

# 空と宙

2012 MAR/APR  
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

## スペースデブリ雑感

### 研究開発

## デブリの無い宇宙空間実現のために

### 和輪広場

## デブリと戦う

### 空宙情報

## 航空分野に係る連携協力協定を愛知県と締結

## 「施設公開」開催案内



デブリ除去のイメージ (P.04)

宇宙空間に取り残されてデブリとなってしまったロケット上段(左上)を除去機構(左下)が大気圏に再突入(デオービット)させているところです。右上の人工衛星は除去機構をデブリに取り付けるお掃除衛星です。お掃除衛星は除去機構を複数搭載しており、除去対象デブリまで移動しては除去機構を次々と取り付け、1機で複数のデブリを除去します。

# No. 46

研究開発本部  
Aerospace Research and Development Directorate

# スペース デブリ 雑感



未踏技術研究センター長  
木部 勢至朗

記憶を頼りに、「デブリ」について少し書いてみようと思う。私自身がデブリと係るようになったのは、1980年代の中ごろ、折しも国連の宇宙空間平和利用委員会で原子力衛星の安全性に関する議論が行われている頃であった。昔のことなので詳細は忘れたけれど、ソ連（当時）の原子力衛星にデブリが衝突したらどうなるのか？ また軌道寿命が尽きて再突入した時の安全性は？ といったようなことが議論されていたように思う。ソ連側は、「同衛星は十分丈夫に作ってあるので、デブリの衝突くらいで壊れることは無い。また、再突入に際しては、容易にバラバラに壊れるので、地上に影響を与えることは無い」といった、あたかも「盾」と「矛」の様な主張をしていたように記憶している。これが、私がデブリ問題を認識した初めであった。

その後暫くして、国際宇宙ステーション（ISS）計画と関連してであろう、米国国内にデブリの危険性に関する懸念が広まり、1989年には米国航空宇宙局（NASA）等関係機関は米国議会に向けその脅威と対策の緊急性を趣旨としたレポートを提出するとともに、宇宙開発を進めている世界各国に同問題に対する関心喚起と対策への協力を呼びかける代表団を派遣した。当然我が国にもやってきた。この訪問に対応するため、急遽宇宙研（当時）<sup>※1</sup>の相模原キャンパスで、ワークショップを開催することになった。我が国のデブリ関連活動は、1970年代の長友・上杉両氏による世界的にも先駆的な研究を嚆矢とするが<sup>※2</sup>、それ以降研究開発の大きな流れとはならず、その頃我が国でデブリ問題の緊急性を正確に理解している研究者は、おそらく十指にも足りなかったであろう。だが、このワークショップを通して、数多の日本の宇宙開発関係者がデブリ問題の緊急性・重要性を強く意識するようになったという意味で大変意義深いものとなった。

その後、世界の宇宙開発機関間で技術情報交換・国際協力推進を目的とする「国際機関間スペースデブリ調整会議（IADC）」が設立されることになったが、我が国の参加母体となるべき宇宙開発事業団（当時）<sup>※1</sup>には対応できる人材・基盤が存在せず、他参加宇宙開発機関とは異なり、航技研（当時）<sup>※1</sup>メンバーを中心に「Japan」として活動に参加すること

になった。その後参加者は、電波研（現NiCT）、宇宙研、大学、事業団へと広がり、まさに「All Japan」としての対応の体を整えることとなり、更に宇宙3機関統合<sup>※1</sup>により現在は国外の他機関と同様「JAXA」としてのメンバーシップの下、活動を継続している。

国際的な枠組みは整った。さて、我が国も何かをせねばならない。とはいえ先ほども述べた様に、その頃我が国にはデブリ問題に関して知見・研究実績を有する研究者・技術者はほとんどいなかった。そこで、五代前事業団副理事長の肝煎りもあって、上司であった戸田前航技研所長と共に航空宇宙学会に「スペースデブリ研究会」を組織し、広範な文献・現状・研究動向調査を実施することにした。参加者の多くは、当初はデブリの知識もなく戸惑ったことであろうが、これら参加者の中から以降の我が国のデブリ研究開発の中核となる人材が多数出たことを考えると感慨深いものがある。本研究会は3年間継続し、中間および最終報告書を取りまとめ1993年3月に終了したが、それ以降暫くはこの報告書は我が国のデブリ研究を目指す者にとって謂わば「バイブル」の様な存在となった。

我が国の裾野の拡大を図る上記活動と並行して、国立試験研究機関である航技研の研究者として我々自身は具体的に何をすべきか、戸田さんと知恵を絞った。両者とも構造が専門であったので、デブリの超高速衝突現象には特に興味を惹かれた。しかし、超高速衝突実験を行うにも当時の航技研には射出装置が無い。射出装置の開発から手をつけることもやり方としては有り得ただけけれど、そこは我々の専門からかけ離れた領域であり、他国に追い付くのに時間が掛かりそうである。取り敢えずは国内にある他機関・大学の装置で使えそうなものを借用することにし、衝突実験データの蓄積に集中することにした。京都大学の一段火薬銃（2km/s）、東北大学の2段軽ガス銃（4km/s）、宇宙研のレールガン（7km/s）・2段軽ガス銃（4km/s）など何れも快く使わせて頂いた。春は新緑の京都、秋は紅葉の仙台にと、実験機会さえあれば試験片を片手に二人で日本中を飛び歩いたことが楽しく思い出される。このやり方は、最終的にはイタリアのパドバにまで拡

張され、試験片をスーツケースに忍ばせ彼の地へと赴いたこともあった。だが、世界的にも存在していなかったデブリ平均衝突速度 10km/s で実験を行うためには射出装置の開発から自前でやるしかなく、結果、「成形爆薬を用いた超高速射出装置」の研究開発にも着手することにした。

デブリの観測についても何かやらなければならなかったが、地上観測によるデブリカタログ化については、米口の圧倒的な観測網と蓄積データに頼らざるを得ない。観測技術の研究による観測システムの高度化は何とか貢献できるとして、この分野でもっとインパクトのある世界的な貢献は出来ないものかと思案した。地上観測によるデータ取得・蓄積は無理にしても、地上観測が困難なより小さいサイズのものはどうだろうか？ これらに関する直接的なデータは、世界でも LDEF (米国)、EURECA (欧) など数例しか存在しない。折しも SFU 回収の話があり、プロジェクトマネージャであった宇宙研の栗木先生に頼み込んで、回収後その表面を検査させてもらうことにした<sup>※3</sup>。しかし、宇宙機の回収後表面検査 (PFA) などやった経験もない。どうしたらよいのだろうか？ 思い悩んだ挙句、ここは経験者に聞くしかないと思いを定め、旅費を工面し、EURECA/PFA の実作業を担った Kent 大 (英国) を訪問、そのやり方を学ぶことにした。この訪問によって SFU/PFA の実際の実施者である矢野創君 (現 JAXA、当時 Kent 大院生)、Michael Neish、Sunil Deshpande (何れも当時 Kent 大院生、後航技研任期付研究員) 等と知遇と協力を得たことは誠に僥倖であった。得られた SFU データはアーカイブ化・公開され、微小デブリ環境の解明に我が国として大きな寄与ができたと考えている。

次は、4~5 ページでも紹介しているデブリ除去システムである。もともと航技研では、故障した人工衛星の修理などを行う「多目的プラットフォーム」を検討しており、この検討作業をより具体的なものにするために考えたコンセプトであり、既に研究着手から十数年が経とうとしている。その当時、世界的にはデブリ除去の必要性については微かな認識はあったものの、技術的困難性と経済的成立性の観点からその実現性は疑問視されていた。私自身実現性に確たる目算があったわけではないが、多数の革新的技術要素を含み、研究対象としては極めて魅力的であったので着手を決断した。それまで世界的には同種のコンセプトスタディの例は 2、3 存在したが、要素技術研究を包含したシステムティックな研究活動は皆無であった。テザーによる効率的推進系、非協力物体への接近の為のビジュアルフィードバック制御、

物理的接触を含むロボティクス作業とまさに研究テーマの宝庫であり、当時新人として入所したての河本女史 (現未踏技術研究センター研究員) を始め、チーム員の努力もあって、着実に技術基盤を築いていった。開始当初は学会等で発表しても、眉に唾する人も多く説得に難渋したが、昨今のデブリ環境の急激な悪化に伴い、現在では同システムの実現は人類宇宙開発活動の継続には必須との共通認識が高まり、各国宇宙開発機関でも同種の検討に着手している。JAXA においても、世界に先行して積み上げてきた研究成果の軌道上実証が具体化しようとしており、デブリの分野で我が国が国際的にリードしている数少ないトピックスの一つとなっている。

宇宙 3 機関統合に伴い、我々航技研のデブリグループに期待されることにも変化があった。実際の開発を行わない国立試験研究機関としての役割と、日本の宇宙開発を一元的に担う独法 JAXA の中での役割は全く異なるのである。研究者として興味があろうが無かろうが、JAXA の進める開発活動に必要な関連基盤の整備・拡充は我々の責任となったのである。その観点から、開発支援ツール、デブリ衝突損傷予測ツール等の開発、設計標準データとしての衝突試験データの整備等着実に貢献している。

随分話が長くなってしまった。私がデブリ問題に係るようになってから四半世紀以上が経とうとしている。局面々で色々な人の賛同と協力を得て、我が身の浅学非才を思うと実にいろいろなことに手を染め、それなりに貢献できたのではないかと密かに考えている。見回してみれば国際的にも、国内的にもその中心となる世代は 2 代目、3 代目と交替しているし、私もそろそろデブリの表舞台から「退場」する時期も近いと感じている。「我が国としての観測システムの在り方」、「微小デブリ環境モデルの精密化」、「デブリ除去システムの実現」等やらなければならないと考えている課題も多く残っているが、これらは次の世代の宿題として残しておくこととしよう。健闘を期待している。

※1 2003 年 10 月 1 日、科学衛星の研究・開発を行ってきた宇宙科学研究所 (宇宙研)、航空機やロケットの要素技術研究に取り組んできた航空宇宙技術研究所 (航技研)、我が国の宇宙開発の中核的実施機関として宇宙開発を進めてきた宇宙開発事業団という 3 つの組織が統合し、JAXA が誕生しました。

※2 長友、上杉らの研究グループは、宇宙ステーションの実現時期を 1980 年代と仮定し、北米航空宇宙防衛司令部 (NORAD) が公開しているデブリカタログデータを基に宇宙ステーションへのデブリ衝突確率を求めました。その結果、デブリの衝突の危険性は高く、直ぐにでも対策が必要であることを世界で初めて示すと共に、その対策方法についても言及しています。

※3 デブリの現状を知るためには、軌道上の宇宙機を地上へ持ち帰って調べるのが一番確実です。しかし、1980 年代に米国によって回収された「長期暴露装置 (LDEF)」や 1993 年に欧州によって回収された「回収型実験室 (EURECA)」など、実際に地上へ持ち帰られた試料は数えるほどしか有りません。そんな中、1996 年に我が国の「多目的宇宙実験用プラットフォーム (SFU)」が回収されました。

## デブリの無い宇宙空間実現のために

### デブリ除去のシナリオ

現在、地上から観測できるデブリの数は2万個を超えました。地上からは観測の困難な1mm～10cmサイズのデブリまで含めると、その数は1億個を超えているとも言われています。NASAを初めとする各国宇宙機関の試算によると、低軌道、特に700～1000km付近および1500km付近という人工衛星やデブリなどで非常に混雑した軌道では、もうこれ以上宇宙開発を行わなかったとしても、デブリ同士の衝突により勝手にデブリが増え続けてしまうという予測結果が出ています。このような背景により、特に近年、デブリ除去の必要性が各国で真剣に考えられるようになり、IADCでもデブリ除去の必要性が積極的に話し合われ始めています。

具体的にどの程度除去を行えば良いかの試算は各国により異なりますが、NASAでは年間5個程度、私たちJAXAが九州大学と共同で行ったシミュレーションでは、トータルで100～150個程度のデブリを除去できれば、デブリの自己増殖を抑えられるとの結果を得ています。

破片の様な微細な物から全長20mを超える使用済み衛星まで、デブリの大きさは大小様々です。それらの中でまず除去すべきなのは、使用済み衛星やロケット上段などの大型のデブリです。ロケット上段は、太陽電池パネルや通信用アンテナなどを持つ衛星とは異なり、凸凹の少ない単純な形状をしています。地球の磁場との影響で回転が止まり、地球に対して垂直を保ちつつ静止しているものが多いとの研究結果も近年発表されており、衛星と比べて除去しやすいと考えられます。そ

ここで、まずはロケット上段を混雑している低軌道から除去するのが現実的かつ効率的なシナリオと考え、要素技術の研究開発を進めてきました。



A 外観



B 計測結果

図1 光学シミュレータ

### 早く、安く、確実にデブリを除去する

デブリ除去は緊急の課題です。100～150個という大量のデブリを取り除くとなると、“早く・安く”実現できる技術が望まれます。デブリの除去には、デブリに近寄る「非協力接近」、近づいた後に行う「近傍作業」、そして地球大気に再突入させる「デオービット」のための技術が欠かせません。非協力接近の際には、離れた位置からデブリの方角や位置を計測し、近傍作業が可能な位置まで近づく必要があります。これらは、宇宙ステーション補給機「こうのとりのり」や小惑星探査機「はやぶさ」などの日本の既存技術を活かすことができると考えています。

デブリを観測できる位置まで近づいたら、次は近傍作業です。まず、デブリとの相対的な距離とその運動状態を調べます。そのためには、対象を光学カメラで観測してその距離や姿勢を求める「光学計測」が有効です。製造工場などで広く使われている計測法なのですが、大気や壁などの光を乱反射する物体が周りに無く、一方向からの強烈な太陽光が時々刻々と方向を変化させながら当たる宇宙空間では、その厳しい光学環境でも安定して対応できる画像処理技術が必要になります。そこで、宇宙空間の光学環境を模擬できる「光学シミュレータ」を整備しました(図1A)。現在、ロケット上段モデルを対象に、画像処理技術の研究開発を進めています(図1B)。

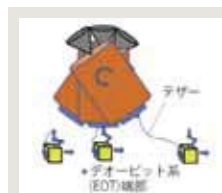
デブリの運動を推定することができたら、除去のための推進系を取り付けます。推進系としては燃料が不要で効率のよい「導電性テザー」を想定しています。導電性のある紐(テザー)の先端をデブリに取り付け、テザーを流れる電流と地球磁場との干渉により発生するローレンツ力によって軌道を下げ、大気圏へ再突入させます(図2)。テザーの取り付け方としては、ふたつの方法を考えています。ひとつは、ロケット上段の一部、人工衛星をロケットに搭載する際の台座とな

る衛星搭載アダプタに開いている直径1mほどの穴の内側に、ロボットアームなどを使っ

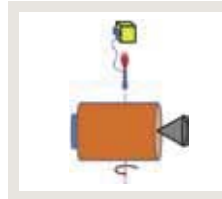
てテザーの先端をひっかける方法です(図3A)。もうひとつは、ロケット上段の側面が軽量化のために非常に薄く作られていることを利用し、側面から近づき、銚を打ち込んでテザー先端を取り付ける方法です(図3B)。こちらの方法では10~20mという離れた位置からでもテザーを取り付けることができるため、より安全に作業が行えると考えられます。



図2 導電性テザー



A アダプタにひっかける方式  
ロボットアームなどの伸展機構によりテザー先端をアダプタ中央へ入れ、先端部をひっかけて取りつきます。ひっかけ方については、現在、様々な仕様を検討中です。



B 銚を打ち込む方式  
10~20mという離れた位置から、固体ロケットモーターで銚を打ち込みます。衝突解析により、銚を打ち込んでも細かなデブリが外に飛び出さないと考えています。

図3 除去機構(導電性テザー)を如何に取り付けるか

### 実証の段階に来ている

穴にひっかけるか貫通させるかの違いはありますが、テザーの先端をデブリに取り付けることができれば、あとはテザーを伸展し、再突入(デオービット)させるだけです。簡単そうに書いてしまいましたが、テザーが伸展し、電流が流れ、ローレンツ力が発生するか否かは、宇宙空間で試してみないことには分かりません。

2013年度、地球観測衛星の相乗り衛星として7機の小型衛星がH-2Aによって打ち上げられます。その内の1機、香川大学の小型衛星「STARS-II」では、導電性テザーなどの実証を予定しているのですが、そのテザーとして私たちが開発したものを提供しています。そこでまずは、香川大学の実証が成功することを楽しみにしています。

それと並行し、導電性テザー技術や非協力対象への接近技術などの2015年頃の宇宙実証を目指し、計画を進めています。

ます。その候補として、ISSへ荷物を運んだ後の「このとり」からテザーを伸展する実証実験などを検討中です。実際の実証シナリオについては、この号が発行される今年度末には詳細が決定していることでしょう。

ここまでは、低軌道を周回するデブリ除去のシナリオです。実はもう一つ、高度36000kmという高軌道(静止軌道)にも、たくさんのデブリが存在します。しかし、これだけ高い軌道だとそう簡単には大気圏に突入させることができません。そこで、まずは静止軌道より300kmほど高い軌道にデブリを移動することで現役の衛星を守ろうと考えています。その方法として検討しているのは「イオンビーム」です(図4)。今後は、静止軌道についても、具体的な要素技術研究に取りかかりたいと考えています。

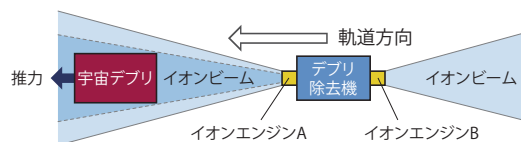


図4 イオンビームによるデブリの軌道変更



【未踏技術研究センター】

(後列左より) 北村 正治、大川 恭志、上村 平八郎、中西 洋喜  
(前列左より) 仁田 工美、河本 聡美、東出 真澄



**川北 史朗**  
Kawakita Shirou

研究開発本部 電源グループ  
1998年入社

Q.仕事の合間の息抜きは？  
A.週末に自転車で100km走ったり、その中で筑波山に登ったりと、トレーニングに励んでいます。走り終えた時の“充実感と達成感”がなるともいえないですね。

**廣瀬 史子**  
Hirose Chikako

研究開発本部  
軌道・航法グループ  
2004年入社

Q.一番好きな人工衛星は？それは何故？  
A.金星探査機「あかつき」。とつても手がかかる子だから。  
Q.自分を動物に例えると？それは何故？  
A.うさぎ。前歯が大きいから。

**河本 聡美**  
Kawamoto Satomi

研究開発本部  
未踏技術研究センター  
1998年入社

Q.JAXAで働きたい老若男女に一言、二言。  
A.デブリ除去実現という高い壁と一緒に立ち向かってくださる方をお待ちしています。

**工藤 伸夫**  
Kudoh Nobuo

統合追跡ネットワーク技術部  
軌道力学チーム  
2002年入社

Q.一番好きな人工衛星は？それは何故？  
A.「たいち」。衛星追跡管制隊として初めて関わった衛星であり、デブリ衝突回避運用を手順化した最初の衛星である。と色々な意味で「初めて」の衛星だから。

### デブリの現状と危険性を正しく理解することが大切

——まずは簡単な自己紹介をお願いします。

**河本**：私はデブリ除去の研究に従事しています。また、今後デブリがどう増加するかを予測する「デブリ推移モデル」や、今後打ち上げる予定のJAXA衛星に対するデブリ衝突による損傷発生確率を解析する「デブリ衝突損傷リスク解析ツール」、デブリ発生防止標準の適合性を確認する「デブリ発生防止標準支援ツール」を開発し、衛星プロジェクトの支援も行っています。

**廣瀬**：JAXAに入社して6年間は統合追跡ネットワーク技術部でデブリの観測や衝突解析を行っていました。その後、今の部署へ異動となり、デブリの軌道データの一部から、そのデブリが今後どのような軌道を進むのかを求める研究をしています。

**工藤**：地球周回軌道上には、デブリだけでなく運用中の人工衛星も存在しています。統合追跡ネットワーク技術部ではどちらの軌道計算も行っているのですが、私は主にデブリを観測し、その軌道計算を行っています。レーダーや光学望遠鏡といった観測機器を使って軌道上のデブリを観測し、運用中の衛星と衝突する確率を計算したり、大気圏に再突入予定のデブリがどのような軌道を通って再突入するかを求めています。

**川北**：私の専門は「太陽電池」です。宇宙用太陽電池の設計や開発を行っています。太陽電池は宇宙に持って行くと性能が劣化するのですが、その主な理由は宇宙空間を飛び交っている放射線です。そこで、地上で放射線を照射し、太陽電池の性能評価を行っています。太陽電池は衛星に対して大きな面積を占めるため、そこにデブリが衝突したり貫通したりすると、大きな被害が出る恐れがあります。太陽電池に対するデブリの影響についても、地上にて実証試験や評価を行ってきました。

——去年は9月にアメリカの上層大気観測衛星「UARS」、10月にはドイツのX線観測衛星「ROSAT」という運用を終了した人工衛星が2機、地上へ再突入することが大きく報道され、「スペースデブリ」という言葉が広く知れ渡るようになりました。実は、スペースデブリはほぼ毎日、大気圏に突入しているとか。

**工藤**：アメリカは直径10cm程度の微小なデブリまで観測可能な強力なレーダーを所有しています。それらを駆使して日々デブリ観測を行っており、観測したデータをHPで公開しています。その公開データを見ると、日々、大小様々なデブリが落ちて来ていることが分かります。

**河本**：落下溶融解析によればほとんどのデブリは大気圏突入後に燃え尽き、地上まで到達することはありません。今回の様に燃え尽きずに落

ちてきたデブリについては、残骸の落下場所などがわかっている例もありますが、ほとんどは海などに落ち発見もされません。

——今回は危険なデブリとしての人工衛星が注目されましたが、実は人工衛星自体もデブリに脅かされているという現状がありますよね。

**川北**：人工衛星、特に面積の大きい太陽電池パネルは、デブリがぶつかる確率が非常に高い部分なんです。太陽電池は50から200枚が電氣的に直列に接続し、それをひとつの単位としてパネルに貼り付けられています。そのため、どれか1枚の太陽電池がデブリによって破損すると、100枚なら100枚、全ての太陽電池が駄目になってしまうのではとの懸念がありました。人工衛星にぶつかる恐れがあるのは、地上からは観測できない10cm以下のデブリです。そこで、衝突する確率が高い1mm以下の微小デブリがぶつ

かったと想定し、地上で衝突実験を行いました。その結果、

パネルに小さな孔が開く程度で問題の無いことがわかりました。

**工藤**：孔が開いても大丈夫なんですか？

**川北**：太陽電池パネル上のある1枚の太陽電池にデブリが衝突すると、そのデブリのサイズ程度の小さな孔が開きます。その孔はパネル全体の面積に対して非常に小さく、その孔のサイズの電力が失われるだけで済みます。他の太陽電池には波及しません。

**河本**：でも、例えば電気配線部分であるハーネスに関しては、デブリによって断線する事例なども見られるため、別途検証が必要ですね。デブリ衝突による損傷確率の解析には、どのくらいのデブリが衝突したら損傷が発生するかを考慮する必要があり、川北さんたちの実験結果のデータはとても役に立っています。実は今、「デブリ環境モデル」の妥当性を評価しようとしています。軌道上にある微小なデブリは地上からは十分に観測できないため、どれくらいの量存在しているのかという不確実性がすごく大きいんです。NASAや欧州宇宙機関（ESA）では軌道上のデブリ環境モデルを公開しているのですが、それを元に計算すると、衛星にぶつかるデブリの確率がすごく高くなってくる。

**川北**：でも、これまでにたくさんの人工衛星が軌道上に打ち上げられているけれど、デブリによって衛星が壊れたという事例は解析と比べたらだいぶ低くなっています。

**河本**：そこで、川北さんたちの実験結果データが、すごく重要になります。環境モデルを使って解析した損傷発生確率と、実際に損傷が発生したかどうかのデータを比較すれば、より実情に近い損傷発生確率を考慮して衛星設計ができますから。

### 日本独自でデブリ観測がしたい！

——デブリの観測態勢はどの様になっているのでしょうか？

**工藤**：光学望遠鏡とレーダーという2種類の観測設備を使ってデブリの観測を行っています。光学望遠鏡は可視光による観測のため、実質夜しか行えません。それに対してレーダーは天候や時間帯に左右されずに24時間、観測を行うことができます。光学望遠鏡でデブリなどの微弱な光しか発しない物体を観測する場合、長時間露光しないと観測することができません。そのため、主に静止軌道は光学望遠鏡、低軌道はレーダーにて観測を行っています。現在静止軌道上ではJAXAの衛星が3機、運用中です。それらの衛星にデブリがぶつかることの無いよう、日々、目を光らせています。そういえば、未踏技術研究センターでは光学望遠鏡



統合追跡ネットワーク技術部は国内外9ヶ所に観測施設を有し、我が国の人工衛星を安全に運用するための観測を日々行っている

による低軌道デブリの観測に取り組んでいますよね？

河本：そうですね。観測研究のチームが、画像を何枚も重ね合わせることで、1枚の画像では捉える事のできなかつた微弱な光（微小デブリ）も観測できる「重ね合わせ法」という解析手法を確立しています。

——廣瀬さんの取り組んでいる“軌道データの一部から今後のデブリ軌道を求める”とはどのような研究なのでしょう。

廣瀬：あるデブリが日本上空を通過した際に、10分間だけ軌道データを取得できたとします。そのデータから、そのデブリが2時間後にどこを通るかを求める、というものなんです。通常の軌道計測では、1日ほどかけて時々刻々のデータを蓄積し、それによってその後の軌道を決定します。でも、日本の観測装置では最長で1000kmほどの距離、ちょうど日本地図の範囲程度しか自国では観測できないんです。今は、アメリカが観測した記録を公開してくれているので、そのデータからいつ目的のデブリが日本上空を通過するかが分かるのですけれど、もし、1回の観測で目的とするデブリの軌道を予測することができれば、次にいつ日本の上空を通過するかを知ることができ、同じデブリを継続的に観測できるようになります。つまり、日本独自で正確な軌道計算ができるようになるんですね。

——すごいですね。ところで、何故2時間後の軌道を予測するのでしょうか？

廣瀬：低軌道を周回する人工衛星やデブリは大体1.5～2時間程度で地球を1周しています。そのため、約2時間後に再び日本の上空を通過する可能性が高いんです。この技術、今は計算にタイムラグがあるんですけど、最終的にはリアルタイムで軌道を予測できるようにし、実観測に役立てたいと考えています。

## 綺麗な宇宙にするための一歩を

——ロケットや人工衛星など華やかな宇宙開発に比べ、地味に見えがちなスペースデブリの問題。どうやって、モチベーションを保っているのでしょうか？

川北：太陽電池パネルにデブリがぶつかったら何かが起こるのでは、とかねてより考えていました。でも、実際に何が起こるのかは地上からでは分からない。何が起こるのか少しでも知りたい、自分で確かめたい、そういう思いで太陽電池へのデブリ衝突実験に取り組んでいました。初めは、デブリによって太陽電池は直ぐにダメになるとか思っていたんです。でも、いざ実験をしてみると、思っていたよりもだいぶ丈夫なことが分かりました。それらを自分で確認することができて、面白かったですね。——軽量化の観点から、太陽電池の薄型化に取り組んでいますよね。デブリ対策はどうなっているのでしょうか？

川北：現在、一般的に使われている太陽電池パネルは、太陽電池、基盤

となるパネル、その間に挟む絶縁のためのフィルムで構成されています。私たちは、太陽電池や、この構造そのものを薄型にすることで、軽量化を達成できるよう開発を進めています。先ほど、太陽電池パネルに微小デブリが衝突しても影響はほとんどない、と話しました。デブリの影響は太陽電池やその構造に左右されるため、それを変更することで耐性が低くなることが考えられます。特に、新たに研究している太陽電池には、これまでの宇宙用太陽電池と異なる構造を持つものがあり、その構造の特性からデブリ衝突による絶縁破壊が懸念されます。そこで、薄膜太陽電池へのデブリ衝突試験を行いたいと考えています。

工藤：自分の中で「宇宙へ行きたい」という夢があります。そのために、例えば“有人ロケットを作る”というアプローチがあると思います。一方で、最近、ISSがデブリの回避を行ったりしているという現実がある。それはつまり、スペースデブリは自分が宇宙へ行った時のひとつのリスクになるということですよ。そのリスクを正しく理解しておきたい、危ないからこう解決すれば良いということが実現出来れば、いつか自分が宇宙へ行く時の一助になると思っています。

廣瀬：私は、ロケットでも人工衛星でも、常に何か新しいことにチャレンジしつつ開発を進めていると思っています。デブリの研究と言うのは特に、問題意識が高まったのが比較的最近と言うこともあり、まだやられていないやるべきことがたくさんあると思います。つまり、チャレンジすべき課題がたくさんある。私はそういう、まだ誰も実現していないことにチャレンジして、それを実現していくことがすごく楽しいんです。

河本：華やかな宇宙開発と比べると地味なイメージはあるかもしれませんが、すごく重要な課題だと思っています。これまではデブリのことはあまり意識せずに宇宙開発を行えたかもしれないけれど、今は大量の宇宙デブリが存在し、問題になってきているという現実があります。つまり、これからの宇宙開発ではデブリは避けられない問題になっているんですね。地球の環境問題と同じで、今取り組まないと、近い将来、本当に大変なことになってしまう。今すぐにも、デブリ除去に取りかかるべき時期に来ていると思います。技術的に面白いのかどうかに関わらず、やらなければいけないことがたくさんあるので、そういう意味で遣り甲斐もあると思います。

——100年後の宇宙は綺麗な環境になっていると思いますか？

河本：綺麗にしないとダメですよ。取り返しのつかない状況になっていて、あの時にちゃんと取り組んでこなかったから、とは言われないうようにしないとイケない。

廣瀬：“増やさないと”言うのは今からでも出来るかもしれないけれど、“減らす”というのはすごく難しいですね。

工藤：かなりハードルは高いですよ。

川北：デブリ対策を行うためには、まずは微小デブリの現状を知る必要があると思います。

全員：（頷く）

川北：5年とか10年とかで衛星を…

工藤：単純に除去するのではなく、持ち帰りたいと。

川北：ええ、そうすれば何が起きているのかが一目で分かりますから。

河本：持ち帰るのは難しいかもしれないけれど、カメラでの観測なら可能ですよ。

廣瀬：衛星自身に“自己診断カメラ”の様なものを搭載するとか。

川北：実際の様子をカメラを通してでも良いので直に見ることができれば、デブリ対策もより現状にあった物にできると思います。

全員：（頷く）

# 空 宙 情 報

## 航空分野に係る連携協力協定を愛知県と締結

2012年2月13日、航空分野におけるより一層の連携強化を図るべく、愛知県と連携協力協定を締結いたしました。締結式は愛知県公館にて執り行われ、大村秀章愛知県知事と立川敬二JAXA理事長により締結書が取り交わされました。

愛知県では航空機産業の振興による地域の更なる発展を目指しており、またJAXAでは、我が国における航空分野での科学技術の発展をひとつの目標としております。そのため、拠点のひとつとして県が有する愛知県飛行研究センター内に名古屋空港飛行研究拠点を設置するなど、これまでも連携して活動を進めてきました。そして今回、この連携をより強固なものとするべく協定の締結に至ったわけです。

今後は、名古屋空港飛行研究拠点を実験用航空機「飛翔」の運用に活用し、航空機などの開発への貢献を含めた各種飛行試験を実施します。また、地元大学との連携協力を進め、優秀な人材の育成に努めます。愛知県側からの要望として、中小企業の研究開発や製品開発に対する支援、大手企業および中小企業との共同研究などが挙げられており、これらの実現にも取り組むたいと考えています。



締結後、大村県知事(右)と握手を取り交わす立川理事長(左)

### 【開催案内】 施設公開

当本部では毎年、4月の科学技術週間に合わせて様々な施設・設備を公開しています。今年もたくさんの施設・設備を公開します。各種イベントも開催しますので、みなさまお誘い合わせのうえご来場ください。

詳細はJAXAのホームページにて紹介しています。ご不明な点などありましたら、各センターに直接お問い合わせください。

JAXA HP <http://www.jaxa.jp/>

※ イベントページ (2012年4月) をご覧ください。

#### 筑波宇宙センター

所在地：茨城県つくば市千現2-1-1

開催日時：4月21日(土)

10:00～16:00 ※ 入場15:30まで

キャッチフレーズ

「さあ行こう！ 宇宙に一番近い場所」

【お問合せ先】

筑波宇宙センター 広報 電話：050-3362-6265

#### 調布航空宇宙センター

所在地：東京都調布市深大寺東町7-44-1

開催日時：4月22日(日)

10:00～16:00 ※ 入場15:30まで

【お問合せ先】

調布航空宇宙センター 広報 電話：050-3362-8036