

宇宙で電波を測るなんて？☆*

小嶋 浩嗣**

1. はじめに

私たちの日常生活で「電波」の存在を意識するのは、どんな時でしょうか？実は、ほとんど意識せずにもう皆さん使っていると思います。たぶん、携帯電話で「ハタが何本？」という意識がせいぜいではないでしょうか。実際は、携帯電話はもとより、テレビ・ラジオ放送をはじめとする情報通信、レーダーなど、非常に多岐にわたって我々は電波を利用しています。このように人間が電波を利用できるようになった、つまり、制御できるようになったのは、マルコーニによる無線通信実験の成功からと考えてよいでしょう。そう、電波を「利用」できるようになったのは、電波を「制御」できる術を人間が身につけたことによります。つまり、人間が「必要な時に必要な情報を載せた必要な種類の電波を出し、そこから必要な情報を抜き出せる」ようになったわけです。しかし、電波そのものは、この世の中いくらでも発生しています。自然に発生してくるもの、人間が知らないうちに出しているもの、様々です。電波を「電磁波」という広い範囲でとった場合、温度をもつもの必ずなんらかの電波（電磁波）を出しているともいえます。ここで話す電波は、宇宙、特に太陽系で自然に発生している電波です。今回は、そこで発生している電波を人工衛星で測る研究についてお話ししましょう。

2. 宇宙惑星間空間って

2.1 すれ違ってよい香り

あなたが、道を歩いています。花束をいっぱい積んだお花屋さんのバイクが前から走ってきて、あなたの横を通り過ぎていきました。あなたは、きっと花束のよい香りをのせたちょっとした風を感じて快い気分になるでしょう。でももし、前から走ってきたのが、超音速ジェット機だったら、いくら山のような花束をそれが抱えていても、あなたは、花の香りを楽しむ暇もなく、衝撃でなぎ倒されてしまうでしょう。どうしてこんなことが起こるのでしょう。それは、地球上に大気があるからです。大気をかき分け走ってきたバイクで風が起きて、あなたに花束のよい香りを届けてくれますし、大気中を超音速で飛んできたジェット機で発生した衝撃波であなたはなぎ倒されてしまうのです。

大気が、窒素、酸素、二酸化炭素などで構成されていることは多くの方がご存知と思います。これらのつぶつぶ（分子ですね）が、集団で、右に動いたり、左に動いたりして空気の流れができます。それぞれの分子は電氣的にプラスとマイナスが釣り合った状態にあり、このような分子からなっている気体を、「中性気体」といいます。地球上の大気現象は、バイクですれ違う風にしても台風で吹いてくる強風にせよ、この中性気体が動くことで発生している現象です。地球のように中性の気体できている大気のことを「中性大気」といいます。

2.2 宇宙空間に大気？

ところで、「大気」の定義って何でしょうか？広辞苑（岩波書店 第五版）を引いてみます。まず、

*2011年6月18日作成 本稿は第7回生存圏研究所公開講演会（2010年10月24日開催）講演要旨に加筆・修正を行ったものである。

**〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京大生存圏研究所宇宙圏航行システム工学分野
E-mail: kojima@rish.kyoto-u.ac.jp; Web: <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/~kojima>

一番目に「度量の広いこと」と、あります。おやおや、最初にこれが出ているのは意外でしたが（「大器」とはよく書きますよね）、ここでは関係ないので、次ぎをみます。「地球を取り巻いている気体の総体」。なるほど、これはよくわかりますね。その次ぎはどうでしょう。「天体の表面を取り巻く気体」。ふむふむ、なるほど、例えば火星にも希薄な大気があるのはわかっていますからね。この定義からすると、実は、皆さんご存知のスペースシャトルや国際宇宙ステーションも地球大気の中を飛んでいることとなります。

宇宙空間、ここでは、太陽系に限って考えてみますが、この宇宙空間は気体で満たされています。この気体は電気を帯びているもので、これを宇宙プラズマと呼びます。プラズマというのは、その気体を構成している成分の原子でプラスとマイナスがばらばらになった状態のことをいいます。遠目にみると一見、中性気体なのですが、なかみは、実は、プラスの電気をもつ粒子（イオン）とマイナスの電気をもつ粒子（電子）が、ばらばらに動いている状態です。このような状態は宇宙だけではなくて、みなさんの携帯電話の中に使われている半導体というデバイスの中身もプラズマですし、最近よく耳にするところでは、プラズマディスプレイがありますね。

宇宙プラズマには、大きく分けて二種類のものがあります。

太陽風プラズマ

惑星大気プラズマ

です。

「太陽風プラズマ」、というのは、文字通り、太陽から吹いてくるプラズマの流れです。太陽の大気が宇宙空間に流れ出しているものです。広辞苑の定義でいうところの、天体の表面を取り巻く気体（太陽の場合はプラズマ）が、太陽系空間に流出しているということです。その流れのスピードたるや、地球付近まで来ても、まだ、秒速 500 km くらいもあります。もっとも密度は薄くて、つぶつぶの個数で、1 cm³ あたり、数個ある程度です。太陽から噴出した大気はそれなりの濃さがありますが、太陽系全方位に向かってひろがっていくので、どんどん薄くなっていくわけです。太陽風プラズマの中身のほとんどはプロトン (H⁺) と電子です。このような太陽風プラズマが惑星と惑星の間の宇宙空間を満たしているということになり、そういう意味では、「太陽系は太陽大気の中にあり」、と、いつでもいいのかもしれないですね。

「惑星大気プラズマ」というのは、もともと中性大気である惑星の大気上層部が、太陽からの紫外線などのエネルギーによって、イオンと電子に引き裂かれてしまい（これを電離といいます）、ばらばらになってプラズマ状態になったものをいいます。地球にもこれはあって、古くから電離層、と呼ばれているものです。高度 1,000 km くらいまであります。スペースシャトルや国際宇宙ステーションはこの電離層の中を飛んでいます。なので、そこはまだ広い意味で地球の大気の内側ということになります。「な〜んだ、まだ、地球の大気中なのか」と、思わないで下さい。人類がここまで進出できたその過程には、非常に多くの人々の膨大なエネルギーが投入されているのです。それに電離層も立派な宇宙プラズマです。密度はさすがに濃くて、高度にもよりますが、1 cm³ あたり、10 万个以上あるところもあります。これでも地上の空気の密度よりはずっと薄いですが、それでも。

さて、スペースシャトルや国際宇宙ステーションは、地球の大気中ではあるが、その電離している部分である宇宙プラズマ中を飛翔しています。その中で生活している人はプラズマ大気に囲まれて生活しています。一方、先日、感動の帰還を果たした、日本の探査機はやぶさは、太陽風プラズマ中をずっと航行して地球にもどってきたこととなります。

宇宙はこのように、電離した気体、つまりプラズマによって満たされています。地上で中性大気である空気が引き起こす現象は、宇宙では、希薄なプラズマによる現象に置き換えられます。お花屋さんのバイクとすれ違った時に感じる空気の流れも、超音速ジェット機になぎ倒される現象も、すべて宇宙ではプラズマの流れ、プラズマ中での衝撃に置き換えられます。難しくいうと、これらの現象を記述する方程式系が、中性気体のものから電離気体となるプラズマのものに変わることになります。

2.3 ぶつからない奴ら

私は、自分でもあきれてしまう程、絵がへたくそです。悲しいことに小中学校では必ず美術の時間には絵を描く機会がありました。でも小学校の時、一度だけほめられた絵がありました。それは「学校の廊下を走ってはいけません」、ということと呼びかけるポスターでした。私の通っていた小学校では、廊下を走ってはいけない理由が二つありました。一つは、廊下の曲がり角で向こうから来た人とぶつかって怪我をする、ということ。もう一つは、古い校舎だったので、廊下を走ると床が抜けてしまうことでした（床を抜いてしまった子供は、罰として自分で木材を拾ってきて、抜けた廊下を自分で修復することが暗黙のきまりになっていました。なので、廊下はいろいろな木で穴がふさがれ、まだら模様でした）。私は、前者の理由で走ってはいけない、というポスターを描きました。二人の子供がぶつかって目から火花が散っているものだったと思います。なぜか、奇跡的にうまくかけたようで、このときばかりは、ほめられたのを覚えています。

さて、子供がふたり走ってきてぶつかったら、本当に目から火花がでるのでしょうか？走ってきた二人はそれぞれ運動エネルギーをもっています。それがぶつかると、まず、ふたりとも、別の方向にぶっ飛んでしまうでしょう。そして、ぶつかった時に、「どーん」、という音がすることでしょう。あたり方が悪いと、ぶつかったところの肩などの骨が折れてしまうかもしれません。でも目から火花は出ませんね。「走る」という行為によってもっていた運動エネルギーを火花に変換する「仕組み」を人間がもっていないからです。二人がぶつかったことによって、二人の運動エネルギーは、二人がはじき飛んだエネルギーや、「どーん」、という音として空気を振動させるエネルギー、あるいは、お互いの肩の骨を骨折させてしまうエネルギーに変換されたこととなります。

宇宙プラズマを構成するつぶつぶ達には、実は、こんな衝突防止ポスターは無意味です。それは、彼らはめったにぶつかることがないからです。どのくらいぶつからないかというと太陽風プラズマだと、太陽から出発して、地球に到着するまでに、一回当たるか当たらない程度なのです。これでは、ほとんどぶつからないのと同じですね。私たちは、これを「無衝突プラズマ」と呼びます。ぶつからないなら粒子がもっている運動エネルギーは変わらないのか、というと、実はそうではありません。なぜか？それは、彼らが電気を帯びた気体、つまりプラズマだからです。電気を帯びたつぶつぶは、自分のエネルギーの一部を変換して電波を出します。逆に、電気を帯びたつぶつぶは、電波を感じて自分のエネルギーに変換できます。つまり、他のつぶつぶが出した電波を、別のつぶつぶが感じることによって、エネルギーを交換できるのです。おっと、やっど、ここで「電波」がでてきました。そう、この記事は宇宙で電波を測るお話でしたね。イメージとしてかくと、衝突すると図1のような感じで、無衝突で電波を介して影響しあう状況は図2のような感じでしょうか。図2では片方が出した電波を片方がビリビリ感じて影響を受けています。

3. 宇宙で電波を測る

3.1 宇宙プラズマ中の電波

「世の中で一番速いのは、光」。と、いうのは、割と多くの皆さんがなんとなくわかっておられるのではないのでしょうか。かくいう私も、心底よくわかっているわけではないですが、そう捉えています。私たちが使っている電波は、この光と同じ種類のものです、というか、光は「電磁波」という範疇で電波と同じ仲間となります。なので、携帯電話の電波も衛星放送の電波も光速で飛んできます。中性大気中（あるいは真空中）では、電波は光速で伝わる1種類しかないのです。

ところが宇宙プラズマ中では、こうならないのです。もちろん、光速で伝わる地上と同じ種類の電波もあります（太陽の光は宇宙プラズマを突っ切って光速で地球まで伝わってきています）。しかし、それに加えて非常に多岐にわたる複雑な種類の電波が宇宙プラズマ中に存在するのです。難しいことは書きませんが、宇宙プラズマ中での全部の電波の種類を完璧に説明できる人は、それほど多くない

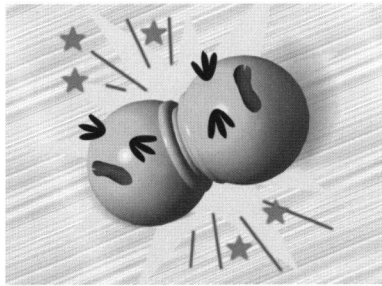


図1：つぶつぶ衝突！
(イラスト：熨斗千華子さん)

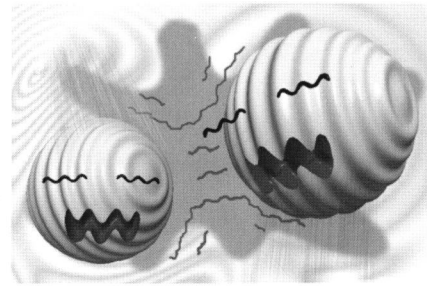


図2：つぶつぶ無衝突！
(イラスト：熨斗千華子さん)

のではないかと思います(すいません、私もできません)。電波の種類のことを「モード」といいます。つまり、中性大気中(真空中)では、電波のモードは、1つだけですが、宇宙プラズマ中では非常に多く存在する、ということになります。そして、宇宙プラズマ中での多くの電波モードそれぞれに対して、「プラズマのつぶつぶがどのような状態になったら、どのモードの電波が放射される」という決まりがあります。また、それぞれのモードの電波があったら、つぶつぶに対してどのような影響を与えるのか、ということもわかります。こういうわけで、「電波」を測ると、「宇宙空間を満たしているプラズマ中で、どんなことが起こっているのか」、を、研究することができるのです。プラズマ中に存在する特有の電波のことを、「プラズマ波動」と呼びます。

3.2 電波をつかまえるもの

では、宇宙プラズマ中で発生しているプラズマ波動をどうやってつかまえるのでしょうか？最近の携帯電話はアンテナを内蔵しているものが多いので、目に入りにくくなりましたが、それでも屋外で、見上げれば、家やマンションにテレビアンテナや衛星放送用のパラボラアンテナが目に入ってくることを皆さんもご存知のはずです。そう、電波をとらえるためには、アンテナが必要なのです。宇宙で電波を測定するときもアンテナが必要です。もちろん、宇宙に行くには、ロケットが必要で、更に、アンテナはロケットによって運ばれる人工衛星に装備されることになります。

図3をみてください。これは、私が大学に就職して最初に携わった科学衛星で「ジオテイル(日本語になおすと、「地球のしっぽ」という意味です)」という名前がついています。日本でつくった衛星

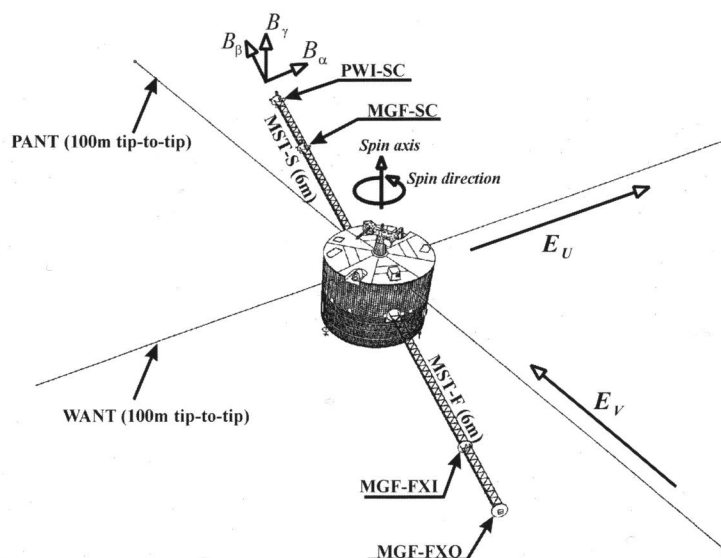


図3：ジオテイル衛星(1992年一)

ですが、日米共同プロジェクトの中で推進され、打ち上げは、1992年にフロリダのケネディ宇宙センターから米国のロケット Delta-II で行われました。

電波は、電気の振動としての「電界振動」と磁気の振動としての「磁界振動」の組み合わせからなっています(これは、中性大気中でも宇宙プラズマ中でも同じですが、更に宇宙プラズマ中では、「電界振動」だけで、磁界振動と組み合わせられない電波もあります)。このうち電界振動は、長いワイヤーからなるアンテナで測ります。図3で、WANT、PANTと書かれているものです。長さは端から端まで100mもあります。長いアンテナですね。こんな長いアンテナは打ち上げ前に伸ばしておけないので、宇宙に打ち上げられてから、ゆっくりと伸ばすのです。なんで、こんなに長いのか、ということですが、長ければ長いほどよい、というわけではありません。長くすることで感度が下がってしまうこともあります。測りたい対象の電波の様子と人工衛星からどのくらいの長さのアンテナを伸ばしても衛星が壊れないか、という条件などから決められたものです。磁気振動の方は、サーチコイルというアンテナで測ります。PWI-SCという名前の矢印のとおり、衛星本体から6m伸ばした腕の先端につけられています。サーチコイルというのは、昔、ラジオ作りをされたことのある人なら見たことがあると思いますが、いわゆる「バーアンテナ」と呼ばれていたのと同じ原理です。コイルがいっぱい巻いてあるもので、その中を横切る磁界振動によって、電気がコイルに発生してそれを使って磁界振動を測るのです。なぜ、6mもある腕の先端にこのアンテナがつけられているのか、というと、衛星本体も電気で動いていてそこから磁気振動の電波が出てしまっていますから、その電波の影響を受けないように、衛星から少し離してあるのです。

3.3 とらえた電波をどうする？

アンテナで捉えられた電波は、電界振動も磁界振動も、電気信号に変換されます。テレビやラジオは、変換された電気信号から必要なレベルに大きくし、更に、そこから情報を抜き出し、人間の目に見えるようにしたり、耳に聞こえるようにしたりして、液晶画面やスピーカーから出力されるわけです。これはデジタルテレビでもデジタルラジオでも同じです。

プラズマ波動をアンテナでとらえて変換された電気信号は、非常に弱いので大きくしてやるなどの必要があります。このような役割をもつのが、「プラズマ波動受信器」です。プラズマ波動受信器は、ラジオによく似た機能をもっている電子回路の固まりになります。問題はプラズマ波動の場合は、人間が制御して出した電波と異なり、「必要な情報」、「不必要な情報」の区別を事前に知ることができない、ということです。例えば、ラジオでNHKのニュースが聞きたかったら、最寄りのNHK第一放送の電波にのって来る情報だけを取り出してスピーカーに出してやればよいです。しかし、プラズマ波動というのは、自然がもつ原理にのって「自然に」発生しているものです。どんな情報がそこ

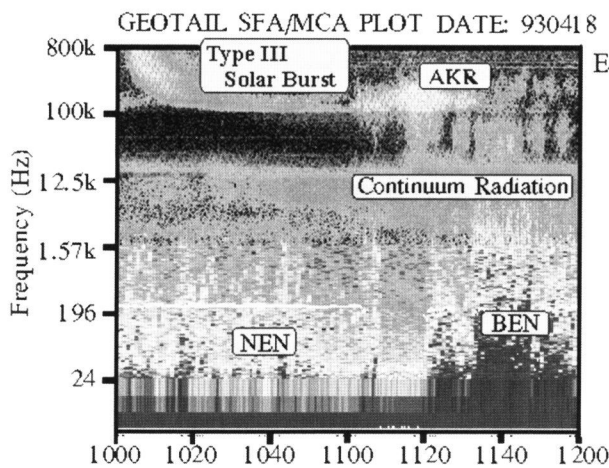


図4：代表的なプラズマ波動観測結果

にあるのか事前に人間は予測することはできても正確に知ることはできません。そのため、アンテナで計測され電気信号に変換された信号は基本的にすべて計測することになります。人工衛星の場合、計測した結果は、当然ながら液晶画面やスピーカーに出力するわけではなく、地球にデータとして送り返す必要があります。そのために、計測結果をデジタル化して、再び、「電波」に、しかし、今度は、人間が制御している光速で伝わる電波に「情報」として載せて、地球に送り返されます。

3.4 具体的なプラズマ波動の観測例

それでは、具体的に宇宙で測ったプラズ

マ波動の例をみてみましょう。図4は、上述のジオテイル衛星が地球の周辺で観測したプラズマ波動のスペクトルの時間変化です。縦軸が周波数、横軸が時間です。周波数というのは、1秒間に何回そのプラズマ波動が振動しているのか、ということを示します。例えば、100 kHz というのは、1秒間に10万回振動しているプラズマ波動です。ちなみに、NHK 第一放送の大阪は、666 kHz ですから、1秒間に66万6千回振動している電波で、図4だと一番上のメモリとその次ぎのメモリの間よりやや上あたりの周波数です。横軸の時間は例えば、1020 というのは、10時20分という意味です。この時間はユニバーサルタイムというもので、日本時間 - 9時間です。スペクトルというのは、「ある周波数でのその電波の強度」と考えてください。なので、図4では、「ある時間(横軸)でのある周波数(縦軸)でのプラズマ波動の強度(色)」を表しているものです。

図4のような図、わかりにくいですよね。私たちは衛星で観測したプラズマ波動の様子を眺めるのに、このような図からスタートするのですが、私も慣れるまで何が起きている図なのか、さっぱりわかりませんでした。

図の中に私たちの分野で呼ばれているプラズマ波動の「名前」もいっしょに書かれています。この中でわかりやすいのは、Type III Solar Burst と AKR です。Type III Solar Burst というのは、太陽の大气中で発生したプラズマ波動が地球まで飛んできています。太陽表面からプラズマを構成している電子が速度を増して飛び出していく時に発生する波動と言われています。一方、AKR は Auroral Kilometric Radiation と呼ばれるプラズマ波動で、これは地球の北極、南極上空で発生しているもので、オーロラの発生と密接な関係があります。

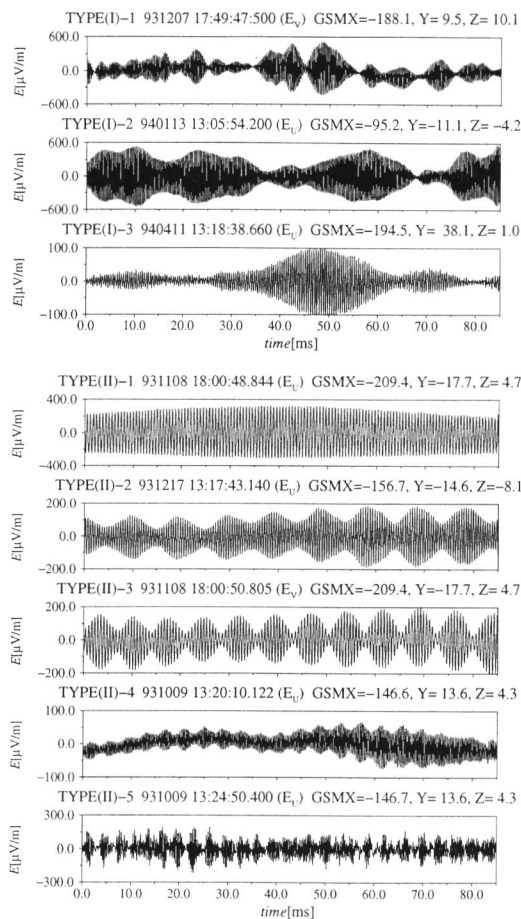


図5：プラズマ波動の波形(例)。

図5はジオテイル衛星で観測されたプラズマ波動の「波形」です。グラフ毎に連続した波動の波形で、いくつかの例を縦に並べたものですが、いずれも地球の周辺で発生している加速された電子によって発生するプラズマ波動です。縦軸が電波の強さ、横軸が時間で一番左から一番右まで85 msec (1 msec は1秒の1,000分の1) です。

私は、初めてこれらの波形を JAXA の衛星管制室で見たとき、「自然はなんてきれいな波形を産み出しているんだろう」と思いました。宇宙という英語には、space という単語の他に、cosmos という単語があります。Cosmos は宇宙ですが、同時に、「秩序正しくととのっている」という意味をもっています。まさにこの波形をみて cosmos という言葉を思い出したのでした。

4. 宇宙で電波を測るなんて? ☆

4.1 「なんて」は、「なんで」

宇宙空間観測において、プラズマ波動の観測は日本の宇宙開発において比較的早い時期から取り組まれてきました。そして実は、そのスタートについては、京都大学工学部と生存圏研究所の源となっている電離層研究施設が大きな貢献を果たしてきたそうです(私が生まれる前の

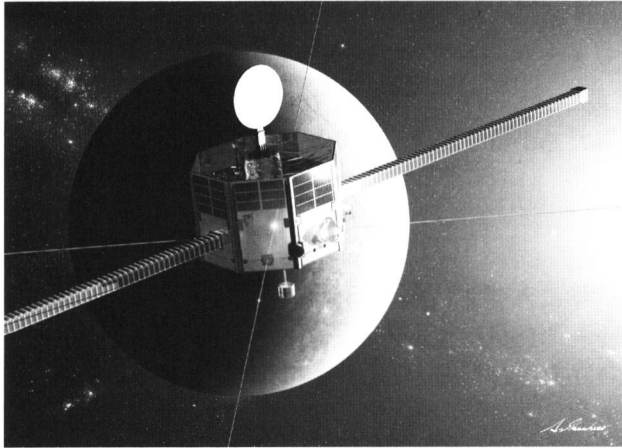


図6：日欧共同水星磁気圏探査衛星 BepiColombo Mercury Magnetospheric Orbiter (2014年打ち上げ予定。
(イラスト：池下章裕氏、提供：JAXA))

利用・生活することを前提として、「宇宙空間の理解」から、「宇宙空間の環境の理解」という言い方が適した言い方になっていると思います。

宇宙空間を満たしたプラズマは、衝突ではなくてプラズマ中に存在する電波であるプラズマ波動によってエネルギーを交換するということを書きました。すごいスピードで集団となって一方向に動く電子などがあるとそこからプラズマ波動が出て、電子のエネルギーの一部をプラズマ波動にわたします。そのような場合に限らず、宇宙プラズマの動きがちよっと乱されたりするだけでもプラズマ波動は放射されます。スペースシャトルが宇宙空間を飛行すればその周りで、プラズマ波動が発生していることがわかっています。きっと国際宇宙ステーションでも同様だと考えられます。人間が宇宙空間で活動をするため、その宇宙空間を乱しているということです。それが、今、直接、宇宙空間やそこで生活をしている人に何か問題を起こすということではありませんが、自然の宇宙空間の様子を知りたいと同時に、人間が乱している様子も知りたい、知っておかなければ、という気持ちがあります。これは宇宙における環境アセスメントということになるのかもしれませんが。

4.2 水星へ

一方で、私たちは、地球周辺から離れて、もっと遠くを探査できるようになってきました。惑星探査です。惑星探査では、私たちが地球周辺で探ってきた宇宙とは、また違う未知の宇宙空間環境が広がっていると考えられます。私たちは、今、2014年に打ち上げられる科学衛星 BepiColombo Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) (図6)に搭載するプラズマ波動観測器の開発を行っています。この衛星は日本と欧州の共同プロジェクトで、欧州側がつくる Mercury Planetary Orbiter (MPO) と日本側がつくる MMO をセットで打ち上げて水星に投入するものです。現在、観測装置の試作段階を終え、衛星に実際に搭載する本物(フライトモデル)の観測装置の製造が始まっているところです。このプラズマ波動観測装置そのものも、日欧共同で開発しています。それぞれ各国のチーム毎にばらばらに開発して、2011年の2月に私たちの生存圏研究所にみんな集まって、一つにまとめてちゃんと動くかどうかの試験が始まります。

実は、この BepiColombo 衛星は、水星に到着するのは2020年です。打ち上げが2014年ですから、6年間かけて水星までたどりつくことになりますね。水星に到着してから観測データが出てくるわけですから、観測データを実際に解析するのは、今の中学生や高校生の皆さん、ということになります。

太陽系惑星探査で、冥王星が惑星から抜けたことにより、人間の探査機による訪問を受けていない

ことです)。

もともと宇宙で電波を観測しようとする研究者達のエネルギーは、「宇宙空間で発生している物理現象を観測して、理解したい。宇宙空間の様子を知りたい」という研究者の知的探求心から出ていたと思います。それは、今の私たちも変わりがあるわけではありません。しかし、宇宙開発がスタートした1960年代に比べれば、宇宙は私たちにとってずっと身近な存在になりました。人間が造った構造物が宇宙空間を飛行し、人間も長期にわたって宇宙空間で生活できるようになってきました。このような中で、地球周辺の宇宙空間の理解というテーマに、更に、いくつかのテーマが加わってきているように思います。人間が

惑星はなくなりました。何事も「一等最初の」ということには、それなりにわくわくするものがあります。惑星ミッションでも「人類で初めて、その惑星の様子を観測する」、というのはかなり魅力的ですね。プラズマ波動に関しては、金星から海王星まで、この「一等最初のプラズマ波動観測」というのは、米国に先んじられてしまいました。ただ、この水星については、もし BepiColombo がうまくいけば、人類最初の水星のプラズマ波動観測を私たちが行うことになります。

5. おわりに

私自身は、宇宙観測や宇宙開発がやりたくて大学に入りました。私は、幼稚園の時にアポロの月着陸をテレビで目の当たりにし、中学でヴォイジャーの惑星探査、高校でスペースシャトルの打ち上げ成功と、その都度かなり刺激を受けてきました。これらは米国のことばかりで残念ですが、今年も日本も「はやぶさ」で盛り上がりました。きっと、宇宙科学や宇宙開発を目指す若い人達が増えてくるのではないかと期待しています。

満身創痍で帰還した「はやぶさ」が大きな感動をうみました。宇宙ミッションにおいては、その成功・不成功の裏には、多かれ少なかれ、なんらかのドラマがあります。非常に複雑なシステムが動く探査機を、自分の手で直接触れることのできなくなる宇宙空間に投入し機能させる上で、長期にわたる研究者や技術者の多大な努力にもかかわらず、なんらかのトラブルが発生してしまうことはしばしばです。そして、そのトラブルが発生する度に、技術者や研究者達は、その原因を探り、その対処方法を考え、工夫します。その方法がうまくいってミッションが成功することもあれば、残念ながら最後までうまくいかない場合もあります。

これまで宇宙開発を牽引してきた先進諸国における国家財政状況の逼迫は、日本における宇宙開発・研究の進め方にも避けては通れない曲がり角を用意しています。多大な予算を必要とするビッグサイエンスと呼ばれる分野の一つである、宇宙科学、そして宇宙開発は、今後、その進み方が遅くなることが懸念されます。ロケットや衛星の打ち上げ機会が減ると、ミッションを支える人材の育成もままならなくなり、その分野そのものが閉塞した状態に陥ってしまいます。

宇宙プラズマ波動の研究は、それがそのまま地上での人間の生活に直結していく成果を生むことはなかなか難しい分野です。自分達の研究の目的をあたかも人間生活に直結するような目的に、すり替えて話しをするような安易な妥協をするつもりはありませんが、より多くの皆さんに、私たちの研究内容や未知の領域や現象を探るおもしろさ、宇宙ミッションに関わる多くの人達の努力を伝えていく義務は最近、特に感じているところです(私も年をとったということですね)。それはさておき、衛星や観測器の開発は非常に多くの人達による共同・協調作業なので、(私の知る限り)気のいい人達が多いですよ。