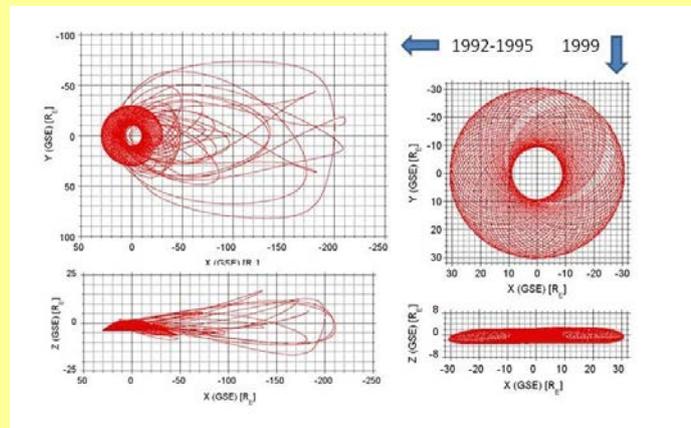


GEOTAIL 衛星計画をふり返る

GEOTAIL 衛星チーム (平成 27 年 4 月)



まえがき

平成 26 年 11 月 3 日、西田篤弘先生が瑞宝重光章を叙勲されました。西田先生は宇宙科学の黎明期から今に残る数々の成果をあげてこられました。なかでも先生のリーダーシップにより実現したジオテイル衛星ミッションが生み出した成果は極めて大きいものがあります。これを機会に、「ジオテイル衛星チームの集い」を開催する事と併せて、当時の思い出を記録に留めたいと思い、この衛星の開発や運用に貢献していただいた学界ならびに産業界の方々にご参加をお願いしましたところ、多くの方々からご賛同・ご寄稿をいただきました。その内容は、計画段階から開発、飛翔前試験、射場作業、運用など多岐にわたります。中には広範な年月をカバーしているものもありますが、凡そ年代順に並べました。

ジオテイル衛星は 1990 年代の磁気圏物理学の世界で最大の成果を出したミッションと評価されています。現在、打上げから 22 年半を超え、2 台のデータレコーダの内の 1 台が機能停止するなど、若干の機能低下があるものの、ほとんどの観測装置は今も元気に意義ある観測を続けています。この状況を客観的に示すデータを最後に載せていますので、ご参照ください。

この素晴らしい衛星を作っていただいた方々に感謝するとともに、文集作成へのご協力に対して厚く御礼を申し上げます。

(編集：向井利典)



打上げ成功の寄せ書き



ジオテイル衛星チームの集い
(2015年1月17日、霞山会館)

目次

| | |
|--|--------------|
| GEOTAIL 計画の生い立ち | 西田 篤弘 |
| OPEN-J 行脚、1981 | 西田 篤弘 |
| 飛天から磁尾艇留へ | 上杉 邦憲 |
| 磁力計開発のことなど | 國分 征 |
| GEOTAIL 電場計測ことはじめ | 鶴田 浩一郎 |
| プラズマ波動班の侍たち | 松本 紘 |
| PWI 装置の開発歴史 | 長野 勇 |
| 井の中から大海に | 向井 利典 |
| 西田先生と GEOTAIL、そして HEP | 前澤 洵 |
| 電場プローブシステムとの関わりを振り返ってみると | 岡田 敏美 |
| EFD-B を始めた頃 | 中村 正人 |
| 米国ラボの駆け足視察 | 鶴田 浩一郎、向井 利典 |
| ひやりの思い出 | 長野 勇 |
| 私の宇宙科学研究と GEOTAIL | 木村 磐根 |
| 磁気圏記「EXOS から OPEN-J」 | 原 宏徳 |
| ISAS 流 or NASA 流 | 山本 東光 |
| GEOTAIL の思いで | 折井 武 |
| NASA の愉快的仲間たち (ISAS ニュース No. 166 より一部改訂して転載) | 中谷 一郎 |

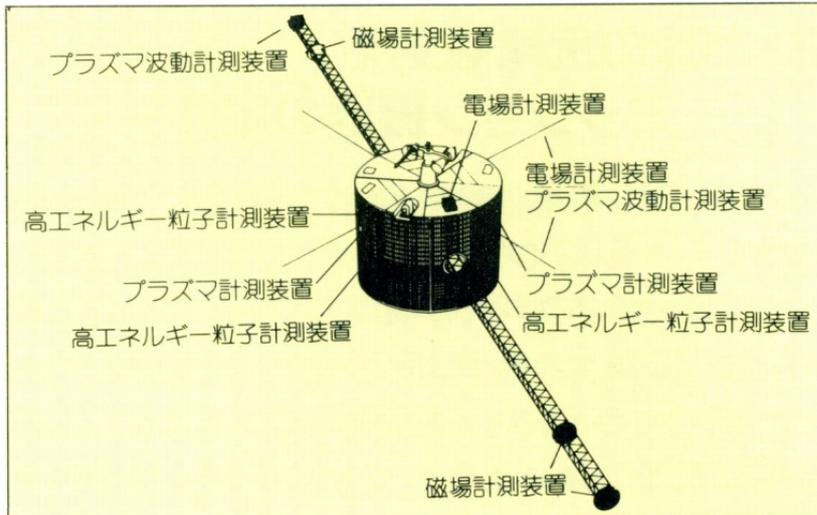
| | |
|---------------------------------|-------------------|
| 私の育った場所（本文は「宇宙空間観測の半世紀」より転載） | 安達 昌紀 |
| GEOTAIL と富士通（実は...） | 森屋 光弘、西郡 直実、遠地 卓二 |
| GEOTAIL と富士通（実は...） / ゴダード初出張の巻 | 西郡 直実 |
| おもしろかったなあ、GEOTAIL | 小嶋 浩嗣 |
| サブシステム確認書のワープロ化 | 佐藤 義弘 |
| イオン質量分析の失敗と成功 | 平原 聖文 |
| GEOTAIL 波動観測器 | 橋本 弘蔵 |
| GEOTAIL 衛星を通して学んだ機器開発とデータ解析の技術 | 町田 忍 |
| 振り返ればそこには GEOTAIL | 齋藤 義文 |
| 電場プローブシステムとの関わりを振り返ってみるとーその2 | 岡田 敏美 |
| EFD の開発で学んだ事 | 早川 基 |
| 「GEOTAIL」と「あけぼの」の二つの衛星の開発に携わって | 川口 正芳 |
| 衛星開発魂を教えてもらった GEOTAIL | 遠間 孝之 |
| 科学衛星の心意気！ | 永治 康彦 |
| MGF 試験の思い出 | 塩川 和夫 |
| GEOTAIL EMC 試験の思い出 | 筒井 稔 |
| GEOTAIL と共通 QL と私 | 山下 美和子 |
| EFD のキーパラメータ | 松岡 彩子 |
| 磁尾艇留 T シャツ（本文は「宇宙空間観測の半世紀」より転載） | 上村 正幸 |

| | |
|-------------------------------------|--------|
| GEOTAIL 衛星の思い出！：初めての衛星開発メンバーでの衛星 PJ | 高橋 今朝人 |
| GEOTAIL の思い出 | 川口 正芳 |
| GEOTAIL から続く道 | 河野 まり子 |
| GEOTAIL の射場オペレーション | 横山 幸嗣 |
| GEOTAIL 射場での思い出 | 橋本 正之 |
| GEOTAIL 射場作業の思い出 | 唐津 信弘 |
| 感動、地獄そして喜び | 湯山 憲一 |
| 80%伸展 | 山城 宏一 |
| マストの軌道上伸展（本文は「宇宙空間観測の半世紀」より転載） | 金子 斉 |
| 古い機器をオンしてみたい | 佐藤 浩道 |
| 日陰作成（「本当ですか？」） | 松岡 正敏 |
| LEP 復活劇 | 向井 利典 |
| LEP 復活日陰オペレーション成功への祝辞 | |
| 現在連載中の河北新報の記事から | 小原 隆博 |
| GEOTAIL 衛星とデータセンター | 星野 真弘 |
| 「泡の物語」始末 | 小嶋 浩嗣 |
| GEOTAIL 衛星天体ガンマ線観測始末記 | 寺澤 敏夫 |
| GEOTAIL の成果とは何か | 藤本 正樹 |
| GEOTAIL の成果と現状など | 篠原 育 |

GEOTAIL 衛星計画の国際的評価

総論文数、論文数履歴、総サイテーション数など

個人・団体受賞歴



GEOTAIL 衛星打ち上げ迄の経過

| | | | |
|---------|-------------------|---------|---------------------|
| 1979年4月 | OPEN WG 作業報告書 | 1987年7月 | DELTA-II による打上げ決定 |
| 1979年9月 | OPEN-J WG 結成 | 1989年4月 | 実機開発開始 |
| 1980年7月 | OPEN-J 第一次計画 | 1989年9月 | 日米交換公文調印 |
| 1983年9月 | OPEN と OPEN-J の統合 | 1991年7月 | 総合試験開始 |
| 1985年4月 | 概念設計開始 | 1992年5月 | Cape Canaveral への輸送 |
| 1986年4月 | 試作開始 | 1992年7月 | 打上げ |

GEOTAIL計画の生い立ち (ISASオラルヒストリーの一部)

元 宇宙科学研究所 西田篤弘

Q: 少し話が戻るのですが、1992年の7月にGEOTAILが上がりましたが、GEOTAIL計画が動き始めたきっかけというのはどのような事だったのでしょうか。

宇宙研の科学研究の柱は二つあって、ひとつは天文学、もうひとつは地球周辺の宇宙空間の研究です。天文のほうは小田先生が最先端のX線天文学を引っさげて帰国なさり、しかもこの分野ではアメリカが多少兎のように油断していたのか進展が遅かったので、亀の日本の方が先になることができ、日本の着実な研究が見事に花開いて国際的にリーダーシップを取っていました。X線は宇宙研のミッションの花形です。

それに対して、宇宙空間研究のほうはアメリカで60年代に非常に華々しく展開されたのです。それには、地球周辺の科学が面白いというだけではなくて、アポロ計画との関係がありました。有人飛行を行うためには、宇宙空間の環境、特に放射線が人間に及ぼす影響についての理解を深める必要がありました。太陽でフレアが起これるとエネルギーの高い粒子が飛んできて、人体に害を及ぼす可能性があります。また地球の磁気圏には放射線帯があって、エネルギーの高いイオンや電子が存在します。そういう放射線の強度を前もって知る必要があったために、宇宙空間の研究に非常に力を入れたのです。50年代の終わりから衛星が毎年1基は打ち上げられていました。アメリカでは、宇宙空間の研究が50年代の終わりから60年代にかけてきわめて速く発展したのです。

日本では、糸川英夫先生や高木昇先生を中心にロケット開発が始められたのは、50年代の終わりに国際地球観測年 (IGY) という大きな国際協力プロジェクトが行われた時に、ロケットで電離層の直接観測をやりたいという計画を京大におられた前田憲一先生など僕らの大先輩がお建てになったことが契機でした。日本の宇宙研究の先駆けを作ったのは、宇宙空間研究のグループなのです。しかし、当時の日本とアメリカでは、ロケットの打ち上げ能力、経験に大変に大きな差がありました。当時の平尾先生を中心とした人達は非常に苦勞なさって、着々と実力を高めて行かれたのですが、それには10年以上の時間が必要でした。80年代になると、ロケット実験の実績もあがり、何基か衛星も上がって、観測機器についてもアメリカと肩を並べるに近いところに来て、ハレー彗星探査計画も始まりました。

丁度その頃、アメリカが4基の衛星を使って地球周辺の空間を組織的に探査するという研究を企画しました。OPEN計画といいました。OPENは「Origin of Plasmas in the Earth's Neighborhood」の頭文字をつないだものです。私はOPENの企画検討委員会の委員の一人でしたが、議論に加わっているうちに、日本でもやる時期が来たと思いました。つまり、それまでは国際的な衛星ネットワークの計画があっても、日本には声がかかってこなかったのですが、今や日本の実力が相当上がってきた、日本の宇宙科学、宇宙工学の実力が国際水準に達した。私は研究者として最先端の問題意識を持っていると思っていましたが、その私の問題意識と日本の実験家の実力を合わせてミッションを作れば、彼らと太刀打ちできると思ったのです。だから、アメリカのミッションの企画委員の一人としての立場は続いていましたけど、日本はOPENの4基とは別の衛星計画を同時にやろうと思ったのです。これが、OPEN-J衛星計画で、その目的は、磁気圏尾部における磁気リコネクション過程の研究でした。尾部リコネクションは、磁気圏ダイナミックスの要をなす重要な過程なのですが、OPEN計画の衛星だけでは十分に研究できないことがわかっていました。OPEN-J計画は小田先生が大変強く支持してくださいました。小田先生の目から見ると、天文学は世界一流になった。だけど宇宙空間のほうは、まだこれからである。だから、これに肩入れすることによって宇宙空間のほうも一流にしてやろうと思われたの

でしょう。

当時宇宙研ではハレー彗星に探査機を送るためのM-3SII型ロケットの開発が進んでいました。このM-3SIIにさらに改良を加えて、何とか磁気圏尾部まで衛星を持っていく。それまでの宇宙研の衛星はみんな近回り（低軌道）でしたが、OPEN-Jの目的は磁気圏尾部の研究ですから、地球の半径で数えてせめて10倍～20倍の距離までいかなければならない。ハレー彗星計画を契機にして衛星の共通系や観測系でも宇宙研の技術は成長していましたから、その延長線上に新しい企画を進めました。80年頃から企画を始めて、松尾弘毅さん等と相談ながら、例えばロケットに固体燃料と液体燃料を組み合わせることなどについて検討を始めていました。

そうしていたところに突然83年になってOPEN計画代表者の研究者がアメリカ：NASAからやって来て、アメリカの計画と宇宙研の計画を統合したいと言うのです。その理由は、彼等は4基の衛星を使う計画を作っていたわけですが、それを全部実施するとなると800億ぐらいかかる。そんなに経費がかかるミッションはとてNASAの中で通らない、だからそのうちのひとつを宇宙研でやってくれないか、という事でした。条件は「打ち上げはNASAがやる。衛星を宇宙研に作ってほしい。観測計器は共同で製作しましょう」ということでした。これは願ってもない話でした。アメリカには打ち上げ能力が十分ありますし、必要経費は半分で済みます。最初のNASA提案は元々彼らが計画していた4基の衛星のうち1基を任せるという案だったのですが、磁気圏の尻尾における磁気リコネクションの研究というOPEN-Jの目的を取り入れ、磁気圏尾部の全般的な研究を行うミッションにしました。それがGEOTAILです。同時に、ESAも参加してOPEN計画は再編成され、ISTP（International Solar Terrestrial Physics）計画になりました。



NASAからのOPEN計画代表者の来訪（1983年5月、9月）

当初アメリカはOPENの衛星群を1985年頃に打ち上げる予定でしたので、それではとても宇宙研は間に合わない、他の衛星の観測が終わった後に宇宙研の衛星が上がるのでは困るなあ、と言っていたら、アメリカのほうがかたがた遅れまして、結局宇宙研のGEOTAILが最初に上がりました。その理由は「スペースシャトル・チャレンジャーの事故」だったのです。

NASAは当初4基の衛星を全部シャトルで打ち上げるという計画でした。80年代の初め頃、アメリカにはExpendable Launch Vehicle（使い捨てロケット）による打ち上げはやめて、全部シャトルで打ち上げるという方針があったのです。すべての衛星、ですから、GEOTAIL衛星もそうすることになっていました。この計画が宇宙研の中で執行部の先生方が支援してくださったのは、ひとつは小田先生のおかげと、もうひとつは、ひょっとすると将来は世界中の衛星がシャトル打ち上げになるかもしれない、そういう可能性もありうるな、と思われていたからです。普通のロケットによる衛星打ち上げを打ち切ることになると、シャトルによる衛星打ち上げを頻繁に行わないと経済効果が出ません。アメリカがダンプングをやって世界中の衛星を集め、シャトルで上げる世の中にする可能性もあると思えたわけです。それで、将来宇宙研の衛星をシャトルで打ち上げる場合のテストケースとして、

GEOTAIL に力を入れていただいたのではないかと考えています。宇宙研の工学系では上杉邦憲さん、中谷一郎さん、横山幸嗣さん、橋本正之さんという最高の布陣を作ってくださいました。また、NECでも強力な技術者集団がGEOTAIL計画を担当してくださいました。

ところが86年に「チャレンジャー」が事故を起こし、普通のロケットで衛星を打ち上げることに方針が切り替わりました。GEOTAILは幸いな事にその時にまだEM (engineering model:工学モデル) 開発を始めたばかりでしたので、比較的簡単に設計を変更することができました。実はシャトル打ち上げは歓迎していなかったのです。というのはシャトルには人間が乗るために随分安全性に対する基準が厳しいのです。例えば、衛星にはパイロが使われています。計測器の窓を開いたりするために、極少量の火薬が用いるものですが、それも危険物だということで規制の対象になるのです。そういうことがあるので手間も金もかかります。これは悩まされると思っていたら普通のロケット「デルタII」による打ち上げになったのでほっとしました。

NASAとの折衝の当初から小田先生が、大量のdocumentによるNASAのプロジェクト管理方式は宇宙研にはなじまない、宇宙研は宇宙研流にやらしてもらおう、と釘をさしてくださったのが大変有難く、最小限の文書で済ますことができました。NASAのベテラン技術者も”This is what NASA used to be!” “とって大いに歓迎してくれました。

Q: 「SFU」の苦労話を秋葉先生からお聞きしたら、安全問題でアメリカ側から突っ込みがあったといっていました。

GEOTAILでは、損害賠償請求権相互放棄という問題がありました。プロジェクトを一緒にやる時には、何らかの損害をお互いに加える可能性があります。そういう時に日本の中であれば、お互い一緒に仕事をしているのですから、責任追求を控えるしょうが、国際プロジェクトとなるとそう簡単にいかないのです。例えば、アメリカ人が何らかの落ち度で日本人に怪我させたらどうなるかという、まず日本の労災保険から補償され、それを日本政府がアメリカ政府に代位請求するのが原則なのです。一方、アメリカ側の法律では日本側から損害を受けても賠償請求をしないことになっています。アメリカ側はこの不整合に納得せず、共同プロジェクトが成り立たないのではないか、と思ったことさえありました。GEOTAILに続いて行われた日米協力の「SFU」計画の時もそうでした。

GEOTAILの時にはちょうどクエールというアメリカ合衆国副大統領が日本に来て、「クエールさんが来たので何らかのセレモニーをやる必要がある、彼にサインをさせるような協定はないだろうか」という事情ができて、GEOTAIL衛星計画位ならサインさせても構わないだろうということになり、超法規的に解決したのです。こういう風に前例にならない解決をしたので、次の「SFU」では再び膠着状態になりました。当時私は対外協力室長をやっていたので、何回かアメリカに行かされて、結局日本側は保険をかけることで解決しました。問題が起きたときはアメリカに請求するのではなく、保険会社が支払う。役所は保険がかけられない仕組みになっていますから、寄附金を頂いて宇宙科学振興会という財団を設立し、保険料を負担したのです。

Q: GEOTAIL ミッションでとくに思い出になっていることは何でしょうか。

92年の7月24日に打ち上げた1ヵ月後にラッチアップが起こったのです。ラッチアップというのは、電子部品の内部のダイオードが機能しなくなって、電源がショート状態になることです。そうなってしまうと、その電子部品は過電流のために焼き切れてしまうのですが、衛星搭載機器の設計では、そういう事態になっても永久故障しないように保護抵抗をつけています。

これは放電現象で起こります。地上で真空試験をして衛星を打ち上げるのですが、打ち上げるとい

ろんな機器に入っていたガスが出て行くわけです。そこに高圧をかけると、完全に真空ならいいのですが、少しは残っているガスが電離されて電流が流れます。瞬間的に強烈な電流が流れるものですから、本来グラウンドラインになっている所に電圧が生じ、ダイオードに逆バイアスがかかって、ラッチアップする事があるのです。それが、LEPというプラズマ計測装置で起こってしまったのです。

これは大変な事でした。ラッチアップが起こって動かなくなったのはLEP装置の一部なのですが、それを解消する手段が問題なのです。ラッチアップは電源を切ると元に戻って正常な状態になるのですが、偶々、その箇所が衛星全体の電源と共通になるように設計されていました。だから、LEPのラッチアップした箇所の電源をオフにするためには全体の電源を切らなければならない。恐ろしい話でしょう。一旦スイッチを切ったら衛星は目を覚まさないかもしれないのですから。電源を切ること自体はできるのです。衛星の軌道を変えて月の裏側に持って行って月の影に入れ、太陽光を当たらないようにして、すなわち太陽電池の出力をゼロにしておいて、電池を切り離すのです。

それをやるかどうか大議論になりました。技術的に検討すると大丈夫となりましたが、宇宙研として、もし失敗したら責任問題になります。当時秋葉先生が所長でして、秋葉所長の責任問題にもなる事でしたが、秋葉先生は一言も注文をつけずにやらしてくれました。それについて非常に感謝しています。また、GEOTAILには7種類の観測機器が載っていました。そのうち2種類が日本担当で、3種類は日米が分担、残りの2種類はアメリカ担当でした。プラズマの計測についてはアメリカにも自前の装置があるので、LEPが死んでも、アメリカだけの都合から言えば構わなかったのです。だから、LEPは放って置いてそのままやるという選択もあり得ました。それにもかかわらず、LEP回復オペレーションを行うことになったのには、人間的な関係が良かったことがものを云ったと思います。LEPの中心人物の向井利典さんが、アメリカの研究者からも厚い信頼を集めていて、技術力について「あいつはできる」と思われていましたし、日ごろからアメリカ側の観測機器の面倒も良く見ていました。彼が困っているのだし、彼が大丈夫だと言うのだから助けてやろうというので、アメリカ人が賛成してくれたのだと思います。

LEPという観測機器を回復させるためには電源を切ることと同意するという同意書には、日本とアメリカのプロジェクト・サイエンティストとPIがサインをしています。日本側のプロジェクト・サイエンティストは向井利典さんと京大におられた木村磐根先生でした。アメリカの事だから後で訴訟沙汰になる可能性もあるということで、このようなきちんとした手順を踏んだのです。彼らはアメリカで弁護士と相談してきていました。殆どの人が賛成しました。GSFCのMario Acuña と Dan Baker には大変助けられました。

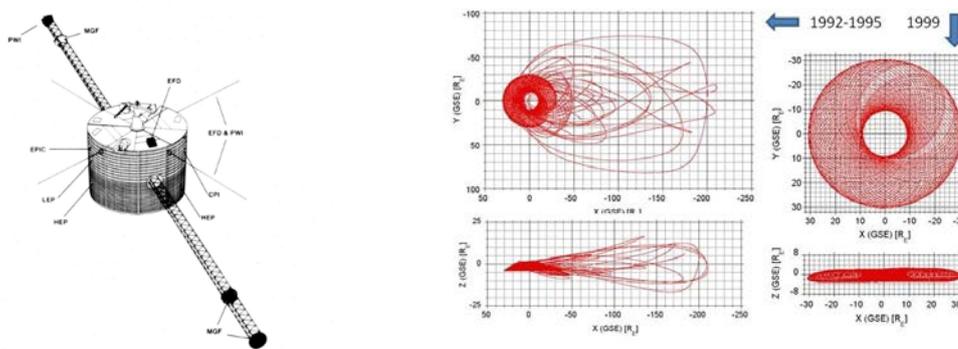
約3ヶ月かけて衛星の軌道を変えて月の裏側まで持って行って、そして93年9月に日陰オペレーションをやりました。アメリカの参加者も皆、B棟(宇宙科学研究所、衛星運用センターのある棟)に集まって見ていました。衛星が月の影に入って、通信が切れます。そして、約3分後に影から出て来ると、衛星との通信を回復しようとするのですが、すぐには同期がかかりませんでした。臼田(宇宙科学研究所、臼田宇宙空間観測所で衛星通信用アンテナがある観測所)にいた橋本正之さんから「かかりません、かかりません、かかりません」と声が聞こえてくるのです。30秒から1分ぐらいして「かかったあ」と聞こえた時には、本当にほっとしました。

このように、打ち上げ後1年間ぐらいは片肺運転に近い状態でしたけど、LEP回復後の活躍はたいしたもののでGEOTAIL衛星からは優れた研究が多数生まれました。LEP装置が無かったら、とてもあれだけの事はできなかったでしょう。LEPがイオンや電子の速度分布関数を高い時間分解能で測定したので、磁気リコネクションが起きる場所でプラズマがどのように加速されるかが分かったというのが一例ですが、その他マクロな振舞を流体として観測しただけでは知ることのできない宇宙空間プラズマの基本的な挙動をいくつも明らかにすることができました。(成果の概観については、この文集中の藤本正樹氏の寄稿をご覧ください。)

Q: GEOTAIL 衛星の観測成果は国際的に高く評価されたと聞きますが、その理由は何であるとお考えですか。

三つの理由があると思います。その一は、軌道設計です。磁気圏尾部を全体的に探査し、なかでも磁力線リコネクションというメカニズムを詳しく観測するという目的に即して、まず地球の半径の220 倍の距離まで届く軌道を取り、次に地球半径の 20~30 倍の距離に遠地点を降ろしてリコネクション領域を何度も通過しました。同時に近地点は地球半径の 10 倍の距離において太陽風と磁気圏の境界面を調べました。二つ目の理由は搭載した観測装置が優れていたことです。電場、磁場、プラズマ、波動、高エネルギー粒子について高精度、高分解能のデータを取得しました。第三の理由は観測データを全面的に公開し、世界中の研究者が利用できるようにしたことです。もとより、これらの長所の背景には衛星本体と軌道制御、さらにデータ処理等、学界と産業界の広範な技術力がありました。

GEOTAIL が打ち上げられた 1992 年は NASA がシャトル事故の衝撃から未だ十分立ち直っていなかった時期にあたり、新しいミッションが少なかったことも GEOTAIL が脚光を浴びた理由に数えられるかも知れません。



ジオテイル衛星と軌道

1993 年と 1998 年に GEOTAIL team は NASA から Group Achievement Award を授与されました。前者はプロジェクト全体、後者は搭載機器ごとの受賞です。この他 GEOTAIL 計画の日本側参加者には外国の賞を貰った人が何人もいます。その中で関華奈子さんがアメリカ地球物理学会の最優秀博士論文賞を貰いました。彼女は、地球大気起源の酸素イオンが何百 km/s という速い速度で流出しているという現象が、磁気圏境界面上でのリコネクションとそれに駆動される対流を組み合わせたメカニズムで説明できることを見出したのです。この賞は「Scarf Medal」と言い、GEOTAIL プロジェクトを立ち上げた頃に助けてくれた TRW/UCLA の友人 Fred Scarf の名がついています。彼は残念にも GEOTAIL 衛星打ち上げの 2 年前に亡くなりましたが、その名を付した賞を GEOTAIL で成果を挙げた若い研究者が貰ってくれたのは大変嬉しいことでした。

私が宇宙研を退官した時に、NASA の研究所(Goddard Space Flight Center)に主な研究者が集まってくれて、Nishida Honor Symposium というのを開催してくれました。その時に GEOTAIL の仲間であり、かつて LEP ラッチアップの回復作業の時には違う意見を持っていたアイオワ大学の Frank 教授も来てくれ、その事はすっかり水に流して、私の仕事を評価してくれたのも嬉しいことでした。



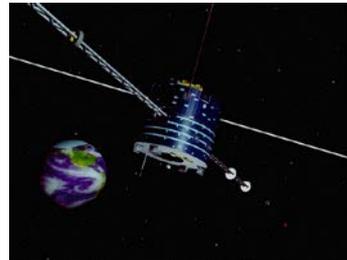
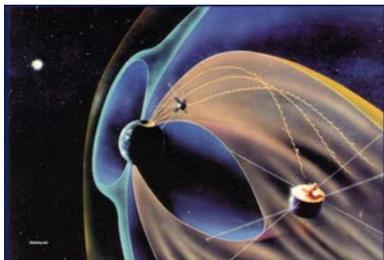
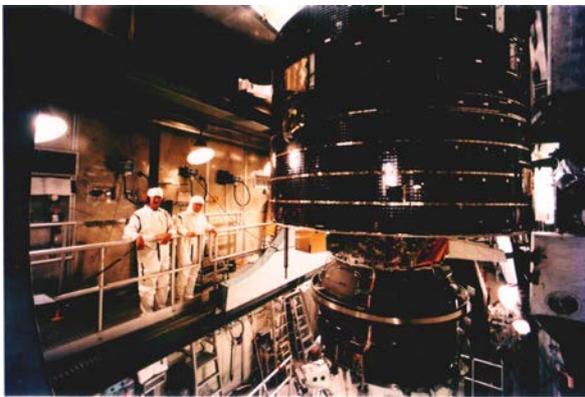
Lou Frank と握手



GSFC で開催されたシンポジウム

Q : GEOTAIL 全体を通して思う事は、やはり人との関係が非常に大切であると。

そうですね、そう思います。小柴昌俊先生（2002年ノーベル物理学賞受賞）が、10年ほど前に学術会議で国際協力のシンポジウムが開かれたとき、冒頭の講演をなさいました。その時に国際協力が成功するための条件というのを並べられたのです。予算に関わることなどいろいろありましたが、ナンバー・ゼロは「お互い尊敬する間柄であること」でした。全くその通りで、それが無い国際協力というのは駄目ですね。お互いが利用しあうとか、その場限りの付き合いとかでは成功しないでしょう。お互い尊敬しあって初めて、相手の立場になって考え、お互いの意見の良いところを併せて更に良いプロジェクトにしようとする事ができるのではないのでしょうか。それが成功するための必要条件です。GEOTAIL の場合には大変理想的な形で実現していたのだと思います。



後記 1999年に開催された U.S.-European-Japanese workshop on space cooperation の summary report でNASA側の Project scientist だった Mario Acuña は次のように記しています。

The Geotail program has been and continues to be an outstanding success. In addition to the significant scientific accomplishments by the U.S. and Japanese investigators, many other goals have been achieved such as one expressed to me by a leading Japanese scientist at the start of the program: “I want to see Japanese scientists compete on the same level as and match the productivity of U.S. scientists.” ----- The incredible capacity for work and sacrifice by the Japanese team gained them tremendous respect. ----- During integration and test of the Geotail spacecraft, things were accomplished in a few hours that would have taken months in the United States. ----- To their credit, the performance of Japanese instruments on Geotail, with almost no exceptions, has been outstanding.

Interpersonal relationships developed through close and continuous interactions throughout the program at the working level and also played an important role in translating the untranslatable whenever things got complicated. ----- Finally, the development of a mutual trust relationship between the partners was perhaps the most critical element of all for success. -----

付記 LEP の回復を海外の研究者達にメールで伝えた時には多数の祝辞が即座に送られて来ました。また、2007年にGEOTAIL運用延長を申請した際に support letter を求めたところ、40名の海外研究者から、既に得られた成果を高く評価し延長申請を強く支持するという内容の letter を頂きました。これらの一部を「日陰オペ成功への祝辞」、「ジオテイル衛星計画の国際的評価」としてこの文集に収録しました。



GEOTAIL 10周年ワークショップ “Frontiers of Magnetospheric Physics”
2002年7月24日



打上げ 20 周年記念パーティ (2012)



Fred Scarf (TRW/UCLA)



Stan Shawhan (NASA HQ)



Mario Acuña (NASA GSFC)



道家忠義 (早稲田大)



Roger Anderson (U. of Iowa)



山本達人 (宇宙研)

——忘れ得ぬ人々——

OPEN-J 行脚、1981

元 宇宙科学研究所 西田篤弘

4月にNASAに出張し、ついでに北米の9ヶ所の大学・研究所を駆け足で巡って来た。東はバルティモア郊外のジョンズ・ホプキンス大応用物理研究所、西はバークレーのカリフォルニア大学、南はヒューストンのライス大学、北はエドモントンのアルバータ大学に行ったのだから、東奔西走の名に恥じないだろう。エドモントンの町を貫いて流れるノース・サスカチュワン河にはまだ氷が残っていたが、ヒューストンは梅雨を思わせる蒸し暑さだった。

訪問の目的は、OPEN-J計画での国際協力について話し合うことである。OPENとは「地球周辺のプラズマの起源」の略である。太陽コロナから太陽風が運んできたエネルギーは、地球磁気圏に侵入してオーロラを始めとする壮大な自然現象を創りだしている。われわれは、アメリカの科学者と協力し合って地球周辺の空間に科学衛星のネットワークを作り、このドラマの全貌を明らかにしたいと考えている。ちょうど、気象現象を明らかにするために全世界に気象台のネットワークが組み込まれているように、太陽風と磁気圏の様々な領域に多数の衛星を送り、エネルギーの変換過程やダイナミクスを総合的に解明したい。アメリカでは4機の衛星を計画しているが、我が国ではOPEN-JとEXOS-Dの2機を打上げ、オーロラ粒子の加速機構に焦点をあてた観測を実施したい、というのがわれわれの希望である。

日本とアメリカの衛星がネットワークを組むためには、それぞれの衛星の軌道や打ち上げ時期が適当なものではなくてはならないのは勿論であるが、それに加えて、観測項目や観測精度についてもよく話し合っておかなければならない。いずれかの衛星がせっかく面白い現象をとらえても、他の衛星の観測項目・精度が適当でなく、現象の原因や結果について十分な情報を与えてくれないのではネットワークを組む意味がない。このため、OPEN計画とOPEN-J計画では日米の科学者がco-investigatorとして相互に乗り入れ、立案の段階から連絡を密にしようとしている。今回の出張ではこのco-investigator達を訪問し、観測上の問題点や準備状況、更に今後の見通しについて意見の交換を行ったのである。

印象的だったのは、比較的小さなグループががっちりと基盤を固め、着実に成果をあげていることである。Principal investigatorクラスの科学者が1,2名しかいないようなグループが数名かそれ以上の熟練した技術スタッフを擁し、ユニークな発想による観測機器開発によって名声を博している。NASAのプロジェクトが減り気味であるにもかかわらず、これら小グループの中には興味深いプロジェクトをいくつも抱えているものがあり、アメリカ学界の若さ、力強さの根元を見る思いであった。

また研究機関訪問の機会を利用して各地の友人と研究成果を語りあい、討論を行うことも出来た。最近2年ほど国際学会に出ていないので、話したいことがたまっている。セミナーの題目として「プラズマシートダイナミクス」と「木星磁気圏の加熱機構」を用意し、都合8回の講演を行った。毎度のことだが、外国でセミナー講演を行うのは他流試合を行うようなものである。意表をつくコメントや質疑に中から、これからの研究の進め方について有益なヒントが得られる。また一方では、友人たちは最近の研究成果を聞かせてくれ、これに対して活発な討論を行った。たとえばUCLAでは殆ど1時間刻みのスケジュールが作られていて大変忙しい思いをしたが、金星大気と太陽風の相互作用などのトピックスなどについて多くを学ぶことができた。このような議論からも共同研究の芽を育てて行きたいと思っている。

(1981年度のISAS News 「東奔西走」コラムより)

GEOTAIL 計画の前身である OPEN-J 計画のワーキンググループが発足したのは、今から何と 35 年も前の 1979 年と歴史書には記されています。それは L-4S-5 による日本初の人工衛星「おおすみ」打ち上げ (1970) から 10 年も経っていない頃で、ハレー彗星探査に必須の M-3SII 型ロケットの開発が公式には未だ認められていない時期でした (直径 1.4m までという軀を一部外した M-3SII 開発が宇宙開発委員会に認められたのは 1981 年 3 月)。

そんな或る日、地球磁気圏尾部 (遠地点 20Re、約 13 万 km) の探査をする OPEN-J 衛星を、M-3SII 第 4 段にハレー探査用に開発中のキックモーター KM-P を用いることで打ち上げられないか、との御下問があり、ざっとした計算をして若々しい西田先生の部屋へ伺ったのが、その後の長い長いお付き合いの始まりでした。

計算上衛星重量は 170kg と報告したところ、何とか 250kg くらいまで出来ないか、と言ういつもの通りの理学からの無理なご要求。PLANET-A (後の「すいせい」) の重量オーバー対策だけでも苦しいのに、と愚痴を言いつつ七転八倒していた 1983 年、一挙に重量問題は解決、その代わりにとてつもない計画の面倒を見ることになりました。

OPEN 計画衛星群のひとつ米国 NASA の TAIL 衛星と OPEN-J を統合して、最初の 2 年間は遠地点を約 220Re (140 万 km) の地球夜側に常に持ってきて磁気圏遠尾部を観測、その後遠地点を 20~30Re に下げて、従来の OPEN-J が観測予定だった近尾部を 1 年半にわたりカバーするというのが、NASA の提案でした。シャトルで上げるので衛星重量 1ton でも OK と言いながら、こんな実現不能ともいえる軌道計画を立てたのが旧来の悪友で「軌道の魔術師」と仇名される NASA/GSFC のファーカー先生なればこそ、と唸ったことを思い出します。

さて、遠地点を 220Re の夜側に常に置くのに、衛星搭載の推進系を使っていた日にはいくら燃料があっても足りず、二重月スウィングバイと呼ばれる技術が必要です。ファーカーの描いた軌道図では加速月スウィングバイで遠地点高度を上げ、帰ってきた衛星を減速月スウィングバイによって周期調整、再度加速月スウィングバイで夜側の磁気圏遠尾部に持っていくというオペレーションを二年間にわたり繰り返す様子が見事に示されていました。しかしこれはあくまで机上でのこと。それまで世界中で実際にこんな軌道運用をした例が無い中、我々がいきなりこの技術を実現する自信が持てるはずありません。

従来宇宙研では M ロケット新型初号機には、いきなり正規理学ミッションを載せるのは怖い、ということもあってか、MS-T (Mu Satellite-Test) という試験衛星を搭載するのが常で、M-3SII-1 号機では「さきがけ」が五番目の試験衛星 MS-T5 として、文字通りハレー探査の先駆けを務めました。従ってそのままでは M-3SII 型では試験衛星を上げるチャンスがありません。そこで、新たに工学技術をマスターするための衛星が考えられることになりました。こうして誕生したのが工学実験衛星 MUSES (MU Engineering Satellite) シリーズで、GEOTAIL に先立ち、二重月スウィングバイ技術の修得を主目的にした MUSES-A (後のひてん) がその初号機となりました。

MUSES-A 計画開始は (記憶では) 「さきがけ」「すいせい」を打ち上げた 1985 年で、衛星ハードウェアの開発はもとより、何と言っても苦労したのは軌道計画の基となる軌道決定精度の向上と月スウィングバイを可能にする軌道制御ソフトウェアの開発でした。前者に関しては NASA/JPL で長年軌道決定に携われ、帰国後富士通に席を置いておられた西村敏充先生を三顧の礼をもって宇宙研にお迎えして一安心。後者は川口先生という「日本の軌道の魔術師」の指導の下、NEC の木村雅文さんを始めとする軌道設計グループの活躍で MOONS (Muses Orbit Operation & Navigation System) と称する運用ソフトが完成しました。

ちなみに木村雅文さんは後の「のぞみ」火星周回軌道投入失敗後に一旦地球軌道まで戻し、地球スウィングバイを用いて残ったわずかな燃料で火星周回再挑戦する軌道案を年末年始不眠不休で練り上げた傑物でしたが、2009 年 8 月に 49 歳の若さで急逝されました。惜しむに余りある方でした。

1990 年 1 月 24 日打ち上げられた MUSES-A は「ひてん」と命名され、同年 3 月 19 日の最初の月スウィングバイを始め、最初の 1 年間に予定通り 8 回のスウィングバイを成功させて、GEOTAIL への道を開くことが出来ました。その詳細は ISAS ニュース NO.154 特集号「ひてん」宇宙でスウィングをご参照ください。

「ひてん」と並行して進められた GEOTAIL 計画では、打上げロケットが当初のスペースシャトル

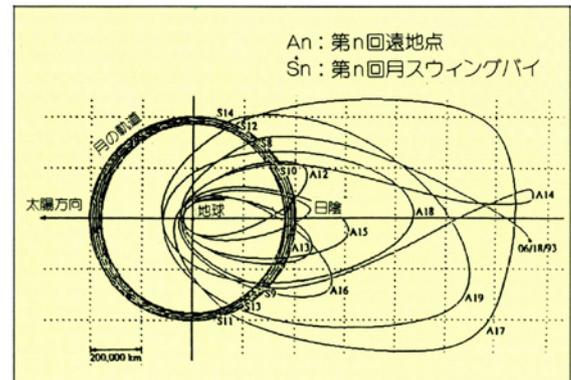
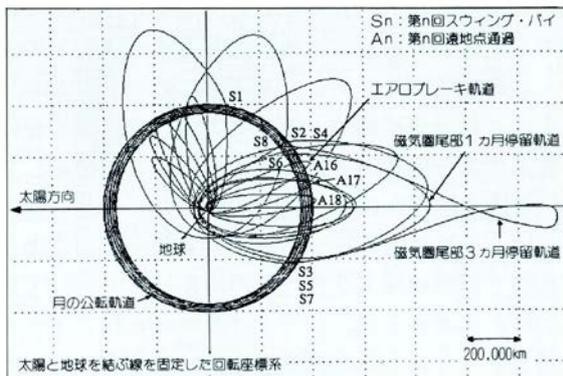
から、チャレンジャー事故の影響で、一時は「シャトルでもデルタでも上げられるような設計に」という要求になり、それは加速度のかかる方向が 90° 変わるので無理ということになり、結局デルタに落ち着くまでのすったもんだや、NASA 式文書管理の煩雑さに音を上げながらも、こと軌道計画については MOONS を GEOTAIL 向けに改良した GOONS (GEOTAIL Orbit Operation & Navigation System) があつたために殆ど苦勞らしい苦勞をせずに、打ち上げ後も淡々と運用できたように記憶します。LEP ラッチアップ対策として月の蔭に衛星を入れて電源オフにするという離れ業を行えたのも、軌道運用に余裕があつたればこそだったと言えるでしょう。

その結果、LEP は無事復活したものの、最大の被害を受けたのは小生担当の RCS のヒーター制御系で、自動温度制御が働かなくなり、その後燃料枯渇に至るまでの数年間、特に日蔭中の凍結予防のためのプログラム作成には苦勞させられました。

「ひてん」は、新たに困難な工学技術を必要とする理学衛星・探査機に先立ってそれを修得する工学実験衛星 MUSES としての真価を發揮した、と言ってよいのではないのでしょうか。後の MUSES-C (はやぶさ) が小惑星からサンプルを持ち帰るといふ無謀とすら言われたミッションに必要な多くの世界初の技術をやり遂げたことが今日の理学ミッション「はやぶさ2」に繋がったことは言うまでもありません。

その時思い出すのは工学実験衛星 2 号機 MUSES-B とその後のミッションのことです。MUSES-B 「はるか」は直径 8m の大型アンテナを地球上の電波天文アンテナとリンクさせて VLBI 技術を修得するもので、このミッションは成功したものの、次の本格的 VLBI ミッションである ASTRO-G では全く違ふ大型アンテナ方式を採用したことが仇となり、計画中止・打上げ断念に追い込まれました。

MUSES シリーズを最初から見守って来た者として、困難な技術に挑戦することが常に必要とされる科学衛星計画を進める後輩たちにこういったことを忘れないでほしいと思っています。



「ひてん」の軌道 (打ち上げから 1 年後まで)

GEOTAIL の軌道 (磁気圏遠尾部探査)

いずれの図も太陽—地球を結ぶ線を固定した回転座標系

磁力計開発のことなど

元 東京大学 國分 征

1979年、OPEN (Origin of Plasma in the Earth's Neighborhood) 計画がNASAで提案され、日本でも宇宙科学研究所の西田教授を中心に独自の衛星計画 OPEN-J の検討が始まった。磁場計測について云えば、当時の日本では0.1 nT以下のノイズレベルを持つ探査機搭載磁力計を作る技術はなかったといってもよい。磁力計の開発をやらなければと、文献を集めてはいたが、机上で文献をひっくり返しているだけではすまなくなった。磁力計の開発を本格的に始めることにはしたものの予算は殆どなく、メーカーに掛け合ってもある程度の予算がないと取り合ってもくれない。とにかく新しいセンサー素子リングコアを手に入れる算段をして、一から自分で実験することから始めた。この実験をされていて、私の部屋の一つの机が、実験用の機器や部品で散らかっていた時期のことであるが、宇宙研に来ていたUCLAのBob McPherronが研究室に来たとき部屋へ入るなり彼が発した最初の言葉は、”You are a vanishing species” だった。半田鰻を握り、シンクロスコープを覗んでいる研究者はアメリカにはほとんどいないという意味だったのだろう。因みに、彼が所属するIGPPには、磁力計関連の技術者が少なくとも3人はいた。地上用磁力計は、2～3年で実用化できた。その頃手作りした磁力計は、小口教授が主導した北極上多点観測で使われた。

衛星には、当然のことだが、手作りの機器を搭載することはできないので、機器担当メーカーを育てることから始めなければならなかった。1980年ごろまでの宇宙科学研究所のロケットあるいは衛星に搭載された磁力計（おもに地磁気姿勢計として使用された）の製作メーカーは、ある測量器メーカーだった。このメーカーが、宇宙研究所の仕事から手を引くことになり、磁力計を何処で作るかが問題になっていた。結果としては、搭載計器を長く手掛けてきた明星電気が担当メーカーになり、私がコンサルタント的な役をすることになった。最初に手掛けたのは、ロケットあるいは低軌道衛星用の姿勢計であったが、小型化をはかるため2cm径のリングコアを使った純国産センサーを開発した。後に、ETS-VIなどの宇宙開発事業団の衛星に搭載された磁力計は、この姿勢計に手を加えたものである。

私が直接関わった衛星は、「あけぼの」と「GEOTAIL」だが、基礎的な実験はひととおり自分でやった。リングコアの励振については、幾つかの回路を試してみたが、最終的には、M. Acuña が外惑星ミッションのために開発し、NASAのほとんど搭載磁力計に使われているLCを用いた回路に落ち着いた。また、磁力計の全体構成は、基本的にはNASAの磁力計と変わらないものになった。「GEOTAIL」には宇宙研とNASAの2台の磁力計が搭載されているが、このテストの時に、Acuñaが我々のアナログ部基板を見て開口一番、”deluxe”と云った。実際、彼らの回路構成は、経験と実績を反映していて、いわば枯れたという表現が相応しいシンプルな回路構成である。これに対して、我々の回路は安全性を重視した設計になっていたからである。Acuñaについていえば、山本達人君(故人)がNASAに行く際に最初はR. Leppingをcontact personとして交渉していたが、実際に動いてくれたのはAcuñaだった。

今だから言えることだが、フライトモデル製作後に回路変更をした。磁力計アナログ部

に温度特性を重要視しスルーレートの小さいオペアンプを使っていたため、最終段にスイッチングパルスのノイズが残り、AD変換時に時に不規則なノイズが発生することが最終テスト段階でわかった。この現象は、「あけぼの」磁力計の運用時に出ていたようだったが、0.1nT以下のノイズレベルが要求される「GEOTAIL」の場合は、無視できるレベルではなかった。ノイズ除去のためフィルター用オペアンプを追加し、ポッティングして固めた。

「GEOTAIL」磁力計製作の後、次のミッションへの備えとして、基本回路のハイブリッドIC化を計画した。最初の試作では、パルス回路とアナログ回路の干渉が出て、テスト結果はよくなかったが、その後、山本君が改良を加え使用に耐えるものができるようになった。このハイブリッドICは、彼が担当した「のぞみ」の磁力計に組み込まれ、彼の遺影とともに火星に向かった。また、リングコアの励振部も彼の指導で平衡型に改良され、衛星搭載用フラックスゲート磁力計としては、技術的にほぼ完成に近いものになった。この技術は、「かぐや」、水星ミッションの「MMO」や「ERG」に引き継がれている。また、山本君についていえば、L. Frankからの要請で、磁場データへのアクセス情報を送ったところ、これが他へも流れ目先の利く研究者が早速のデータを使い、速報的な論文を書いたと連絡をよこしたことがあった。何から何までこなさなければならず論文を書くまでには至らないような状況の頃で、山本君共々あまり愉快ではない思いをしたこともあったが、ハードウェアの面だけではなくデータベースの構築・公開に対する彼の貢献は計り知れない。

残念ながら、衛星観測分野のリーダーとしての将来を期待されながら、山本君は若くして逝ってしまった。この小文を終えるにあたり、改めて早逝した山本君のご冥福を祈りたい。



QLデータの検討 山本、國分

ジオティル電場計測ことはじめ

元 宇宙科学研究所 鶴田浩一郎

ジオティル衛星の電場計測を私が担当することになったのは西田先生のおかげである。30年ほど昔の話になるが、当時、私は VLF(超低周波)電波の研究をしており、観測のためカナダ、ケベック州の小さな町に滞在していた。ケベックと東京は時差が10時間ほどあり、東京から昼間電話をするとケベックは夜になる。私が滞在していた町では夜になると電話の交換がフレンチのみになるらしくなかなかこちらの言うことを理解してもらえない。この様な状態だから西田先生から深夜にかかってきた電話を私が受けることができたこと自体奇跡的なことであった。

奇跡はさておき、西田先生の電話は「ジオティルプロジェクトを立ち上げたい。電場計測担当ということで参加しないか」というものであった。私も、宇宙研に籍を置く以上衛星やロケットを使った研究をしたいと考えていたので寝ぼけていたにもかかわらず「いいですね、ぜひ参加させてください」と即座にお答えしたようである。目覚めて頭がスッキリするにつれて大変なことを言ってしまったと不安になってきた。不安の原因はその当時磁気圏での電場測定技術がまだ確立していなかったからである。ゼロから始めたのではジオティルに間に合わないから良い先生を探さなければならないということが浮かんできた。

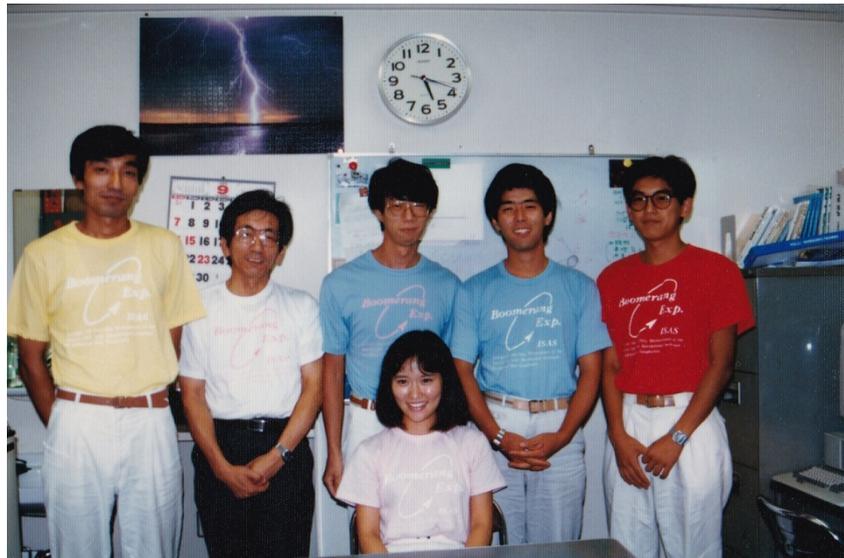
学問の世界で各派閥が仲良しであることが良いことかどうか分からないが電場計測に関しては、当時派閥間の対立は無く勝ち組の親玉であるカリフォルニア・バークレイの Mozer 教授に先生役を頼むことができた。Mozer 先生とはプローブを実際に担当した岡田さんが親しいが、気さくな人で何でもよく教えてくれた。私が困ったのは床が抜けおちそうなスポーツカーに乗せられた時と電極のマーケットのようなプローブの自慢をなさる時ぐらいであった。それでも、実際のプローブの設計の時点では、なるべくシンプルな構造にしたいという私の意見を取り入れて自説を固執されることはなかった。その後プローブの開発の主要部分は ISAS グループから岡田さん率いる富山県立大グループに移って行った。

Mozer 教授を含む多くの研究者がプローブ法による電場測定の改善に心血を注いできた。しかし、その割にはなかなか本質に迫る改善策が出て来なかった。そんな中、ミュンヘンのマックスプランク研究所では電子ビームを使った電場計測の実験が進められていた。30年前の時点で、GEOS-IIによる電子ビーム実験で衛星から打ち出したビームが再び衛星に戻ることを確認している。マックスプランクの方法は磁力線に直角な電場があると電子がドリフト運動を利用することで電場を求めるものである。私はこの方法がジオティルの環境下でも成り立ちうるか調べてみたが残念ながらドリフト量が多くなりすぎて使えないことが分かった。

私にはマックスプランクの試みはとても興味深くそのまま捨て去るには惜しかった。この問題を考えだしてから約2か月暇さえあれば軌道の絵を書いていたが勿論何も浮かんでこなかった。2か月くらいたったある朝、時間だということに想いついた。電子ビームが衛星に戻ってくる時間が電場により変化することに気が付いた。気が付いてみれば中学程度の数学の知識で電場や磁場

が戻り時間から簡単に求まることが分かる。この方法はマックスプランクの方法と共役の関係にあり私たちはこの方法にブーメラン法という名前を付け開発を始めた。今にして思えば、無知という力強い味方がいなければできない開発だった。

諸般の事情でブーメラン法の計測器はジオティルではあまり活躍できなかったがクラスターでは大いに活躍した。



研究室（駒場プレハブ）

プラズマ波動班の侍たち

京都大学前総長 松本 紘

Geotail計画は宇宙研の西田篤弘教授を中心に始められた。まだOpen-Jと呼ばれていた時代に西田先生からプラズマ波動班のPIの打診が松本にあった。当時としては思い切った若手の抜擢であった。プラズマ波動観測は宇宙プラズマの動力学を明らかにする上でとても重要である。たぶんこの考え方で、観測ばかりでなく理論やシミュレーションと協働することが必須とお考えになったことから観測屋でもなく理論屋でもなくシミュレーション屋でもない松本をプラズマ波動班のPIと指名されたのであろう。

期待に添えたかどうかはわからないが、当時の波動観測の若手研究者を集めて波動班がスタートした。まず、観測機器のハードウェア開発に京都大学、金沢大学、東北大学、富山県立大学、京都産業大学から班員を、ソフトウェア開発には京都大学から人材を集めてみた。学界ではちょうど世代交代の時期であったが、先輩研究者にはいろんな思いが渦巻いているだろうと思った。しかし結果としては、当時の若手研究者におおいにヤル気を起こさせることになった。観測機器のハードウェア開発には長野勇、橋本弘蔵、森岡昭、筒井稔、岡田敏美、小嶋浩嗣の諸君があたった。ソフトウェア開発は岡田雅樹、小嶋浩嗣の諸君が取り組んだ。いずれのメンバーも東京以外の地方の大学に所属しながらGEOTAIL班員として活躍していただいたが、その出張に伴う苦労には頭が下がった。とりわけ小嶋君の頑張りには私を含めて班員一同が感嘆するところであった。いずれの方々も波動班の「侍」と呼ぶにふさわしい研究者である。法人化した国立大学であれば何ヶ月も自分の大学を離れて宇宙研などのほかの機関でずっと仕事をすることは非常に困難で、チーム維持も難しかったかもしれない。彼らこそGEOTAILプラズマ波動班の古武士である。

一方、GEOTAILは日米共同プロジェクトであり、当然波動班の米国側の班員が加わってきた。設計が始まった初期には故Fred Scarf博士が大きな貢献をしてくださった。とりわけ太陽電池パネルから発生する人工雑音の軽減に彼の知見が多いに役立った。Scarf博士の粘り強い説得とほかの班との折衝がなければGEOTAILがこれほど人工雑音の少ない優れた科学衛星にはなし得なかったというのは衆目の一致するところである。TRW/UCLAのScarf博士とは筆者が若い頃米国に留学したときからの知己の一人で尊敬できるすばらしい研究者であった。彼の話し方、情熱は説得力があるのはもちろんだが、人間としての魅力がなにより重要な要素であったように思っている。自分より随分と若いPIの筆者をもり立てていただき本当に感謝している。従って彼の突然の訃報に接したときには大きなショックと悲しみを覚えた。またIOWA大学のプラズマ波動研究の第一人者であるDon Gurnett博士とは随分前からの友人の一人であったが、その研究グループからRoger Anderson博士がプラズマ波動班の一員として開発段階からデータ解析に至るまでGEOTAIL班員として参加をいただいた。米国側の波動班のPIであったが非常に友好的に仕事を進める事ができたのはRogerの人柄によるところが大きい。多くの関係者が知るように陽気でどんなつらい状況でもちょっぴり悲しげな表情を見せるがみんなに先立って明るく振る舞いチームをもり立ててくれた。非常に人情味のある研究者で巨体を物ともせず日米間を頻回に往復してくれた。いつも驚くような多くの鞆や荷物を平気で引き連れ、大きな足のための大型シューズを何足も持参してきたのが懐かしく思い出される。しかし、その陰には小嶋君の献身的な手伝いがあった事は書いておかなければならない。Rogerが来日する度に空港や駅まで出迎えに赴き、大量の荷物の運搬を手助けしていただいていた。そのRoger Anderson博士も最近他界されてしまった。冥福を祈りたい。

GEOTAILが無事打ち上げられ、データが成功裏に入手できるようになると解析チームは理論・シミュレーションチームの出番である。大村善治君をはじめとする京都大学のチーム、粒子班の寺沢敏夫君をはじめとする東京大学のチームなどが活躍するようになった。もちろん粒子班のPIの向井利典氏らとの共同研究が活発に進められた事は言うまでもない。

GEOTAILのようなチーム戦ともいえるべき共同研究は全体の指揮官であった西田先生の統率力に負うところが大きい、すべての班の結束は言うに及ばず、各班内の結束と人間関係が大きく

ものを言う。筆者個人の信条の一つである「学問とは真実を巡る人間関係である」を実感させていただいた。同時に共同研究の場になると人それぞれの強烈な個性がぶつかり合う事もあり、研究者の総合能力が垣間見える。宇宙科学研究所の数多くの方々にも大変お世話になった。この機会に改めて波動班を代表して感謝申し上げたい。



Scarf 博士と筆者(左)。Scarf 博士とエンジニアの Odem 氏と議論する長野先生と橋本先生(右)。



明星電気の会議室でのプラズマ波動班会議。奥から、明星電気佐藤氏、長野先生、筆者、大村君。



宇宙研クリーンルームにて。左から、筒井先生、明星電気田口氏、Roger Anderson、長野先生、小嶋君。

PWI 装置の開発歴史

元 金沢大学 長野 勇

OPEN-J (GEOTAIL) 衛星搭載のプラズマ波動装置の開発、動作試験、EMC-EMI について記録していたノート 6 冊、A4 ファイル 16 冊あまりの資料を見返し、日時を追って項目をリストアップし開発の経緯を振り返ってみます。

PWI 装置の設計・試験 (1981-1992 (打ち上げ)) を経て、都合かれこれ 30 数年を経ていまして、失った資料や記憶に誤りがあるかもしれませんがご容赦ください。今振り返ってみれば、困難よりも楽しみが多かったと思います。このような研究開発にコミットさせていただき大変感謝しております。

装置の基本コンセプトは松本先生の卓越した見識とリーダーシップで行われました。装置の開発にあたって一番大事にしたことは、限られた電力、スペースで、磁気圏尾部のプラズマ波動の時間分解能と周波数分解能を使い分け、出来る限りの情報を地上に伝送することで、電界 2 成分、磁界 3 成分の広ダイナミックレンジでそれらの絶対強度を測定できること。そのためには、他のサブシステム及び衛星本体 (電源や TM) 自身からのノイズや干渉をできるかぎり遮断し、センサーの感度を目いっぱい生かすことに注意しました。向井先生からは、システムとして 60% の成功は大成功だから欲を出さないようにと言われそれに心がけました。

PI : 松本紘

MCA PI : Fred. Scarf (他界) → Roger Anderson (他界)、Mr. Dan Odem (他界)

Co-I: 長野勇、森岡昭、小嶋浩嗣、橋本弘蔵、筒井稔、岡田敏美、大村善治

明星電気 : 佐藤、田口、篠原 (ワイヤアンテナ)、日本飛行機 (6m マスト) : 矢作、狩野 日立製作所 (ワイヤアンテナ)、アビオニクス (WIDA-IC、BQ-IC)、明和システム : 高野

1980 年 秋 松本紘先生から OPEN-J 波動班の参加要請を受ける

1980 年 10 月 6 日 OPEN-J 波動観測搭載機器の問題点の検討 : 京大宇治

1. 対数圧縮器のダイナミックレンジ (WIDA-IC 110 dB) の検討

- ・ 60 dB x 3 台でデジタル AGC
- ・ 交流対数と直流対数のどちらが良いか
- ・ Iowa 大へ対数圧縮器の購入の可能性

2. 多チャンネル受信機

・ アクティブ RC フィルターの特性について調査・検討。特に 1 個の IC でどの程度の特性が得られるか、その重量はどうか、S/N はどうか。各バンド内で帯域幅を可変するかあるいは固定か。

3. 掃引受信機

水晶制御シンセサイザーの小型化及び回路構成の検討

4. 各受信機の A/D の共通化

5. DPU の構成及び回路の設計

6. 波形キャプチャー+メモリ

A/D 及びメモリの書き込みサイクルを可変できるか

7. サーチコイル・アンテナの開発

少なくとも OGO II 衛星搭載の性能 (利得係数 $10/\text{Hz}/\gamma$) を製作する。

1981年9月3-4日: OPEN-J 用 IC 及び回路方式の検討 : 京大宇治

・ WIDA-IC 基礎開発費申請 450 万円 (松本、長野、橋本) →アビオニクスへ試作依頼 (1982年3月の納期: 完成→結果的には、GEOTAIL にはこの IC を搭載しなかったが、EXOS-D の MCA に十数個搭載。また、開発回路は EXOS-D PFX に使用)

・ SFA 用 Synthesizer に PLL を使用

・ S-520-5 号機ロケットに MCA, SFA に WIDA-IC 及び PPL を搭載し宇宙環境での試験をする。

1982年1月14-15日 OPEN Science Working Group Meeting

1982年1月20日 波動班 京大宇治で会合

・ WIDA-IC の現状

・ SFA 掃引回路の試作結果の報告

・ フィルターについて、Biquad 方式の試作報告

・ OPEN-J 波動装置の見直し (Spec ダウン、重量、容積、電力その他)

重量 (17.8kg (20.3kg Boom 含む))

優先開発順位の検討を行う

1. DPU+アンテナスイッチ

2. SFA

3. 広帯域受信機

4. 波形キャプチャー+メモリ

多チャンネル受信機

低周波受信機

プラズマサウンダー

各サブシステムの仕様

SFA; 100-800Hz 0.8-6.25 k Hz 6.25-50 k Hz 50-400 k Hz、周波数分解能を 256 ステップ。E,B 各 1 成分の観測

Wide Band 受信機 (0~1kHz) の TM の仕様。電界 2 成分、磁界 3 成分の WB 帯域の 1/10 で送れるかもしれない (5chA/D→D/A→WB)。後にこの方式ではなく、デジタル方式の WFC となる。

(1985. 10 基礎開発報告書に詳細あり)

1985年4月19日 GEOTAIL 第一回設計会議 I S A S

1985年5月6日~7日 京大宇治

・ US より MCA の LOG アンプの提供は困難

・ WFC の基礎開発報告は宇宙観測シンポで行う

1985年6日~11日 GOTAIL サイエンス会議

・ 観測装置の時間及び周波数分解能について

S F A BAND 2-5 128step、8秒

BAND 1 128step、128秒

MCA 0.5 秒

1985 年 7 月 9 日 サブシステム会議 宇治：明星：松本、森岡、橋本、長野

- ・ Wire Ant.Sphere Ant.への Cal 信号の送り方
- ・ EFD の Pre-amp の回路決定
- ・ PPS の検討
- ・ MCA 回路図
- ・ WFC ダイレクトモードの検討 E/B 8 秒観測、5 分間隔
メモリ容量 4Mbit
5 成分書き込みの同時性を保つための工夫
メモリの一部分故障の対策
メモリーチェック方法の方策

1985 年 9 月 19 日 GEOTAIL 設計会議

- ・ 伝送レート 64 k Bps
- ・ MGF,PWI-SC をブーム長 6 m 一本のマストに配置
- ・ 宿題 WORD 配分、ステータスの共通分
- ・ CAL は 5 周波数の合成

1986 年 4 月 18 日 Dr.Fredrick Scarf (1988. 7 他界) よりアンテナ影によるプラズマ波動へ影響を除くための導電遮蔽バンドの提案

1986 年 5 月 26 日 DE および MIL-STD-461A、461、462 を参考にして、GEOTAIL 用の EMI/EMC の資料づくりを始める。

1986 年 6 月 4 日 「科学衛星モデルの試作による、プラズマ波動に関する測定および EMI、EMC 対策」の申請、申請者：松本、長野、橋本、鶴田

1987 年 2 月 9 日—10 日 GEOTAIL EMC レベル 検討作業について、相模原キャンパス磁気シールド：DHU,TMS,ESP(高圧)について、DC コンバーターの周波数を除いて RE04,CE の試験を行った。PWI の要求をすべて満足。 長野、岡田、林 (金大修士)、NEC

1987 年 4 月 8 日 GEOTAIL EMC レベル検討 WG 会議開催：EMC レベルの決定

1987 年 5 月 18 日「ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY SPECIFICAYIONS for GEOTAIL SPACECRAFT and SUBSYTEM」の測定マニュアル (英文) を向井先生へ提出：全 10 ページ、CE 及び RE の規制値並びに測定法を記載

1987 年 9 月 1 日 サイエンス会議

- ・ GSE の検討
- ・ 軌道
- ・ EMI の最終版 (CE01-02)

1987 年 9 月 MCA 明星に搬入スケジュール：1988 年 8-9 月にかけて MCA の総合試験を明星にて行う。Dr.Roger Anderson (2014 死去) & Dan Odem (2014 死去)

1987 年 10 月 明星佐藤さんと打ち合わせ

- ・ WFC 11 月下旬回路図出来上がり。2 バンク方式でラッチアップを検出し、検出したバンクの電源を切ることで対応
- ・ SFA ソース接地にするとなぜか S/N が悪い。CH4 の IF は LC フィルター、CH5 はセラミック

フィルター： 橋本

・ PLL 実験： 21 kHz にジッターがあるが、アースおよび電源周りで生じている。VCO 出力の 1/N にするとジッター成分が減少。したがって CH5 の条件が悪いので検討する。

・ WFC のトリガーレベルの発生時刻：トリガーがかかるまで、1 F 時間（約 15 秒から 30 秒）かかるが問題ないか。また、トリガーソースを切り替えると比較器が動作する可能性がある。これをよしとする。メモリーチェックとして 0 か 1 であるが、1010 としたい。メモリーアドレスを直接アドレス方式にする。

・ MCA への質問 MCA を PWI ボックスに組み込むため、ボックス表面処理や PWI の GSE とのインターフェース等の質問や試験の日程の打ち合わせをする。

1988 年（昭和 63 年）5 月 19 日 GEOTAIL 設計会議：PM 設計&PM 試験 QL システム

1988 年 12 月 14 日 SAS の EMI 測定：SAS の電源内部の配線をついストとしてこれ以上の放射磁界のノイズ出さないこと、コンバーター周波数を現状の状態ですべての例外として認めることができる。また電源フィルターを入れることを伝える。参加者：向井、木村、小川（NEC）、長野

1989 年（平成元年）11 月 13 日設計会議：FM 設計&データ処理・解析システムについて

1991 年 2 月 21-26 日 総合 EMC 測定 ISAS : 小嶋、筒井、橋本、八木谷、長野、田口、佐藤

1991 年 5 月 17 日 明星電気運動場にて Wire Ant. の受信テスト：バルーンにて吊り上げ、40 kHz, 中波電波の受信にて実効長を確認する。小嶋、筒井、長野、田口、佐藤

1991 年 7 月 13-15 日最終 SC 回路決定 金沢大シールドルームにて 筒井、長野、佐藤

・ SC の最終回路図確定、入力抵抗 $270\text{ k}\Omega \times 2$ （感度を多少犠牲にして発振止める）、負帰還方式、校正回路あり、3 軸クロストーク -40 dB 以下。

1991 年 8 月 1-3 日：3 軸の指向特性、位相特性のデータ取得：金沢大シールドルーム 筒井、長野、佐藤、臼井（富山県大）

1991 年 8 月 22 日 マストの目視検査項目について

- ・ マストアライメント PWISC 側 1 m で閉ループの有無
- ・ マスト上におけるハーネスの具合、留め金の接触状況
- ・ SC 展開

ベータ（Y）軸のブレを ± 1 度以内の確認、ロックの時のケーブルの位置、止め位置、センサーの結束固定方法、マスト及びシールド間の抵抗値測定データの取得

1991 年 8 月 29 日 SMAST 上の SC 取り付け金具による閉ループの改修依頼

・ Z 軸 SC 止め金具に閉ループが見られ、特性が 3 dB 以上の劣化。日本飛行機に 9 月 10 日までに改修をお願いした。その後、最終特性試験を金沢大で行うことを向井先生の了解をとる。

1991 年 9 月 3-4 日 FMSC 再校正試験 金沢大シールドルーム：SC に関するすべてのデータ（振幅、指向性、位相特性、クロストーク）を取得した。SC とプレート間の絶縁、ケーブルとシールドケースの接続点のチェックをした。結果は 3 軸とも振幅、位相特性が、 0.4 dB 以下、プレート板の Z 軸に及ぼす指向性の影響は 4 度となった。SC センサーとして悔いを残さない校正ができた。

9 月 5 日 松本先生に報告。長野、筒井、佐藤、狩野

1992 年 4 月 4 日 Final EMC Test 報告 小嶋→向井、長野

1992 年 7 月 24 日 KSC より GEOTAIL 打ち上げ：KSC における動作試験は OK。打ち上げ成功！！

1992年8月27日 PANT、WANTの展開 スピン変調のデータ観測

1992年9月4日 MAST 展開 MCA(5.6 kHz)で2.5m 伸展後には出力レベルが一定。もう少し下がることを期待したが。たぶん衛星の内部雑音であろう。

1994年1月8日 GEOTAIL PWI CAL について纏める。これより、電界(実効長)の絶対校正、Kの絶対方向、Poynting Vector の計算が可能となった。(報告書の必要な方は長野までご連絡ください)

現在 SFA、WFC、MCA 装置に別段の不具合はなし。DPUによるアンテナ切り替えのSWにも異常なし。SCのPre-ampにPIMノイズの干渉が見受けられるが、概ねPWI装置は磁気圏尾部における良質のプラズマ波動のデータを取得できている。

文責：PWI波動班 長野 勇 2015年1月10日

井の中から大海に

元 宇宙科学研究所 向井利典

GEOTAIL の前身、OPEN-J 計画が西田先生により提唱された頃、多分、東京大学宇宙航空研究所が文部省宇宙科学研究所に改組される頃だったと思いますが、私は EXOS-C 衛星搭載用の低エネルギー粒子観測装置と PLANET-A 搭載用太陽風観測装置の開発を担当していて、更に、EXOS-D 計画にも関わっていたので、とても OPEN-J までは手が回らないと思っていました。というか、OPEN-J はまだ現実的なミッションとは思えなかったのです。それが急遽、NASA からの要請で日米共同プロジェクトして GEOTAIL が始まる事になりました。ほぼ同時期に EXOS-D 衛星の開発も計画されていたので、本当にやり通せるのか、人的資源に不安を感じながらのスタートでした。

OPEN-J 計画の検討が始まった頃、私は EXOS-A (きょっこう) と EXOS-B (じきけん) で低エネルギー電子の観測成果を出していて、また、観測ロケットによる電離層光電子の観測でも新しい結果を出していたので、国内ではある程度の実績を認められていたと思いますが、国際的知名度はほとんどゼロに等しい状況でした。その頃、助手の身分で次々と観測ロケットや衛星プロジェクトに関わっていったのですが、観測装置の基礎開発実験からフライト品の設計・開発・飛翔前試験、センサーの校正実験、打上げ後は衛星運用、観測データの処理・解析、成果の学会発表など、全て一人でやっていました。他に人もいなかったのですが、今にして思えば、やり過ぎというか、科学成果をきちんと論文にしないまま次のミッションに手を付け、朝から晩まで現場作業に明け暮れていました。つまり自己流で、井の中の蛙に等しい状況でした。

GEOTAIL 衛星には日本側と米国側の 2 式のプラズマ観測装置が搭載されることになり、日本側の担当は私、米国側プラズマ観測の主任研究者はかの有名な Van Allen 教授の直弟子、アイオワ大学の Lou Frank 教授でした。彼のグループは既に ISEE-1 で磁気圏尾部の観測をしており、また、Pioneer-10 による木星磁気圏の観測など、実績や国際的知名度は遥か雲の上の存在でした。その時に私が考えたのは、過去の実績や経験はどうであれ、とにかく米国側のプラズマ観測に太刀打ちできるようにしなければいけない、少なくとも ISEE 衛星を凌駕する結果を出さなければいけないという事でした。そこで、文献で ISEE 衛星や AMPTE 衛星に搭載されたプラズマ観測装置の性能や観測結果を調べた結果、キーはイオンの高時間分解能観測だ思うようになりました。そのためには粒子計数の統計精度を稼ぐ必要があり、分析器の幾何学的因子(感度)を ISEE 衛星の 10 倍以上にしようと考えました。米国側プラズマ観測装置は ISEE-1 と同程度の感度のものが提案されていたので、これがうまくいけば勝てるという狙いもありました。問題は、検出器に使用するマイクロチャンネルプレート(MCP)の寿命が有限で、カウント数の総量で決まると考えられていた事でした。Lou Frank 教授からもその事を忠告されたのですが、私は自分の考えを通す事にしました。

GEOTAIL プロジェクトが開始してまもなくの頃、多分、井の中の蛙に大海を見せようという西田先生の配慮だったと推測しますが、鶴田先生と 2 人でアメリカの著名なプラズマ観測グループを訪問する機会が与えられました。アイオワ大学、サウスウェスト研究所、ロスアラモス国立研究所、UC バークレー、Aerospace Corp. を 10 日ほどで回りました(別稿; 鶴田・向井「米国ラボの駆け足視察」)。非常に慌ただしく、不慣れた英語で苦労しましたが、GEOTAIL のプラズ

マ観測の仕様や設計に関する議論、実験室や工作工場の見学など、極めて印象的でした。その一方で、それまで自己流の井の中の蛙と思っていた事に対して、こちらも満更でないという自信が持てた事は大きな収穫でした。

GEOTAIL 衛星の開発が本格化し、同時に EXOS-D 衛星の開発も並行して行っていましたので、超多忙な日々を送る事になりました。同時に、「すいせい」(PLANET-A) の成果発表で国際会議に出席する機会が増え、また、IACG のテーマが ISTP となった為、外国に行く機会が増え、欧米の知人が増えると共に彼らの研究室や実験室の状況も段々と分かってきました。就中、ドイツ・リンダウにあるマックスプランク研究所の Rosenbauer 博士との議論は非常に有益でした。彼は GEOTAIL のプラズマ観測に関する私の考えに全面的に同意し、MCP の寿命については心配無用と、HELIOS-1 による太陽風観測装置のデータを見せながら太鼓判を押してくれました。ただし、地上試験や較正実験の際の環境の清浄度には要注意との事。また、ミュンヘン郊外にあるマックスプランク研究所の Paschmann 博士の所では、AMPTE 衛星のデータを見せてもらい、測定エネルギー範囲を高くする必要がある事や機上のモーメント計算の有用性を学びました。

一方、人的資源に関して、共同研究者の寺澤敏夫さんが京大に移った事を契機にチームの強化が図られました。まず、寺澤研の優秀な大学院生が宇宙研の受託学生としてチームに加わりました。平原聖文君と齋藤義文君です。平原君には修士論文のテーマとしてイオン質量分析器の開発を担ってもらいましたが、卓抜なアイデアにより(当時としては)画期的な分析器の設計をやってくれました。また、齋藤君には電子とイオンのエネルギー分析器の設計、そして、機上 DSP (Digital Signal Processor) によるモーメント計算やデータ圧縮のソフトウェア開発を担当してもらいました。さらに、アイオワ大学でポスドクをしていた町田忍さんが私の研究室の助手として赴任してきました。私を含め、この4人が一丸となってメーカーの明星電気(電気部担当)と三鷹光器(センサー部担当)の協力を得てプラズマ観測装置 LEP を完成させることができました。また、寺澤さんは打ち上げ後のデータ処理、特に、3次元分布関数の表示ソフトウェアの開発を担ってくれました。これは初期観測の結果を見るのに大変有用でした。



(実験室のクリーンベンチで LEP の EA センサーを組立中の筆者)

1992年7月24日、GEOTAIL衛星は米国フロリダからDELTA-IIにより成功裡に打ち上げられ、順調に初期運用を実施していきました。約1ヶ月後、LEPの高圧電源の投入チェックも無事終了、磁気圏尾部のプラズマシートを観測していたのですが、全く突然LEPのコマンド受け回路がラッチアップしてしまいました。1年後に行われた復活オペレーションの顛末は別稿「LEPの復活劇」に書きましたが、これも多くの方々の協力により成しえた事です。間違いないと確信していたものの、本当に復活した時の安堵感は生涯忘れえません。その後、LEPの観測データを使った数百編の論文が出版されてきました。これは勿論、それだけ多くの研究者にデータを使ってもらったからであります。当初設定した高感度のイオン観測が功を奏したものと思います。MCPは確かに年月とともに劣化し、それを補正するためにバイアス電圧を上げていますが、劣化速度は想定以上に遅く、20年以上を経た今なお有用なデータが得られています。Rosenbauer博士の言うとおりでした。

いつの間にか井の中の蛙が大海を泳げるようになりましたが、実に多くの方々のお蔭です。あらためて、感謝の意を表する次第です。

西田先生とGEOTAIL、そしてHEP

元 宇宙科学研究所 前澤 洸

GEOTAIL衛星は、西田先生が研究の中で培われた科学的アイデアと、「日本の衛星が最先端の磁気圏データを取れるようにしたい」という先生の強い意思とが結びついたものだと思うが、それらの基盤は、ずっと前から西田研の日常の雰囲気の中にすでに存在していたに違いない。私が大学院生として大林西田研に入った1968年、まだ日本最初の人工衛星が上がっていない時代だったが、大林西田研は、西田先生ご自身が発見した全地球規模の電離層電流系と惑星間空間磁場との深い関係に関連して、太陽風—地球相互作用の分野の研究で世界の最先端を走っていた。日本に帰って間もなかった西田先生は、日本のコミュニティが衛星データを気軽に使えるように、NASAのデータセンターに収録される衛星データを日本の一か所に保管し研究者に貸し出すセンターをつくり、自分の研究室をそのデータ資料室にあてていたから、大学院生の私のまわりは、衛星の磁気テープとマイクロフィルムがあふれていた。この部屋で西田先生は、先生と親しい海外の若手のやり手研究者との議論の話などを日常的にしてくださったが、それを聞いていると、なぜか自分もそれらの研究者と議論で十分わたりあえるような気がしてくるのが不思議だった。私はそれらの衛星データを使って研究し、この研究室の雰囲気にどっぷりつかってPD生活をしてきたが、ある日、晴天霹靂のことがら起こった。西田先生が自分の部屋に私を呼んで、「私も40代になり、研究とは別にやるべきことができたので、今までのようには君と研究の話はできないからそのつもりで」とおっしゃるのである。その時は意味がよくわからず、ただショックだったが、今から考えると、このころから、「日本のSTPコミュニティが世界のトップを走れるようなデータをもたらす衛星を実現したい、そのためには研究時間も犠牲にする」と思われるようになったのではないだろうか。

西田先生は(本郷の国分先生などと)、アメリカのOPEN計画に日本の衛星が参加する可能性を検討し、初めはOPEN-Jという日本独自の衛星計画を立ちあげられ、名古屋大学に移った私も、末席ながら、科学目的や軌道の検討などに参加した。OPEN-Jは、西田先生の磁気リコネクションの実証への思いを載せた形で、昼側の磁気圏境界面のリコネクション領域と、夜側の磁気中性面のリコネクション領域の両方を狙った意欲的な衛星だった。予算不足から、アメリカのOPEN計画自体の実現が危ぶまれ、アメリカの計画する衛星のうち、1機(GTL)をOPEN-Jと統合し、その開発を日本が引き受けて(ただし打ち上げロケットは米担当)、GEOTAIL衛星の実現となった。後から聞くと、西田先生は、交渉相手のアメリカ側からは「tough negotiator」として有名で、日本の利益を通すためには一歩も引き下がらなかったそうだが、それは私が研究室で知らなかった西田先生の一面であった。西田研での先生の柔軟な議論のやりとりを日常的に知っていた私としては、私もぜひその場を目撃したかった気がする。

OPEN-Jの時代から、数十 keV を超えるエネルギーの磁気圏粒子の観測がぜひ必要だということから、早稲田大学の道家先生の研究室(道家先生自身は磁気圏専門ではなく、半導体粒子計測がご専門)に計画に加わっていただいて、大面積の高エネルギー粒子観測器(エネルギー別に4台以上の検出器で構成、エネルギーの低い方の2台は磁気圏コミュニティ用、残りは太陽粒子観測用)を載せることになり、磁気圏用の2台(HEP-BDとHEP-LDと後に呼んだ)に関しては、開発を担当する道家研究室および(BDの責任者の)玉川大の永田さんと磁気圏側サイエンスとの調整役を私が主にやった。GEOTAIL計画になってから、地球起源酸素イオンの同定に有利なTOF(Time of Flight)測定器に実績のあるドイツのWilken氏にLDの開発を依頼することになり、この観測器(LD)に関する連絡役も私がすることになった。

私は、高エネルギー粒子観測には素人だったので、道家研究室の方々には大変お世話になった。名大の私の研究室で、GEOTAILのLDとBDのデータが十分にデータ解析できるように整えた。しかし、実際に観測が始まると、これらのデータにはかなり苦勞させられることが明らかになってきた。BD, LDともに、緯度方向に視野を分割する3本の測定器の出すデータが食い違い、観測する粒子の異方性では説明がつかない。エネルギーレスポンスの特性にも違いがあり、原因の解明とキャリブレーションが急務となった。BDに関しては永田さんの努力により、また向井さんにも色々協力をお願いして、地上でハードを復元してテストしたり、アメリカ側の観測器(視野は違う)やLEPのデータと比較検討した結果、電子に関しては(原因をある程度特定して)結果をまとめられた。

一方LDは、機上で編集した情報を地上で再び加工し直して解析した結果、赤道面向きの検出器は、他の検出器より一桁近くTOF検出の効率が低いことがわかった。TOFの検出できないイベントはデータとして送られないため、赤道面向きの検出器のカウントが著しく低く、観測できるイベント数が非常に少ないことが大問題となった。そこで、日本側としては、発想を転換し、とにかく沢山のイベントを観測することに重点をおき、TOF情報を捨てて半導体検出器のエネルギー情報だけを送るデータ伝送モードをWilken に提案し、(しぶしぶ)認めていただいた。この効果は絶大で、このモードによって(半導体検出器の)エネルギーレスポンスのキャリブレーションが完成し、LEPとスペクトルが矛盾なくつながるようになり、観測イベント数も格段に増えた。堀(智昭)さんはこのモードで、面白い特徴を持った磁気圏粒子バースト現象を発見し、学位をとった。ただ、この伝送モードは、陽子と電子のどちらかがドミナントなイベント(それを判断する指標はテレメトリー内にある)でないと、出てきたエネルギースペクトルが電子のものか、陽子のものか言えないという大きな難点があった。誰でも使えるデータベースとしてはこのデータを公開できにくかった理由の一つである。なお、その後、BD検出器が劣化してからは、BDの分のテレメトリーの空きを利用することにより、LDのTOFデータを捨てることはなくなったが、TOF分はキャリブレーションできないままとなった。

LD, BDデータは上のような理由で大規模な解析が難しかったが、GEOTAILの他の搭載機器、特にLEPやMGFのデータを自由に使わせていただいたことにより、大変貴重な、人生で一番興奮する種類のデータを解析する楽しさを体験できた、特に、初期の deep tail の軌道においては、太陽風の吹く方向を座標軸にとることにより、ねじれた尾部断面の姿が統計的に浮かび上がってきたのは、かなりの興奮であった。この尾部ねじれの存在のせいで、テイル磁場のZ成分の統計に偏りが出る可能性などを含め、西田先生といろいろと discussion できたのも、院生のとき以来の楽しさであった。

西田先生はその国際的な政治力で多大な力を発揮され、GEOTAIL関係者全員がその恩恵を蒙っている。しかし、そのためにご自身の研究の時間を相当に割かれて、サイエンスの分野でのお仕事を犠牲にされたことも多かったに違いない。先生には最後に感謝あるのみである。

写真1. HEP-LDを担当した Wilken 氏(左)とHEP-BDを担当した永田氏
(1993年EGSにて)



写真2. 手前はHEPのPI道家先生(一昨年故人となられた)。
(後ろにいるのは向井、前澤、上杉、国分、松本(敬称略))



電場プローブシステムとの関わりを振り返ってみると

富山県立大学 岡田敏美

IMS (1976-1979)の頃、ホイスラのダクト伝搬論がトピックとなっておりました。中緯度ダクトのドリフト現象を説明するには 1mV/m 弱の北向き電場が必要であるなどと論じていましたが、その確認には衛星観測による現場観測しかないとしばらくこの研究を中断していました。そんな折、鶴田先生から EDOS-D 衛星および GEOTAIL 衛星の電場計測メンバーにとお誘いをいただきました。鶴田研究室では、すでに欧米で実績あるプローブ法の調査は完了しており、どのように電氣的・機構的に仕上げるかという詳細設計の段階にあったと思われます。更に GEOTAIL 衛星では、いわゆるブーメラン方式を新規開発して高精度観測を計画されており非常に忙しかったようです。そんな事情からか工学系の私にプローブ法の分担をするようにとお声がかかったものと思います。初めの頃はシンポジウムなどで上京した時に駒場の鶴田研究室に伺っていたのですが、プレハブの建物で夏場、さすがに大変熱かったことを覚えています。相模原の現 JAXA 宇宙科学研究所に移ってからは、西田研究室の方々との合同の検討会もあり議論が盛り上がっていました。写真1は鶴田研究室でのスナップですが、松岡院生(当時)、中川院生(当時)らと一緒に勉強することになりました。

電場プローブは dc 電場センサーであるとともに波動センサーでもあります。その設計の勘所は、プローブおよび衛星本体から放出される光電子の影響をいかに小さくするかであり様々な対策が考案されてきました。ハードウェア構成においても、微弱な磁気圏波動を広帯域(EDOS-D: pc レンジ~10MHz; GEOTAIL: pc レンジ~1MHz)観測するという波動観測の目的に対して電磁的干渉など悪影響を与えないようにすることが求められます。このために電場チームでの検討経過は、あけぼの VLF (PI: 木村磐根先生)、PWS(PI: 大家寛先生)、ジオテイル PWI (PI: 松本紘先生) のチームに随時報告するなど、リエゾン係としてチーム間の相互理解に努めてきました。特に、ジオテイルの構造と運用環境を考えると、プローブ先端の球殻内にアンプを入れる方式ではなく、プローブアンテナという構造にすることがベストであると考え、これらを議論するために U.C. Berkeley の Mozer 先生を訪れ、直接、ご教示いただいたこともあります(写真2)。その結果、日米の電場及び波動の共同研究者間で了解が得られました。これまで両衛星ともプローブシステムの運用において設計通りの性能を示しており安堵の念でいっぱいです。

あけぼの (EXOS-D) プローブシステムが正常に磁気圏電場を計測できることが確認され、本格的な観測に入った 1989 年 3 月の運用時のこと、Quick Look(QL)チャート上に 10 分程度、非常に強い盛り上がりが見られ、似たような現象が数日間続きました。これが有名な“1989 March Giant magnetic Storm”のシグナルであり、3月13日~17日の間、中緯度まで後退したプラズマポーズ外縁に 50mV/m を超える電場が発生していたのです(論文1参照)。この現象の発見に役立った QL システムは早川先生と松岡院生が作成されたものであり、いち早く研究に着手できたことは幸いです。

1991年6月、カナダ British Columbia 大学におけるシンポジウムには、ワシントン経由で参加しました。ワシントンでは Mario Acuna 先生の研究所にてジオテイルの磁場観測装置 MGF の較正を行うことが目的です。山本達人先生、塩川和夫先生らと MGF を梱包したトランクを手荷物として持っていったのですが(写真3)、ワシントン空港にてトラブル発生。国内線への通関において検査

官がX線検査および開梱して目視検査するという。NASA 認定の精密電子機器なので応じられない、などと押し問答しているうちに搭乗時刻が過ぎ、移動式のタラップが動き始めたのです。驚いて搭乗カウンターに行き事情を説明したところ、開梱するが最後のカバーは外さないでチェックしたとすることで折り合いが付き、タラップも戻ってくるなど冷や汗ものでした。

ジオテイルの運用観測においては、磁気圏境界や太陽風中の dc 電場、90V にも達する衛星電位、MHD 波、LHD 波、BEN, ESW をはじめとするほとんどの磁気圏波動の観測に役立ったと思います。このプローブアンテナと電場計測システムの概要は電子情報通信学会等で公表されております（技術資料 1、2）。JAXA で進行中の E R G 衛星や日欧で進行中の MMO 衛星にも、ジオテイルで開発されたプローブシステムの改良版が採用されていますが、プロジェクトの成功を祈っております。最後に、観測装置の開発から運用、データ解析、論文発表まで通して研究する機会を与えていただきました関係の皆様へ深く感謝しお礼を申し上げます。

(論文 1) T. Okada, H. Hayakawa, K. Tsuruda, A. Nishida, and A. Matsuoka, EXOS-D observations of enhanced electric fields during the Giant magnetic Storm in March 1989, J. Geophys. Res., Vol.98, No. A9,15,417-15,424,1993

(技術資料 1) 岡田敏美, 早川 基, 松岡彩子, 石坂圭吾, “2-3 電界計測”, S4 群 宇宙・環境・社会, 5 編 宇宙エレクトロニクス, 電子情報通信学会知識ベースβ版, URL】
<http://member.ieice-hbkb.org/portal/>, 2011.

(技術資料 2) 岡田敏美 招待講演 “衛星搭載プローブシステムの開発による磁気圏波動の広帯域観測”, 電磁界理論研究会資料, EMT-11-139, pp.69-81, 電気学会, 2011.



鶴田研究室(相模原)にて



U.C.Berkeleyにて



ワシントン空港にて

EFD-Bを始めた頃

宇宙科学研究所 中村 正人

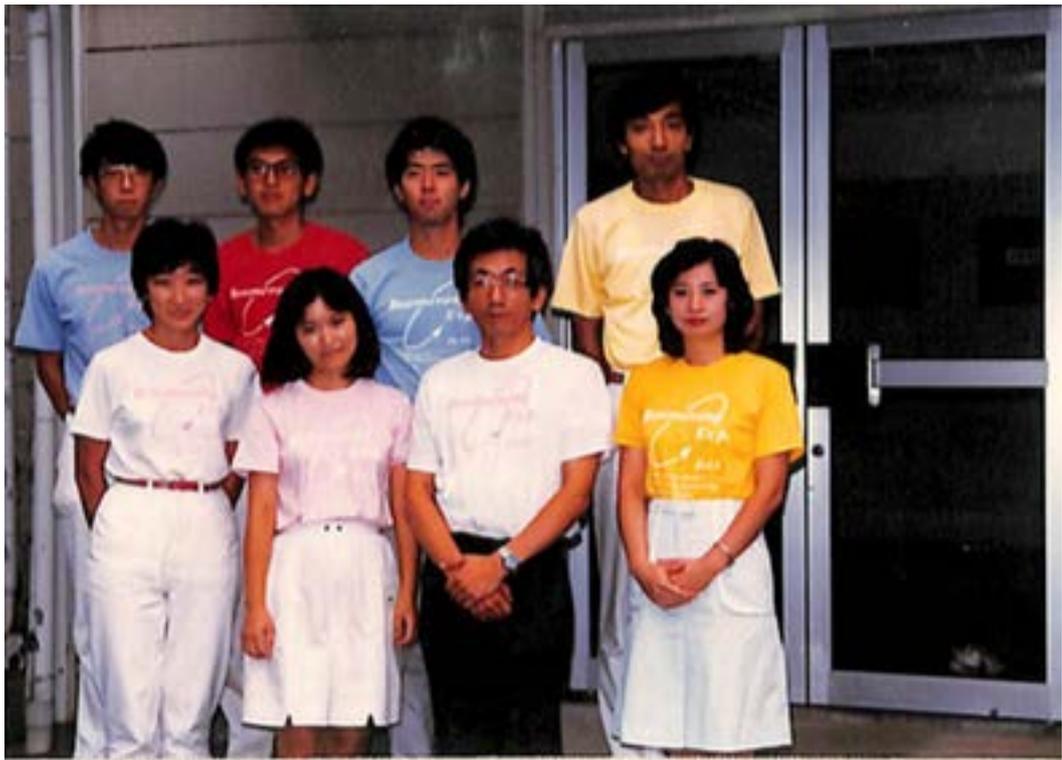
大学四年生の初夏、大学院の進学先を宇宙研にしようと考え西田先生をお訪ねしました。暫くお話しした後、西田先生が“では、君の指導に当たられる先生はこの方です”と宣言され、それまで窓際のソファでこちらに背を向けて座っておられた真っ白のワイシャツを着た方が振り向かれました。それが鶴田先生です。それから10年以上にわたってブーメラン法の開発に関わることになりました。

私は主に、このシステムのリシウムイオン銃、電子銃を担当しています。修士二年の夏にS-310-13号機で最初のブーメランの検証試験を行いました。検出器の放電により失敗、博士一年の夏にはS-520-7号機で検証試験をしましたが、この時はビームの方向を決めるために搭載していたGAからEFDに送られる信号の遅延を考慮していなかったために明後日の方向にビームを打って失敗、博士二年の冬にはK-9M-79号機で検証実験をしましたが搭載していたプロセッサ(MC68000)が飛行途中のノイズでリセットがかかり失敗、ついに結果が出ぬまま博士課程の三年に突入しました。これまでの失敗を踏まえ、冗長のため2つのシステムを積み、システムの不安定を排除すべく全て論理回路だけで組み上げられたEFD-Bは1987年の冬の日に内之浦から打ち上げられました。私は横浜の自宅で知らせを待っていましたが、打ち上げて時間もたつのに電話がありません。何時間かしてから鶴田先生から“今度はどうやら、うまく行ったようだ”との電話があり、家内と二人で胸を撫で下ろしました。コンテナに入れられていたMTが駒場に届くのの一週間、朝コンテナを空けてM180の読み取り装置にかけると、夕方には私が博士論文で使った主要な結果はバーサテックから出力されていました。(実は昼頃には大体結果が出ていたのですが、スムーズに繋がらない結果があり、早川さんと検討していて最後に、ある4ビットのデータのMSBとLSBを逆に読んでいたことが判りました。)すぐに西田先生と実験主任の河島先生に出力をもって報告に行き、河島先生は“こんなにうまく行ったのがすぐ判っていたら記者会見でもっと宣伝するのだった”と満足そうに仰っていました。

博士四年の10月に無事この結果を纏めた博士論文を通過させて頂き、その月の末にはこの技術をESAに伝達するためマックスプランク研究所に行き三年近くガーピングで過ごしました。この成果はクラスターIIでEDIシステムとして多くの成果を出しました。日本ではEXOS-Dとジオテイルに搭載されて稼働することになります。

正直に申し上げますとジオテイルでのEFD-Bは必ずしもうまく行ったとは言えません。その最大の問題はジオテイルのEFD-Bシステムが磁気圏の電場の時間変動がそれ程速くない事を前提に設計されていたことだと思います。EFD-Bのビーム方向制御はジオテイルのスピン周期(四秒)毎にフィードバックをかけており、スピン周期より速い電場の変動があるとビームを正しい方向に送り続けられません。実際には磁気圏、特にローブでの電場時間変動はもっと速かった為にEFD-Bではあまり多くの成果を挙げられませんでした。逆に電場がその様な速い時間変動成分を持つ事が理解出来たわけです。クラスターIIのEDIではこの点を克服して、多くの成果を出す事が出来ました。

最終的に大変難しい実験に加わったわけですが、この実験から私は失敗することの大切さ、そしてそれを一つずつ克服して結果を得ることの大事さを学びました。EFD-Bに関わった鶴田先生、早川さん、私は期せずして火星探査、水星探査、金星探査の責任者となりましたが、再び惑星探査の難しさ、厳しさを味わうことになります。金星探査機“あかつき”は傷つきながらも今年の12月にもう一度金星軌道投入にチャレンジします。どうか、我々がこの与えられたチャンスを活かし、また早川さんの率いるBepiColomboチームが水星において成功を収められることを祈ります。



昭和 60 年代の鶴田研究室：ブーメラン T シャツを着て



ジオテイルに搭載した EFD システム

米国ラボの駆け足視察

元 宇宙科学研究所 鶴田浩一郎、向井利典

【背景】 鶴田

いよいよジオテイル計画が動き始めた1984年の秋、私と向井さんは米国の著名な宇宙プラズマの実験室を訪ねて駆け足の旅行を試みることとなった。10日で5ヶ所の実験室を訪ねてプラズマ計測の技術的な議論をするというものであり、主役は向井さんである。

その少し前に西田先生と名古屋まで一緒したとき車中の会話で国際的にみて日本の宇宙プラズマの計測技術はどの辺にあるのだろうかということが話題に上った。その時の結論は向井さんのグループは技術的に高いものを持っているが、「自信」が必ずしも十分ではないのではないかということであった。

実力のあるグループが「自信」を付ける良い方法は外の世界も自分たちと似たり寄ったりであると知ることであろう。というわけで手始めに米国のプラズマラボを訪ねることになった。諸般の事情でわたくしも同行することになったが、皆多忙な時期で1か所に数日かける余裕は無く午後いっぱい一つのラボに当て、次の朝には次の目的地へ移動といった旅行だった。

【記録】 向井

上記のような事は或る程度推測していたが、西田先生と鶴田先生の間の話は初めて知りました。日程は以下のようにかなりハードだった。

1984年10月14日深夜 Iowa City 着 (Cedar Rapids に夜遅く着いて移動)

10/15~16 Iowa 大学 ; Lou Frank, Kent Ackerson, L. C. Lee

10/16 深夜 San Antonio 着

10/17 Southwest Research Institute (SwRI) ;

Jim Burch, Bill Gibson, David Winningham, C. S. Lin

10/18 朝 Los Alamos に移動。

10/18~19 LANL ;

David Young, S. J. Bame, Ted Fritz, Jack Gosling. Bill Feldman

10/20 Berkeley に移動。

10/22~23 UC Berkeley ; Forest Mozer, Bob Lin, Jim McFadden

10/24 Los Angeles に移動、Aerospace Corp. ; Koga, Fennell, Blake

10/25 Seattle 経由で帰国。

議論の最中はメモを取る余裕がなかったので、ホテルや移動中の飛行機の中でその日の出来事を思い出しながら書いたと記憶している。メモは1ヶ所あたり数ページ、もちろん手書きで全28ページ。ほとんどが粒子計測技術の細かい事で、センサのポンチ絵や議論のポイント、感想など。

各訪問地のサマリーページの抜粋を次ページ以降に添付するが、どんな状況だったか、お分かりいただけるでしょうか？

その前に、余談を3つほど。

- 1) 最初の訪問地アイオワ大学では、ほとんどの時間、Lou Frank がしゃべりっぱなし。最後に実験室や工作工場を見学、最上階の図書室のような所で Van Allen に紹介された。その時、かの横柄そうな Frank 教授が Van Allen の前では最敬礼していたのには驚いた。
- 2) SwRI では Hybrid IC を内作していた。回路方式が固まると、Hybrid 化するとの事。日本では難しいと思ったが、うらやましい限り。
- 3) Berkeley に着いた日は土曜日、翌日曜日もモーテルでぶらぶら。そこの主人曰く「あなた方はここに何しに来たのか？ UCLA とのフットボールゲームがまもなく始まるが、それを見に来たのではないのか？」 要するに、レンタカーがあったにもかかわらず、2 人とも出不精なのだろう。お蔭でそれまでの疲れが取れたように思う。

【感想】 鶴田

短期間の訪問など意味がないと考える向きもあるかも知れないが、実際は非常に有効であることが分かった。理由は、半日から1日なら先方も真面目に付き合ってくれる。たとえ短期間でも共通の問題を抱えている場合十分な情報の交換が可能となる。ということで凝縮した議論の時間が持てるのである。

今から30年も前の話だから私も向井さんも十分に若かったはずだけど、この旅行は結構しんどかったと記憶している。驚いたことに夕食後「こんな感じでしたかね」とその日の議論のメモを向井さんから見せられた。昼間の議論の間、彼はメモなど取っていなかったからである。向井さんは囲碁の達人だとは知っていたが記憶力のほうも抜群なのか、あるいは昼間の議論が彼の問題意識にピタッと収まっていたからか。私は後者かなと思っている。

ジオテールプロジェクトで向井さんたちのプラズマ計測機の果たした役割は非常に大きいがここで紹介した駆け足旅行もその後のプラズマグループの発展に少しは役に立ったのではないかと思っている。

No. ④
Date

• Energy Range 10...2 くらい discuss.

• HV, SV は Lee とは Ackerson とは 1/2 (design?)

例えは. SV は 400 mW.

2500V → 0V 300 msec.

(の discharge は active 1-分?)

後記
考えれば 驚かす。
e.g. 170 msec
2000 → 0V
700 mW (AVR)
1.2 W (peak)
for PLANET-A
(MATRIX)

しかし、明確では
どう?

• SA potential は ~150?

LASL は ~500 とさう。— resolution が 悪い (Frank)

• Tsuruda さん の ion emitter は 1 箇所に 5 本 集める。

• 10分 程. GEOTAIL の 2 SA の 話 を する。(Muhm)

good idea と お世辞! (特に FOV の 設定 10...)

90° spherical に は 批判 (た 40° だ ため、やめた?)

途中. PLANET-A センサ を 説明。— 1 箇所に 5 本 持つ。

又. EXOS-C の 事は lunch の 後. 話 記

G-factor は? と 質問 1 × 10⁻⁴ cm² sr 0.1 度 と 30°
CEM は 何か 4039 と 1117.
low-altitude だから、~~その~~ よい の た と いう。
我々の 同い た
と いう (Frank)

⑥ 印象

• business 10... 夢中?

• とにかく 8 hrs に わたって (セ 8 ハリ) っ 10 分 1.

非常に energish!

• Ackerson, Lee は 1/2 程度 以外 (Frank に 南) が 多い 以外
無言。Ackerson 経 験 苦 虫 は くら せ?

• Frank は Geophysist という よう だ instrument 屋!

LASL と は 仲 が 悪い。Burch と は 悪い?

日本の no competition とうら せ せ せ!

しかし、お前も 将来、competition の 対象 に なる ぞ!

と かく、今日 は、二 “き け し” があった。

I hope so と いう と。
彼 も I hope so

①

・ machine shop は物産教室に付して。

NC が全部で 4 台あり。

うち 1 台はかなり高級。

人前は 4~5 人

センサの fabrication はここでやる。

1 日半。(丸 1 日) full にき合って。

Frank は非常に友好的であつた。

~~センサ~~ Geotail ではお互いにデータを見せ合いたい
という。

心残りは。

① Ackerson や Lee ともう少し話したかったか？
Frank は始終しゃべりっぱなし。

② センサの EM/BM が見れなかった。

実験室を見わたった所を(?)

従つて、表面処理を始めた know-how について
細かい話ができなかった。

但し、回路の設計思想はよくわかった。

first-round としては成果はあつた。

今後、GEOTAIL では intercalibration 等も必要
と思うが、焦るにはあるまい。

感じとしては、sensor の optics は Frank. & Ackerson
electronics/HV は Lee が詳しい。

またまた、飛行機トラブルで真夜中に San Antonio に着く。

No. 7
Date

Sw Ri (Oct. 17)

(午前)

① SWRI の紹介があった。(Barton) 1947年設立. あと. 手廻り... ~~...~~ (E-field) & Tsuruda

② GEOTAIL の plasma instrumentation について 説明 (Mukai)

質向は FIMS について 2-3.

- E-analyzer の角度は? A. 150-160°
- M " " A. ~40°
- M-analyzer の focusing は? A. focusing はしない

逆に絞りを利用して. Mass discrimination
このほうをたつた? Angular & Mass focusing の条件はあるはずだ?
(特定の mass を選ぶと)

いずれにしても. ray tracing を早急に ~~...~~ 終らせる必要がある!!

• 視野角の 70° は自慢する程でない。

• 飛込の 60° はいい。

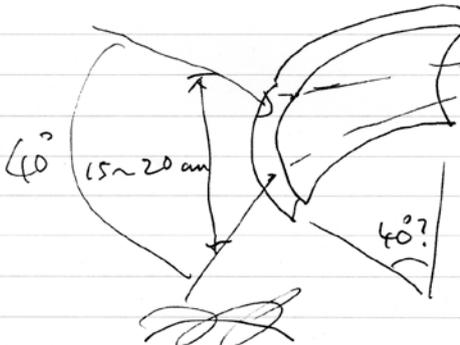
A. your paper では 30° とあったか?

いや. あれは. first version.

後でわかった事だが 40°. $G = 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ str}$ ~~...~~

Lockheed と一緒には 2. PPL と全く同じ 40° EML に.
= Bern U. と共同.

2段加速
Troidal Analyzer & E. analyzer



focusing を利用して.
MCP 上に像を作る。

total weight 22 kg!
(2つのセンサー)

• MCP の位置検出は? A. Wedge & Strip

• どうして lowest limit は 50 eV くらいか? low energy は重要!!

SwRI まとめ.

- 270° センサはきろくと論文にしておかないと、彼らも関心を持っている!
- Analyzer の設計、製作技術に関しては、あまり学ぶべき事はなかった。むしろ、electronics の hybrid 化、軽量化の方を努力している感じ。
- Cal. Facility の室はクリーン。10-G ではないが、非常にきれい。
 - 見せる為だけにきれいに片付けているのではないかと思う程。
 - or. 実際は動かしていないからか?
 - Burch は中の細かさも詳しくないみたい。
- PE-1 のデータは EXOS-D の設計に関して大いに suggestive!
Low - Energy 電子と陽子が必要がある。

人柄に対する印象

Burch : 政治家.

instr. の know-how は詳しくない。

こちらの言動に気をとられているというか! 観察しているように、逆に気落ちした。

観測器に対する設計思想は持っていない。これは

わざと話さなかった。

Winningham : 数年前に東京で見た印象がかなりふけて、技術的

的には昔の方が現役という感じだったから、"元職人"

という所は残っている。

Burch に比べて、~~無邪気~~で陽気。

C. S. Lin : 好青年。英語が日本人向き。

① ここでも、再び、才一級の扱いを受け、かえって気落ちする。

27所之感：現在の我々の instr. に対する設計・技術は彼らに遅れはない。

たが、実戦不足の為に、設計が行き届かない所がある。

(Energy Range, Life time)

早急1=すべきこと.

- focusing condition の導出.
different polar angle によること.
- ray-tracing をして. optimum deflection angle
(sphere と MA の (関数) 両方)
を見出す。—— MCP の位置 と 42° はめる。

このあたりは. どうも Ghilmetti が一手に引受けやっているとしい。
日本では誰がやるか?
かなり有能な Master 学生が必要?

LANL の印象.

Feldman, Young, Gosling, Frity

皆. 人間的には良い。親近感は今まで一番.

但し. 議論をしていると. すぐ Franke の批判に行く

の? まいった
Gosling は計算が早い。—— 3電流の式を (~2 hrs?) してやる?

Young は. 全面的に滞在中の面倒を見てくれた。

非常にカンが良く. 頭の回転が早く. 優秀.

—— ISS の下半身英語を良く理解.

Instr. に使われる discussion では一番内容があった。

かなり突っ込んだ議論となり. instructive.

特に MA.

Frank の所 (Galileo) でセンサを見たかと聞かれた。—— 政治的には NO.
の方がよい。

But 確かに見れなかった。—— Franke は見せなかったのか?

or. 無かったのか?

- MCPを使うと, BGが少くなるので!
Plastic Scintillator と anti-coincidence が必要

B.G. } 0.2 cps/cm² for channeltron ?
2~3 " for MCP

EXOS-B / GEOTAIL での BG の rejection のために
上記の検討するに何か必要がも知れない
(shield と anti-coincidence とはどうか?) — weight がどうか?

- PLANET-A を説明.

MCP の life time : 10" from Timothy's exp.
(Stanford Univ.)

Solaris av. 1: 中華/日本料理店多し。

Berkley の印象 : 皆、好意的に応対してくれた。

Carlson と会えなかったのが、Analyzer の詳細な議論
が出来なかったが、EXOS-B / GEOTAIL で使うのは
やはり難しいかも知れない。

- ① 1.5m のブームの先に付けるとすると、重量的には今の
我々の物と大差なく存在。or more weight
- ② 1.5m のブームの先に付けると、熱設計も考慮しなくてはならない。
radiation shield は anti-coincidence 2" 本等に完全に入れ
かえられるか?
- ③ wire antenna が視野内に入るのはどうしようもない。

Carlson's analyzer はすばらしい idea だが、
今までの中では、Frank がやはり一番しゃべっている、
LANL では有難いコメントを一番もらった。

まとめ. (Los Angeles → Seattle で. 思い付き)

① Plasma 計測技術.

日本のレベルも. 今の相当の所まで来ている. と逆に自信と深めたのが 全体的印象. i.e., 設計・製作に対して考慮しなければいけない点については. 我々は間違いはない. たゞ. 具体的数値については教えられる所が多かった.

① CEM life time : $\begin{cases} 10'' & \text{total counts} & \text{Frank, Lin} \\ 10'' & & \text{SWRI, LANL} \end{cases}$

② Energy Range の Coverage : $1 \text{ eV} \sim 50 \text{ keV}$

③ dry N_2 or He 封じ, venting の穴は意外に小さい.

④ B.G. 対策

$1 \text{ count/cm}^2 \text{ sec} : 1 \text{ g/cm}^2$ の Shield で

⑤ Analyser 設計思想について 再検討

我々: wide gap with collimator and slits

彼ら: narrow gap with no collimator or exit slits

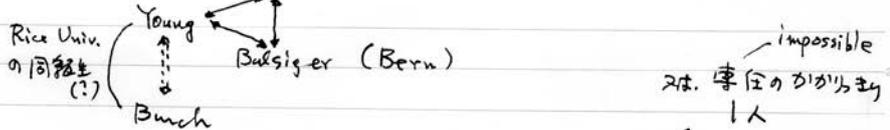
⑥ 出口スリット (CEM 入口の大きさと同じか. や大きい) には必ず mesh 付.

また. CEM にも 右の様に mesh 付

⑦ 表面処理・serration は 重要です. 特にどういふ形にするのか決める.

⑧ 回路 (含. HV) は 日本は遅れている.

⑨ Mass Spectrometer は Ghisemelli が 設計を一手に引き受けている.



我々も独自にやるとすると.

① Ray-Tracing

② Sensor Hardware

③ MCP 処理回路

} 少なくとも 3人の staff が 必要. + a few students

⑩ 米国の ISTEP の状況は極めて 凄まじい.

生きのびていくには. 1人だけではやれない.) ← 予算. 何人 幾つかの Institute で 共同製作

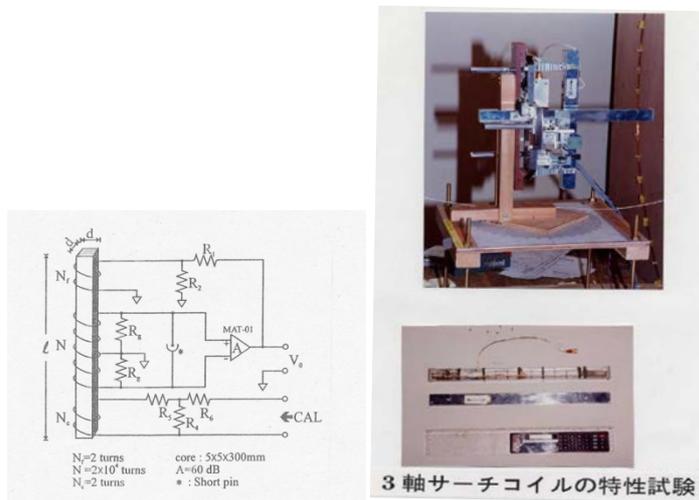
ヒヤリの思い出

元 金沢大学 長野 勇

昭和55年(1980)の秋の学会で、松本紘先生より「太陽—地球科学分野で日本も参加し衛星を打ち上げる計画がある波動観測で協力して欲しい」と打診されたことを覚えております。当時の私は、金沢大学工学部所属の駆け出しの教員で、講座のボスの許可がなく、すぐにはご返事できなかつたと思いますが、満保教授の理解も取り何よりも宇宙の研究ができる事と「ものづくり」が大好きで喜んで松本先生のお誘いを受け波動班に参加させていただきました。今振り返ると、会議や各種試験で、金沢—東京を夜行や早朝の電車等で行き来し、また京大宇治には車で幾度も通い、学生への講義は15回中少ない時でも、5—6回の休講をしていたようです。それでも許された時代でした。

さて、GEOTAILのPWI装置は松本紘先生(PI)の主導のもとで開発が始まり、多くの大学関係の方々の叡智を結集して設計され、経験豊かなメーカーの技術者のもとで製作されました。その装置開発の歴史については別稿に述べさせていただきます。ここでは、見過ごしておれば観測の致命傷になったであろうことが多々ありましたがそのうち、特に印象に残っている2件について記録に残させていただきます。

- ・サーチコイルの設計ミス

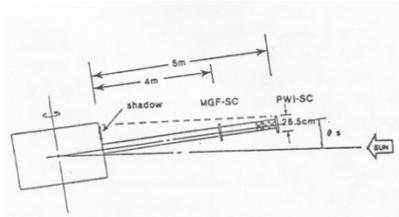


GEOTAIL 衛星には、微小磁界測定用に3軸サーチコイル搭載されております。長さ30cm、幅5mm、厚さ50ミクロンのパーマロイの板材を積層にして、2万回のコイルがまかれています。校正用に2回巻が追加されています。左は等価回路で、右は3軸の特性をシールドルームでチェックしている写真です。3軸のクロストークを測定していると、一軸に信号を入れているのもかかわらず、他の軸

からも信号が出ているのです。原因は校正（CAL）コイルを経由してクロストークが発生していることが分かりました。そこで、回路のシャントの抵抗値を下げることで解決しました。IOWA 大の Odem 氏は米国の他の衛星でも CAL 回路を用いているようで、これを見て大変助かったようです。打ち上げ後の SC 並びに電界アンテナの校正も上手くでき、何よりもコーラスエミッションの絶対強度や Poynting vector 測定で発生位置の同定ができたことは嬉しかったです。

・マストの影による磁界雑音の影響の除去

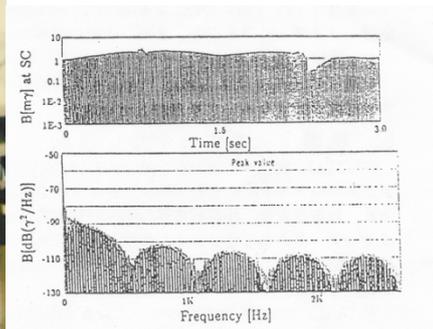
Scarf 先生は、マストの影が太陽電池を横切ることで電流が遮断され、磁場が発生し、プラズマ波動のえると指摘されましを NEC から頂き、衛星のシミュレーション置のところで雑音磁 20 dB 超えることがソーパネルの直裏側にすることで、この磁界雑音の発生を抑えた。



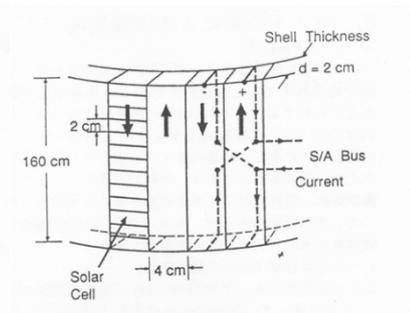
観測に重大なダメージを与た。そこで、実際の計装図面星のスピンによる磁界発生を行うとサーチコイルの設界が 5 m γ 達し、規制値を分かり、電流の帰路をソー



故 Prof.F.Sarf



Simulation 結果



改修前のパネル状の電流

その他、EMI 測定では、ヒヤリとした点は幾つかありましたが、多くのサブシステム担当者のご配慮により、概ね解決できました。

私の宇宙科学研究とジオテイル

元 京都大学 木村 磐根

この度西田篤弘先生が瑞宝重光章を御受章になりましたこと、誠におめでとうございます。この御受章を記念して「ジオテイル衛星チームの集い」を開催されることになり、私もお招待を頂きました。私は、ジオテイル衛星プロジェクトにはそれほどお役にたっていないのですが、この会を通して懐かしい方々にお会いできることを楽しみにしております。

私が京都大学工学部を卒業した 1955 年 4 月から、東京大学生産技術研究所で糸川先生がペンシルロケットの開発を開始されたとのことです。私の博士課程学生の頃に本格的な科学観測の目的をもって秋田県道川海岸でロケット実験が始まり、私はそのお手伝いの一員として参加しました。その後東京大学宇宙航空研究所が設立され、内之浦に宇宙空間観測所が完成して、日本も電離層高度以上のロケット実験ができるようになり、やがて科学衛星も可能な時代になりました。この間私も多数のロケット実験、科学衛星実験に直接参加させて頂く機会に恵まれました。京都大学を 1996 年に退職するまで、実に 40 年近くにわたり宇宙科学観測に関わる研究をさせて頂きました。私にとってその最後の大きなプロジェクトが EXOS-D とジオテイルの両衛星計画への参画でありました。

EXOS-D には直接搭載機器を載せていましたが、ジオテイルは JWG すなわち NASA との Joint Working Group のメンバーとして、日本側の観測装置の Project Scientist という役割で参加させて頂いておりました。ただ 20 数年前のことでもあり、私が具体的に何をしたかは詳細には覚えておりません。ジオテイルは米国のデルタロケットで打ち上げられる日米 2 国間の国際共同プロジェクトでもあり、大変厳しい環境条件のもとでの設計会議であったという印象です。1992 年 7 月、ジオテイル衛星がケープカナベラルから打ち上げられることになり、それを確認するためにフロリダまで出張させて頂きましたが、打ち上げが若干延期されたため、残念ながら打ち上げの瞬間を見る機会を得ずに帰国しました。

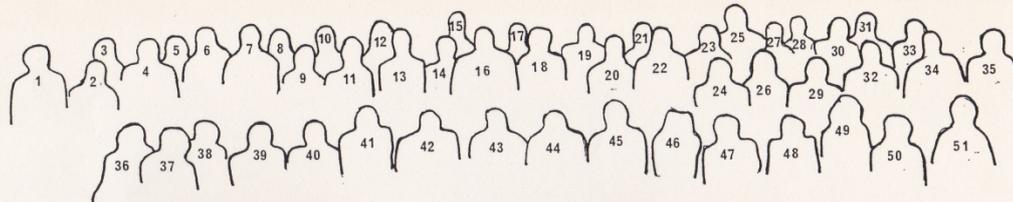
以上の様な次第で、私のジオテイルプロジェクトに対する貢献はわずかではありますが、関係する皆様方との交流は大変楽しい思い出になっています。私はジオテイルの 3 年 5 か月前に打ち上がった EXOS-D (あけぼの) の V L F 波動観測の P I として、京大退職まで 7 年余りをあけぼの衛星データ解析に集中しており、ジオテイルについては、EXOS-D 波動観測装置も設計した仲間たちの関係するプロジェクトでもありましたから、その素晴らしい観測成果を聞かせてもらって感動する毎日でした。お蔭で両衛星が共に長期間にわたりその目的を全うしたことは、宇宙科学に関わった私の人生としてこれほど幸せなことはありません。これらを通じて、直接・間接にお世話になった皆様方に厚く感謝申し上げます。

ジオテイル打ち上げの前年、1991 年 5 月 14 日の JWG の時の記念撮影を保存していましたので添付いたします。



GEOTAIL JWG MEETING

14 MAY 1991



- | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1. I. Nakatani ISAS | 2. T. Okada Toyama Univ. | 3. Bill Worrall GSFC | 4. Bill Mish GSFC | 5. Mike Callari GE / ASD |
| 6. Ron Lepping GSFC | 7. Kent Ackerson Univ. IOWA | 8. Roger Anderson Univ. IOWA | 9. S. Machida ISAS | 10. Jim Lee Univ. IOWA |
| 11. I. Kimura Kyoto Univ. | 12. Sue Bailey GSFC | 13. K. Shiokawa STE Lab. | 14. Y. Omura Kyoto Univ. | 15. M. Adachi NEC |
| 16. Bob Callens GSFC | 17. Steve Wolfe JPL | 18. Dario Galoppo GSFC | 19. Bob Sanford GSFC | 20. P. Ambardekar GSFC / CSC |
| 21. Joe Goodwin JPL | 22. Rusty Whitman GSFC / CSC | 23. M. Kamimura NEC | 24. J. Ishida NEC | 25. T. Obara ISAS |
| 26. M. Kawaguchi NEC | 27. A. Kimura NEC | 28. S. Umeda Fujitsu | 29. M. Kojima Fujitsu | 30. T. Ichikawa ISAS |
| 31. H. Kosaka Fujitsu | 32. M. Hashimoto ISAS | 33. M. Moriya Fujitsu | 34. K. Inoue ISAS | 35. M. Tsutsui Kyoto Univ. |
| 36. T. Terasawa Kyoto Univ. | 37. H. Matsumoto Kyoto Univ. | 38. T. Mukai ISAS | 39. T. Yamamoto Tokyo Univ. | 40. K. Uesugi ISAS |
| 41. Mac Grant GSFC | 42. Don Miller GSFC | 43. A. Nishida ISAS | 44. Mike Calabrese NASA HQ | 45. Dick McEntire APL |
| 46. M. Kawano NEC | 47. T. Tohma NEC | 48. K. Yokoyama ISAS | 49. N. Nishigori Fujitsu | 50. T. Torchi Fujitsu |
| 51. M. Nakamura ISAS | | | | |

磁気圏記 「EXOSからOPEN-J」

元 NEC 原 宏徳

この度、西田先生が瑞宝重光章を受けられ、「ジオテイル衛星の集い」にお誘い頂いた時、三つの記憶が長い歳月の深淵から蘇ってきました。

まず現れたのは、1985年、当時、GEOTAIL衛星はスペースシャトルからPAM-Dなるキックロケットモータで軌道投入される計画であったので、4月、NASAの皆さんと先生方が第一回の協議中、当時のNEC横浜事業場に来られ、更に12月には、西田、二宮、上杉の各先生とともに、NEC 6名の技術者を率いてNASAの各センターを訪問し第二回の協議を行った時の光景でした（写真参照）。その各シーンの所々が今でもはっきりと目に浮かんでくるのです。

二つ目は1981年、当時はハレーすい星探査のプロジェクトに取り掛かって間もないころ課題山積のプロジェクトに振り回され必死に飛び回っていたにもかかわらず、一陣の涼風のように「OPEN-J」と云う言葉が現れてきました。振り返れば、それまでの科学衛星の中で私が最も責任を持ち、そして最も愛したEXOS-B（じきけん）、その領域の計画ではないか、これもやってみたい、そう感じたのが鮮明に思い出されました。

三つ目は1987年、EXOS-D、OPEN-J計画の内の重要な一機、西田先生、鶴田先生始め大勢の先生方に大変なご心配をおかけした輸入ICのリード仕上げのトラブル、当時、信頼性保証、信頼性管理万能の風潮が支配的な中、技術判断がギリギリまで試された案件でした。相手の技術者と徹底した議論、その結果を信頼しての再処理、裏付けの試験、それでGOをかけて下さった先生方の判断、今でも目に浮かびます。

EXOS-Dは無事打ち上げられミッション達成。このころから私は宇宙ステーション計画の方に専念、後輩たちの手で完成したジオテイル衛星はデルタロケットで無事打ち上げられたのですね。その成果がこうして評価された、こんなうれしいことはありません。



(1985年12月、ケネディスペースセンターにて)

ISAS 流 OR NASA 流

元 NEC 山本東光

GEOTAIL のプロジェクトは私が参画した宇宙科学研究所の最後のプロジェクトでしたが途中で他の業務を担当することになり残念ながらプロジェクトを外れてしまいました。この計画がスタートした時期ははっきり覚えてはおりません。恐らく今から 30 年位前であろうと思えます。従って記憶も大分曖昧なため、これから書くことは正確さに欠け、誤りもあるかもしれませんがご容赦のほどお願いいたします。

私自身は宇宙研の科学衛星プロジェクトに多く参加し、主にシステム設計、プロジェクトマネージメントを担当してきました。

GEOTAIL に関してはシステム設計は主に若い技術者に任せ、主にプロジェクトマネージメント面、システムマネージメントに携わっていました。

このような立場上、宇宙研と NASA との各種会議に参加する機会も多くあり、米国出張の機会も多々ありました。余談ですが私の記憶が間違っていなければ NASA との会議の折、組立棟 (VAB?) に収められていた大きな図体のスペースシャトル (当初 GEOTAIL はシャトル打ち上げであったので) を間近で見学する機会を得ることができたのは得難い体験でした。

GEOTAIL プロジェクトはご承知のとおり太陽地球系物理学国際共同観測 (ISTP : International Solar Terrestrial Physics Program) の一環を構成する衛星です。衛星開発は宇宙研が中心となり、衛星搭載の観測機器の一部と打ち上げを NASA が担当する日米協力のプロジェクトでした。

宇宙研と NASA には宇宙開発に対する設計管理システムに大きな差があります。

宇宙研は実質主義、書類は最小限、NASA は手順書重視、文書記録を重視といった特徴があります。

宇宙研がこのような手法をとれたのは宇宙研、民間の関係技術者が経験豊富で設計会議等で技術情報を共有していたこと、またその技術が後継者に継承できるようにプロジェクトが継続されてきたことよると考えております。このため書類は重要事項を除き必要最小限で済んだと思っています。

一方 NASA は管理手法が細かく規定されており、なんでも文書に残し、他の人がトレースできることを求めています。これは転職が多い技術関係者などに異動があっても手順書、文書記録などによりトレーサビリティを可能とし、開発を推進することができるようにしたためでしょう。

NASA には膨大な手順書、管理規定がありますが、私が後に他のプロジェクトで経験したのですが、米国の技術者は仕様書に規定されていても実際に手順書、規定は見たこともないし、その存在すら知らなかったというケースもありました。また過去に開発された機器の試験に際し残された試験手順書を用いているのですが、なぜそのようなスペック、そのような方法で試験するのか理解せず、誤った結果を取得していることを経験しました。もっともこのような私の経験はわずかなものであり米国流のすべてではないということをお断りしておきます。

このような ISAS 流の手法は NASA 側としては問題があると考えていたようで、随分 NASA と議論したように記憶しております。細かい経緯は昔のことなので覚えておりませんが、最終的に

はプロジェクトを主導していた西田先生、上杉先生、中谷先生などが、数多くの実績がある ISAS 流の管理手法で開発を進めることを強く主張され、NASA 側も多分渋々 (?) 納得したのではないかと考えています。

もっとも NASA 側のプロジェクト担当者も頭が柔らかかであったこともこのような結論になった要因でしょう。

メーカー側としては従来の方法で開発を進めることができたのは非常にありがたいことでありました。また米国の PI 担当者も面倒なことが少ない実質主義的かつ合理的な ISAS 流を歓迎していたようです。

当初計画通りシャトル打ち上げであったなら安全管理などの面では NASA 流の面倒な手順は避けて通れないことになっていたでしょう。

ISAS 流の開発手法をベースとし 1992 年の打ち上げ以来 GEOTAIL が未だに動作し続けていることは関係者の努力が実を結んだ結果です。

ISAS 流と GEOTAIL プロジェクト関係者に乾杯！

おわりに西田先生から GEOTAIL の打ち上げには是非来るようにとご招待 (顎足なし) いただきましたが諸般の事情で参加できなかったことを未だに残念に思っております。

GEOTAIL の思いで

元 NEC 折井 武

1. GEOTAIL の開発担当企業として NEC が選定され、社内プロマネとして 1985 年度から概念設計作業を担った。概念設計作業を進めるうえで 5 つの大きな課題があり、それらを含めたシステム設計に科学衛星システム担当者が総力を挙げて奮闘した。

- (1) 重量約 1 トンの日本最大の科学衛星開発実現のため、燃料約 360Kg を搭載できる 4 個の RCS 大型燃料タンク実装を可能にする構造（スラストチューブとダブルフラットデッキ構造）様式とハンドリング方法
- (2) ダブル・ルナー・スイングバイ軌道と磁気圏尾部観測を可能にする最大約 2 時間の日陰に耐える熱制御方式
- (3) 50m のワイヤーアンテナ 2 本・6m の伸展マスト 2 個の搭載と日照時に生じる伸展物の影による太陽電池発生電力減少対策と最大約 2 時間の日陰でも観測可能な電力確保の方法
- (4) 微弱な地球磁場観測をする電場・磁場観測機器への EMC 対策
- (5) スペースシャトルでの打上げ（後にデルタ II ロケットに変更）に適用される Safety Policy and Requirements への対応

その年（1985 年）の 10 月に日本で NASA・ISAS の合同会議が開催され、その一環として NASA・ISAS の主要関係者が NEC 横浜事業所を視察され（写真 1 参照）、これまで経験したことのない大プロジェクトであり身の引き締まる思いをした。



写真 1 NEC 横浜事業所 正門玄関にて

翌年の 1986 年から EM 設計、1988 年から構造モデル設計と熱モデル設計を開始し、その結果を反映して、1989 年から FM 設計を 1990 年から 1991 年にかけて製作・噛み合わせ試験・単

体環境試験・総合試験を実施した。その間 NASA との種々の会議に ISAS の先生方と参加したが、時には困難な課題に直面したものの先生の粘り強い交渉力で一つ一つ克服して行けたことを思い出される。(写真2、写真3参照)



写真2 ISAS/NASA 合同会議(1988年11月9日) 会議終了後の上杉先生のおどけた姿



写真3 ISAS/NASA 合同会議(1989年12月20日)Goddard Space Flight Center にて

総合試験終了後に大型ジャンボ機で米国 KSC へ輸送たあと 1992 年 7 月 24 日にデルタ II ロケットで打上げられた。特に米国 KSC での射場作業においては、当社の多くの関係者が長期出張しかつ不規則な時間勤務となることから、当社の勤労部や労働組合との協議・調整に苦労した。また、当社としても初の海外射場での実務作業を行うことから、下記の 3 つのことを厳守するよう「射場作業業務管理マニュアル」にも記載し安全教育・安全作業に努めた。

- (1) NEC マンとして又日本人として恥ずかしくないような行動をとること。
- (2) NASA などの外国組織及び ISAS・他企業等の共同作業でありチームワークを重要視しスムーズな運営に努めること。
- (3) 現地規則の順守は無論であるが、Cape Canaveral Air Force Station(CCAFS)で作業を行っているとの認識を常に持つこと。

GEOTAIL がいよいよ打上げられる時期に会社の幹部をエスコートして、射場を訪れた。その訪問の最大のミッションの一つは、寒川神社で打上げ成功祈願をした時に、神社から授かったお札とお神酒を米国 KSC 現地の事務所にお祭りし、打上げ成功を願って、セレモニーを実施することだった。西田先生、上杉先生の了解をいただき打上げ前日に日本式のセレモニーを行った。現地の方々も大変興味を持ってもらい参加もいただいたので、日本と米国との交流に一役立った

のではと思っている。(写真4参照)

衛星が無事に打上げられ現地での撤収作業を終了し、関係者全員が元気で帰国したことを見届けて初めて、安心して眠ることが出来たことを思い出す。

翌年には、大変お世話になった Mac Grant さんと Bob Callens さんからカードをいただき大切にしている。(写真5参照)



写真4 米国 KSC でのセレモニー風景



写真5 Happy New Year カード

2. Despin Control System(DCS)の Antenna Drive Mechanism (ADM) の DC Brushless Motor にとっても苦労した。モータの回転音が徐々に大きくなり、回転トルクも変動する事象に悩まされた。総合試験中にその懸念が出たため、製造元の米国 Ball 社に ADM を送り原因を追究するよう依頼。当社からも技術者を送り究明に取り組んだが、Ball 社はモータ内のセパレータが時間とともに少し変形し側面と接触していると推測されるが、この現象はこれまで出荷した製品にもあり、正常に作動していることから不具合性はないとの見解であった。当社だけでは判断できずに ISAS の協力を得た。西田先生・上杉先生・中谷先生のご尽力により NASA や米国大学関係者の支援もいただき、1991年12月中旬の Xmas 時期でもあったが原因調査費用交渉で米国デンバーの Ball 社に訪問していた私と回転音の確認と判断をして頂くために急遽渡米いただいた橋本(正)先生と合流し(とても心強かった) Ball 社と再交渉した。その結果さらに詳細に原因追究(分解含む)することで Ball 社が了解した。打上げ後長期間 ADM が作動しているのでこの対応・処置が良かったと思っている。そして、Ball 社のエンジニア魂と良心、ISAS の総合力(人脈を含む)の高さを改めて再認識したことを思い出す。

NASA の愉快的仲間たち

(ISAS ニュース 1995 年 1 月号、No.166 号より一部改訂して転載)

元 宇宙科学研究所 中谷一郎

GEOTAIL 衛星を通して、実に多くのアメリカの人たちと付き合うことになりました。NASA の 3 つのセンター、ヘッドクォーター、研究所、大学などの友人を数えてみると、顔を思い出すだけでも 50 人以上になります。打合せで議論をした人を含めるとたぶん 100 人を越えるでしょう。

とくに、NASA のゴダード飛行センターの ISTP オフィスとは格別親しくなりました。ここのシステムマネージャーの Mac Grant 氏に筆者が送った電子メールの数は 1500 本を越えています。彼と連日、技術情報を交換しながら、面白いことに気づきました。

電子メールをうまく使うと彼の地と当地との時差のために、大変能率のよい作業が可能になります。すなわち当方が、朝、オフィスに出てみると、Mac から技術上の厄介な質問が来ているのが普通で、これに対して一日かけて検討して、その結果を帰宅する前にコンピュータ端末にたたき込みます。併せてこちらからの質問も加えてメールにして送ります。ちょうど筆者が帰宅する頃、Mac が彼の地で、出勤し、当方の回答と質問を読むことになる訳です。彼は質問に関して(当方が夜寝ている間に)一日かけて検討し、彼の帰宅前に同じく 回答と質問を当方に送り出します。

かくして、昼夜が逆の地球上の 2 つの地点で 2 シフトの「徹夜の検討」が続くことになります。毎朝、出勤直後に "Dear Ichiro" で始まる Mac のレターを読み、毎晩、帰宅直前に "Dear Mac" で始まるレターを書くのが、すっかり習慣となりました。当方が出張で 2、3 日メールをサボると Mac からは、病気ではないかと安否を気遣うレターが来始め、一週間も黙っていると、入院でもしたかと、宇宙研の他の人に問い合わせが来ます。

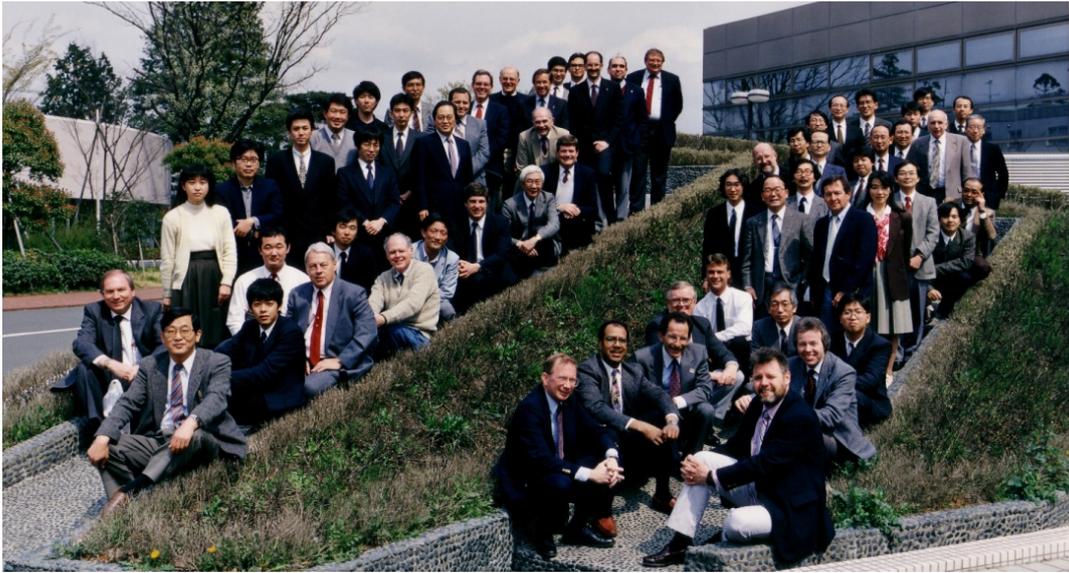
無味乾燥な技術情報の交換の合間には、日常のちょっとした、出来事を知らせたり、冗談を言い合うのが常で、Mac のアメリカ流のセンス溢れるユーモアを大いに楽しみました。

ある年の 4 月 1 日に、私から Mac に宛てたメールで、「当方は、6 ヶ月の休暇をとって、家族と南フランスで暮らすため、明日から連絡がとれなくなるが、悪しからず」という、冗談を送ったことがあります。テキもさるもの、「私も妻と参加するから待っていてほしいとの平然とした返事。

ところが後で聞くと、実は私のメッセージの直後、ISTP のオフィスは、パニックになり、だれかがエイプリルフールに気づくまで、今後のプロジェクトの進め方に関して、かなり深刻な会議をしたということ、これも電子メールの常連 Bob Callens という気のいい男が漏らしてくれました。私は一人で笑い転げた次第。

GEOTAIL 衛星の日米両グループにとっては、日米間で大問題になっていた貿易摩擦とも無関係に楽しい付き合いをすることができ、ささやかな異文化交流を果たせたことは望外の幸せでした。

今にして思うと、日米のメンバがお互いを深く知るにつれてしっかりした相互信頼が形成されたことが、GEOTAIL 成功を支える一つの柱になったような気がします。それで思い出すのは、NASA ケネディー宇宙センターで、3 ヶ月にわたる GEOTAIL 打ち上げ準備作業の面倒をみてくれた Larry Kruse 氏の言葉です。「今まで、国内外のいろいろな衛星打ち上げに付き合ってきたけれど、GEOTAIL のチームがベストだった。」Larry は、「射場支援主任」という肩書で、米国やヨーロッパのいくつかの衛星打ち上げに関与してきたのですが、私たちのチームを高く評価してくれた様子。彼の言葉はお世辞ではなかったと思います。



年に2回に日米交互に開催していた、ISAS-NASA 共同作業部会 (JWG) の集合写真
(この写真は 1992 年 4 月 14 日、射場輸送前の JWG@相模原)

私の育った場所

(本文は「日本の宇宙空間観測の半世紀」より転載)

NEC 安達 昌紀

僅かではありますが、宇宙空間観測の輝かしい歴史に関われたことを誇りに思うと共に感謝の気持ちで一杯です。私が構造屋として日本電気に入社し最初に担当した衛星が GEOTAIL でした。スペースシャトルで打上予定の衛星で、生まれて初めてパスポートを持ちました。その後チャレンジャー事故が起き、ロケット打上げに変わり、上杉先生と御相談し搭載燃料増を目的としてタンクや衛星外形を一回り大きくすることとなりました。衛星重量をわざわざ増やした経験のある人はなかなかいないと思います。構造屋として全ての搭載部品の取付位置は俺が決めたという自負もあり、システムに受渡した時はまるで娘を嫁に出した気分でした（実際はまだですが）。

その後は、構造屋+窒素パージ担当として射場作業チームに潜り込み、ケープカナベラル空軍基地での作業に参加しました。空軍基地ではクリーンルームはライフルを持った兵士に守られており、NASA 職員のエスコートが必須でした。NASA の衛星/PAM-D（上段モータ）取付作業が捗らず、見かねた日本のハンドリングチームが10分で取付けを完了して見せたことは自慢の一つです（写真）。



衛星が整備塔へと移動しパージ作業の開始です。約束通り整備塔上部フロア「レベル6」に、純度99.999%の窒素ボンベ（通称Kボトル）が置かれていました。それからです、数日に一度、屈強な男たちが一人一本Kボトルをハガイ締めにして階段を9Fまで歩いて登る姿を見かけるようになったのは！（人力だったのか！）

1992年7月24日、たった1秒間の初日のロンチウィンドウに衛星が紺碧の空に打ち上がりました。打上げ後の作業報告に衛星代表で出席された上杉先生から「アパッチ（私の射場でのあだ名）のKボトルは全員無事だと報告されていたぞ」と伝えられ、感激しました。全ての射場作業が完了し日本へ帰国。ちょうどパスポートが切れました。

その射場作業中に構造部門からシステム部門への異動が言い渡されており、帰国後私を待っていたのが「のぞみ」でした。構造屋の時とは比べ物にならないほど長い期間を一緒に過ごした「のぞみ」は、幾多の困難を共に生き抜いた「歴戦の同士」でした。1998年のマスタスケジュールは1月分から土曜日がなく、今度は涙が出るほど苦しんで軽量化と格闘していました。そして打上げ当日。ランチャを見物できる構造屋をうらやんでいると、フライトモード設定後、先生方が「安達君、衛星見てこいよ」とおっしゃってくれました。5分間だけ時間を頂き、テレメータセンタを出て、漆黒の闇に照らされロンチ角に傾斜した美しいM-Vをしっかりと目に焼きつけました。

「のぞみ」が打上がりました。7月4日日曜日朝3時12分。私にとってはまた初日打上げ成功です。前夜7時から作業が始まっていました。昼寝をして臨むつもりでしたが真夏の内之浦では無理でした。軌道速報が出るまで仮眠し始めましたが、DSNで受信できていないとすぐ起こされました。設定間違いだったのですが、もう軌道速報入手の時間です。結果はまさかの「要減速」！衛星が軽量化で苦しんでいたのがロケットが頑張ったのでしょうか。故木村さんの立てた ΔV 計画を急いで運用計画に落とし込み、衛星入感を迎えました。全て正常の喜びも束の間、いきなりの姿勢決定・180度マヌーバ・2液エンジンで減速 ΔV 。まだ校正もしてないのに。午後11時、無事、月の向こうまで行く長楕円軌道に投入し、初日の運用が終了しました。28時間連続作業を共に乗り切った早川先生と思わず「初日で打上がって本当に良かった！」。その後の「のぞみ」の運命は皆さんご承知の通りです。今でも火星を眺めると「のぞみ」を思い出します。

本当に多くの方々に叱咤激励されながら、メーカーの仕事というものを超え、人間として成長させて頂きました。「宇宙空間観測半世紀」おめでとうございます。

～ GEOTAIL の想いで ～



生まれて初めての海外出張(1987-9)



構造屋なので何もわかってませんが..



米国での週末 NEC の仲間と



打上げ直後、涙の祝杯



スーツ着用と騙された挙句に、プール投入の手荒な祝福

Geotail と富士通（実は...）

富士通株式会社

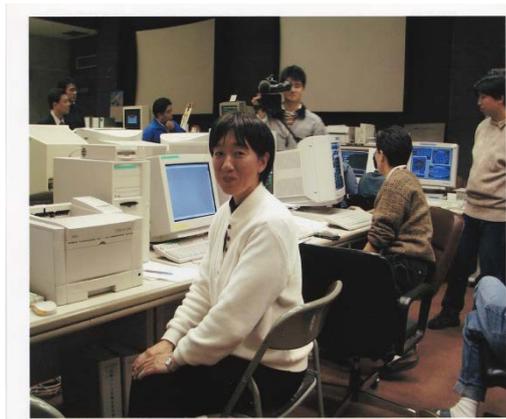
文責：森屋光弘、情報提供：西郡直実、検閲・校正：遠地卓二

Geotail が打ち上げられた 1992 年 7 月、そのころの私は運よく管理職候補として推薦されたものの諸先輩方からの強烈な助言が人格を否定されているかの如く感じられ、鬱寸前のさえない日々を送っていた。プロジェクトそのものは宇宙研の皆さまに助けられて何とか乗り切ることができ、オープン化時代の先がけとなるチャレンジングなシステム開発として、皆さまとの様々な思い出・エピソードと共に、富士通にとっても記念碑的プロジェクトとなった。

さて時は少しばかり遡り、昭和の終わり。私ども（この時の課長は栗竹さん）は西田先生のお部屋に日参していた。OPEN-J から Geotail へとプロジェクト呼称も変わった頃、衛星管制系・P I データ処理向けの新システム提案だ。貴公子西田先生は富士通のコスト削減作戦を知ってか知らずか、汎用機に加えて UNIX-WS (Sun4/1 等) を採用したオープン、クラサバもどきのシステム提案をほぼ満額で採択して下さいました。宇宙研プロジェクトとしては空前絶後の総計約 3 億円を受注できたのである。

だが、提案はしてみたものの実際のところ UNIX だとかシェルなんてシステムの構築実績は皆無に近い。いざ PI の先生方との会議になると、既に UNIX ユーザであった松本先生はじめ京大の先生方にタジタジという IT メーカー技術者にあるまじき体たらくであった。また、高速デジタル回線による局間データ伝送では、TCP/IP でのリアルタイム伝送を実現するための DMIX チューニングに四苦八苦した。こちらは周東さんの助けで何とか試験運用を切り抜けることができた。

工学の中谷先生からは AI 技術導入という難問が出された。私どもからの提案は A4 用紙 1 枚程度のものであったと記憶している。今思えば何て雑な仕事をしてきたのだろうと恥じ入るばかりだが、当時業界ではエキスパートシステムがもてはやされていたこともあり AI ツールを持っていたわが



社に要請がきて有頂天になった。これが中谷先生に ISACS(Intelligent Satellite Control Software) と命名していただいたコマンド計画立案・異常診断システムである。ISACS はその後更に進化し、-PLN と-DOC の 2 本立てで現在に至る。ただ、PLN の開発には悪戦苦闘。運用に入ってもトラブル続出で向井先生、篠原先生他多くの関係者にご迷惑をお掛けすることになった。一方、DOCの方は橋本(正)先生におんぶに抱っこ。衛星を作っていない富士通に対して日電さんを巻き込んで

で一つ一つ丁寧にレクチャいただいた。

ISACS では想定外の開発費用に悩まされた。どうしたか。ISACS は近い将来 NASDA でも適用できるとして当時の富士通宇宙開発推進室(富士通も衛星搭載機器開発をやっていた時代がありました)から研究開発目的ということで、確か 3 年間に約 1 億円もの開発費用を付けてもらった。このお金が当てにできなくなってから、富士通は金をくれ、と宇宙研に言い出す。いよいよ遠地さんの本格的出番。その甲斐あって、年度末に向けて先生方からは幾つもの品目の中から少しずつ私どもに割いていただいた。本当に有り難かった。

他にも書けばきりがないが、こうして宇宙研の皆さまの助けで何とか開発を終えることができた。宇宙研さんのプロジェクト推進ポリシーは”良いものを効率よく作る”ということに尽きると思う。お客さまとメーカーという関係とか規則、手続きといった建前は常に二の次であり、我々も余計なことに煩わされることなく物作りに集中することができた。それに先生方の超人的頑張りを目の当たりにして、我々も常にそれに負けちゃいけないという気持ちにさせられていた。この伝統が脈々と今に引き継がれて、「はやぶさ」の成功を始めとする宇宙研さんの世界に誇る数々の成果が産み出されてきていると思う。

Geotail という初の宇宙研主導の国際プロジェクトに携わせて頂いたことは本当に光栄であり、その後の私たちの大きな財産となっている。最後に今後の宇宙研さんの益々の発展を祈念して筆を置きます。本当に有り難うございました。

以上

Geotail と富士通（実は・・・）／ゴダード初出張の巻

元 富士通 西郡直実

先日の「ジオテイル衛星チームの集い」、大変楽しく過ごさせていただきました。既に宇宙研さんの仕事から離れて久しい私のような者までいつまでもお心に留めていただき本当にありがたく思っています。あの日（1月17日）は特に、前日付けで東京での勤めにピリオドを打ち、月曜日（19日）から新しく千葉の会社に移るというタイミングでもありましたので、私にとってはとても思い出に残る集まりとなりました。



前置きはこのぐらいにして、私の中ではGeotailプロジェクト一番の思い出となっているNASA初訪問の一席にお付き合いをお願いしたいと思います。

時は1990年9月。Geotailの観測データが、ISTPの一番手として研究者間で共有されることになり、ISTP観測データの取りまとめを担うCDHF担当者とデータ交換インタフェース調整を行うことを目的に、小原先生に同行し富士通からは梅田、相馬、西郡の3名がNASA/GSFCを訪問することになりました。その時の、赤っ恥あり、冷汗あり、ちょっぴり涙ありのほろ苦くも懐かしい思い出です。



何しろ、あの憧れの"NASA"に行けるということで、出張が決まった時から興奮しっぱなしでした。いざ到着して早速ゴダードの正面玄関で記念の一枚をパチリ！遂にNASAにやってきた！我が人生の記念すべき瞬間だわ！と、ボルテージは最高潮。何とも言えない幸せな気持ちに満たされたことが昨日の事の様に思い出されます。自分の名前が書かれた入館証は今でも大切に保管しています(笑)。まさにミーハーそのもので、肝心の仕事の方はというと、初っ端、

NASA、ISAS各位、それにNECさんはじめメーカーからの出席者も含めて30人位だったでしょうか、全員が一堂に会するミーティングで、一言ずつ自己紹介することになりました。もちろん英語でやるわけですから、もう自分の番が回ってくるまで緊張で心臓が破裂してしまいそうでした。いざ自分の番になって「My name is Naomi Nishigori. I'm a "manager" of ISAS ground data system.」と元気よく自己紹介したまではよかったです。周りの人たちは何故か一様に怪訝な面持ち。私は運動部のマネージャさんくらいの感覚で使ったのですが、何という無知さ加減。後でmanagerの正しい使い方を教えてもらい、恥ずかしさで穴にも入りたい気持ちでした。万事がこの調子で、討議テーマ毎に分かれた地上系I/F調整ミーティングでも、ISAS地上系システムについて怪しげな英語で冷や汗かきつつプレゼンテーションしたことがほろ苦くまた懐かしい思い出として残っております。若さ故の、恐いもの知らずの強行突破そのものでした。その一方で、暇を見てはゴダード施設内の売店でNASAグッズを買い占めんばかりにあさっておりました。売店のおばちゃんに呆れられましたが、今となっては手に入らないNASA旧ロゴ入りコーヒーカップが私の宝物です(百年後には「何でも鑑定団」に出せる?)。



さて、ミーティングの合間に小原先生にワシントン D.C.に連れて行って頂いた時のこと。さっきまで隣にいたはずの梅田・相馬両氏の姿がない……。てっきりはぐれてしまったとあわてて小原先生と一緒に必死になって探し回ったのですが、どこにも……。途方に暮れていた所、しばらくして二人が大きな買い物袋を下げて意気揚々と現れた時には、思わず涙があふれ出しました。ご心配をおかけした小原先生に申し訳ない気持ちと、無事に戻ってきた安堵感と、勝手な振る舞いをした二人への憤り（これが一番？）と……。何はともあれ何事もなく無事でよかったです。

以上、珍道中初 NASA 出張のお粗末でしたが、Geotail プロジェクトに参加させて頂いたお蔭で大変貴重な経験をさせてもらうことができ、心から感謝しております。大学卒業後のハレーミッションから Geotail プロジェクトに至る約 10 年間は私の青春そのもの（それにしてもあの頃は本当に宇宙研命だったなー！）であり、その後の人生における何物にも代え難い大きな財産となりました。

Geotail もまだまだ元気で働いているようです。Geotail チームの皆さまもそれに負けないように益々お元気で活躍されることをお祈り申しあげて、私のどうでもいい思い出話のまとめとさせていただきます。ありがとうございました。

Geotail もまだまだ元気で働いているようです。Geotail チームの皆さまもそれに負けないように益々お元気で活躍されることをお祈り申しあげて、私のどうでもいい思い出話のまとめとさせていただきます。ありがとうございました。



おもしろかったなあ、GEOTAIL

京都大学 小嶋 浩嗣

GEOTAIL についてなにか一言で僕の感想をまとめなさい、と、いわれたら、この表題に尽きます。本当におもしろかった。今の若い人達には信じられないかもしれませんが、僕は修士課程までは計算機シミュレーションをしていました。アルフヴェンモードの非線形不安定性やイオンのピッチ角散乱の研究をしていました。博士課程に進学の予定でしたが、「GEOTAIL を担当して欲しい。そのためには就職しなさい」という松本先生の指示により、修士を終えて助手に採用していただきました。「GEOTAIL やります!」という挨拶のために、宇宙研に行き、西田先生、鶴田先生、向井先生のお部屋を訪ねてまわったのがついこの間のような気がします。

もともと GEOTAIL の仕事を最初から楽しんでいただけではありません。もともと電子工作などはしていましたが、ハードウェアに対する知識は実用レベルに達していませんでした。松本先生から「読んで勉強するように」と、GEOTAIL プラズマ波動観測器(PWI)の資料を「ドンっ」と目の前に置かれたのですが、中身はちんぷんかんぷん、で困ってしまいました。最初のうちは、その資料や時々長野先生から送られてくる FAX や郵便の資料を横目でみながら、修士課程の延長の仕事の方に時間を多く割いていたと思います。それでもわかる人にはわかったみたいで、松本先生の秘書をしておられた三輪さんから「GEOTAIL を避けてない?」と指摘され、「鋭い!」と感服し、気合いを入れ直して取り組み始めた次第でした。そしてちょうど当時、米国長期出張から戻ってこられた筒井先生が、いっしょに PWI を担当していただけることになり、長野先生とともに現場でいろいろと教えていただきました。橋本先生からは、GSE も引き継ぎさせていただきました。もともと松本先生からは、「現場で、耳や目で衛星やプラズマ波動観測器のことを勉強していきなさい」と、言われていましたが、まさにそのような感じでした。

ようやく GEOTAIL のこと、PWI のことが理解できるようになって衛星開発の現場を楽しめるようになるのには1年くらいかかったように思います。僕が入ったのは、ちょうど Engineering model が終わって Flight model の設計が始まる頃でしたが、明星電気へ、そして、総合試験が始まってからは宇宙研へ、と通いました。土曜日まで宇宙研にいて、日曜日の始発で京都に戻り、研究室の仕事をして、日曜日の最終で宇宙研に戻るといった生活が続きました。宇宙研 C 棟に



昔はおおらかでした.... GEOTAIL FM 試験の最中にて(System EMC の後ですね).....

入っていくと、山本(達)さんや早川さんに「足、はえてるか?」(生きているか?という意味)と聞かれたものでした。GEOTAIL から本格的に始まった EMC(電磁適合性)の試験も担当し、本当に明けても暮れても GEOTAIL。GEOTAIL とともに僕の 20 代後半は暮れていったという感じです。でも若かったですね。今から思えば断然元気に活動していました。色々な経験をさせてもらいました。NASA での最終試験にも参加できましたし、大学の

中だけにいたのではわからないメーカーの皆さんの仕事に対する姿勢も勉強になりました。故 **Roger Anderson** を始めとする米国の研究者・技術者と交流できたのも **GEOTAIL** ならではの、でした。打ち上げ後、岡田先生と見守った **PWI** の最初の電源 **ON** は感動的でした。また、サーチコイルのマスト伸展が途中で止まってしまい、全伸展が完了するのに 1 ヶ月かかったことも今となれば良い思い出です。伸展が無事に完了した時には、運用室で松岡さんが、だるまをもってきていただけ、目をいれさせてもらいました。このサーチコイルマストが無事伸展完了した、その晩、上杉先生が向井先生の肩に手をかけながら、「これで **GEOTAIL** も外見は整った。次は **LEP** だ」と、言われていたのを覚えています。その **LEP** も 1 年後に無事に復活しました。日米の **PI** が **A** 棟会議室に集まって行った **LEP** 復活オペレーション実行に対する採決の様子やオペレーションが無事に終わって **LEP** がリセットされていることがわかった時に向井先生と握手を交わしたのも良い思い出です。この歳になって中学や高校で講演させて頂く機会がありますが、この時の **GEOTAIL** での経験をもとに「はやぶさに限らず、超精密機械である衛星にはトラブルがつきものです。そのトラブルをなんとか工夫して解決しようとするところがエンジニアの腕のみせどころです。あきらめない問題解決能力は重要です。」というような話しをさせていただいています。

本当に多くのことを、楽しく学び経験させてもらった **GEOTAIL**。まだ宇宙空間で観測を続けてくれています。いったい、どんな様子で今はとんでいるのでしょうか。**NASA** での **GEOTAIL** 最終試験を終えて **Building AO** を出るときに見た **GEOTAIL** の姿が、僕の見た最後の **GEOTAIL** です。満月をみると決まって **GEOTAIL** のことを思います。なぜかというと、**GEOTAIL** が、**Distant tail orbit phase** にあり、月スイングバイをするときの日本からみる月は、当然ながら満月に近いからでした。今打ち上げてから 23 年を迎えようとしています。その間 **SFA** は何回周波数掃引をしたらろう、**WFC** は何回メモリ書込をしたらろう、と考えると同時に、その間にお亡くなりになった方々をも思い出す今日この頃です。僕が、中高生や一般の人達に講演する際に配布する資料には、最後に「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」と、書いています。

サブシステム確認書のワープロ化

元明星・元 J A X A 佐藤 義弘

今で言う I C D の事を、G E O T A I L 当時では S / S 確認書と呼んでいました。当時は当然の事ながらワープロ化できず、手書きで作成していましたが、G E O T A I L が始まって初めてワープロ化しました。

それ以前はパソコン上でのワープロ機能は無く、ワープロ専用器で書いていましたが、今回はパソコン上に「一太郎」と言うワープロソフトを使用する事ができました。お陰で作成・追加・削除・変更等の作業効率は格段に向上しました。因みにインタフェース回路は、外字で回路シンボルを登録しておいてこれを罫線でつなぐ事に対応しました。

この様に作成された S / S 確認書は、作成者のサインのある原書を N E C のシステム担当者に郵送します。今の様にネットの添付ファイルで送る事ができなかったのです。こんな事がありました。いよいよ S / S 確認書の送付納期が間に合わなくなったのです。そこで私はプリントアウトした書類を持って鴨居に行き、N E C 横浜事業所の守衛所で N E C の五十嵐さんとお会いして、渡した記憶があります。

S / S 確認書以外に原価見積書と試験手順書がありますが、これも当時の表計算ソフト「マルチプラン」を使用しました。文書の I T 化は G E O T A I L から始まったと思います。

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。

Geotail PWI 波動観測器

元 京都大学 橋本弘藏

大学を 2010 年に定年退職して 5 年になりました。資料が無く、記憶に頼った記述しかできません。ただ FM の回路図だけは見つかりましたので、参考にしました。

Geotail の PWI 波動観測器は松本先生を PI に長野先生を中心に開発されました。橋本はあけぼの (EXOS-D) の低周波プラズマ波動観測機 (VLF) を中心に、お互いにグループで協力して開発していくことになりました。Geotail の打ち上げは 1992 年でしたが、EXOS-D は、1989 年で、その前の 1985 年に東京電機大学に移ることとなり、Geotail は、地上の GSE はじめ、多くの仕事を小嶋先生にお願いすることとなりました。

NASA で木星電波の研究を行い AKR の研究に発展させて来た関係で、個人的には VLF よりも高い周波数に興味があり、電機大でも測定器を用意して、SFA の高周波部分の開発をして参りました。WFC については、EXOS-B の開発時に検討して時期尚早としていたスイッチトキャパシタフィルタを、Geotail では採用した頂いた記憶があります。クロックの周波数により、フィルタの遮断周波数を変えられるので、小型化に貢献しました。

打ち上げ当初は、SFA の観測結果はテレビの画面で観ることになっており、解析は殆どできませんでした。その後、小嶋先生から CD-ROM で解像度の良いデータを送って頂けるようになり、電機大でも解析ができるようになりました。Auroral myriametric radiation (AMR) と名付けた波動を見つけました。しかし、ほとんど注目されませんでした。

京都大学に戻ってからの解析は、AMR の続きと AKR が主でした。特に印象深いのは、1999 年の Wynne Calvert 博士、松本先生との Kilometric Continuum (KC) の発見です。良く知られた Nonthermal Continuum (NTC) は、プラズマポーズが主な発生源ですが、その周波数の上限は 200 kHz 程度までとなります。KC はそれよりも高い周波数で、上限は 800 kHz 程度まで延びています。NTC は連続放射ではないことが分かっているので、本来なら別の名前を付けるべきです。しかし、KC という名前ですと、AKR と同じ周波数帯にある NTC であるということが直感的に分かるので、敢えて採用しました。IMAGE, Interball 1, Polar, Cluster II, や CRRES といった衛星での観測結果が報告されています。周波数が高いので、NTC の源では説明できない点に興味を持たれたのではないかと考えています。とりわけ、NASA の Jim Green 博士が、IMAGE 衛星によるプラズマポーズの撮像観測と結びつけ、notch と呼ばれるプラズマポーズの内側にへこんだ所から KC が放射されていることを 2001 年に示され、彼らとの共同研究も行うこともできました。実は、大家先生が EXOS-D で観測され 1991 年に発表されている donkey ear を 3 次元的に見たものになります。この観測だけからは、外部に放射されることに気づくのは難しいでしょう。

以上、思いつくところをまとめました。Geotail は、本当によく出来た衛星です。西田先生はじめ多くの方々のご尽力に改めて謝意を表します。

GEOTAIL衛星を通して学んだ機器開発とデータ解析の技術

名古屋大学 町田 忍

私が GEOTAIL 衛星計画に関わったのは、1988 年の 3 月に米国でのポスドク生活を終えて、当時、駒場から相模原に移転して間もない宇宙研（宇宙科学研究所）に、助手として採用されて活動を始めてからである。当時は PLANET-A、さきがけ両衛星によるハレー彗星探査で大きな成果を挙げ、さらに、翌年に EXOS-D（あけぼの）衛星の打ち上げを控えながら、同時に GEOTAIL 衛星の打ち上げに向けて準備が進んでいる時期で、日本の STP 分野の命運をかけた巨大プロジェクトが進行する最中であった。そのような中で、私は、向井先生のもとでプラズマ計測器の開発の手伝いをするようになった。しかし、当時の私は、基礎的なアナログやデジタル回路に関しては多少の心得があったが、プラズマ観測技術に必要とされる真空技術などについて十分な知識を持たない状態であった。手探りで、新しい研究生活が始まり、当時、京大の理学部から受託大学院生で宇宙研に来ていた平原さん、齋藤さんと一緒に、プラズマの計測技術を一から学ぶような状態であった。

粒子計測は、センサー部、MCP やチャンネルトロンなどの素子、それらの素子に高圧を供給するための高圧電源、素子が発生するチャージパルスを電圧に変換し増幅するオペアンプ、電圧パルス（カウント）を処理したり、センサーを制御する電子回路、さらに、センサーの設計製作・組み立て、センサーのキャリブレーションに用いるイオンビーム生成の技術、真空技術などについて幅広い知識が必要となる。また、衛星搭載機器や地上で機器動作をモニターするシステムのプログラムや各種仕様書の作成、EM・FM 衛星動作試験への参加など、私がそれまでに触れてきたことのないような事柄の連続であった。正直なところ、宇宙研での一からのスタートは非常に険しい道程であった。高圧用のコンデンサに高電圧を印加しての強度試験（破壊実験）や、遮光フィルムの上に高圧用電源ケーブルを一本一本置いて、そこに X 線を直接照射しての部品検査、発がん性の溶媒が漏洩するチェンバーに張り付いて行ったセンサーの単体熱真空試験などの危険業務（？）もあったが、今になって思うと、最先端の技術を学びながら、日々新鮮な体験ができた



宇宙研・宇宙環境試験室にて：

- (左) 齋藤義文氏
- (中央) 平原聖文氏
- (右) 筆者

ことは、この上なく恵まれた幸せな時間であった。センサーの開発はトラブルの連続で立てた計画が予定通りに進むことは、まずなかった。しかし、その試練を経て、何事も決してあきらめてはいけない事を学んだ。

実際にセンサーを衛星に搭載し、しかも安定的にデータを送ってくるようにするまでには、長い道のり、さらに、GEOTAIL/LEP の場合には放電によるラッチアップと言う大事故があったが、起死回生、それを克服した後は、過去に誰も目にしたことのないような素晴らしいデータが、われわれのもとに送り届けられるようになった。その頃には、私は、京大理学部に移り、そこを拠点として活動を始めていたが、その際、ネットワークを通してデータ解析を行う新たな時代の到来したことを実感した。センサー開発に携わったことに優先権を与えられて、私は GEOTAIL 衛星が磁気圏遠尾部でプラズモイドと遭遇した際のイベントを解析する機会をいただいた。そこで、寺沢さんが開発された当時最先端の LEP 解析ソフトを使用させていただいて得た結果を Geophysical Research Letters 誌に公表したが、その研究が、家田さんの博士論文の研究に発展して重要な知見が得られたことを嬉しく思っている。

また、プラズモイド研究の延長として、サブストーム、特に、そのトリガーの物理機構に関心が高まり、以来、今日に至るまでサブストームを主たるテーマとして研究を続けることになった。その過程において、宮下さんをはじめ何人かの優れた学生さんがサブストームのトリガーをテーマとして大学院での研究を私と共同で進め、そのテーマを発展させることができた。途中には、全粒子コードや電磁ハイブリッドコード用いたシミュレーションを行って、その結果を GEOTAIL の解析結果と比較することによって、幾つかの重要な成果を挙げる事ができた。

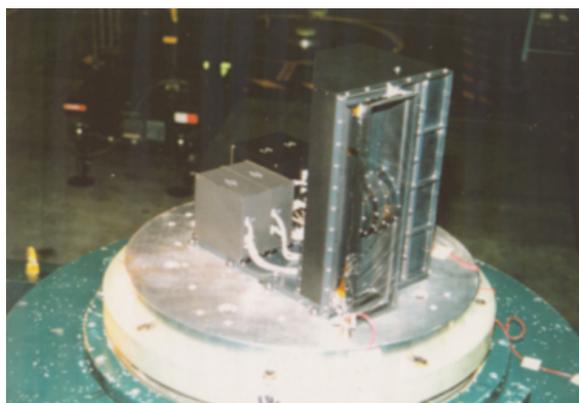
例を一つ挙げると、サブストーム・トリガーの有力なモデルに、近尾部磁気中性線モデルというものがある。このモデルに従うと、南北方向に数 100 km 太陽反太陽方向に数 1,000km の局在化した領域で磁場の融合が始まり、磁気リコネクションが発生する。そして、それがサブストームを引き起こす。つまり、ごく狭い領域の変化が、磁気圏とそれに繋がる極域電離圏を巻き込んだ大規模な現象の始まりを支配することになる。私は、このことに魅力と不思議さを感じて鋭意研究に取り組んだ。それによって、現在では、これよりも広い南北方向に約 30,000 km、太陽反太陽方向に約 60,000km の領域全体で不安定現象が起こり、その結果として先程の狭い範囲で磁力線が融合して磁気リコネクションが起こるのではないかという考えに辿り着いている。その過程で、磁気リコネクションは、サブストームの開始後に重要な役割を果たしていることも確認できた。もちろん、これは未だ必ずしも完全には決着のついていない問題であるが、自分なりの答えが導けたのではないかと思っている。

私は、LEP という機器の開発に携わり、さらに、その衛星が主たるターゲットの 1 つにしていたサブストームを研究するための基盤を築きたかった。そのような観点では一定の貢献ができたのではないかと満足を感じている。

振り返ればそこには GEOTAIL

宇宙科学研究所 齋藤義文

私が宇宙研に来たのは1989年で、大学院修士課程1年生の夏でした。衛星データの解析だけでは無く手を動かす実験がしたかったため、当時京都大学におられた寺澤先生に紹介して頂いて宇宙研に来る事になりました。最初のうちは京都に居た頃とあまりにも時計の進み方の早い宇宙研で戸惑う事が多々ありましたが、念願の実験に携わる事ができて充実していたのを覚えています。宇宙研での最初の仕事は、現在も GEOTAIL 衛星上で LEP EA, SW のカウンタデータから速度モーメントを計算している Digital Signal Processor の動作を勉強することでした。また、LEP の前試験という位置付けでもあった観測ロケット S520-12 実験にも参加しましたが最初から一人で実験ができる訳でもなく、向井先生、町田先生や先輩の平原さんと一緒に作業する日が続きました。宇宙研に来て初めての初日の出をD棟の屋上で町田先生と眺めたのは、いい思い出になっています。他の人のスケジュールにあわせて動くのは大変でしたが、この頃の経験のおかげで、如何にして徹夜を減らして観測装置の準備を行うかという問に対する答えを身につけることができ、それはその後に携わった衛星や観測ロケット搭載観測装置の準備の際に、今度は私自身が立てた実験スケジュールに沿って大学院生達と一緒に観測装置の準備を進める上でも大変役に立っています。



振動試験中の LEP-EA



LEP の較正試験風景

GEOTAIL 打ち上げの際には、射場作業メンバーに加えて頂き LEP のセンサーカバーを外すという役割を頂きました。GEOTAIL の打ち上げ成功が、博士論文を書くための前提条件でしたので、何としてもこの目で打ち上げを見ておきたいという想いがありました。打ち上げ直前の Delta-II launch pad の階上に上がり、ノーズフェアリングのアクセスドアから LEP のセンサーカバーを取り外しましたが、取り外したカバー、ネジやドライバーを絶対に落とすてはいけないということでとても緊張したのを覚えています。カバーを取り外して帰る際、祈る気持ちで振り返って見たアクセスドア越しの LEP と GEOTAIL の光景は今でも目に焼き付いています。

さて、無事 GEOTAIL は打ち上がり、これで博士論文の最初のステップは無事クリアと思った矢先に起こったのが LEP のラッチアップでした。このラッチアップとその後の LEP の復活



GEOTAIL 打ち上げの朝（左）

打ち上げ直後の DELTA-II（右）

については向井先生が詳しく書かれています。私にとってもこの事件は衝撃的でした。ラッチアップが起こるまでに3日間のデータはとれており、そのデータで何とかレター論文を1つ書かせて頂いたものの、博士論文を書くにはほど遠く、他の観測装置グループの人が新しいデータを見て楽しそうにしているのを暗い気持ちで眺めていました。それでも、LEP 班の中でハードウェアの準備に関わった期間としては私が最も短く、向井先生、町田先生、平原さんは私より遥かに大きな衝撃を受けていたはず。その後、LEP が復活するまでの1年間については、嫌な事は忘れてしまうということでしょうか、不思議なくらいに殆ど何も覚えていません。ラッチアップ解消のための試験の一環でダーリントン接続したトランジスタと抵抗をつないだ基板を作った事だけはなぜか覚えています。そして迎えた LEP 復活のための日陰オペレーションの日、データ処理室 QL の LEP ステータス画面の前に座り、ヘッドセットをつけて LEP の復活が確認できたら復活したと知らせる役割を頂いていました、、がいざ LEP のステータスが正常になったのを見るとどういふ訳か何も言えなくなってしまい、折角頂いた役割を果たせませんでした。このことは今でも後悔しています。

その後の私の研究生活においても、GEOTAIL は大きな比重を占めて来ました。博士論文は無事復活した LEP のデータを解析した結果で書く事ができました。その後、新しい観測装置の開発に携わったものの、開発した観測装置では成果を得る事ができない時期がかなり続きました。しかしその間も GEOTAIL が取り続けてくれたデータで、新たな研究成果をあげる事が出来ていました。まさに、GEOTAIL 衛星によって守られていたおかげで、実験技術を身につけるのに必要な期間や新しい観測装置の開発期間をうまく過ごす事ができていたのだと、過去を振り返ってみて実感しています。私がこの道に入ってからずっと GEOTAIL は飛び続けており、それが当たり前になってしまっています。でも立ち止まって振り返ってみると、そこには常に GEOTAIL がおりそのおかげで今があることに気付かされます。

今年3月には米国の編隊飛行磁気圏探査衛星 MMS が打ち上がります。MMS には私たちが開発に携わったイオンのセンサー FPI-DIS 16 台が4機の衛星に4台ずつ搭載されており、私たちが携わった観測装置で新しい磁気圏のデータが得られます。ここしばらく月周辺のプラズマや、極域電離圏のプラズマを研究テーマにしており、磁気圏プラズマや GEOTAIL のデータから遠ざかっていましたが、MMS が上がるのを機会に磁気圏プラズマの研究に戻りたいと思っています。まだまだ GEOTAIL も健在ですので、両方の衛星をうまく使って新しい成果を生み出したいと考えています。

電場プローブシステムとの関わりを振り返ってみるとーその2

富山県立大学 岡田敏美

1970年台までの衛星には、2種類のアンテナ、すなわち、ワイヤーアンテナと球形ダブルプローブが利用されてきておりました。日本の EXOS-B, EXOS-C などにはワイヤーアンテナが採用され、プリアンプとはトランス結合方式であります。あけぼのやジオテイルでは、直流電場から 10MHz までの高周波電波の電界までを計測することが目的であり、定量的に計測するには、それぞれの周波数レンジにおける宇宙空間プラズマ中のアンテナインピーダンス及びアンテナの実効長を知ることが必須であります。しかし、これらについての論文、特に実証データによる論文はほとんどないのが実態でありました。私自身も電離層中でのロケット実験は経験があるものの、光電子が大きく作用する磁気圏中の衛星観測は全く経験がありません。波動チーム、電場チームの先生方にいろいろと教えていただきながら検討を進めておりました。

そんな中、ホイストラの理論で有名なストーレイ先生から激励のお手紙をいただきました。さっそく、ジオテイルの波動チーム (PI:松本紘先生) の皆様には紹介いたしました。

これを読みますと、当時、どのようなアンテナが望ましいのか、NASA でも議論があったことが分かります。異なるタイプのアンテナを用いて波動観測をする場合、センサーの利得・位相の周波数特性を知る必要がありますが、ジオテイルで開発された波動・電場共用のセンサーではそれが実測可能であります。また、3軸サーチコイル磁場センサーとの較正もできるため、電磁界 5 成分の計測による伝搬ベクトル、ポインティングベクトルの計測が可能となりました。ジオテイルプロジェクトにおいては、波動チーム、電場チームの密接な連携により情報共有されたことがすぐれた観測システムを実現することを可能にしたものと思います。

As from: National Space Science Data Center
(Code 630.2)
NASA Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771, U.S.A.

28 February, 1990

Dr. Toshimi Okada
Research Institute of Atmospheric
Nagoya University
13 Honohara 3-chome
Toyokawa
442 Japan

Dear Dr. Okada:

I thank you very much indeed for your letter of February 7th, and for the information that you have kindly given me about the electric antennas that you and your colleagues plan to use for the Plasma Wave Experiment on the future Geotail mission.

Though somewhat shorter, they remind me of the antennas that were adopted for the ISEE-1 satellite. I was a member of the review panel that advised NASA on the selection of the experiments for ISEE-1, and you may care to know what our rationale then was for

(中略)

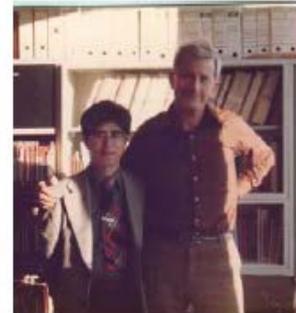
the full frequency range in which they will operate. The main questions are: which type of antenna yields the most accurate measurements; for what reasons; in what ways can their designs be improved?

Please do not trouble to answer this letter. On the other hand, I would appreciate the favor of being put on your mailing list for publications.

Yours sincerely,



L. R. O. Storey



Dr. Storey
オルレアンの研究所にて

EFD の開発で学んだ事

宇宙科学研究所 早川 基

GEOTAIL では鶴田先生、中村正人さんと一緒に EFD-B の開発を、岡田先生を中心に(というか、殆ど岡田先生お一人に丸投げして)EFD-P の開発を行いました。今思い返して見ると EFD-B、EFD-P の開発で学んだ事はその後のいろいろな機器開発・衛星開発において私にとっては大きな影響を残しています。簡単に言うとそれらは

1. キルヒホッフは偉大だ
 2. 机上で出来ることと実際に装置・衛星を作れる事とは大違い
- と言うことになります。

1. は電流は途中で生まれたり、消えたりはしない。という、ある意味当たり前のものです。この法則を習ったとき(たしか高校の授業でだったと思います)は、「こんなの当たり前じゃないの。わざわざ『法則』と名づける必要あるのか?」と思ったのですが、EFD のエレキのノイズがなかなか思うように小さくならず、理想からずれたところが一箇所あると、他の部分を理想的な状態に持っていてもノイズは必ずしも小さくはくならず、かえって大きくなったりしてしまい、鶴田先生と二人で明星電気であーでもない、こーでもないといういろいろ調整を行った時に身をもって痛感しました。また、この時に EMC に関しては「リターンラインは信号であり、GND と思っはいけない」と言う事も学びました。これらの事はその後の回路系での EMC を考える時の基本となっています。

2. は EFD-B を開発していて痛感したものです。EFD-B は射出した荷電粒子が射出点まで戻ってくる飛翔時間が電場等によるドリフト運動のために、ジャイロ周期からずれる事を利用して電場(と磁場の絶対値)を測定するもので、その測定原理は電場ドリフトと言う基本的なものを理解すればわかる簡単なもの(EFD-P のテスターよりはちょっと難しいですが)で、机上の検討ではごく簡単に実現が出来るものですが、実際に衛星に乗せられる最低限の物を開発するのに、中村さんが修士に入学して以来、私と彼はほぼ 100%の時間を EFD-B の開発につき込んだにも関わらずほぼ 10 年の歳月を費やした事からまなんだ事です。この事はその後に中性ガスの速度分布を計測できる質量分析器の開発を行ったときにも痛感しました。磁場計測器の完成度、プローブ法による電場計測の困難さ等も含めると、個人的には「原理が簡単なものほど計測器として完成させるのは難しい」のではないかとも思っています。それだけに最近「机上検討で出来る」レベルで「衛星計画として実現できる」と思っているのではないかと感じてしまう事が結構有り怖く感じる次第です。

今から思えば搭載観測器の開発という一つの事に集中して何年もかけられると言うとても贅沢な時間の使い方ができた幸せな時間でした。

Geotailに参加する以前、私は同じ磁気圏の観測衛星である「あけぼの」を担当していました。「あけぼの」が1989年2月に無事打上がり、初期運用が終了して一段落した頃だったと思いますが、一緒に「あけぼの」を担当していたNEC萩野とともにGeotailのシステム設計に参加し、その後、衛星の製造試験、打上げ、運用と参加し、今思い出しても数え切れないほどの多くの経験をさせていただきました。

ところで、Geotailとその前に担当した「あけぼの」とは同じ磁気圏観測衛星であるため、似ている点を多く持っています。その一つがEMC対策を徹底した衛星であるということです。電場、磁場、波動の観測に影響を与えないように、衛星内部の電流ループが最小となるよう衛星内や搭載機器内の配線を工夫しました。特に大きな電流が流れる、太陽電池、バッテリーについては流れる電流の行き帰りで電場磁場を打ち消すように配線しました。

また、これらの衛星ハードウェアの対策の結果を正確に測定するため、磁気シールドルームでEMC測定を行いました。必要な測定精度を確保するのが非常に難しく、多くの関係大学の先生方にご指導いただき、おかげさまでメーカーとしてもEMC測定に関わる多くのノウハウを得ることができました。

そのほかにも帯電により衛星表面に電位差が発生しないように衛星表面全体を導電性の材料で覆いました。導電性の材料としては表面に導電性コーティングを施した太陽電池、サーマルブランケット、熱制御フィルムや導電性塗料等を使用しました。現在ではこれらの材料は一般的になっていますが、当時としては新しい材料であり、面抵抗計というものを購入したりして、導電性の維持に大変苦労しました。そして、これらのEMC及び帯電に関する技術は継続してその後の衛星にも使用され、現在の衛星開発の中でも大いに活かされています。

もう一つの共通点はどちらも長寿命で今でも観測を続けているということです。Geotailは1992年7月に打ち上げられ、今年で23年目、「あけぼの」は27年目となり、世界でも稀に見る長寿命衛星となっています。どちらの衛星もスピン衛星であること、軌道が一般の地球周回衛星に比べてかなり高いことが、寿命が長い要因ではありますが、搭載している太陽電池やバッテリー等も劣化は進んでいるものの、観測が継続できる状態を維持しています。

衛星の寿命を決定する要素として、他に機械的可動部の摩耗があり、GeotailではOdetics社製のテープ式データレコーダとBall社製のアンテナデスパンモータがあります。特にデスパンモータは、打上げから23年目を迎える現在まで20rpmで精度よく回転を続けています。

デスパンモータはスリップリングを持たず、RFロータリージョイントのみでアンテナとのRFカップリングを実現しており、寿命に関わる部分は、固体潤滑のベアリングです。このベアリングに関して、NEC折井の投稿にも述べられている通り、衛星の総合試験で異音が発生し大きな問題となりました。ベアリングの状態は寿命に大きく影響するため、慎重に対応処置を行いました。ベアリングの音の変化を継続的に確認するため聴診器が必須アイテムとなり、衛星の試験を担当したNEC永治が聴診器でベアリングの音を確認していたことを思い出します。そのデスパンモータも打上げ後は順調で、とうに設計寿命を過ぎたにもかかわらず、寿命など知らぬかのごとく働き続けており、まだまだ元気に働いてくれそうです。

「Geotail」と「あけぼの」、なぜか私の場合、日本の衛星の最長寿命を更新し続けている、この二つの衛星に携われたことに感謝するとともに、私も、二つの衛星にあやかっただけでまだまだ引退できないかと考えている次第です。



Geotailのデスパンアンテナ

衛星開発魂を教えてもらった GEOTAIL

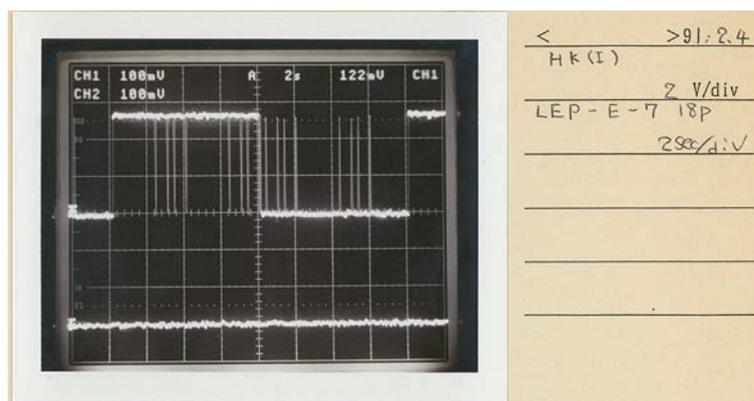
NEC 遠間孝之

私が NEC に入社して初めての仕事は GEOTAIL に繋がる「ひてん」のシステム担当でした。世界初のダブルルナースウィングバイ技術の習得がミッションであり、GEOTAIL という国際 PJ に繋がるから、成功させねばならない。最初はヤクザのように怖かった課長(当時黒いサングラスをかけていたので。上村さんごめんなさい)に言われ、1年目の10月から毎日夜中まで働きに働きました。もう、システムは嫌だから、所属を変えてもらおうとまで思った時もありました。

射場でロケットのノーズフェアリングを閉じる作業を見守る時のことです。上杉先生、クラウディア(ドイツの美人)、私でM組の2階で静かに立ち会っていました。その際、上杉先生の目に光るものがありました。衛星システムの仕事というのは、やっぱり遣り甲斐があるな～と感銘した瞬間でもありました。私が新潟出身だった事もあり、上杉先生には懇意にして頂き、「殿のためにも絶対成功させる」とその後のプロジェクトでは日々精進した事を思い出します。GEOTAIL にも繋がっていました。

打ち上げも終わり、少し、のんびり。とはいかず、射場から戻ると、運命の出会いの GEOTAIL が待っていました。西田先生をはじめ、錚々たる先生方、技官の方、メーカのベテランの方が参画しておられ、自分はやっていけるのだろうか、と思ったりした時でした。若手には正直、難しい衛星だったと思いますが、ほんとうに、上司をはじめ、素晴らしい方々に鍛えて頂いたと感謝しています。

私は、入社からのノートを全部捨てられずに持っているのですが、最初の日付は 1990.5.28 となっています。恐らく、私が本格的に GEOTAIL に従事させて頂いた日だと思います。そのノートを久しぶりに見て思い出しました。最初に思ったのは、なんて面倒な衛星なんだろう?でした。テレメトリ編集には Editor-A と Editor-B があり、それぞれ Format が異なり、リアルとりプロでレートも異なる。これを、信号レベルから理解しなければならない。しかも、人が設計したものを、覚えて頭に叩き込まないと一次噛み合わせ試験で困る事になります。ノートには、Editor-A, B のブロック図が張り付け、メモが書いてありました。そして、LEP-E-7 18 ピンの HK(I) 信号写真が挟まっていた。そうです。LEP がラッチアップした PIM ラインの信号写真です。見ても面白くもなんともありません。でも、写真が「俺だって TLM は踏ん張った。頑張ったでしょ」って GEOTAIL が言ってる気がして、掲載させて頂きました。細かいひげの部分が HK テレメが出るタイミングです。GEOTAIL はパラレルの双方向バス(TLM とコマンドが共通ライン)ですが、「のぞみ」から、軽量化のため PIM もシリアルに変革し、「ひさき」では、データバス方式からネットワーク型のスペースワイヤになりました。したがって、ここまで波形を見る事も少なくなりましたが、このあくなき、「波形確認」は、現物主義を貫く、科学衛星の開発魂の現れだったと思います。



総合試験は初めて経験する事だらけでした。EMC では、長野先生リーダのPWI 班の「もう1回」に何度もお付き合いし、良い成果に繋がったのではないかと自負しています。新幹線が通るとわかるんだよ。と伺った時は正直驚きました。

衛星に発生する電位（特に太陽電池セルと構体）を1V以下にするのも大変苦労しました。射場で向井先生から、「マーズオブザーバは、電位で苦しんでいるらしい」と伺った時、「1000億の衛星より日本のGEOTAILの方が優れている」と誇らしかったです。この事実を知ってからは、現代の名工にもなった飯吉さんに、必要性を説き、とにかく最後まで補修工事のために、現地に滞在頂きました。

打ち上げは美しかったです。若いシステム担当の私は管制卓に釘づけでしたが、Delta-II打ち上げと同時に、NASAの皆さんはじめ、先生方も、システムメンバも全員外に出るではありませんか！えっ、衛星のTLM見ないの？（心の声）私は途中まで見届け、最後に外に出ましたが、残念ながら、あまり良く見えませんでした。残念。この打ち上げを見逃したので、結局、昨年のDPR打ち上げまで、ロケット打ち上げは見る事はできませんでした。システム屋の宿命です。

次の仕事と思いきや、向井先生のLEPがラッチアップし、1年間LEP復活のために、検討をしました。向井先生や中谷先生と何度もFAXを中心にやりとりさせて頂きました。CMOSのラッチアップ実験もしました。衛星の電源がゆっくり立ち上がる模擬試験もしました。オシロもロジアナもお陰で使い慣れ、のぞみ、すざく、などの試験には大層役立ちました。やはり、エンジニアは物を触らねば感覚が磨かれません。先生方が自ら、実験対象の製品を手掛ける理由がこの時わかったように思います。

今もGEOTAILはそのデータを地球に送ってくれています。1991年GEOTAILの総合試験時に結婚。1992年にGEOTAILを打ち上げ、1993年に父が他界し、同じ年に長女が生まれました。私にとっても、家族にとっても縁の深い衛星です。

このような素晴らしいプロジェクトを発案、推進頂きました西田先生に感謝いたします。また、この度の「瑞宝重光章」のご受章を心からお喜び申し上げます。



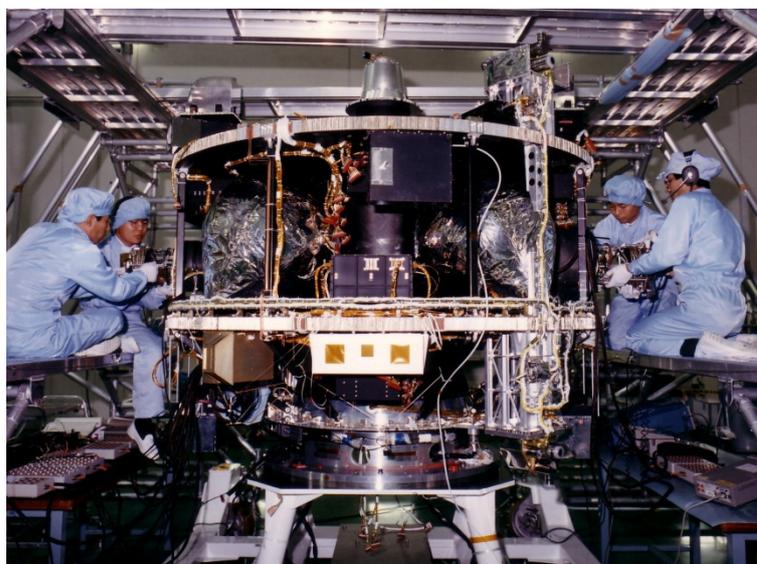
科学衛星の心意気！

NEC 永治 康彦 (ながや やすひこ)

2020年のオリンピック招致は、「お・も・て・な・し」で獲得したと喝采を浴びました。それでは、GEOTAIL 衛星の大成功の要因は何だったのかと思うに、プロジェクトメンバー同士の「お・も・い・や・り」ではなかったかと、23年前の記憶を辿りながら、思い出しております。

当時、GEOTAIL の宇宙研の先生方はそうそうたるリーダー達揃いでした。NEC システム設計チームも逸材ばかりで、人間的にも技術的にも優秀な方ばかりで、我々現場の人間も強く影響を受けたものです。一噛み試験では、システム・構造設計・製技・ハンドリング・検査と知恵や力を出し合って、安全な作業工程の工夫や、作業効率をあげる治具の工夫をするなど、互いのスキルを出し合っていました。電気 I/F 確認試験でも、検査員同士のダブルチェックはもちろん、技術者とのクロスチェックを行い、試験目的を理解してのミスが無い確実な試験を心掛けていきました。また、先生方やメンバー同士、海外のエンジニア達とも飲みケーションを通じて、絆を深めあったこともありました。試験期間中、先生方の思いや、各メーカーの心意気を日々接するうちに、GEOTAIL チームはお互いを尊敬して、思いやる一つの家族になったようでした。

GEOTAIL の一次噛み合わせ風景 (MAST 取付)
芸術的な電気計装に多くの観測機器が取付けられています。全て手作りのはんだ付け仕様です。(いやー、本当に大変でしたが、達成感がありました。)



GEOTAIL チームは、それぞれのエキスパートが、各自の担当作業で線を引くのではなく、担当外の作業にも、どうすれば協力できるかを常に考えて行動していたと思われま。まさに「おもいやりの精神」で、「いい衛星を作ろう」という目標の元に、メンバー全員が協力しあっていたからではないでしょうか。これは当然のことのように思われますが、なかなか自分の仕事や責任を増やすような行動は躊躇してしまうものです。

このような考え方は、科学衛星のプロジェクトに共通な DNA であり、「科学衛星の心意気」だったのかも知れません。

その成果は、Launch Site Operation (LSO) 班の活躍を筆頭に、射場でのスケジュール進行が群を抜いていたらしく NASA から「Group Achievement Award (GEOTAIL)」を受賞、GEOTAIL チームは、最もモラルの高いチームであると賞されたと聞き、とても誇りに思ったものです。

今も現役の宇宙ラボとして活躍する GEOTAIL、このような素晴らしいプロジェクトを発案、推進頂きました西田先生に感謝いたしますとともに、この度の「瑞宝重光章」のご受章を心からお喜び申しあげたいと思います。

MGF 試験の思い出

名古屋大学 塩川和夫

もう 25 年近くも前の話になってしまうので記憶があいまいなところもありますが、MGF 試験の思い出を書かせて頂きます。Geotail 衛星との関わりは、1990 年 4 月に自分が名古屋大学太陽地球環境研究所（当時は空電研究所）に就職してからでしたので、打ち上げ前の最後の 2 年間に、主に山本達人先生のお手伝いとして関わらせて頂きました。その内容は、宇宙研の磁気シールドルームにおける EMC 試験、NASA GSFC での米国の磁力計とのクロスキャリブレーション、そして衛星の打ち上げ時の最終試験です。

[EMC 試験]

EMC 試験では、PWI 班の小島浩嗣先生、筒井稔先生、長野勇先生らと一緒に、宇宙研の磁気シールドルームに張り付いて、Geotail の一つ一つの部品に対して、そのノイズレベルをはかる、という地道な作業に参加しました。MGF 班は、普段は一人でゆっくりした DC 計測が主体なので比較的小おとなしく計測していましたが、PWI 班は試験のたびにさまざまな問題がでて、それを喧々諤々にその場で議論しているのが、先生方の関西弁のせいで漫才の掛け合いのように面白く、とても印象に残っています。この試験と対策により、打ち上げ後に PWI は非常に静穏な電磁環境での計測に成功し、それが新しい発見につながっていったのは周知の事実ですが、その現場を一緒に見られたのはとても参考になりました。つまり、打ち上げ前にさまざまな状況を考えていろいろとバグ出しをしておくこと、一人ではなく何人かで実験を行って議論することにより曖昧さを残さないこと、という点が大事だと思いました。

MGF の EMC 試験では、個々の部品の測定においては問題がなかったのに、いったん衛星を組み上げて総合的な磁場をはかってみると、1000nT 以上、というとんでもない磁場が出てきてしまって悩みました。1m の距離で 1000nT なら、その磁場源の部品に近づいたら鉄がくっつくのではないかと、思い、糸にクリップをぶら下げてくっつかないかどうか衛星の回りを回ったりしました。結局、EMC の指示が徹底されていなくて、スラスタの部品の一部に永久磁石が使われていたためだった、ということだったと思います。また、データレコーダーの回転に伴って周辺磁場が周期的に変わるのを、計測用磁力計出力のペンレコーダーの変化の中に見出して山本達人先生にほめられたことが印象に残っています。

[NASA GSFC での試験]

MGF はマストの先端と中間に、それぞれ日本と米国の 2 台のフラックスゲート磁力計を搭載していたので、NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) にクロスキャリブレーションに行くことになりました。山本達人先生、岡田敏美先生、明星電



写真 1. 宇宙研の磁気シールドルームに納められた Geotail 衛星



写真 2. 試験の合間の休憩。右から、小嶋、山本、中村。

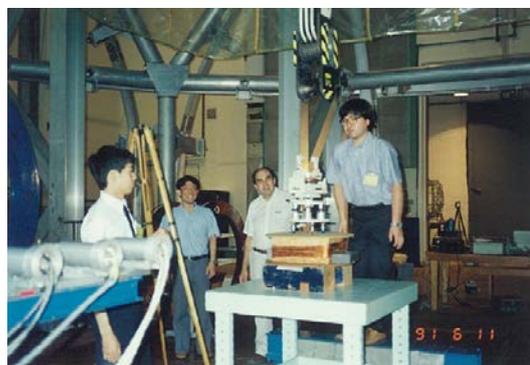


写真 3. NASA GSFC のヘルムホルツコイル内の実験。右から、尾本、Acuña、山本、筆者。

気の尾本さん、塩川の4人でした。バックされた磁力計を手持ちで米国まで持っていくのですが、空港では、中を開ける開けないでセキュリティで押し問答があって飛行機に乗り遅れそうになったりして大変でした。NASAでは、GSFCのMario Acuña先生の研究室で、ヘルムホルツコイルの中にセンサを入れて較正実験を行いました。太陽系内の全ての惑星の磁場を計った世界最先端の研究室では、アルバイトのおばさんが磁力計のコイルを巻いていて、同じコイルをたくさん作ってノイズの小さい良い物を衛星に載せるのだ、というノウハウを教えてもらいました。これがシールドボックスだ、と言われて持ってこられたのは、そこらへんにあるゴミ箱としか思えないぼこぼこにへこんで汚れた金属缶で、これを3重にすれば大丈夫、と言われ、たしかに汚くてもきれいでもこれは問題ないなあ、と納得したりしました。Acuña先生、Lepping先生に連れて行って頂いたレストランのスペアリブのおいしさは今でも忘れられません。



写真4. GSFCでの試験の合間に Smithsonian博物館にて。右から、岡田、山本、塩川。

1992年7月のフロリダのNASA KSCでの打ち上げ時には、山本達人先生の代理として、MGFの打ち上げ前の最終試験に参加し、Delta-2ロケットによる打ち上げも実際に見学することができました。打ち上げ後は、MGFデータのKey Parameterの作成のために、当時、NASAが使っていたVAXという計算機システムと、今はインターネットに取って代わられる前のDECnetで米国とやりとりしながら、まだ発展途上だったので次々に内容が改訂されるCDFフォーマットと格闘する、という経験もしました。思えば、助手になったばかりの若い研究者によい経験をさせてやろう、という山本先生をはじめとした先生方のご配慮があったことが、今となってはよくわかります。MGF試験の経験は、その後の地上観測機器の展開においてもとても参考になっています。この場をお借りして、お礼を申し上げます。



写真5. 打ち上げ直前の衛星と筆者。

GEOTAIL EMC 試験の思い出

京都産業大学 筒井 稔

GEOTAIL に搭載されている PWI は地球磁気圏内に存在するプラズマ波動の電磁界を測定するための観測装置である。一方 GEOTAIL には PWI 以外にも様々な観測装置や衛星システム機器が搭載されている。それらの装置は全て電気により駆動されているため、それら装置から不要電磁波が放射される可能性があった。これは PWI 観測にとって大きな障害となるため、これら装置からの不要電磁界放射を極力抑える必要があった。そのため PWI 班としては GEOTAIL 搭載の各機器から放射される電磁界を調査し、それを軽減するための対処方法を提示する事が必要であったので、小嶋浩嗣氏（現 京都大学生存圏研究所）と本著者の2人が中心となって、その作業を担当した。

【 EMC (Electro-Magnetic Compatibility) 測定 】

(1) 衛星搭載の全ての機器から放射される電磁波の強度が PWI 観測が要求する制限レベル以下であるかどうかを測定することになったが、各機器では様々な観測モードがあり、それらモードの切り替え前後での周波数スペクトルをスペクトルアナライザの画面により判断するが、その証拠をポラロイドカメラで撮影して資料とした。我々は仕事熱心のあまり、気にすること無くポラロイド写真を撮り続けた。測定結果を報告する時、予算を預かる向井先生はその結果の内容よりも、数百枚に及ぶポラロイドの枚数を見て、非常に困った顔をされた事が印象に残っている。そこで、この問題を何とか解決すべきと考え、我々はアナライザとパーソナルコンピュータを繋いだ「周波数ダイナミック・スペクトルの実時間表示装置」を開発しようと言うことになり、急遽ソフトウェアプログラムの製作(臼井義比古君)を行ない、その装置を完成させた。その結果、ポラロイドは不要となり、測定がスムーズになり、向井先生はやっと安堵・・・。

(2) 開発した実時間表示装置により各機器からの雑音放射の測定を手際よく行う事ができるようになったが、それでも制限レベル以上の雑音を検出していた。その放射場所を探索していくと、それは各機器を繋ぐ計装ケーブルにあった。そこで、ケーブルからの磁場放射の状況とその対策を探るため、計装ケーブルのルートの取り方と衛星筐体へのケーブル取り付け方法に対する雑音放射強度の関係を明確にするために、別途、模擬測定実験を行った。その結果、正しい計装ケーブルの張り方が明らかとなった。そこでそれまで衛星上に搭載されている全機器の計装ケーブルの実体配線図を提供してもらい、それらのルートを調べ上げた結果、多くの機器の計装ケーブルで配線に変更が必要であるとの報告をした。これに対してまたもや向井先生は頭を抱えられたようだが、その後正しい判断をして頂いた。

【 成果と波及効果 】

これらの作業により、GEOTAIL の各機器からの電磁波雑音レベルは PWI 観測にとっては満足できるものとなり、打ち上げ後の観測では多くの成果を上げることができた。

上記(2)の作業で行った計装ケーブルからの電磁波放射について、その確認のための測定実験での結果は極めて有意なものであったので、システムの人をも含めた8名の著者により論文(Magnetic Radiations from Harness Wires of Spacecraft, IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E75-B, NO. 3 MARCH, pp.174-182, 1992)として発表することができた。これは GEOTAIL に関する研究での打ち上げ前の成果となった。

また(1)での「実時間表示装置」の開発における様々な知見は、GEOTAIL 打ち上げの6年後(1998年)に、本著者が始めた新たな研究「地震に伴う電磁波の観測研究」のためのモニター装置の開発に繋がり、その改良版は現在大いに威力を発揮し、その研究で成果を挙げつつある。

GEOTAIL と共通 QL と私

元富士通エフ・アイ・ピー・システムズ(株)

山下 美和子

GEOTAIL の打上げ日は、忘れもしない宇宙研の一般公開日でした。私は宇宙研の B 棟 3 階控室から一般公開に来ている方々をうらやましく思いながら、GEOTAIL の打上げを待っていました。打ち上がったと連絡を受けてから日本の第 1 可視が来るのをドキドキしながら待っていました。ロックオンの声を聞きテレメトリが来て共通 QL が上手く動いた時はほっとしました。

共通 QL 開発では、今までに無い EDITOR-A/EDITOR-B の選択が増えた事、最初は意味が解らず戸惑っていた様に思います。当時としては高速なリアルタイム通信で機能拡張したことなど色々変更があり若い頃の私にとって大変な作業でした。

私共の会社では ISACS-DOC (リミットチェック、異常診断) ,ISACS-PLN の開発、CDHF 変換、FILEX 等オープン系を含めた大規模開発を行いました。ソフトウェアの開発手法としても新たな開発手法を導入したりと、色々皆様にご協力頂きお礼を申し上げます。

GEOTAIL の FM 試験では、朝、衛星試験開始前に共通 QL を立上げ、試験中は画面のレイアウト変更など対応し、試験終了後には磁気テープにテレメトリを保存してから帰りました。毎日遅くまで皆で頑張った事を思い出します。

今はもう GEOTAIL の共通 QL は在りません。大型計算機が無くなった為、GEOTAIL より先に共通 QL は使用出来なくなりました。私の作成した共通 QL は在りませんがこれからも GEOTAIL が何時までも頑張ってくれる事を祈っております。

皆様
若いですね。



EFD のキーパラメータ

宇宙科学研究所 松岡彩子

博士課程に進学した 1991 年に、GEOTAIL の EFD-P (プローブによる電場計測) のデータ処理の準備が始まった。修士課程の時に作った、あけぼの衛星の EFD-P のデータ処理プログラムをベースにすればそれ程難しくはなく、衛星速度による電場を引く作業が不要な分むしろ簡単であった。しかしあけぼの衛星とは違い、米国との共同ミッションなので、クイックルック的な「キーパラメータ」というものを作って NASA に提供しなければならないらしい。正確には、キーパラメータ作成作業は NASA が行うので、そのためのプログラムを作って提供しなければいけないらしい。しかも、打ち上げ直後から、世界中の研究者がキーパラメータを使えるようにしなければならぬので、そのプログラムは打ち上げまでに準備しないと大層叱られるらしい、という話であった。

国際ミッションって大変、と思っていたら、NASA の大量のドキュメントを渡された。内容に略号が多くて早速困ってしまった。現在では普通に使っている CDF という言葉を初めて見たのもこの時で、略号表を見れば Common Data Format だとわかるが、その意味はドキュメントの説明を探して読まないとわからない。今のように電子的なファイルがあれば検索できるが、当時は紙のドキュメントしかないので、結局片っ端からドキュメントを読んで探すこととなる。読んでみると今度は CDHF という言葉が出てきた。Common Data H なんか Format なのかなと推測しても文意が通らない。後で Central Data Handling Facility だと知って愕然とする。

ドキュメントを読んでもどのようにプログラムを作ったら良いのか結局わからなかった。打ち上げが近づいてきた 1992 年 4 月に、その CDHF の方々が宇宙研に 3 日間来てレクチャーして下さった。大量のドキュメントのうち、キーパラメータ作成に必要なのはほんの一部だということもわかり、やっと開発が始まった。宇宙研の VAX マシンでプログラムを書き、それを CDHF の VAX マシンに転送して走らせてみる。もう 20 年以上前のことなので、日米間のネットワーク通信が遅く、プログラムを転送するのも、走らせた結果のファイルを取り込むのにも時間がかかった。わからないことや困ったことがあると、CDHF に電子メールで問い合わせたが、知りたい答えを正確に引き出す英語のメールを書くのは当時の私には大仕事だった。

それでも何とか開発は進み、打ち上げ間近の 1992 年 6 月に、テストデータが処理出来るプログラムがほぼ仕上がった。しかし、さて昨日の作業の続きをしようとするかかると、昨日は正常に動いていたはずのプログラムが今日は動かない、ということがあった。変だなと思いつつ出来る限りのことを試すのだけれど動かない。CDHF に問い合わせのメールを出すと、翌日「昨日 CDHF 側で仕様を変えたことが理由。ここをこのように変更して再度試されよ」という返事がきた。その後も同様のことが何度か起きた。MGF のキーパラメータを担当していた名古屋大の塩川さんから、「また動かなくなりました。EFD は？」と電話がかかってきた。「こちらでも動かなくなりました」連絡も無くたびたび仕様変更されては、いつまでたっても開発が終わらないので、1993 年 4 月の

こと、塩川さんと一緒に、改善のために動いて頂けないかと西田先生にお願いをした。改めて西田先生から「どのように困っていますか」と聞かれ、状況をご説明し、「プログラム作りに時間を取られて、大学院の課題のレポートが書けず、単位を落としてしまいました」と自分の怠慢をキーパラメータのせいにするという、実に恥ずかしいことを申し上げたのを覚えている。西田先生は、それは大変ですね、手を打ちましょうと言って下さり、小原さんが「今後仕様変更する時には事前に連絡すること」という要望を NASA に送って下さった後、予告のない仕様変更で困ることは無くなった。1993年8月に実データでのテストランの結果についてやり取りしたのを最後に、CDHF とのメールの記録が途絶えているので、この頃のプログラムが最終版なのであろう。打ち上げから既に1年以上が経っていた。

要望に対する、ISTP プロマネの Sizemore さんのお返事には、ご迷惑をかけて申し訳ないという謝罪の後に、しかし CDHF のスタッフも、毎水曜日には **Working Time** を夜にシフトさせて日本からの問い合わせに即座に対応できる体制を取る等、開発が円滑に進むよう大変な努力をしてきたのでご理解頂きたいと書いてあった。たびたびの仕様変更には困ったが、全般的には大変丁寧にサポートして頂いたと、今でも印象に残っている。当時は私に余裕が無く相手の状況を忖度できなかったが、私が CDHF にかけての迷惑も多かったに違いない。あちらはあちらで、今頃、「20年前以上の日本とのキーパラメータ作りで困ったことは・・・」と回顧する文章を書いているかもしれない、と思う。

磁尾艇留 Tシャツ

(本文は「宇宙空間観測の半世紀」より転載)

元 NEC 上村正幸

昭和47年にNEC(日本電気)宇宙開発本部に入社して、MS-T3, EXOS-A, CORSA-b, MS-T4, EXOS-C, MS-T5, PLANET-A, MUSES-A, GEOTAIL, ASTRO-D, MUSES-B, PLANET-B, MUSES-Cと26年間「科学衛星」一筋に宇宙開発に関わらせていただきました。平成10年にNECを退職してからは、大分県立工科短期大学の電子技術科教授として後身の指導に当たってきました。今年度(H21)は大分県立日田高等技術専門校の校長に異動となり、技術とは離れた仕事で定年退職を迎える(H22.3)こととなります。

私にとって、NEC退職前の大仕事と大きな思い出は「GEOTAIL 衛星」の射場作業関連の仕事です。GEOTAIL 衛星の米国での打上に備えて、射場作業計画チームが組織され、NASAから要求された“Launch Site Operation”計画書や手順書の作成にあたりました。事前に入手した資料や現地での打合せ情報を基に完成した資料はNASA担当者からも「りっぱな資料」とお誉めを頂いたのは関係者の努力の成果だと感謝しております。射場作業は大きなトラブルも無く順調に進み、「GEOTAIL 衛星」は1992/07/24 10:26(EDT)にDelta-IIロケットにより打ち上げられ所定の軌道に投入されました。この“Launch Site Operation”をとおしてGEOTAIL衛星班はNASAから「Group Achievement Award」を受賞しました。



そう言えば、事前調査でKSCを訪問したときに、他の衛星プロジェクトのチームが自分たちの衛星をデザインしたTシャツを身につけているのが目にとまりました。そこで、我がGEOTAILチームもTシャツを作ろうということになりました。しかし、デザイナーに依頼する予算も期間もなかったため私がデザインすることになりました。せっかく米国KSCで着るのだから目立つのがいいだろうと漢字を入れることにしました。GEOTAIL(Geomagnetic Tail)衛星のミッションは名前のとおり、地球磁気圏尾部の構造とダイナミクスの研究です。そこで、「じ・お・てい・る」に「磁・尾・艇・留」と漢字を当てました。「艇」はGEOTAIL衛星を指します。これをGEOTAIL衛星の軌道図の上にあしらったデザインとしました。このTシャツは結構好評で、あるNASAのマネージャーは漢字の意味を調べて「まさにGEOTAIL」と感心してくれました。GEOTAIL衛星の打ち上げ成功の後、このTシャツを着てゴルフをしていたら「昨日打ち上がった衛星の人？、おめでとう！」というような言葉を掛けられました。

ゴルフと言えば、Cacao Beachでの休日というか仕事が終わった後はゴルフ三昧でした。この頃はサマータイムのため夜9時頃までは明るく、仕事の後でゴルフに行っても18ホールを回ることが出来ました。近くに市営のゴルフ場があり、たしか12ドルぐらいで回れたと思います。それまでゴルフはやったことがなかったのですが、これが一番安上がりな余暇の過ごし方ということで始めました。このゴルフ場は海のすぐ横にあり、イルカのジャンプが見えたり、フェアウェイに亀が横たわっていたり、池ポチャすると小型のワニが寄ってき

たりしていました。時には、上昇するロケットを見ながらスイングするとか、スコールのため避難小屋で凄まじい雷鳴を聞きながら1時間を過ごすということもありました。おかげで日本に帰る前には100を切るまでに上達しました。それはそうでしょう、同じコースを週に2～3回、2ヶ月以上通ったのですから・・・良き思い出です。

(後記として近況)

大分に帰ってきてから「弓道」に励んでいます。週に3～4日の練習と月に1～2回の大会参加をしています。おかげで、年間の日曜日の半分近くは弓道でスケジュールが一杯です。



GEOTAIL の 思い出！：初めての衛星開発メンバーでの衛星 PJ

NEC 高橋 今朝人

衛星チームの集いに向けての出筆の題材を考えたとき、私は GEOTEIL が初めて衛星メンバーとして携わったプロジェクトであり、貴重な教訓を得たものであったと思い返しております。

PJ マネージメントを担当された上村さんや、西田先生・上杉先生を始め多くの諸先輩である、宇宙科学研究所の皆様が貴重な教訓をいただきました。

中でも、上村さんの下で行った射場（JFKSC）試験準備・ロンサイト班、打上げ後の衛星常時電源リセット作業が思いで深いものです。

JFKSCでの GEOTAIL 打上げ準備・現地地上系まとめ、現地スタッフ的なロンサイト班業務を行う際には、事前の用意周到な調査・準備を行えば必ず結果が出る、準備の出来・不出来がPJ全体の成果に直結すること。また、作業を確実に安全に遂行するには、チーム全員の心身の健康維持が大切だということを学んだと思います。

今、思い返すと、上村さんの指示に驚いたことがありました、Cocoa Beach 周辺の状況を先発隊として調査に行ったとき、「射場の作業は計画通りに進む、チーム全員が安全に過ごせるように、主だったレジャー施設へのアクセスや、周辺の危険エリアの調査に重点を置く」と指示され、遠くはキーウエストまでの安全なルート、宿泊ポイントの調査に向いたことがありました。いざ射場作業が始まってみると、この調査準備がチーム全員の健全な生活の維持に非常に役に立ったことを痛感しています。

私自身は、初めての長期海外滞在で結構ポカをやってしまっ、チーム全員の反面教師になってしまいました。パスポート・PCの入った貴重品鞆が車上盗難にあったり、ガス欠で棟間移動に合わなかったり色々ありました、チーム全員に励まされ何とかやり遂げることができ、懐かしく・楽しい思い出です。

打上げ後、ミッション機器（向井先生担当と記憶しています）が高圧放電により内部の制御ロジックがラッチアップし動作不能になりました。この時、ミッション機器のリセットを衛星システムにダメージを与えずに行う検討が機敏かつ大胆に行われ、衛星が日陰となる状況でバッテリーを切離し、常時電源をリセットする対処施策が採用されました。このときは宇宙研の先生方・衛星システム設計担当共々、大胆な決断を行うものだと、ただ感銘しました。この決断に従い、実際手順・搭載電源部の再起動動作による、衛星へのリスクの軽減の検証実験を C 棟で頑張り、その後の処置当日は、臼田宇宙空間観測所運用に参加しました。UDSCで、衛星の常時電源が日陰で段となり、日陰明けの太陽電池の発電で衛星が再起動し、TLM信号送信され、この信号がスペクトラムアナライザーの表示画面に揺らめきながら現れた時の感銘は今でも昨日のこのように覚えています。

西田先生、上杉先生を始め宇宙が各研究所の先生方、NECを退職された上村さん他、GEOTEIL ティームの皆さんから、GEOTEIL プロジェクトを通して、頂いた貴重な教訓は、その後の業務に生かされ手だけでなく、GEOTEIL チームの一員として公私ともにご指導いただき、強いきずなどとなって支えられると感謝しています。

特に、横山先生とは、Cocoa Beach でお互い老衰で体が動かなくなる前に GOLF しようとの約

東を果たし、何と GIOTEIL 打上げ 14 周年記念の年から、時間を見つけ GOLF を Cocoa beach で楽しんでおり、19 番ホールでの生ビールが毎年恋しくなっております。

思い出はこれくらいにして、当時の写真や、Cocoa beach で開催した「GEOTEIL 打ち上げ 20 周年記念」の写真の一部を掲載します。

★自宅に飾った思い出の写真

ロゴと色紙写真



ジャンパー姿が私、橋本先生、
現地でお世話になったラリーさん他

★最近の写真



Cocoa beach ゴルフ場の前で (20 周年記念、横山さんと)

★懐かしい当時の写真



サンドキャッスル 大西洋



上村さんと一緒

★ 打上 20周年 食事会 (ロブスタージャンテ Cocoa beach)



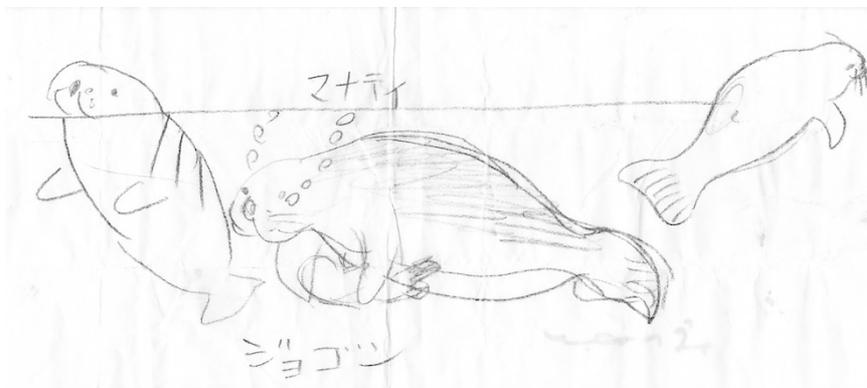
先日、この原稿を書かなければと、古い写真を整理していたら、1989年12月にGeotailでGSFCに出張した際の写真が出てきました。この出張が、私がGeotailに本格的に関わり始めた最初ではないかと思います。一枚はGSFCとのMeetingの日の朝、宿泊していたMaryland INNまでMac Grantさんが迎えに来られた時で、不思議とこの時のことを覚えています。もう一枚は翌日の休日の写真です。



その後、NASAとのJWGが定期的に日本と米国で開催され、NASAのメンバー及びGeotailに搭載された二つの海外センサEPIC、CPIのメンバー、射場のKSC、打上げロケットDelta-IIのMDSSCのメンバーと、多くの米国関係者と仕事をする事ができ、本当に貴重な経験をさせていただきました。特にEPIC、CPIのセンサの開発元のJohns Hopkins大学、Iowa大学のエンジニアとは共同作業も多くなり、衛星の総合試験期間、彼らが日本に数ヶ月滞在していたこともあり、アフター5の交流も楽しい思い出となりました。

彼らとの飲み会では、よく日本の文化や、ことわざなどについて下手な英語と、身振り手振りで話をしました。ことわざの日米比較で「灯台下暗し」を説明した時にそれは英語では”under one’s nose”と言うこの話に、さすが欧米人は鼻が高いので、鼻の下は見えないのかと感心した記憶があります。

その後、フロリダでの打ち上げ準備、運用まで参加させていただき、特にGeotailの打上げ準備では、KSC出張中、家族も1ヶ月ほど滞在し、家内も子供達もフロリダの別世界で、素晴らしい時を過ごさせていただきました。子供達は当時、長男が小学校3年生、次男が1年生、三男が幼稚園でした。私が射場で作業中の日中、彼らは宿泊していたコンドミニアム「サンドキャッスル」のプールで思う存分遊び、また、ココアビーチの海を満喫していました。上杉先生の宿泊されていた家の近くのバナナリバーでマナティーにトマトを食べさせた思い出も子供達には印象深く残っているようです。



NEC長野画伯作

7月の打上げに際しては、打上げ後の運用の対応のため、NECのロンチサイトメンバーでは唯一私一人が日本に戻り、相模原の運用室で上杉先生からの電話での実況中継を聞きながら打ち上げ運用に当たりました。打上げ後、ロンチサイトでは、打上げ成功の祝賀会が行われ、NEC安達がプールに投げ込まれた話等、盛況であった様子聞き、私も残っていればよかったと、自らの選択に後から後悔したものでした。

GEOTAIL から続く道

元 NEC 河野まり子

短大を卒業して NEC 横浜事業場で採用されて3年が経った頃、科学衛星グループの一員になりました。理系の素養もないのに「衛星開発のしっぽでもいいからつかまっていたい」という気持ちだけは一人前の私に、川口さんが「一緒にがんばろう」と言ってくれたあの日は今でも忘れません。萩野さんからシステム文書の管理や実務的なことを教わり、最初は内容が理解できずボロボロだった設計会議の議事録は川口さんによる添削部分がだんだんと減り、他メーカーの方々と直接仕事のやりとりをすることができるようになり、少しずつ知識とできることが増えていく毎日が本当に楽しかったです。

ところが、総合試験が始まる頃になると、がんばっても追いつけない自分の力不足を実感することが日課のようになりました。射場作業に入ってから、修正した手順書のコピーを取りながら「こんなに足りない自分がここにいてよいのだろうか」と落ち込んだこともありました。特に心残りだったのが総合試験でのアライメント測定です。アライメント測定の基本を理解できず、手順書も書けないまま化膿性扁桃炎による高熱で1週間寝込むことになり、その間、手順書作成から一切を同僚の遠間さんに丸投げする形となってしまう、迷惑をかけたこと、責任を持ってやり遂げられなかったことが、NECをやめてからもずっとずっと引っかかっていました。

会社をやめて5年が過ぎた頃、上杉先生からお声をかけていただき、殿の腰元としてお仕えすることになりました。宇宙研にいと開発中のプロジェクトの状況もわかり、かつての同僚や顔なじみだった方とばったりお会いする機会もあり、そのようなうれしい環境の中で上杉研究室の事務補佐員を3年数ヶ月務めさせていただきました。

その後、上杉研在籍中にご縁ができた(現在も所属している)研究室に移ると、そこでは中谷先生と関わりの深い INDEX プロジェクトが進行中。何と、このプロジェクトで心残りだったアライメント測定に携わる機会が巡ってきたのです。GEOTAIL に比べると小規模ですが、学生さんと一緒に手順書を作り、測定練習をし、MTMAT 後と FM 振動試験前後で計3回のアライメント測定をしました。今ではセオドライトをアライメントミラーに正対させて整準し測定するところまで一人でできるようになり、密かに自慢に思っています。

アライメント測定ではセオドライトという測量機を使いましたが、このつながりから、『はやぶさ』の地球帰還に際してカプセルからの電波を受信するアンテナの電波軸合わせに用いることになった GPS 測量機の操作説明書 兼 作業手順書を作りました。予定では現地での測量作業は JAXA 職員のどなたかがやるはずでしたが、最終的に私の担当となり、オーストラリアの地で測量班および地上に落ちたカプセルを上空からヘリコプターで探すヘリ班員(帰還当日はレンジコントロールセンターで航空無線のスイッチと電話の受話器を握りしめて日本側の連絡役)として、これまでの経験とそれに基づく自信を持って自分の役割を果たすことができました。

科学衛星グループに移ったばかりの頃の怖いもの知らずの私(この年齢になって当時の自分を振り返ると赤面・恐縮してしまいます…)を受け入れてくださったみなさんには感謝してもきれません。NECで身に付けさせてもらった社会人としての基礎とGEOTAILプロジェクトで見て・聞いて・学んで経験したこと、出会った方々との関わりのそれらすべてが私の中に生きています。GEOTAILがなかったら今の私はありません。あの頃のように若くはないけれど、これからも宇宙研の中でできることを少しずつでも増やし、どのような仕事にも手抜きをせずに取り組むことが、育ててくださった方々へのご恩返しになると思っています。

今でも鮮やかに残っている記憶の数々の中からいくつかの場面をご紹介します。

[C棟にて]

- ・控え室のテーブルに顔を伏せて(寝て?)いる小嶋先生の姿。また、ある日、たまたま耳に入ってきた会話。「下宿の窓を閉めてくるのを忘れた…」と雨を心配なさっていました。
- ・発売されたばかりの宮沢りえの写真集を手にした中村先生。うれしそうでしたヨ。早川先生も一緒にいらっしやっと思ったと思います。
- ・頭を悩ませていたEMC対策についてプロジェクトメンバーを前に原因と対処法を報告する筒井先生と長野先生。ハーネスのルーティングの説明をお聞きしながら感動しておりました。
- ・GEOTAILを擬人化して英語で詩を書きました。それをチェックアウト室でロジャーさんが読んで、ニコニコと笑いながら褒めてくださいました。
- ・LEPの単体振動試験でしょうか、向井先生が「LEPを振ったらカラコロカラコロって」と、その楽しそうな(?)口調が印象的でした。
- ・バレンタインデーのときに「みなさんへ」という意味で控え室にチョコレートの大箱を置きました。そのお返しにと、ホワイトデーに明星電気のみなさんが缶に入った不二家のクッキーをくださって、ものすご〜くうれしかったです。その缶は今でも手元にあります。

いろいろ思い出していると懐かしくて涙が出そうです。

(現 宇宙科学研究所 水野研究室 河野まり子)

GEOTAILの射場オペレーション

元 宇宙科学研究所 横山幸嗣

5月8日、朝10時40分、快晴、KSC Cape Canaveral の Skip Strip に GEOTAIL 衛星が着く。打ち上げへ射場作業が始まる。

ケネディ・スペースセンタ(KSC)はフロリダ半島の東の端に突き出た岬で広大な敷地にスペースシャトルの発射台(Launch Pad)、タイタン、アトラス、デルタロケットの発射整備塔 LC(Launch Complex)が大西洋岸にそって連立している(図1)。

GEOTEILを打ち上げるデルタIIロケットは一番南に位置し、2基の発射台から年間十数機を打ち上げている(図2)。

GEOTAIL LSO (Launch Site Operation) 班の作業場所は、基地のほぼ中央部にある CAPE Industrial Area (相模原キャンパスの10倍はあろうか広さは相当なもの)の Building AO の衛星試験室 (Spacecraft Checkout Facility)で、朝8時の打合せ会から16時30分の夕方の打ち合せ作業となる。

機材の開梱、点検、地上設備の設置と順調に進み、6月5日から観測機器の動作確認が詳細に行なわれた。続いて DSN 適合性試験が MILA 局を介して実施された。MILA 局は AO の西15マイル Merrit Island にある NASA GSFC の衛星追跡局で打ち上げ時の受信と DSN キャンベラ局からのデータを中継する。

6月19日夜明け前、北へ5マイルほどの ESA-60(Explosive Safe Area-60)へ衛星を移動、ヒドラジン注液、スピンバランスそして PAM-D への結合などの Hazard Operation に入る。大きな蚊に悩まされながらの早朝作業に、Thunder Storm(激しい雷と雨)の Phase-2 の Warning が発せられると Hazard Area の ESA-60 では総員退避で、厳しい環境の中の作業である。

7月14日朝5時、ESA-60 から時速10マイル、1時間を掛けての衛星をデルタIIロケット発射整備塔(LC-17)へ移動、整備塔への吊り



図1 KSC Aerial photo



図2 Launch Complex 17

(KSC CCAF)

上げロケットと無事結合、いよいよ Launch Site Operation に入る。整備塔への入構は厳重で ID が必要。

16 日 (Y-8) Flight Program Relief ロケット側とのリハーサルで打上げ当日の作業時間読み合わせの最終確認を行う。

23 日 (Y-0) Launch Countdown 開始。

24 日午前 4 時 30 分、MDC(Mission Director`s Center)の GPM(GEOTAIL Project Manager : T)から GEOTAIL LSO 班の配置の確認、5 時 37 分、GIM(GEOTAIL Integration Manager : N)へ S/C Power “ON”の指示。衛星のチェックに引続いて PC の書込み、L-26 分 45 秒 OP start、MILA 局からの信号も良好、L-15 分内部電源切り替え、L-4 分 Spacecraft Ready、予定時刻の 10 時 26 分 Lift Off。

LSO 班は、約 1 時間半後、キャンベラ局から送られてきたテレメトリデータから、GEOTAIL 衛星の正常な動作を確認、打上げが成功した(図 3)。

現地の新聞では、日本の科学衛星 GEOTAIL の打ち上げ成功、そして今年 1 月に他界したデルタロケットの生みの親 William R. Schindle 氏の名が記された記念すべき DeltaII (Final 6000 series launch)212 号機の打ち上げを報じた。

LSO 班の綿密な作業計画と言葉や環境の違った場所で overtime work を惜しまず支援してくれた現地スタッフの協力が GEOTAIL の打上げ作業を容易に進め、3 ヶ月にわたる射場オペレーションを無事に終了することが出来た。

ワシントンの GSFC における JWG meeting、フロリダの KSC での地上設備のインターフェイス、射場オペレーションの打合せ、そしてカリフォルニアの MDSSC(McDonnell Douglas Space Systems Co.)でのロケットとのインターフェイス等、この数年間のアメリカ行きの締めくくりとして、KSC(CCAF)におけるデルタ II ロケットの射場オペレーションであった。



図 3. Building AO checkout room



図 4. ラリーさんと GEOTAIL の ゴルフ仲間
(Cocoa Beach Country Club.4.Aug.92)

GEOTAIL 射場での思い出

元 宇宙科学研究所 橋本正之

1992年5月～7月、フロリダ州のNASA ケネディ宇宙センターで GEOTAIL 打ち上げ作業に参加した。そこでは内之浦での打ち上げ作業では経験しなかった様々な文化の違いを体験できた。

1. ネクタイはちょん切るぞ！

ケネディ宇宙センターを最初に訪問した時のことである。初日なので全員ネクタイを着用して打ち合わせに望んだ。アメリカ側の担当者は我々の格好を一目見て、「明日からネクタイをしたらハサミでちょん切るぞ！」と我々の暑さへの我慢を見抜いて温かい言葉で迎えてくれた。一方、休憩などで室外の日よけ付き休憩所で雑談中には「おまえ、そんな日影に引っ込んで居ないで、遠慮せずに陽の当たるここに座れ！」と強烈な日差しの場所を本気で勧める。そういえば、真昼の浜辺で、生まれて未だ1年位と思われる赤ちゃんをガンガン照りの日差しの中で平然と寝かせている光景を何度も見た。この感覚は未だに理解に苦しむ。

2. GEOTAIL：射場内飛行場へカッコヨク直接搬入！ だが・・・

着陸後もなかなかその姿を見せない。一体どうしたのだ！ 実はジャンボ機改造の輸送機のドアが開かない。かなりの時間を費やしてやっと勇姿を見せた。この間、何も出来ない GEOTAIL 関係者は滑走路の片隅でたっぷり日光浴をすることとなった。ハイテクには思わぬところに落とし穴があるらしい。



GEOTAIL 射場滑走路へ到着、輸送機のドアも無事開いて記念撮影

3. アメリカ式衛星の警護

フロリダの射場は広大だ。衛星の様々な試験は射場内に分散する各種試験設備を使って実施される。このため GEOTAIL は広い構内を時々移動するのだが、万一を考えて移動中の警備依頼を求めた。銃を持った複数の警備員が移動する衛星の前後を見守る物々しいものであった。さらに移動通路の周りには自然のブッシュに囲まれた沼が点在して、ここにはかなりのワニが生息している。警備効果はどちらが高いか不明である。

4. 射場で車のキーを忘れると・・・

ある日、不注意で車の中にキーを忘れてロックしてしまった。しかもエンジンは掛かったままである。射場内の警備員に相談すると「外からカギ屋さんを呼んでやる」と言われた。射場に入構するためには一時的な入構許可書を発行してもらう必要があり、カギ屋さんが到着するまで2時間近くを要した。この間も入れ替わり立ち替わり何人もの警備員が様子を見に来た。やっと来たカギ屋さんにはビックリするようなお金を支払った。カギ屋さんにしてみれば費やした時間、手間を考えれば妥当な金額と思うが、嚴重な警備というのは高くつくことを実感した。元々は自分の不注意から起こったことだけど・・・。

5. 超朝型シフトと疲労蓄積

南国フロリダの夏は毎日ほぼ決まった時間に強烈なシャワーに見舞われる。すさまじい雷とまさにバケツをひっくり返したような雨が降る。安全確保のため、射場作業は早朝から開始され、シャワーが来る前の昼頃には終える超朝型シフトが敷かれた。朝真っ暗なうちに出勤し、お昼には帰宅となった。結果として、長い午後～夜の時間がある。しかも太陽は夜の8時でも煌々と輝いている。この時間を利用しない手はないと動き回る。私の場合は毎日アパートのプールの1コースを占領して泳ぎ、さらにアパートのプライベート砂浜で楽しんだ。当然夕食も遅くなる。しかし翌朝はいつものように暗いうちからの出勤だ。こんな生活をしばらく続けると体がクタクタになってくる。ちゃんと早く寝れば済むことなのだが、折角こんな楽しいフロリダにいるのに思ってしまう。正に自業自得である。

6. 打ち上げ時の司令電話はシーン！

GEOTAIL 打ち上げの時は発射台のすぐ側の発射管制室に居た。衛星への電源供給は発射直前までここでコントロールされる。内之浦の発射管制室も何回か経験したが、ここで特に印象的だったのは司令電話の会話である。使われる用語は事前に何回も打ち合わせを行い、かなり限定されている。基本的には余計なことは一言も発するなと言うことだ。実際、発射時の司令電話は静寂とも言えるものであった。多くの情報が行き交う内之浦の場合と対照的である。ここでも大きな文化の違いを実感した。

以上、フロリダでの打ち上げ作業に参加して、特に印象的だったことを幾つか述べた。GEOTAIL は日米共同計画であるためか、射場現場での日本側と米国側の協調関係は極めてスムーズで殆どストレスを感じることなく仕事ができ、これはトップレベルでのマネジメントか

ら現場の担当者に至るまでの全員が前向きな姿勢で、かつ相互の信頼関係が確立されていたことが大きな要因だったように思える。例えば中谷先生と NASA の Mac Grant さんの関係などはその代表と思う。最後に、こんなに楽しい経験をさせて頂いたことに心から感謝します。



日米共同計画のかなめ「中谷先生と Mac Grant 氏」

GEOTAIL 射場作業の思い出

元 三菱重工 唐津信弘

私は三菱重工時代に 1992 年 5 月から約 3 ヶ月間、GEOTAIL 射場実験班の一員としてフロリダのケネディスペースセンターに出張しました。

主な仕事は RCS の射場搬入後の動作チェック、燃料充填等で、特に燃料充填は GE アストロテックと共同作業であったため、慣れない英語の手順書で大変でした。また、燃料充填は雷が近づくと作業を中断することになりますが、フロリダは亜熱帯性気候で夏季は雷を伴うスコールが多く、朝 5 時くらいにアパートを出発して 6 時くらいから準備を進めていたら、急に雷が近づいてきて、その日の充填作業は中止となることもあったように記憶しています。どうにか襲雷を避けて燃料充填が無事完了したときは“内心安堵”したものでした。

また、7 月 24 日の打ち上げ日は天候に恵まれ、打ち上がった瞬間、ビルディングの外に何人か（私もその 1 人）飛び出し白煙を上げて力強く上昇していく GEOTAIL 搭載のデルタ II ロケットを見た後、すぐにチェックアウト室に戻り、RCS によるスピンドウン、自動太陽捕捉等の制御が正常に行われていることを確認したときは、一瞬感激し涙が出たものでした。

一方、フロリダでの生活はココアビーチに面したアパートでの自炊生活で、仕事日でも 5 時頃にアパートに帰り、8 時くらいまでは明るかったので、ビーチで走ったり、泳いだりして過ごしました。しかし、ある日ビーチで泳いでいたら、海水パンツの紐に固定していたアパートの鍵が外れて無くしたときには大変でした。アパートの管理人さんに部屋の鍵は開けてもらったのですが、スペアキーがなく翌日鍵屋さんに管理人さんと一緒に行って作ることになり、その夜は紐で中からくくったものの怖くて眠れない一夜でした。

休日は釣りをしたり、カラオケで歌ったり、フリーマーケットに車で出かけたりして過ごしました。釣りでは“ペンフィッシュ”という 12~13cm くらいの黒鯛のような魚を 10 匹くらい釣ったところで釣れなくなり、クーラーと餌をその場に置いたまま 5 m 程度場所を移動して釣ったのですが、釣った魚をクーラーに入れようと戻ったら残っていた餌が無くなっていました。日本ではこのようなことはなかったので、改めて日本との違いに気付き、以後の釣りでは注意したことを今でも覚えています。

以上



チェックアウト室で RCS 動作確認



ココアビーチにて

感動、地獄そして喜び

元 日本飛行機 湯山憲一

私にとりまして、宇宙分野に携わって約 30 年、いろいろなハプニングがありました。最も忘れられないハプニングが「GEOTAIL」であったと思います。そのハプニングは 2 件あるわけですが、一つは打ち上げ視察で海外出張に行けたことです。日本飛行機からは、亡くなりました Mr.宇宙研といわれた技術担当の故柿坪氏と営業担当の私と一緒に went 行けたことです。打ち上げ当日は、町田先生の案内で文部省関係者、NEC トップの皆様方と KSC (ケネディ宇宙センター) に入り、開け始めた空にサーチライトで照らされ、そそり立つ「GEOTAIL」を搭載した DELTA II ロケットを眼前にみて身震いするほど感動し、また打ち上げ時は、見学スタンド付近から快晴の青空の中に DELTA II ロケットが青空に吸い込まれるようにゆっくりと上昇していく姿に見とれたことです。打ち上げ時刻は、1992 年 7 月 24 日 10:26、定刻どおりでした。この素晴らしい打ち上げ情景と西田先生はじめプロジェクト関係者全員で喜びを分かち合えることができたことは一生忘れることができない感動を与えてくれました。

ちなみに、日本飛行機は「あけぼの」用伸展マストに続き、「GEOTAIL」には磁気圏観測センサーを搭載するための 2 段伸展方式の伸展マストを 2 本納入しました。2 段伸展方式のマストは「GEOTAIL」が初めてで、1 段目と 2 段目の先端に各々センサーを取り付けるためにこの方式が採用されました。

さて、もう一つのハプニングは、GEOTAIL の運用をいざ始めようとした矢先、9 月 4 日 2 本の伸展マストの伸展オペレーションを開始しましたが、私の当時の手帳によりますが、一本 (MST-F) は全伸展しましたが (全長 6.13m)、もう一本 (MST-S) は 2 段目の途中で停止してしまいました (全長 6.15m)。全伸展に成功した 9 月 16 日までの 12 日間、この間プロジェクト関係者には多大なご心配、ご心労をおかけすることになり、営業としましては針のむしろに座らせられたような心境が続きました。技術陣による夜を徹した技術検討、技術確認試験など様々な検討結果、このマストは機構的に遠心力が強くと働くほど伸展しにくくなることが分かりました。遠心力を弱めるために最終的には上杉先生のご英断だと思いますが、衛星がひっくり返ってしまいそうな衛星スピンをぎりぎりまで落とした結果、何とか伸展に成功することができました。この時の運用センターでの皆さんの歓声、拍手など喜びと感動もまた忘れることはできません。

おかげさまで日本飛行機の伸展マストは、1989 年に打ち上げられた「あけぼの」以降いろいろな衛星にいろいろなタイプの伸展マストが開発され、アンテナ展開機構、太陽電池パドル展開機構、M ロケット伸展ノズル伸展機構、衛星分離機構などに採用いただきましたが、これらのことは、宇宙研、メーカーの方々をはじめ多くの方々のご支援、ご協力そして励ましの言葉に支えられてきた成果と思います。

改めて、「GEOTAIL」プロジェクト関係の皆様方には厚く御礼申し上げますとともに、次は 30 周年記念を盛大にできることを願っています。



(DELTA-IIによる GEOTAIL 打上げの朝：左から 2 人目が筆者)



(進展マストオペレーション；下が伸展成功時)

80%伸展

元 日本飛行機 山城宏一

伸展マストや望遠鏡の伸展構造等で宇宙研にはお世話になった。

伸展マストのような伸展機構は常に強烈なプレッシャーのかかる伸展オペレーションが付きまとう。沢山の成功の瞬間を経験させてもらったが、仕事でこのような経験が出来るとは大変有難い事だと思っている。

もっとも 100%の成功を誇るニッピの伸展機構だが、一時うまく伸展しなかった事もある。

GEOTAIL の伸展マストだ。最後は上杉先生の決断で大幅なスピンドアウンをしてもらい伸展する事ができたが、当初は 2 本のマスト共 80%伸展で止まってしまった。

徹夜で原因と対策の試験を続け、約 2 週間後に無事進展することができた。

地上での再現試験の結果、原因は高面圧の 2 硫化モリブデンの固体潤滑に真空グリスを併用すると摩擦が大きくなることがある、ということであった。

GEOTAIL は高スピン衛星で、伸展マストは遠心力で出ていこうとするのをモーター、ギア、ワイヤーで押さえながら伸展させる仕組みだが、遠心力による高面圧のギア部に上記現象が発生したものと判断された。高面圧を抑えるために、既にワイヤーアンテナも伸長済みの形態でスピンドアウンしている衛星をかなりスピンドアウンさせるというクリチカルな運用で、様子を見ながら徐々にスピンドアウンした上で再伸展を試みた。

最後に「MST EXTEND FULL」がモニタに表示された時の感動は忘れない。

話は少しさかのぼる。打ち上げも成功し、クリチカルフェーズもクリアし、主要な機器の作動も確認できたので成功記念パーティーをおなじみのハーベストで行うこととなった。

この時日飛では未だ徹夜で対策が練られていた頃である。そういう状況であったので日飛は出席を見合わせますとお答えしたら、向井先生から「良いから出なさい」、と言われて代表で私だけが出席することとなった。

次々と成果が報告される中で、身も縮む思いで隅で小さくなっていた私に向井先生が 80%伸展の意義を説いて下さった。曰くほとんど成功なのだそうだ。観測側からすると 80%伸展でも成果が得られると説いて下さった。

先生の気遣いに涙が出る思いであった。こんな不具合は宇宙では通常の仕事のうちだと当然のように平然と仕事を進められて励ましてくれた上杉先生、80%伸展の意義で心を穏やかにしてくれた向井先生。

皆さんに助けられて励まされて成功した GEOTAIL マスト運用でした。

でも、後輩の皆さん、80%伸展の意義なんてありません。伸展は 100%でなければならないのは当然ですよ。

GEOTAIL 用マストの軌道上伸展

(本文は「宇宙空間観測の半世紀」より転載)

日本飛行機 金子 斉

今も軌道上で観測を続けている GEOTAIL 衛星には、2本の2段構造の伸展マストが搭載されています。当時若年であった私はその伸展マストの開発に携わり、軌道上でのマスト伸展トラブルという苦い経験をいたしました。今では過去の出来事かも知れませんが、今の私がエンジニアを続けていられる原点があるといっても過言ではないと思っています。GEOTAIL 衛星は、宇宙科学研究所（以下宇宙研と記載させて戴きます）が開発した科学衛星に中で、外国のロケットで打ち上げられた初めての衛星でもあります。1992/7/24 にデルタ II ロケットによりケープカナベラルから打ち上げられ、射場確認作業のため同年6月に米国出張したことも良き思い出になっています。

マスト伸展オペレーションは、打ち上げ後約40日後の1992/09/04の夜10時頃から行われました。伸展オペレーションは EXOS-D（あけぼの）に続き、2度目の経験ではあり緊張はしたものの、その後に始まる約2週間の復旧伸展運用の日々は、私を始め関係者は誰も予期していなかったと思います。

マストは地上からの伸展コマンドにより、順調に同時伸展を開始したものの、約5分後に自動停止してしまっただけです。即刻、状況把握及び今後の対応が話合われ約1時間に復旧に向けた運用を行いました。その結果、搭載された2本のマストの内1本のマストの調子が悪く、同時に伸展する事が不可能と判断され、予め用意した片方みの単独伸展運用に切り替えました。何とか片方のマスト伸展を完了したのは、運用を開始してから4時間後の事でした。その後も、途中で止まっているもう一方のマスト伸展復旧に向けた調査の運用を行いましたが、衛星との通信の関係でその日の運用は中止となりました。運用室より出て外を見ると辺りは既に夜が明け始めていたのを思い出します。

運用が終わり、そのまま会社に戻ったか否かは記憶がなく、1992/09/14の復旧運用（第1回目）が行われるまでの10日間は、会社での昼夜におよぶ原因究明試験と報告会資料作成及び宇宙研への不具合報告等、寝る時間を惜しんで作業した事を思い出します。これも若かったから出来た事かも知れません。

その甲斐あって、原因は伸展を制御している駆動装置潤滑部の効率低下によるものと特定され、衛星のスピンドルによる遠心力効果を減少させることで、伸展復旧に可能性があることが分かりました。

1992/09/14：マスト駆動装置の残留駆動効率を推定するために衛星スピンを11.5rpmまで減少し、マストの部分伸展（約1m）が行われました。

1992/09/15：昨日の復旧運用結果より、推定される駆動装置の残留駆動効率より、マストが完全に伸展するためのスピンドルを決定し更なるスピンドルダウンを行い伸展作業に臨みましたが、あるスピンドルにきた段階で衛星姿勢に擾乱が始まり、擾乱収束/スピンドルダウンのためには、時間を要するため、この日の伸展復旧運用は止め明日となりました。

1994/09/16：姿勢制御関係者の努力により衛星姿勢安定の限界までスピンドルダウンを行って頂きましたが、マストが完全に伸展するために必要なスピンドルまでには、あと0.5RPM不

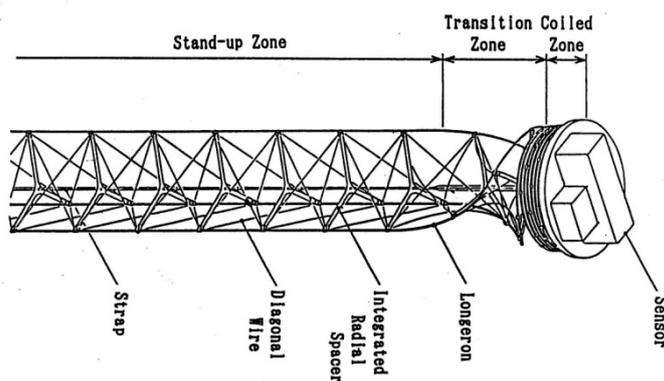
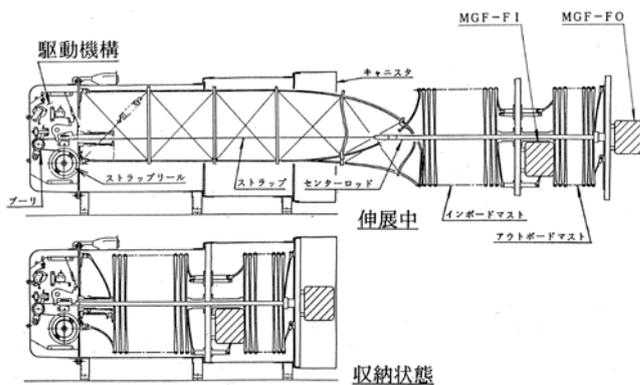
足していました。この段階で、復旧伸展続行有無が関係者間で協議されました。最終的結論は「伸びると思うならやるしかない！」との上杉先生の一言であり、勇気が湧き上がる思いでした。最後の勝負であり、マストの特性上から来る2つ駆動負荷のピークとモータ温度上昇による出力低下を考慮し、1回で行う伸展運用をモータ冷却を加味した2回の運用に分けて実施することに決定しました。

1回目：20:58～21:16 約 2.2m 伸展

2回目：22:02～22:04 約 0.2m 伸展完了

周りから、大歓声が湧き上がり関係者間で握手会が始まり、誰かが用意した「伸展祈願ダルマ」に目を入れる催しが行われました。その後簡単な打ち上げ会が行われましたが、どんな味だったか正直覚えていません。

いろいろな面でご協力戴いた工学の先生方、また心配をお掛けした磁場観測の理学の先生方、そしてその当時運用を担当された NEC の方々に、この場をお借りして感謝申し上げます。



写真は、1994年ころの私

弊社で開発した伸展マストは「あけぼの」、「ジオテイル」、「のぞみ」、現在開発中が「Bepi Colombo MMO」そして「ERG」と、これまで五個の衛星に搭載されてきています。（「かぐや」はエレキ部が弊社開発ではないため、ここでは含めていません） おかげさまで、展開構造物はニッピとして認識もされて来ています。

伸展マストは、皆様ご存じのとおり、運用初期に伸展させてしまえば、後は基本的に用済みとなる機器です。もちろん、マストそのものは、構造体として、その後もセンサの位置を高精度で保持することが期待されるわけですが、エレキ部は、そこで役目を終えます。

「ジオテイル」の運用中に、一度だけ観測機器のラッチアップ解消の目的で、日陰運用で全機器の電源をオフにする運用がなされました。この時、マストのストラップが低温で収縮してマストを収納方向に引っ張ることが想定されました。そのため、私も当時の弊社スタッフとともに日陰運用に召集されたわけですが、その時にエレキの電源も、数年ぶりにオンされました。そして、ステータスは正常に送られてきたことは記憶しているのですが、収縮したストラップを緩めるために、マストを駆動したかどうか、そして駆動できなかったのかどうか、その辺の記憶が余りありません。それでも、日陰に入り緩んでいたはずのストラップのテンションが収縮により張り出したのは記憶しています。それから、テレメが途絶え長い時間通信が復活するのを待ちました。そして太陽の日がソーラパネルに当たり始めて徐々にテレメが回復し、それにつれてストラップのテンションが緩むのも確認することになります。

その後は、この年になるまで、マストエレキの電源が入ることはありませんでした。つまり二十数年間、電源オフのまま放射線環境に曝されてきたわけです。現在開発中の「Bepi Colombo MMO」では、マストエレキも打ち上げてから約七年間電源オフのまま、水星までクルーズして、そこで目覚めるわけです。そう考えると、それだけの時間眠っていて、果たして目覚めるのだろうか？ と不安にもなります。そこで、可能であるのなら、「ジオテイル」のエレキをオンしてみたいと思うようになりました。もちろん工学的に意味があるのかを問われると、あまり有効な回答はできませんし、様々な制約もあるので、できるとは思っておりません。しかしながら、可能なら古い機器をオンしてみたいと思うこのごろです。



マスト全伸展試験後、スタッフと共に

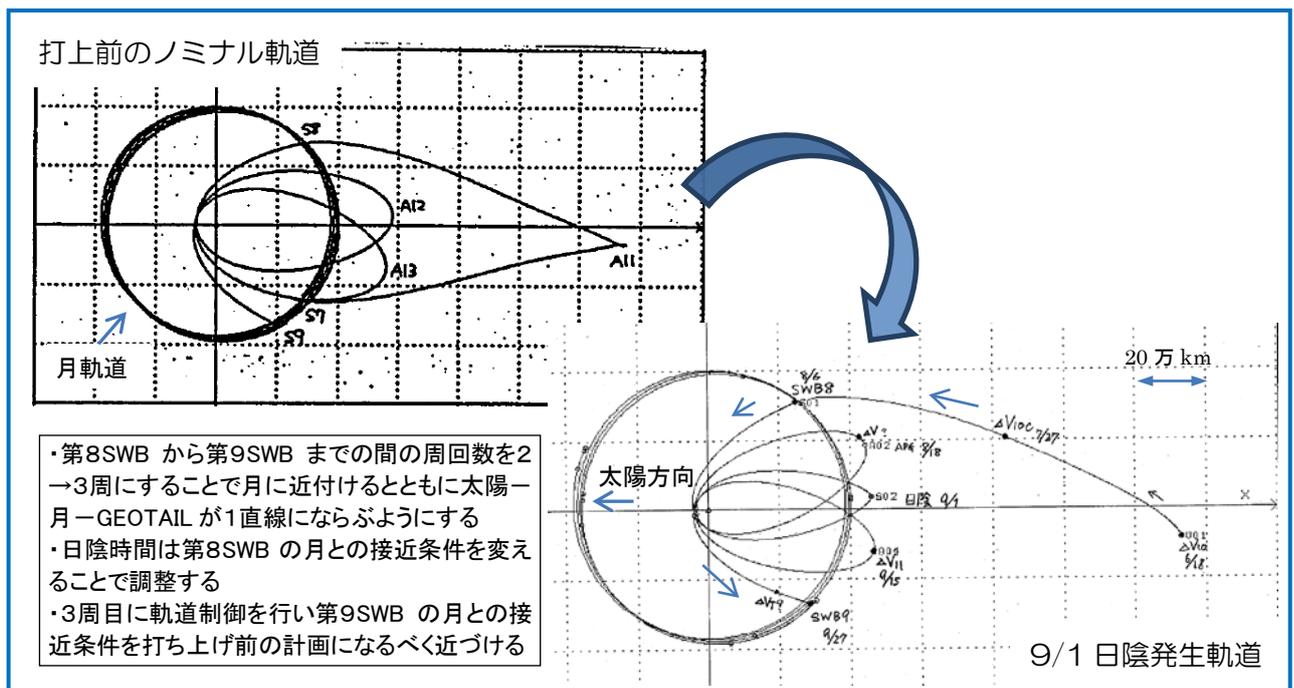
日陰作成(「本当ですか?」)

NEC 松岡 正敏

日陰を作成して欲しいと言われ、最初は驚きました。思わず「それ本当ですか?」と聞き返してしまいました。それまで、軌道計画ではどのようにして日陰を避けるのかに腐心していたからです。日陰をなるべく避けるように計画してきた軌道に対して新たな日陰を作ることになったため、しばらくは試行錯誤の日々が続きましたが、上杉先生をはじめとした宇宙研・軌道グループ(ISAS/GOOD)の先生方や故・木村雅文さんからNEC軌道グループのアドバイス(叱咤激励ともいいますが)もあり、打ち上げから約1年後の1993年9月1日に日陰を発生させる軌道を作り出すことができました。GEOTAILは磁気圏遠尾部への滞在を行うために月によるスイングバイ(SWB)を利用しますが、スイングバイとスイングバイの間に太陽-地球-GEOTAIL が一直線に近づくタイミングがあります。このタイミングを利用して日陰を作成しました。最初は地球による日陰を考えましたが、日陰時間が長くなることと、日陰・日照の切り替わりがなだらかなため、月による日陰を作成することに変更しました。1993年9月1日の日陰当日には相模原の管制室に詰めて、GEOTAIL の初めての日陰を見守っていました。日陰の発生時刻がほぼ計算通りであったことに管制室の片隅で感激していました。

GEOTAILは1994年の冬に地球近尾部観測軌道に移行してからは、かなりの回数の日陰に遭遇していますが、この特殊な日陰を最初に経験したからなのか現在まで無事に日陰時期を過ごせているようです。初めての日陰から22年経ちますが、現在も日陰は半年ごとに発生して(地球の陰によるもの)います。日陰時間の予測計算も関係する皆様のおかげで相変わらず続けることができます(もうお前がするなどの声も聞こえてきておりますが)。

打ち上げ30周年にむけて、これからもGEOTAILには「現役」であり続けて欲しいと願っております。



LEP の復活劇

元 宇宙科学研究所 向井利典

GEOTAIL プロジェクトは幾つか危機的な状況乗り越えたとの思いがあるが、その最たる出来事は、私が主任研究者 (PI) を務めた低エネルギー粒子観測装置 (LEP) が打上げ 1 ヶ月後の初期観測の最中にラッチアップしてしまった事、そして約 1 年後、翌年の 9 月 1 日深夜、月の影に入った衛星のバッテリーを切離すという特殊オペレーションによって復活したことである。

打ち上げの約 1 ヶ月後、LEP の高圧電源の投入チェック直後の初期観測において、いきなり、地球起源と思われる冷たいイオンが地球から遙か離れた磁気圏尾部のローブにまで到達し、反太陽方向に流れているという発見的な結果がもたらされたが、その興奮は翌日深夜の運用で地獄のどん底に落とされてしまった。イオンエネルギー・質量分析器への高圧電源投入が無事終り、磁気圏尾部のプラズマシートを観測している最中、LEP のコマンド受け回路が何の前兆もなく突然ラッチアップしてしまったのである。電流制限用の抵抗が電源ラインに挿入されているので、電源を一旦オフして再度オンすれば回復する可能性があるのだが、常時電源のコマンド受け回路をオフする手段としては衛星全体の電源をオフする、即ち、衛星を仮死状態にする他ないのであった。それには、衛星が日陰中に (すなわち、太陽電池が電力を発生してない時) バッテリーを切り離すという前例のない特殊オペレーションが必要なのであるが、最初の 2 年間の遠尾部軌道では日陰が生じないように軌道設計されていたのであった。

プログラム総括責任者の西田先生とプロジェクトマネージャの上杉先生のリーダーシップのもと、当初の軌道計画を変更して月の影に衛星を入れるための検討が開始された。地球ではなく、月の影にしたのは、半影の時間を短くし、衛星電源の立ち上がりを少しでも早く安定化させるためであった。しかし、日陰でバッテリーを切離した後、日照に出て太陽電池の出力が上昇するとしても衛星が本当に無事回復するのか? 回復したとしても、電子回路の初期設定に使っている Power-on Reset がうまくかかるのか? こうした検討のための様々な試験と侃々諤々の議論が行われ、その結果、衛星は正常に回復するという結論に至った。

最後の決断は、国際協力のパートナーである NASA の承諾を得るため、Science Working Group の決議によって決めることになった。議長はプログラムマネージャの西田先生、投票権を有するのは日本人 5 人と米国人 2 人で構成される PI と木村磐根先生 (京大)、Dr. Mario Acuña (NASA/GSFC) を加えた 9 人とされ、その結果、米国 PI の一人を除く 8 人が賛成票を投じ、実行に移すことになった。なお、Mario Acuña は投票日の朝パリからの直行便で成田に着いたのであるが、米国公務員が米国の航空会社を使わずに来るのは大変なことであった。

1993 年 9 月 1 日深夜、相模原衛星管制センターは一種異様な雰囲気包まれていた。衛星はまもなく月の影に入るが、それは打ち上げ後初めての日陰であるが、異様な雰囲気はそれが理由ではない。本影最後の所でバッテリーを切り離す、すなわち、衛星を仮死状態に入れるという特殊オペレーションを正にやろうとしているためである。その後、日照になるので、衛星の太陽電池が働き、衛星は生き返るという目論見であるが、果たしてうまくいくのか、と誰もが固唾を飲んで神経を尖らせていた。臼田、内之浦にも GEOTAIL 衛星や地上系システムを熟知した宇宙研とメーカーのベテランが駆けつけ、万全の体制が敷かれた。以下、実況中継風に再現する。

23 時 35 分半影開始、23 時 43 分いよいよ本影に突入、予め決められた手順に従ってコマ

ンド送信、チェックシートによる衛星状態の監視は順調に進んでいる。0時17分、バッテリー切り離し、電波が途絶える。臼田に管制権を渡し、指令電話を通して内之浦からの経過時間のカウントが聞こえてくるだけである。3分経過、衛星に陽が当たり始める頃だが、何も音沙汰なし。5分経過、そろそろ、電源電圧が上がってくるはずだが？ 8分経ったが、管制室は静まりかえっている。10分経過、ようやく電波が復帰、更に数分おいて安定してきたところでコマンドを送信、PCM テレメータがロック。この間が何と長く感じた事か。直ちに衛星の状態をチェック、目的としていたラッチアップが解消できている事を確認して、ほっと一息。管制室は以前の活気を取り戻し、衛星再立ち上げ手順に入る。翌日から本格的に搭載機器の再立ち上げ作業が始まり、プログラムの再ロード等のために約2週間を要したが、その最後として9月14日、LEPの1年ぶりのデータを目にした途端、一挙に疲労の極に達してしまっ

た。その後、LEPは当初の予想を遥かに超える成果を出してきたが、この復活オペの成功は西田先生と上杉先生のリーダーシップのもと、宇宙研工学の方々や衛星システムを担当した日本電気、LEPの開発を担当した明星電気など、多くの方々の協力のお蔭である。ここで改めて御礼を申し上げる。また、この特殊な日陰オペレーションを支持していただいた国内・国外の多くの方々、特に、私の事を信頼してくれたNASA/ISTPのプロジェクトサイエンティスト、Mario Acuñaに感謝する。1999年、学術会議の宇宙空間研究連絡委員会が主催した国際協力シンポジウムにおいて彼が述べた事を紹介する。”The GEOTAIL program has been and continues to be an outstanding success. ...the development of a mutual trust relationship between the partners was perhaps the most critical element of all for success.”



筆者（左）と Mario Acuña（中央）

1992年7月フロリダにて

（注）2009年3月5日、Mario Acuñaは永遠の眠りにつかれた。哀悼の意を表する。

Recommendation toward the LEP Recovery Operation in GEOTAIL

In view of the importance of the LEP (Low Energy Particle instrument) real-time observations for achievements of Japan's primary science objectives in GEOTAIL, the GEOTAIL Science Working Group recommends to conduct the LEP recovery operation which involves turning the spacecraft power OFF at the end of the lunar eclipse on 1 September 1993. This recommendation is based on the technical assessment that the risk to the spacecraft and the other instruments in conducting this operation is very little, compared to the scientific benefit.

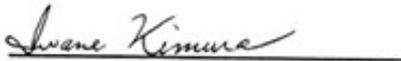
with the exception of one dissenting opinion



T. Mukai
GEOTAIL Project Scientist



M. H. Acuna
ISTP Project Scientist



I. Kimura
GEOTAIL Project Scientist



D. J. Williams
Principal Investigator, EPIC



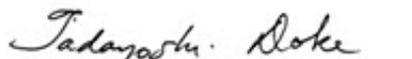
K. Tsuruda
Principal Investigator, EFD



S. Kokubun
Principal Investigator, MGF



H. Matsumoto
Principal Investigator, PWI



T. Doke
Principal Investigator, HEP

Dissenting Opinion

It is recommended that the LEP recovery plan be implemented after the POLAR launch in order to avoid unnecessary risks to the GEOTAIL spacecraft before the global magnetospheric objectives of ISTP are achieved.



L. A. Frank
Principal Investigator, CPI

LEP 復活日陰オペレーション成功への祝辞

オペ成功を伝えたところ即座に祝辞が届いた。以下はその一部である。

Daniel Baker (NASA Goddard Space Flight Center, Maryland) Warmest congratulations! I couldn't be happier for you and your team that everything worked out well. I am sure I speak for our entire laboratory when I say that we applaud the thoughtful and professional approach you took in this difficult task. We look forward to working with you for a long time to come on global magnetospheric issues.

Charles Kennel (University of California, Los Angeles) Congratulations on a successful maneuver! With so many other space disasters in the news today, it is a pleasure to hear of a success.

Richard McEntire (Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Maryland) Congratulations (!!!) on recovering the LEP experiment! I know that the past year has been very difficult, but Mukai has done a wonderful job of analyzing the existing LEP data to make clear to everyone the tremendous scientific promise of the instrument, while at the same time determining the cause of potential cure of the problem. Mukai deserves great credit – and so does ISAS for a very courageous decision to carry out the recovery operation.

Elden Whipple (NASA Headquarters, Washington D.C.) Thank you for the note on the “Geotail reborn”. I have passed it on to all the personnel in the Space Physics Division. Congratulations to you and all your colleagues on carrying out successfully such a difficult and complicated operation.

Tom Moore (NASA Goddard Space Flight Center, Maryland) Thank you very much for the exciting news about the recovery of the plasma instrument on Geotail. After seeing Mukai's talk at the IAGA meeting, I cannot express how delighted I am that this instrument has been restored to the operation. We will all be hoping that Geotail will last until we can get POLAR aloft to perform correlated studies!

Jack Gosling (Space Science Laboratory, LANL, New Mexico) Hearty congratulations on the successful recovery of the plasma experiment on Geotail. I am sure that all the space plasma community is very pleased about this turn around. We here at LANL are all “tickled pink” about your team's success.

ISAS, CRL, NICT, JAXA を経て母校の東北大学に戻って3年が経ちます。25年ぶりの仙台市は大きく変貌していて、別の街に住んでいるかのように感じています。この度の記念文集に際しまして、地元仙台市の明治創業の新聞であります河北新報に全20回で連載をしていますエッセイ記事（プリズムという科学欄です）の中から記事を2つ選びました。宇宙科学研究所の今後の益々の発展を祈っておりますとともに、定年までの月日、私もラストスパートしたいと思っています。

① フロリダの宇宙基地／オーロラ発生の謎に迫る 2014年10月22日朝刊掲載

文部省宇宙科学研究所（現宇宙航空研究開発機構）に入所して二つ目の仕事は、米航空宇宙局（NASA）と共同で進めているジオテールという名前の人工衛星でした。ジオは地球、テールは尻尾という意味です。地球が尻尾を持っているということはあまり知られていませんが、その正体は磁力線です。

地球の磁力線は、南半球から出ていき、北半球に入ります。南半球の高緯度から出た磁力線は、月軌道を越えて、ずっと遠くまで伸びることが知られていました。あたかも、パチンコのゴムひもみたいに引っ張られて伸びていたのです。その伸びた磁力線が突然、縮むことがあり、その時、極地方ではオーロラ現象が発生するとされていました。

ジオテール衛星は月軌道を越えて遠い宇宙空間まで行って、磁場やエネルギーの高い粒子を観測し、オーロラの発生原因に迫ろうとしました。打ち上げ用にNASAのデルタ2型ロケットが選ばれ、向井利典先生を中心とした私たち宇宙研のメンバーは、米フロリダ州のケネディ宇宙センターまでジオテール衛星を運んでいきました。輸送では通関などの難しい局面もありましたが、米政府の支援を頂き、1992年7月にジオテール衛星はケネディ宇宙センターから打ち上げられました。

ケネディ宇宙センターはとても広く、入り口から20キロ以上も車で走って、ようやくロケット発射台にたどり着きます。途中、スペースシャトルの姿が見えたかと思うと、ワニが水路で泳いでいるなど、フロリダの気候と自然、そして宇宙基地の規模に圧倒されました。

② 宇宙科学研究所の思い出／成果を広報で伝える 2014年11月26日朝刊掲載

文部省宇宙科学研究所（現宇宙航空研究開発機構）時代の思い出は、宇宙研ニュースです。宇宙研が東京・駒場から相模原市に移転したころ、前任の先生から引き継いで編集委員になりました。神奈川県北部にある相模原市は丹沢連峰が近くに望め、相模川の溪流が市境を流れる、とても環境のよい街です。

宇宙研ニュースは毎月発行され、編集委員会も月1回のペースであります。編集委員会はとても面白く、にぎやかでした。編集長の松尾弘毅先生を中心に、的川泰宣先生、中谷一郎先生が編集会議を引っ張っていました。交わされる言葉は明快でウイットに富んでおり、会議をいっそう豊かなものにしていました。

宇宙科学研究にとって広報はとても大切です。大きな予算を使うロケットや科学衛星の成果は、遅滞なく、かつ中高生の皆さんにも分かってもらえるように表現する必要があります。インターネットの時代になって、紙からホームページ（HP）に切り替えました。担当していた1990年代は1万人の購読者がいました。HPになってからは閲覧数が100万件を超えることもありました。

教育用ビデオも作りました。「母なる太陽」「オーロラのふるさと」を担当したのを最後に、郵政省通信総合研究所（現独立行政法人情報通信研究機構）の宇宙環境センターに転出することになりましたが、製作したビデオがコンクールで経団連会長賞をもらったのは良い思い出です。研究者は自分たちの仕事が生かされることに広がっていくことをとてもうれしく感じる人種であると、確信をした次第です。

ジオテール衛星とデータセンター

東京大学 星野真弘

ジオテール衛星計画における数々の成功の物語の中で、データ構築および公開について、当時の様子を書き記しておきます。私は、LEP 観測機器のリカバリーの直前に「企画情報解析センター」に助教授として所属することになり、ジオテール計画の末席メンバーとして、データセンターの立ち上げに携わることになりました。しかし、私は学生時代に西田研に所属していたものの理論シミュレーション研究で学位を取得したため、衛星データは実のところ余り良く知らないままにセンターの仕事をするようになったのです。衛星から取得された生データが、どのようにして観測機器のPIによって処理され、その処理されたデータが最終的に科学成果として論文に使われるかは表面的にしか理解してなかったかと思います。こんなデータの素人さんが、宇宙研のX線天文衛星、太陽衛星、そしてジオテールなどの磁気圏衛星データ公開に向けてデータセンターを立ち上げるようになったのですが、その時の様子についてジオテールに関連したところを書き留めておきます。

さてジオテールが成果を挙げる事が出来た理由は、なんとと言ってもLEP粒子計測で取得された速度分布関数を最大限に活用したサイエンスが花開いたからではないでしょうか。特に、磁気圏尾部での磁気リコネクションによるプラズマ加速、磁気圏対流運動やプラズモイド形成、磁気圏境界面における太陽風プラズマと磁気圏プラズマの混合、バウショックや惑星間空間衝撃波での加速や地球の電離大気散逸などについて数多くの研究成果が挙げられました。(たぶん西田先生がジオテール計画を立案されたときには予想もしなかった新しい方向性をもった研究が展開されたのではないかと思います。)磁気圏物理の醍醐味は、無衝突系におけるプラズマの振る舞いであり、太陽風となって惑星間空間に流れ出した太陽大気が、地球磁気圏の磁場やプラズマと相互作用して、オーロラや磁気嵐を生み出すというシステムの理解から始まって、この太陽地球系の理解をもとに広大な宇宙での普遍的プラズマダイナミクスを解明することです。ジオテール衛星では、磁気圏におけるミクロな物理とマクロな物理が競合する様々なプラズマ現象の謎の紐解きがおこなわれましたが、速度分布関数はその謎解きの要の物理量です。

データセンターの仕事としては、宇宙研の衛星データを世界中の研究者に使ってもらうことですが、ジオテールのデータ公開では、ユーザーフレンドリーな形で速度分布関数のデータを世の中に送り出すのが大切で、これが実現すれば磁気圏物理研究に新しい旋風を巻き起こすことになると考えていました。実際ジオテール衛星の成果が出始めると、世界中の研究者から熱い視線がLEPのデータに向けられ、1998年の名古屋でCOSPAR国際会議のビジネス・ミーティングの席で、ジオテール衛星については、従来の磁場やプラズマ密度、速度、温度に加えて速度分布関数も含めてデータ公開をする計画であることも申し上げたら、会場から拍手喝采が沸き起こったことを記憶しています。(太陽物理代表として出席していた故小杉さんが、拍手がおきるなんてすごいなあと言ってくれたのを覚えています)。

しかし速度分布関数のデータ公開には、数多くの問題がありました。まず 1998 年頃は情報テクノロジーが現在とは雲泥の違いがありました。ハードディスクが1ギガバイトあたり10万円程度、ネットワークも SINET の通信速度が 3Mbps 程度の時代です。速度空間 3 次元のデータを媒体で提供するのもネットワーク経由で送るのも至難の業です。宇宙研内でのチームメンバーですら、解析する際には一旦必要なデータを「シリウス」から WS に転送することが必要でした。またもっと厄介な問題は、速度分布関数データの信頼度です。端的にいうと宇宙空間では準中性プラズマであるべきイオンの密度と電子の密度が、単純に速度分布関数を速度空間で積分しても密度が同じではないことです。衛星の帯電などを考慮した生データからサイエンスデータへの処理は、データ処理自体が実験プラズマ物理の研究対象であり、非常に難しいデータ処理が必要です。観測装置の特性を隅々まで熟知した人（実際には向井さんと斎藤さん）しか手を出しにくいものがあり、速度分布関数のデジタルデータを公開することは簡単ではありませんでした（というようなことを知ったのはこの仕事に携わってからでした。速度分布関数のデータ公開では、データの限界を知らずに「新発見」が出ないような細やかな気遣いが必要です。）

またデータ公開にはユーザーフレンドリーな解析ソフトもセットが必要です。速度分布関数の解析ソフトには、メジャーなものとして「寺沢ソフト」とその改良版の「杉山ソフト」がありました。（私も宇宙研に赴任した際の研究準備金で、シリコングラフィックの WS を 500 万円程度で購入し、速度分布関数の 3 次元可視化ソフトを作ったりしましたが、当時はグラフィック WS が高額なこともあり、このツールはまったく普及しませんでした。）寺沢ソフトも杉山ソフトも解析ソフトとしては大変よく出来ているのですが、SUN (Sun Microsystems、当時の WS を席捲していた) の WS 用に開発されており、他の WS に移植するのは工夫が必要でした。また使い始めれば、機能的で良くできているソフトなのですが、使いこなすのに若干の訓練（練習）が必要で、国内研究者でも速度分布関数まで踏み込んだ研究をする人は少数でした。（なんとか簡単に使ってもらえるソフトを開発しようと何人かと相談したのですが、当時のデータセンターの限られたスタッフではとても出来ませんでした。）

こんな状況ですので、海外の研究者から速度分布関数のデータを使いたいとのリクエストに十分に応えることは困難でした。何とかデータは提供できたとしても、それを解析する環境を整えてもらおうとすると二の足を踏まれる方がほとんどでした。そのため、3 次元の速度分布関数をエネルギーは 1 次元・速度空間方向は 4 方向に縮約した E-t (Energy-Time) ダイアグラムを、ジオテール解析チームからリリースすることで利用してもらっていました。3 次元分布関数を詳しく見たいという野心的な研究者には、LEP の PI およびそのチームメンバーが個別にデータを提供したり、または日本に短期滞在したりして解析を進めてもらった方も何人かいたと記憶しています。（私のところにもロシアから JSPS 研究者招聘プログラムを利用して半年ほど滞在して研究を進めた人も居ましたし、フランスの研究者に必要な部分だけデータを送ってあげて共同研究をしたりしました。）だれにでも自由にユーザーフレンドリーに使えるということは出来なかったのですが、それなりに世界中の研究者には使っていたのではないのでしょうか。

さて企画情報解析センターの仕事として振り返ると、当時はデータセンターの黎明期でもあり、

X線天文衛星「あすか」「ぎんが」や太陽衛星「ようこう」のアーカイブは DARTS としてある程度完成することが出来たのですが、磁気圏衛星は特殊事情があり、世界中のすべての研究者に資する公開されたデータセンターという DARTS の目標は十分には達成でなかったように思います。しかし今日の磁気圏衛星においては、高機能化および大容量化するなかで、データセンターおよびデータ公開は日進月歩であり、例えば我が国の内部磁気圏 ERG 衛星(2016 年度打ち上げ予定)は既にデータセンターが名大 STE 研で立ち上がり着々と準備がされているようです。ジオテール衛星でスタートしたプラズマダイナミックスの研究は、米国 NASA の MMS 衛星(2015 年 3 月打ち上げ予定)に引き継がれ、また日本においてもプラズマ宇宙の理解に向けた新しいアイデアが提案されてきています。もう一度ジオテールでのプラズマダイナミックスの輝かしい研究を、世界中の仲間と共有して、(東京オリンピックをもう一度日本でというように、) 出来ると良いかと思えます。

あるドラマ。教壇にたっている福山雅治が学生に向かって講義をしています。黑板には、「Single Event Upset」の文字。半導体に与える放射線の影響をしゃべっているようです。「月着陸を成功させたアポロ宇宙船のコンピュータは君たちが使っている携帯電話のコンピュータより能力が低いを知っているかな」。学生が「え〜」と、驚きます。技術の進歩に従ってハードウェアの能力はどんどん向上していきますが、人間はその瞬間、瞬間に与えられた道具で最高の結果をめざします。GEOTAILのプラズマ波動観測器(PWI)は、波形捕捉受信器(WFC)という世界初の受信器をもっていました。センサーで捉えたプラズマ波動を、直接A/Dして装置内にもったメモリ上に一旦蓄えてから、ゆっくり地上に送信します。搭載しているメモリサイズは512kBytes。今の携帯電話がもっているメモリサイズより小さいものです。ここに8.7秒分の波形データを蓄え、5分間かけて地上に送信します。つまり、8.7秒観測して、観測を中止し、5分間かけて地上にデータを送信、送信が終わると、また、8.7秒観測する、という仕組みです。この8.7秒のデータがGEOTAILの大きな成果の一つである、「静電孤立波の発見」につながりました。

GEOTAILの打ち上げが近づいてきた頃、西田先生から、「小嶋さんは、GEOTAILが打ち上げられたらどんな研究をしてみたいですか」と、聞かれたことがあります。情けないことに私は、それまで装置の開発に頭がいっぱいで、あまりまともに考えたことがありませんでした。それでとっさに、「BENの波形観測をしてみたいと思います」と、言ってしまったのを覚えています。BENとは、「広帯域静電ノイズ(Broadband Electrostatic Noise)」と呼ばれているもので、1970年代にアメリカの衛星によって発見されたプラズマ波動です。数Hzから数kHzにわたって連続したスペクトルとして観測されるため、このように名前がつけられていました。比較的よく観測される現象であるにもかかわらず、その周波数がプラズマの特徴を現すいくつかの周波数をまたぎながら、連続して存在しているためにその正体も発生メカニズムも謎とされていました。

GEOTAIL WFCは、このBENの波形観測に初めて成功しました。図1がその波形です。縦軸が電界の強さ、横軸が時間でミリセカンドです。こんな一見、心電図の波形にも見える波形の塊が、BENとして観測されるスペクトルを実現しているのです。それまでBENの広帯域スペクトルを、連続波形の重ね合わせで理論的に説明しようとしていた試みは、この波形の発見で、吹っ飛んでしまいました。でも観測してみれば当たり前で、このような孤立した波は、広帯域のス

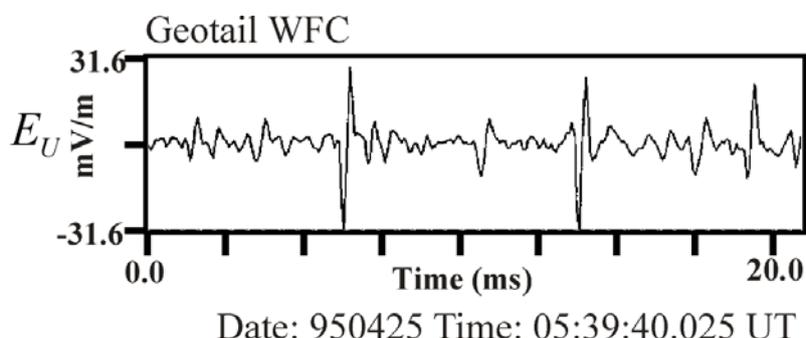


図1: 発見されたBENの波形「静電孤立波」.

見てもくわがぶりに単発の \sim 波の \sim にも受信された波の \sim のかわります。
(ハルズ?)

1枚も、1枚目と2枚目の観測時間差が3秒という短い時間にも拘らず、ハルズ波のレベルは
6dB以上大きくなっています。波形は \sim のようなもので「はる \sim のような \sim 波に
近しいものと思われる。拡大して詳細に解析してみることがあります。

また、この詳細解析の必要で Δx  拡大 Δx と Δt には逆相関が
あるように見えます (ソリト?)。2枚目のハルズ波を Δt だけ、ハルズ波の時間同期は、
20ms \sim 3ms \sim 5ms で 50Hz \sim 200Hz。ハルズ波の時間 Δt は 1ms 程度 1kHz 程度。
この SE SPA/MCA で \sim Broad Band に \sim して \sim しています。

一見干渉の \sim にも見えたが、レベルが極端に変動しているので \sim の可能性は \sim と思われる。
ただ現象は \sim が \sim である \sim ではない。むしろ、より多くの BEN 波形の
が \sim である \sim と思える。

図 2: 孤立波の発見を伝えるレポート。

した。「いっぱいできた『目玉』が、最後は、一つにくっついてしまうねんで」と。これは何か、
という、電子がビームになって走ると密度の粗密が多数発生して、波のようになるのですが、
その粗密の粗の部分、隣同士でくっついて、最後は一つになってしまう、というものでした(BGK
モードと呼ばれる状態です)。実は、この目玉が ESW に相当する粒子を現しているのです。こ
の目玉は「空間に浮かぶ泡」のようなものです(図 3)。ただ、そのスピードは数万 km/s にもおよ
び、これが GEOTAIL を横切ると図 1 のような波形になるのです。

くしくも同じ時期に、まったく独立に、GEOTAIL による ESW の発見があり、それに相当す
る、泡の現象が計算機シミュレーションでも実現していました。そして、松本先生がこれらをつ
なぎあわせ体系化するという仕上げをされました。この GEOTAIL による ESW の研究は、観測
と計算機シミュレーションとの密な連携研究、という意味でも大きな進歩だったのです。衛星観

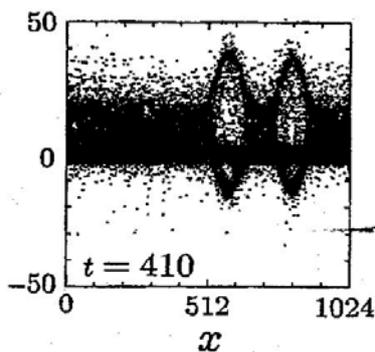


図 3: 計算機シミュレーションで確認された電子の泡。

測の推進と計算機シミュレーションの発展の両者にわたった
松本先生の努力が、ひとつに結実した瞬間で、まさに衛星-計算
機シミュレーション連携研究の金字塔となりました。

図 1 のような孤立波形は、「衛星から出る人工的なノイズで
はないか」、という心配の声がありました。実は、それを私自身
が一番心配していました。私が学生の時に、京都で向井先生が
講義されたことがあるのですが、その際に「観測屋は自分自身
のデータをなかなか信用できないものだ」ということを言われ
ました。その時は、私は「観測屋」ではなく「シミュレーション
屋」であったので、実感がなかったのですが、この ESW にあ
たって、すごくよくわかりました。ESW が自然現象であるこ

ペクトルをもつのです。

「この発見した現象に
名前をつけよう」と、松
本先生と 30 分くらい案
を出し合って決まった
のが、「ESW(静電孤立
波): Electrostatic
Solitary Waves(複数形
なのです)」でした。

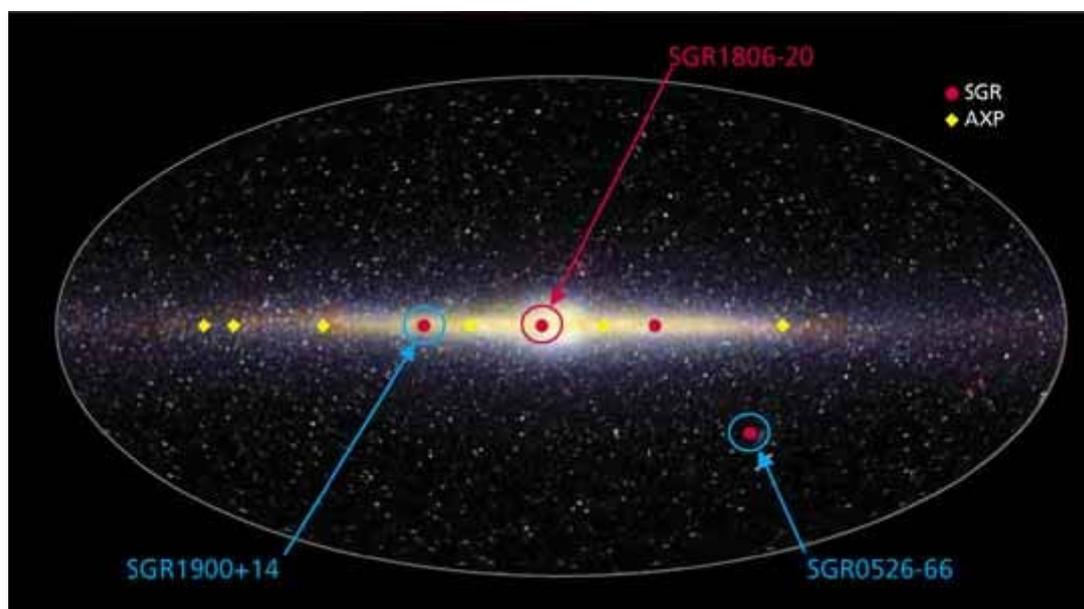
さて、GEOTAIL の打
ち上げ準備でばたばた
している頃、大村先生
が、「シミュレーション
が長時間にわたって安
定に実行できる」よう
になったと喜ばれて、
その計算結果を動画に
して楽しんでおられま

とを確認するために、あの手、この手、考えられる限り多角的に解析を行いました。本当に、胃が痛くなる時期でしたが、色々な証拠を集めて自然現象であることを確信するに至りました。でも、一番、安心するのは、他の衛星でも観測されたことがわかった時ですね。衛星観測では短期間での追試が難しいです。特に GEOTAIL のようにユニークな軌道の衛星では難しいです。米国アイオワ大の W. Kurth からメールをもらったことは今も忘れません。そこには、”Yes, we have found these (ESW のこと) in the Jovian data set.”と、ありました。ESW は、木星磁気圏でもみつかったのです。このメールは大切に保管しています。

GEOTAIL WFC は、「波形観測」の大切さを世界中にアピールしました。プラズマ波動を観測する衛星で WFC が搭載されていないものはない、と、いっても過言ではありません。そして、その結果、様々な衛星、様々な領域で、ESW は観測されるようになり、いまや宇宙空間で、ESW は当たり前の現象とまで考えられるようになっていきます。実験や観測を行っている研究者が、いわゆる「新発見」に遭遇する機会は本当に稀だといわれます。観測機会が限られている衛星観測では、なおさらだと思います。私は GEOTAIL WFC による ESW の発見という現場に関わりをもつことができ、非常にラッキーであったと思います。

GEOTAIL 衛星天体ガンマ線観測始末記

東京大学 寺澤敏夫



これまでに知られている軟ガンマ線リピーター (SGR, 4 つの赤丸) と、類似した性質を持つといわれる異常 X 線パルサー (AXP, 6 つの黄色の四角) の位置 (銀河系座標)。今回、巨大フレアを起こした SGR1806-20 は銀河中心に近い方向にある。前々回、前回の巨大フレアは SGR0526-66 と SGR1900+14 で起きた。(C) NASA Marshall Spaceflight Center

はじめに

GEOTAIL についての原稿を向井さんから求められ、あれこれプランを練ったのですが、結局、2005 年の ISAS ニュースの記事「GEOTAIL 衛星天体ガンマ線観測始末記」がまとまっており、それを転載していただくのが一番臨場感があるだろうと思い至りました。2005 年 5 月時点で書いたものですので、そのようにお読みいただければ幸いです。なお、一部テニオハ等を修正してあります。

GEOTAIL とは、1992 年 7 月に打ち上げられ、現在もデータ取得に活躍中の磁気圏探査衛星の名前です (地球を表す接頭辞 geo に磁気圏尾部を表す tail をつないだ造語)。科学史を繙くと、予期せざるデータが新しい研究の進展につながったという沢山の例を見いだすことができます。しかし個人レベルでは、そうしたことはごく稀な非日常的出来事でしょう。私自身が GEOTAIL 衛星によって天体ガンマ線の観測を行い、しかもそれによってその最前線に躍り出ることになろうとは、つい数ヵ月前までは思ってもみなかったことでした。

GEOTAIL 衛星プロジェクトはその名のとおり、地球磁気圏、特に尾部を主な研究対象として、JAXA 宇宙科学研究本部の前身である宇宙科学研究所と NASA が共同で企画したものです。磁気圏の研究にとって重要なのは、その場のプラズマ密度、速度、温度に加え、高エネルギー粒子や

電磁場とその揺らぎ(波動)です。そうした項目については、ほぼ完ぺきな観測体制がとられてきました。

一方、磁気圏研究のお隣に当たる太陽コロナ・フレア分野では、「ようこう」衛星の大活躍が記憶に新しいところです。磁気圏と太陽フレアは、プラズマの密度や磁場強度は何桁も違うものの、磁気リコネクションと呼ばれる共通の物理過程が支配的であることが明らかにされました。その研究の進展には、GEOTAILと「ようこう」のデータを用いた日本の磁気圏グループと太陽グループの寄与が本質的でした。「ようこう」では、GEOTAILと違って直接その場所に行かずに磁気リコネクション過程を研究するため、X線～ガンマ線による遠隔観測(リモートセンシング)が行われていました。

GEOTAIL が太陽フレアのガンマ線をとらえた

さて、話は5年前の2000年初めにさかのぼります。GEOTAIL衛星のプラズマ観測器(LEP、イオンと電子のカウンターで構成)のデータを眺めていて、時折、妙な縦縞が入ることに気が付きました。図1上は1997年11月6日11時40分～12時10分(世界時)の30分間のLEPのイオン・データを示したものです。縦軸はイオンのエネルギー、横軸が時間で、図の擬似カラーは各時刻・各エネルギーのイオンのカウント数を示します。この時間帯、GEOTAILは磁気圏尾部のプラズマシートの中にあり、周りの熱いイオンが連続的に飛び込んできていました(磁気圏尾部とは、彗星の尾のように地球磁場が太陽風によって吹き流されてできた地球の尻尾のこと。その中央には、数千万度(数keV)という高温のプラズマが詰め込まれてシート状の構造を作っており、それをプラズマシートと呼びます)。

図では、その様子が0.2～10keVの範囲で横に連なる色の帯として見えています。色合いが時間とともに変わるのは、イオンの量の変動していることを表しています。一方、図の中央付近、11時53分～11時55分ごろには青～黄～赤の縦縞が見えます。これがもしイオンによるものなら、計測の最低エネルギーである0.02keVから最高エネルギーの40keVに達する、広いエネルギー範囲のイオンのバースト・イベントがあったことになります。しかし、こんなイベントはそれまで知られていません。

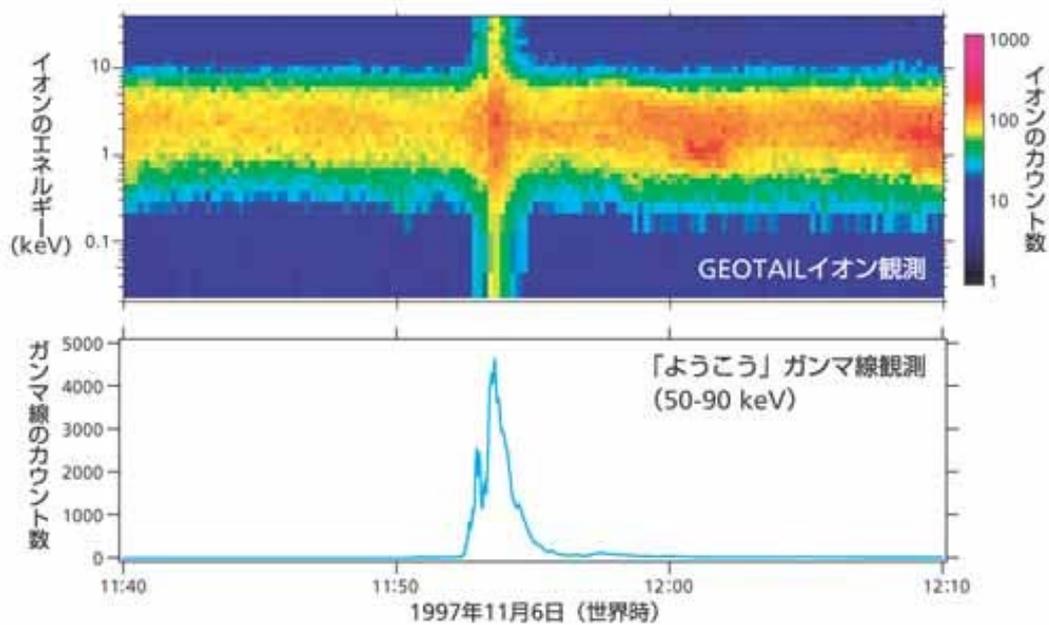


図1 上：LEPのイオンカウントを時刻・エネルギーごとに擬似カラーで表示(E-t 図)。中央に近い縦縞がGEOTAILへの太陽ガンマ線の到来を示します。

下：「ようこう」が観測した太陽からのガンマ線(50~90keV)の時間プロファイル。ピークの位置は、上の縦縞と一致しています。

LEPデータの信憑性を調べているうちに、同時刻に観測された「ようこう」のガンマ線光子のデータ(HXT/H)に行き着きました(図1下)。「ようこう」は、ちょうど図1上の縦縞の時間帯に光子数の増大を観測していますが、これはクラスX9.4という特大級の太陽フレアに伴うものでした。当時大学院生の竹井康博君が調べたところ、大きな太陽フレア(>~X3)に伴ってLEP観測に似たような縦縞が入る例が沢山見いだされました。さらに、LEPデータと「ようこう」のエネルギー別データの詳しい比較から、縦縞部分のLEPデータは50keV以上のガンマ線光子の強度を表していることが証明されたのです(ガンマ線に対しては、図1上の縦軸のエネルギーの目盛りは意味を持ちません)。

LEPのガンマ線に対する感度はごく低いもので、専用観測器に比べると1000分の1程度以下ですが、専用観測器は地球の影に入って太陽を見ていない時間帯が結構あります。それに対し、地球中心から10~30地球半径の距離を飛行するGEOTAILは、地球の影に入る時間は無視できるほど少なく、ほぼ連続的に太陽を「見て」います。そのため、ほかのデータが得られていなかったとき、太陽ガンマ線データを取得して太陽フレア研究者に提供することもできました。

しかし、太陽活動の低下に伴ってフレア数も減少、これでLEP太陽ガンマ線観測も店じまいかと思っていた矢先の2005年初めのことです。

SGR1806-20の巨大フレア発生

ガンマ線天文衛星 HETE2 の日本側代表として活躍中の東工大の河合誠之さんから「軟ガンマ線リピーターSGR1806-20 が、2004 年 12 月 27 日 21 時 30 分 26 秒(世界時)から数分間にわたって巨大フレアを起こした。そのフレアの開始直後のガンマ線強度は、太陽フレアより強かったといわれている。LEP データにそれらしいものは見えていないだろうか?」というメールが飛び込んできました。

早速、LEP データを調べてみました。まず初めに描いたのは図 2 です。この図は 2004 年 12 月 27 日 21 時 15 分~21 時 45 分の 30 分間の電子(上段)とイオン(下段)のデータを示したものです。GEOTAIL は太陽風内にあったので、太陽風の電子とイオンが連続的に横の帯状に並んでいます。そして、河合さんから連絡のあったまさにその時間に、これらの電子、イオンの横帯を貫く縦縞が入っているではありませんか(図の中央付近の青色矢印で表示)。この図を見て巨大フレア観測の成功をほぼ確信しましたが、その後論文を仕上げる 3 月末に至るまで、大学の義務的な仕事以外のほとんどをキャンセルし、大学院生の田中康之君ほか幾人かの共著者とともにデータ解析作業に没頭することになったのでした。

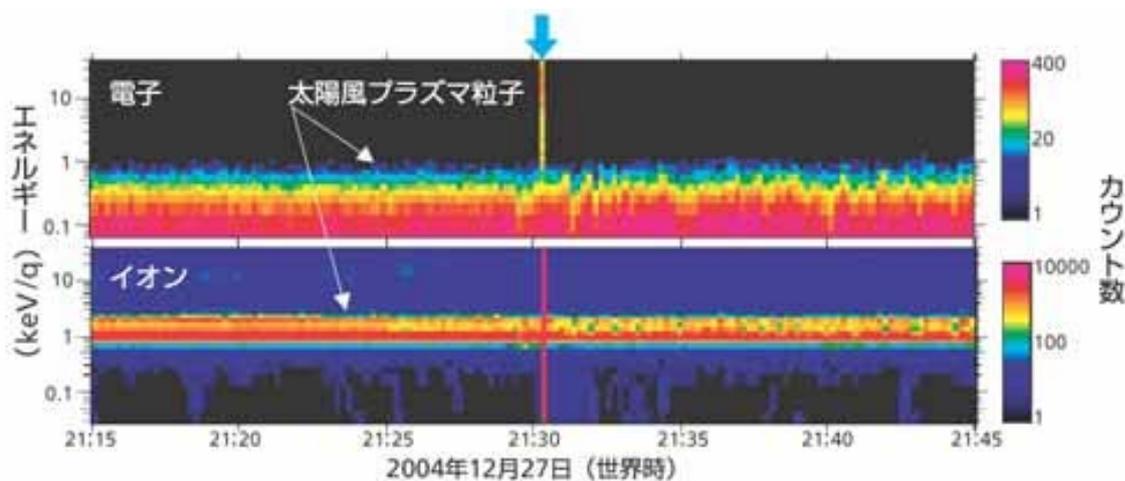


図 2 上 : LEP の電子のカウント。下 : LEP のイオンカウントの E-t 図
青の下向き矢印で示した時刻に一筋の縦縞が見られます。これが SGR1806-20 からのガンマ線のシグナルを表していました。

ピーク観測は GEOTAIL の LEP だけ

話を図 2 を描いた直後に戻します。LEP データの時刻と、SGR1806-20 からのガンマ線の GEOTAIL への到達予想時刻を比べ、その差はデータの時間精度である数ミリ秒以内で一致することが判明しました。こうして、巨大フレアからのガンマ線光子を検出したことは疑いのないところとなりました。図 2 のカウントデータを時間順に並べ替えたのが図 3 上です。このように時間順に並べ替えると、LEP は 5.48 ミリ秒の時間分解能を持ったガンマ線観測器ということになります。この時間分解能は、ガンマ線専用観測器に比べてもそれほど見劣りのしないものです。

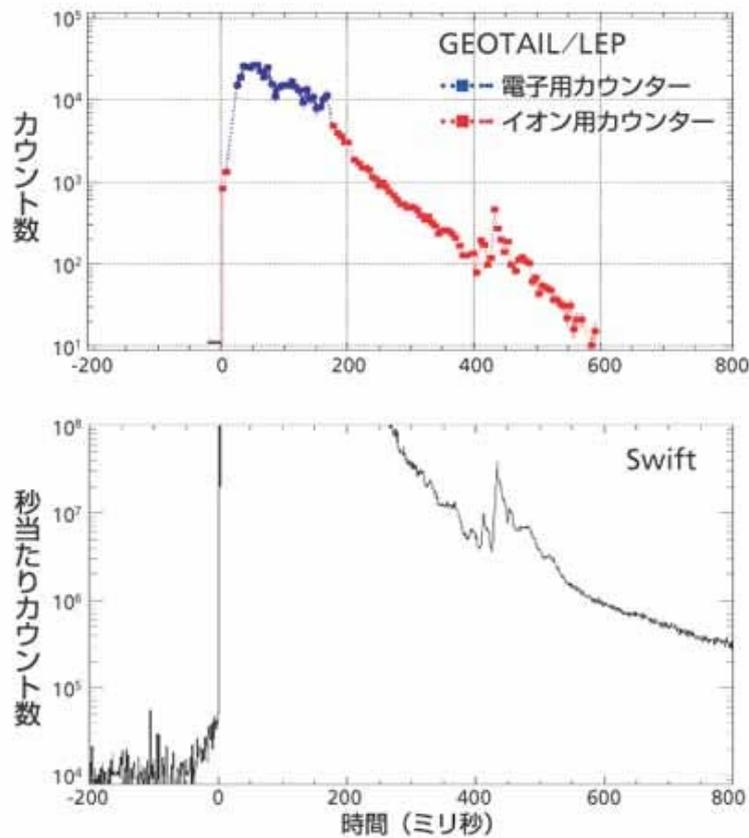


図3 上：LEP のカウントを時間順に並べ直したグラフ(巨大フレアからのガンマ線の光度曲線)。下：ガンマ線天文衛星 Swift が得た光度曲線。ピークを含む約 260 ミリ秒間はデータが得られていません。上下のグラフとも 400~450 ミリ秒の辺りにいくつかのサブピークが見える。2つの独立な観測でサブピークの構造は細部まで一致しており、これらが本物であることが証明されました。この構造は小さなエネルギー解放が再び起こったことを示すと思われますが、詳しいことは今後の研究を待ちたいと思います。

そうこうしているうちに、ほかのガンマ線天文衛星のデータ取得状況が明らかになってきました。残念ながら河合さんが関与する HETE2 衛星は SGR1806-20 から見て地球の影にありデータは取得できなかったのですが、Integral, RHESSI, Konus-Wind, Swift といったそうそうたる顔ぶれが参戦してきました。しかし同時に、それらのガンマ線天文衛星にとっては巨大フレア開始直後の 200~500 ミリ秒間は信号が強過ぎて、いずれもデータを取りこぼしていたことが判明しました。いくつかの観測の速報を眺めると、一応、ピークのガンマ線エネルギー量の推定が載っていますが、それらはガンマ線専用の観測器が得たものではなく、もっと時間分解能の悪い別の観測器(地球の放射線帯モニタなど)に飛び込んできたガンマ線光子によるカウント数を苦労してエネルギー量に焼き直したもののようでした。

「時間分解能の高い観測でピーク付近のデータを取りこぼさなかったのは、GEOTAIL の LEP だけらしい!」。我々のデータが重要性を増してきました。急ぎよ、データを論文にまとめて投稿しようと思ったのは、1月下旬のことでした。図3下は、その後報告された Swift 衛星のデータです。0~260 ミリ秒の間、グラフが上に突き抜けているのは、信号が強過ぎたために生じ

たデータギャップの部分です。図3の上下を比べると、LEPのデータがきれいにSwift衛星のデータギャップを埋めているのがお分かりいただけるでしょう。そして、過去5年間の太陽フレアガンマ線による感度較正の結果を生かし、このピークでのガンマ線の強さが1平方センチメートル当たり毎秒20エルグという、とんでもない強さであったことが確認されたのです。

マグネターのフレアに磁気リコネクションが関与

SGR1806-20の正体は、1000兆ガウス程度という超強磁場を持つ中性子星(マグネター)であるとする説が有力です。マグネターは普段から少量の磁場エネルギーを断続的に解放し、比較的エネルギーの低いガンマ線を放射しているため、軟ガンマ線リピーター(SGR)と呼ばれています。これまで3つのマグネターが巨大フレアを起こしたのですが(表紙の図のSGR0526-66, SGR1900+14そしてSGR1806-20)、今回のフレアは過去の2つに比べて100倍以上も大きいものであったことが明らかになりました。

マグネターは、数十年に一度ほど巨大フレアとして普段よりはるかに多くの磁場エネルギーの爆発的解放を起こすらしいのですが、詳しいことはよく分かっていません。そのメカニズムを探るためには、フレア開始直後のガンマ線の強度変化を知ることが必要です。そのためにLEPデータは大変貴重なもので、今後の理論モデル構築の手掛かりとして重要な役割を果たすことになるでしょう。特に図3上の光度曲線の0~200ミリ秒の間に見られる凹凸の60ミリ秒ほどの時間スケールは、マグネターにおけるエネルギー解放素過程の時間スケールを反映すると考えられます。通説によれば、その素過程にも磁気リコネクションが関与しているといわれており、それが正しければGEOTAILは、地球磁気圏と天体の両方の磁気リコネクションを観測した最初の人工衛星であることになります。

少し早めの桜が咲き始めた3月末、ほかのガンマ線天文衛星の結果と並んで、我々の結果が4月28日発行の『Nature』誌に掲載されることが決まり、取りあえずは一件落着となったのでした。

後日談

文中に登場する田中康之君は、Geotailデータ解析により博士号を取得しました(Geotailは別のマグネターSGR1900+14の1998年8月の巨大フレアも観測していました。田中君は遡ってそのフレアについても解析し、博士論文はその結果を含めたものになりました。)その後、宇宙研X線天文学部門の高橋研でのPD修行を経て、広島大学のFermiチームの特任助教と、X線/ガンマ線天文学のプロとなって活躍中です。

2004年以降、いくつかの別のマグネターがフレアを起こしました。その都度LEPデータをチェックすると(*)、フレアの規模に対応したガンマ線を感じているようです。ただし、2004.12月ほど強いものは起きておらず、天体X線/ガンマ線観測衛星が完ぺきなデータを取得している

ことから、Geotailの「出番」は来ていません。一方、天体から飛来するガンマ線として、マグネターのフレアよりはるかに頻度が高いものに宇宙論的遠方で発生する「ガンマ線バースト現象」(GRB)があります。GRBからのガンマ線強度は2004.12のマグネター巨大フレア時の強度に比べ6-7桁程度も低く、LEPの「検出限界」以下であるのが普通です。しかし、2013年4月27日に発生したGRB130427Aは距離が比較的近く(赤方偏移0.34、すなわち約40億光年)、ガンマ線強度もGRBとしては大変強いものでした(といっても2004.12の巨大フレアの3桁以下)。この時のLEPデータを調べたところ、ちゃんとそのガンマ線を感じていたことがわかりました。図4にそのデータを示します。これはGeotailがこれまでに「見た」天体现象として最遠であることは間違いありません。

(*)ガンマ線検出の有無のチェックのためには通常のLEPデータ処理とは別システムの追加的処理が必要になります。時ならずして割り込んでくる追加的処理について、いつもお世話になる斎藤義文さん、篠原育さんほかの方々にこの場を借りてお礼申し上げます。

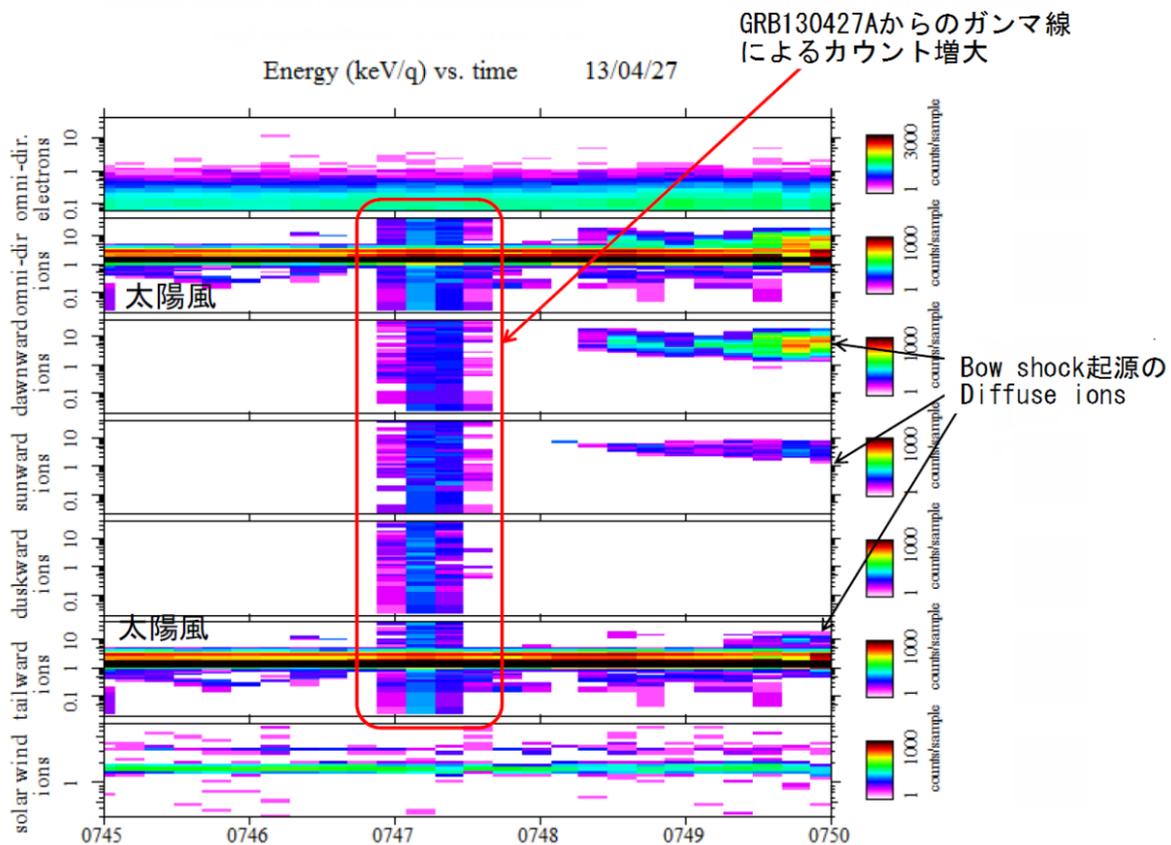


図4. Geotailの「見た」最遠天文イベント(LEPによるGRB130427Aからのガンマ線検出)。図は2013年4月27日の07:45~07:50UTの5分間のLEPのE-t図(上から電子、イオン(全方向の和1パネルと方向別に4パネル)、SWセンサー)を示します。07:47から約30秒間のほぼ等方的なイオンのカウント増大がガンマ線に対応していることがわかりました。(電子と太陽風センサーは断面積が小さいので、ガンマ線によるカウント増大はノイズレベル以下でした。)07:48以降にみられる横に伸びたイオンのカウントはbow shockで加速されたdiffuse ionの出現を示します。

Geotail の成果とは何か

宇宙科学研究所 藤本 正樹

(Geotail プロジェクト・サイエンティスト)

民間人（非 ISAS メンバー）として最初に Geotail の衛星運用を担当したのは、実は、私である。1992 年の秋冬、Geotail は遠尾部（地球半径の 100 倍以上、反太陽方向に地球から離れた位置）にあって、夜間は連続して見えているため、夜を徹しての運用ではそれまでほとんど探査されたことのない領域からの貴重なデータが受信される様子を、クイック・ルック画面で見守ったのだった。ロジは他に部屋が無かったため、ツインベッドがある夫婦用寝室で運用の相方（10 歳ほど先輩にあたる方）と昼過ぎまで寝て過ごした。当時の ISAS メンバーは職人気質丸出しであり、衛星開発に直接関わることなく理論研究で学位を取得して大学の助手となったばかりの私は、中学のサッカー部以来のシゴキを受けたのだった。

そんな私も、どういうわけか ISAS メンバーとなり（先日の研究所会議で「この部屋にいるメンバーで唯一、エレクトロニクス・ショップを知らないひと」という名誉ある言及を所長からされた）、Geotail のプロジェクト・サイエンティストを務めている。20 年以上も（シゴキが無くなる等、その形態を変えつつも）運用が続けられる Geotail であるが、今でも磁気圏を観測する国際共同衛星群のひとつとしてしっかりと存在感を示している。今でも年に何度かは Geotail 関連で国際会議へと引っ張り出され、あるいは、Geotail で得た人脈を使って日本でのシンポジウムに海外からひとを呼びつけたりしている。この、宇宙空間物理分野の国際学界におけるプレゼンスは、衛星群を成す他の衛星よりも一足先に打ち上げられ、新しい成果や新しい考え方を先に提示し、研究の方向性を先導したことによるものが大きいと思う。

ここでは、少しだけ具体的に「Geotail の成果とは何か」ということを解説しておきたい（プロジェクト・サイエンティストなので）。改めて振り返った上で、一言で言い切ってしまうと、「高性能データが研究者に考える勇気を与え、そこから実際に新しい考え方が生まれ、それが後続のミッションへと伝染していった」ということになる。

そもそも、磁気圏とは何か。地球は固有磁場を持っており、太陽からは太陽系空間に向けて太陽風と呼ばれる電離したガスが吹き出ている。太陽風は地球までやってくると、その固有磁場とぶつかることになる。このダイナミックな相互作用から、地球周辺の宇宙空間に「磁気圏」と呼ばれる、地球の磁力線が籠のようになって包み込む空間が生まれる。その出自から想像できるように、磁気圏は電離したガスと磁場が支配する世界であり、ダイナミックな世界であり、その活動の一部は極域のオーロラという目に見える形となっている。

(A) 遠尾部の観測：地球から反太陽方向に 100 地球半径程度離れた領域は、磁気圏の構造を決定する上で重要なのだが、観測データは極めて限定的であった。Geotail は、この領域において充

実した観測を実施し、その姿を明らかにし、基本的に「磁気圏対流」という考え方が正しいことを実証した。特に、地球大気を起源とする酸素イオンがこの領域で見つかったことは驚きであり、磁気圏内でどのように電離ガスが対流するのかを理解する上で大きなヒントとなった。

(B) 磁気リコネクションの物理：宇宙空間は爆発的な現象で満ちている。磁気リコネクションは爆発を可能にする物理現象の一つであり、磁場という形で蓄えられたエネルギーを急速にガスの運動エネルギーへと変換する。磁気リコネクションは宇宙において普遍的に重要なプロセスであり、多くの理論研究も為されている。そして、Geotail チームにおいて高性能観測データが理論系研究者に流し込まれたことで新しい研究スタイルが生まれた。マルチ・スケール物理の観点からデータと数値シミュレーション結果との比較ということが行われ、磁気リコネクションに対する理解が実証を伴ってアップグレードした。また、この研究スタイルはその後の海外のミッションにおいても継承された。

(C) 磁気圏境界の物理：磁気圏内には太陽風との境界から太陽風ガスが流入し、地球起源のガスとともに磁気圏空間を満たしている。その流入方式に関しては「境界にある壁に穴を開けて行う」という考え方が主流であった。物理の言葉では、磁気圏境界で磁気リコネクションが起こることで太陽風の流入が起きる、となる。Geotail は、磁気圏境界での磁気リコネクションの理解を深めただけでなく、境界層の特性が太陽風の状態に応じて変化することを確定し、そこから、太陽風が磁気圏境界をかすめて通り過ぎつつ巻き上げる渦がガスの輸送に効果的であることを見出した。それ以前の数十年間で忘れられつつあったこのアイディアは Geotail で復活し、今では重要な研究トピックとなっている。

(D) 静電孤立波の発見：理論研究者は「非線形性と分散性がバランスすることで作り出される定常伝播構造としての孤立波」なんて難しそうな話が大好きである。その意味で、Geotail 波動観測器が孤立波を実際にデータとして捉え、連携するシミュレーション研究でその理由が明快な形で把握されたことは、お見事であった。それまでは「広帯域静電ノイズ」という、要するに周波数領域でのデータで見ているだけは「わからないもの」とされていた波動現象が、Geotail では波形（時系列）データにおいて捉えられたことがポイントであり、かつ、それを見て、すぐにシミュレーション研究を展開するメンバーが近くにいることが勝負を決した。

(E) 衝撃波の物理：太陽風は、実は、超音速流である。したがって、それが地球の磁場に衝突して磁気圏を形成する際に、その前面には衝撃波が形成される。そこでは、太陽風が急激に減速される。地上の流体力学の常識では、この急な遷移は粘性によってもたらされるのであるが、宇宙空間ガスでは、電磁場の揺動とガスとの相互作用から達成されるという複雑、かつ、ダイナミックなものである。Geotail の高性能データは、このような複雑な状況を読み解くことを成功させる上で大きな要因となった。衝撃波面で太陽風減速（ガス圧力上昇）を達成することの「おつり」として、一部の荷電粒子が高いエネルギーを得ることが宇宙空間では起きている。この衝撃波における粒子加速問題は、宇宙科学における重要問題のひとつであるが、Geotail はそこでも貢献をしている。

最後に、Geotail マインドを惑星探査データ解析へと展開することで成功した例を挙げておきたい。上で述べたように「衝撃波における粒子加速問題」は大きな問題であり、そこでは、超新星残骸衝撃波（星の最期に超新星爆発が起きた時、爆心から吹き出す爆風が作り出すもの）における粒子加速はどのようなものなのか、ということが大きな課題である。我々は、最近、土星探査機カッシーニのデータ解析からこの問題へのアプローチを提唱した。そこで大きな柱となったのは、Geotail における成功経験である。惑星探査データの性能は限られたものである（Geotail のような高性能はあり得ない）一方、扱う物理過程は複雑である。何ものなれば、そのアンバランスを理由にして、物理過程の詳細を読み解くというテーマ設定をしようとも思わないだろう。われわれのケースでは、土星では（地球と異なり）超新星で起きているものに近い事例があるはずという野心的アイデアと、複雑な事象であっても Geotail の経験に基づけば読み解くことができるという無謀な自信が、ハードルを突破していく上での駆動力となった。今後、惑星探査データのポテンシャルを引き出す上で Geotail で獲得した地力が発揮される機会が多いものと期待する：日欧共同水星探査計画ベピ・コロomboの水星磁気圏探査機 MMO の欧州（ESA）への搬出まで、あと約二か月、打ち上げまで二年を切ったところだ。「惑星データは性能がブアなので地球データでしか結果を出すことができない」という奴らに、サヨウナラ。

GEOTAIL の成果と現状など

宇宙科学研究所 篠原 育

GEOTAIL 衛星が 20 年以上もの長い期間、地球周辺の宇宙空間を観測し続けたことによって生み出された科学成果は膨大なものです。国際的な科学雑誌に掲載された論文数は現在までに 1,100 編を超え、それらの論文の引用総数は 16,000 を超えます。現在でも GEOTAIL の観測データを利用した論文が年間 30 編程度出版されており、その著者は国内だけではなく、世界各国の研究者です。この数字だけからも GEOTAIL が現役で活躍する衛星であり、世界中に広く利用されていることがわかります。GEOTAIL の膨大な科学成果の紹介についてはここで紹介しきれないはずもありません。過去の ISAS ニュースの記事 (<http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/backnum.html>) や宇宙研の GEOTAIL プロジェクトウェブページ

(<http://sprg.isas.jaxa.jp/researchTeam/spacePlasma/mission/GEOTAIL/GEOTAIL.html>) 等にその一端が紹介されていますので、ご参照ください。

GEOTAIL 衛星は、その注意深く設計された軌道によって磁気圏を探索し、高性能観測機器を組み合わせる宇宙空間の存在する電離したガス（プラズマ）のダイナミクスを、現象が起こっているまさに「その場」で総合的に観測しました。その成果は、地球磁気圏の知見を深めただけでなく、宇宙空間プラズマ現象について将来に繋がる新しい問題意識を生み出しました。GEOTAIL にはじまる新しい問題意識は、ESA の Cluster 衛星、NASA の THEMIS、今年 3 月に打ち上げられる NASA の MMS と世界的な研究の流れとして受け継がれています。また、観測と理論・シミュレーション研究とを融合した研究が促進され、GEOTAIL の観測成果に触発されることでスーパーコンピュータを利用した先端的なシミュレーション研究も花開きました。

GEOTAIL 衛星の軌道は地球周辺で起こる様々な「鍵」となる現象の探索を可能すると同時に、その高性能観測は、「鍵」となる現象の素過程を緻密に解剖し、その本質的理解へと導きました。衝撃波、渦乱流、磁気リコネクションといった宇宙空間プラズマにとって重要となる物理素過程に対して、「その場」観測によってのみ手に入れることのできる情報から物理の本質へ迫る、という研究スタイルは太陽物理、高エネルギー天文学、実験プラズマ物理をはじめとした関連する周辺の科学分野の研究者からも注目をされるようになっていきます。これらの周辺分野との交流の深まりをとおして、「The Plasma Universe」というより普遍的な問題意識がうまれ育ち、太陽-地球系科学（STP）分野の新しい衛星プロジェクトに受け継がれています。

こうした大きな科学成果のみならず GEOTAIL からは多くの人材が輩出されています。国内では 60 件以上の博士論文、200 件以上の修士論文が GEOTAIL に関わるものがうまれました。現在の国内の宇宙プラズマ研究コミュニティでは、多くの GEOTAIL 関係者が研究や衛星プロジェクトでリーダーシップをとっています。GEOTAIL プロジェクトが如何に大きな経験を積むチャンスであったか、その成功が多くの人を育ててくれたかを物語る事実です。

打ち上げ 22 年を越えた現在でも、GEOTAIL 衛星の衛星システムはほぼ健在です。2011 年の 12 月末に 2 つ搭載されているデータレコーダの内の 1 機が故障しデータの記録・再生ができなくなってしまいましたが、それ以外はほとんど問題がありません。科学機器に関しては、残念ながら高エネルギー粒子計測器 (HEP)、電場計測器 (EFD) の editor-B データが使いなくなってしまいましたが、科学的な価値は落ちておらず、最近取得されたデータまで利用されています。

これだけ長い期間の運用を続けると、むしろ地上系の老朽化が心配されていました。特に GEOTAIL 衛星の地上システムは汎用大型計算機を中心に UNIX 計算機群とで構成されていましたが、これらの計算機群を維持するには様々な問題がありました。プロジェクト共通で維持されてきた汎用大型計算機については GEOTAIL 衛星が最後のユーザとなってしまったために、維持コストの面で GEOTAIL が矢面にたつこととなってしまいました。また、古い計算機はハードウェアを維持する困難もさながら、昨今のセキュリティー問題に対応することができなくなり、ソフトウェアの移行を迫られていました。幸いこれらの環境を最近の PC サーバ系の計算機等に移行する予算をつけていただき、2013 年夏までには全て新しい計算機で衛星運用ができるようになりました。

最後に個人的なお話を。私が GEOTAIL の名前を知ったのは学部生の時、興味を持った研究室を見学させていただいて回っていた際に、國分先生から ISTP 計画と GEOTAIL のお話をうかがったことに遡ります。その後、國分先生を指導教員として修士課程の研究を進める中で、GEOTAIL の MGF の試験のお手伝いで柿岡や宇宙研につれて行っていただいたこと、打ち上げ後のマスト進展の際等に運用室の隅っこで見学をさせていただいたことを今でもはっきり覚えています。その後、GEOTAIL のデータを使って学位論文を提出し、宇宙研に採用していただいた後に担当したのが GEOTAIL の公開用データベースの開発でした。更に向井先生の後を継いで GEOTAIL 衛星の運用責任者として運用を支える役目までさせていただきました。研究者としても職員としても、GEOTAIL に育てていただいたことは本当に幸せなことであったと思っています。

長い間の運用を恙なく行い、研究者に観測データを届け続けるには、とても多くの方々からサポートをしていただきました。私の知る限り、GEOTAIL の OP はずっと途切れることなく更新され、20 年以上にわたって連続した観測を行うことができましたが、これは関係者皆さんの努力の賜であったと感謝するとともに、誇りに思っています。臼田局の S 帯送信機が利用できなくなった今年、内之浦局が台風で運用できなくなったために、とうとう途切れることのなかった OP を途切れさせてしまい、まる 1 日程度のデータ欠損を生じさせてしまったことは、天候のこととは言え本当に残念なことでした。GEOTAIL の長期間の運用を支えてくださっている全ての方々にこの場をおかりしてお礼を申し上げたいと思います。

GEOTAIL 衛星は、今年 3 月打ち上げの NASA の MMS 衛星との共同観測、あるいは 2016 年に打ち上げが予定されている日本の ERG 衛星との共同観測、等、まだまだ科学的な期待が高い衛星です。引き続き新たな科学成果に繋げながら、宇宙プラズマ研究の新しい地平を切り開いて行きたいと思っています。

```

120724-01-01 07.24 14.55.19 FI 1
B 16K 1 X REL A 65K 2 SA OF **
-----<TMS TMX>-----< D
OF ON HI ON HI -RCV- -EXE-
*** MOD TLM TLM IC 01DHU 01DHU
*** RNG B B CD DC 9B OGDC 4C
> OF SEL HGA HGA OP RUN 2 OG 11
DR OF ACH DS DS TIMINT 0 H 4
CI OF NCH NCH ERR COR ENA RECV
-----< P C S >-----

```

GEOTAIL20 歳の誕生日の QL 端末

GEOTAIL 衛星計画 の国際的評価

2007年のGEOTAIL運用延長申請に際して、40名の国外研究者から **support letter** が寄せられた。以下はその一部からの抜粋である。

Z. Pu (Peking University, China) GEOTAIL is one of the most successful scientific spacecraft in the half a century of space exploration. The success of GEOTAIL mission originated from its remarkable design, which remains an excellent model even for nowadays space mission construction. The science goals, unique phases of spacecraft orbit, advanced payloads and effective international collaboration all attracted us a lot. -----

V. A. Sergeev (St. Petersburg State University, Russia) I am writing to express my sincere respect and profound admiration concerning the operation of GEOTAIL spacecraft, which provided for so many years a continuous high-quality scientific data with unprecedented coverage of important parts of space. Many important results based on GEOTAIL have been obtained by Japanese scientists and international teams. -----

S. Schwarz (Imperial College, London) GEOTAIL has been an outstanding mission whose unique capabilities have enabled it to make many advances in our understanding of the Earth's magnetic tail. This has been achieved by a well-planned and executed strategy of instrumentation and orbital operation. I am sure ISAS is very proud of this high-profile, international success. -----

J-A. Sauvaud (Centre National de la Recherche Scientifique, Toulouse) The GEOTAIL mission is a cornerstone for the physics community working in France and Europe on space plasma physics. ... This kind of findings was first due to the clever mission design with the initial satellite orbit sweeping the far tail. -----

G. Siscoe (Boston University, Massachusetts) The GEOTAIL mission has contributed more to the understanding of the Earth's magnetotail than any mission since the geotail's discovery in 1965. This is owing in no small part to intelligent decisions by mission planners who specified the spacecraft's instrument and who designed a sequence of orbital stages. It is also owing to the excellence of the principal investigators. -----.

J.A.Slavin (NASA Goddard Space Flight Center, Maryland) I wish to share with you my deepest respect and admiration for all of the scientists and engineers who have made the GEOTAIL mission one of the most successful in the history of magnetospheric physics. GEOTAIL has nurtured and matured a new generation of magnetospheric physicists who will be leaders in solar-terrestrial science for many years to come. GEOTAIL has changed how we view such fundamental aspects of cosmic plasmas as current sheet instability, magnetic reconnection and charged particle acceleration. -----.

C.T. Russell (University of California, Los Angeles) GEOTAIL has been one of the most productive space missions in history, mapping the distant magnetotail and revealing the interplay between the distant neutral point and the near-Earth neutral line. It has provided key correlative data in innumerable multispacecraft studies of almost every process taking place in the magnetosphere environment. GEOTAIL has produced a rich heritage of scientific discovery and in doing so has left a scientific legacy in its comprehensive and accessible database. -----.

総論文数、論文数履歴、総サイテーション数など

2014年3月時点で Geotail 関連研究論文の査読付英文誌への掲載状況は以下のようになっている。

総論文数： 1,090

総論文引用数：16,000 以上（ISI Web of Science により調査した結果）

総論文数の内、約 2/3 の論文は Geotail プロジェクトチームのメンバーが第一著者だが、その他の 1/3 の論文については DARTS などの公開データを利用した Geotail プロジェクトチーム外の研究者が第一著者である。

| 出版年 | 論文数 |
|------|-----|
| 1992 | 1 |
| 1993 | 0 |
| 1994 | 50 |
| 1995 | 22 |
| 1996 | 44 |
| 1997 | 65 |
| 1998 | 92 |
| 1999 | 75 |
| 2000 | 86 |
| 2001 | 74 |
| 2002 | 61 |
| 2003 | 50 |
| 2004 | 56 |
| 2005 | 104 |
| 2006 | 41 |
| 2007 | 35 |
| 2008 | 45 |
| 2009 | 44 |
| 2010 | 32 |
| 2011 | 46 |
| 2012 | 31 |
| 2013 | 32 |

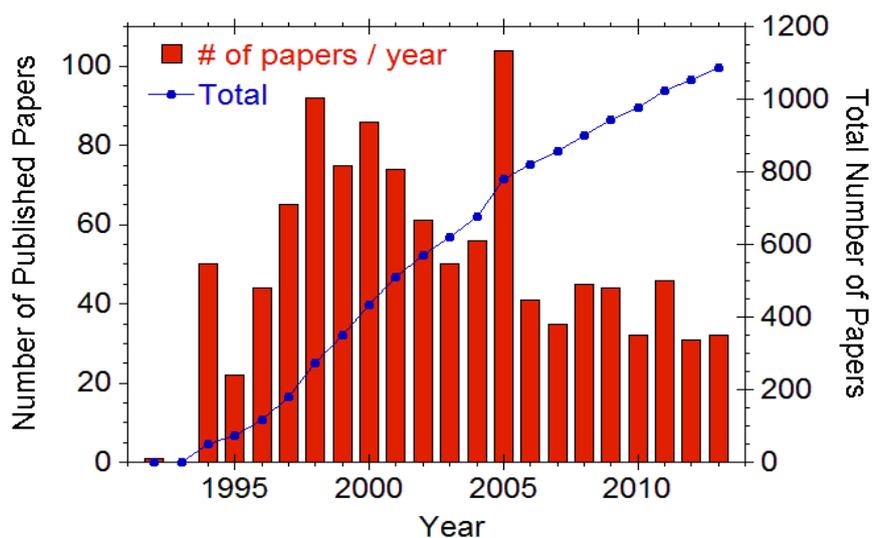


図 2.11-1 GEOTAIL 関連論文出版数の年次推移

団体・個人受賞歴

Geotail 衛星のデータを使って行った研究、あるいは *Geotail* 衛星プロジェクトに大きな貢献を行った人に対して贈られた賞を以下に列挙する。

(1) 国外受賞

- American Geophysical Union, Van Allen Lecturer
2001年 西田篤弘
- American Geophysical Union, Fellow
1999年 松本紘
2004年 向井利典
2008年 長井嗣信
- American Geophysical Union, Scarf Medal
2001年 関華奈子
- American Geophysical Union, Outstanding student paper awards
2005年 永田大祐
- European Geosciences Union, Hannes Alfven Medal
2001年 西田篤弘
- European Geosciences Union, Julius Bartels Medal
2012年 中村るみ
- The Committee on Space Research, Space Science Award
2006年 西田篤弘
- The Committee on Space Research and The Russian Academy of Sciences, The Zeldovich Medal
1998年 平原聖文
- Russian Federation of Cosmonautics, Gagarin Medal
2001年 西田篤弘
2006年 松本紘
2007年 向井利典
- Royal Astronomical Society, Associate
2004年 松本紘
- International Radio Science Union, Booker Gold Medal
2008年 松本紘
- International Astronautical Federation, Allan D. Emil Memorial Award
2012年 上杉邦憲
- Asia Oceania Geosciences Society, Axford Medal
2010年 西田篤弘
- The Association of American Publishers, outstanding professional and scholarly title in physics and astronomy

"New Perspectives on the Earth's Magnetotail" edited by A. Nishida, D. Baker,
S. W. H. Cowley, number 105 in AGU's Geophysical Monograph Series

- NASA Group Achievement Award
 - 1993年 Geotail Launch Operation Team
 - 1998年 Geotail Mission Operation Team
- Journal of Geophysical Research, Space Physics 誌 Editor
 - 1998-2001年 松本紘
 - 2010-2013年 藤本正樹
- Geophysical Research Letters 誌 Editor
 - 1990-1994年 松本紘
 - 1995-1997年 長井嗣信
- Annales Geophysicae 誌 Editor
 - 2007-2013年 中村るみ

(2) 国内受賞

- 文化功労者
 - 2012年 西田篤弘
- 紫綬褒章
 - 1999年 西田篤弘
 - 2007年 松本紘
- 瑞宝重光章
 - 2014年 西田篤弘
- 瑞宝中綬章
 - 2012年 木村磐根
- 東レ科学技術賞
 - 2002年 西田篤弘
- 日本学士院賞
 - 2002年 西田篤弘
- 文部科学大臣表彰科学技術賞
 - 2007年 松本紘、大村善治、小嶋浩嗣
- 文部科学大臣表彰若手科学者賞
 - 2011年 関華奈子
- 井上學術賞
 - 2000年 寺澤敏夫
 - 2014年 斎藤義文
- 財団法人宇宙科学振興会 宇宙科学奨励賞
 - 2010年 宮下幸長

・地球電磁気・地球惑星圏学会 長谷川・永田賞

2000年 西田篤弘

2002年 國分征

2008年 松本紘

2012年 向井利典

・地球電磁気・地球惑星圏学会 田中館賞

1995年 山本達人

1997年 大村善治

1999年 星野真弘

2003年 中村正人

2004年 小嶋浩嗣

2005年 藤本正樹

2006年 中村るみ

2009年 塩川和夫

2011年 齋藤義文

・地球電磁気・地球惑星圏学会 大林奨励賞

1996年 藤本正樹

1997年 齋藤義文

1998年 田口聡

1999年 塩川和夫

1999年 白井仁人

2000年 笠羽康正

2001年 関華奈子

2002年 篠原育

2005年 島田延枝

2006年 能勢正仁

2008年 宮下幸長

2009年 長谷川洋

2011年 銭谷誠司

2013年 今田晋亮