

フロンティア分野の現状分析と今後の対応方針に関する取り纏め

(案)

平成 21 年 5 月 11 日

フロンティア PT

1. 近年の情勢

宇宙、海洋等のフロンティア分野については、既に研究開発中心の時代から、その成果を産業の国際競争力の強化や利用の拡大を通じた国民生活の質の向上に展開する時代に移ってきている。また、海洋及び宇宙に対する知見を深めるための探査・探求活動は、その研究成果が国際的にも高く評価されており、国民の関心や期待が大きい。

第 3 期科学技術基本計画の制定後、フロンティア分野の研究開発をめぐる状況は大きく変化している。

海洋関係では、新たな海洋立国の実現を目指し、我が国の海洋関連施策を集中的かつ総合的に推進することを目的として、平成 19 年 4 月に「海洋基本法」が成立、7 月に施行され、平成 20 年 3 月に「海洋基本計画」が閣議決定された。さらに、メタンハイドレート及び海底熱水鉱床の実用化に向けた探査・技術開発等の具体的な計画を定めた「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」が策定され、平成 21 年 3 月、総合海洋政策本部会合にて了承された。

また、平成 19 年 5 月には、カーナビ等で利用が拡大した衛星測位と地理情報システムに係わる施策を総合的かつ計画的に推進することを目的として、「地理空間情報活用推進基本法」が成立、8 月に施行され、平成 20 年 4 月に「地理空間情報活用推進基本計画」が閣議決定された。

さらに、平成 20 年 5 月には宇宙の利用と産業の国際競争力強化等を理念とする「宇宙基本法」が成立、8 月に施行された。これを受け、平成 21 年 5 月には、「宇宙基本計画」が作成される予定である。

以下に、第 3 期科学技術基本計画策定後の個々の具体的な状況をまとめる。

(宇宙輸送系)

H-IIA ロケットは、平成 19 年度より民間への技術移転による衛星打上げ輸送サービスが行われており、これまでに 3 回の打ち上げに成功している。これにより、9 機連続成功を達成、全体で 15 機中 14 機の打ち上げに成功し、初期運用段階における世界水準を超える 93.3%の成功率を達成している。このように信頼性と実績を積み重ねたことも追い風となり、平成 21 年 1 月に、韓国の衛星の打ち上げ輸送サービスを受注した。

H-II B ロケット及び宇宙ステーション補給機 (HTV) は、スペースシャトル退役後の代替輸送手

段として、国際宇宙ステーションに対する船外機器・大型船内機器の物資補給能力を有することから、国際的にも高い期待が寄せられており、平成 21 年度の初号機打ち上げに向け引き続き開発を実施中である。

M-V ロケットについては、平成 18 年 9 月の 7 号機の打上げ成功をもって運用を終了したことから、固体ロケット技術の維持を図るため、調査研究を平成 19 年度より継続して実施している。

GX ロケットについては、平成 18 年度、宇宙開発委員会におけるプロジェクト中間評価の結果を踏まえて、総合科学技術会議において戦略重点科学技術（信頼性の高い宇宙輸送システム）の施策の一つに位置付けた。その後、平成 20 年 12 月の宇宙開発戦略本部決定により、LNG 推進系の技術的な見通しや所要経費の見積もりを含む全体システムの検討、安全保障ミッション等を含む中小型衛星の需要の見通しを踏まえ、平成 22 年度概算要求までに、本格的開発着手に関する判断を行うこととされている。

（衛星系）

平成 18 年 1 月に打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）は、災害状況把握、地図作成、植生分布把握、資源探査等、国内外において幅広い分野に活用されている。特に、国際災害チャータ、「センチネル・アジア（アジアの監視員）」プロジェクトに提供されるとともに、アマゾンの違法伐採監視に貢献するなど、科学技術外交への貢献度が高い。

平成 18 年 12 月に打ち上げられた技術試験衛星Ⅷ型「きく 8 号」（ETS-Ⅷ）では、通信系ミッション機器に一部不具合があったものの、東京都防災訓練、桜島火山爆発総合防災訓練など、各自治体が行う訓練の機会を活用した通信実験を行い、災害時の広域的な通信インフラとしての有効性・利便性を実証した。また、海洋研究開発機構（JAMSTEC）による利用実験において、ETS-Ⅷを用いた深海探査機の遠隔制御試験を行うなど、海洋技術との融合も進めている。

平成 20 年 2 月に打ち上げられた超高速インターネット衛星「きずな」（WINDS）については、日本放送協会（NHK）と連携した北京オリンピックハイビジョン映像伝送実験や、国内外の大学等との連携による遠隔教育実験、さらに四国地方非常通信訓練における自治体と連携した災害通信実験により成果を上げている。今後、デジタルデバイド解消や「センチネル・アジア」と連携した災害情報管理等に向けた技術実証実験を予定している。

平成 21 年 1 月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）については、衛星各部の初期機能確認を計画に従い実施した。搭載センサーにより観測データを順調に取得しており、平成 21 年 7 月からの定常観測運用に向けて初期校正検証作業を実施中である。さらに、「いぶき」の相乗りとして 7 つの小型副衛星が打ち上げられた。これらは、新規技術実証を行う小型実証衛星 1 型（SDS-1）の他、大学やこれまで宇宙開発を行ってこなかった民間企業等が開発したものであり、我が国の宇宙開発利用の裾野拡大に貢献するものである。

（有人活動）

平成 20 年 3 月に我が国初の有人宇宙施設である日本実験棟「きぼう」（JEM）の船内保管室が米

国スペースシャトルにより打ち上げられ、土井宇宙飛行士らにより国際宇宙ステーション（ISS）への取付けが行われた。また、平成 20 年 6 月には、星出宇宙飛行士らによる、ISS への「きぼう」船内実験室の取付け及び起動が行われた。平成 20 年 8 月には「きぼう」での初めての科学実験が行われ、現在まで、「きぼう」の運用・利用を通じて、我が国の有人宇宙活動技術の蓄積が着実に進められている。

平成 21 年 3 月以降、若田宇宙飛行士が日本人初の ISS 長期滞在を開始し、6 月には「きぼう」船外実験プラットフォームの打ち上げ、取付けが行われる予定である。その後も、ロシアのソユーズにより往還する野口宇宙飛行士および古川宇宙飛行士の ISS 長期滞在を通して、長期的な医学データ取得による知見の獲得や、「きぼう」の高真空・無重量実験や宇宙・地球環境の観測等を通じた新たな科学的発見、さらに、産業応用研究への道を拓く成果の獲得などが期待される。

（宇宙科学）

太陽系探査の分野では、小惑星探査機「はやぶさ」（MUSES-C）により行われた小惑星イトカワの観測結果が国際的に高く評価された。平成 17 年 11 月にイトカワから離陸後、幾多のトラブルに見舞われながらも、平成 22 年 6 月の地球帰還に向け運用が続けられている。平成 19 年 9 月に打ち上げられた月周回衛星「かぐや」（SELENE）は、世界で初めてハイビジョンカメラを用いた月の精細画像の撮影や月周回軌道上から「満地球の出」の撮影に成功する等、月に対する国民への関心を高めるとともに、国際的にも高い評価を得た。その後も、レーザ高度計観測データを用いた詳細な月の地形図作製や、4way ドップラー観測による月の裏側の重力場など、月の起源解明等に貢献する新しい知見が得られている。一方、月の内部構造の解明を目的とした LUNAR-A プロジェクトについては、宇宙開発委員会において中間評価を行った結果、計画の継続が困難である状況を踏まえて中止することとなった。なお、ペネトレータ技術の研究は引き続き継続し、国内外の月・惑星探査への活用を目指すこととなった。

天文観測の分野では、平成 17 年度に打上げられた X 線天文衛星「すざく」（ASTRO-E II）、赤外線天文衛星「あかり」（ASTRO-F）による観測が継続されるとともに、平成 18 年 9 月に打ち上げられた太陽観測衛星「ひので」（SOLAR-B）により、太陽の活動や磁場構造等に関する観測および解析結果等について、国際的に高い評価が得られている。

（深海掘削）

世界最高の科学掘削能力を持つ地球深部探査船「ちきゅう」は、平成 18 年から平成 19 年にかけて、青森県八戸沖、ケニア沖及び豪州沖で試験掘削を実施した後、平成 19 年 9 月より、地球内部構造、地殻内生物圏及び地球環境変動の解明を目的とした日米主導の統合国際深海掘削計画（IODP）の一環として、紀伊半島熊野灘沖で「南海トラフ地震発生帯掘削計画」における科学掘削を実施している。科学掘削の成果の一つとして、八戸沖の試験掘削で採取した海底堆積物等に、これまでの研究では、数が少ないと考えられてきた古細菌が海底下に大量かつ優占的に生息していることを世界で初めて明らかにし、英国科学雑誌「Nature」で大きく取り上げられた。また、

南海トラフでは、現在、5つの調査海域における掘削同時検層、6つの調査海域における試料採取を実施した結果、地震発生帯近傍における大まかな応力分布を把握するなど地震発生メカニズムの解明に有益なデータを取得するとともに、分岐断層の活動履歴等を記録した地層を世界で初めて掘削し、浅部試料採取に成功したことにより、断層破壊現象のメカニズム解明及び地震・津波予測情報の精度向上が期待されるなどの成果が得られている。さらに、運用技術面では、水深2000m超におけるライザー掘削技術の蓄積、強潮流下における船体の定点保持性能の確認、断層帯を始めとする複雑な地層における掘削等を実施し、多様な地質・海域条件での掘削技術を蓄積した。

なお、「ちきゅう」は、平成20年3月の中間検査時に判明した推進器の故障について、平成21年2月にその修理を完了し、平成21年5月より、紀伊半島熊野灘沖における科学掘削を再開する予定としている。

また、「ちきゅう」による世界最高の深海底ライザー掘削技術の開発については、石油業界における技術を取り入れながら、各種要素技術開発を進めており、現在、大深度用ドリルパイプの部分試作・試験や、強潮流対策用のライザーフェアリングの製作、掘削孔内地震モニタリングの実現に向けた検討等を進めている。

(深海探査)

「次世代型深海探査技術の開発」における、次世代型巡航探査機技術および大深度高機能無人探査機技術の開発は、海底資源の探査・開発や地震予知のための計測機器設置、海洋物理学や深海生物の実態解明等に大きく貢献することが期待されている。次世代型巡航探査機技術は、あらゆる海域で自在かつ長距離・長時間を航走できる巡航型の無人探査機を開発するため、「次世代動力システム」、「高精度位置検出装置」、「制御システム」等の要素技術開発を進めている。具体的には、燃料電池の新構造開発、位置検出装置の精度評価、マルチCPUシステムの試作・試験や制御系設計に資するデータ収集等を重点的に進めている。大深度高機能無人探査機は、資源採取等の重作業から海底機器保守等の精密作業までをこなせる無人探査機を開発するため、「高強度浮力システム」、「高強度ケーブル」、「光通信システム」等の要素技術開発を進めている。具体的には、低比重・高強度の微少なガラス球と樹脂の複合材の配合開発、新たな高強度軽量繊維の開発、光通信システムの設計等を重点的に進めている。これらの技術開発については、平成21年度以降、装置試作を開始する予定としている。

また、「海洋基本計画」では、資源小国の我が国が安定的な自らの資源供給源を持つため、海底熱水鉱床について、今後10年程度を目途に商業化を目指すとともに、コバルト・リッチ・クラストについて、今後、調査・開発のあり方を検討することとされた。この「海洋基本計画」に基づき、平成21年3月に経済産業省が関係府省連携の下「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」を策定し、メタンハイドレート及び海底熱水鉱床の実用化に向けた探査・技術開発等に係る道筋（ロードマップ）が示された。また、海洋鉱物資源の商業化を検討するためには、資源量を正確に把握することが不可欠であるが、現在、資源量の把握に必要な基盤技術は必ずしも十分に確立

されているとは言えないことから、科学技術・学術審議会海洋開発分科会の下に、「海洋資源の有効活用に向けた検討委員会」を設置し、海洋鉱物資源を広域かつ効率的に探査するために必要な技術開発の具体的内容等について、平成 21 年 4 月に中間とりまとめを行った。

一方、石油・天然ガスの探査については、平成 20 年 2 月、我が国初の三次元物理探査船「資源」を導入し、平成 20 年度から本格的に我が国周辺海域の探査を行っているところである。

(外洋上プラットフォーム)

外洋上プラットフォームについては、平成 19 年度より研究開発を開始し、平成 20 年度は多様な利用形態に適用可能な我が国排他的経済水域の約 7 割をカバーする水深 5,000m を対象とした外洋上プラットフォームの設計支援ツールとして、安全性・経済性・環境影響の適切なバランスを図る設計技術（調和設計法）の開発を実施した。これを適用してプラットフォームの試設計を行うための利活用に関する調査として、海洋データベースの構築、ニーズ・事業性の整理等を実施している。

さらに、利活用に関する調査として、分野毎のニーズ、経済性、技術課題等を整理して優先度の高い分野を検討し、プラットフォームの試設計に必要なデータベースの構築、設置海域の選定、海象条件の整理、概略仕様の策定等を実施している。

(海底地震・津波観測網の整備)

東海地震の海域には従来から、ケーブル式の海底地震計が敷設されていたが、平成 16 年度から、気象庁により、東海・東南海地震の想定震源域の一部（遠州灘から熊野灘近傍の海域まで）にケーブル式の地震計及び津波計を設置するプロジェクトが開始され、平成 20 年 7 月に設置が完了、同年 10 月からは地震活動の監視に活用されている。

また、平成 18 年度からは、JAMSTEC により、東南海地震の想定震源域の南西端に位置する熊野灘に、マルチセンサーを備えた稠密な海底ネットワークシステムを敷設するプロジェクトが進められており、21 年度中に海底ネットワークシステムの敷設が予定されている。

さらに、南海地震の想定震源域における、より広域の展開を可能とするシステムの高電圧化に関する研究開発や、海底ネットワークシステムの敷設も計画されている。

地震観測網の拡充や陸域の地殻岩石歪計や GPS など観測機器の性能向上などにより、プレート境界で発生する海溝型地震についてはスロースリップ現象の発見、アスペリティモデルの構築等、発生メカニズムがかなり詳しくわかってきた。

(海洋環境観測及び CO2 海洋貯留)

海底からの CO2 の湧出や海洋による CO2 吸収量を考慮した CO2 収支を算定し、地球温暖化現象に及ぼす影響を検出し、数年から数万年の時間スケールでの気候変動予測技術の研究が進められている。

また、地球温暖化防止を目的として、CO2 の深海底貯留に関する技術的課題の検討も進められ

ている。

(深海生物資源に関する調査研究)

地殻内微生物研究については、「ちきゅう」下北沖試験掘削コアサンプルからの新奇微生物の分離及び微生物多様性の解析等を行い、未知の地殻内微生物圏に関する多くの情報・知見が得られた。継続して、地殻内微生物圏に関する探索・調査を行い新たな知見を得るとともに、蓄積したデータが社会に有効に活用されるよう、データベース構築が進められている。

深海底等の極限環境生物の研究については、培養を介さず微生物生態系を把握するメタゲノム解析手法を用い、各地で採取された試料を対象に微生物多様性の解析を進められた。また、極限環境における圧力効果の特性に関する検証、極限環境下における生体膜流動性と細胞増殖との関連性についての検証等を実施し、極限環境における生物機能の解明が行なわれている。

2. 現状における課題や問題点と対応方針

フロンティア分野の研究開発は、そのリスクの大きさ、社会への波及効果の高さ等から、引き続き政府が関与して実施する必要性が高い分野であると認識されているが、前述のような情勢の中で、国としても、宇宙および海洋にかかわる総合的かつ一体的な施策の推進が図られるとともに、研究開発成果の積極的な社会還元がこれまで以上に求められている。

こうした状況を踏まえ、本分野に関して、重点的に検討すべき事項を議論した。

その結果、まず、フロンティア分野における研究開発成果の実用化の例として、最も国民生活に不可欠な存在となっている衛星の更なる利活用を促進するための技術上の課題について、ユーザーの視点からこれを取り上げることとした。

また、近年の資源高騰や資源ナショナリズムの台頭といった状況の中で、他国の資源政策に影響されない安定的な資源エネルギー供給源として注目を集める海洋エネルギー・鉱物資源の探査及び開発について、議論を行うこととした。なお、資源探査は衛星利活用の重要な用途の一つでもあることから、海洋地球観測探査システムの利用上の技術的な課題として、陸上資源探査・海洋資源探査を総合的に検討することとした。

さらに、平成21年1月の総合PTにおいて、研究開発を行う技術人材の育成について、各分野特有の問題点および具体的な対応方針を検討すべきとの方針が出されたことを踏まえ、人材の育成に関しても検討を行うこととした。

フロンティア分野において重点的に議論すべき事項

- 【1】ユーザーから見た衛星利活用にあたっての技術課題
- 【2】資源開発の観点から見た海洋地球観測探査システムの技術課題
- 【3】技術人材の育成の観点（フロンティア分野特有の事項）

以下、現状における課題や問題点、および、対応方針について、それぞれ以下の検討事項毎に整理する。

- 宇宙領域（人工衛星の開発・利用）
- 海洋領域（海洋のエネルギー・鉱物資源開発）
- 技術人材育成

<宇宙領域（人工衛星の開発・利用）>

1) 現状における課題や問題点

社団法人日本航空宇宙工業会の集計によれば、宇宙機器産業および宇宙利用サービス産業（衛星通信、リモートセンシングデータの提供、測位サービス等）に宇宙関連の民生機器産業（カーナビ、BSチューナー等）を加えた、我が国における宇宙関連ビジネスの総額は6兆円規模であり、宇宙利用先進国であるとされている。しなしながら、これらのビジネスに用いられている測位衛星や地球観測衛星の保有・運用は、海外の政府・企業にほぼ依存している。また、国内企業による唯一の衛星保有の事例である通信放送サービスに関しても、衛星の殆どが米国製である。日本は宇宙利用という意味では先進国であるものの、衛星の運用、商業衛星の製造という面では、欧米の後塵を拝している。

この原因としては、我が国の衛星開発が、これまで技術試験衛星などの先端技術開発や技術実証に重点を置いてきたことや、国際競争入札による海外企業との競合等があげられている。

一方で近年、技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」をベースとした国産標準衛星バス「DS2000」を採用した国内企業が、国際競争入札で国内の商業通信衛星「スーパーバード7」及びシンガポールと台湾の事業者が共同調達する次期通信衛星「ST-2」を受注している。また、機器レベルでは地球センサーや太陽電池パドル等、技術試験衛星等における開発実績を踏まえ、海外から受注を得ている例が多々あり、産業界と連携し、先端技術開発を国際競争力強化に結び付けることが重要である。

以下に、人工衛星の利活用、研究開発等をめぐる状況について記す。

(1) 通信・放送衛星

(利活用の動向)

通信・放送衛星については、日常生活に定着しており、最もサービスの展開が進んでいる宇宙産業の一つである。今後も、車や携帯電話などの移動体向けサービスの拡大や、山間部や島嶼部などにおけるデジタルデバイド解消、さらには大規模地震等が発生した際の地上回線の補完等、安全・安心な社会の実現に向けて、利活用が拡大するものと考えられる。

通信・放送衛星の殆どは、赤道上の静止軌道で運用されている。現在、当該静止軌道上には約240機の通信・放送衛星が配置され、各国の政府・通信事業者が保有・運用を行っているが、静止軌道上の位置と周波数については諸外国との調整が必要であり、安全保障上の理由や衛星を活用した通信需要の増大等を背景として、その確保は国家の重要な権益となっている。

海外では、防衛機関（国防総省、軍など）による民間通信衛星の利用拡大や、政府に代わって民間が衛星等を整備し政府へのサービスを提供する方式（PFI）、さらに公的機関の安定的な衛星調達による衛星製造産業支援等により、商業化促進が行われている。

なお、1990年代の終わりに、海外の事業者によって、周回型低軌道衛星群を用いた世界規模の衛星電話サービスが事業化されている。その他、ロシアでは、高緯度地域という地理的条件により、モルニヤ軌道の通信衛星を用いる例もある。

(国内外における研究開発の動向)

海外では、軍事通信衛星の開発等を通じて、先進通信技術の開発が行われている。

一方、我が国では、将来の通信性能を飛躍的に向上させるための技術として、「きく8号」による大型展開アンテナや、「きずな」の高出力アンプ等、世界的にみても最先端の技術が実証されつつある。さらに、今後、標準バスの更なる高効率・軽量化や大電力化等にむけた継続的な研究開発が行われる予定である。

ただし、このような国で開発される研究開発衛星については、機能・性能の面で優れているものの、信頼性・コストの面で実用衛星との間に乖離がある。このため、産業界からは、アンカーテナンシーとして国が先端技術や標準バスを優先的かつ継続的に使用し、軌道上実績を増やすことで、信頼性・コストの改善を図って欲しいとの期待がある。

(2) 測位衛星

(利活用の動向)

代表的な測位衛星システムである、米国のGPS(Global Positioning System。24機でシステムを構成。2008年1月現在、30機で運用中。)は、元々は米国防総省が軍事利用を目的に整備されたものであるが、「SA(Selective Availability)」の解除や、同システムを広く公共の用に供するとの米政府方針の明確化等により、世界中で広く民間利用に供されている。カーナビゲーションシステムをはじめ、近年ではGPS受信機能を持つ携帯電話端末を用いたパーソナルナビゲーションが普及している他、測量、鉱山開発、災害対応、さらには高齢者や子供の見守りシステムなど、測位衛星システム単独或いは地上系システムとの併用といった形で幅広く活用されている。

さらに、今後は、機械を用いたIT農業・IT林業や、ITSと連携したモビリティサービスの実現、個人活動支援等といった新たな利活用が期待されている。

GPSによる測位精度を補強するための方式としては、①他の衛星システムとの併用、②地上システムとの併用、③IMU(慣性計測装置)等の他センサーとの併用などがあり、①については、補強信号を我が国の運輸多目的衛星(MTSAT、気象衛星「ひまわり」)等の静止衛星経由で航空機に対して配信するシステムが運用されている。また、②については、我が国の特徴として、他国と比較して高密度な電子基準点の配備があり、通常の測量に加えて、全国約1200ヶ所に設置された電子基準点におけるデータを用いて民間事業者が補正情報等を作成し、携帯電話の通信エリア内の観測点において即時的に数センチメートルの精度で位置を測定するサービスも実用化されている。さらに、陸上で正確な位置が分かっている参照点における観測データから補正情報を生成し携帯電話や無線端末等へ送信するシステム(DGPS等)も運用されてお

り、センチメートル単位での正確な測位が可能となっている。

(衛星測位システムの国際的な動向)

米国は、既存の GPS システムの近代化に向けて、衛星の更新を計画的に進めている。現行システムにおいて一般に公開されている衛星からの信号は L1、L2 信号のみであるが、将来的には、新たな一般利用向け周波数帯である L5 帯を追加し、測位信号を配信する機能を搭載した新しいシリーズが打ち上げられる予定であり、電離層遅延の補正向上による測位精度の改善や、受信可能環境の改善等が期待されている。

一方、ロシアは 1980 年代から GPS と類似のシステムである GLONASS 計画を進め、1996 年にはプロトタイプ衛星 24 機を配備したものの、その後は十分な更新がなされず運用機数も減っていた(2009 年 2 月時点では 19 機)が、2010 年までの 24 機フルオペレーション体制復活を目指して、衛星の打ち上げを進めている。なお、GLONASS から発信される信号の一部も、GPS と同様、民生利用が可能であり、GLONASS 対応の測位チップが開発され、利用されている。また既に、GPS、GLONASS の双方に対応可能な測量機器も実用化、普及しており、二つの異なる衛星システムを同時に組み合わせることで、衛星の幾何学的配置による測量時間帯の制約を小さくすることが可能である。

また、欧州は独自の測位システムとして、3 つの軌道面に 30 個の衛星群を配置する GALILEO 計画を推進している。当初の予定では、官民共同プロジェクトとしてインフラ整備を進める計画であったが、民間サイドからの資金拠出に係る調整が不調に終わったため、2007 年には官民共同開発をあきらめ、EU が追加投資を行う事で、2013 年のフルオペレーション体制構築を目指している。GALILEO においては、課金形式の有償サービスとエンドユーザー無償のオープンサービスが計画されている。

さらに、中国やインドなどにも独自の衛星ナビゲーションシステムの開発の動きがある。

なお、米国 (GPS)、ロシア (GLONASS)、欧州 (GALILEO)、中国 (COMPASS)、インドおよび我が国等の間で、各システム間の相互運用性や共存性に係る検討について協議が行われている。GALILEO についても、GPS、GLONASS と同様、我が国における利用が可能となる見通しであり、これらに対応したアンテナや受信機を使用することにより、衛星数の増加によるアベイラビリティの大幅な向上が期待される。また、現在の携帯電話端末には GPS 対応のチップしか搭載されていないが、今後、チップの小型化、省電力化や、複数の測位システム対応のチップ開発が進めば、携帯電話端末等においても複数の衛星測位システムの利用が可能となり、一層の利用拡大が進むと見られる。

(我が国の準天頂衛星プロジェクト)

我が国では、GPS 衛星を補完・補強する準天頂衛星システムの研究開発が進められている。山陰、ビル陰等の影響で、測位に最低限必要な GPS 衛星 4 機の視通を確保できないエリアにおけるアベイラビリティの改善に貢献する他、電離層遅延情報等の測位補正情報、インテグリティ

ィ（完全性・整合性）情報等の配信による測位精度と信頼性の向上が期待される。「地理空間情報活用推進基本計画」及び本年度策定される予定の「宇宙基本計画」に基づき、測位衛星システムの中核となる準天頂衛星について、技術実証・利用実証を行いつつ、システム実証に向けた施策を進めるとともに、官民が協力してパーソナルナビゲーション等の地上システムとも連携した新しい利用を促進する必要がある。

（他の測位技術の動向）

現行のカーナビゲーションシステムでは、現在位置を地図上にマッピングする技術との組み合わせにより、経路案内等に必要な位置精度を確保しているが、自動車等の高速移動体に対して補正信号等を高頻度で送信することにより、より高い精度での測位を実現しようとする取組もなされている。なお、トンネル内を通過する際など、衛星からの測位信号が利用できない場所における問題点を解決するため、IMU（慣性計測装置）等を組み合わせた複合方式の研究開発も進められている。

上記の測位技術は全て、衛星からの測位信号をベースとして活用するものであるが、衛星からの信号が届かない地下街や商業施設内での測位技術に関する研究も進められている。我が国においては、屋内に GPS 信号と互換性のある信号を送信する機器を設置する IMES（Indoor Messaging System）方式、位置情報を発信する電子タグを配備し、その電波を受信する電子タグ方式、無線 LAN の各アクセスポイントからの電波強度等を利用して位置情報を計算する方式等がある。それぞれインフラの整備や対応するユーザー端末の更新等の課題があるが、無線 LAN 方式は既存のインフラが活用できるという利点を活かして都心部において普及が進みつつある。こうした屋内での測位技術等が実用化され、普及すれば、屋内・屋外でのシームレスな測位が可能となり、地理空間情報の利活用範囲を飛躍的に高めるものとして期待されている。

（3）地球観測衛星

（利活用の動向）

従来、地球観測衛星の活用は軍事・セキュリティ分野による利活用と、一部の研究開発における利用が殆どであったが、諸外国では近年の衛星のデュアルユース化の進展や、長年にわたる観測データの蓄積、衛星データの利活用技術の高度化等を背景として、地図作成、資源調査、災害状況把握、自然環境監視等に利活用の範囲が広がりつつある。

特に、光学衛星に関しては、近年、諸外国において、一般商業利用衛星においても高解像度化が進んでいる。最近打ち上げられた衛星ではパンクロマチック画像の解像度が 50cm 以下を実現したものもあり、定常的な広域観測等の分野での利用価値が高まっている。

また、地球観測センサーのハイパースペクトル化による高波長分解能データに対しては、観測対象物の識別能力が向上するため、資源開発における鉱物の識別や継続的な環境監視など、様々な用途が想定され、関係ユーザーの期待も高い。

一方、合成開口レーダー（SAR）衛星については、夜間や雲が存在していても撮像可能とい

った特色や差分干渉処理による地表変動の検出機能を活かしつつ、商業利用や災害情報把握・国土管理・資源管理等の行政利用に向けて、データ利活用のためのアプリケーション開発が官民で進められている。

(地球観測衛星の打ち上げ等をめぐる海外の動向)

アメリカ国立航空宇宙局(NASA)等が打ち上げているLANDSATは、複数の波長における光学観測により、地球環境を観測することを目的としている。1972年以降、これまで7機が打ち上げられ(6号機は打上げ失敗)、その画像は膨大なアーカイブとして管理され、農業や都市計画、安全保障分野等に広く活用されている。また、フランス国立宇宙研究センター(CNES)等が開発している光学衛星SPOTについても、これまでに5機継続して打ち上げられている。光学衛星の画像に関しては、晴天下で撮影環境の良い画像の利用価値が高く、これらの衛星による膨大な撮影データは、関係者にとって貴重なアーカイブとして利用されている。

一方、SAR衛星の分野では、ドイツやイタリアのXバンドSARや、カナダのCバンドSARなど、それぞれの特徴を活かした開発が行われている。ドイツのように高い分解能を追求する国がある一方で、広い観測領域や差分干渉SARを追及するなど、利用目的に照らした開発が行われている。なお、ドイツ、カナダ等では、複数衛星群による観測頻度の向上を図る動きがある。

なお、こうした海外における衛星の開発、製造、打ち上げに関しては、技術進展による民生市場拡大の展望と、軍事費における衛星コスト負担の軽減等を背景として、近年、PFI方式や、政府によるプロダクト購入保証などの政策が進められている。

(我が国における開発動向および利活用の体制)

我が国では、地球資源衛星1号「ふよう」(JERS-1)、地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」(ADEOS)、環境観測技術衛星「みどりII」(ADEOS-II)と、継続して地球観測衛星の開発に取り組んできたところであり、平成18年1月に打ち上げられた「だいち」には、これまでの開発成果の集大成とも言うべき三つのセンサー(高空間分解能光学センサー、可視近赤外光学センサー、LバンドSAR)が搭載され、地図作成、資源探査、森林監視、災害監視、流水の探知による航行の安全等、幅広い利活用の拡大が図られている。特にLバンドSARの技術は、世界的にも先端を走っており、Lバンドは樹木などの植生の透過性が高いため、樹木が多い日本のような地域では、地殻変動をとらえるのに必要不可欠である。

一方、センサー単体の開発としては、NASAの衛星に搭載され打ち上げられた、高性能光学センサー「ASTER」(可視近赤外、短波長赤外、熱赤外のマルチスペクトルセンサー)は既に10年目の運用に入っており、新規油田・ガス田の開発や鉱区取得など、資源開発面等で貢献している。

また、近年では、「だいち」の後継衛星や、高分解能光学センサーを搭載した小型地球観測衛星の計画も進められている。

このように、研究開発の分野では、国際的にみても先端的な技術開発を進めている我が国で

はあるが、民間による商業利用サービスという面では、海外の衛星画像の輸入販売代理店として、海外衛星画像の販売及び付加価値サービスの提供が中心となっているのが現状である。ちなみに、地球観測ビジネスの将来性に着目し日本独自の商業衛星保有を検討する動きもあるが、国内のマーケット自体が現時点では年間 100 億円程度（推計）と、衛星の製造、打ち上げ費に比して小さい事、及び海外市場へのマーケティングの経験が無いことから、今すぐ民間独自で国産衛星の保有を行うことは難しい状況にある。

国が開発する地球観測衛星に対し、ユーザーの中には、個別衛星毎にデータ形態が異なることや、観測の継続性が担保されていない等の問題点を指摘する声もある。例えば、資源開発分野では、近年、環境評価・モニタリングの観点から、最新情報のみならず過去の時点からの経時変化を見る必要があり、データの継続性を重視し、継続的な運用によるデータ蓄積に対する要望が強い。

また、衛星観測データの取り扱いには専門的な知識が必要であり、一般ユーザーへの利用が広がっていない、利用ユーザーのニーズが必ずしも次号機仕様に反映されていない等の課題を指摘する意見もある。

（４）気象衛星その他の環境観測衛星

（気象衛星）

気象衛星による観測画像は、貴重な気象情報として日々の生活に浸透しており、気象衛星はカーナビと並び、国民生活に最も身近な宇宙利用分野の一つとなっている。

世界各国が静止気象衛星を配備しているが、これらの衛星は可視・赤外線の走査観測を行い、一定時間毎に画像データを取得している。静止軌道からの観測であるため、画像データの分解能はそれほど高くないものの、地球の 1/3 という広い範囲の観測が常時可能であるため、台風や低気圧、前線などの把握に不可欠なものとなっている。

現在、我が国が運用中の気象衛星は、平成 17 年 2 月に打ち上げられた「ひまわり 6 号」及び、平成 18 年 2 月に打ち上げられた「ひまわり 7 号」であり、これらは気象衛星の機能に航空管制機能を追加し運輸多目的衛星（MTSAT）として国際調達が行われた。なお、「ひまわり 7 号」は国産衛星であり、国産標準バスが活用されている。

平成 21 年度からは次期気象衛星の製造に着手する予定であり、防災機能の強化のみならず地球環境観測機能の向上のために、観測カメラの長寿命化や、解像度の向上、観測頻度及びチャンネル数の増加が図られる方針である。また、経費節減や効率化のため、衛星の管制を民間事業者へ委託する PFI 方式の導入も検討されている。

なお、日本の気象衛星は、世界気象機関「WMO」等が策定した世界気象監視計画の一環として位置付けられており、同計画は世界の 6 機の静止気象衛星と数個の極軌道気象衛星による観測網で構成される。本計画には、日本のみならず、アメリカ、ロシア、欧州、中国、インドが参加しており、「ひまわり」によって得られた気象情報は、日本国内のみならず、東アジア・太平洋地域の各国に提供されている。

(その他の環境観測衛星)

気象情報の取得に特化した静止衛星である気象衛星の他にも、様々な目的に特化した環境観測衛星が打ち上げられている。米国、欧州、日本等の各国が協力して、水循環、海面温度等の観測を実施しており、これらのデータは流水観測や海上風・海流の観測などによる船のウェザールーティング等の実利用にも活用されている。さらに、最近では集中豪雨や局地的大雨の観測や航空機の着陸判断等への活用が検討されるなど、環境観測衛星の利活用の幅は今後拡大する可能性がある。

代表的な極軌道の環境観測衛星として、NASA では「Aqua」、「Aura」等の複数の地球観測衛星を同一の軌道に配置し編隊飛行を行う事で、これらの衛星に搭載された様々な観測機器から、地球の気象と気候についての包括的な情報を取得している。なお、我が国が開発し、NASA の熱帯降雨観測衛星「TRMM」に搭載された降雨レーダー（PR）は、台風内部での降雨の強さを立体的な分布として示すなど、今までに世界で類を見ない新しい種類のデータとして世界的に注目を浴びており、降水に関する様々な新しい知見をもたらし、打上げ後 11 年を経た現在でも観測を継続中である。また、同じく我が国が開発し、NASA の地球観測衛星「Aqua」に搭載された改良型高性能マイクロ波放射計（AMSR-E）によって、地球の水・エネルギー循環の把握が継続して行われており、そのデータは気象予報精度の向上等にも役立っている。

NASA と CNES の共同プロジェクトによって、1992 年から続けられている衛星海面高度計（TOPEX/POSEIDON および Jason-1、Jason-2）による海面高度の観測は、地球温暖化に伴うと思われる平均海面高度の上昇を正確に観測し続けているほか、海面の流速変動に関する極めて重要な情報を提供して、海洋物理学の研究を塗り替えつつある。また、アメリカ大気海洋庁（NOAA）が運用する極軌道気象衛星では、大気、海洋、陸地表面の温度等の取得を行っている。

一方、欧州は全地球的環境・安全保障監視（GMES：現コペルニクス）ネットワークの基盤整備を計画しており、レーダー衛星等による災害監視のほか、極地域の大気流体力学やオゾン消滅のデータ取得を行う予定としている。

我が国が平成 21 年 1 月に打ち上げた「いぶき」は、二酸化炭素及びメタンの全球の濃度分布の観測を行うものであり、地球温暖化状況の把握のため世界中から注目を集めている。また、降水量、水蒸気量や雲、エアロゾルの観測等を行う地球環境変動観測ミッション「GCOM」や、米国・欧州の衛星に搭載される予定の、PR の発展型である二周波降水レーダーや、雲プロファイリングレーダのセンサー等の開発が進行中である。

このように、日本の衛星開発は技術開発という面では大きな成果をあげてきているものの、その利用という面に限ってみれば、大きく外国に依存しており、今後引き続き技術開発力を高めつつ、平成 21 年 5 月に作成される予定の「宇宙基本計画」に従って、宇宙の利用を重視する政策に転換していくべきである。

2) 対応方針

(1) 衛星システム開発全般

① 実利用に向けた研究開発と、利用のプライオリティの明確化

- 国が開発する研究開発衛星は、ユーザーニーズに対応しながら高機能化・高性能化を図り、利用実験を通じて新たな利活用の創出、定着を図る多目的の利用実証を行うという側面を持っている。一方で、研究開発衛星と実利用衛星の間を埋める対策も必要であり、実利用化を見通した低コスト化・高信頼性化を図る努力が必要である。そのためには、短期的および中長期的な開発時期を明確化し、機器の国産開発・海外調達の違いも含めた長期ビジョンの策定に向け、開発側のみならずユーザーも含めて検討を行なう必要がある。
- 中長期的に見れば、利活用を促進し、環境分野など日本が世界に貢献できる分野において積極的な国際展開を図るためにも、設計段階から利用に係るプライオリティを明確化したうえで、センサーや通信の性能を最大限発揮できる衛星システム設計を行う事も重要であり、また、表面上のスペックよりも利用者の使いやすさを考慮した衛星開発が求められる。

② 共通バスの継続的利用

- 同一のバスを極力継続的に利用し、軌道上での実績を増やすことが、信頼性の向上・コストの改善につながる。そのためには、今後の小型衛星開発計画も踏まえつつ、ユーザーニーズに即した、長期間にわたって使い続けられるような衛星共通バスを開発するとともに、世界技術トレンドへの対応のため、定期的な開発による性能向上およびバージョンアップが必要である。
- 市場の変化を捉え、迅速に新しいサービスを提供するという観点から、小型衛星のバスをストックしておき、ニーズに合わせてミッションを変更するなど、即応性の高い衛星の開発手法も必要である。

③ 技術開発の継続性

- 海外では、LANDSAT（米）、SPOT（仏）などのように、センサー性能の改良を繰り返しつつ、ユーザーに継続的な地球観測環境を、いわば宇宙観測インフラとして提供しており、我が国の衛星開発の方針検討に当たっては、こうした点にも配慮すべきである。
- 国による衛星計画においては、データ形態の一貫性や観測の継続性を持たせた長期的データ提供を担保することで、利用ユーザーの定着を図る必要がある。さらに、利用ユーザーのニーズを次号機の仕様に反映させ、利用と開発のサイクルを繰り返す体制を構築する必要がある。

④ 軌道上における運用形態の柔軟性の向上

- 大型の静止衛星は一般に運用期間が長く、マーケットのニーズ変化に対応するため、運用途中に通信カバーエリアの変更等を可能とする機能など、運用形態の柔軟性を増す技術の開発が期待される。
- 国が実施した研究開発成果の民間移転促進の観点から、公共サービスへの民間参入のため、PPP 事業の推進等を図る必要がある。

⑤ 民生部品、新規開発機器の軌道上実証

- 国際競争力の確保、及び信頼性向上のため、SDS や SERVIS 等の軌道上実証衛星の定期的な打上げや、「きぼう」日本実験棟の利用等により、民生部品や新規開発機器の軌道上実証機会の確保を促進しその成果を普及する必要がある。
- 衛星開発の自立性を確保するために、引き続き、戦略部品の国産化を図るべきである。また、低コスト化を図るために、ミッションに対応して部品レベルを選択する等、部品プログラムの柔軟な適用を取り入れるべきである。

⑥ 国家インフラを構築する基幹要素としての整備

- 衛星を利用した地球観測や、測位、地上のアーカイブ・利用センター等は、「国や人、モノの姿を知る」ための国家インフラとして捉えるべきである。情報の国有財産としてのデータアーカイブやデータ中継衛星等についても、国家インフラを構成する基幹要素との認識にたつて、国家戦略に基づき整備を行なう必要がある。

(2) センサー開発

① SAR 及び光学センサー

- 昼夜、天候を問わず撮影が可能な SAR 衛星については、欧州で増えてきた X バンド（波長約 3cm）、欧州やカナダが使用する C バンド（波長 5.6cm）や、我が国がこれまで得意としてきている L バンド（波長約 24cm。解像度は劣るものの、樹木などの植生の透過性が良く差分干渉処理の精度が高い事から、森林帯での地殻変動観測に適し、熱帯林や北方林の森林減少や劣化箇所の特定等にも適している。）の他にも、様々な周波数帯がある。今後も、利用目的に係るプライオリティを明確化したうえで、海外との相互補完も考慮しつつ、戦略的に周波数を選択していくことが必要である。
- 光学センサーについては、広範囲を一度に撮像できるという衛星ならではの長をより活かしつつ、その利用価値を高めるため、解像度の向上を図る必要がある。なお、開発と並行して、衛星画像データの利用、配付に係るセキュリティについても、体制面・技術面双方の観点から検討を行う必要がある。
- 衛星からの観測対象物の識別能力向上は、衛星利活用の可能性を飛躍的に高めると考えられる。空間分解能、バンド数（スペクトル分解能）、観測幅、S/N 比のバランスを考慮し

た、可視近赤外領域から短波長赤外領域にわたり観測が可能なスペクトルセンサー開発が期待される。

② その他の観測センサー

- 現在開発されている地球観測センサーに加えて、地球環境変化のモニタリングや予測、および気象観測等の分野において、マイクロ波放射計、マイクロ波散乱計、レーダー海面高度計等、様々なセンサーに対するニーズがあり、これらの計画的な研究開発を進める必要がある。

(3) 衛星からのデータ送信技術

① 観測データのリアルタイム性の確保と大容量データ伝送技術の確立

- 衛星観測データの用途によっては、観測後、迅速なデータ提供が重要となる場合があり、そうしたケースではリアルタイム性の確保が重要である。
- 観測センサーのデータは今後益々大容量化すると考えられるため、データ中継衛星の後継機や地上ネットワークを含め、ダウンリンク回線で衛星運用・データ提供等に制約が生じないような対処が必要である。

(4) 運用体制

① 地球観測衛星の最適配置と国際協調も含めた時間分解能の向上

- ダウンリンク通信能力や地上局配備などの制約の下、解像度と撮像範囲はトレードオフの関係にあり、センサー種類の選択や小型衛星の利用も含めて、目的に応じて組み合わせを最適化する必要がある。
- 利用ユーザーによっては、再撮影頻度の向上を強く求める声もあり、国内衛星も海外衛星も関係なく自らのニーズに合わせて使用する。そのため国は、我が国が打上げる衛星と海外衛星の軌道上配置のバランスについても考慮するとともに、データの送信方式、データフォーマットの世界標準化等の技術課題などを検討する必要がある。

② 画像処理技術の向上および情報蓄積基盤とデータハンドリングシステムの整備

- 観測センサーのデータを、ユーザーが必要とする時にすぐに利用できるようなデータアーカイブを、ニーズの高いデータを優先しつつ早急に構築し、ユーザーに提供すべきである。その際、既存のアーカイブをグリッドで双方向に結合した水平分散型のネットワークの構築についても考慮しつつ、国や市町村から民間事業者に至るまで、また、環境、エネルギー、安全・安心等、使用者のニーズに適合したフレンドリーな形で情報を提供するメカニズムを構築する必要がある。

- 地球観測衛星データの付加価値を高める画像処理技術の向上や、アプリケーションの開発、データ同化手法の開発等が必要である。
- 衛星画像、標高データなどを、地理情報システム上で他の観測データや社会経済情報等と重ね合わせるにより、新しい価値の創出が期待される。ただし、その際、リモセン画像、環境計測データ、気象画像等、関連する情報が多岐に及ぶことから、重ね合わせる範囲に対するコスト対効果の評価をする必要がある。段階的な対象の拡大や、データ標準化等規格整備の促進など、開発計画を具体化することが望まれる。
- 現在、国家基幹技術として進めているデータ統合・解析システムについては、他のデータアーカイブシステムとの連携を図りつつ、適切なセキュリティを確保した上で、ユーザーニーズの多様化に対応し新たな価値創出を誘導するよう、整備を加速する必要がある。
- 迅速に観測データを入手できる仕組み、さらには解析ツール、アプリケーションのオープンソース化により、高次処理を手軽に行うための整備が必要である。

(5) 衛星測位と地上技術との融合

① 既存の地上設備等を活用した衛星利用技術の補強

- 衛星のみではなく、陸上の電子基準点等、既存の設備・技術を併用し、衛星測位の精度向上、補強する技術の開発が行われている。また、今後の電子基準点の整備・更新にあたっては、GPS 以外の測位衛星の信号を受信する機能の追加及びそれらを組み合わせた利用を検討するなど、より衛星測位と地上技術の融合を推進するべきである。
- 高速移動体向けに、衛星測位と IMU（慣性計測装置）の複合測位方式の開発が進められており、国民生活における利便性の向上のため、着実に進める必要がある。

<海洋領域（海洋のエネルギー・鉱物資源開発）>

1) 現状における課題や問題点

2007年の貿易統計によると、日本の輸入総額は約73兆円であり、そのうち約32%が炭化水素系燃料（石油、石炭、天然ガス等）及び鉄鉱石、非鉄金属鉱で占められている。中国、インド等の著しい経済成長を背景とした近年の資源高騰や資源ナショナリズムの台頭といった状況に鑑みれば、今後、海外への支払い額はさらに増えていく見込みであり、また、レアメタルの供給不安も懸念されている。

以前より、我が国の大水深海域においては、石炭層を根源岩とする在来型資源の存在の可能性が指摘されており、三次元物理探査船「資源」による探査が始まったところである。一方、非在来型の資源であるメタンハイドレートや海底熱水鉱床、コバルト・リッチ・クラスト等の鉱物資源といった新たな資源の存在も明らかになってきており、注目を集めている。

なお、海外においては、従来なかなか難しいと考えられてきた深海資源探査開発の事業化に、速いスピードで取り組もうとの動きがあり、経済性や環境保護への対応など課題も残されているが、深海資源の商業開発実現に一步近づいている。

このような状況の中、世界第6位の広さであると言われる排他的経済水域を有する我が国においても、平成20年3月に制定された「海洋基本計画」において、海洋資源開発に係る今後の基本的な方針が明確にされ、メタンハイドレート及び海底熱水鉱床については、今後10年を目途に商業的な採掘、採取を実現するという目標が出されている。また、さらに、メタンハイドレートや海底熱水鉱床等、海洋エネルギー・鉱物資源分野については、「海洋基本計画」を踏まえ、探査・技術開発等の具体的な計画を定めた「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」が策定され、平成21年3月、総合海洋政策本部会合にて了承された。これらの海洋資源は、エネルギー・鉱物資源のほとんどを海外に依存する我が国にとって貴重な国内資源として期待されているが、現時点では、周辺海域における賦存状況や賦存量が明らかになっておらず、深海からの採掘技術も未確立である。また、資源採取に当たり、海底の生物の生息環境等に重大な影響を与えるおそれもある。

このため、海洋エネルギー・鉱物資源を広域かつ効率的に探査するために必要な技術開発を推進するとともに、環境に与える影響を事前に評価し、影響をできる限り軽減する技術も含め、将来の商業化に向けた賦存量調査や、採掘技術等の技術開発プログラムを策定し、その達成に向けた国、研究機関、民間企業等の連携体制を構築することにより、着実な進展を図ることが課題となっている。

① 大水深海域における在来型資源の探査・開発

大水深海域（水深1000m～3000m）における石油・天然ガスといった在来型資源の探査・開発は、世界各国の資源確保戦略上、重要な課題となると同時に、海洋技術開発、さらに地球科学そのも

におけるフロンティアでもある。現在、諸外国における最先端掘削技術は、水深 3000m でのライザー掘削及び大水深にて海底下 5000m 以上の掘削が可能となっており、これは我が国の「ちきゅう」の能力に比肩するものである。なお、「ちきゅう」については、国家基幹技術として、水深 4000m でのライザー掘削を目指し、研究開発を推進している。今後、「ちきゅう」の技術を大水深の科学掘削と同時に、資源探査および資源科学に関する研究にも活用して行くことが重要である。

② メタンハイドレート

メタンハイドレートは、海底や極地に存在する、メタンガスと水が低温・高圧の状態では結晶化した「氷状の物質」である。石油や石炭に比べ燃焼時の二酸化炭素排出量がおよそ半分であるため、地球温暖化対策としても有効で、石油資源に換わるエネルギー源として期待されている。反面、メタンガスは、二酸化炭素の 20 倍の温室効果があるとされている。日本近海は世界最大のメタンハイドレート埋蔵量を誇ると言われ、東部南海トラフ海域を対象とした調査の結果によれば、同海域における原始資源量は 11.415 億立方メートル(日本の天然ガス消費量の約 14 年分)であるとされている。

注：原始資源量とは、地下に集積が期待される資源の総量で、可採埋蔵量ではない

メタンハイドレートは、上述のとおり、南海トラフ海域等に相当量の賦存が見込まれており、商業生産が可能となった場合には、将来のエネルギー安全保障上重要かつ有望な国産エネルギーとなりうる。一方、地中に固体で存在するメタンハイドレートは、石油・天然ガスとは異なり、井戸を掘っても自噴しないという採取上の難しさがある。

平成 13 年以降、国による技術開発が継続され、平成 18 年度～20 年度にカナダ北部において実施された陸上産出試験では、6 日間という短い期間ではあるものの、減圧法（坑井内の圧力を下げることにより、メタンハイドレートを分解させ、メタンガスを回収する方法）によるメタンハイドレートの産出に成果を得ている。

今後は、賦存状況の把握のための調査とともに、より長期にわたり安定的な生産量を確保するための陸上産出試験や、周辺海域での産出試験、生産に要するエネルギーを低減しエネルギー収支を改善するための対策、総合的な経済性の評価、生産に伴う環境影響評価技術の確立等、将来の商業生産に必要な技術開発等が課題である。

また、海洋坑井の試錘にあたっては、海洋油井掘削装置（リグ）または掘削船を備船する必要があり、国内の研究機関等が保有する研究船等の活用も積極的に検討することで、効率的かつ機動的な技術開発を実施する必要がある。

③ 海底熱水鉱床

深海金属資源の中で、現在開発の可能性が高いと考えられているのが、海底熱水鉱床である。海底熱水鉱床は、水深 750～4000m の海嶺や縁海、背弧海盆の海底拡大軸など、マグマ活動のあ

る場所で、マグマや地殻に含まれていた金属が溶け込んだ熱水が噴出し、海水中で冷却され海底に沈殿して生成された鉱床であり、チムニー（煙突状の形状）やマウンドを形成している。黒鉱型といわれている熱水鉱床は金、銀、銅、亜鉛、鉛の含有率が高く、レアメタル、レアアースの含有も確認されている。熱水噴出孔の周りには、高温の環境に適応した特徴的な生物群集が発見されている。噴出孔からの硫化水素をエネルギー源とするバクテリアと共生したり、またはそれらを餌にしたりすることにより、光合成に依存しない生態系が形作られている。

国によるこれまでの探査の結果、沖縄海域及び伊豆・小笠原海域で有望な鉱床が確認されているが、鉱量を推定する上で不可欠な厚さ方向の情報がまだ得られておらず、海底資源採掘の経済的な見通しを立てるだけの情報がないというのが実態である。なお、開発にあたっては鉱物の性状が陸上の金属資源と異なるため、独自の製錬法が必要であり、その他、採掘法、揚鉱法など、経済性を判断するにあたって、確立しておかなければならない技術も多い。

また、開発に伴う熱水系生物群集の保護などの問題、環境への影響の評価技術の確立等も課題である。

④ コバルト・リッチ・クラスト及びマンガン団塊

他の賦存形態では、コバルト・リッチ・クラスト、マンガン団塊がある。

コバルト・リッチ・クラストは鉄・マンガン酸化物の一種で、白金、希土類などのレアメタルを含み、特にマンガン団塊と比べて、コバルトの品位が高く、微量の白金を含むのが特長である。海山の斜面や頂部を厚さ数 mm～数 cm で広く覆っている。日本周辺海域にも鉱床が確認されているが、賦存状況の把握等が今後の課題である。また、堆積物が少ないこと等から開発に際しての環境影響は比較的小さいと考えられるものの、海中の岩盤を薄く広く覆う賦存状況であるので、採鉱に係る技術開発の課題は多い。

一方、マンガン団塊は、水深 4000～6000m の比較的平坦な大洋底に半埋没している、直径 2～15cm 程度の球形ないし楕円状の鉄・マンガン酸化物の塊である。マンガン、鉄を主成分とし、ニッケル、銅、コバルト等の有用金属を含有している。ハワイ諸島南東沖の広大な深海底平原に大量に分布しており、賦存状況の把握が容易で採鉱もしやすいが、公海の深海底に存在することから、採掘にはコスト面での課題が多いといわれている。

注：公海の深海底に賦存する資源については、海洋法条約に基づき「人類の共同の財産」とされており、開発にあたっては、鉱区の申請費、ロイヤリティ等を国際海底機構（ISA: International Seabed Authority）に納める必要がある。我が国はマンガン団塊について、1987年12月、ハワイ沖に7.5万km²（北海道の面積とほぼ同じ）の鉱区を設定、取得しているが、国際海底機構との調整が必要なことや、経済性が見通しが立たないことから活動は低調である。

2) 対応方針

(1) 推進方策

① 国が担うべき役割

- 我が国の領海・排他的経済水域、大陸棚にエネルギー・鉱物資源がどの程度存在するかを調べることは、他国の資源政策に影響されない安定的な自らの資源供給源を持つという観点から国が行う意義がある。「海洋基本計画」に示される商業的採掘・採取の実現に向け、賦存量・賦存状況をより広域で効率的かつ正確に把握するため、国として探査技術の開発を加速させることが重要である。
- 賦存状態に関する典型的なモデルとなる場所を明らかにし、そのような場所で具体的な探査を早期に実施することで、民間の参入を加速させるとともに、商業採掘の際に活用できるような開発関連技術を、長期的戦略のもとに国が積極的に推進する必要がある。
- また、開発・生産のためには、新たな技術開発や既存技術の応用発展など更なる技術的・科学的課題に取り組む必要があり、これらすべてを民間企業の自主的な開発に委ねることは参入リスクの観点から難しいため、国家的なイニシアティブのもとで推進する必要がある。具体的には、国は、平成 20 年 3 月の「海洋基本計画」（閣議決定）に基づき平成 21 年 3 月に策定された「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」に沿って、採掘・揚鉱システム、海底資源を効率よく製錬するための技術等の開発を行うとともに、商業規模での生産システムの設計や経済性評価、環境影響評価手法の確立を行う必要がある。また、より高度な資源探査のため、センサー技術や探査機等に関する技術開発を行う必要がある。
- これらの取り組みについて、省庁連携に加えて、関連する技術・ノウハウを有する民間企業との積極的な連携を図り、「海洋基本計画」に定められた目標を達成することが必要である。資源ポテンシャルマップの作成や、開発リスクの高い技術の研究開発、および資源開発に伴う環境影響の評価等は官側が主体的に行ない、産業技術に関わる部分は産業界が主体となり、官学がバックアップする連携体制を構築する必要がある。

② 資源賦存状況に見合ったシステム作り

- 熱水鉱床、コバルト・リッチ・クラスト、マンガン団塊など、対象とする鉱床ごとに、それぞれの賦存状況に見合った技術開発課題を明らかにして、技術開発や探査・開発のシステムを構築する必要がある。その際、様々な手法を比較・検討しつつ、探査や開発のシステム全体のコンセプトを作った上で、それらの具体的な技術開発課題を明らかにし、最適なシステムを選定する必要がある。
- 人工衛星からの観測とは異なり、「ちきゅう」や「しんかい 6500」あるいは ROV などの海洋観測は、限られた範囲の観測しかできない。したがって、広い海域をカバーするには、ある程度の数のシステムが必要である。観測需要に対応するため、調査観測態勢の量的整

備が必要である。

③ 海外との連携と独自技術

- 海外では、海底油田の探査・開発などで大水深での海底資源開発の技術が伸び、既に大きな産業分野として成立しているのに対し、我が国は、この分野の技術で大きく遅れを取っている。また、船舶搭載用の探査機器や海中ロボットの重要部品の中には、国産品がなく輸入品が使われているものも多い。このような状況の下、海洋資源調査の基盤となる技術については我が国独自の技術を開発・保有すべきであり、個別の技術に関して、海外との比較優位性や技術の重要度やニーズ等を勘案し、海外と連携すべき領域と独自技術を開発すべき領域とを整理することが必要である。

④ 我が国周辺の大水深海域における資源探査の加速

- 三次元物理探査船「資源」や地球深部掘削船「ちきゅう」等を活用した我が国周辺の大水深探査を加速させることが必要である。
- 同時に、大水深大深度炭化水素胚胎層の掘削開発技術、三次元物理探査データの解析手法の新たな開発、微生物による反応を加味した石油ガス生成蓄積モデルの構築などについて、研究開発独法、大学、民間企業の協力のもとに実施することが、我が国の大水深開発の進捗および人材育成という面からも必要である。

(2) 海底熱水鉱床

① より高度な調査手法の活用検討

- JOGMEC 所有の深海鉱物資源探査専用船が調査を実施しているが、自律型無人探査機 (AUV)、遠隔操作無人探査機 (ROV) 等の研究開発と実観測への活用も検討する必要がある。これら探査船および AUV・ROV 探査機の精密海底調査機能の向上等に向けた要素技術・システム技術の開発にあたって、引き続き関係省庁等の連携を図る必要がある。
- 我が国周辺海域には、未発見の有望海域が残っている可能性が高く、今後、調査すべき海域は極めて広大であるため、対象海域の広さや海底熱水鉱床の活動状況等に応じて、より効率的な探査を行う必要がある。
- 海底熱水鉱床の探査は、陸上における資源開発と比較して歴史が浅いことから、これらの探査技術の開発を加速的に推進するため、実証試験の実施のための専用の支援母船や探査機等の研究体制を構築する必要がある。

② 調査技術(リモートセンシング技術、コア取得技術等)

- 開発の際、熱水活動域特有の生物への環境影響を小さくするという点では、活動を停止

した海底熱水鉱床（埋没した鉱床を含む）が有望であり、これらを含む未発見の鉱床を広くかつ効率的に探査するために必要な技術を確認していく必要がある。

- 海底熱水鉱床の探査にあたっては、新たなリモートセンシング技術の開発など、詳細な海底下構造を立体的（垂直方向）に把握し、鉱床の賦存量を高精度で効率的に把握することが必要である。
- リモートセンシングによる調査に加え、最終的に開発に進むためには、50～100m 程度の間隔でボーリングをして、資源量を詳細に把握することが必須である。そのためには、深海用ボーリングマシンを不安定な海底や斜面にも着座できるよう改良する研究や、コアの回収率を高めるための技術開発が必要である。また、ボーリング孔間隔の適正設定、掘削速度、掘削深度能力の向上も課題である。

③ 資源開発技術（採鉱技術等）

- 商業ベースでの熱水鉱床開発を実現するためには、深海での掘削・破碎作業を行う採鉱システムや揚鉱のためのシステムの開発、海上支援船などのエンジニアリングが重要であり、関係省庁間での連携が必要である。
- 近年の探査、掘削技術の進歩により、海洋資源の商業掘削の技術的な障壁は以前より低くなっている。しかしながら、全体のシステムを構築して商業ベースにのせるには、資源価格、陸上資源の生産コスト、環境規制等、不確定要素も多く、こうした開発を取り巻く諸条件を踏まえつつ、最適な生産規模を選択し、採鉱法や選鉱・製錬技術の研究開発を進めていく必要がある。

④ 環境影響評価

- 熱水噴出孔の周りには、高温の環境に適応し噴出孔からの硫化水素などを利用する特徴的な生物群集が発見されている。貴重な生態系の保護のために、環境影響評価が必要であるが、季節変動による変化を調べ、かく乱後の長期モニターを行なうために、攪乱実験による詳細な調査が必要である。
- 環境影響評価は、自然科学との学際分野でもあることから、海洋科学や生物科学等の関係機関も含め、関係省庁間の一層の連携を推進すべきである。

(3) メタンハイドレート

① 回収技術の確立とより長期にわたる産出試験の実施

- 減圧法での回収は世界初の技術であり、引き続き検証が必要な課題も残されている。回収にかかるエネルギーをできる限り小さくするなど、更なる回収技術の改良と技術の確立が必要である。

- エネルギーとして実用化するには安定供給できることが必須である。量的にも商業生産には最低数万 m³/日必要であるといわれる。今後、安定的に十分な量を採取するために、最適な回収方法の研究を続ける必要があるとともに、より長期にわたる産出試験を行い、連続産出における障害が無いこと等を確認する必要がある。

② 海域における産出試験の実施

- 我が国ではメタンハイドレートは海域のみに存在することから、海域での安全かつ経済的な生産を可能にするためのフィールド実証が必要であり、陸上試験で培った技術を活用しつつ、海域での産出試験に取り組む必要がある。

③ センサーや周辺技術の開発

- メタンハイドレートの採取時、地盤や環境の変化やガス漏れなどをとらえるセンサーの開発も重要な課題である。開発にあたっては、電力源、コネクタ、電装部品などの周辺技術についても留意する必要がある。

④ 省庁間連携の推進

- 地球深部探査船「ちきゅう」により、巨大地震の発生メカニズムの解明に向けた科学掘削を実施しており、この調査の過程でメタンハイドレートを採取する等の実績を有していることから、今後得られたデータを共有する等の連携を図ることが必要である。
- 海洋産出試験に当たっては、「ちきゅう」の掘削装置や技術を活用できる可能性があることから、各種設備の適合性や経費等について検討を実施すべきである。

(4) コバルト・リッチ・クラスト

① 賦存状況の把握と調査機器の整備

- 日本近海における賦存量を効率的かつ効果的に把握するため、探査技術の開発を実施するとともに、出来るだけ早期にかつ広域に調査する必要がある。コバルト・リッチ・クラストに対する我が国の開発方針を早期に確定する必要がある。

<技術人材育成>

1) 現状における課題や問題点

① 幅広い素養を兼ね備えた事業計画人材の確保

国の研究機関が「海洋基本計画」・「宇宙基本計画」等の国家戦略を実現するにあたり、ミッションの立案からフェジビリティ・スタディを経て事業計画に結びつけるために、従来の技術主体に加えて、経済的・社会的な素養をもち、論理的に判断できる人材の確保が求められている。そのような人材は、多様な実務経験を通して育てられるため、OJT や短期小型プロジェクトの活用、さらに産学官での人事交流の促進等を盛り込んだ、育成プログラムを充実させる必要がある。

② 技術開発段階から産業化につなぐ人材の確保

フロンティア分野は、ロケットや衛星等の一部の領域で、海外からの商業受注実績も出てきているが、今後一層の産業化を進展させるためには、研究と実業をつなぐ、産業化を担う技術人材の育成が求められている。特に利用分野で人材が不足しており、プロジェクト経験を有した、異分野を含めて横断的にユーザーニーズを発掘して事業化に結びつけるための人材を育成するにあたり、トップダウンの取組が必要である。

③ 人員の確保

関係する独立行政法人では、総人件費の制約から、任期の定めのない職員も、任期付き職員も増やせないのが実情である。なお、任期付き研究者は公募の形で採用している場合が多いが、職種毎に希望の偏りがあること、処遇や評価の統一が困難である等の問題もある。

産業界からの出向者の受け入れも行っているが、企業側も厳しい状況にあり、なかなか人材を出す余裕に乏しいのが現状である。

④ 技術継承

エンジニアの継続的な確保が質・量ともに課題である。エンジニアの人材育成には「てま、ひま、かね」がかかり、一番良い方法は、プロジェクトを通して特にシステム開発の上流工程を経験させる事であるが、フロンティア分野では、多額の経費を要する大規模事業が大半であり、事業を短期集中的に実施する場合が多く、さらに事業を頻繁に立ち上げることができないため、長期にわたり計画的に人材育成を行う事が難しい。

産業界等からの中途採用を行って技術や人材が途絶えないための対策を図っているが、応用技術的な部分の教育が必要であり、複数年程度のOJTが必要となる場合が多い。

⑤ 理解増進

フロンティア分野における研究者・技術者を、将来に亘って、質・量ともに確保するためには、次世代を担う青少年等へのアウトリーチ活動が重要である。このため、小中高校生等を対象として、実験教室や出前講座など、フロンティア分野に関する正しい知識と理解を深められるような取組が求められる。例えば海洋分野では、全国の海洋科学高校、水産高校等におけるフィールド実証プログラム等を行い、水産に限らず海洋科学・工学に対する関心を高めていく取組を促進する必要がある。

2) 対応方針

(1) フロンティア分野特有技術の習得機会の向上

- フロンティア分野のように大規模な科学技術を扱う分野においては、全体を俯瞰的に見渡せる人材を育てる必要があり、各要素技術に加えて、全体を統合して機能させるためのシステム総合工学を習得する機会が必要である。そのために、大学、研究機関、産業界が連携し、若手技術者や大学生等に対してプロジェクト経験を積む機会を積極的に提供する体制が求められる。ただし、システム総合工学の教育を大学に全て任せるのは難しいため、産学官連携や専門職大学院などの活用を図る必要がある。また、巨大複雑系システムを対象とした、プロジェクトマネジメントやシステムズエンジニアリング等の認定制度の導入を行う事も一案である。
- 特に、大学では学ぶ事ができないような要素技術については、国の研究機関や産業界等の具体的な開発事業やプロジェクトの場を積極的に活用して、実践経験を積む機会を提供する事も一案である。また、失敗を恐れず高い目標に挑戦する経験を学生時代に積ませることが、育成の観点からは重要である。さらに、学生在籍期間を考えれば、計画段階から1、2年で実現できる短期間の実験機会提供が必要である。ただし現状では、指導する側の人材や予算的な手当て、定期的な実験機会の提供等が不足している。
- 産業界においては、特定の狭い専門知識を深めた人材よりも、資源・エネルギーや環境問題など分野を超えた幅広い関心を持ち、基礎的なレベルの知識を満遍なく持った学生を求める声もある。将来の産業界を担う人材を育成する観点から、理学・工学に加えて、経済や法律、政治等といった人文社会学等も含めた、より幅広い総合人材教育を行う必要がある。多様な実務経験を通して幅広い素養を習得する等の育成プログラムを充実させる必要がある。
- 衛星や深海探査機等から得られた、様々なデータの利活用技術の高度化を担う人材の育成のなど、「宇宙基本計画」や「海洋基本計画」等の国家戦略を実現するための、実学的な人材育成の促進が必要である。
- 海洋や宇宙に特化した、理学・工学・水産学などの融合的な研究・基盤技術育成・教育に関する、地域プロジェクトの実施を加速し、エンジニア力を高めるプログラムを作ることが必要である。また上記プログラムを通して、例えば海洋では、水産高校や海洋科学高校などの地域に根ざした海洋教育活動を強化し、幅広い人材を育成していく必要がある。

【具体的な対策のアイデア】

- ① 宇宙分野ではH-IIA ロケット相乗りによる打上げ機会の提供やS-300 観測ロケットの打上げ機会提供を継続するとともに、海洋分野では、深海で動く観測機器や探査ロボットを学生等が自ら開発し、フィールド実証を行う機会を確保するために、継続的なシップタイムの提供等について検討する。
- ② プロジェクトマネジメントやシステムズエンジニアリング等の認定制度の導入を検討する。
- ③ 次世代を担う青少年等が、正しい知識と理解を深められるよう、研究機関等が実施する体験学習プログラム等のアウトリーチ活動の取組を推進する。そのための設備導入や船舶の運航費用等のファンディングシステムを創設する。

(2) 技術継承のための長期にわたる事業計画の策定

- エンジニアの育成においてはプロジェクト経験を積ませる事が効果的であるため、このような技術継承の観点からも、国としての長期にわたる事業計画の策定が求められる。また最終的には、産業規模が拡大し、国の研究開発プロジェクトのみならず、産業界自らが実施する事業において技術継承が達成される姿が目標である事から、国で開発した基盤技術を積極的に移管する等、産業振興を促進する取組が求められる。
- 研究機関のみならず、産業界も含んだオールジャパンでの人材維持・強化の視点が必要である。関係機関・産業界・大学等と、キー技術や得意技術の共通認識を持ち、長期計画に基づいた技術人材の蓄積・育成を図ることが重要である。また、既に産業化が進んでいる他の分野からも、共同研究等により日本の得意技術の転用を図ることが求められる。
- 技術の成果が社会に展開される仕組みを念頭に置いた研究開発がなされる組織作りが重要であり、研究・開発・製造・普及を横通しで見ることが出来る人材の育成が必要である。企業が求める人材を大学が輩出するために、研究者のインターンシップ等の産学連携を通して、製造や普及の理解強化を図る必要がある。

【具体的な対策のアイデア】

- ① 国の長期的な事業計画を明確化する。
- ② 「産学連携人材育成事業」や「技術移転支援センター事業」等の制度を拡大し、大学と産業界、および国の研究機関の間の対話を促し、現場におけるニーズと教育のミスマッチ解消や、優れた技術の相互移転の促進を図る。

(3) 外部機関等との連携によるトップレベル人材育成の体制構築

- フロンティア分野は専門性が高いのと同時に、工学・理学に限らず、生命科学など、技術の幅が広いため、全ての専門技術能力を研究機関の職員として抱えることは不可能。関連機関や大学との連携を強化し、国の「知」を有効活用することが求められる。
- 連携大学院等の取り組みを進めている例もあるが、現状では研究機関から大学への講師派遣が主であり、学生が研究機関の課題に積極的に参画し、研究を行う体制構築が期待される。一部の法人では、研究機関が希望する研究テーマを公募し、応募してきた博士課程の学生が、経済的支援を受けながら博士号を取得した後に、そのまま就職するようなことも行われている。
- 理工学の若手の研究者が、実際の大型プロジェクト等に参加できる制度の活用も考えられる。大学院博士課程に在籍する若手研究人材を非常勤として採用し、研究現場において、知識と経験を豊富に蓄積した研究者と一体となって研究を展開することにより、創造的・基礎的研究を一層推進することが出来る。また、連携協定を締結し、研究協力を行っている大学院との協力関係の強化を図ることも方策である。
- 研究開発の質を高めるために、宇宙科学、海洋・地球科学および宇宙・海洋エンジニアリング等の領域において、海外機関との連携による世界トップレベル拠点組織を検討し、トップレベル研究者の招聘制度を導入することも方策である。
- 宇宙科学の分野においては、理工学の研究者によるコミュニティが形成され、有効に機能している。今後、宇宙や海洋の利活用を拡大していくためには、利用者・研究者のコミュニティを形成し、ボトムアップによる事業計画立案を行なう事が重要である。海外からも参加できる仕組みとして、COE の育成や招聘制度の構築が有効である。

【具体的な対策のアイデア】

- ① フロンティア分野において、若手研究者が実際の大型プロジェクト等に参画できる制度の新設。
- ② グローバル COE 等のプログラムを活用し、宇宙科学、海洋・地球科学等の領域における世界トップレベル拠点組織を検討する。

(4) 業務の特徴に応じた任期設定

- 各機関に求められる業務の特徴によって、任期付き職員と任期の定めのない職員の比率が異なる。人材の流動化を促進する観点や、国の機関が人材の輩出源の役割を果たすという観点からは、任期付き職員の採用を推進することが有効。定員の枠が定められていることから、業務内容の急拡大や変化に対応するため任期付き職員を活用している場合もある。ただし、優秀な人材ほど早期に抜けて行くというケースもあり、人材の流動性という面では効果があるものの、必ずしも優秀な人材の確保に結びつかない可能性がある。

- 一方で工学系技術職（いわゆるエンジニア）については、学生側では長期雇用を就職の条件とする傾向が強く、また技術継承の観点からも任期の定めのない職員の採用が必要となる場合が多い。任期無し職員（エンジニア・研究者）も総人件費削減の対象外とし、人件費を確保できるような配慮を求める声もある。