

目指せ、未来の「はやぶさ」。きみっしょん参加の  
高校生と大学院生スタッフ

## 宇宙科学最前線

# 相対論的ジェットを理解に向けて Understanding Relativistic Jets

Lukasz Stawarz

インターナショナルトップヤングフェロー

宇宙ジェットとは、中性子星やブラックホールのような、コンパクトで物質が降着している天体によって生成される、細く絞られた磁化したプラズマの流れです。活動銀河の中心に存在する超巨大ブラックホール（SMBH：Supermassive Black Hole）からは、特に目立ったジェットが観測されており、本稿ではこのようなジェットに着目します（図1）。

まず、ブラックホールには、星の最期の崩壊によってつくられる恒星質量ブラックホールと、物質の降着やブラックホールの合体によって成長・形成されていくさらに重いブラックホール（SMBHを含む）があります。我々の銀河系をはじめ多くの銀河の中心には、質量（ $M$ ）が太陽質量 $2 \times 10^{33}g$ （ $M_{\odot}$ ）の100万～100億倍のSMBHが存在する

ことが知られています。天体によっては、その質量が10%以内の精度で分かっています。現在のところ、すべての銀河は中心にSMBHを有しており、特に活動銀河と呼ばれるものはSMBHへの降着率が高いものと考えられています。また、ブラックホールの周囲には降着円盤が形成されており、円盤の周囲には、温度が高く磁化したコロナが存在し、ディスク磁気圏を形成していると考えられています。その外側はガスやダストが取り囲んでおり、これらすべての成分が、活動銀河核（AGN：Active Galactic Nucleus）からの放射として観測されます。

ジェットはさまざまな質量のブラックホールに付随して観測されています。実際、連星系の恒星質量ブラックホールや超新星爆発でブラックホー

ルが生成される際に、相対論的ジェットが短時間だけ生成されます。その中でも、SMBHと相対論的ジェットの関連は特に明快で、さまざまなタイプのAGNから定常的にジェットが出ている様子が直接見えています。このような構造は、おとめ座銀河団 (Virgo cluster) の中心に位置するM87から、可視光観測によって最初に発見されました(図1)。このように、ジェットを持つブラックホールに共通な点は、そのサイズではなく、質量降着の源が存在するという点です。連星系ブラックホールでは、伴星から質量が供給されますし、超新星爆発では、星の内部物質が中心に形成されるブラックホールに落下して供給されます。SMBHの場合は、降着の開始(すなわちAGN活動)の引き金となるのは銀河同士の合体と考えられます。

ほかの観測上重要な発見は、ジェットの有無がブラックホールの質量や降着率の違いで区分されるものでなく、しかし一方では、激しく降着しているブラックホールだけが顕著なジェットの活動性を示すという点です。ここで「顕著なジェット」とは、ほぼ光速で吹き出す相対論的プラズマの流れ(アウトフロー)のことで、電波からガンマ線領域において非熱的な放射を特徴とします。実際、絞られていない非相対論的なアウトフローは、すべてのAGN、そしておそらく、すべての降着ブラックホールに共通する性質のようです。一方、相対論的ジェットは比較的にまれな現象です。では、なぜいくつかの降着ブラックホールだけが相対論的ジェットを持ち、それ以外のものは持たないのでしょうか。この問題に答えることは容易ではありません。というのも、どのようにジェットが生成されるかが、いまだによく分かっていないからです。上に述べたように、降着円盤の存在は極めて重要です。では、ジェットは単に降着円盤の内側・表面から、角運動量と物質を運ぶ円盤風の特異な形態として噴出されるのでしょうか。もしそうなら、ブラックホールそのものはジェット生成に直接関

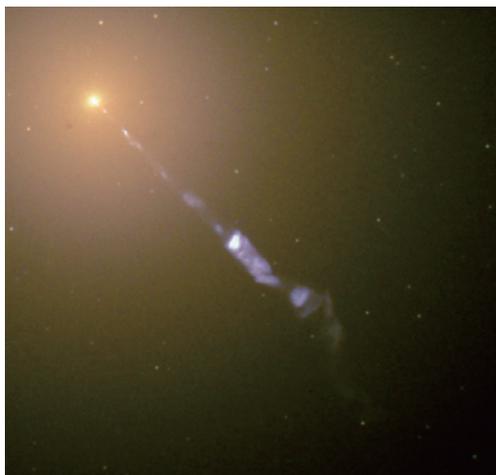
与しておらず、単に降着物質を引き付けるコンパクトで重い天体として働いていることになります。

降着円盤からジェットを生成するモデルは比較的よく確立されています。降着物質からエネルギーと角運動量を抜き取るのは、ディスク表面からコロナに伸びているポロイダルの開いた磁力線であることが示されています。そのような開いた磁力線は、降着物質とともに回転します。プラズマは、回転しているワイヤーに沿って飛ばされるビーズのように、ディスクから磁気圏へ遠心力によって放出されます。あるところで、放出されるプラズマは磁力線をねじり、スパイラル構造の磁力線を形成します。磁力線の張力と圧力勾配によって、プラズマは次第にコリメートされディスク表面と垂直方向に加速されます。その結果、ディスクから双方向に噴出するジェットが形成され、磁気エネルギーをプラズマの運動エネルギーに変換します。

ここで述べたモデルは直観的で分かりやすいですが、少なくともAGNにおける相対論的ジェットの生成には、あまり関与していないようです。まず、磁場によるコリメーションは相対論的な場合にはそれほど効果的でないことが、ごく最近分かってきました。効果的なコリメーションがなければ、アウトフローの加速も効率が良くないでしょう。また、ここで述べたプロセスは普遍的に見えるので、もしある天体で起こっていれば、ほかのすべてでも起こっていると考えられます。言い換えると、もしジェットが降着円盤から出ているならば、すべての降着ブラックホールはジェットを持つことになります。しかし、観測はそうはなっていません。この事実は、降着円盤から駆動されるアウトフローはジェットにはなれず、準相対論的な円盤風をつくるにすぎない、ということなのかもしれません。実際、円盤風はAGNの共通の性質であるようです。もしそうなら、ジェットの生成メカニズムはいまだよく分からないことになります。以下では、ジェットのエネルギーを直接ブラックホールから引き抜く、ほかのメカニズムを考えてみたいと思います。

電荷を持たないブラックホールの性質は、その質量 $M$ と角運動量 $J$ の2つのパラメータのみで記述することができます。ブラックホール質量を、「重力半径」と呼ばれる長さの単位で表すと $r_G = GM/c^2$  ( $G$ は万有引力定数)となり、ブラックホールのスピントと質量の比も、長さの単位で $a = J/Mc$ となります。最大回転しているブラックホールは $J_{\max} = GM^2/c$ 、すなわち $a = r_G$ と表せます。事象の地平線(シュワルツシルト半径)はこの2つのパラメータによって、 $r_S = r_G + (r_G^2 - a^2)^{1/2}$ 、

図1 ハッブル宇宙望遠鏡で見たM87の中心核から伸びるジェットの可視光イメージ  
1918年にH. Curtisによって初めて発見され、中心核から伸びる「奇妙な一直線の光」と表現された。(J. A. Biretta et al.)



「静止限界」と呼ばれる距離は、 $r_c = r_g + (r_g^2 - a^2 \cos^2 \theta)^{1/2}$  ( $\theta$ は方位角)と定義されます。事象の地平線の外側の $r_s < r < r_c$ の領域はエルゴ領域 (ergosphere) と呼ばれます。この領域にいる観測者は、静止系と比較してブラックホールと同様に回転しなければなりません、エルゴ領域の外側の世界とは情報の交換が許容されます。一方、事象の地平線の内側 $r < r_s$ の領域とは情報の交換はできません。これはつまり、ブラックホール自身は自分の磁場を持っていないことを意味しますが、外側の磁力線を組み込むことはできます。重要なことは、一様磁場中のブラックホールはローレンツ力によって表面電荷に非一様性を生じ、外部に四重極電場をつくるということです。同様な現象は、パルサー磁気圏でも見られます。これは、上で述べた「時空の引きずり」に起因するもので、降着物質によってエルゴ領域に運ばれた磁力線はブラックホールと共回転することになります。エルゴ領域には静止系は存在しないので、磁場が存在すればどのような系でも電場が存在します。そのため、赤道面と極の間を電流が流れ、回転するブラックホールからパワーを引き出すことが可能になります。

このようなジェット生成メカニズムは、BlandfordとZnajek (1977) によって最初にその可能性が議論されました。彼らは、どのように誘導電流が駆動され、ブラックホールの回転エネルギーが解放されるかを理論的に明らかにしました。エルゴ領域からエネルギーが解放されると、そのエネルギーはブラックホール磁気圏の真空中で生成される電子・陽電子とともにポインティングフラックスの形で極方向に運ばれます。そのため、ジェットは磁場優勢で、生成時から相対論的であり、レプトン(電子・陽電子)が支配的となります。このようにして引き抜けるエネルギーは、最も明るいAGNのエネルギーと同程度であり、アウトフローの最大パワーも、観測から見積もられるAGNジェットのパワーに匹敵します ( $P_j \sim (M/10^8 M_\odot) \times (J/J_{\max})^2 \times 10^{45} \text{ ergs}^{-1}$ )。注目すべきことは、このモデルでは、ジェットの持つパワーがブラックホールのスピンの2乗に比例することです。これこそが、なぜいくつものブラックホールだけがジェットを持ち、ほかのものは持たないかに定性的な説明を与えるスピンパラダイム、つまり「ジェットを持つブラックホールは大きなスピンパラメータを持つ」ことを予言します。

このような描像は、一般相対論的電磁流体シミュレーションによって、最近詳細に研究が行われています(図2)。特に注目したいのは、このBlandford-Znajekメカニズムが観測的にも検証

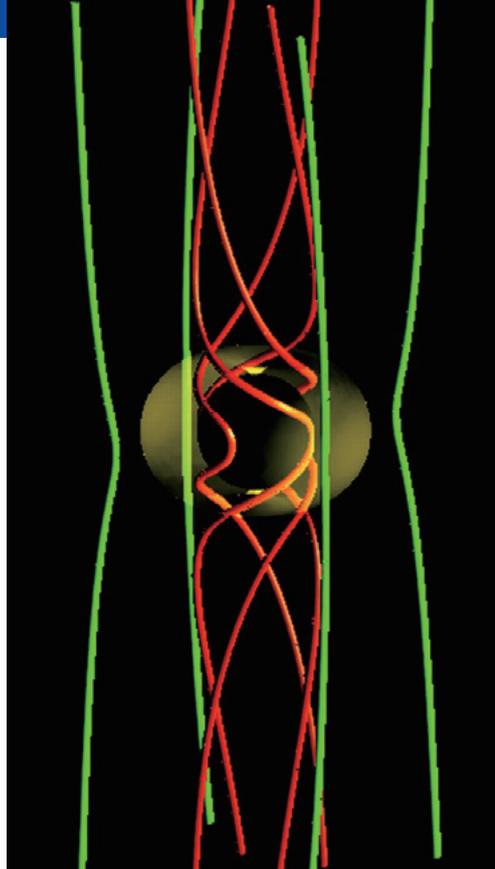


図2 最大回転しているブラックホール周囲の磁力線の3次元イメージ

黄色の領域はエルゴ領域を示す。小出らによるBlandford-Znajekプロセスの一般相対論的電磁流体シミュレーションの計算結果。(S. Koide et al., Science, 2002, vol. 295, p.1688)

できる可能性が出てきた点です。ごく最近になって、X線天文衛星「すざく」やフェルミ衛星LAT検出器によるX線ガンマ線観測によってブラックホールのスピンパラメータを測ろうとする試みが可能になりつつあるのです。ひとたびその方法が確立されれば、数多くの異なるシステムにおいてブラックホールスピンとジェットパワーの関係を探ることができ、 $P \propto a^2$ の関係を確認し、スピンパラダイムを実証することが可能になります。もし実証できれば、AGNに付随する相対論的ジェットが、いかに極限的な状況で生成されたかを示すことになるでしょう。ここで注目すべきことは、Blandford-Znajekメカニズムにおいて、 $10^{22} \text{ cm}$ から $10^{25} \text{ cm}$ にも達する非常に強力なアウトフローは、 $r_g \sim (10^{12} - 10^{15}) \text{ cm}$ の非常に小さなスケールでつくられるということです。ジェットの究極のエネルギー源は時空であり、その時空に対してエルゴ領域の電磁場がした仕事が莫大なパワーを生みます。そのような意味で、活動銀河の相対論的ジェットは、本当に注目すべき天体といえます。

宇宙科学研究所では相対論的ジェットの理論的、観測的研究を行っています。最新のX線ガンマ線観測に基づいて、ジェットにおける粒子加速機構、ジェットの内部構造や成分、ジェットを持つAGNの宇宙論的進化などの研究を進めています。ジェットに関する未解決問題は多々ありますが、現在稼働中の「すざく」衛星やフェルミ衛星、将来のASTRO-H衛星やCTA (Cherenkov Telescope Array) 計画と協力し、これらの問題を解明していきたいと考えています。

(ルカシュ・スタワージェ/日本語訳: 田中康之)

## BepiColombo MMOの一次噛合せ試験

BepiColomboは、2014年にESAの製作するモジュール(MPO [水星表面探査機], MTM [電気推進モジュール], MOSIF [MMOサンシールド])とJAXAの製作するMMO(水星磁気圏探査機)とが組み合わされて、仏領ギアナより打ち上げられることになっています。

BepiColombo MMOのフライトモデル(FM)を用いた一次噛合せ試験が、7月後半より飛翔体環境試験棟のクリーンルーム(通称・旧クリ)にて開始されました。現在はまだ机上噛合せと呼ばれる段階で、クリーンルーム内に並べた机の上にバス系の機器から順次機器を接続して電気試験を行っています。観測機器を含むすべての機器を接続した電気試験(11月の初旬を予定)が終了すると、机上噛合せは完了です。次は、衛星構体への各機器の取り付けを順次行い、衛星を組み上げていきます。衛星全体が組み上がった姿となるのは、11月末から12月頭ごろの予定です。その後、衛星が組み上がった状態での電気試験を行い、衛星を分解し、一次噛合せは終了となります。各搭載機器は一次噛合せ試験の後に、単体での環境試験、最終のキャ



MMOフライトモデル一次噛合せ試験(机上噛合せ)風景

リブレーションなどを行い、来年度開始される予定の総合試験(日本における最終試験)に備えることとなります。

また、このMMOのフライトモデルの一次噛合せ試験と並行して、来年早々からESA/ESTECにて開始される予定のBepiColomboの各モジュールを組み合わせた母船構造モデル試験に参加するために、MMOの構

造モデルの組み立てを、同じく飛翔体環境試験棟の通称・新クリと呼ばれるクリーンルームにて行っています。構造モデルは10月初旬までに組み立てを終わり、ESAへの引き渡し準備の確認を行った後、11月初旬にESA/ESTECへと輸送されることになっています。

一方のESA側では、10太陽光強度下でのMPOの熱構造モデル試験が9月10日過ぎから開始され、来年早々からの母船構造モデル試験に向けて着々と準備が進められています。来年度にはESA側製作モジュールについてもフライトモデルの総合試験が開始されることとなっており、これから打上げまでは各所で試験が同時進行する忙しい時期が続きます。(早川 基)

## 第10回「君が作る宇宙ミッション」開催

今年も宇宙に夢を抱く高校生たちが相模原に集結しました。第10回の「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)が、8月1日～5日に行われました。東日本大震災の影響で一時は開催が危ぶまれましたが、無事に例年通りの規模・日程で実施され、参加者が有意義な1週間を過ごせた



講義の後で、森先生を取り囲む高校生たち。この真剣なまなざしを見よ。

ことを、運営スタッフ一同喜んでいきます。ご支援・ご協力いただきました宇宙科学振興財団、ハーベスト、宇宙研生協、そしてJAXA職員の皆さまに、この場を借りて感謝申し上げます。

年を追うごとに高校生への認知が深まっていることに加え、「はやぶさ」効果による宇宙科学への関心の高まりも追い風となって、今年の応募数はこれまでの最多を記録し、スタッフ一同うれしい悲鳴を上げながら参加者の選考を行いました。選ばれた精鋭24名は皆、宇宙に関する知識もモチベーションも極めて高く、4班に分かれたミッション作成でも密度の濃い議論が進められました。

2日目に、小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」プロジェクトリーダーの森治先生に講義をしていただきました。ご自身の高校生時代から今に至るまで、また「IKAROS」を例に宇宙ミッションを進めるとはどのようなことかなど、メッセージを込めた熱い語り高校生たちは聴き入ってい

ました。

例年、頭の切り替えを兼ねて、3日目の午後に作業をしています。今年は新企画の「エッグドロップ」を行います。高いところから落としても卵が割れない装置をつくる、というものです。「卵がもったいない」と筆者は当初引き気味だったのですが、やってみると、これは面白い！説明を受けてからの工作の時間はわずか40分ほどだったのですが、出来上がった12機はみな独創的なデザインで、かつ、それぞれ自分なりの理にかなった構造を工夫していました。実際に落としてみると、うまくいったものもいかなかったものもありましたが、自分のアイデアを実験で試してみるとはどういうことかを学んでくれたと思います。なお、使用した卵は割れたものも含めてすべてスタッフがおいしくいただきました。

丸3日かけて、高校生たちが議論・検討を重ねた結果は、4日目の夕方の研究発表会で報告されました。多くの先生方、職員の方々に聴きにきていただき、質問・コメントをいただきました。A班「宇宙発電所の建設～MADE IN SPACE～」は、人類が幸福になるために宇宙で何ができるのか、という高い視点からの議論、B班「宇宙船内の循環システムの開発」は、一つのミッションというよ



ミッション作成で激論を交わす高校生と大学院生スタッフ

りはさまざまなミッションに使える技術の検討で、これまでにない着眼点でした。C班「エンケラドスの生命体探査」は長期間のミッションの行程を定量的に見積もり、D班「Fresh ISS Cooking」の発表では宇宙用の包丁の模型を紙でつくって実演するなど、具体的・定量的に検討した跡がうかがえました。

発表会の講評でも述べたのですが、高校生たちが考えたミッションは、まだまだとても完全なものとはいえません。しかし、この1週間で学んだ「自分のアイデアをどのように実現させていくか」という経験は、一生の財産です。まずは来年春の日本天文学会ジュニアセッションに向けて、そしてさらに将来に向けて、それぞれのミッション検討を続けていってほしいと思います。（山村一誠）

## 観測ロケットS-520-26号機の啗合せ試験

地球表面から高度70～150kmの領域は下部電離圏と呼ばれ、気球には高すぎ、人工衛星には低すぎて、飛翔体からの長時間観測が困難な空間です。この領域には電離大気（プラズマ）と中性大気が存在し、前者は基本的に電磁場に束縛されるのに対し、後者は電磁場とは関係ない方向に運動しようとしています。ところが、下部電離圏では中性大気と電離大気が適度に混ざり合うため、2つの大気成分が衝突を繰り返しながら複雑な運動をするようになります。そのような領域は宇宙空間でも特異ですが、ここに生起する不思議な現象の理解を深めるために、観測ロケットS-520-26号機実験が計画されました。

科学衛星同様に観測ロケットにも、テレメータ、電源、タイマー・点火系といった共通計器が搭載されますが、更新がなされ、今後打ち上げる観測ロケットでは新アビオニクスと呼ばれるシステムを採用することになっています。これは、従来独立していた個々の機能をモジュール化して統合することによって、機能拡張が容易で、かつモジュール単位で交換／増設可能なシステムを目指したものです。また、モジュール間の計装簡略化、組み立て・操作性向上、統合による製作費削減などのメリットも考慮されました。

新アビオニクスに更新されるということで準備は念入り

に、まず4月に観測装置と新アビオニクスの事前啗合せ、その直後の計器合せ、7月の観測装置啗合せ、8月の本啗合せと、計4回の試験を実施しました。それでも、試験のたびに不具合は出てきます。啗合せ試験終了直後にこの原稿を書いています。思い出される不具合は枚挙にいとまがありません。夜遅く（朝早く）まで不具合対策に努めてくれた実験班員には、厚くお礼を申し上げます。

S-520-26号機は今後、内之浦へ向けて輸送され、実験班員によるフライトオペレーションが開始されることになります。特に、新アビオニクス搭載後の初めての試験となるため、地上系との接続には十分な注意を払って作業を進める必要があります。実験の成果報告に、ご期待ください。（阿部琢美）



啗合せ中に行われた頭胴部つり上げ状態でのテレメータ偏波チェック

## 国際宇宙ステーションで「HAIR実験」開始

国際宇宙ステーションの運用が本格的に始まり宇宙飛行士の長期宇宙滞在が実現したことにより、軌道上滞在中に生じる微小重力・宇宙放射線など宇宙環境ストレスの影響を評価することは、宇宙飛行士の健康管理のために極めて重要な課題である。また、スペースシャトルの運用が終了したことに伴い、地上から宇宙へ実験機材を運搬したり、軌道上で取得した実験試料を持ち帰ったりすることが困難になると予想される。そのような中、宇宙飛行士の毛髪を用いた「長期宇宙滞在宇宙飛行士の毛髪分析による医学生物学的影響に関する研究」(HAIR実験)が開始された。

毛髪は、サンプリングが容易で被験者にとって侵襲性が低く、採取した試料の保存に関しても凍結による保存のみで特別な配慮が必要ないといった点で、実験サンプルとして非常に優れている。毛髪の特徴としては、毛根部では細胞分裂が活発に行われており、ストレスなどのさまざまな外部要因に敏感に応答し、遺伝子レベルでの変化が観



毛髪採取風景。  
軌道上でも宇宙飛行士はピンセットを用いて毛髪をサンプリングする。

察できる。また、毛幹部は1日に約0.3mm成長するが、その間に体内で代謝されたミネラル成分や微量元素などが排せつされ記録として残される。そのため、毛幹の特定位置における含有元素を解析することにより、ある特定時期の生体のミネラル代謝を知ることができる。

HAIR実験の目的は、血液や尿といったサンプリングが難しい検体に代わって毛髪を用いて、軌道上で宇宙飛行士の健康状態の指標を観察できる方法を開発するというものである。しかし、宇宙飛行士からの毛髪サンプリングは、倫理上の観点から1回5本までと決められている。この微量なサンプルから有効な情報を引き出すのは非常に困難を要したが、現時点では数名の宇宙飛行士の毛根遺伝子のマイクロアレイ分析が終了しており、軌道上での特異的な遺伝子変化を解析している。今後解析を継続し、将来的には毛髪を利用することにより、宇宙飛行士に負担が少なく簡単に健康状態が把握できる手法の開発に結び付けたいと考えている。(寺田昌弘)

## 「あかつき」の挑戦 最終回に寄せて

『ISASニュース』に連載された『「あかつき」の挑戦』も今月号で終了すると聞きました。長い間読んでいただき、プロジェクトマネージャーとして感謝致します。

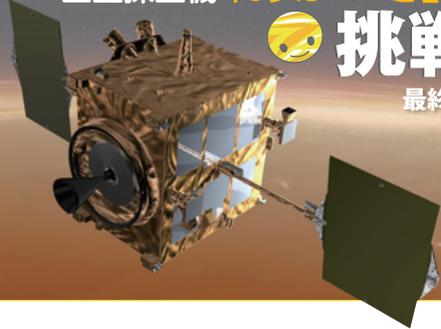
思い返せば、「あかつき」のプロジェクトが正式に提案されたのは、2001年1月の第1回宇宙科学シンポジウムでのことでした。その1年くらい前から私自身はプロジェクトに関わるようになりましたが、ミッション提案までの1年間は東京大学の研究室を空にして、講義もほかの先生に代わってもらい、宇宙研の一室を借りて準備を行い、提案前的大みそかまでシンポジウムの予行演習を繰り返したことを思い出します。そこにこぎ着けるまでには、工学の中谷一郎先生、NECの皆さん、大学や宇宙研の理学メンバーとの激しい議論があり、ミッションの主要なポイン

トはそこで決まったものを10年かけて実際の機体につくり込んでいったのでした。当時は、提案書依頼書(RFP: Request for Proposal)などなかったのが、このような総力を挙げての検討も可能だったのだと思います。その後、新たにプロジェクトに加わってくださった方々の努力も忘れることはできません。

いよいよ金星軌道へ、と世界の研究者が待ち構えていた投入に残念ながら成功できなかったわけですが、しかし、そのことでこのミッションの価値がいささかも下がったわけではありません。金星の大気の謎を解く使命はいまだに我々の手の内にあります。最後の力を振り絞ってでも、「あかつき」は金星にたどり着くでしょう。「あかつき」の挑戦はこれからも続きます。(中村正人)

## ロケット・衛星関係の作業スケジュール(9月・10月)

	9月	10月
BepiColombo MMO		一次噛合せ試験(相模原)
大気球	平成23年度第2次気球実験(大樹町)	



# 「あかつき」のこれから

航法・誘導・制御グループ 開発員

廣瀬史子

「あかつき」が金星周回軌道投入に失敗した去年の12月から約9ヶ月がたちました。金星周回軌道投入のための減速制御の最中、軌道制御エンジン（OME：Orbital Maneuver Engine）のトラブルに遭遇し、異常を検知した探査機が自身の判断でエンジン噴射を中断したものでした。この『ISASニュース』が発行されるころには、投入失敗以来初めてとなるOME試験噴射の結果が出ていることとなりますが、「あかつき」関係者は今、その試験準備に奔走しています。

## OME 試験噴射

「あかつき」は、周期が約203日の太陽周回軌道を飛行しています。金星の周期は約224日のため、「あかつき」が9周、金星が8周すると再び近づくという軌道です。ただし、近づくといっても、このまま放っておくと金星再会合を狙う2015年には1億kmまでしか近づくことができません。早めに「あかつき」の周期を調整し、この差を縮める必要があります。そのため、9月にOMEの試験噴射を行い、今年11月の近日点では周期調整のための大きな近日点軌道制御を行う予定です。

試験噴射は2段階に分けて行われます。地上試験の結果からもOMEは一部破損している可能性があり、OME噴射中は外乱が発生すると推測されます。1回目の試験噴射では、その外乱量を確認します。2回目の試験噴射では、1回目で確認された外乱量を姿勢制御用スラストによって調整し、姿勢保持できるかを見極めます。軌道制御を正確に行うためには、OME噴射中の姿勢保持が不可欠です。OMEが利用可能か否か、姿勢保持が可能か否かが、その後の近日点軌道制御を500N級のOMEで実施できるか、もしくは23N級スラスト（RCS：Reaction Control System）4本で行うのかの判断ポイントになります。

## 作戦

試験噴射といっても、ただOMEを噴くだけではありません。実は、さまざまな作戦が練られています。地上試験の結果、OME噴射時に酸化剤を燃料より早めに流し始めると、着火時の衝撃が緩和される現象が見えました。また、OME噴射前にOME各部の温度を上昇させておくと、同様にOME着火時の衝撃が緩和される現象が見えました。これらの確認事象を実際に考慮してOME噴射するのですが、特に、OME

噴射前のアクロバティックな姿勢変更には注目です。

まず、探査機の姿勢を180度回転させ、OME面を太陽光で温めます。その姿勢のまましばらく時間を置き、次に90度姿勢を回転させて、軌道制御姿勢になります。OME面を太陽に向けている時間帯はもちろん、180度、90度の姿勢変更中もOME各部の温度は上下する

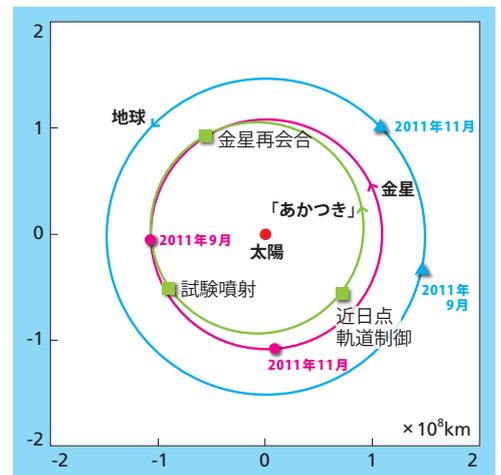
のですが、その温度変化率も考慮した上で姿勢変更方法を決定しました。分かっている限りの優しい噴射方法でOMEを噴くのです。

もし、OMEが利用できないという結果になった場合は、上述のようにRCSによる軌道制御を取ることになります。RCSはOMEに比べ推力が小さいのですが、スウィングバイを使って減速し、推力不足分を補うという手段もあります。軌道計画を考える立場としても、あらゆる可能性を追求して、「あかつき」を金星周回軌道に投入する方法を検討しています。

## 金星周回軌道投入に向けて

9月の試験噴射と11月の近日点軌道制御で金星周回軌道投入までの道筋が決まるため、今年が「あかつき」の正念場となります。OME不具合の原因究明に始まり、OME着火時の手法検討など推進系担当の熱い頑張り、推進系が期待する着火方法、姿勢変更方法を実現するための姿勢系担当の冷静沈着な検討、みんなのわがままな要求に文句を言いながらも（勝手な想像です……）実現解を検討してくれるシステム担当や運用担当、太陽周回軌道を飛行していることを利点に変え魅力ある科学観測を提案してくれるサイエンスチーム。通信系や電源系、軌道系の細やかな配慮も不可欠です。時にはぶつかることもあります。真剣です。次回金星再会合まで約4年強ありますが、意外とあっという間な気がします。

これまでの皆さまのご支援に感謝するとともに、これからも「あかつき」の応援をどうぞよろしくお願い致します！（ひろせ・ちかこ）



「あかつき」軌道制御時の探査機と惑星の位置関係

# パロアルトで未来を創造する人たち

## ブダペストで過去を想像させてくれる温泉

突然ですが、テルマエ・ロマエという言葉をご存知でしょうか。古代ローマの浴場のことです。現代の観光地ローマにはいくつもの浴場跡遺跡がありますし、イギリスにもバス（風呂）の語源になったといわれるバスという町に古代ローマ浴場跡があります。ヨーロッパへ旅行された方ならば、古代ローマ浴場を一度は目にしたことがあるでしょう。

古代ローマに関心がない方でも、気持ちのいい風呂と聞けば、日本人ならば興味を湧いて入ってみたいはず。彫刻のライオンの口からとうとうと流れ出る温泉をたたえる広々とした風呂に、古代ギリシャの美しいビーナス像や咲き乱れる色鮮やかな花を愛でながら、お湯につかる。そんな古代ローマ浴場では、どんな気持ちができるのだろうか。

この夏の初め、現代に残る（といっても遺跡ではありませんが）テルマエ・ロマエにつかる幸運に恵まれました。先進メカトロニクスに関する国際会議へ出席するための出張でした。場所は、古代ローマ文明圏の境界近く、ハプスブルク帝国の残照が色濃く残る東欧の古都ハンガリー。その首都ブダペストで、ひとつ風呂浴びたのです。

屋外の温水プールといってしまうまでもありますが、日本の遊園地にあるプールとは様子が違います。元気が余っている子どもたちの遊び場ではなく、老若男女がゆっくり楽しめる社会インフラとしての仕掛けがあるのです。それは建物の風格であり、

花や彫像であり、風呂に入りながら楽しむチェス盤などです。こういう風呂、日本だって「あり」でしょう。誰かつくってください（本当に）。世界にはこんなところもあるんだな。こんな日常生活の過ごし方、知らなかったです。

街の中心を貫いて流れるドナウ川。風呂上がりの気分を引きずったまま、川に架かる橋の欄干にもたれ掛かり、風に吹かれながら携帯音楽プレーヤーでヨハン・シュトラウスの名曲を聴いてみました。ドナウの川面は青くなく、お世辞にも美しいとは言えない。しかし、川の兩岸にある歴史的建造物が、そんな水面を縁取るように囲っていて、観賞に耐え得る風景をつくっているようでした。

ヨーロッパの街は、そこにいだけで「歴史」を感じさせてくれます。世界史で覚えた地名が標識に記載されていたり、重厚な建造物の存在に精神的に圧倒されたり。それが旅の醍醐味でもあります。一方で、その街の「人」に目がいかなくなりがちです。逆に、歴史が「ない」ところでは、人に目が行くようになります。例えばアメリカ。

夏の真っ盛り、宇宙ミッションで試されるIT技術という国際会議に参加するため、サンフランシスコ近郊にあるパロアルトという街に行きました。シリコンバレーと言った方がピンと来るかもしれませんが。その街にはこれといった歴史や建築はなく、幹線道路沿いの最近開発された地方都市といった感じです。ただし、この街にはスタンフォード大学を中心にアップルやグーグルといった最先端のIT企業が集まっています。世界を牽引する「頭脳」たちが、そこいらへんを歩いているわけです。どんなすごい人たちなのでしょう。

IT関係の学会だったからか、参加者の多くは近隣にある施設で働く人たちでした。彼らの風貌は印象的です。20年近く前に日本で活躍していたサッカー選手アルシンドを思わせる金髪で長髪で、学会なのにTシャツにGパンで登壇し、会場内を大きな17インチ画面のマックのラップトップを小脇に抱えて歩き回る「おじさん」たち。あるいはヨーガの師範のような風貌だったり。絵に描いたような自由な人たち。歴史の教科書の戦後の章で写真を見掛けた、ヒッピーという感じでした。もう、「ベタ」なくらいカリフォルニア的な姿であり、コンピューター野郎たちの姿です。そして議論になると口角泡を飛ばして持論を主張し合います。よくしゃべること。「今」をつくっている人の姿が、目に麗しい光景として映りました。アメリカの歴史は今つくられているのだな、と。こんな風景、日本では見たことなかったです。

宿泊したモーターには小さいながらも手入れの行き届いたプールがあり、プールサイドのいすに座り水面を眺めて過ごす時間が気持ち良かったです。隣はちょっとした林で、リスが部屋の窓の下までやって来ます。プールにもその姿が映り込みます。そんなシーンが日常にある、ちょっとした解放感。

日本人から見れば、西には積み重なった歴史があり、東にはそれが無い自由がありますが、どちらも一長一短に思えます。ドナウ川にもこのプールの水面にも、その街の特徴が映り込んでいるようでした。（ふくしま・ようすけ）



ハンガリー・ブダペストのテルマエ・ロマエ

福島洋介  
宇宙探査工学研究系助教



# シャンハイにて ～失われた国境線～

平林 久

宇宙科学研究所 名誉教授

昨年暮れから1年間の任期で上海天文台にいる。ここでは研究面のことはさておいて、ここに身を置いて考えていることの一部をつづろ。

東シナ海を直接渡る遣唐使船は、大きな危険を伴った。空海たちの場合も、その昔の鑑真の場合も、難破漂流の苦労は大変だった。遣唐使船は寧波に入港することになっていたが、ここは上海に近い。そこで、上海に滞在が決まってから、自分を遣唐使船に乗った学生になぞらえてみた。そうして真摯に研究生生活を送り、1年の貴重な時間を過ごそうと思っていた。

我が遣唐使船は空路3時間であっさり到着してしまい、渡海学生は1時間の時差を調整するだけだった。中国語はしゃべれないが、週末は街のあちこちに出てみた。空海の立ち寄った寺もあった。このごろは人の多さに圧倒されて、むしろ古典の世界に遊ぶことが多い。

3月の金曜日の午後、東北で大きな地震があったと聞いた。しかし、テレビ映りが良くない研究宿舎ではどうも日本の状況がつかめなかった。そして、さらに福島原発の事故のニュースが伝わってきた。原発が保有する燃料の多さ、冷えにくさ。一つの原子炉だけでも致命的な事故が起きると、隣接する何基もの原発が放置されて制御不能に陥り、チェルノブイリをはるかに超える事態に発展するのだろうか。事の重大さが少しずつ分かるにつれ、考え得る最悪事態には恐怖を感じた。何よりも情報が足りなかった。

それからは研究室のインターネットで情報を求めて、何時間もパソコンの前から離れられなくなった。テレビ画面の中国語を食い入るように見つめた。水素爆発が続いたところから、左首、左肩、左胸にかけてこわばるような痛みを感じるようになった。なんだかそれは、日本列

島でいうと、ちょうど東北の東海岸一帯と同じ辺りだった。日本の原発行政、その進め方の大きな問題を理解するようになって、啞然とした。そして、研究者の一人として何ができるのか、今後どうあるべきなのかを、さらに深刻に考えるようになった。

麗江というナシ族の町で東アジアの電波天文関係者の研究会があった帰り、昆明の空港でJames HiltonのLost Horizon (『失われた地平線』という邦訳あり)を買った。チベットから麗江に近い辺りを舞台にした空想小説であり、厳しい自然で隔絶されたシャングリラの僧院のミステリアスな物語。現役時代のようにたくさんの会議があるわけではなく、まして中国語の分からない外国人教授だから、ローカルな会議には出る必要がない。一人研究室にいる時間が多いので、一人で座り、考える時間を与えられたシャングリラ(シャンハイラ?)のラマ(僧)なのだと思ふことにした。

天文台の向かいに光啓公園という木々の多



徐光啓から太極拳を習っている(?)マテオ・リッチの像

い小ぶりの公園がある。ここは明時代の徐光啓の墓地である。ユークリッドの『幾何原本』を訳したり、『農政全書』『崇禎曆書』を執筆・編纂、曆を改定したり、いろいろと国のために頑張った科学者にして行政官だ。彼は宣教師マテオ・リッチから学び、またクリスチャンともなった。

朝の光啓公園には人がいっぱいやって来て、思い思いに体を動かしている。ここで毎朝、名人の王さんに楊式太極拳をマンツーマンで教えてもらって数ヶ月になる。伝授されている太極拳の演武は20数分かかると、その前に何かを抱えたような姿勢で静止の数があつた。意識を自然のままにさせていると、2000年も昔の西の辺境で兵として風に吹かれていたり、暑い日の南宋の物売りだったりする自分がいる。そして、自分はたまたま日本人として今の時代に生まれ、たまたまここにこうしているのだと思う。

中国はいくつもの根本的な矛盾を抱えている。長い一党独裁制と民権問題、まん延する汚職、貧しい農村と都市部との大きな経済格差、少数民族問題、来るべき高齢化社会、などなど。難しい強権的な取りがっている。思い起こせば、中国の歴史はどの王朝も矛盾を抱えて盛衰し、庶民が人として手厚く扱われることはなかった。一方で、中国は3000年にわたって畏敬すべき英知と文化を随所に宿してきた。

上海天文台には日本人ポスドクが現在4人いる。彼らにも大事な日々だ。我が老いた学生僧は、この暮れに日本に帰る。留学生や徐光啓や仮想のシャングリラ僧の想いを想像してみたりする。千幾年前の学生の20年の滞在期間に比べれば一炊の夢のような1年間。しかし今までと違う生き方や考え方を試してみている。(ひらばやし・ひさし)

# 見えないものを見たい

BepiColombo プロジェクトチーム サブマネージャ

前島弘則

## —— 宇宙に興味を持ったきっかけは？

前島：小学校5年生のとき、いとこのお兄さんに天体望遠鏡で月を見せてもらい、天文少年になりました。望遠鏡をのぞくとクレーターが鮮明に見えました。肉眼で見ていたものとは、まったく違う世界がそこにあった。見えないものが見えた。そのことに強い衝撃を受けたのです。同じころ、海外のラジオ放送を聴くことも趣味になりました。アマチュア無線も始め、大学では通信を学んだのですが、天文の夢も捨て切れずにいました。それで、通信と天文の両方に関わることでできる衛星開発を志し、NASDAに入社しました。

## —— 月周回衛星「かぐや」の開発・運用を担当されたそうですね。ハイビジョンで撮影された映像が大きな話題を呼びました。

前島：最初にデータを受信して映像が再生されたとき、あまりの鮮明さに歓声が上がりました。私たちは運用を工夫して、科学観測データ伝送の隙間を縫い、想定よりもたくさんの映像データを月から受信しました。また、私たちは月面を高画質で撮影するとともに、月から地球を見たいと思いました。満月ならぬ“満地球”が月面から昇る機会を予測してカメラを向けると、普通では見ることのできない地球の姿が見えてきました。

## —— その後、2009年に宇宙研の所属となり、水星探査計画「BepiColombo」のマネジメントを担当されています。

前島：「かぐや」は、旧NASDAと宇宙研が共同で開発しました。そのとき一緒だった宇宙研の早川基先生たちに誘っていただいたのです。正直、悩みました。NASDAと宇宙研、航空宇宙技術研究所が統合されてJAXAとなりましたが、それぞれの仕事の進め方、“文化”が異なるからです。旧NASDAの衛星プロジェクトでは、各分野の専門家を集め、専任の形でチームを組みます。一方、宇宙研の研究者はそれぞれ自分の研究テーマを持ち、兼任の形で衛星プロジェクトに参加しています。また宇宙研では、仕事の過程を文章に残す習慣がありません。BepiColomboはESAとの国際協力ミッションですが、ESAは旧NASDA以上に文書文化です。

## —— 異なる文化を橋渡しする必要があるんですね。

前島：それを期待されて、誘っていただいたのだと思います。「かぐや」でもマネジメントを担当して、宇宙研のことは知っているつもりでしたが、予想以上に忙しい方々ばかりでした。



まえじま・ひろのり。1967年、神奈川県生まれ。東北大学大学院電気及通信工学専攻修士課程修了。1991年、宇宙開発事業団(NASDA)入社。地球観測センターを経て、地球観測衛星「みどりII」、月周回衛星「かぐや」の開発・運用に携わる。2009年より現職。

## —— 橋渡しのコツはありますか。

前島：それが分かっていたら、これほど苦労はしていません(笑)。ただし、それぞれ

● 仕事のやり方は異なってもミッションを成功させるというゴールは一緒。ゴールに至るプロセスについては、いくらでも工夫の仕方があると思います。そのためには、やはりコミュニケーションが大事だと思います。

## —— 将来はどのような仕事をしてみたいですか。

● 前島：宇宙研の研究者は、物事を深く追求する職人気質の方が多。ただし国際協力ミッションが増え、科学衛星の規模もどんどん大きくなり、従来のやり方では、うまくいかない面も出てく。一方、大きな衛星開発を手掛けてきた旧NASDAは、さまざまな技術を統合することが得意です。ただし深みに欠ける面があります。両方の良いところを生かした新しい文化を築くために、JAXA全体のマネジメントに関わる仕事がしてみたいですね。

● 現在、JAXAのスキルアップの制度を利用して、土日に慶應義塾大学へ通い、博士課程でマネジメントの勉強をしています。マネジメントに最初から興味があったわけではありません。そういう立場になり、やってみると苦労は多いのですが、とても面白い。価値観の異なる人々をうまく結び付けて、良い成果が得られたときには、大きなやりがいを感じます。

## —— ところで、名刺に「気象予報士」とあります。

● 前島：ある時期から天気予報にも興味を持ち、趣味が高じて資格を取りました。仕事とはまったく関係ありません。私は、新しいことを知るのが大好きなのです。新しいものに出会うと、そういう世界やものの見方があるのかと、見えなかったものが見えてきます。すると、さらに深く突き詰めてみたくなるのです。

● 実は最近、畑仕事にはまっています。手をかければかけるほど実り豊かになり、工夫のしがいがあります。将来は晴耕雨読の生活が理想ですね。ただし妻には、「子どもたちが独立してからにして」と言われています。

ISAS ニュース No.366 2011.9 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1  
TEL: 042-759-8008

本ニュースは、インターネット (<http://www.isas.jaxa.jp/>) でもご覧になれます。

デザイン/株式会社デザインコンピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

### 編集後記

● 特別公開など夏の陣が一段落し、次のステップに向けての準備が着々と進んでいます。水星探査機や観測ロケットの噛み合せ、「あかつき」の挑戦、将来の若手研究者の卵の育成など、観たことがないものを観たいが故に…… (久保田 孝)

● \*本誌は再生紙(古紙100%)、植物油インキを使用しています。

R100  
古紙配合率100%再生紙を使用しています

