

Nano-JASMINEから小型JASMINEへ

郷田直輝

〈国立天文台 JASMINE 検討室 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: naoteru.gouda@nao.ac.jp



位置天文観測衛星計画として Nano-JASMINE と小型 JASMINE を現在集中して推進しているが、二つの計画は Gaia を補完するミッションとなる。Nano-JASMINE は超小型衛星で、太陽系近傍の明るい星の位置天文情報を提供し、それに基づく科学的成果が期待できる。小型 JASMINE は、銀河系中心核バルジの一部の領域と興味ある天体に対して、近赤外線による観測で非常に高精度な星の位置、年周視差、固有運動等の情報を提供するミッションである。

1. 位置天文学とは

JASMINE (ジャスミン) は、赤外線位置天文観測衛星で、Japan Astrometry Satellite Mission for Infrared Exploration の略語である。位置天文観測とは、天球面上での天体の位置とその時刻変動を測定し、年周視差や固有運動などの位置天文情報を導出するものである¹⁾。一般に恒星は天球面上では、地球の公転に伴う見かけの年周楕円運動と固有運動に伴う直線運動との組み合わせで、らせん運動を描く。しかし、連星系や惑星をもつ恒星、重力レンズ効果を受けた星の天球面上での軌跡は、らせん運動からのずれを示す。逆に言うと、らせん運動からのずれを解析することにより、連星系や系外惑星系の軌道要素等の評価から連星や系外惑星の質量等を、また重力レンズ天体の物理的特徴を導出できる。このように位置天文観測は、天球上の星の動きに含まれる天文学、宇宙物理学にとって重要な情報を提供するものであり、その情報を手に入れることが宇宙のさまざまな謎の解明につながるのである。そこで、恒星の非常に小さい年周視差や固有運動等を測定するためにはどのようにすればいいのか、つまり、観測装置や観測手法、データ解析にどのような工夫を

行えば高精度で位置測定をできるのかを研究し、実際に観測を行うのが位置天文学と呼ばれる研究分野であるといえる。

2. スペースアストロメトリへ

地上での可視光による観測では大気擾乱による星像のふらつきや地球重力による装置変形を受けて、20世紀後半でもおよそ30ミリ秒角程度の精度留まりであった²⁾。そこで、ESA (ヨーロッパ宇宙機関) は、これらのノイズ源の影響を受けない宇宙軌道上からの位置天文観測を実施すべく、世界で初めての位置天文観測衛星となったヒッパルコス衛星により観測を行った (1989-1993年の観測運用)。地上での観測精度より1桁以上も精度が向上し、天文学の“革命”とまで言う研究者もいた。なお、ヒッパルコス衛星による数々の研究成果は、ヒッパルコスのリーダであったPerryman氏によるテキスト³⁾を参照いただきたい。まさに、ヒッパルコス衛星は、スペースアストロメトリ (位置天文観測衛星) 時代の幕開けであった。その後、米国、ドイツなどでいくつかのスペースアストロメトリ計画があったが、残念ながら多くの計画がキャンセルとなった。しかし、ESAは、ヒッパルコス衛星の後継として大型可視光位置天文観

測衛星である Gaia の打ち上げ（2013年12月）に成功し、着実に科学運用を継続している（当初2019年までの運用予定であったが、成果が上がってきているので、2020年までの運用延長が認められた）。最終カタログが公開されるのは2022年以降ではあるが、それまでに中間リリースが3回程度予定されており、1回目は2016年9月に、2回目は2018年4月25日に公開されている。位置天文精度や観測個数も段々と向上されてきており、画期的な科学成果が期待できる。スペースアストロメトリは、これからまさに大革命時代を迎えようとしている。

3. 超小型衛星 Nano-JASMINE の“誕生”

日本では、1997年度に行われた国立天文台第三者評価委員会から、ヒッパルコスの成果もあり、今後は銀河スケールでの位置天文を進めるのが肝要で、そのために、スペースアストロメトリ計画の実現の可能性を真剣に検討すべきである、との検討推進勧告を受けた。この勧告を受けて、国立天文台ではスペースからの位置天文観測を推進する教授を公募し、筆者が1999年に着任することになった。勧告に従い、着任後、国内でのスペースアストロメトリ計画の検討を開始し JASMINE 計画に至ることとなった。当初は、衛星のことはもとより、プロジェクトのことも全く知らずに、協力者を徐々に募りながら、スペースアストロメトリや衛星計画の進め方の勉強から開始した。Gaia は、可視光観測であるため、天の川の中心や星形成領域など塵による減光効果を強く受ける領域での高精度観測は向いていない。そこで、赤外線でのスペースアストロメトリが世界でもユニークになりうるということで、赤外線位置天文観測計画、つまり、JASMINE 計画を検討することとなった。

当時はまだ“景気”もよく、2010年代前半には大型の衛星が打ち上げられる見込みになっており、

怖い物知らずで、JASMINE も主鏡口径が4 m や2 m といった大型の衛星の検討から始まった（今から思うと、とてつもない夢であった）。しかし、いきなり大型の衛星を実行するのは（当然ながら）困難であるというので、当時の国立天文台執行部からは、“本格的な衛星の前に宇宙軌道上での実験から始めるべきである”，というアドバイスを受けた。しかし、衛星はやはり予算も高く時間もかかり、宇宙軌道上での実験といっても容易ではない。ところが、2003年の初めに超小型衛星に関する研究会が開催され、東大工学部の中須賀真一先生の研究室で超小型衛星を開発中でこれからは小さい衛星が安価で早く打ち上げられる時代になるという情報を得た。そこで、超小型衛星を使えば宇宙軌道上での実験や技術実証ができるのではないかと考え、早速中須賀先生にコンタクトをとり、相談会をもった。中須賀研の皆さんに興味をもっていただき、同じやるならば、単に技術実証だけではなく科学的にも意義があるように、目標精度はヒッパルコス衛星程度を目指そう、ということに即座になり検討が開始した。これが、Nano-JASMINE（ナノ・ジャスミン）計画の誕生である。その後、多くの学生の皆さんや研究員といった若手の研究者の力も借りながら検討、開発を進め、打ち上げ実機（フライトモデル）は2010年10月に完成した（図1）。

Nano-JASMINE は単に技術実証といった面だけでなく、科学的意義も高まり世界的にも多くの研究者から（Gaia チームからも公式に）期待していただく衛星となってきた。当初の打ち上げ予定は2011年8月で、Gaia の打ち上げより前であったため、2007年に Gaia のリーダーとデータ解析チームから、Nano-JASMINE からの生データを Gaia のデータ解析用の練習として使用させて欲しいとの申し出があった。実は、Nano-JASMINE は Gaia と同じ観測手法をとる予定であった“大型 JASMINE”の技術実証衛星であったので、Gaia と同様な観測手法やデータ解析方法と



図1 組み立てが完成したNano-JASMINE衛星の打ち上げ実機（フライトモデル）。

なり、Nano-Gaiaと呼んでもふさわしいからである（なお、後述する小型JASMINEとは、観測手法やデータ解析方法は異なり、お互いは技術的にはほとんど独立である）。これをきっかけにして、Gaiaのデータ解析チームとの協力関係は始まったが、Nano-JASMINEの打ち上げがGaiaの打ち上げに間に合わなくなった後でも協力関係は継続し、Nano-JASMINEや小型JASMINEのデータ解析開発に関して常に強力なサポートをいただいている。

4. Nano-JASMINEの概要と現状

4.1 衛星システムの仕様

Nano-JASMINEは、 z wバンド（0.6～1.0ミクロンの波長域）で9等星より明るい約50万個の星の位置測定を行い、7.5等級より明るい星に対しては、位置や年周視差の精度は3ミリ秒角程度になる見込みである。望遠鏡重量が約2kg、衛星のサイズが50cm立方程度、衛星重量が約38kgという小さい衛星である。以下、衛星仕様と用いられている技術について概説する（文献4から一部引用）。衛星のミッション部（観測装置等）は国立天文台JASMINE検討室を中心として、京都大学理学部のスタッフの多大な協力のもと開発を行ってきた。そして、バス部（衛星構造、熱制御、姿勢制御、通信、電源など）や地上通信局、

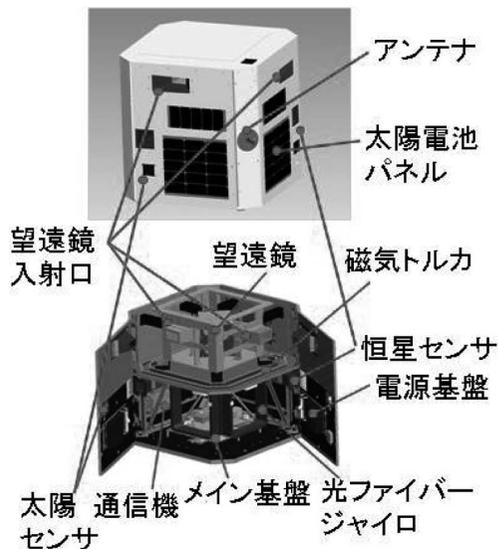


図2 Nano-JASMINE衛星の概観図。上図は、Nano-JASMINE衛星の外観、下図は内部の概要。（文献4より）。

打ち上げ準備は東京大学工学部中須賀研究室を中心として行われてきた。Nano-JASMINE衛星は、衛星上部にミッション装置（観測装置）が、下部にバス部が設置されている（図2）。観測装置は主鏡口径約5cm、焦点距離約1.7mの望遠鏡と焦点面上に置かれたCCD検出器1個から基本的には構成される。望遠鏡の光学系はリッチクレチアンと呼ばれるタイプで視野面積は0.5×0.5度である。なお、主鏡の前にビーム混合鏡と呼ばれるお互いに交差する二つの平面鏡からなる鏡が置かれ、お互いに99.5度離れた二つの視野を同時に観測できるようにしてある。この方法は、ヒッパルコスやGaiaと同様であり、望遠鏡が向いている方向と星の位置分布を縮退なく解くために必要な工夫である。

CCDは完全空乏型CCDと呼ばれるタイプで赤い波長帯（0.9ミクロン前後）にも感度が良いCCDを用いる。CCDで画像を読み取る際には、TDI（Time Delay and Integration）モードと呼ばれるモードを稼働する。TDIモードとは、衛星の自転回転速度にCCDでの電荷転送速度を同期化させ

るものである。これによって、電荷転送の間も星の像をゆがませずに星からの光を有効に蓄積でき、星像の中心（つまり星の位置）を精度良く決めることができる。

4.2 衛星システムの重要な技術要素

Nano-JASMINEは、星の位置を約3ミリ秒角の精度で測定することを目標としているが、この目標を達成するためには、衛星システムに厳しい要求を課すこととなる。特に大きな技術課題が望遠鏡の指向安定性と熱変動安定性である。

望遠鏡の指向がふらついていけば、星像中心の測定精度が落ちてしまう。そこで指向安定性が要求されるが、Nano-JASMINEの場合は、832ミリ秒角／9.9秒以内という安定性の要求値になる。Nano-JASMINEの姿勢制御はおおまかには、スタートラッカ、光ファイバジャイロスコープ、太陽センサ、磁力計などのセンサを用いてあるレベルの精度までには追い込んでいく。しかし、最後の段階で安定性の要求精度までに追い込むのは、自らの観測データを用いる。CCDのTDIモードでとられた星像のゆがみ具合を判断し、それを補正するように衛星の自回転速度を調整する仕組みである。このような方法で目標精度を達成する見込みである。

次に、衛星中の熱変動に伴い望遠鏡構造の変動が原因で焦点面上での星像の中心が移動し、星の本当の位置を精度良く推定できなくなる。Nano-JASMINEでは、衛星が自転で1回転する約100分（衛星が地球を1周回る周期と同期化させてある）で温度が0.1度以内の変動におさまらなくてはならない。そのために、断熱材で覆い、CCDからの発熱は衛星上部の放射板から放射して冷却するなどの工夫を行う。以上のように、そもそも位置天文観測が要求する精度が非常に厳しいうえに、さらに超小型ゆえに大型衛星とは違った技術的工夫を考えなくてはいけないことも多く（例えば、衛星内の残留磁場に対する厳しい制限）、世界最前線の科学目的を達成するためには衛星システム

の技術の工夫、向上が必要かつ重要となる。

4.3 打ち上げについて

Nano-JASMINEの打ち上げであるが、当初はウクライナのサイクロン4ロケットを用いて、ブラジルの発射場から2011年に打ち上げられる予定であった。しかし、複雑な国際情勢などが影響して、打ち上げができなくなった。その後、Gaiaチームからの強いサポートにより、ESAが助け船を出してくれて、Nano-JASMINEをESAの衛星のピギーバックとして打ち上げてくれる可能性が高まり、調整が進んでいた。しかしながら、今度はESA内の事情により状況が変わり、当面の打ち上げ機会の見込みがなくなってしまった。軌道やロケットとの“相性”もあり、打ち上げはどのロケットでもよいというわけにはいかないため、打ち上げ機会は非常に限られてしまう。一方、最近、超小型衛星の打ち上げを専用で行う小型ロケットの開発や実用化が急速に進んでいる。ある海外の小型ロケットの会社がNano-JASMINEを好条件で打ち上げてくれる可能性が浮上し、現在契約の締結準備を進めているところである。

4.4 打ち上げ準備とNano-JASMINEで期待できる科学成果

近い将来の打ち上げに備えて、衛星の維持管理、さらに地上局（科学データのダウンロード用は国立天文台@水沢の10m電波アンテナを使用予定）の準備、Gaiaのデータ解析チームとの協力によるデータ解析開発を行ってきている。

Nano-JASMINEは、ヒッパルコスとの結びつけると、実は、固有運動の精度がヒッパルコスでの精度よりも1桁程度向上する見込みである（0.1ミリ秒角／年程度）。Gaiaが当然もっと高精度な固有運動を測定可能であるが、実は、Gaiaは明るい星（6等星程度以下）が検出器上でサチュレーションを起こすため星像中心を決定するのが困難になる。一方、Nano-JASMINEは、比較的明るい星まで星像中心決定が通常の方法でできるため、星座にある星々の固有運動等の位置天文情

報はNano-JASMINEがデータを提供し、Gaiaを補足する形となる。そこで、Nano-JASMINEのデータを用いたさまざまな科学成果も期待できるが、その事前検討は、新潟大学の西氏を中心としたサイエンスワーキンググループにより検討を進めていただいている。成果達成のため、近い将来での打ち上げの実現を願っている次第である。

5. 小型JASMINEへ

5.1 小型JASMINEの検討開始

当初JASMINEチームは、Nano-JASMINEの検討と併行して、JAXA宇宙科学研究所での打ち上げ実現を目指して大きな衛星の検討を行ってきたが、なるべく早期の実現を目指すならば、知恵を絞り、比較的小型な衛星でもおもしろいサイエンスをできるように考える必要があるとのアドバイスを諸方面からいただいた。また、宇宙研でイプシロンロケットによって打ち上げられる小型科学衛星のプログラムが立ち上がり、小型衛星（といっても世界的には中型クラスに相当）での実現という道が拓けてきた。しかし最初は、高精度を出すためには、小型科学衛星に搭載できる望遠鏡では小さすぎて困難であると思い込んでいたが、検討が進むにつれ、科学的に興味ある重要なターゲットに絞れば、小さい望遠鏡でも可能な見込みとなった。さらに、大型より小型のほうが、例えば熱構造を安定にしやすいという技術的なメリットもあり、小型衛星であるがゆえに実現しやすくなることもあることも判明してきた。その小型JASMINE（図3）について以下で概説していく。

5.2 小型JASMINEの概要⁵⁾

赤外線は塵に吸収されにくいいため、遮られずに、銀河系中心付近でも多数の星を高精度で観測できる可能性がある。そこで、小型JASMINE計画では、キーとなるプロジェクトサーベイモードとしては、銀河系中心方向の中心核バルジの一部分（銀河系中心からの半径が0.7度の円内、および銀経は-2-0.5度、銀緯は0.2-0.5度で囲まれる長



図3 小型JASMINEのイラスト図。

方形の領域）を1.1-1.7ミクロンの近赤外線の波長域を用いて春期と秋期に観測する。なお、銀河系中心方向が衛星の熱環境条件が悪く観測できない夏期と冬期では、共同利用の一環として（銀河系中心方向以外での）観測対象を公募で決める。プロジェクトサーベイモードでの年周視差と固有運動の目標精度はそれぞれ20マイクロ秒角、20マイクロ秒角/年程度であり、この精度で測定できるバルジに属する星の個数は約1万個である（精度は悪くなるがもっと暗い星も含み、全てで7万個程度の星を観測予定）。観測データはカタログとして世界中に公開する。望遠鏡の主鏡口径は30 cmで、視野面積は0.5×0.5度である。光学系はコルシュ系の3枚鏡（非球面）を採用している（図4）。衛星の総重量は約400 kgで、高度550 km以上の太陽同期軌道を考えている。小型JASMINEは、JAXA宇宙科学研究所の公募型小型計画宇宙科学ミッションでの実現を目指しており、宇宙研へ応募をするとともに多段階の審査を受けている。採択されれば、2024年度頃の打ち上げを目指している。

5.3 小型JASMINEのミッション意義と科学目標

個々の恒星の運動学的、ないしは力学的な情報を精密かつ詳細に解明できるのは、当面は、銀河系しかない。その有利性を活かし、運動学的、もしくは力学的な情報を基に銀河系の力学構造の解明、さらに力学構造を基にした銀河系の形成・進

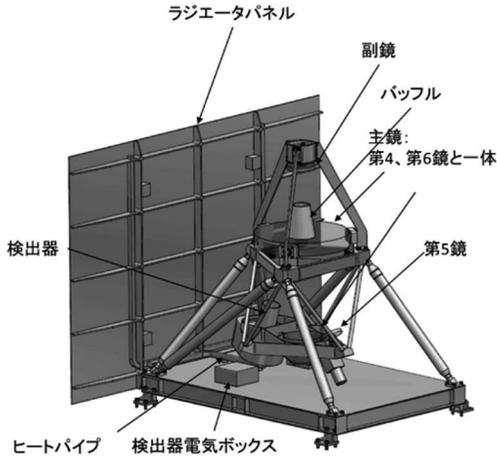


図4 小型JASMINEの望遠鏡構造。

化の解明、さらには、巨大ブラックホールの形成進化、さまざまな天体の物理的特徴を明らかにすることができる。このようにして得た銀河系に関する知見を活かして、系外銀河も含めた銀河の形成・進化の解明に発展させるのが、小型JASMINEのミッション意義 (Science Goal) である。

さて、上記の Science Goal を目指して、ブレークダウンした小型JASMINEの具体的な科学目標は、銀河系中心核バルジの運動学的、力学的構造の探求とそれを基にした中心核バルジの起源と進化の解明である。銀河系中心核バルジは、外側のバルジ領域 (中心からの半径が100–300 pc程度以上) と銀河系中心近傍領域 (中心からの半径が10 pc程度以内) の間の領域を指す。まさに、銀河系中心での活動性と密着し、活動銀河中心核 (AGN) 研究にもつながる可能性がある領域であるとともに、巨大ブラックホールとバルジの共進化研究において、巨大ブラックホールとバルジとの直説的なリンクになる領域でもあり、非常に興味深く銀河系研究において重要な領域である。実際、外側のバルジ領域と比べて星の種族がより多様になっていると考えられている。多様な年齢の星が分布していたり、運動構造も星の種類に応じて特異である可能性が指摘されているが、多種の星の起源は明確にはなっていない。また、若い大

きな星団も存在しているが、その起源も明らかではない。さらに銀河系中心核バルジの力学構造も不明である。例えば、何らかの重力散乱効果により (例えば、複数個の巨大ブラックホールの中心への落ち込み)、一部の古い星々は“加熱”されて緩和された状態になっているのか、また、内部バーもしくは中心核ディスクが存在し、系統的な回転運動をしているのかどうかなどグローバルな力学構造は確定していない。さらに、中心分子雲帯 (Central Molecular Zone) が存在するとともに、未解明なさまざまな天体や天体現象が存在している。また、銀河系中心の巨大ブラックホール (Sgr A*) の形成、進化や中心へのエネルギー供給機構を解明するためにも、この領域は外側のバルジ領域と中心領域 (10 pc程度以内) を結ぶリンクとして重要な位置づけにある。

以上のように、銀河系中心核バルジは興味深い未知な現象や天体が豊富であり、中心領域と外側のバルジやディスクをつなぐ重要なミッシングリンクの領域である。これらの謎の解明のためには、領域内の星の距離や運動情報が重要な基礎情報となるが、この領域に関する多数の星の位置天文観測が可能となる観測計画は、今のところ小型JASMINE計画しかない。銀河系中心核バルジ領域での多数の星に対する位置天文観測は、観測のまさに“ミッシングリンク”にもなっており、小型JASMINEがそれをリンクする重要な役割を果たすという科学意義がある。

なお、前述したように冬期や夏期は、共同利用の一環として観測対象を公募によって決める予定である。候補としては、白鳥座X-1のブラックホールの連星軌道の解明、X線や γ 線連星のコンパクト星の正体解明、低温星の系外惑星探査などである。

5.4 観測手法とデータ解析⁵⁾

小型JASMINEの場合は、限られた領域のみの観測を行うため、全天サーベイ型のヒッパルコスやGaia, Nano-JASMINEのように衛星がスピン回

転しながら二方向同時に観測するのは適していないので、単一方向のみの観測となる。視野サイズ以上の観測領域をサーベイする場合は、視野サイズの画像をパノラマ写真の要領で貼り合わせをしていく。つまり、一視野を撮像後、視野が半分程度重なるように観測方向をずらして、次の視野を撮像する。二つの画像には、視野の半分程度に共通の星が写っているため、重ね合わせがうまくいくように画像の歪みを補正し、観測領域を広げていく方式である（フレーム連結方式）。実は、同じ星を（約100分間に1回という割合で）何度も（全運用期間中に最大約60万回）繰り返し見るというプロセスを行うことになるのだが、これが精度を上げるための本質になる。つまり、同じ画像を多数回撮像することにより、誤差のうち、ランダム成分（統計誤差）を減少させていく。次に系統誤差であるが、これはほとんどの場合、推定を行う（目標の誤差配分値以下になるように抑制が必要な場合もある）。要求精度レベルでは、測定や制御は技術的に厳しい場合が多い。そこで、誤差の推定を行い、推定値からの残差が無相関になるようにし、あとは多数回撮像により、残ったランダム成分を目標精度まで減少させていく解析を行う。では、一体どうやって誤差を測定もせずに推定できるのだろうか。そのカギは、まさに観測対象である天球上の星々の位置が“ものさし”となってくれることである。星の相対位置関係は、ごく短時間では動かない（目標精度以内の動きしかない）。また、単独星とみなせる場合は、きれいならせん運動（単純な直線と楕円運動の組み合わせ）をすることがわかっている。この制限をつけて、星像中心の変動成分のうちの系統誤差成分を統計解析手法（具体的には赤池情報基準等）を使って判断しながら推定を行う。この方法の利点は、誤差の原因を特定する必要はなく、またあらかじめその誤差の特性を測定などで知っておく必要がないことである。



図5 小型JASMINEの望遠鏡の試作試験用モデル（ブレッドボードモデル相当）。熱構造の試験用モデルも兼ねる。

5.5 重要な技術要素⁵⁾

データ解析により目標精度を達成するために実現しないとイケない重要な技術要素がいくつかある。誤差の推定を行う際、星の観測データを用いるがデータの情報量は有限であるため、推定する誤差の関数が複雑な場合は、推定できないことになる。そこで、推定すべき誤差の関数形がなるべく単純になるように、衛星システムへの要求がなされる。例えば、熱構造の安定性、熱制御への要求などである。また、迷光や望遠鏡の指向擾乱の抑制も重要な技術要素である。計算のうえでは要求を達成できる仕様の案はできあがってはいるが、これらの技術は重要なカギとなるので、部分試作モデルやフルの試作試験用モデル、エンジニアリングモデルなどモデルを多段階に作成し、一つひとつ段階ごとに検証し、技術実証を進めていく必要がある。実際に試作試験用モデルでの技術実証を進めている段階である（図5）。なお、これら以外にも誤差の低減のための技術的工夫が必要であるが（詳細は割愛する）、このように高精度な位置天文観測を行うためには技術的なさまざまな工夫を行う必要がある。

5.6 小型JASMINEの現状

宇宙研で2016年1月に締め切られた公募型小型計画宇宙科学ミッションへの応募を行い、その

後、複数にわたる審査会を経て、2017年4月には宇宙理学委員会での評価と審査、5月には理工学合同委員会の審査を通過し、宇宙研へ次のフェーズへ上げるようにとの推薦をいただけた。そして、次のフェーズに上がるための宇宙研による計画審査の一環として、2017年12月に国外からも専門家を招聘して国際審査会が行われた。ヒッパルコスリーダーでGaiaの最初のリーダーでもあったPerryman氏をはじめ、現在のGaiaのリーダー、Gaiaのデータ解析メンバー、HST/WFIRSTでのアストロメトリ担当者、銀河系バルジの星に対して視線速度をサーベイ観測するプロジェクトであるBRAVAのPIなどがメンバーであった。審査の結果、小型JASMINEの科学的意義や現時点でのデータ解析や技術実証に関しては幅広く検討が行われているとの高い評価を受けたが、科学目標の再整理と拡大、より現実的な状況を考慮したシミュレーションによるデータ解析の実証、技術実証や開発のさらなる推進などが課題として与えられた。JASMINEチームでは、与えられた課題に対しての対応と、次なる審査会の通過を目指して鋭意努力中である。時間はかかっているが、一步一步、実現へ向かいつつあるので、皆様のご協力、ご支援をお願いする次第である。

6. 超小型・小型衛星への期待

超小型や小型衛星によるミッションは、大型の衛星や観測装置を使ったミッションと違って汎用性はあまり無い。しかしながら、特定の科学目標に絞り込み、観測手法や観測装置等の工夫をすることにより世界最前線の重要な科学成果を達成することは可能である。さらに、実現までのスケジュールや予算等の現実的状况を考えると、超小型や小型の方が実現可能性は高まる。超小型や小

型衛星は、このように、メリットも多く大いに価値があると考えられる。また、超小型や小型衛星専用の小型ロケットの開発や安価での実用が進むと、ますます超小型・小型衛星ミッションがやりやすくなっていく。世界的に最前線の科学的成果をあげる超小型・小型の科学衛星ミッションの発展に今後も非常に期待がかかっていると考えられる。

参考文献

- 1) 岡村定矩他編, 2007, シリーズ現代の天文学1「人類の住む宇宙」(日本評論社)
- 2) 郷田直輝, 2009, 天の川銀河の地図をえがく(旬報社)
- 3) Perryman, M., 2009, *Astronomical Applications of Astrometry* (Cambridge University Press)
- 4) 郷田直輝, 2012, 計測と制御, 51, 449
- 5) 郷田直輝, 2017, 計測と制御, 56, 421

From Nano-JASMINE to Small-JASMINE Naoteru GOUDA

JASMINE Project Office, National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Oosawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: We are now focusing on the promotion of two missions; those are Nano-JASMINE and Small-JASMINE whose missions are complementary to Gaia mission. Nano-JASMINE is a very small satellite and will produce scientific results based on the astrometric information of bright stars in the neighboring space. An additional plan is underway to launch Small-JASMINE. Small-JASMINE will provide highly precise positions, parallaxes and proper motions for stars of a limited area of the Galactic nuclear bulge and certain specific astronomical objects in a near infrared band.