

宇宙利用促進調整委託費

事後評価

<p>研究開発課題名（研究機関名）：                  衛星データ利用のための技術開発プログラム                  (3)超小型位置天文衛星のデータ利用促進のための研究                  (国立大学法人京都大学)</p> <p>研究機関及び予算額：平成21年度～平成23年度（3年計画） 57,305千円</p>	
項目	要約
1. 研究開発の概要	<p>今後打上機数の拡大が見込まれる超小型衛星について、安価、かつ、多様な超小型衛星にも対応できる地上運用管制・データ公開システムを開発する。</p>
2. 総合評価	<p><b>A</b></p> <p>小型位置天文衛星としての性能が十分考慮され、衛星の小型化の流れを見据えた開発となっており、その点で期待できる。また、地上局の構築など、地道に進める仕事を順次こなしているようであり、これから予想される数多くの小型衛星のデータの収集のための地上システムのモデルになると推測でき、衛星打上げ前の準備としては十分な成果が得られたと評価できる。また、サーバーシステムが開発されており、今後広く活用しうると評価できる。</p> <p>一方、まだ衛星が打ち上がっていないため、最終的な成果を評価できないのが残念である。この種の研究は衛星打ち上げによる実証が不可欠であり、来年11月頃の打ち上げ結果を期待したい。</p> <p>S) 優れた成果を挙げ、宇宙利用の促進に著しく貢献した。  <b>A) 相応の成果を挙げ、宇宙利用の促進に貢献した。</b>                  B) 相応の成果を挙げ、宇宙利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。                  C) 一部の成果を挙げているが、宇宙利用の明確な促進につながっていない。                  D) 成果はほとんど得られていない。</p>
3. その他	<p><b>【研究開発成果について】</b></p> <p>小型衛星は、今後の宇宙開発において非常に重要なデバイスである。その衛星を運用するための技術、開発を進める若手教育、地上のインフラのモデル構築などを進めており、これらは将来の日本における衛星ビジネスにおいても重要な技術となると推測する。その意味でも、来年の打ち上げ以降の運用実績を積んで、より高い精度での運用が可能なシステム構築を継続して進めていただきたい。</p> <p><b>【その他特記事項について】</b></p> <p>サーバーシステムを広く活用・保守できるようにオープンソース化などが求められる。</p>

宇宙利用促進調整委託費 事後評価 調査票

<p>1. 研究開発課題名</p> <p>超小型位置天文衛星のデータ利用促進のための研究</p>														
<p>2. 該当プログラム名</p> <p>衛星データ利用のための技術開発プログラム</p>														
<p>3. 研究開発の実施者</p> <p>機関名：国立大学法人京都大学 代表者氏名：山田良透 担当事業：データ解析                  機関名：大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台 代表者氏名：郷田直輝 担当事業：利用推進                  機関名：国立大学法人東京大学 代表者氏名：酒匂信匡(H22年度以降中須賀真一) 担当事業：受信・運用システム</p>														
<p>4. 研究開発予算及び研究者数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>研究開発予算</th> <th>研究・技術者</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平成21年度</td> <td>19,000千円</td> <td>27人/年</td> </tr> <tr> <td>平成22年度</td> <td>19,000千円</td> <td>26人/年</td> </tr> <tr> <td>平成23年度</td> <td>19,305千円</td> <td>24人/年</td> </tr> </tbody> </table>				研究開発予算	研究・技術者	平成21年度	19,000千円	27人/年	平成22年度	19,000千円	26人/年	平成23年度	19,305千円	24人/年
	研究開発予算	研究・技術者												
平成21年度	19,000千円	27人/年												
平成22年度	19,000千円	26人/年												
平成23年度	19,305千円	24人/年												
<p>5. 研究開発の背景、目的・目標</p> <p>・現在、50kg以下の超小型衛星を用いた赤外線位置天文観測衛星 Nano-JASMINE を開発している。位置天文は、天文学の基本情報である、星の天球上の位置・運動および星までの距離を正確に測定する天文学の一分野である。Nano-JASMINE は、可視光より少し赤外線寄りの0.6ミクロンから1.0ミクロンのバンドを使って、全天の位置天文観測を行う衛星であり、精度は数ミリ秒角(1ミリ秒角は360万分の1度)である。20年前にヨーロッパ宇宙機関が打ち上げたHipparcos衛星と同程度の精度を達成することが目標で、世界でもHipparcosに次いで二番目(打ち上げ遅れが無ければ)、日本では初めての位置天文観測衛星である。この衛星の開発がすすみ、地上系およびデータ公開の準備が必要となったため、本技術開発プログラムの研究開発を開始した。</p> <p>・位置天文観測は、天文学では基本的な量である星々の位置・運動・距離を測定する観測である。従って、その成果は多くの天文学分野に波及する。特に、天体までの距離を決めるために通常は様々なモデルを使った推定を行うが、位置天文観測は唯一星までの距離を直接的な三角測量(基線は地球の公転直径)で測定できる方法である。1989年~93年にヨーロッパ宇宙機関における位置天文観測衛星 Hipparcos 衛星が打ち上げられ成功をおさめ、これにより天文学は大きく進歩し、多くの天文学者が位置天文学の重要性を再認識した。この成功を受け、国立天文台第三者評価(1997年)において、日本でも衛星を用いた位置天文学を行うことの重要性が指摘されたことが、日本で位置天文観測プログラムがスタートした社会的背景である。ただ、日本では衛星を用いた位置天文観測の経験が無く、いきなり大型の衛星計画を行うことはリスクが大きいので、小さな衛星で出来ることからスタートすることが必要であり、そのため Nano-JASMINE ミッションがスタートした。</p> <p>・本研究は、Nano-JASMINE 衛星用の地上系・公関係システム開発を行い、そのノウハウを公開する。すでに日本でも多くの大学衛星が打ち上げられていて、衛星開発のノウハウは蓄積されている。しかしながら、通信にはアマチュア無線などの細い回線を使っており、本格的な科学観測および実用観測のための大容量通信はまだ敷居が高い。Nano-JASMINE で得られる地上系、公関係のノウハウは、今後増大が見込まれる超小型衛星をより本格的な衛星として発展させる場合の、運用に対するテンプレートになることが期待される。すなわち、衛星のデータ受信から公開までの一連の流れを検討・設計・開発するために必要な情報のひな型となることが期待される。「電波天文用の望遠鏡に受信機を設置し、データをサーバーに送り、解析ソフトを通して公開サーバーに置くデータを作る」といえば簡単に聞こえるが、実際にやってみると事前にどういうことに注意しながら作業を行わなければならないか、どういうところで作業が後戻りする可能性があるかなどの知見が蓄積する。これが、今後同じことをしようとする人たちに対する経験・情報として生きて来る。地上系・公開システムの構築に必要な情報を今後の超小型衛星開発者と共有することにより、超小</p>														

型衛星による科学・実用衛星への敷居を下げることを目的とする。

#### 6. 研究開発の実施内容

・本研究開始時には、位置天文観測の生データから公開データ(サイエンスユーザーが使える恒星カタログ)を作成するためのデータ解析は、Hipparcos 衛星で経験を持っている欧州の研究者との共同研究が合意され、国立天文台水沢 VLBI 観測所の天文観測用電波望遠鏡の空き時間を、衛星データ受信の地上局として利用することも合意された段階であった。これらの合意事項を、実際に具体化し発展させるために、本事業を開始した。本事業では、生データから公開データへのデータ解析、天文観測用電波望遠鏡を用いた衛星データ受信のための機器追加および試験、運用および運用を支援するためのソフトウェアの具体的な準備を進めた。当初計画では、既に衛星が打ち上がり実データの公開まで行う予定であったが、射場の建設遅れに伴う衛星打ち上げの遅れのため、Nano-JASMINE の恒星カタログの公開システムのためのサーバープログラムの準備と模擬データでの試験までを行い、実データが下りて来るのを待っている段階である。

#### 7. 研究開発成果

【1】宇宙利用の促進への寄与(本研究開発事業がどれだけ宇宙利用の促進に寄与したのか。)

- ・超小型衛星を使って本格的な科学が出来ることを実証できれば、そのインパクトは非常に大きい。現在、衛星観測を行うことを期待している多くの科学分野から 10 を超える衛星計画が提案されている。しかしながら、従来の中型・大型と呼ばれる衛星はコストもかかり、宇宙科学研究所が 2009 年頃より新たに募集した「小型科学衛星プロジェクト」を含めたとしても、日本で「宇宙機関」が関与し、日本の打ち上げ機で、日本の衛星メーカーが作る科学衛星は 1 年に 1 機以下しか打ち上がらないのが現状である。一方、科学の進歩は日進月歩であり、打ち上げが認められる順番を待っていれば期待される科学成果が陳腐化してしまう。本格的な科学利用に耐えうる衛星を、早く・安く打ち上げる可能性を示すことができれば、多くの科学分野で超小型衛星を利用した観測ミッションの提案が増えるであろうことは容易に予想できる。中・大型衛星は 100 億円規模、あるいはこれを超えるが、超小型衛星はコストが数億円程度で、小回りが利く小さな企業が取り組むにも最適な規模である。即ち、数が増えれば超小型衛星がビジネスとしても成立する可能性がある。
- ・一方、これまでに東大や東工大で 10kg 以下の超小型衛星がいくつか打ち上げられたが、いずれも機能の制約が大きく、本格的な科学観測に使えるものではなかった。Nano-JASMINE は、Hipparcos 級の成果を目指している。つまり、20 年前の全ヨーロッパあがての宇宙機関衛星並みの成果を、超小型衛星で出そうとしている。20 年たって同じ精度で十分な科学成果を期待するには、科学的考察はもちろん必要ではあるが、もしこれが実現すれば超小型衛星を使った初めての本格科学衛星となる。残念ながら打ち上げ遅れに伴って本事業期間中の実データ提供に至らなかったが、打ち上げられれば必ず成果が上がるし、実際欧米の研究者からの Nano-JASMINE 衛星への注目度は非常に高い。
- ・受信システム・故障診断システム・運用システム・公開システムは、どれも衛星ミッションに必要な技術である。これらのシステムのノウハウが公開されることで、大学衛星のような小規模衛星への敷居が下がり、宇宙の利用が促進される。
- ・本研究は、多くの大学衛星に対して、運用・解析の投資に対する敷居を下げ、超小型衛星に取り組みやすくなるという、波及効果があると期待される。
- ・超小型衛星が自動運用のための故障診断システムを備えた例は無い。宇宙機関が行う衛星に置いても、衛星の故障の解析は人手に頼っているもので(あかり衛星の例など)、ログを解析して故障を自動で発見しようと言う試みがなされたことはない。これが実現すれば、運用コストの低下につながり、一つの大学が並行して複数の衛星を運用することも可能となる。
- ・今後の継続性として、Nano-JASMINE の公開システムと欧州の Gaia アーカイブとの連携が技術的に検討されている。

【2】その他成果(もしあれば、参考のためお伺いします)

- ・位置天文は、天文観測ではあるが、衛星システムの状態(姿勢や観測装置の歪みなど)を、恒星の運動を頼りに通常のセンサーで測定できるよりはるかに高精度に推定することで、非常に微弱で検出が難しい星の運動を高精度に推定する観測である。これは、自分の観測結果を使って自分の状態を知ること、すなわち「システム同定」と呼ばれる工学分野がやろうとしていることと同じである。例えばセンサーの感度や設置状況が多少安

定していなくても、どのような物理法則に従ってセンサーが動くのかを適切にモデル化することで、センサーの動きと測定対象を同時に高精度に推定できる。これは、機器や機器の設置状況を安定化することにコストをかけるより、結果を解析することにコストをかけてシステム同定の高精度化を達成する方が、結果として同じ測定が安く出来る可能性を示している。実際、Hipparcos 衛星のカタログは 1997 年に出版されたが、2005 年に全く同じ生データを再解析して、天文カタログとしての精度は約 3 倍向上した。位置天文は、取得画像が単純であり問題を解きやすく整理することが可能なため、適切なシステム同定の練習問題である。このことを利用して、大手企業がシステム同定のためのソフトウェア開発の例として Nano-JASMINE 衛星のデータ解析を取り上げようとして、現在共同研究がスタートした。

- ・ このシステム同定では、システムの構成要素の物理モデルを適切に計算機上で管理することが重要であり、これは同定だけでなくより広くシステムシミュレーション、フィジビリティ解析などの一連の作業を一つのシステムの中で実現させ得るものである。この試みが成功すれば、人工衛星に限らずより広い民生分野での設計支援システムに応用されるものとなることが期待される。

## 8 . 研究開発成果の発表状況

### (1) 研究開発成果の製品化の状況

- ・ 今回の開発成果が直接製品となる予定は無い。

### (2) 研究発表件数

査読付き論文： 3 件

査読無し論文等： 8 件

口頭発表： 18 件（国内： 16 件、国際： 2 件）

### (3) 知的財産権等出願件数(出願中含む)

0 件（国内： 件、外国： 件）

件毎に簡単な概要を記入すること。

### (4) 受賞等

0 件（国内： 件、国際： 件）

件毎に簡単な概要を記入すること。

## 8 . 今後の展望と課題

Nano-JASMINE 衛星は、2013 年 11 月から 2014 年 3 月の間に打ち上げられる方向で、現在打ち上げ会社、国立天文台、東京大学と調整を続けている。衛星が打ち上げれば、実データを用いた解析と公開サーバーでのカタログ公開を行うことができる。

天文カタログの公開と同時に、今後超小型衛星を用いてサイエンスを行うことを計画している科学者や工学技術者に対して有益な情報として、衛星姿勢履歴や温度などのログの履歴、これをもとにした衛星の状態推定の結果などを合わせて公開して行く予定である。

天文カタログの公開に関しては、同じく 2013 年打ち上げ予定のヨーロッパ宇宙機関の Gaia 衛星と、公開サーバーをリンクするための技術的な検討の予算申請を行っている。この予算が通れば、天文カタログとしてより価値の高いカタログ提供の方法を示すことになるかと予想される。

## 9 . その他特記事項

# 超小型位置天文衛星のデータ利用促進のための研究

## 1. 研究開発の背景、目的・目標

- Nano-JASMINEは、超小型衛星を用いた位置天文(星の位置と運動の項精度測定)観測衛星である。
- 欧州宇宙機関でのHipparcos衛星の成功を受け、日本でも衛星を用いた位置天文観測を行う必要性が指摘されたことを受け、初号の技術実証衛星として開始した
- Nano-JASMINE衛星の解析・運用・公開システムの整備が必要となった
- 今後、超小型衛星が本格的な科学・実用観測に広く使われやすくするため、解析、運用システム構築のノウハウを公開・衛星開発者と共有することをめざす。



## 2. 研究開発の実施内容

- Nano-JASMINE衛星をターゲットに、そのデータの受信・運用・解析・公開を行うシステムを構築した。
- データ公開システムは膨大なデータをWebから容易にアクセスできるプログラムを開発した。
- 地上局は、既存の電波望遠鏡に新規開発受信機を取り付けることで構築し、必要ないくつかの試験を実施した。
- あわせて運用システムのソフトウェアを構築した。



運用クイックルックソフトの表示例

## 3. 研究開発成果

- 天文観測用電波望遠鏡の衛星地上局としての利用のための技術開発の結果、超小型衛星がS-band等の大容量転送を行えるようになり、超小型衛星がより高機能なミッションに取り組める道を開いた。
- 衛星運用システムとして、送受信機開発と操作用ソフトウェアの構築を行った。コマンドやデータの形式を適切に変更するだけで、基本部分は他の衛星の運用システムにも応用可能である。
- 衛星運用における、自動故障診断システムの構築を行った。これにより運用負荷が下げられるので、大学などで超小型衛星に取り組むための敷居を下げることができる。
- 生データから科学ユーザー向けのカタログデータを生成するためのデータ解析コードの構築を行った。これにより、多くのアマチュア天文家がNano-JASMINEのデータを使うことが可能となる。
- インターネット公開については現在準備中



公開システムの表示例

## 4. 今後の宇宙利用促進に向けた展望と課題

本研究の延長として、(1)解析の部分は「システム同定」を用いた設計支援として衛星を含めた多くの民生分野への波及が期待される。(2)公開の部分は、海外の位置天文プロジェクトチームとカタログを相互参照できる形で運用する方向性が望ましく、海外側ではその予算がすでに審査の最終段階に入っている。