

深海調査研究5ヵ年研究指針

深海調査研究推進委員会

深海調査研究計画委員会

目次

はじめに

I. 地圏

I-1. プレート収斂域

I-1-1. 沈み込み帯と物質循環

I-1-2. 震源域の理解と地震テクトニクス

I-1-3. 島弧地殻の進化とサブダクション・ファクトリー

I-1-4. 沈み込んだスラブの滞留・崩落過程

I-2. プレート生成域およびプルーム上昇域等

I-2-1. プレート生成過程の理解

I-2-2. プルーム上昇過程の理解

I-3. 地球システムにおける多層圏相互作用

I-3-1. 堆積物-水境界動態の解明

I-3-2. 地磁気変動と気候変動・地球軌道要素変動の相関

II. 生物圏

II-1. 進化と生物多様性に関する研究

II-1-1. 細胞共進化に関する研究

II-1-2. 地球との共進化に関する研究

II-1-3. 深海生物の分布と種分化に関する研究

II-1-4. 環境適応に関する研究

II-2. 海洋生態系における深海の役割に関する研究

II-2-1. 海洋表層- 深海の連鎖に関する研究

II-2-2. 地殻内微生物生態系および深海- 地殻内間の連鎖系に関する研究

II-3. 深海生物圏の利用と保全に関する研究

II-3-1. 水産資源生物に関する研究

II-3-2. 深海環境の利用と環境汚染に関する研究

III. 大気・海洋圏

III-1. アジア・モンスーンと黒潮の変動史

III-2. 海底熱水域における熱・物質循環の解明

III-3. 冷湧水域における物質循環の解明

IV. 技術開発・技術研究系

IV-1. 深海探査技術の機能向上

IV-2. 物理探査技術の機能向上

IV-3. 4次元観測技術の研究開発

IV-4. 新たな深海探査技術の開発と検証

はじめに

深海調査研究は、有人潜水調査船「しんかい 2000」が調査潜航を開始した昭和 58 年から行われてきた。当初は、海洋科学技術センターの他、研究分野毎に各省庁等の利用枠を設けて潜航が行われてきたが、その後、大学等に所属する研究者による研究ニーズが増加してきた。これを受けて、国内の数多くの研究者の支持を得て、日本の海洋科学、とりわけ日本における海洋生物学や海洋固体地球科学を支える研究推進体制として、深海調査研究の公募化プログラムを新たに平成13年に開始した。この公募化プログラムでは、これまでの経緯を踏まえ開かれた公募スタイルを目指す目的で、平成 17 年までの 5 カ年の基本計画を定めた「深海調査研究中期計画」（今回「深海調査研究5 カ年研究指針」に名称変更した。以下「5 カ年研究指針」という。）に則り、今日まで大きな研究成果を挙げてきた。さらに、このプログラムを発展させるべく平成 15 年には「5 カ年研究指針」を補う形で、1) Ridge and Biosphere、2) 閉鎖的領域、3) Margins and Hot Spot をキーワードにする 3 つの研究課題と、これを実施すべく「プロジェクト型研究の推進」、「長期航路隔地航海計画の推奨」、「複数年次研究計画の促進」等新たな実施制度を加えることが深海調査研究計画委員会によって提案され、平成 16 年度調査計画案ではその一部が実行されようとしている。

こうしたなか、平成 16 年 4 月の深海調査研究計画委員会において、平成 13 年（2001 年）から平成 17 年（2005 年）までの 5 カ年の「5 カ年研究指針」を見直し、今後 5 年間のさらなる発展のため、深海調査研究の指針として新たな「5 カ年研究指針」を作成することとなった。その背景には、この数年の深海調査研究を取り巻く研究推進の大きな環境変化が挙げられる。すなわち、平成 16 年度より深海調査研究の推進母体である「海洋科学技術センター」は新たに独立行政法人「海洋研究開発機構」へと変わり、国から 5 年間の「中期目標」をが提示され、その執行のために「中期計画」が新たに設定された。このため、深海調査研究においてもその実行が求められるようになっている。

他方、本プログラムを支援する研究プラットフォームにおいても、平成 16 年 3 月をもって海洋科学技術センターの所有する「しんかい 2000」は廃船となる一方、リチウムイオン二次電池の採用等で「しんかい 6500」の性能がこれまで以上に大きく向上するといった新たな状況も生まれつつある。また、海溝型地震を対象とした地震調査観測研究の推進が急務となっている。さらに、統合国際深海掘削計画（IODP）をはじめとする国際研究計画も進展し、国際的な科学計画の推進に際して日本の役割はこれまで以上に大きなものとなった。加えて、平成 16 年度より、大陸棚調査プロジェクトが国家的事業として飛躍的に強化され、平成 21 年を期限とする国連への大陸棚限界画定資料の提出に向け、日本南方海域での調査が開始された。他方、海洋科学における萌芽的な研究課題を発掘し、進展させることが重要であるとの認識が国内外で高まっている。このような一連の研究環境の変化に対応し、よりよい深海調査研究を推進するため、深海調査研究の指針とも言うべき「5 カ年研究指針」の改訂が必要であると認識された。

今回、新たに提案する「5 カ年研究指針」では、今後 5 年間に成し遂げられることが期待される研究目標及び課題が地圏、生物圏、大気海洋圏及び技術開発・技術研究系に分け掲げている。この目標は、IODP、IGBP、InterMARGINS、InterRIDGE、PAGES、地震調査研究等、現在進行中の国内外の科学研究プランとも連動しており、現在の海洋科学の重要な課題でもある「学際化・統合化」を目

指している。とりわけ、日本が米国と並んでイニシアティブをとって推進する統合的国際深海掘削計画（IODP）に資する、種々の事前研究等に本深海調査計画がより積極的に貢献する必要がある。

また、時間的に長い発展・変遷を経て成り立つ自然現象を理解するためには、以前のように限られた場所や時期での観測によるスナップ・ショット的イメージに基づく理解の段階から、より広域での同期性や長時間の連続観測といったより広い空間や長い時間で生じる「ダイナミック」な現象把握の段階へと移ることが必要である。国際的にもORIONやESONET計画などの長期観測計画が進められている。従って、ここで掲げた研究目標や課題の遂行のためには、手法としての「長期観測」の必要性は論を待たない。なかでも、精度の高い観測データをリアルタイムで得ることのできるような技術革新や国内外のプロジェクトと連携した科学的な展望がなにより必要である。ただし、ここに挙げられていない課題テーマや境界領域に属するテーマについても評価対象となり得る。

I. 地圏

様々な観測技術革新や知識の蓄積に伴い、現在の地圏研究は、これまでの「見る・取る」に加えて新たな段階に進もうとしている。すなわち、これまでの観測研究で行われてきたスナップショット的な「場」の把握から、長期連続観測に代表されるような地球内部の「動」を捉え理解しようとする動的観測への移行である。勿論、この「動」は、巨大地震のような瞬時に大きく変化する現象だけでなく、プレートの沈み込みに伴うスローイベントに代表されるようなゆっくりとした動き、さらに時間の長いスケールで生じるマントル中のブルーム運動、地球自転周期や地球磁場の長期変動等多様性を秘めた異なる時間及び空間スケールの現象から構成されている。いずれも、生きている地球というシステムの進化・発展を理解する上で重要なものであり、今後深海調査研究では積極的に推進を図る必要がある。

地圏については、I-1. プレート収斂域、I-2. プレート生成域およびブルーム上昇域等、さらにI-3. 地球システムにおける多層圏相互作用の大きく3つの領域に区分されている。

I-1. プレート収斂域

海洋プレートが沈み込むプレート収斂域では、浅い部分から深部へ向かって、付加体の形成や海溝型巨大地震発生と伝搬、マグマの形成を含む地殻物質の形成、さらには沈み込むスラブによって生じるマントル対流と様々な現象が生じている。また、プレートの沈み込みによって、水や堆積物をはじめとする表層物質が地下深部へと運び込まれる場所であり、さらに、冷たいスラブが沈み込むことでマントル層を含む地球深部の熱循環にも大きな影響を与えている。プレート収斂域は地球システムの理解にとって重要な位置を占めており、以下に示す研究課題に基づく調査研究を行う必要がある。

I-1-1. 沈み込み帯と物質循環

沈み込み帯は、海溝や前弧周辺におけるプレートの収斂に伴うダイナミクスと物質循環を理解するまたとない研究フィールドである。とりわけ、付加体前縁から火山フロントにかけての地域は重

要で、これまでも日本海溝や南海トラフをはじめとして琉球弧や伊豆・マリアナ弧、ジャワ弧等の収斂域で調査が実施され、前弧付加体のテクトニクスや歪の分配様式、さらには、ガスハイドレートを含む沈み込みに伴う物質や熱の循環等、多種多様な研究が行われてきた。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下の課題が挙げられる。

- (1) 沈み込む物質の量や化学的性質と物性
- (2) ガスハイドレートの産状と成因
- (3) 前弧域の蛇紋岩と地下深部流体の特性と流体移動
- (4) 沈み込むプレートに伴う揮発成分の挙動と役割
- (5) 斜め沈み込み前弧での歪分配様式
- (6) 島弧周辺域での斜面崩壊と海底堆積物の力学過程の理解 など

I-1-2. 震源域の理解と地震テクトニクス

プレート収斂域は、海溝型地震や津波、火山噴火をはじめとする災害を多発する海域である。近年の高密度かつ広域での地震及び地殻変動観測によって、沈み込み帯の前縁では、低周波地震やスローイベント、低周波微動のような沈み込み帯に特徴的な現象が明らかになった。同時に、何回かの地震サイクルを経てプレート境界における固着域（アスペリティ）への理解が進みつつある。特に、南海トラフや日本海溝に沿う沈み込み帯でみられる活断層とプレート境界での地震・地殻変動活動様式の多様性と、海山の沈み込みをはじめとする沈み込むスラブの時空的な不均質性は、地震の発生過程やそのサイクルを考える上で重要な意味をもつだけでなく、不均質性とプレート境界域での熱・物質循環との関連性を示唆する。震源域の理解と地震テクトニクスの理解のために以下のような課題が挙げられる。

- (1) アスペリティの性質と断層面等の物性の理解
- (2) 沈み込み帯に発生する低周波地震やスロースリップイベントの成因と地下深部構造の把握
- (3) 地震発生断層の上限ならびに下限域の特性
- (4) 地震断層のヒーリングとシーリング過程
- (5) 破壊伝搬過程と水の分布と挙動
- (6) 海底活断層の多様性とその活動履歴の理解 など

I-1-3. 島弧地殻の進化とサブダクション・ファクトリー

沈み込むスラブとそれに伴う島弧地殻の成長を明らかにするために、地殻構造、構成岩石の研究とともに、テクトニクスや構造発達史の異なる島弧間における比較検討が必要である。また、背弧海盆系でのリフティングおよび拡大過程の理解は、ウェッジマンタルにおけるマンタルフローの理解に重要な知見を与えるものである。そのためには、拡大様式等の異なる背弧海盆を総合的に調査し、背弧海盆リソスフェアの構造・形成過程、火成活動・熱水噴出現象についての総合的理解を進める必要がある。そのための重要課題を以下に示す。

- (1) 島弧地殻の形成と大陸地殻・マンタルの進化

- (2) 島弧/海台衝突を含めた海洋性島弧の成長プロセス
- (3) 島弧深部におけるスラブの挙動と下部地殻剥離プロセス
- (4) 背弧海盆拡大の初期条件と島弧下部地殻の変形レオロジー
- (5) 拡大速度の異なる背弧海盆リソスフェアの構造・形成過程と熱・物質循環過程
- (6) 同一の背弧海盆拡大系内における複数の拡大セグメントの形成過程 など

I-1-4. 沈み込んだスラブの滞留・崩落過程

これまでの陸域観測データのトモグラフィ像からは、沈み込んだスラブの多くがマントル遷移層で一度滞留し、その後下部マントル底部へと崩落しているが、その詳細には地域性があるように見える。しかし、多くがデータの少ない海域での現象であるため、どのような力学的・物質科学的プロセスを経て滞留・崩落が起き、何が地域性を作り出しているのかは未だ明らかにされていない。この過程がマントル対流のリズムを作り出している可能性も高い。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとしては、以下の課題が挙げられる。

- (1) マントル遷移層での滞留スラブ、下部マントルの崩落スラブの構造解明
- (2) スラブと周囲のマントル間の熱的・化学的相互作用、特に揮発成分の挙動解明
- (3) スラブの滞留・崩落過程の地域性の成因解明
- (4) スラブの滞留・崩落過程がマントル対流全体に及ぼす影響の理解 など

I-2. プレート生成域およびブルーム上昇域等

中央海嶺やホットスポットは、地球内部から熱や物質が海底へと上昇する場所であり、地球深部を覗く窓である。大洋中央海嶺のリソスフェアの構造・組成の詳細を知ることや、マグマや熱水による熱と物質の様々な上昇過程や地殻内部等での交代・同化作用を理解することは、プレート生成過程を理解するために不可欠である。このためには海嶺軸付近での調査研究に加えて、広く軸から離れた場所で起こる様々な現象を併せて把握することが重要である。一方、ホットスポット火山は、その成因が地球深部にあるため、マントルやその下の地球深部の熱・物質循環を知る上で鍵となる場所である。これらの場所での熱・物質収支の定量化は、地球規模での熱・物質循環を理解する上で今後重点的に進めるべき課題の一つである。

I-2-1. プレート生成過程の理解

海洋プレート生成域である中央海嶺での熱・物質収支の定量化は、地球システムの循環過程を理解する上で欠くことのできない重要な問題である。この循環過程を正しく理解するためには、中央海嶺の地殻構造やマグマ・熱水活動の動態と併せて、海洋リソスフェアの構造・形成過程を知ることが重要である。このような目的のため、様式の異なる海嶺の特徴を比較検討するとともに、同一の海嶺系においては、拡大するセグメント毎にマグマプロセスやリソスフェアの構造の変化など拡大プロセスの詳細を明らかにする必要がある。

また、熱水現象と地下生物圏との相互作用について理解をより一層進めることが重要である。今

後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下の課題が挙げられる。

- (1) 拡大速度の異なる海嶺系での海洋リソスフェアの構造・形成過程と熱・物質循環過程
- (2) 超低速拡大海嶺下における未分化マントルの実態の解明
- (3) 低角デタッチメント断層による海洋底の拡大過程
- (4) 同一海嶺系における複数の拡大セグメントの形成過程
- (5) 熱水・マグマと地下生物圏との相互作用 など

I-2-2. プルーム上昇過程の理解

ホットスポット火山はその起源が地球深部にあるため、マントルやその下の特性についての情報を得る有力な場所である。また、巨大海台の形成を伴う大規模火成作用は、地球表層環境に大きな影響を与える。巨大海台やホットスポット海山の形成過程を理解するために、物質科学的・地球物理学的な調査等を実施し、これらの地史を詳しく復元するとともに、マントルプルーム等の実態に迫ることが重要である。今後重点的に取り組むべき課題として以下の項目を挙げる。

- (1) 海台形成過程モデルの構築
- (2) 海台・ホットスポット海山の詳細な形成発達史と地球表層変動のインパクト
- (3) マントルの地震学・電磁気学的構造推定によるマントルプルームの温度・組成異常の定量的評価とプルーム起源の解明
- (4) マントルプルームの解析に基づく地球深部構造、物質循環の解明 など

I-3. 地球システムにおける多層圏相互作用

地球システムを理解する上で、地殻やマントル、海洋といった地球を取りまくそれぞれの圏のもつ挙動の理解の他に、圏と圏、サブシステムとサブシステム間の相互作用の理解も重要である。相互作用は時に隣接するもの同士での交換や、離れていても同期し作用するものであったりするため、多層圏の相互作用を理解するためには、多様で多彩な知識と観測が必要となり、その機能や意義についての統合的理解が重要となる。この「5 カ年研究指針」では、このような統合的な地球システム構築に関連する調査検討を推奨する目的もあって、これまでの「5 カ年研究指針」でそれぞれに細分されていたものを、多層圏相互作用についての項目を新たに設け、ここにまとめた。

I-3-1. 堆積物- 水境界動態の解明

海底表層へ運ばれる物質の流れは、大気から海洋を経て海底へと達し、さらに、堆積層の中に及んでいる。しかし、この流れは必ずしも一連ではない。とりわけ、堆積物（地圏）と水（水圏）の物質境界である堆積物表面は、粒子が集積するが、例えば含まれる有機物は容易に分解し、再度海水へとリサイクルされる。また、微生物による分解・生成、大型底棲生物による機械的な擾乱も起こる。さらに、堆積物の固結後でも、続成によって含まれる水（間隙水）や物質の状態は変化し、含まれる物質によっては移動・分解し、あるいは合成される。このように比較的複雑な海底表層部

の物質循環を理解するため、海底面を覆う堆積層と海水をめぐる物質の循環と挙動の理解は不可欠である。ことに、深海は地球表層部の60～65%の面積を占めており、その広さから深海底堆積物を理解することは地球システムにおける物質循環を考える際に不可欠な要素である。とりわけ、生物活動を含めた表層付近での堆積過程、堆積層の物性変化、化学的な特性変化、微生物活性の理解や深層循環を含む海洋環境との相関、白亜紀の温暖地球、氷期・間氷期の繰り返し等を含む環境変遷の歴史の影響や海底下での応力応答などについて、学際的アプローチを通じた物質循環過程の詳細についての理解が望まれる。このため、これまで以上に広範で多彩なアプローチによって、以下のような研究課題を遂行することが期待される。

- (1) 堆積物- 水境界の高精度 *in situ* 物性・化学環境の解明
- (2) 堆積物- 水境界における生物活性と物質循環の理解
- (3) 微生物代謝プロセスを含めた堆積物- 水境界における初期続成の理解
- (4) 生物コロニーを含めた深海底下における水理地質過程の理解 など

I-3-2. 地磁気変動と気候変動・地球軌道要素変動の相関

従来、地球の磁場は、地球中心核内の流体運動（地磁気ダイナモ）によって生成・維持され、地磁気ダイナモは内核の成長に伴い解放される重力・熱エネルギーにより駆動される外界に対して「閉じた」システムとされていた。近年、海底コア試料やODP等の掘削試料の解析から、古地磁気強度や地磁気の方位における長周期永年変動中に、10万年周期をはじめとするミランコビッチ周期との同期が指摘されるようになった。特に、双極子磁場成分の大きさは長周期永年変動を示すが、停滞性非双極子磁場成分は変動しないため、その解釈として、地球中心核で生じる地磁気変動と表層の極域を舞台に起こる氷河量変動に伴う地球軌道要素変動との関連に注目が集まっている。このような地磁気変動と地球環境変動との関連を知るため、以下のような研究課題に取り組む必要がある。

- (1) 地球規模での時間的空間的地磁気変動に関する解像度の向上
- (2) 停滞性非双極子磁場が地球磁場方位および地球磁場強度に与える影響の評価
- (3) 地球磁場変動の高精度な復元 など

II. 生物圏

深海という未知の世界の探査を目標に進んだこれまでの生物研究により、多様で独自性に富んだ生物群や化学合成生態系の存在、地球と生物の共進化の重要性などが明らかになった。今後の深海の生物圏研究には、生物科学と地球科学への貢献を包括した新たな段階へと進むことが望まれている。海洋の表層、中深層、深海底、そして堆積物層の深部へと広がる生物圏の構造と多様性は、地球史上様々な時代の物質循環と生物進化の結果として生み出された。こうした環境における生物進化のメカニズムと生物多様性が生み出される過程を研究することは進化研究に新たな展開をもたらすと考えられる。

人間活動による地球規模での環境変動に対する海洋生物の応答や、生態系と物質循環の変化を予測することが重要である。さらに、今後人類が直面する食料問題などに対し、深海生物資源の持続的な利用や、多様な生理機能を有する深海生物の遺伝子資源の研究がますます必要とされるだろう。

II-1. 進化と生物多様性に関する研究

II-1-1. 細胞共進化に関する研究

生物学の先端的な研究テーマの一つに、生物進化の原動力としての共生システムの解明がある。とりわけ真核生物-微生物間の細胞内共生や細胞外共生が注目されている。熱水・冷湧水環境において化学合成細菌と共生する無脊椎動物群や深海生物と発光細菌の共生が典型的な例である。細菌との密接な共生関係は、生物進化の歴史において真核生物が葉緑体やミトコンドリアを獲得した現象の中間段階と捉えることができる。共生は、自然選択と遺伝子の中立進化という生物進化の原理に並ぶ進化機構であり、深海調査研究においても推進すべき課題である。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下のような研究課題が挙げられる。

- (1) 宿主-共生者間の遺伝子の移動に関する研究
- (2) 共生システムの成立機構に関する研究
- (3) 共生による機能獲得に関する研究
- (4) 真核細胞の起源に関する研究 など

II-1-2. 地球との共進化に関する研究

現在の地球環境と生命圏は、地球と生命の共進化を通じて形成されてきた。熱水噴出孔で原始生命が誕生し、海洋無酸素事変などを経由し現在の海洋生態系が成り立っていると考えられている。こうしたプロセスを理解するためには、現存する類似環境を対象に研究することが有効である。熱水噴出孔は原始地球環境の、また冷湧水域などの還元環境は海洋無酸素事変のモデルとして注目されている。熱水噴出孔からは、現在までに知られている最古の系統に属する好熱細菌が発見され、その下の地殻内微生物生態系には、さらに古い系統の微生物が太古より存続していると予想されている。生命誕生から生態系形成への過程を解明するために、こうした生物環境と微生物群を研究することが重要である。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下のような研究課題が挙げられる。

- (1) 熱水噴出孔における化学進化に関する研究
- (2) 還元環境における生態系構造解析による生態系変動史の解明
- (3) 熱水噴出孔や地殻内微生物生態系に関する研究 など

II-1-3. 深海生物の分布と種分化に関する研究

深海生物の種多様性と生物分布は、環境変動史、海底地形、一次生産量、海流などの環境条件の多様性、生物の環境改変作用、生物間相互作用など様々な要因によって形成されたと考えられるが、個々の海域の深海生物群集の形成にどの要因が強く働いているかは必ずしも明確でない。一方、化学合成生態系ではプレート境界域に沿って近縁な系統群が広範囲に分布している。化学合成生態系構成種の種分化や現在の分布プロセスを解明するためには、系統解析、幼生生態、深層流の変動、プルームの規模と拡散、過去のプレート境界域、大型ほ乳類死骸周辺などに形成される環境と群集の遷移などのデータを総合的に解析することが重要である。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下のような研究課題が挙げられる。

- (1) 深海生物群集を規定する環境要因に関する研究
- (2) 化学合成生態系における系統進化と海洋プレート運動史に関する研究
- (3) 深海生物の生活史と深層流による分散に関する研究 など

II-1-4. 環境適応に関する研究

深海生物は、高い水圧や低温などの物理条件に適応している。また熱水や地殻内微生物生態系などの環境では、重金属耐性や高温耐性などの性質が必要である。これらは生物進化の結果として獲得した生理機能であり、その獲得メカニズムを知ることで、生物の環境適応と進化の機構の解明に貢献することができる。こうした研究には、生物個体の生理状態を損ねることなく捕獲して飼育する技術や深海環境（水温・圧力など）を再現した実験系の機能をさらに向上させる必要がある。加えて、深海という極限環境に適応している生物群は、産業応用に直結する機能や有用遺伝子を有していることが予想され、飼育研究に加えて、ゲノム・遺伝子解析、細胞培養技術の開発、生理活性物質の研究などの応用的な研究が望まれる。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下のような研究課題が挙げられる。

- (1) 極限環境に適応した生理機能に関する研究
- (2) 深海環境再現実験系に関する研究
- (3) 深海生物の現場培養と現場測定
- (4) 細胞及び微生物の培養と底生生物の長期飼育技術の開発に関する研究 など

II-2. 海洋生態系における深海の役割に関する研究

II-2-1. 海洋表層- 深海の連鎖に関する研究

深海は、海洋表層から堆積物層へとつながる連鎖系の要の位置にあり、光合成産物の生物ポンプ作用、深層の海水流動による擾乱や湧昇、地殻活動によ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により、様々な時間スケールで変動している。生物ポンプ作用に不明な点が多いため、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。生物ポンプ作用を理解するためには、そこに生息する生物の食物連鎖構造、物質輸送過程の解明が重要である。それには、深海を地球生態系に内包される環境と捉え、代表的なモデル海域を設定し、様々な時間スケールで徹底的に観測することが望まれる。バイオマスや生産量を評価する定量的な採集装置などの開発も必要である。今後重点的に調査研究を展開すべきテーマとして、以下のような研究課題が挙げられる。

- (1) 中・深層域における生物群集の構造、物質循環に関する研究
- (2) 環境変動に対する生物ポンプ作用の変化に関する研究
- (3) 多様な深海底環境における生物群集の構造と食物連鎖系に関する研究 など

II-2-2. 地殻内微生物生態系および深海-地殻内間の連鎖系に関する研究

熱水・冷湧水域は、地殻内微生物生態系への窓として、重要な研究対象である。特にメタン湧出やメタンハイドレートにみられる海域の堆積物中では、嫌氣的メタン酸化や嫌氣的アンモニア酸化プロセスが物質循環に大きな影響を及ぼしていることが想定される。その本質である微生物活動については研究の緒についたばかりであるが、純粋培養できない微生物複合体の相互作用の重要性が明らかになりつつある。このような微生物活動の解明のために、世界各地での特徴的な活動域において、網羅的に調査を開始することが肝要である。また、石油、天然ガス、各種鉱物などの生成過程に微生物が重要な役割を果たしていることから、将来のエネルギーや資源を確保するために、その研究が重要視される。さらに、地球内部から海洋への連鎖系を理解するために深海-地殻内間の連鎖系の研究に着手する必要がある。

- (1) 地殻内、熱水域、冷湧水域微生物生態系の構成種の生理機能に関する研究
- (2) 地殻内、熱水域、冷湧水域から供給されるエネルギー・物質と微生物生態系の反応に関する研究
- (3) 熱水域、冷湧水域における微生物と動物間の連鎖系に関する研究 など

II-3. 深海生物圏の利用と保全に関する研究

II-3-1. 水産資源生物に関する研究

深海性水産資源生物（ズワイガニやタカアシガニなど）や、深海域を移動しながら成長する水産資源生物（ウナギやスルメイカなど）の多くは、生態（生活史など）が把握されていないため、完全養殖が成功しておらず、資源量変動のメカニズムも未解決となっている。深海には利用されていない多くの水産資源が眠っている一方、底引きトロール漁業による対象生物以外の混獲、ゴーストフィッシング（流出漁具による死亡）や海底の攪乱による生態系への影響が問題となっている。これらの問題に対処するため、以下のような研究を進める必要がある。

- (1) 深海生物の生態と水産資源としての利用に関する研究
- (2) 漁業が深海生態系に及ぼす影響に関する研究 など

II-3-2. 深海環境の利用と環境汚染に関する研究

地球温暖化問題に対処するために温室効果ガスである二酸化炭素を深海に貯留する方策が検討されているが、深海生態系への影響評価が十分なされていないため、大きな環境破壊がもたらされる危険が危惧されている。また、沿岸域では内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）等による生物への汚染が深刻化するなかで深海への汚染も懸念されてきている。これらの問題に対処するための研究にも早急に着手する必要がある。

- (1) 二酸化炭素投棄が深海生物に与える影響に関する実験的研究
- (2) 深海環境への汚染物質の移動過程と汚染の現状に関する研究 など

Ⅲ. 大気・海洋圏

大気・海洋圏のグローバルな環境変動のメカニズムを考える際に、海洋という熱と物質の巨大なリザーバーの働きを抜きにして語ることはできない。このため、近未来の地球環境変動、特に、地球規模で生じている気候変動に対して大気・海洋圏の監視・観測調査が国内外の各研究機関において行われている。海洋研究開発機構においても、主として海洋地球研究船「みらい」がこの目的達成に向かって観測研究を行っている。一方、アジアモンスーンの変動や黒潮の強弱等地球を取り巻く環境変動の歴史は、地球史を通し海底に堆積した様々な物質中に記録されている。こうした記録を採取し解読するためには、有人潜水調査船「しんかい6500」を含めた機構のもつ多彩な研究手段が必要であり、問題解決を図る上で重要である。また、海底熱水系は熱水循環という物質を介した方法で地球内部から地球表層へと熱と物質を輸送しており、地球システム全体へも少なからず影響をもたらしてきた。また、同時に地球史を通じて地球表層の環境条件を反映していくつかの重要なタイプの重金属資源を生成する物質と場を提供してきた。現在の海底熱水系を理解することは地球史における地球表層の環境変遷を理解する上でも重要である。

従って、本深海調査研究においても大気海洋系に関する以下に示す三つの課題を設定し、これに関連する調査研究を重点的に押し進めたい。

Ⅲ-1. アジア・モンスーンと黒潮の変動史

モンスーンは、地球表層における水や熱循環に大きな影響を及ぼしている。特にインドから東南アジアを経て日本に至る湿潤多雨な帯であるアジア・モンスーンは最も顕著な例であり、極東アジアを中心に世界の人口の過半数がその影響を受けている。アジア・モンスーンの影響は大きくこの現象がいつどのように始まりどの程度発展したか、また、ヒマラヤ-チベット山塊の高さに伴うジェット気流の流路の変動や、インドネシア等での大規模な海陸分布、西赤道太平洋温暖水塊 (Western Pacific Warm Pool) の発達程度をはじめとする水・熱源海域の存在が、この地域の気候変動を知る上で重要な因子と考えられている。したがって、現在のアジア・モンスーン変動史の把握のみならず、より長期的な時間スケールにおける各因子の変化とともにモンスーンの発達の程度を時代的に復元することは、単に地球史の理解だけでなく、気候シミュレーションモデルの検証という点で極めて重要な役割を果たす。

Ⅲ-2. 海底熱水域における熱・物質循環の解明

中央海嶺や背弧海盆において海底熱水系より放出される熱・物質は、地球システム全体にとって大きな影響をもたらしてきた可能性がある。熱水プルームは、マグマ活動に伴って短期間に膨大な熱や物質が海洋に放出される現象である。これは、海底熱水系から放出される熱量・物質量を示す指標であるとともに、海水の微量元素組成をコントロールしている。したがって、熱水プルームの多様性と挙動を詳細に調べる必要がある。一方、海底下においては、岩石中に含まれる重金属元素や流体の一部は熱水にとけ込み、拡散または再結晶し堆積する。熱水活動を通じて、大量の物質が海洋へ供給され、また海洋から除去されている。熱水活動による地球表層での元素の分離・濃集過

程は、固体地球の進化をコントロールするばかりでなく、地球形成時の表層環境のモダンアナログと考えられる。さらに、こうした環境に生息する微生物の分布と生態系、重金属沈殿物生成過程への関与などの調査研究は重要な研究課題である。加えて、変動の激しい熱水—海水インタフェースにおける環境条件の調査研究のため、海底ステーション等を用いた海底長期観測等に基づく各種変動パラメータの取得と統合的時系列変動の解明に向けての展開も必要である。

III-3. 冷湧水域における物質循環の解明

海溝斜面や前弧海盆では、付加体形成・発達に伴う断層系に沿って冷湧水域が存在する。冷湧水活動に伴って海洋環境に供給される物質の収支・挙動を正確に捉えることが必要である。湧水域に多く存在するメタンは、二酸化炭素に次ぐ地球温暖化気体として、海洋内におけるその挙動解明が今後ますます重要視されよう。このような観点から、例えば、海底から深層海水へ湧出するメタンを濾しとるフィルターとして冷湧水域海底面のバクテリアマットはどんな役割を果たしているのか、ガスハイドレート由来のメタンガスは現在の海洋水中のメタン循環のどのくらいの割合を占め、今後どう変化していくか、などについて把握する必要がある。このために有人潜水調査船や無人探査機による観察・試料採取に加えて、海底設置型機器を展開して物質や熱の変動の時間変動をとらえることが重要である。

IV. 技術開発・技術研究系

深海調査における技術開発・技術研究は、研究者が直接深海の現場で調査観測を行うことを可能とする有人潜水調査船技術を確立させた。さらに物理探査技術、掘削技術、ROV や AUV などによる無人探査技術などについても研究開発が進められており、深海調査研究への積極的な利用が行われている。これらを用いた研究からは、新たな科学的知見が数多く得られており、さらに深い理解を得るために、現行の探査技術をさらに高精度化・高機能化しユーザーに提供するための、深海調査船、潜水調査機器等の要素技術開発、改良及び機能向上とその検証を絶えず実施することが重要となっている。また、次世代の深海調査システムや深海調査研究のための新技術の開発を各分野の深海調査研究との絆を深めながら実施する必要がある。

一方、深海調査研究においては、前記した調査機器等を用いたポイントやラインに沿った面的な展開、さらに時間軸を含めた 4 次元の観測を実施する必要性が認識され始めている。したがって、このような観測を実現するためのブイや掘削孔、ケーブル等の観測インフラストラクチャの開発及びそれらの開発に必要となるセンサ、水中音響技術、測位技術等の要素技術の研究開発と海域実験による検証を行うことが必要不可欠である。さらに、今後は工学研究や技術開発のテストベッド、実証手段としての深海調査研究も必要となってくる。以上のような方針に基づき本 5 カ年研究指針における技術開発・技術研究系の研究目標を以下のように定める。

IV-1. 深海探査技術の機能向上

有人潜水調査船や ROV、AUV 等の調査能力を向上させ実海域での観測研究を効率的に実施するための自動制御技術、航法技術、アクチュエーター技術、マンマシンインターフェースの研究開発、調査観測を効率的に実施するための小型化技術を含めた観測・計測機器技術や海中作業技術の研究開発、さらに、高エネルギー密度の水中動力源の研究開発等を調査観測分野の研究動向を十分反映させた上で積極的に進めるとともに、これら新規技術を統合した次世代深海探査技術の構築に必要な研究開発を実施する。

IV-2. 物理探査技術の機能向上

海底下の構造を高精度に把握するために、音波探査、地震探査の機能向上に係わる研究開発を実施するとともに、（2 船式、3 D、ソリッドケーブル）電磁気や熱などを用いたトモグラフィ手法の高度化に関する研究を実施する。

IV-3. 4 次元観測技術の研究開発

係留ブイアレイ、掘削孔内計測システム、リアルタイム観測ネットワーク等の実現に必要な、拡張性を持ったメンテナンスブルなシステム開発、長期信頼性を持った機器開発、大容量データ伝送技術、及びこれら観測システムの構築に不可欠な、設置技術等周辺技術の開発と検証に係わる研究を積極的に進める。

IV-4. 新たな深海探査技術の開発と検証

掘削孔リエントリシステムや原位置サンプリングシステム、高機能曳航体など、調査観測分野側からの要求により新たに開発導入される深海探査技術及びセンサシステム等の機能検証と機能向上に関する研究開発を積極的に進める。