

退役記念誌
海洋地球研究船「みらい」 1997-2025

退役記念誌

海洋地球研究船

「みらい」

1997-2025





国立研究開発法人海洋研究開発機構
理事長

大和裕幸

海洋地球研究船「みらい」退役に寄せて

「みらい」退役記念誌の発刊にあたり、海洋研究開発機構（JAMSTEC）を代表してご挨拶させていただきます。

本船は、1972年に日本初の原子力船「むつ」として竣工、数々の技術試験を行った後、1995年に原子炉を撤去し、1997年から今日まで海洋地球研究船「みらい」として運用されました。日本の科学技術に大きく貢献した歴史的船舶です。「みらい」として就航後は、北極海から熱帯域、大西洋やインド洋を含む全球的な海洋研究において、極めて重要な役割を果たしてまいりました。「みらい」が得たデータは、北極海の海氷減少の把握、エルニーニョ現象の解明、底層昇温や海洋酸性化の検出など、地球温暖化や気候変動、海洋物理、生物地球化学に関する理解を深めるうえで極めて貴重であり、さらに、いくつもの国際集中観測において中心的な観測プラットフォームとしての役割を果たし、多くの学術論文・研究成果を通じて国際社会にも大きな貢献をしてきました。

また、忘れてはならない点は、「みらい」が果たしてきた人材育成の場としての役割です。世界有数の大型研究船による長期航海は貴重な機会であり、多くの若手科学者、技術者、学生が、実際の観測機器を扱い、現場でデータを取得・解析する中で、海洋研究の現実と課題を体感してきました。当機構では、「みらい」を活用した若手研究者育成や国際共同研究の場を設け、次代を担う人材の育成に積極的に取り組んできました。研究者同士の国際的な研究交流の場やネットワークづくりにも寄与し、「みらい」を通じて育まれた人材は、現在国内外の研究機関や大学で活躍しています。航海には多くの観測支援員や技術者も関わり、観測機器の整備、海水分析の高精度化、データのリアルタイム処理、安全かつ効率的な観測作業の確立など、科学を支える実務能力を持った高度な技術人材の育成にも大きく貢献しました。これまでに「みらい」が残してきた科学的成果と人材育成の蓄積は、今後の海洋研究にとって極めて重要な礎となることでしょう。

最後になりますが、青森県むつ市をはじめとする地域の方々や運航支援・観測支援会社など、長年にわたり「みらい」の運航・整備・観測・研究に携わってこられたすべての方々に、心より敬意と感謝を申し上げます。皆様の努力と情熱こそが、「みらい」を支えてきた最大の原動力でした。「みらい」の航跡は、私たちの知と未来への挑戦の象徴です。その精神は「みらいII」へ引き継がれ、これからも当機構の中核として生き続けると確信しております。



目次

海洋地球研究船「みらい」退役に寄せて

大和裕幸

はじめに 一本退役記念誌の構成について

本多牧生 2

第1章 主要課題研究航海 3

1 西部北太平洋の生物地球化学的時系列観測

本多牧生 4

2 北極海域観測

菊地 隆・伊東素代・西野茂人・藤原 周 15

3 全球海洋規模の高精度観測

村田昌彦 27

4 熱帯・亜熱帯観測

植木 巖・川合義美・石原靖久 36

5 大気海洋相互作用観測

米山邦夫・勝俣昌己・横井 寛 46

第2章 その他課題の研究航海 59

1 固体地球観測

阿部なつ江 60

2 資源調査観測

山本啓之 62

3 大気物質循環観測

金谷有剛・竹谷文一 64

第3章 退役記念寄稿 66

運航担当部署

陸(おか)から見てきた「みらい」 田代省三 67

むつ研究所

「みらい」とむつ研究所の歩み 佐々木建一 68

DMO

データ管理における「みらい」のレガシー 華房康憲 70

生物地球化学的時系列観測

「みらい」始動：北太平洋の物質循環研究へ

日下部正志 71

「みらい」の観測力 三野義尚 72

「みらい」によるオホーツク海での観測 原田尚美 73

「みらい」から始まった海洋研究 岩本洋子 74

RV Mirai Retirement letter Steven J. Manganini 75

北極海域観測

北極海観測事始め 滝沢隆俊 76

「みらい」による北極海の気象・気候研究の進展

猪上 淳 77

「みらい」に感謝を 松野孝平 78

Mirai Retirement 2025 David (Duke) Snider 79

高精度観測

成し遂げた Global Hydrography 深澤理郎 80

「みらい」GO-SHIP航海に参加して 安中さやか 82

観測ファーストの文化 勝又勝郎 83

Mirai: Illuminating the Ocean's Carbon Cycle for

a Changing World Christopher Sabine 84

化学トレーサ研究から振り返る「みらい」 渡邊修一 85

熱帯・亜熱帯観測

トライトンパイと「みらい」 黒田芳史 86

海洋観測における国際協力

— TRITONパイ網の経験から 安藤健太郎 87

「みらい」のおもいで 水野恵介 88

「みらい」と熱帯インド洋の海洋気候観測研究

升本順夫 89

MR06-05 Leg 3航海の思い出 — 人命救助ほか

柏野祐二 90

大気海洋相互作用観測

ライダー観測を行いました 松井一郎 91

「みらい」がもたらしたもの 林美鶴 92

R/V Mirai and Her Very Important Contributions to

Ocean Climate Studies Fadli Syamsudin 93

Observations taken from the R/V Mirai reveal

the importance of small vertical scale flow features

Kelvin Richards 94

観測支援

「みらい」観測支援を振り返る 藤崎正行 95

「みらい」との思い出 駒井信晴 96

観測技術員を育てた「みらい」 小澤知史 97

私の「むつ」と「みらい」 大島隆雄 98

「みらい」退役にあたり振り返る 井上治彦 99

「みらい」調査支援業務を振り返って 末吉惣一郎 100

第4章 資料編 101

「みらい」の設備 102

運航実績 106

研究航海／航跡図／寄港地／航走距離／

乗船者数／一般公開・表彰など

入港記念盾 114

クルーズレポート 116

編集後記 117

はじめに

「みらい」退役記念誌編集委員会 委員長
本多牧生

本退役記念誌の構成について

「みらい」は、1993年（平成5年）12月の海洋開発審議会第4号答申「我が国の海洋調査研究の推進方策について—21世紀に向けた地球規模の海洋調査研究の計画的な推進—」で述べられた以下の4つの重点基盤研究テーマを推進するための海洋地球研究船として生まれた。そして1997年10月に就航、11月に慣熟訓練航海が開始され、1998年2月にはその4テーマに対応する具体的な研究課題が長期観測研究計画として以下のとおり取りまとめられ、同年10月から公募型研究として本格的運用がスタートした。

●熱循環の解明

- ・西部熱帯太平洋の観測研究
- ・大気—海洋相互作用に係る観測研究
- ・北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究
- ・北極海域の観測研究

●物質循環の解明

- ・高緯度海域における物質循環の観測研究
- ・赤道域における基礎生産力観測研究

●海洋生態系の解明

- ・プランクトン群集の観測研究
- ・深海生物の生態系調査研究

●海洋底ダイナミクスの解明

- ・海洋底ダイナミクスの解明についての観測研究

本退役記念誌の第1章では、上述の中で、観測内容や観測海域、関連する研究プロジェクト名は異なりつつも現在も継続して実施され「みらい」ヘビーユーザーである以下の研究航海について紹介する。

- 1 西部北太平洋の生物地球化学的時系列観測研究航海
- 2 北極海域観測研究航海
- 3 全球海洋規模の高精度観測研究航海
- 4 熱帯・亜熱帯観測研究航海
- 5 大気海洋相互作用研究航海

一方、初期の主要テーマ以外にも、各時代のニーズに対応した単発的な航海や「みらい」の特性を活かした航海が行われてきた。また前述の長期観測研究計画では、主要テーマに加え、「みらい」を有効に活用する連続観測の実施が推奨されていた。そこで、第2章では、その中で代表的な以下のものを紹介する。

- 1 固体地球観測研究航海
- 2 資源調査観測研究航海
- 3 大気物質循環観測研究航海

第3章では、「みらい」の母港であった関根浜のむつ研究所所長、「みらい」の建造や運用に尽力していただいた関係者、船上・陸上で研究航海を支えてくださった観測支援関係者、そして各航海に関係したJAMSTEC OBや国内外の外部機関からの参加者に「みらい」の思い出についてご寄稿いただいた。

最後の第4章は資料編として、「みらい」航海に関する様々な情報を掲載した。

なお本退役記念誌とあわせて過去に出版された「みらい」に関する以下の特集号もご一読いただければ、「みらい」の生い立ちや歴史、研究成果、そして様々な「みらい」の思い出をより濃密に振り返っていただけるであろう。

- 『海洋地球研究船「みらい」—その成果と将来—』月刊海洋 号外No. 34、海洋出版（2003）
『就航10周年記念誌 海洋地球研究船「みらい」のすべて』Blue Earth Special Issue、海洋研究開発機構（2007）
『就航20周年記念誌 海洋地球研究船「みらい」ガイドブック』Blue Earth Special Issue、海洋研究開発機構（2017）

「みらい」進水式。1996年8月21日。

西部熱帯太平洋を航行する「みらい」。
操舵室から撮影。

第1章

主要課題研究航海 みらいへの航跡

1 西部北太平洋の 生物地球化学的時系列観測

本多牧生



2019年(令和元年)5月24日～6月14日に実施されたMR19-02航海では、新元号を祝して係留系に用いるガラス球を並べて「令和」の文字をつくった(実はフェイク画像)。

はじめに

現在、大気中で増加する二酸化炭素による地球“沸騰”化が環境や生態系を破壊しつつあることが、地球規模で問題となっている。地球表面の約70%を占める海洋は人類が毎年放出している二酸化炭素の約4分の1を吸収しているとともに、これまでに大気中に蓄積されてきた二酸化炭素の約60倍の二酸化炭素を貯蔵してきた。よって海洋が大気中の二酸化炭素量を制御してくれていると言っても過言ではない。ただし海洋の二酸化炭素吸収能力は大きく時空間変動する。加えて近年の地球環境変化に伴う、海洋温暖化・酸性化・貧酸素化により海洋の二酸化炭素吸収能力が大きく低下することが懸念されている。よって海洋の二酸化炭素吸収能力を精査し、将来変化を予測するためには、様々な海域で二酸化炭素を含む物質の大気—海洋間、海洋内動態を時系列的に観測する必要がある。

西部北太平洋亜寒帯域は深層水大循環の終着点にあたり深層水の持つ豊富な栄養塩が海洋表層に供給されるため生物生産力が高く、国内外の大学や研究機関の調査により、生物活動に伴う二酸化炭素吸収能力が高い海域と考えられてきた。しかし観測や調査は単発的なものが多く、系統だった時系列的な観測研究は行われてこなかった。JAMSTECでは同海域の二酸化炭素をはじめとする様々な物質の大気—海洋間および海洋内での動態を精査するために、「みらい」の就航とともに同海域および西部北太平洋亜熱帯海域に観測定点を設置して、各測点を中心とした生物地球化学的時系列観測研究を行ってきた。輝かしい「みらい」の歴史は、1997年11～12月の我々のMR97-02航海で幕を開けた(図1)。以下は過去約30年間において実施された生物地球化学的時系列観測研究航海を当時の中心的な研究プロジェクト、研究テーマごとにまとめて回顧する。

KNOTプロジェクト(1997～2000年)

1980年代になり大気中で増加する二酸化炭素による地球温暖化が世界的に問題視され始め、海洋による大気中二酸化炭素の吸収能力が注目され始めた。そこで地球規模での炭素循環や気候変動に対する海洋の役割を理解するために、多くの国際機関や科学者により1987年から2003年にかけて国際的な海洋生物地球化学研究プログラムJoint Global Ocean Flux Study(JGOFS)が実施された。米国JGOFSチームは北部北大西洋、赤道域、インド洋、南極海などで、それぞれ数年間、観測船や係留系を用いた生物地球化学観測研究を行った。これに対し日本JGOFSチームでは西部北太平洋の炭素循環や気候変動に対する海洋の役割を理解することを目的に、大学、国立研究所が共同して北太平洋プロセス研究(NPPS)を



図1 MR97-02航海集合写真。「みらい」の歴史ここに始まる。

実施することになった。そして観測定点として西部北太平洋亜寒帯循環(NPSAG)南西縁に観測定点KNOT(北緯44度/東経155度)が設置され、1997～2000年に様々な観測船および係留系により同地点の生物地球化学的時系列観測研究、通称KNOTプロジェクト、を行うこととなった。ちなみにKNOTとはKyodo(共同)North Pacific Ocean Time-series stationの頭字語である。最初の文字が日本語由来というのは、いくら委員会の後の酒の席とはいえ日本を代表する大学教員や国立研究所主任研究員クラスが命名したのだから少々おそまつな話である(閑話休題)。

定点観測(再訪観測)には北海道大学の北星丸、東海大学の望星丸や東京大学(当時)の白鳳丸も使用されたが、就航したばかりの「みらい」は海洋観測、特に荒天が多く海況が悪い秋季・冬季観測の中心的存在であった。総トン数約8,700トンは国内最大、世界でも最大級の観測船、そして約100トンの重錘がレール上を移動することで船のローリングを抑える「減揺装置」搭載により荒天域での長期間の観測を可能にした。研究者・観測技術員40名超の同時乗船が可能であり、「浮かぶ実験室」と呼ばれるように広い実験室に栄養塩、全炭酸、色素測定装置、質量分析装置および二酸化炭素測定装置、表層連続モニター装置などの分析装置が常設されているため航海中に精度の高いデータ取得が可能となった。また第1・第2ブイ格納庫のおかげで、屋内での各種観測装置の整備が可能であるとともに、多くの観測資材機材の搭載が可能であった。そしてJAMSTECのほかの船と異なり、木甲板であったため足にやさしく、夏の灼熱甲板を回避することができた。さらに広い甲板、多くの作業用ウインチ、高いAフレームのおかげでセジメントトラップ係留系をはじめとする各種係留系や漂流系の設置・回収作業を迅速に、かつ安全に実施することができた。

1999年5月に行われたMR99-K02航海では、植物色素(クロロフィル)濃度にして10mg/m³以上という外洋域では極めて珍しい植物プランクトンの大増殖(春季ブルーム)海域に遭遇し、そこで集中観測が行われた。結

果、植物プランクトンの増減に伴う基礎生産力の変化および海水中二酸化炭素濃度の変化を精密測定することに成功した。国立研究所から参加した主任研究員は珍しい春季ブルーム内での観測に大興奮、その勢いでスケジュールにない停船そして採水を深夜にもかかわらず要求し、首席研究者や船長を困らせた。2000年1～2月のMR00-K01航海は、甲板上に雪が積もり、除雪そして滑りやすい甲板上での観測作業を強いられた。基礎生産力、浅層水深の沈降粒子捕集のための漂流系は日の出直前の投入が必要であった。日の出前、体温温度マイナス10℃の甲板に出るのは億劫であった。船では「10分前集合」が基本だが、皆ギリギリまでお互いを牽制しながら室内で待機。ただ一人「10分前集合」していたチョッサー(チーフオフィサー：観測士官)に雪が積もり、まるで『八甲田山死の彷徨』の神田大尉のようであった。

KNOTプロジェクトでは各季節を網羅した航海が行われKNOTにおいて4年間で計21回の観測が実施された。その結果、KNOTにおける植物・動物プランクトン、基礎生産力、二酸化炭素ほか炭酸系、栄養塩などの大きな季節変動を高密度で時系列観測し、同海域の平均像を明らかにすることができた。その季節変動の大きさは世界でもトップクラスであり、これは春季以降の植物プランクトン

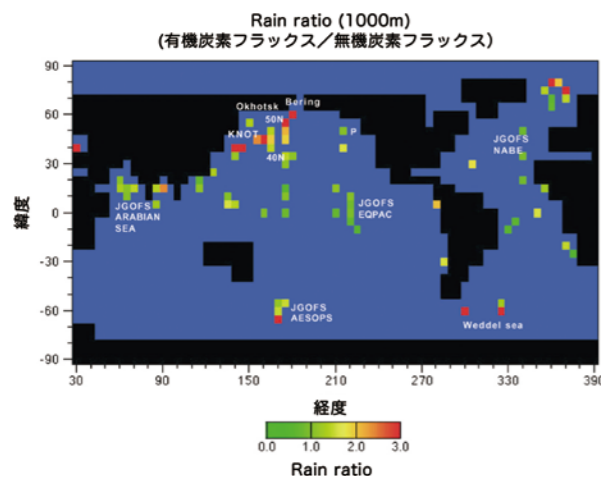


図2 Rain ratio (Honda et al., Deep-Sea Research II 49, 5595-5625, 2002を改訂)

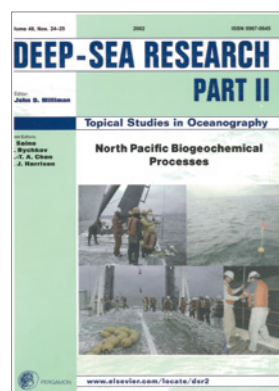


図3 KNOTプロジェクト『Deep-Sea Research II』特集号の表紙

の大増殖と冬季の活発な鉛直混合によるところが大きいことを明らかにした。

JAMSTECおよび名古屋大学が担当した海底設置型セジメントトラップ実験や漂流型セジメントトラップ観測により、KNOTの輸出生産率(基礎生産力に対する表層混合層底部における有機炭素フラックスの割合)やRain ratio(無機炭素フラックスに対する有機炭素フラックスの割合)が米国の太平洋亜熱帯ハワイ沖観測地点ALOHAや大西洋亜熱帯バミュダ沖観測地点BATS、カナダの東部北太平洋亜寒帯観測地点OSPのものより高く、KNOTを含む西部北太平洋の生物炭素ポンプ(植物プランクトンの光合成を皮切りに、主に沈降粒子：マリンスノーとして二酸化炭素が海洋内部へ輸送されるメカニズム)効率が世界的にも高いことが示唆された(図2)。

一方で、NPSAGの南西縁に位置するKNOTでは時折、亜熱帯や沿岸海水の侵入が観測され、NPSAGの海洋学特性を代表していない時があることも明らかになった。

KNOTプロジェクトの成果は、国内におけるほかのプロジェクト(水産庁によるA-line観測、国立環境研究所による篤志船観測)の結果とあわせて、2002年、『Deep-Sea Research II』の特集号として発表された(図3)。

HiLATSプロジェクト(2001～2006年)

2000年10月、むつ事務所が、むつ研究所に改組された。むつ研究所の主要研究として、当時米国ウッズホール海洋研究所(WHOI)主任研究員兼JAMSTEC非常勤理事であった本庄丕博士(故人)の提案により、最先端の自動試料採集・測定装置を搭載した係留系および「みらい」を駆使した西部北太平洋の物質循環研究(High Latitude Time-Series study: HiLATSプロジェクト)を実施することになった。

初年度(2000年度)にはそれまでも時系列観測に使用されてきたセジメントトラップに加え、自動採水装置(RAS)、植物・動物プランクトン採集装置(PPS・ZPS)、基礎生産力測定用自動培養装置(SID)、水中光測定装置(BLOOMS)そして自動昇降型CTD/ADCP(MMP)の購入が行われた。年度末には国内外の研究者約50名が参加した北太平洋物質循環国際ワークショップが開催され、HiLATSプロジェクトでは、NPSAGを代表する観測点としては不安定なKNOTに代わって、NPSAGの中心付近に新たな観測地点K2(北緯47度/東経160度)を設置しそこで時系列観測を実施することとなった(ちなみにK2のKはKamchatka Peninsula(カムチャツカ半島)由来である)。

2001年8月、米国アラスカ州ダッチハーバーにて、共同研究相手のWHOIから輸送された40フィートコンテナ4台分の各種観測機器ならびに係留系資機材を「みらい」

に搭載し、同月28日、WHOIの研究者、マリンテクニシャンとともに出港した(MR01-K04 Leg 2航海)。本プロジェクトの係留系を水深約5,000mの深海底から立ち上げ、張力1トンで「緊張係留」させ、係留系上部を水深30m(有光層下部)に正確に設置する必要があった。設置地点に到着後は音響装置で広域にわたって平坦な場所を探索し、設置地点はCTD採水器に装着したCTDと高度計により精密な測深後に決定した。係留作業はWHOIのマリンテクニシャンの指示で行われた。作業前は言葉の壁、作業方針の違いによる軋轢を心配したが、「みらい」乗組員、マリン・ワーク・ジャパン(MWJ)観測技術員とWHOIのマリンテクニシャンたちの共同作業は友好的であり、正確、迅速、かつ安全なものであった。結果、±10mの精度で西部北太平洋の2点(K1:北緯51度/東経165度、K2)に2種類の係留系(生物地球化学観測用係留系:BGC係留系、海洋物理観測用係留系:PO係留系)計3基を設置することができた。航海終盤の9月11日に米国ニューヨークで「同時多発テロ」が発生。ボストン空港からやってきたWHOI研究者、マリンテクニシャンたちにとって大変ショッキングな出来事だったとともに、ボストン空港閉鎖のため下船後も1週間、むつでの滞在を余儀なくされた。

2002年10月11日、再びダッチハーバーから航海(MR02-K05 Leg 2)が開始される。本航海は荒天に悩まされたが、WHOIマリンテクニシャン、船長、観測士官、甲板長ほか乗組員、およびMWJの息の合った共同作業により、前年度設置した係留系を無事回収することができた。「みらい」の甲板は水面から7mあるため、係留系先端の直径2mの浮カバイ(通称赤玉)を確保するためには作業艇の投入が必須と思われたが、「みらい」の舷側に沿わせた赤玉先端アイをWHOIのマリンテクニシャンが約10m長の竹竿で引っ掛けて確保した。パワーの差、カウボーイの国アメリカならではの、と感心させられた。

その後、西部北太平洋の3カ所(K1、K2、K3:北緯40度/東経160度)にBGC・PO係留系、計6基を設置した。特にK2に設置した係留系には、RASそして放射性炭素を使用することから特別許可を得たSIDとともに、海洋有光層直下から深海までのマリンスノーの鉛直変化過程を精査するために時系列式セジメントトラップを10台装着した。まるで「デコトラ」(装飾品をいっぱいつけたトラック)のような係留系であった(図4)。

2003年、「みらい」は南半球周航観測航海BEAGLE 2003で長期出張。我々の観測は「かわいい」KR03-11航海で実施することになった。「みらい」と異なり、「かわいい」は地質、地球物理探査に特化した観測船である。係留系の設置・回収作業のためには甲板が狭く、また「みらい」に常設されているが同船にはないトラクションウインチの搭載、そして採水器の準備、放射性管理区域指定の



図4 時系列観測機器。ユニークな時系列観測装置として『Sea Technology』の表紙となる。

「アイソバン」の搭載で苦労した。

9月下旬、三たびダッチハーバーでの乗船、出港となった。ただしこの時はアンカレッジからの飛行機が強風のためダッチハーバーに着陸できず、数回の「タッチアンドゴー」の末、3時間かけてアンカレッジに引き返した。またダッチハーバー現地代理店に納品されるはずのアルゴス位置信号発信装置の電池パックが行方不明。結局、代用品でまかなうことにしたが、これらはその後の悲劇の前兆であった。出航後、前年K1に設置した2種類の係留系を無事回収。海洋観測を実施した後、K2へ。K2ではMMP搭載のPO係留系を難なく回収。そしてセジメントトラップ10台ほかを搭載した「デコトラ」係留系の回収に着手した。切離装置との交信に成功した後、切離コマンドの送信。順調に作動したことを確認。正常であれば水深30mに位置している「赤玉」は切り離し後、数秒で海面に浮上するはずであった。しかし浮上せず。そして待つこと2時間、数個の浮カバイ(ガラス球)でかろうじて浮力を持った切離装置が浮上した。この時点で様々な観測装置を搭載した全長約5kmの「デコトラ」係留系の亡失が発覚した。それからは陸上への事故報告、付近の捜索、その合間にK3に設置してある係留系2基の回収(こちらは無事回収)などを行う。風呂に入る間もないほどの忙しさであった。陸上でも係留系亡失の報告を受け、その対応で大騒ぎとなる。特に、生態系にまったく影響はないほどの低レベルとはいえ、放射性物質(放射性炭素)を紛失した、ということで文部科学省への報告、プレス対応など、むつ研究所の所長以下管理課、および横須賀本部の安全管理室、運航部ほか関係部署に多大なる迷惑をかけることとなる。現場では、捜索するものの手がかりはなし。結局、係留系を再設置することなく、失意の中、横須賀本部に帰港した。ほぼ全ての観測機器は米国で購入し、公海上で設置・回収をする予定であったので、予定外の観測機器の持ち帰りであった。そのため膨大な輸入手続きと巨額の輸入関税の支払いも本プロジェクトにとっては大打撃であった。

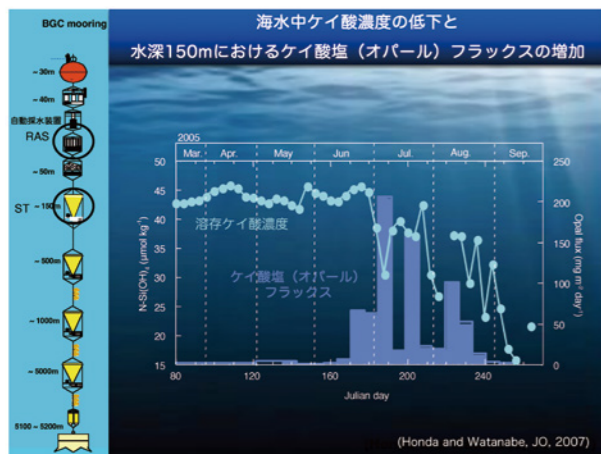


図5 溶存ケイ酸塩とオパールフラックスの変化 (Honda and Watanabe, Journal of Oceanography 63, 349-362, 2007を改訂)

その後は事故原因調査と再発防止対策の検討のため、結局係留系観測は1年半ほど中断することになった。

2005年3月、MR05-01航海で再発防止対策を講じた係留系を試験的に短期係留。同年9～10月に実施されたMR05-04航海で2種類の係留系を無事回収した。おかげで、半年間ではあったが、高頻度の時系列観測データ、試料の回収ができた。特にRASで得られた外洋域における海洋表層の栄養塩濃度の変化と、水深150mにおける沈降粒子の変化の同時観測は世界初であった(図5)。

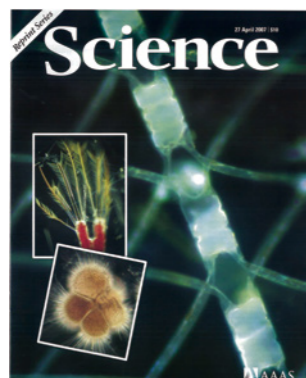


図6 VERTIGO。K2観測結果が『SCIENCE』に掲載。

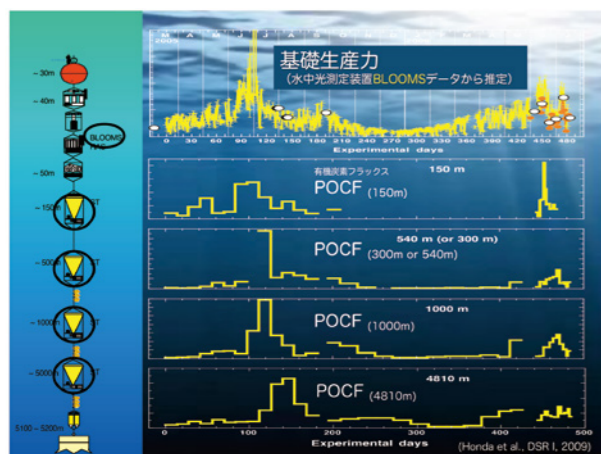


図7 基礎生産力と各水深における有機炭素フラックスの時系列変化 (Honda et al., Deep-Sea Research I 56, 2281-2292, 2009を改訂)

また同航海は北部北太平洋を横断する航海(関根浜出港—サンディエゴ入港)であったので、K2を含むNPSAGとカナダの北太平洋東部亜寒帯観測定点OSPを含むアラスカ湾循環域の生態系・物質循環過程の比較可能なデータを取得することができた。

HiLATSプロジェクトのおかげで観測定点K2はNPSAGの生物地球化学観測定点として世界的に知られるようになり、国際的な海洋定点観測ネットワークOceanSITESに登録された。2005年にはWHOIの研究者が主導する国際的な生物炭素ポンプ研究プロジェクトVERTIGOのK2観測が行われた。結果、K2の生物炭素ポンプ効率はハワイ沖観測定点ALOHAのものより高いことが示され、その結果は著名な学術雑誌『SCIENCE』に掲載された(図6)。

翌2006年5月から7月にかけて、約2カ月間のMR06-03航海を実施。観測定点K2には約2週間滞在して繰り返し観測を行い、春季ブルーム時期の物質循環過程・生物ポンプ過程の変遷観測を試みた。結果、基礎生産力、栄養塩、植物プランクトン色素、および炭酸系など同過程に関わるデータが取得できた。また前年に設置した係留系を無事回収した。その結果、前年3月から1年半にわたる海水、マリンスノーおよび水中光データから推定した基礎生産力の高頻度時系列試料・データを取得することに成功した(図7)。

参考:『むつ研究所 開所十周年記念誌』海洋研究開発機(2011)

K2S1プロジェクト(2010～2014年)

現在、地球環境変化と同様に、海洋でも温暖化、酸性化、貧酸素化などの複合ストレスが進行中であり、海洋の持つ大気中二酸化炭素吸収能力の将来変化が懸念されている。ただし、これらのストレスが海洋の生態系や物質循環にどのように影響するのかが海域によって異なる可能性が指摘されている。そこで従来の西部北太平洋亜寒帯循環域とは生態系や水塊構造が異なる亜熱帯循環域にも観測定点を設けて、両者の生物地球化学比較観測研究「気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック」を実施することとなった。議論の結果、K2のカウンターパートとして黒潮続流南側に亜熱帯観測点S1(北緯30度/東経145度)を設置した。よってこのプロジェクトは「K2S1プロジェクト」と呼ばれるようになった。そして上記の目的のために各季節を網羅した「みらい」による船舶観測、そして係留系観測、衛星観測および数値シミュレーションを行うこととなった。

最初の航海は、2010年1～2月に実施された(MR10-01航海)。厳冬期の観測であったため荒天に悩まされたが(図8)、K2、S1で採水、漂流系による現場基礎生産測定・沈降粒子捕集、プランクトン採取など総合的な生物地球

化学的観測を行うことができた。そしてK2、S1には水深200m、500m、4,810mにセジメントトラップが位置する係留系、ならびにS1には水中ウインチにより表層から200m間で定期的に上昇下降を繰り返し水温、塩分、酸素、クロロフィルそして基礎生産能力を測定するセンサーブイ(基礎生産プロファイラー)を搭載した係留系(POPPS係留系)を設置し、時系列観測が開始された。セジメントトラップ係留系設置日は節分であった。係留作業の安全と観測の成功を祈願して豆まきが行われたが、セジメントトラップ担当者としては、豆が混入するのでは、とヒヤヒヤハラハラドキドキした。

同年秋に行われたMR10-06航海は久しぶりにダッチハーバーからの出港であった。本航海も荒天に悩まされたが、K2、S1に設置されたセジメントトラップ係留系およびPOPPS係留系を無事回収・再設置することができた。長い航海、観測で体を使うとはいえ、カロリーの高い食事のためどうしても体重が増加気味。船上では久しぶりに“ビリーズブートキャンプ”が流行し、夜な夜な運動室では老若男女がエクササイズに励んでいた。

MR11-02航海は晩冬季の2011年2～3月に実施された。本航海での係留系作業としては、POPPS係留系の回収・再設置および米国海洋大気庁(NOAA)のKEOブイの点検、JAMSTECのJKEOブイの回収・設置が行われた。

K2S1プロジェクトでは大型多段式プランクトンネット(IONESS)による動物プランクトンや小魚の採集も特徴的な観測であった。開口部が約2m²、全長約5m大の“こいのぼり”のようなプランクトンネットが8枚束ねられ、任意の深さで開閉し20分程度水平曳きすることで網の先端にあるコットエンドにターゲット層の動物プランクトンや小魚を採集するのである。8～12人が左右二手に分かれ人力で網を甲板上に揚収。コットエンド内のサンプルを回収後、大きなバケツ内で網を洗浄。動物プランクトンの日周鉛直変動を把握するために、昼間のみならず深夜にも実施された。K2の深夜は氷点下、雪のちらつく中でのIONESS作業となる。過酷極まりない、まさに演歌『北の漁場』の世界観であった。

航海終了前日、八戸に寄港中の地球深部探査船「ちきゅう」を表敬訪問する。翌日、2011年3月9日、関根浜に帰港。艦装解除時、地震が発生する。しかし津波もなく、作業は予定どおり終了、午後には東北新幹線で無事帰京した。しかしこの地震が東北地方太平洋沖地震の前震であるとは、その時は知る由もなし。そして表敬訪問した「ちきゅう」や本航海に参加していた岩手県大槌町の東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターの教員が2日後に被災することになる。

MR11-03航海は2011年4～5月に実施された。本航海は、後述するように福島原発事故調査を兼ねる航海となったが、同航海では南北方向の航跡に沿ってラジオゾ



図8 荒天の中の航海(MR10-01)

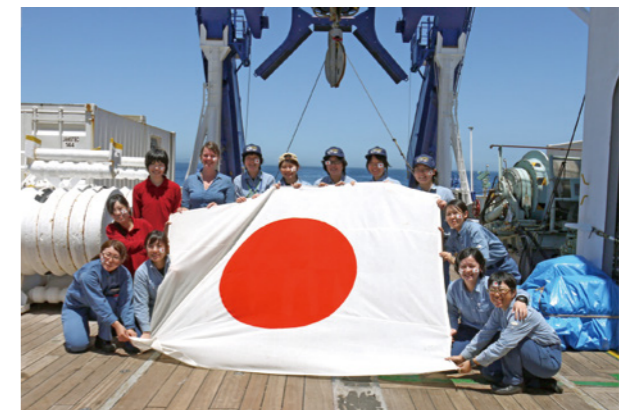


図9 なでしこみらい

ンドの放球を頻繁に行った(通称ゾンデ祭り)のが特徴的であった。

MR11-05航海では、前半(Leg 1: 2011年6月27日～7月16日)はKNOTやK2など亜寒帯の観測、後半(Leg 2: 7月17日～8月4日)はS1そして東北沖の観測を行った。福島原発事故調査を兼ねたものではあったがK2、S1では採水、プランクトン採取、係留系の回収・再設置、漂流系観測、そしてマルチプルコアラーによる採泥を行った。Leg 2ではモード水など亜熱帯海域の水塊構造の三次元解析プログラム(INBOX)のため、S1付近で大量(約20本)のArgoフロートが投入された。またLeg 2では観測技術員、学生そして航海士あわせて13名の女性が乗船。翌日(日本時間7月18日)の女子ワールドカップ決勝での日本女子チーム(なでしこジャパン)の勝利を祈願して、船所有の日章旗を持ち出し、フェイスペイントを施し、記念撮影をした(図9)。そして未明の決勝戦。1-2でリードされた延長後半、澤穂希選手のゴールで同点、そしてPK戦の結果、なでしこジャパン、ワールドカップ初制覇! 船内のあちらこちらから歓声上がる。結果を見届け、早朝の採水へ。朝の挨拶は「おめでとうございます!」。まるで元日の朝のようであった。

MR12-02航海も前半(Leg 1: 2012年6月4～24日)、



図10 寄せ書き旗



図11 MR13-04航海クルーズレポート表紙

後半 (Leg 2: 6月24日～7月12日) に分けて実施した。前半ではK2のセジメントトラップ係留系に加え、JAMSTEC 大気-海洋研究グループのJKEO係留系の回収・再設置が行われた。後半はS1観測および前年のMR11-05航海で新たに設置した観測点F1 (北緯36.5度/東経141.5度) を含む東北沖での観測を行った。後の分析でF1のセジメントトラップ試料からは、K2やS1より1桁高い放射性セシウムが検出された。さらに観測点KEOでNOAAのKEO係留系の回収・再設置を行った。NOAAから派遣された年配のマリンテクニシャンは、1980年5月18日、米国ワシントン州のセントヘレンズ山の大噴火時に登山中で、噴煙に巻き込まれたサバイバー (生存者) であった。船上セミナーではその時の迫力ある写真を見せながら、自身の体験を生々しく紹介してくれた。写真は高く売れ、テレビ出演、雑誌のインタビューなどで当時はずいぶん“生活がうたった”、とのことであった。

MR13-04航海はこれまでの物質循環航海の3分の2～2分の1の長さの航海であった。しかし天候にめぐまれたおかげで観測点K2とS1の係留系3系列の回収・再設置、福島沖のセジメントトラップ1系列の回収・再設置を実施することができた。加えてK2、S1、KEO、JKEO、KNOTで多目的な採水、K2とS1では動物・植物プランクトン採集、基礎生産測定、現場濾過を実施することが

できた。また北海道東方沖に存在する中規模渦内でのCTD・採水観測を実施した。この航海では、横須賀本部一般公開で作成してもらった“応援メッセージ寄せ書き旗”をマストに掲揚し観測を行った (図10)。K2S1プロジェクト航海に限らず、多くの時系列観測航海では、観測終了後 (入港直前)、夕食を兼ねてバーベキューパーティー (BBQ) を行った。日頃いっしょに観測作業をしているとはいえ、航海中はあまり打ち解けて話す機会がない乗組員と観測技術員と乗船研究者・学生である。BBQは親睦、お互いの労のねぎらいが目的であった。この時は、老若男女が入り乱れ、職位の違いを忘れ、無礼講で大いに懇親した。ゲームをしたり、クルーズレポート表紙コンテストの発表などのイベントを行って楽しんだ (図11)。

2014年は主に係留系作業のみが行われ、K2は白鳳丸、S1は「かいよう」、F1は新青丸が使用された。そしてK2S1プロジェクトは終了した。K2S1プロジェクトにより、西部北太平洋亜寒帯海域と亜熱帯海域の生物地球化学的特性が精査された。また同プロジェクトにより①貧栄養な亜熱帯海域への予想以上に高い栄養塩供給メカニズム、②中層で生息する低次生物への必要炭素量の需要と供給のミスマッチなど、新たな課題も抽出された。K2S1プロジェクトの成果は日本海洋学会誌『Journal of Oceanography』特集号などで発表された。

参考: K2S1プロジェクト時のホームページ (航海ブログ含む)
<https://www.jamstec.go.jp/egcr/jj/oal/observation/>

福島原発事故調査 (2011～2015年)

2011年3月11日に発生したマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震と津波により、東京電力福島第一原子力発電所 (FDNPP) の冷却システムが停止、その結果のベント作業や水素爆発、そして外部から供給された冷却水漏れ、意図的排出により、大量の人工放射性核種が環境中に放出された。観測船を多く所有するJAMSTECに、海洋における人工放射性核種の拡散や蓄積状況などの動態調査が文部科学省から依頼された。同月後半には福島沖での採水・エアロゾル調査が開始された。

同調査のために「みらい」も動員された。ご存じのように「みらい」は1974年に放射線漏れ事故を起こした日本初の原子力船「むつ」を改造した船である。当初は、「みらい」自体が放射線汚染しているのでは、と揶揄する声も聞かれたが、汚染検査の結果 (当然のことではあったか) まったく問題はなかった。

翌4月に予定されていたK2S1プロジェクトのためのMR11-03航海は、FDNPP事故調査も兼ねることとなった。4月中旬、横浜港を出港後、急遽福島沖へ。半外洋から外洋に向かって複数点で海底までの採水が行われた。この際、海底付近に高濁度層が観測され、地震の影響で

海底堆積物が再懸濁している様子が明らかになった。本航海中も陸から地震 (余震) 発生のニュースが続き、暗澹たる気持ちになった。

その後、「みらい」は観測点KNOT、K2、S1へ。航行中は定期的に表層採水・大気塵 (エアロゾル) 採集。観測点ではこれらに加え、海底までの採水、プランクトン採集およびIONESSによる動物プランクトン・小魚採集、現場濾過器による海中粒子採集が行われた。サンプル回収前にはサーベイメータなどで船上や海上大気の大気汚染検査、回収後はサーベイメータやガイガーカウンターでサンプルの汚染検査を行い、万が一にも被曝しないように万全の注意を払った (図12)。

当時、海水中の放射性セシウム測定のためには海水20リットルが必要であった。放射性セシウムの水平鉛直分布を把握するため航海中は約100個の海水を採集した。総重量約2トン。これを陸揚げし、輸送トラックに搭載するのは一苦勞であった。それ以上に、送り先である測定を担当する放射線医学総合研究所では、誰がトラックから降ろして、測定を行う部屋に運ぶのであろうか……? 考えただけで気の毒に思った。しかし苦勞のおかげで、この調査では、表層海水中原発事故由来の人工放射性核種セシウム (以下、放射性セシウム) 濃度は東北沖で最も高いこと、そして事故1カ月後にはFDNPPから約2,000km離れた亜寒帯観測点K2、約1,000km離れた亜熱帯観測点S1にも放射性セシウムが到達していたことが明らかになった (図13)。

同年7月に行われたMR11-05航海では、2010年11月に設置されたK2とS1のセジメントトラップ係留系が無事回収・再設置された。その後、実験室に持ち帰り分析した結果、両地点とも水深500mでは2011年3月25日～4月5日の間に捕集された沈降粒子、水深4,810mでは4月6～17日の間に捕集された沈降粒子から放射性セシウムが検出され始めた (図14)。数値シミュレーションの結果、これらは、海水流動ではなく、大気経路でエアロゾルによって同地点に輸送されたこと、粒状態放射性セシウムの沈降速度は表層から500mまでは数十m/日、500mから4,810mでは数百m/日、であることが推定された。

航海中、宮城沖で「ドン」続いて「ブルブル」という船体動揺を体感。「何?」。間もなくテレビに宮城沖で地震発生とのテロップが流れる。地震により海上の船が震動することを初めて経験する。

調査航海時は、首席研究者 (PI) や主任観測技術員 (クルリ) はポケット線量計を持ち歩き、常に船内での被曝量をチェックした。ある日のこと、クルリが青い顔をしてPIのもとに、日頃ほぼゼロの数値が、その時はプラスの値に。どこから放射線が出ているのか? しばらく二人で考えるが原因わからず。こんなことを船内に報告すればパニックに



図12 汚染検査

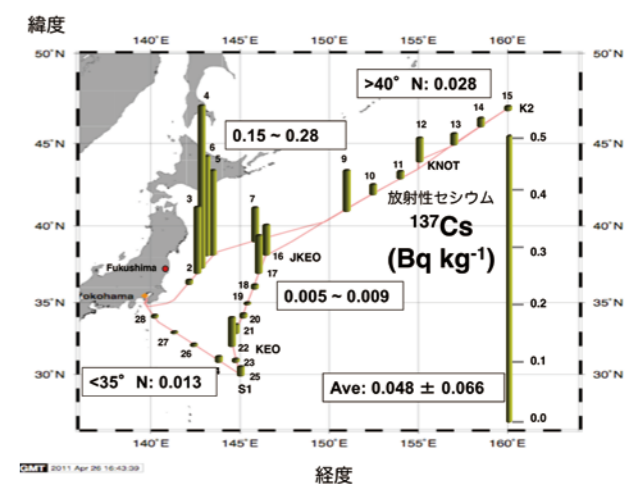


図13 事故1カ月後の放射性セシウム濃度水平分布 (Honda et al., Geochemical Journal 46, e1-e9, 2012を改訂)

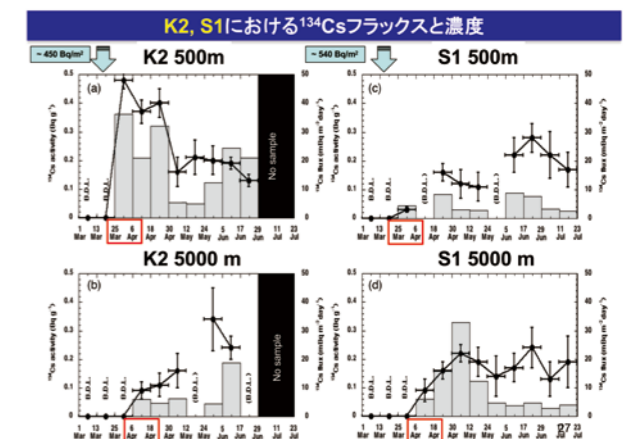


図14 セジメントトラップ試料中の放射性セシウム濃度 (黒丸) とフラックス (棒グラフ) (Honda et al., Biogeosciences 10, 3525-3534, 2013を改訂)

なるのでは? しかし黙っていても報告義務違反か? とにかくその日のクルリの行動を再現することに。採水室、実験室、試料保管庫……数値変わらず。しかしフライングブリッジ (船橋上甲板) に行ったところ線量計の値が急上昇! えっ……そうだ、レーダーだ。レーダーの電磁波だ。今朝、クルリがエアロゾル採集用フィルターを交換するた

めフライングブリッジに来た時に電磁波を検出してしまったようである。ポケット線量計を身につける時、携帯電話は携行しないように、とは言われていたが、まさか線量計がレーダーに反応するとは。とりあえず一件落着で笑い話に。このヒヤリハットは海洋研究に従事する放射化学者にとっても盲点であり関係者間で話題となった。

MR11-05航海ではFDNPPから南西約100kmの大陸棚斜面に新たな観測地点F1（北緯36.5度／東経141.5度、水深1,350m）を設置し、水深500mと1,000mにセジメントトラップを搭載した係留系を設置し、同地点における粒状態による放射性セシウムの挙動調査に着手した。これはWHOIとの共同観測であった。同セジメントトラップの回収・再設置はMR12-02航海、MR13-04航海でも行った。係留系作業はWHOIのマリンテクニシャンと行った。彼は米国製セジメントトラップ会社の社員でもあるのだが、MR12-02航海では国産セジメントトラップ会社の社員も乗船していた。昔は両社間でイロイロあったが、二人の関係は終始良好。両社のセジメントトラップを背景に仲良く写真撮影をしていた。

F1係留系観測は2015年まで継続した。4年半の時系列観測の結果、次のようなことが明らかになった。①セジメントトラップ試料中の放射性セシウムフラックスはK2やS1の10倍以上であった。②K2やS1のセジメントトラップ試料からは1年後には放射性セシウムは検出されなかったが、F1では事故から5年経過してもセジメントトラップ試料から放射性セシウムが検出された。③放射性セシウムフラックスは秋季や冬季に増加する傾向があった。考察の結果、FDNPP付近を台風や低気圧が通過時にFDNPP付近の汚染された海底堆積物が再懸濁し、それが大陸棚斜面まで水平輸送されF1セジメントトラップに捕集された、と推定された。

この結果を論文発表とともにプレス発表したところ、「2ちゃんねる」に「寝た子を起こすな」といった批判的なコメントが書き込まれた。また国会議員から問い合わせがあり、危うく「政争の具」にされそうにもなった。一方では、日米共同観測ということで当時の米国駐日大使キャロライン・ケネディ氏に謁見・報告する機会にもめぐまれた。

事故当初は十分な情報も経験もなかったためFDNPP事故関係の調査航海には勇気ある英断が必要であったと推察される。しかし「みらい」はいち早く調査航海を開始した。そのおかげで人工放射性核種の海洋内の動態に関する貴重なデータを取得することができたのである。

放射線漏れ事故を起こし、20年近く幽閉を強いられ、所期の目的を十分に果たせなかった「むつ」。その「むつ」が「みらい」として原発事故調査に貢献するとは、誰が想像できたであろうか？

栄養塩の供給メカニズム観測研究：KEO観測（2014年～現在）

前述のとおりK2S1プロジェクトでは、貧栄養な亜熱帯海域の基礎生産力が意外に高いことが明らかになり、それを支える栄養塩の供給メカニズムの解明が新たな研究課題となった。考えられるメカニズムとしては中規模渦、台風、エアロゾルによる栄養塩供給である。そこで2014年6月、S1から2.5度ほど北に位置する観測地点KEO（北緯32.5度／東経144.5度）で時系列セジメントトラップ観測を開始した。KEOはNOAAの太平洋海洋環境研究所（PMEL）が設定した観測地点であり、2003年から表層ブイ（KEOブイ）を係留し、主に海上気象やそれに基づく大気－海洋間の熱収支、そして同海域の海洋物理を観測研究していた。したがってJAMSTECの時系列セジメントトラップに捕集される沈降粒子の変動が、KEOブイが観測する気象・海象、海洋物理の変動と、どのように連動しているのかが明らかになると考えられた。

2014年から3年間、水深約5,000mでの時系列セジメントトラップ観測の結果、栄養塩が枯渇している夏や秋に形成されたと考えられる沈降粒子が増加することが観測された。KEOブイの観測データの解析の結果、この時には栄養塩濃度が豊富な中層（水深約500m）の冷たい海水が亜表層（水深約100m）まで湧昇していることが明らかになった。また人工衛星データからこの時に海面高度が著しく低下することも明らかになった（図15）。これらの結果から、栄養塩の枯渇する時期に中規模低気圧性渦がKEO付近を通過すると、栄養塩が豊富な中層水が亜表層まで湧昇し、亜表層の基礎生産力が増加し、ひいては沈降粒子が増加するとのシナリオが考えられた。数値シミュレーションにより推定された同海域に発生する中規模低気圧性渦の頻度とそれによる栄養塩供給と基礎生産力の増加は、観測された沈降粒子の増加と整合的であった。年越しで実施されたMR21-06 Leg 2航海ではKEO付近に存在する中規模渦内を横断しながら高頻度で採水、プランクトン採取、海中粒子採取・撮影などを行い、渦の生物地球化学への影響、下降流による粒子輸送について調査した。船上でクリスマスケーキを食べたのは初めて、元旦には豪華なおせち料理を楽しむことができた。

さらに、栄養塩の供給源としてエアロゾルについても検討された。過去には黄砂が降ったり、三宅島が噴火した後に亜熱帯海域で植物プランクトンが増加することが報告されてきた。また数値シミュレーションでも亜熱帯海域ではエアロゾルによる基礎生産力の増加が示唆されていた。MR21-01航海（2021年2月13日～3月24日）の主目的はアジアから飛来するエアロゾルによる海洋生物地球化学への影響評価であった（プロジェクト名：IMPACT-SEA）（図16）。従来の大気観測手法であるハイボリュー

低気圧性渦による栄養塩供給⇒亜表層基礎生産力増加⇒沈降粒子増加

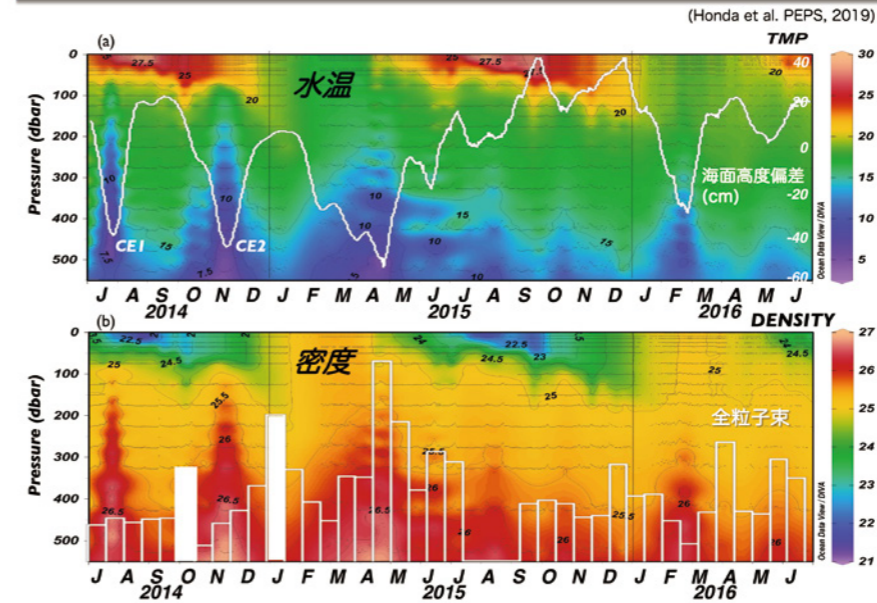


図15 KEOブイで観測された水温（上図）と密度（下図）の鉛直分布時系列変化と水深5,000mにおける沈降粒子の全粒子束（下図の棒グラフ）。上図の白折れ線は海面高度偏差（Honda et al., Progress in Earth and Planetary Science 5:42, 2018を改訂）

ムサンプラーに加え、時系列雨サンプラー、そしてカメラや海霧収集器（通称ヨーコの竖琴）を搭載した係留気球（通称オットット）による観測などを行った。また雨によるエアロゾルの海洋沈着と生物地球化学への影響を把握するために雨雲を追いかける観測（レインチェイス）も行った。多くの乗船者が晴天を望む中、研究担当者たちは隠れて雨乞いをしていた。コロナ禍下であったため、乗船前はPCR検査と1週間のホテル隔離と孤独のグルメ、船上ではマスク着用、毎日検温、サウナ使用禁止、不要不急の会話厳禁の黙食、複数箇所に分かれたオンライン会議、集団での懇親会禁止などなどニューノーマルな航海であった。救いは運動室の使用が許可されたこと。人気（ひとけ）のない早朝、黙々とトレッドミルでランニング。40日間の走行距離は160kmに達した。

一方、西部北太平洋亜熱帯海域は海洋プラスチックゴミの集積場所としても注目されている。JAMSTECの海洋プラスチック研究グループも「みらい」航海に参加し、ネットや現場濾過器などで海洋プラスチックゴミの三次元分布・中規模渦の役割について調査した。また同グループによりKEOセジメントトラップ試料中のマイクロプラスチック測定も試みられ、同海域におけるマリンスノーによるマイクロプラスチックの鉛直輸送量の定量化に成功した。

酸性化と生態系と物質循環研究：ハイブリッド係留系とBGC-Argo観測（2014年～現在）

K2S1プロジェクト後、K2の時系列観測のため基礎生産プロファイラー、RAS、ADCP、CTD、pHセンサー、



図16 MR21-01航海クルーズレポート表紙

セジメントトラップそしてリカバリーブイ、ガラス球で構成されたハイブリッド係留系が設置された。このような複雑で大型の係留系の設置・回収作業を効率的に、迅速に、かつ安全に行えたのも大型であり熟練した乗組員のいる「みらい」のおかげであった。また酸素センサー、蛍光光度計、後方散乱計など生物地球化学成分を測定できるBGC-ArgoフロートもK2付近に数多く投入され、海洋表層から深層までの海水特性や生物炭素ポンプの季節変動を観測した。時には基礎生産プロファイラーを亡失する、というトラブルも発生したが、人工衛星では観測できない海中の、そして荒天が多く特に観測が困難な冬季の植物プランクトンや海中粒子、そして海洋構造の鉛直分布の季節変動を時系列的に観測することができた。データからは晩春および秋の年2回、植物プランクトンの増加（ブルーム）が起こることが明らかになり（図17）、考察の結果、秋のブルームは微量栄養塩の鉄の再供給によるものと推定された。

K2を含む西部北太平洋亜寒帯海域は、鉄が少ないため、主要栄養塩が大いに存在する割には植物プランクトンが少ないHNLC（High Nutrient Low Chlorophyll）海域と知られている。本プロジェクトでも「みらい」船上でクリーン採水や簡易クリーン区画の設置が行われ鉄添加培養実験などが実施された。また同海域への鉄供給メカニズムは、オホーツク海からの海中内水平輸送である、と言われてきたが、エアロゾルおよび海洋表層付近の懸濁粒子に含まれる鉱物粒子と鉄同位体の分析・解析から、エアロゾル中の鉄も同海域の鉄供給源になっていることも明らかになった。

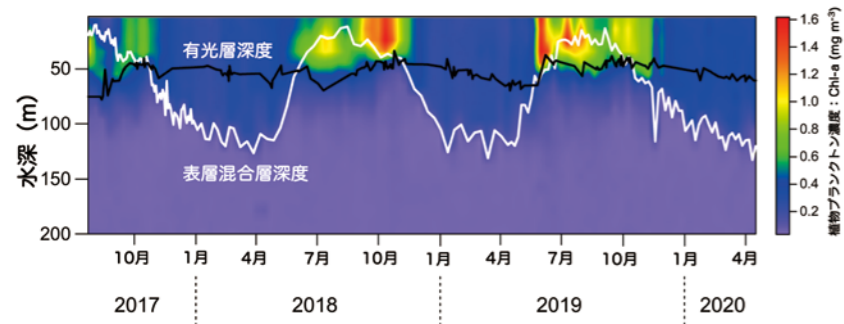


図17 BGC-Argoフロートにより観測されたK2付近 (NPSAG) の植物プランクトン濃度鉛直分布の季節変動 (Fujiki et al., Journal of Oceanography 78, 63-72, 2022を改訂)

一方、1997年の「みらい」就航以来、KNOTおよびK2で観測してきた海水中の炭酸系データの解析の結果、世界中の海域と同様に同海域でも海洋酸性化が進行中であることが明確になり (図18)、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書 (AR5) で報告された。西部北太平洋の海洋酸性化の生態系への影響、特に炭酸カルシウムの殻を持つ動物プランクトンへの影響を把握するために、セジメントトラップおよびプランクトンネットで得られた動物プランクトン (浮遊性有孔虫) の殻密度をJAMSTECで開発したマイクロフォーカスX線CT装置 (MXCT) で解析してきた。その結果、殻密度は季節変動、水深変動することが明らかになった。これらの変動のうち、海洋酸性化による長期変化成分を検出し (図19)、ひいては将来変化を予測するために、2024年に新たなCRESTプロジェクト「気候変動に伴う低次栄養段階生物の応答と炭素吸収能の評価」(通称C-LIFE) が立ち上がり、分析・解析、数値シミュレーション、そして新たな係留系による観測研究が引き続き行われている。

おわりに

「みらい」のおかげで、多くの研究者、学生、観測技術員が同時乗船し船上の機器や実験室を利用することで、航海中に多くの分析・実験の実施が可能となった。そして係留系作業が迅速に、かつ安全に行えたため係留系による時系列観測が可能となり、西部北太平洋の生物地球化学に関して多くの知見を得ることができた。また筆者を含め多くの研究員や学生の学位取得にも「みらい」は貢献してきた。ただし、西部北太平洋の物質循環平均像は解明されつつも、現在進行中の複合ストレスに対する“変化”を検出するには至っていない。ハワイにおける大気中二酸化炭素の連続測定のおかげで、人類の活動により大気中二酸化炭素濃度が増加していることが明らかになったように、「継続は力なり」である。いろいろな人がバトンをつないできた観測地点K2の時系列観測は20年を超え、2025年には北太平洋海洋科学機構 (PICES) から海洋モニタリングサービス賞 (POMA) が授与された。しかし海洋は大気以上に“変動”が激しく、また物理、化学、生物の相互干渉が大きいため、“変化”を検出するためにはより長期間の時系列観測が必要である。米国の観測地点ALOHAやBATS、欧州共同体のESTOCでの時系列観測と連携しながら、今後も北極域研究船「みらいII」などを利用して同海域の生物地球化学的時系列観測を続けていくことはJAMSTECの使命と考えられる。

参考：本観測研究のデータベース「北太平洋における化学海洋学データセット集」<https://www.jamstec.go.jp/4dvep/project15.html>
担当部署 (地球表層システム研究センター) のホームページ (2025.12.20現在) <https://www.jamstec.go.jp/ess/j/>

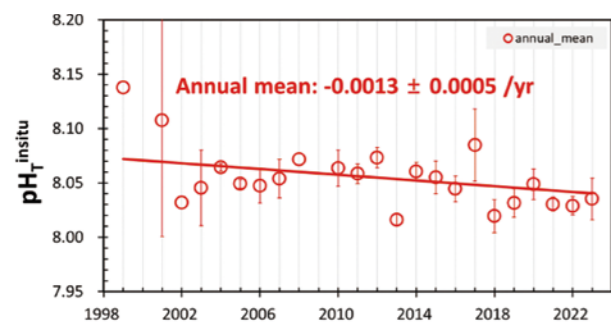


図18 NPSAGでも海洋酸性化進行中 (Wakita et al., Biogeosciences 10, 7817-7827, 2013を基に作成)

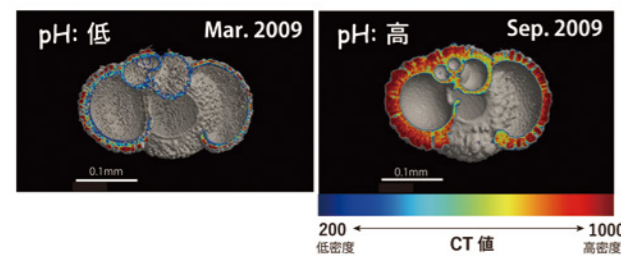


図19 季節の違い (酸性度の違い) により“骨密度”が変化した有孔虫殻 (Kimoto et al., Frontiers in Earth Science 11:1184671, 2023を改訂)



本多牧生
海洋研究開発機構
地球環境部門
地球表層システム研究センター
物質循環・人間圏研究グループ
上席研究員 (シニア)



はじめに

菊地 隆

1998年8月18日、前年に就航した海洋地球研究船「みらい」は関根浜を出発し米国アラスカ州スワードに立ち寄ったあと、初めてベーリング海峡を越えて北極海に入った。この1998年の北極航海以降、「みらい」は2025年までの28年間で23回の北極航海を実施した(図1)。JAMSTECが北極海での観測研究を開始したのは1990年にさかのぼるが、「みらい」による北極航海ができるようになるまでは米国などの大学や研究機関との共同研究として、彼らの活動に同行する形で観測を実施していた。これが「みらい」が就航することで、自分たちで計画を立てて、自分たちで現場に向かいデータを手に入れて、研究を進めることができるようになった。「みらい」によって北極航海ができるようになったことは、JAMSTECの、そして日本の北極研究の発展にとっての極めて大きな一歩であったと言える。

本稿では、「みらい」北極航海に大いに関わり、航海実施をリードしてきた伊東素代、西野茂人、藤原周とともに、この28年間23回の航海にまつわる話を取りまとめる。まず伊東からは、「みらい」と時期をほぼ同じくして開始し現在も継続しているパロー海底谷係留系観測の話題を中心に太平洋側北極海の海洋環境、特に海の温暖化の話を書きます。続いて西野から、北極観測に必要な不可欠な国際連携のことを北極海の物理・生物地球化学に関する成果と

もで紹介する。藤原からは、学生から航海首席にまで「みらい」とともに成長した“「みらい」第三世代”として、北極航海がどのように行われてきたのか、北極海から知ったこと感じたことなどを記す。最後に菊地から、北極航海に関する様々な数字とともに28年間23航海をまとめて振り返ることにする。

太平洋側北極海的环境変化を捉え続けた「みらい」

伊東素代

「みらい」が北極観測を行った1998年から2025年の28年間は、海氷減少をはじめとする、北極海の急激な環境変化が進行した時期と一致しており、「みらい」は北極海の変化の現場を捉えてきたと言えるだろう。私自身も、2002年からJAMSTECに在籍し、「みらい」で6回、そのうち2010年、2022年、2024年は首席研究者として、北極航海に参加している。さらに、同時期にカナダ砕氷船CCGS Louis S. St-Laurent、CCGS Sir Wilfrid Laurier、米国砕氷船USCGC Healyなど、海外の砕氷船でも8回の航海に参加し、海氷減少や海洋の温暖化など、北極海の変化を目の当たりにしてきた。

「みらい」北極航海では、地質、海洋、気象の様々な観測を実施しているが、主要な海洋観測の1つにパロー海底谷の係留系観測(図2)が挙げられる。この係留系は、1990年代末に畠山清さん、島田浩二さんらが始め、2008年から私が引き継ぎ、現在も観測を継続しており、

20年を超える長期観測は「みらい」の歴史と重なる。近年、北極海の水氷は減少しているが、それでも船舶観測は夏季・秋季に限定される。海洋の季節・経年変動を捉えるためには、春季・冬季も含めた係留系による時系列観測が有効である。北極海における20年超の時系列観測は少なく、太平洋側北極海の4つの長期係留系観測(ワシントン大学のベーリング海峡、JAMSTECのパロー海底谷、ウッズホール海洋研究所のカナダ海盆およびポーフォート斜面の係留観測)の1つとして数えられており、近年の環境変化を捉えた数少ない時系列観測点である。「みらい」北極航海全体の成果や歴史は、菊地隆さん、西野茂人さんの項で記載されているため、ここでは、これまでの航海を振り返りながら、「みらい」が捉えた北極海の変化の一端を、係留系観測を中心に、紹介したいと思う。

北極海では1990年代後半から、地球温暖化の影響で、北極海の水氷の厚さや面積の減少が報告されてきたが、太平洋側北極海は特に海氷減少が著しい海域である。「みらい」の就航時から2000年代初頭までは、カナダ海盆の北部には厚い多年氷域が残り、海氷を割って進むことができない耐氷船「みらい」の航行範囲は海盆南部に限定されていた。その後、海氷後退とともに、2002年から2010年まで、ほぼ毎年、最北到達記録を更新し続け、その観測海域を広げていった。私が初めて北極海観測に参加した2002年は、カナダ沿岸警備隊最大の砕氷船CCGS Louis S. St-Laurentでもチャージング(ラミングとも言い、船を後進させてから、海氷に船を衝突させて進み、一度の砕氷では割れない厚い海氷域を航行する手法)しながらでなければ進めない厚い海氷が残っていたが、その2年後の2004年にはそのような厚い海氷の海域は減り、砕氷船が薄い海氷を割りながら、どんどん進んで行くことに驚いたことを鮮明に記憶している。

北極海と太平洋をつなぐベーリング海峡は水深50mの浅い海峡で、太平洋側は北極海側より水位が高いため、ベーリング海峡では平均1Svの北向きの流れが存在し(Woodgate, 2018)、太平洋起源の表層・亜表層水がチュクチ海に流入している。この太平洋起源水は季節変動が大きく、夏には高温・低塩分の夏季太平洋水が熱や淡水を、冬には結氷温度・高塩分の冬季太平洋水が栄養塩を、チュクチ海やカナダ海盆に運んでいる。これらの水塊は、カナダ海盆では融氷水や河川水の直下の表層・亜表層に広がる。夏季太平洋水の熱は、夏季の海氷融解の促進や冬季の海氷形成の抑制につながり、淡水は成層の強化、冬季太平洋水の栄養塩は基礎生産の変動に影響するなど、この海域の環境変化の一因になっている。パロー海底谷は、チュクチ海を北上する太平洋水の主要流路上に当たり、夏季には太平洋水の流量の8~9割がこの海底谷を通して海盆域に広がるため(Itoh et al.,

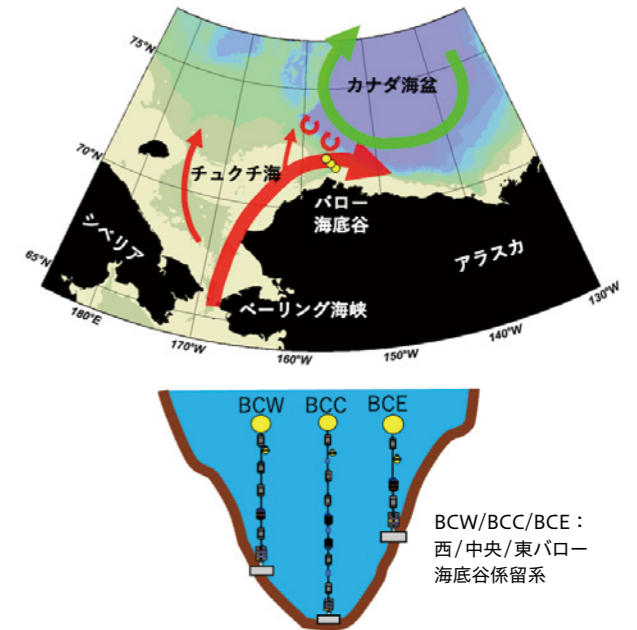


図2 チュクチ海・カナダ海盆の海洋循環像(上)とパロー海底谷係留系の模式図

2013)、太平洋水の変動を捉えるには最適な場所である。またパロー海底谷は、国際北極科学委員会(International Arctic Science Committee: IASC)のもとで、日本・米国・カナダ・中国・韓国・ロシアが参画する国際プロジェクトDistributed Biological Observatory (DBO)が2010年に選定した5つの生物のホットスポット海域の1つでもあり、毎年、各国の観測船がリピート観測を行うなど、国際的にも注目されている。

パロー(現在は現地語のウトキアグヴィクと呼ばれている)は、アラスカ沿岸のクジラの回遊経路沿いに点在するイヌイットの町の1つである。余談だが、私の「みらい」との初めての出会いは2002年9月のパロー沖で、それまで1か月間乗船したカナダ砕氷船CCGS Louis S. St-Laurentから、ゾディアックボートで移動して、「みらい」に乗り込んだ。海面から見上げた「みらい」は、とても大きく、その白く美しい姿が、強く印象に残っている。さらに余談だが、近年の海氷減少による北極海の船舶航行の増加で、捕鯨への影響の懸念から、沿岸域への船舶の入域規制は厳しくなっている。しかし、2018年のパロー海底谷の係留系作業時期が秋の捕鯨時期と重なることになり、入域許可をもらうため、ウトキアグヴィクで行われたイヌイットの捕鯨集会に、現地住人以外でただ一人参加した。パロー海底谷における時系列観測の重要性を訴えて、伝わったのは日本から来るほどの熱意だけだったように思うが、入域を許可してくれた現地の人々の理解・協力には深く感謝している。また、米国・カナダの研究者から、許可を得るのは難しいと事前に忠告されていたため、その出来事は「ミラクル」と感嘆されたことも、とても良い思い出である。その後も捕鯨協会とは良好な関係を継続しており、ウトキアグヴィクは私の大好きな町になった。

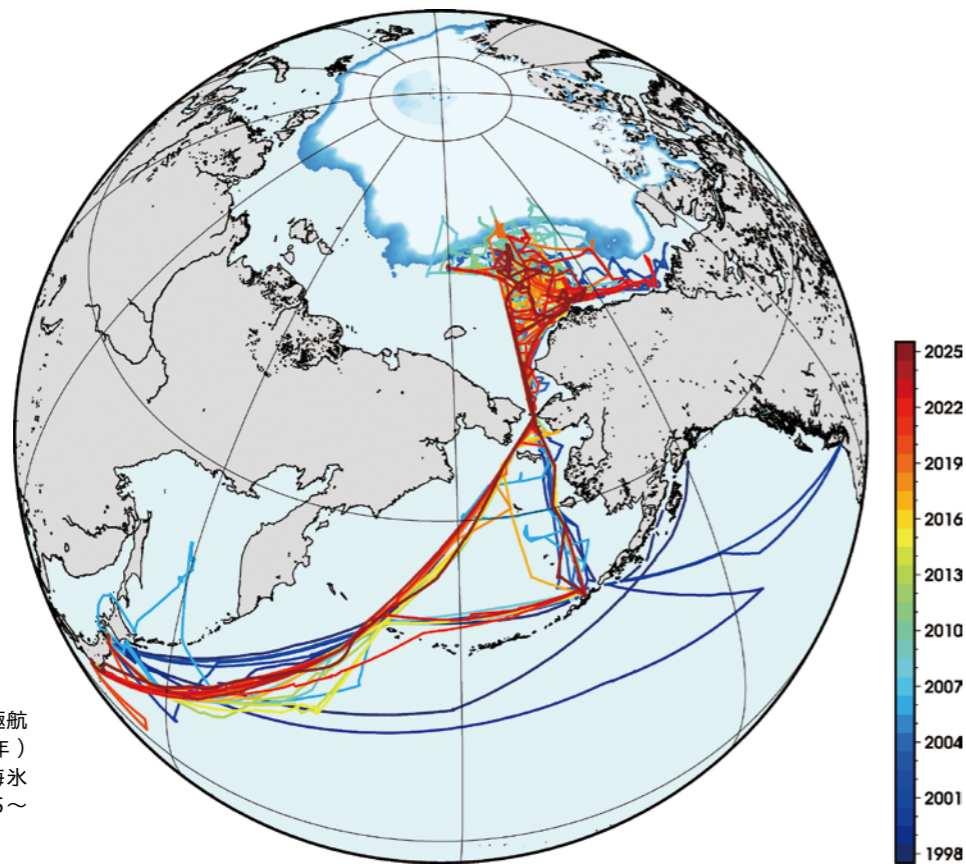


図1 「みらい」北極航海(1998~2025年)の航跡と9月平均海氷密度分布(2015~2025年)

パロー海底谷では20年を超える時系列観測データを得ることで、様々なことが分かってきた。誌面に限られているので、ここでは海水減少へ影響を与える熱輸送量の変動について紹介する(図3)。前述のようにパロー海底谷は海盆へ流出する暖水(夏季太平洋水)の主要な経路であるが、夏季太平洋水の熱輸送量は、係留系観測の結果によって2000年から2020年までに1.5倍に増加し、さらに、係留系観測と人工衛星の海水温や客観解析の風速データの解析に基づく推定によって1980年代から2020年代までに2倍に増加したことも示唆された。パロー海底谷の流量には増加傾向がなく、熱輸送量の増加は、主に夏季太平洋水の水温上昇によるもので、その経年変動は、従来考えられていたベーリング海峡の熱輸送量の変動ではなく、チュクチ海内での初夏の海水変動が主要な原因であることも明らかになった(Itoh et al., submitted)。パロー海底谷から流出した熱は下流である太平洋側北極海海盆域の亜表層に蓄積されており、カナダ海盆域では1980年代末から2010年代末までの30年間で海洋亜表層の貯熱量が約2倍に増加している(Timmermans et al., 2018)。また、観測の空白域であった西側のチュクチボーダーランド域では、「みらい」による観測によって、1999年から2020年の20年間で貯熱量が1.8倍に増加したことも明らかになった(Muramatsu, Watanabe et al., 2025)。このように、太平洋側北極海海盆域には、海水直下に供給されれば海水激減につながるほどの膨大な熱が蓄積されている。

最後に「みらい」北極航海に対する思いを述べて結びとしたい。これまでに何度か一般向けの研究紹介などで、「みらい」の一番の良さは何か、と聞かれたことがある。「みらい」は、観測機器や実験室などの設備が整っており、幅

広い観測ができる。また、海洋観測船としては世界最大級の大きさで、悪天候にも強く、少々海況が悪くても観測を続けることができる。もちろん、これらは大きな利点だが、最も優れているのは、これらのハード面ではなく、「みらい」航海を支える人々の意識や能力の高さだと私は思っている。船長をはじめとする乗組員、氷海航行の助言を行うアイスパイロット、様々な機器を扱いデータ取得や分析を行う観測技術員、これらの人々の知識と技術なしには、観測航海は実施できない。耐氷船「みらい」の航行可能海域は、海氷に大きく左右されるため、陸上からの高解像度の衛星画像や海氷・気象・波浪の予測情報などの航行支援も欠かせない。また、自分を含めた歴代の首席研究者は、現場の海水状況に応じて、船上で日々「みらい」のパフォーマンスを最大限に発揮するための航海計画の更新を行ってきた。これらのすべての人の力が、「みらい」航海を成功に導く、素晴らしいさだだったと思う。

これまで、北極航海を支えてくれた「みらい」の船長をはじめとする乗組員、Ice NavigatorのDuke Snider氏、日本海洋事業およびマリン・ワーク・ジャパンの観測技術員の皆様に深く感謝している。また、係留系観測を支えてくれたマリン・ワーク・ジャパンの宇野広勝さん、松本恵佐さん、後村大樹さんにも、この場を借りて感謝を伝えたい。我が家は、夫婦ともに「みらい」の首席研究者を務めるなど、「みらい」には縁がある。「みらい」の航海計画審査の所内および外部の委員会で顔を合わせたのが、私たちが親しくなるきっかけで、我が家の縁結びにも一役買った「みらい」にも感謝したい。

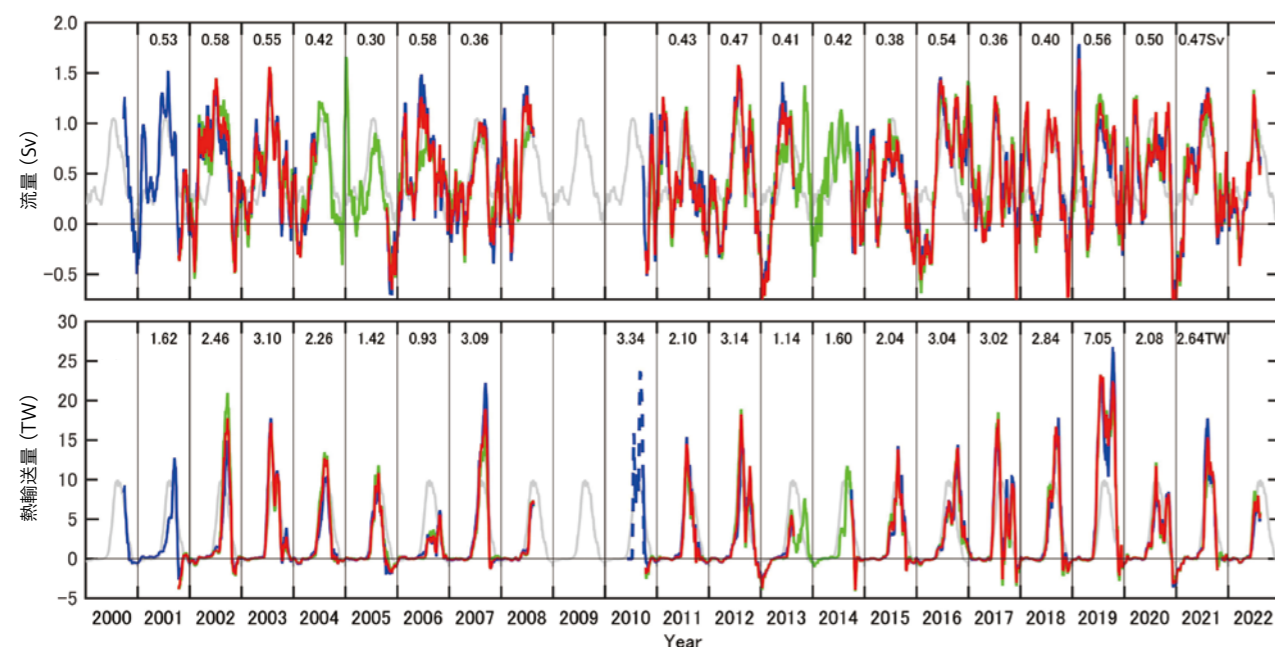


図3 パロー海底谷を通過し北極海カナダ海盆に入る流量(上)と熱輸送量(下)

「みらい」乗船リピーターが見つめてきた 国際連携と今後の展望

西野茂人

北極海の観測は国際連携なしには語れない。1994年7月から8月にかけて、米国とカナダの沿岸警備隊所属の砕氷船2隻(USCGC Polar SeaとCCGS Louis S. St-Laurent)が交互に北極海の厚い海氷を割りながら、近代海洋観測では初の北極海横断観測(1994 Arctic Ocean Section: 1994 AOS)を敢行した。当時の海氷は現在と比べるとまだ厚く、大型砕氷船同士がタッグを組むことにより成功に導いた、まさに「力の国際連携」であった。その約4年後(1998年7~9月)に「みらい」は初の北極域(ベーリング海およびチュクチ海)の観測を実施することになる。「みらい」は耐氷能力を生かし主に太平洋側北極海の陸棚域から氷縁域を中心とした海域で(図4)、「洋上の研究室」と称されるに相応しい多項目・高精度の観測が可能である。しかし、当時の主要な研究テーマであった「北極海に特有の夏でも海氷の存在を可能ならしめる海洋成層構造の形成・維持過程」の解明には、その海洋成層構造を特徴づける陸棚-海盆間の水塊交換の調査が肝となる。北極海中央部に広がる海盆域には海氷が存在するため、本研究の遂行には砕氷船との国際連携観測が必要不可欠であった。このような背景と関連して、1998年の「みらい」北極海初航海の前には、同年2月に“Exchange Processes Between the Arctic Shelves and Basins”と題した国際ワークショップがJAMSTEC主催で横浜にて開催された。本ワークショップには、1994 AOSの代表研究者(兼USCGC Polar Seaの首席研究者)であり、北極海研究の第一人者であるKnut Aagaardさん(ワシントン大学)が招かれ、北極海陸棚-海盆間相互作用に関する基調講演が行われた。また、1994 AOSのCCGS Louis S. St-Laurentで首席研究者を務めたEddy Carmackさん(カナダ海洋科学研究所)もボーフォート海とカナダ多島海の水塊交換について発表を行った。本ワークショップで築かれた人脈や情報網が後の「みらい」の国際連携観測につながっていったのだと思われる。

「みらい」は当初よりカナダ砕氷船CCGS Louis S. St-LaurentやCCGS Sir Wilfrid Laurierと連携しつつ、太平洋側北極海の陸棚域からカナダ海盆にかけての観測を行っており、2002年、2004年、2008年にはカナダとの共同研究Joint Western Arctic Climate Studies(JWACS)のもとに「みらい」北極航海が実施された。この頃、北極海では温暖化の影響が劇的な海水減少という形で見えるようになり、また海の温暖化も進行しつつあった。このため研究テーマは以前の「夏でも海氷の存在を可能ならしめる北極海」から「海水減少の著しい北極海」へシフトし、「みらい」の研究対象海域も海水減少の著し

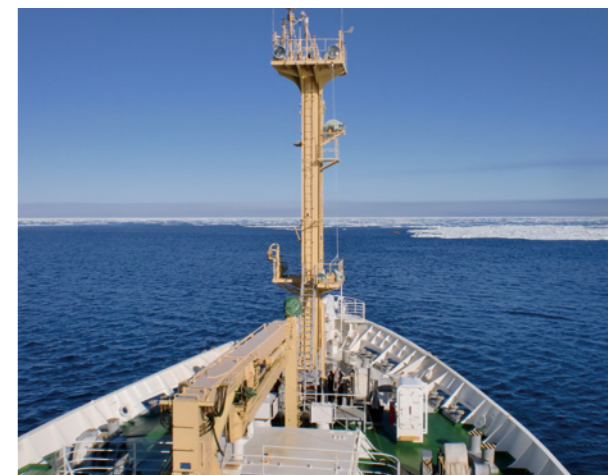


図4 「みらい」前方に広がる海氷域(2016年北極航海から)

いカナダ海盆南部まで広がった。その結果、海水減少の一因として温暖な太平洋起源水の広がりが鍵を握ることが明らかになった(Shimada et al., 2006)。また、2008年に行われた「みらい」の北極航海は、2007年から2008年の第4回国際極年(International Polar Year: IPY)の一環としても実施され、シベリア沖に広がるマカロフ海盆まで遠征することができた。カナダ海盆とマカロフ海盆のデータを比較した結果、海水減少と関連して栄養塩躍層がカナダ海盆では深くなっているのに対して、マカロフ海盆では浅くなっていることが明らかになり、低次生態系の応答の違いも示唆された(Nishino et al., 2013)。「みらい」で取得される栄養塩をはじめとするルーチンデータについては、海洋観測を専門とする観測技術員が高精度な値をたたき出す。そのノウハウの一部はJWACSの共同研究者にも共有され、Nishino et al. (2013)などの共同研究の成果は「技の国際連携」が実を結んだ結果とも言える。

JWACSは主に海洋物理・化学系のハイドログラフィー観測が中心であったが、2010年から太平洋側北極海の生物活動が活発な海域(生物ホットスポット)に焦点を当てた生態系観測網Distributed Biological Observatory(DBO)プロジェクトが始まった。DBOでは米国・カナダ・日本・韓国・中国・ロシアの6カ国(現在は中国・ロシアを除く4カ国)の船舶が複数の生物ホットスポットを代わる代わる観測する。「みらい」は生物ホットスポットの1つであるアラスカ州ホープ岬沖(チュクチ海南部)に特に焦点を当てて観測してきた。ホープ岬沖ではベーリング海から流れ込んでくる高栄養塩の水が春季の植物プランクトンブルームを引き起こし、生物ホットスポットを支えていることが知られていたが、その季節変化はあまり分かっていなかった。そこで、JAMSTECはDBOでの連携観測に加えて、ホープ岬沖に係留系を設置し生物ホットスポットの季節変化を調べた。その結果、ホープ岬沖では海底に溜まった有機物が分解されて生成される栄養塩が秋の植物プラ

ンクトンブルームを引き起こし、生物ホットスポットを維持していることが分かった (Nishino et al., 2016、図5)。

また、動物プランクトン量は、春季ブルームの時期ではなく、秋季に最大になることを係留系観測で捉えた (Kitamura et al., 2017)。さらに、ホープ海底谷での有機物の分解では二酸化炭素も生じるため、海底で酸性化が進行することも突き止めた (Yamamoto-Kawai et al., 2016)。炭酸カルシウムの殻を持つ生物および食物網を通じたより高次の生態系への酸性化の影響が危惧される。チュクチ海南部に生息する動植物プランクトンは、海鳥や海生哺乳類の餌になるため、本研究で明らかになった動植物プランクトンの季節変化が海鳥の飛来や海生哺乳類の回遊とも関係すると考えられる (Tsujii et al., 2021)。海生哺乳類の捕獲は先住民の生活に欠かせないため、これら一連の研究は海洋の環境変化に関わる問題だけでなく、社会的・政策的側面においても重要である。近年、DBOでは米国の研究者を中心に、アラスカ先住民と対話を始め、先住民の在来知とDBOが得た科学知とを融合させようとしている。このような取り組みはDBOに限ったことではなく、現在の北極域の研究全般に求められており、「知の国際連携・異分野連携」が進みつつある。

DBOは太平洋側北極海の国際連携観測であるが、北極海全域を対象とした国際連携観測Synoptic Arctic Survey (SAS) の構想が2015年から議論され始めた。3

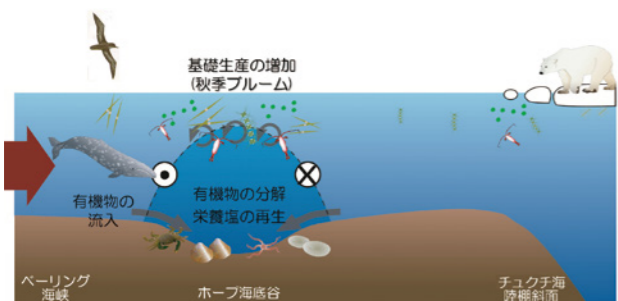


図5 ホープ海底谷での秋季ブルームの模式図 (Nishino et al., 2016)

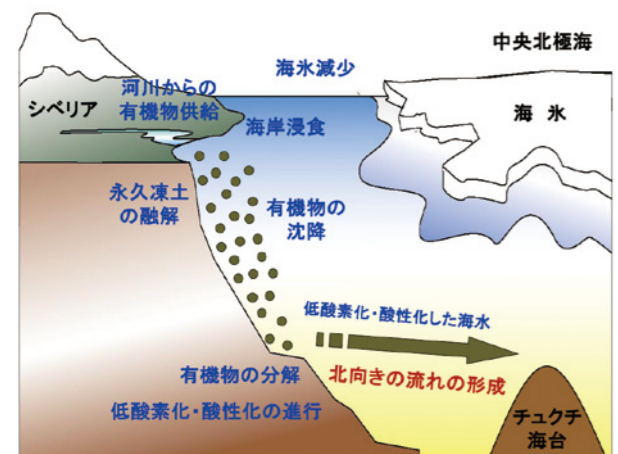


図6 シベリア沿岸で低酸化・酸性化した海水がチュクチ海台まで運ばれてくる模式図 (Nishino et al., 2023)

回のワークショップと国際学会での何度かのミーティングを重ね、そのサイエンスプランが2018年に完成した。SASの目的は、北極海全域での海洋物理学的な構造や循環場、炭素や窒素など化学物質の収支や海洋酸性化の進行状況、海洋生物の生産力や生態系の変化などを明らかにすることができる統合的な観測データセットを作成することにある。そのために、これまで北極海では行われてこなかった複数船舶による同時かつ広域の高精度観測を実施する計画が練られた。その計画が実行に移されたのは2020年のことである。ところが、新型コロナウイルスが世界に蔓延した影響を受け、多くのSAS航海が中止された。そのような中、「みらい」と韓国砕氷船Araon、そしてカナダ砕氷船CCGS Louis S. St-Laurentだけが航海を実施することができた。しかし、「みらい」については、その運航および観測計画が二転三転し、航海実施の可否を握る外国人アイスパイロット（海水域の水先案内人で北極海に入域するには必須の人材）の入国が許されたのが出航のわずか8日前であった。これら一連の新型コロナウイルスに関する騒動で、首席研究者として対応に追われた私の体重は5kgも減った（今はリバウンドで元の体重より増加）。出航後も日本近海で14日間の乗船隔離期間が設けられ、北極海での観測は16日間と例年より短くなった。しかし幸いにも、この年の航海がSASのもとに実施されたため、「みらい」、Araon、CCGS Louis S. St-Laurentの3船で協力して西部北極海の広い範囲をカバーする観測を行うことができた。その後、2021年から2022年にかけて欧米のSAS航海も実施されるようになり（「みらい」は3年連続でSAS航海を実施）、北極海全域に及ぶSASプロジェクトの達成には、結局2020年から2022年までの期間を要した。

多難のSASプロジェクトではあったが、2020年の「みらい」SAS航海では、中央北極海太平洋側の公海に位置するチュクチ海台で、これまで観測したことがないほど低酸化・酸性化が進んだ海水の広がりを捉えた (Nishino et al., 2023)。「みらい」およびAraonとCCGS Louis S. St-Laurentのデータを統合して解析した結果、北極海の海水減少に伴う海洋循環の強化により、これまでシベリア沿岸域でしか見られなかった低酸化・酸性化の進んだ海水が公海域のチュクチ海台まで運ばれてくることが明らかになった (図6)。チュクチ海台は北極海公海の中で最も早く低酸化・酸性化が進んでいることから、今後の海洋環境の変化と生態系への影響が懸念される。本成果は、北極海公海での漁業規制に関する「中央北極海無規制公海漁業防止協定」でも取り上げられ、同協定のもと科学調査・監視を行う国際プログラムの実施計画の作成に当たり、重要海域（低酸化・酸性化により海洋生態系が脅かされる海域）の選定に役立てられた。これについては、日本の北極域研究加速プロジェクト

(Arctic Challenge for Sustainability II : ArCS II) のニュースレターで研究成果の社会への還元 (社会実装) の成功例として紹介され、また「中央北極海無規制公海漁業防止協定」への日本の貢献という視点で国際法研究者と共著で論文 (Nishino et al., 2025) を公表した。

現在SASでは、各国のデータを統合し北極海全域でのデータ解析を進めている。それと同時に、2030年頃に2回目のSAS (SAS II) を実施する計画を練っており、それに向けてJAMSTECがSASの事務局を務めている。北極海全域のデータからは、SAS期間中 (2020~2022年) に北極海をシベリア沖からグリーンランドに向かって横断する流れ (極横断流) が北米大陸側へシフトしていることが分かり、低塩分である北極海の水 (淡水) が大西洋へ流出する経路が変わる可能性がある。大西洋のグリーンランド沖は全球をめぐる深層水が形成される場所であり、北極海からの淡水の流出経路の変化は、深層水の形成やそれに取り込まれる炭素・栄養塩量に影響を及ぼすかもしれない。SAS IIでは、この点が重要な研究テーマの1つになると考えられる。現在、大西洋のグリーンランド沖では新たなDBO (Baffin Bay/Davis Strait-DBO) が展開されようとしている。SAS IIでは、このようなプロジェクトと協力し、北極海と大西洋をつなぐ「大洋間の国際連携」ができないかと勘案している。「みらい」は2025年の航海を最後に退役するが、そのミッションは「みらいII」に引き継がれ、それにより日本がSAS IIに大きく貢献することが期待される。

最後に、「みらい」の就航から退役に至るまで様々な困難を乗り越えて運航を支えてくださった方々、船長・乗組員の皆様、世界に誇る精度のデータを取得して下さった観測技術員の皆様、そして社会科学を含む多岐の分野に及ぶ共同研究者の皆様に、心から感謝申し上げます。

“みらい”第三世代”の北極航海

藤原 周

私のこれまでの研究人生は「みらい」に育ててもらったと言っても過言ではない。2008年のMR08-04航海、当時北海道大学の修士課程2年の立場で「みらい」北極航海デビューして以来、最後のMR25-05C航海まで実に12回北極航海に乗船してきた。「みらい」の就航に尽力された方々を第一世代、「みらい」観測を習熟したものに昇華させた方々を第二世代とするならば、学生で初乗船し退役の年には首席研究者を務めた私は“みらい”第三世代”となるだろうか。ここでは「みらい」第三世代として、これまでの航海を振り返りながら、「みらい」の退役に寄せる想いを綴らせていただきたいと思います。

私自身は学生時代から突出した研究成果を上げ続けてきたエリート学生タイプからは程遠く、しっかりと研究者

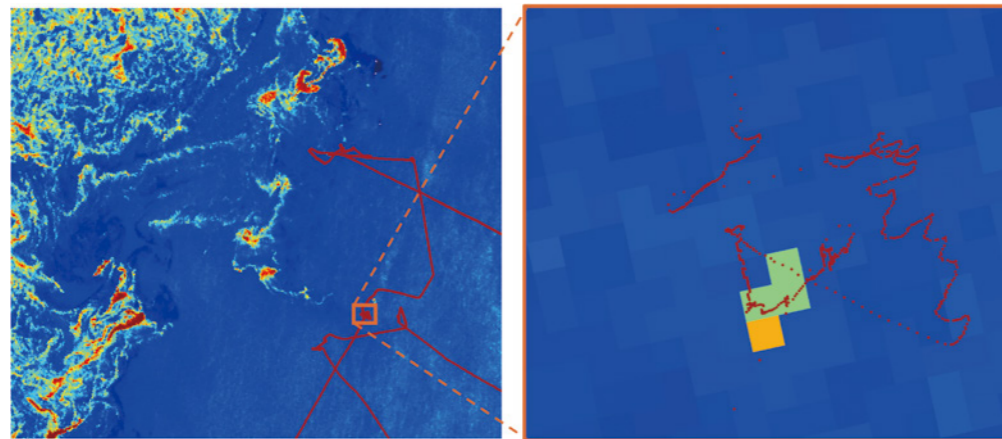
の就職問題の悩みに直面した学生であった。しかし、北極海と「みらい」へのめぐり合わせが強く、大学院生として本格的に海洋研究を始めた年がたまたま2007/2008年の国際極年に当たり、国際的に北極海観測を重点的に実施するという事で「みらい」北極航海に参加する機会があり、そしてそのタイミングで北極の海水のほとんどが1年氷に置き換わるかつてない海水減少が起きた。そのため北極研究に世間の関心が集まり、たまたま2012年、私が博士号を取るタイミングでGRENE北極気候変動研究事業が始まりポスドク就職&さらなる北極航海参加のチャンスがあり、多くの現場経験をさせてもらった。さらに2015年度から北極域研究推進プロジェクト (ArCS) が始まり、JAMSTECに北極環境変動総合研究センターが発足するタイミングでJAMSTECの研究者となった。JAMSTECの採用通知が手元に届く前に2015年の「みらい」北極航海の乗船者会議の案内メールが来た、そんな経験があるのは私くらいであろう。そしてJAMSTEC初出勤の朝、作業服と安全靴のサイズを聞かれたとき、私は自身に求められる役割を理解し、「みらい」による観測に全身全霊を捧げることを決意したものだ。何かと節目の時期に環境変化や大型プロジェクトが動き出し、研究や仕事のチャンスに恵まれてきた。何より、北極航海に参加するたびに圧倒されるほどダイナミックな自然を目の当たりにしたことで海と生き物への愛は深まり (図7)、「好きこそものの上手なれ」その一点突破で海洋研究者となったようなものだ。

そんな生え抜きの私は、北極航海スタイルが標準的な「みらい」の観測だと思っていたが、日常茶飯で「予定は未定」で航海が進んでいくことは北極航海ならではの特徴らしい。もちろん一般的に海洋観測は気象・海況に左右され予定が変わることがあるが、ある程度は天気予報を基に少なくとも2~3日先の目安は立つ。一方の北極では、予期せぬ海水の出現で数時間後の予定さえ変わることがしばしばである。「次のステーションは5時間後です」を信じて仮眠をとっていると、「海水が出てきましたのでここでCTDします!」とのアナウンスに飛び起きたり……。まだ外部乗船者として航海に参加していた頃は突発的CTDのアナウンスに備え、気も体も休まることがなかった。JAMSTECの立場で乗船するようになってからは、徐々に“加害者”側に傾倒するようになっていく。まずは西野首席からの予定の変更を現場に伝える立場になり、初乗船の学生さんから「なんでこんなにコロナ予定が変わるんですか!」と結構な勢いで怒られたこともある。(え!俺が怒られるの?!) とも思ったが、当時はまだその気持ちも分かっていたため学生に寄り添う優しい藤原さんを演じきった(はずだ)……。しかし、いざ自分が航海首席を務めるようになると、自ら完全に悪事に手を染め、突発的な計画変更を連発するようになっていった。係留系の回収・設置な



図7 筆者（藤原）が魅せられた「みらい」北極航海で出会った雄大な北極海の自然

図8 氷縁観測を実施した日における合成開口レーダー（SAR）の高解像度海氷分布と「みらい」の航跡図（赤線）。右の拡大図に示されるように合成開口レーダーは「みらい」の船体をも解像する。「みらい」には準リアルタイムでこのような情報が配信される。



ど乗組員総員作業のため、採水チームが待ち望んだCTDができない日「No CTD day」をアナウンスしたものの、海外勢からもついには「I don't trust you」と言われたときに、ミイラ取りがミイラになったものだった。以後、「皆さん念のためCTDの準備はしておいてください」のおまじないの一言は忘れないようにしている。それでも、2020年頃からは日々更新される信頼度の高いアイスチャートや準リアルタイムのSAR画像も提供され、船内ネットを通じてWebブラウザ上で数百m解像度で海氷状況を可視化できるようになり、GISソフトを使って即座に氷縁までの距離を解析することもできるようになった（図8）。

高速なネット環境も導入された。「みらい」黎明期の北極航海と比べると数日先への見通しは格段に立てやすく

なっていて、私は恵まれているのだろう。ひとえに日本海洋事業、国立極地研究所、ウェザーニューズ社などなど、航海をサポートして下さる皆様の長年のご尽力の賜物である。2010年代当時も、猪上淳さん（現 極地研）を中心に、先進的な航海支援情報の入手システムが構築されており、「みらい」のすごさに驚いたものだったが、海氷に関していえば12km解像度のAMSR-Eや時には25km解像度のSSM/Iの海氷密度画像を頼りにしていた。過去の「みらい」航海を含む北極研究で積み上げた科学的知見の社会実装は確かに進んでおり、各方面から実に手厚い航海サポートを受け、私が首席をするようになった頃には、極めて航海支援情報は充実していた。安全な航行のため、つまりは海氷から逃げるために使われていた情報は、いま

や海氷の観測を安全に行う理想的な海氷縁を探すためにも使われることがあるほどだ。こうして振り返ると先人が積み上げてきた知識・技術の上で快適に観測・研究をさせていただいているとしみじみ思う。

気が付けば20年近く、十分に古株と言えるくらい「みらい」の北極航海に参加させていただいてきたわけだが、最近なんとなく自身にチュクチ海近辺の土地勘・季節感が備わってきたように感じている。天気予報でよく聞く「平年並み」「10年に一度レベルの」といった感覚に近いだろうか。気温・水温・塩分・栄養塩濃度・クロロフィルa濃度あたりはSOJ（表層水モニタ）や分析速報値からなんとなくその場所・時期の相対的な高い・低いは分かるようになったし、なんとなく生き物の多い少ないも感じられる自覚がある。実際に研究成果につながった例もあり、「みらい」の定線となっている西経168度のチュクチ海陸棚南北ライン観測では、海底付近のクロロフィルa濃度が普段より高いことに現場で気づき、即座にあり合わせの機材で海底環境を模した培養実験が基となって、珪藻類が海底まで届く光を利用して海底付近で増殖するという現象の発見につながった（Shiozaki, Fujiwara et al., 2022）。2021年や2024年航海では、チュクチ海陸棚域回航中に、SOJモニタを食堂で眺めながら「なんか今年の塩分低くない？」といった会話を発端に、航海を通じて低塩水の広がりとその要因を明らかにするため酸素同位体や有色溶存有機物（CDOM）試料を追加で採取していこうとなったこともある（2025年現在、絶賛データ解析中である）。このように現場で定性的に気づくささいな情報が大きな科学的ヒントを秘めている可能性があると感じている。そして我々研究者以上に長年北極海を見てきた乗組員や観測技術員との「今年はなんだか海鳥が多いですね」といった何気ない会話の中にも大きな科学的手がかりがあるかもしれない。潮干狩りで採れるアサリの量に毎年一喜一憂する感覚にも近い気がするが、縁あって長年北極航海に携わることができたことで培った現場での「気づき」を、そして乗船者とのコミュニケーションは今後も大事にしたいと思っている。

思い出を綴ればきりがなく、綴ってはいけなやんちゃなことも思い出すと涙腺が緩む。「みらい」と関係各所には本当にお世話になった。乗組員の皆様にも大変良くしていただいた。「みらい」がなければ今の私はないと断言でき、本稿のお話をいただいたときに真っ先に込み上げてきたのは「みらい」と北極航海を通じて関わってきた皆様への感謝の気持ちであった。これまで受けた恩は研究成果として、そして今度は「みらいII」第一世代として次世代の研究者たちに還元していくことに努めたいと思う。最後にこの場をお借りして、「みらい」船長・乗組員の皆様、そしてDuke Snider氏（Martech Polar Consulting Ltd.）、歴史的パンデミック時代にも間を空けずにこれま

で航海運航を支えてくださった大島隆雄海務部長はじめ日本海洋事業の皆様、JAMSTEC研究プラットフォーム運用部門はじめ関係各所の皆様、高精度な観測データを出してくださった観測技術員の皆様、その下地を作った「みらい」第一世代の皆様、世界最高水準の観測まで昇華させた「みらい」第二世代の皆様、共同研究者の皆様、北極研究に導いてくださった指導教員の先生方、そして「みらい」に心よりお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

「みらい」北極航海にまつわるエトセトラ

菊地 隆

ここまで伊東、西野、藤原から北極航海に関して伝えるべき内容はおおむね書かれていると感じた私は、2024年までの22冊のクルーズレポートを見直して（本稿執筆は2025年の北極航海の前なので2025年航海の情報は実施要領書案から取った。2025年北極航海中のデータは、当然まだない……）、どんなことをやってきたのかを記録から見直して、最後のまとめにする。以下、個人名が何名か出てくるが、基本的に敬称略で記すことをご容赦願いたい。あと、以下に示す数字は菊地がクルーズレポートを見ながら一生懸命カウントして計算して出したものである。カウントミス、書き写しミス、計算ミス……、言い訳だが、ある程度の誤差があることもご容赦いただきたい。おおむねこんなものと思って、読んでほしい。航海日程や乗船者数をまとめた表を末尾に付けた（表1）。

まずは航海日数から。1998年から2025年までの23回の北極航海の日数は合計で1,069日。およそ3年。ただし航行距離は約40万km、地球10周分程度だったはず（クルーズレポートからは航行距離は分からない。おぼろげな菊地の記憶が根拠……）。すごく長い。このうち北極海（ベーリング海峡以北）で観測を行っていた合計日数は572日。言い換えると、497日が北極海に行くために必要とされた日数と言える。日本とベーリング海峡の間を「みらい」が移動するには10～12日程度の時間を要するため、このような日数になった。やはり実際に船で行くとすると、北極海は日本からそんなに近くはない。ただしこの回航時間は、観測準備や機器のテストをしたり、船内セミナーをしたり、北極ボードゲームをしたり、帰路であればクルーズレポートをまとめたり反省会（打ち上げ?）をしたりして、とても有意義に使われてきた。研究者、観測技術員、船員みなが仲良くなるのにこの時間は大きな役割を果たしていたと自信を持って言える。焼肉パーティー、楽しかった！（最近は行われていないが……）

北極海に最も早く入ったのは1998年の8月18日。この年は8月28日にベーリング海峡に戻ってきたが、そこでシベリア側から流れ込んできた海氷に遭遇した。最初の

航海にして北極海に閉じ込められる危機に襲われた。このあたりの話はこのとき船長だった赤嶺正治さんが日本海洋学会のニュースレター(2022年第2号)に記している。よろしければご覧を。なお最も遅くベーリング海峡に戻ってきたのは2018年の11月25日。この年は結氷が始まった初冬の観測であった。詳細は猪上淳さんの寄稿をご覧ください。

国際的なアウトリーチとして、1998年には米国アラスカ州スワード(8月12・13日)で、2000年には米国ワシントン州シアトル(8月23日)とカナダ・ブリティッシュコロンビア州ビクトリア(8月26日)で一般公開を実施した。いずれも多くの方に来ていただき、海洋地球研究船「みらい」やJAMSTECの海洋調査の様子を見てもらえた。海外での一般公開、プレゼンスの向上になりますよね。海外の人たちとの交流、楽しかったです。

北極海での観測範囲としては、最北は2010年の北緯79度11分。ちなみに2008年が北緯78度50分、2009年が北緯79度00分。この頃は北極海をできるだけ広くカバーすることを目的の1つとしていた。結果として最北観測点を毎年更新していた。2012年以降は研究テーマや観測日数に応じて航海を実施したため、最北を更新しようとはしていなかった。最東は2002年の西経127度。カナダEEZ海域に入ったのは、2002年と2022年の2回。最西は2008年の東経174度。全体として見て、「みらい」は海氷に行動範囲が制限されていたが、それでも太平洋側北極海の広い範囲をほぼ毎年観測をして、その成果を公表してきたことは、国際的に見ても特別なことだ。誇りに思う。

航海計画の効率化(そして経費削減)の観点から、北極航海を北太平洋の生物地球化学的時系列観測やGO-SHIP観測などの航海とつなぐ形で、米国アラスカ州ダッチハーバーで乗り継いで、ダッチハーバーから北極航海が始まる、もしくはダッチハーバーで終わることもあった。全23航海のうち11航海が往路もしくは復路の港がダッチハーバーになっている。ダッチハーバーにはアンカレジカ

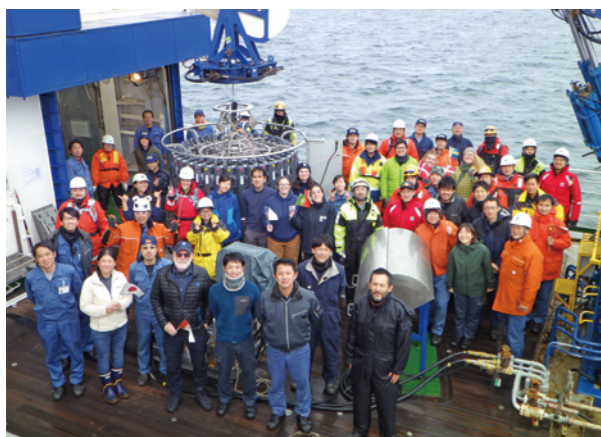


図9 2023年北極航海集合写真

らの航空便を使うしか行く手段がない。しかもこの便は様々な理由で欠航などのトラブルが発生しやすいことから日程に余裕を持ってダッチハーバーに向かうことになる。結果として、順調に行けるとダッチハーバーでゆっくりと時間を過ごすことができた。乗船前に街を散策したり空港裏の山に登ったりした研究者はたくさんいた。まあ、小さな街なので、何度も行くと飽きますが……。あとダッチハーバーで入出港する場合は、北極航海の最初/最後の観測点(おおむねベーリング海峡)とダッチハーバーとの間の所要時間が約2日であるため、準備もしくは片付けが大変でいつも余裕がなかった。片付け、分析で焼肉パーティーに出られない人がかわいそうだった。

北極航海に乗船した研究者および観測技術員の延べ人数はそれぞれ440人、506人で、合計946人になる。航海数で割ると、41.1人。平均で40人を超える研究者・観測技術員が乗船していたことになる。ベッドがすべて埋まった航海も多い。北極航海では、多くの場合が海洋物理・化学・生物・気象・大気化学・地球物理・地質・海氷・工学など様々な分野の研究者が乗船する学際的な航海であった。いつも乗船希望はとて多く、結果としてベッドが埋まり、乗船できない研究者・課題もあった。その調整はいつも大変だった。特に日本の北極プロジェクトを進める形で航海を行うようになった2015年以降はその傾向が顕著だった。皆様のご協力のおかげで、いろいろな分野の方が参加するユニークな航海が成り立った。感謝申し上げます。

上記の乗船前の調整に加えて、現場で海氷状況にとらめっこしながら+乗船研究者からのプレッシャーを感じながら日々の観測計画を立案・変更し(藤原の項を参照)、航海のあとはレポートを出し各方面で発表をするなど、「みらい」北極航海の首席の仕事はなかなか大変だった。「みらい」北極航海で首席を務めたのは古い順に瀧澤隆俊、島田浩二、原田尚美、菊地隆、伊東素代、西野茂人、猪上淳、佐藤和敏、藤原周の9名。なお上記に加えて回航のレグで首席を務めた人もいるが、ここでは省いた。ご容赦を。最も回数が多いのは西野の5回。特に2015年、2016年、2017年は3年連続で首席を務めた。しかもこの時期は国内プロジェクト(ArCS、2015~2019年度)やDBOなどの国際プロジェクトに加わり研究成果も出していた。めっちゃすごい! そのあたりの大変な想いを書いてもらえればと本稿の共著をお願いしたが、まじめな西野さんは関わった国際プロジェクトについてまとめてくれた。ありがとう。なお首席回数の次点は3回首席を務めた瀧澤、島田、伊東、藤原の4名。特に最近5年間は藤原と伊東が交代で首席を務めている。コロナ禍の各種の制限や国際交流への対応、航海日数の制限など、これまでにない対応が求められたここ数年。皆様のご尽力に感謝。お疲れさまでした。

北極航海の乗船回数が最も多いのは、ダントツでアイスパイロットのDuke Sniderキャプテン。北極航海としては(おそらく)18回乗船していただいた。北極航海以外の「みらい」航海にも乗船してもらっているので、Sniderキャプテンの「みらい」乗船回数は20回を超えると思われる。Sniderキャプテンが初めて「みらい」北極航海に乗船してくださったのが2002年。いつも船長や首席研究者と一緒に海氷域での安全な調査の実施に尽力していただいた。今回の記念誌にも寄稿していただいた。改めてここに、地球上のどこの海よりも深い感謝の気持ちを記したいと思う。これからも、また一緒に仕事したいです。

研究者で最も北極航海の乗船回数が多いのは西野と藤原で、ともに12回。なんと半分以上の北極航海に乗船した。続いて小野寺丈尚太郎の11回、猪上、松野孝平の7回。藤原と松野はともに初めて「みらい」北極航海に乗船したのが2008年、修士課程の大学院生のときであった。それから数多くの北極航海に乗船し、成果を発表し、今では立派な研究者・大学教員となっている。「みらい」で育った“「みらい」第三世代”(©藤原)がこれからの日本の北極研究を引っ張っていってくれると信じている。

ちなみにポスドク・大学院生・学生の北極航海の乗船人数は延べ150人。人材育成にも貢献。単一航海で最も多かったのは、私が首席を務めた2012年の14名。この航海では研究者の中で私(当時45歳)が最年長だったのが個人的に大ショックでした。そしてこれが私の最後の「みらい」北極航海参加になってしまった……。次に多いのが2023年の12名。このうち6名はこの航海を対象に行った若手研究者からの提案公募で採択された海外の若手研究者だった。米国(2名)、デンマーク(2名)、英国、ポルトガル(各1名)からの乗船。このメンバーとは日本の乗船研究者を含めて、航海のあとから今でもつながりがあるようで、いろいろと大変だったけど新たな国際交流が生まれた航海として印象深いものでした(図9)。

メディアの方にも乗船してもらい、情報発信をしてもらった。1998年の慣熟航海では7名のメディアの方が乗船し、初めての北極航海と一緒に体験してもらった。最近では、2020年にNHKの方が、2024年に時事通信の方が乗船され、番組制作や特集記事の発信に航海の様子が使われた。特に2024年に乗船された時事通信の出井亮太記者は、この航海からの発信を含む北極に関する特集記事が評価され、「ボーン・上田記念国際記者賞」を受賞された。「みらい」北極航海の大きなアウトカムの1つと言える。

ここからは、観測実施内容を振り返ってみる。なお2025年航海前に本稿を執筆しているので、以下のデータは2024年までの22航海分のデータとして記す。

北極航海で行ったCTDのキャスト数は2,355回。観測地点数ではなく、キャスト数である。観測地点数は……

2,300地点くらいかと。1航海平均で107キャスト。最大は2008年の260キャスト。最西記録(と当時の最北記録)を持つこの航海は北極海の滞在日数が最も長く(40日)、とても広い範囲をカバーした航海だった。一方で、より学際的になってきたここ数年は海洋観測以外に日数が必要となり(かつ予算的に日数が限られていることも重なって)40~70キャストと少なくなっている。ちなみにXCTDは全部で1,582回。物理屋から見て、シブタイムを使わずにそれなりのデータを得られる点、大変重宝しています。

様々なタイプをすべて合わせたプランクトンのネット採集は1,022回。この回数は年ごとにばらつきが大きい。思うにこの回数は完全に乗船者に依存する気がする。寝る間を惜しんででも観測を望む研究者が乗ったときは回数が増える。このあたりの苦労や楽しさは松野さんの寄稿に何か書かれているかもしれない。同じくピストン・マルチ・スミキンなどすべての種類を合わせた海底堆積物・コア採取は176回。特記としては、海底コア採取が中心的観測項目だった2022年と2024年は単年で30回を超えていた。

北極航海では係留系の回収設置も重要なミッションだった。その回数は、回収が49回、設置が53回。設置と回収の数字が一致しないのは、他国の船舶を用いて回収を実施したことがあるから。20年を超える通年の観測データは極めて重要だ。詳しくは伊東の項をご覧ください。

気象観測では、ラジオゾンデが1,917回。こちらは北極海だけでなく、回航期間も含んでいる。ラジオゾンデ観測も、これを行う研究者が乗船するかしないかで変わる。実施した航海は14航海。実施する場合は、航海期間中に日に2回、集中観測で多いときは日に8回のゾンデ観測が行われた。極域予測年(Year of Polar Prediction: YOPP)に加わった2018年と2019年は晩秋から初冬の貴重なデータを取得・発信していた。

最初にも記したが、1990年頃に北極での観測研究を始めた“立ち上がり期”のJAMSTECそして日本の北極研究が、自分たちの力で自分たちの考えを持って北極海での観測を行えるようになったのが1998年だった。ここからJAMSTECの北極研究は“自立期”を迎え、北極に関する観測経験と知見を増やし、それを基にデータや成果を公表していく。そして北極研究の重要性が国際的に高まることに伴い、日本としての北極研究プロジェクトが始まる2011年以降の“発展期”につながっていく。そこにはいつも「みらい」がいた。言い換えれば、「みらい」なくしてJAMSTECのそして日本の北極研究のここまでの発展はなかったと言える。このあと2025年の最後の「みらい」北極航海が行われる。これまでと同じように、安全な航海を行い、観測を行って、無事に帰ってくることを切に祈る。

表1 「みらい」北極航海の航海日程・乗船者数などのまとめ

	航海名	首席	出港	入港	Remarks	航海日数	研究者数	観測技術員数	外国からの参加者数
1	MR98-06	瀧澤	7/30 関根浜	9/10 関根浜	慣熟航海、スワードー一般公開	43	15	7	
2	MR99-K05(Leg 2)	瀧澤	9/11 DH	10/05 関根浜		25	20	15	
3	MR00-K06	瀧澤	8/03 関根浜	10/13 関根浜	シアトル、ビクトリアー一般公開	72	22	24	
4	MR02-K05 (Leg 1)	島田	8/24 関根浜	10/10 DH	カナダEEZを含む。最東(127° W)	48	26	22	12
5	MR04-05	島田	9/01 DH	10/13 DH		43	10	25	2
6	MR06-04 (Leg 2)	原田	8/21 釧路	9/29 関根浜		40	24	19	
7	MR08-04	島田	8/15 関根浜	10/09 DH	最西(174° E)	56	20	22	2
8	MR09-03	菊地	8/28 関根浜	10/25 関根浜		59	18	24	2
9	MR10-05	伊東	8/24 関根浜	10/16 DH	最北(79.2° N)	54	16	27	
10	MR12-E03	菊地	9/03 関根浜	10/17 関根浜	GRENE北極	45	21	25	1
11	MR13-06	西野	8/28 DH	10/20 関根浜		54	21	25	1
12	MR14-05	猪上	8/31 DH	10/10 横浜		41	18	28	2
13	MR15-03	西野	8/23 関根浜	10/21 関根浜	ArCS	60	16	29	
14	MR16-06	西野	8/22 八戸	10/05 関根浜	ArCS	45	18	28	
15	MR17-05C	西野	8/24 DH	10/01 八戸	ArCS	39	17	28	4
16	MR18-05C	猪上	10/24 関根浜	12/06 清水	ArCS、初冬(11月)	44	8	13	
17	MR19-03C	佐藤	9/27 関根浜	11/09 八戸	ArCS、初冬(10月)	44	18	21	1
18	MR20-05C	西野	9/19 清水	11/01 清水	ArCS II	44	16	23	
19	MR21-05C	藤原	8/31 清水	10/21 清水	ArCS II	52	19	26	
20	MR22-06C	伊東	8/12 清水	9/28 清水	ArCS II、カナダEEZを含む	48	22	20	3
21	MR23-06C	藤原	8/25 清水	10/04 DH	ArCS II、海外若手公募	41	25	15	6
22	MR24-06C	伊東	8/26 関根浜	9/30 DH	ArCS II、海外若手公募	36	26	19	1
23	MR25-05C	藤原	8/31 DH	10/05 清水	ArCS III (Plan)	36	24	21	1
	28年で23回					1,069	440	506	38

DH：ダッチハーバー

DARWIN (https://www.godac.jamstec.go.jp/darwin_cruise/view/base?lang=ja)にあるクルーズレポートより作成。

研究者数にはアイスパイロット、ペアウォッチャー、メディア関係者を含む。

「外国からの参加者数」は、海外の研究機関・会社・大学などに所属する研究者・大学院生などの人数を記す。日本の研究機関・大学にいる外国籍の研究者などは含まない。



菊地 隆
海洋研究開発機構
地球環境部門
北極環境変動総合研究センター
センター長



西野 茂人
海洋研究開発機構
地球環境部門
北極環境変動総合研究センター
北極海洋環境研究グループ
主任研究員



伊東 素代
海洋研究開発機構
地球環境部門
北極環境変動総合研究センター
北極海洋環境研究グループ
副主任研究員



藤原 周
海洋研究開発機構
地球環境部門
北極環境変動総合研究センター
北極海洋環境研究グループ
副主任研究員



暗闇に照らし出されるCTD観測装置

3 全球海洋規模の高精度観測

リポートハイδροグラフィー

村田昌彦

はじめに

タイトルにある「リポートハイドログラフィー」という名称には、一般の方はもちろんのこと、海洋学の専門家でも具体的にどういうものを指すのかの共通認識はないかもしれない。リポート (repeat) は繰り返しを意味するが、ハイドログラフィー (hydrography) は、水路学とか測量学と訳されることが多く、水域の地形を扱う学問としてのイメージが強い。ここで紹介するリポートハイドログラフィー航海は、国際的な海洋学のコミュニティであらかじめ設定された大陸間を縦断もしくは横断する(そのため大陸間縦横断観測と呼ばれることもある) 観測ライン上に高密度に置かれた観測点において(図1)、海面から海底直上までの各層(深度)で水温、塩分、溶存酸素、栄養塩(硝酸、亜硝酸、リン酸、ケイ酸)、フロン類、炭酸系項目(全炭酸、全アルカリ度、pH)などを高精度に測定しデータを公開する海洋観測を指している。JAMSTECでは「みらい」を利用して1990年代末からほぼ1年おきにこの航海を実施してきた(表1、図2)。ほぼ固定された観測ラインを繰り返しているの、まさにリポートであるが、測定し

ている項目は海洋学では一般的なものが多く含まれており、最近では生物に関連する測定項目も追加されている。

リポートハイドログラフィーは、1990年代を中心に行われた世界海洋循環実験計画(World Ocean Circulation Experiment: WOCE)の測線観測プログラム(WOCE Hydrographic Programme: WHP)の一つであるワнтаム観測(WOCE期間中に高精度観測を1回実施する)にその起源を求めることができる。気候変動が社会問題化した時期でもあり、長期の気候変動の理解と予測には海洋循環を正しく理解する必要があるとの認識が土台となっていた。正しい理解のために、水温、塩分、溶存酸素、栄養塩といった当時の海洋観測でもルーチンとなっていた測定項目であっても、従来のレベルをはるかに凌駕する高精度な測定が求められたほか、海洋循環の履歴をたどるための様々な化学トレーサの測定も行われた。フロン類、放射性炭素(¹⁴C)が代表的なものであり、これらは現在も「みらい」のリポートハイドログラフィー航海で測定されている。

WOCEワнтаム観測時には、官庁船や大学の観測船が複数参加したが、現在日本で行っているのはJAMSTEC

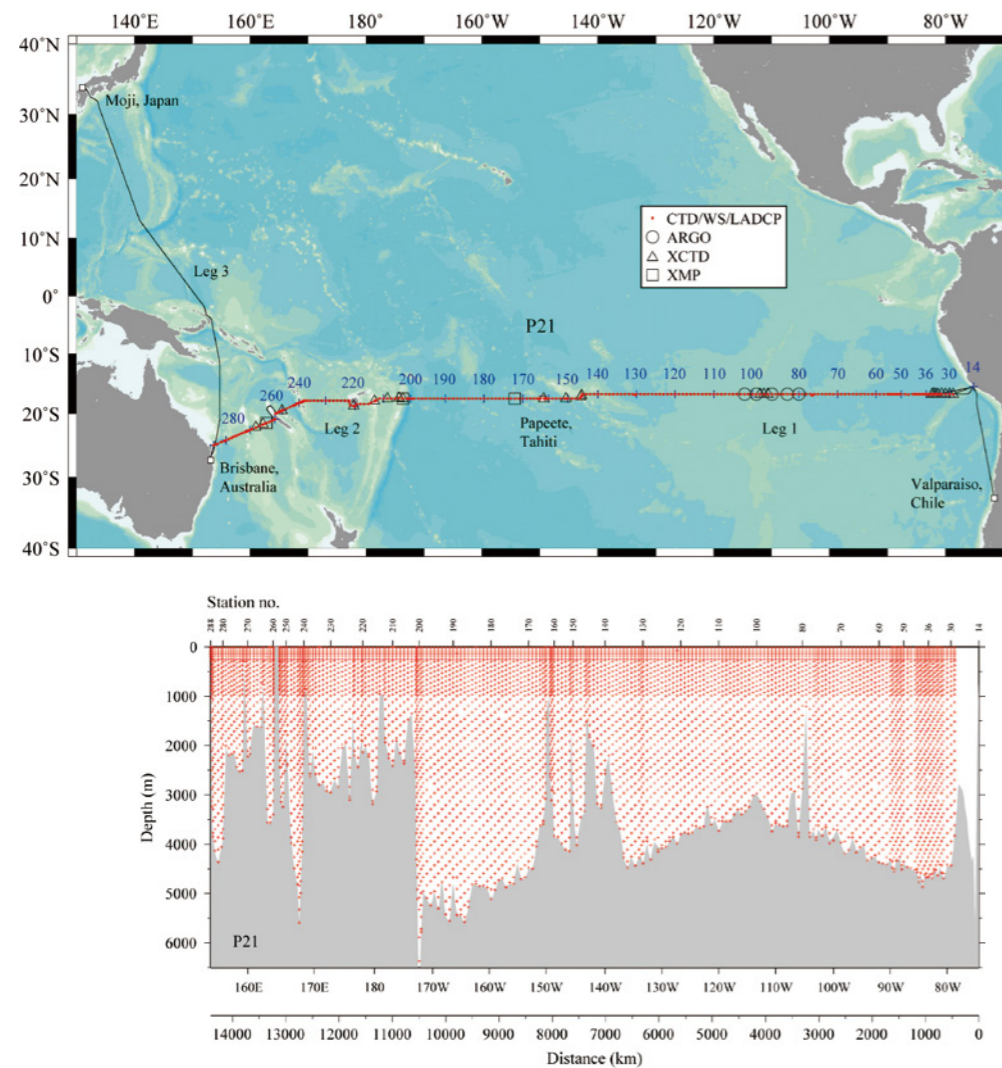


図1 2009年に実施されたリポートハイドログラフィー航海(MR09-01)の観測ライン(上図)と採水層(下図)

表1 「みらい」で実施したリポートハイドログラフィー航海

実施年	大洋	航海名	WOCE観測ライン名
1999	北太平洋	MR99-K05 Leg 1	P01
2001	北太平洋	MR01-K04	P17C, P17N
2003	南太平洋	MR03-K04 Leg 1	P06
2003	南太平洋	MR03-K04 Leg 2	P06
2003	南大西洋	MR03-K04 Leg 4	A10
2003/2004	インド洋	MR03-K04 Leg 5	I04, I03
2005	北太平洋	MR05-02	P10
2005	北太平洋	MR05-05 Leg 1	P03
2005/2006	北太平洋	MR05-05 Leg 2	P03
2006	北太平洋	MR05-05 Leg 3	P03
2007	北太平洋	MR07-04	P01
2007	北太平洋	MR07-06 Leg 1	P01, P14N
2007	北太平洋/南太平洋	MR07-06 Leg 2	P14N, P14C
2009	南太平洋	MR09-01 Leg 1	P21
2009	南太平洋	MR09-01 Leg 2	P21
2011/2012	北太平洋/南太平洋	MR11-08 Leg 2	P10
2012	北太平洋	MR11-08 Leg 3	P10
2012	南太平洋/南大洋	MR12-05 Leg 2	P14S, S04I
2012/2013	南大洋	MR12-05 Leg 3	S04I
2014	北太平洋	MR14-04 Leg 2	P01
2015/2016	インド洋	MR15-05 Leg 1	I10
2017	南太平洋	MR16-09 Leg 3	P17E
2019	インド洋	MR19-04 Leg 2	I08N
2019/2020	インド洋/南大洋	MR19-04 Leg 3	I07S, S04I
2021	北太平洋	MR21-04	P01
2023	北太平洋	MR23-07	P14N
2025	北太平洋	MR25-02	P04W

と気象庁のみである。「みらい」は海洋観測船としては世界最大級であるという利点(航続距離を長くとることができる、多数の研究者や観測技術員が乗船可能など)を活かし、太平洋だけでなく、インド洋、南大洋の観測ラインでも観測を実施してきた(表1)。今ではほぼ当たり前のようにリポートハイドログラフィー航海を計画し実施しているが、これはその始まりの時期に「みらい」を大改造した結果である。その内容については、改造を主導された深澤理郎氏の寄稿をご覧ください。リポートハイドログラフィー航海では、「陸から陸まで」と「海面から海底直上まで」が合言葉となっている。また、高精度観測も当然とされている。これらの達成には、航海そのものだけでなく、その事前の準備と事後の作業も欠かせない。以下、「みらい」でのリポートハイドログラフィー航海をその周辺のトピックスとともに紹介していく。

事前準備

次はどの観測ラインで観測を行うか、これを決めることがリポートハイドログラフィー航海の第一歩である。JAMSTECの研究グループ内(現在は地球環境部門海洋

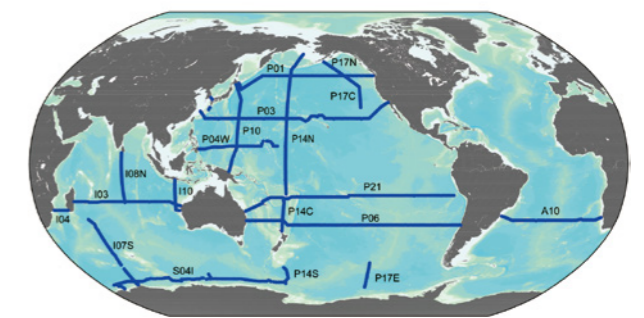


図2 「みらい」によるリポートハイドログラフィー観測ライン

観測研究センター海洋物理・化学研究グループ)で検討されるほか、国際的なコミュニティでの調整が必要である。リポートハイドログラフィーは先述したようにWOCEワнтаム観測にその起源を求めることができる。そのコミュニティは名前を変えて現在も継続されており、今はGO-SHIP(Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program)がその役割を担っている。コミュニティでの情報交換によって、米国が観測を行ったその翌年に日本が同じラインで観測を行うといったことを避けることができる。海盆スケールで10年スケール以上の長期変動の検出が目的であるため、1~2年で同じ観測ラインを観測するのは無駄となるからである。また、特に太

平洋で当てはまるが、「陸から陸まで」がどうしても長い観測ラインとなってしまう、1機関ではなかなか実施が困難なケースがある。この場合、GO-SHIPで情報交換し観測



図3 CTD観測装置がウインチを使って海中から揚収されている様子。装置の下部にセンサー類、上部にニスキンボトル36本が取り付けられている(右上図)。ウインチはBEAGLE2003用に新たに導入されたもの。



図4 CTD観測の準備



図5 採水準備のため、甲板上に並べられた採水ビン。



図6 ニスキンボトルから採水しているところ。「みらい」の大きさからすると、やや手狭に感じる。

の協力を求める。実際、調整の結果、太平洋のP04(北緯10度線沿いの観測ライン)の再観測は、西半分をJAMSTECが実施し(MR25-02航海、2025年5月終了、P04W、図2)、東半分は米国が行う予定となっている。

「陸から陸まで」の観測では、もう一つ事前に対処しないといけないことがある。それは外国からEEZ(Exclusive Economic Zone: 排他的経済水域)内での観測許可(クリアランス)を得ることである。太平洋ではリポートハイドログラフィー航海以外でも観測する機会が多く、JAMSTECからみて許可申請の経験が豊富な国が多く、この場合は比較的スムーズにクリアランスが得られやすい。しかし、初めての国ではこうはいかない。外交ルートを通して申請をするのが正式であるが、国によって固有の手続きもある。相手国のどの機関と話をするのがよいのかといった情報を得ることから始めて、事前の入念な準備が必要である。こういったことは研究者だけでは無理で、事務方と一緒に作業をし、場合によっては現地同行してもらって交渉することもあった。航海が始まってから船上でEEZのクリアランスが取れたとの連絡を受けることもあり、EEZギリギリのところまで待機したりしたこともあった。EEZ申請はJAMSTECの関係部署から文部科学省、外務省を通じた外交ルートで行われる。直接お会いすることはほとんどなかったが、この場を借りて関係者の皆様に心から感謝を申し上げたい。

ここまで根回し的なことを述べてきたが、観測のための準備ももちろん必要だ。リポートハイドログラフィーは別名WOCE再観測とも呼ばれる通り、最低限WOCEあるいはそれ以上の高精度を常に追求してきた。「みらい」の海洋観測データが高品質だという評価を得ているとしたら、それはリポートハイドログラフィー航海で培った経験が役立っている。

「みらい」のリポートハイドログラフィー航海

大陸間の観測ライン上に高密度(30~50km)に設定された観測点でのCTD(Conductivity-Temperature-Depth profiler: 塩分・水温・水深計)観測の実施、リポートハイドログラフィーの観測をざっくりと表現するとこのようになる。CTDには、任意の深さで海水を採取できるようにニスキンボトルが取り付けられている(図3)。ニスキンボトルの容量は1本12リットルで36本あり、最大36層から海水サンプルを採ることができる。観測地点に到着する15分ほど前になると準備が始まり、CTDセンサー類の確認、ニスキンボトルのセッティングをする(図4)。外洋では海底直上まで5,000~6,000mの深さに達することがあり、1回の観測でCTDを海中へ投入してから揚収するまでに4、5時間かかる。揚収の30分前から採水の準備を開始し、採水ビンにニスキンボトルの番号(1~36)

に対応したかごに入れておく(図5)。各観測地点で揚収が終了し、CTDが「みらい」上甲板にオンデッキとなれば、次の観測地点に向かう。その航走中にニスキンボトルから採水をする(図6)。採水項目が多い地点や特殊な採水がある場合だとどうしても時間がかかる。それでも、航海の始まったころには2時間前後かかっていたものが、慣れてくるにしたがって採水も要領よくなり、だいたい1時間前後で終了できるようになる。この一連の作業を観測地点ごとに行い(1日3~4回程度)、1週間ほど連続で行う。航海全体のシフトタイム(港を出て港に入るまで)の時間が決まっているため、CTD観測による停船時間が予定の時間より遅れると計画の全体に影響する。外洋では2~3時間で次の観測地点に到達するという計画が立てられている。次の観測地点に到着するまで、CTDと採水の担当者は体を休めることができる。

リポートハイドログラフィーでない航海でもCTD観測は行われる。それと比較して何が違うかというと、そのハードさだ。まず、すべての観測地点で海底直上までCTDを降ろすという航海は他にはなかなかない。せいぜい2,000m程度までである。研究者、観測技術員、船員の誰にとってもハードな航海ではないかと思う。ハードな点は乗船者だけでなく、使用する機器にとってもそうである。CTDは深海まで測定できる装置として設計されているが、地上気圧から6,000m(600気圧となる!)の深さまでの往復を1日3~4回繰り返す。2010年代初めごろまで、JAMSTECでは年2回、リポートハイドログラフィー航海を行っていた。ある時、CTDセンサーの不調が繰り返されたため、メーカーに診てもらったところ、メーカーが想定していなかった(世界のどの機関でも行っていない)ハードな使用のためではないかとのことであった。船上の分析装置も過酷な使用状況となる。次から次へとサンプルがくるため、それをこなすために主要な観測項目の分析装置は常に2台体制であった。

リポートハイドログラフィー航海がハードな航海であるのは間違いないことであるが、「みらい」でないとできないというものでは決してない。実際、1990年代のWOCEワントタイム観測のときには、複数の官庁船と大学に所属する観測船が使われた。「みらい」のメリットを挙げるとすると、それは大型船であることを活かした効率のよさである。国際総トン数8,706トンで、研究者、観測技術員を合わせて40名以上、乗組員を合わせて総勢80名が乗船可能である。海面から海底直上までのクレーンによるCTDの上げ下げ、ニスキンボトルからの採水、船上での分析などの一連の作業を、人数が多いと24時間体制の分業で行える。クレーン作業で大事なことは、CTDを吊り下げているワイヤーのメンテナンスである。ワイヤーの状態に問題がないか、常に監視していないといけない。これにも人が必要だ。リポートハイドログラフィー以外の観測では、普

通、乗船した研究者や技術者が自分たちのサンプルを採りたい地点で採取し、自分たちで船上分析または持ち帰りのための処理をする。採水する人と分析する人が分けられていないのだ。このやり方は、観測地点が少ない場合は十分に機能する。しかし、リポートハイドログラフィーのように観測地点間の距離が短く、次から次へとサンプルが届く場合は、採水者と分析者を分けないと観測全体が回らなくなる。そこで、分析はいささか技術が必要であるため経験豊富な研究者と観測技術員が担い、比較的容易な採水の方を臨時に雇った人(主に学生さん)に担当してもらっていた。採水者は各ニスキンボトルからすべての項目のサンプルを1人で採取することになる。比較的容易といっても高精度観測を維持するためには採水も十分に気を付けないといけない。各航海の初めに採水を担当する人が集まって、各採水項目の担当者から採水時の注意点のレクチャーを受け採水練習をする(図7)。相乗り課題として航海に参加するJAMSTEC内外のグループのサンプルにはかなり特殊なものがある。これらも含めて、2日ほど練習してから本番の採水に備える。

ニスキンボトルから海水を分取するときは、測定項目ごとに異なったビンが使われる(図8)。ビンごとに採る方法が異なり、1人で全部のサンプルを採水することになっているため、間違いが起こりやすい。また、5,000m、6,000mといった深海からの海水サンプルを船上で取り分けるの



図7 採水練習でレクチャーに集中しているところ。参加者は国際色豊か。



図8 採水ビン

で、サンプルの変質を防ぐためできるだけ早く採取することを心がけなければならない。酸素やフロン類、炭酸系項目などの気体成分は特に注意が必要で、ニスキンボトルからの採取の順番も最初の方に割り当てられているほか、採水ビンに泡が混入していないかどうかの確認も行われる。採水がうまくいっていないければ採り直しをする。採水したサンプルに問題ないかどうかは、採水班長（各航海で2人）によって確認される。採水のうまい下手も分析の精度に効いてくるため、船上の分析者から精度の情報が時々もたらされる。1本のニスキンボトルから海水を2つのビンに採水すると、同じ海水サンプルが2つ得られることになる。同じ海水なので2つのサンプルの測定値は誤差の範囲で一致するはずである。もし大きな差があったら、採水方法が検討される。

高精度観測であること、これもリポートハイドログラフィ航海の役目である。これまで述べてきたように、リポートハイドログラフィは国際的なプログラムの戦略で行われている。その目的の一つが全球海洋スケールで海洋の長期変動を正確に把握することである。そのためには、あるグループで取得されたデータと他のグループで取得されたデータが、科学的に比較可能なものでなければならない。つまり、同じものさしで測定が行われていないとセンシとインチが混在しては比較できない。当たり前のことのように思われるかもしれないが、これが可能なデータは、実は数が少ない。水温や塩分といった物理項目は、古くからデータの比較可能性が検討されてきており、長期変動の検討が十分に可能なものとなっている。しかし、化学成分はこうはいかない。19世紀末の海洋観測の黎明期から水温と塩分と同じように測定されてきている栄養塩が典型的な例だ。測定の歴史が長いにもかかわらず、長期変動の研究が皆無に近い。これは栄養塩のデータの比較可能性が低いためであるが、高精度測定を目指した1990年代のWOCE観測においても、比較可能性は十分には高まらなかった。理由は明白で、当時は共通のマニュアルは整備されたが、測定のための標準物質がなかったためである。

栄養塩の標準物質は、2010年代に、日本発かつ日本初の海洋の環境標準物質として海洋コミュニティに導入された。この標準物質は、気象研究所（後に福島大学、筑波大学に所属、JAMSTEC 招聘上席研究員を兼務）の故青山道夫氏が30年以上の努力により開発したものである。「みらい」では、この標準物質の前段階である参照物質を2003年の南半球周航観測航海（BEAGLE2003）から使用している。それ以降、JAMSTECのリポートハイドログラフィ航海では欠かさず使用されている。栄養塩の標準物質はJAMSTECが中心となった国際的なプロモーションを経て、現在、国際的な標準物質として普及している。標準物質は広く普及してこそ価値がある。JAMSTEC

のリポートハイドログラフィ航海がその役割を果たしており、栄養塩データの比較可能性を高めている。この点を国際的な海洋コミュニティへの大きな貢献の一つとして特記しておく。

他の観測船でリポートハイドログラフィの経験がある人に、「みらい」での観測についての感想を述べてもらった。採水の手順など、細かいところの違いはもちろんあるが、物資が多く積み込める、人員が多く乗船できる、長期観測航海が可能など、大型船であることの利点を感じたようだ。

ここまで「みらい」のリポートハイドログラフィ航海の特色をみてきた。リポートハイドログラフィは全球の海洋を対象としているプログラムであるため、「みらい」の他のどの航海よりも行動範囲が広い。日本から遠く離れた海でも観測を行っており、北太平洋、南太平洋、インド洋、南大西洋、南大洋と、7大洋のうち5大洋の制覇をリポートハイドログラフィ航海で達成している（ちなみに北極海は北極グループの航海で達成済み）。毎回、ほぼ同じ航海を行っているように見えるが、振り返ってみるとそれぞれに印象が残っている。そのいくつかを紹介したい。

■ BEAGLE2003

BEAGLE2003航海は、2003年8月3日にオーストラリアのブリスベンを出発し、ほぼ南緯30度に沿って東向きに航行し、途中、パペーテ（タヒチ）、バルパライソ（チリ）、サントス（ブラジル）、ケープタウン（南アフリカ）、タマタブ（マダガスカル）、ポートルイス（モーリシャス）に寄港し、最後は2004年1月24日にフリーマントル（オーストラリア）に入港するという実に壮大な観測であった。JAMSTECの設立30周年を記念する事業として実施され、チャールズ・ダーウィンが世界一周航海に参加した「ビーグル号」にちなんでBEAGLE（Blue Earth Global Expedition）の名前が付けられた。この記念碑的航海は、南極オーバーターン（Antarctic overturn）システムの10年規模の変動を明らかにすること目的としていた。この航海に先立ち、この記念誌にも寄稿されている深澤理郎氏のグループは、北太平洋の北端に位置する全球海洋循環システムの終端地域にあるP01とP17N（ともにWOCE観測ライン、図2）において、底層の水温が上昇する（底層昇温）という謎の観測事実を発見していた。海洋物理学の解釈として、その起源が南大洋にあることが推測されたため、南大洋を周回するBEAGLE2003が計画されたのである。

BEAGLE2003では、WOCE観測ラインのP06（南太平洋）、A10（南大西洋）、I03（インド洋）、I04（インド洋）を一挙に観測したことになる（図9）。JAMSTECが付与する航海番号はMR03-K04で、航海全体は6つのレグに分けられていた。そのうち、レグ1、2、4、5がリポートハイ

ドログラフィ航海である。レグ1は34日の航海日数と121点のCTD観測地点、レグ2は38日と116地点、レグ4は30日と111地点、レグ5は27日と145地点であった。この間、ひたすらCTD観測を行ったわけで、今思うと機械も人もよく耐えられたものだと思う。これは、BEAGLE2003航海前に「みらい」が改造され、観測機能が向上したことが大きい。この点について、最も重要なものとして観測用ウインチ（図3）が更新されたことを挙げたい。これにより実に効率的にCTD観測ができるようになった。BEAGLE2003のリポートハイドログラフィ航海では、ブリスベンからスタートしフリーマントルで終了するまでの間、「みらい」は日本に戻ってきていない。ブリスベンから開始される前にも複数の航海があり、横浜港を2003年5月21日に出港している。これを含めると実に307日間、日本を離れていた計算となる。長期間、日本から離れて観測を続けることになるので、万が一故障した場合に備えて複数台、装置を用意する必要があった。当然、置き場所が問題となる。また、採水したサンプルの数も膨大であったため、その置き場所も確保する必要があった。サンプルの化学分析後の廃棄も、日本に持ち帰って処理しなかつた。分析項目によっては採水ビンが手持ちの数だけでは不足する見込みであったため、新規でも購入した。その上で、分析が終了したビンを船内で洗浄することで対処した。採水、分析、洗浄など、マンパワーもそれまでの航海以上に必要であった。このようにスペースや乗船人数に係る課題を考えると、「みらい」という大型船であったからこそ、BEAGLE2003は成功したのではないだろうか。

世界の主要海洋研究機関の集まりであるPOGO（Partnership for Observation of the Global Ocean）というフォーラムがある。POGOは南半球の海洋観測を強化するため2001年にサンパウロ宣言を採択し、このフォローアップとしてBEAGLE2003には南半球の国々から研究者と技術者が多数参加した。この時の参加者の1人は後に大学の指導教官となり、22年後、その学生さんがPOGOのスカラシップを得て、MR25-02航海（「みらい」最後のリポートハイドログラフィ航海）に乗船した。BEAGLE2003は教育の面でも世代を超えて大きな貢献となった。

準備は大変であったが、日本を長期間離れ、普段はあまり行かない海域（例えば南大西洋）にも行けたことから、途中の寄港地が楽しめた。最近寄港地での滞在日数が入港日、中日1日、出港日の計3日と短めとなっているが、BEAGLE2003ではパペーテとケープタウンで中3日取られるなど、少々長めであった。もちろん、休息ということでもあったのだろうが、記念すべき航海でもあったことから、寄港地で何回かセレモニーもあった。航海終了後には達成式も盛大に行われた（図10）。その他、レグ2が終

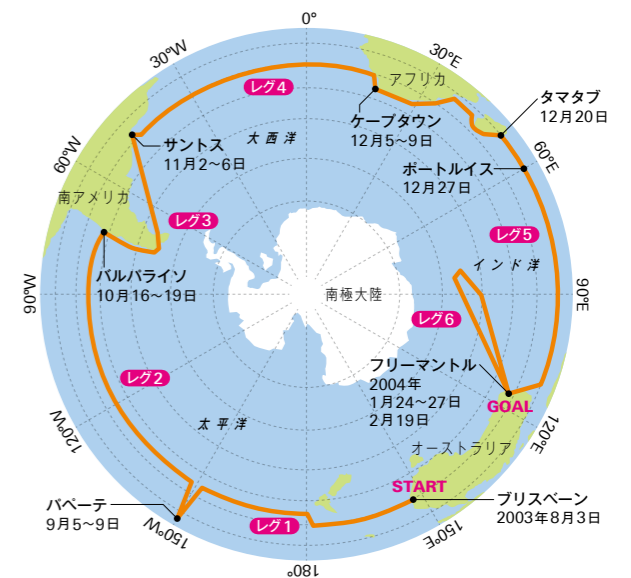


図9 BEAGLE2003の航跡図

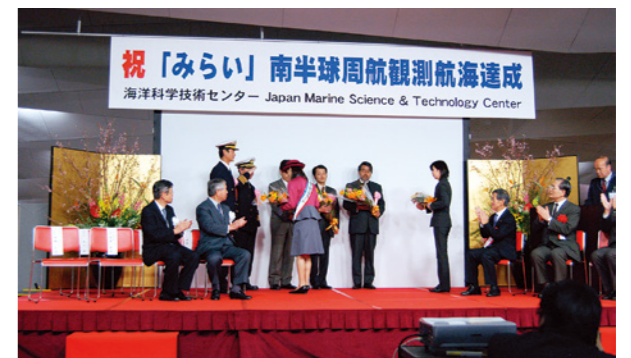


図10 BEAGLE2003達成式。2004年3月23日、横浜港にて。

了した10月16日にチリのバルパライソでいったん下船し、レグ4がブラジルのサントスから始まる11月6日まで南米に滞在したこと（ブラジルのビザが切れたので取り直すというアクシデント付き）、ケープタウンでテーブルマウンテンに登り、霧（遠くから見ると雲）の中を歩いたこと、が印象に残っている。寄港地で購入したアイスクリームを船内の共同スペースの冷蔵庫に保管していたら、いつの間にか食べられてしまったとか、ワッチを組んで分析をしていたが、交代の時間になっても交代要員が来なかった（深酒をしたらしい）ため、そのまま分析を続けたこと、エレキギターを持ち込んだラテン系の人が出て、そのアンプ電源の調達を頼まれて閉口したこと、同じくラテン系の人たちは夜ごとダンスパーティーを開いていたことなど、20年以上も前のせいか、観測のことよりも、らちもないことが先に浮かぶ。記憶は薄れつつあるが、BEAGLE2003で取得したデータはしっかりと残されている。今後の研究に役立つことを願っている。

■ P01再観測

P01の観測ラインは、北海道沖から米国のシアトル沖までの、ほぼ北緯47度線に沿って設定されている（図

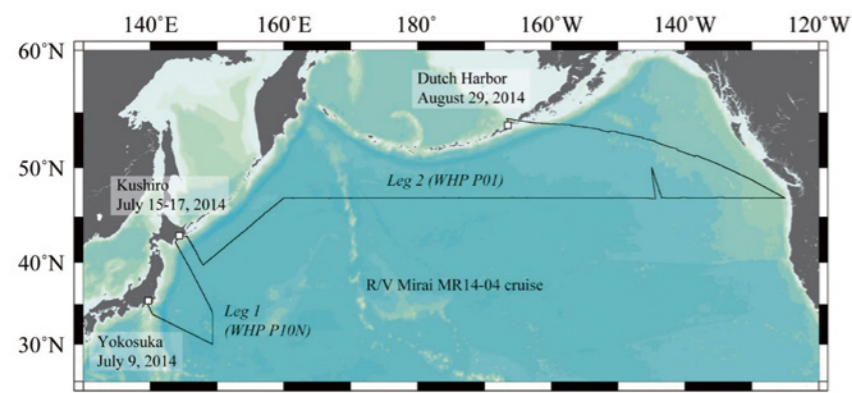


図11 P01観測ライン。2014年にMR14-04のレグ2として実施した。

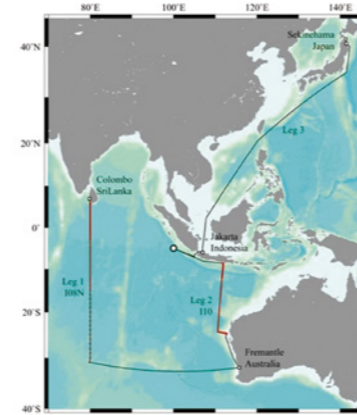


図12 I08観測ライン。2011年、2015年、2019年と過去3回計画された。図は2015年のもの。2011年は中止、2015年（MR15-05レグ1）はインド洋東部のI10ラインのみの観測となった。2019年（MR19-04レグ2）にI08の南緯20度以北を観測した。

11)。なぜこの観測ラインでの観測を取り上げるかというと、これまで1999年、2007年、2014年、2021年の4回、日本が観測を行っているからである。P01ラインは、10年間隔程度で繰り返すことがコミュニティで約束されている観測ラインの一つである。日本の沖合が一方の端となっているため、日本としてはやりやすい。しかし、どういわけか、すんなりとできたのは2014年だけだ。1999年は機械のトラブル、2007年は漁網がプロペラに絡み港に引き返すアクシデント、2021年は諸事情によりシアトル沖までは未到達、といった状況だった。国際的にみても4回繰り返した観測ラインは多くない。BEAGLE2003の項で紹介した底層昇温の発見がなされた観測ラインでもあり、10年後、20年後どう変化しているか、興味がつきない。「みらい」が退役した後も観測が継続されることを願う。

■インド洋航海

インド洋は、リピートハイドログラフィー航海に限らず、海洋観測の実績が太平洋や大西洋と比べて少ない。これは、インド洋が海洋観測の長い歴史をもっている国々から遠いことが要因の一つである。日本は他の海洋観測の先進国の中ではインド洋に比較的近いこともあり、BEAGLE2003のI03とI04ラインの観測以外に、過去3回I08ラインを観測する計画があった（図12）。理由は思い出せないが、最初の2回は幻の航海となった。スリランカのEEZ内でも観測があるため、交渉のためスリランカを2回訪問している。航海が取りやめとなったとき、完全な取りやめではなく保留といったニュアンスをスリランカ側に伝えたことと記憶している。いずれにしろ、I08ラインは2019年に観測することができない、スリランカ側との約束が果たせた。2019年は、たまたま数年に1回発生するIndian Ocean Dipole (IOD) が発生した年であった。偶然とはいえ、高精度観測でIODを観測できたのはこれが世界で初めてである。貴重なデータが提供できたと感じている。

事後作業

ある国際的な集まりで、「データをオープンにしないのはOceanographyではない」と発言している研究者がいた。同感である。リピートハイドログラフィー航海では、データの公開が徹底されており、利用に制限はない。ただ、闇雲にデータを出すだけではいけない。しっかりと分析の責任者がデータを吟味し、その評価結果を付与し公開している。リピートハイドログラフィー航海のデータセットには、測定値の右隣の欄にデータの品質管理の結果が示されている。例えば、溶存酸素であれば、測定値が入っているカラム（ヘッダーはOXYGEN）の隣に、品質管理のカラム（ヘッダーはOXYGEN_FLAG_W）があり、数値が入っている。この数値はフラッグ（flag）と呼ばれており、goodデータは2、badデータは4などと決められている。WOCE以前の航海では、フラッグ付きのデータセットを見ることはほとんどない。それどころか、データがオープンになっていることも珍しかった。JAMSTECのデータは、品質管理後データブックとして公開されている（図13）。これには測定された項目の説明や分布図が載せられているほか、フラッグ付きの数値データを一緒にした光ディスクが添付されており、利用者の便宜を図っている。リピートハイドログラフィーで使用が始まったフラッグ付きのデータファイルはseafileと呼ばれており、このフォーマットは他の航海でも使用されることが多い。

事後作業はデータブックの出版で終わりではない。それぞれのグループが行った品質管理は、いわば主観的なものである。他のグループのデータと比較して、補正が必要であれば補正を施す作業が残っている。この作業は、物質の収支を見積もるためには不可欠である。例えば、海はどれほど大気中のCO₂を吸収しているかという推定を



図13 データブック一覧

行う場合、海水中のCO₂濃度から計算することになる。一個一個の測定値の誤差が大きいと、海水の体積が巨大なため、海洋全体の吸収量の推定値に大きな誤差を含むことになる。CO₂は地球温暖化の主要因であるため、誤差の大きいデータでは、将来予測に支障をきたしてしまう。

リピートハイドログラフィーでは、各グループが測定したデータ（リピートハイドログラフィー以外の航海も含む）を収集し、2次的な品質管理を行うプログラムがある。Global Ocean Data Analysis Project (GLODAP) だ。海盆スケール、全球海洋スケールで整合性が確保されたデータセットを作成することが目的である。品質管理の方法は、航海ごとに1,500m以深でのデータを比較し、その結果を逆解析法で再調整するというものである。収集したデータは玉石混交であるが、分析時に標準物質を使用しているデータは比較可能性が高い。この意味で、栄養塩の標準物質が日本発（初）で海洋コミュニティに提供されたことは、大きな貢献であるといえる。「みらい」のリピートハイドログラフィーのデータは、GLODAPの品質管理で基準データとなっている。

GLODAPのデータセットはバージョン2までが公開されている。利用者が多く、GLODAPを紹介した論文にはhighly cited paperのマークも付いている。現在、バージョン3が作成中で、ここでも「みらい」のデータは基準として利用されている。

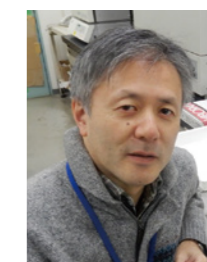
おわりに

リピートハイドログラフィーの始まりであるWOCEが計画されたのは、1980年代半ばである。その計画のレビュー記事を読むと、そこには“the first comprehensive global survey of physical properties of the oceans”と書かれている。つまり、海洋物理の理解向上が目的で始まっているのだ。2000年代に海洋CO₂観測のプログラムInternational Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP) が始まり、その中の海洋内部の観測 (Ocean

Interior Observations) にリピートハイドログラフィーが位置付けられており、CO₂を中心とした化学項目の観測がより重要視されるようになった。2010年代になると生物に係る情報を全球海洋スケールで収集するBio GO-SHIPが立ち上がった。物理から化学、そして生物へとリピートハイドログラフィーの範囲が広がってきている。そのため、現状ではリピートハイドログラフィーというより、リピートオーシャノグラフィー (Repeat Oceanography) と呼んだ方がより実態に合っている。海には流れがあり（物理）、様々な物質が溶け込んでおり（化学）、そこに海の生態系が存在している（生物）。リピートハイドログラフィーの在り方が変わってきたのは当然かもしれない。

2021年から2030年は「国連海洋科学の10年」の実施期間である。人々の不注意な海洋利用が増大し、その結果、海の健全性が悪化している。この問題を海洋科学（これには自然科学だけでなく、人文・社会科学も含む）を基に解決することを目指すのが「国連海洋科学の10年」である。その7つの目標（7つの海）の一つに「予測できる海」が挙げられている。気候変動と海洋酸性化が中心課題である。「みらい」のリピートハイドログラフィー航海は、高精度なデータを提出することで、これらの課題の解決に貢献してきた。「みらい」は退役するが、その役割は「みらいII」に託したい。

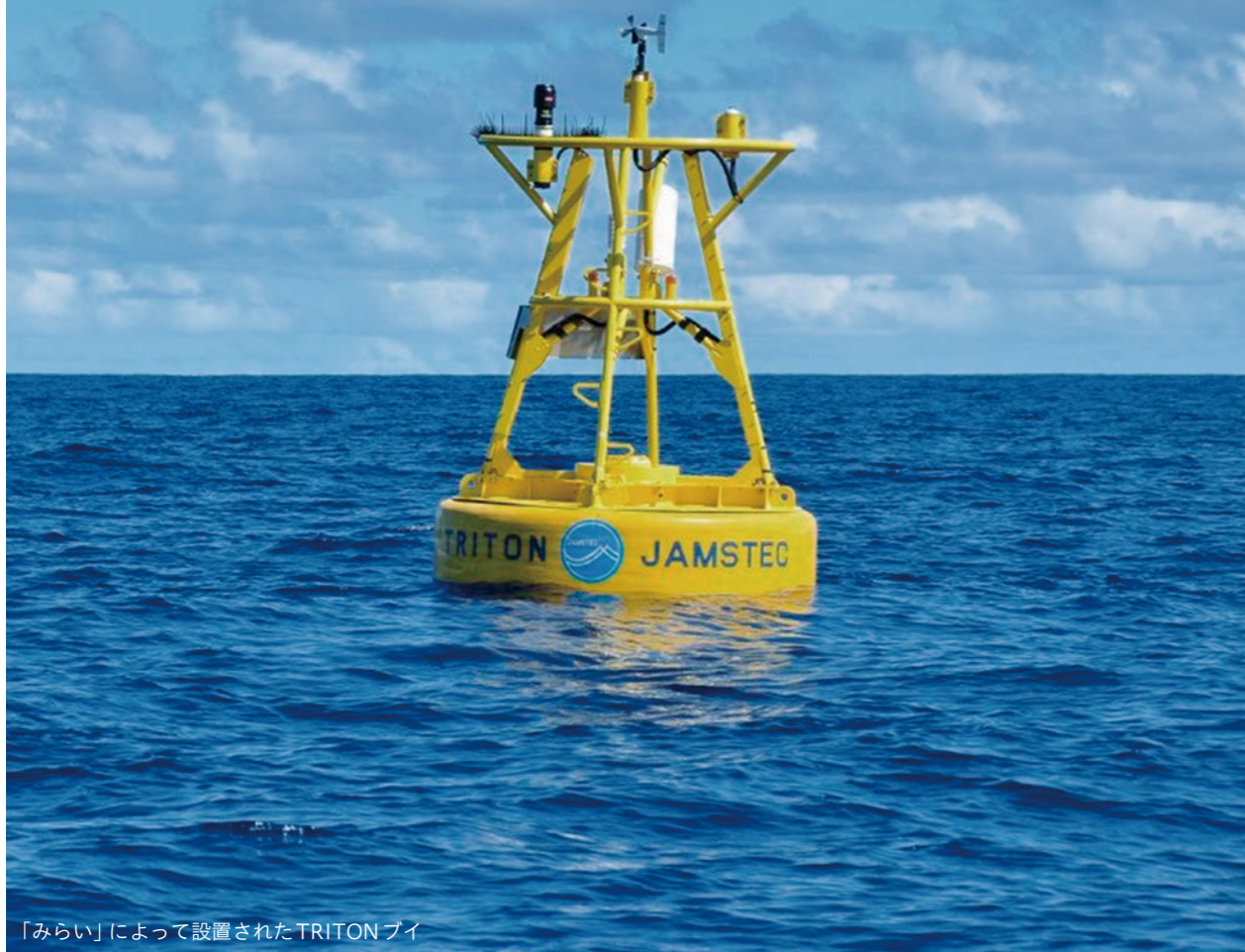
本編は、「みらい」のリピートハイドログラフィー航海に参加経験がある熊本雄一郎さん、内田裕さん、重光雅仁さん、赤松澤さんからコメントや情報提供を受けて完成させている。



村田昌彦
海洋研究開発機構
地球環境部門
海洋観測研究センター
海洋物理・化学研究グループ
上席研究員（シニア）

4 熱帯・亜熱帯観測

植木 巖・川合義美・石原靖久



「みらい」によって設置されたTRITONブイ

「みらい」による熱帯観測研究

植木 巖

■はじめに

「今日もゼロ災で行こう! よし!」というかけ声と共にブイ作業が始まる。測点にもよるが、投入作業と回収作業ともに5時間を超える長丁場が多い。今日も事故なく作業が終わることを願いつつ、AフレームクレーンによってTRITON (Triangle Trans-Ocean Buoy Network) ブイの浮体が吊り上がる様子を見守る (図1)。甲板部員、機関部員の方々が手際良く作業を進める姿を頼もしく感じつつ、以降の手順を確認する。ブイ浮体を海面に送り出すと、観測技術員による水中センサの取り付けが始まる (図2)。全部で13個ほどの水中センサをワイヤロープに取り付けた後はリカバリーブイやナイロンロープを接続していく。最終的には音響切り離し装置とアンカーを繋ぐことで係留系は完成する。その後、アンカーをデッキエンドに置いた状態で目標地点まで航行し、アンカー投入により係留系の設置完了となるが、目標地点にうまくアンカーを落とす位置取りはブリッジの腕と経験のなせる技と言える。こうした作業により富士山の高さを超えるような全長を持つTRITONブイは投入される。

熱帯観測航海ではこうしたTRITONブイの作業を中心



図1 TRITONブイ吊り上げの様子

TRITONブイの浮体重量は2.4トンほどであり、揺れる船上での取り扱いには注意が必要である。台車から吊り上げて写真のような状態になれば浮体は安定し、危険な作業の一つを超えたことになる。ここで一呼吸入れて状況を確認した後Aフレームを海側へ振り出し、ブイ投入から一連の係留作業が始まる。

に進められるが、ブイの展開基数が多い時には45日の航海で20日を超える係留作業が行われていた。「みらい」には第2ブイ庫やロープ庫といったブイの資機材をしまう場所があるが、当時は体育館のような第2ブイ庫がブイ浮体で満杯になっていることが多かった。また、熱帯ということもあり、雲がまったくなくカンカン照りの猛暑の中、あるいは目の前が見えないほどのスコールの中といった過酷な環境下での作業もしばしばあった。

以上のようなワンシーンが見られた熱帯観測航海であったが、本稿では熱帯観測航海を振り返りつつ「みらい」の功績の一端を紹介する。

■海洋地球研究船「みらい」長期観測研究計画における熱帯観測研究

「みらい」は、熱循環の解明・物質循環の解明・海洋生態系の解明・海洋底ダイナミクスの解明という4つの重点課題を推進するための研究船であると海洋開発審議会第4号答申に示されたが、熱循環の解明に関する、より具体的な「みらい」長期観測計画の一つに西部熱帯太平洋の観測研究がある。

当時から我々が実施している「熱帯海洋気候研究 (TOCS: Tropical Ocean Climate Study)」は、「みらい」長期観測計画の一つである西部熱帯太平洋の観測研究として挙げられている3つの研究課題 (熱帯域の海洋/ 大気フラックス、熱帯海洋の海流変動、インドネシア通過流とその周辺の海洋構造) と連動しており、「みらい」を中心とした観測研究がその中核を成している。当初は熱帯太平洋が対象であったものの、その後インド洋ダイポールモード現象の発見などを考慮し、対象は東部インド洋にも拡張された。研究対象が気候変動ということもあり、TRITON



図2 観測技術員によるセンサの取り付け

ブイ浮体の投入が終了するとワイヤロープへの水中センサの取り付けが始まる。ロープの繰り出しを止め、安全を確認した後に、あらかじめセンサ運搬、センサ支え、取り付け治具の組み上げ、ボルト締めなど役割を分担した数名の観測技術員が、自動車競技のF1のピット作業のように素早くセンサを取り付ける。



図3 プイ作業を支える数々の設備

第2プイ庫（左上）は主にプイ浮体を格納するための倉庫で9個の浮体を格納可能である。設置準備のために適宜専用エレベーターで1階上の上甲板へ運ばれる。ロープ庫（左下）は係留に使うワイヤロープとナイロンロープを鉄リールに巻き取った形で保管する。使用の際はエレベーターで2階上の上甲板へ運ばれる。第1プイ庫とタワー庫（中上）はプイの組み上げとタワーの保管に使用される。奥に見える階段を上ったところがタワー庫。TRITON移動台車（中下）は第1プイ庫と艦のAフレーム下の間のプイの移動に使用される。台車の右にある白い2つのローラーはトラクショナルウインチで、係留系の回収時にロープを巻き取る際に使用する。ロープ巻き取り機（右上）は鉄リールをセットしてロープの巻き込みや巻き出しを行う。ホイストウインチ（右下）は右側の白いウインチで、ワイヤロープでプイ浮体の振れ止めや係留索にかかる張力の移し替えなどに使用される。



図4 Aフレーム付属の孫フレーム

「みらい」のAフレームには孫フレームと呼ばれる「ハ」の字型の予備フレームが付属している。孫フレームはAフレームウインチでプイ浮体を吊り上げた際に浮体に密着することで振れ止めとして機能する。

プイ網による長期観測を実施しつつ、短期のプロセス研究をバランス良く組み合わせることが重要であった。プロセス研究としては、ニューギニア海流やミンダナオ海流のような低緯度西岸境界流や赤道波動に関するもの、淡水フラックスや海洋上層の塩分変動を対象としたもの、海洋混合層の変動と海面フラックスに関わるもの、熱帯域の海洋循環と水塊変動に関わるもの、暖水プールの北端と東端での大気海洋相互作用に関わるものなど、熱帯域を特徴付ける観測研究を行ってきた。

具体的な観測としてはTRITONプイ網による長期係留観測、CTD (Conductivity-Temperature-Depth profiler) /LADCP (Lowered Acoustic Doppler Current Profiler) /乱流計による海洋構造の観測、船底ADCPやADCP中層係留系による低緯度西岸境界流と赤道海流系の観測、ドップラーレーダーや各種気象観測装置による大気下層の観測などが挙げられる。これらの観測を行う上で「みらい」は非常に強力な設備を有している。特に巨大なTRITONプイの設置・回収作業に対する設備は特筆すべきものと言える。例えば、先に述べた第2プイ庫やロープ庫は1回の航海で9基のTRITONプイの設置および回収が行えるほど大きな容量を持つ。それ以外にも第2プイ庫あるいはロープ庫から上甲板にプイ浮体やロープを移動させるためのエレベーターや、上甲板の第1プイ庫の2階部分にあるタワー庫、タワー庫からプイ浮体に取り付けるタワーを下ろすための天井クレーン、プイ浮体を上甲板艦のAフレームへと運ぶための移動台車など、作業を効率的に行えるための設備が充実している。係留作業に関わる

設備としては2個のロープ巻き取りウインチに加え、パワーのあるトラクショナルウインチ、振れ止め用のエアホイストなどがあり、安全な作業が行える環境にある（図3）。極めつきは大型のAフレームに備えられた孫フレームで、プイ浮体を吊り上げて海面に降下させる際に、孫フレームが浮体を押さえることによりプイ浮体の振れ回りを防止する役割を果たす（図4）。

こうした設備を持つ船はおそらく他にはなく、延べ200基を超える大型プイの設置・回収を安全に実施できたのは「みらい」の能力によるものと言える。プイ観測以外にも、ドップラーレーダーや多くの気象観測装置、動揺減少装置を備えたウインチシステムによるCTDの運用、高性能のシービームといった「みらい」の能力を特徴付ける設備で様々な観測を下支えしてきた。また、設備のみならず、乗組員や観測技術員たちの海洋観測に携わるプロフェッショナルな観測手順の整理やノウハウの蓄積あるいはその背後にある観測の重要性の理解を推し進めたと言える。そうしたハードとソフト両面の環境が「みらい」による海洋観測が多くの海洋研究機関から一目置かれる要因となっていると考えられる。

■ TAO/TRITONプイ網の展開と

国際コミュニティへの貢献

「みらい」利用の基本的考え方として国際的な研究への貢献も謳われていた。その具体的な内容として、地球規模の海洋変動や地球環境変動を解明し予測するための世界海洋観測システム (GOOS: Global Ocean Observation System)、気候変動およびその予測可能性に関する研究 (CLIVAR: Climate Variability and Predictability) などへの積極的な貢献が期待されていた。当時はエルニーニョ現象を含む気候変動現象に多くの関心が集まっており、観測システムによる監視と気候変動予測の向上が科学的のみならず社会的にも求められていた。「みらい」はそうした要求に応えるための研究船として捉えられていた面もあった。

「みらい」の建造に先立ち、1990年代半ばよりJAMSTECでは熱帯域における気候研究TOCSとして観測研究プロジェクトが立ち上がっていた。このプロジェクトでは赤道海流系および低緯度西岸境界流の理解のためにADCP中層係留系による長期観測を行うと共に、米国海洋大気庁 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) と連携したTAO (Tropical Atmosphere and Ocean) プイ網による観測システムの維持を進めていた。プロジェクト実施当初のこうした活動がTRITONプイの開発とその後の運用の基礎となった。

「みらい」就航後の熱帯域における気候研究では当初TRITONプイ網の構築が進められたが、その際には

NOAAとの連携を継続すると共に、ミクロネシア連邦、パラオ共和国、インドネシア共和国、パプアニューギニア独立国などの沿岸国の理解と協力が重要であった。当初は手探りであったが、「みらい」への乗船機会や現地でのセミナー開催などによって、徐々に各国の研究者や行政関係者から理解を得られるようになった。最終的には沿岸国の方々にも「みらい」やTRITONプイの名称が浸透し、政府関係者、港湾関係者、現業気象機関関係者など多くの人々に受け入れられることとなった。

TRITONプイの展開は1998年2月出航のMR98-02航海から開始された。初期トラブルやバングリズム被害など多くの困難に直面したが、多くの関係者のたゆまぬ努力の結果、係留プイに関する技術開発や運用に関して、世界でも有数の実力を持つことになったと自負している。そこに至るまでの過程において、「みらい」で実施してきた多くの係留オペレーションでの試行錯誤はそうした実力を得るために欠かすことのできない要素であったと言える。

結果として「みらい」MR02-K04航海にて2002年8月に、当初に計画されていた18基のTRITONプイ網が完成した（図5）。TRITONプイ網は前述の通り、NOAAのTAOプイ網と連携して、この後にTAO/TRITONとして熱帯観測システムの中核を担い、熱帯研究や気候変動研究ならびに気候変動予測研究へ大きく貢献することとなった（図6）。太平洋のTAO/TRITONならびに多国間連携で実施したインド洋のRAMA (Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction) プイ網という新たな海盆スケールの熱帯プイ網を構築し、長年にわたりそれを維持してきたことは、「みらい」の名にふさわしい大きな貢献として誇るべきものである。プイ観測によって得られたデータは、海洋研究のみならず世界各国の現業機関による気象・気候予測に使用され、我々の日々の生活に役立つこととなった点も特筆す



図5 TRITONプイ網完成時の記念写真

MR02-K04航海（橋本孝亮船長、首席：Leg 1黒田芳史、Leg 2長谷英昭）にて当初予定していた全18基のTRITONプイ網が完成した。TRITONプイのプロジェクトは当時の海洋観測研究部、技術開発部、計画調整課をはじめとする多くの部署の協同によって進められていた。

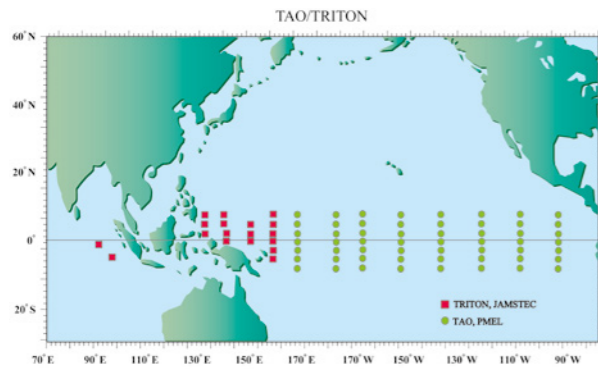


図6 TRITONブイ網展開図

熱帯TRITONブイ網は太平洋に16基、インド洋に2基の体制で設計された。大気海洋相互作用が盛んで降水も多いという暖水プールの特徴を踏まえ、既存のTAOブイに比べ、細かい時間スケールでの海上気象観測と海洋の塩分観測を強化した観測仕様であった。後にインド洋と太平洋でそれぞれ1基ずつ測点が追加された。

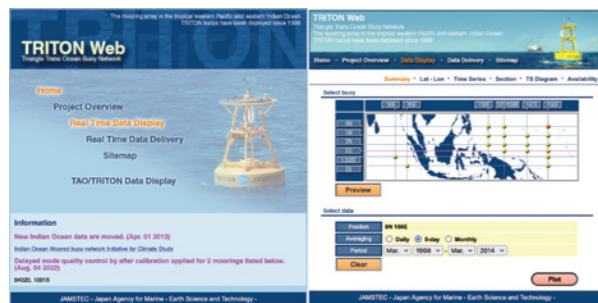


図7 TRITONデータの公開ページ

TRITONデータはJAMSTECおよび連携先の米国NOAAから準リアルタイム（1日程度の遅れ）で公開され、研究者を中心に使用される。気象現業機関に対しては別途専用の全球通信システム（GTS：Global Telecommunication System）を通じてリアルタイムで公開され予報に使われている。

べき波及効果として挙げることができる（図7）。端的な例としては、日本の遠洋漁業関係者からブイによる観測データを参考に遠洋航海に出たところ高い漁獲であったとコメントをいただいたり、オーストラリアの牧場経営関係の団体からブイのデータによって前もっての干ばつ対策を進めることができ役立ったと感謝していただいたこともあった。

このように、グローバルな海洋観測コミュニティや沿岸国と協調して、気候変動を対象とした長期観測を「みらい」で実施してきたことは、研究コミュニティのみならず世界各地の気象・気候予測やそれらに関わる社会活動に対する大きな貢献となっており、当初の目的の一つであった「国際的な研究への貢献」を超えた功績を残したと言える。

■インド洋における継続的な観測と インド洋ダイポールモード現象

1999年に当時の地球環境フロンティア研究センターの研究グループが熱帯インド洋起源の短期気候変動現象であるインド洋ダイポールモード現象を発見した。インド洋ダイポールモード現象は太平洋のエルニーニョ現象と似

た短期気候変動スケールの大気海洋相互作用現象で、熱帯インド洋の海盆スケールを持つ海洋構造と大気場が、通常とは異なる状況に推移する変動である。平均的には2～3年に一度程度の周期で正と負の偏差を繰り返すことで、インド洋の沿岸国に留まらず、エルニーニョ現象と同様に日本や世界各地の気象・気候に影響を及ぼすことが知られている。太平洋のTAO/TRITONが稼働し始めた2000年代初頭ではインド洋における海洋データが著しく少なく、熱帯インド洋にも太平洋と同様の観測システムの構築が望まれ始めていた。

そのような背景の下、JAMSTECはMR01-K05航海にて2001年10月より東部熱帯インド洋に2基のTRITONブイを展開し始めた。その1基はインド洋ダイポールモード現象の東西2つの極のうち、東の極に当たる南緯5度／東経95度に設定され、これにより海洋の内部構造を含むインド洋ダイポールモード現象の東の極の監視が可能となった。また、世界に先んじて実施したこれらの係留ブイ観測がその後のRAMAブイ網の構築に対する良い導入となったことも海洋観測コミュニティに対する大きな貢献であった。

TRITONブイの展開に加えて、赤道付近ではADCP中層係留系による観測も継続的に実施することで、赤道海流系や赤道波動の実際を明らかにすることが可能となった。特に、それまでの理解では半年周期で発生するとされていた海洋上層における暖水の東西輸送と関係するWyrskiジェットが、より短い季節内周期で発生しているという事実を示したことは、時間解像度の高い現場観測の実現によるものと言える。こうした観測事実に基づく現象や理論的な波動などの検証も後の「みらい」観測によってさらに進められることとなった。

日本を含めたいわゆる先進国から比較的遠隔地であるがためにインド洋航海の実施はそれまでなかなか難しかったが、「みらい」就航後にはそれが可能となり、継続的なインド洋航海が実施されるようになった。後に実施されるMISMO (Mirai Indian Ocean cruise for the Study of the MJO-convection Onset)、CINDY 2011 (Cooperative Indian Ocean Experiment on intraseasonal variability in the Year 2011)/DYNAMO (Dynamics of the Madden-Julian Oscillation)、YMC (Years of the Maritime Continent) といった国際フィールドキャンペーン、あるいは第2次国際インド洋調査 (IIOE-2: Second International Indian Ocean Expedition) への貢献として「みらい」が活躍したのは、そうした長年の実績に基づくものと言える。

■熱帯観測研究で得られた科学的成果

ここでは「みらい」航海やTRITONブイの展開および熱帯域における気候研究で得られた科学的成果をいくつか

簡単に紹介したい。

TRITONブイの展開が軌道に乗るまでの間は低緯度西岸境界流と呼ばれるミンダナオ海流系やニューギニア海流系に関する研究を進めてきた。低緯度西岸境界流はその名の通り熱帯低緯度での海洋循環の西の部分に存在する海流で、中緯度の海水を低緯度側に取り込み、熱帯低緯度における熱バランス、物質循環などと深く関わっている。ADCP中層係留系や「みらい」による船底ADCPやCTD観測のデータを解析することで、それらの海流の季節特性やエルニーニョ現象との関係性を明らかにしてきた。通常これらの赤道向きの海流による輸送量は熱帯太平洋全域で風によって発生する極向きの輸送量とバランスしているが、エルニーニョの発生時にはこのバランスが崩れることを観測データから示したことは、太平洋熱帯域の低緯度における海盆全体の熱収支に関わるメカニズムを考える上で非常に役立った。

TRITONブイ網によるデータが蓄積され始めると、海上気象と塩分の連続観測というTRITONブイの優位性を生かした研究を進めることができるようになった。具体的には、大気海洋相互作用を踏まえた海洋上層の熱収支に加え、淡水/塩分収支や水塊変動に関する研究を進め、混合層下部の変動過程や混合層下部での水塊変動過程の記述や、温度躍層付近に存在する南北スケールの大きい鉛直構造の存在の記述など、それまでは細かな時系列データが存在しなかったために検出できなかった変動過程を長期データから示すことが可能となった。また、それらを基に、「みらい」によるプロセス研究を実施することとなり、熱帯域の海洋上層変動やエルニーニョ現象に関わる変動の変動過程に迫るための研究が可能となった。

エルニーニョ現象と関係する研究例としては、2000年を境にしてそれまでに強く結びついていたエルニーニョ現象と熱帯上層の暖水蓄積量の変動の関係性が低下することを観測データから明らかにした研究がある。この関係性の変化はエルニーニョ現象の10年周期変調と関係していると結論づけられた。その他にも1997-98年のエルニーニョの終息において、西部熱帯太平洋に出現した特異な海面水温分布に起因するWES (Wind-Evaporation-SST) フィードバックの貢献が大きいことを示した事例もある。一方で、ニューギニア北岸に沿った沿岸湧昇がエルニーニョの発生に貢献するという仮説を提示した研究も行った。

エルニーニョ現象と関係する研究を進める一方で、インド洋ダイポールモード現象に関する観測的研究では大きな成果を上げている。代表的なものは正と負のダイポールモード現象発生時の東極での海洋上層の熱バランスの詳細を観測データから示した一連の研究で、それはインド洋ダイポールモード現象の東極でTRITONブイによる長期観測がもたらした成果である。ブイ観測によってそれまでに獲

得できていなかった詳細な海洋データが取得できるようになり、熱収支などの見積りの正確性が格段に向上したのが要因である。その後に研究を進めた結果、ダイポールモード現象の発生要因としてそれまでにあまり注目されていなかったインドネシア・スマトラ沖の沿岸湧昇を提示することができ、インド洋ダイポールモード現象の理解が大きく進むこととなった。

この他にも、相乗り課題で参加していただいた研究グループも各々の分野で成果を上げられている。相乗り課題では我々がカバーできていない生物地球化学関係の研究や、物質循環研究、高層を含めた大気観測研究、固体地球研究などの様々な分野の研究グループに参加していただいた。中には共同研究としてブイに測器を取り付けて性能評価を行った技術開発系の課題もあり、情報交換を通じて、熱帯域というくくりでも研究の視野が広がったと感じられた。

ここでは簡単に研究成果の概要を示してきたが、それらは大きくTRITONブイ網による長期観測と「みらい」によるプロセス観測に大別される。気候変動のような比較的長い時間スケールを対象とした観測研究ではこの両者をバランス良く進めることが重要で、両方の観測研究に貢献できる「みらい」の能力があったからこそ、良い成果が得られてきたのだと考える。

■最近の活動

TRITONブイ網によるデータが蓄積され続けると、より長い周期変動に対するアプローチが可能となった。熱帯太平洋の海洋上層の熱バランスを大きく支配する変動の一つとしてエルニーニョ現象が挙げられるが、それに加えて、10年程度の周期変動の影響も比較的大きいと認識されている。CTDデータセットを用いた過去の研究では熱帯太平洋における10年から20年の周期を持つ貯熱量の循環の存在が示されており、その循環ではフィリピンの東方沖の暖水プール北端で貯熱量が増加する様子が確認されていた。それはその海域における大気からの熱フラックスの供給を示唆しており、そこでの大気海洋相互作用の振る舞いの重要性を示していた。一方で、エルニーニョ現象の研究コミュニティではエルニーニョの10年変調というものに注目が集まっていた。それは当時発見されたエルニーニョもどき現象の2000年以降の頻発と関係している可能性が高いという研究もあり、エルニーニョ研究もより長周期の変動を対象にしたものが増え始めていた。そうした背景を踏まえて2016年12月にMR16-08航海にてPHSMO (Philippine Sea Mooring) という新しい測点（北緯13度／東経137度）での長期係留観測を開始した。この測点は国際的な長期観測ネットワークであるOceanSITESのフラックスリファレンスサイトとして、海面フラックス観測の洋上基準点としても機能している（図8）。



図8 暖水プール北端付近のPHSMO測点に設置した係留ブイ

2014年から実施されたTPOS2020 (Tropical Pacific Observing System 2020) プロジェクトでは国際的な熱帯観測研究のコミュニティで太平洋の観測システムの刷新に関する議論が取り交わされた。議論の中ではTAO/TRITONブイ網の再配置と、PHSMO測点のようなフラックスや海洋上層の観測を充実させたスーパーサイトの確立、アルゴフロートをはじめとする係留系以外の観測による相補的な連携、生物地球化学に関する観測の強化などが謳われると共に、暖水プール北端や東端あるいはペルー沖の湧昇域でのプロセス研究の拡充などが今後の方向性として示された。そうした議論を受けて、我々は特に暖水プール北端と東端において、大気下層から海洋上層を対象に大気海洋相互作用に関する観測研究を進めている。「みらい」による船舶観測を中心に、係留ブイ、ウェーブライダー、アルゴフロートといったマルチプラットフォームを用いた統合的観測を行うことで、現状では時間的に密なプロセス研究が可能となった。また、物理観測に加えて生物地球化学観測も実施するようになってきたが、「みらい」はそうした多項目の観測を効率的に行うのに適した研究船と言え、観測を計画するにあたり非常に心強い船であった。

■おわりに

最後に、長きにわたり「みらい」を利用してきた所感を記しておく。乗船した方には理解していただけと思うが、「みらい」は本当に大型の研究船である。乗船回数の少ない当初は迷子になりそうな広さを感じていた。乗船を重ねるにつれて、広さはあまり感じなくなり、代わりによく考えられた設備に気づき、様々なところで感心するようになった。そうした使い勝手の良さは元々の設計時の深い考察による面もあると思われるものの、航海ごとに甲板部と機関部が中心となって改善に取り組んできた結果であるとも考えられる。ある航海で苦戦した作業があったとしても、翌年の航海では新たな手順あるいは道具で効率的に行えるようになっていくという事例が数多く見られた。乗組員

の方々のそうした姿勢に対しては本当に頭の下がる思いであった。そうした事例を取り上げてみても、「みらい」というのは研究船としての能力と共に、人に支えられてきた船なのだなどと深く感じる。個人的には観測の効率性や精度向上のための工夫に対して乗組員、観測技術員、研究者が協力して取り組めた一体感のある環境は非常に居心地の良いものであった。また「みらい」の航海を通じて、観測スキルや周辺知識の向上が得られたことも私にとっては素晴らしい経験と言える。近年国内外を問わず観測船の縮小傾向が進んでいるところであるが、私が経験してきたような機会が数多くの方に訪れることを切に願う。

■謝辞

まずは、航海中の運航あるいは観測に関わる現場の方々へ感謝したい。特に大型ブイの係留という危険度や難易度が比較的高く作業量の多い活動を安全に実施するために、ブリッジ、甲板部、機関部、観測技術員など多くの方々と共に改善に努めてきた過程は非常に貴重で大きな財産となったと感じる。観測に直接関わるわけではないが、司厨部の準備してくれたおいしい食事は日々の活力の源であった。また、航海前から航海後までの長期にわたり陸上から、運航や観測に関わる多くの支援に携わってくださった方々にも改めてお礼を申し上げる。加えて、初期の「みらい」運用検討委員会をはじめとする各委員会に関わっていただいた方々、あるいは航海に参加していただいた多くの研究グループの方々にも深く謝意を表したい。おかげさまで「みらい」の活動と共に熱帯観測研究が大きく進展したと自信を持って言うことができる。

「みらい」と黒潮続流域フラックスブイ

川合義美

日本周辺の海域は、黒潮が運ぶ暖かい水のために水温が高く、また冬季は大陸から強い寒気の吹き出しがあるために、海洋から大気に輸送される熱量が世界で最も大きい海となっている。かつては中緯度の海洋が気象・気候に与える影響はあまり重要視されていなかったが、2000年頃からその重要性が注目され始め、今では全球規模の大気循環から日本の豪雨・豪雪に至るまで様々なスケールの現象に日本周辺の海洋が大きな影響を与えていることがわかっている。

重要な海域でありながら、海洋上の気象観測は非常に限られている。このため、米国海洋大気庁の太平洋海洋環境研究所 (NOAA/PMEL) はMeghan Cronin博士の主導で黒潮続流南側の北緯32.5度/東経144.5度付近の定点 (KEO: Kuroshio Extension Observatory) に2004年6月から係留ブイを設置し連続観測を開始した。JAMSTECの黒潮輸送・海面フラックスグループ (当時)

は、PMELと連携して黒潮続流北側の北緯38.0度/東経146.4度付近の定点 (JKEO: Japanese KEO) で2007年2月から係留ブイ観測を開始した (図9)。JKEOでの最初の係留ブイはPMELのKEOブイと同じドーナツ型をしたものでMR07-01航海で設置されたが、翌年の2008年2月からは熱帯用のm-TRITONブイを少し大きくした強流域仕様のK-TRITONブイがJKEO地点で使用されるようになった (MR07-07 Leg 3 で初登板)。2009年度からのJAMSTEC第2期中期計画では大気海洋相互作用研究チーム (当時) がブイ観測を引き継ぎ、また2012年6月には1年間限定の予定で、KEOとJKEOの中間の黒潮続流の流軸に近い北緯33.8度/東経144.9度付近 (NKEO: New KEO) にK-TRITONブイを1台設置した (MR12-02 Leg 1 で投入)。これは科研費新学術領域研究「気候系のhot spot: 熱帯と寒帯が近接するモンスーンアジアの大気海洋結合変動」が2010年度から始まり予算が付いたためである。残念ながら2013年3月に係留索が破断して漂流したためにNKEOでの観測はわずか8カ月強で終わることになった。ちなみに、この漂流したトップブイは熱帯からの帰途についていたMR13-01航海で緊急回収していただいたが、これが「みらい」が黒潮続流域のK-TRITONブイに関わった最後の機会になった。

黒潮続流周辺は漁業が盛んなので、係留ブイに漁具が絡んだり、それが原因と推測される係留索の破断によるトップブイの漂流が複数回発生した。また冬季の季節風や台風、発達した温帯低気圧の強風のため気象測器は故障が多く肝心の時に気象データが取れないということも多々あった。そんなこともありJKEO地点での係留観測は第2期中期計画最終年度の2013年7月に終了したため、また「かいよう」を使用したこともあり、「みらい」が長い歴史の中で黒潮続流域の係留ブイ観測に関わった機会はあまり多くない。筆者は、実は「みらい」でのK-TRITONブイ作業に立ち会ったことは一度しかない。その唯一の航海 (MR11-02) で、係留索が破断して海底に沈んだ残置部を回収するという貴重な経験をした。そんな経験はしないに越したことはないが……。

漂流したトップブイは2010年10月に「かいよう」の緊急航海KR10-E04で回収したが、海面下4m付近でワイヤケーブルが破断しており、係留索のほぼ全体が沈んでいると考えられた。水深は約5,250mで係留索の全長は約7,800mあるので、海底付近の音響切り離し装置を作動させてアンカーから切り離せば、その上のガラス玉が浮いてきて回収できるはず、ではある。しかし、黒潮続流域では数ノット以上の強い流れに遭遇することがある。海流が強いとガラス玉が横に流されて海面に到達できない恐れがあった。回収前日にCTDフレームに取り付けたLADCPで流速データを得てそれを基にシミュレーションをしたところ、ぎりぎり海面に到達する見込みということ

で、回収を決行。当日は朝5時に切り離しを行い、浮上を待った。過去の熱帯域での経験談から約3~6時間と踏んでいた。切り離し直後はガラス玉が急速に浮上したためかトランスポンダーをうまく捕捉できず、まず冷や汗。その後うまく捕捉し続けられるようになり、深度2,500m付近までは順調に浮上したが、そこから浮上速度が妙に遅くなった。深度2,000mから1,000mまで上がるのに約2時間かかり、浅くなるほど浮上速度がさらに遅くなり不安が募る。予想以上に時間がかかるため、昼食後には「日没までに回収完了できないと見込まれる場合には作業艇でガラス玉に浮力体とフラッシュャーを取り付けて朝まで監視する」との方針がC/O (チョッサー) から示され、その準備を始めようとした矢先、午後2時少し前にやっとガラス玉の海面浮上が確認された。すでに浮上しておかしくないのにすぐには見つからず、触先の少し前にガラス玉が浮いているのを船員さんが発見してヒヤリとすることになった (少しずれていたらスクルーに絡んだかも)。波も高く作業艇を出せるぎりぎりの海況だったが何とか作業艇を出していただき、日も暮れた午後5時半過ぎによりやく回収作業が完了した。釣り糸らしきナイロンラインが大量に絡んでおり、やはり漁具にやられたと思われたが、係留系のCTDが1台浸水してダメになっていた以外は測器は無事であった。なお、後に船長に伺った話では、SSBLでトラッキングをしている間はスラスターが使えずその状況で微速で蛇行しながら8時間以上トランスポンダーを追尾するのはかなり骨が折れたとのことであった。

トラブルの思い出ばかりで恐縮ではあるが、2009年に



図9 MR11-02航海でJKEO地点に投入されるK-TRITONブイ

設置されたKEOブイが台風の直撃で不具合が発生してデータが取れなくなったので、MR10-02航海にNOAAの技術者2名が乗船して修理をしたこともあった（筆者は乗船していないが）。アンカーに係留したままの状態ではトップブイをオンデッキさせるというリスクを伴う作業であったが、熟練した船員さんたちのおかげでトラブルなく無事に修理作業ができたことを乗船した技術者はじめNOAAの関係者が感謝していた。大きなブイの係留作業に適した広い甲板や昇降機を備えた「みらい」の充実ぶりにベテランのNOAAの技術者が感動していたことを覚えている。

「みらい」と「かいよう」には黒潮統流域での貴重なブイ観測を支えていただいた。表面係留ブイは手間もお金もかかる上、特に漁業の盛んな海域では漁具との干渉によるトップブイの流出が起きやすく、また測器の破損により長期間の欠測を余儀なくされることもしばしばで、黒潮統流域には現在はNOAAのKEOブイしか残っていない。近年ではセイルドローンやウェーブライダーを用いた海上気象観測も行われているが、暴風、高波および強流と悪条件が揃う中高緯度域での連続観測に適したプラットフォームとは現時点では言い難いところである。今後また大型の係留機器が必要になる可能性もあるかと思われるので、「みらいII」も「みらい」同様に係留作業で活躍することが期待される。

「みらい」によるTRITONブイ運用の舞台裏

石原靖久

「みらい」は、ひと航海で9観測点のTRITONブイの設置/回収ができる能力を持っている。実際のブイメンテナンス航海では、1観測点分の予備を持ってゆくため、ブイ整備・運用の現場では、10基分を準備して出荷・搭載することになる。「みらい」によるブイのメンテナンス航海が順次決まってくる中で、ブイの整備費用が漸次削減されてゆくなど、現場では、ブイ網維持が大きな課題だった。運



図10 「みらい」船上で整備中のTRITONブイ

用初期のTRITONブイは堅牢なシステムではあったが、運用面では課題を抱えていた。

まずハンドリング面では、TRITONブイは、緊張係留という係留索全体をピンッと張らせる係留方式を採用しているため、浮力の大きな洋上トップブイを必要とする（図10、11）。従ってブイのメンテナンス航海を行うには、「みらい」のような、大きなトップブイのハンドリング能力を有する船舶に限られていた。日本から遠いインド洋のブイ観測網が充実してゆく中、諸外国の船舶でもハンドリング可能なコンパクトなブイの導入が検討され、m-TRITONブイの開発が始まった。またTRITONブイの電気系統は、システム全体の消費電力が多いことも大きな課題だった。熱帯ブイ網という、最も太陽光の恩恵を受けられる場所に展開している観測システムであるにもかかわらず、パンダリズム被害が多発する地域における観測でもあるために、太陽電池を搭載することができない。こうしたことから、TRITONブイのような洋上における長期観測システムでの電源供給は、体積あたりのエネルギー密度が高いリチウム1次電池に頼らざるを得ないのだが、高価な消耗品であるため、運用コスト面では課題を抱えていた。こうした背景から、m-TRITONブイ開発着手（2004年頃）を契機に、電気系統の大幅な刷新に取り組み始めた。気象センサについては初代TRITONブイとセンサヘッドは同じで消費電力の低減が図られたJAMMET（JAMSTEC Meteorological Sensor）センサの導入（図12）や、これらのスケジュール動作を管理する低消費電力型データロガー（図13）、そして衛星データ通信を担う低電圧駆動型アルゴス衛星通信機（図14）といった、一連の電子機器の開発・導入が（2006年以降）進められ、リチウム1次電池の採用は継続するものの、電源系統の大幅な運用費低減を実現した。こうして、TRITONブイとm-TRITONブイで、順次搭載電子機器の共通化が図られ、TRITONブイの外観は、一見したところ変わっていないように見えるが、電気的には、中身はまったくの別物に置き換わること



図11 「みらい」AフレームクレーンとTRITONブイ

・ JAMSTEC Meteorological sensor system : JAMMET



図12 JAMMETと専用のデータ処理基板

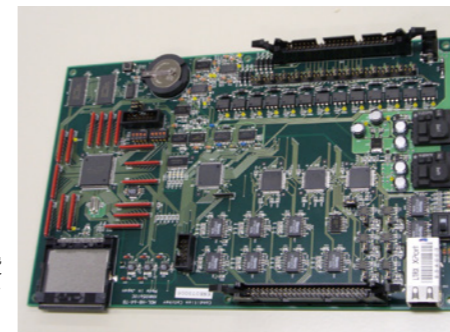


図13 低消費電力型データロガー

で運用費低減を図り、TRITONブイ網の維持を支えた。

またTRITONブイ18観測点を運用するために、500本近い水中センサ（シーバード製）が、運用開始時に導入された。これらのセンサは導入時期が近いことから、運用寿命を迎える頃には一斉置き換えが想定されるため、費用を抑えた国産センサの導入が検討された。そこでシーバード社と同性能のJAMSTECオリジナルCTDセンサ（JES-10）の開発に着手し、2013年より実用版の比較運用が開始された（図15）。当初TRITONブイの係留用として開発されたJES-10は、その後小型・低消費電力化が進められ、さらにプロファイル用も登場し、現在これらのラインアップは、JAMSTECベンチャー企業から商品化されている。さらにJES-10の開発に合わせて、オリジナルの高精度検定水槽の開発にも着手し、これについては、温度に関して国家標準とのトレーサブルも取得し、現在は国内ユーザが保有する水中センサの検定にも利用される技術として成長した。

これ以外にも「みらい」によるTRITONブイ網を支えるための多くの取り組みがなされ、運用のコストダウンは推進されたがブイ網維持は難しく、2021年6月、MR21-03航海でのブイ回収により、TRITONブイ網の運用は休止した。1998年3月の運用開始から「みらい」と共に歩んだ23年3カ月であった。

「みらい」によるTRITONブイ運用は休止したが、上述のようにこの間に開発された、様々な技術や、ブイ網代替技術として取り組んだウェーブライダーの整備・運用、小型多目的観測フロート開発などは、現在の観測技術研究開発グループの屋台骨の技術のひとつひとつとして、受け継がれている。

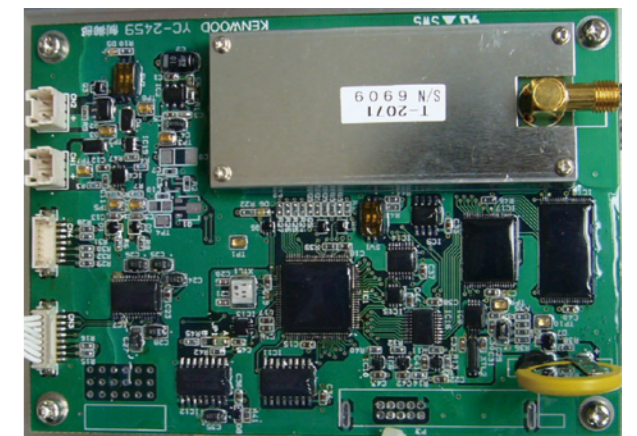


図14 低電圧駆動型アルゴス衛星通信機



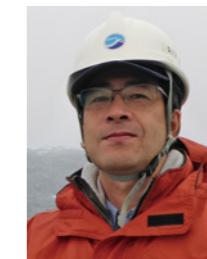
図15 JAMSTECオリジナル水中センサJES-10（IMタイプ）

こうして振り返ってみると、「牛に引かれて善光寺……」ではないが、「みらい」とTRITONブイ運用の舞台裏に関わることで、支援会社さんと共に、たゆまぬカイゼンと挑戦を積み重ね、多くの貴重で、得がたい体験を積み重ねてもらったことに、こころより、感謝とお礼を申し上げたい。最後に……

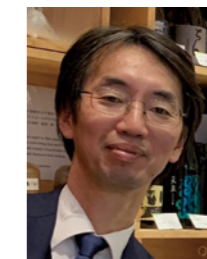
「みらい」ありがとう。そして、お疲れさまでした。



植木 巖
海洋研究開発機構
地球環境部門
大気海洋相互作用研究センター
海洋気候研究グループ
グループリーダー



川合義美
海洋研究開発機構
地球環境部門
海洋観測研究センター
全球海洋環境研究グループ
グループリーダー代理



石原靖久
海洋研究開発機構
技術研究開発部門
海空無人機技術開発センター
センター長代理

5 大気海洋相互作用観測

米山邦夫・勝俣昌己・横井 覚



はじめに

米山邦夫

本稿は、関係者の間では「大気海洋」とか「大気相互」などの略称で呼ばれた大気海洋相互作用に係る観測研究を行う航海において首席研究者を務めた者による航海の紹介である。当該航海では、船上の測器で計測できる範囲を超えた空間的に大規模な大気変動現象を観測対象にすることが多く、「みらい」を含む複数のプラットフォームからなる観測網を構築する必要性から、いくつかは国際集中観測プロジェクトという形態となった。そこで、個々の航海の研究成果やその取りまとめは論文などの別の機会に譲り、ここでは一連の国際プロジェクトが生まれた経緯と「みらい」の役割についてやや裏話に比重を置いて記し（担当：米山邦夫、YMCの項まで）、続けて近年の活動を振り返り（担当：横井覚）、また項を別立てにして当該航海で中核的な役割を果たしたドップラーレーダー（こう呼ぶかどうかは当該項を読んだ読者の判断にお任せしたい）について紹介する（担当：勝俣昌己）。なお、担当者間の書きぶりにはあえて調整を加えていないことをご承知願いたい。

Nauru99

「みらい」就航前から、もしかしたら国内の研究者よりもその活用が当てにされていたと思える出来事が、国際プロジェクトNauru99への参加である。就航を前に、搭載が決まっていたドップラーレーダーの運用に必要な知見習得を目的の1つに、ロッキー山脈の麓コロラド州にある米国大気研究センター（NCAR）に在外研究員として派遣され

ていた筆者が、NCARで指導を仰いでいたDavid Parsons博士から「ここにサインして」と頼まれ気軽に応じた書類が、米国エネルギー省（DOE）が赤道太平洋に浮かぶナウル島に観測サイトを展開する計画の開始に合わせて立案した集中観測Nauru99の実施要望書だった。

「全周が20kmにも満たないナウル島における気象観測データは、陸の影響のない海上のデータとして扱うことができるのか?」という素朴な疑問に回答することを目的の1つとして計画されたNauru99は、当初、同時期に就航予定の米国の観測船Ronald H. Brown（RHB）と豪州フリンダース大学所有のセスナ機を投入する比較観測として企画された。それが、常設装置としては世界初のCバンド・ドップラーレーダーを搭載する「みらい」の就航を知り、可搬型ではあるがドップラーレーダーの搭載を計画していたRHBとの間で同期観測もできる、という理由で強く参加を要請されたのである。最終的にDOE、米国海洋大気庁（NOAA）、そしてJAMSTECを代表機関として、ナウルの他、豪州、英国、ドイツからの研究者も参加する国際プロジェクトとなり、観測網を構築した（図1、2）。具体的な研究成果の紹介は割愛するが、日本国内では参加者による論文集が出版されたこと、主目的であった島の影響評価に関しては、風の向きによって影響を無視できない時があり、サイトが展開された西岸とは反対の東岸にもいくつかの測器を設置したこと、を記しておく。ここでは、この航海を通じて得られ、後の活動に影響を与えた事柄をいくつか紹介したい。

まずはプロジェクトの運営に関することである。複数の異なる国の研究者が集う今では当たり前の国際プロジェクトも、初めて行う時にはその進め方もわからず言われるがままに動いていた事実は否めない。研究目的の設定はよ

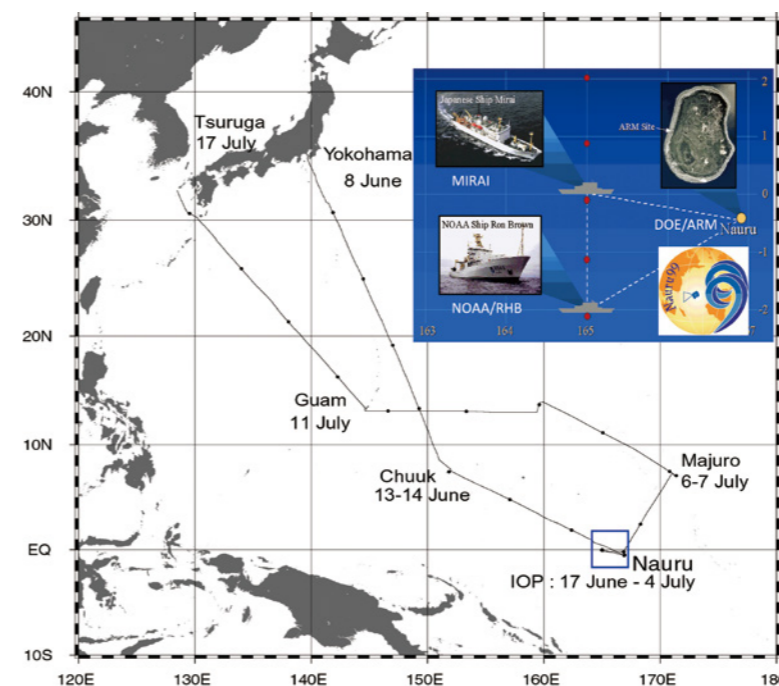


図2 ナウル島から見た「みらい」

図1 「みらい」MR99-K03の航跡とNauru99観測配置（右上部はNauru99計画書からの抜粋。右下はNauru99のロゴマーク）。3つの期間に区切り、島の横で比較観測、各プラットフォームが100kmほど離れて三角形とすることで熱水収支の観測、「みらい」とRHBとの同期観測、からなる3つのテーマを実施した。

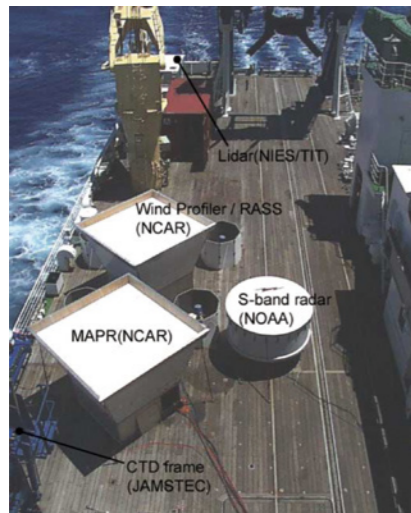


図3 デッキ上に展開した複数のリモートセンシング観測機材

いが、それに伴う観測機材の手配と運用形態の検討、運航スケジュールの調整、そして取得したデータの管理までを予め定める。観測終了後には進捗状況確認の会議開催や各種学会でのセッション主催など行うべきことは多い。

それらの中で、印象深いのは、1つは事務手続きに関する点で、電波法に基づく免許の取得である。全拠点で同じ観測を実現するために、「みらい」の広いデッキを活用し、米国の研究者がウィンドプロファイラーなど電波を発射する観測機材を持ち込んだ(図3)。日本船籍の船に外国の電波を発射する機材を搭載するためには日本の法律に基づく無線局の免許が必要である。これは承知していたが、当該機材は日本で搭載する際に、保税倉庫に保管される予定だったため、そのような制約下で取得できる手順を知らなかった。当時の郵政省に赴き事情を説明し、担当者から懇切丁寧な教示を受け、さらに当時の運航会社であるグローバルオーシャンディベロップメント(GODI)や輸入手続き業者、そして無線局申請代行業者らの迅速な行動により実現できた。この実績は、その後の「みらい」の観測の幅を広げることとなった。

さらにもう1つ、運営に関して印象深いのはデータ公開のルール決め、である。「みらい」は当初から、航海終了後2年(種類によっては3年)以内に補正済みデータの公開、という原則を有していた。データは取得した研究者が使うもの、その人がいなくなったらデータもなくなる、ということが当たり前の当時としては画期的だったと思う。さて、Nauru99のデータ公開のルールを作成するには、DOE、NOAA、JAMSTECの合意が必要だったが、DOEには全データに対して「取得後即公開」とする大原則があった。これには裏があり、彼らが公開するのは生データで、精度を問わないという前提がある。我々の主張する2年との乖離は当初容易に埋まらず、まだ若かった筆者は外国の研究者相手に挑むような今となっては恥ずかしい態度もとったが、3機関以外の仲裁者が入り、原則

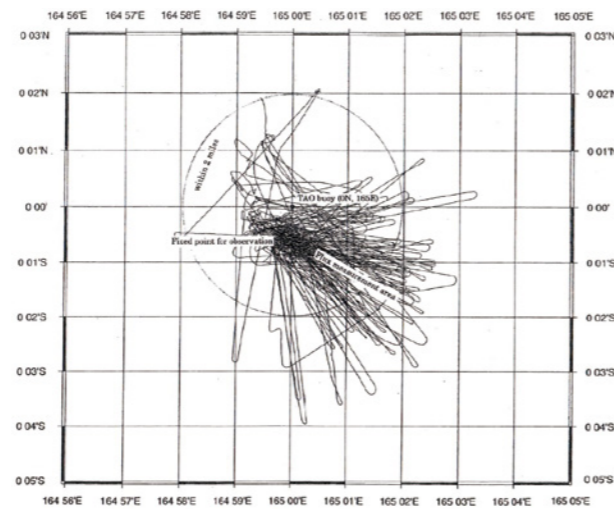


図4 Nauru99 (MR99-K03) 航海における定点観測期間中の航跡

は1年で補正済みデータの公開で落ち着いた。以後、本稿に登場する他の国際プロジェクトでもこのルールが基本となった。余談だが、こうして決めた1年ルールを忠実に守ったのは日本から参加した研究者だけだったことを付記しておく。

次は観測行為に関する点で、データの精度確保である。Nauru99の目的が島の影響評価であったことから、比較対象となる船の観測が正しく海上の状況を表現できていなければならない。船は鉄の塊であり、とすれば海の上の気温ではなく、太陽に熱せられた船の温度を測りかねない。全長が128.5mにもなる「みらい」の甲板の上を通過してきた風の温度は、どうしても海上のそれとは違う。そこで、定点観測を行う時にも、止まった状態で行うCTD観測時を除いて、風上に向かって微速で前進し、元の場所に戻るために風下に向かう場合はスピードを上げて相対的に風を受けることで、積雲1つ程度の2~3マイル以内を保持しつつ、船体影響を排除した。この操船方法は以後、大気海洋航海の定点観測の基本となる。ちなみに、クルーズレポートは研究者が下船段階でまとめる報告書であるが、Nauru99のクルーズレポートには赤嶺正治船長自らが運用に関する節を設けて執筆されている(図4はレポートに記載された定点観測中の船の航跡で、全く止まっていないことがよくわかる)。

他にも、例えば「みらい」にはラジオゾンデ観測を行う放球装置を内蔵したコンテナが搭載されている。乗船経験のある方は思い出すはずだが、このコンテナの側面にはいくつもの開閉式の穴がある。これは空調で冷やされ乾燥したコンテナ内から突然高温多湿な熱帯海上の空にゾンデが飛び出さないよう、換気するためである。換気ができているか観測のたびにポータブル温湿度計で確認を行った。また、放球後にゾンデが船体に当たらぬよう風と船首の向きに関係も入念に調べた。このような小さな工夫が、初期の航海を通して施され、引き継がれていくこと

になる。さらに、米国のブルックヘイブン国立研究所が持ち込んだ日射・放射計がその精度の高さから、その後、「みらい」の常設装置として導入されることになる。高精度なデータを取得するという行為は観測項目や航海を問わず観測の根幹であるが、こと気象観測については、当時日本郵船からGODIに出向していた羽入正樹氏、吉浦章貴氏が礎を築き、末吉惣一郎氏らをはじめとするGODI観測技術員が引き継ぎ、確立してゆく。

最後は悲しい出来事だが、あえて記しておきたい。Nauru99は観測を終え、多くの研究者はマーシャル諸島のマジュロで下船し、「みらい」は日本へと向かっていた。しかし、継続乗船していた学生さんがフォアマストの下段デッキに設置していた機材の保守作業を終えて戻ると梯子で足を滑らせ、甲板の上に落ちてしまう事故が発生した。船は陸上に連絡し、グアムに緊急入港する。幸い命に別条はなかったが、骨折して辛い時間を過ごすことを余儀なくされたことを申し訳なく思う。この事故を契機に、フォアマストの下段デッキまで階段が設置され、安全帯[※]の徹底と船員による作業場所での監視など安全対策が強化されていくことになる。また、被害にあわれた方が船内でただ一人の女性だったという事情もあり、乗船者の配員も意識するようになる。(※現在は法改正に伴いフルハーネス型墜落抑止器具の着用が必須となっている)

MISMO

Nauru99の航海以降、大気海洋相互作用の研究を行うべく実施された航海は、地球上で最も海面水温が高く“暖水プール”と呼ばれている西部熱帯太平洋の海域においてである。これは、当時設立されたばかりの地球観測フロンティア研究システムが同じく暖水プール域での観測のため同域のパラオ共和国に観測サイトを展開し、両者の協力により理解促進を狙ったものである。特に、2000年からの4年間は北緯2度/東経138度の海域にて定点観測を毎年1カ月程度、冬季に実施した。これは、マッデン・ジュリアン振動(MJO)と呼ばれる水平規模が数千kmの巨大雲群が、主にインド洋で発生し、赤道に沿って東進する現象の特徴を捉えることを目的としていた。30~60日かけて地球を周回する同現象は、熱帯の雨の降り方を支配するだけでなく、雲群の(ある領域は低圧場になっているので)移動とともに気圧配置を変化させるため、日本を含む全球の気象・気候にも影響を与えることが知られている現象である。そこで得られたデータを用いて論文にまとめて投稿したが、いくつかは不採用となった。その理由が、「いくら詳細に述べてもそれは一度発達した後のMJOについてであり、発生に関する知見は太平洋のデータからは得られない」というものであった。この経験をきっかけに計画立案されたのが、MISMO (Mirai Indian

Ocean cruise for the Study of the MJO-convection Onset: ミスモと発音)である。ちなみに、mismoはスペイン語の¡Ahora Mismo! (今こそ)の意味も込めて名付けている。

MJOは前述通り水平規模が数千kmにも及ぶ現象である。また、その周期性から季節よりも短いため季節内変動とも呼ばれるが、定期的には発生するわけではなく、「みらい」1隻では、せいぜいドップラーレーダーによる半径100km程度の範囲の観測が限界で、本当にMJOの発生を捉えられる保証もない。そこで、国際コミュニティに協力を呼びかけた。具体的には、CLIVAR (Climate and Ocean - Variability, Predictability, and Change) という国際プロジェクトの下に研究コミュニティの委員会があるので、その会合に出席して観測計画を紹介し、協力を求め、同時に国際プロジェクトとしての地位を宣伝するためのお墨付き(これをエンドースメントと呼ぶ)をもらえるよう働きかけた。さらにモルディブ共和国に赴き、現地気象局の協力を取り付けた。具体的には、ラジオゾンデ観測の強化や、日本からの観測機材を受け入れ、観測サイトを気象局本部のあるマレ空港の他に2つの島(ガン島とカッドゥー島)に設けること、などが可能となった。このような活動を経て、MISMOは国際プロジェクトとしての地位を確立し、日本国内の13機関に加え、モルディブ、インド、米国から6機関が参加して、2006年10月から12月にかけて集中観測が実現した(図5)。

「みらい」の観測海域と実施時期は過去の研究や人工衛星データなどを用いた予備解析から、最もMJO対流が発生しやすい場所として選定された。実際にはもう少し西の海域がよかったが、当時は海賊危険海域として入域制限があり、保険代も非常に高額になることから断念した。それでも、モルディブ諸島との間で観測網を構築することができたので——このように3点以上に観測サイトを設置すると、ラジオゾンデ観測などで得られる風や温度のデータから、雲の発生に必要な水蒸気量の収支を計算することができる——満を持しての観測であった。果たしてMJO対流はやってきた。しかし、人工衛星の雲画像からそれと思われた雲群は、非情にも「みらい」がインド洋へと向かうべくシンガポールを経て、マラッカ海峡を航行している時に発達しようとしていた。当時、非常勤職のグループリーダーとして指揮していた東京大学の高数縁教授からは16ノットで走る「みらい」に“現場に急げないのか?”と和む励ましも受けたが、現場海域に到達した頃には静穏な海域が待っていた。そして、1カ月に及ぶ定点観測がモルディブ諸島での陸上観測と連携して始まった。

ドップラーレーダーによる降水観測、ラジオゾンデによる大気場の測定、海上気象や海洋表層の連続モニタリング、CTDなどの主要観測項目に加えて、GPSを用いた水蒸気観測がスタートし、国立環境研究所のライダーや京

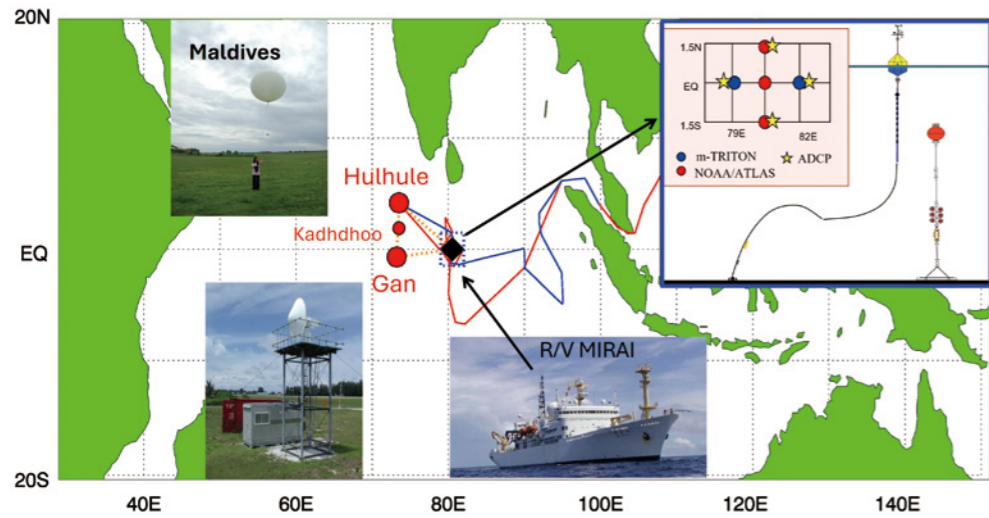


図5 MISO観測網。モルディブ諸島と「みらい」とで大気観測網を構築し、「みらい」の周囲にm-トライトンなどの係留系を展開して海洋観測網を構築した。ガン島には北海道大学低温科学研究所がドップラーレーダーを設置した。赤い実線はMR06-05レグ1、青はレグ2の航跡。

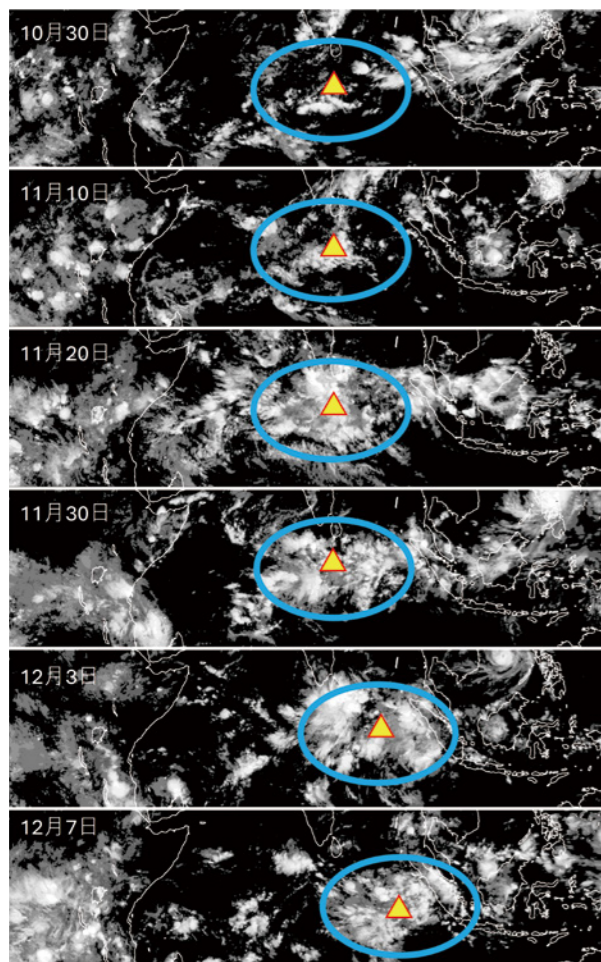


図6 MJO対流発達期の「みらい」の位置(三角)。青い円は注目しているMJO対流域を示す。



図7 MJO雲群を構成する雲

都大学のウィンドプロファイラー、富山大学のスカイラジオメーター、神戸大学・岡山大学による乱流フラックスなどの連続観測が航海を豊かなものにした。さらに、北海道大学によるオゾンや水蒸気の特種ゾンデ観測と山口大学によるビデオゾンデ観測が広いデッキを活用して実施された。この2種類のゾンデ観測は観測条件が対照的で、晴れを好む前者と雨が降っている時しかできない後者と、日々の天気に一喜一憂する毎日である。また、Argo型フロートを多数展開し、インド洋用に開発されたm-トライトンと中層ADCP係留系からなる「みらい」周辺の海洋観測網の周囲の観測も充実させた。この実現には、当時、地球環境観測研究センターを指揮していた杉ノ原伸夫博士の指導が大きかった。

こうして待ち構えていた結果、観測開始前に通過したと思われたMJO対流は、その後発達せず、改めてこのMISO期間中に発生するのを迎えた。しかし、実は船上で観測をしている時はその瞬間に立ち会っている実感がなかった。MISOのウェブサイト (<https://www.jamstec.go.jp/miso/>) には、当時の日報が残っている。その後の解析で11月16日を境に状況が変化し、雲群発生を確認できることがわかっているのだが、その日報によれば16日は“兆し”、17日は“大規模雲群”と、タイトルだけ見るとその変化を感じ取っているものの、翌18日は“晴れのち雨”というタイトルで、「みらい」上空で雨が降っていないためいくら人工衛星で雲群を確認しても、はしゃいでいる感じが感じられない。「みらい」がMJO対流の中にいた、と理解するのは下船後の解析と、特にレグ2航海のおかげである。

MISO航海(MR06-05)は2つのレグで構成されていた。レグ1は中部インド洋の赤道上で1か月の定点観測、レグ2はモルディブで人員を交代し、東部インド洋に展開していた係留系の交換のため、赤道に沿って東に航走する、という内容だった(図5)。そしてこの航走こそがあまりにできすぎた、事前には想像もしなかったMJO対

流とのランデブーである。つまり、レグ1中に「みらい」上空で発達した雲群は、その後東進を始め、その下を「みらい」もまた東に向かって進んでいた(図6)。MJOの雲群は積雲、積乱雲、層雲がいくつも重なり構成されているので、視界に入る雲の塊がすべてではない。しかし、写真(図7)にある雲は船上にいる研究者にMJO観測の実感を与えたに違いない(余談:筆者はレグ1で下船し、この貴重な機会を体験していない)。航海終了後に、得られたデータを解析することで、現場観測で初めてMJO対流の開始の瞬間に立ち会ったことを示した。レグ1の結果から雲群発達の前に水蒸気が下層・中層・上層と段階的に蓄積されていく様子を記述し、レグ2におけるレーダー観測を基にMJO対流の階層構造(東に進む1,000km規模の大規模雲群は100km規模の西に進む雲群で構成され、その雲群もいくつかの積雲対流を含んでいる)のからくりを解明する、などの成果を上げるようになった。

CINDY2011

MISOの実施とMJOを捉えたその事実は、「みらい」の活動を熱帯気象の研究コミュニティに知らせ、インパクトを与えたと自負している。それを証明するだけの研究成果が論文として着実に出版していた。その一方で、MISO終了直後からもう一度観測したいという思いが多く、研究者の中に芽生えていた。確かに季節内変動としての対流活動は捉えたが、MISOが終わった2006年12月により大きな雲群が発達し、そちらがMJO対流の本丸だ、と一部の研究者から指摘されたことや、解析を進める中で、MJO対流に対する赤道波動の影響を見積もる際に、三角形の観測網では過小評価してしまう成分があることを認識していたことなどが背景にある。そこで誰が見ても疑うことのないMJO対流を捉えるべく、再度インド洋での観測を計画した。それがCINDY2011 (Cooperative Indian Ocean experiment on intraseasonal variability in

the Year 2011)である。

MISO同様にCINDY2011を国際プロジェクトとして位置付けるために、国際機関や国際会議の場で働きかけを行った。しかしその反応はMISOの時に比べ明らかに違った。筆者の勝手な思い込みだが、MJOが現場観測の対象になりうることを欧米の研究者が認識し、次も指をくわえて見ているわけにはいかない、と立ち上がったに違いない。実際の理由はどうであれ、反響は大きく、結果、16の国と地域から69機関が参加し、船舶4隻、航空機2機、陸上サイトも西はケニアから東はパプアニューギニアのマヌス島まで、観測期間も2011年10月から2012年1月(一部の島では3月)までインド洋をカバーする観測網が実現することになる(図8)。なお、MISOを多くの米国の研究者は「ズ」モと呼んだ。そこでポストMISOの立案を所内メンバーで話した時に、米国からの参加を促すために彼らの発音しやすい用語がいいのでは?と話題になった。それもありCINDY(シンディ)という名前にした。ところが、ヨーロッパなどの研究者はシンディと呼んで参加してきたが、米国だけは他国が企画立案した計画に参加する形では大型予算がとりづらい事情なのか、米国独自のプロジェクトDYNAMO (Dynamics of the MJO) を立ち上げ、見かけ上両者が協力する体制とした(その後、米国からは他のプロジェクトも加わった)。

2011年10月から翌年1月までの集中観測期間中に、3つのMJOイベントを観測することに成功した。かつてないインド洋における膨大かつ精密なデータセットはその後、2025年4月現在で300篇もの論文を生み出すことになる。この論文数だけでもCINDY2011は大成功だとわかる。例えば、MJOは水蒸気量に依存し、その量や変動を決めている過程に規定され、水蒸気を含まない赤道波動にはよらないとする“水蒸気モード”という考え方が現在のMJO理論研究の主流だが、それを支えている1つがCINDY2011のデータである。また、MJO再現モデルの

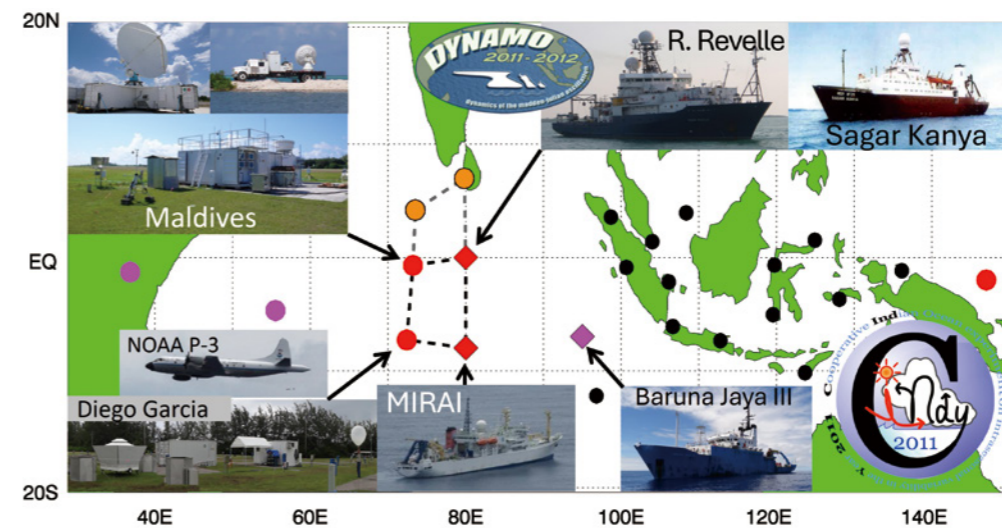


図8 CINDY2011観測網。菱形は船舶サイト、丸印(黒以外)は陸上強化サイト、黒丸は現業ラジオゾンデデータ提供サイト、をそれぞれ表す。CINDY2011とDYNAMOのロゴマークも表示。



図9 CINDY2011航海 (MR11-07) のレグ1 (左) とレグ2 (右) 終了時の記念撮影

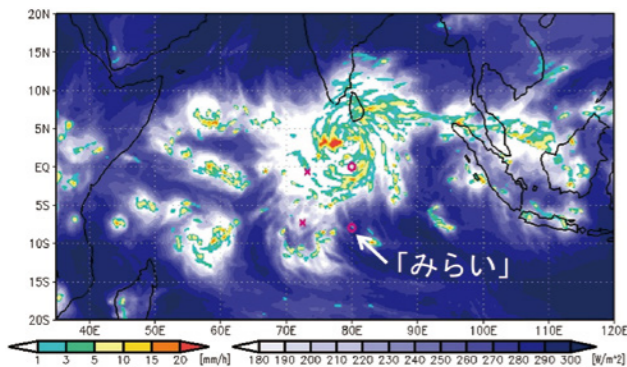


図10 CINDY2011のウェブサイト (<https://www.jamstec.go.jp/cindy/>) で試験的に配信された数値モデルNICAMによるMJO対流の発達予測例。赤丸2つのうち北側が米国の観測船、南側が「みらい」。

検証実験でも、しばしばCINDY2011の現場データが基準として使用されている。ただ観測当時の「みらい」船上では、人工衛星の画像で赤道付近に発達する雲を眺めながら、四角形の観測網の一角である南緯8度/東経80.5度の海域でその実感のないままに2カ月間を過ごしていた。そんな船内にあって活気を保って無事2つのレグを終え記念撮影 (図9) に収まることができたのは、1つには那須野智江氏をリーダーとする数値モデル班による準リアルタイムの計算結果の配信 (図10) から順調な様子を確認できたこと、さらに船内では乗船研究者持ち回りでセミナーを開催し、様々な研究テーマや発表者の個性に触れる機会があったこと、などのおかげであろう。

YMC

何の変哲もない1枚の写真 (図11)。しかし、簡単には手に入らない。

CINDY2011の観測が終了し、その解析結果が多く出始めていた2013年7月、スイスの山の中、世界経済フォーラムの年次総会の会場として有名なダボスで開催された国際会議の最中に、Years of the Maritime Continent (略してYMC、日本語では海大陸研究強化年プロジェクト

と称する) のアイデアが生まれた。同地の会議にはCINDY2011関係者が多数参加し、成果を披露する一方で、こんな会話が出た。CINDY2011には多くの国から参加があったが、インドネシアの気象・気候・地球物理庁 (BMKG) が参加し、高解像度の生データを提供してくれたことは、特にDYNAMOを率いたChidong Zhang博士ら米国の研究者には新鮮な出来事だった。そこで、この友好関係の機運があるうちに、日頃データ収集が難しいインドネシアを含む、海大陸と呼ばれる地域で観測キャンペーンを実施したい、と。海と島が混在し、太陽の日周期に同期して発生する沿岸降水や、MJO対流が通過時に変調し約3分の1は消滅してしまう同域の雨の振る舞いは解明されていないという科学的動機だけでなく、同域の積雲対流活動が地球上の大気大循環の駆動源であるため、中高緯度の天気予報の精度にまで影響を与えることから、現業的にも同域の気象・気候メカニズムの理解は渴望されている。チーズフォンデュを囲みながら米国やフランスの研究者と盛り上がったのが、きっかけである。当時、BMKGのAndi Eka Sakya長官が世界気象機関で地域代表を務めるなど国際活動に積極的で、かつ強いリーダーシップを発揮していたことが後押しした。CINDY2011で

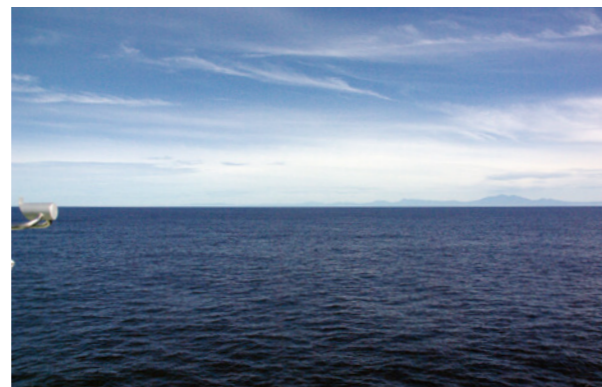


図11 「みらい」からスマトラ島西岸の町ブンクルを臨む。海岸線からは約60km離れているが、「みらい」より遠方に別の島があるため、定点観測地はインドネシア領海内である。

築いたネットワークを活用して海大陸域の国々の気象局に連絡を取り、現地に説明に出かけて協力を取り付けた。現業機関を巻き込むため、世界気象機関・世界天気研究計画からエンドースメントを受け、売り込んだ。ただし、国際機関との調整は、本稿で記述してきた通り、経験値も高くなり、横のつながりもできていたことから、実はそれほど問題ではなかった。最大の難関は、ターゲットの1つである日周期の降水現象を捉えるために沿岸での観測を実現できるかどうか、ということだった。「みらい」における大気海洋航海はそれまで、ナウル政府が全面支援をしてくれたNauru99を除き、陸上の影響のない大海原で観測することを使命と心得て観測を実施してきた。船を他国の沿岸に持ち込み観測を行うことは想像以上に難しい。排他的経済水域における観測許可取得はもちろん、相手の領海での観測ともなるとクリアすべき国内法もある。ダボスで議論が沸いたのも、通常は難しいが、今なら沿岸国の協力が得られる時だ、と思えた点にある。

複数の研究ターゲットに対応するため、YMCの観測期間は2017年7月から2年間とした。期間中に現地機関と協力して複数の集中観測を行い、同時に現地機関は現業データも提供する、という従来と異なる形態だ。ただし、その後、多くの国で手続きや予算確保に時間を要し、さらにコロナ禍も加わり観測期間は2022年まで延長され、YMCそのものは2025年までとなる。我々は、日周期降水とMJOをターゲットにインドネシア・スマトラ島西岸沖で、北進する夏季季節内振動 (詳しくは次項BSISO) をターゲットにフィリピンとパラオの周辺海域で、それぞれ観測を行う計画を立てた。前者は2015年と2017年、後者は当初は2018年だけだったが、期間延長に伴い2020年と2021年にも行うことになった。YMC開始よりも前の2015年の実施は、表向きは2017年で得られるデータとの比較のためと称したが、その実は観測実現の事務的な交渉や手続きを経験することが目的で、Pre-YMCと呼んで次につながることを意識した行動だった。

YMCとは「交渉」の一語に尽きた。インドネシアやフィリピン、マレーシア、シンガポールなどへ赴き、現地気象局や研究機関へ説明をしまわった。特に領海内での観測を予定したインドネシアには複数のアプローチが必要だった。ターゲットとする沿岸降水を「みらい」と陸上の2カ所で観測することを計画したため、観測場所の選定から始まる。沿岸降水を捉えやすい候補地は予備研究でいくつか挙がったが、観測ができる環境にあるかどうかはわからない。インドネシアでの観測経験豊富な森修一氏がリーダーとなり現地を訪れたが、BMKGに加え、長年の付き合いがあるインドネシア技術評価応用庁 (BPPT、現在は国家研究革新庁: BRIN) のFadli Syamsudin博士、Reni Sulistyowati博士らによる協力が交渉を可能とした。スムーズな観測には法的な手続きだけでなく、地元

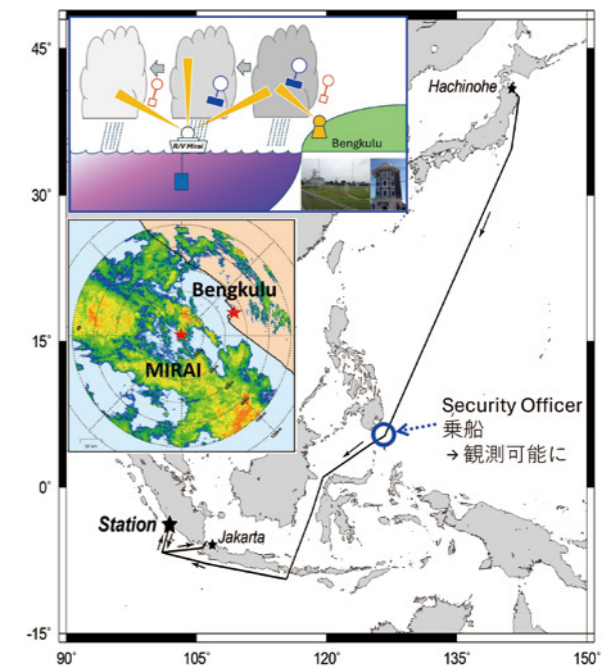


図12 Pre-YMC (MR15-04)の航跡と沿岸降水観測戦略の模式図

の理解を得る必要があると認識し、かつてインドネシアに数年間滞在したこともある山中大学氏 (現 神戸大学名誉教授) とともに観測サイトとなったブンクルで州政府に対して説明会を開き、プレス発表にも対応した。そして観測実施の許可取得には、在インドネシア日本大使館による全面支援があった。この協力を得るために、JAMSTECの事務方も現地に飛び、また日頃から大使館に情報提供を行い、信頼を得るための努力を惜しまなかった。

図11は、そうして実現した結果の1枚である。「みらい」が八戸を出港する当日に許可が届き、インドネシアの海域に入る時にセキュリティオフィサーが乗船し、たどり着いた先がスマトラ島西岸の町ブンクルの沖合である (図12)。そして、大気海洋航海としてはかつてない雨を観測した。例えば、ブンクルの気象台に設けた観測サイトで雨の発達に合わせて、山口大学の鈴木賢士教授のグループによるビデオゾンデ観測が行われ (図13)、同じ雨雲を「みらい」搭載のレーダーが観測する (図14)、という同期観測が実現した。

このPre-YMCと称したキャンペーンの経験は2017年の航海に引き継がれ、日周期降水やMJO変調に関する研究成果創出へとつながった。コロナ禍の影響などもあり、その後他国が計画していた沿岸でのいくつかの観測が中止に追い込まれた事実を踏まえると、もちろんそこには我々現場レベルで対応できる範囲を超えた国と国の関係など複雑な要素も絡んでいるとはいえ、「みらい」航海の意義が際立つ。YMCのウェブサイト (<https://www.jamstec.go.jp/ymc/>) を通じてデータは公開され、自らは実施できなかった他国の研究者にも利用され、「みらい」航海が国際プロジェクトを主導した一端を示している。



図13 雨が降るブunkerにてビデオゾンデの放球

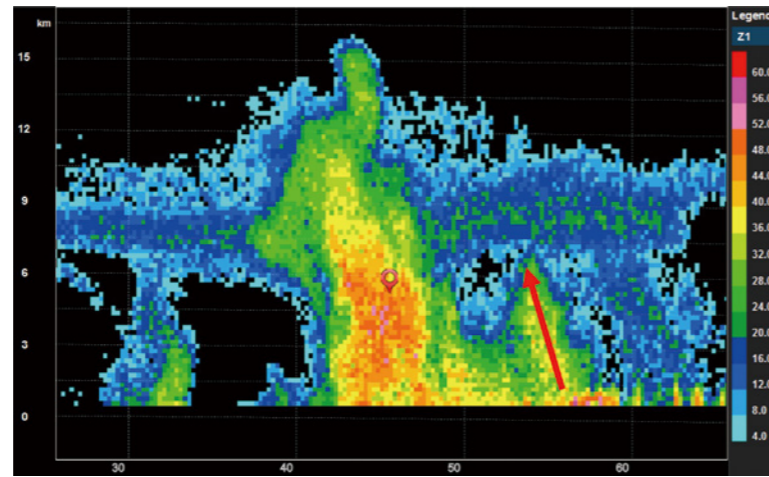


図14 ドップラーレーダーで観測した降水雲からの反射強度の鉛直断面図。赤い矢印はブunkerにて放球したビデオゾンデのおおよその飛揚経路。

BSISO

横井 覚

近年は、熱帯季節内振動の中でも夏季に西太平洋熱帯域で見られる「夏季季節内振動 (BSISO)」の解明に力を入れ、2020年と2024年にそれぞれ約1カ月の定点観測を行った (MR20-E01、MR24-04航海)。

BSISOは、差し渡し数千kmにも及ぶ帯状の地域で活発な積乱雲活動が見られる現象で、その帯は赤道域から北緯20度付近までゆっくり北上する。この帯の付近では台風が通常より頻繁に発生したり、帯の北上に伴って梅雨前線も北上する傾向があったりと、BSISOは日本にも多大な影響を及ぼす。しかし、BSISOがなぜ発生し北上するのか、などのメカニズムについてはまだ不明な点が多い。それらの解明に向けて必要となる高頻度・高精度で詳細な大気海洋のデータを取得するため、航海を行ったのである。

2回の航海では、新しい試みとして自律航行型海上艇 (USV) などを用いた面的観測を行った。USVの一種であるウェーブライダーや機構が長年開発してきたm-トライトンブイを「みらい」の周辺に配置し (図15)、気象レーダーと組み合わせることで、数十kmという細かい空間スケールでの海洋表層や大気境界層の水平構造と上空の降水活動の関係を捉えることができた。

狙った現象を毎回捉えられるとは限らないのが観測の醍醐味の1つである。何度も何度も観測に行きたくなる原因かもしれない。MR24-04航海では、前半から中盤にかけては好天が続き、今回は空振りかもしれない、と頭が痺れるほどの焦燥感に駆られていた。それが、ついに後半のある日、夜が明けると全天が分厚い雲に覆われ風向きも大きく変わっていた。BSISOが到来したのだ！ 私たち研究者はみな歓喜し、風雨を体感しようと雨しぶきで煙るレドーム下に集まるほどだった。

さて、私が「みらい」航海に初めて乗船したのは2013

図15 MR20-E01航海の定点観測におけるウェーブライダー3台とm-トライトンブイの配置図。気象レーダーの観測範囲に正方形に近い形で配置した。

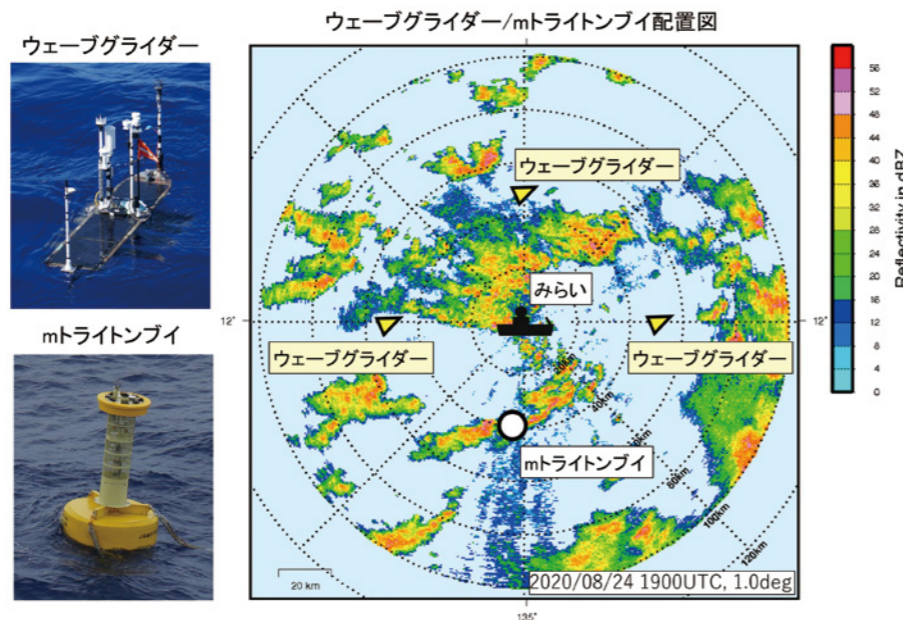


図16 ラジオゾンデ放球の瞬間

年だったが、既に観測の手順がとても洗練されていることに感服したのを覚えている。例えばラジオゾンデ観測 (図16) では、気球放球時の好ましい相対風の条件の把握やそのような風を作るための操船、できるだけ低い高度から良好なデータを取得するための工夫など、高品質の観測データを確実に取得するためのノウハウが随所にあった。ここまでの体制を作り上げるには多くの時間と労力が必要だっただろうと思い、観測のエキスパートとしての熱意や責任感を持った先達の方々に、尊敬と感謝の念を自然と抱いたものである。

やや余談だが、ラジオゾンデ観測の工夫に関連して、船員さんに作っていただいたという道具について紹介したい。その道具は、ヘリウムを入れすぎて気球が放球塔内で詰まってしまった際に、気球にダメージを与えず押し出すためのもので、通称として私の先輩研究者の名前を冠している。常に攻めの姿勢で有名なその先輩が、2000年代の航海で何度も何度も気球を詰まらせては手近にあったホウキで突っついて気球を押し出していたところ、見かねたのか船員さんがこの道具を作ってくれたらしい。MR20-E01航海には先輩が指導している学生が乗船した

が、この道具の逸話を伝え聞いていたらしく、「これがあの有名な……」と、手に持って記念写真を撮っていた。長い歴史を持ち、多くの方々が並々ならぬ熱意を持って乗り込んできた船には、このような世代を超えて伝わる逸話がよく似合う、と思った。

Radar

勝俣昌己

「みらい」の外観で最も目を惹くものの1つが、船体中央部のレドームであろう (図17)。皆様よくご存知のように、これはいわゆる「ドップラーレーダー」のアンテナのカバーであり、中にはレーダーのパラボラアンテナが格納されている。ここで「いわゆる」と書いたのは、「みらい」就航時に設置されたレーダーの機能を冠した「ドップラーレーダー」という呼び名が、2014年の更新後も通り名として使われているからである。更新時に追加された「二重偏波観測」機能を持つレーダーは世間一般では「偏波レーダー」と称される。「みらい」の偏波レーダーは国際的にはMPOLという名前でも通しているの、この機に (今更ながら) 宣伝しておく。POLはpolarimetricつまり偏波レーダーの略として多用される。MはMiraiかつMarineの頭文字である (私の名前ではない、念のため)。世界に3台の船舶搭載型偏波レーダーの略称をSEA-POL (米)、OceanPOL (豪)、M (arine) POL (日)、で対にしたつもりである。ただ本稿はPOLではない初代も含めた話であり、皆様に馴染みの深い通称または単に「レーダー」と呼びたいと思う。

「みらい」のレーダーを簡単におさらいすると、アンテナからマイクロ波を発射し、それを降水粒子 (雨粒や雪片など) が反射した信号を受信する機材である。受信電波の強弱や位相から降水粒子の量・形状・動きに関する情報



図17 レドームとアンテナ
左上：初代 (MR13-03航海時に撮影)
左下：2代目 (MR24-04航海時に撮影)
右：更新工事時、設置済みのパラボラアンテナにレドームを被せる直前 (2014年5月撮影)

が得られる。アンテナの方向を変えつつ、送受信の時間差で距離を同定することで、図12や図14のような降水雲の分布や内部構造の「空間分布」が数分ごとに得られるのがレーダーの大きな特徴であり（他の船舶搭載センサのデータは大概「点」か「鉛直分布」）、面白さがある。

そんなレーダーを「みらい」に搭載すべく奮闘した就航当時の皆様が大変な苦勞をされたことは、就航後の入所である私は聞き及ぶのみである。一方で2014年の更新時（図17参照）には機能追加やメーカーの変更もあり、同様の苦勞を覚悟したのだが、一度計画が動き出した後はトラブルらしいトラブルはほとんどなかった（私の見えない場所での皆様のご尽力を推察する）。いずれのタイミングでも、そして観測運用においても、現場作業に携わった方々、またそのための予算確保や事務作業に携わった方々、そんな多くの皆様のご尽力で「ドップラーレーダー」は2代にわたって「みらい」就航から退役まで観測を全うできた。特に旧GODIの観測技術員各位には初代機の運用体制の立ち上げから現行機への更新まで細部にわたり対応していただいた。いちユーザーとして、皆様に深く感謝申し上げる。

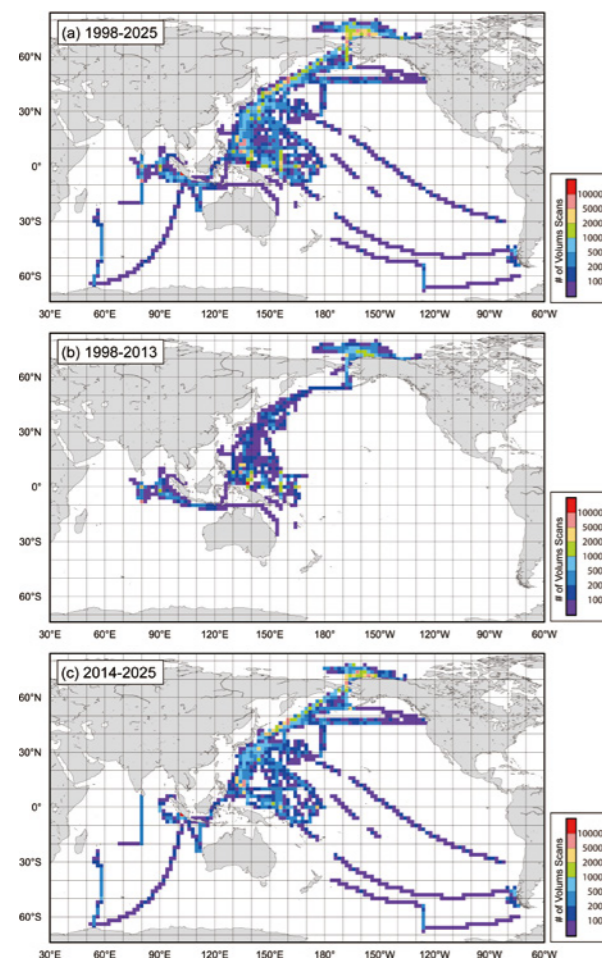


図18 27年間のレーダー観測データの分布。緯度経度2度グリッドごとのボリュームスキャン観測回数にて示す。(a)「みらい」就航全期間、(b)初代(1998～2013年)、(c)更新後(2014～2025年)。

さて「ドップラーレーダー」は多くの航海で観測稼働したが、ここでは自身が乗船した中でいくつか印象に残っている航海を紹介したい。

まずはMR99-K03航海。国際プロジェクトNauru99の一環としてレーダーなどの大気観測を主眼に置いた初の「みらい」研究航海であり、また私自身の初めての乗船でもあった。レーダー観測従事を望み入所した私は初回航海に大きな期待を持って臨んだが、果たして観測期間を通してほとんど雨は降らず、レーダーは開店休業状態。一方で他の観測データからは晴天下の状況を対象とした多くの成果が輩出された。この記憶はインパクトが強く、どんな状況でも成功と言えるような観測計画を立てるべし、という強い教訓（と心の傷）になった。なお心の傷は、翌年のMR00-K04（初夏の西太平洋の熱帯収束帯で組織化した雨雲を観測）、MR00-K07（西太平洋赤道近くでMJOに伴う雨雲の後半部を観測）と、レーダーに好適な雨雲を捉え、徐々に払拭されている。

その翌年のMR01-K05が、私自身としては最も印象に残る航海である。1カ月にわたる西太平洋赤道近くでの定点観測で、晴天期から始まり、半ばには竜巻を捉え、最後の3分の1ではMJO対流活発期が到来、という現象面での幸運に恵まれた。実はMJO到来と同時にレーダーに問題が発生したのだが、観測技術員の皆様とともに昼夜を徹してデータ処理や米国・日本のメーカーとの連絡などの対応を続け、何とか観測データを確保できたのは幸いであった。その（本業だけでも忙しいはずの）同時期に、近隣のトライトンブイに設置していたオプション雨量計の回収作業の調整実行や（おかげでプライダーになれた）、船上でのレクリエーション（やりすぎとの悪名?高い「運動会」他）の企画実行、を並行して行えたのは、若さ故（私のみならず他の乗船者の皆様も、年齢的にも「みらい」で積み重ねた年数としても）であろうか（ただし過ちだとは思っていない）。

成果として群を抜いているのはMR11-07、国際プロジェクトCINDY2011の航海であろう。30日弱の定点観測を2レグ連続して南緯8度で行い、他の船や島とともに観測網の一角をなした。レグ1の前半こそ、インド洋南半球側の熱帯収束帯がもたらす連日の強雨のデータに「この観測はイケる……!」と思ったものの、レグ1中盤からレグ2最終盤までは派手な降雨はサッパリで、首席としては強弁していたが雨雲屋としては内心落胆していた。しかし赤道に陣取った米国研究船のレーダーは全く異なる雨雲の変動を捉えており、両者の組み合わせでMJOの南北構造を明らかにできたのは、国際プロジェクトとして「してやったり」であった。

とはいえ自船で派手な雨雲を捉えたいという欲求は残る。これをスッキリと果たせたのは、更新された偏波レーダーを備えスマトラ沖で定点観測を実施したMR15-04

（プロジェクトPre-YMCの一環）であった。毎日沖合へ伝播していく、これまで海上では見たこともないほど強く背が高い雨雲、そして後半に到来したMJO対流活発期の動きも形態も全く異なる雨雲、という観測対象は首席としてもいち雨雲屋としてもただただ面白く、それを捉える観測も、レーダー単体はもちろんのこと、降水粒子形状を撮影するビデオゾンデや衛星降雨レーダーGPM/DPRとの同期観測、水蒸気計測機能を増設したライダー観測、などで充実したデータを残すことができた。降水現象としての派手さ楽しさはMR15-04が歴代航海随一だと思う。次点がMR13-03、MR20-E01、MR24-04で捉えた台風の卵とも思われる派手な雨雲だろうか。

一方で、派手、という以前に雨雲そのものが捉えられなかった航海も多々ある。赤道で定点観測を行ったMR25-01では南北の熱帯収束帯の狭間で期間内全く降雨なし。MR02-K06では衛星や客観解析からはMJOは上空を通過中のはずなのに定点付近には組織的な雨雲は見当たらず。そして上述のMR99-K03……。しかしそれらも「雨なし」という重要な証拠だ。

これらの積み重ねられたデータをさらに活かしていくべく、今もデータの品質管理改良や新たなパラメータ算出への作業が続いている。広大な海域で27年間、6万2000時間あまりのデータ（図18）は、携わった多くの方々の尽力の結晶であり、今後も生き続けるであろう。その一助としてもう少し私も注力していく所存だ。

最後に、大気海洋航海でのレーダー装置周りについて触れておきたい。これら航海の乗船者は多くが（多少なりとも）雲や空に興味があり、レーダーのデータや外の状況を確認すべく自然と人が船体上部（レーダー室やアンテナ架台など）に集まるが多かった（図19）。その人の集まりを目当てに来る方や、観測の待ち時間の方も含め、賑やかな船体上部は、大気海洋航海の大きな特色（と楽しみ）であった。27年間、そこに集い語り合った記憶は、乗船された皆様にとってデータに勝るとも劣らない大きな成果ではないか、と私は思っている。



図19 レーダー室やアンテナ近傍に集う乗船者たち。左上：MR24-04、右上・右下：MR02-K06、左下：MR11-07にて。

おわりに

米山邦夫

本稿は、冒頭で記した通り、大気海洋航海の首席研究者を務めた者だけで執筆した。このため内容に偏りがあることは否めない。そして、首席を務めた後に琉球大学に転出された山田広幸教授が鬼籍に入れられ執筆をお願いできなかったことは残念で言葉もない。ただ彼もまた首席として西部熱帯太平洋の海原で「みらい」を自在に走らせ、観測と船内生活を謳歌した一人であり、もう1つの偏りが増えただろうと想像して欲しい。

このように、各自の主観とならざるを得ず、大気海洋航海を総括することは難しいし、できない。そこで、いくつかのキーワードを記して、終わりたい。

1つ目は2000年代初頭を表現するキーワードとして「紙相撲」を挙げたい。「?」マークが多くの方に付くことだろう。我々の主要な観測項目にラジオゾンデがあるが、一昔前は固い紙と合板で梱包されており、観測のたびにこれらがゴミとなった。この紙と板を再利用したエコな企画が昼食休憩時間に開いた紙相撲大会だった。船員さんが板とロープの切れ端と紙やすりで土俵を作ってくれた（図20）。乗船研究者や観測技術員、船長をはじめ船員さんも、胸ポケットに2～3体を忍ばせていた。大気海洋航海ではその大半が定点観測だったと記した。ドップラーレーダーなどの連続観測に加え、3時間に1度の頻度でラジオゾンデやCTD観測を行い、その作業が1カ月近くも続く。実は筆者はJAMSTECに入り、乗船するようになってまもなく長期航海の後半に単調さから判断が鈍くなり、重大事故につながった経験をしている。その時のトラウマか、単調さから来る不注意に伴うリスクを軽減させるイベントをしたい、と考えたのがきっかけである。その第1回はいくつもの企画を盛り込んだ親善大会として、業務外にもかかわらず観測技術員の多大なる協力を得て実現したが、2回目からは自重し、紙相撲が残った。その効果のほどは不明だが、乗船者の協調性や融和に一役買ったはずだ。



図20 大阪場所

言い換えると、こんなことで盛り上がるほど、朝陽と夕陽を眺めることを除けばモノトーンな時間が流れていたのが大気海洋航海だったのだろう（図21）。やがてゾンドの収納形態が変わり、必要としたゴミが出なくなったこともありこの企画は消えてゆく。

2つ目は「感想文」である。クルーズレポートの正式版には掲載せず、乗船者だけに配布するクルーズレポートの付録である。もともと係留系の展開を行う熱帯航海に端を発し、その伝統を大気海洋航海でも受け継いだ。基本は当該航海に初めて参加する人をお願いした。観測技術員や研究者や学生さん、もちろんJAMSTEC職員も同様である。多くの方が、乗船前の思いと下船を前にした感情の違いを自分の言葉で述べているのが印象的である。食事の良さに感激する学生さんは多く、ワッチの関係でベッドと食堂と分析室だけをローテーションしている観測技術員が人間らしい生活を取り戻すべく甲板に出て空を見上げることを楽しむ様まで、同じ船に乗った仲間だからこそ共有できる文字が並ぶ。今回の「みらい」退役をどこかで聞いた時、それぞれの「みらい」航海を思い出す時、各人が記した感想文当時から今の違いに思いを馳せることだろう。その数だけ大気海洋航海がある。

そして最後に挙げるのは「西風」。前述の感想文だが、筆者は乗船回数も多く、基準で言えば書く義務はない。しかし、何度も書いている。いつの航海か思い出せず、本当に書いたかどうか定かではないのだけれど、西風に言及したことがある（はずである）。大気海洋航海の目的を簡単に言えば「雨の観測」である。そして、多くの航海ではMJOと呼ばれる雨と西風を伴う現象をターゲットにし、雨の降る時間に比べ降らない時間が長い特徴を有した現象であった。そのために1カ月間、淡々と観測を続ける日々こそがこの航海だった。晴れた日の挨拶に「よい天気ですね」とは言いづらい空気が漂う時もあったに違いない。実際、挨拶から天気に関する話題が消えたりする。そんな中、雨を待つ研究者に対して、「雨が降らないですね」とか「いつ雨が降りますかね」とは言わず、「早く西風が吹かないですかね」と話しかけてくる船員さんがいる船は、世界広しといえど「みらい」だけであり、ここに「みらい」を誇る理由が詰まっている。



図21 空を映す海。いずれも MISMO 航海中の2006年11月2日撮影。



米山邦夫
海洋研究開発機構
地球環境部門
大気海洋相互作用研究センター
センター長



勝俣昌己
海洋研究開発機構
地球環境部門
大気海洋相互作用研究センター
海洋気候研究グループ
グループリーダー代理



横井 覚
海洋研究開発機構
地球環境部門
大気海洋相互作用研究センター
海上気象研究グループ
グループリーダー



第2章

その他課題の研究航海

みらいがつなぐ

マゼラン海峡へ向けパタゴニア水道を航行する「みらい」。MR03-K04航海（南半球周航観測航海 BEAGLE2003）Leg 3。

1 固体地球観測

阿部なつ江

固体地球分野では、「みらい」によって得られた高精細な地形データが、グローバル地形モデル作成や地磁気異常・プレート運動モデルの構築に大きく貢献してきた。特に荒天域における調査（例えば、日本海溝・千島海溝や、南大洋やチリ沖三重会合点付近など）が重要な役割を果たした。チリ沖三重会合点では、地形・地磁気・重力データを取得し、海嶺沈み込み現象の観測に成功し、また2011年東北地方太平洋沖地震の前後の地殻変動の検出にも貢献した。さらに、日本から離れた海域（フランス領ポリネシアやオントンジャワ海台など）における海台形成・マントルブルーム調査などを実施し、グローバルに固体地球分野の研究に大きく貢献してきた。

このように「みらい」では様々な項目の調査が行われてきたわけだが、ここでは私個人の経験としての「みらい」初の固体地球主要課題航海であるチリ沖三重会合点および南太平洋におけるMR08-06 Leg 1を中心にお話したい。

MR08-06航海は、SORA2009 (South Pacific Ocean Research Activity 2009) として、原田尚美さん（現 東京大学）、村田昌彦さんと共に提案し、採択・実施された太平洋横断チリ往復航海である。固体地球主要課題航海であるLeg 1は2009年1月から3月にかけて実施された。タヒチ周辺におけるマントルブルーム観測のための広帯域海底地震計および海底電位差磁力計の設置、南緯40度付近のデータ空白域における長尺ピストンコア(PC)による堆積物採取とシングルチャンネル音波探査装置(SCS)



図1 雪の降りしきる関根浜出港時。岸壁の先端まで見送っていた。

による海底構造探査、チリ南部タイタオ半島沖における海嶺沈み込み三重会合点でのドレッジャーによる岩石採取とPCおよび海底地震計(OBS)設置とSCS反射法探査を行い、さらに航走地球物理観測(海底地形・重磁力探査)を実施した。

なにしろ「みらい」航海において主要課題が固体地球分野というのは初めてであり、私自身も初めての「みらい」乗船、首席は他船含めて2回目というほぼ初心者だったため、勝手がわからず、関係者の皆様に多大なるご支援・ご協力をいただきながらなんとか成功にこぎ着けられた航海だった。課題採択からスケジュールされるまでの間にもゴタゴタしたが、さらに2008年の原油高騰で急遽3カ月ほど出港を後ろ倒しにするスケジュール変更と、とにかく実施までの期間も目まぐるしく状況が変わる日々を送っていた。

2009年1月。関根浜での「みらい」積み込みのため、横須賀本部にてトラック3台の荷物を送り出した足で東北新幹線に乗車した。八戸に到着するころには日が暮れ、次第に雪深く、降雪も激しくなっていく車窓を眺めながら下北駅に到着。翌朝タクシーでむつ研に向かう道中、さらに積雪が増し、心細さを感じたりもした。関根浜からの出港は、激しい降雪のため雪かきなどを行い1時間ほど遅れたが、降りしきる雪の中で大勢の皆さんが岸壁の端の方まで手を振りながら追いかけて見送ってくださった光景は一生忘れない(図1)。さらに八戸でOBSなどを積み込み、外変して発港。そこから3週間、タヒチまでは航走観測のみを実施し、タヒチのパペーテに寄港して、チリとブラジルの共同研究者2名と学生4名を含むLeg 1bの乗船者を迎えて、いよいよ40日間の固体地球観測を開始した。パペーテでは、現地の大学の共同研究者との会合に加え、たまたま岸壁の隣に着岸していたアメリカ・ウッズホールにある海洋学校の訓練帆船との相互見学などの国際交流ができた。

タヒチ周辺海域での海底測器設置は、青い海、青い空、白い雲に象徴される赤道域のいわゆる“南の島”の好天に恵まれ、計画通りに実施できた。その海域を離れて南東へ進むにつれて、海も空も青味がなくなり、次第に灰色になっていく。さらにうねりが増えて、いわゆる“吠える40度(Roaring Forties)”に達したころ、荒天の中でも短時間の安定を狙って、次の観測項目であるSCSによる海底構



図2 短時間の天候回復時に実施したチリ沖三重会合点付近におけるドレッジ。

造探査とPC堆積物採取を実施し、こちらもなんとか成功。そのまま東進し、チリのプエルトモンテで2名のパイロットと1名のオブザーバーに乗船いただき、チリ沖三重会合点での観測を開始。ドレッジャーによる岩石採取、SCS、OBS設置、PC、海底地形・重磁力観測を次々と行い、入港前日の午前中までドレッジを実施して、あつという間にチリ沖での10日間の観測が終了した。チリ沖でも、大きなうねりがあり3日に1度は荒天待機だったが、10m近い波高でも沖合で待機して、たった3時間の天候回復時を狙ってドレッジ(図2)やPCが実施できたことは、減揺装置を備える「みらい」ならではの強みである。砕ける波の中で速度は落としながらも前進していく「みらい」の力強さには何度も勇気づけられた。揺れる船内では、採取した岩石や堆積物の記載などの試料処理を、乗船研究者が手分けして行った。休む間を惜むほどの作業だった。

入港日の朝、バルパライソの丘が徐々に見えてくる朝焼け(図3)はとても美しく、約2カ月にわたる航海が無事に完了する喜びと、さみしさが入り交じった複雑な感情だった。Leg 2との入れ替えの時間が半日しかなく、感傷に浸る間もなく、チリ海軍との間で重力測定の基準合わせ(重力結合)を行い、慌ただしくホテルに移動した。海に面したホテルでは、達成感に満たされつつ、沈む夕日を眺めながらLeg 1の乗船者と共に夕食をとっていたところ、Leg 2へと出港した「みらい」が夕日に向かって進んでいった光景が今でも目に焼き付いている。

その後、原田さん、村田さんと再度提案した課題が、2016年度(2016年12月~2017年3月)に実施された(MR16-09航海)。お二人と航海実施前に往復4日間かけてチリへ渡航し、コンセプション大学やチリ大学で打ち合わせをしたり、現地の関係機関に説明に伺ったりしたことはとても良い経験となった。また2018年度(2019年1月)には、木下正高さん、岩森光さん(現 東京大学)の課題として実施されたMR18-06航海に参加し、「みらい」では、合計3度もチリ沖での調査を実施する機会を得た。MR16-09では未知の海底火山地形を確認し、MR18-06



図3 航海終了日、バルパライソの丘を染める朝焼け。

では沈み込み直前に噴出した中央海嶺玄武岩の採取や地殻熱流量の測定に成功した。

どの航海でも“吠える40度”の荒天海域にもかかわらず、準備した観測項目全てをやり切ることができたのは、やはり「みらい」の安定した航行能力と優れた操船のお陰であろう。「みらい」の快適な居室や美味しい食事も、乗船の大きな楽しみであった。

最後に、当時の赤嶺正治船長や井上治彦一等航海士をはじめとする乗組員の皆様が、この固体地球初課題を成功させるために事前準備から航海の現場まで全力でご支援くださったこと、そしてGODI、マリン・ワーク・ジャパン、日本海洋事業の観測技術員の皆様のご協力に、心から感謝する。太平洋横断チリ往復の一連航海として課題提案をまとめてくださった原田さんと村田さんはじめ、「みらい」所内課題選考委員会など関係委員会、JAMSTEC運航部、そして一緒に課題提案に参加してくださった大勢の研究者の方々には、ご迷惑をおかけしつつも大変助けられたことを、この場を借りて御礼申し上げます。



阿部なつ江
海洋研究開発機構
SIP海洋統括プロジェクトチーム
主任研究員

2 資源調査観測

山本啓之

日本の周辺海域に賦存している海底鉱物資源の調査研究プロジェクトにおいても海洋地球研究船「みらい」は活躍した。その発端は、2014年に開始された内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program : SIP）に海洋課題として採択された海底鉱物資源開発の技術研究プロジェクトである。このSIP海洋プログラムでは、海底に分布する鉱物資源の探査技術、採鉱装置の開発、資源開発には不可欠な環境影響評価の手法開発が課題として組み込まれ、2018年からは第2期、2023年から第3期が継続して実施されている。

海底鉱物資源開発は、探査、採鉱、環境影響評価などの基本技術について、深海環境に適応した技術への改良を必要としていた。2014年ごろに注目されたのが熱水鉱床である。日本では沖縄トラフや伊豆・小笠原諸島の海域での探査と有望な海底での採掘試験がエネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）により実施され、試験段階であるにもかかわらず世界から注目された。一方におい

て、環境攪乱への懸念から、人為的な活動が始まる前に環境と生物多様性の調査と適正な影響評価を求める意見が表出してきた時期である。

SIP海洋プログラムでは、開発の将来を見越して沖縄トラフ海域などで環境ベースラインのデータ収集を始めていた。海底を採掘する鉱物資源開発であるから海底環境の影響評価が中心と思われがちだが、採掘に伴う懸濁物ブルームの発生や母船からの排水流出などによる汚染リスクがあり、海中環境のモニタリングも必要になる。学術研究に使われている手法を利用することはできるが、社会実装を目標にするSIPでは、商業ベースでの作業の省力化、リスク評価の迅速化、そして国際標準規格を確立することを目指していた。

SIPは期限があるプロジェクトである。そこでの技術開発と調査観測での目標達成には、集中して作業することが求められる。プロジェクトでは、JAMSTEC船舶の「ちきゅう」「よこすか」「かいいい」「かいいい」「みらい」、さらには民間の傭船をも利用して数多くの航海を実施し、



図1 海底観測プラットフォーム「江戸っ子1号」HSG型の投入 (MR17-03C)



図2 鉛直曳き多層式プランクトンネット（VMPS）での試料採取 (MR17-03C)



図3 南鳥島沖で採取したピストンコア試料 (MR18-E01C)

試料採取と技術試験を繰り返してきた。

「みらい」は、十分なラボ設備と機材の搭載能力があり、長期航海ができることからSIPでは広域での調査観測に利用した。最初は、熱水鉱床が賦存する海域として知られている沖縄トラフ全域を対象とし、2017年に実施した環境ベースライン調査である。前半の航海（MR17-03C、首席：山本啓之）は、尖閣諸島沖を抜けて与那国島の近くまで航走し、途上で中国の調査船と行き交う場面もあり、時代を感じながら、試料とデータを収集した。後半の航海（MR17-07C、首席：川口慎介）では、太平洋側にも調査の手を広げた。航海に搭載した機材は、CTD採水器、マルチプルコア採取装置、多層式プランクトンネット、高速フラッシュ励起蛍光光度計（FRRF）、ディープ・トウ型高解像度カメラシステム、鉛直曳き多層式プランクトンネット（VMPS）、プランクトン採集現場濾過ポンプ、海底観測プラットフォーム「江戸っ子1号」など多岐に及んでいた。これらを使い海洋調査会社の技術者と協働して船上での運用試験を実施しながら、民間でも利用できる手法を考案した。洋上バイオアッセイや光合成反応をモニタリングするファイトアラート（Phyto-Alert）などのリスク評価法の開発では、国立環境研究所と協働した。数多くの航海で試験をして確立した手法から国際標準の技術規格であるISOを4件獲得することにも成功した。

第2期のSIP海洋プログラムでは、鉱物資源の分布調査に「みらい」を利用した。2018年の航海（MR18-E01C、首席：山本浩文）では、レアアース泥の分布を調べるため南鳥島沖の水深5,600mからピストンコアにより海底堆積物のコア試料26本を採取した。この航海において採取したコアの全長は実に304mに到達し、1回の航海で採取したコア試料としては最大長という記録を残した。このコア試料の分析結果は、南鳥島周辺海域でのレアアース泥の分布を確定することに貢献した。長距離航海ができる大型調査船の特長が活かされた結果である。

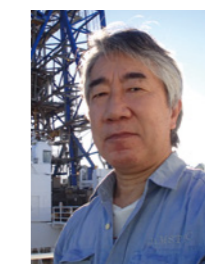
第3期では、2024年に南鳥島海域の環境ベースライン調査に「みらい」を利用した（MR24-01C、首席：川口慎



図4 関根浜・むつ研究所の岸壁にて、航海の終わりに (2017年6月)

介、次席：鋤柄千穂）。この航海では、約1,860km離れた南鳥島海域での調査観測に加えて、移動経路の観測点においても環境調査を継続することで生態系の連続したデータを収集してきた。またファイトアラートによる連続モニタリングでは、海域ごとに光合成活性の状態が異なることが確認された。少し不幸な出来事は、乗船間際に首席が感染症の発生に巻き込まれ、乗船不可、次席が前半の現場を取り仕切るという事態の発生である。振り返ると航海の成果もさることながら、次席の代行マネジメントも際立つ航海と評価している。

海洋地球研究船「みらい」は退役し、その仕事は北極域研究船「みらいII」に受け渡される。より大きな「みらいII」、海洋資源や環境影響評価など、経済と安全保障に関わる分野での調査研究においても活躍し、次の未来につながる航海を重ねてもらいたい。



山本啓之
海洋研究開発機構
SIP海洋統括プロジェクトチーム
海洋環境影響評価システム
開発プロジェクトチーム
プロジェクト長

3 大気物質循環観測

金谷有剛・竹谷文一

JAMSTEC地球環境系の大気組成の研究者が、中国やロシア、富士山などの陸上から、船上観測に参入し「みらい」での観測を始めたのは2010年のMR10-04航海から。太陽散乱光スペクトルを低仰角まで精度よく計測するMAX-DOAS自作器からスタートした。差分吸収法に基づきNO₂（二酸化窒素）などの大気汚染物質の全球での広がりや自然のバックグラウンド状態を高精度に測定するものである。当初懸念のあった凍てつく北極海での動作もクリアし、船の動揺を打ち消す大型のジンバル架台は、数年後にプリズムのみを動かす小型のフィードバック制御方式に置き換わった（図1）。南北半球の広域でIO（一酸化ヨウ素）ラジカルを計測し、西部太平洋高水温域に「ヨウ素の泉」を発見、第三の温室効果ガスである対流圏オゾンの未把握な消失プロセス解明と定量化に大きく貢献した（Takashima et al., 2022, 2025; Sekiya et al., 2020, 2025）。

また、オゾンの全球海上マッピングでも先鞭をつけ（Kanaya et al., 2019）、IGAC（地球大気化学国際協同研究計画）のTOAR-II（対流圏オゾンアセスメント第2期）ではOcean WGを立ち上げ、「みらい」だけでなく計9カ国からのデータを収録する世界初の海上オゾンデータセットをJAMSTECから公開している（Kanaya et al., 2025, 図2）。これらの活動は、短寿命気候強制因子（SLCF類）の動態解明に貢献し、IPCC報告書などでの活躍に結び付いた。

エアロゾル・北極も、観測展開において重要なキーワードとなった。陸から発生する土壌・鉱物ダストや産業起源の鉄や反応性窒素類は、風に乗って大気中を数千km運ばれ、雨による湿性沈着などで海にもたどり着く。これらの物

質がプランクトンの栄養の供給源となる可能性が指摘されていたが、これまでの「みらい」の観測現場からその証拠をつかんだ。ブリッジの真上のコンパスデッキでのエアサンプルによる大気中のエアロゾルや雨サンプルの捕集だけでなく、海中の鉱物ダストの解析にも挑戦した（Nagashima et al., 2023; Taketani et al., 2018, 2025a）。

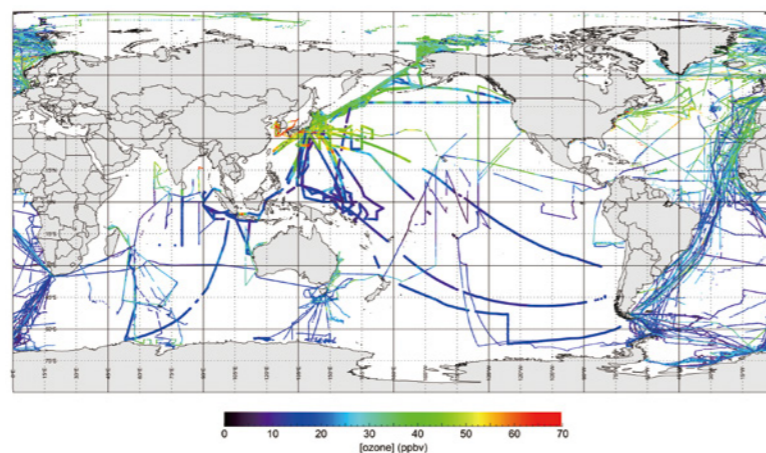
2021年以降の航海では西部北太平洋を対象とした気象・物質・海洋生態系をまたぐ学際研究としてIMPACT-SEAプロジェクトと銘打って研究を活性化した。特にMR21-01航海では、コロナ禍の影響が残る中、首席（竹谷）として大気組成観測を中心とした西部北太平洋亜寒帯・亜熱帯両方での物質循環研究航海を2021年2～3月に実施した。汎用観測室には様々な大気観測機器が設置され、非常に密な観測が実施された（図3）。凄まじい海況により、観測スケジュールの変更が1日数回も行われたが、最終的には予定していた観測がほぼ達成された。これはひとえに、「みらい」そのものの性能に加えて、船員・観測技術員・乗船研究者の方々の一致団結の賜物と感じている。

一方、アジア起源物質が北極へ流入する大気輸送経路を往復する北極航海は、理想的な観測プラットフォームとなった。エアロゾル粒子のうち、ブラックカーボン（BC、すす）は、雪氷面に付着することで黒ずませ、アルベドフィードバックを通じ地球温暖化の加速をもたらす。そのような役割をもつBCを、フェムトグラムの質量の桁で、粒子一つ一つを計測、その合計として、1ng/m³を下回る極低濃度まで初めて高精度で北極海上で測定し（Taketani et al., 2016, 2022）、数値モデルの国際評価



図1 小型化したMAX-DOAS受光部、横浜の夕暮れと共に。

図2 「みらい」の約30航海（丸）および他船航海（+）からの全球海洋大気でのオゾン濃度データをデータ論文・データベース化。https://doi.org/10.17596/0004044



に使われた（Whaley et al., 2021, AMAP 2021）。黒色のBCだけでなく、最近では、褐色の有機物ブラウンカーボン（BrC）のアジアから北極までの広がりや消失過程も評価した（Zhu et al., 2025）。

エアロゾル粒子は、大気から海に届くだけでなく、逆に海からも波飛沫として大気中に巻き上げられ、雲や気候にも影響する。波飛沫の主成分はNaClなどの無機塩だが、有機物や生物起源物質も含まれており、それらの働きには不明点が多い。生物起源粒子の指標となる、粒子ごとの自家蛍光性に基づく自動連続観測や氷晶核の計測を行い、南大洋・中央太平洋・北極海まで、物質と生態系・雲の結び付きを広く解明した（Miyakawa et al., 2023; Kawana et al., 2021, 2024; Taketani et al., 2025b; Ito et al., 2025）。その際には、海洋生態系起源の指標として、クロロフィルだけでなく、TEP（透明細胞外重合体粒子）を指標にするなど、海洋と大気研究者が先進的な分析を通して結び付いた。海上大気中の海塩粒子の数濃度の変動に対しては、これまで主に風速が支配因子とされてきたが、ダイナミックに変動する大気混合層の厚さも重要な因子であることを解明した（Miyakawa et al., 2023, 2025）。NaClは大気中での塩素ロス反応により他の塩に置き換わってゆき、放射収支にも影響するが未解明である。2025年には自己開発の質量分析計により3種の塩の初計測にもチャレンジする（Kobayashiほか）。

エアロゾルの船上観測は充実したが、次なる課題の一つは大気の上層までの「高度分布計測」である。「みらい」では係留気球を高度1,100m程度まで飛揚させ、サンプルの持ち帰りや小型計測器による上空現場データ取得も行い、「みらい」での大気組成観測のシンボルともなった（図4）。雲が生成する高度で何が起きているのか、エアロゾルライダーとの協働や、ヘリコプター計測など、広がりつつある観測計画の夢を、今後、「みらいII」で実現したい。「みらい」では、大気組成計測機器は常設機器ではないため、ドック定期検査のたびに、取り外し、再機装するといった困難があった。コロナ期にはマスク・人数制限などで機装のハードルがさらに高まった。その努力の甲斐あって成果も高まり、「みらいII」での常設化計画にも漕ぎつけた。これまで北極航海などで活躍した国立環境研究

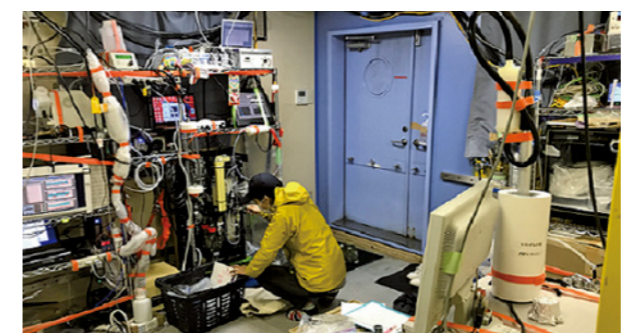


図3 MR21-01航海での汎用観測室内に設置された観測機器



図4 上甲板から放球された係留気球。気球の下に観測装置を吊り下げ、上空のデータ・上空までの大気データを取得する。

所のGHG大気連続計測機器（Tohjima et al., 2021）を受け継ぎ、CO₂やメタンの大気連続観測も加え、総合的な大気組成観測プラットフォーム化を今後目指す。海洋pCO₂などの校正スケール統合についても準備を進めている。

振り返ると、海・陸・大気の寄り合い所帯だった物質循環研究プログラム（2009～2014年）での横断的議論が大きな後押しとなったことは間違いない。そこから、分野間横断研究の議論が深まり、様々な切り口からの研究が推進され、学術論文の特集号（PEPS誌）を組めるまで成長を遂げることができた。「みらい」での大気物質循環研究のスタートは気象観測室・減揺装置上のみであったが、そこから汎用観測室・ブリッジ上暴露部さらには上甲板上での観測など、様々な場所での観測が展開された。これらの観測は各航海の首席研究者、GODI、NMEの観測技術員さんに支えられ、大きく飛躍したと実感している。我々が目指した、新しい切り口の大気海洋物質循環研究は、世界的にもユニークな形で花開きつつある。今後のさらなる躍進を誓いたい。



金谷有剛
海洋研究開発機構
地球環境部門
地球表層システム研究センター
センター長



竹谷文一
海洋研究開発機構
地球環境部門
地球表層システム研究センター
物質循環・人間圏研究グループ
主任研究員

第3章 退役記念寄稿 みんなのみらい



運航担当部署

陸（おか）から見てきた「みらい」

田代省三

元 海洋研究開発機構
運航管理部 部長



「みらい」の退役が決まった。私は航海の経験はないが、陸から見た「みらい」の思い出をいくつか紹介する。

■「みらい」のデビュー

1997年9月29日石川島播磨重工業（IHI）東京第一工場（豊洲）で引き渡された「みらい」は、皇太子同妃殿下（現天皇后両陛下）をお迎えした竣工披露式典（10月30日）を終え、東京（10月31日～11月1日）、横須賀（11月3日）、関根浜（11月7～9日）、そして京都で開催されていた第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）に合わせて神戸（12月7日）、「むつ」が長年世話になった佐世保（12月14日）で一般公開を行った。気候変動研究のために生まれた「みらい」らしいデビューだ。

■就航前の懸念

研究者の懸念：「みらい」は、原子力船「むつ」（1974年試運転、1991年就航）の原子炉を撤去し再就航したことから従来の海洋調査船と比較し大型だ。JAMSTEC研究者は「みらい」に期待するとともに、海面から高い作業甲板に不安を持っていた。しかし大型ゆえ可能となった荒天海域で採取したサンプルとデータは世界の気候変動研究に多大な貢献となった。「みらい」就航以降、何となく世界の海洋調査船は大型化したように感じる。

運航者の懸念：「みらい」は世界で唯一「ハイブリッド式減揺装置」を搭載している（図1）。これはIHIが開発した船体中央上部に船幅いっぱい弧状に設置されたレールに載った約100トンの重りの動きを制御することで横揺れを抑える装置だ。



図1 ハイブリッド式減揺装置

気象庁の「凌風丸」（3代目、1995年就航）に初搭載されるはずだったが船主の意向で断念された。「みらい」艦装員長の赤嶺正治船長も故障時の不安を持っていたが、荒天海域での停船観測になくてはならない装置として大活躍している。

■BEAGLE2003の陰で

BEAGLE2003は唯一の「みらい」世界周航航海だ。2003年8月から約半年間で南半球を一周した。その観測成果は世界に高く評価された。同航海が計画された時、一つ問題が生じた。前年に目標の18基設置が完了したTRITONブイのメンテナンスを「みらい」に代行行う船が必要になった。「しんかい6500」の支援母船「よこすか」は、潜水船格納庫、船尾まで移動できる台車、そして着水・揚収用のクレーンを装備しており、TRITONブイの設置・回収を行えるのでは？と検討した。巨大な「しんかい6500」用台車に換えてUROV試験機の台車を急遽深海開発技術部から借りて改造した。TRITONブイをバラバラに分解し何とか8基納まる。こののっぴきならぬ計画を二つ返事で実行して下さった日本海洋事業の湯川 修船長には感謝の言葉もない。

■間に合わなかったブイレスキュー

2013年2月9日に漂流を開始したTRITONブイ13号基の回収に、南大洋での調査航海を終えたばかりの「みらい」が向かった。しかし、3月1日「みらい」の目前でブイはバブアニューギニア本土から約200 km沖合にあるアウア島に漂着してしまった（図2）。その後、JAMSTECの北沢一宏特別参事（2024年に永眠）の紹介で現地事情に詳しい方の提案により同島に医療チームを派遣し全島民の健康診断を実施、その代わりに漂着ブイの回収を行わせてもらった。

■最後に

「みらい」の1997～2025年は、まさに地球温暖化に伴う気候変動が顕著になった時期である。その間、最新の貴重なデータを提供し続けた「みらい」の業績は、研究者、観測技術員、乗組員そしてその運航を陸上で支えた者たちの努力の賜物だ。

老兵は去り新しい「みらいII」が就航する。以前は旧科学技術庁の船船名は継承が許されなかったが、「みらい」は初めて認められた？これは「みらい」の気候変動研究への多大な貢献の結果と私はとても嬉しく感じる。



図2 「みらい」から撮影したバブアニューギニア・アウア島に漂着直後のTRITONブイ13号基（MR13-01クルーズレポートより。撮影：マリン・ワーク・ジャパン 松本恵佐氏）

「みらい」とむつ研究所の歩み

佐々木建一

海洋研究開発機構
むつ研究所 研究所長



海洋地球研究船「みらい」の前身が原子力船「むつ」であることは、この文章に目を通してくださる多くの皆様には説明不要だと思いますが、原子力船「むつ」がその役割を終えたのち、原子炉を取り除いてディーゼルエンジンを載せ、広域の海洋観測を行う世界最大級の観測船として1997年に生まれ変わったのが「みらい」です。そして、「みらい」の母港・基地として「みらい」竣工の2年前、1995年10月に関根浜港に開設されたのが「むつ事務所」です。その後、組織改編により2000年10月に「むつ研究所（以下、むつ研）」となりました（図1）。

筆者がJAMSTECに入所したのは2002年、むつ研に配属されたのが2005年のことです。そのためむつ事務所開設当時のことを直接は把握していませんが、2010年にむつ研が10周年を迎えるにあたり発行された『10周年記念誌



図2 むつ研究所の開所10周年を記念して発行された冊子

むつ研究所10年の軌跡』(Blue Earth Special Issue 2010)に、歴代所長をはじめとしたむつ研にゆかりのある方々による座談会の様子が掲載されており、当時のことをうかがい知ることができます（図2）。そこでは新たな拠点を立ち上げるための建屋をはじめとした様々なインフラ整備に係る苦労、むつ事務所からむつ研に改組する構想の下での研究環境の整備に係る苦労などが語られています。それに加えて、JAMSTECとは何なのかを地元の方々に理解していただくこと、如何に地元の協力を得てスムーズな活動につなげていくかということに腐心していた様子もうかがえます。

2005年に筆者がむつ研に配属されてしばらくの間は、このような苦労の積み重ねによってむつ研の基礎が築き上げられたことに思いを馳せる余裕がありませんでしたが、思い返してみると、特に「如

何に地元の方々に理解・協力していただくか」について、むつ研は継続して注力しており、近隣研究機関や自治体と共催の「むつ海洋・環境科学シンポジウム」の開始（2005年）、FMアジュール（むつ市のコミュニティFM）のコーナー「海からのメッセージ」の放送開始（2006年）、むつ研主催の「海洋環境モニター報告会」の開始（2007年）などなど、様々な情報発信の場を立ち上げて、あの手この手で「みらい」やむつ研の活動を知っていただく努力をしてきました。

さらに、地元市民の皆様に直接的に貢献する海洋情報の発信も早くから実施してきたという特徴もあります。「みらい」の航路確保の必要性から青森県や近隣漁協との信頼関係を築くために積極的に交流してきた流れで周辺海洋環境の把握に係る協力依頼を頂くようになり、様々な意見交換がなされた記録（メモ）

図1 むつ研究所と海洋地球研究船「みらい」



が残っています。JAMSTECおよびむつ研が海の研究開発を行う機関として認識されたことをうかがわせます。早期に実現したのは、関根浜港外での連続水温計測です。得られたデータは青森県水産増殖センター（現 水産総合研究所）が定期的に発行する漁海況速報「ウオダス」に掲載されるほか、近年は毎時の即時データをJAMSTECが構築したWEBサイト上に掲載し、今でも有効に活用されています。こういった活動も地元との信頼関係をより深めるための重要な取り組みといえるでしょう。

近年、むつ研は、「みらい」の母港機能を維持しつつも、海峡・沿岸環境変動研究を推進しており、津軽海峡で様々な観測を実施していますが、漁協に事前説明に伺っても嫌な顔をされることなく、逆に観測行動への協力を頂けるなど、今や、事業遂行に不可欠な関係性に発展しています。津軽海峡の観測では「みらい」の直接的な活用は稀ですが、原点をたどれば、結局は「みらい」の存在に結びつくのです。

さて、話は飛びますが、市民一般に広く「みらい」そしてJAMSTECむつ研を知っていただく大きな機会の一つとして船舶および施設の一般公開を実施してきました（図3）。関根浜港への「みらい」の入出港や一般公開に係る記録など、入手できた客観的なデータでそれらを振り返ってみたいと思います。ちなみに、「みらい」の一般公開は、関根浜港以外でも国内外で数多く実施されていますが、ここではむつ研/関根浜港にて実施されたもののみを取り上げます。

「みらい」が初めて関根浜港に入港したのは、就航約1カ月後の1997年11月上旬で、記録によりますと、この初回の入港を含めて、2024年度までに関根浜港に90回入港しています。入港の時期が良いこと、週末を挟むこと、航海準備



図3 2019年の一般公開時の「みらい」船内ツアーに参加して後部甲板で説明を受ける見学者。説明者は河野健地球環境部門長（当時）。

などの折り合いがつかことなどの条件を満たす際に関根浜港での「みらい」一般公開を実施しており、2024年度までに15回実施されています。むつ研の施設一般公開も同時に開催していますが、アンケートの集計結果を眺めてみると、「面白かった」という回答の断トツ1位はやはり「「みらい」船内の見学」となっています。ちなみに、船舶の一般公開を伴わないむつ研施設のみ一般公開も6~7回実施（むつ事務所時代の記録の確認が不完全）され、「みらい」以外のJAMSTEC船舶（「かいはり」や「かいはり」）が入港して行われた一般公開も数回ありました。記録が十分に確認できる2001年以降に限って一般公開への入場者数を見てみると、「みらい」の一般公開を伴う14回の平均入場者数が690名程度、船舶なしでの5回の平均入場者数は530名程度です。前者のばらつきが大きいので、検定してみると残念ながら統計的に有意な差はありませんでしたが、入場者数第7位までは「みらい」がいるときの一般公開でした。

他方、見方を変えると、船舶不在での施設一般公開でも平均500名を超える方々に来場していただいていることから、JAMSTECあるいはむつ研への一定の理解が進んでいると評価することもできるかもしれません。なお、入場者数500~700名という数字は、それだけを見ると少ないと感じる方もいるかもしれませんが、むつ研の近隣人口（むつ研から30km圏内の市町村の人口）は、2025年春の時点で7.8万人ですので、その約0.6~0.9%に相当する方々に毎回お越しいただいている計算になります。公共交通機関のみではたどりつけない場所での開催ということも加味すれば、まずまずの数字だといえるのではないのでしょうか。

さて、研究所についての寄稿にもかか

らず、研究開発面の話が最後になってしまいました。各研究テーマの個別具体的な内容は、それらの研究を実質的に牽引してこられた方々が寄稿されると思いますので、ここではむつ研を舞台とした研究テーマの変遷に話を絞ってご紹介いたします。

2000年の改組でむつ研が誕生するにあたり、米国ウッズホール海洋研究所の本庄正博士がプロジェクトリーダーとなった北太平洋時系列観測研究が中心的研究課題と位置付けられました。その他、海洋環境変遷研究（古環境研究）も実施されました（数年後に本部の研究課題に移行）。北太平洋時系列観測研究は、本部を中心とした体制に徐々に移行させつつも、2013年まではむつ研の主要の研究課題でした。加えて、2005年からは渡邊修一元所長をプロジェクトリーダーとする大型外部資金による溶存二酸化炭素を計測するセンサーブイの開発が並行して実施されました。むつ研が最も賑やかだった頃でした。

その頃の筆者はといえば、むつ研在勤ながら本部の海洋大循環研究にも兼務で携わり、トレーサである溶存フロンの分析技術の開発と現場観測への応用を手掛け、「みらい」に計700日間以上乗船しました。ほかにも本部主導の研究事業として、海洋循環トレーサである放射性炭素分析に必要な海水前処理装置、トライトンブイやアルゴフロートの整備やセンサー校正の体制などがむつ研に構築され、まさしく「みらい」の基地でした。

とりとめもなく色々書き連ねましたが、「みらい」の退役によって、むつ研は転換の時期を迎えたといえます。地方拠点ならではの、そして小規模事業所ならではの柔軟性と瞬発力をもって今まで以上に活動を展開していきたいと思っています。「みらい」の功績を語り継ぎつつ。

データ管理における「みらい」のレガシー

華房康憲

海洋研究開発機構



「みらい」はその運航当初からそれまでの調査船とは一線を画した独自のデータポリシーを持っていました。JAMSTECでは当時、複数の深海調査船を運航していましたが、航海で取得されたデータやサンプルは乗船研究者間では共有されるものの、必ずしも外部に広く公開されることを前提とした管理はされていませんでした。

しかし「みらい」では国際共同観測などへの貢献等を念頭に、取得されたデータやサンプル、それらの取得情報を含む航海記録としてのクルーズレポートなどが研究コミュニティに対して公開されていました（初めて見たときには製本されたクルーズレポートの厚さに驚きました）。さらに、公開するデータの品質管理についても研究者が自ら実施し、センサの補正情報を含めたデータを公開していました。

私がデータ管理を担当するようになった時代には、「みらい」のデータを公開するサイト「MIRAI Data Web」が運用されており、データ管理部署（時代とともに部署としての名称は変わりましたが通称としては一貫してData Management Office: DMOを名乗っています）がデータの収集、品質管理、メタデータの整理、保管、公開サイトの運用等を担うようになっていました。

これらの取り組みは、やがて深海調査船のデータ・サンプル管理も統合してJAMSTEC全体としてのデータポリシーの制定（2007年）につながっていききました。研究機関が自身の責務として取得したデータを管理し、広く無償で（産業利

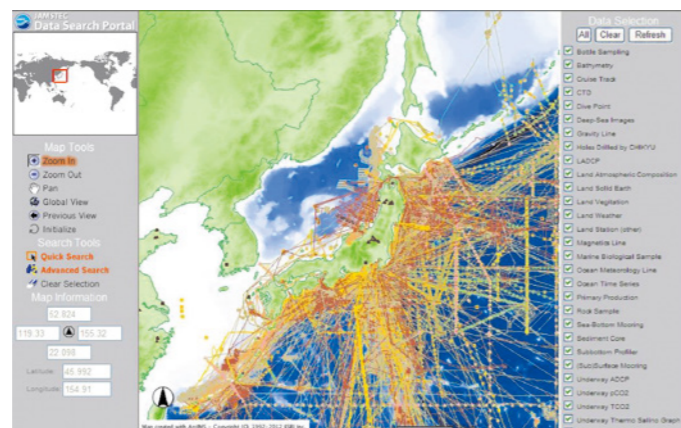


図2 データ・サンプルを地図上で検索できた「JAMSTECデータ検索ポータル」

用は有償となる場合がありますが）公開することを宣言するというのは、この当時としては画期的だったと思います。10年以上たって内閣府が主導して国立研究開発機関のデータポリシーの制定を検討した際、審議会に招かれ先進事例としてJAMSTECの取り組みを紹介したこともありました。

データ・サンプルの統一的管理と公開には、データそのものの管理に加えてデータに関するデータ（メタデータ：種類、日時、場所、水深、測定・分析方法、精度、利用制限など）を正確に付与することが非常に重要です。データ管理の最も重要な要素の一つと言って良いと思います。例えば他国のEEZ内で観測する場合には国連海洋法条約に基づいて海洋の科学的調査（MSR）への同意（クリアランス）を相手国から取得するのですが、データの取扱いの記載を確認するため過去分の航海についてのクリアランスを探して文書保管コンテナに潜り大量の書類を漁ったことを覚えています。

データの公開方法も大きく進化し、「みらい」と深海調査のデータサイトを統合してJAMSTEC船舶の総合サイト「観測航海データサイト」（図1）を公開しました。さらにそのデータを地図上で検索しダウンロードサイトに誘導できる「データ検索ポータル」（図2）を開発しましたが、Web GISを使用した海洋データの検索システムとしては日本では海上保安庁海洋情報部が公開している「海しる^{*1}」に先駆けるものでした。現在では、データ

ベース化された「航海・潜航データ・サンプル探索システム（DARWIN）^{*2}」が研究者のニーズに応えています。

個人的には、データ管理業務に携わる中で2005年に1年間米国ワシントンDCにあるNOAAのSilver Springオフィスに派遣されたことが大きな転機となりました。NOAAの各種プロジェクトが収集したデータの公開状況をまとめる業務を担当しながら、各地で開催されるデータ管理関連のワークショップ等に参加、メタデータとその管理の重要性を認識するきっかけとなりました。この間、サンディエゴに入港した「みらい」を訪れる機会があり、乗船研究者や観測技術員と会えたのは良い思い出です。

「みらい」の運用を通じて確立され発展してきた（と言っても過言ではないと思いますが）データ管理とその成果が、退役後もJAMSTECの大きな資産として利用され、進化し続けることを期待したいと思います。



図1 JAMSTEC船舶の総合データサイトであった「観測航海データサイト」

*1 海しる <https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>

*2 DARWIN <https://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/ja/>

「みらい」始動：北太平洋の物質循環研究へ

日下部正志

海洋生物環境研究所



北太平洋における物質循環研究は、国内の関連研究機関・大学等が広く参画する大規模な共同研究プロジェクトとして計画された。観測項目や観測点の選定にあたっては、関係研究者間で綿密な事前協議を複数回にわたり実施し、統一かつ効率的な観測体制の構築が図られた。観測海域は季節的に荒天の発生が頻繁に予想される厳しい環境下にあり、この海域における本格的な広域観測を可能とする基盤として、国内最大級の観測能力を備えた研究船「みらい」の竣工は、関係者から極めて大きな期待をもって迎えられた。

私は、研究船「みらい」による北太平洋における物質循環の研究航海のため、1997年から2000年にかけて3回、首席研究者として乗船した。最初の航海はMR97-02（1997年11月10日～12月6日）であり、「むつ」から「みらい」へ改装後の慣熟航海も兼ねていた。青森県むつ市で初めて「みらい」を見た際、その巨大さに驚いたのを覚えている。船体には新しい船名の下に、かすかに「むつ」の文字が残っており、完全に変貌したとはいえ、その出自を控えめに主張していた（図1）。本航海には4つの大学の研究者や学生が乗船した。主な観測は、CTDによる観測と海水採取、表層連続観測（pCO₂、TCO₂、栄養塩、塩分、表面水温）、セジメントトラップの設置、海底堆積物の採取などである。荒天と機器の不調による一部遅延や予定変更はあったものの、計画されていた主要な観測項目はすべて実施され、「みらい」の観測船としての実力を示した（図2）。



図1 船体に記された新たな船名「みらい」の下に、かすかに残る旧名「むつ」の文字。かつての原子力船が、観測船として新たな使命を担う出発点となった。

2回目の航海（MR98-K01、1998年10月30日～12月16日）は、冬季の北太平洋北西部において、これまで得られていなかった生物地球化学的データの取得を目的とした。参加者数・観測項目共に前回より増加し、本格的な研究航海となった。航海は2つのレグに分かれ、レグ1では悪天候の影響で一部観測点を割愛せざるを得なかったが、全体としては冬季北西太平洋の広範囲にわたる観測データを得ることができた。主な観測には、採水、表層連続測定、海底堆積物の採取、漂流セジメントトラップ、大気観測、生物生産量の測定、XBT/XCPおよびCTP-ALACEフロートによる水塊構造の把握、地球物理観測などが含まれる。

3回目の航海（MR00-K03、2000年5月9日～6月10日）は、北太平洋北西部の物質循環過程において重要とされる千島列島およびオホーツク海周辺海域の詳細な観測を目的とした。この海域は北太平洋中層水の起源域であるにもかかわらず、ロシアの排他的経済水域（EEZ）内に位置するため、長らく日本の海洋研究船による調査は行われてこな

かった。観測実施にあたっては、外務省を通じた事前交渉が必要であり、私自身もサンクトペテルブルクを訪問してロシア側との協議を行った。最終的にロシア側から2名の研究者と2名の役人が乗船し、観測を実施した。この航海では、CTDによる採水・水温塩分構造の観測、堆積物コアの採取、XBTの投入、セジメントトラップの回収・再設置、大気化学成分の測定などを行った。ロシア側関係者との調整には慎重な対応が求められる色々を使うこともあったが、観測は予定どおり遂行された。これにより、千島列島を挟むオホーツク海と太平洋側の詳細な水塊構造と物質輸送の情報が得られた。

3回にわたる研究航海を通じて、北太平洋における物質循環の構造や季節変動を解明するための包括的かつ高精度な基礎データが多数収集され、それに基づく研究成果は国内外の学術論文として広く発表された。これらの成果は、研究船「みらい」が有する高性能な観測装置と高度な航海能力、さらに熟練した観測技術員による総合的な支援体制のもとで達成されたものである。

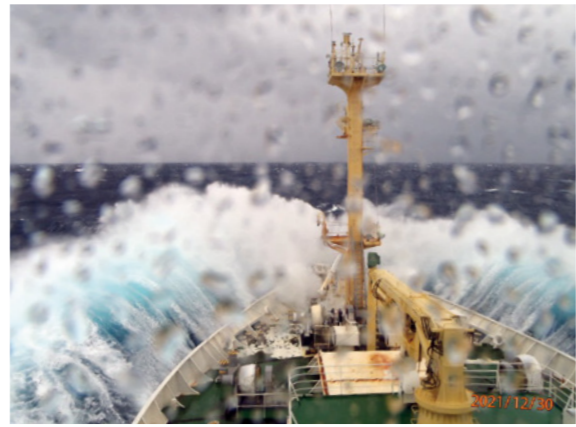


図2 MR97-02航海を終えて神戸港に入港。消防艇による放水やブラスバンド演奏など盛大な歓迎式典が行われた。

「みらい」の観測力

三野義尚

名古屋大学
宇宙地球環境研究所



荒天時のオモテに迫る高波

「みらい」との出会いは、1997年の慣熟航海でした。名古屋大学のD1学生としてアルバイトで参加し、それまでに乗った淡青丸や白鳳丸とは違う、広大な後部甲板や艦側リフターからせり上がるCTD採水システムに圧倒され、特別な観測船だと強く印象づけられました。食事も豪華で、特別感をさらに後押ししてくれました。

翌年には研究航海にも参加し、西部北太平洋の高緯度域と赤道域での観測を経験。計2航海、約100日間の乗船でした。当時始まった日本初の時系列観測点KNOTでは、JAMSTECをはじめとする研究機関の方々と出会い、大学教員とは異なるスマートで頼もしい姿に憧れを抱きました。指導教官の才野敏郎先生がKNOT設置に関わっていたこともあり、その後も研究発表などで関わりは続きましたが、「みらい」との縁はしばらく途切れました。

その間、学位を取得し、大学で係留観測システム（POPPSブイ）の開発に従事。相模湾での運用試験航海では現場法培養やセジメントラップ実験も行いましたが、当時の私はデータの質よりも作業をこなすことに意識が向いていたように思います。転機は、才野先生がJAMSTECへ異動し、「外洋でのPOPPSブイ運用と浅層粒子研究を手伝ってほしい」と声をかけられたこと。

西部北太平洋の亜寒帯域K2と亜熱帯域S1を比較するK2S1プロジェクトに参加することになり、この観測を担ったのが「みらい」でした。2010～2011年の季節航海や以降の年1回の航海では、

4,500m超の長尺係留系回収・再設置、ディープCTD採水、多段プランクトンネット、FRF（高速フラッシュ励起蛍光光度計）や現場ろ過装置の投入など多岐にわたる観測が実施されました。

中でも印象深いのは、10層の筒型セジメントラップを連凧のように設置し漂流させた実験。「みらい」の広い甲板とAフレームがなければ実現しなかったと思います。さらに感銘を受けたのがルーチン採水。10種類以上の項目に応じた採水作業を、数時間かけて班長が指揮しながら行う過程は、沿岸観測では得られなかった緊張感と丁寧さに満ちていました。ミスを何度も指摘され、「そこまでやる必要あるのか」と思ったこともありましたが、船上での分析結果はごまかしを許さず、採水精度がデータ品質に直結することを痛感しました。

「みらい」は、最新の観測機器だけでなく、経験豊富な船員の操船と甲板作業、そしてMWJスタッフの観測への真摯な姿勢によって成り立っています。「あの大きさなら揺れないでしょ」と言われますが、実際は荒天待機が毎回あります。それでも、海況が回復するまでその場にとどまり観測を継続できる、それが「みらい」の強さです。だからこそK2やS1では穴のないデータセットが得られ、季節変化や経年変化を精度高く分析できるのです。取得から10年以上たちますが、K2S1のデータセットは今もなお新たな成果を生み出しています。

「高品質なデータを高確率で取得できる」こと、これが私にとっての「みらい」の最大の長所です。その裏には、私の

見えないところでも多くの非乗船者の努力と想いがあるのでしょう。「みらい」が退役しても、この精神は次の船に受け継がれ、未来へ続いていくと信じています。それでもやはり、私にとって「みらい」は特別な船です。長い間、本当にお疲れさまでした。心から感謝を伝えたいと思います。

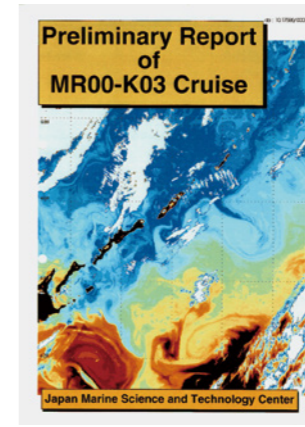


ハイブリッド係留系投入前の後部甲板

「みらい」によるオホーツク海での観測

原田尚美

東京大学
大気海洋研究所



MR00-K03クルーズレポートの表紙

私が海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）に研究員として採用されたのは1995年。その2年後の1997年に「みらい」のMR97-02慣熟航海に参加して以来、「みらい」にはとてもお世話になってきました。

いろんな思い出がありますが、最も思い出深いのは、2000年にロシアの排他的経済水域内で観測した経験です（MR00-K03航海）。当時の計画書を見ると、「北西部北太平洋及び隣接海域における二酸化炭素の挙動」というタイトルで、調査主任はかつての上司である海洋観測研究部の日下部正志主幹でした。北西部北太平洋の隣接海域とはオホーツク海のこと、そこは北太平洋中層水の形成場として大変重要な海域でした。この中層水が二酸化炭素の運び屋としてまた貯蔵庫として北太平洋に流れ込みながら大きな役割を果たしていると言われていましたが、当時、系統立った観測は実施されていなかったことから、カムチャツカ海流のオホーツク海への入り口である牟知（クルゼンシュティエルナ）海峡、オホーツク海水の出口である北得撫水道（ブツソル海峡）の海域で航海が計画されたのでした。

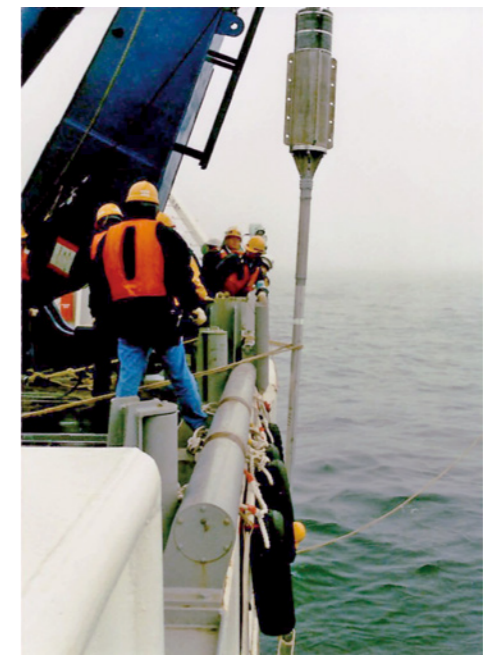
この研究航海では、CTDハイドロキャストをはじめ大気観測やネットによるプランクトンの採取、漂流型セジメントラップ観測、海底堆積物の採取など多岐にわたる観測項目を実施。ロシア人研究者も参画しながら充実した観測を行うことができました。おかげで、私が担当した海底堆積物を用いたオホーツク海の過去の海洋環境を復元する研究の成果

が日本人のみならず、ロシア人を筆頭著者にした多くの論文として公表され、実り多い航海だったと感じています。この計画は1999年6月23日に東京で開催された第5回日露科学技術協力委員会で、今後の日露協力項目の一つとして合意されたものでした。当時は、このように日露間で科学技術に関する会議も開かれており密接に連携した研究を進めることができていました。

残念ながら2000年を最後に、この海域での観測は許可されなくなりました。北太平洋中層水の形成場として、千島列島沿いの海底地形が影響する活発な鉛直混合による栄養塩の供給場として、重要海域であることに変わりありません。その後、北海道大学低温科学研究所の

若土正暁先生、中塚武先生（現 名古屋大学）、西岡純先生がロシアとのコネクションにより、ロシア船を用いたオホーツク海の観測を精力的に進めてくださった結果、微量栄養塩の鉄の供給場としても重要な海域であることがわかり大きな成果が創出されてきました。

「みらい」のような最新の測器を搭載した観測船で最後に観測してから24年が経過した今、この海域がどう変化しているのか、あらためて「みらい」で観測したいと思う海域です。近い将来「みらいII」の就航により国際プラットフォームとしての運用が実現したころには、ロシア人研究者との連携研究の再開も夢ではなくっていると良いと思います。



20mピストンコアラ。海底堆積物を採取する装置。オホーツク海は外洋に比べて堆積速度が速く、高い時間分解能で詳細な過去の海洋環境を復元することができる。

「みらい」から始まった海洋研究

岩本洋子

広島大学
大学院統合生命科学研究所



図1 ダッチハーバーで撮った車のナンバープレートとMR07-05クルーズレポートの表紙

この度の「みらい」退役に際し、執筆の機会をいただき誠に有り難く存じます。私が初めて「みらい」に出会ったのは、東京理科大学で過ごした学部生時代でした。卒業研究として、「みらい」MR03-K01航海で採取された大気エアロゾル粒子の個別粒子分析を行いました。分析対象の粒子は、当時の指導教員であった三浦和彦先生が採取されたものでした。研究を進めるうちに、「実際に研究船に乗ってみたい」という思いを強めていきました。その後、大学院に進学し、東京大学海洋研究所(当時)に所属したことをきっかけに、念願叶って毎年のように研究航海に参画しました。

私が初めて「みらい」に乗船したのは、博士課程2年生だった2007年の夏でした。関根浜を出港し、北緯47度線の観測を経てダッチハーバーに入港するMR07-04航海と、ダッチハーバーからベーリング海を経て西部北太平洋を観測し、関根浜に帰港するMR07-05航海の2つの航海、連続70日間の乗船でした。それまでに、他の研究船に乗った経験はありましたが、「みらい」は初めてでした。母港である関根浜があるむつ市も、瀬戸内育ちの私にとっては異郷の地でした。積込作業の後で立ち寄った銭湯で、年配の女性たちの交わす会話が一言も理解できなかったことはカルチャーショックとして強く印象に残っています。

乗船当初は、学生が少なく、やや「アウェイ」な雰囲気を感じていましたが、次第に乗組員や技術員の皆さんとも打ち解けていったように思います。当時はやっていた「ピリーズブートキャンプ」の船内

エクササイズに参加したり、散髪が上手いと評判の機関部の乗組員の方に髪を切ってもらったりもしました。寄港地のダッチハーバーは、一晩のみでしたが思いに残るものでした。事前に、「ブルーベリーが沢山生えている」「海岸にウニがごろごろ落ちて」「ロシア正教の教会がある」などの情報を得ていました。夕方ようやく下船できるようになって、同船していた名古屋大学の永尾一平先生をウニ拾いに誘い、缶ビールとプライヤーを持って出かけました。怪しそうに見えたのか、出かける際に石岡靖船長から「鮭獲ったらいかんよ」と注意されました。天気が悪く、とても海岸に近づけそうに無かったので、早々にウニは諦めて、ロシア正教の教会まで歩く間に、鮭が小川を遡上するのを初めて見て感動しました。ダッチハーバーでは、ゴールドドラッシュをデザインした車のナンバープレートを見つけて、思わず写真を撮りました(図1左)。

MR07-05航海では、亜寒帯の定点K2で、係留系の掛け替え作業が行われました。広い後部甲板には観測機器やガラス玉、それらを繋ぐロープが並べられ、Aフレームを出し入れしながら、一日がかりで作業が進められるのを眺めていました。そろそろ日本が恋しくなった頃合いに、当時の指導教員の植松光夫先生が東京からインマルサット電話をかけてくれました。航海終盤にクルーズレポートの表紙コンテストが開催され、ダッチハーバーで撮ったナンバープレートのデザインを真似て係留系と航海名を配置した表紙を出品したところ、幸いにもコン

テストで優勝し、表紙のデザインとして採用されました(図1右)。航海終盤には4tトラック1台分の機材を店じまいするのに一苦勞でした。最後に、フォアマストに設置した測器をGODI(当時)さんの協力のもとで取り外し、トラックに積んだあとは、その場でへたり込んでしまうほどでした。

最後に研究について触れさせていただきます。当時の私の研究テーマは、海水中懸濁粒子の分析を通して海洋表層の物質循環過程を明らかにすることでした。2007年の二つの「みらい」航海で北太平洋亜寒帯海域の東西の試料を採取できたことで、懸濁粒子組成の海域による違いが明らかになりました。論文にまとめた際には、採取地点をマッピングした図を査読者に「この地図が好きだ」と褒めてもらえました。また、航海中に数々の測器トラブルを対処していく上で、現場での判断力や対応力が養われました。現在、研究船を使った大気海洋観測は私の研究の柱となり、航海を通じて得た人との繋がりが研究の発展に寄与しています。そのきっかけをくれた「みらい」に心から感謝しています。

2021年には、コロナ禍のさなか14年ぶりに「みらい」に乗船する機会に恵まれました。また、近年は地元の瀬戸内海のドックで偶然「みらい」を見かけることもありましたが、もう逢えないと思うと寂しいですが、これまでの長い活躍、本当にお疲れさまでした。



Steven J. Manganini

Emeritus Research Scholar,
Woods Hole Oceanographic Institution



Steven J. Manganini, Emeritus Research Scholar
Geology & Geophysics

To: Dr. Makio Honda
JAMSTEC, Yokosuka, Japan

March 29, 2025

Subject: RV Mirai Retirement letter

Dear Dr. Honda,

I thank you for inviting me to write this letter about my cruise participation on the RV Mirai, as she will be retiring soon. I am greatly honored to share my very productive, and pleasant experiences on the RV Mirai during my time as Research Specialist at the Woods Hole Oceanographic Institution.

As you probably recall, it was an exciting time during those past cruises as new discoveries in the deep ocean were being made with the use of newly developed time-series equipment. The late Dr. Susumu Honjo was a pioneer in this innovative research with the development of Time-Series Sediment Traps (shown in photo) to collect settling particles on an annual basis in the deep ocean, significantly contributing to our understanding of biogeochemical process. We also realized that these time-series data needed to be integrated within the global ocean requiring simultaneous deployments in all oceans. To achieve this goal, collaboration with our institution and JAMSTEC was necessary and the RV Mirai was an important factor in achieving this goal. The RV Mirai had the equipment and personnel to be successful!

I participated on (2) RV Mirai cruises, where we deployed and recovered several time-series equipment at several stations in the North Pacific. The RV Mirai was the perfect ship to successfully accommodate our research. Precise locations as well as depths were needed along with specialized deck deployment and recovery equipment and personnel and the Mirai had everything we needed. In addition, the preparation of the highly sensitive electronic profiler, large volume pumps, and geochemical sediment traps needed dedicated laboratories requiring a range of top quality specialized equipment and personnel, which the Mirai always had on board. All our projects were very successful and we honor and congratulate the RV Mirai, and the Officers, Crew and Scientists who sailed on her during her extraordinary career and now retirement. Thank you RV Mirai!



Working on the deck of the RV Mirai, Dr. Makio Honda with colleague, and myself are preparing time-series sediment traps from JAMSTEC and the Woods Hole Oceanographic Institution for deployment in the North Pacific.

With fond memories,

Steven J. Manganini
Emeritus Research Scholar, WHOI

Our Ocean. Our Planet. Our Future.

whoi.edu

北極海観測事始め

滝沢隆俊

元 海洋研究開発機構
海洋観測研究部 部長

図1 1998年8月、アラスカ・パロー沖で流氷に遭遇。



図2 2000年9月、北極海の「みらい」。(小林研究員撮影)

海洋地球研究船「みらい」は、1997年の就役から30年近くの活躍を終え、2025年には退役となる。「みらい」は原子力船「むつ」からの改造船であることも、最近では意識から消えているが、「むつ」は1969年に進水、1972年竣工なので、「みらい」の船齢は通算で53年ほどである。とはいえ、改造時に船体後部は新しく造られたので「むつ」の名残は前半部だけである。

私が海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）に移籍した1992年には、「むつ」は海洋観測船に改造されることが決まっていた。そこで、すぐに改造の委員会に組み込まれ、あれこれと関わることとなった。当時の海洋研究部は「みらい」の主要ユーザーと想定されていたので、1994年1月、中西俊之部長をはじめ部の主要メンバーでむつ市閩根浜港へ「むつ」を見学に行った。「むつ」として20年以上たっているが、放射能漏れ事故によりほとんど活躍する機会がなく港に係留されていたため、船体の古さは感じなかった。また、観測船としてのその大きさを実感した半面、私が船舶運用の素人であったこともあり、こんなに大きな船をどのように運用するかの実感がわかなかった。

「みらい」は竣工の翌年、1998年7～9月に北極海への初の観測航海が行われた。往路、前年までベーリング海・北極海観測で5年間備船するなど大変世話になったアラスカのSeward（アンカレッジの南、車で約3時間）にあるアラスカ大学Seward Marine CenterとAlpha Helix号（約400トン、1965年進

水）への挨拶のため寄港した。Alpha Helix号は、アマゾン川などの調査を目的として建造されたので、喫水が浅いタライのような船で、そのため非常によく揺れ、船員から岸壁に係留中も酔いするよ！と脅かされた。よく揺れ、乗り心地が悪いボロ船である故に、Alpha Helix号での体験は、一番心に残っている。Alpha Helix号から「みらい」への乗り換えは、いわば、中古の軽トラックからベンツのEクラスに乗り換えたようなもので、「みらい」の乗り心地の良さを感じた。

Sewardを出てベーリング海峡を越えて、観測はこれからが本番という時に、北緯約72度、アラスカ北端の村パロー（現在は、先住民語のウトキアグヴィク）の沖合で予想より早く流氷域に遭遇した（図1）。「みらい」は耐氷船であるので、自由に氷海航行ができない。北極海の流氷本体から離れた小流氷域なので、船長はあれこれ迂回航路を探すなどして北上を模索してくれたが、初航海でもあるので、そこから引き返すこととなり、残念な思いであった。翌年以降、船長が氷海航行に慣れ、また北上の意欲もあり、2002年には北緯76度を越えるようになった。

私は、2000年の「みらい」北極海航海が最後の乗船となった（図2）。この航海では、国際共同観測研究の相手方である米国シアトルのワシントン大学とカナダ・バンクーバー島のカナダ漁業海洋省海洋科学研究所への「みらい」お披露目の意味で、北極海へ向かう前にシアトルとバンクーバー島のビクトリアに寄港した。こう書くと、「みらい」で挨拶回りばかりしているようであるが、しっかり観測

もしたことを付け加えておく。観測は順調に進み、9月23日、北緯74度25分まで北上したところで海水面が凍り始め、ここまでとなった。

余談ながら、このMR00-K06は太平洋を横断する航海（閩根浜～シアトルまで18日間）であった。私は1975年に南極観測船「ふじ」で南アフリカ・ケープタウンからシンガポールまでインド洋を横断しているの、この際に太平洋を横断したい思いで約2カ月の全航海に乗船した。観測計画は、全航海に乗る必要はなかったが、太平洋を横断してみたいというのが本音であった。次は大西洋と思ったが、大西洋北部のグリーンランド海に出ただけで、残念ながら大西洋横断の航海は、かなわなかった。

終わりに、研究観測組織として「みらい」という自前の観測船を持っている強みを痛感した。海洋研究開発機構としては海洋科学技術センター時代から「なつしま」をはじめ、深海系の観測船を多数運用していたが、「みらい」は事実上初の汎用の大型海洋観測船である。ことに北極海での観測研究に携わる者にとって耐氷船といえども北極海で活動できる船は有り難い。「みらい」以前は、前述のようにアラスカ大学のAlpha Helix号を備船していた。自前で運行計画を作成できる船があることで、深海研究だけでなく北極海観測にも国際的に一目置かれる研究機関となり、発言にも重みが増し、米国、カナダ、ドイツなどの国際共同観測研究につながった。海洋研究開発機構として、自前の観測研究船を保有していることは、最大の強みであることを強調しておきたい。

「みらい」による北極海の気象・気候研究の進展

猪上 淳

国立極地研究所
北極観測センター センター長

2009年から2024年までの15年間、私が「みらい」と共に常に新しいことに挑戦できたのは、「みらい」の観測機能と運用体制の柔軟性によるところが大きい。以下、北極海上の気象観測に関わった15年間を振り返る。

どのような研究が「みらい」の観測機能を発揮した成果に結びつくのか？ ノーアイデアで「みらい」北極海航海に初参加したのは2009年である。航海後半を迎えた10月、ついに小低気圧をドップラーレーダーとラジオゾンデで観測することができた（Inoue et al., 2010, GRL）。続く2010年は、海氷縁での傾圧帯で発生・発達する低気圧を捉え、秋の北極域の温暖化における海洋からの熱フラックスの重要性を示した（Inoue and Hori, 2011, GRL）。この2年間で、現場の瞬間の判断が成果に直結する醍醐味を経験させていただいた。さらに、JAMSTECのデータ同化システムを活用することで、北極海上のラジオゾンデデータが、大気循環をより精緻に再現するために有用で、その影響は北半球の中緯度にまで及ぶことがわかった（Inoue et al. 2013, GRL、図1）。この

成果は、2014年から始まった世界気象機関（WMO）の極域予測プロジェクト（PPP）の日本の参画につながり、日本による北極域での気象観測およびデータ同化研究の国際的プレゼンスが飛躍的に向上した。

2013年と2014年は、北極海上で数週間の定点観測を実施した。これは、季節進行の早い北極海の9月において、従来型の面的観測ではなく定点での時系列データを取得することが、北極域研究の新機軸となると考えたからである。ドイツやカナダなど北極海沿岸のラジオゾンデ観測点にも呼びかけ、集中的に観測頻度を増やす国際観測を企画した。その結果、前述のデータ同化システムと予報実験を組み合わせることで、北極海上での追加観測で気象・海氷予測の精度が向上することがわかった（Inoue et al., 2015, Sci. Rep.）。初めて首席を担当させていただいた2014年のデータは、WMOの北極域統合的地域ダウンスケーリング研究計画（Arctic CORDEX）と連携し、「みらい」の高精度データを検証データとした領域気候モデルの相互比較を通じて、雲の相状態の再現性が海面放射収支の誤差の大きさに影響することを示した（Inoue et al., 2021, JGR-A）。

挑戦はさらに続く。2018年11月は、海氷の形成時期が遅くなっていることを逆にとり、「みらい」初の極夜航海を首席として実施した。10日間にわたる海氷縁を含む定線を往復することで、海洋混合層の貯熱量が例年よりも大きく、海氷形成が遅れていることがわかった（Kodaira et al., 2020, Sci. Rep.）。開

放水面では風応力によって海洋混合が促進され、海底に堆積した有機物が波飛沫と共に大気中にエアロゾルとして供給され、雲の性質が変質する様子も捉えられた（Inoue et al., 2021, GRL）。2019年には、雲の相状態を計測する雲粒子センサー（CPS）ゾンデを本格導入し、気候モデルで再現が困難な過冷却水滴雲の鉛直構造を定量的に見積もる手法を開発した（Inoue et al., 2021, Atmos. Meas. Tech.）。ドローンを導入したのも2019年からである（図2）。

最後に乗船した2023年9月には、ドローンを通常運用高度をはるかに上回る高度1kmまで飛行させ、エアロゾル数濃度の鉛直分布を安価に取得できることを実証した。その応用研究として、2023年夏に深刻化したカナダの山火事の影響が、北極海の上空にまで到達していることが示された（Sato et al., 2025, Atmos. Res.）。2024年には観測技術員によるドローンの委託観測が実現し、WMOのドローン気象観測キャンペーンの一環として、取得気象データをWMOのデータサイトに通報できることを確認した。

以上のように、「みらい」は日本の北極域研究のフラッグシップとして活躍してきた。常に新しいことに挑戦し北極域研究を国際的に牽引するためには、船体機能を熟知する船長をはじめとする「みらい」船員、観測技術員、陸上支援を行うJAMSTECの各部門や関連企業の緊密な連携が必須である。その絆が綿々と受け継がれてきたことはとても頼もしく、それが「みらいII」でさらに発展することを期待している。

図1 「みらい」による北極海上のラジオゾンデデータは中高緯度の気象循環の再現性の向上に役立つ（2013年3月6日の国立極地研究所プレスリリースから）

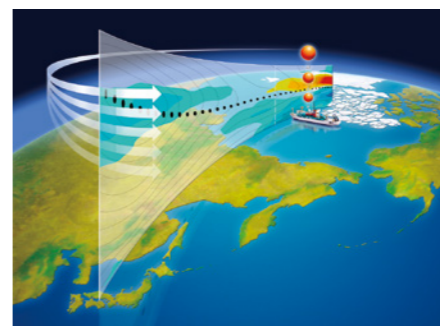


図2 「みらい」北極海航海で初めてドローンを導入した2019年9月（撮影：猪上 淳）

「みらい」に感謝を

松野孝平

北海道大学
大学院水産科学研究院

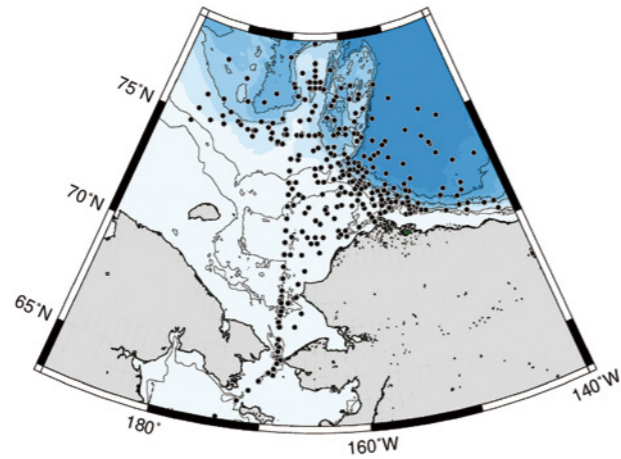


図1 2008～2024年に「みらい」北極航海で動物プランクトン試料採集を行った地点

この度、退役するJAMSTEC海洋地球研究船「みらい」に対し、心からの敬意と感謝を申し上げます。

私にとって、北極海で海洋生物の調査を行うことは、まさに夢のまた夢でした。初めて乗船したMR08-04航海では、修士課程1年の学生として、動物プランクトンの採集を目的に単独で乗船しました。当時はマスタングスーツもなく、薄手の手袋か、分厚すぎる防寒手袋しか選択肢がなく、船上作業には苦勞した記憶があります。右も左も分からない中で、同乗した研究者の方々やMWJの皆様が助けていただきながら、極域での初調査を無事に終えることができました。

「みらい」の北極航海は1998年に始まりましたが、私は2008年から参加し、これまでに7回、延べ355日間を「みらい」で過ごしました。これは私の総乗船日数の半分以上に相当します。2008年から始まった北極海での動物プランクトン試料採集は、博士課程修了後も研究室の後輩やJAMSTECの研究者の方々によって継続され、現在までに541本のプランクトンネット試料が得られています(図1、2)。

「みらい」乗船中は、動物プランクトンだけでなく、海水や海底堆積物を採取し、植物プランクトンの研究も展開してきました。これらの貴重な試料を用いて、北海道大学浮遊生物学講座の博士課程2名、修士課程12名、学士課程11名が研究を行い、それぞれの課程を修了しています。これは、「みらい」がほぼ毎年北極航海を実施してきたことによる、教育への大きな貢献だと言えます。

他方で、実際に「みらい」に乗船した学生は8名であり、フィールドを知らずに研究に取り組んだ学生も多くいました。毎回、研究室から1～2名が乗船する枠をいただいておりますが、その限られた枠を巡って希望者が殺到し、競争や調整が生じることもあります。フィールド経験が学生のその後どのように活かされるかの評価は難しいですが、北極航海に参加した学生は少なくとも満足しており、就職活動で活かした者、博士課程へ進学した者、航海士を目指し始めた者など、それぞれの人生の岐路において貴重な経験となっています。

「みらい」は、海洋研究者の誰もが乗船してみたいと憧れる船だと聞きます。確かに、研究設備や広くて使いやすいラボ、事務的・技術的なサポート体制のいずれも素晴らしく、航海中に大きな困難に直面することはほとんどありませんでした。首席のリーダーシップのもとで進められる調査は、効率的であり柔軟です。研究者にとって恵まれた調査環境は、良い成果を生み出すための基盤であり、それを長年提供し続けてくださった「みらい」とJAMSTECの関係者の皆様から感謝申し上げます。

誰もが乗りたい船であり、誰もが関心を持つ海域での調査であれば、自然と共同研究へと発展していきます。国際共同研究の例を挙げると、ドイツのアルフレッド・ウェゲナー極域海洋研究所およびカナダのラバル大学との共同研究では、セジメントトラップを用いた環北極海での動物プランクトンの季節変化を解析しました。米国ウッズホール海洋研究所との

共同研究では海底堆積物を用いた植物プランクトン休眠期細胞の分布を調べ、韓国極地研究所との共同研究では太平洋側北極海における動物プランクトンの時空間変化を調べています。他にも試料やデータ提供に関する共同研究は数多くあり、それらすべてのネットワークの礎は「みらい」が与えてくれた貴重な機会によって築かれたものだと考えています。

私が研究者として活動を続けてこれたのは、「みらい」の存在があったからこそだと確信しています。気候変動の影響が顕著に表れる北極海で、自分の純粋な興味に従い研究をさせてもらったことは、非常に幸運であり、大きな喜びでした。「みらいII」に役目が引き継がれた後も、一人の研究者として航海に参加し続けたいと思います。そして、「みらいII」の航海を通じて、より多くの若者が乗船し、新たな夢を叶えてくれることを心から願っています。



図2 「みらい」での動物プランクトン採取

Mirai Retirement 2025

David (Duke) Snider

Ice Pilot
Martech Polar Consulting Ltd.



Commemorative photo of the MR24-06C cruise

It is with a great deal of sadness that I write this short remembrance of more than 20 years working closely with the teams ashore and onboard RV Mirai in support of the ship's tremendous research activities in Polar waters, both Arctic and Antarctic. The ship and the people involved have become part of my life over these years, as friends, almost family and a home away from home for so long. It is sad to see this grand ship retire this year, in 2025.

My relationship with the ship and the people began in 2002, as an Ice Navigator onboard for the Arctic JWACS voyage, with Captain Masaharu Akamine and Chief Scientist Dr Koji Shimada. What an exciting way to begin my association with RV Mirai as this cruise worked in a joint multi-ship research project in the Canadian Basin that also included CCGS Louis S. St. Laurent and CCGS Sir Wilfrid Laurier. Onboard Mirai was an international team of researchers from Japan, Canada and United States. The crew of RV Mirai welcomed me into their "home" onboard with open arms on that first voyage. Many of the faces onboard were well known to me, having sailed together on previous Arctic research voyages on Canadian Coast Guard vessels. Back then I still had red hair though my beard was already turning "Arctic blonde". Since that first voyage, I have sailed onboard for almost all Mirai's Polar voyages, and every

cruise since 2013.

My role through the years has been two-fold. On one hand to serve the Captain of the ship, keeping the ship safe from ice beyond the ship's capabilities, while on the other hand working with the Chief Scientist to plan observations that are safe, but take advantage of Mirai's capabilities and ice conditions and maximize the research potential of the ship.

With climate change we have seen many changes over the more than twenty years of Arctic and Antarctic research. Amongst the changes, while consistently visiting many observation points continuously over the years, Mirai's research has amassed vital knowledge of trends and changes and made exciting and sometimes shocking new discoveries. In the first years, we were extremely excited to make a furthest north voyage in the region of 74°N, at the time considered exceptional. Now, Mirai routinely voyages well north of that as the Polar pack continues to reduce annual extent.

I have made many very good friends sailing onboard RV Mirai while proudly doing my part to both keep the ship safe and expand our global scientific knowledge of the Polar Regions. As I began writing this, I felt sad. As I close this, I feel great HAPPINESS and pride in being part of such an incredible international research program.



Captain Duke Snider and Little Diomed Island

成し遂げたGlobal Hydrography

深澤理郎

元 海洋研究開発機構
執行役

「みらい」は、前身の原子力船「むつ」から原子炉を撤去する等の大改造を施され、1996年8月に「みらい」として進水、1997年9月に海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構、JAMSTEC）に引き渡された。その後、共用の観測船として、当時の東京大学海洋研究所（現 大気海洋研究所）の大型船とほぼ同様の運用方法で研究航海が実施されたが、それはそのまま大学での海洋観測研究のあり方を表していた。すなわち、一つの航海が個々の研究に分割され、気候変動の理解に寄与するような海の物理・化学的な状態を高い精度・手法で観測してそのデータを世界と共有することを目的としたものではなかった。総トン数8,000トン以上、40名以上の研究者、技術者が乗船可能、かつ多くの研究設備をもつ「みらい」にとって、それらの特性を生かし世界的に意義のある使い方を模索する研究者がJAMSTECには存在していた。

一方、「みらい」の運用が開始されたのと時を同じくして、世界ではWCRP（世界気候研究プログラム）のもとでWOCE（世界海洋循環実験）の実行計画が立案されはじめていた。WOCEのおもな目標は、「水平・鉛直の海洋循環」を明らかにすることと、気候変動研究を将来にわたって支えることのできる高精度データを蓄積・公開することであった。1990年から始まったWOCEでは5種類の海洋観測が企画されたが、その中で最も重要なものとして、船舶を使って「①海面から海底まで連続的に水温・塩分・溶存酸素を計測し、さらに②多くの層で試

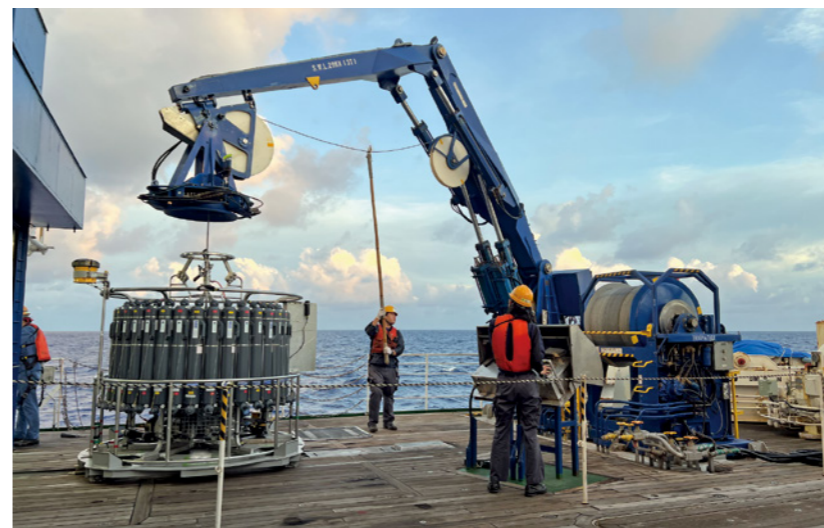
料海水を採取し、栄養塩、無機・有機炭素、フロンをはじめとする11種類の項目を分析し、③これらの結果を速やかに公開し、全世界で共有する」ことを目的とするWHP（WOCE Hydrographic Program：WOCE各層観測プログラム）があった。WHPでは、海洋の熱輸送をとらえるために、測点間隔は主要な海底地形を分解できる狭さ（30～50km）が設定されると同時に、特に熱の南北輸送を明らかにするべく、経線に沿って大洋を完全に横断する測線も定められた（<https://woceatlas.ucsd.edu>）。これらの測線の中でWHPに相当する観測が太平洋で初めて行われたのは、実はWOCE開始以前、1985年の米国Scripps海洋研究所による北緯24.5度と47度の観測であった。

WOCEが始まって日本ではそのような観測を単独で行う能力をもつ所はなく、ようやく1992年から1994年にかけて水産庁、海上保安庁、東海大学が北緯30度を共同で観測した。さらに1999年に、文部科学省科学技術振興調整費「北太平洋亜寒帯循環と気候変動に関する国際共同研究」のもとで水産庁、JAMSTEC、さらにカナダのIOS（海洋科学研究所）が共同して北緯47度全線の観測を行い、精度・分析項目等でWOCE基準を満たしきれない部分を残したものの、WHPに準拠した航海報告と観測データを3年近くかけて提出・公開することができた。当時の日本海洋学界における限界であった。日本がWCRPやWOCEのような地球規模での気候研究、特に海洋観測において、世界の研

究システムに伍して行くには、研究者と観測技術者の考え方のみではなく、船舶の装備、特にCTD+RMS（Conductivity, Temperature, Depth/Pressure measuring equipment：吊り下げ式の海洋観測装置+Rosette Multi Sampler：多層採水装置）周辺の改良が必要であった。

「みらい」船体の性能、特に荒天下での安定性、気象や海底探査装置の充実、乗船可能な研究者と技術者の多さについては、退役を目前とした現在に至っても世界に誇れるものである。しかし2000年にも至っても、WOCEの基準を満たす海洋観測（Hydrography）は実際上不可能であった。CTD+RMSの海中への投入と回収に迅速性を欠くばかりではなく、海中での降下速度が安定していなかったことが大きな原因であった。「みらい」が海洋観測に導入された当初にはCTD+RMSの投入と揚収が後部甲板の巨大なAフレームクレーンで動揺を伴って行われていた上に、RMSから試料の採水を行うにはさらに時間をかけて30m以上にも及ぶ後部甲板を振動を伴っての移動が必要だった。これでは採水装置の気密性は確保できない。これらの難点は2000年には後部甲板側部に観測用ウインチを設置することである程度まで解決されたものの、船体の大きさによるローリングが影響して、CTD+RMSが海中で常に上下に海水を攪拌してしまうことと、投入と揚収には別途クレーンが必要で作業が煩雑である（時間を要する）ということ、観測用ケーブルの寿命が短いこと等についてさらなる改善が必要であった。

他方、WOCE開始以来、WHPの要請を満たせるようなCTDとRMSそれぞれの改良は文字通り日進月歩で行われてきたが、それとほぼ時を同じくして、CTD+RMS観測に適したウインチについて、日本の研究者も含めWHP関係者の間で議論され、当時は世界の海洋学界をリードしていた米国の機械メーカーによって製作された。従前の観測ウインチとの最大の違いは、観測の開始時と揚収時に



新たに装備された観測用ウインチとCTD+RMS。CTD+RMSには海中での回転を抑制するためのフィンが見える。

CTD+RMSがウインチに付随した長いアームの先端に固定されることと、長いアームがそのままクレーンとして旋回・上下できること、さらに船舶の動揺を打ち消すようにアームの迎角が自動的に変化する点（heave compensating motion）であった。これらの特長は、観測に必要な時間を大幅に短縮すると同時に、ケーブルの寿命を伸ばし、CTD+RMSから海底までの距離を正確に計測し船上に通知するAltimeter（海底高度計）の利用までも可能とした。JAMSTECが、莫大な費用をもってこのウインチを、開発からさほど時を経ず、実績も少ない時に実装できたのは、当時の理事であった故 千々谷眞人氏がJAMSTECの研究者を深く信頼してくださった結果であることは特記しておきたい。

次に研究者・観測技術者として重要なのは、RMSからの試料採水をcontamination（汚染）なしで行い正確に分析することであった。採水された試料の分析は分析機器のマニュアルが整備されているが、採水については放射性元素等、特殊な分析に用いる採水以外にはWOCE精度を確保するような適切なマニュアルが存在していなかった。どのような採水方法と採水容器を用いれば精度を維持した上で個人差のない採水と分析が可能なのか。研究者が他のWHPクルーズレポートも参考にして、個々の分析項目用の採水について最も信頼のおける方法を考えた。「みらい」では研究者と観測技術者（多くはMWJ：マリン・ワーク・ジャパンの技術職員）が共同で採水・分析を含めた観測全般を行

うことから、WHP観測のもつ意義、特に気候変動研究への「みらい」による観測の寄与、さらにはそれらを可能とする採水・分析技術を全員に理解してもらうために、当時JAMSTECの中堅研究者であった河野健氏にMWJへの1年間の出向をお願いした。

こうしてようやく準備が整った。「みらい」は今後のWHP観測を通じた気候変動研究の進展に十分寄与できることを実証すべく、2001年にアラスカ湾を縦断するWHP測線P17Nの観測を行った。結果は誰もが満足できるもので、観測の精度、測定項目、航海報告、期限内でのデータの提出、そのフォロー方法等、WHP観測の見本とも言える内容であった。航海では分析項目ごとに延べ17名の主任研究員を置きデータの精度と公開の責任者となり、34名の研究者・技術者が実際の観測作業にあたった。結果として、全78点での観測を、途中の観測待機も含めて8月6日から8月25日のわずか20日で成し遂げたのである。これ以前にアラスカ大学が同じ測線で実施した時と比較すると約2倍の速さであった。これは観測・分析を2チームによって交互に行うのに十分な数の人員が乗船できるという「みらい」の特長と、新たに装備された観測ウインチがもたらした当然の結果であった。

その後、このWHP航海と同様の立て付けのもとで、海外の海洋研究者も含んだ観測チームが2003年にBEAGLE2003航海を行い、P6（南太平洋）、A10（南大西洋）、I4+I3（インド洋）のWHP測線を一気に観測した。5つの港で人員の交

代と物資の補給を行いつつ、外国から延べ45名、日本国内から延べ158名の研究者・技術者が「みらい」船上で共に活動し、わずか5カ月足らずで493の全測点を観測用ケーブルの交換もなく、海面から海底まで同一の手法、精度の高さで観測し、気象、水深さらには太陽光も含めた高品質なデータを公開したのである。「みらい」が、そしてJAMSTECが海洋観測（Hydrography）に世界から不動の信頼を置かれるようになった瞬間であった。

WOCE、それに続くCLIVAR、GO-SHIPという全球的な国際共同研究計画で、文字通り大陸間を結ぶ再観測9本を含み、「みらい」では2023年までに19回のWHP型観測航海を行い、高精度・多項目測線を完成させた（複数の『WHP REVISIT DATA BOOK』JAMSTEC編参照）。これは前人未到的実績であり、今後も世界の研究者から賞賛され続けるであろう。「みらい」の実力は世界から十分認識されているのである。ただ、WHPに深く関与してきた者からすると、「みらい」のWHP型海洋観測（Hydrography等）実施に必要な設備は完成していたわけではない。特にRMSによる採水からその分析へのつながりについて根本的な改良が残されていた。今般「みらい」が退役し新たな「みらいII」となるわけだが、それらが改良され、「みらいII」が「みらい」をはるかに凌ぐすばらしい観測船になっていることを信じている。

「みらい」GO-SHIP航海に参加して

安中さやか

東北大学
大学院理学研究科



並ぶ採水瓶



7年間のJAMSTEC在籍期間中、2019年11~12月(MR19-04)および2021年7~8月(MR21-04)の2回、「みらい」GO-SHIP航海に参加させていただきました。学生時代に白鳳丸や北光丸の航海に参加して以来、十数年ぶりの乗船でした。ルーチン観測要員として、採水やCTDオペレーションに勤めました。月並みなことしか書けませんが、以下、いくつか印象に残ったこと。

①現場での臨機応変な対応は、経験と事前準備があつてこそ可能

一つ一つの観測点、一つ一つの観測項目が、事前に細かく決められており、わかりやすいマニュアルも用意されていました。予定外のことがあつたとしても、事前計画の微修正で、問題なく観測が

進行していました。事前準備と経験伝授の大切さを、再認識しました。

②労働管理と福利厚生

根性論が通用しなくなり、厳正な労働管理と快適な船内環境が目指されていました。過重労働の抑制は、事故を防止するとともに、不測の事態に対応できる余力に繋がります。減揺装置(注:近年設置された物ではありません)は、白波が立つ海峡でも揺れを感じさせません(注:感じ方には個人差あり)。壁一面のDVDや漫画は圧巻で、トレーニング室は交流の場にもなっていました。

③指揮系統の明確化と相互理解

船員さんの役割分担は明確で、その上意下達のシステムは安全確保には不可欠で、緩い世界に生きている私は、そ

の無駄のない動きに感心するばかりでした。一方、逃げ場のない狭い空間で、長い期間に及ぶ共同生活には、コミュニケーションも重要で、オンとオフの使い分けが必要ですね。

④カゴいっぱいの採水瓶

さすがはGO-SHIP航海、CTD採水室前のデッキは採水瓶で溢っていました。

その後、私は大学に異動しましたが、研究室の学生が、自身のデータ取得のためや、観測補助員として、「みらい」航海に参加させていただきました。また、何の巡り合わせか、クロスポイントメントで、JAMSTECの身分を頂いています。「みらいII」など、今後もお世話になる機会を頂戴できれば幸いです。

観測ファーストの文化

勝又勝郎

東京大学
大学院理学系研究科



海洋研究開発機構本部はご案内の通り京急線追浜駅からバスで行くのが普通です。数年前某私鉄沿線に引っ越してから、この某私鉄と京急の「文化」の違いについて考えさせられることがしばしばあります。京急はきびきびとした乗務員の動作・安全と定時運行を両立させる現場と運転指令の連携術が特徴ですが、某私鉄は徹底的な安全重視が明らかです。とくにドア閉め時。京急は車掌の「だあしゃっす(ドア閉めます)」アナウンスから小気味よく列車が動き出すのに比べ、某私鉄はドアを再開閉して再開閉して結果ドア閉めから列車が動き出すまで1分近くかかることもあります。そのためしばしば揶揄されるよう「平常通り遅延」という状態になってしまうのです。これが長い時間が経って人が入れ替わっても、無言の先輩の背中なり有言の座学なりで受け継がれていく、ということが「文化」なのだろうと思います。

いつも「みらい」に乗って「ああそうであつたなあ」と実感するのが、「この船は観測を優先する」という意思が船長から部員の方々まで貫徹していることです。4時間を超える極域深夜の極寒CTDキャストでもデッキ上のウインチ監視が続き、人々が休んでいるウインチホリデイであっても食事のレベルは維持され夜食は欠かされず、波間にたたきつけられ轟音を上げる船体からわずかな風の息の間を読んで繰り出す観測機器など。機会あって他船に乗ってみるとこのような「文化」は実は当たり前ではないことを教えられます。

このような文化はもちろん乗船する研

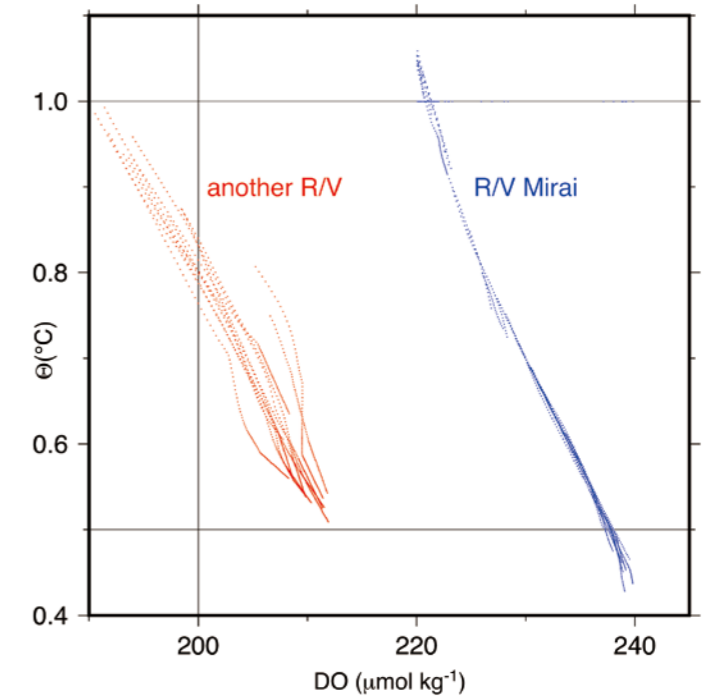


図1 ある海盆で観測した深層の溶存酸素と水温。詳細は本文を参照。

究者にはたいへん有難いものです。それに加えてこの文化は観測の生成物であるデータにも見ることが出来ます。図1は、ある海域の底層近く(4,000m以深)の溶存酸素を横軸に、水温(圧力による変化の効果を取り除いた保存温度 Conservative Temperature)を縦軸に示したものです。点ひとつひとつがニスキン採水瓶で採取した海水サンプルから測定した溶存酸素と採水した深度において温度計で計測した水温を表します。左側の赤い点が某国の観測船、右側の青い点が「みらい」による観測です。両者とも一つ一つの海盆からのデータを抜き出してあります。両者とも同じような経度で同じような時期に観測していますが緯度は異なります。一つのグラフに掲載するために片方の水温は1°Cずらしてあります。深層の海水はよく混ざっているため溶存酸素と水温の関係はほぼ一つの線上に乗ります(とはいっても一方から深層水が流れ込み他方から流れ出るために多少溶存酸素に幅が出ますが)。左側の赤い点は右側の青い点に比べて明らかに幅広くばらついています。これは観測データに付随する誤差の大きさを表しています。よく知られていることですが、

溶存酸素のサンプル海水採取と分析はそれなりの技巧が要求されます。このデータのばらつきは、採取と分析に携わる者の技巧が現れたものです。さらにその背後には、マニュアル通りすべての採水深度で1分以上ウインチを停止させニスキン採水瓶内の海水の交換を確実に行うCTDオペレータ、船の動揺の影響を最小に抑えるべくメンテナンスに手のかかる船体ローリング相殺器を故障なく稼働させる機関部、強風下でも船体を風上に保持し水平方向の観測装置の移動を最小にする操船技術をもつ船橋、海水満載のニスキン採水瓶36本付きの巨大CTDフレームを最後の採水層から分析瓶までを最短の時間でつなぐ甲板部、そしてこれらのオペレーションが食事と同時に進められても食事を冷蔵庫に取り置いてくれる司厨部など、「みらい」の観測ファースト文化が結実したものです。

願わくば、この観測ファースト文化が良き伝統として次の船あるいはその次の船までも受け継がれんことを。お世話になった「みらい」船上の皆さま、観測技術員の皆さま、アルバイトの皆さま、そして「みらい」に再度感謝申し上げます。

MR21-04		表1 採水層 (dbar)																			
Niskin	Sch-1	Sch-2	Sch-3	DO	GFC SFB	Sal	TC	14C	TA	Chl-a	I-127	Plankton	Abundance	DNA	Nuts	DOC	FDOM	CDOM	I-129	Organic iodine	
1	36	10	10	10	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	35	50	50	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	34	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	33	150	150	150	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	32	200	200	200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	31	250	250	250	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	30	300	330	280	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	29	400	430	370	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	28	500	530	470	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	27	600	630	570	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	26	700	730	670	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	25	800	830	770	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	24	900	930	870	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	23	1000	1070	970	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	22	1200	1270	1130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	21	1400	1470	1330	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	20	1600	1670	1530	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	19	1800	1870	1730	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	18	2000	2070	1930	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	17	2200	2270	2130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	16	2400	2470	2330	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	15	2600	2670	2530	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	14	2800	2870	2730	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	13	3000	3090	2930	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	12	3250	3330	3170	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	11	3500	3580	3420	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	10	3750	3830	3670	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	9	4000	4080	3920	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	8	4250	4330	4170	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	7	4500	4580	4420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	6	4750	4830	4670	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	5	5000	5080	4920	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	4	5250	5330	5170	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	3	5500	5580	5420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	2	5750	5830	5670	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	B-10	B-10	B-10	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Chl-max	Chl-max	Chl-max																	

(1) B-10層と上層の異なる深層の異なる深層の採水層はキャンセルする。
 (2) 最大到達力は、6100dbarとする(センサー保護のため)。
 (3) Chl-max層はニスキン採水器#2で採水する。ただし、ニスキン採水器が余らない深い観測点では、Chl-max層の最寄りの基準層をキャンセルしてChl-max層を採水する。

MR21-04航海での採水層一覧

Mirai: Illuminating the Ocean's Carbon Cycle for a Changing World

Christopher Sabine

Professor of Oceanography and Interim Vice Provost for Research, University of Hawai'i at Mānoa

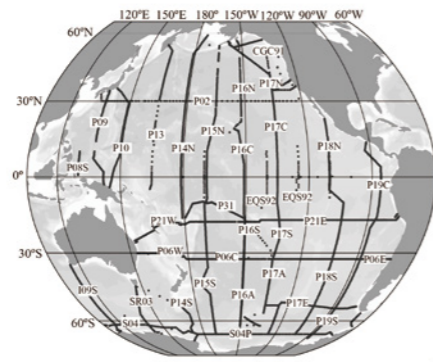


The Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology's (JAMSTEC) research vessel R/V Mirai has played a key role in delivering high-quality physical and chemical oceanographic measurements to the global scientific community for nearly 30 years. Since its commissioning in 1997, Mirai has been a workhorse for deep-sea exploration and data collection, significantly contributing to our understanding of the ocean's complex processes, particularly concerning carbon cycling.

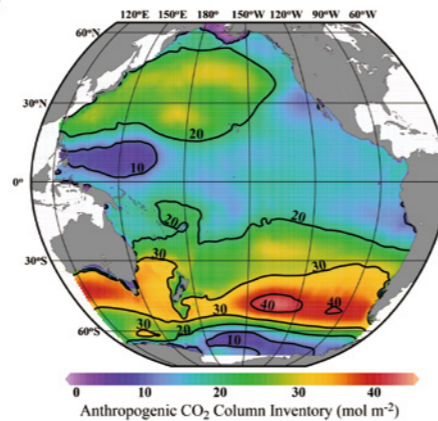
One of Mirai's most crucial contributions for the carbon community lies in its participation in international programs like the Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program (GO-SHIP) and its predecessor the Repeat Hydrography Program. These programs aim to establish a global baseline of oceanographic properties and track their changes over time. Mirai maintained several critical repeat oceanographic transects in the Pacific, Indian and Southern Ocean, consistently providing precise measurements of temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, and carbon-related parameters like dissolved inorganic carbon (DIC), total alkalinity (TA), and pH.

These carbon measurements are vital for understanding the ocean's role in the global carbon cycle and in particular the accumulation of anthropogenic carbon, not just in the surface waters, but also deeper in the water column. The ocean acts as a massive carbon sink, absorbing a significant portion of atmospheric carbon dioxide (CO₂). However, increased anthropogenic CO₂ emissions are leading to ocean acidification, with potentially severe consequences for marine ecosystems. Mirai's data helps scientists monitor these changes, assess the ocean's capacity to absorb CO₂, and model future scenarios.

The data collected by Mirai is not only instrumental in understanding the ocean's current state but also in building comprehensive datasets like



The left figure shows the cruise tracks of the cruises used to evaluate the distribution of anthropogenic CO₂ in the Pacific. The bottom figure shows the column inventory of anthropogenic CO₂ in the Pacific (Sabine et al., 2002, doi: 10.1029/2001GB001639)



the Global Ocean Data Analysis Project (GLODAP). GLODAP synthesizes oceanographic data from various sources to create a global, internally consistent dataset of ocean chemistry. Mirai's high-quality measurements are crucial for ensuring the accuracy and reliability of GLODAP, which is used by researchers worldwide for various applications, including climate modeling and ocean acidification studies.

Furthermore, Mirai's capabilities extend beyond standard hydrographic measurements. It is equipped with advanced instrumentation for studying various aspects of ocean biogeochemistry, including trace metal distributions, particle fluxes, and microbial processes. This comprehensive approach allows scientists to gain a holistic understanding of the ocean's intricate workings and the interplay between physical, chemical, and biological factors. As an ice-hardened ship it was also instrumental in providing measurements in high-latitude waters.

In summary, Mirai has had an illustrious career as a critical platform for gathering essential oceanographic data, particularly regarding carbon and its related properties. Its participation in international programs and contributions to global datasets like GLODAP highlight its significance in advancing our understanding of the ocean and its role in the global climate system. The data it has provided is vital for informing policy decisions and developing strategies to mitigate the impacts of climate change and ocean acidification.

化学トレーサ研究から振り返る「みらい」

渡邊修一

元 海洋研究開発機構 むつ研究所 研究所長



「みらい」が就航した当時、私は北部北太平洋における二酸化炭素収支に関連した荒れる冬季のガス交換について興味がありました。荒天下でも観測が行える「みらい」への期待は大きなものでした。就航後、冬季の北太平洋の観測を行い、着々と成果を上げていく中、2001年にJAMSTECに縁があって私も「みらい」での観測に関ることになります。

当時、JAMSTEC創立30周年を記念して、世界海洋循環実験計画(WOCE)の一部を担う南半球周航観測航海(BEAGLE2003)が計画されていました。BEAGLE2003航海中に船上で沢山の化学トレーサを含む化学成分分析試料を迅速かつ高精度で定量することを求められ、私も技術者と共に検討を行うことになりました。特に溶存酸素測定については機器の開発も含め、短時間に高精度で測定する方法の検討を行いました。その結果作られた手順・方法は、わずかに数μmol/kg程度しかない亜硝酸の効果まで考慮する必要があるほど高い精度で溶存酸素量が測定できていることが、後日分かりました。一般に化学トレーサというと、移動経路の追跡と時間経過を知ることができるトリチウムや放射性炭素などの放射性物質が代表的です。しかし、放射性物質のように物質自身が時計にならない溶存酸素などの安定な化学成分も、その濃度分布を解析することで化学トレーサとして使えます。BEAGLE2003航海以後、「みらい」において高い精度で測定された溶存酸素や栄養塩などの分布は海洋循環、物質循環の解明に大きな役割を果たしたと思っています。

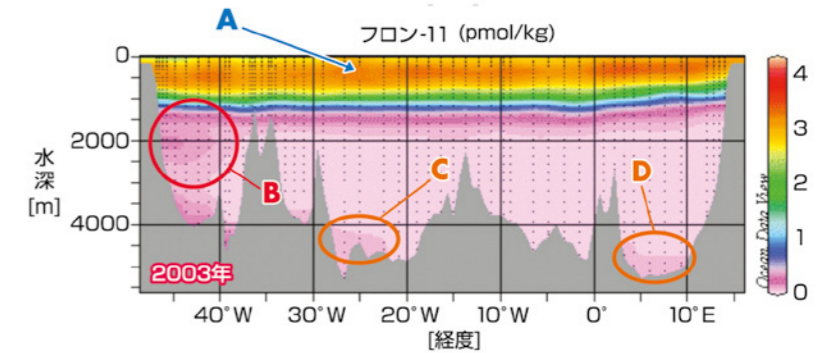


図1 BEAGLE2003航海Leg 4(南大西洋南緯30度断面)で測定されたCFC-11の分布。表層付近(A)以外の深層(B、C、D)でも検出されている。(出典: Blue Earth 21(3), p30)

天然に存在しない人工的に作られた化学物質も化学トレーサになります。オゾンホールの原因となって製造・使用が禁止されているフロン化合物(クロロフルオロカーボン類、CFCs)はその例です。CFCsは1950年ごろから急激に使われるようになり、大気を通して海洋中に溶け込み、水と共に移動します。海水中の濃度分布が水の動きを表していることになります。一例としてBEAGLE2003航海の南大西洋南緯30度のCFC-11の分布を図1に示します。大気に直接触れない2,000m以深の一部や底層でCFC-11が検出されています。1950年以前は地球上にない物質ですので、少なくとも1950年以降に表層にあった海水が関与していることが分かります。CFCsにはCFC-11の他にもCFC-12、CFC-113などがあり、濃度や濃度比を解析するとより沢山の情報を引き出すことが可能です。しかし、海水中のCFCsは大変微量で、分析中に大気や部材などから簡単に汚染されます。汚染を防ぐために市販の機器を見直し、改造が不可欠です。「みらい」で用いた分析装置は図2のとおり雑然としていますが、汚染を防ぐ工夫の塊

です。また、分析ガスなどからも徐々に汚染が進行するために寄港地での保守も欠かせません。船上でのそんな苦勞の結果得られたものです。

最も一般的な放射性炭素については「みらい」就航時から試料採取が行われ、多くの成果を上げています(Kumamoto et al., 2002など)。また、福島第一原子力発電所の事故後に放出されたセシウム同位体をトレーサとして用い、北太平洋表層付近の海水循環の状況が明らかにされています(Kumamoto et al., 2018など)。物質循環研究では、化学トレーサを利用して海面からの粒子輸送速度の見積もり(Honda et al., 2013)などの成果が「みらい」の航海によって得られています。

私自身は「みらい」が就航10年を迎えたころから母港であるむつ市関根浜港での出迎えが主な仕事になり、観測研究の現場から離れたましたが、地域での出前授業や集会などの機会があるたびに「国際的にトップを争う高い精度の海洋観測を実施している観測船です」と紹介してきました。「みらい」のこれまでの活動を誇りに思います。

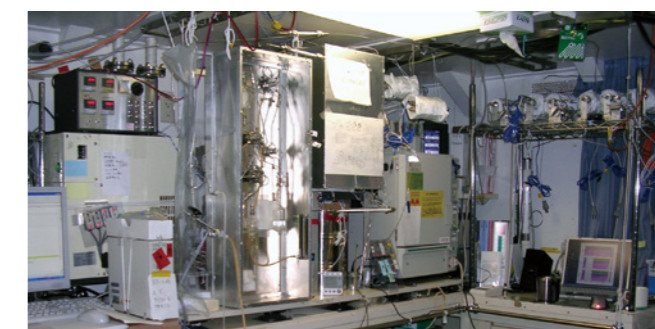


図2 「みらい」に載せられたCFCs測定器(写真提供: むつ研究所 佐々木建一氏)

トライトンブイと「みらい」

黒田芳史

元 海洋研究開発機構
海洋観測研究部 研究主幹



1998年3月、「みらい」とトライトンブイ。

「みらい」竣工の半年後、1998年3月にミクロネシアの海に初めてトライトンブイ4基が設置された。たかが4基のブイなのだがJAMSTECにとっては大きな飛躍だった。

少しかのぼると、1982/83年に観測史上最強のエルニーニョが発生し、世界各地で異常気象を引き起こし大きな被害をもたらした。これを契機としエルニーニョに伴う熱帯太平洋全域に及ぶ海洋と大気の変化を観測し、そのメカニズムの解明や予測に焦点を当てた熱帯海洋・全球大気研究計画 (TOGA) が1985年に始まった。このTOGAの10年間で、熱帯大気海洋 (TAO) ブイ網、島々に展開された潮位計網、海面漂流ブイ網、商船による投下式水温計の定線観測など、データはリアルタイムで世界中に配信され誰でも無償で利用できる観測網が整備されたのである。日本もTOGAに参加すべく、1986/87年にエルニーニョが発生したとき、「なつしま」を用いて中・西部熱帯太平洋の緊急観測航海が実施され、JAMSTECが熱帯域の観測研究に関わる端緒となった。

また、1992年にブラジルで国連環境開発会議「地球サミット」が開催され、地球温暖化など環境問題への対応が国においても大きな課題となってきていた。このような気候変動に関わる地球規模での観測研究ニーズの高まりを受け「みらい」建造時に、その役割の柱として係留ブイ網の開発が盛り込まれた。

海洋学における観測には2種類ある。ある現象のメカニズムの解明を目指した素過程についての研究観測 (プロセス研

究観測) と、天気予報や航路の安全確保、漁業資源管理など社会経済を営むために利用されるデータを取得する定常観測 (ルーチン観測あるいはオペレーショナル観測) である。トライトンブイは両方の側面を併せ持ち、エルニーニョの発生メカニズムの解明を目指す研究と、エルニーニョの実況監視および日々の気象・海象予報、数カ月から1年の中長期気象予報のためのルーチン的なデータ取得を目的とする。

研究目的ではできるだけ長期の良質なデータを必要とするが、必ずしもリアルタイムである必要はない。一方、気象・海象予報、中長期気象予報のためには品質管理された良質なデータをリアルタイムで世界中の気象機関に供給する必要がある。この品質管理されたデータをリアルタイムで供給することが肝となる。ブイ網のデータを日々世の中に提供するために、むつ研究所に観測機材整備場が建設され、トライトンブイの整備・センサーの校正・データ品質管理・データ配信のための諸設備が整えられた。これらはTAOブイ網を所掌する米国海洋大気庁太平洋海洋環境研究所 (NOAA/



1998年3月、トライトンブイ初設置航海にて。

PMEL) から多くのことを学びながら整備された。そして観測技術員の制度が「みらい」の就航とともに拡充され、トライトンブイの運営で必要な船上・陸上での業務を実施できる体制ができた。これらの業務への研究者の積極的な関与とともに、縁の下を支える観測技術員の活躍により定常観測が可能になった。

初期に計画した18基のブイ配置は2002年に完成することができた。その後は厳しい予算の制約のため展開点は減じていくのだが、長年にわたるトライトンブイの展開に「みらい」は欠かせない存在であった。私は、このトライトンブイの計画作りから、予算要求、実際の船上での設置・回収作業、ブイの初期不良や人為的損壊によるトラブル対応に至るまで様々な仕事に関わった。ブイが漂流したときの対応など、しんどいと思うこともたくさんあったが、振り返れば、ブイ網が著しく縮小される間に発生した2015/16年の大規模エルニーニョを捉えるなど多くの成果を見ることができ、現場で汗をかいた研究者、技術者、観測技術員、船員との協働は今となっては楽しい思い出として残る。

海洋観測における国際協力 — TRITONブイ網の経験から

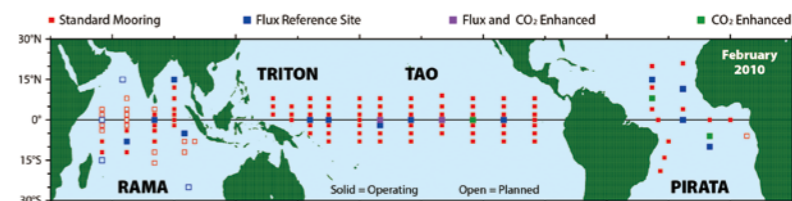
安藤健太郎

海洋研究開発機構
変動海洋エコシステム高等研究所

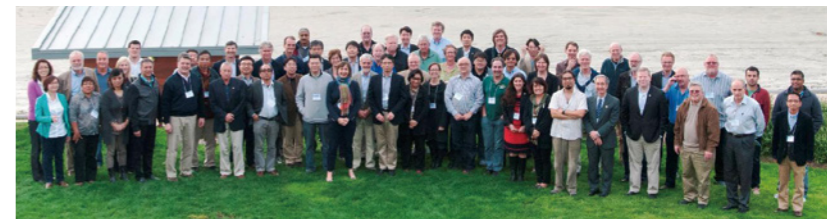


海洋は地球の表面の70%を占め、また、海洋の平均の深さは4,000mもある。現在進行している温暖化において、多くの熱を吸収できるのも、海が地球上にあるからだ。そのため、少なくとも現在までは過激な温暖化には至っていない。しかし、アルゴ計画が始まる前までは、海洋観測の密度は、陸域に比べて大変疎であったため、海洋がどうなっているか十分に把握ができていなかった。その中で、1990年代に経済的に余力があった日本は、米国と共にエルニーニョ現象が発生する熱帯太平洋域を対象として、表層係留観測ブイ網の構築と維持に貢献してきた。当時日本には、この観測ブイ網を構築し維持する技術が十分ではなかったが、米国との協力により90年代の後半には十分な実力を持つこととなった。

国際的な枠組みとしては、当初はCLIVARのもとで、地域の科学的課題を議論するための太平洋パネルにTAO Implementation Panel (TIP) が設置され、黒田芳史さんがメンバーとして参加していた。その後、このパネルがより科学のみについて議論する方向にシフトしたこと、Operational Oceanographyという概念が出てきたこと、TAOブイ網の西側の観測を強化して実施するためのTRITONブイ網が加わったことなどから、このTIPは、CLIVARの枠組みからGOOS/DBCPの枠組みに移管されて活動することとなった。また、大西洋におけるPIRATAという観測ブイ網との技術的な協力の必要性も出てきたため、TIPは、全球熱帯域を対象とするTropical



2010年時点の全球係留観測ブイアレー (TRITONブイがフルに係留されている時)



2024年1月に米国スクリプス海洋研究所で開催されたTPOS2020プロジェクトを議論するワークショップ参加者

Moored Buoy Implementation Panelに名称を変更して活動を行うこととなった。この頃から、黒田さんに代わり筆者がパネルのメンバーとなり、間もなくNOAA/PMELのMcPhaden博士と共に共同議長となった。ここでの主な議題は、当時から多発していたブイへの主に漁業活動による影響である。多くの場合は、漁船によるセンサーなどへのダメージがあり、如何に回避するか、あわよくば漁業関係者と連携できないかなどの議論があったが、結局、技術的に解決する議論が優先されて、漁業関係者との十分な対話までには至らなかった。

2008年の経済クライシス (リーマンショック) を端緒として、まずは米国においてTAOブイ網の維持のためのシブタイムが徐々になくなり、TAOブイ網の維持が困難になった。また、日本においてもJAMSTECの船の運用経費の削減に伴って、TRITONブイの運用経費が削減され、日米ともに太平洋のブイ網の維持が困難な状況に陥った。そこで、2010年頃より幾つか対策を考えて活動したが、最終的には、TAO/TRITONブイ網のデータの不足により、最も影響を受けた世界気象機関 (WMO) が発起機関となり、太平洋のブイ網の全面的な見直しのためのプロジェクトとして、TPOS2020を開始することが決定された。このTPOS2020の議論の中で、米国側は研究機関であるPMELから現業機関であるNational Data Buoy CenterにTAO

を移管することができ、米国の経済の復活とともに、ブイ網も復活してきた。一方で、日本においては、TRITONブイ網は研究機関であるJAMSTECが負う以外に、ブイ網は徐々に縮小となり、現在は西太平洋に1基を残すのみとなっている。

最初のTPOS2020会合は、2024年1月に米国スクリプス海洋研究所において開催された。その後、TPOS2020は、新たな観測システムを構築するための国際プロジェクトとして、WMOおよびUNESCO/IOCの総会において承認され、2015年に国際プロジェクトとして始動した。筆者は、運営委員会メンバーとして活動を行い、その中で、西太平洋の観測の将来を議論するためのタスクチームの主査を引き受けた。ここでの活動は、JAMSTECにとっては、最近の観測計画の立案につながる暖水プールの北端や東端での海洋フロント域における大気海洋相互作用の研究に活かされている。また、個人的には国際的な調整能力を向上できたと考えており、ここでの経験と自信は、IOC/WESTPACの政府間地域小委員会の議長の仕事にも十分活かされていると感じているところである。

TRITONブイの運用やTIP、TPOS、IOC/WESTPACの活動において、多くの方の支援をいただいた。改めてここに感謝致します。また、「みらい」は、本当に素敵な船でした。運航に関わった皆様にも感謝を申し上げます。

「みらい」のおもいで

水野恵介

元 海洋研究開発機構 地球環境観測研究センター
プログラムディレクター



図1 MR01-K05
Leg 2の航跡図

「みらい」に乗ったのは、古い話で、世紀の変わり目2000～2001年の2航海(MR00-K07、MR01-K05)である。海洋観測は学生時代の淡青丸・白鳳丸を皮切りに、主に水産関係調査船で25年以上、航海は外航を含め何十回やったことか。JAMSTECに異動して船はもう卒業と思っていたら、幸運にも乗船機会に恵まれた。参加した航海は、いずれもTOCS(熱帯海洋と気候研究)のテーマの下、JAMSTECがTRITONブイの太平洋への展開を開始し、インド洋への拡大を目指す「景気の良い頃」であった。

MR00-K07では根根浜で初めて「みらい」を見た。それまでの経験で海洋観測は500トン程度が最も使いやすいと実感しており、8,000トンを超える巨大な船体に違和感を覚えた。しかし、実際にTRITONブイの設置・回収を経験してみると、その「重厚長大」の見本のような作業は、「みらい」でなければ難しいことが理解できた。作業は、多数の要員が各任務に従い1つの有機体として機能しており、技術的に完成されたオペレーションを目の当たりにして感銘を受けた。

「みらい」に乗って感じるのは、その“恵まれた環境”である。さすがに大船で揺れが少ないのは言うまでもないが、一番の特徴は、MWJやGODIの支援員が乗り観測作業をサポートしてくれることである。それまでは、海洋測器のオペレーションや試水分析などは研究員がこなしており、船上では休む間もない日々であったが、ここでは彼らの支援を受け、研究者はデータのチェックやデータ解析に専念できた。ただ、海洋観測は良質のデータ

取得が容易でないことも多く、支援員に“おまかせ”でなく常に問題を共有し切磋琢磨できる信頼関係の構築が大切と感じた。

MR01-K05では、インド洋に初めてTRITONブイを設置した(図1、2)。国際的な関心も高く、インドのNIO(国立海洋研究所)やハワイ大学からも研究者が同乗した。インド洋は春と秋に赤道上に強い東向流(インド洋ジェット;5ノットに達することも)が現れるため、赤道上下でのTRITONブイの設置は慎重にならざるを得ず、後日に譲ったが、前年の航海で赤道上に設置したADCPブイが無事回収でき、赤道上の表層(400m程度まで)の具体的な流れの様子が明らかになった。

どんな観測航海もミッション成功のためには同乗者間の関係が大切であるが、いずれの航海も調査員・支援員・船側と良い関係にあった。船側とは船長(赤嶺正治さん・橋本孝亮さん)以下の幹部と、毎回“うまい”食事をとりながら楽しい会話がはずんだ。また、研究者間、特に外国の研究者とは、会議や学会だと、付き合いが“通り一遍”になりがちだが、

寝食を共にすると相互理解が深まることが多い。ハワイ大学のPeter Hackerさんは、ハロウィンの夜に、自らシーツをまといタンパリンを打ちながら“お化け”を演じて、皆を楽しませ、普段では見られない一面を見せてくれた。

航海終了後、パラオに入港し、同乗の竹内謙介さん(地球観測フロンティア研究システム)やPeter Hackerさんらとペリリュー島にあるJAMSTECの熱帯気象観測サイトを訪問した。小さな施設だがリアルタイムで気象観測データを送信する重要研究拠点である。この島は太平洋戦争の激戦地(日本軍1万人中生存者34人)で、島を巡ると、意識的に戦跡が残されていることに気づく。ジャングルの中で、1機のゼロ戦の残骸を見た。その脚部の油圧式緩衝部から延びる脚柱が錆びずピカピカで、突然、過去にワープした錯覚に襲われた。同じ感情なのか、一同、しばらく無言。最近、ペリリュー島がアニメや遺骨収集で再び話題になっているが、その理由もわかる気がする。「みらい」の航海は、観測研究のみでなく、国際交流にも非常に有効であると信じている。



図2 MR01-K05 Leg 2航海集合写真

「みらい」と熱帯インド洋の海洋気候観測研究

升本順夫

東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻/
海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

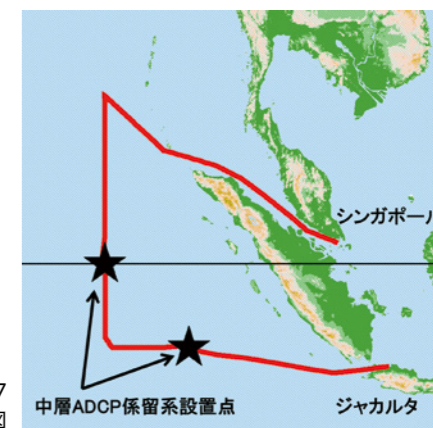


図1 MR00-K07
Leg 2の航跡図

私が熱帯インド洋の海洋気候観測研究に関わり、海洋地球研究船「みらい」との関係が始まったのは2000年のインド洋航海MR00-K07 Leg 2からでした。インド洋ダイポールモード現象に関連する海洋内部変動を理解するべく、当時の地球観測フロンティア研究システム気候変動観測研究領域の竹内謙介領域長からのお誘いを受けて観測に足を突っ込んだ(突っ込まざるを得なかった)のがきっかけで、「みらい」への乗船となりました。

この航海のミッションは、インド洋へのトライトンブイ展開の準備のため、赤道上東経90度と南緯5度/東経95度に中層ADCP係留系(図1、2)およびトライトンブイを設置して調査データを得ることでした。その時まではモデルを用いた研究を行っていたので、観測に関する現場での基礎的な知識が不足している身で、果たして自分が役に立つのか、かなりの不安を抱えての準備と乗船でした。しかし、既に太平洋での経験豊富なトライトンブイ・チームの皆さんに加えていただく形での参加であったため、見よう見まねも含めて多くのことを教えていただきながら、楽しんで研究を進めることができました。特に、あの白亜の巨体に乗船してしまうと、技術者サポートは手厚く、部屋も快適、食事は美味しい、研究の設備も揃っている(船内のワークステーションで数値モデルデータの解析もできた)と、驚きと感動の連続だったことを思い出します。赤道に沿う強い流れであるWyrtkiジェット対策のため、この航海でのトライトンブイの設置が見送ら

れたことは残念でしたが、観測を実施するためにどれだけの準備が必要なのか、現場での作業がどのように行われているのか、得られたデータをどのように処理して使える形にするのか、など、実際に経験しなければ分からないことを吸収できる貴重な場でもありました。初めて見る観測機器なども多く、観測研究も理解できる研究者として成長する機会を「みらい」が与えてくれたことに、とても感謝しています。翌年から始まるトライトンブイのインド洋への本格展開は若手の研究者に現場作業をお任せし、自分は陸上から様子をうかがいながら、後ろめたさを感じつつも「みらい」と若手研究者の活躍を応援することとなりました。

MR00-K07航海での係留系設置とその調査結果は国際的にも影響を与え、熱帯インド洋ブイ観測網(RAMA)展開のきっかけともなり、現在の統合的なインド

洋観測網(IndOOS)を形作るに至っています。また、UNESCO/IOC、SCOR、IOGOOSのサポートの下で現在実施されている国際インド洋調査2(IIOE-2)でも「みらい」による熱帯インド洋航海やその成果が度々報告されており、熱帯インド洋の研究コミュニティ内でも「みらい」は欠くことのできない観測プラットフォームとして認知されています。

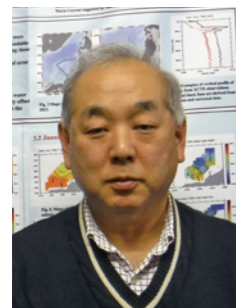
もっと長くインド洋での観測研究航海に貢献してくれるものと期待していましたので、引退のことを知った時は、とても残念でした。最初の「みらい」乗船から25年。私のインド洋での観測研究と国際的な観測網構築の活動は、全て「みらい」の活躍あってのおかげです。長期間にわたり日本の観測研究を盛り立ててくれた「みらい」には感謝の言葉しか見つかりません。どうも有難うございました。そして、大変お疲れ様でした。



図2 MR00-K07 Leg 2での中層ADCP係留系の設置作業風景

MR06-05 Leg 3 航海の思い出 — 人命救助ほか

柏野祐二

水産大学校
海洋生産管理学科

2017年までJAMSTECに勤務している間、「みらい」には10航海（通算乗船日数382日）に乗船しましたので、このたび「みらい」が退役すると聞きまして、大変寂しい思いをしております。今回の記念誌には10航海乗船した中で、最も思い出深い航海であるMR06-05 Leg 3航海について記したいと思います。

■航海の概要と研究

MR06-05 Leg 3航海の航跡を図1に示します。この航海は東経130度・147度の2線に設置されたトライトンブイ6基（図1の星印）のメンテナンス（回収・再設置）を主ミッションとした航海で、2006年12月14日にシンガポールを出港し、翌年1月18日に青森県八戸港に入・出港、そして1月20日に母港のむつ市関根浜港に帰港する計38日の航海で、途中、年を越しています。

観測はトライトンブイのメンテナンス以外に、フィリピン海に太平洋東方から流れてくる北赤道海流のミンダナオ海流・黒潮への分岐の海洋物理学観測、エアロゾルなどの気象観測、後述するウミアメンボの採取（すなわち生物観測）、海底電位磁力計の回収といった固体地球系のものまで多彩なミッションを行いました。中でもこの航海のデータを用いて行った北赤道海流のミンダナオ海流・黒潮への分岐に関する研究の論文は2009年に日本海洋学会発行のJournal of Oceanographyに掲載され、筆者が主著者で執筆した論文の中で最も引用数が多い論文となったことから、研究の観点で思い出深い航海となりました。

■人命救助

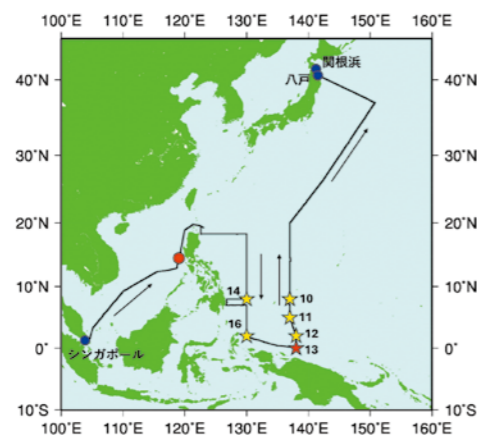


図1 MR06-05 Leg 3の航跡図。青丸が寄港地で、赤丸が人命救助を行った地点。星印はメンテナンスを行ったトライトンブイの場所で、数字はブイ番号を意味する。赤の星印（トライトンブイ13号基）のところで年を越した。

この航海は、研究以外にも様々な点で思い出深いものとなりました。その中で特筆すべきは、この航海中に人命救助活動が行われたことです。シンガポール出港後、南シナ海を北上している途中で時化に遭いましたが、その時化がややおさまった2006年12月18日の午後、遭難している漁船を「みらい」乗組員が発見し（場所は図1の赤丸の点）、救助活動を行いました（図2）。沈没寸前の木造漁船において5名のフィリピン人漁船員が救助を求めていて、まだ時化の余韻が残っている荒れた海の中、「みらい」から作業艇を出して救出を行いました。救出する際は、もしかすると遭難を装った海賊ではという心配もありましたが、実際救出するとそうではなく、救出後はフィリピン沿岸警備隊に無事引き渡しました。

筆者は1994年2月にも海洋調査船「かいよう」において、パラオ沖で遭難者の捜索に立ち会ったことがあります（JAMSTEC news「なつしま」No. 133参照）、そのとき発見した遭難者は残念ながら亡くなられていました。「みらい」のフィリピン西方での人命救助では生存した5名の遭難者を救出したことから、非常にうれしく思った記憶があります。

■年越し

筆者は「かいよう」「みらい」に計19回乗船していますが、洋上での年越しを3回経験しました。初めての船上での年越しが、このMR06-05 Leg 3航海でした。年を越した場所はトライトンブイ13号基（赤道上東経138度、図1の赤い星印）の近傍でした。元旦においては、洋上での美しい初日の出を拝み、ブリッジ

の金比羅さんにお参りし、おせち料理を堪能して、この日は観測作業を行わずに「みらい」乗組員・乗船研究者・観測技術員全員で新年を祝いました。

ちなみに、このときのおせち料理のメニューを見ると、雑煮はもちろんのこと、伊勢エビ、刺身、伊達巻きなど非常に豪華で、お酒も付いており、これを1日かけて食するというものでした。

■海にアメンボがいる！

もう一つ、この航海で驚いたことがあります。海にもアメンボがいることを、この航海に高知大学の原田哲夫先生が参加したことで初めて知りました。原田先生には失礼ですが、本当にいるのかと半信半疑でしたが、いざネットを使って採集を始めたところ、7カ所中3カ所で千匹以上の大量採集に成功しました。採集されたアメンボの形状や動きは陸にいるアメンボと全く変わらず、夜行性で激しく動き回り、「こんなものが海にいるんだ！」と驚いた記憶があります。原田先生によると、海に住む唯一の昆虫とこのことです。



図2 作業艇を用いた「みらい」乗組員による、沈没寸前の漁船（手前）の遭難者の救助活動。「みらい」乗組員から救命浮環が遭難者に投げられている。（撮影：「みらい」乗組員）

ライダー観測を行いました

松井一郎

元 国立環境研究所/
株式会社 mss

たくさん「みらい」に乗船しました。また、いくつもの港に寄港しました。ホニアラ、マジュロ、ポナペ、グアム、パラオ、プリズベン、ジャカルタ、クアラルンプール、コロンボ、シンガポールなど。旅好きでもない私ですが懐かしい思い出となりました。

振り返ってみますと「みらい」でのライダー観測は、三段階で現在に至りました。はじめは、1998年からの公募研究です。上甲板Aフレームのすみに小型コンテナを置かせていただいて、ほぼ自作のミー散乱ライダーで観測をはじめました。クルーズレポートではNIES製ライダーとなります。船上観測に必要な荒天対応、鉛直測定中の波による船の振れの影響など教えていただきながら試行錯誤で行いました。3年後ぐらいに20フィートコンテナに更新され雲レーダーとの複合観測がはじまりました。観測航海時には搭載コンテナを、つくばから関根浜までチャータートラックで運んでいき、岸壁からクレーン車で搭載しました。

公募研究での装置の運用には必ず担当者が「みらい」に乗船する必要がありましたが、これまた、すべてが初めてで、そのころはお会いする方々も初対面で船内での規則、生活、食事など、不慣れの連続でした。しかも、私だけ作業服がなくて自前のよれよれジャンパーを着ている変人的存在でした。船ではみなさん同じ青色の作業服なのですが、JAMSTECの文字の刺繍に色の違いがあることを聞いて驚いたりもしました。もう20年以上前の記憶なのですが、やはり食事がおいし

ライダー・雲レーダー
コンテナ

かったことや、外航の時はお酒とたばこが免税でうれしかったり、夕陽を見て一日が過ぎていきました。ちょうどこのころは、トライトンブイの初設置がはじまって近隣諸島への表敬訪問があり、貴重な島々にも立ち寄らせていただきました。マジュロからグアムまでのアイランドホッパーも体験しました。いつの間にか、年間数十日間の乗船を何年間かしていました。

第二段階は、ゾンデ放球コンテナ内へのライダー設置でした。コンテナ内には、だいぶ昔のキャンペーン観測のために外国の方がライダーを仮設置していた天窓があり、天窓の位置にあわせてライダーを組み立てました。これにより、無人でのライダー常時観測が可能となりました。無人観測時に動作状況確認用観測データを通信容量制限で1日1プロファイルだけ送るような細工もしました。この当時「みらい」からの通信は衛星電話で、音声モデムを通信長が手動で作業していた記憶があります。ドック明けと半年に一度、寄港地に保守に行っていました。「みらい」南半球一周航海時に、ブラジル・サンパウロ2泊で、行きかえり4日ぐらいの保守作業もありました。

第三段階は、JAMSTECさん所有のライダー装置をゾンデコンテナに設置しての観測開始でした。第二段階でのゾンデコンテナライダーを一新して水蒸気と窒素分布も測定できる仕様となりました。こちらは、お手伝いをさせていただきました。狭いゾンデコンテナ内ライダースペースに、レーザー部を二階、受光部を一階の二階建てライダーを作りました。私は定年退職となり、観測はJAMSTEC

のみなさんと、「みらい」引退まで行われることになりました。

さらに、「みらい」でのライダー観測がご縁で、パラオのアイメリーク杉ノ原観測サイトへのライダー設置までお手伝いさせていただきました。

最後に、これまでの「みらい」でのライダー観測にお世話になったJAMSTEC 米山邦夫さん、勝俣昌己さん、谷口京子さん、城岡竜一さん、鈴木順子さん、旧GODI観測技術員のみなさん、すべての関係者のみなさんに、お礼申し上げます。共同研究者でした国立環境研究所(NIES)ライダーグループ、千葉大学、NICT、東北工業大学の関係者のみなさんに感謝いたします。

薄れていく記憶の中から、懐かしい思い出を顧みることができました。「みらい」退役記念誌編集委員のみなさま、ありがとうございました。

貴重な海洋観測研究やたくさんの方々の日常体験をさせてくれた「みらい」には、お疲れさまでした。



ライダーと筆者

「みらい」がもたらしたもの

林 美鶴

神戸大学 内海域環境教育研究センター/
大学院海事科学研究科/海洋政策科学部



「みらい」の退役にあたり、熱帯域での大気-海洋相互作用研究でお世話になった“神戸・岡山グループ”を代表し、心より御礼を申し上げます。

我々のグループは、岡山大学の塚本修先生、神戸商船大学/神戸大学の石田廣史先生を代表として、米山邦夫首席研究員にお世話いただき「みらい」に乗船しました。「みらい」での大気-海洋相互作用研究が開始された1998年から参加し、1999年のNauru99から本格的に観測を開始しました。研究の柱は渦相関法による乱流測定で、**図1**の機器をフォアマストに常設しました。当初は熱フラックスだけを測定していましたが、その後二酸化炭素計を増設しました。また関連して、放射・エアロゾル・海色の測定、バブリング法による海水中温室効果ガス測定、浅水層のCTD・Chl測定など、多岐にわたる観測を実施しました。そのため、岡山大学(14名)と神戸商船大学/神戸大学(15名)からだけでなく、大阪大学(10名)、大阪府立大学(5名)、近畿大学(5名)、岡山理科大学(4名)など、多数の教育・研究機関から研究者や学生が集いました。CINDY2011までの全12航海で、計56名(うち学生45名)、延べ89名が乗船しました。この中には、乗船当時は学生で、その後、研究者や観測・分析技術者になった方が多数います。「みらい」には、教育面でも多大な貢献を果たしていただきました。

今回、何十年かぶりでクルーズレポートを開き、乗船者数を拾いました(グループの範疇が不明瞭なため、広めに見積もっています)。私自身は6航海に乗船し、

グループの中で最多回数です。クルーズレポートを眺めていると、様々な記憶が断片的に蘇ってきました。私は主にウェットラボで、海水中二酸化炭素の測定を行いました。同じ作業が日々、1カ月間繰り返される観測船生活にあって、ある年は学位論文を執筆しながら、ある年はレクリエーションとして開催された紙相撲大会で全取り組みを動画撮影し「紙相撲ダイジェスト」として船内公開するなど、充実した時間を送りました。また、前職において立ち上げに携わったゾンデコンテナや、かつての同僚、さらには「みらい」を職場とする神戸商船大学卒業生の方々に会えたことも喜びでした。**図2**は、Nauru99の際にマジュロで下船し、「みらい」(右側に船首が写っています)を見送ったあとの記念撮影です。

私は2004年度以降乗船していませんが、何人かの学生は研修生やアルバイトとしてもお世話になりました。私の研究フィールドは沿岸海域のため、神戸商船大学/神戸大学大学院海事科学研究科



図2 Nauru99を終えマジュロで下船した“神戸・岡山グループ”

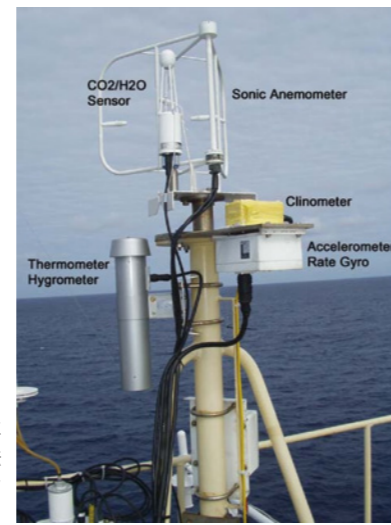


図1 「みらい」に設置した渦相関法による乱流フラックス測定器

附属練習船「深江丸」「海神丸」で海洋観測を続けており、クルーズレポート作成が習慣化しています。JAMSTECでの大気-海洋相互作用研究の成果は、当研究科の連携講座開講科目の中で、米山客員教授にご講義いただきました。米山教授は2024年度でご退任されましたが、連携講座は継続し、引き続き研究成果をご教授いただきます。例えば、「みらい」の前身である「むつ」が建造されたことは、神戸商船大学に原子動力学科が設置される一つのきっかけになりました。そして2021年度に設置された海洋政策科学部海洋基礎科学領域では、神戸商船大学から続く歴史の中で初めて、船舶で海洋観測を行う必修科目「海域観測実習」を開講し、基礎的な内容を実施しています。

「みらい」が我々にもたらしたものは数多あり、退役後もそれらは未来へ受け継がれるでしょう。そして、それらを学んだ学生が「みらいII」で活躍する日は、すぐ訪れると思います。

R/V Mirai and Her Very Important Contributions to Ocean Climate Studies

Fadli Syamsudin

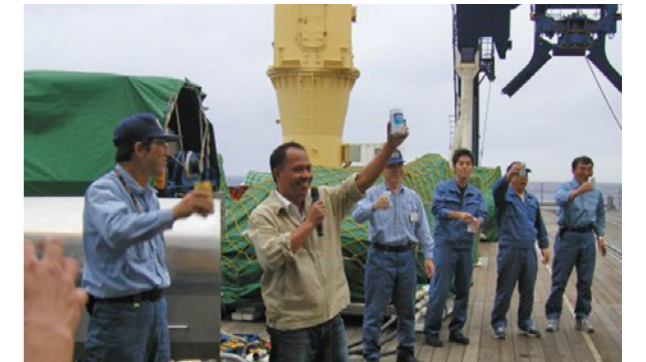
Senior Scientist,
National Agency for Research and Innovation, Indonesia



It was back on my first journey together our Indonesian team with R/V Kaiyo in 1996 steaming to western tropical Pacific waters under WCRP's "World Ocean Circulation Experiment (WOCE)". Japan was involved in this multi-national program and facilitated Indonesia to join. After this program, JAMSTEC continually invited Indonesian team for R/V Mirai to conduct CTD and many other physical, biogeochemical and meteorological sensors as well as current meter moorings in those regions under program "Tropical Ocean Climate Studies (TOCS)" starting in 1999 and ensuring my participation and our colleagues from the National Agency for Research and Innovation (BRIN), formerly known as the Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT). Joining the TOCS with R/V Mirai yearly ended in 2007 but followed by the MEXT program where we keep maintaining TRITON buoys in the Indonesian waters and its adjacent.

The last cruise I joined with R/V Mirai was during 2017 - 2019 where JAMSTEC initiated very important international campaign in studying Madden-Julian Oscillation (MJO) participated by US, Australia, UK, China, and Southeast Asian countries, such as Malaysia, Singapore, and many others not to mention. This is really big and important program, especially for Indonesia, where the western Sumatera water became the station of R/V Mirai conducting oceanographic and meteorological experiments to capture the nature of MJO development. Following by this experiment, R/V Mirai made a port call in Jakarta and open her facilities to the public at Tanjung Priok Port, so many Indonesian students and researchers gathered into the rooms and asked for many instruments installed. The Indonesian government was really appreciated with this opportunity.

Our cruises have put fundamental sciences and milestones to understand the role of these regions on climate in the near future so that many countries could take benefit by making better preparation for



Giving a word during the sayonara party at the end of the cruise expedition.

the mitigating programs. This is R/V Mirai endeavour mentioning that our Indonesia Maritime Continent plays important role in distributing MJO energy from Indian to Pacific Oceans before traveling the whole equatorial region. The R/V Mirai has given in countless contributions to the scientific communities, and JAMSTEC will be remembered by this important footstep in climate studies.

In the personal perspectives, there are so many nice and spectacular memories that I will share some moments here but most importantly the R/V Mirai has trained me as a sea going scientist in physical oceanography and has given rigorous knowledge of how important our Maritime Continent and especially our Indonesian waters in improving the global climate models. To see the sunrise and especially sunset in the horizon of equatorial regions was always giving different stories from day by day. Waking up in the early morning to make a downcast CTD was a hard task, but this was actually a very interesting moment to see the physical properties and small benthic are still "active and awake" in the dark deep ocean. The rest time together with the crews and other members was also a never forget memory. Many unforgettable memories that I could write in this very short space, but I wanted to mention over whole of so many experiences, I personally really respect with the strong leadership given by the Chief Scientist and the Captain for every cruise I attended. The crews were professional to conduct the operational works to make success our expeditions.

Just as a final word, I am really in debt with many chances given by JAMSTEC through our Indonesian participations, and R/V Mirai has given many unforgettable memories. I believe the R/V Mirai has been bringing us to more understandable and predictable future climate changes as her duty accomplished together with her name JAMSTEC has given as "Mirai".

Observations taken from the R/V Mirai reveal the importance of small vertical scale flow features

Kelvin Richards

University of Hawai'i



I have fond memories of my time on the Mirai in both taking observations and the lifestyle onboard. My first cruise was MR07-07 leaving Auckland, New Zealand in late 2007. Two days into the cruise and we celebrated the New Year. I am very much indebted to Yuji Kashino, the Chief Scientist, in allowing me to participate and to bring along an instrument to measure the ocean currents at high vertical resolution (a high frequency LADCP). This allowed me to follow up on observations I had taken in the Western Equatorial Pacific in the 1980s and 90s that showed the presence of small vertical scale features in temperature and salinity.

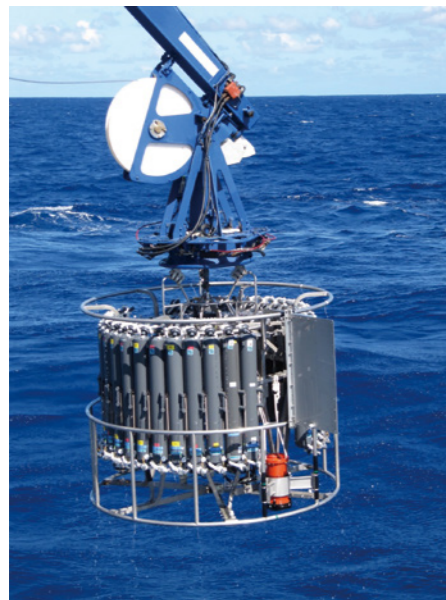
The Mirai proved to be an ideal platform to take the observations in terms of its frequent trips to the region to maintain the TRITON mooring array and the assistance of the officers, crew and technicians in deploying instruments. The measurements showed

that the small-scale features in temperature and salinity were associated with strong vertical shear in the currents. On subsequent cruises we had the use of a microstructure instrument that showed the strong shears produced turbulence. Being able to take measurements on a number of cruises showed how the strength of the small-scale features and associated turbulent mixing varied in time and ocean state.

The measurements from the Mirai prompted the development of theory for why such flow features are present. Accounting for their presence in numerical models of the ocean and coupled ocean/atmosphere demonstrated their importance in shaping the ocean thermocline and the state of the ocean. That in turn affects coupled phenomena such as El Niño/La Niña.

I very much enjoyed my time on the Mirai and feel fortunate in having had the opportunity. As well as work, there is the social factor. The good food. Socializing after a hard day's work. Watching the catching of tuna and mahi mahi attracted by the TRITON moorings. And being invited by the crew to sample the freshly caught fish. Watching the sunset, and the occasional green flash.

Thank you, Mirai.



Deployment of the LADCP (orange cylinder) on the CTD frame



Sunset during the MR08-03 cruise (the author is found at the foot of A-frame portside)

「みらい」観測支援を振り返る

藤崎正行

株式会社マリン・ワーク・ジャパン
取締役



海洋地球研究船「みらい」との初対面は、東京・豊洲の造船所です。造船所では、観測機器類の搭載、据え付け、作動確認、員数確認など、JAMSTECの研究者の方々をサポートする立場で携わっていました。それ以前に海洋調査船「かいはり」を中心に観測支援業務に従事していた私は、「みらい」船体の大きさ、搭載される観測機器類の多さ、船体装備品の数々に圧倒された記憶があります。造船所通いの当時、「どこでも、なんでもできる研究船が動き出すのか」と思ったものです。それから30年近くもの長きにわたり多くの航海が実施され、様々な研究成果が世に送り出されました。あのとき抱いた思いは、確かに現実のものとなっています。

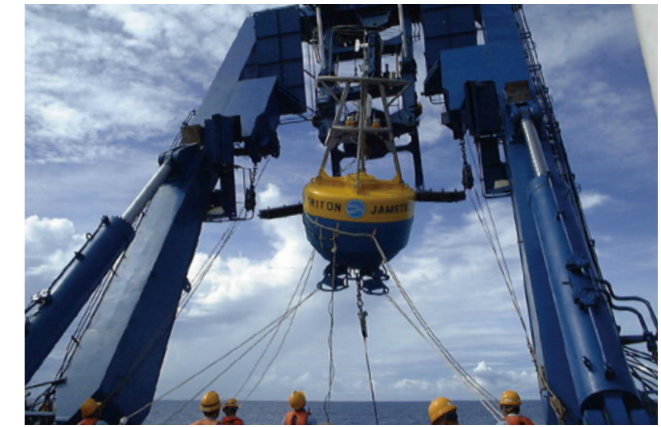
■観測支援

いただいたお題が観測支援ですので、そちらの切り口でこれまでを振り返ってみます。

弊社、株式会社マリン・ワーク・ジャパンは、「みらい」をはじめJAMSTEC所有船舶の船上での海洋観測、採泥、各種分析といった研究支援、船舶に搭載される観測分析機器類の保守・整備に、長年にわたり携わってまいりました。

JAMSTECにおける観測支援（航海前の準備、観測調査航海に研究者と共に乗船し、研究者をサポートする活動）は「みらい」以前から行われていましたが、ターニングポイントは「みらい」と「かいはり」の運航開始であったと思います。

両船舶の運航が開始され、搭載した観測分析機器を安定して稼働させることはもとより、必要とされる観測支援の作



TRITONブイの設置

業量（人数）、幅の広さ（多くの観測・分析項目）、専門性（観測・分析を熟知）、さらに継続性（連続する大規模航海に対応）といった点で、飛躍的に観測支援のニーズが高まりました。当時、弊社では観測技術員の採用強化や協力会社から技術者の助勢を図りつつ、研究者の皆さまから多大なご指導を受け、観測技術員の質が向上し、それとともに観測支援という枠組みが形づくられていきました。慣熟航海を含む数年間は、本船側の甲板作業、我々の観測・分析機器に係るオペレーションについて試行錯誤が繰り返され、「みらい」に合った最適化が図られました。以降、現在に至るまで技術の伝承に努め、研究に資するデータ、サンプルの取得に真摯に取り組んでまいりました。（本寄稿を執筆している今現在も弊社観測技術員16名が「みらい」に乗船し、観測・分析作業に従事し、研究活動に貢献しております！）

■「みらい」が残した研究以外の功績

今や現場を離れて久しくなりましたが、弊社観測技術員の採用面接に立ち会う機会があります。応募してくださった方々にお話を伺うと、「乗船した際に観測技

術員という仕事を知り、魅力を感じた」といった趣旨のコメントをよく耳にします。実体験を通じご自身が携わりたい職業として観測技術員を選んでいただけることは非常にありがたく感じ入っております。前述のとおり「みらい」就航に伴って観測支援という枠組みが大いに発展しましたが、観測支援の舞台となった「みらい」が未来の海洋人材（観測技術員）を発掘し、育んだことも大きな功績であると改めて実感しております。

■終わりに

建造時から「みらい」に接し、以降、海上公試、慣熟航海、研究航海に観測技術員として「みらい」で過ごさせていただきました。現在は現場から離れたものの、社業を通じて「みらい」の退役まで関わったことに感謝いたします。また、「みらい」を通じて多くの方にお世話になりました。この場を借りてお礼申し上げます。

これからも株式会社マリン・ワーク・ジャパンは、これまで培った知識・技術を確実に伝承し、研究に貢献する所存です。引き続き、ご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。



「みらい」による初の北極海域の観測研究航海MR98-06集合写真

「みらい」との思い出

駒井信晴

株式会社マリン・ワーク・ジャパン
情報システム部 部長

私は、主に化学分析担当の観測技術員として、「みらい」の船体非固定観測装置の保守・管理・運用を竣工以来担当し、海洋研究開発機構が保有する船舶の中で「みらい」に一番多く乗船させていただきました。振り返ってみると、「みらい」とは竣工前の検収立会い、海上公試乗船といった業務から携わることができました。その当時は全く想像していませんでしたが、就航後には寝食を共にする仲間が年々増え、弊社の規模も大きくなり、「みらい」は弊社にとって礎となった船舶となっております。さらに、弊社で雇用し「みらい」に乗船した観測技術補助員（アルバイト）の中から、弊社に入社した者が何名もいることは、非常に感慨深いものがあります。

「みらい」は“動く実験室”とも称され、多種多様な観測機器が搭載されていることが特徴の一つでもあります。しかし、就航時に搭載された観測機器のうち大気ガス観測室に設置されていたGC/MSやイオンクロマトグラフなど一部は、運用検討を行いながらも、我々の技術不足や機能不足などの要因により観測で使用されることがなかったものがあります。その一方、塩分測定装置など一部の観測機器は、老朽化対策を講じながらも就航時から未だ現役で使用しています。

「みらい」での乗船を重ねるにつれ、主任観測技術員という立場も経験させていただき、荒天下での観測中断を進行する立場となりました。荒天下でも観測できることも「みらい」の特徴の一つですが、ある航海の回航中に荒天によって、船外にある外気取入口から表層海水分析室



MR08-06 Leg 1航海での20mピストンコーラー揚収

に海水が浸水し、同室内にあった一部の装置が故障する想定外のケースもありました。

南半球周航観測航海「BEAGLE2003」では、世界と遜色ない高精度分析を我々観測技術員が行えることを証明し、その後のインターコンパリゾン分析への参加などにも繋がる革新的な航海となりました。本航海では私は溶存酸素の分析を担当しましたが、新たに導入された分析装置では自動化され、終点以上に滴定するミスは発生しなくなりました。しかしながら、レグ終盤に船上で調整した滴定液の濃度が予定の半分しかないことが一度だけ発生し（陸上での秤量ミスが原因でした）、観測を待ってもらえないか、慌てて首席研究者へ進言しにいったことを覚えています。この際は、もちろん却下され、急速調整し直して対応しました。また、チリ沖では、還元環境下にある硫黄臭く非常に低濃度のサンプルを実際に分析できたことが記憶に残っています。この当時は、2ワッチ制で行っていましたが、その後の働き方改革によって3ワッチ制に変わらざるを得なくなり、別の苦労や課題



MR15-01航海での溶存酸素試料への固定試薬の分注

が生じることとなりました。それらを解消すべく現在も努力を重ねております。

「みらい」は外洋域で大型の係留系の設置回収ができる世界でも数少ない研究調査船ですが、2000年に海洋観測ブイ中高緯度試験機が漂流したため、「みらい」での回航中に私を含む専門ではない観測技術員のみで回収することとなりました。その対応に苦悩しながらも船員の皆様に助けをいただきながら無事回収することができた際は、非常に安堵したことを覚えております。また、ある航海では、部下が実験室で雑用清水を流したまま現場を離れ、一等航海士に注意を受けたことがありました。ここ最近にも同じことを発生させてしまい、今まで「みらい」で培った技能・知識だけでなく、過去の失敗で得たことも「みらいII」に継承できるように努める所存です。

今回、本記念誌に投稿する機会をいただきましたが、私にとって「みらい」に関わる最大のそしてありがたい想定外でした。この場をお借りして、これまでに世話になった皆様に改めてお礼申し上げます。

観測技術員を育てた「みらい」

小澤知史

株式会社マリン・ワーク・ジャパン
海洋調査技術部 部長

「みらい」は多くの観測技術員を育ててきました。

私の場合、入社して2週間後から約100日、3航海連続で「みらい」に乗船し、以降、毎年のように「みらい」に乗船することで観測技術員として成長する機会をいただきました。現在までの「みらい」乗船日数は約1,300日、航海数は50航海ほどになります。何においても成長していくには挫折はつきものですが、私は最初の航海から怪我をしてしまうという大きな躓きを経て観測技術員としてのキャリアをスタートしました。次の挫折は2年目で迎えたMR99-K05航海。幾重にもトラブルが重なり、自身の技術力不足を痛感した航海でしたが、結果として多くの学びを得た航海となりました。

私だけではなく、その頃の観測技術員といえば、研究者の皆様に教えられて何とかこなしていた印象ではないでしょうか。そんな観測技術員にとっての転機は、やはり「BEAGLE2003」であったと思います。世界に通用する高精度観測をLand to Landで実施するという、我々にとってはまさに未知への挑戦となりました。1年以上前から観測技術員は物理、化学の各項目に分かれて研究者の皆様に教わりながら準備を進めました。私はCTD観測の担当として取得データのエラー解析を含めた即時処理や事後補正を学び、海水試料の取水技術について研鑽しました。こうして取り組んだ「BEAGLE2003」を終えたことで、観測技術員は世界に発信できる観測データを取得できる技術を身に付けることができ、“観測をお手伝いする人”から“観測



MR00-K06航海での採氷作業後

を研究者の皆様と共に取り組む人”に立ち位置を変えることができたと思っています。当然そこには研究者の皆様や運航会社様のご指導ご鞭撻があつてのことでした。

視点を変えてみた時、観測技術員の仕事は、担当する観測項目の準備から始まります。若手の観測技術員は自身が担当する機材のことを考えます。慎重に考えれば考えるほど予備機材が増えていきます。「みらい」は観測船としては類まれな大きさですが、それでも研究航海がいくつも連続する長期の航海になると搭載場所に頭を抱えることになります。航海ごとに許容される機材量はどこまでになるのか、またどの順番に何を積み込むのが正しいのか、研究者の皆様や運航会社様と何回もやり取りを交わします。このように様々な研究観測航海に携わることで、技術面だけでなく航海の成立を支援する力を身に付け“観測を支援する人”として成長できたと考えております。まさに「みらい」と、「みらい」に関わる皆様によって育てていただいた観測技術員です。



MR16-09航海でのCTDセッティング

現在私どもは、「みらい」の後継船となる「みらいII」の研究観測支援準備業務に携わり、JAMSTEC北極域研究船推進部様、運航会社様、造船会社様と共に意見を交わしながら「みらいII」の建造に関わらせていただいております。そして、就航後の調査観測支援業務を「みらい」から滞りなく引き継いでいくという大命題を授かることになりました。「みらい」就航以来二十数年にわたり、研究者の皆様や運航に関わる皆様と共に積み上げてきた研究観測航海への取り組み、CTD観測、係留系観測、採泥観測、化学分析といった技術面への取り組みの中には、成功例や次に活かすべきと反省した経験が数多あります。これらの経験を今こそ活かす時と捉えて、観測機器の配置や環境条件、観測作業に必要な装備から、壁にあるちょっとした貫通孔の位置といった細部に至る内容まで、情報を提供しています。「みらい」で学んだことを「みらいII」に繋ぐことが私たちに課せられた使命と考え、「みらいII」に乗船される皆様の研究観測を支援する観測技術員として取り組む所存です。

私の「むつ」と「みらい」

大島隆雄

日本海洋事業株式会社
海務部 部長



「Ocean Seal」搭載後
に関根浜港に再入港す
る原子力船「むつ」
(写真提供：日本原子力
研究開発機構)

船にはいずれ終わりが訪れ、売船・解
載のいずれかを迎えるのは至極当然では
ある。「みらい」の退役に寂寥を抱かれ
記念誌を発刊されることは、管理会社と
して評価を頂いたものと満足していたと
ころ、編集委員会からの寄稿のご依頼に
驚きつつも何を書くべきかと少し迷って
いた。他の筆者の寄稿は「みらい」の航海
の記憶をたどりつつ苦楽末のよき思い出
を積み重ねたものとなると、読み手とし
て想像するのはたやすかった。では自身
が何を書くと考え、「むつ」から「みら
い」への過渡期に担当した解役・改造工
事に関する話を寄稿することとした。

原子力船「むつ」が海洋科学技術セン
ターに引き渡される前年の1994年、サ
ルベージ会社でアクアライン橋梁工事に
従事し現場も終わりに差しかかった折、
「むつ」の解役を担当するべく社船
「Ocean Seal」の担当となった。原子力船
「むつ」の名前を聞いた記憶はあったが、
詳細を知らぬまま事前検討資料の想定
を携えて冬の終わりの関根浜港と「むつ」
を訪ねた。「むつ」は、既に燃料棒の陸
揚げを完了しているものの船体は原形の
ままで、船体を分割し原子炉撤去するた
めに「Ocean Seal」上に据え置く工事を
控え、関根浜港内に係留されていた。

現地では関根浜港内の狭さ・航路の
長さによる運用の制限と原子力船当時の
諸問題を宿題として与えられ、半年後の
作業を考えると担当となったことを後悔
しつつ、「Ocean Seal」の艦装作業と工
事計画書・関係書類の準備に入った。
使用する「Ocean Seal」は、半潜水式
台船である。船体の一部を海上に残して

潜水させ、「むつ」を直上に引き入れた
後に再浮上し、船の上に船を重ねる工
法を採用した。過去に複数回の同様実
績は有るが、難度の高い作業が予想さ
れた。しかし、懸念は杞憂となった。引
き込まれる側の「むつ」を操船した船渠
長と社内Crew並びに補助曳船の高い技
量に大いに助けられて、「Ocean Seal」
に搭載されながらも「むつ」として関根
浜港に最後の入港を果たし、原子炉撤去
の準備に入った。

そして船体分割、原子炉撤去を経て、
「Ocean Seal」は船首側船体を搭載して
関根浜港を出帆。東京湾に入り、搭載し
た時と逆の手順で船首側船体を進水さ
せ、「みらい」建造のために石川島播磨
重工業東京第一工場に曳航し引き渡した。
その後、程なくして船尾側船体を三
菱重工下関工場に運搬し、必要部材の
撤去・残船体の解体を待って「Ocean
Seal」を基地港に戻した。自身の中で
「むつ」との関係は、完工とともに切れた
ものと理解していた。

ところが、幾つかの曳航作業や横浜港
での荷役監督に従事した後、船舶管理
会社で海務を担当することとなり、「むつ」
を改造した「みらい」の引渡・乗出に備
えた準備に始まり、現在に至る。外航中
心の船舶への興味はあったのが嬉しい、



チリ・プンタアレナス港で各国
観測船と共に停泊する「みらい」
(筆者撮影)

海務部勤務は期待を以て臨むことがで
きた。研修の代わりにコンテナ船管理会
社などにお世話になりつつ経験を積み、
作業船の現業とは異なる経験をしてきた
ことも、海務監督としての糧になった。

これらの実務経験を活かし北極航海
のために作成した運用基準は、今日よう
に整理された規則が無い中で安全運
航を維持するシステムを構築することが
叶った。かつ極域航行の基礎を習得でき
たことや、極域航行の権威であるCapt.
Duke Sniderの知己を得たことで、
2017年の極域航海法令強制化に際して
も臆することなく臨めた。また、2003年
の南半球周航観測航海では、各地での
調査や代理店・官憲との交渉、大量の
機材の内外地荷役・輸出・輸入、乗下
船手配など、数多の困難に直面した。そ
れらを解決していく中で知識と経験の引
出しが増えていったことも、今につなが
っていると実感している。航海ごとの日本
国内・海外各港の代理店担当者・通関
業者・Ice Pilot・本船Crew、彼らの献
身の積み重ねが、無事の退役を迎えら
れた最大の力である。

本文末にて感謝を申し上げるととも
に、退役の日まで彼らの寄せてくれた
信頼に応えるべく安全な運航に努めたい
と思う。

「みらい」退役にあたり振り返る

井上治彦

日本海洋事業株式会社



「みらい」のブリッジ
にて

1996年4月1日、もともとは貨物船乗
りであった私が、「大型海洋観測研究船
の整備」というプロジェクト名が付けら
れ原子力船「むつ」から海洋観測船への
改造計画が進められていた三菱重工下
関造船所(当時)に、「運航技術要員」な
る船乗りとしては奇妙な職名にて派遣さ
れました。後の海洋地球研究船「みらい」
となる大型海洋観測船の建造に携わるこ
とになり、ここから30年におよぶ私と
「みらい」との付き合いが始まることな
りました。

運航技術要員着任前日の1996年3月
31日に、新幹線を乗り継ぎ、山口県下
関市の下関駅に降り立ちました。駅を出
ると、バス乗り場やタクシー乗り場に向
かうことなく、駅前の歩道橋の上に立ち、
当時の下関市のシンボリックな存在であ
り、学校の体育館のような個性ある下関
駅の旧駅舎(2006年火災により焼失、
現在は新駅舎・商業施設を併設した駅
ビルとなっている。駅ビルの三角オブ
ジェは旧駅舎の大屋根をイメージしたも
の)を眺めながら、明日からの仕事のこ
とや、今後の自分の身の振り方などを深
く考えていたことを、今でも鮮明に記憶
しています。その時に思ったのは、「みら
い」に携わることで自分のこれからは変
わり、それまでとは別の道に進むこと
になる、極端に言えば人生が変わること
になるのではないか、ということでした。
30年の月日が過ぎた今振り返ると、あ
の時に思ったことは、間違いのないもの
になりました。

船乗りという職業柄、陸上・地元・家
で過ごすことが少ないためか、いやいや、



「みらい」のフォアマス
トからブリッジを臨む
(撮影：日本海洋事業
木村亮氏)

それ以上に私自身の人間性によること
が、いざばんな大きな原因であると察せら
れますが、この30年以上にわたり、私の
周りには友人と呼べる者は皆無であった
ことは間違いのない事実です。こんな、
友人もいない、つくろうともしない身勝
手な私ですが、この30年、私の傍には
「みらい」がいてくれ、「みらい」が私に多
くの人たちと出会わせてくれました。
JAMSTECをはじめとする研究員の皆
様、MWJ観測技術員の皆様、旧運航会
社の方々、寄港地・寄港国の関係者、
会社・陸上関係者、そして「みらい」乗
組員。「みらい」のおかげで多くの人と出

会い接することができたことは、私にとっ
てかけがえのないものとなりました。
「みらい」乗組員については、共に汗
を流し一つの目標に向かい努力を続けて
きましたし、また船長職に就いてからは、
乗組員には観測支援作業等の多くの場
面にて最大限の協力と助けをもらいま
した。「みらい」乗組員は上司・部下の関
係などを越えた、皆、気の合った仲の良
い最高の仲間たちです。「みらい」のおか
げで、素晴らしい仲間たちと巡り会えた
ことは、私にとってとても幸せなことだ
と。

「みらい」調査支援業務を振り返って

末吉惣一郎

日本海洋事業株式会社
調査事業部 海洋調査部レーダー運用初期の
キャリブレーション作業
の一コマ（米山邦夫さん
との共同作業）

「みらい」という希代の研究船ができなければ、それまで海と全く縁の無かった自分がこの世界に身を置くことは100%無かったと言える。気象ドップラーレーダーを搭載する研究船として日本で唯一の存在であるという魅力が、気象レーダー観測を少しかじった未熟な学生を惹き付けるには十分であった。かくして海の知識を何も持たないまま、観測技術員の世界に飛び込んだ。

初代のドップラーレーダーは1990年代の主流であるアナログ信号処理が残るCバンド気象レーダーであり、学生時代に扱った研究用のXバンド（3cm波）と異なり導波管の幅の広さ（5cm波）と観測レンジの広さ（200kmレンジ）に感動したことを思い出す。一方で、マグネトロン送信機は使い始めのヒーターエージングをはじめとしてセンシティブな出力調整を求められた。また、移動体上でドップラー速度を計測する気象レーダーということで、動揺、速度という常時変動する環境で補正情報の基準となる慣性航法装置の存在が「みらい」ドップラーレーダー運用の難しさ、裏を返すと醍醐味と言って過言ではない。ハードウェアは日本製であるが、処理ソフトウェアが米国製であり、最初のシステム理解へのハードルは高かった。その後、パラメータ設定やシステム拡張の思想が理解できると、システムの可用性の高さに感心した。同ソフトウェアが搭載された「みらい」と別メーカーのXバンドドップラーレーダーによる観測支援（パラオ、モルディブ、インドネシアetc.）において、観測パラメータ最適化やトラブル対処で

「みらい」の知見を存分に活用できた。「みらい」においては2001年に受信信号処理系デジタル化、2006年に慣性航法装置の換装（RLG→FOG）、2014年に二重偏波機能搭載の固体素子送信機を持つ二代目ドップラーレーダーへの換装と、四半世紀にわたり船舶搭載気象レーダーの歴史の変遷に立ち会えたことは感慨深い。

「みらい」に乗船し始めは、気象観測以外初めての装置が多く、浅い知識のもとに言われるがままにマニュアルに従って装置のボタンや画面をクリックして観測開始という、振り返れば誰でもできる作業をやっていた。そのしっぺ返しとして、研究者の望むデータ取得ができていなかったり、データ品質に関する議論に全く追いつけなかったり、機器不具合時の原因調査が的確にできないなど、数多くの失敗を経験した。一方でデータ

チェックやキャリブレーションに関する助言など、叱責以上に関係各位の激励を受けることで、自ら観測装置への理解を深め、今の「みらい」運用スタイルができたのではないと思う。

実際の現場は、特に船体付きの観測装置運用は単調な作業の繰り返しであり、デッキで行われる様々な観測作業と比べ異色の存在である。一般の乗船者に船体付き観測装置運用の観測技術員の存在を認識されていないことが、逆に順調に観測データが取れているという証拠である。そのような地味な環境下で支援業務を継続できた背景には、「みらい」ならではの「むつ」時代からの丸窓を通して見る様々な海の景色、そこで共に働く仲間の誠実さと受容があったと振り返る。最後に、「みらい」に関係された皆様の温かいご支援に感謝申し上げたい。



初代ドップラーレーダーのマグネトロン送信機



第4章

資料編

みらいを見つめて

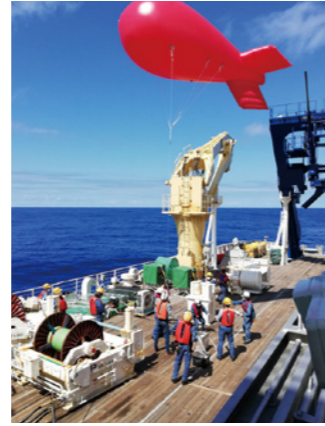
氷縁航行中の「みらい」。
MR20-05C航海。

「みらい」の設備

船外



後部操舵室から甲板を臨む



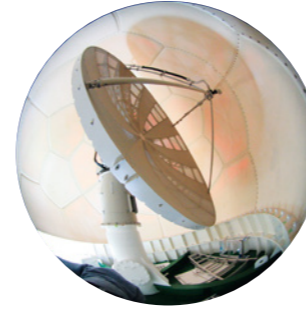
係留気球



放球コンテナからのラジオゾンデ放球

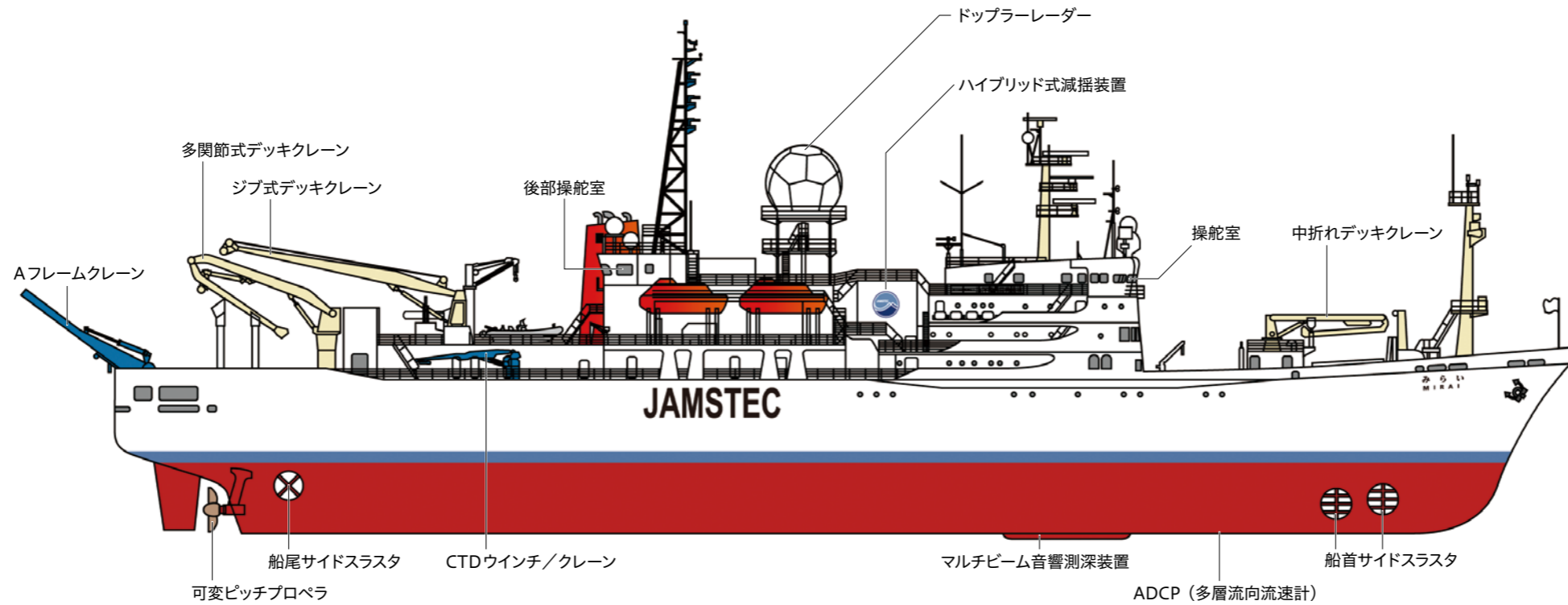


エアサンプラー



主要目	
全長×幅×深さ	128.5×19.0×10.5m
喫水	6.9m
国際総トン数	8,706トン
巡航速度	11.5ノット
航続距離	約12,000マイル
定員	80名(乗組員34名/研究者等46名)
主推進機関	ディーゼル機関 1,838kW×4基 推進電動機 700kW×2基
主推進方式	可変ピッチプロペラ×2軸

Aフレームクレーンによる
トライトンブイの設置



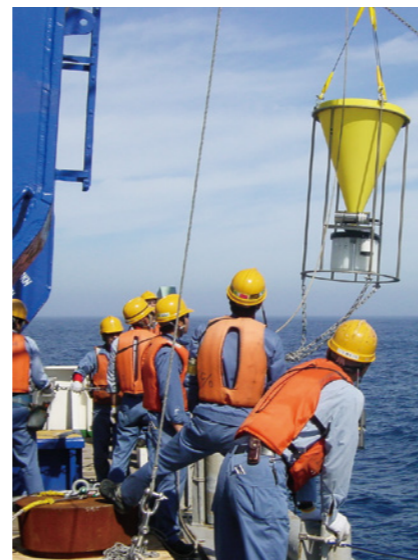
作業艇



CTDウインチ/クレーンによる
CTD採水システムの投入



堆積物を採取し甲板に引き揚げた
20 mピストンコアラー



セジメントトラップの投入



プランクトンネットによる浮遊生物の採取



甲板水槽での基礎生産測定



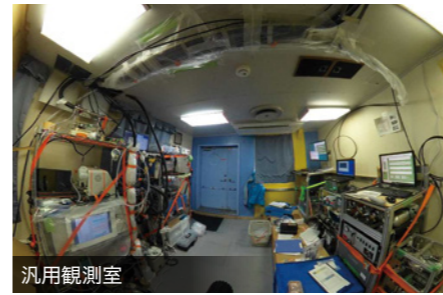
後部操舵室



操舵室



調査指揮室



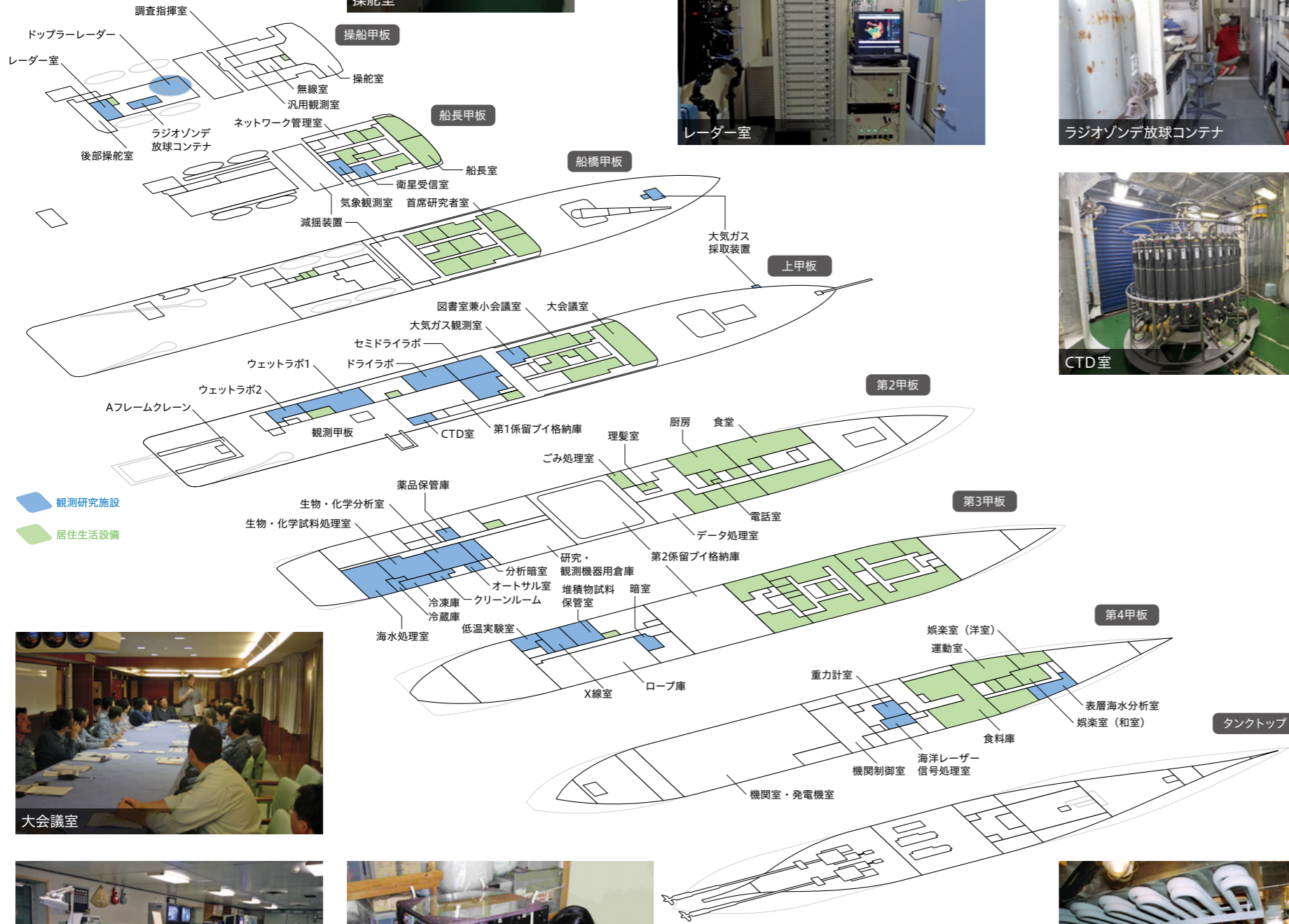
汎用観測室



大気ガス観測室



気象観測室



大会議室



機関制御室



重力計室



レーダー室



ラジオゾンデ放球コンテナ



CTD室



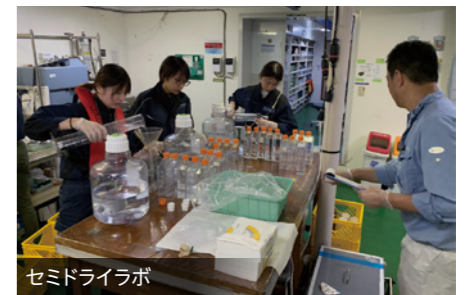
ウェットラボ1



ウェットラボ2



ドライラボ



セミドライラボ



第1係留ブイ格納庫



第2係留ブイ格納庫



生物・化学試料処理室



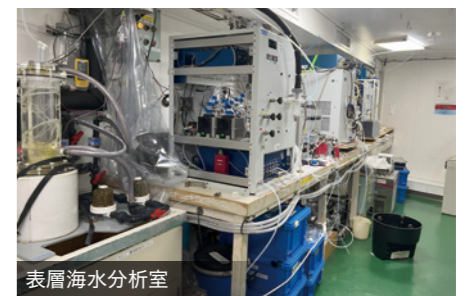
生物・化学分析室



低温実験室



堆積物試料保管室



表層海水分析室

運航実績 研究航海

航海番号	航海名	期間	主要調査海域	首席研究者
MR97-ENG	機器作動総合試験	1997年10月1日～10月19日	関東近海	網谷泰孝 本多牧生 菱田昌孝
MR97-02	慣熟航海（荒天海域におけるCTD採水の観測作業及び海水分析作業の訓練）	1997年11月10日～12月6日	北太平洋	日下部正志
MR97-04	慣熟航海（長尺ピストンコアラー（20m）の観測作業及びサンプル処理の慣熟訓練）	1997年12月22日～1998年1月16日	小笠原海域	山本浩文 吉川泰司
MR98-01	慣熟航海（基礎生産現場係留の観測作業、サンプリング処理の慣熟訓練）	1998年1月24日～2月26日	亜熱帯赤道海域	河野 健
MR98-02	慣熟航海（海洋観測ブイの設置、データ通信・処理の慣熟訓練）	1998年2月28日～4月15日	熱帯赤道海域	黒田芳史
MR98-03	慣熟航海（北太平洋亜寒帯～亜熱帯循環系の変動に関する観測研究）	1998年4月17日～5月21日	三陸沖～小笠原海域	山本浩文
MR98-04	慣熟航海（大気－海洋相互作用に係わる観測研究）	1998年5月21日～7月4日	南西諸島海域	米山邦夫
MR98-05	慣熟航海（高緯度域における物質循環の観測研究）	1998年7月5日～7月23日	北西部太平洋	本多牧生
MR98-06	慣熟航海（北極海域の観測研究）	1998年7月30日～9月10日	チュクチ海、ベーリング海	瀧澤隆俊
MR98-07	慣熟航海（中高緯度用実証機ブイの研究開発）	1998年9月11日～9月17日	三陸沖	
MR98-K01	高緯度域における物質循環研究	1998年10月30日～12月16日	北西部北太平洋	日下部正志 本多牧生
MR98-K02	西部太平洋赤道域観測研究航海	1998年12月20日～1999年2月1日	西部太平洋赤道海域	河野 健
MR99-K01	西部熱帯太平洋の観測研究	1999年2月8日～3月31日	西部太平洋赤道海域	黒田芳史
MR99-ENG	性能確認試験	1999年4月27日～5月6日	日本近海	
MR99-K02	高緯度域における物質循環研究	1999年5月8日～5月31日	北西部北太平洋	本多牧生
MR99-K03	大気－海洋相互作用に係る観測研究	1999年6月8日～7月17日	西部太平洋赤道海域	米山邦夫
MR99-K04	北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究	1999年7月23日～8月19日	日本東方海域	山本浩文
MR99-K05 Leg 1	北極海域の観測研究	1999年8月24日～9月10日	北太平洋	深澤理郎
MR99-K05 Leg 2	同上	1999年9月11日～10月6日	ポーフォート海、チュクチ海、ベーリング海	瀧澤隆俊
MR99-K06	西部熱帯太平洋の観測研究	1999年10月13日～11月19日	西部太平洋赤道海域	安藤健太郎
MR99-K07	西部太平洋赤道域観測航海	1999年11月21日～12月27日	西部太平洋赤道海域	河野 健
MR99-CTD-ENG	CTDケーブル工事・確認試験	1999年12月30日～2000年1月5日	日本近海	
MR00-K01	高緯度域における物質循環研究	2000年1月6日～2月7日	北西部北太平洋	本多牧生
MR00-K02	西部熱帯太平洋の観測研究	2000年2月12日～3月26日	西部太平洋赤道海域	黒田芳史
MR00-ENG	性能確認試験	2000年4月27日～5月5日	日本近海	
MR00-K03	高緯度域における物質循環研究	2000年5月9日～6月10日	北西部北太平洋	日下部正志
MR00-K04	大気－海洋相互作用に係る観測研究	2000年6月13日～7月6日	西部熱帯太平洋	米山邦夫
MR00-K05	北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究	2000年7月9日～8月1日	日本東方海域	吉川泰司
MR00-K06	北極海域の観測研究	2000年8月3日～10月13日	ポーフォート海、チュクチ海、ベーリング海、北太平洋	瀧澤隆俊
MR00-K07 Leg 1	西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究	2000年10月18日～11月8日	西部太平洋赤道海域	水野恵介
MR00-K07 Leg 2	同上	2000年11月9日～11月21日	東部インド洋赤道海域	水野恵介
MR00-K07 Leg 3, 4	大気－海洋相互作用に係る観測研究	2000年11月22日～12月20日	西部太平洋赤道海域	米山邦夫
MR00-K08	西部太平洋赤道域観測航海	2000年12月27日～2001年2月8日	太平洋赤道海域	河野 健
MR01-K01	西部熱帯太平洋の観測研究	2001年2月14日～3月23日	西部太平洋赤道海域	安藤健太郎
MR01-ENG	性能確認試験	2001年4月29日～5月10日	日本近海	
MR01-K02	北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究	2001年5月14日～5月28日	日本東方海域	吉川泰司
MR01-K03	高緯度域における物質循環研究	2001年6月4日～7月19日	北西部北太平洋	渡邊修一
MR01-K04 Leg 1	北極・亜寒帯海域の観測研究	2001年7月25日～8月27日	ベーリング海、北部北太平洋	深澤理郎
MR01-K04 Leg 2	同上	2001年8月28日～9月15日	ベーリング海、北部北太平洋	本庄 丕
MR01-K05 Leg 1	西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究	2001年9月21日～10月16日	西部太平洋赤道海域	黒田芳史
MR01-K05 Leg 2	同上	2001年10月18日～11月5日	東部インド洋赤道海域	水野恵介
MR01-K05 Leg 3, 4	大気－海洋相互作用に係る観測研究	2001年11月7日～12月19日	西部太平洋赤道海域	米山邦夫
MR02-K01	赤道域における基礎生産力の研究	2002年1月6日～2月16日	太平洋赤道海域	河野 健
MR02-K02	西部熱帯太平洋の観測研究	2002年2月21日～3月30日	西部太平洋赤道海域	安藤健太郎
MR02-ENG	性能確認試験	2002年5月9日～5月18日	日本近海	
MR02-K03	北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究	2002年5月26日～6月21日	日本南方、東方海域	吉川泰司
MR02-K04 Leg 1	西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究	2002年6月25日～7月23日	西部太平洋赤道海域	黒田芳史
MR02-K04 Leg 2	同上	2002年7月25日～8月22日	東部インド洋赤道海域	長谷英昭
MR02-K05 Leg 1	北極海域の観測研究	2002年8月25日～10月10日	チュクチ海、ポーフォート海	村田昌彦 島田浩二
MR02-K05 Leg 2	北太平洋時系列観測研究	2002年10月11日～11月6日	北西部太平洋	本庄 丕
MR02-K06 Leg 1	大気－海洋相互作用に係る観測研究	2002年11月13日～12月16日	西部太平洋	米山邦夫
MR02-K06 Leg 2	西部熱帯太平洋の観測研究	2002年12月17日～2003年1月12日	西部太平洋	安藤健太郎
MR02-K06 Leg 3, 4	赤道域における基礎生産力の研究	2003年1月13日～2月14日	中部太平洋	松本和彦
MR03-K01	高緯度域における物質循環研究（北太平洋時系列観測）	2003年2月20日～3月30日	北西部太平洋	渡邊修一

航海番号	航海名	期間	主要調査海域	首席研究者
MR03-ENG	性能確認試験	2003年5月3日～5月13日	日本近海	
MR03-K02	海洋大循環における熱・物質輸送とその変動に係る観測研究	2003年5月21日～6月6日	北太平洋中央海域	山本浩文
MR03-K03 Leg 1	西部熱帯太平洋・インド洋の観測研究	2003年6月7日～6月29日	西部太平洋赤道海域	長谷英昭
MR03-K03 Leg 2	同上	2003年7月1日～7月30日	東部インド洋赤道海域	湊 信也
MR03-K04 Leg 1	南半球周航航海観測（BEAGLE2003）	2003年8月3日～9月5日	南半球中緯度海域：西部南太平洋	深澤理郎
MR03-K04 Leg 2	同上	2003年9月9日～10月16日	南半球中緯度海域：東部南太平洋	渡邊修一
MR03-K04 Leg 3	同上	2003年10月19日～11月2日	チリ西方海域	原田尚美
MR03-K04 Leg 4	同上	2003年11月6日～12月5日	南半球中緯度海域：南大西洋	吉川泰司
MR03-K04 Leg 5	同上	2003年12月9日～2004年1月24日	インド洋南方海域	深澤理郎
MR03-K04 Leg 6	同上	2004年1月27日～2月19日	南大洋海域	渡邊修一
MR04-01	大気－海洋相互作用に係る観測研究	2004年2月22日～3月22日	西部熱帯太平洋	米山邦夫
MR04-02	北太平洋時系列観測研究	2004年3月27日～4月16日	北西部太平洋	本多牧生
MR04-ENG	性能確認試験	2004年5月21日～6月2日	日本近海	
MR04-03 Leg 1	熱帯域における大気・海洋観測研究	2004年6月6日～7月2日	西部太平洋赤道海域	植木 巖
MR04-03 Leg 2	同上	2004年7月3日～8月3日	東部インド洋赤道海域	長谷英昭
MR04-04	西部北太平洋および縁辺海域における化学環境変化の把握	2004年8月7日～8月30日	西部北太平洋	渡邊修一
MR04-05	北極海域の観測研究	2004年9月1日～10月12日	西部北極海	島田浩二
MR04-06	北太平洋時系列観測研究	2004年10月14日～11月9日	北西部北太平洋	本多牧生
MR04-07	西部北太平洋域における化学環境変化の把握	2004年11月17日～12月10日	西部北太平洋	渡邊修一
MR04-08 Leg 1	大気－海洋相互作用に係る観測研究	2004年12月12日～2005年1月12日	西部熱帯太平洋	米山邦夫
MR04-08 Leg 2	熱帯域における大気・海洋観測研究	2005年1月14日～2月19日	西部熱帯太平洋	細田滋毅
MR05-01	北太平洋時系列観測研究	2005年2月28日～3月24日	北西部北太平洋	本多牧生
MR05-ENG	性能確認試験	2005年5月6日～5月20日	日本近海	
MR05-02	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動に係る観測研究及び海洋の化学環境変化の把握に係る観測研究	2005年5月25日～7月2日	西部北太平洋	河野 健
MR05-03 Leg 1	熱帯域における大気・海洋観測研究	2005年7月4日～7月26日	西部太平洋赤道海域	安藤健太郎
MR05-03 Leg 2	同上	2005年7月26日～8月25日	東部インド洋赤道海域	長谷英昭
MR05-03 Leg 3	同上	2005年8月26日～9月5日	西部熱帯太平洋	森 修一
MR05-04	北太平洋時系列観測研究	2005年9月13日～10月27日	北西部北太平洋	本多牧生
MR05-05 Leg 1	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動に係る観測研究及び海洋の化学環境変化の把握に係る観測研究	2005年10月31日～11月24日	北太平洋亜熱帯海域	河野 健
MR05-05 Leg 2	同上	2005年11月27日～2006年1月17日	北太平洋亜熱帯海域	金子郁雄 村田昌彦
MR05-05 Leg 3	同上	2006年1月20日～1月30日	北太平洋亜熱帯海域、東シナ海、対馬沖	渡邊修一
MR06-01	熱帯域における大気・海洋観測研究	2006年2月5日～3月18日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二
MR06-mTRITON	m-TRITONブイ海域試験	3月25日～4月1日	駿河湾	
MR06-02	性能確認試験	2006年5月5日～5月22日	日本近海	
MR06-03 Leg 1, 2	化学物質循環研究	2006年5月28日～7月25日	北西部北太平洋	本多牧生 渡邊修一
MR06-04 Leg 1, 2	北太平洋高緯度域および北極域における古海洋環境変動の解明研究	2006年8月1日～9月29日	十勝沖、オホーツク海、日本海北部海域、北太平洋高緯度海域、北極海域	原田尚美
MR06-05 Leg 1	大気－海洋相互作用に係る観測研究（MISMO）	2006年10月4日～11月27日	中・東部インド洋	米山邦夫
MR06-05 Leg 2	熱帯域における大気・海洋観測研究（MISMO）	2006年11月28日～12月13日	中・東部インド洋	黒田芳史
MR06-05 Leg 3	熱帯域における大気・海洋観測研究	2006年12月14日～2007年1月20日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二
MR07-01	化学物質循環研究	2007年2月17日～3月26日	北西部太平洋	松本和彦
MR07-02	性能確認試験	2007年5月10日～5月24日	日本近海	
MR07-03	熱帯域における大気・海洋観測研究	2007年6月1日～7月14日	西部熱帯太平洋	植木 巖
MR07-04	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動に係る観測研究及び海洋の化学環境変化の把握に係る観測研究	2007年7月24日～9月3日	北太平洋	河野 健
MR07-05	北西部太平洋時系列観測点K2における生物群集構造と動物プランクトンの摂餌生態に関する研究	2007年9月4日～10月2日	北西部北太平洋	本多牧生
MR07-06 Leg 1	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動に係る観測研究及び海洋の化学環境変化の把握に係る観測研究	2007年10月8日～11月21日	中央太平洋	河野 健
MR07-06 Leg 2	同上	2007年11月21日～12月26日	中央太平洋	村田昌彦
MR07-07 Leg 1	熱帯域における大気・海洋観測研究	2007年12月28日～2008年1月25日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二
MR07-07 Leg 2, 3	同上	2008年1月26日～3月2日	東部インド洋、日本近海	長谷英昭
MR08-E01	黒潮輸送・海面フラックス観測研究（JKEOブイ緊急回収）	2007年3月22日～3月28日	三陸沖	市川 洋
MR08-01 Leg 1	性能確認試験	2008年5月8日～5月14日	日本近海	前野克尚
MR08-01 Leg 2	同上	2008年5月14日～5月22日	日本近海	石渡隼也
MR08-02	熱帯域における大気・海洋相互作用に係る観測研究	2008年5月26日～6月30日	西部熱帯太平洋	米山邦夫

航海番号	航海名	期間	主要調査海域	首席研究者
MR08-03	熱帯域における大気・海洋観測研究	2008年7月3日～8月6日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二
MR08-04	国際極年・北極海観測	2008年8月15日～10月9日	北極海	島田浩二 ^{*1}
MR08-05	北太平洋における生態系・物質循環研究	2008年10月10日～11月10日	北西部北太平洋	本多牧生
MR08-E02	黒潮輸送・海面フラックス観測研究 (K-TRITON プイ再設置に係る)	2008年11月11日～11月18日	三陸沖	永野 憲
MR08-06 Leg 1	南太平洋及び沈み込み帯における地質学・地球物理学的研究ならびにチリ沖における古海洋環境変動復元研究	2009年1月15日～3月14日	南太平洋フレンチポリネシア、南東太平洋高緯度海域、チリ沖三重会合点、ナスカプレート	阿部なつ江
MR08-06 Leg 2, 3	同上	2009年3月14日～4月8日	チリ沖沿岸域(フィヨルド含む)、ドレーク海峡	原田尚美
MR09-01 Leg 1	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動についての研究	2009年4月10日～5月19日	南太平洋亜熱帯海域	村田昌彦
MR09-01 Leg 2	同上	2009年5月21日～6月19日	南太平洋亜熱帯海域	内田 裕
MR09-01 Leg 3	同上	2009年6月20日～7月3日	南太平洋亜熱帯海域	佐々木建一
MR09-02 Leg 1	性能確認試験	2009年8月10日～8月17日	日本近海	前野克尚
MR09-02 Leg 2	同上	2009年8月17日～8月23日	日本近海	前田洋作
MR09-03 Leg 1	北極海における総合観測航海	2009年8月28日～9月6日	北太平洋、ベーリング海	西野茂人
MR09-03 Leg 2	同上	2009年9月7日～10月15日	ベーリング海、北極海	菊地 隆
MR09-03 Leg 3	同上	2009年10月16日～10月25日	ベーリング海、北太平洋	西野茂人
MR09-04	熱帯域における大気・海洋観測研究	2009年11月4日～12月12日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二
MR10-01 Leg 1	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2010年1月20日～2月6日	西部北太平洋	松本和彦
MR10-01 Leg 2	同上	2010年2月7日～2月24日	西部北太平洋	松本和彦
MR10-02	熱帯域における大気・海洋観測研究	2010年4月6日～5月3日	西部太平洋赤道海域	安藤健太郎
MR10-03 Leg 1, 2	熱帯域における大気海洋相互作用に係る観測研究	2010年5月5日～6月28日	西部熱帯太平洋	山田広幸
MR10-04 Leg 1	性能確認試験	2010年8月5日～8月11日	日本近海	牧 哲司
MR10-04 Leg 2	同上	2010年8月11日～8月18日	日本近海	奥村慎也
MR10-05 Leg 1	北極気候システムに関する海洋研究	2010年8月24日～9月1日	北太平洋、ベーリング海	伊東素代
MR10-05 Leg 2	同上	2010年9月2日～10月16日	ベーリング海、北極海	伊東素代
MR10-06	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2010年10月18日～11月16日	西部北太平洋	本多牧生
MR10-07	熱帯域における大気・海洋観測研究	2010年11月24日～12月30日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二
MR11-01	熱帯域における大気・海洋観測研究	2010年12月31日～2011年2月6日	東部インド洋赤道海域	柏野祐二
MR11-02	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2011年2月11日～3月9日	北西部北太平洋	本多牧生
MR11-E01	相馬沖海域における海域モニタリング計画緊急調査航海	2011年3月26日～4月11日	相馬沖	熊本雄一郎
MR11-03	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2011年4月14日～5月5日	西部北太平洋	本多牧生
MR11-E02	東日本沖海域における海域モニタリング計画緊急調査航海【モニタリング+試験航海】	2011年6月9日～6月24日	東日本沖	川間 格
MR11-05 Leg 1, 2	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2011年6月27日～8月4日	西部北太平洋	本多牧生
MR11-06	熱帯域における大気・海洋観測研究	2011年8月13日～9月20日	西部熱帯太平洋、日本東方海域	柏野祐二
MR11-07 Leg 1	インド洋における季節内変動に関する観測研究	2011年9月23日～10月27日	中部インド洋	米山邦夫
MR11-07 Leg 2	同上	2011年10月28日～12月2日	中部インド洋	勝俣昌己
MR11-08 Leg 1	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動についての研究	2011年12月4日～12月20日	東部インド洋	熊本雄一郎
MR11-08 Leg 2	同上	2011年12月20日～2012年1月12日	西部太平洋	村田昌彦
MR11-08 Leg 3	同上	2012年1月12日～2月9日	西部太平洋	熊本雄一郎
MR12-E01	東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測	2012年2月20日～3月3日	東北沖太平洋、房総沖	笠谷貴史
MR12-E02 Leg 1	東北マリンサイエンス拠点形成事業：海底地形・瓦礫の精密マッピングと海洋環境・生態系の調査	2012年3月6日～3月15日	東北沖太平洋	笠谷貴史
MR12-E02 Leg 2	同上	2012年3月15日～3月22日	東北沖太平洋	藤倉克則
MR12-E02 Leg 3	同上	2012年3月23日～3月30日	東北沖太平洋	野牧秀隆
MR12-01 Leg 1	性能確認試験	2012年5月14日～5月20日	四国沖、紀伊半島沖、駿河湾南方	川瀬桃子
MR12-01 Leg 2	性能確認試験(津波監視プイシステム運用のための基礎実験)	2012年5月20日～5月30日	八丈島沖、伊豆小笠原海溝周辺、東日本太平洋側海域	奥村慎也
MR12-02 Leg 1	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2012年6月4日～6月24日	西部北太平洋	本多牧生
MR12-02 Leg 2	同上	2012年6月24日～7月12日	西部北太平洋	本多牧生
MR12-03	熱帯域における大気・海洋観測研究	2012年7月17日～8月29日	西部熱帯太平洋、日本東方海域	柏野祐二
MR12-E03	GRENE北極研究事業「みらい」北極航海	2012年9月3日～10月17日	北極海、ベーリング海、北太平洋	菊地 隆
MR12-E04	海洋環境における放射能調査及び総合評価に係る試料採取及び観測作業	2012年10月22日～10月26日	福島県・宮城県・茨城県沖	奥村慎也
MR12-05 Leg 1, 2	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動についての研究	2012年11月5日～2013年1月4日	西部太平洋、南大洋	勝又勝郎
MR12-05 Leg 3	同上	2013年1月6日～2月15日	南大洋	内田 裕
MR13-01	熱帯域における大気・海洋観測研究	2013年2月18日～3月28日	西部太平洋赤道海域	柏野祐二

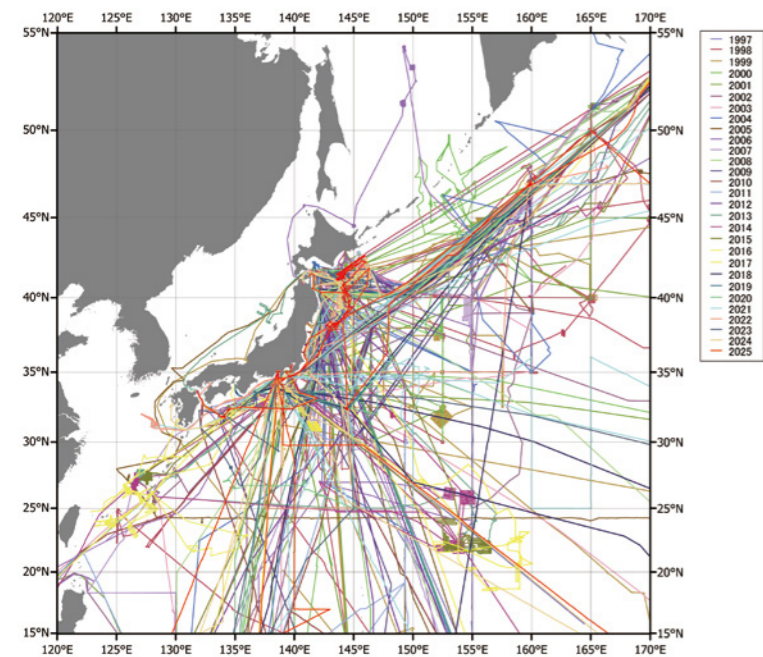
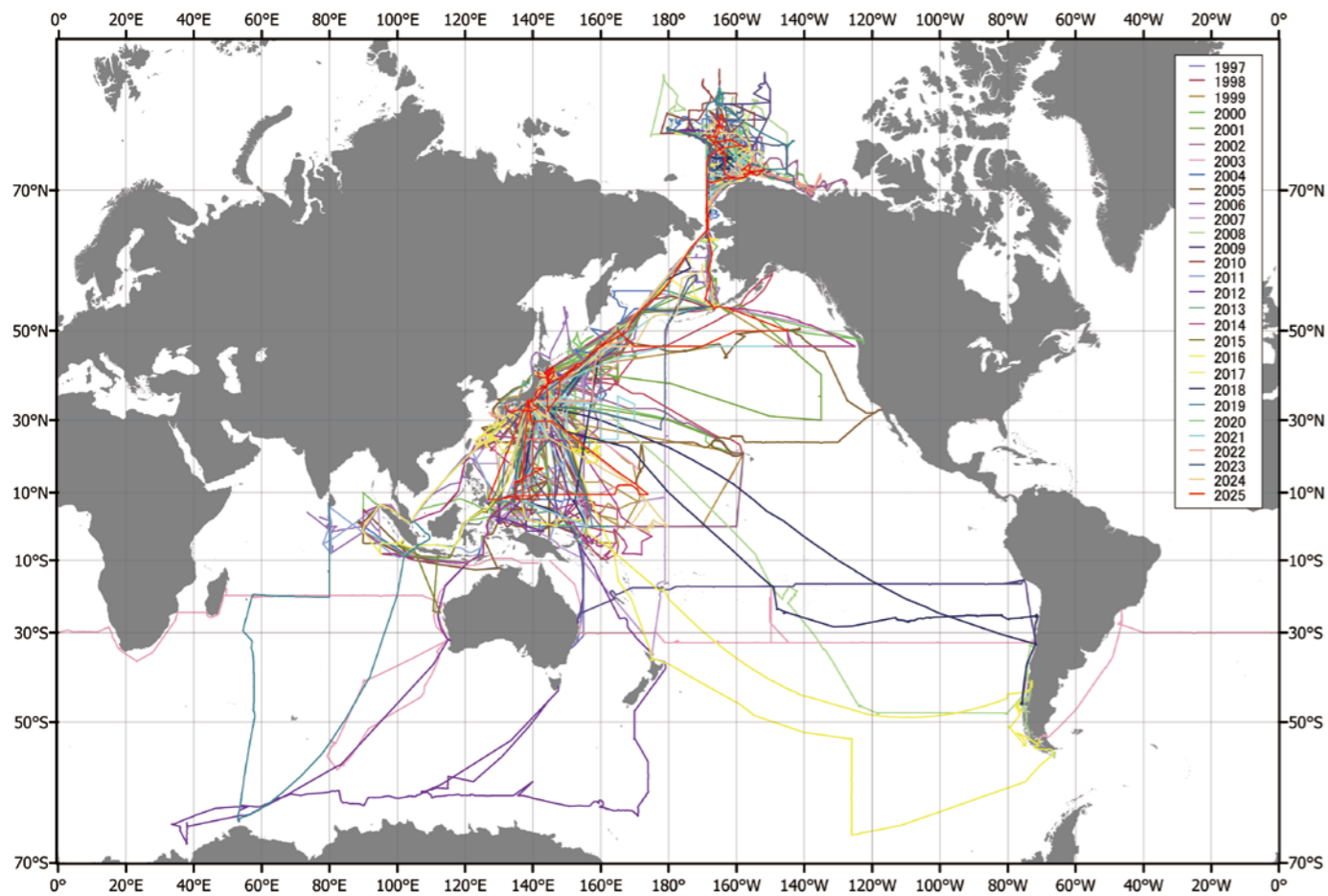
航海番号	航海名	期間	主要調査海域	首席研究者
MR13-02A	沈み込み帯における流体の脱水および上昇過程の解明～海底電磁気観測からのアプローチ～	2013年4月1日～4月6日	日本海東部	市原 寛
MR13-02B Leg 1	性能確認試験	2013年5月10日～5月17日	四国沖、紀伊半島沖、駿河湾南方、八丈島沖、相模湾	稲田真理
MR13-02B Leg 2	同上	2013年5月17日～5月23日	伊豆小笠原海溝周辺、東日本太平洋側海域	稲田真理
MR13-03 Leg 1	西部熱帯太平洋における季節内変動に関する観測研究	2013年5月31日～6月9日	西部熱帯太平洋	勝俣昌己
MR13-03 Leg 2	同上	2013年6月12日～7月6日	西部熱帯太平洋	勝俣昌己
MR13-04	気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック	2013年7月10日～7月29日	西部北太平洋	本多牧生
MR13-05	ベーリング海での海水-海底堆積物境界面の鉄の形態分布調査	2013年8月13日～8月26日	ベーリング海	坂井三郎
MR13-06 Leg 1	北極海における海水消失域での環境変動研究	2013年8月28日～10月7日	北極海、ベーリング海	西野茂人
MR13-06 Leg 2	同上	2013年10月9日～10月21日	ベーリング海、北太平洋	西野茂人
MR13-E02 Leg 1	伊平屋北周辺海域における海底電磁気探査/南鳥島周辺海域におけるレアアース泥の分布調査	2013年11月25日～12月9日	伊平屋北周辺海域	笠谷貴史
MR13-E02 Leg 2	同上	2013年12月10日～12月24日	南鳥島周辺海域	飯島耕一
MR14-01	インド洋・太平洋熱帯域における海洋気候観測研究/トライトンブイの運用	2014年1月9日～2月13日	東部インド洋赤道海域	植木 巖
MR14-02	インド洋・太平洋熱帯域における海洋気候観測研究/トライトンブイの運用	2014年2月15日～3月23日	西部太平洋赤道海域	長谷川拓也
MR14-03	性能確認試験	2014年6月2日～6月11日	四国沖、紀伊半島沖、伊豆小笠原諸島周辺、伊豆小笠原海溝周辺	太田晴美
MR14-E01	性能確認試験	2014年6月29日～7月1日	相模湾	太田晴美
MR14-04 Leg 1	海洋大循環による熱・物質輸送とその変動についての研究	2014年7月9日～7月15日	西部北太平洋	内田 裕
MR14-04 Leg 2	同上	2014年7月17日～8月29日	北太平洋	内田 裕
MR14-05	北極低気圧予実実験	2014年8月31日～10月10日	北極海、ベーリング海、北太平洋	猪上 淳 ^{*2}
MR14-E02	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)次世代海洋資源調査技術：南鳥島周辺海域の採泥調査	2014年10月15日～10月29日	南鳥島周辺海域	飯島耕一
MR14-06 Leg 1	オントンジャワ海台の構造と形成過程の解明	2014年11月4日～12月18日	オントンジャワ海台海域	末次大輔
MR14-06 Leg 2	インド洋・太平洋熱帯域における海洋気候観測研究/トライトンブイの運用	2014年12月20日～2015年1月19日	西部太平洋赤道海域	安藤健太郎
MR14-06 Leg 3	同上	2015年1月22日～2月25日	東部インド洋赤道海域	植木 巖
MR15-E01 Leg 1	SIP次世代海洋資源調査技術：伊平屋-伊是名海域での曳航式電気探査/南鳥島周辺海域の採泥調査/可搬式MCSを用いた掘削事前調査	2015年3月1日～3月13日	沖繩トラフ海域	笠谷貴史
MR15-E01 Leg 2	同上	2015年3月14日～3月28日	南鳥島周辺海域	野崎達生
MR15-E01 Leg 3	同上	2015年3月28日～4月18日	南鳥島周辺海域	飯島耕一
MR15-01	性能確認試験	2015年6月4日～6月10日	四国沖、紀伊半島沖、伊豆小笠原諸島周辺	柏瀬憲彦
MR15-02	SIP次世代海洋資源調査技術：南鳥島周辺海域の海底地形・採泥・採水調査	2015年6月22日～7月17日	南鳥島周辺海域	野崎達生
MR15-03 Leg 1	北極海における海洋気候-生態系変動観測研究	2015年8月24日～10月6日	北太平洋、ベーリング海、北極海	西野茂人
MR15-03 Leg 2	同上	2015年10月9日～10月22日	ベーリング海、北太平洋	西野茂人
MR15-04	東部熱帯インド洋多雨帯に関する観測研究	2015年11月5日～12月20日	西太平洋、東部熱帯インド洋	勝俣昌己
MR15-05 Leg 1	リピータイドログラフによる海洋環境中長期変動の解明(インド洋 GO-SHIP)	2015年12月23日～2016年1月11日	東部インド洋	勝又勝郎
MR15-05 Leg 2	同上	2016年1月13日～1月25日	東部インド洋、西部北太平洋	村田昌彦
MR16-01	SIP次世代海洋資源調査技術：ASVの水中通信および運動特性試験	2016年1月29日～2月7日	相模湾、大室ガシ、駿河湾	百留忠洋
MR16-E01	SIP次世代海洋資源調査技術：伊是名海穴熱水鉱床域における自然電位、電気探査法による地下探査法の技術開発	2016年2月23日～3月11日	伊是名海穴海域	笠谷貴史
MR16-02	SIP次世代海洋資源調査技術：水中音響技術に関する試験	2016年3月17日～3月22日	駿河湾、南海トラフ北縁部	越智 寛
MR16-03	性能確認試験	2016年6月4日～6月9日	四国沖、熊野灘、南部伊豆諸島周辺	前野克尚
MR16-E02	海底圧力計アレー観測による海洋/固体地球システム現象の解明(III)	2016年6月27日～7月2日	鳥島はるか東方沖	深尾良夫
MR16-06	北極域研究推進プロジェクト(ArCS)	2016年8月22日～10月5日	北極海、ベーリング海、北太平洋	西野茂人
MR16-07	SIP次世代海洋資源調査技術：南鳥島周辺海域のレアアース泥広域調査	2016年11月1日～11月25日	南鳥島周辺海域	町田嗣樹
MR16-08	インド洋・太平洋熱帯域における海洋気候観測研究/トライトンブイの運用	2016年11月27日～12月24日	西部太平洋赤道海域	植木 巖
MR16-09 Leg 1	海洋地球大変動を探る-南太平洋縦横断観測-(Trans South Pacific Project)	2016年12月27日～2017年1月17日	南太平洋	村田昌彦
MR16-09 Leg 2	同上	2017年1月20日～2月5日	チリ沖	原田尚美
MR16-09 Leg 3	同上	2017年2月8日～3月5日	南大洋	内田 裕
MR16-09 Leg 4	同上	2017年3月8日～3月28日	西部北太平洋	村田昌彦

航海番号	航海名	期間	主要調査海域	首席研究者
MR17-01	性能確認試験	2017年5月12日～5月18日	紀伊水道沖、四国沖、奄美海台周辺海域	大前由陽
MR17-02	プレート沈み込み開始にいたるテクトニクス	2017年5月20日～5月27日	沖大東海嶺周辺海域	石塚 治 ^{※3}
MR17-03C	SIP次世代海洋資源調査技術：熱水鉱床開発に関する調査観測手法の実証と環境ベースラインデータの収集	2017年5月29日～6月13日	南西諸島海域	山本啓之
MR17-04 Leg 1	北太平洋及びベーリング海における生物地球化学-生態系観測	2017年7月10日～8月2日	西部北太平洋、ベーリング海	藤木徹一
MR17-04 Leg 2	同上	2017年8月5日～8月21日	西部北太平洋、ベーリング海	藤原義弘
MR17-05C	北極域研究推進プロジェクト (ArCS)	2017年8月23日～10月1日	北極海、ベーリング海、北太平洋	西野茂人
MR17-06	海溝型巨大地震・巨大津波：実態解明に向けた地質・地球物理調査研究：海溝軸から陸側斜面における地震発生履歴調査	2017年10月5日～10月14日	下北沖・北海道沖太平洋	金松敏也
MR17-07C Leg 1	SIP次世代海洋資源調査技術：熱水鉱床開発に関する調査観測手法の実証と環境ベースラインデータの収集	2017年10月18日～10月30日	南西諸島海域	川口慎介
MR17-07C Leg 2	同上	2017年10月30日～11月10日	南西諸島海域	川口慎介
MR17-08 Leg 1	東インド洋湧昇域における大気海洋相互作用研究	2017年11月11日～2018年1月4日	東部熱帯インド洋	横井 覚
MR17-08 Leg 2	同上	2018年1月6日～1月18日	インドネシア群島水域および西太平洋	横井 覚
MR18-01C	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト：巨大地震発生域調査観測研究2 海域津波履歴調査	2018年1月21日～2月5日	南西諸島	金松敏也
MR18-02 Leg 1	6000m級ディーブ・トウカメラスシステム性能確認試験	2018年6月11日～6月15日	御前崎沖、熊野灘、伊豆・小笠原海域	新倉淳也
MR18-02 Leg 2	同上	2018年6月16日～6月17日	駿河湾	前田洋作
MR18-04 Leg 1	西太平洋スーパーサイト網の構築と拡充に向けた観測研究	2018年7月19日～8月10日	西太平洋	藤木徹一
MR18-04 Leg 2	同上	2018年8月13日～9月6日	西太平洋	勝俣昌己
MR18-E01C	SIP革新的深海資源調査技術：レアアース泥を含む海洋鉱物資源の賦存量の調査・分析	2018年9月10日～10月18日	南島周辺海域	山本浩文
MR18-05C	北極域研究推進プロジェクト (ArCS)	2018年10月24日～12月7日	北極海、ベーリング海、北太平洋	猪上 淳 ^{※4}
MR18-06 Leg 1	世界一の貧栄養域と世界一熱い沈み込み帯	2018年12月11日～2019年1月12日	南東太平洋 (チリ沖)、中部太平洋	村田昌彦
MR18-06 Leg 2	世界で唯一の活動域海嶺の沈み込み帯=チリ三重会合点研究	2019年1月14日～1月24日	チリ三重会合点周辺海域	岩森 光
MR18-06 Leg 3	南東太平洋環流域における貧栄養域と生態系のconnectivityに関する探査的研究	2019年1月27日～3月2日	南太平洋	Dhugal Lindsay
MR18-06 Leg 4	世界一の貧栄養域と世界一熱い沈み込み帯	2019年3月5日～3月25日	中部太平洋	竹谷文一
MR19-01	性能確認試験	2019年5月9日～5月15日	熊野灘、伊豆・小笠原、紀伊半島南西沖、駿河湾・南海トラフ北縁部、相模湾	新倉淳也
MR19-02	西太平洋スーパーサイト網の構築と拡充に向けた観測研究	2019年5月24日～6月14日	北西太平洋	藤木徹一
MR19-03C	北極域研究推進プロジェクト (ArCS)	2019年9月27日～11月10日	北極海、ベーリング海、北太平洋	佐藤和敏 ^{※5}
MR19-04 Leg 2	海洋循環による熱・物質輸送とその変動についての観測	2019年12月5日～12月27日	インド洋	村田昌彦
MR19-04 Leg 3	同上	2019年12月29日～2020年2月10日	インド洋、南大洋	勝又勝郎
MR20-01	西太平洋スーパーサイト網の構築と拡充に向けた観測研究	2020年2月23日～3月27日	西部熱帯太平洋	永野 憲
MR20-03	性能確認試験	2020年6月10日～6月15日	四国沖、伊豆・小笠原海溝、駿河湾	山室悠太
MR20-E01	夏季北進季節内振動に係る大気海洋相互作用研究	2020年8月1日～9月13日	西部熱帯太平洋	横井 覚
MR20-05C	Synoptic Arctic Survey (SAS) による北極海国際連携同時観測	2020年9月19日～11月1日	北極海、ベーリング海、北太平洋	西野茂人
MR20-E02	アジア大気微量物質による海洋生物地球化学への影響評価	2020年11月29日～12月12日	西部北太平洋	木元克典
MR21-01	アジア大気微量物質による海洋生物地球化学への影響評価	2021年2月13日～3月24日	西部北太平洋、伊豆諸島東方、小笠原諸島周辺、本州南方、津軽海峡、下北沖	竹谷文一
MR21-02	性能確認試験	2021年5月14日～5月19日	四国沖、熊野灘、駿河トラフ南方、伊豆・小笠原海溝、駿河湾	越智 寛
MR21-03	暖水プールの北部における統合的海洋大気観測	2021年5月26日～7月7日	西部熱帯太平洋	植木 巖
MR21-04	北太平洋亜寒帯循環の10-20年スケール変動の実態把握	2021年7月13日～8月26日	北太平洋亜寒帯海域	額野慎也
MR21-05C	北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) による観測航海	2021年8月31日～10月21日	北極海	藤原 周
MR21-06 Leg 1	西部北太平洋亜熱帯域におけるアジア域由来人為起源物質の分布と生態系への影響	2021年11月3日～11月27日	西部北太平洋亜熱帯海域	喜多村 稔
MR21-06 Leg 2	同上	2021年12月18日～2022年1月13日	西部北太平洋亜熱帯海域	喜多村 稔
MR22-01C	Time Reversal MIMO 音響通信の実証試験	2022年1月24日～2月1日	九州西方海域	志村拓也
MR22-02	性能確認試験	2022年3月31日～4月7日	四国沖、熊野灘、伊豆・小笠原海溝、伊豆諸島周辺、駿河湾	石渡隼也
MR22-03	春季西部北太平洋における東アジア大陸起源物質の分布と生態系への影響	2022年4月14日～5月20日	西部北太平洋、津軽海峡東部	杉江恒二
MR22-04	千島海溝における巨大地震・津波発生源の地震履歴研究	2022年6月15日～6月30日	千島海溝	富士原敏也
MR22-06C	北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) による観測航海	2022年8月12日～9月29日	北極海、ベーリング海、北太平洋	伊東素代
MR23-01C	Time Reversal MIMO 音響通信の実証試験	2023年1月21日～2月7日	九州西方海域、高知沖	出口充康

航海番号	航海名	期間	主要調査海域	首席研究者
MR23-02	性能確認試験	2023年4月26日～5月2日	四国沖、熊野灘、遠州灘、伊豆・小笠原海溝、伊豆諸島周辺、駿河湾	石渡隼也
MR23-03	海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価①	2023年5月20日～6月10日	駿河湾、九州・パラオ海嶺-四国海盆海域、伊豆小笠原諸島海域	矢吹彬憲
MR23-05 Leg 1	西部北太平洋域における大気・海洋・生態系変動の学際的研究	2023年6月28日～7月20日	西部北太平洋熱帯・亜熱帯海域	永野 憲
MR23-05 Leg 2	同上	2023年7月27日～8月17日	西部北太平洋亜寒帯海域	長島佳菜
MR23-06C	北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) による観測航海	2023年8月25日～10月4日	北極海、ベーリング海、北太平洋	藤原 周
MR23-07	北太平洋亜寒帯循環の定量的観測実験—GO-SHIP観測P14	2023年10月6日～11月9日	ベーリング海、北太平洋	勝又勝郎
MR24-01C		2024年2月13日～3月7日		
MR24-02	千島海溝における巨大地震・津波発生源の地震履歴研究	2024年3月12日～3月28日	千島海溝、三陸沖	富士原敏也
MR24-03	性能確認試験	2024年5月10日～5月16日	四国沖、熊野灘、青ヶ島東方沖、伊豆・小笠原海溝、伊豆諸島周辺、駿河湾	石渡隼也
MR24-04	北西太平洋熱帯域における大気海洋相互作用観測	2024年6月21日～7月30日	北西太平洋熱帯海域	横井 覚
MR24-05	千島海溝における巨大地震・津波発生源の地震履歴研究	2024年8月3日～8月20日	千島海溝、三陸沖日本海溝	富士原敏也
MR24-06C	北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) による観測航海	2024年8月26日～9月30日	北極海、ベーリング海、北太平洋	伊東素代
MR24-07 Leg 1	西部北太平洋におけるアジア起源物質の時空間分布と海洋生物地球化学への影響評価	2024年10月2日～10月28日	西部北太平洋、ベーリング海	木元克典
MR24-07 Leg 2	同上	2024年11月4日～11月17日	西部北太平洋亜熱帯海域	本多牧生
MR25-01	西部および中部太平洋赤道域における大気海洋相互作用研究	2025年1月12日～2月25日	西部および中部太平洋赤道海域	永野 憲
MR25-E01C	洋上航行体の海域試験②	2025年3月12日～3月19日	紀伊半島沖	渡 健介
MR25-02	北太平洋循環の定量的観測実験—GO-SHIP観測 P04W	2025年4月3日～5月12日	西部北太平洋熱帯海域	額野慎也
MR25-03	性能試験確認	2025年7月1日～7月7日	四国沖、熊野灘、青ヶ島東方沖、伊豆・小笠原海溝、伊豆諸島周辺、相模湾	石渡隼也
MR25-04	北太平洋亜寒帯域における統合的生物地球化学研究	2025年7月24日～8月28日	北太平洋亜寒帯海域、西部北太平洋熱帯海域	藤木徹一
MR25-05C	北極域研究強化プロジェクト (ArCS III) による観測航海	2025年8月30日～10月5日	北極海、北太平洋	藤原 周
MR25-06	暖水プール北部における統合的海洋大気観測	2025年10月16日～11月6日	西部熱帯太平洋	植木 巖
MR25-07	千島海溝・日本海溝における巨大地震・津波の発生源の海域地震履歴研究	2025年11月13日～11月29日	千島海溝、日本海溝	シヨン カンシー 金松敏也

クルーズレポート、JAMSTEC 航海・潜航データ・サンプル探索システム (DARWIN)、および運航線表に基づく。
一部の項目については、『海洋地球研究船「みらい」—その成果と将来—』月刊海洋 号外 No. 34、海洋出版 (2003) を参考にした。
日付は、基本的には日本標準時を使用しているが、世界標準時や現地時間を使用している場合もある。
首席研究者所属：※1 東京海洋大学/JAMSTEC、※2 JAMSTEC/国立極地研究所、※3 産業技術総合研究所、※4 国立極地研究所、※5 北見工業大学。その他はJAMSTEC。

航跡図



寄港地

海外 21カ国・36港

国名	港名	回数
米国	ダッチハーバー	29
	グアム	16
	ホノルル	7
	ノム	4
	サンディアゴ	1
	シアトル	1
	スワード	1
	パロウ	1
パラオ	コロール	16
オーストラリア	フリーマントル	3
	ダーウィン	2
	ブリスベン	2
	シドニー	1
	ホバート	1
ミクロネシア連邦	チューク	7
	ボンベイ	2
シンガポール	シンガポール	8
チリ	バルパライソ	5
	プンタアレナス	2
	フェルトモント	1
インドネシア	ジャカルタ	4
	バリ	1
仏領ポリネシア	パペーテ	5
マーシャル諸島	マジュロ	4
スリランカ	コロンボ	3
ニュージーランド	オークランド	3
モーリシャス	ポートルイス	2
カナダ	ビクトリア	1
ソロモン諸島	ホニアラ	1
ナウル	ナウル	1
フィジー	スバ	1
ブラジル	サントス	1
マダガスカル	タマタブ	1
マレーシア	クラン	1
南アフリカ	ケープタウン	1
モルディブ	マレ	1

国内 20港(母港 関根浜を含む)

国内	回数
母港:	91
関根浜(青森県)	
八戸(青森県)	99
清水(静岡県)	54
横浜(神奈川県)	28
横須賀(神奈川県)	17
中城湾(沖縄県)	8
釧路(北海道)	7
小名浜(福島県)	2
那覇(沖縄県)	2
佐世保(長崎県)	1
大洗(茨城県)	1
神戸(兵庫県)	1
佐世保(長崎県)	1
塩釜(宮城県)	1
仙台(宮城県)	1
敦賀(福井県)	1
東京(東京都)	1
平良(沖縄県宮古島)	1
二見(東京都父島)	1
別府(大分県)	1

クルーズレポート、JAMSTEC 航海・潜航データ・サンプル探索システム(DARWIN)、および運航線表に基づく。海外停泊を含む。造船所への入港は含まない。

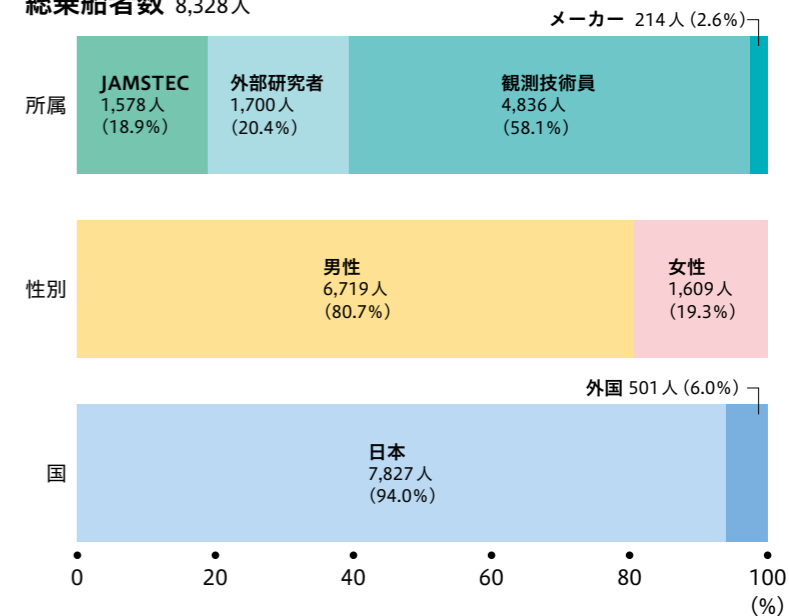
航走距離

年度	航走距離 (km)	年度	航走距離 (km)
1997	22,401	2012	99,369
1998	108,478	2013	80,179
1999	119,874	2014	92,633
2000	114,856	2015	60,572
2001	110,683	2016	77,268
2002	106,558	2017	63,985
2003	110,479	2018	80,694
2004	93,258	2019	56,523
2005	84,098	2020	41,799
2006	100,074	2021	65,770
2007	94,945	2022	40,201
2008	86,511	2023	49,859
2009	73,492	2024	54,259
2010	87,303	2025	51,754
2011	77,920	合計	2,305,795

JAMSTEC航海・潜航データ・サンプル探索システム(DARWIN)等に基づく。

乗船者数

総乗船者数 8,328人



一般公開・表彰など

日付	名称	場所
1997年 9月30日	プレス公開	石川島播磨重工業 東京第一工場
10月30日	竣工披露式。徳仁皇太子殿下雅子妃殿下の御臨席	晴海埠頭(東京都)
10月31日~11月1日	一般公開	晴海埠頭(東京都)
11月2日	体験クルーズ	晴海埠頭~横須賀本部
11月3日	一般公開	横須賀本部(神奈川県)
11月7日~9日	竣工・入港歓迎式典・一般公開	関根浜港(青森県)
12月7日	一般公開	神戸港(兵庫県)
12月14日	一般公開	佐世保港(長崎県)
1998年 2月12日~14日	プレス公開・公開セミナー・特別公開・一般公開	ホノルル(米国ハワイ)
3月29日~30日	一般公開・洋上教室	シドニー(オーストラリア)
5月3日	入港歓迎式典・一般公開・海洋教室	塩釜港(宮城県)
6月4日	一般公開	平良港(沖縄県宮古島)
7月25日~27日	入港歓迎式典・一般公開・洋上教室	青森港(青森県)
8月13日	一般公開・海洋セミナー	スワード(米国アラスカ)
10月31日~11月1日	プレス特別公開・海洋教室・入港歓迎式典・一般公開	八戸港(青森県)
1999年 3月11日	特別公開	ホニアラ(ソロモン諸島)
5月2日	入港歓迎式典・一般公開	大洗港(茨城県)
7月18日	一般公開	敦賀港(福井県)
8月4日	一般公開	清水港(静岡県)
2000年 8月23日	一般公開	シアトル(米国)
8月26日	一般公開	ビクトリア(カナダ)
11月20日~21日	入港記念式典・特別公開	ジャカルタ(インドネシア)
2001年 7月20日	一般公開	関根浜港(青森県)
2002年 7月23日	特別公開	クラン(マレーシア)
8月	AMVER(遭難船舶の船位を他船に通報する制度)に関する表彰を受ける	
2003年 5月3日	一般公開	別府国際観光港(大分県)
5月21日	「BEAGLE2003」出航式	横浜港(神奈川県)
6月2日	海上気象通報有良船として気象庁長官から表彰	
8月2日	一般公開	ブリスベン(オーストラリア)
11月5日	特別公開・一般公開	サントス(ブラジル)
12月8日	特別公開	ケープタウン(南アフリカ)
12月20日	特別公開	タマタブ(マダガスカル)

日付	名称	場所
2004年 1月25日	一般公開	フリーマントル(オーストラリア)
3月23日	BEAGLE2003達成祝賀式	横浜港(神奈川県)
8月7日	一般公開	関根浜港(青森県)
2005年 9月4日	一般公開	釧路港(北海道)
9月11日	一般公開	関根浜港(青森県)
2006年 7月30日	一般公開	関根浜港(青森県)
12月18日	フィリピン西方海域において水没船舶を発見。乗組員全員(5名)を救助	関根浜港(青森県)
2007年 7月22日	一般公開	関根浜港(青森県)
9月1日	就航10周年記念シンポジウム	むつグランドホテル(青森県)
2008年 3月29日~30日	就航10周年記念シンポジウム・一般公開	日石横浜ホール・横浜港(神奈川県)
8月10日	一般公開	関根浜港(青森県)
11月9日	一般公開・寄港記念講演	小名浜港(福島県)
12月9日	「みらい」コック長の料理教室第1回	北北文化会館(青森県)
2009年 12月18日	「みらい」コック長の料理教室第2回	北北文化会館(青森県)
2011年 8月6日	一般公開	関根浜港(青森県)
2013年 8月10日	一般公開	関根浜港(青森県)
2014年 6月1日	多年にわたり海上気象の観測通報を確実に励行し気象業務の発展に寄与した功績によって気象庁長官より感謝状授与	
2015年 6月	「みらい」をテーマにした初のプラネタリウム番組「空と地球の『果て』な?~海洋地球研究船『みらい』の冒険~」を東京都足立区の「ギャラクシティ」が制作・上映	
7月18日	一般公開	釧路港(北海道)
7月25日	一般公開	関根浜港(青森県)
2016年 1月28日	一般公開	横浜港(神奈川県)
2017年 7月8日~9日	就航20周年記念講演会・むつ来さまい館・関根浜港一般公開	関根浜港(青森県)
2018年 9月9日	一般公開	関根浜港(青森県)
2019年 9月22日	一般公開	関根浜港(青森県)
2024年 8月24日	一般公開	関根浜港(青森県)
2025年 6月1日	多年にわたり海上気象の観測通報を確実に励行し気象業務に貢献した功績により、気象業務150周年記念式典にて気象庁長官表彰を受ける。	
7月20日	一般公開	関根浜港(青森県)

『海洋科学技術センター 海洋研究開発機構 創立50周年記念誌』沿革、プレスリリース等に基づく。

入港記念盾

海外



タマタブ (マダガスカル)



ポートルイス (モーリシャス)



ホノルル (米国)



サンディエゴ (米国)



ケープタウン (南アフリカ)



フリーマントル (オーストラリア)



ダーウィン (オーストラリア)



クラン (マレーシア)



パペーテ (フランス領ポリネシア タヒチ島)



プンタアレナス (チリ)



シドニー (オーストラリア)



ブリスベン (オーストラリア)



オークランド (ニュージーランド)



バルパライソ (チリ)

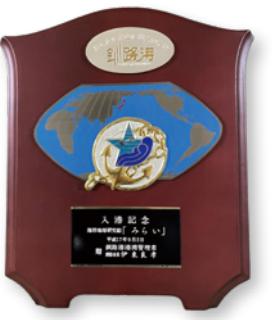
国内



八戸 (青森県)



青森 (青森県)



釧路 (北海道)



ビクトリア (カナダ)



サントス (ブラジル)



那覇 (沖縄県) 中城湾 (沖縄県) 平良 (沖縄県宮古島)

二見 (東京都父島)



佐世保 (長崎県)



神戸 (兵庫県)



清水 (静岡県)



横浜 (神奈川県) (BEAGLE2003達成記念)

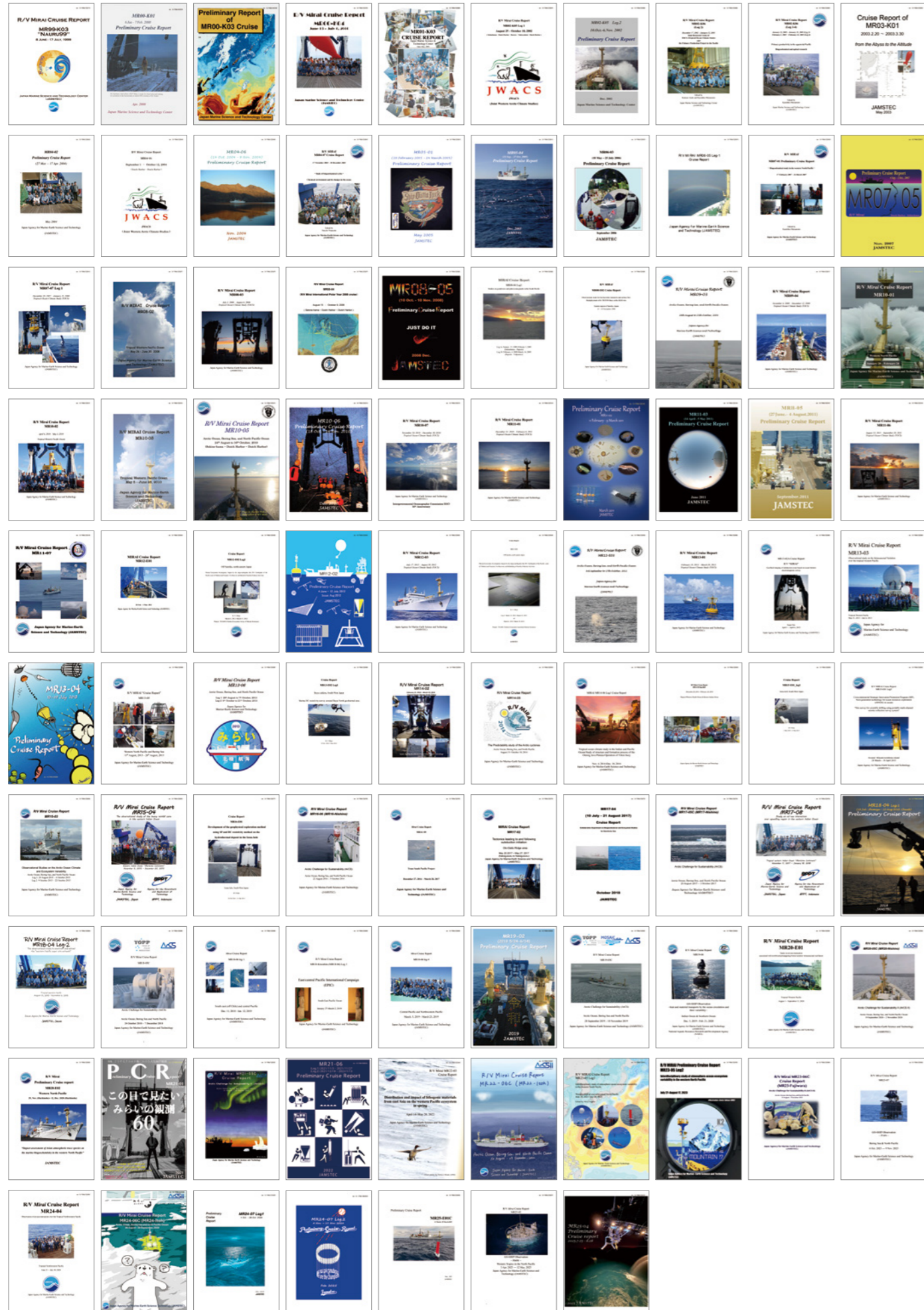


掲示風景 大会議室前



小会議室前

クルーズレポート 図・写真で表紙を飾ったクルーズレポートを掲載



編集後記



撮影：JAMSTEC 渡健介氏

もうすぐ、寄港地ダッチハーバー入港。自分にとっては、これが8回目の訪問。ロストバゲージ。タッチアンドゴー。ユニシー・インでのキングクラブ。思い出を挙げれば、枚挙にいとまがない。

7月下旬、多くの人に見送られて関根浜を出港してから、今日で34日目。台風による荒天、濃霧、機器トラブル。それでも、北部北太平洋を横断しながら、観測を重ねてきた。長かった本航海、いよいよカーテンコールの時が来た。これが、自分にとって人生最後の「みらい」乗船。そして、「みらい」自身にとっても、残り数航海で28年間にわたる旅路の終わり（前身である原子力船「むつ」の時代から数えれば、実に56年間）。

自分は、海洋地球研究船「みらい」の設計・整備段階から関わってきた。乗組員、観測技術員と意見を交わしながら、観測と分析の体制を構築。「みらい」で得られたデータが、自分の学位取得と研究人生の礎となった。首席研究者を務めること20回、まさに、「みらい」と共に歩み、成長してきた年月。だからこそ、今年限りでの退役は、2度目の定年を迎える自分と重なり、とても特別な意味を持つ。

今はただただ、感謝、感謝。「みらい」に。そして、陸上・海上で共に汗と潮にまみれてきた仲間たちに。この記念誌の寄稿文を読んで、同じような時を共有し、同じような想いを抱いているのは、自分だけではないと実感する。「みらい」、本当にありがとう。そして、お疲れさまでした。

最後に——
今年、「ミスタープロ野球」がこの世を去った。野球少年だった自分は、その訃報に接し、不意に涙がこみ上げた。あの偉大なる“ミスター”の、あの有名な言葉を借りて、この編集後記を締めくりたい。

「みらい」は今年で引退しますが、我々が「みらい」で得られた観測データと観測システムは、永久に不滅です。

2025年8月26日
ダッチハーバー入港直前の太平洋上にて

「みらい」退役記念誌編集委員会 委員長
本多牧生

退役記念誌 海洋地球研究船「みらい」 1997-2025

発行日 2026年1月15日

編集 「みらい」退役記念誌編集委員会
委員長 本多牧生
委員 村田昌彦 米山邦夫
吉松あゆみ 金井隆憲
熊谷朋彦 伊部幸一

発行 国立研究開発法人海洋研究開発機構
〒237-0061
神奈川県横須賀市夏島町2番地15
TEL：046-866-3811（代表）
<https://www.jamstec.go.jp>

編集・制作協力 フォトンクリエイト
(デザイン：デザインコンビビア)

© 2026 JAMSTEC All Rights Reserved.
本書の文章・写真・イラスト等を無断で転載・複製することを禁じます。
ISBN 978-4-901833-58-5

裏表紙 撮影：日本海洋事業 末吉惣一郎氏