

ASTRO-G 計画 教訓報告書

2011年5月25日
ASTRO-G 計画教訓委員会

<はじめに>

ASTRO-G(第25号科学衛星)は、宇宙科学研究所(ISAS)が挑戦する7番目の天文観測衛星プロジェクトである。打上げ後に口径9mという大型のアンテナを高精度で展開し、人類史上最高の空間分解能による電波天文観測を行うことを目指して、2007年のJAXA 理事会議でプロジェクトが承認されている。

しかし、ASTRO-G 計画はやむなくプロジェクト中止を選択せざるを得ない残念な結果となった。

本委員会は、宇宙科学研究所長の諮問を受け、このプロジェクトが中止せざるを得ない状況に至った経緯を検証し、先進的宇宙科学プロジェクトが教訓とすべきことは何なのか、どう将来計画に反映させていくべきかの抽出作業を行った。

＜ASTRO-G 計画の推移＞

ASTRO-G 計画は、宇宙の電波望遠鏡 (ASTRO-G 衛星) と地上の電波望遠鏡群が協力して口径 35,000km 相当の電波干渉計 (スペース VLBI: Very Long Baseline Interferometry・超長基線干渉計) を構成し、これを用いた電波天文観測により、

- 活動銀河核のブラックホール周辺の降着円盤の構造
- 宇宙ジェットが生成され加速していく過渡的な領域
- 系外銀河中心領域の水蒸気メーザー
- 銀河系内の原始星の磁気圏
- 銀河系内の星形成領域などの水蒸気メーザーや一酸化珪素メーザー

など、宇宙の極限領域の物理に迫ることを目的とし、これらの分野で大きな、新しい地平を日本が拓くものと期待されていた。

しかしながら、世界最高の空間分解能を実現する9mの大型展開アンテナの実現過程で多くの技術的困難に直面するなど、計画の実現が困難となったことから、ISAS はプロジェクトの中止を決断した。

一般に、プロジェクトの遂行と中止に関して近年広く引用されている Standish Group による "The CHAOS Summary 2009" では、「プロジェクトの44%にスケジュールの遅延や予算超過が見られ、24%が中止されている」と述べている。宇宙科学のような世界レベルの成果を目指す挑戦的プロジェクトでは、目標とするゴールを達成することは更に条件が厳しい。

JAXAは、2003年10月の宇宙3機関統合直後に経験したいくつかのプロジェクトの不具合から得た教訓や、月の内部構造探査を目指したLUNAR-Aプロジェクトが2007年3月に中止された際の教訓等を踏まえて、プロジェクト化の前段階でのフィージビリティスタディ¹の強化、計画の節目での審査や四半期ごとの進捗確認の導入等、プロジェクトマネジメントの改善を図って来た。

ASTRO-G 計画についても、アンテナ鏡面形成の技術的困難(リスク)を把握して、プロジェクト化の前に5年間で1.5億円を投じてフィージビリティスタディを実施するなど、プロジェクトマネジメントの改善が反映されていた。その結果、開発の初期段階で

¹ フィージビリティスタディ(Feasibility Study:実現可能性検討)

一般には、新製品や新サービス、新制度に関する実行可能性や実現可能性の検証をいう。ここでは、困難な開発要素について技術的な実現可能性を中心に検討すること。

技術的困難を見極め、より大きな予算投入を続けることなく早期に中止を決断することができた。これは、こうしたマネジメントの改善が有効に機能したことを教えている。

本委員会が、ASTRO-G 計画の中止から得られた教訓を宇宙科学研究をはじめとする困難な宇宙開発プロジェクトの成功に少しでも貢献できればという願いを持って議論を行い、この報告書をまとめた。

<ASTRO-G 計画から得た教訓>

ASTRO-G 計画から教訓を得るために、以下の 4 つの観点から検証を行った。

- 1) 技術的チャレンジの観点
- 2) 資金マネジメントの観点
- 3) 宇宙科学ならではのマネジメントの観点
- 4) マネジメント全般の観点

それぞれの観点で、まず事実関係を子細に確認した上で、教訓を抽出し、さらに、その教訓を今後どう活かすべきかの提言を行った。

<ASTRO-G 計画から得た教訓 1>

=== 技術的チャレンジの観点 ===

【事実の経緯】

1) 鏡面精度の実現が困難となった

ASTRO-G 計画を中止せざるを得なくなった直接的な原因は、大型展開アンテナの鏡面精度が実現できないことが明らかになった点にある。ミッション達成の重要な要素である 43GHz 帯の電波による観測の実現には、宇宙空間で 0.45mm rms の精度を維持しなければならないが、現在の技術ではその実現は困難と判断された。

2) 既存の経験技術の延長戦では実現できなかった

ASTRO-G 計画は、1997 年に打ち上げた「はるか」による VSOP (VLBI Space 計画 Observatory Program: スペース VLBI 観測計画) を引き継ぐものとして計画された。しかし、大型展開アンテナの技術は、「はるか」のアンテナ技術の延長線では実現できないものであった。このため、技術試験衛星 8 号 (ETS-VIII: きく8号・19x17m の大型展開アンテナ2面を搭載) のアンテナ技術を活用する方針とした。しかし、アンテナの鏡面精度を一桁高めるといふ飛躍的な挑戦を伴うものであり、技術的な難易度が高いものであった。

3) 検討段階から技術的リスクは認識されていた

大型アンテナを軌道上で展開し、ミリ以下の精度の鏡面を実現する技術は、初めての挑戦であり、ASTRO-G 計画の検討段階からその技術的リスクは認識されていた。

4) フロントローディングによって技術的見通しを得た

プロジェクト発足以前のワーキンググループ活動で、実現のための研究開発 (フロントローディング) として部分的な試作等が行われている。これによって技術的見通しがあると評価され、プロジェクトへの移行が可能と判断した。しかし、資金的な制約もあり、更なる検証 (展開再現性の確認など) はプロジェクト移行後に実施する方針とした。

【教訓の抽出】

1) ミッションクリティカルな要素に挑戦的な技術を採用する場合はフロントローディング²をより充実させる必要がある

ASTRO-G 計画では、ミッションの成否を左右する要素をリスクがある未踏の挑戦的技術に依存していた。そのリスクは、回避したり、他の方法による代替も効かないものであった。

このようなミッションクリティカルで、回避・代替の効かない要素をリスクの高いチャレンジングな技術で目指さなくてはならない場合は、より慎重な実現性の評価、判断が必要である。また、他の要素に比してフロントローディングを充実させる等の対策を講じる必要がある。

2) 技術導入に際して、徹底した検証が必要

困難な技術水準を満たすために実績のある技術を活用することは、技術的成立性を確保する観点に加え、コストやスケジュールの面でも有効なアプローチであることは言うまでもない。

しかし、ASTRO-G 計画に関しては、自らが全ての基礎データを有する技術に比して、採用した技術の発展性やその制約、これらの結果として覚悟すべきリスク等に関する理解が不足していたと言わざるを得ない。

前例のない技術的チャレンジで、基礎技術を他から導入する場合は、その技術の本質を十分理解し、徹底した検証を行う必要がある。それによって、計画の遂行におけるリスクをできるだけ初期の段階で十分に把握することが重要である。

【教訓の活用】

1) フロントローディング充実のための仕組みの検討

ASTRO-G 計画では、当初からフロントローディングの必要性が認識され、現実に実施されたが、フロントローディングをより充実させることができれば、さらに早期に技術課題を発見し、中止もしくは計画の変更をすることができた可能性がある。

もっともフロントローディングを充実させるためには、プロジェクト化の前段階で十分な資金手当てが必要となる。しかし、現状の JAXA のプロジェクトマネジメントの仕組

² フロントローディング

製品製造やシステム開発のプロセスにおいて、初期工程(フロント)に重点を置いて集中的に労力・資源を投入して後工程で発生しそうな負荷(仕様変更など)を前倒することで、品質向上や納期短縮を図る活動

みにおいては、その資金手当ては困難である。プロジェクト化の前段階で十分なフロントローディングを行う資金手当てが得られるよう、改善が望まれる。

ASTRO-G 計画のようなミッションクリティカルで回避の効かない要素については、例えばプロジェクト経費の一定割合をプリプロジェクト段階で投入する、あるいは当該要素のみを前倒してプロジェクト化する等、比較的大きな資金を使ってフロントローディングを行うことのできる仕組みを検討すべきであろう。

2) 工学ミッション等の実証機会の活用

スペース VLBI 分野では、工学ミッションとして「はるか」の経験があった。通常は、工学ミッションの成果を用いて理学ミッションが実施されるが、ASTRO-G の展開アンテナは、これに先立つ工学ミッションである「はるか」の技術によって実現することができないものであった。

ミッションクリティカルな要素を未実証のチャレンジングな技術で実現する場合には、理学ミッションであっても工学ミッション等の実証機会を活用するなど、技術リスクの程度の高いミッションを実行する方法を模索すべきであろう。

<ASTRO-G 計画から得た教訓 2>
=== 資金マネジメントの観点 ===

【事実の経緯】

1) 提案当初から大幅なコスト削減という宿命

ASTRO-G 計画は、宇宙科学研究所のミッション募集の条件として設定された予算、120億円(マージン含む)が上限という制約のもとで、他のミッション提案と競争する必要があった。これは ASTRO-G 計画にとっては厳しい予算設定であったため、提案当初から大幅なコスト削減が必要だった。

プロジェクト経費設定の際には10%のマージンを見込んでいたが、以下のような外的な要因だけでもマージン超過が発生した。

- ・ 宇宙3機関統合直後に生じた一連の不具合に伴う品質管理要求の強化
- ・ 打上げロケットの M-V から H-IIA への変更
- ・ 国際協力相手の資金調達失敗

2) 初のRFP³方式による業者選定で相互理解に齟齬があった

ASTRO-G 計画は、宇宙科学研究所では経験のなかった RFP 方式による業者選定を行った最初のプロジェクトであった。そのため、企業との間で見積もり内容の解釈に齟齬が生じ、追加経費が必要となった。

3) 約90億円の追加予算が必要になった

高精度な大型展開アンテナの性能確保等の技術的困難への対応のため、当初予定していた以上の開発経費が必要であることが明らかとなった。そこで、プロジェクトを一旦休止して技術的検証を進めた結果、現状で実現可能な技術の範囲であってもプロジェクト全体では当初のプロジェクト資金に比して約90億円の追加予算が必要とされた。

4) プロジェクト投入資金を最小限にできた

技術的困難が確認された時点で、その検討作業以外のプロジェクト活動を休止する措置が取られたため、プロジェクト投入資金を最小限に止めることができた。

³ RFP(Request For Proposal:提案依頼書)
システムの導入や業務委託を行うにあたり発注先候補の業者に具体的な提案を依頼すること

【教訓の抽出】

1) 投入資金の最小化にJAXAのプロジェクトマネジメントプロセスが有効

ASTRO-G 計画については、四半期ごとに直接プロジェクトの状況を把握するプロジェクト進捗報告会や課題が生じた際にチーフエンジニアオフィスが状況把握を行う等のプロセスが適用されており、その中で資金超過見込みや技術的困難の事実が把握できた。

この時点で、計画見直しのために技術課題対応以外のプロジェクト活動を即座に休止する指示が出され、プロジェクトへのその後の投入資金を最小限にとどめることができたと言える。

2) 適切なコストの見極めと適切な評価が必須

予算内でプロジェクトを遂行することを困難にした数多くの外的要因があったとはいえ、結果的にプロジェクト経費の大幅超過をきたしたのは、当初の見積設定が甘かったことが原因であることは否定できない。

JAXA はプロジェクトマネジメントの規則により、プロジェクト移行前に担当企業を選定して見積もり精度を高め、また、プロジェクト外の有識者(チーフエンジニア)がコスト・リスクを評価するプロセスを設定している。

ASTRO-G 計画でも RFP を行って担当企業を選定し、プロジェクト資金の算定を行っている。その結果、プロジェクトが把握したコストがミッション提案時に前提とした資金枠を上回ることが明らかになった。このギャップを、削減努力をはじめとする宇宙科学研究所および担当メーカーの努力によって対応できると判断した経緯がある。しかし、技術開発作業が進展するに従い、技術課題への対応等の超過要因と相まって結果的に大幅なコストオーバーが生じてしまった。「コスト削減が可能」とする判断が甘かったことになる。

実施することが有効な試験・検証等については結果的に手戻り等によるコスト増を招くことの無いよう、ミッション成功に必要な経費を見極めることが重要である。

また、その結果として、当初見込みを超えるプロジェクト資金を提案せざるを得ない場合には、これを適切に評価することが重要である。

3) ミッションクリティカルな国際協力でのリスク対応の必要

ASTRO-G 計画では、NASA による地上局整備を見込んだミッション達成を予定していたが、NASA の離脱により約10億円の追加資金が必要となった。

近年の宇宙開発はプロジェクト規模が大きくなり、国際協力を必要とするケースが増えてきている。しかし、参加する他国がミッション成立を左右するような協力となる場合のリスクにどう対応するかを資金の面でも検討、配慮しておく必要がある。

【教訓の活用】

1) JAXAレベルでのプロジェクトマネジメントと適切な判断の継続

ASTRO-G 計画を開発の早い段階で中止できたのは、JAXA における定期的な進捗把握とこれに基づく適切な措置が機能した結果である。

このような活動は形式的なものに陥り易い側面もあるが、これを良い教訓として、より実質的に効果のある仕組みとして、更に充実、継続することを期待する。

2) 経験者の活用と評価者の育成

世界的に見てもコスト超過になるプロジェクトが多い中、現状ではプロジェクト経費の妥当性は担当チームの経験や過去の事例を元に判断せざるを得ないのが現状である。しかし、新しい分野のプロジェクト等経験の蓄積の少ないプロジェクトでは適切な予算の設定に困難を伴うことがあり得る。

個々の衛星仕様や開発要素等により開発経費は異なるが、ミッション提案の母体であるコミュニティだけでなく、他の分野の経験者も参加する形でコストの妥当性を検討する等、経験者の知見を活かす方法を模索すべきであろう。

3) リスクに合わせたコストマージンの考え方の整理

プロジェクト資金に組み込むべきマージンの考え方については、上記のとおり経験者の知見を活用することが重要である。特にミッションの成否に大きな影響をもたらす国際協力量、クリティカルなリスクを内包するプロジェクトについては、当該協力が不首尾になった場合の方針をあらかじめ予定しておくことにより、これに見合うコスト増を設定しておくなど、リスクに合わせたコストマージンの考え方を整理して、コストオーバーランを防ぐ工夫をすべきである。

＜ASTRO-G 計画から得た教訓 3＞

=== 宇宙科学ならではのマネジメントの観点 ===

【事実の経緯】

1) 先端技術の採用とプロジェクトの実行は不可分

世界をリードする科学成果創出を目指す宇宙科学研究プロジェクトにおいては、挑戦的な先端技術の採用とプロジェクトの実行は不可分である。また、学術研究の一環として研究者の試行錯誤の中からこのような先端技術が生み出され、実現されることで新たな研究分野を切り開く形で発展していくものである。

2) 理学研究者と工学研究者の一体体制

先進的な宇宙科学の地平を開くため、宇宙科学研究では理学・工学の研究者が一体となってプロジェクトを支えていく研究の体制と環境が実現されている。

3) 課題が発生した場合に働く自律的評価システム

宇宙科学研究については、競争的環境下で厳正なレビューを行ってミッションを選定・提案し、当該ミッションに課題が発生した場合は、自律的に評価を行うシステムを持ち、ASTRO-G 計画に関しても、これらのシステムが適切に実施された。

4) 中核技術の実現性とリスクに対する判断に甘さがあった

上述のような評価システムが機能していたとはいえ、専門家による成立性検証の結果得られた知見を持って見直せば、結果的に中核技術の実現性とリスクに対する判断に甘さがあったと言わざるを得ない事も事実である。また、プロジェクト進捗管理の面でも、理工学委員会での定期的な報告と検討、審査が若干形式的になっていた可能性を指摘せざるを得ない。

【教訓の抽出】

1) 挑戦的なミッションの足踏みは避けなければならない

宇宙科学プロジェクトにおいては、挑戦的な技術の積極的な採用による高いレベルの成果の創出が今後も継続すべき重要な課題であり、ASTRO-G 計画の中止によって、これを抑制する結果となることは避けなければならない。

2) 欠かせない企業との協働の望ましい方法を構築

企業との協働により研究成果を目指す手法、企業とともに日々進歩する先端技術の導入を開発の最終段階までチャレンジし続ける姿勢は、「はやぶさ」をはじめ宇宙科学研究所が世界レベルの成果を実現してきた原動力でもある。プロジェクトの確実

な成功を実現するためのプロジェクトマネジメントと調和した形で、その良さを活かす方法を模索すべきである。

3) 挑戦的技術が必要な場合は厳格なレビューを実施

ミッションクリティカルで回避や代替の効かない要素をチャレンジングな技術で実現する必要がある場合は、コミュニティが行ってきた実現性評価や進捗確認についてもこれまで以上に的確かつ批判的な視点も加えたレビューが実施されるべきである

【教訓の活用】

1) より専門的な評価の導入

ミッション提案段階でのコミュニティによる評価をよりの確なものにするため、ミッションクリティカルな要素のチャレンジングな技術については、理工学委員会により専門的な評価ができる仕組みを取り入れるなど、実現性評価にかかる専門性を高めることが有効であろう。

2) 開発途中での課題を早期に把握、検討する工夫

プロジェクト開始後、開発の途中段階でもプロジェクトの課題を早期に把握し、検討することのできるよう、理工学委員会においてプロジェクト状況確認の改善を模索すべきであろう。

<ASTRO-G 計画から得た教訓 4>

===マネジメント全般の観点===

【事実の経緯】

1) 理想的な体制の構築ができなかった

ASTRO-G 計画は、ミッション選定時からプロジェクト実施体制の強化が必要と評価されていた。とりわけ、提案時に大型展開アンテナの技術研究を担っていた中核研究者がプロジェクト発足前に定年退職となり、途中で交代する事態となった。

プロジェクトチームは国立天文台との連携によって構成され、プログラムサイエンティストを国立天文台から招聘、プロジェクトマネージャを工学研究者から選定するなど、プロジェクト発足時に体制の強化が図られた。しかし、結果としてミッション成立に向けて高い動機と強い意志を持つ者が、ミッション提案段階から一貫してチームを率いるという理想的な体制は構築できなかった。

【教訓の抽出】

1) ミッション検討段階から一貫したリーダーが重要

新しい分野のプロジェクトを推進する場合は、コミュニティ内部で十分なプロジェクト体制を整備できない場合がある。しかし、プロジェクトの体制を強化するためには、ミッション成立に強い意志を持つ者がミッション検討段階から一貫してチームを率いること、また、それを支えることが可能な宇宙科学研究所内外の支援体制が重要である。

2) チャレンジングな技術を支える体制

一般にどのように技術を継承するかは大きな課題であるが、特にプロジェクトにおいてチャレンジングな技術を如何に実現するかはプロジェクト成功の鍵である。

それだけに挑戦的技術の実現を目指して牽引する中核研究者や技術者の交代による影響が、プロジェクトの技術的成立性を高める上で少なくないことが認識された。

【教訓の活用】

1) ミッション検討段階からの分野横断的人材活用

新しい分野のプロジェクトの体制強化の方法としては、他分野の衛星開発経験者や工学研究者の参加等が考えられる。また、このような横断的人材を動機を持った集団にしていくいわゆるチームビルディングをワーキンググループによるミッション検討段階から実践することで、ミッション成立に強い意志を持ち、チームを率いる状況を作り出すことが期待される。こうした分野横断的人材活用は、新しい分野のリーダーの育

成にも有効であろう。

2) 技術の計画的継承と人材の確保

プロジェクトの全期間にわたって一貫して高い技術力による研究開発を継続するためには、ミッション検討段階から開発完了までのスケジュールを想定した研究者や技術者の配置を第一と考えるべきである。これが100%実現できない場合でも、当初から後継者に参加させる等、計画的な技術継承を図るべきである。

このことは、特に挑戦的な課題を追求する技術分野では、ことさら強く配慮されるべきである。

< 期待 >

日本における宇宙科学研究は、少ない予算で世界的な成果を上げてきたことが国際的に高く評価されている。それは、宇宙科学研究所が広く大学研究者に門戸を開く「大学共同利用」という独自のシステムのもと、研究者自身の自律的な運営と厳しい競争が続けられてきたからである。

ASTRO-G計画が早期に中止という厳しい英断を下せたのは、研究者コミュニティが事実を真摯にとらえ、自律的に判断したからだった。これは特記されるべきことで、このような組織文化を今後も維持・継承し、今回の教訓が活かされていくことを期待する。

また、抽出した教訓は宇宙科学研究所のプロジェクトに固有のものではなく、その多くは JAXA の他の本部・プログラムで取り組むプロジェクトにも共通するものといえる。よって、これらの教訓が広く JAXA 内で共有され、活かされることを期待する。

ASTRO-G 計画の中止は、プロジェクトマネジメント改善の取り組みの結果として早期に実現できた。今後は本委員会が抽出した教訓も含め、宇宙科学研究所及び JAXA が引き続き真摯にプロジェクトマネジメントに取り組んでいくことを期待する。

宇宙科学のプロジェクトは世界初の成果を目指すものであり、そのプロジェクトが挑戦的であればあるほど、困難を伴うことは避けられない。しかし、今回の中止を教訓とし、この残念な決断を乗り越えて、宇宙科学研究所、そして JAXA が今後も国民に大きな夢と希望をもたらす成果をあげることを期待する。

<ASTRO-G 計画教訓委員会 委員リスト> ※括弧内は委員会発足時の役職

委員長：戸田 勸(早稲田大学特任教授)

委員：土屋 和雄(同志社大学理工学部 教授)

富岡 健治(JAXA 技術参与)

鈴木 章夫(東京海上日動火災保険株式会社顧問)

山根 一真(ノンフィクション作家・獨協大学経済学部特任教授)

<ASTRO-G 計画教訓委員会 開催経緯>

第1回委員会:平成23年2月14日(月) 14:00-16:45

第2回委員会:平成23年3月 1日(火) 14:00-16:30

第3回委員会:平成23年4月 8日(金) 14:00-17:00