イオン質量分析の失敗と成功

名古屋大学 平原 聖文

私が宇宙空間物理学の分野に触れ始めたのは、京都大学理学部の学部 4 回生（京大？関西の大学？ではなぜだか 4 年生とは呼びません）になり、地球電磁気学講座に所属させて頂いた時でした。当時は地磁気世界資料解析センター（地磁気センター）との区別も曖昧で、杉浦正久先生と荒木徹先生、家森俊彦先生、そして赴任されて間もない寺澤敏夫先生から研究上の御指導を受けました。故亀井豊永先生には、当時は未だ珍しかった UNIX 計算機の使い方を教えて頂き、一方で複数のジョブを投入してご迷惑をお掛けしました。竹田雅彦さんには FORTRAN プログラムを指南して頂き、諸先輩方や同期の人たちとも、夕食や夜食をご一緒しました。私の京都時代の最高の思い出です。

GEOTAIL 計画に参画させて頂ける様になった端緒はこの頃のことです。学部時代に余りにも勉学を疎かにしたためか、大学院を志望し、宇宙科学研究所（宇宙研）から来られた寺澤先生に相談しました。その時、宇宙研（で研究する）というのは夢（の様なこと）です、と勢い余ってお話しした覚えがあります。その後、宇宙研で大学院生活を送っている途中に、夢の様なところでは決してない、と確信するに至りましたが、四半世紀の時が経た今となつては、やっぱり夢の様な時期であった気がします。

京大大学院合格の後には、研究の真似事の様なデータ処理をしつつ、夜昼の境のない学生生活を楽しんでいたのですが、ある日、寺澤先生が院生室に来られて「(向こうで) 住むところは決まりましたか」と仰せになったことで、既に宇宙研に（受託大学院生として）行くことに決まっている、という現実を直視することが出来ました。

その当時は全く分かりませんでしたが、実は寺澤先生は宇宙研の向井利典先生から密命を受けておられた様子で、プラズマ粒子分析器の開発のため宇宙研で実験をする院生を探しておられたのだと思います。その当時、宇宙研では、2 年後に EXOS-D（あけぼの）衛星、その 3 年後に GEOTAIL 衛星を打ち上げる準備が急急として行われていました。今から考えると驚く程の過密スケジュールだったと思います。京大からの試供品ならぬお試し院生として宇宙研に通い始めた私も、この衛星開発の濁流に易々と飲み込まれ、もがきあがいた 5 年間でした。

そして、GEOTAIL 衛星の打ち上げ前後の数年間には、低エネルギープラズマ粒子分析装置（LEP）の責任者の向井先生、共同研究者の町田忍先生、向井先生の実験屋 DNA を引き継ぐことになる齋藤義文さんは勿論のこと、GEOTAIL 計画の元締めであられる西田篤弘先生を始めとする宇宙研の皆様にご迷惑をお掛けしてしまいました。その後も今日まで同じ研究分野に、（あちこちと異動して浮き草の様ではありますが）留まっている自分自身が何と図々しくて厚顔であるものか、と時折反省しています。反面、開き直りもあるためか、駄目でも取り敢えずちょっとくらいはやってみよう、という気になるのかとも思います。

GEOTAIL 衛星に搭載された分析器の中で、私が担当しましたのは低エネルギーイオン質量分析器（LEP-MS）と呼ばれるもので、LEP を構成する他のプラズマ粒子分析器に比べると少々面倒なものでした。当時は質量分析のため永久磁石を使ったので、微弱な磁場を観測する GEOTAIL

衛星では雑音の根源でしたし、エネルギー分析用の静電型分析器には、高圧電源から複雑な波形で高い電圧を入力する必要がありました。開発段階のかなり後期でも放電を押さえ込めず、向井先生のご指導の下、絶縁機構を工夫したり、海外から伝授された高価な材料を用いて再設計・再製作したりで、何とか観測の見通しが得られたと思っていました。

GEOTAIL 打ち上げ後、初期高圧印加では順調に稼働したこと、それに他の分析器では既に素晴らしいデータが得られつつあったこともあり、より低いエネルギーのイオンに対しても観測を行うために更に高圧電源出力を上げたい、と向井先生にお願いしたことが大被害を引き起こしました。この昇圧をして数分後、LEP-MS 内部で放電が起こり LEP エレキ部でラッチアップが発生しました。この LEP ラッチアップとその後の復活に関しましては、向井先生、その他の方々からの寄稿に詳しく紹介されています。

この時、私はこの研究分野に職を既に得ており、ご迷惑をお掛けした分を少しでも補いたいという気持ちは抱いていたものの、具体的には何も出来ないままでした。その後、LEP の他の分析器は復活したものの、LEP-MS センサーによる質量分析は無理でした。一方で、磁気圏に存在する自然界の電磁場の作用により、水素イオンと酸素イオンが「質量分析」されている、としか思えない膨大な量のデータが他の分析器により得られていきました。

それらの例では、水素イオンと思われる分布の常に 16 倍となるエネルギー帯に酸素イオンと思われる分布がありました。よく見ると、4 倍の所にヘリウムイオンと思われる分布も時より見受けられます。これらの 3 種のイオンは磁気圏の代表的な成分です。例えば、16 倍というエネルギー比は水素と酸素の質量比に相当しますので、同じ速度の水素・酸素イオンは必然的にエネルギー比が 16 倍となります。磁気圏などの宇宙空間では違うイオンの流速が同じ速度になるかどうか自明ではないのですが、余りにエネルギー比が一定なので自然界の質量分析による水素・酸素イオンの分離状態に間違いのないと思えました。

しかしながら、米国製の由緒正しい他の分析器によるデータでは、酸素イオンではなく水素イオンの可能性が高い、と示唆されているため、解釈の決着が付きませんでした。悩みながら観測データを日々見ている内に、磁場に対して垂直方向の僅かなエネルギーに関する質量比になっていることに気が付きました。磁場に平行方向には同じ速度でなくても、垂直方向にはどんなイオン種でも同じ流速になる、という電磁流体力学における原理を思い出せば簡単に解決されることでした。つまり、宇宙プラズマの特性上、限られた領域や突発的に起こる特別な場合を除いて、磁場に垂直方向のエネルギー比は質量比に等しくなる、ということです。これで一応の解決となり、この研究はその後にも複数の研究者により発展を続け、数多く輩出された GEOTAIL の成果の中の一つに数えられていると思います。

ただ、この様にエネルギー分布がイオン種毎にはっきりと分離されている場合は簡単なのですが、異なるイオン種でお互いに分布が重なる場合ではこの手法は用いることが出来ません。やはりイオン質量分析器による観測が必要となります。この未解決課題への挑戦も含め、2016 年度打ち上げ予定のジオスペース探査衛星「ERG」では何人もの若手研究者が開発するプラズマ粒子分析器が搭載される予定です。私も較正実験等で多少なりとも貢献出来ればと考えています。