

世界の衛星地球観測の現状と我が国の将来構想について（概要）

2016. 12. 15

宇宙関連タスクフォース会合リモートセンシング分科会（TF）

地球科学研究高度化 WG 有志

下田陽久、中島映至、本多嘉明、笠井康子、若林裕之、中村健治、高橋暢宏、杉本伸夫、今須良一、操野年之、江淵直人

目次

1. 背景と方向性	6
2. 地球観測センサの動向と我が国の方向性について	7
(1) 高分解能センシング	7
(2) 全球光学イメージング	9
(3) 全球マイクロ波センサ	11
(4) 降雨・雲レーダ	13
(5) ライダ	15
(6) 大気化学	16
(7) 温室効果ガス	18
(8) 静止衛星	19
(9) 散乱・測地・重力・GPS	20

1. 背景と方向性

今後、我が国の地球観測に関して、早急に議論すべき課題は、世界 55 機関で 131 の地球観測衛星計画が企画されている状況の中で、重要な科学的課題と日本の強みを活かした有効な我が国の衛星計画と国際連携を構築してゆくことである。宇宙基本計画の新工程表には「水循環変動観測衛星」の後継機の検討項目がやっと加えられたものの、相変わらず、「その他のリモセン衛星」の将来計画は空白のままであるため、具体的に、これらの将来像を描くことが非常に重要である。世界でも、目下、2020-2040 年期の地球観測計画が盛んに検討されている。

そこで、TF のワーキンググループの一つである「地球科学研究高度化ワーキンググループ」では、ボトムアップで議論してきた科学提案と、世界の地球観測計画を分析することによって、具体的に、何が足りないのか、何が冗長なのか、時期も鑑み何が日本貢献として重要なのか、国際分担はどうあるべきかを、地球観測衛星のハードウェアとサイエンスの両面に深い知見を持つ有識者に集まっていただき、地球観測センサという観点から検討した。

地球観測センサは高分解能センサと中分解能のグローバルセンサ、静止軌道センサに分けられる。このうち高分解能センサは更に光学センサと SAR に、中分解能センサはシステム観測（監視）、すなわち主に基本気候変数（Essential Climate Variables: ECV）を対象とするセンサと、プロセス研究を対象とするセンサに分かれる。なお、以下では触れないが、これらのセンサは地球科学だけではなく、地図作成、地質調査、減災、インフラ監視、農業、林業、漁業、気象予測、森林火災、火山爆発、更には公衆衛生等多くの実利用分野でも利用されている。

本分析結果から、我が国がリーダーシップをとって観測を継続すべきセンサと新たに取り組む価値のあるセンサや基礎技術が浮かび上がってきた。

我が国が優位性をもって継続すべき（国際的な責務もある）センサとしては、広幅観測の高分解能光学センサ、Lバンド SAR、中分解能センサ、マイクロ波イメージャ、（雲）・降水レーダ、温室効果ガスセンサ、大気化学センサが挙げられる。また、新たに取り組むべきものとしては、ライダー、高度計などのセンサ技術が挙げられる。静止気象衛星は日常の気象予報に定着している一方で高分解能化・多チャンネル化の流れが加速すると考えられるため、高機能化を図りながら継続して観測するべきである。さらに、低軌道衛星でのみ可能であった技術もその進展と効果を考慮したうえで静止衛星への移行も検討すべきである。センサの小型化は重要な技術課題であり、GPS のように多数の衛星に搭載することにより地球科学に貢献することは可能であるが、センサによっては原理的に小型化が不可能なものもある。それぞれのセンサの国際社会での優位性・有用性や我が国の衛星戦略における重要性の詳細について次章に示す。

2. 地球観測センサの動向と我が国の方向性について

以下、地球観測の各分野の議論で得られた要点を紹介する。

(1) 高分解能センシング

- ・ 高分解能センサは精細なデータ取得が可能であるため、多目的なミッションを有する。
- ・ 森林や氷河などの把握においては、高解像度データは不可欠のものとなっている。
- ・ 世界各国で、災害、安全保障、農業などの利用を継続的に実施するために整備計画が立てられているが。衛星の寿命が5年から10年程度に延びていることもあり、2020年代の計画はこれからである。
- ・ オープン・フリーデータを供給する衛星として、Landsat や Sentinel が登場している。
- ・ 観測頻度の向上は農業利用を中心として強い要望が出されており、重要な仕様となっている。
- ・ 超小型や小型の衛星を多数用いることによって、観測頻度を向上させるプロジェクトがいくつかの民間企業で進められている。
- ・ 解像度を高くした場合、観測幅が小さくなるため、観測頻度が低いことが問題となるが、コンステレーションや衛星の組み合わせによって解決されている。どのような観測システムを開発するかは、各国の戦略が問われるところである。機数、コンステレーション、広観測幅化の組み合わせを議論する必要がある。
- ・ 実利用においては社会実装が求められる。最も細かいスケールのデータ利用であるため、最も産業に近い場所に位置する。とりわけ、農業、国土管理、地域防災、社会基盤は有力な適用分野である。
- ・ 光学センサ技術については、パンクロマチック及びマルチスペクトルを基本構成とし、目的に合わせたバンド追加が行われている。
- ・ 熱赤外観測を行うセンサは多くはない。
- ・ 波長数を非常に多くしたものとしてハイパースペクトルセンサがあるが、現時点では実証目的段階にある。
- ・ 光学センサの観測幅を広くするためには軸はずし三枚鏡方式、分解能を高めるためにはコルシュ方式が採用されている。
- ・ 三次元情報はステレオ視によって得られるが、全球の標高データベースが整備されつつあるので、災害時の地形把握や気候変動に伴うデータベースの更新が主目的になりつつある。将来的には機能のフル実装、低解像度実装、短基線実装、複数機実装などを比較検討する必要がある。
- ・ 大型光学望遠鏡で静止軌道から観測することで常時観測が可能であり、コストと利便性の

面で戦略検討を行う必要がある。

- ・ 合成開口レーダ（SAR）技術では、高分解能化、広観測幅、多偏波観測、複数衛星を使用した干渉 SAR としての性能向上が考えられる。
- ・ 日本に期待されている SAR はその実績から Lバンド SAR であり、Lバンド帯で使用可能な帯域 85MHz が高分解能化の制限となる。衛星進行方向については衛星視線方向とのアスペクト比を考慮してアンテナサイズを決定し、さらなる高分解能化はスポットライトによって実現する。森林モニタリングや干渉 SAR による地盤変動の観測継続、極域の海水や氷河の高分解能モニタリングなどにおいて期待が大きい。
- ・ SAR によって広い観測幅を実現するためには、従来は衛星視線方向のアンテナビームを切り替えることによって観測幅を分割する方式 (SCANSAR) が使われてきたが、衛星進行方向の分解能が低下するという問題があった。次世代の SAR においては、衛星進行方向の分解能を犠牲にしないデジタルビームフォーミング技術 (DBF) によるアンテナ多ビーム化が新技術として期待される。
- ・ SAR の多偏波観測は、観測対象の散乱メカニズムを把握するために有効な観測手段である。
- ・ 将来の高分解能衛星は、高品質データと高頻度化がキーワードとなる。そのため、基幹衛星と小型衛星の組み合わせが好ましい。
- ・ 基幹衛星のデータ量は増大方向にあるため、データダウンリンクも含めた宇宙システムとしての検討が必要である。

(2) 全球光学イメージング

- ・ 気候変動影響の顕在化の把握と対処が人類社会の共通の目的であり、そのためには、地球システム統合モデルが必須であり、その性能向上には主要気候変数（ECV）の長期継続観測値が必要不可欠である。
- ・ ECVの取得には全球光学センサでは不可能な高空間分解能、高波長分解能の光学センサが不可欠であり、我が国の全球光学センサは世界最高水準にある。
- ・ 世界の全球光学センサの多チャンネル化、高解像度化が進んでいるが、この方向性は我が国のGLIなどの全球光学センサが作ったといってもよい。
- ・ 全球光学センサは、全球気候変動監視、全球陸域生態系監視、陸域の熱赤外観測などに役立つ。学術的な分野では、生態学、水産学、海洋学・海洋生態学・生物地球化学、大気（雲、エアロゾル）、雪氷学（積雪、海氷）など実に多岐に亘って役立つ。そのために欧米諸国は、途上国との国際問題や地球環境問題における国際的主導権の確保のためにも、全球光学センサによる継続的な観測を計画している。
- ・ アクティブセンサ、マイクロ波センサなどの観測データとの複合的な観測は、地球システム統合モデルの飛躍的な進展に繋がると期待される。従って、積極的複数衛星運用（Jトレイン型：別途資料1参考）による観測を実現する戦略が重要である。その中心機能を全球光学センサ搭載衛星が備えることで、このような観測分野で世界最先端を目指すことができる。
- ・ 地球システム統合モデルの高精度化に資する長期観測が必要である。
- ・ 積極的複数衛星運用による詳細データが物理量（クロロフィル蛍光、形質、高精度バオマスなど）の精度を飛躍的に向上させることが期待できる。
- ・ 恒常的な地表面温度観測は、大規模森林火災、植物の水ストレス、農業生産や公衆衛生の支援情報などに役立つ。
- ・ 海洋環境と生態系の時空間的变化、資源管理に資する情報を取得し、持続可能な水産資源の利用につなげる必要がある。
- ・ 生物多様性・窒素循環などの課題に大いに役立つ情報が得られる。
- ・ 気候変動予測において最大の不確定要素となっている雲の詳細観測が重要である。具体的には、雲種別分布とその量、雲成長プロセスの解明に繋がる雲特性変化の詳細観測などが必要である。
- ・ 地球の放射収支において不確定性を有している大気中微粒子（エアロゾル）の分布とその量、種類の観測、雲成長プロセスへの影響過程の解明に繋がるエアロゾル観測が重要である。

- ・ 近年の地球温暖化に伴いグリーンランド氷床のアルベド低下と融解域の拡大が進行しており、長期継続した極域雪氷の監視と北極海氷融解との関連解明が重要な課題となっている。
- ・ 我が国の地球観測資産を考慮すると、積極的複数衛星運用の実現に向けて我が国が主導的役割を果たせると考えられる。全球光学センサ工程表に示すように2030年までは世界最高水準のGCOM-Cシリーズの継続で長期継続観測を実現し、その中で積極的複数衛星運用の基幹衛星および随伴衛星の製造技術を育成し、運用技術の試験開発を行う戦略が有効である。
- ・ 静止衛星軌道の地球観測（気象観測を含む）と光データリレー衛星と積極的複数衛星運用を実現し、アジア諸国の参加を促し、日本の宇宙ビジネス拡大に貢献する。

(3) 全球マイクロ波センサ

- ・ マイクロ波のイメージャ、サウンダは成熟したセンサとなっており、その現業利用のために、米国、ヨーロッパ、ロシア、中国でシリーズ化されつつある。
- ・ 日本の AMSR、AMSR-E、AMSR2 シリーズは世界最高水準の性能を有している。
- ・ AMSR2 の高い空間分解能と 6、7GHz チャンネルはユニークかつ貴重である。
- ・ 近い将来のセンサの大きな変更は考えにくい。より大型あるいは周辺メッシュ型アンテナ、受信機の小型化など、AMSR2 の改良型を目指すべきである。
- ・ 低周波（L バンド、P バンド）の放射計は土壌水分や海面塩分濃度の測定に有効であり、開発研究を進めるべきである。AMSR2 後継の一部としても考えられる。
- ・ 地球気候と環境変動の検出では、長期にわたる安定したデータが必要である。このため、校正は非常に重要である。日本では AMSR 以来、地道な努力が積み重なっており、これは強みである。しかし、他のマイクロ波イメージャとの相互校正は遅れている。マイクロ波イメージャコンステレーションを主導するならば、この方面の努力が必要である。
- ・ コンステレーションに寄与できる小型マイクロ波放射計も開発すべきである。
- ・ 1 台の観測では不十分である。観測頻度を上げるために、各国のマイクロ波放射計（イメージャ）のコンステレーションを前提とすべきである。これは精度の高い地球環境データを得るためとともに、短期予報、防災にとっても重要である。
- ・ コンステレーションのコア（reference standard）として AMSR2 後継機を位置づけることが適当であろう。
- ・ 大気観測では太陽非同期軌道が望ましいが、この場合は極域とくに北極海が観測できなくなる。また他のマイクロ波放射計との相互比較のためには、コア衛星は太陽非同期軌道上の方が同時観測が可能となり良い面がある。
- ・ しかし、これまでの観測の継続、極域の観測を考えると、これまで通りの太陽同期軌道が適当であろう。大気は小型マイクロ波放射計を含めたコンステレーションによることが適当であろう。
- ・ 大きな流れとしてモデルとの融合がある。特に素過程についてはモデルによる研究が不可欠である。
- ・ サウンダについては日本は遅れているが、従来型のサウンダは成熟しているので新たに参入することは適切ではなからう。
- ・ 静止軌道からのイメージャを開発目標として挙げておくべきである。
- ・ イメージャは大気については降水レーダ、雲レーダとのトレイン観測が望ましい。
- ・ ミリ波・サブミリ波は対流圏の氷雲、水蒸気の観測のフロンティア技術として期待がかかる。受信機の小型化などに向けて開発を進めるべきである。
- ・ ミリ波・サブミリ波の静止軌道からの観測は将来に向けての大きな開発目標となる。

- ・ 掩蔽法（GNSS occultation）の受信機開発は大きな開発要素は無く、また国際協力により成果が期待できるので開発を進め、各種の衛星に搭載すべきである。

(4) 降雨・雲レーダ

- ・ 降水レーダも雲レーダも TRMM(1997-2015)、GPM(2014-)、EarthCARE(2018-)において技術的に世界をリードしており、特に降水レーダの技術は成熟している。
- ・ これらのミッションは日米・日欧、または国際的な連携で実施しているが、中心センサ(レーダ)は日本に依存しており、将来的にも日本への期待が高い。
- ・ TRMM や GPM 搭載の降水レーダは全球の降水推定、特にマイクロ波放射計の推定精度の高精度化に大きく貢献し、それが全球降水マップ(GSMaP)の実現と利用拡大に結びついた。
- ・ TRMM、GPM 観測は、全球スケールの降水観測データの標準として気候研究、科学研究に既に広く利用されている。
- ・ 降水と雲に伴う非断熱加熱は、大気大循環を決める基本要素のひとつであり、TRMM/PRにより初めて3次元潜熱加熱推定が実現された。
- ・ 雲レーダによる技術は EarthCARE において世界初のドップラー速度観測の実現を目指しているが、将来的にもドップラー速度観測、偏波観測の技術開発は必要になる
- ・ 雲レーダ技術は、現在、米国の NASA/JPL(CloudSat)と日本のみが技術を有しており、地球温暖化に伴う放射収支の評価のためにも継続観測が日米に期待されている。
- ・ 現在、最新の技術を衛星搭載降水レーダに応用するだけで、GPM 搭載レーダの倍の走査幅でかつ10倍から100倍の感度は達成可能である(DPR-2)。
- ・ 降水観測ミッションの1つの方向性は、TRMM-GPM と続いた成熟したレーダ技術をベースに小型化・低価格化を実現することであり、海外展開が期待できる。
- ・ GSMaP の降水推定をマイクロ波放射計から、将来の高機能レーダによる推定へ転換することにより高精度化が実現でき、防災・農業・公衆衛生などのニーズに応えられる。
- ・ 将来は静止衛星にレーダを搭載する技術も実現可能となり、宇宙からの常時観測により現業気象予報モデルへの直接的な入力値としての利用も実現できる可能性がある。
- ・ 人工衛星搭載の雲・降水レーダによる観測は、地球温暖化問題などにおける雲・降水の全球情報の標準となり、数値気候モデルとともにこの分野の研究を支えることができる。
- ・ 数値気象モデルへのレーダデータ同化は技術的な難しさがあつたが、最近ではGPM/DPRの同化も気象庁の数値予報で利用され始めており、さらなる発展が期待される。
- ・ 地球温暖化により今後増加が予想される極端気象(豪雨・スーパー台風・洪水・干ばつなど)の監視や予測にとって、衛星からの雲・降水の観測は欠かせない。
- ・ 地球の放射収支の評価において、生成条件や環境場により大きく放射特性が変化する氷晶(雪結晶)等の観測には、EarthCARE 等の継続的な雲レーダ観測が必要である。
- ・ 米国では Decadal survey に向けて3周波レーダを搭載した Cloud and Precipitation Processes Mission(CaPPM)の検討を進めている。これは、気候予測に大きなインパクトがある雲からの降雨生成プロセスを主目的しているが、日本としても、CaPPM へのレーダ

提供等による参画等を視野に入れるべきである。

- ・ 雲レーダと降水レーダ等の融合は、衛星観測による従来型の物理量推定から、物理量を組み合わせた素過程の診断への発展を可能にする。数値気候モデルの評価においても、「パフォーマンス志向」から本質的に物理素過程を検証する「プロセス志向」への変化が見られ始めた。
- ・ 雲・降水レーダの組み合わせは、雲放射加熱と降水潜熱加熱の双方を同時に推定可能にするため、気候学研究に非常に有用である。

(5) ライダ

- ・ 宇宙からのライダ観測はスペースシャトルによる 1994 年の LITE に始まり、氷床高度の測定を目的とした GLAS/ICESat(米 2003-2010)、雲・エアロゾル観測を主目的とする CALIOP/CALIPSO(米 2006-)へと引き継がれてきた。現在、CALIOP と宇宙ステーション搭載大気ライダ CATS が運用中である。
- ・ CALIOP は約 10 年を経過した現在でも良好な観測を継続し、従来、短寿命と考えられていたライダ観測技術に革新をもたらした。その利用は、雲・エアロゾル研究に大きなインパクトをもたらした。
- ・ CALIOP に続き、風観測ライダ ALADIN/ADM-Aeolus (欧)、雲・エアロゾルライダ ATLID/EarthCARE (欧日)が計画されている。また、GLAS/ICESat の後継として ATLAS/ICESat2 (米)が計画されている。
- ・ CALIOP の後継が必要とされる中で、雲・エアロゾル・放射観測ミッションが計画されているが、それ以降の計画は具体化していない。
- ・ GLAS は植生観測にも利用されたが、植生観測を主目的として、ISS 搭載植生ライダ MOLI (日)と GEDI (米)が進行している。MOLI は近接するマルチビームを用いて地面の傾斜を推定し、樹高やバイオマスの計測精度を向上するユニークなライダである。
- ・ MOLI はライダによる宇宙からの地球観測の日本の最初のミッションとなるもので技術的観点から重要である。MOLI は大気観測の機能を持たないが、後継ミッションで後方散乱ライダとしての大気観測機能を持たせることは可能であり、植生観測と同時に CALIOP の後継としての役割も果たすことが期待される。
- ・ コヒーレント・ドップラーライダによる風の 3 次元測定や差分吸収ライダによる二酸化炭素などの温室効果ガスの測定についてもライダ手法の利点が期待され、米国、欧州、日本で技術的な検討が進められている。

(6) 大気化学

- ・ 大気中に存在する微量成分の衛星観測はこれまで、オゾン層破壊、地球温暖化、大気汚染などの地球環境問題の現象実態把握とそのプロセスの理解のために行なわれることが多く、常に国際的施策と共に歩んで来た。
- ・ 1970年代後半からオゾン層破壊の問題が発生すると、TOMS, GOMEなどの衛星直下視型の可視紫外分光観測が盛んに行われ、これらにより「オゾンホール」が捉えられた。1987年のモントリオール議定書成立後はプロセス研究が盛んになり、太陽掩蔽観測センサ（可視紫外、赤外、マイクロ波）によるオゾン破壊物質の衛星観測の黄金期を迎えた。ESAのEnvisat衛星搭載のMIPAS, SCHIYAMACHY、NASAのAURA衛星搭載のMLS、カナダのSciSAT搭載ACE、米国AURA搭載MLS、スウェーデン・カナダのOdin搭載SMR/OSIRIS衛星など世界で20を超える。また現在、NPP搭載OMPSが運用されている。今後の計画では、JPSS-1及び2にOMPSが搭載される予定である。
- ・ オゾン層破壊現象の観測センサにおいて、わが国ではADEOS搭載のILAS（赤外掩蔽）、ILAS-II（赤外掩蔽）、IMG、国際宇宙ステーション搭載のSMILES（サブミリ波）、など4機のセンサ技術を保有している。いずれも分光スペクトルの美しさ（縦軸横軸のキャリブレーション精度など）では世界トップ技術を誇る。
- ・ その後、日本は世界でもいち早く温暖化問題に舵を切り、地球温暖化ではCO₂、CH₄を観測するGOSAT衛星を2009年に世界で初めて打ち上げた。熱赤外バンド（TIR）と短波長赤外バンド（SWIR）の両バンド搭載はGOSATだけである。
- ・ 大気汚染施策について、現在、世界では国連環境計画（UNEP）の主導のもと、世界各国の首脳クラス、環境大臣級会合とともに短寿命気候汚染物質削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ（CCAC）施策が進んでいる。
- ・ 世界では米国NASAのAURA搭載OMI（可視紫外Nadir）、TES（赤外放射Nadir）、ESAのEnvisat搭載SCHIYAMACHY（可視紫外近赤外Nadir-Limb）が科学観測衛星として汚染大気観測の先鞭をつけた。今後米国では、JPSS-1及び2にOMPSが搭載される予定である。
- ・ 今後の計画では、24時間の日変化が観測できる静止衛星が主流である。米国では静止衛星搭載大気化学ミッションとしてTEMPO（可視紫外近赤外）を2018年に、欧州ではMeteosat Third Generation satellites搭載のSentinel-4、アジアでは韓国のGEMS（可視紫外近赤外）が2018～2019年の打ち上げを予定している。
- ・ LEOにおいては欧州ESAがSentinel-5P、その後、METOP-SGにIASI-NGとSentinel-5を搭載して打ち上げる予定である。
- ・ 大気汚染衛星観測分野では我が国は大きく遅れており、打ち上げ計画に予算配分されていない。国際宇宙ステーションミッションuvSCOPEが存在するのみである。
- ・ 今後、我が国としては、小型センサの多数展開や静止衛星などを利用し、時空間的に細や

かな汚染大気の実態把握と予測をしていくべきである。

(7) 温室効果ガス

- ・ 二酸化炭素(CO₂)の衛星観測は、熱赤外バンド(TIR)による上空濃度観測が最初である。その後、短波長赤外バンド(SWIR)による鉛直平均濃度観測が行われた。両バンド搭載はGOSATだけである。
- ・ CO₂、メタン(CH₄)に特化した衛星はGOSATが世界初である。続いてOCO-2(ただしCO₂のみ)も打ち上げられた。
- ・ GOSATは、データ数は少ないが、圧倒的な高精度観測により、他国衛星の校正規準となっている。今後も、S/N向上などによりトップ精度を維持、サングリント以外の海上、低照度の高緯度への観測域の拡大等を進めて行く必要がある。
- ・ GOSATの最大の目標は、亜大陸規模でのCO₂発生・吸収量推定の誤差の半減であり、一部地域ではこの目標をすでに達成している。
- ・ GOSATは、太陽光励起クロロフィル蛍光(SIF)を初めて捉えた。
- ・ 他国の計画がメガシティ域からのCO₂排出量監視に重点を置く中、GOSAT-2は、それに加え、陸域生態系によるCO₂吸収量の把握を目指すべきである。SIFの利用、陸域生態系モデルの高度化)などの同時利用が我が国の強みになると考えられる。
- ・ GOSATとGCOM-C、GCOM-Wなど日本の他の衛星との複合利用により、SIF、渇水ストレス(WST)、熱放散(PRI)などの植物生理生態学情報を総合的に得ることにより、GPP、NPP推定の高精度化が期待できる。
- ・ 炭素同位体(¹³C)などの測定により、人為・自然起源のCO₂の分離を目指す。
- ・ GOSAT-2では、雲域回避用ダイナミック(インテリジェント)ポインティングなどの新技術が導入される。
- ・ さらなる新技術として、1次元・2次元のアレイ素子を用いたイメージングFTS(GOSAT-I)、可動部の無いスタティックFTS(GOSAT-S)、静止衛星からの温室効果ガスの常時監視を目指す(GOSAT-G)を検討すべきである。

(8) 静止衛星

- ・ 静止衛星軌道からの地球観測は、特に衛星搭載の可視・赤外放射計による観測においては、放射計の多バンド化、高解像度化、高頻度化の技術革新が遅れており、その用途が気象観測に留まっていたが、近年の技術革新により、数年の内に、可視・赤外放射計のみならず、ハイパースペクトラル赤外サウンダ及び雷検知装置等、低軌道の地球観測衛星で実現された技術が静止衛星軌道で実現する。
- ・ 静止衛星軌道からの観測により、高緯度地域を除く全球を観測するためには同じ仕様の衛星を5～6機程度、等間隔に配置する必要がある。これに加えて、極軌道衛星による高緯度地域での観測の重なりを利用することで、多バンド・高解像度・高頻度観測を全球で実現することが可能となる。
- ・ 高解像度、高頻度、多ビット数、多バンドなどの観測の高精度化に伴い、観測データ量が飛躍的に増大することが予想され、衛星本体の観測仕様だけでなく、衛星から地上へのデータのダウンリンクについても併せて検討する必要がある。
- ・ 日本の静止気象衛星計画は、NASDA（当時）が静止気象衛星 GMS（Geostationary Meteorological Satellite）初号機を1977年に打ち上げたことにより開始され、現行の「ひまわり8号」は、2016年11月に打ち上げられた同一観測仕様の「ひまわり9号」と共に、東経140度赤道上で相互バックアップの観測体制を確立し、2029年まで観測を継続する予定である。
- ・ 現行「ひまわり8号」に搭載された高性能可視・赤外イメージャは、他の静止気象衛星運用機関に先駆け、16バンドの波長帯／500m（可視）・2km（赤外）の空間分解能を有し、フルディスク（衛星から見える地球全体）を10分毎に観測することが可能となっている。
- ・ 静止気象衛星による全球観測は、世界気象機関（WMO）が定めた全球観測計画のベースラインに準拠した観測仕様の実現が求められており、2025年を指向した要求仕様では、“高性能可視・赤外放射計（High-resolution multi-spectral Vis/IR imagers）”による観測の継続と併せて、“ハイパースペクトル赤外サウンダ（IR hyper-spectral sounders）”及び“雷検知装置（Lightning imagers）”の搭載が期待されており、次期静止気象衛星（「ひまわり10・11号」）での実現可能性についても、今後、検討が開始される予定である。

(9) 散乱・測地・重力・GPS

<散乱計>

- ・ 米国では、QuikSCAT/SeaWinds (1999-2009) の成果を受け、2014 年の ISS/RapidScat 以降、後継ミッションの計画はない。
- ・ 欧州では、現業気象衛星 Metop シリーズに ASCAT 散乱計が搭載され、気象予報を主目的とした観測が行われており、今後も後継ミッションが継続する見込みである。ただし、ASCAT は観測幅が狭いため、時間サンプリングが足りないという欠点を持つ。
- ・ インドでは、ScatSat が計画されている。米欧の研究機関の協力によって全球観測が実現し、また観測データの質も著しく向上する見込みである。
- ・ 中国では、HY シリーズに散乱計が搭載される。しかしながら、現在運用中の HY-2A のデータは一般研究者には入手が難しい。今後もデータの公開やその質には疑問が残る。
- ・ 日本では ADEOS、ADEOS-2 に NASA の散乱計 (NSCAT、SeaWinds) を搭載した経験があるが、独自開発・運用の実績はない。新たに独自開発に着手しても国際的な優位性を獲得することは難しいと考えられる。
- ・ ADEOS-2 の成果などから、マイクロ波放射計との同時搭載は、研究利用・実利用の両面で意義が極めて高いことが示されている。
- ・ 現実的な方向性としては、米欧やインドなどとの国際協力により散乱計センサ提供を受け、AMSR シリーズの後継機との同時搭載を目指すことが考えられる。

<高度計>

- ・ 直下型タイプの高度計は、計測精度の向上と SAR による高解像度化を目指したもので Cryosat-2 (EU)、Sentinel-3 (EU)、Sentinel-6 (Jason-CS) (EU/USA) などが計画されている。
- ・ 干渉型タイプの高度計は、新技術である 2 次元高解像度観測を行うもので SWOT (US/FR)、COMPIRA (日本) などの計画がある。干渉型は、直下以外のある程度の観測幅を持つことができるため大幅に時間空間解像度を向上させることができ、より高い時空間分解能を必要とする漁業や沿岸海況監視等に利用が広がることが期待できる。
- ・ 欧州や米国で開発運用されている直下型タイプを日本でゼロから開発するのは優位性が持てない。
- ・ これまで JERS-1 や ALOS-1/2 等で培ってきた日本のレーダ衛星技術を活用した干渉型タイプの高度計 (COMPIRA/ SHIOSAI) に向けた技術開発を進めるべきである。
- ・ 先行して開発が始まっている米国 SWOT ミッションと利用技術の開発や観測範囲について連携して進めることが効果的である。
- ・ 海面高度計は数値モデルを介した利用で最も大きな力を発揮するため、衛星ミッション単体ではなく、日本が運用中のアルゴビイや船舶観測と共に海洋数値モデルで統合的に活用

するといった海洋統合観測システムとして構築するのが望ましい。

<重力・測地>

- ・ 現在稼働中の重力ミッションは双子衛星 GRACE のみで、GRACE では L-L SST にマイクロ波測距および電磁式加速度計が用いられている。
- ・ 現在、2017 年中の打ち上げを目途に、GRACE の後続ミッション (GRACE-F0) の準備が進められている。
- ・ GRACE-F0 の後、2020 年代には実現するであろうレーザー干渉計を用いた衛星重力ミッション (仮に GRACE-II と呼ぶ) では、GRACE に対して 2~3 桁の精度向上が期待されている。
- ・ 2020~2040 年の時期では、重力ミッションの要素技術は、マイクロ波測距、電磁加速度計から、レーザー干渉技術、原子干渉計へと移っていくものと予想される。
- ・ 衛星の小型化や国際協力による複数衛星ミッションの連携が重要である。
- ・ 我が国では、月重力場測定の経験はあるものの、地球での重力ミッションの経験が無いことから、すべて独自のミッション開発を実施することは必ずしも得策ではない。
- ・ 一方、重力場測定で必要とされるレーザー干渉技術は、LISA や DECIGO など、宇宙重力波望遠鏡で必要とされるレーザー干渉技術と共通するもので、また、光衛星間通信も重要な要素技術であるが、これらについては優れた技術を有している。さらに原子干渉計についても、基礎的な研究が実施されている。
- ・ 我が国では、これらの要素技術を利用し、国際協力のもとに地球観測への応用を探ることが効果的と思われる。
- ・ 重力場に限らず地球衛星観測データの高度利用にとっては、解析技術や数値モデリングとともに、その根幹となる高精度な地球基準座標系の維持も重要である。1986 年に打上げられた「あじさい」は、今なお世界の測距局から追尾観測が続けられており、もっとも測距データの多い衛星の 1 つである。
- ・ 地球衛星観測で、地球基準座標系の恩恵を多く受けている我が国では、新たな測地衛星の投入を含め、地球基準座標系への国際貢献も重要な課題の一つである。

<GPS>

- ・ GNSS 掩蔽観測は我が国が獲得すべき小型・安価・高精度な地球観測計測技術であり、既に気象庁により気象予測精度の改善に実用されており、気象コミュニティ等から要望されている。今後も COSMIC 後継群の運用が予定されており、我が国の掩蔽観測への国際的貢献が望まれる。
- ・ 我が国の高精度電離圏計測技術は、COSPAR・URSI 傘下の国際標準電離層タスクグループからも要望されており、その場観測との組合せによる高精度電離圏計測が可能となる (SSA という観点でも重要)。
- ・ 我が国の実現可能な小型・超小型衛星群ミッションとして、掩蔽観測と我が国の国際的

に評価の高い電離圏計測技術による、海洋を含む地圏－大気圏－電離圏総合観測ミッションが提案されており、気象予測精度向上、科学研究、地震前電離圏変動検証への貢献が期待される。

- ・ 情報収集衛星 10 機体制下では、衛星システムの小型・超小型化が継続観測の唯一現実的解と思われる。