

金沢大学サテライト・プラザ ミニ講演

日 時：平成20年11月1日（土）午後2時～3時30分

場 所：金沢大学サテライト・プラザ 講義室

演題：「月周回衛星「かぐや」の旅 ～衛星設計から探査までの道のり～」

講師： 笠原 禎也（金沢大学総合メディア基盤センター准教授）

## 1. 宇宙天気予報

今日は、月周回衛星「かぐや」のご紹介をさせていただきますが、本題の前に、まず我々がなぜ宇宙探査をしているかというお話からはじめたいと思います。我々が宇宙探査をする理由は、まず純粋に科学的興味があるのはいまでもありませんが、それだけでなく、我々の実生活につながる問題もあります。私たちは普段あまり意識していないかもしれませんが、実は地球はいろいろな太陽活動の影響を非常に大きく受けています。その中の一つに、太陽の表面における爆発現象があります。これは太陽フレアあるいはコロナガス噴出と呼ばれる現象ですが、太陽でこういう爆発現象が起こると、太陽表面から大量のエネルギーが放出され、その一部が地球に到来します。このとき地球で引き起こされる物理現象の代表例のひとつが磁気嵐と呼ばれ、地球の地磁気に非常に大きな影響を及ぼします。

その一例が、北極や南極に現れるオーロラです。その他にも、人工衛星に搭載された機器の故障や、電離層の擾乱による通信や放送の障害など、いろいろな悪影響が我々の生活に起きます。このような種々の現象を事前に予測したいという要求から、「宇宙天気予報」、すなわち一般の気象現象の天気予報と同じように、地球を取り巻く宇宙環境がこれからどのような変動をするか、さらにその変動が地球の我々の生活にどのような影響を及ぼすかを事前に予報しようという流れが世界的にはじまりました。例えば、太陽から吹き出す太陽風が有するエネルギーはおよそ100億キロワットと見積もられていますが、これは東京電力の夏場の消費電力が6千万キロワット（2005年現在）と比べて桁違いのエネルギーです。この大エネルギーによって、オーロラをはじめ、相当量のエネルギーが地球周辺に充満し、これが少なからぬ影響を地球に与えるわけです。

現在すでに宇宙天気予報は、インターネット上で公開されています。たとえば日本では、NICT（情報通信研究機構）という研究機関が、「本日の太陽活動」など様々な情報を発信しており、宇宙空間がこれから1週間先にかけてどれくらい荒れるか、などを知ることが

できます。同様に海外でもスペース・ウェザー・コムなど、複数の機関から宇宙天気インターネットを介して世界中に発信されています。

## 2. 宇宙空間中の電波（電磁波）

私自身が宇宙関係に携わった最初のきっかけは、日本の科学衛星「あけぼの衛星」です。あけぼのは1989年の打ち上げ、すなわちもうほぼ20年前の人工衛星ですが、現在もまだ観測を継続しております。

こちらは、「あけぼの」がとらえた地球上のオーロラです。オーロラは、上空から見ると北極や南極の周りを囲むように光の輪として見えます。あけぼのは、オーロラに起因する物理現象をはじめ、20年にわたって継続的に観測しており、太陽活動とそれに関わる地球周辺の宇宙環境がどのようなになっているかを研究するための貴重な観測データが膨大に蓄積されています。あけぼの衛星を利用して特に私たちのグループが取り組んでいるのは、地球周辺の宇宙空間における電波観測です。20年間に渡る電波観測のデータは膨大で、それらはすべて金沢大学に集まってくるのですが、現在までの総データ容量は20テラバイトにのびます。20テラといわれてもピンとこないかもしれませんが、最近の携帯電話やデジタルカメラなどに入っているメモリは数ギガバイトぐらいです。テラというのはギガの1000倍を意味しますので、およそ1万倍のデータ量と考えていただければよいでしょう。

地球周辺の宇宙空間は何もない真空であると一般に言われますが、厳密に言うとそうではなく、先ほど申したように地球は磁場を持っており、さらに太陽から電子やイオンと呼ばれる電気の粒が飛来します。このような宇宙空間では、一部の電波は真っすぐ伝搬することができず、屈折や反射を起こします。我々の研究は、こういう電波の性質を用いることで、地球周辺がどのような構造をしているか観測から調べることです。

「あけぼの」で観測される電波を音声に変えると、どういうふう聞こえるか聞いてみましょう。厳密には少し違うのですが、「あけぼの」にラジオを載せるとどのように聞こえるかと考えていただければよいでしょう。

<音声再生>

変な音が聞こえますね。これは地球上で発生する雷が原因で発生した電波の音です。雷というのは放電現象で、放電の瞬間、電波が発生します。その一部は宇宙空間に飛来するのですが、それを「あけぼの」に搭載したアンテナで受信すると、今のようなピューという音に聞こえるのです。それ以外にも、先ほど申し上げた磁気嵐が発生すると、不思議な

電波が宇宙空間で発生します。

<音声再生>

これはコーラスと呼ばれている現象で、鳥がさえずっているようなピューピューという不思議な音がしています。電波とはそもそも目に見えないものですが、もともとは光と同じような性質を持っていますので、このように遠方から到来する様々な電波を人工衛星で捉えることによって、遠方の宇宙空間で生起する物理現象が可視化できるようになるわけです。

### 3. 地球・太陽系探査

われわれは、今まで地球や太陽系を探査する研究に長らく関わってきました。ここで日本の歴代の科学衛星をご紹介します。ここには金沢大学のグループが関わってきた衛星群が示されています。金沢大学の衛星計画への参加は歴史が長く、「あけぼの」、「GEOTAIL」、それから今日メインのお話になる「かぐや」などがあります。さらに、現在計画中の水星探査衛星 BepiColombo、さらにはご記憶がある方がいらっしゃるかもしれませんが、日本が火星探査に挑戦し、残念ながら目的を達成できなかった「のぞみ」があります。これらのミッションは、金沢大学以外に国内外の諸大学と共同研究で進めてきました。たとえばこれから目指す水星探査は、日本単独では実現が難しいので、ヨーロッパの各国と共同で計画しています。

では、今日の本題の「かぐや」による月探査のお話をしたいと思います。「かぐや」衛星は主衛星と呼ばれる大きな衛星を指し、これ以外に二つの子衛星を分離して「おきな」「おうな」と、いずれも竹取物語にちなんで命名された3つの衛星から構成されます。

### 4. 月探査の歴史

まず、今までの月探査の歴史を簡単にご紹介します。月探査の歴史は、今から約50年前に旧ソ連が世界に先駆けて実施しました。まず、1959年に衛星二つを打ち上げており、その一つが月に初めて最接近しました。大体5000キロくらいまで近付いたということです。もう一つは、月面にぶつけることに成功しています。その後もしばらく旧ソ連が先行しており、次にルナ9号が月軟着陸に成功しました。

これに対し、アメリカが一所懸命追いかけ、1969年、有名なアポロ11号が月面に着陸し、人類が初めて月面に立つという歴史を作りました。当時はこのように、アメリカと旧

ソ連の間で月を巡るかなり激しい競争が続いています。当時はいわゆる冷戦時代なので、月に到着し、石を持って帰るなどの科学的成果もありますが、むしろお互い国威発揚というか、相手国に負けないように頑張るといった競争的な要素が強かったといえます。

このような競争は1976年までずっと続きましたが、その後しばらく月探査には間が空いてしまい、長らく月に誰も行かない状態が続きます。その次に月に到達したのは、実は日本なのです。日本は1990年に「ひてん」と、その孫衛星である「はごろも」という二つの衛星を打ち上げました。このときは工学実験的な色合いが強く、月周回軌道に衛星を投入したり、月の重力を利用した人工衛星の軌道制御などの実験がなされています。

その後、アメリカの「クレメンタイン」や「ルナ・プロスペクター」、それからヨーロッパ「スマート1」など、幾つかの月探査衛星が散発的に打ち上げられていますが、それ以前の何十トン級の人工衛星を打ち上げてきていた米ソの競争時代と大きく違い、いずれも大体数百キロ程度の非常に小さな衛星探査にとどまっております。それに対し、去年の9月に上げられた日本の「かぐや」は重量がおよそ3トンということで、ここ十数年の人工衛星に比べて一けたくらい大きな巨大人工衛星が久々に月に到達したことになります。

## 5. 「かぐや」が目指すサイエンス

では次に、「かぐや」の目的についてご説明します。まず一つめは「科学観測」です。たとえば、月の表面にはどういう鉱物があるか、地形がどうなっているかなどを、科学的に詳細に調べることです。二つ目に、こういう鉱物その他を調べて月の環境をよく知ることによって、今後、人間が月面に行く上での調査にも役立ちます。最後に、皆さまに宇宙開発というものを知っていただくための活動ということで、特にNHKのハイビジョンカメラが大きな役割を果たしています。

かぐやは、2007年の9月に種子島から打ち上げられましたが、打ち上げ後、月へ直接行くのではなく、地球の周りを周回させて、これで軌道の微調整をした後に月に向かいました。月に到着後、「おきな」「おうな」という二つの子衛星を分離した後、本体そのものはどんどん高度を下げて、最後は月の表面100キロのところを周回するような衛星となりました。このように、三つの衛星が異なる高度にばらばらに配置される形で、現在観測が進んでいます。

「かぐや」が目指す科学観測の目的は基本的に三つの柱に分けられます。まず一番の大きな目的は「月の科学」です。これは、月がどうやってできたか、内部の構造がどうなっ

ているか、重力がどう分布しているか、表面にどういう鉱物があるかといった、月そのものがどういうものを詳しく調べるということです。次に「月での科学」ということで、今後、人類が月に行ったときに、その表面やその上空がどういう環境かを調べます。われわれのグループの研究も、どちらかというところこれに一番近いでしょう。もう一つ別の目的として、衛星が月を周回していることを利用して、月から地球や太陽などを見るという「月からの科学」です

「かぐや」は非常にたくさんの機器を積んだ人工衛星で、全部で15項目にわたる観測項目があり、それに応じていろいろな種類の観測器が衛星上に搭載されています。細かいところは後でご紹介しますが、本体が、横方向が2メートル×2メートルで、縦が5メートルくらいあります。打ち上げ時にはその上に子衛星が載っているので、全部で大体6メートルくらいになります。太陽電池は打ち上げられてからぱっと開いて、子衛星が後で分離されます。観測機器そのものは衛星の表面に張り付けられるような形で配置されています。

## 6. 月レーダーサウンダー（LRS）

金沢大学グループがどういうことをやってきたかについて紹介します。かぐやの搭載機器の一つに月レーダーサウンダーと呼ばれる装置があります。先ほど紹介した衛星の本体の中に、30センチ四方くらいの黒い立方体の箱が取り付けられていて、内部に電子回路がたくさん入っています。われわれは、電波を測らなければいけないので、衛星の四隅のところからアンテナを伸ばします。アンテナの根元には小さな箱がついていて、4つのアンテナで測った信号をまずここで受け、衛星本体の内部に取り付けられたさきほどの大きな箱で受信信号の処理を行なう装置です。月レーダーサウンダーの詳しいことは、後でご紹介します。

月レーダーサウンダーは、われわれ金沢大学グループだけでなく、他の大学と共同開発をしています。主担当の先生は東北大学の小野教授で、小野先生のグループとわれわれ、それから京都大学などの複数の大学と一緒に開発を行っています。

この月レーダーサウンダーの中にも細かい3種類の観測目的があります。一つは「サウンダー」と呼ばれ、衛星のアンテナから電波を発して、月で反射した電波を観測します。これによって、月表面だけではなく、月の地下に何があるか、すなわち月の地層構造を調べることが目的です。残り二つは自然電波ということで、月の周辺を飛んでいるいろいろな電波を測るのですが、高周波側と低周波側に分かれていて、われわれは低周波側の自然

波動電波観測装置(WFC)を受け持っています。

## 7. WFC (低周波自然波動電波観測)

こちらはWFCの仕組みを描いたブロック図です。ややこしいので細かいことは申し上げませんが、中にコンピューターが載っています。今どきのコンピューターは、この私のノートパソコンも含めて、非常に早くて小型のものが出ています。それに比べると、これは今から大体20年前のパソコン程度の性能しかない非常に遅いものを使っています。なぜかというと、宇宙環境に持って行くので周りは真空です。そうすると、これは電気を消費して動くので、熱を発生します。しかしその熱は真空中では簡単に逃がせません。ですから、性能の高いものを持っていくと、熱くなりすぎて動かなくなってしまうのです。なので、スピードを落として動かさなければいけません。

それから、やはり開発着手から打ち上げまでに10年かかりますので、開発着手当時に安定して動くものから選ぶ必要があります。つまり、やはり十数年前のものしか使えないということで、かなり古い部品にせざるを得ません。要するに、その当時の最新ということで、これがぎりぎりのレベルになってしまいます。この性能の中で頑張っ、いろいろな観測をしなければいけないわけです。

われわれはやはり科学者として非常に欲張りなので、たくさんのデータを取りたいのですが、それを全部地上に送ることができないので、データを圧縮したり、要るもの要らないものを上で選別して、要るものだけを地上に送るなど、いろいろな工夫をしています。基本的にはそういうものを、この衛星上のコンピューターの力でやらせるために、われわれは頑張っって開発してきました。

たとえば、「GEOTAIL」は「かぐや」の十数年前に打ち上げられた衛星なのですが、かぐやでは、GEOTAILに搭載された二つの受信器の両方の一番いいところ取りをしてひとつの受信器に仕上げるなど、世界の中でもやはり最高級の最新の設備を備えた観測器ということになっています。

## 8. WFCによる「月での科学」と「月からの科学」

先ほど月の話をしましたが、月を観測するということがわれわれにとって何の意味があるのかをお話します。最初に宇宙天気予報の話をしたのですが、灼熱の太陽にさらされている地球というのは、非常に過酷な環境で、そこでわれわれ人間は実際に生活しているわけ

です。なぜそのようなことができるかという、直接太陽エネルギーにさらされないように、地球が磁場によってバリアされていることによるのです。

それに対して、例えば火星や金星といった地球の隣り合わせの惑星は、固有磁場というものを持っていません。一方で、木星は非常に強い磁場を持っています。太陽系の惑星といっても、いろいろな惑星があるわけです。それに対して、地球も含めて、これらはすべて大気を持っています。しかし大気がない惑星というものも、一方で存在するわけです。その代表格が月と、もう一つが水星です。結局、太陽系の惑星、あるいは衛星というものは、それぞれ全部少しずつ違うわけです。

その中でも、今回やろうとしているのはこの月なのですが、固有の磁場を持っていないくて、しかも大気がないということで、地球とは相反する環境になるわけです。そこで、月の環境とは一体どういうものか、要するに、われわれ人間が今まで生活している環境とは全く違うところなので、人間がここに行くとなんが起るかを知らなければいけないわけです。

では、われわれの電波観測で月の何が分かるのでしょうか。「かぐや」の軌道は大体高度100キロのところをぐるぐる回っています。そうすると、太陽からの高速のエネルギー、太陽風が月にやってくると、日の当たる側の月面はバリアがまったくないのでじかに太陽のエネルギーにさらされます。一方、裏側は一体どうなっているのかという、実はこちらにはよく分からない領域なのです。われわれは、この領域をウェイクと言っているのですが、要は、川の中に石ころがあったら、その石ころの後ろにさざ波が立ちます。月の夜側は、ああいうさざ波が立っているような領域ということでウェイクと呼ばれるのですが、ウェイクが一体どうなっているかは、地上から光で観測しても全く見えないところなので、こういうところを電波で見ようというのが、われわれの観測目的の一つです。

もう一つ、われわれがやりたいことの一つとして、こういう太陽とか地球というものはいろいろな電波を発しています。そういう電波を、月ならではの環境で観測しようというのです。どういうことかという、例えば木星など、電波を発する惑星はたくさんあるのですが、普段、地球の周りで観測していると、地球や太陽から出てくる電波が非常に強いので邪魔になるのです。そこで、地球や太陽から隠れた月の裏側に行くことによって、惑星から飛んでくる電波をしっかりと見ることができます。つまり、太陽系のいろいろな惑星や衛星の環境を、これらが発する電波を見ることで調べたいということです。

このように私たちの観測装置は、月での科学として月固有の電波を、また月からの科学

として遠方から月に到来する電波を捉えることを目的としています。

話が変わりますが、先ほども少しご紹介しましたように、「かぐや」の一つの大きな目的に、「かぐや」に搭載したハイビジョンカメラを使った月の姿を見せるということがあります。このハイビジョンカメラには、望遠と広角の二つのカメラが載っていて、動画を撮ることができます。ただ、よく皆さんに「撮ったものをそのままリアルタイムで中継できないのか」と質問されるのですが、実は、1分間ハイビジョンカメラで月の様子を撮影すると、そのデータを地球に送るのに20分もかかってしまうのです。なので、時々観測をしては、それをゆっくり時間をかけて地上に送らなければいけないので、残念ながら、リアルタイムでそのまま見ることはできません。

## 9. 月探査衛星「かぐや」の開発

ここまで「かぐや」の全体概要をお話いたしました。今日は、その衛星を作るところから皆さんにご紹介したいと思います。「かぐや」が打ち上げられたのは2007年9月なのですが、実は、この月探査衛星の計画が最初に上がったのは1995年、12年前のことです。こういう衛星の打ち上げ計画がどのように進むかという、大体われわれのような大学などの研究者が、次にこういう衛星を上げたいという提案をするところから始まります。そういう提案をして、それに対する予算を付けてもらうということから始まります。

これが始まったのが1995年末です。それに対して、最終的に数カ月間かけて観測計画をまとめました。特に、われわれは月レーダーサウンダーというグループですが、観測計画をまとめて、最終的に月探査計画が正式に認められたのが、1996年6月ということで、結局、打ち上げから11年さかのぼるところから、この計画は正式にスタートします。当時のミッションは「SELENE（セレーネ）」という名前です。「かぐや」というのは、打ち上げ前に公募で決めた日本名ですが、それまでは、プロジェクト名としては「SELENE」という名前でやっておりました。

当時、宇宙のことをやっている日本の機関は二つありました。一つは、文科省、当時の文部省傘下にある宇宙科学研究所（ISAS）と呼ばれ、いわゆる学術目的の宇宙探査をやる研究所です。もう一つは事業団系で、当時の科学技術庁の傘下にあった宇宙開発事業団（NASDA）です。今までは、どちらかというと科学観測、科学探査は宇宙科学研究所がやり、気象衛星とか通信衛星などの、実用衛星は宇宙開発事業団がやるということで、別々にやっていたのですが、この「SELENE」計画は、初めて宇宙研と宇宙開発事業



団が合同で月探査を行うという計画になっています。

これは、当時の「SELENE」の衛星の概念図です。皆さんのお手元の絵と少し違うと思われると思います。どこが違うかという点、一番大きなことは衛星が金色なのです。今の衛星は真っ黒です。これが金色の衛星になっています。それからもう一つは、後で申し上げますが、ここに足が付いています。今は四角い直方体になっていますが、この辺に足が付いています。

これは何かというと、実は、当時は打ち上げをして、月に行って周回軌道上で観測を行い、最後に、先ほどの足の部分を分離して着陸までやっつけようという計画になっていました。つまり着陸機が、軟着陸することでミッション終了という計画でした。当時の予算が付いたころの計画としては、打ち上げが2003年で、軟着陸が2004年ということでしたから、結局4年近く計画が遅れて実現したということになっています。

では、もともとの計画が今の衛星の計画になったのはなぜかというお話なのですが、2007年9月に「かぐや」は実際に上がっているのですが、当初の2003年打ち上げ、2004年軟着陸ということを考えると、米ソが月探査計画をやっていた時代のあと、圧倒的に早く日本が月に行くことになっていたのです。今ちょうど、中国やインドが新しい月探査衛星をどんどん打ち上げていて、ほぼ同時期になってしまったのですが、本来ならば日本はそれよりも4～5年早く月に行っていたはずなのです。

では、なぜ遅れたのかですが、これはわれわれにとっても非常につらい歴史がありました。まず一つめは政治的な背景です。1998年に北朝鮮がテポドンを打ち上げたという事件がありました。そこで、北朝鮮のテポドン打ち上げに対応するために情報収集衛星が最優先せざるを得ない状況となり、限られた予算の中で科学観測の優先度が下げられる結果となりました。

もう一つは、この頃、相次いで、事業団が使っているH-IIロケットの打ち上げが失敗し、代わりに上げられるH-IIAロケットの登場を待たざるを得なくなったという事情があります。この時期は、本当に日本の宇宙開発にとっては苦しい時期で、宇宙科学研究所が打ち上げるM-Vロケットの打ち上げ失敗まで重なり、日本の宇宙開発はどうなっているのだという逆風にさらされていました。ということで、この「SELENE」計画自体もより安全を期すために、「SELENE-A」「SELENE-B」という形で計画は分けられました。

つまり、もともとは月の軟着陸までやる予定だったのですが、まずは月周回衛星を成功

させ、その後改めて月軟着陸に挑戦する方針に変わりました。今のところ、軟着陸は今の「かぐや」が無事に成功すれば次に進むということで予定されています。ということで、ここで軟着陸用の足が衛星からなくなったのです。

その後、小泉内閣の行政改革の一環で、今まで宇宙科学研究所と事業団が分かれていた日本の宇宙開発は、それに航空宇宙技術研究所を加えた三つの研究所を統合して、2003年に3機関統合ということで、今皆さんもニュースなどでよく見ているJAXAというものが出来上がるのです。

それと、先ほど少しご紹介しましたが、われわれは実は、火星探査の「のぞみ」にも観測機を載せていたのですが、「のぞみ」が残念ながら火星に到達することなくミッション終了となってしまいました。われわれはアンテナを伸ばさないと何も取れないので、結局、火星に着く前にアンテナを伸ばすこともなく探査が終わったのです。「かぐや」のほうも1年たったらまた1年延びていくので、「かぐや」が本当に上がるのかなかなか先の見えないまま開発を続ける状況でした。

最終的に「かぐや」の開発は、正式には1999年から始まり、2007年打ち上げで今年2008年までという10年間計画になっています。ただ、実はそれまでの1995年からの歴史ということで、われわれにとっては14~15年越しの計画なのです。

## 10. 衛星設計

では、これから実際に衛星開発の流れについてご紹介します。まず、衛星を上げるときに大事なことは、いろいろあります。まず、衛星をどういう目的で打ち上げるかということがありますが、設計をするときにはいろいろな制約があります。「重さ」、つまり、あまり重くなると打ち上げられないので、ロケットの性能で衛星の重さが決まります。

次に「電力」です。衛星には太陽電池が付いていて、発電するのですが、当然、日が当たらないときがあります。その間はバッテリーを使います。つまり、発電能力、あるいはバッテリーの能力に見合ったものを載せる必要があります。それから、先ほど少し言いましたが、電気を使うと熱が発生します。大量の熱が発生すると、真空中で逃がすことが難しいので過熱して衛星機器の誤動作につながります。なので、発熱量をある程度の範囲内に収めないといけません。

それから、「通信レート」というのですが、観測したデータを地上に送るときに、送れるデータ量には限界があります。そこで観測量は決まってしまうわけです。次に、「耐放射線」

です。人間は地球の大気中に住んでいます。太陽から降り注いでくる放射線は上空で緩和されているわけです。ただ、宇宙空間では放射線はもろに衛星にぶつかります。そうすると、これが衛星の誤動作などにつながるため、放射線が飛んできてもしっかり動作しなければいけません。

最後の「振動条件」というのは、ロケット打ち上げの瞬間は、ものすごい振動と重力がかかります。打ち上げたときに壊れては困るので、振動しても壊れないものを作る必要があります。日本の特徴として、こういうものも含め、われわれが設計から最後の衛星の運用、データ解析まで全部かかわるということがあります。アメリカの場合はかなり作業分担が進んでいるのですが、日本の場合は、大学の関係者も含めて全部、こういうものにかかわって計画を進めていきます。

## 11. EMC対策

われわれが電波観測をやる上で一番大事なのが、EMC（電磁的干渉）対策といわれるものです。EMCの例として、最近よく新聞でも話題になりますが、携帯電話が心臓のペースメーカーに影響を与えるという話があります。あれは携帯電話が出す電波が別の機器の誤動作の原因になるというものです。こういうことがあってはいけないようにするのが、この電磁的干渉の抑圧ということです。これは、われわれの一般生活の中でも非常に大事なもので、この電磁ノイズ環境適合性というのは、自分の機械が出すノイズで相手を誤作動させないというものと、逆に、たとえ相手がノイズを出しても、自分が誤作動してはいけないという2つの適合性をさします。これがいわゆる一般的な定義における電磁ノイズ適合性というもので、今の心臓のペースメーカーや携帯電話には、全部EMC対策がなされています。

ただ、われわれの電波観測器の場合はこのレベルだけでは済みません。われわれは電波観測をやらなければいけないので、単にノイズが誤作動しないレベルでは困るのです。というのは、自分たちは電波を測りたいわけなので、まわりの機械から人工的なノイズが入ってきて肝心の電波が測れなくなってしまうのは困るのです。十分静かな環境で電波観測ができる、あるいは、十分静かな環境で磁場観測ができるために、一般的な適合レベルをはるかに超えた、大変厳しい制約がかかります。

それをどうするかということですが、「かぐや」の近くに試験用のアンテナを設置し、衛星本体内部の様々な機器を動作させたとき、どんなノイズが出ているかを測定します。そ

れでもって、もしもノイズが出ているのが見つかったら、どこから誰がノイズを出しているか探すという調査をするわけです。

我々はこのノイズの大きさの規定に MIL 規格というものを基準に用いました。MIL スペックとはアメリカ国防総省によって、アメリカ軍の調達物資の規格なのですが、その中で各機器はこの規制値より下になるようにノイズを低減しなければいけないと規定されているのです。

それに対してわれわれが規定したのは、MIL スペックよりさらに厳しいレベルです。衛星の内部に搭載する機器については MIL スペックより 10 デシベル下、また衛星の外側に取り付ける機器が出すノイズは、さらにその 30 デシベルくらい低い規制値を満足しなければならないと設定しています。これがどれほどのものかというと、20 デシベルがノイズの大きさでいうと 10 分の 1 にあたります。つまり、MIL スペックといわれる規制レベルよりも、40 デシベル以上ということで二けた以上の厳しい規制値を満足するノイズを出さない静かな機器を開発しなくてはいけないこととなります。衛星を作るときにこのような規制値を決めて、衛星に載せる機器はこの基準を満たすように作ってもらったのです。

どういう形でノイズが出るかということ、機器同士は電源やデータ通信用のケーブルでつながっていますが、電気回路というのは、電源から電流が出てまた戻っていきますが、ごくごく一部の電流が、ケーブルでなく衛星のパネルなどに流れると、こういうものが原因でノイズとなります。特に機器が、衛星の離れたパネル間で長いケーブルでつながっていると、大きなノイズ源になるので、こういうところをきっちり抑えるということで、大変厳しい試験を繰り返しました。

衛星内部に搭載されている機器の規制が少しゆるいのはなぜかということ、衛星の内部からのノイズは、衛星本体で遮蔽します。シールドというのですが、電波が出ても、内部から出た電波が外へ漏れないように、周りを全部覆い隠すようなものを施しました。最初に「かぐや」初期デザインが金色だったというお話をしました。この周りを囲んでいるものはサーマルブランケットというのですが、設計の途上で、電気を通しやすい炭素が入った黒いサーマルブランケットに入れ替えることで遮蔽効果を高めることにしたのです。この結果、金色のブランケットで包む衛星が多い中、黒いブランケットを使う必要があったため、「かぐや」はああいう地味な色になりました。デザイン上の理由ではなかったわけです。

これが、先ほどの全体のノイズ対策を施した衛星の EMC 試験の様子ですが、人間がここにいます。衛星の高さ大体 6 メートルです。こういうふうに黒いサーマルブランケットで

覆った衛星に対し、ここにアンテナを立てて、衛星から出てくる不要な電波がどれくらい発せられているかを測ります。われわれは衛星から観測用のアンテナを伸展して電波を計測しますので、アンテナが衛星からのノイズばかり拾ってしまうと本来測りたい電波が取れなくなってしまうので、そういうことが起こらないかを試験します。EMC 試験ではこういう大きな電波暗室で試験をしてきました。

## 12. 衛星開発の流れ

われわれは観測器を作るところからはじめなければいけないので、まず、こういう人工衛星に載せるための試作機の作成から始めます。これが2000年頃で、EM電気試験といいます。これは当時の試作機の写真ですが、ここに電子部品が並んでいるのが試作機で、後ろにノートパソコンがつながっています。衛星搭載用の本物の機械はこれらをすべてひとつの箱の中に収めるのですが、この時点ではこういう試作機をつなぎ合わせて、実際の動作試験をやります。それを全部組み合わせたフライトモデルというのですが、これは実際に打ち上げる方の機器で、こちらの試作機と電子回路の内容はほぼ同じです。こういう基板を7枚くらい重ねて、30センチ四方くらいの箱の中に全部収めて、フライト品に仕上げます。

先ほどの基板を重ねて箱の中に収めたものが下の写真です。中に、こういうふうに7枚くらいの基板が入っていて、ここからずると出ているケーブルが、その先のアンテナへとつながります。これがわれわれの機械です。

これは打ち上げの大体4年前の時期ですが、先ほどのEMC試験、要するに、自分の機器自体がノイズを出さないか、それから衛星にくみ上げてからも全体がしっかり動くか、ノイズを出さないかということ、数年がかりで延々とやり続けてきました。

こうして仕上げた各機器はEMC試験、先ほどの電磁適合試験をするためにシールドルームで性能試験を行います。高さが4メートルくらいの小さい部屋なのですが、内部は地球の磁場や外部の電波が全く入らないシールドされた部屋です。要するに、この中は全く無磁場・無電波の空間で、この部屋に観測器を持ち込んで、非常に静かな環境で自分の機械がどんなノイズを出しているかを測ります。それから、今度は衛星全体を組上げた状態で、電波吸収体が張り巡らされた電波暗室の中に入れて試験をします。このように我々は自分の観測器以外の機器の電磁適合性試験にもひとつひとつ立ち会ってきました。

そういう他機器の電磁適合性試験以外と並行して、当然われわれは自分の観測器の開発

や動作試験をしなければいけないので、つくばの宇宙センターなどの現場の立会いには、私の研究室の学生さんなども引き連れて行って、彼らも実際の測定や、ソフトウェアの開発などに参加しました。こういう試験は、オペレーターの人や各機器の担当者など、大体常時数十人でこの衛星を囲んでやるわけです。周りにやぐらを組んで、衛星に近付いていろいろな試験をするということもやります。

こういうものが大体出来上がってきて、打ち上げの約1年前、今度はいろいろな打ち上げ前の環境試験をやります。せっかく作った機器を、いろんな過酷な環境下でいじめる試験をやります。まず「振動試験」。せっかく作った機械を思いっきり揺すったりして機器の耐性を確認します。打ち上げ時の振動で壊れないかを調べるために、がたがたと激しく揺らすのでかなり心臓に悪いですが、ここで基板の部品が外れて飛んで行ったりしないかを調べるのです。それから、「温度試験」や「真空試験」などが続きます。

「温度試験」ですが、これは恒温槽（こうおんそう）と呼ばれるケースの中に、先ほどの機械を入れます。宇宙空間に行くと、一番温度が低いときで大体 $-30^{\circ}\text{C}$ 、高いときは $60^{\circ}\text{C}$ くらいと見積もられています。この $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ の間で実際に機械を動かして、それで正しく動くかを調べます。これは機械の周りがそういう温度なので、 $60^{\circ}\text{C}$ の中で機械を動かしてやると本体はものすごく熱くなるわけです。それでも正しく動作しないといけません。あるいは、ものすごく低温状態でも動かないといけないということで、空気中で温度を変えて動作試験をします。

さらに今度は「熱真空試験」といって、これは真空チャンバーというものですが、この中は真空にすることができます。ここに機械を入れて、中の空気を抜いて真空状態にして、もう1回この温度、 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ の範囲で動作試験をします。つまり、 $60^{\circ}\text{C}$ までいくと、真空ですので、熱いところは本当にアッチッチ状態になるのですが、そういうものから $-30^{\circ}\text{C}$ まで周期的に変化させて試験します。

この「熱真空試験」は実はものすごく大変です。熱が伝わらない真空空間だからです。そういう空間で、 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ まで温度を変えるのにどうするかというと、中でヒーターをたくのです。ヒーターをたいて全体が $60^{\circ}\text{C}$ まで上がるのに大体24時間かかります。24時間ずっと待っているのです。ひたすら待って、温度が一定になったら試験を始めます。今度冷やそうとすると、液体窒素で冷やすのですが、冷やすのにまた丸1日かかるのです。これを3サイクルくらいやらなければいけないので、24時間誰かが付きっきりで、1週間ぶっ続けでこういう試験をやりました。

これで全部、個々の機器が環境試験をパスして正しく動くことが確認されると、今度は衛星全体を組み上げて、大きな真空チャンバーの中に衛星を突っ込んで、もう1回「熱真空試験」をやりました。こうなると、本当に温度を上げたり下げたりがものすごく大変です。これは、試験に大体1カ月半かかりました。1カ月半の間、誰かが交代で行かなければいけませんでした。衛星の熱真空試験から最終電気試験は、ちょうど年末から翌年2月頃の、われわれからすると卒業研究などで一番忙しい時期だったのですが、その間、誰かが必ず一人張り付いて現場で見ている、何かおかしいことがあったら電話がかかってくるという状態でやりました。特に熱真空試験は、12月末くらいから正月も抜きで続いたので、年末年始もつくばでわれわれは張り付きでした。

振動試験も同じで、今度はこの衛星全体を揺らすのです。あと、「音響試験」というのは、ロケットの打ち上げ時にもものすごい大爆音がします。大爆音がすると、膜のような薄い素材を使っていく機器は、膜が振動して破れてしまうかもしれないので、ものすごく大きな音を鳴らして、それでも破れないかを試験します。こういう過酷な環境で、全部正しく動くかを調べる試験を一通りやってきました。

最後、こうして出来上がってつくばにおいてあったものを、打ち上げ射場の種子島に持っていきます。これが打ち上げの大体半年前ですが、私も何度か種子島に行きました。種子島の衛星組立棟で、もう一度、動作試験をするのです。射場での動作確認をやったあげく、これで大丈夫ということで、いよいよロケットに組み込みます。

ロケットの先頭の部分はフェアリングと呼ばれるのですが、ロケットを打ち上げて宇宙空間に出ると、上のカバーがぱっと割れて、衛星がぽんとロケットからはじき出されて宇宙空間に飛んで行きます。そのカバーにあたるフェアリングを衛星に慎重にかぶせます。その下にロケット本体がつながります。こんな感じで、ロケットのてっぺんに人工衛星を仕込んで打ち上げます。

これが種子島宇宙センターです。これは自分で撮った写真ですが、非常にきれいなところですよ。ロケットの打ち上げ場では世界一と言われている非常にきれいなところで、海岸線にせり出したところに打ち上げ場があるのです。こちらがロケット組立棟で、打ち上げ直前までは、屋根のあるこの中にロケットが入っています。ここでロケットを組み上げて、打ち上げの12時間くらい前になると、ここからトレーラーで引っ張って行って、この打ち上げ場にセットする形で打ち上げが行われます。本当に海もきれいでいいところです。

もともとは2007年8月打ち上げの予定だったのですが、残念ながら、向こうへ行ってか

らまた一部不具合が起こり、2007年9月の打ち上げになりました。8月であれば私も打ち上げ場に行っていたはずだったのですが、9月は大学の用事でどうしても行けなくて、残念ながら、金沢からインターネット中継で打ち上げを見守ることになりました。前日まで雨だったので、われわれもかなりやきもきしていたのですが、打ち上げ時は非常に好い天気で、無事に上げることができました。

ここまでが、衛星設計からロケット打ち上げまでということですが、大体10年間かけて、何回も機器開発を担当したメーカーさんの工場やつくばに行ったり来たり、種子島にも行ったり、大変な長時間をかけて作業をやりました。

### 13. 「かぐや」によるデータ送信

それでは、今「かぐや」がどういう状態でデータを地上に送ってきているかということをおちょっと簡単にご紹介したいと思います。衛星は月の周りをぐるぐる回っていて、それを地上で受信するわけですが、たくさんのアンテナを使っています。こちら側にあるのは鹿児島の内之浦局と、長野県の臼田局です。われわれの観測データそのものは、この2局を使って受信をしてデータを取るのです。

この2局は両方とも日本なので、月が見えている時間は1日大体8～9時間です。要するに、月が日本の裏側に行ってしまうとデータが取れないので、その間のデータは、全部衛星上でデータレコーダにためておいて、次に日本から衛星が見えるようになると、そこで一気にドカンと地上におろしてくるという取り方をしています。

それから、衛星を操作しなければいけません。コマンドを打ったりして観測器の動作モードを変えとか、あるいは衛星の姿勢を変えとか、いろいろなことをやらなければいけないので、そういうコントロールをするためのセンターはJAXAの地上局、それから、打ち上げ直後などの本当に大事なときはNASAにも支援をいただいて、これらの地上局でコマンドを送って操作したり衛星の状態の監視をしています。監視は24時間しなければいけないので、JAXAが海外にも持っている衛星追跡局も使って24時間監視します。このように複数局で追跡・管制をおこない、何かトラブルがあると、すぐ検知できる体制になっているわけです。

特に、打ち上げ直後はわれわれもかなりピリピリしていて、常に携帯電話を持っていて、夜中であれ何であれ、何かおかしいと思ったら電話がかかってくる体制でいました。自分たちの機器に何か不審点があれば、管制局にはすぐ行けませんが、インターネット経由で



金沢大学で管制局と同じように衛星状態を確認できる装置を入れてあるので、大学に飛んで行って、そこでモニターするのです。監視を担当する管制局の人からの連絡を受けたとき、それは本当に不具合が起こっているのか、それとも不具合ではないのかという判断を我々側で行なって、こちらから対応法を回答するというので、もう今でこそほとんどそういうことはなくなりましたが、最初の数カ月間は四六時中間合せの連絡が入ってくるような感じでやっていました。管制局のオペレーターの方では正しいかどうか細かいことが判定できないことがたくさんあるので、われわれ現物を作った人間に少しでも不審に思ったら尋ねてもらおう形で、しばらく管制していました。

こういう形でデータが取れると、最後に、これは相模原にあるのですが、月ミッション運用解析センターというところに全部データが集まってきます。データが集まってくると、それが今度はインターネット経由で大学の方まで送られてきます。月ミッション運用解析センターに届いたばかりのデータは、すべての観測器のいろいろなデータが全部入り混じって入っているので、その中から、われわれの観測器LRSのデータを選び分けて、さらに、東北大学が担当するデータと、金沢大学が担当するデータに自動で仕分けをして、仕分けられたものが24時間以内に金沢大学までインターネット経由で送られてきます。

われわれは、こちらに送られてきたデータを処理して、いわゆる科学者が研究に使えるような形式のデータに加工したものを作って、相模原の月ミッション運用解析センターに登録するというをやっています。これは、ほぼ全自動になっていて、取得されたデータは数日後にはここに登録できる仕掛けになっています。実際には、データの品質チェックが必要なのでそんなすぐには入れられないのですが、一応処理の流れとしては、ほぼ自動的にここまでできる仕組みができています。

#### 14. 「かぐや」が見たもの

最後に、「かぐや」がどんなデータを今まで取ってきたかを、幾つかご紹介したいと思います。まず、レーザー高度計と呼ばれているものです。これらの観測機器は、やはり金沢大学と同じようにいろいろな大学や研究機関がかかわって製作されたものですが、レーザー高度計は、国立天文台をはじめとする研究機関が作った機器です。これは、月面にレーザー光を当てて衛星から月面までの距離を測ることで、月面の山などの地形の高度を測る機械です。今までに、月全周の高度測定がほぼ終わっていて、既にホームページなどでも一般公開されていますが、月の表側と裏側の地図というものが、国立天文台や国土地理院

などによって作成され、解析の基礎データがそろいつつあります。

次に地形カメラというもので、月面の地形をカメラでとらえます。これは、JAXAのグループがやっています。どうやって立体的に月面をとらえるかですが、衛星の前方と後方の両方の撮像をします。立体メガネというのがありますが、要するに、違う角度からものを見ると立体的に物体の高さがわかるということで、衛星が縦方向に動くので、前方視と後方視したものを後で組み合わせることで、立体的な画像に変えるというものです。

こちらはかつての「クレメンタイン」という衛星が映した画像で、クレーターがぼやっと映っていますが、こちらは「かぐや」の地形カメラで、これくらいあばたも含めてぶつぶつがきれいに見えるようになりました。それから、地形カメラのグループの売りは、上から見た図だけでなく、3次元的に横から見た図も作れるということです。これも報道発表が既に取りましたが、地形カメラで撮った3次元画像を横から見たような画像に変換したものです。これは、アポロ17号が着陸した地点から山の構造を見たらこういうふうに見えるという画像です。

これに対応したものがこれです。これは、実際にアポロ17号が撮った写真で、こういうふう後ろに山が見えて、前面にこういう岩石が見えています。これは実際のNASAが現場で撮影した写真ですが、これと先ほどの絵を見てもらうと、手前の小さい岩石は当然見えませんが、後ろの山の構造はそっくりです。全く同じものが、上からの撮像だけで再現できるということで、かなり細かい地形が調べられるようになります。

次に、われわれ月レーダーサウンダーのグループですが、一つは月の地下がどうなっているかという、これは東北大がメインでやっている研究ですが、電波を発射して地下がどうなっているかを調べています。これは初期画像ですが、丸く映っているこの線が月面です。月面があって、この下にたくさん線が見えていますが、これが月の地下や側方から反射してきた電波の絵です。縦が深さ方向すなわち衛星からの距離に相当し、衛星が何か地下に存在するところを横切ると、最初は遠くにあったターゲットが近付いてきて再び遠ざかります。ですから、一つの何か反射するものがあつたら、これがこういう曲線で見えます。これを、今後さらに画像処理していくと地下の地層などが見えてくるわけです。

これが、先ほどの絵を画像処理し直したものです。衛星が横切ったときに、これが月面で、その下に地下構造がうっすら見えています。心眼で見ないと分かりにくいかもしれませんが、この辺に線が入っています。それを解釈したのがこの赤い線なのですが、この赤い線で引いたところが、月面の下に存在する層構造と考えられます。深さでいうと数百メ

ートルです。このように、月面下の構造がレーダーサウンダーで見えるので、月の地下に氷があるかないか、空洞があるかないかなど、そういうものを調べられることが期待されています。

## 15. 金沢大学グループの結果

かぐやは、月の周りを約2時間で周回するのですが、この部分が「月の日照領域」と書いてあります。これがかぐやに太陽光が当たっている領域、それから、こちらが太陽光が当たらない夜の領域になります。図の縦軸は周波数といわれるもので、上の方が高い周波数で、下の方が低いゆっくりした振動の電波を表します。赤いところほど強い電波が観測されていて、青いところは電波が弱くほとんど存在していないことを意味します。これを見ていただくと、夜の領域は、非常に静かな電波環境で、それに対して昼間は黄色く描かれています。なので、ものすごくいろいろな電波が飛び交っていることになります。

私はこれをはじめて見たとき「ものすごくきれいだ」と思ったのですが、この絵をうちの家族に見せると「何がきれいなのかよく分からない」と言われてしまいました。そうかもしれないですね。それはさておき、この辺にはいろいろな変な構造が見えていますが、地球でオーロラが出たときに、オーロラが発生する領域から発生する電波がこういうふうにかぐやで見えています。この絵では、ここは太陽からは影になっていますが、地球は見えている領域なので、地球からの電波は届いています。

もう一つ、ここにすーっと上がって、すーっと横になって、ここはすーっと下がっているきれいな線が見えていますが、これは電子プラズマ波といいます。この線が現れる周波数は、月の周りの密度に相当するのです。高い周波数に線が見えるのは、この辺は密度が濃い領域で、その後ろのすーっと線が下がっているのは、密度が薄い領域を意味しています。先ほど、ウェイクという話をしましたが、太陽から飛んでくる太陽風、すなわち電子やイオンなどの電気の粒が、この辺はたくさんあって、この辺はウェイク領域ということで、それが消えてなくなっているということがこれでわかるのです。

それを実際に密度に換算した絵がこれです。数字が少し見えにくいですが、月の前面当たりでは3~4個/ccくらいの電子の粒があります。それが太陽光が当たらない月の裏側に回ると、これは下が切れてしまっているのですが、二けたくらい下がって、非常に薄い領域であることが、これでわかります。

こういう風に可視化して見てみると、太陽に対して月の裏側はほぼ真空状態で、太陽に

向いた面は太陽から吹きつける電子の粒がたくさん飛び交っていることが、電波の測定によって調べられることがわかりいただけるかと思います。過去においては、月の周辺での電波観測は月からもっと離れた場所、10,000 キロ以上も離れたところを横切った衛星で1回だけ測定がされていますが、高度100キロという非常に月面に近い領域で電波観測するのは今回が初めてで、そういう意味では、世界で初めてこういうデータが見えることになります。

最後は、NHKが搭載したハイビジョンカメラによる月面の動画です。NHKはこのように時折撮像をしており、今日お見せした動画以外にもたくさんのきれいな絵が撮られています。これらは、「かぐや」のホームページからインターネット上で公開されています。「かぐや」のホームページには、ハイビジョン画像だけでなく、各観測機器が出した結果が随時載せられていますので、ご興味のある方はぜひご覧いただければと思います。

## 16. これからの「かぐや」と宇宙計画

「かぐや」に関しては、定常運用は打ち上げ後約1年ということで、既にほぼ1年たっていますので、定常運用と呼ばれるものは大体終了しつつあるという状況にあります。つまり、当初の計画に沿った観測はほぼ終わるということです。これからどうするかということですが、衛星にまだ燃料が残っているので、後期運用という形で、今までの観測に加えて、継続的にもう少し観測をする計画になっています。

期間に関しては残燃料次第なのでいつになるかまだ分かりませんが、最終的には月に落ちこちて終わりになります。こちらの写真はかぐや打ち上げ前にいろいろなところで広報がなされていたのですが、日本国内の皆さんからのメッセージを公募して、集まったメッセージをこの小さいプレートに縮小コピーでずらっと詰めてあります。このプレートを衛星の側面に張り付けて載せています。大体41万人くらいのメッセージが小さい字で並んでいるのですが、それを載せて、最後は衛星本体が月に落ちることになります。

かぐや以後、どういう計画があるかご紹介します。今日の講演でもお話ししましたが、周回衛星計画が無事終了すると、次は当初の計画から切り離された月軟着陸計画です。それから、今後、有人月探査に向かって、いろいろな計画が進もうとしています。また、われわれのように太陽系の惑星関連を観測したいという人間にとっては、残念ながらうまくいかなかった火星が以前行なわれていますが、その後、金星計画があります。こちらの計画にはわれわれのグループは加わっていませんが、金星への探査衛星が間もなく打ち上が

ります。それから、水星がもうその次に計画が進んでいます。その後は、木星など、いろいろな計画を徐々にやりたいと思っています。また、「のぞみ」が火星に到達できなかったので火星探査のリターンマッチをやるというようなことも、計画に挙がっています。

金沢大チームで、その中で今、力を入れて取り組んでいる計画が二つあります。一つは、水星探査衛星MMOというものです。これはBepi Colombo（ベピ・コロombo）計画という名前で、日本とESA（ヨーロッパ宇宙機関）の共同で、今度は水星に行こうという計画が進んでいます。この計画は、人工衛星二つを水星に送り込みます。MMOとMPOという二つの衛星があって、MPOをヨーロッパが作り、MMOを日本が作り、二つを同時に打ち上げて同時に水星に到達させるということで、われわれはMMOの計画に参加しています。

これが2014年打ち上げということで、現在「かぐや」と同様の苦労を今まさに一生懸命やっています。これから徐々に、打ち上げに向けて機器開発を進めていきます。MMOの場合はまた気長な話で、2014年に打ち上げるのですが、水星に到着するのは2019年以降になります。なので、実際にわれわれがデータを手にするのは10年後になります。非常に長い計画です。

もう一つはスコープ計画というもので、地球そのものをもう1回きっちり観測しようということで、ピラミッド状に小さい衛星が四つ配置され、その真ん中に大きい衛星があり、全部で五つの衛星を同時に打ち上げて、地球の周辺領域を観測します。今まで1個の衛星だと何が問題だったかという、観測をしていて、あるところを衛星が通ったときにデータの様子が変わったとします。しかしそれは衛星がある領域を横切ったから、つまり空間的に様子が変わったのか、それとも、時間的に何か変化が起こって様子が変わったのか、どちらか区別できないという問題があったのです。そういう現象を複数の衛星を同時に打ち上げることで、いっぺんにがばっとつかまえることをやろうとしています。

こちらの方は2017年頃ということで、このSCOPE計画というのは日本の計画で、これにヨーロッパも加わってクロススケール(XSCALE)という名前が付いています。これは、ヨーロッパが、SCOPEの周りに10個くらい衛星を打ち上げることで、全部で十数機で同時に地球の周辺を捉えようという計画です。こういうものに今われわれは携わっていて、これからも、かなり先の長い話で、この辺までくると私ももう定年で終わりかもしれませんが、あと十数年くらいのうちに、やはり2~3個しか携われないものの、そういう計画を徐々に進めていきたいと考えています。

このように、「かぐや」はおかげさまで無事に観測を続けています。これは私一人のできた話ではないので、金沢大学の関係の方々や、他大学の共同研究をしている先生方、JAXAの方など、「かぐや」の場合は本当に数千人の人がプロジェクトにかかわっています。そうやって初めてできる計画ですので、これからも、皆さんにも喜んでいただけるような結果が出せれば、われわれにとっても幸いです。

## 質疑応答

(質問者1) データを取ってくるというのは、やはり暗号化されて取ってくるのですか。そうしないと、例えば盗難に遭うとか、第三国に取られるとか、その辺はどのようになっているのですか。

(笠原) 基本的には、一応暗号相当のものはかかっています。もともと数字の並びだけなので、中身をちゃんと分かっていないと解読できないとは思いますが。多分、受信はできても中身は見られないと思います。

(質問者1) もう一つ、大阪の町工場が人工衛星を作ったという話がありましたが、あれは実際にはどういう目的なのでしょう。

(笠原) そういう計画は国内に幾つかあるのですが、一つは確か雷を観測したいというのがありました。これは地球の周りの小さい衛星ですが、大体これくらいの大きさの箱のような衛星を上げるのですが、それで雷の観測をするとか、クジラの生態を調べるとか、いろいろな目的で各研究室が計画されて、衛星を大阪の町工場などで作る形でやっているのです。

(質問者2) 月面を見ると放射状にクレーターが散っているのですが、あれは何ですか。

(笠原) 私もあまり詳しくはないのですが、クレーターができるということは隕石が飛んできて、それでぽこっと穴が開くわけです。基本的にああいうものができるときに、よくミルクに石ころをぽとんと落とすと王冠状のものができるじゃないですか。あれに近い

イメージです。要するに、飛び散ったものが周りに散らばって、ああいう放射状になると  
いうようなものです。

(質問者3) 「かぐや」とは関係ないのですが、ISSのほかに肉眼で見える周回衛星  
はあるのですか。

(笠原) ISSというのは宇宙ステーションですよ。あれが多分、一番大きいもので  
見えやすいです。ものにもよりますが、軌道が分かれば見えるものは幾つかあると  
思います。

(質問者4) 「かぐや」自体は月に落として終わりと言っていたのですが、分離した子  
衛星はどうなるのですか。

(笠原) 分離した子衛星もいずれは落下します。月の重力には勝てないので、最後には  
落ちてしまうということですね。

(質問者5) 打ち上げ時は何Gくらいかかっているのですか。

(笠原) 正確には覚えてないのですが、4～5Gだったような気がします。もう少しあ  
ったかもしれません。

(注：後日再調査したところ、設計上は20Gに耐える仕様（内部搭載の機器はもっと  
低いですが共通基準での値）とされていました。訂正します。参考までにスペースシャト  
ルが3G、アポロで6Gくらいだったようです。)

(質問者6) 「かぐや」の目的として、将来の月面探査のための調査ということがあ  
ったと思います。人が本当に月に住むということはすごく夢のある話だと思うのですが、こ  
の実現可能性と課題があったら。

(笠原) 多分、一番の問題は水の確保です。永久影というものがクレーターのところ  
にあるのですが、そういうところは1年間太陽の光が当たらないので、氷が残っているかも

しれないとか、あるいは、月の地表面より下に氷が残っているかもしれないので、その辺の氷をどう確保するかとか。かぐやでやっている観測の中でも氷があるかないかとかいう調査が含まれます。あとは、やはり放射線でしょう。地球と違って放射線がばんばん降ってきますので、そこがかなり厳しいかもしれません。

(司会) 太陽の光は地球と同じくらい届いていますので、水があれば、あと生き物がいれば酸素は出ますし。ただ、大気をとどめておく重力がないのです。大気がないから、それで宇宙線もたくさん届きます。

(質問者7) データを取るときに時間がかかり、必要なデータだけを選別して送ってくるという話があったのですが、写真で地球以外の星が見えていないのは、データを取っているのですか。

(笠原) 画像で星が見えていないのは、本当に見えないのです。結局、カメラの露光の問題だと思うのですが、やはり圧倒的に星などが暗いので映らないだけだと思います。私も聞いたところ、NHKさんもどれくらいの露出時間で撮影するかなどいろいろ検討しながらやっておられるようです。月面から太陽光が反射して、月面がものすごくまぶしいとか、地球の明るさはどれくらいとか、いろいろ悩みながら決めることがあるようですね。