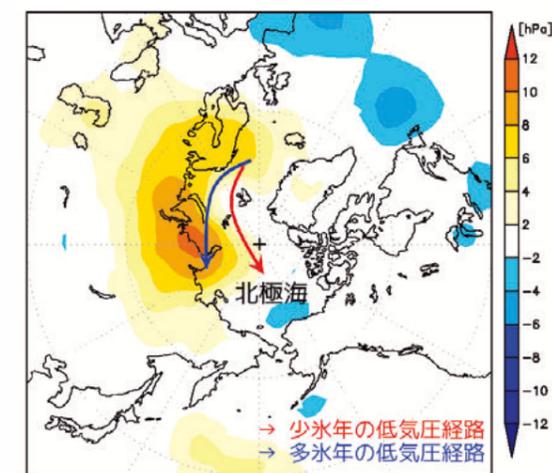


関連地域・海域

2009年12月18日に日本にやってきた寒波の10日前(a)、5日前(b)、1日前(c)の500hPa高度(黒等値線、気圧の高低に相当)および850hPaの気温の年差(色)。日本に寒波が到来する10日前にバレンツ海側に高気圧の尾根が張り出す。高気圧は時計回りの空気の流れがあり、東側に強い寒気の移流を生む。この寒気はユーラシア大陸上の西シベリア地域に蓄積する。5日前、バレンツ海の高気圧は西側に後退してブロッキング高気圧に発達。西シベリアに蓄積した寒気は東側に向かって移動を始める。1日前、ブロッキング高気圧の東側にジェット気流(偏西風)の蛇行パターンに伴う低気圧・高気圧の波パターンが発生し、低気圧の谷間に沿って寒気が日本に移動して寒波を発生させる。



2009/10年の冬季に見られた10回の寒波のうち5つに関して、バレンツ海上で高気圧が発生すると、ほぼ同時に西シベリアの気温が低下して寒気が蓄積していた。蓄積した寒気は7~10日後に日本に到達して寒波を発生させた(青線)。(a)バレンツ・カラ海域で平均した500hPa高度の年差に対する差、(b)西シベリア域で平均した850hPa気温の年差(実線)と大気熱輸送量の時系列(点線)、(c)日本の南西諸島を除く58カ所の気象官署の日平均地上気温の年差。



バレンツ海の高気圧が少ない年に出現する気圧偏差(hPa)と代表的な低気圧経路(矢印)。低気圧経路がシベリア沿岸域から北極海側にシフトし、シベリア高気圧が北極海沿岸域まで拡大する。



地球温暖化で 北極海はどう変わるのか

地球上で特に地球温暖化の影響が大きいとされる北極域では、海氷面積の減少が急速に進んでいる。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の「第5次評価報告書（AR5）」は、北極海の年平均海氷面積の減少率（1979～2012年）は、10年あたり3.5～4.1%（10年で45～51万m²、日本の面積を超える広さの海氷が消えている）、なかでも夏季の海氷後退が著しいと報告している。さらに将来予測では、21世紀の間、北極域の海氷面積は縮小し続け、厚さも薄くなり、最も温室効果ガス排出量が多いシナリオ（RCP8.5）では、今世紀半ばまでに、9月は海氷がほとんど消えてしまう可能性が高いと記している。もちろん、これは最も激しく温暖化が進行した場合の話で、温室効果ガス排出量を低く抑えられた場合のシナリオでは、いつころ消えるかについて確信ある予測はできないとしている。

「気をつけてほしいのは、北極海で最も海氷が減る時期（9月）になくなるかもしれないということで、温暖化が最も進行した場合でも、冬にはかなりの量の海氷が存在するという

予測結果が出ています。海氷がすっかり消えるのではなく、やがて北極海は海氷のある季節とない季節がある海になる、言い換えれば、現在の南極海のような季節海氷域になるだろうというのが、モデル予測の見立てです」と統合的気候変動予測研究分野の小室芳樹技術研究員は話す。「ただ、北極海に関しては観測が十分に行われていないこともあって、いまだに不確実性が非常に大きく、海氷の変化を予測するのはとても難しい」と小室技術研究員。

AR5に向けて世界の研究機関が北極海の水氷面積の変化に関するモデル計算に取り組んできたが、その結果は下の図のとおりで、今後の減少傾向については共通しているものの、RCP8.5シナリオで夏の海氷がこの先いつ消えるかについては、モデルによってかなり違いがある。比較的信頼度が高いとされるモデルの予測は2040～60年ころだ。この予測結果には、JAMSTECなどの研究機関が参加して日本で開発された、高解像度大気海洋結合モデル「MIROC（ミロク）」による予測実験（21世紀気候変動予測革新プログラム）の成果も含まれてい

る。だが「MIROC」では、9月の北極海で海氷がほとんどなくなるのは2070年ころと予測している。

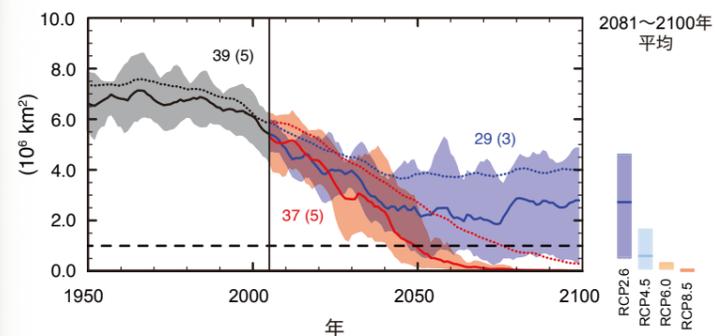
「予測精度向上のカギを握っている重要な要素の1つは海氷の厚さ」と小室技術研究員は言う。AR5で示されているのは海氷面積の予測結果だが、「MIROC」では海氷の体積についても予測実験を行っている。面積と体積の予測を重ね合わせると、1990年ころから急速に減少するのはまず体積で、面積は2040年ころから激減するという結果が出ている。薄い海氷は溶けやすいだけでなく、破壊や流出も容易になり、面積の減少を加速する大きな原因になる。まず厚い海氷が減り、やがて面積が一気に減るというストーリーが、「MIROC」の予測から導き出されている。「しかし、体積の予測精度を高める上で欠かせない海氷厚に関して、海域や時期を決めた継続的な観測はほとんど行われていません。そのため、現在、海氷の厚さがどのくらい減少しているのかを確かめられないのです。もし今、私たちの予測を上回る体積の減少が起きていれば、9月の海氷消失はもっと早まるという予測結果が出る可

能性もあります」と話す。

北極海の水氷の変化に高い関心が寄せられている理由の1つは、海氷が北極域の気象に大きく関わり、多くの人々が暮らす北半球中緯度域にも影響が及ぶと考えられているためだ。さらに、海氷の変化は生態系にも影響し、水産資源の分布などにも影響する。また、海氷の減少に伴って北極海を經由する航路の利用も始まっている。この航路では、東アジアと欧州を結ぶ航路の運行距離は、現在のインド洋・スエズ運河を經由するルート約6割に短縮されるという。他にも、北極海沿岸の大陸棚には石油や天然ガスが埋蔵されていると推定されており、資源開発の面でも新たな可能性を秘めている。海氷に閉ざされた極寒の海から季節海氷域に変わるかどうかを含め、北極域の今後の変化は、環境への影響とともに社会・経済にも大きなインパクトをもたらす。「そのためにも、観測研究と連携しながらさらに精度を高め、将来の北極海の姿を詳細に予測することが必要と考えています」と小室研究員は話す。

BE

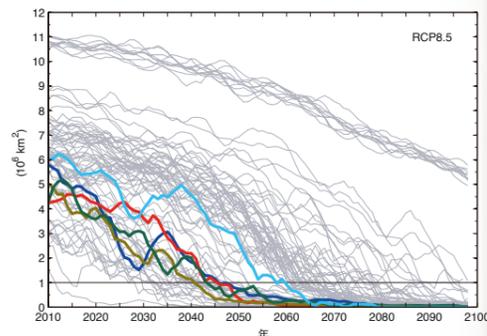
北半球海氷面積(9月)



*出典/ IPCC第5次評価報告書 第1作業部会報告書 (気象庁訳)

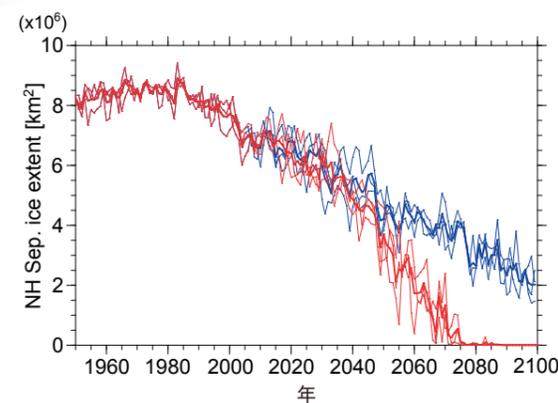
北半球の9月の海氷面積の予測(5年移動平均)。温室効果ガスの排出量が最も少ないRCP2.6(青)と最も激しいRCP8.5(赤)のシナリオについて、北極域の海氷の気候値と1979年から2012年における傾向を現実になりに近く再現したモデルによる予測の平均値と不確実性の幅(最小と最大の範囲)を示す(カッコ内の数値はモデルの数)。黒と灰色の影は再現された過去の推移。右は全てのRCPシナリオに対し2081～2100年の平均値と不確実性の幅を縦帯で示している。点線は全モデルの平均値(数値は平均を算出するために使用したモデルの数)。破線は海氷がほとんど存在しない状態であることを示す。

9月の海氷面積

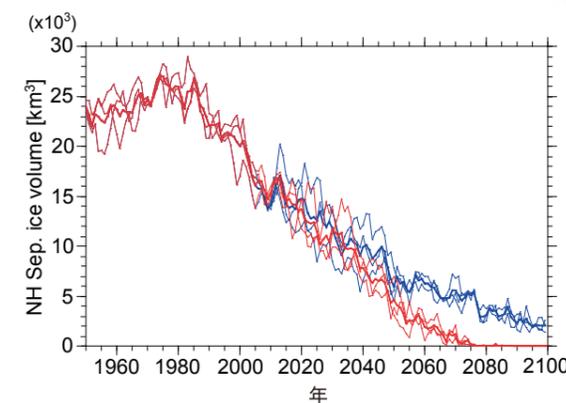


*出典/ IPCC第5次評価報告書 第1作業部会報告書

北半球の9月の海氷面積の将来予測(5年移動平均、RCP8.5シナリオ)。灰色の線は全モデルの予測結果。5色の線は高い精度で再現しているとされるモデルの予測結果。実線は海氷がほとんど存在しない状態であることを示す。



「MIROC5」で計算された北半球の9月の海氷面積の将来予測。赤線は再現された過去の推移とRCP8.5シナリオによる予測結果。2040年ころから急速に減少することが示された。青線は温室効果ガス排出量が穏やかに増加した場合(RCP4.5)のシナリオによる予測結果。細線は3つの「MIROC」各メンバーの結果。



「MIROC5」で計算された北半球の9月の海氷体積の将来予測。赤線は再現された過去の推移とRCP8.5シナリオによる予測結果。1990年ころから急速に減少していることが示された。青線は温室効果ガス排出量が穏やかに増加した場合(RCP4.5)のシナリオによる予測結果。細線は3つの「MIROC」各メンバーの結果。

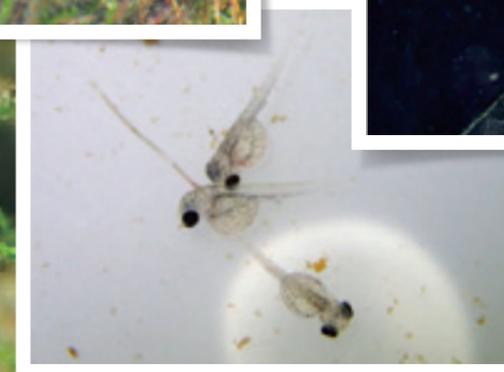
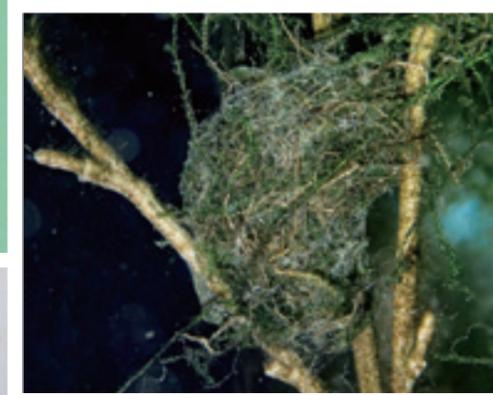
北の大地の子育て名人 エゾトミヨ

Information
おたる水族館
 〒047-0047 北海道小樽市祝津3丁目303番地
 TEL 0134-33-1400
 URL <http://otaru-aq.jp/>

取材協力：魚類飼育課係長 三宅教平さん



水草を集め、巣作りをするオス。 危険を感じるとトゲが逆立つ。



(左) 巣の中に産みつけられた卵。
 (中) 孵化直後の仔魚。
 (右) 枝の形をたくみに利用して巣を作る。

エゾトミヨ(トゲウオ科)
 体長5~7cm程度に成長する。
 日本では北海道の天北原野、
 根釧原野および石狩川水系の
 3地域にのみ分布する。

「おたる水族館」は、札幌市から約40km北西に位置した北海道の「エビのしっぽ」の付け根、日本海を臨む豊かな北の自然のなかにある。自然の海岸を取り込んだ施設で飼育される海獣をはじめ、常時約250種以上の動物や魚の生態を、工夫を凝らした展示で間近に感じながら見ることができる。また、日本では釧路湿原にのみ生息する特別天然記念物キタサンショウウオや、アイヌ語の「オソル・コ・オマ（希少なイワナ）」を名前の由来とするオシヨロコマ、エゾホトケドジョウなど、北海道の希少生物の保護や研究にも力を入れている。

エゾトミヨも、そうした北海道の希少生物のひとつだ。体長5~7cm程度のトゲウオ科の淡水魚で、日本では北海道のみに分布する絶滅危惧種。小さな体の背にはトゲウオ科の特徴である数mmほどのトゲが10~13本ついている。これは背びれが変化したもので、身の危険を感じるとピンと逆立って相手を威嚇する。毒こそないものの、硬く上がった先端は捕食者から身を守る武器となるようだ。

エゾトミヨのもうひとつの特徴にユニークな子育てがある。繁殖期を迎えたオスは、なんと鳥のような巣を作るのだ。適し

た場所を探して枯れ葉と水草をせっせと運び、腹から出した粘液で念入りに補強してピンポン球くらいのだ円形の巣を完成させると、その前でメスにアピールして誘い込み産卵させる。エゾトミヨに繁殖期の兆候が現れるには北海道の厳しい冬の季節が必要だ。飼育下でも水温をしっかりと下げてやらないと卵を産まない。「厳しい冬を経験してこそ大きく育つ北の大地の魚なんです」と語るのは、エゾトミヨの自然繁殖、人工受精に携わってきた魚類飼育課の三宅教平さん。「厳しい経験こそ人を成長させるんだと教えられた気がします」と笑う。

エゾトミヨは非常に神経質で、人の気配を感じると巣作りも生殖行動もやめて隠れてしまう。繁殖時には水族館のバックヤードに固定カメラを設置して、子作りを観察したこともあるそうだ。メスが巣に卵を産むと、オスは約2週間、飲まず食わずで卵の世話をする。巣の中に頭を突っ込んだり、外からヒシでおおいだりして懸命に新鮮な水を送り込む。おたる水族館では2011年にエゾトミヨの人工受精に成功したが、水槽の受精卵は水流や薬剤などでいくら工夫をしても、腐る卵が出るという。「それなのに、巣の中の卵が腐っているのは見たことがないんです」と三宅さん。「私たちがいくら知恵を絞っても、オスの献身的な子育てには到底かないません」。

絶滅危惧種と聞くと、私たちは人里離れた山奥の清流に生息しているのだろうと思いがちだ。しかし、エゾトミヨは人間の生活と隣り合わせの環境で生きている。おたる水族館では道内の水族館と協力して年に1、2回、エゾトミヨの生息調査を行っているが、札幌市街地近辺のコンクリート護岸の河川にもその姿は見られるという。しかし、近年の急速な土地開発がエゾトミヨの生息環境を一気に奪ってしまった。「残念ながらエゾトミヨ自体の知名度が低いので、彼らの存在さえ気づかないまま開発が進められてしまうのです」と三宅さん。水族館で元気に泳ぐ姿を見て、少しでもエゾトミヨに関心を持ってもらえればと、今日も魚たちの世話に余念がない。 **BE**

ベヘラ スワディヒン

1964年、インド、オリッサ州ブバネシュワール生まれ。ベルハンプール大学海洋科学学科卒業後、1986年に同大学大学院で修士課程修了。インド気象局、さらにインド熱帯気象研究所で研究者として勤務し、1998年に博士号を取得。1998年来日し、地球フロンティア研究システム（当時の海洋科学技術センターと宇宙開発事業団の共同事業）ポスドク研究員。2003年よりサブリーダー（2004年、独法化により海洋研究開発機構へ移行したことに伴い地球環境フロンティア研究センターへ、さらに後に地球環境変動領域、アプリケーションラボへ組織改編）、2009年チームリーダー、2013年からアプリケーションラボプログラムディレクターを経て、2014年より現職。

ダイポールモード現象の発見から 気候シミュレーションを社会に生かす

異常気象を引き起こす気候変動が予測できれば、事前にさまざまな対策をとることができる。インドに生まれ育ち、少年時代にモンスーンに興味を持ったというベヘラ・スワディヒングループリーダーは、現在も大気・海洋の相互作用を研究し、社会に役立てるための高精度の季節予報に取り組んでいる。



ベヘラ
スワディヒン

アプリケーションラボ
気候変動予測応用グループ
グループリーダー

アジアモンスーンへの興味から 気象研究の道へ

——気象研究に興味を持つきっかけは何だったのですか。

ベヘラ：インド東部のベンガル湾に面したオリッサ州のブバネシュワールというところで生まれました。みなさんがよく知っているカルカッタの南西にあり、近くには、「マハーナディ」と呼ばれる大きな川がありました。「マハー」は「大きい」、「ナディ」は「川」という意味で、まさに名前の通りの川です。父と一緒にいろいろなところへ旅行するのが好きで、子どものころから自然に興味がありました。

インドの気候は、プレモンスーンの4、5月ころが暑く、日中の気温は50℃にもなります。6月から9月までは雨の多い雨季で、アジアモンスーンが吹き、サイクロンや電などもみられます。ポストモンスーンの10月ころは比較的過ごしやすい時期です。モンスーンの時期は、南西から北東に風が吹いて、ベンガル湾の海流の向きはその逆になります。私はモンスーンに関心を持つようになり、大気と海洋の相互作用で気象が決まることがとても面白いと思っていました。モンスーンがなぜ吹くのかを知りたくて、大学では海洋や気象について研究しようと決まっていた。

モンスーンは、広い意味では季節風を意味するが、特にユーラシア大陸とインド洋・太平洋との間に季節的に生じ、インドから日本を含む東南アジア一帯に大きな影響を及ぼす巨大な大気と水の循環

系を指すことも多い（アジアモンスーン）。モンスーンは基本的には海陸風と同じ原理で生じる。インドでは、夏季にモンスーンが南方（インド洋側）から吹くと、湿潤な空気が内陸に運ばれ、強い降雨がもたらされる。

——大学ではどのような研究をされたのですか。

ベヘラ：私が入学したベルハンプール大学には、残念ながら気象を専門に研究をする学科がなかったため、海洋科学学科に入り、もっぱら海洋物理などの観測研究に取り組み、大学院（修士課程）まで研究を続け、1986年にインド気象局に入りました。当時の所長が、海と大気の関係についてもっと研究を進めていきたいと考えていたこともあり、私が海洋研究者として初めて採用されたのです。ただ、それまで気象の勉強はあまりしていなかったため、1年間、研究所で気象の勉強をさせてもらいました。日本の気象庁に気象研究所があるように、インドにも国立の気象研究所があります。当時、そこではソ連（現・ロシア）と気象予測シミュレーションの共同研究が行われていました。まだインドではコンピュータを活用した予測技術は十分ではありませんでしたが、モスクワから来た研究者にシミュレーション科学の指導を受けることができました。これが、私にとってシミュレーションを活用した本格的な気象研究との最初の出会いです。実は、私は船に弱く、コンピュータを使った研究の方が好きだったので、観測に行かずにすむのは幸いでした。そのころは、インド洋



現在はグループリーダーとして、研究だけでなくグループの若手研究者の支援なども大切な仕事になっている。

の海流の循環を研究テーマにしていました。ただ、当時のコンピュータの処理能力はとても低く、ひとつのデータを処理するのに何日もかかりました。それも、今となっては懐かしい思い出です。インド気象局には1988年から10年間在籍し、初めは気象予測の部署にいましたが、その後は気象理論の部署でモンスーンのダイナミクスや海洋循環の理論的な解析を行っていました。

インド洋ダイポールモード現象の解明に尽力

——インドを離れて日本に来たのはなぜですか。

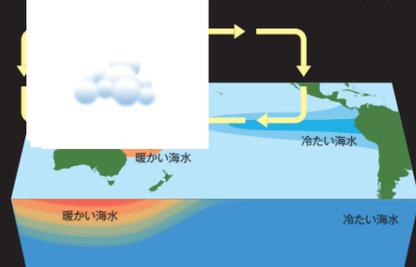
ベヘラ：日本の気象・気候研究は、当時から世界でも進んでいましたから、インドの学生や研究者は、みんな山形俊男先生をはじめ日本の著名な研究者たちの論文で気象理論やエルニーニョ・南方振動（ENSO）について勉強していました。私もぜひ日本で研究したいと思い、そのころ東京大学海洋研究所（現・東京大学大気海洋研究所）で博士号を取った友人を通じて希望を出し、東京大学で研究できることになりました。ところがどういいうわけか、そこから新たに設立された地球フロンティア研究システムを紹介され、偶然にも山形先生のもとで研究できることになったのです。私にとって山形先生は憧れの先生でしたから、まさに夢のようでした。

「エルニーニョ・南方振動（ENSO）」の南方振動は、インドネシア付近と南太平洋東部の海面気圧がシーソーのように、一方が高くなるともう一方が低くな



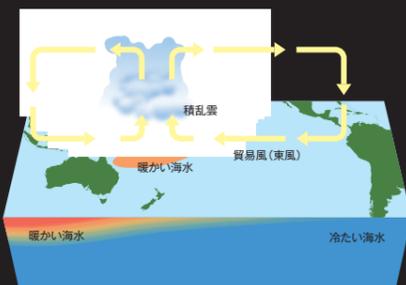
自宅の前で。スクーターに乗っているのは、警察官だったお父さんと弟（上）。インド気象研究所の同僚と（中）。山形先生とタージマハルを観光（右）。

エルニーニョ現象とラニーニャ現象



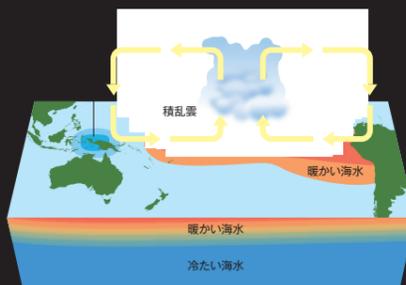
ラニーニャ現象の発生時

西側に暖かい海水が平常時より多く蓄えられている。貿易風が強まり、暖かい海水がさらに西へ運ばれていく



太平洋熱帯域の平常時

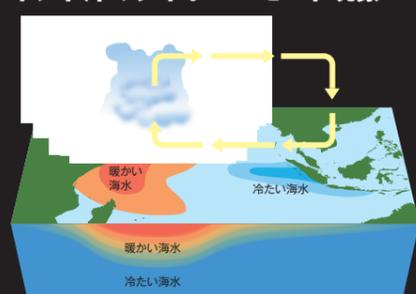
太平洋の西側に暖かい海水がある。東から吹く貿易風が表層の暖かい海水を西へ運んでいく。暖かい海水がある場所では、上空の大気が暖められて上昇気流が発生し、積乱雲ができて雨が降る



エルニーニョ現象の発生時

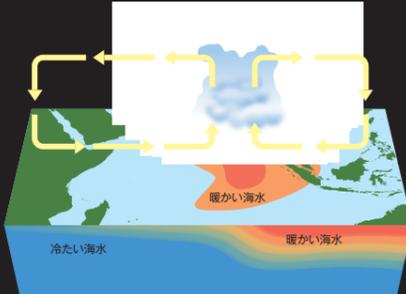
暖かい海水が東へ広がる。貿易風が弱くなり、暖かい海水が西へ運ばれなくなる。暖かい海水の分布が変化すると、積乱雲が発生する場所が変わり、雨が降る地域や乾燥する地域も変わる

インド洋のダイポールモード現象



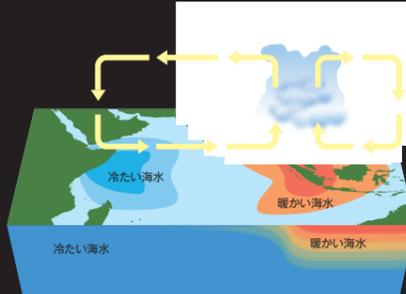
正のダイポールモード現象の発生時

暖かい海水が西側に移動する。東から吹く貿易風が強まり、暖かい海水を西に運ぶ。ダイポールモードとは「双極」という意味。暖かい海水と冷たい海水がインド洋の東西両極に分布することから名付けられた



インド洋の平常時

東側に暖かい海水がある



負のダイポールモード現象の発生時

暖かい海水が平常時よりさらに東へ移動する

るといように変動する振動現象。エルニーニョ（ラニーニャ）現象と連動することから、これらを一連の変動ととらえる場合、「ENSO」と呼ばれる。

——日本に来て、最初にどのような研究をしたのですか。

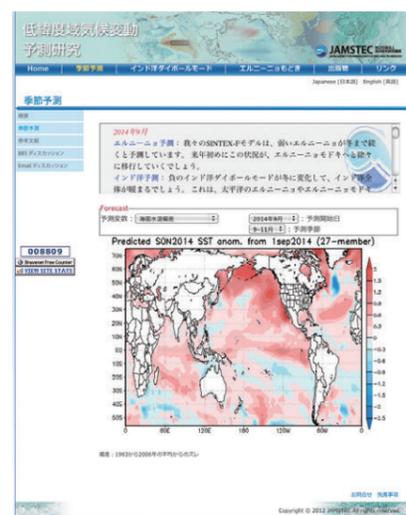
ベヘラ：日本では、山形先生のもとで何かこれまでとは違う新しい研究をやりたいと思っていました。そこで取り組むことになったのが、インド洋ダイポールモード現象でした。すでに山形先生は1990年代半ばにその存在に気づいていて、これを明らかにするために、私のほかに2人のインド人研究者が採用されました。新しい分野の研究は非常に面白かったですし、最新の研究手法や国際的に通用する論文の書き方などを学ぶこともできて、大変勉強になりました。

インド洋ダイポールモード現象は、インド洋の熱帯域に数年に一度発生し、世界各地に異常気象をもたらす気候変動現象。1999年に、当時の地球フロンティア

研究システム気候変動予測研究領域の山形俊男領域長（現・JAMSTECアプリケーションラボ所長）らのチームにより発見された。海面水温、海面高度偏差、降水量とも関係が深い外向き長波放射（地表面や雲からの赤外線のエネルギー量）などがインド洋の東西で双極（ダイポール）パターンを示すことから、この名称が付けられた。インド洋の熱帯域では、通常東側に暖かい海水があるが、正のダイポールモード現象発生時は東からの貿易風が強まり、暖かい海水が西側に移動する。逆に、負のダイポールモードでは暖かい海水が平常時よりもさらに東へと移動してインド洋東側の海水温が上昇する。正のダイポールモード現象が起きると、インド洋西側のインドやアフリカで豪雨や洪水、東側のインドネシアでは干ばつが起きるなどの異常気象が引き起こされる。

ベヘラ：インド洋ダイポールモード現象のメカニズムを明らかにするため、気候モデルをつくり、シミュレーションを行

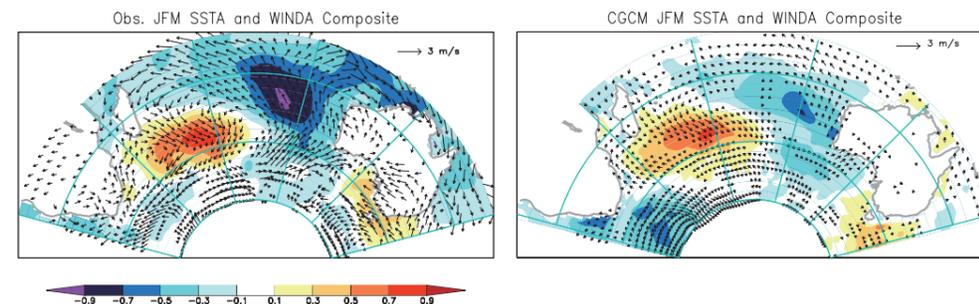
い、観測結果と突き合わせる作業を研究チームのみなんで進めました。1999年に最初の論文が『Nature』に載りました。ただし初期は、インド洋ダイポールモード現象の存在がなかなか理解してもらえ



「季節予測」の画面

<http://www.jamstec.go.jp/frcg/research/d1/iod/seasonal/outlook.html>

アプリケーションラボでは、高解像度大気海洋結合モデルSINTEX-Fシステムによる短期の気候変動の予測を行い、予想される気象に関する情報とともに季節予報として公開している。



ず、厳しい批判も受けました。2006年ころまでは、その対応に追われて大変でした。——その後は、どのような研究をされたのですか。

ベヘラ：組織が地球環境フロンティア研究センターに改称されて以後も、インド洋ダイポールモードの研究は続きました。インド洋ダイポールモード現象が認知されると、次は大気海洋結合モデルの開発を進め、気候変動予測に力を入れるようになりました。

——どのように予測を行うのですか。

ベヘラ：気候変動予測を実現するため、私たちは高解像度大気海洋結合モデルSINTEX-Fシステムを開発してきました。このモデルは、EUと日本の協力によって発展してきました。各国でさまざまな気候変動予測モデルがつくられていますが、SINTEX-Fシステムはエルニーニョ現象やインド洋ダイポールモード現象、さらにはエルニーニョに似ているけれど異なる現象であるエルニーニョもどきについても高い精度で予測できる、世界でもトップクラスのモデルです。2年先のエルニーニョ発生も予測することが可能です。これを用いたリアルタイムの季節予報が、JAMSTECのウェブサイトで公開されています。

また、私たちはモデルの精度をさらに高めていくことによって、社会への応用の可能性を高めていきたいと考えています。具体的な分野としては、例えば農業や感染症対策です。農業では干ばつなどの異常気象が予測できれば、農作物の被害を軽減したり、小麦や米など穀物の生産量の予測が可能になります。また、感染症対策では、雨や気温の予測からウイルスなどを運ぶ蚊の発生状況や、下痢などを起こす飲料水の水質の変化などを予測できるので、殺虫剤の散布などの対策

が可能になります。感染症対策については、現在、長崎大学の医療の専門家に参加してもらい、感染症に関するシミュレーションモデルを共同で研究しています。

季節予報を社会に役立てていきたい

——インド洋ダイポールモード現象のメカニズム解明を進める中で、南インド洋にもう1つ独立した双極構造の気候シグナルが存在することも発見していますね。

ベヘラ：熱帯域だけでなく、中緯度の南インド洋亜熱帯域でも似たような現象が起きていて、アフリカ南部の異常気象に関係していることがわかり、亜熱帯ダイポールモード現象と名付けて、2001年に発表しました。一般に南半球が夏になる時期に発生する現象で、アフリカ大陸の東方海域とオーストラリア大陸の西方海域で、海面水温の偏差が高温域と低温域に分かれて双極構造を示します。この現象は、亜熱帯高気圧の強弱に関係していることがわかっていて、正のダイポールモード現象が発生すると、大量の水蒸気が強い東風に運ばれてアフリカ南部に大雨をもたらします。この他にも大西洋赤道域の海面水温をモデルによって計算し、アフリカ南部の気候に影響を与える気候変動現象ベンゲラニーニョを再現したり、最近では、オーストラリア西岸に現れるエルニーニョ現象に類似した地域気候変動現象であるニンガルーニーニョ現象を予測することにも成功しています。これからは、エルニーニョのような大規模な気候変動現象の予測研究だけでなく、中緯度の沿岸海洋で発生する地域レベルの気候変動現象の発見や予測にも取り組み、季節予報情報を地域社会の活動に役立てていきたいと考えています。

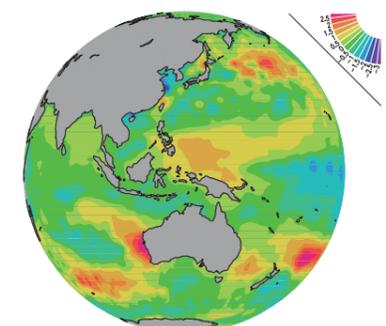
亜熱帯ダイポールモード現象

左図は1968～1993年に起きた6つの強い正の亜熱帯ダイポールモード現象における1～3月の海面水温（色）と風（矢印）の偏差の合成。右図は左と同様の現象を大気海洋結合モデルで計算した結果。亜熱帯海域に海面水温偏差が高温域と低温域に分かれる双極構造が表れている。

——今後、どのようなことを目指して研究を進めていきたいですか。

ベヘラ：アプリケーションラボは、世界をターゲットに気候変動現象の予測情報を発信するとともに、予測をさまざまな分野に活用していくことを目標としています。そのためには、応用研究はもちろんですが、予測精度をどうやって上げていくかといったプロセス研究も重要です。インド洋ダイポールモード現象の予測期間を3カ月以上に延長したり、インド洋ダイポールモード現象とエルニーニョ現象のテレコネクションの研究や、中緯度の予測の改善にも取り組みたいと思っています。

現在、私自身はグループリーダーとして、個人の研究より若い研究者の支援やマネジメントにシフトしています。次の時代を切り開く若い研究者を育てていくことも大切な仕事だと考えています。一方、東京大学の新領域創成科学研究科で海洋技術環境学の教授も勤めており、3人の学生を受け入れて指導しています。アプリケーションラボでは技術の応用が主体なので、大学ではプロセス研究に力を入れていきたいですね。



ニンガルーニーニョ現象

海表面水温偏差に現れた気候変動現象ニンガルーニーニョ。オーストラリア西岸ニンガルー沖で海水温が異常に暖まり、海洋生態系や農業に大きな被害をもたらす。アプリケーションラボでは、この現象の予測にも取り組んでいる。

海底表層の堆積物を 乱さず採取する採泥器 マルチプルコアラー

海底の岩石や砂・泥を採取するための機器は「採泥器」と呼ばれる。海洋調査船にはさまざまな種類の採泥器が搭載され、地質学のみならず生物化学や古環境研究など、幅広い分野で採泥観測が実施されている。海底から採った砂や泥は何を語りかけてくれるのか。今回は海洋調査に用いられる採泥器、なかでも海底表層の堆積物採取に活用される「マルチプルコアラー」にスポットを当て、その仕組みや特徴、さらにはこの機器を用いた調査・研究について紹介する。

●海底堆積物をそのまま採取するマルチプルコアラー

地表や海底には、泥や砂、礫をはじめ火山噴出物や生物の遺骸などが積み重なっていく。これらは堆積物と呼ばれ、長い時間をかけて地層を形成する。地層は一般に下にあるものほど古く、堆積物中にはその時代の地球環境に関するさまざまな情報が残されている。また、海底表層部の環境は、底生生物や微生物の分布や活動を理解する上でも重要な情報となる。このため、堆積物を海底の状態のまま採取することは自然環境の変遷や海底の環境を理解する上で不可欠だ。

深海底に潜って海底の環境を直接調査することは容易ではないが、最も確実に海底表面の環境を調べる方法として、海洋調査で広く行われているのが海底を構成する泥や砂、岩石などを調査船から機器を降ろして採取する「採泥」だ。採泥は、目的に合わせて構造や形状の異なる機器を使い分けて行われる。その種類については後に紹介するが、今回注目したのが「マルチプルコアラー」だ。

「海底の表層は、海中に沈降した^{さいせつぶつ}砕屑物（岩石の破片や粒子）や有機物・殻などの生物源物質が堆積物中に保存され、地層が形成される場です。これらの大部分はここで化学的・生物的な分解を受けますが、一部の分解を免れたものだけが堆積物に残ります。ここから現在や過去の環境を知るためには、実際の海底面で起きている現象を詳しく知る必要があります。せっかく海上から採泥器や採水器を投入して表層の堆積物や海水を採っても、機器内で攪拌させてしまったら正確なデータは得られません。海底表層を乱すことなく、海底にあるままの状態での採取したい、そんな研究者のわがままをかなえてくれる採泥器、それがマルチプルコアラーです」と小栗一将主任技術研究員は語る。

●一度に8本の表層柱状コアを採取

「コアラー」とは、海底にパイプを突き刺すなどして、堆積物を採取する採泥器であり、これによって得られた堆積物試料（サンプル）は、「コア」と呼ばれる。マルチプルコアラーは欧州で開発が進み、1990年代に日本に導入された。現在では国内の会社でも製造している。JAMSTECで使用しているものは、海底に着底させるためのステンレス製フレームの内側に、ポリカーボネート製のチューブ（内径8.2cmあるいは7.2cm、長さは60cm）が4本ずつ2列に並んでおり、1回の採泥で8本のコアを同時に採取できる。空中重量はおもりを含めると600kgを超える。フレームは、キャスターつきの台に乗せて船上に搭載され、使用時にワイヤーで吊り上げ、船尾のAフレームから海底へ降ろす。また、フレームの上部は、着底したときにワイヤーがたわんでひっかからないように、ネットでカバーされている。投入から着底までの間、船上の魚群探知機や水深計、張力計を監視しながら慎重に降ろしていく。海底直上30mに達したらワイヤーの繰り出しを一旦停止し、ここからはさらにゆっくりした速度で海底面に着底させる。

「ワイヤーにかかる張力を監視することで着底を確認しますが、やわらかい海底ではフレームが沈み過ぎ、うまくコアを取れないことがあります。こうした状況も張力計などからある程度判断できます」と小栗主任技術研究員。

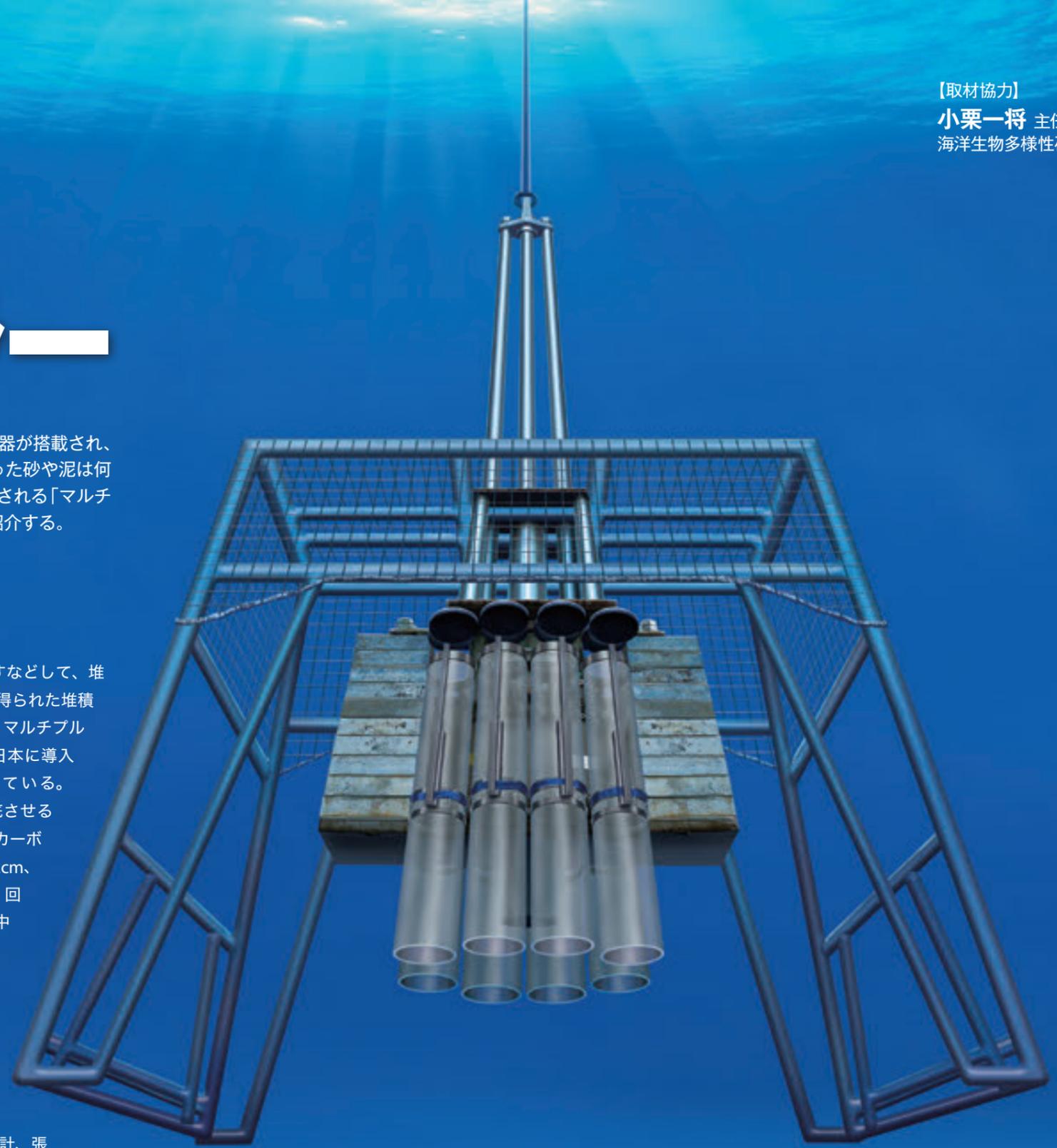
フレームが着底してワイヤーの張力が下がると、ワイヤーに直結されたシリンダーが水圧によってゆっくり下がり、

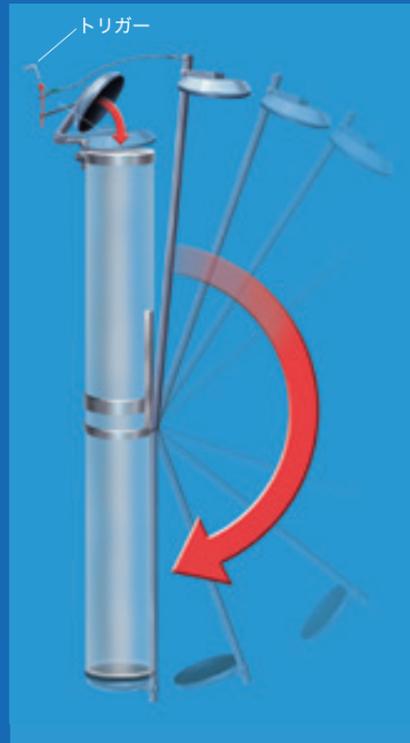
チューブを海底に突き刺す。これによって、海底表層の堆積物とその上部の海水がチューブの中にきれいに採取される。採泥器を引き上げるとき、フタを固定しているピンが外れ、チューブの上下がフタで密閉されるため、採取後にコアが落下したり、水中で海水と混合したりすることはない。砂地や固い泥質の海底では堆積物はあまり採れないが、泥のように

柔らかい底質ではチューブがより深くまで刺さり、50cm以上採れることもある。

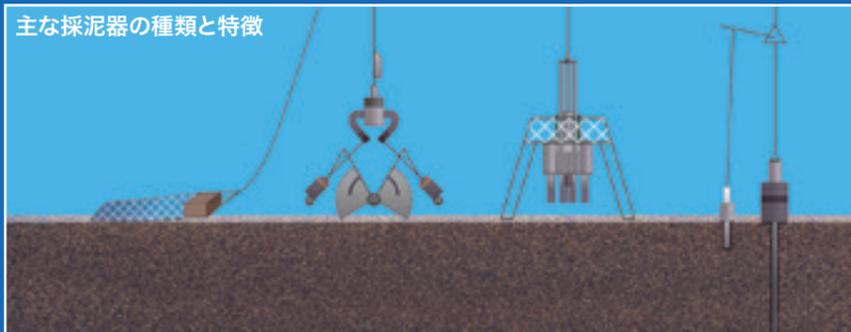
堆積物が入ったチューブは、船上に引き上げられた後に外される。このときゴムキャップで上下に栓をし、立てた状態のままケースに収める。JAMSTECの調査船では、一升瓶を運ぶときに用いられるケースを活用しているという。「ピッタリ

【取材協力】
小栗一将 主任技術研究員
海洋生物多様性研究分野

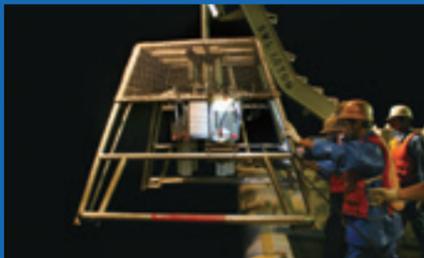




マルチプルコアラーに取り付けられる採泥用チューブは、引き上げる際にトリガーが外れ、自動的にチューブの上下が閉じる。



種類	ドレッジ採泥器	グラブ採泥器	柱状採泥器	
名称	チェーンバグドレッジ	オケングラブ採泥器	マルチプルコアラー	ピストンコアラー
特徴 仕組み	海底面でネットを引きながら、岩石を含む堆積物を採取する。試料が混合してしまう。長距離を曳くため採取した位置などの特定は困難。	左右に開いた採取部を両側から閉じて、つかみ取るように一定面積の堆積物を採取する。	円筒形のパイプをゆっくり堆積物中にさし込み、採取後に上下のフタが閉まる。海水とともに表層の堆積物を乱さず採取できる。	円筒形のパイプを海底堆積物中にさし込み、ピストンで吸引するようにして、長く乱れの少ない状態で堆積物を採取できる。



マルチプルコアラーを海底に投入する様子。採取の様子を撮影するためのカメラが取り付けられている。



海底に降るす間も、魚群探知機や水深計、張力計で位置や状態を監視する。

収まります。具合がいいので、わざわざ調達しました」と小栗主任技術研究員が笑顔で内情を明かす。「ちなみに、コアは上から0.5cmもしくは1.0cm間隔でサブサンプリングするのですが、コアを切り分ける際に使われているのは、みなさんがお好み焼きを裏返すときに使うヘラです。どれも先人が現場で積み上げた経験と知恵の賜物、お陰で忙しい船上でも効率的な作業ができます」とのこと。

得られたコアサンプルは、船上で解析したり、薬品で固定して研究室に持ち帰ったりと、研究テーマに沿った処理が行われる。保管もビニール袋に密閉したり、ガラス管に入れたり、冷凍保存したりとさまざまだ。

●調査目的に応じて使い分ける採泥器

海底の岩石や堆積物などを採取するために使用される採泥器は、大きく①ドレッジ採泥器、②グラブ採泥器、③柱状採泥器に分類される。

ドレッジ採泥器は、口の開いた大きな円筒形または箱型の容器を海底に投下し、これを船で引っ張りながら引きずるようにして、岩石や堆積物、さらには大型底生生物などを採取するもの。採泥器の中では最も歴史が古い。頑丈な鋼製の開口部にツメがつけられたものや、後方にサンプル確保のためのネット状の袋が付いたものなどがある。グラブ採泥器は、左右に開いたシャベル状の採取部（バケツ、“顎”を意味するジョーなどと呼ばれる）が、海底で合わるように閉じて

堆積物をつかみ取る。ドレッジ採泥器は海底を引き回すため、採取位置を特定することができないが、グラブ採泥器は、位置を特定して一定面積の表層部分の堆積物を採取することができ、環境調査などでも広く活用されている。柱状採泥器は、円筒形の採泥管を海底面に垂直に打ち込んで堆積物を採取するもの。海底堆積物の層構造を保持したまま連続的に採取できるのが特徴だ。採泥管の長さや太さはさまざまで、マルチプルコアラーのように長さ数十cmのものもあれば、ピストンコアラーでは長さ20mに達するものもある。また、30cm四方の箱型の採取部分を海底にさし込んで堆積物を採取（引き上げる際に箱の下でフタが閉じる）するボックスコアラーなどもある。

堆積物を深さ方向に連続的に採取できる柱状採泥器は、地質調査や微生物調査、古環境調査などに幅広く用いられている。なかでも古環境調査で活躍しているのがピストンコアラーだ。5~20mという長い柱状コアをできるだけ乱さずに採取するため、パイプ内にピストンを入れ、自重で海底に突き刺すと同時に、注射器による採血と同様の原理で長い堆積物をチューブ内に保持する仕組みをもち、スムーズな採取を可能にしている。

●堆積物と水の境界で酸素分布を調べる

堆積物を乱すことなく、海底の状態をそのまま採取できるマルチプルコアラーの特性が発揮されるのは、例えば、海底



海底から引き上げたマルチプルコアラー。各チューブに採取された堆積物が収まっていることを確認し、フレームから取り外す。



堆積物サンプルとともに採取されてしまったクモヒトデ。

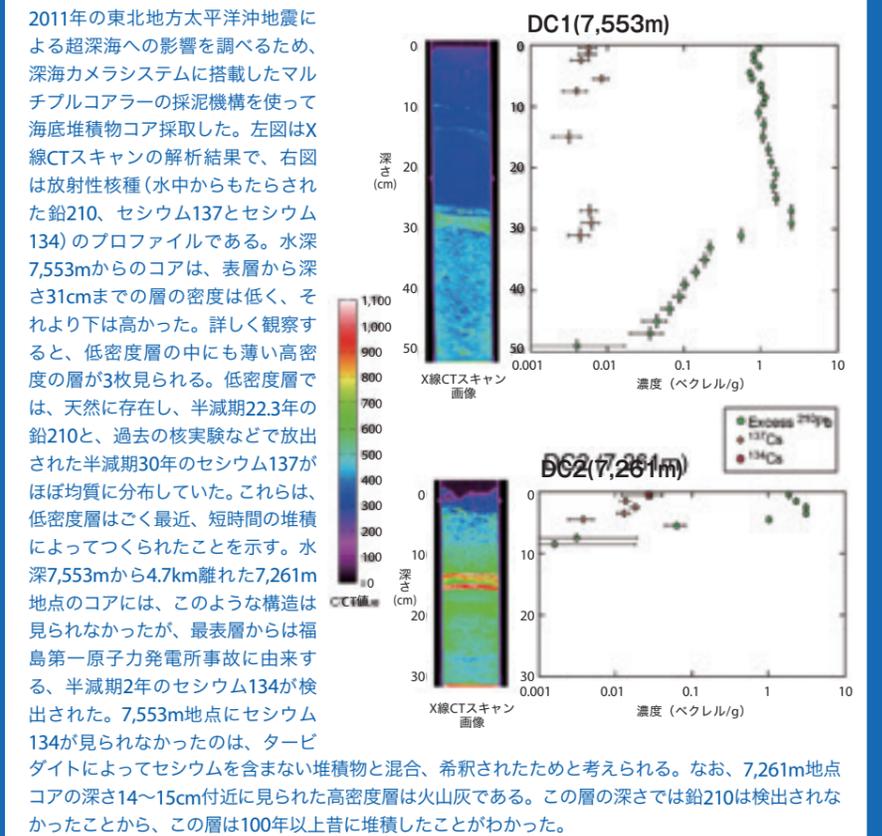


マルチプルコアラーで採取したコア試料（サブコア）を、を船上の研究室に設置した、温度と酸素濃度を海底と同じ状態に維持できる容器に入れて培養する。

表層部の微小な酸素濃度プロファイルを観測する場合などだ。海水中でほぼ一定な酸素濃度は、海底直上から高さ数百マイクロンの位置から直線的に減少し、その後二次関数のような曲線を描いて減少し、やがてゼロになる。この間の距離は、わずか数ミリから数センチしかないため、サンプルには非常にデリケートな扱いが要求される。堆積物の中で酸素がなくならないということは、微生物などの働き（好気分解）により酸素が消費されつくしたことを示すが、プロファイルを基に酸素の消費速度を計算すれば、好気分解によって発生する二酸化炭素の生産速度なども推定できる。

この実験を行うには、海底と同じ環境を船内の実験室に再現し、その中にコアを入れて行う分析が不可欠だ。そこで、小栗主任技術研究員は次のような装置を考案した。採取した海水とコアのサブサンプルを入れたバケツに、冷却用のコイルを入れて温度を海底と同じ2℃に保つ。そこに窒素と空気の混合ガスを導入しながら海水をゆっくり攪拌することで、9時間以上にわたって酸素濃度を精密に制御する。こうすることで船内に海底環境を再現するというものだ。これにより、コア内部の酸素濃度測定を行えるようになった。

「八戸沖でマルチプルコアラーを使って調査したときは、この方法で酸素のプロファイルを測定しました。その結果、海水中（海底直上）に溶存する酸素は、コアの表面からわずか3mmで消失することがわかりました」と小栗主任技術研究員は言う。酸素濃度のプロファイルから酸素の消費速度を計算



するためには、数十マイクロンという間隔で細かく測定を行う必要がある。このような研究には、海底表層を乱さずに採取するマルチプルコアラーが不可欠だ。今後さらなる調査の進展により、海底の生物分布と地球化学的な循環との関係が明らかになると期待される。

一方、東北地方太平洋沖地震発生から4カ月後の2011年7月に行われた緊急調査では、マルチプルコアラーの採泥機構を取り付けた深海カメラシステムを使って、水深7,553mの日本海溝から堆積物を採取した。このサンプルを使い、CTスキャンによる構造解析のほか、放射性核種の分析も行った。「表層から深さ31cmまでは密度が低く、それより下の層とは明らかに様相が違っていました。これらの境界には、より高い密度の層が見られました。また、密度の低い層の中にも、薄い高密度層が2カ所見られました。さらに、低密度層では鉛210やセシウム137といった、半減期の比較的短い放射性核種の濃度もほぼ一定でした。これらのことから、この部分は、震災やその後に生じた土砂崩れのような現象（タービダイト）によって堆積したこと、この現象は少なくとも3回起きたことがわかりました」と話す。これもまた、堆積物の構造を乱さずに採取できたため得られた成果だ。

堆積物の構造解析、化学的解析から小型底生生物の解析、さらには放射性核種の測定まで、海水と海底堆積物との境界で何が起きているのかを明らかにするため、マルチプルコアラーが果たす役割はますます大きくなっている。 **BE**

地震はどこまで予測できるのか

できることとできないこと、目指していること

- 地球情報館公開セミナー第174回 2013年11月16日開催
- 海洋研究開発機構ツアー(トヨタ技術会) 2014年1月24日開催

2012年3～6月に、日本科学未来館(東京・お台場)で行われた「世界の終わりのものがたり～もはや逃れられない73の問い」企画展で、架空の「地震予報」を展示しました。テレビで放送される天気予報のような形で、紀伊半島沖から四国沖で大地震が起きる可能性が高いことを伝える動画で、予報士が伝える内容は、①地下の断層すべりの推移(過去から現在)、②地下の断層すべりの推移の予測(未来)、③電磁気異常、④宏观異常現象(地下水位、動物行動)、⑤1日ごとの発生確率予測(70%～90%)、⑥地震発生時の震度分布予測、⑦事前対策(自衛隊待機の情報)となっています。この「地震予報」のうち、現在すでに可能なこと、将来的にも難しいこと、そして私たちが目指していることは何か、地震予測に関する研究の現状などを紹介します。

地表の動きと地下の動き

地震は、地下で岩盤の急激な「ずれ」

が生じることです。ずれが起こり始めた場所が震源で、ずれはそこからどんどん広がっていきます。このずれた所が断層です。つまり地震は、断層が急激に一方方向に動く(断層面で速いすべりが生じる)ことで起こり、その多くは過去に地震を起こした断層が再び動くことで発生します(図1)。なお、地面の揺れ(一般にはこちらを地震と呼ぶことが多いですが、専門的には地震動と呼びます)は、地下で断層すべりが急激に起き、それによる岩盤のひずみ(バネの伸び縮みのようなもの)が周囲に波として伝わることで生じます。

まず、「地震予報」に必要な、過去から現在にいたる地下の「断層すべり」の推移ですが、これは現在でもある程度わかります。例えば、今年の1月10日、国土地理院が房総沖で2年3カ月ぶりにスロースリップと見られる現象を観測したと発表しました。スロースリップでは、断層の動きがゆっくりなので、地震波が

観測されません。しかし、断層ですべりが起こると、その断層の周囲はゆっくりとひずみます。このひずみによって地表に現れるわずかな地面の動きを正確に測ることができれば、逆に地下で断層がどのように動いたかがわかるのです。地面の動きは、GPS(全地球測位システム)を利用してとらえることができます。日本列島には非常に多くの観測点があり、水平でミリ単位、上下動でも1cmを切る精度で観測ができるようになっており、これをもとに地下の10cm程度の動きでも推定できるのです(図2)。

プレート境界地震の仕組み

地表の動きは、地震や断層すべりがなくても観測されます。図3は1996～2000年までの4年間の地表の動きを年ごとの動きを示しています。年間5cm、あるいは2～3cmなど、わずかですが動いていることが読み取れます。これは、プレート境界で海側のプレートが陸側のプ

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による大災害は、人々に大きな衝撃を与えました。地震の発生とその後起こる現象を予測できれば被害を軽減できるため、地震を予測するための研究が、日夜続けられています。地震発生をどのように予測するのでしょうか。また、どこまで予測できるのでしょうか。

堀 高峰

地震津波海域観測研究開発センター
地震津波予測研究グループ
グループリーダー代理



●ほり・たかね。1970年三重県生まれ。98年、京都大学で博士(理学)の学位取得。日本学術振興会特別研究員。99年、海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)に研究員として入所後、2012年より主任研究員に昇格、14年度より現職。巨大地震のメカニズム解明や地震発生予測システム構築に向けた研究などを進めている。

レートの下に沈み込むときに、プレート同士が固着して陸側のプレートが引きずり込まれることによるひずみが地表に現れたものです。東北地方沖の日本海溝では、太平洋プレートが日本列島の下に沈み込んでいますし、東海から九州地方沖の南海トラフではフィリピン海プレートが日本列島の下に沈み込んでいます。

こうした場所で発生するのがプレート境界地震、海溝型地震などといわれる地震です。その仕組みを見てみましょう。

プレートの境界面には、2つのプレートが固着しているところと、ずるずるとすべっているところがあります。

沈み込む海側のプレートは一定の速度で動きます。図4のように、その上に乗っている陸側のプレートと海側プレートの境界には、浅い部分に固着している場所があり、深い部分にすべる場所があります。仮に2つの場所の間にバネがあると考えると、固着域は海側のプレートに引

きずられ、すべる場所にどんどん近づいていき、バネが縮みます。すると、縮んだバネは元に戻ろうとして、固着域を押し戻そうとする力が働きます。固着域がその力に耐えられなくなると、くっついた部分が引きはがされて地震が起こるとい仕組みです。

地震発生サイクル

ある程度押し戻されると、バネが押し戻されなくなって動きは止まり、時間が経つとはがれた部分がまた固着します。海側のプレートは一定の速度で沈み込んでいくため、プレートの境界に固着する場所とすべる場所があると、このような現象が繰り返されることになります。100年、あるいは数百年から千年という長い時間をかけて、固着しながら動き、力が加わり、限界に達するわけですが、地震発生時には、この一点だけを見ると、ほんの数秒(長くて数十秒)ですべててしまいます。この繰り返しを「地震の

発生サイクル」と呼んでいます(図5)。単純化するとこのような話になりますが、地震の起こり方は、面の摩擦やバネに相当するものの性質の違いによって変わりますし、地震(急激なすべり)が発生せず、スロースリップが発生する場合もあります。

固着域も、GPSによる地表の動きを解析することである程度わかります。固着域と過去に地震が発生した場所を重ねると、それぞれが対応していることがわかります(図6)。こうした場所は将来も繰り返し地震が起こるだろうと想定されるわけです。

結果のみに基づく予測からの脱皮を

現在、国では、今後30年以内に震度6弱以上の地震が起こる確率を公表しています。これは、過去に大きな地震が何度か起きた場所では同様の地震が繰り返

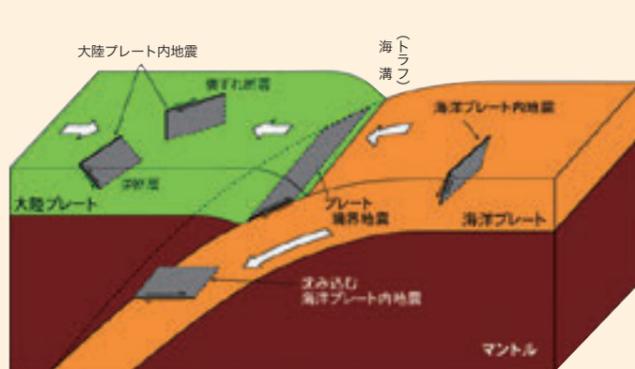


図1 地震はどこで起こるのか
地震は断層のずれによって起こる。過去に地震を起こした断層が再びずれることが多い。

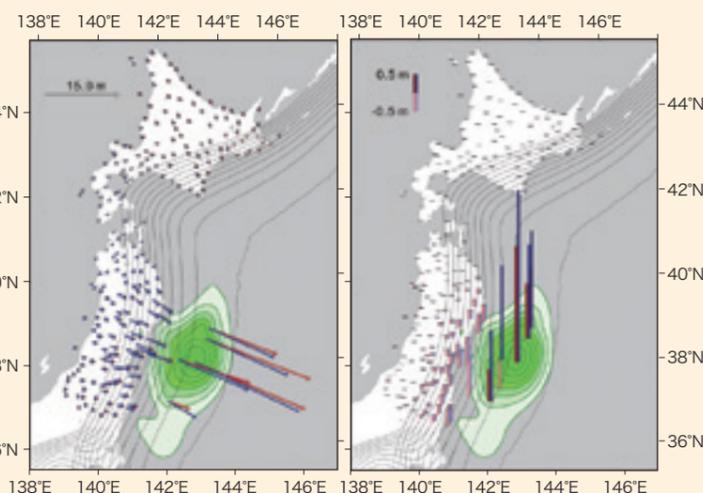


図2 東北地方太平洋沖地震後の地表の動きと地下の動き 左の図は水平方向の動き。陸地はGPSで観測している。右の図は垂直方向の動きを推定したもの(Hashimoto et al., 2012より)。図の黄緑の部分はプレート境界でのすべりの分布を示し、内側に向かう程すべりが大きい。

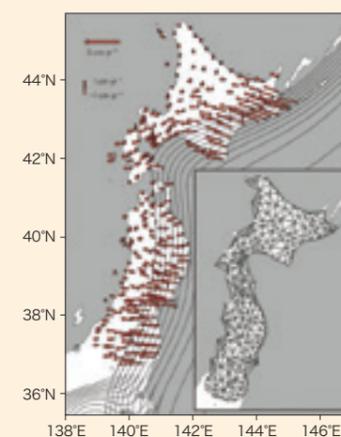


図3 大地震が起きていないときの地表の動き 1996～2000年までの4年間の変化を4で割ったものを表す(Hashimoto et al., 2009より)。図2と異なり、この動きは太平洋プレートが日本列島の下に沈み込むことによって生じている。

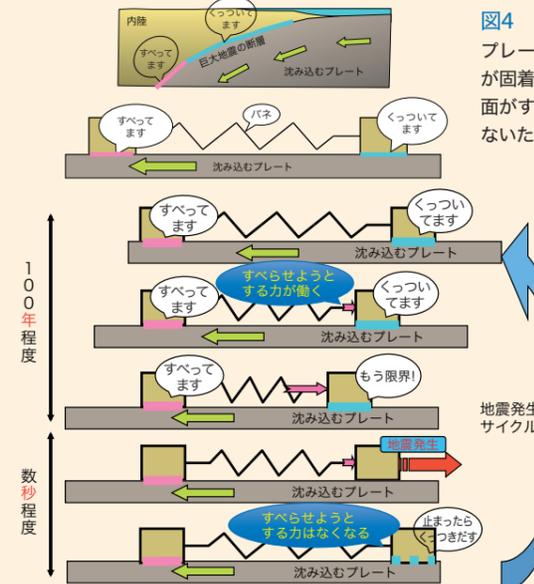


図4 プレートの境界の模式図
プレートの境界のうちの一部(深さ数十km以浅)が固着し、深部がすべっている場合を示す。境界面がすべる部分は沈み込むプレートに引きずられないため、固着域がすべる領域に近づいていく。

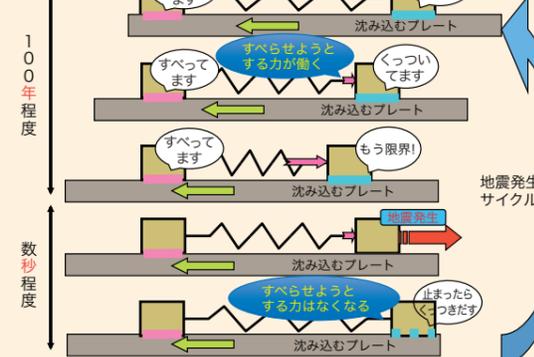


図5 地震発生サイクル
すべる領域に固着域が近づいていくと、固着域をすべらせて押し戻そうとする力がたまっていく。これが限界に達すると、固着域がはがれて押し戻され、地震が発生する。押し戻す力が働かなくなって止まると固着域は再びくっつきだす。

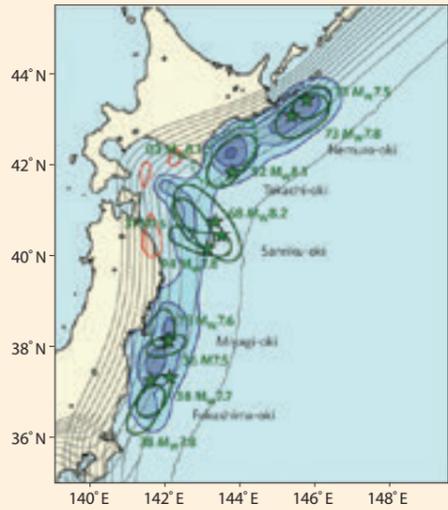


図6 固着域と過去に地震が起きた場所
GPSによる観測データの解析によって固着域(濃い水色)の分布がわかる(Hashimoto et al., 2009より)。緑は過去に発生した津波を伴った地震を示す。固着域と地震の起きた領域とは同じエリアであることがわかる。

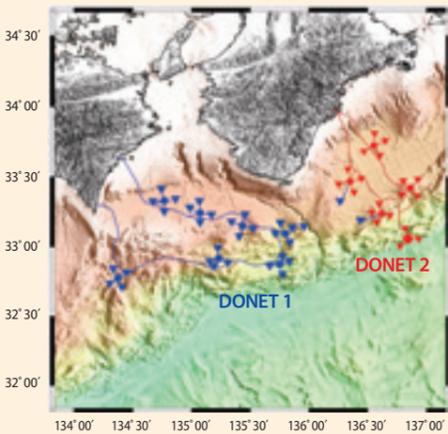


図7 地震・津波観測監視システムDONET
南海トラフ巨大地震の震源域を常時観測するシステム。各観測点には強震計や広帯域地震計、水圧計などが設置され、さまざまな海底の動きをリアルタイムでとらえることができる。上の図の赤で示したものがDONET1で、2011年から全観測点が稼働している。青で示したものはDONET2で、2015年に本格稼働する予定。

起こると仮定した場合、例えば南海トラフであれば50%の確率で起こる、という評価の仕方、過去に起きた結果に基づく評価です。これは一見、天気予報という「降水確率」のように思えます。しかし天気予報は、過去のデータをそのまま使って予測しているのではなく、気圧や水蒸気量の分布といった雨が降る原因、雲ができる原因をよく観測し、解析した上で今後の推移を予測し、その状態と似た状態での位の確率で雨が降るかを求めています。つまり原因に基づいて評価している訳です。

私たちに、地震予測も原因をきちんと評価し、結果のみに基づいた予測から脱皮したい、という思いがあります。地震につながる地下の動き(プレート境界での固着やすべり)はかなり把握できていますので、現在は、その固着やすべりの推移予測を目指した研究を中心に行っています。

プレート境界の固着の状況は、関東地震や、東海、東南海、南海地震の領域でも把握できつつあります。沖合の固着状態は陸のデータだけではわかりにくいですが、最近では海底地殻変動のデータも加わり、沖合まで固着状態がわかりつつあります。これらを使って地震を予測するひとつの方法として、例えば、ある場所で前回地震が起きてからずっと固着した状態で引きずられ続けると、プレート境界にどのくらいの力が働くのか、については計算可能です。そこでプレート境界の固着がどのくらいの力で限界となつてすべるかを仮定すると、そこでの地震の起こり方も計算可能なので、どんな地震が起こり得るかという長期評価を改善することにつながるのです。

DONETによる常時観測

海溝型の巨大地震では、海底にさまざまな現象が起きます。そこで、地表の動きをGPSで観測するのと同じように、JAMSTECは地震・津波観測監視システムDONET(図7)を紀伊半島沖合、南海トラフ沿いの巨大地震震源域に構築して、海底を観測しています。海底に地震計や水圧計をつなげた海底ケーブルを設

置して常時観測するシステムで、リアルタイムでデータが送られてきます。

東北地方太平洋沖地震の際は、2日前にマグニチュード7クラスの地震が起きました。その後、ゆっくりしたすべりが伝播していき、その先でマグニチュード9クラスの地震が始まったことなどが、海底の水圧計の解析によって、後でわかりました。このときは海底ケーブルがつながっておらず、沈めていた観測装置を回収して解析したため、リアルタイムでデータを把握することができませんでした。

ただ、リアルタイムで変動を把握するだけでは不十分です。2011年3月9日に地震が発生した際も、その後どのようなことが起きるかについて、計算の準備を始めましたが、2日後には東北地方太平洋沖地震が起きてしまいました。変動が起きてから考え始めたのでは遅いのです。

地震発生のシナリオを蓄積

東海から九州沖の場合、直近では1944年12月に東南海地震が紀伊半島の東岸沖で発生し、1946年12月に南海地震が紀伊半島の西岸から四国沖で発生したので、2つの地震の間隔は2年間ありました。それに対し、安政地震(1854年)のときは、1日半ほどしか間隔が空いていません。その前の宝永地震(1707年)では、歴史記録なので時刻が正確ではありませんが、少なくとも1時間以内に起きたようです。1つの地震だったのか、少しずつ積っていたのかまではわからないのですが、かなり短い。紀伊半島を境に東西で起こるこれらの大地震は連鎖的に繰り返し発生してきました(知られている限り東が先)が、それらの発生間隔はまちまちなのです。従って、もし将来紀伊半島の東側で大地震が起きた時に、過去の事例からの判断では、西側の大地震は1日半後に起こるかも知れないし、2年後かも知れないということになり、救助や復旧の計画が難しくなります。ですから、この発生間隔を、東側の大地震が起きた後、何らかの方法でより明確に予測する必要があります。

そのため、過去の事例や、東北地方太平洋沖地震の教訓を生かし、観測データ

の変化に続いて起こり得るさまざまな現象を事前に計算し、網羅的にシミュレーションしておいて、観測データと比較することで、その後の推移を予測する研究が進められています(図8)。上記の発生間隔についてもさまざまにシミュレーションし、東側の大地震直後からDONETの地殻変動観測データと比較していくことで、東西の大地震発生間隔を予測する仮想実験をしています。

こうしたシナリオ計算には、神戸にあるスーパーコンピュータ「京」を使っており、これまでに数百のシナリオを蓄積しています。さらに、GPSによる地表観測データは毎週、DONETによる海底の観測点データは毎日更新されています。

日々の発生確率予報の可能性

最初にお話した「地震予報」の電磁気異常と宏観異常現象についてはここでは詳しくはご紹介しませんが、例えば、東北地方太平洋沖地震の前には、大きなすべりが発生した周辺で、さまざまな現象がさまざまなタイミングで起きていました(図9)。しかし地震との因果関係はまだはっきりしておらず、議論の分かれるところです。そのため、こうした現象を時空間の分布に沿って調べ、検討しようという計画が進められています。

1日ごとの地震発生確率予報は、固着域が少しはがれて起きるゆっくりしたすべり「前兆すべり」などの現象から、確率が相対的に高くなっているということは言えるでしょう。東海地震に関しても、

前兆すべりが起きる前提で観測体制を敷いて予測しようとしています。しかし、前兆すべりが起きてても地震を起こさず止まるかもしれませんし、前兆すべりがなく小さな地震が起きた後、巨大地震がいきなり起こることもあり得ます。また、前兆すべりから地震発生までの時間が短い、前兆すべりの規模が小さい、前兆すべりが陸域から離れた場所で起こる、などの要因により、前兆すべりがとらえきれないこともあります。

ですから、前兆すべりを基準に地震発生を予測しても、空振りになったり見逃したりすることが避けられないため、高い数値で確からしい地震発生の確率を公表するのは困難です。しかし、相対的に可能性が高くなっている、という予測は出せる、というのが現在の私たちの考えです。

発生後の安全確保に向けて

地震発生を前提とした事前の対策については、現在でもある程度行われており、より高度化することを目指しています。震源からの地震波の広がり、都市の揺れ、津波の発生、避難方法などについてのシミュレーションを、「京」コンピュータを使ったプロジェクトで進めています。例えば、ある領域に兵庫県南部地震と同様の揺れが起きた場合、どんな揺れになるか、建物はどのくらい傾くか、また、内閣府の想定した最大級の南海トラフ巨大地震によってどのように津波が遡上するかなどについて計算しています。

シミュレーション結果の可視化も行っ

ています。詳細で現実に近い計算結果があれば、高度な専門知識がなくても一般的なグラフィックツールで動画をつくることができます。津波が発生した場合、自分の街がどんな状態になるのかを動画で示すことで、より防災意識が向上します。また、地震の起こり方によって津波の状況や通行できる道路も変わるので、動画を使ってさまざまなパターンを想定した避難訓練を考えることもできます。現在、スマートフォンや携帯電話を使って試験的に行われていますが、将来、予測をリアルタイムに行い、例えば地震発生時に端末に情報を送って安全な方へ誘導する、といったことにも生かしていきたいと考えています。

まとめとして、「地震予報」で示した、過去から現在に至るすべりの推移は把握できています。今後は、そうした情報を定期的に公表し、将来的にはその後の推移予測まで公表できるようにしたいと考えています。電磁気異常や宏観異常情報は、さまざまな現象を集めて信頼性を評価するとともに、全体として予測能力を検討していく計画が進んでいます。

一日ごとの発生予測は、相対的なものは将来、できるようになると考えています。地下で起こっていること、その後予想されることを公表していき、地震発生後の予測もさらに高度化して、事前の対策や災害発生時の避難情報に研究の成果を生かせるようにしていきたいと考えています。

BE

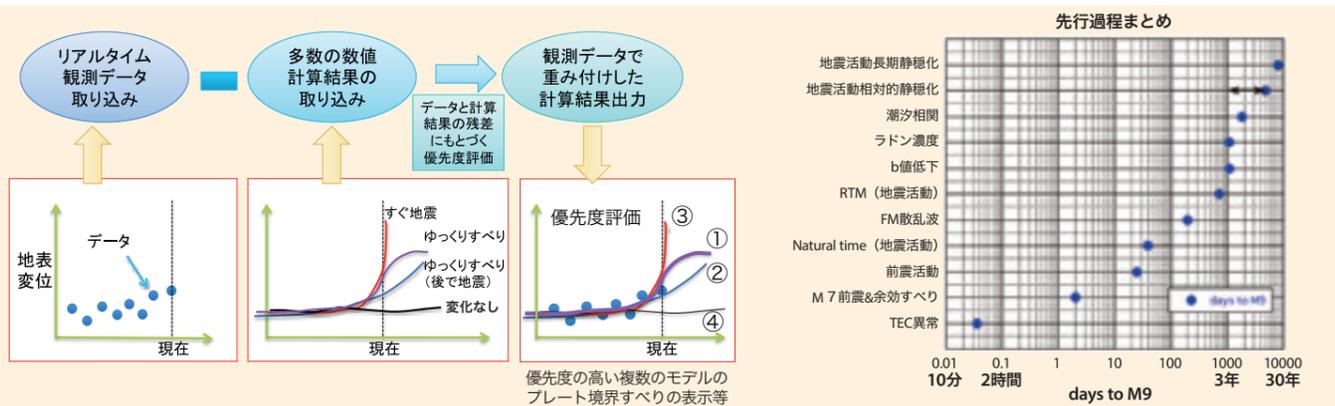


図8 推移予測のイメージ

事前に、起こり得るシナリオをあらかじめ計算しシミュレーションしておくことで、実際に変化が起きた時に、リアルタイムに得られる観測データと比較して起こり得ることの優先度を評価できる。

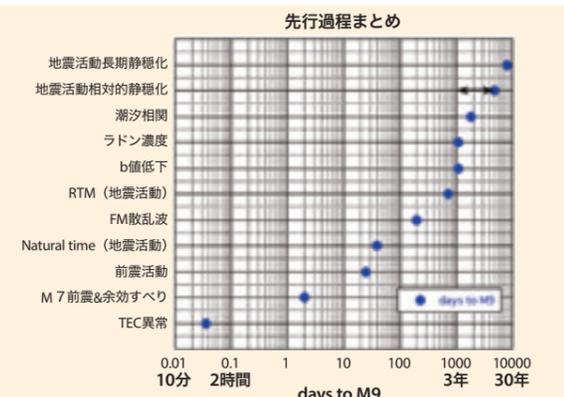


図9 東北地方太平洋沖地震に先だって起こった現象
横軸の数値は日。地震の10分前から1万日前(約30年前)までに、本震で大きなすべりが発生した場所の周辺で起きた出来事。地震との因果関係ははっきりしない。

「激変する北極海域 ～極北の環境変化を探る～」は、いかがだったでしょうか？ 2014年9月、海洋地球研究船「みらい」は、昨年に続き北極航海に出航しました。今回の航海では、北極海で20日間の定点観測が予定されていますが、これにより新しい知見が得られることが期待されています。

2007年に発行された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次評価報告書によって、北極海の夏季海面積が大幅に減少し、地球温暖化の進行が著しく現れているということが広く認知されるようになりました。しかしその温暖化のメカニズムについては、まだまだ解明されていないことが多いのです。

2014年8月には、総合研究大学院大学やJAMSTECの研究チームが近年進行する北極海の温暖化（海水減少）およびユーラシア大陸の異常寒波が、メキシコ湾流の流路（流軸）の変化によって引き起こされていることを、気象データの解析および数値モデルにより解明しました。このような、数値モデルを検証するには、北極圏での継続的な観測が欠かせませんが、残念ながらわが国では、毎年行われている南極観測とは違い、北極での観測はルーチンとして行われていません。このため、1998年から12回も行われている「みらい」の北極航海での観測データは、極めて貴重なものなのです。

このコラムを書いている傍らでTV各局が日本を直撃した台風19号のニュースを流し続けています。この台風は、スーパー台風と呼ばれる900hPaまで発達しましたが、これは、数百mまでの深度での海水温上昇が大きな要因だと考えられています。もしかするとこのような現象も北極圏の大きな変動が関与しているのではないかと興味がつきないところです。今後の研究の進捗に期待しましょう。（T.T）

『Blue Earth』定期購読のご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■ 申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

- ① 郵便番号・住所 ② 氏名 ③ 所属機関名（学生の方は学年）
 - ④ TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み
- *購読には、1冊本体286円＋税＋送料が必要となります。

■ 支払い方法

お申し込み後、振込案内をお送り致しますので、案内に従って当機構指定の銀行口座に振り込みをお願いします（振込手数料をご負担いただけます）。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

■ お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 広報部 広報課
TEL.045-778-5378 FAX.045-778-5498

Eメール info@jamstec.go.jp

ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。

*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号（136号）までとさせていただきます。
バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。

■ バックナンバーのご紹介

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>



*お預かりした個人情報、[Blue Earth] の発送や確認のご連絡などに利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

JAMSTEC メールマガジンのご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/mailmagazine/>

JAMSTECでは、ご登録いただいた方を対象に「JAMSTECメールマガジン」を配信しております。イベント情報や最新情報などを毎月10日と25日（休日の場合はその次の平日）にお届けします。登録は無料です。登録方法など詳細については上記URLをご覧ください。

海と地球の情報誌 Blue Earth

第26巻 第4号（通巻132号）2014年10月発行

発行人 鷲尾幸久 独立行政法人海洋研究開発機構 広報部

編集人 廣瀬重之 独立行政法人海洋研究開発機構 広報部 広報課

Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 株式会社ミュール

アートディレクション 前田和則

取材・執筆 滝田よしひろ（表紙・p.17、裏表紙）、山崎玲子（p.18-19）、重松伸枝（p.20-27）、寺田千恵（p.28-31）

編集・制作 滝田よしひろ、柏原羽美

デザイン 山田浩之、三橋理恵子、木元優介、高塩由香

撮影 藤牧徹也（p.20-21）

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

賛助会（寄付）会員名簿

平成26年10月15日現在

独立行政法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。（アウエオ順）

株式会社IHI	オフショアエンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	株式会社カイショー
株式会社アイケイエス	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイワエンタープライズ	海洋電子株式会社
株式会社アクト	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アサツディ・ケイ	鹿島建設株式会社
朝日航洋株式会社	川崎汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎重工業株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社環境総合テクノス
株式会社安藤・間	株式会社関電工
泉産業株式会社	株式会社キュービック・アイ
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社エス・イー・エイ	共立管財株式会社
株式会社エスイーシー	極東製薬工業株式会社
株式会社SGKシステム技研	極東貿易株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社きんでん
株式会社NTTデータCCS	株式会社熊谷組
株式会社NTTファシリティーズ	クローバテック株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	株式会社グローバルオーシャンディベロップメント
株式会社MTS雪氷研究所	京浜急行電鉄株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	KDDI株式会社
株式会社OCC	鉱研工業株式会社
株式会社オキシーテック	株式会社構造計画研究所
沖電気工業株式会社	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	株式会社コベルコ科研
国際気象海洋株式会社	五洋建設株式会社
国際警備株式会社	株式会社コンボン研究所
国際石油開発帝石株式会社	相模運輸倉庫株式会社
国際ビルサービス株式会社	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社コベルコ科研	佐世保重工業株式会社
五洋建設株式会社	三建設備工業株式会社
株式会社コンボン研究所	三洋テクノマリン株式会社
相模運輸倉庫株式会社	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ
株式会社化学分析コンサルタント	JFEアドバンテック株式会社
鹿島建設株式会社	株式会社JVCケンウッド
川崎汽船株式会社	公益財団法人塩事業センター
川崎重工業株式会社	シチズン時計株式会社
株式会社環境総合テクノス	シナネン株式会社
株式会社関電工	シーフロアーコントロール
株式会社キュービック・アイ	清水建設株式会社
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社	ジャパンマリンユナイテッド株式会社
共立管財株式会社	シュルンベルジェ株式会社
極東製薬工業株式会社	株式会社昌新
極東貿易株式会社	株式会社商船三井
株式会社きんでん	一般社団法人信託協会
株式会社熊谷組	新日鉄住金エンジニアリング株式会社
クローバテック株式会社	須賀工業株式会社
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	鈴鹿建設株式会社
京浜急行電鉄株式会社	スプリングエイトサービス株式会社
KDDI株式会社	
鉱研工業株式会社	
株式会社構造計画研究所	
神戸ペイント株式会社	

住友電気工業株式会社	セナーアンドバーンス株式会社
セイコーウオッチ株式会社	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
清進電設株式会社	第一設備工業株式会社
石油資源開発株式会社	大成建設株式会社
セコム株式会社	大日本土木株式会社
セナーアンドバーンス株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
損害保険ジャパン日本興亜株式会社	太陽日酸株式会社
第一設備工業株式会社	有限会社田浦中央食品
大成建設株式会社	高砂熱学工業株式会社
大日本土木株式会社	株式会社竹中工務店
ダイハツディーゼル株式会社	株式会社竹中土木
太陽日酸株式会社	株式会社地球科学総合研究所
有限会社田浦中央食品	中国塗料株式会社
高砂熱学工業株式会社	中部電力株式会社
株式会社竹中工務店	株式会社鶴見精機
株式会社竹中土木	株式会社テザック
株式会社地球科学総合研究所	寺崎電気産業株式会社
中国塗料株式会社	電気事業連合会
中部電力株式会社	東亜建設工業株式会社
株式会社鶴見精機	東海交通株式会社
株式会社テザック	洞海マリンシステムズ株式会社
寺崎電気産業株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
電気事業連合会	東京製綱織維ロープ株式会社
東亜建設工業株式会社	株式会社東京チタニウム

東北環境科学サービス株式会社	日本SGI株式会社
東洋建設株式会社	日本海洋株式会社
株式会社東陽テクニカ	日本海洋掘削株式会社
トビー工業株式会社	日本海洋計画株式会社
新潟原動機株式会社	日本海洋事業株式会社
西芝電機株式会社	一般社団法人日本ガス協会
西松建設株式会社	日本サルヴェージ株式会社
株式会社ニシヤマ	日本水産株式会社
日油技研工業株式会社	日本電気株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス	日本ヒューレット・パカード株式会社
株式会社日産電機製作所	日本マントル・クエスト株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	日本無線株式会社
日本SGI株式会社	日本郵船株式会社
日本海洋株式会社	済中製鎖工業株式会社
日本海洋掘削株式会社	東日本タグボート株式会社
日本海洋計画株式会社	株式会社日立製作所
日本海洋事業株式会社	日立造船株式会社
一般社団法人日本ガス協会	
日本サルヴェージ株式会社	
日本水産株式会社	
日本電気株式会社	
日本ヒューレット・パカード株式会社	
日本マントル・クエスト株式会社	
日本無線株式会社	
日本郵船株式会社	
済中製鎖工業株式会社	
東日本タグボート株式会社	
株式会社日立製作所	
日立造船株式会社	

深田サルベージ建設株式会社	株式会社三菱総合研究所
株式会社フジクラ	株式会社三菱総合研究所
富士ゼロックス株式会社	株式会社森京介建築事務所
株式会社フジタ	八洲電機株式会社
富士通株式会社	郵船商事株式会社
富士電機株式会社	郵船ナブテック株式会社
芙蓉海洋開発株式会社	ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社
古河電気工業株式会社	株式会社落雷抑制システムズ
古野電気株式会社	
株式会社ベッツ	
株式会社マックスラジアン	
松本徽章株式会社	
マリメックス・ジャパン株式会社	
株式会社マリン・ワーク・ジャパン	
株式会社丸川建築設計事務所	
株式会社マルトー	
三鈴マシナリー株式会社	
三井住友海上火災保険株式会社	
三井造船株式会社	
三菱重工株式会社	
三菱電機特機システム株式会社	
株式会社三菱総合研究所	
株式会社森京介建築事務所	
八洲電機株式会社	
郵船商事株式会社	
郵船ナブテック株式会社	
ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社	
株式会社落雷抑制システムズ	

独立行政法人海洋研究開発機構の事業所

横須賀本部

〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15
TEL. 046-866-3811（代表）

横浜研究所

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25
TEL. 045-778-3811（代表）

むつ研究所

〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地
TEL. 0175-25-3811（代表）

高知コア研究所

〒783-8502 高知県南国市物部乙200
TEL. 088-864-6705（代表）

東京事務所

〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
富国生命ビル23階
TEL. 03-5157-3900（代表）

国際海洋環境情報センター

〒905-2172 沖縄県名護市宇豊原224番地3
TEL. 0980-50-0111（代表）

PICK UP
JAMSTEC

「ハガキにかこう海洋の夢コンテスト」入賞者、「なつしま」に乗船

海洋調査船「なつしま」船上で巨大クレーンに吊られ、深海探査に向かう無人探査機「ハイパードルフィン」を見守るのは小学生の子どもたち。潜航を開始すると、「なつしま」船内のコントロールルームへ移動し、画面の前で「ハイパードルフィン」のハイビジョンカメラがとらえた潜航の様子や、ユメナマコなどの深海生物を熱心に見つめた。

2014年の夏、JAMSTECが毎年開催している全国児童「ハガキにかこう海洋の夢コンテスト」で入賞(第16回)した小学生らを招いて、駿河湾で「なつしま」体験乗船が行われた。港を出発すると、子どもたちはデッキや機関室をはじめ船内を見学しながら、クルーズを満喫。さらに、子どもたちに実際の深海の姿を知ってもらおうと、水深約1,000mの海域で「ハイパードルフィン」による潜航調査が実施された。

深海では、画面に映し出されるサメやアナゴを観察したり、ユメナマコの捕獲にもチャレンジ。高い水圧がかかる深海で風船や生卵、発泡スチロールの容器などがどう変化するかを調べる実験も行われた。また、パイロットが「ハイパードルフィン」に搭載されたマニピュレータ(ロボットアーム)を操作して、ペットボトルのキャップを開ける妙技なども披露した。「ハイパードルフィン」が浮上すると、みんなで実験の結果を確認したり、海底から持ち帰った泥を触ったり、ユメナマコの解剖も行われ、体験を通して深海や海洋科学・技術への理解を深めてもらった。

詳しい記事は、http://www.jamstec.go.jp/j/kids/hagaki/jousen_16.html をご覧ください。



「なつしま」の船内を見学し、「ハイパードルフィン」の説明を聞く子どもたち。



深海底で捕獲したユメナマコにさわりながら観察。解剖も体験。



「なつしま」の前で体験乗船の記念写真。