

海洋資源探査技術実証計画

平成 23 年 9 月 16 日

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会

目次

科学技術・学術審議会海洋開発分科会委員名簿	.....	i
科学技術・学術審議会海洋開発分科会海洋鉱物委員会委員名簿	.....	ii
本計画に係る審議経過（第10回～第14回）	.....	iii
はじめに	.....	1
第1章 総論	.....	3
第2章 探査技術開発の進捗状況と課題	.....	4
(1) センサー等の探査技術開発	.....	4
(2) 探査プラットフォームの開発整備	.....	5
第3章 探査技術実証のための海洋調査	.....	8
(1) 海底熱水鉱床	.....	8
(2) コバルトリッチクラスト	.....	8
(3) その他	.....	8
第4章 海洋鉱物資源に関する研究課題	.....	10
(1) 海底熱水活動域	.....	10
(2) コバルトリッチクラスト	.....	11
(3) レアアースを含む海底堆積物	.....	12
(4) 石炭・天然ガス等の炭化水素資源	.....	12
第5章 関係機関との連携	.....	14
(1) 各機関の取組状況	.....	14
(2) 各機関間の連携	.....	16
(3) 開発された探査技術及び調査結果や知見の共有	.....	16
むすびに	.....	17

別紙資料

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 委員名簿

【正委員】

分科会長	小池 勲 夫	琉球大学監事
	平田 直	東京大学地震研究所 地震予知研究センター長
	² 長谷川 昭	東北大学名誉教授
	² 深尾 昌一郎	福井工業大学工学部教授
	¹ 室伏 きみ子	お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科教授
分科会長代理	山 脇 康	日本郵船株式会社特別顧問

【臨時委員】

	石 田 瑞 穂	独立行政法人海洋研究開発機構特任上席研究員
	² 石 原 和 弘	京都大学防災研究所教授
	² 磯 部 雅 彦	東京大学大学院 新領域創成科学研究科教授
	浦 環	東京大学生産技術研究所 海中工学国際研究センター長
	¹ 浦 辺 徹 郎	東京大学大学院理学系研究科教授
	大 塚 万紗子	国際海洋研究所 日本支部事務局長
	加 藤 俊 司	独立行政法人海上技術安全研究所 研究統括主幹 兼 海洋開発系長
	² 兼 原 敦 子	上智大学法学部教授
	² 杉 本 敦 子	北海道大学大学院 地球環境科学研究院教授
	平 朝 彦	独立行政法人海洋研究開発機構理事
	¹ 高 橋 重 雄	独立行政法人港湾空港技術研究所理事長 兼 アジア・太平洋沿岸防災研究センター長
	瀧 澤 美奈子	科学ジャーナリスト
	竹 山 春 子	早稲田大学理工学術院 先進理工学部生命医科学科教授
	寺 島 紘 士	海洋政策研究財団 常務理事
	花 輪 公 雄	東北大学大学院 理学研究科教授
	² 堀 由紀子	株式会社江ノ島マリンコーポレーション 取締役会長
	増 田 信 行	秋田大学准教授 兼 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構特別顧問
	三 木 奈都子	独立行政法人水産大学校 水産流通経営学科准教授
	¹ 安 成 哲 三	名古屋大学地球水循環研究センター教授
	豊 小 波	東京海洋大学 海洋科学部教授

1 : 平成 23 年 2 月就任

2 : 平成 23 年 1 月退任

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会

海洋鉱物委員会¹ 委員名簿

阿部一郎	住友金属鉱山株式会社	取締役専務執行役
磯崎芳男	独立行政法人海洋研究開発機構	海洋工学センター長
浦環	東京大学生産技術研究所	海中工学国際研究センター長
主査 浦辺徹郎	東京大学大学院	理学系研究科教授
冲野郷子	東京大学大気海洋研究所	准教授
小池勲夫	琉球大学	監事
² 鈴木賢一	日本水産株式会社	元相談役
平朝彦	独立行政法人海洋研究開発機構	理事
瀧澤美奈子	科学ジャーナリスト	
寺島紘士	海洋政策研究財団	常務理事
増田信行	秋田大学	准教授 兼 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 特別顧問

1: 平成23年1月までは「海洋資源の有効活用に向けた検討委員会」

2: 平成23年1月末退任

本計画に係る審議経過(第10回～第14回)

第10回 平成23年1月28日

「海洋資源の有効活用に向けた検討委員会」として開催

- 海洋資源探査の技術実証計画についての議論の進め方について
- 資源探査用自律型無人探査機の仕様について

第11回 平成23年3月11日

- 海洋資源に関する学術的課題について
 - － 研究者からのヒアリング

飯笹 幸吉 (東京大学大学院 新領域創世科学研究科 教授)

臼井 朗 (高知大学教育研究部 自然科学系理学部門 教授)

高野 淑識 (独立行政法人海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏
領域 研究員)

第12回 平成23年5月18日

- 関係省庁からのヒアリング
 - 資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課
 - 海上保安庁 海洋情報部 海洋調査課
- 技術実証を実施する上で海洋調査を行うことが有効な海域について
- 関係機関との連携について

第13回 平成23年7月1日

- 探査技術実証の推進に必要なプラットフォームについて
- 海洋資源探査技術実証計画(骨子案)について

第14回 平成23年8月1日

- レアアースを含む海底堆積物についてのヒアリング
 - 加藤 泰浩 (東京大学大学院 工学系研究科 准教授)
- 海洋資源探査技術実証計画(案)について

はじめに

1. 検討の背景

- 四方を海に囲まれた我が国が、新たな海洋立国の実現を目指し、総合的な海洋政策を推進するため、海洋基本法(平成19年4月27日法律第33号、同年7月20日施行)と、同法に基づく海洋基本計画(平成20年3月18日閣議決定)が定められた。海洋基本計画は、我が国が自らの資源供給源を確保するため、世界第6位という広大な面積の領海・排他的経済水域(EEZ)に存在する海底熱水鉱床やコバルトリッチクラスト等、海洋資源の計画的な開発等の推進を求めている。
- 海洋基本計画に基づき、海洋鉱物資源の平成30年度までの10年間の具体的な開発計画として、「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」(平成21年3月24日総合海洋政策本部了承、以下「開発計画」という。)が策定された。開発計画においては、例えば、海底熱水鉱床について、「資源量評価」「環境影響評価」「資源開発技術」及び「製錬技術」の4つの課題が存在し、このうち「資源量評価」については、高密度のボーリング調査、物理探査等による資源量の把握が急務であると指摘している。また、関係省庁が保有する船舶、海洋探査機器や海洋データの活用の必要性を指摘するとともに、科学技術・学術審議会海洋開発分科会における探査技術開発等についての検討結果を活用すべく、関係省庁間で連携を図ることを明記している。
- 科学技術・学術審議会海洋開発分科会は、海洋資源の有効活用に向けた検討委員会(以下「有効活用検討委員会」という。)を設置し、関係機関及び有識者からのヒアリングを踏まえ、「海洋鉱物資源の探査に関する技術開発のあり方について」(以下「探査技術開発のあり方」という。)を、平成21年6月に取りまとめた。この報告書は、資源量の把握に必要な基盤的技術は必ずしも確立されているとは言えず、より効果的、効率的に探査を行うための技術・方法等について、早急に開発を実施する必要があることを指摘している。

2. 本計画について

- 新成長戦略(平成22年6月18日閣議決定)の成長戦略実行計画(工程表)において、「海洋資源・海洋再生可能エネルギーの開発・普及の推進」が、環境・エネルギー大国戦略の一環として記載された。
- 一方、探査技術の研究開発の進展や新成長戦略を踏まえ、有効活用検討委員会は、平成22年7月から海洋鉱物資源の探査に関する技術の実証に関する

議論を開始した。同年8月に、「海洋鉱物資源の探査に関する技術の実証の当面の進め方」を取りまとめ、平成22年度補正予算及び平成23年度当初予算において、「海洋資源探査システムの実証」にかかる経費が措置された。これは、無人探査機や掘削技術を開発するとともに、開発した探査技術を用いて実際に深海底において技術実証のための調査を行い、技術の高度化を図るとともに海洋鉱物資源の成因等に基づく戦略的探査手法の研究を実施することにより、総合的な海洋資源探査システムを完成させることを目指すものである。

- 本計画は、当該海洋資源探査システムの実証を適切に実施し、最大限の成果を創出するため、海洋鉱物委員会*において、研究開発の具体的内容、スケジュールについて検討し、5箇年程度の中長期的な技術実証計画として策定したものである。
- 海洋資源探査システムは、研究者の英知を結集して、我が国独自の探査技術として完成させることを目指すものである。本計画に基づく探査技術開発及び実証により、実際の海洋鉱物資源探査の場で大いに利活用される成果が、世界に先駆けて得られることを強く期待する。

* 第6期科学技術・学術審議会（平成23年2月～）から、海洋資源の有効活用に向けた検討委員会を引き継ぐものとして、海洋鉱物委員会が設置された。

第1章 総論

本計画の目的は、海洋資源探査システムを確立させることである。このためには、文部科学省及び独立行政法人海洋研究開発機構(以下「JAMSTEC」という。)が、関係機関と連携し、海洋鉱物資源探査に必要な技術の研究開発を進めつつ、探査技術実証のための海洋調査を行うことが必要不可欠である。その際、得られたデータが、できる限り資源分布の把握や資源量評価の実施者に資するものとなるよう進めることが必要である。

同時に、探査技術実証のための海洋調査で得られたデータも活用し、戦略的探査手法の確立を目的とした基礎的、基盤的研究を推進すべきである。これにより、海洋環境や海底下地下生命圏、資源の成因等に関する知見を得ることも期待される。

また、効率的に探査技術の実証を実施するため、JAMSTEC、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(以下「JOGMEC」という。)、海上保安庁及び大学等研究機関が緊密に連携することが重要である。JAMSTEC と JOGMEC については、平成 19 年 7 月に海洋資源分野における包括的連携に関する基本協定を締結しているが、データの収集、共有、公表等について、必要な調整を実施することが重要である。

第2章 探査技術開発の進捗状況と課題

具体的な海洋鉱物資源探査の手順のうち、本計画の実施により総合的な探査システムの技術として確立することとする部分は、以下のとおりとする。

- 船舶を用いた、比較的粗解像度での海底地形の把握による、海洋鉱物資源の存在が期待される大地形の検出
- 自律型無人探査機(以下「AUV^{*1}」という。)及び遠隔操作型無人探査機(以下「ROV^{*2}」という。)を用いた、高解像度での精密な地形調査や海底熱水活動由来の海水成分の検出による、海洋鉱物資源が存在する可能性の高い地点の絞り込み
- AUV 及び ROV を用いた、海底熱水活動由来の海水成分の検出や海底下三次元構造の高精度物理探査(重力、電磁気及び地震波(音波)による探査)及び写真撮影による調査、試料の採取や現場分析
- 成因等科学的知見に基づく、海洋鉱物資源の存在が期待される海域の絞り込み

なお、実際の資源開発にあたっては、これらの後にボーリング調査等を踏まえた資源量評価が実施され、環境影響評価や経済性の評価を経て、実際に鉱床として開発するか否かを決定することとなるが、この部分については本計画では取り扱わない。

このため、大学等においては、基礎的な要素技術を核としたセンサー等の探査技術開発を実施するとともに、JAMSTEC においては、探査機等の技術開発を実施している。

総合的な海洋鉱物資源探査システムとして技術を確立するためには、センサー及び探査機の開発者それぞれが独立して研究開発を行うのではなく、深海における試験やシステムの構築等、様々なプロセスにおいて緊密に連携することが必要である。

(1) センサー等の探査技術開発

進捗状況の現状

- 平成 21 年にとりまとめた探査技術開発のあり方においては、広範囲(10 キロメートル四方)から有望鉱床域(1キロメートル四方)までのそれぞれの段階に応じ、海底地形や海水成分の計測、音波、重力、磁力、電気、電磁による

*1 AUV: Autonomous Underwater Vehicle

*2 ROV: Remotely Operated Vehicle

海底下構造把握技術の高精度化の必要性が指摘されている。

- 文部科学省においては、平成 20 年度から「海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム」(平成 23 年度より「海洋資源利用促進技術開発プログラム 海洋鉱物資源探査技術高度化」と改称された。以下「基盤ツール」という。)を実施し、前述の各手法による探査技術の開発を実施している。このうち、音響による海底地形の計測については、浅海域における実験で目標とする精度を達成した。また、海水成分の計測については、深海底における試験で、海底熱水活動を新たに発見するという成果をあげた。さらに、音響による海底下構造把握技術については、これまで困難とされていたコバルトリッチクラストの非接触での厚み計測に成功し、サンプリング(ボーリング)の密度を大きく低減させることにつながる成果をあげた。加えて、電気、電磁、磁気による海底下構造把握技術については、機器の試作や深海底における実験を実施し、地震波及び重力による海底下構造把握技術については、機器の試作を実施した。しかしながら、深海底での試験の機会が限られている、得られた生データを適切に評価する方法を確立する必要がある、探査機等プラットフォームに搭載するために小型化や軽量化を更に進める必要がある、開発者自身でなくとも取り扱えるような汎用化を進める必要がある等の課題も明らかになっている。

今後取り組むべき課題

- 基盤ツールにより開発中のセンサー等については、深海底において十分に実証試験を行って前述した課題を解決し、技術の有効性を評価することが必要である。平成 20 年度採択課題については、平成 22 年度末に中間評価を行い、平成 23 年度から深海底における実証試験段階に移行した。平成 21 年度採択課題についても、センサー等の開発は順調に進んでおり、平成 24 年度から深海底における実証試験を実施すべきである。
- また、基盤ツールにより開発したセンサーを用いて効率よく探査を行うには、得られた生データを適切に評価し、複数種類のセンサーを組み合わせる使用することが必要である。このため、今後、センサー等技術の開発者と地球化学、地球物理学等の地球科学の研究者が連携して研究開発を進め、運用等ソフト面での技術開発を行っていく必要がある。具体的には、地球科学等の研究者と探査技術の開発者が共同で深海底調査を行うプロジェクトを実施すべきである。その際、地球科学等の研究者は、探査技術の利用者として深海底の調査研究を担当し、調査結果の生データの地球科学的知見に基づく解釈を行うとともに、利用者としてセンサー等探査技術の改善点を

指摘する。センサー等探査技術の開発者は、探査技術の提供者としてセンサー等探査技術開発を担当し、技術の活用法を提示するとともに、技術の改良や検証を行う。

(2) 探査プラットフォームの開発・整備

進捗状況の現状

- 第3期科学技術基本計画(平成16年3月28日閣議決定)に基づく国家基幹技術「次世代型海洋探査技術」の一環として、JAMSTECは無入探査機技術開発を実施している。これまでに、深海用リチウムイオン電池、小型慣性航法装置、分散制御CPUシステム、高機能画像システム等の海中における試験に成功した。また、ROV用の高強度浮力システム、高強度ケーブル、推進システム等の実際の海中における試験に成功した。さらに、水深約4,000メートルの深海域において、水平距離300キロメートルの音響通信実験に成功した。
- 平成21年に取りまとめた探査技術開発のあり方においては、機動的に移動し、鉱床に接近して観測することができるAUVやROVの有効性が指摘されているが、AUVについては十分な電源や安定した水平航走システム、小型軽量化の必要性が指摘されている。
- また、「海洋鉱物資源の探査に関する技術の実証の当面の進め方」においては、(1)複数の機能の異なるAUVの効果的な組合せと高性能化による探査、(2)ROVによる複雑な地形に対応したサンプリング、(3)地球深部探査船による海底下のサンプリングにおける技術実証の必要性が指摘されている。

今後取り組むべき課題

- JAMSTECは、これまでの知見を生かし、我が国の領海・EEZにおいて行う海洋鉱物資源探査に必要な機能を有する探査システムを開発することが必要である。さらに、システム全体としての技術を確立するため、資源の存在が想定される海域での実証を積極的に実施すべきである。
- AUVについては、(1)安定した水平航走が可能、(2)小型、軽量、(3)必要な自律性を持ち、将来的には支援母船1隻で機能の異なる複数のAUVを複合的に活用可能、(4)多様なセンサーを搭載できることと調査を行うための機動力、操作性とのバランスが良好、という特徴を持つ、別紙1の仕様を満たすような探査機を開発すべきである。
- ROVについては、(1)支援母船を選ばないことにより運用効率が向上可能、(2)多彩な探査や研究に対応できるよう作業、観測機器が脱着可能な構造、

(3)海底地形探査や連続柱状サンプリング等が可能、(4)搭載するセンサーに十分な電力供給が可能、という特徴を持つ、別紙2の仕様を満たすような探査機を開発すべきである。

- 探査技術実証のための海洋調査を加速化させるため、船舶については、1隻で各種調査を総合的に行う必要があり、(1)海底の概査、海底下構造の調査が可能、(2)各種無人探査機を複数同時運用し、海底を精密に調査可能、(3)取得したデータの解析と採取した試料の分析を船上で迅速に実施可能な機能を持つ、別紙3のような船舶を整備すべきである。

第3章 探査技術実証のための海洋調査

前章に取り上げた各技術を体系的に組み入れ、実効性のある総合的な海洋鉱物資源探査システムとしての技術を確立するためには、探査技術実証のための海洋調査を実施することが必要不可欠である。この海洋調査においては、新たな海底熱水鉱床賦存有望域の抽出等の必要な情報の取得を効率的かつ確実にを行うための各機器の運用等、ソフト面の技術の確立も十分に行う必要がある。

また、深海底の科学的調査の経験や知見が豊富であり、研究船や探査機を運用する JAMSTEC が中心となってこの探査技術実証を進めるべきである。したがって、探査技術実証を通じて得られる技術的知見についても、JAMSTEC はその全体像を把握しておくべきである。

(1) 海底熱水鉱床

平成 24～25 年度については、沖縄トラフ及び伊豆・小笠原海域において、探査技術実証のための情報の揃った既知の海底熱水活動域を対象に調査を実施するべきである。

次のステップとして、概ね平成 26～27 年度を目途に、既知の海底熱水活動及びその周辺を対象に調査を実施し、技術の高度化を図るべきである。

さらに、中部沖縄トラフにおいてこれまで十分に調査のなされていない海域や、九州 - パラオ海嶺等の現在海底熱水活動の見られない海域においても調査を実施し、更なる技術の高度化を目指すことが望ましい。

(2) コバルトリッチクラスト

平成 24～25 年度については、南鳥島周辺海域において、過去に科学的調査が実施されたことがあり、探査技術実証のためのモデルケースとなる海山を設定し、その海山を対象に調査を実施するべきである。

次のステップとして、概ね平成 26～27 年度を目途に、南鳥島周辺海域において、これまで十分に調査がなされていない新たな海山も対象に加え、更なる技術の高度化を目指した調査を実施することが望ましい。

(3) その他

主要な海洋鉱物資源としては、上記の他にマンガン団塊があげられるが、現時点では日本国内においては商業化を目指した開発機運が高いとまではい

えない。

また、レアアースを豊富に含む海底堆積物について研究が進められており、最近、新たな海洋鉱物資源としての可能性も指摘されはじめた。

上記については、今後の研究開発の進展を注視するとともに、商業開発に向けた機運の高まりを見極めつつ、必要に応じ、改めて検討を行うこととする。

第4章 海洋鉱物資源に関する研究課題

本計画が目的とする海洋資源探査システムの確立は、海洋鉱物資源を対象とした研究を進めることなしには達成できない。それらの研究は、効率的な探査や環境負荷を抑えた開発への貢献等、海洋鉱物資源の開発の推進に、大きな意義があるからである。

また、それらの研究により海洋環境や海底下地下生命圏、資源の成因に関する新たな知見を獲得することは、海洋学等の発展につながることも期待される。

さらに、将来の我が国の海洋鉱物資源に対する取組を担うべき人材の育成という視点も忘れてはならない。海洋鉱物資源に関する調査、研究にかかわった研究者や技術者に経験を積ませ、知見を蓄えさせることで、我が国の海洋資源開発をリードする人材として育成することも重要である。そのため、若手人材を活用しつつ、海洋鉱物資源に関する研究を積極的に進めることの意義は大きいといえる。

具体的な研究課題は、以下に示すとおりである。

(1) 海底熱水活動域

海底下深部に浸透した海水が、マグマ等の熱により熱せられ、地殻に含まれる各種元素を抽出しながら海底に噴出するものである。熱水が冷却される過程で、熱水中の銅、鉛、亜鉛、金、銀等の重金属が沈殿することにより、多金属硫化物鉱床(海底熱水鉱床)を形成することがあり、形成された鉱床に含まれるレアメタルの種類や量は、後述するコバルトリッチクラストと補い合うような関係にある。

海洋プレートの発散境界(海嶺)や、プレートの収束境界付近の島弧や背弧海盆において、リフト帯の海底火山やカルデラ火山に伴って形成される場合が多く、数メートル以上のチムニーが林立する等、海底地形の起伏が激しいことが特徴である。

これまでにわかっていること

- 場所によって、熱水や熱水からの沈殿物の、元素毎の含有量が大きく異なっている。
- 熱水噴出口付近には、熱水由来の成分を利用した化学合成に依存する特異な生物群集が存在し、遺伝子資源としても重要である。
- 熱水の噴出には寿命があり、形成された海底熱水鉱床が堆積物で埋没し

ている場合がある。現在は熱水活動が存在しないとみられており、過去に形成された海底熱水鉱床の存在も未確認であるフィリピン海においても、海底熱水活動に伴うと見られる熱水起源の硫化物粒子が確認されている。

- 平成 22 年 9 月の地球深部探査船「ちきゅう」による沖縄トラフ熱水域科学掘削において、秋田県に知られている黒鉱鉱床に類似した金属硫化物や、海底下における大規模な熱水の滞留が発見され、海底熱水鉱床の規模がこれまで想定されていたものよりも大規模である可能性が示唆された。また、沖縄トラフの海底下に広く分布する熱水循環系の規模や特徴は、黒鉱鉱床のそれと類似しており、黒鉱鉱床の成因を知る上で大きな役割を果たしうることが明らかになってきている。

研究すべき課題

- より効率的な探査や熱水活動域の特性把握に貢献するため、海底下熱水循環系の規模及び普遍的な特徴、海底熱水鉱床の成因、熱水及び海底熱水鉱床における各種元素の起源等について、調査・研究を通して明らかにする必要がある。
- また、鉱床の開発に際しての環境影響評価や、遺伝子を含む生物資源の保全に貢献するため、熱水依存底生生物及びその周辺に生息する熱水非依存底生生物を含む生態系について明らかにする必要がある。
- さらに、より規模の大きな、あるいは多数の鉱床の存在が期待される上、開発しても生態系等環境への負荷が小さいと考えられる、熱水活動のない鉱床の探査、開発に貢献するため、活動を停止した古い海底熱水活動の痕跡と古い海洋底の地史について明らかにする必要がある。

(2) コバルトリッチクラスト

海水中に溶存している金属成分が沈殿、固着したもので、海底の岩盤を厚さ 5 ~ 15 センチメートル程度の不均質で皮殻状に覆う鉄マンガン酸化物のうち、コバルトの品位が高いものをいい、コバルト、ニッケル、白金族、希土類元素を濃集していて、レアメタルの種類や量は前述した海底熱水鉱床と補い合うような関係にある。

主に大洋の水深 800 ~ 5,000 メートルの海山の斜面や頂部に存在している。

これまでにわかっていること

- 熱源を要さず、海水のみから生成される若い時代の酸化物で、100 万年あたり数ミリメートル程度という、非常にゆっくりとした速度で堆積するが、堆積

物に埋没することは稀で、海底面に露出していることが多い。

- また、微細な内部構造をもち、組成にも変化がある。そのため、コバルトリッチクラストの分析から、古地磁気の情報を復元することに成功できたという研究成果がある等、過去数千万年程度の環境を記録している可能性がある。

研究すべき課題

- より効率的な探査や商業開発に適した領域の判定に貢献するため、金属元素の濃縮、沈殿の条件とプロセス、詳細な成長速度、組成、ナノメートルスケールでの内部構造とその決定条件、微生物活動との関連等について調査・研究を通して明らかにする必要がある。
- また、記録されている可能性のある海洋環境の変動について明らかにすることは、海洋底の地史や気候変動等の解明において重要な価値を持つ。

(3) レアアースを含む海底堆積物

太平洋の広域にわたる深海底に、レアアースを豊富に含む堆積物が存在することが、平成 23 年 7 月に発表され、注目を集めている。

しかしながら、深海底からの回収や環境影響評価、レアアースを抽出した後の泥の取扱等、産業化にあたって産学官で連携しつつ技術的に解決すべき課題も多く、また、レアアース資源としての開発の可否を検討するためには、我が国の領海・EEZ 内を含め、詳細な分布を明らかにする必要がある。

まずは、レアアースを含む海底堆積物の成因や生成条件、堆積環境といった分布を決める条件等を明らかにするため、基礎的、科学的な調査研究を実施する必要がある。

(4) 石炭・天然ガス等の炭化水素資源

地層中に埋没した有機物が、海底下深部において熱を受けて様々な化学反応を経るとともに濃集することにより、石炭や石油、天然ガスなどの炭化水素資源が形成される。

また、海底下浅部における炭化水素資源の生成と分解のプロセスには、地層中の微生物が大きく関与していることが明らかになってきている。

海底下深部に由来する炭化水素が浅部に移動・濃集することにより、メタンハイドレートをはじめとする天然ガス田が形成される。

これまでにわかっていること

- 日本沿岸の海底下には、約 1 億年前～約 1000 万年前に形成された有機

物層が分布しており、その一部は石炭や天然ガス(メタン)の炭化水素資源の供給源として重要な役割を果たしている。

- 微生物活動で生成される海底下のメタンは、主に水素や酢酸と二酸化炭素を利用した生物化学反応により、地層内の微生物生態系による有機物分解の最終産物として生ずる。
- 地球深部起源の大規模火成活動と関連する海洋の無酸素化など、地球規模での気候変動・地殻変動が、埋没有機物の形成や化学変化過程、炭化水素資源の生成に大きく寄与している可能性がある。
- 南海トラフ(熊野海盆)や種子島沖には、地下深部に由来する粘性、密度の低い泥質流体がガスとともに噴出し、高さ数十メートルから数百メートルのマウンド状構造を成した泥火山が多数分布している。平成 21 年3月の地球深部探査船「ちきゅう」による試験掘削において、熊野泥火山頂部の海底下に柱状のメタンハイドレートの存在が確認された。また、泥火山中において、高濃度かつ高純度のリチウムの濃集が認められており、泥火山は、地下深部の熱分解起源の天然ガスを直接海底表層に運ぶ機能を有していると考えられる。

研究すべき課題

- メタンハイドレートをはじめとする海底下炭化水素資源の生成メカニズムの全体像を把握するため、海底下の有機物分解プロセスと微生物代謝活動との関わりを明らかにする必要がある。
- 海底資源としての泥火山の実態を解明するため、噴出流路におけるメタンハイドレートの産状や形成プロセス、高濃度リチウムをはじめとする微量金属元素の濃集プロセス、天然ガスの起源と移動・噴出メカニズム、生命の存在とその代謝活動等を明らかにする必要がある。
- 海底下におけるメタン生成場の特定に資する新規分析手法を開発し、メタン生成に適した温度・圧力条件や生成場を明らかにすることは、炭化水素資源の分布、地球史における炭素循環と気候・地殻変動との関わり、地球深部をも含む物質循環の解明において重要な価値を持つ。
- さらに、海底下の炭化水素資源に関連する微生物生態系の機能開発や遺伝子資源の利活用を追究することにより、持続的な炭素循環システムの構築や再生可能エネルギーの創出に資する基盤研究の新展開が期待できる。

第5章 関係機関との連携

(1) 各機関の取組状況

○ JAMSTEC

- 研究船や地球深部探査船「ちきゅう」、探査機等のプラットフォームを保有し、我が国近海で海底熱水活動を発見する、沖縄トラフ熱水域において黒鉱様試料の採取を行う等、深海底の科学的調査の経験や知見が豊富である。また、開発計画に基づく「環境影響評価」を JOGMEC から委託されて実施した。
- 平成 22 年度には、探査技術実証のための海洋調査に用いる AUV の開発に着手したところであり、平成 23～24 年度の竣工を目指している。また、平成 23 年度には、同じく ROV の開発に着手し、平成 24 年度中にベースとなるシステムを完成させ、その後高度化を図る予定である。

○ JOGMEC

- 深海底鉱物資源探査専用船「第2白嶺丸」を保有し、これまでにマンガン団塊については昭和 50 年度から、海底熱水鉱床については昭和 60 年度から、コバルトリッチクラストについては昭和 62 年度から、それぞれ調査を開始しており、海洋鉱物資源調査について、豊富な経験や知見を有している。
- 海底熱水鉱床については、現在、「開発計画」に基づき、「沖縄トラフ」及び「伊豆・小笠原海域」において、海底熱水鉱床探査の資源量評価のため、特定海域を「モデル鉱床」として選定し、集中的に調査を進めており、その結果として平成 23 年3月に「海底熱水鉱床開発計画にかかる第1期中間評価報告書」を公表した。同報告書においては、「沖縄トラフ」及び「伊豆・小笠原海域」両海域をあわせた概略資源量は、5,000 万トン程度であると推定された。この量は、秋田県北部の黒鉱鉱床群の総鉱石重量と同等であるとしている。しかしながら、海底下 20 メートル以深については、ボーリングの掘進能力の問題から、情報が得られておらず、国際基準に達した計算ではないことについて注意を喚起している。また、実際に鉱床を開発するための技術である「環境影響評価」「資源開発技術」「製錬技術」についても評価を実施しており、特に「環境影響評価」については、JAMSTEC と連携して実施された。さらに、平成 23 年度以降も、引き続き前記両海域において海底熱水鉱床の調査を推進する計画で、これまでに得られた情報から、採掘技術等の実証試験候補海域として、沖縄トラフを優先順位1位、伊豆・小笠原海域を優先順位2位

とすることが妥当であるとした。

- また、「第2白嶺丸」の代船として海洋資源調査船「白嶺」を建造中である。「白嶺」は既に平成23年3月に進水しており、今後艤装を進め、平成24年2月に就役する予定である。

独立行政法人産業技術総合研究所

- 沖縄トラフの伊是名海穴や伊豆・小笠原弧の明神海丘における熱水鉱床を発見し、「日本周辺海域鉱物資源分布図」を作成する、日本周辺海域の「海洋地質図」を出版する等、海底の地質や鉱物に関する経験や知見を蓄えている。
- 平成20年からは沖縄周辺海域の調査を開始し、沖縄トラフを含めた海域の地質情報整備を行うとともに、広域探査を中心とした海底鉱物資源の研究も組織的に展開している。また、燃料資源地質図「東部南海トラフ」(平成22年)を出版し、メタンハイドレート資源のポテンシャルを評価するための基礎情報を提供している。

海上保安庁

- 本庁及び管区に測量船を保有し、海上交通の安全確保等のため、水路測量を実施し、海底地形データ等を取得している。さらに近年は、海洋権益保全のため、領海及び排他的経済水域の基盤データ整備を重点的に推進しているところである。
- 上記取組のため、平成23年度にAUVの整備に着手しており、平成25年度からの運用を目指している。

大学等研究機関

- 科学研究費等の競争的資金も活用しつつ、海洋に関して幅広い研究活動が進められるとともに、人材の育成が行われてきた。特に、東京大学生産技術研究所は、高い無人探査機技術をもち、保有する無人探査機による調査で大きな成果を挙げている。
- さらに、基盤ツールのセンサー等研究開発についても、これら大学等の研究機関において実施している。

(2) 各機関間の連携

基盤ツールで開発中のセンサー等

- センサー等のプラットフォームへの搭載や海中での使用については、センサー等の研究開発機関とJAMSTECの協力が重要である。特に、JAMSTECは、必要なシブタイムを確保し、海域において、センサー等の実証を確実に進

めることが必要である。

- また、技術実証においては、得られた結果の妥当性や有効性を検証するため、海底下構造や組成、物性等について既存の調査結果と比較することが重要である。したがって、JOGMEC が既に資源量評価に向けた取組を進め、ボーリングデータ等の実測値と比較ができる海域において、JOGMEC の調査結果を活用しながら実施することが有効である。この取組を実現させるためには、基盤ツールの研究者、JAMSTEC、JOGMEC が事前に調整を行うことが必要であり、基盤ツール外部評価委員会の意見等に基づき、JAMSTEC と JOGMEC は、必要な調整を実施すべきである。また、得られた結果は、JOGMEC が進めている資源量評価に向けた取組においても活用されるよう、JOGMEC に提供されるべきである。さらに、開発したセンサー等は、JOGMEC においても利用可能なものであることが重要である。
- 加えて、海域や内容の重複を防ぎ、効率的に海洋調査を行うためには、プラットフォームを保有する JAMSTEC、JOGMEC 及び海上保安庁の間でも、十分に調整することが必要である。

JAMSTEC が開発中の AUV や ROV 等の無人探査機の実証

- JOGMEC の「第2白嶺丸」、「白嶺」等、JAMSTEC 以外の機関が保有する調査船における実証も含め、効果的な開発、実証できるよう、関係機関と検討すべきである。

(3) 開発された探査技術及び調査結果や知見の共有

実証を経て確立された探査技術が、資源探査や学術調査に活用されるためには、開発者と利用者の間での調整や情報共有が重要である。特に、実証において得られた知見が、資源量把握に向けた取組に活用されるためには、定期的に意見交換を行うなど JAMSTEC と JOGMEC による調整や情報共有が重要である。

なお、研究成果については、広く発信し、国際的なコミュニティで共有することが重要であるが、他機関からの提供データによる結果や、資源・エネルギー安全保障上の観点からその取扱に注意を要すると考えられる情報については、発表の内容等について、関係者等との事前調整を行うべきである。

むすびに

世界第6位の領海・EEZを有する我が国にとって、そこに存在する大きな海洋鉱物資源ポテンシャルをどのようにして現実の資源として確定していくかは、国家の将来設計に関わる重要事項である。国際的にも未着手の海洋資源の探査を、我が国がフロントランナーとしてリードしていくためには、時期を失することなく探査技術開発に着手することが必要であるが、本報告はそのための道筋を示すものである。

本報告書で取りあげた非在来型エネルギー資源を含むさまざまな海洋鉱物資源は、その探査・開発のいずれのプロセスにおいても人類にとって未経験の技術を必要としている。その実現のためには、これまで培ってきた科学技術力を結集することが必要であり、新たな人材を育成し、大学や研究機関の基盤的な技術を活用していく取組が不可欠になると考えられる。本計画では、深海底のセンサーや探査機等の技術開発と資源成因の解明等の研究の結合の部分のみを取りあげたが、それだけでは不十分である。総合的な海洋資源探査を実現するためには、国家としての海洋開発への明解な指針と、その下での関係機関の一層の連携協力がなければならない。本計画が、それに向けての確実な第一歩となることを心から期待している。

資源探査用自律型無人探査機について

○ 開発コンセプト

- より使いやすいビークルを目指して（多くの船舶で運用が可能）
- センサーオリエンティッド（基盤ツールや新規開発センサー等のプラットフォームとしてフレキシブルに利用）

○ 技術的ポイント

- インターフェロメトリまたは合成開口ソナーを搭載した高解像度マッピング
- 鉱床を探査するための制御ソフトウェア
- ペイロード容量を確保し、多くのセンサーに柔軟に対応

○ システム仕様

最大潜航深度	3,000メートル
最大速力	3ノット以上
機体サイズ	5メートル以下（機体のみの値で、突起物は含まない）
重量	3トン以下
連続航行時間	8時間以上（1回充電時の値で、動作状況による）
航行センサー	慣性航法装置、ドップラー速度計、深度計、高度計、方位計、前方障害物センサー
観測センサー（目的別積替式）	
標準搭載	CTD（塩分、温度、深度計）、濁度、pH センサー
オプション搭載	インターフェロメトリ又は合成開口ソナー、サブボトムプロファイラ
ユーザ拡張領域	100 キログラム、70 リットル
その他の機能	音響通信、測位機能（SSBL、VLBL）、低音響雑音、低電磁雑音

○ 運動性能

基本運動	水平面内： 船首方位制御、針路制御 鉛直面内： 深度制御、高度制御
観測制御	シナリオによる三次元航行（サンライズ鉱床の観測が可能な制御ができること
最低可制御速度	2ノット以下
最低可制御高度	10メートル（航行に障害のある突起物がない場合）
高度制御精度	搭載ソナーのデータに影響を与えない精度
最小旋回半径	最低観測高度において搭載ソナーのスワ幅と同等
登坂降坂角	最大 30 度

※ AUV の全体的オペレーションに与えるアルゴリズムの重要性に留意すること

資源探査用遠隔操作型無人探査機について

○ 開発コンセプト

- 国家基幹技術で得られた新しい要素技術の成果を利用しつつ、「かいこう 7000 II」のビークル部を新造
- 無人探査機運用効率の向上（「かいいい」「かしよう」「なつしま」を母船としたマルチな運用形態）
- 世界唯一の水深 7,000mまで潜航可能な重作業型無人探査機
- 多彩な探査や研究用途に対応できるよう、各機器が脱着可能な構造
- 海底地形探査、多点柱状コアリング等、海底鉱物資源の調査に十分対応できる機能
- 成因の解明等、海洋鉱物資源に関する研究に活用できる機能

○ 技術的ポイント

- マルチビーム音響測深機等による海底地形の精密調査能力
- 機動性を伴った多点柱状コアリング機能および精密マップ化能力
- 探査水深により潜航方法を可変（マルチ化）にし、柔軟な運用、調査の迅速化、簡便化への対応
- 目的、用途により必要な各種機器が選択でき、これらが脱着可能な交換式ビークル方式の採用
- 多方向を同時観測できるビデオおよび照明装置、高分解能カメラの搭載
- 指定された航路を指定された方位を向いて自動的に航行できる機能
- 自動操縦とマニュアルオーバーライドの導入
- 海底設置トランスポンダと SSBL を利用した高精度位置決めの実現を目指す
- LBL による高精度位置決めの実現を目指す
- 海底に着底したときに姿勢が安定することの実現を目指す

○ システム仕様

最大潜航深度	7,000メートル
機体サイズ	全長 約3メートル × 全幅 約2メートル × 全高 約 2.3メートル
重量	約6トン

母船	「なつしま」「かいよう」「かいいい」
航行センサー	慣性航法装置、ドップラー速度計
作業装置	7自由度マニピュレータ × 2式（マニピュレータの先に取り付けたカメラとライトにより細かい作業ができる機能）、多点柱状コアリング装置
その他の機能	ビークル単体、ランチャー方式両方のマルチ対応

○ 作業性能

基本作業	海底地形の精密調査・マップ化、柱状多点コアリング機能（、海底画像自動調査）
潜航推力	下降/上昇推力： 640 キログラム重以上 前進/後進推力： 480 キログラム重以上 可能な限り指定速度で航行する
自動位置保持	高度： プラスマイナス0.5メートル以内 方位： プラスマイナス2度以内 指定速度走行
作業能力	
マニピュレータ	持上重： 100 キログラム重以上 手元： 250 キログラム重以上 保持力： 450 キログラム重以上
柱状コアリング機能	径 7センチメートル程度 × 深さ 50 センチメートル以上 × 数本
調査、研究用供給能力	
提供ペイロード重量	深度 7,000 メートル以上： 300 キログラム以上 深度 3,000 メートル以上： 400 キログラム以上
電源、油圧源	交流電源： 800 ワット × 100 ボルト 直流電源： 400 ワット × 24 ボルト 油圧源： 20 メガパスカル 40 リットル/分 以上 6ポート以上（専用スキッド搭載）
通信ポート	
高速ポート	1000BASE-T / 100BASE-TX / 10BASE-T × 3以上
中速ポート	USB2.0、IEEE1394 × 6系統以上
低速ポート	RS232C × 4系統、RS485 × 10 系統以上

海底資源研究、探査技術実証の

推進に必要な船舶について

探査技術実証のための海洋調査を加速するためには、調査を面的に行う必要がある。このため、これまで培われた最先端の探査技術を結集させ、1隻にて各種調査を総合的に行う能力を有する、世界で唯一の「海底資源研究・開発」のための船舶を整備する必要がある。本船は深海で作業する AUV 等とリアルタイムで通信し、海底の超精密探査(数センチメートルスケールのマッピング)を可能とし、今までにない精巧な海底資源の探索を行う。

○ 機能

- 海底の概査、海底下構造の調査を行うことができる
 - 高分解能のマルチビーム音響測深機
 - 反射法地震探査システム
- 先端技術を搭載した無人探査機を複数、同時に運用する等して、広範囲の海底を精密に調査することができる
 - 複数の巡航型 AUV
 - 作業型 AUV
 - 高機能 ROV
- 最先端の分析・解析装置により、取得したデータの解析と採取した試料の分析を、陸上研究機関と同様に船上で迅速に実施することができる
 - 船上高精度ラボシステム

