

## X線天文衛星 ASTRO-H「ひとみ」の喪失に対するコミュニティとしての総括

2016年7月9日 高エネルギー宇宙物理連絡会集會

ASTRO-H「ひとみ」は、NeXT計画として検討されていた当初から、高エネルギー宇宙物理連絡会（高宇連）が深くかかわってきたプロジェクトである。2010年代から2020年代にかけて世界の高エネルギー宇宙物理学を牽引する宇宙X線天文台として、高宇連が強く支持し、多くの会員が貢献してきた。日本のX線衛星プロジェクトでは、ISASを中心にしつつ、国内、国外の大学や研究機関の力を結集したコラボレーションを形成することで、これまでいくつもの衛星を打ち上げ、最先端の科学的成果を生み出してきた。実際、今回の「ひとみ」においても、搭載された世界最先端の観測装置は、若手を含む国内外の多くの研究者の努力もあって、軌道上で衛星喪失にいたるまで予定どおり動作し、初期観測で大きな科学成果を挙げている<sup>(脚注1)</sup>。

しかるに、後に述べるような要因によって、我々は「ひとみ」を喪失し、その結果、多くの科学者・技術者の努力に応えられず、日本のみならず世界の宇宙科学の発展を大きく遅らせることになった。「ひとみ」を提案し多くの会員が深く関わったコミュニティとして、高宇連は、このことを厳しく受け止め、プロジェクトに対する取り組みが十分でなかったことを深く反省する。喪失にいたった経緯を総括するために、高宇連はASTRO-Hプロジェクトに参加した会員（以下では「プロジェクト参加者」と呼ぶ）からなるタスクフォースを設置し、JAXAの「X線天文衛星ASTRO-H「ひとみ」異常事象調査報告書」(報告書)の分析とプロジェクト参加者としての自省に基づき、問題点の指摘と改善策の提言を、今後のミッションに資するためコミュニティとして共有することにした。

報告書では、「ひとみ」喪失の主要な根本原因として、システムに内在する設計上のリスクを捉えきれず、また初期運用等の計画が十全でないまま打ち上げに至ったことが挙げられている。その結果、誤動作の発現とヒューマンエラーが複合して衛星喪失に至った。段階的プロジェクト計画法にのっとりた審査が行われたにも拘わらず、このような見落としが生じた一因に、段階ごとの獲得目標に対する理解の不足と、安全・信頼性確保の面での脆弱さがあった。また、先端的な観測機器に加えて、バス機器においても高度な指向管理、EOB 伸展など、装置開発・運用の両面で挑戦的な提案をしながら、自らの経験・実力を過信して従来のやり方をプロジェクトの大きさに合わせて変えきれず、衛星開発の背景にあるシステムズエンジニアリングの考え方<sup>(\*脚注2)</sup>がプロジェクト参加者に対して浸透していなかった。それにより、審査会が十分に機能せず、文書化とその有効利用も不徹底だった。加えて、プロジェクト全体を俯瞰してリスクを認識し、リソースの徹底的な確保をはかる継続的な努力も不足していた。リソース確保については、プロジェクト内の連携による最適化に加えて、外部からふさわしい人材や文化を導入する努力も十分とはいえなかった。これらが、リスクの見落としと運用計画の不足という根本原因につながった。

以上の分析と自省に基づき、宇宙物理学の求める科学成果の創出を目的とするプロジェクトに、今後、高宇連会員が参加していく際には、特に以下の点を重視してJAXAとともに進める必要がある。

- 1) 計画の初期から設計、製造、試験、打ち上げ、運用、そしてプロジェクトの最終目標である科学成果の創出に至る道筋を綿密に検討し、プロジェクト参加者が各段階の目標を明確に認識した上で、検証を行いつつ、それぞれの責任分担を着実に進める。
- 2) 国内外の大学や研究機関の力を結集したコラボレーション全体で情報共有を進め、全体を見渡した判断が重要であるとの共通認識をプロジェクト参加者全員が持つ。これにより、リソースを開発の進捗にあわせて適切に配置する。

これらの観点に基づき、以下のA)~D)の改善をJAXAと協力して進めることを、今後の科学衛星プロジェクトに参加する高宇連会員に対して提言する。

#### A) リスク識別方法の改善とプロジェクト参加者に対する教育

本異常事象の背後要因のひとつとして、「科学成果創出の観点から必ず達成すべき要求」と「さらに効率を高めるための要望」の分離や、要求の詳細化に不十分な点があった。プロジェクト参加者は、科学成果のための要求と、それに伴うリスクを明確にし、透明な環境でトレードオフを実施する必要がある。また、識別されたリスクは、運用を含むプロジェクトの全期間を通じて追跡する取り組みを、担当者の定義、プロジェクト全体として記録・文書化の徹底など必要な措置を講じることで、確実に実施する。これらを有効に機能させるために、体系的な学習の機会を設けるなどして、システムズエンジニアリングの考え方を理解し、過去の衛星の教訓を継承し、異常時も含めて現衛星のシステムとしての動作を正確に把握してリスクを正當に評価できる能力を高める努力をする。

#### B) 打ち上げ後の運用および科学成果創出に関する準備と着実な実行

本異常事象の背後要因のひとつとして、特に打ち上げ後の運用計画・準備の不足が指摘されている。プロジェクト参加者は、衛星の設計段階より、打ち上げ後の定常運用・科学観測を見据え、プロジェクトの進捗に沿った確認・移行のステップを適切に設定し、早くから準備することが必要である。また観測データを有効に利用し、科学成果を創出するために、あるべき姿を計画の初期にチーム全体で共有し、実現にむけ段階を踏んだ計画をたて、進捗の情報を共有しつつ、十分な当事者意識をもって着実に推進する。

#### C) コラボレーションの分担・責任の明確化と適切なリソースの配置

プロジェクト参加者はすべて、科学衛星プロジェクトを進め、科学成果を創出することに大きな責任を負う。そのため、観測機器や解析ソフト開発、衛星運用などのプロジェクトで定義される各サブチーム、および科学者の立場でのプロジェクト参加者に対して、それぞれの分担・責任および指示・報告の経路を明確にする。一方で、JAXAと参加する大学・機関の緊密な協力が実現できるように、適切な管理に基づく十分な情報開示、クロスアポイントメントなどそれに見合ったエフォートを割ける仕組みをJAXAとともに検討する。さらに、各サブチームが必要に応じて専門家の助力をえられるよう衛星プロジェクト全体として体制を整える。

#### D) サブチーム間の連携のための情報共有

コラボレーション全体での情報共有とリソース配置を有機的・効率的に進めるために、従来の設計会議や各段階での審査会だけでなく、衛星の設計、製造、試験、運用の全期間を通して、情報を広く共有し、サブチーム間の連携を高める体制をJAXAと相談・協力しながら構築していく必要がある。たとえば、それぞれのサブチームから、意思決定のできるリーダーを集めた連絡会を定期的に関開くなどの方策をとり、その中で各サブチームの状況を網羅的に共有できる雰囲気を作る。これによって、各サブチームが自らの問題に早期に気づく可能性を高めるとともに、複数のサブチームに共通した問題点を浮き彫りにする仕組みを構築する。こうした取り組みは、結果的に、問題の早期発見と解決、リソースの有効活用につながる。また普段からコミュニティ内の意思疎通や情報の共有を図るために、ISAS/JAXAと大学間の人事交流を一層促進する。

以上の方策をもって、高宇連会員は、衛星プロジェクトに責任を持って参画し、これまで以上の貢献ができるものと確信する。

\*脚注1) Hitomi collaboration, Nature 535, 117-121 (07 July 2016)

\*脚注2) プロジェクトの最終目標を明確にした上で、そこの至るための最善の段階的開発を考え、各段階の目標とその目標を満足するための道筋を明確にした上で、検証を行いつつ段階的にすすめる考え方。参考として、JAXAから公開されている文書BDB-06007B「システムズエンジニアリングの基本的な考え方」(JAXA チーフエンジニアオフィス)。