

海洋地球研究船「みらい」 長期観測研究計画

平成 17 年 2 月改定

独立行政法人海洋研究開発機構

目 次

海洋地球研究船「みらい」長期観測研究計画の中間見直しに当たって	1
(参考) 海洋地球研究船「みらい」長期観測研究計画の策定に当たって (初版)	3
1. 観測研究の課題	5
1.1 熱循環の解明	5
1.1.1 目的	5
1.1.2 研究課題	8
(1) 太平洋・インド洋熱帯域の観測研究	8
(2) 大気－海洋相互作用に係る観測研究	8
(3) 海洋大循環の長期的変動に関する観測研究	10
(4) 北極海域の観測研究	10
1.2 物質循環の解明	11
1.2.1 目的	11
1.2.2 研究課題	12
(1) 大気－海洋間の物質交換過程	12
(2) 生物活動と物質循環の関係	12
(3) 物質の水平・鉛直輸送過程	12
(4) 深海－海底間での物質交換過程	13
(5) 古環境復元	13
1.3 海洋生態系の解明	13
1.3.1 目的	13
1.3.2 研究課題	13
(1) 表層から深海域における生物群集構造に関する研究	13
(2) 物質変換 (生産・分解・無機化) 過程と食物連鎖系に関する研究	13
(3) 環境条件により変動する生物ポンプ作用に関する研究	13
1.4 海洋底ダイナミクスの解明	13
1.4.1 目的	13
1.4.2 研究課題	14
(1) 海洋底ダイナミクスの解明についての観測研究	14
2. その他の推進すべき事項	15
2.1 連続観測の実施	15

海洋地球研究船「みらい」長期観測研究計画の中間見直しに当たって

現行の海洋地球研究船「みらい」長期観測研究計画（以下「長期観測研究計画」という。）は、平成9年に科学技術庁に設置された「みらい」運用体制検討委員会が定めた海洋地球研究船「みらい」利用計画（平成9年9月16日）に則り、翌10年2月に海洋科学技術センターに設けられた「みらい」運用検討委員会で策定されたものである。この長期観測研究計画には、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」で示された4つの重点基盤研究テーマ（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）を骨格として、今後10年間程度を見通した「みらい」を用いて実施すべき観測研究について科学的目標、課題などの指針が示されている。また長期観測研究計画は、海洋地球研究船「みらい」利用計画において、原則として5年毎に見直すとも述べられている。この長期観測研究計画に基づき、「みらい」は北太平洋を中心に北極海、インド洋東部、更に平成15年度には約7ヵ月間の南半球周航観測航海（BEAGLE 2003）を行うなど、正に地球規模の観測を実施し多大な成果を上げてきた。平成14年度までの観測航海とその主な成果は「月間海洋、号外34号」（2003）にまとめられている。

平成10年度以降、我が国における海洋観測研究の推進体制は大きく変わりつつある。平成13年度に制定された第二期科学技術基本計画では、戦略的に推進すべき4分野の1つとして「環境分野」を挙げ、とりわけ地球規模の観測等の推進の重要性を指摘している。これに対する対応として科学技術・学術審議会は、答申「21世紀初頭における日本の海洋政策」（平成14年8月1日）において、「地球温暖化、気候変動等のメカニズム解明」を海洋研究の推進方策の一つに挙げている。また、現在検討中の総合科学技術会議「地球観測の推進戦略」では、海洋環境変動の長期観測、海洋二酸化炭素観測網の整備、環境汚染物質の海洋生態系への影響把握および海洋生物資源の包括的観測体制の整備、観測空白域のない地震・津波の定常的・長期的観測網の構築などを戦略的重点課題として取り上げる見込みである。国際的には、平成15年G8サミット（エビアンサミット）において採択された「持続可能な開発のための科学技術」行動計画に基づいて、「第2回地球観測サミット」（平成16年4月25日、東京）において地球観測システム確立のための実施計画の枠組が決定された。平成17年には第3回地球観測サミットで「地球観測10年実施計画」が発表される見込みである。この様に7年前の本長期観測研究計画の策定時に比べて国内外の状況は大きく様変わりしており、地球規模の観測に対する要求の高まりと共に、海洋観測に果たす「みらい」への期待も従来に増して大きいものとなっていると考えられる。

長期観測研究計画の見直しは5年を目途に行われるはずであったが、「みらい」の運航母体である海洋科学技術センターが「独立行政法人海洋研究開発機構」へと改組される時期と重なったため作業を遅らせた経緯がある。今回の見直し作業にあたり、「みらい」運用検討委員会では、以上のような「みらい」にかかわる国内外の環境をつぶさに俯瞰し、本長期観測研究計画の残りの期間に焦点を当てながらその見直しを鋭意検討してきた。その結果、先に示された4つの重点基盤研究課題は踏襲しながらも、就航以来約7年間に「みら

い」が挙げた成果を踏まえた上で近年の国内外における科学的、社会的動向や要求、特に「地球観測10年実施計画」に盛り込まれる課題を考慮して研究課題の内容に関して多少の調整を行った。

なお、「独立行政法人海洋研究開発機構」はその運営の中期目標が5年間（平成16年度から20年度まで）と定められていることから、今回見直した長期観測研究計画の適用期間は平成20年度までとすることが適当である。

平成17年2月8日

「みらい」運用検討委員会委員長
半田暢彦
(名古屋大学名誉教授)

(参考) 海洋地球研究船「みらい」長期観測研究計画の策定に当たって (初版)

この長期観測研究計画の目的は、平成9年9月「みらい」運用体制検討委員会でとりまとめられた「みらい」利用計画に従い、今後10年間程度を見通した「みらい」を用いて実施すべき観測研究について科学的目標、課題を設定し、「みらい」中期運航計画作成の際の指針を示すことにある。

基本的には「みらい」はできるだけ一般に広く利用されることが望まれるが、一方科学的目標をしぼり込んで研究成果を着実に上げていく必要がある。そこで、この長期観測研究計画の作成の方針を以下の通りとした。

(1) 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」で示された4つの重点基盤研究テーマ(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)を骨格とする。

(2) 地球科学技術フォーラム/地球観測委員会の「みらい」観測計画分科会において、広く意見をもとめ本計画に反映させる。

(3) 「みらい」の特徴を活かした観測研究の大筋を示すことに主眼を置く。

熱循環の解明においては、大気の1000倍以上の熱容量を持ち地球上の98%の水が集中する海洋は、表層から深層にわたる複雑な海水循環や大気との熱のやり取りを通じて地球全体の熱平衡に重要な役割を果たしており、その実態の解明が中心となる。特に、海水温や海流の変動は、異常気象や気候変動の原因となりこのメカニズムの解明が待たれている。物質循環の解明においては、地球温暖化の原因となる二酸化炭素等のさまざまな物質を大量に吸収しているが、これらの物質が海洋中でどのように運ばれ、どのように分布し、どのように変化するのかを明らかにしていくことが中心である。これは、地球温暖化の予測能力を向上する上でも重要である。海洋生態系の解明においては、植物、動物プランクトンやその他海洋生物の生態を調べ、その複雑な生態系を海洋環境と関連付けながら明らかにする。海洋底ダイナミクスの解明では、海底下で起こっている地殻変動の原因、その結果としておこる諸現象を地球的規模で体系的に調べることを中心としている。

近年、地球環境問題の顕在化を背景に地球の諸現象を総合的に捉え、全体を統一的な体系として理解する必要性が指摘されており、上記の4研究テーマもその観点から定められている。気候変動の問題をとってみても、気圏、水圏、地圏、生物圏をまたいだ、様々な物理、生物地球化学的過程や、時・空間的スケールで現象が進行するので、これらの複雑に絡みあった現象を解きほぐしていく作業が必要となる。

例えば、物質循環の研究テーマとして扱われる大気中での二酸化炭素などの温暖化物質の挙動を調べる場合、それらの物質の大気-海洋間及び、海洋表層-深層間、海水-海底境界面での輸送過程が重要であるが、それには、熱循環の研究テーマで扱う海水循環や、大気循環の研究の進展が不可欠である。さらに、海洋生態系も海洋表層において、植物プランクトンの光合成により取込まれた炭素の一部を、有機物として食物連鎖を通じ海洋深層まで効率的に輸送する役割を果たしている。一方、海底に堆積したそれら生物の化石の

生物種及び、化学組成から過去の海洋環境の歴史的変遷を推測することができる。それらを総合的に解明していくことが、気候変動解明の基礎となる。したがって、各研究テーマ間の連携をとりながら、個々の観測研究を進めていくことが肝要である。

「みらい」利用計画にも述べられているように、「みらい」は、大型の船体を活かした以下の優れた特徴を有している。夏期の北極海などの流氷域も航行が可能な耐氷性、冬期の北太平洋などの荒天域での観測を可能にした航行・作業性、多数の海洋観測ブイが搭載可能でありかつブイハンドリング能力に優れている。さらには多様な観測機器を搭載しており、その海洋観測機器のなかでは、特に、深層まで海水を大量に採取できる大型採水システム、表層海水連続観測装置、そして各種海水分析装置は充実している。海洋のみならず大気の観測装置も充実しており、Cバンドドップラーレーダーにより海洋上の降水過程の観測や、大気ガス分析装置により大気化学の観測も可能にしている。マルチナロービーム測深機、サブボトムプロファイラー、重力計、磁力計、また堆積物採取のためのピストンコア等の海洋底に関わる地球物理の観測も可能である。上記の観測機器を十分に活用できるように、観測技術員による観測支援体制も充実している。これらの特徴を活かし、今後国内外の研究者の協力のもと、地球環境変動の解明に向けて、学問領域を越えて総合的に観測研究を実施していく必要がある。

平成10年2月

1. 観測研究の課題

1.1 熱循環の解明

1.1.1 目的

近年、大気・海洋における気候変化が危惧され、IPCC（気候変動に関わる政府間パネル）報告にみられるように各国政府に何らかの方策をたてることが要請されている。その方策は科学的根拠にもとづく必要があるが、いまだ人類は気候変化とともに、さらに気候変動の特性さえも十分に理解し予測する段階には至っていない。しかし、1980年代以降、徐々にではあるが、気候システムを構成する地球大気の振る舞いが、海洋の変動に大きく依存していることが明らかになりつつある。この最も著しい例が、いわゆる太平洋熱帯域のエル・ニーニョ（El Nino）現象として知られるものである。エル・ニーニョは、ペルー沖合に北から暖流が逆流してくる季節的な現象を現地の船乗り達が指す言葉であったが、数年程度の間隔で暖水が東太平洋熱帯域の広範囲に広がり長期間（1年程度）持続することがあり、このような海洋現象を指す用語となった。同時に、エル・ニーニョが起こると積雲対流の活発な場所が東方にずれるため大気の大循環にも強い影響を与え、熱帯地方のみならず世界各地の異常現象との関連において社会的にも注目されるようになった。また、近年インド洋熱帯域にも、エル・ニーニョと同様に海面水温偏差に海盆規模での東西振動が存在し、ダイポール（双極）モード現象として知られるようになった。これらの太平洋とインド洋の大規模な熱源の移動はそれぞれが大気循環のパターンを変え、大気を架け橋として両海洋間で影響を及ぼし合っていると考えられる。さらに海洋と大陸間の季節的な熱源の移動によるアジアモンスーンとも結びつき複雑な気候システムを形成している。この気候システムは水循環も支配し、人々の生活に大きな影響を与えている。このように太平洋からインド洋の熱帯域における季節内変動から10年規模の大気・海洋変動の諸現象を解明することは、アジアのみならず全球の気候システムを理解するためにも極めて重要である。これらの現象の理解を進めるため、TOGA（Tropical Ocean Global Atmosphere）計画やそれを引き継ぐCLIVAR（Climate Variability and Predictability）計画等の国際的な気候研究計画において様々な取り組みがなされてきた。例えばTAO（Tropical Atmosphere Ocean）アレーやトライトンブイ網による気象・水温観測、ボランティア船による表層水温観測、漂流ブイによる流れ場の観測がほぼ定常的に行われるようになった。また、近年、Argoフロート（中層プロファイリングフロート）による海洋上層の観測網が発展しつつある。しかしながら、大気・海洋結合モデルを用いてその発生予測をするには大気・海洋の季節変動から年々変動の領域で解明すべき課題が多く残されておりこれらの太平洋からインド洋の熱帯域において観測網を維持、発展させていくことが必要である。特に気象観測、および水温、塩分等の海洋観測の機能を充実させたトライトンブイの展開を担うことは「みらい」の重要な役割の一つである。

水は、氷－水－水蒸気の相変化による熱の吸収・放出を伴いながら、地球上を循環している。水循環には、大別して海流などの海水循環と雲などを介する淡水循環とがある。地球規模での淡水循環を考えると、地球表面の70%以上を海面が占めることから、海洋と大気との間の交換が極めて重要な役割を持つ。事実、アジアモンスーンやエル・ニーニョ

現象の解明には大気－海洋相互作用の立場での理解が不可欠である。両者の媒体として「雨」は特別な意味を持つ。雨のもととなる雲の形成には、海面水温や海上の水蒸気量の分布が決定的な因子である。これは海洋から大気への作用である。一方、雨は海洋の水温、塩分を変化させる。つまり、これは大気から海洋への作用である。これが降水現象を通じた大気－海洋相互作用の一形態である。これまで海洋における降水の観測は、洋上観測の技術的困難さ等の理由から皆無に等しい状態であり、離島でのごく僅かなデータを利用するしかなく、現象の解明に常に障害となってきた。水蒸気が凝結して雲粒・雨粒になるためにはその核となる微粒子（エアロゾル）の存在が必要であるが、陸上と海上では大きくその分布が異なるため、雲の成因過程も異なってくる。また、離島であっても、海洋と地面の比熱の違いで海陸風が起きることから、島では朝と夜に対流が発達し易いという特徴が見られる。つまり海洋の観測は海洋で行わなければならないことの例である。

このように、陸地の影響を受けていない海洋上空に発達する雲とそれによりもたらされる降雨、その降雨が引き起こす海洋の変化はこれまで実質的に行われたことのない研究領域である。世界で初めて船舶搭載型Cバンド・ドップラーレーダーが、「みらい」に常時搭載されることとなった。これにより、外的影響を受けることのない海洋上の雲・降水現象を観測する手段ができたといえる。今後、熱帯域における対流雲のメカニズムの解明及び降水量観測を手始めとして、中緯度域に見られる季節・地域固有の降水現象の解明に観測研究を進めていく必要がある。

数年スケールの変動の代表的なものはエル・ニーニョであり、その影響は大気・海洋のさまざまな経路を通して中高緯度にも及んでいる。また、地球温暖化の可能性に伴い近年注目を集めるようになってきた十年規模の変動は、熱帯・亜熱帯の相互作用、亜熱帯・寒帯の相互作用等、北半球全体がフィードバックシステムをなしているものと考えられている。したがって、気候変動を捉えるためには熱帯太平洋と同様に北太平洋規模の長期的な観測システムが必要である。一方、気候変動に影響の大きい海域における集中型の観測も重要である。現在の大気海洋結合モデルでは大気と海洋間での熱交換の精度が悪く、モデル同士を比較した場合中緯度域で $100\text{W}/\text{m}^2$ もの差があった。特に、黒潮続流域での差が大きい。黒潮続流域は十年規模の気候変動がもっとも顕著に現れる海域だが、そのメカニズムを解明するには熱交換の誤差が $10\text{W}/\text{m}^2$ 以下にならなければならない事が分かってきた。これは、海洋混合層、大気境界層、水平乱流・混合による熱輸送等のモデル化にまだ問題があることを示している。また赤道域の暖水プールでは強い降水のため表層に低塩分層ができて鉛直混合が阻害され、海表面で高温の海水層が生成される。このようなプロセスを精度よくモデル化することはこれまでできていない。したがって、これらのプロセスを高精度の観測により解明し、モデルの高度化に資していくことが肝要である。すなわち、太平洋における十年規模気候変動のメカニズム解明には、1) 気候変動のシグナルを捉えるための太平洋全域をカバーする長期的な観測網、2) 集中型の海域実験によるプロセス研究、という二つの側面が必要となる。

多くの観測結果は、1990年代後半より大気、海洋の全球的昇温がより顕著になったことを示しており、海洋における10年／数10年スケールの変動の実態把握は、地球温暖化の

トレンドを見分けるうえで区別すべきバックグラウンドという見解があり、一層注目を浴びている。地球温暖化に関わるシグナルを自然変動と見分けて検出するためには、全球／大洋スケールでの海洋内部の水温場や密度場の変動、熱の南北輸送の変動を評価し、その物理的原因を明らかにする必要がある。その過程では気候変動モデルを用いた研究が必要となるが、そのための実証データが、海洋においては不足している。そこで気候変動の実態解明と予測を目指す国際プログラムである CLIVAR の活動のひとつとして、WOCE (World Ocean Circulation Experiment) で実施された各大洋を横断／縦断する高密度で高精度な各層観測ライン (WHP ライン) を、同等の規格で再観測するという計画が進行中である。この計画は、大気中の二酸化炭素の増加に関わる海洋の炭素循環や増加を観測する国際プロジェクトである IOCCP (SCOR-IOC International Ocean Carbon Coordination Project) の協力も得ている。特に、1990 年代に実施された WOCE 観測の成功により、大洋横断型の大規模な海洋観測の有効性が認識されており、温暖化進行の切迫性を受けて、それに対処すべき WOCE 型の観測研究に「みらい」が積極的に参画することが望まれる。

温暖化などにより地球環境に変化が起こるとそれが正のフィードバックを加速し、さらに大きく変化する恐れがある。気候モデルの結果によるともっとも顕著なのは北極域であり、特に、海洋や海水を通しそのフィードバックの効果が強く現れるものと考えられている。しかもそれは温暖化により氷が融け、さらに温暖化する、という単純なものではなく、氷が融け大量の淡水が大西洋に流れ出すことにより熱塩循環を止め、逆に寒冷化フィードバックを引き起こす可能性さえ指摘されている。このように北極域の気候変動は社会的に重大な影響を与えるものと考えられているにもかかわらず、厳しい自然条件と国際的に複雑な政治状況もあってそのフィードバックシステムはほとんど解明されていない。北極海域においても、気候、環境変動の予測モデルのための現場データの蓄積、および極域特有の氷海域の大気海洋の素過程の解明が望まれる。

地球温暖化現象は温室効果ガスの放出等による人為的原因によりもたらされているとされている。地球温暖化を定量的に議論する場合、自然界に元来存在している変動と、二酸化炭素等の温暖化物質の変化による強制的な応答を分離しておく必要がある。自然界に元来存在している変動は、海洋・気候物理学の過程として捉えることができるであろう。すなわち、熱循環とその変動のメカニズムを捉えることに他ならない。近年の話題である1970年代半ばの北太平洋域の気候ジャンプも、太平洋赤道域の海面水温が特に日付変更線より東で約1℃上がったことと関係があるという説もあり、気候システム変化の監視や予測の上で海洋の重要性が高まっている。また、二酸化炭素等の物質循環過程を調べ、温暖化物質の変化を捉えることは、温暖化に伴う放射強制力の変動を捉えるものと言える。海洋は大気中二酸化炭素の約60倍の炭素を蓄積させており、そのプロセスを解明することは極めて重要である。生物が積極的に関わっているため非常に複雑なプロセスであり、物質循環研究および海洋生態系の研究と密接な連携のもとに観測研究を推進していく必要がある。

1.1.2 研究課題

(1) 太平洋・インド洋熱帯域の観測研究

エル・ニーニョ、ダイポールモード現象、モンスーン変動の解明に向け、トライトンブイの展開を図りながら、以下の観測研究の推進が必要である。

①熱帯域の海洋／大気フラックス

西部熱帯太平洋から東部インド洋の暖水プールにおいて、大気から海洋に与えられる熱エネルギー、運動エネルギー及び降雨を観測し、暖水プールにおける混合層の変動の解明を行う必要がある。

②熱帯域の海洋変動

エルニーニョ現象の発生に先行する熱帯太平洋域での蓄熱に注目したRecharge-discharge理論が知られるようになり、熱帯・亜熱帯域間での暖水交換の重要性が注目されている。西部熱帯太平洋暖水プールには、南赤道海流、赤道潜流、北赤道反流、北赤道海流のみでなく、黒潮、ミンダナオ海流、ニューギニア沿岸潜流などの流入流出があり、これらが暖水プールの蓄積・散逸に大きく寄与していると考えられておりその研究を進める必要がある。

インド洋熱帯域において季節内変動や半年周期変動が卓越し、またダイポールモード現象が経年変動として現れることが知られてきたが、他の海洋に比べて海洋内部のデータは極めて少ない。そこで、観測網を充実し、海洋内部でどのようなプロセスが働いてダイポールモード現象等が発達・消滅するかという疑問を解き明かす必要がある。

③インドネシア通過流とその周辺の海洋構造

太平洋からインドネシア多島海を介してインド洋への低塩・高温の水・熱輸送があり、この量の変動によるフィリピン海南部や、インド洋東部の海洋構造の変動の実態を解明する必要がある。この西部熱帯太平洋は、南北両半球の中層、深層の海洋循環研究の視点からも重要である。

(2) 大気－海洋相互作用に係る観測研究

①熱帯海洋上における対流雲形成のメカニズム

(イ) 大規模場の降水現象の研究

エル・ニーニョやモンスーン等の大規模場の現象と関係して海上で発達する雲による降水過程の観測研究が必要である。特に、熱帯域においては空間スケールが100kmから数1,000km規模、時間スケールも数日から数週間の組織化された雲群がしばしば観測され、これらは、十分な降水量をもたらすので、その内部構造を正確に把握する必要がある。

(ロ) 放射過程の観測研究

シミュレーションモデルにおいて問題となっている放射過程のパラメタリゼーションを陽に取り込むことを目標とした観測研究を実施する必要がある。特に、大気境界層や海洋表層における日変化の役割の評価がきわめて重要である。

(ハ) 雲および降水域の空間分布特性

海洋上の水・熱収支を正確に求めるためには、雲および降水域の空間分布の把握が必要である。さらに、この分布がどのような因子により決定されているのかを調べなくてはならない。この分布決定に寄与する1例として、西部赤道太平洋海域上に中緯

度から極端に乾燥した空気塊が侵入し、対流発生を抑制している現象も観測される等、熱帯と亜熱帯間の交換過程の研究も必要である。

②中緯度域に見られる季節・地域固有の降水現象

中緯度域、特に日本近海でこれまで陸地からの観測研究しか実施されてこなかった季節や地域に固有の降水を伴う現象を大気－海洋相互作用の観点で観測研究を行う必要がある。

(イ) 梅雨における大気－海洋相互作用

アジアモンスーンの中核をなす梅雨は、中国大陸において5月頃オンセットがあり、その後日本では6－7月に降水のピークを迎えるこの時期を代表する現象である。しかしながら海洋上での観測は極めて少なく、例えば東シナ海上空における降水システムの変質過程、梅雨前線への水蒸気供給過程など未着手の課題が残されており、船舶による観測研究が望まれる。

(ロ) 冬季日本海における豪雪過程

冬季、日本海上空に延びる筋状の降雪雲は雲頂高度が3－5 km と低いにもかかわらず、北陸地方を中心に豪雪をもたらす。このことは、海面から提供される水蒸気から雲が形成され降雪に至るまでの過程が効率よく行われている証拠であり、雲・降水システム発達の本質過程の研究において好材料を提供することにもなる。しかしながら荒天海域のため海洋上における観測例がなく理解が遅れており、実データの取得が必要である。

(ハ) 亜熱帯から温帯域への台風通過時の構造

台風は強い風雨により日本に災害をもたらすだけでなく、水の供給源という重要な一面も併せ持つ。そのメカニズムについては観測の困難さから数値モデルによる研究がほとんどである。年間数個の上陸した台風の観測例もあるが、台風発達の中核は対流圏下層における水蒸気供給であり、発達期の台風の理解のためには海洋上のデータが不可欠である。このため、台風に遭遇した場合、安全航行を十分確保しつつも可能な範囲内でドップラーレーダーやラジオゾンデ観測など、内部構造に関するデータが取得されることは台風の理解に大きく貢献する。

③海洋上の大気化学的観測研究

(イ) 海洋上大気のエアロゾルおよびオゾンの分布

エアロゾル粒子は太陽光を反射することにより（アルベドを増大）地球表面を冷却する効果を有する。エアロゾルの持つ、この放射影響が最近注目されており、中でもアジア・太平洋域は二酸化硫黄などの排出量の急激な増加のために、大気冷却が強くはたらく地域として考えられている。グローバルな地球温暖化傾向の中で、地域的な大気の冷却は地球全体のエネルギーバランスを崩し異常気象をもたらす原因となる。しかし、西部北太平洋をはじめとする海洋エアロゾルの研究が充分に行われていないために、エアロゾルと放射影響との関係は依然として大きなブラックボックスのままであり、この実態の解明が望まれる。

大気中のオゾンも放射・化学過程で重要な役割を果たしているが、特に大陸上とは

異なる化学過程が起こっていると考えられる海洋上の対流圏は、観測が少ないためその時空間分布はよく理解されておらず、海洋上での観測が必要である。各大陸で生成したオゾンが大洋を横断し、対岸の大陸の大気環境に影響を及ぼしていることが指摘され始めている。

(3) 海洋大循環の長期的変動に関する観測研究

「みらい」はこれまで北太平洋と南半球のいくつかの WHP ラインの再観測を行い高精度の水温、塩分、溶存物質のデータを提供し、国際的に大きな役割を果たしてきた。今後も、国際的な調整の下で WHP 再観測を継続し、海洋内部の大規模な長期変動の研究を進めると同時に、気候変動モデルの実証データとなる全球の観測データセット構築に貢献する必要がある。

①南極オーバーターンと太平洋海洋深層の変動

これまでの「みらい」による精密観測を過去の WHP 観測と比較することによって、北太平洋北部底層での昇温を検出しており、この昇温の原因として南極海周辺でのオーバーターンが弱まっているのではないかという仮説が提示されている。これは地球温暖化による海洋大循環の変化に関わっている可能性があり、今後「みらい」による WHP 再観測の主要な目的に据えて仮説検証型の観測研究に取り組む必要がある。その際には、南大洋海域での観測も考慮されるべきである。一方、WHP 再観測と組み合わせて太平洋の主要な深海水路に係留系を展開し、変動の時間スケール把握が必要である。

②北太平洋亜熱帯循環系とその熱輸送の変動

北太平洋中緯度の気候を大きく支配する 10 年スケール変動のメカニズムに関しては、亜熱帯循環系による熱輸送の変動がサイクルの一端を担っているという仮説が有力視されている。しかしながら、北太平洋の広大さ故に南北熱輸送が横断観測によって直接見積もられたケースは、大西洋に比べると僅かである。過去に南北熱輸送が見積もられている東西ラインの再観測を実施し比較する事により、10 年スケール変動の位相が異なる状態において南北熱輸送にどの程度の相違が生じているかを明らかにすることが必要である

(4) 北極海域の観測研究

①大西洋水の流動構造と変質過程

北極海は湾流の最終到達海域であると同時に、全地球を巡る深層循環の出発海域であるグリーンランド海に隣接している海域である。深層水生成の変動に大きく関わるグリーンランド海の海洋構造は、大西洋水（湾流起源の水塊）の北極海での滞留時間、変質過程に依存している。深層水生成の変動は深層循環の変動のみならず北大西洋の中層水、表層水の変動にも影響を与えることを通じて中緯度における大気場の変動に影響を及ぼすとされている。大西洋水は北極海の陸棚斜面に沿って流れており、米国アラスカ州バロー岬沖は、北極海の陸棚斜面が最も沿岸近くに位置すると同時に夏期に海面が露出する海域である。本研究では、陸棚斜面を横切る観測線において CTD 観測、長期間にわたる係留観測を行い大西洋水の北極海での滞留時間、変質を評価する必要がある。

②北極海成層構造の形成過程

陸棚域－陸棚斜面－海盆間の水塊交換は、北極海の成層構造を決定する重要なプロセスである。北極海の成層構造の如何により、海面冷却によって生じる対流深さが決まり、対流の深さは海氷生成過程に大きな影響を与える。北極海の成層構造を決定する現象は、陸棚斜面での渦運動に伴う水塊交換、海谷を通じての水塊交換であると考えられており、この解明が望まれる。

③河川水の供給と海氷、海洋構造の変動

チュクチ海への淡水供給は、主として北極海シベリア沿岸に流出する河川およびベーリング海アラスカ沿岸に注ぐユーコン川によりなされている。北極海における淡水量の変動は海氷変動に寄与しており、その関連の実態を解明する必要がある。

④沿岸ポリニア域における大気－海氷－海洋相互作用

チュクチ海沿岸は冬季においても海面が露出する沿岸ポリニアが出現する海域である。沿岸ポリニアが出現する場所は、大気－海洋間の相互作用が最も顕著に現れる場所であると同時に、海氷生成が最も盛んな場所であり、海氷－海洋相互作用が最も活発に行われる場所である。冬季における沿岸ポリニアの出現場所は海岸地形に関係しており、チュクチ海では、ベーリング海峡の北東部にあり、ここでの大気－海氷－海洋相互作用の解明が重要である。

⑤北極海における放射収支

大気、海氷、海洋の3相が存在する北極海の放射収支を立体的に把握し、北極海域における大気、海氷、海洋の変動の実態を把握するための情報を得る必要がある。特に夏期の北極海では、層状雲が頻繁に出現し、雲と海氷面との間での多重散乱が起こり、放射学的フィードバックが働くと考えられている。このような、大気－海氷－海洋結合システムでの放射収支を様々な大気、海氷、海洋の状態のもとで観測し、定量的に評価する。そのためには、広い領域で観測を行う必要があるため、ドップラーレーダーを搭載した「みらい」による観測が不可欠である。

1.2 物質循環の解明

1.2.1 目的

産業革命以来、大気中の二酸化炭素濃度が増加し地球温暖化が懸念されている。大気中二酸化炭素の今後の増加率を知り、地球気温の上昇および気温上昇に伴う海面上昇や生態系の変化を予測するためには、人類起源の二酸化炭素の行方を全球的な循環過程の中で把握する必要がある。そのためには地球表面積の70%を占め、大気中二酸化炭素の約60倍の炭素を蓄積している海洋における炭素循環過程を把握する事が不可欠である。現在、各国が様々な海域で物質循環に関わる研究を実施する一方、様々な生物地球化学モデルが構築されつつあり、海洋における各元素の分布や海洋の二酸化炭素吸収能力についてのシミュレーションが実施されている。また、鉄の散布による生態系の応答実験など物質循環と海洋生態系の関連する研究が行われてきた。

北西北太平洋の高緯度海域は海水温度が低く、荒天時が多いため、冬季において二酸化炭素を始めとする物質が大気－海洋間で活発に交換されていると考えられてきた。また、栄養塩の蓄積された深層水の湧昇により、植物プランクトンの基礎生産力が高く、ケイ藻

種が優占種となっている海域として知られる。この生物種組成は、表層で生物により固定された二酸化炭素を含め他の多くの物質とともに、中・深層へ効率よく輸送していると考えられる。さらに北西北太平洋にはオホーツク海等の大きな縁辺海が存在し、その高生物生産海域が物質循環に大きな影響を与えている

海洋における物質循環研究を進めるために、縁辺海を含めた北太平洋海域を中心とし、海洋の炭素循環をコントロールする生物地球化学的因子を含めた物質循環研究を実施し、全海洋のもつ地球環境の制御機能を明らかにすることが必要である。なお、従来荒天時の観測が困難であった冬季高緯度海域における日変動、季節変動及び経年変動を把握することは、高緯度海域の物質循環研究には不可欠であり、「みらい」の高度な性能を活かして実施すべき重要な課題のひとつである。

また、全球的な物質輸送は、地球温暖化の問題を考える上で必要な事であり、南極オーバーターンによる物質輸送量の変化を正確な測定データを元に把握する必要がある。そのため、海洋大循環の長期的変動に関する観測研究と合わせて WHP 再観測を行い、物質輸送量の変化、特に化学トレーサー（CFCs、C-14 等）と二酸化炭素に関わる化学成分の変化量を見積もり、全球的な物質輸送の変化を把握することが重要である。

1.2.2 研究課題

南極オーバーターンによる物質輸送量の変化を海盆スケールで把握することと縁辺海域を含む北西北太平洋域における粒子状物質の生成／分解過程、粒子状物質／溶存物質／ガス成分の輸送過程及びその時空間的変動・変化を把握するために下記項目の研究を実施する必要がある。なお、北西北太平洋域は深層水を通しての物質輸送の終着域であり、深層水の性質を決定する起源域である南極海等の研究も必要である。

(1) 大気－海洋間の物質交換過程

温室効果気体や地球温暖化を抑制する気体の大気－海洋間の交換過程を明らかにする。また、一部の流水による物質輸送を除き、大気経由で海洋表層に運ばれる陸起源物質の生物地球化学的物質循環過程への寄与を見積もる必要がある。

(2) 生物活動と物質循環の関係

栄養塩に富んだ深層水が湧昇する海域であるため、基礎生産力が高く、しかもケイ藻種が優占種であるので、表層で固定された二酸化炭素が他の物質と共に効率よく中・深層に運ばれると考えられる。特に、春にはブルームが起り、物質除去に及ぼす生物活動は最大になる。これらをふまえ、生物活動が海洋の物質循環除去過程に及ぼす影響を時空間的に評価する必要がある。

(3) 物質の水平・鉛直輸送過程

二酸化炭素が、黒潮続流域を横切り亜寒帯域表層から中緯度域中層へと海水循環とともに輸送される可能性の高いことも指摘されている。数十年スケールの気候変動の予測向上のためにオホーツク海、ベーリング海を含む海域で二酸化炭素等の温暖化関連物質の輸送過程の実態を解明する必要がある。また、WHP再観測実施し、南極オーバーターンによる物質輸送量の変化を海盆スケールで正確に捉えるための観測研究を行う必要がある。

粒子状物質による鉛直輸送に関しては、海洋表層での生物活動と物質循環過程を明らかにする。そのために、セジメントトラップ・各種センサー等の係留を行い、粒子の生成・

分解・移動過程について研究する必要がある。

(4) 深海－海底間での物質交換過程

海水－海底境界は、生物起源物質、陸起源物質の堆積・溶解過程の生ずる重要な場である。観測密度や実施例の少ないそれらの過程について研究する必要がある。

(5) 古環境復元

氷（河）期には地球規模での気温と共に大気中二酸化炭素濃度が低下していた事象は、海洋循環や海洋中での物質循環が現在と異なっていたことが考えられる。海底堆積物を使用して、海洋の表層環境や生物生産活動、海底の堆積環境の変遷について研究をすすめ、海洋の物質循環のメカニズムやその長期変動・変化に関する知見を得る必要がある。

1.3 海洋生態系の解明

1.3.1 目的

海洋生態系は、物質を変換して移動させること、環境変動に対応して変化し、時に環境条件をも変化させることで地球環境に影響を及ぼしている。さらには、生物資源を提供することで人間活動と密接に結びついている。海洋生態系研究は、地球環境変動とともに変貌する生態系とそれに連動した物質循環系の変化を捉えることで、人類が直面する環境問題・食料問題などに貢献できると考えられる。この課題に対して、「海を総合的に観測する」という優れた機能を備えている大型調査船「みらい」は、海洋表層－深海間に存在する生物の連鎖系と物質循環の研究調査に能力を発揮することが期待されている。

1.3.2 研究課題

海洋表層から堆積物層へとつながる海洋生態系は、物質循環系により相互に作用して変動を繰り返している。光合成産物に対する生物ポンプ作用、深層の海水流動による擾乱や湧昇、地殻内の活動に起因する熱水噴出や冷湧水の変動、また人間活動に伴う環境汚染など、様々な時間軸で変動する現象は深海にも及んでいる。また、将来の温暖化シナリオを想定した上での海洋による二酸化炭素の吸収量の見積もり量にはモデルによって数ギガトンの誤差がある。その要因は主として生物ポンプ作用に不明な点が多いことによる。そこで以下のような研究課題が挙げられる。

- (1) 表層から深海域における生物群集構造に関する研究
- (2) 物質変換（生産・分解・無機化）過程と食物連鎖系に関する研究
- (3) 環境条件により変動する生物ポンプ作用に関する研究

1.4 海洋底ダイナミクスの解明

1.4.1 目的

現在の海洋底が記録するジュラ－白亜紀以降の地球環境の変遷記録とその要因、例えば、海洋無酸素事件、始新世最終期におけるガスハイドレートの崩壊と地球温暖化、西岸強化流や南極還流などの発生、その流路の時代変遷、またチベット高原・ヒマラヤ山脈等の隆

起に伴うアジア・モンスーンの発達等の地学現象はその多くが、 Gondwana大陸の分裂とその後の大陸衝突、それに伴う海陸再配置に端を発している。また、現在海底で生ずる様々な地殻活動は、地球内部での熱や物質の移動や循環に多くの場合起因している。本研究では、これら汎地球的規模で生じる様々な地学現象を理解するため、地球中心核から地球表層に至るまでの固体地球システム全体について、様々な手段や機器を駆使し、熱や物質の移動や循環に関する観測データの蓄積を図ることを目的とする。また、固体地球内部からの熱や物質の移動、さらにその循環は、その一方で海洋や大気へも伝搬し、流体地球全体にも大きな影響を与えている。この影響を評価しそのメカニズムを理解するためには、現在の状態だけでなく、過去の固体地球や地球環境に関するデータやその変遷様式を知る必要がある。そのため、海洋底堆積物に記録されたデータを解析することが極めて重要である。なお、海洋底ダイナミクスの解明では、原則として、固体地球を含む地球システムのミレニアムスケール以上の長期間変遷について研究を行う。

1.4.2 研究課題

(1) 海洋底ダイナミクスの解明についての観測研究

海洋底のダイナミクスを理解するためには、海洋プレートが発生する場、側方に移動し進化する場と、海洋プレートが沈み込む収斂の場の三つの異なる場において、体系的かつ長期にわたる観測研究が不可欠である。そのためには、従来の重力や地磁気等の観測研究以外に長期連続観測を可能とする観測機器による長期現場観測が必要となる。特に、地球深部より熱や物質を供給する場所として中央海嶺やプルームを起源する海台等では、その深部構造の理解や活動の変遷、さらにそのメカニズムを明らかにしていくことが急務である。また、地球内部変動モデル構築に向けた観測データをできるだけ長期間に渡って体系的に取得する必要がある。このことを勘案して、まず、海洋底やさらにその下のマンツルの内部構造と熱・物質循環の解明に取り組み、段階的に地球内部のダイナミクスを明らかにしていくことが必要である。当面の課題としては、海洋プレートの生成・進化・消滅という観点から、中央海嶺系、ホットスポット帯、プレート沈み込み帯における地殻/上部マンツルの詳細構造、地殻の変形と応力分布、熱・物質の放出量の把握、構成物質及び物性の解明が重要である。

しかしながら、海況条件の制約等によって、観測が進まずに残された海域の存在は、これら諸問題の解決と定量的な評価を困難にしている。「みらい」の荒天下での観測に強い特徴を活かすべきである。「みらい」を南半球中緯度や南極域等での調査観測を展開する重要なプラットフォームとして活用し、観測によって得られるデータに基づいて全地球系の時空間現象を定量的に評価することは重要な研究課題の一つである。

現在も周囲の殆どを大洋中央海嶺に囲まれて拡大を続けている「南極プレート」を含む南極海域は、上記諸現象の解明に不可欠な調査対象であるにも拘らず、海況条件の制約等によって系統的な観測が大幅に遅れている。本研究の実施に当たっては、この様な南極域の形成・発達歴史、及びその原動力を明らかにすることも推奨される。

① 海底地形・重力・地磁気・音波探査による地質構造の解明

- ②海底地震計による地震活動及び深部構造の解明
- ③海底火山・熱水の活動及びその変動の解明
- ④海底冷湧水活動およびその変動の解明
- ⑤海底堆積物による古地球磁場強度と方位変動観測及び古環境変動の解明
- ⑥極域における地球ダイナミクス変動解析に有用なプロキシの開発
- ⑦海底長期観測による地球深部ダイナミクスの解明

2. その他の推進すべき事項

2.1 連続観測の実施

海上気象、表層海況、ADCP利用による流向・流速観測など基本的なデータセットに加え、二酸化炭素測定や海洋大気組成測定などの乗船研究者に負担の無い無人化・自動化された装置による連続データ取得は、1) 荒天海域等によるデータ空白域を埋め、2) 人工衛星データの校正・検証への利用が可能であり、3) 長期に渡り取得することにより気候学的な研究に資することができる、など貢献が大きく、今後も積極的に推進していくことが望ましい。