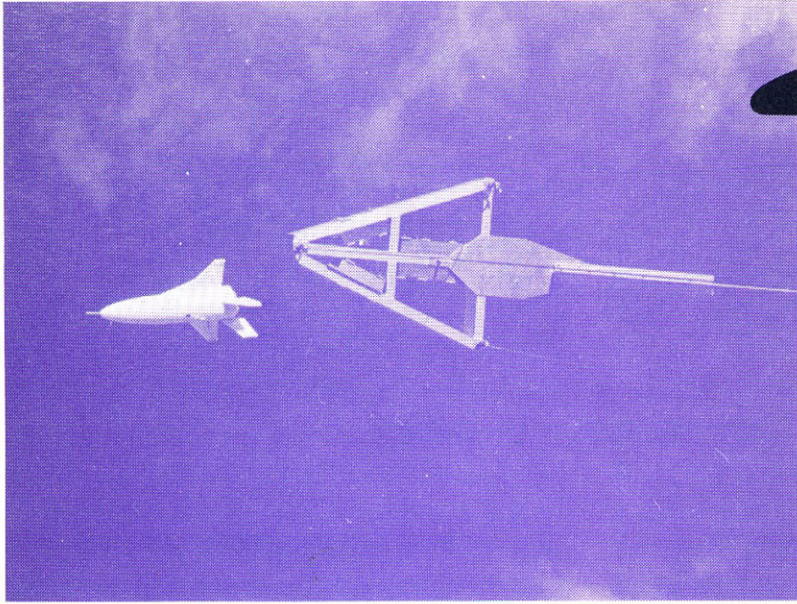




AS ニュース

No. 80

宇宙科学研究所
1987.11

〈研究紹介〉

究極のレーザー“自由電子レーザー”の話

宇宙科学研究所 斎藤 宏文

この耳慣れない名前のレーザーは、1977年にスタンフォード大学で最初の本格的実験が成功して以来、わずか10年のうちに実に急速な発展をみせています。今回は、この自由電子レーザーの紹介と、現在、私達が相模原キャンパスのD棟で行っている実験について、述べていきたいと思います。

まずは、この“自由電子レーザー”という名前の由来から始めましょう。従来のレーザーは、物質の中の原子核や結晶格子によって“束縛”された電子の量子的なエネルギー準位間の遷移を利用していました。例えば、炭酸ガスレーザーでは0.117eVというエネルギー差の電子の遷移によって、波長 $10.6\mu\text{m}$ のレーザー光（赤外線）が得られます。これに対して、自由電子レーザーでは、物質の中に“束縛”されていない真空中の“自由”な電子を利用しています。即ち、真空中での電子の運動エネルギーをレーザー光のエネルギーに変換します。そのため、自由電子レーザーと呼ばれています。

それでは、自由電子レーザーは、電子の運動エネルギーを電磁波のエネルギーに変換しているので、マイクロ波電子管と同じではないかと思われ

る読者もいらっしゃるでしょう。実は、そうなのです。“レーザー”と名のついても、電子レンジに使われているマイクロ波マグネトロン管やクライストロン管と同じようなマイクロ波領域の電波を発生する電子管の一種なのです。ただし、自由電子レーザーと、マグネトロンやクライストロンのような従来のマイクロ波発生管とが本質的に異なる点があります。それは、自由電子レーザーが、非常に高い周波数、あるいは短い波長の電磁波（可視光や、紫外線やX線）まで発生できる電子管であるということです。

自由電子レーザーでは、図1に示すように永久磁石等で電子の運動に垂直方向を向き、その強度が進行方向に沿って周期的に変化するウィグラー磁場と呼ばれる磁場の中を、電子を伝播させます。電子は磁場からローレンツ力を受けるので、図1のように周期的な蛇行運動をします。ある一つの電子に着目して、これを“将軍の電子”と名付けてみます。この将軍の電子よりもウィグラー磁場の一周分だけ先行して走っている別の電子があります。ウィグラー磁場の周期性のために、この

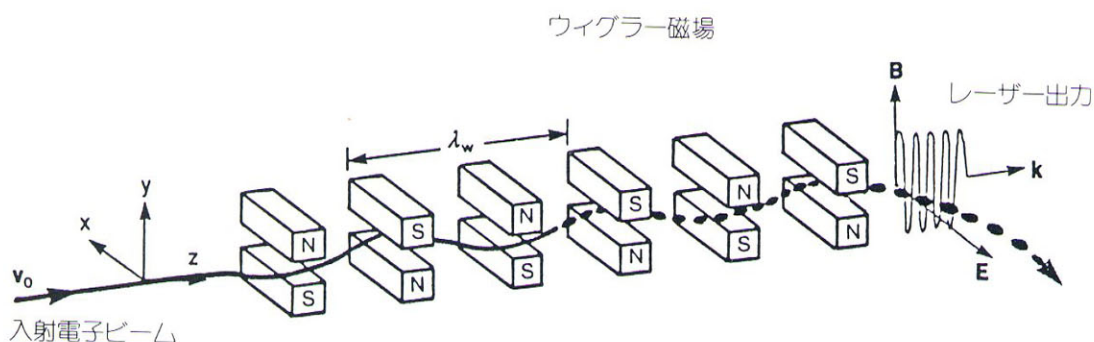


図1 自由電子レーザーの原理

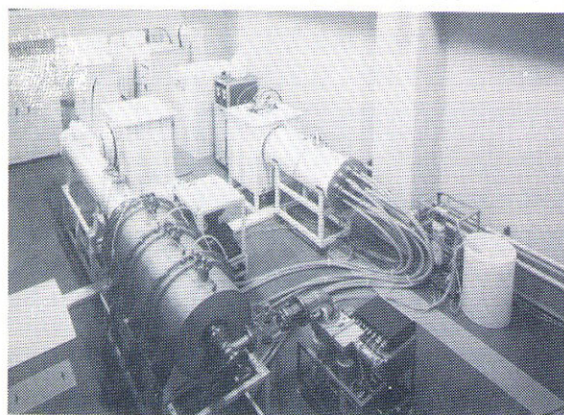
電子は将軍の電子と全く同じ振舞をして、よく区別が付きません。丁度、将軍の“影武者”のようなものです。そこで、この一周分だけ先行する電子を影武者の電子と呼びましょう。この影武者のおかげで、敵（ここでは相手の電磁波）からみると、将軍の電子は実際よりも速い速度で行動しているようにみえます。これによって、将軍の電子は実際には光の速度より遅い速度で走行しているのに、みかけとしてはそれよりも速い速度で走行しているようにみえるのです。このため、光（電磁波）と、光速より遅い速度で走行する電子が、長時間にわたり相互作用できるようになって、レーザー光の発振・増幅が可能になります。自由電子レーザーの理論は、大変複雑なものがありますが、このウィグラー磁場の周期性による“影武者”の電子の概念が、自由電子レーザーを非常に高い周波数まで発生できるユニークな装置にしているのです。

この相互作用から発生してくるレーザー光の波長は、ウィグラー磁場の周期長や、電子のエネルギーによって変わります。

1 MeV位のエネルギーの電子では波長がミリメートル位の電波が発生し、数10 MeVの電子では可視光が発生します。

さて、この自由電子レーザーの特長はなんでしょうか。第一の特長は、電子のエネルギーを変える事により、発生するレーザーの波長が広い範囲で連続に可変できる事です。現在では、マイクロ波からミリ波、赤外、可視光までの発振が報告されています。第二に、高出力で高効率である点です。ミリ波領域で、出力1 GW、効率40%が記録されています。

それは、宇宙における自由電子レーザーの応用を考えてみると、一つには地球、月、宇宙基地等の間におけるエネルギー伝送が挙げられます。宇宙には地上のような電力を伝送する電力線は張れませんから、電磁波ビームでエネルギーを伝送する必要があります。このために、マイクロ波やレーザー光を用いる事が考えられていますが、自由電子レーザーは、どの領域の波長の電磁波も高効率、高出力で生成できる可能性があるのも有望です。又、自由電子レーザーは、電子と磁場と真空のみで構成されるので消耗による補給を必要としませんし、地上と異なり宇宙では真空排気も必要としません。その上、電磁波に変換されなかった電子のエネルギーは、容易に再び電気エネルギーに回収できるので、熱の形になる事もなく、排熱の問題もありません。更に夢のような話としては、自由電子レーザーを単にエネルギー伝送のみならず、正味のエネルギー生産に利用できる可能性もあります。それは、天然の100 keV位の高エネルギー電子の多く存在する磁気圏領域に自由電子レーザーを設置して、天然の電子のエネルギーを電磁



相対論的電子ビーム発生装置(プラズマ実験室)

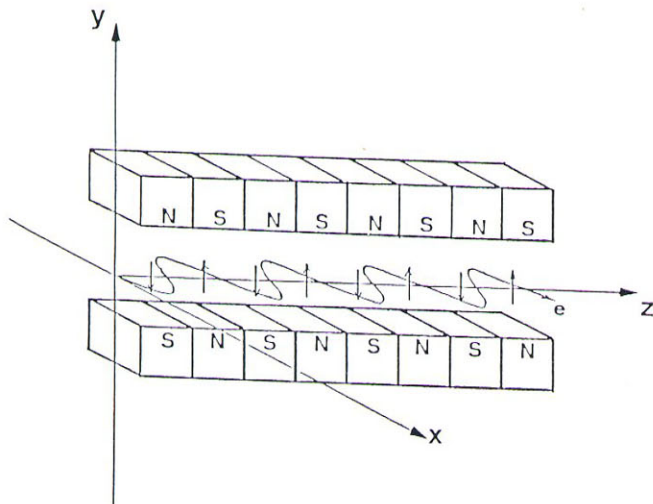


図2(a) 直線型自由電子レーザー

波に変え、宇宙基地なり月面基地に向けて伝送すれば、正味のエネルギー生産と伝送ができるかもしれません。

宇宙用の自由電子レーザーは、小型・軽量でなければなりません。そこで私達は現在、コンパクトな円型の自由電子レーザーの研究を行っています。図2(a)に示した従来型の自由電子レーザーは、いわば直線型の装置で電子を直線状に走行させていました。これでは装置は長くなりますし、電子のエネルギーも1パス分の利用しかできません。これに対して、図2(b)に示した円型自由電子レーザーでは、磁場中でラーマー運動させて電子を円周方向に回転させて、円周に沿う自由電子レーザーの相互作用をおこすものです。電磁波も円周方向に伝播させるために同軸構造の導波管を必要とします。このようにすると、電子は同じ円周上を

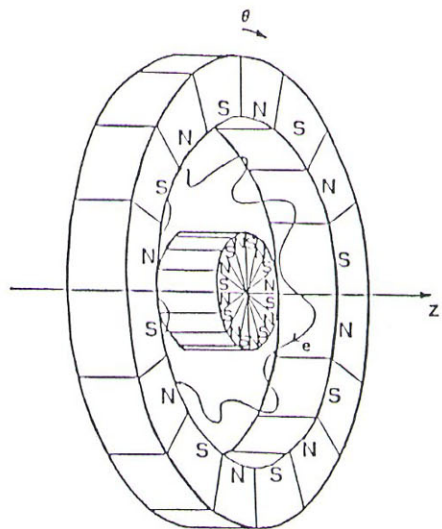


図2(b) 円型自由電子レーザー

回転し続けるので、相互作用距離は増しますし、装置はコンパクトになります。又、詳しい理論解析を著者が行った結果では、従来の直線型自由電子レーザーよりも大きなレーザー発振の成長率を持ちます。

このアイデアを実証しようと、相模原キャンパスD棟のプラズマ実験室の相対論的電子ビーム発生装置を用いて、現在、この円型自由電子レーザーの基礎実験を行っています。昨年の秋より相模原キャンパスに通って、大学院生や卒論生、そして中国からの研究者尹元昭さんとともに、実験に取り組んでいます。実験準備より現在で1年、発振を確認する段階に丁度到了所で、実験結果に一喜一憂している此頃です。皆さんも、どうかD棟からの吉報を待っていて下さい。

(さいとう・ひろぶみ)

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール(12月・1月)

12月						1月							
1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30
◀ K-9M-81 囀合せ (相模原)						KSC X=11:00							
$\frac{1}{4}$ から						K-9M-81							
相模原						フライトオペレーション							
S-310-18 囀合せ						KSC X=11:00							
						S-310-18							
						フライト オペレーション							

★人事異動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現(旧)職等
62.10.1	堀内 良	(併 任) 宇宙基地利用研究センター長	宇宙輸送研究系教授
62.10.1	平林 久	(客員部門) 共通基礎研究系助教授	東京大学助教授 東京天文台附属 野辺山宇宙電波 観測所
62.11.1	長瀬文昭	(転 任) 宇宙圏研究系助教授	名古屋大学理学部助教授



★昭和62年度第3次大気球実験

今年度の秋の大気球実験は9月末から10月初めにかけて三陸大気球実験場で行われた。放球したのはB15 2機、B30 1機で計3機である。この他B5型の気球を用いて地上試験を行った。

1号機は大気電場、2号機は宇宙線の観測であったが、ともに40時間を越す長時間観測に成功し、所期の成果をおさめることができた。これには大湊山の新受信点が完成し、長距離迄の追尾が可能になったことが、大きな理由である。一方2号機はB50-30は上層の風が例年と異なり、一路北上しこれまで浮遊したことの無い北海道まで飛翔することとなり、関係各方面に御迷惑をおかけすることになってしまった。

3号機は有翼飛翔体の予備実験で、重量も約1トンで従来の観測器にくらべて非常に大きいため放球に先立って地上試験を行った。「完全立上げ方式」つまり気球から観測器迄をすべて地上で立上げた状態で放球する新しい方式の試験である。地上試験の結果が良好であったので、10月3日に有翼飛翔体を搭載してB15-68を放球した。放球時の衝撃は約0.3Gで従来の方式の約1/3であり、静かに上昇して行った。

上空でのガスジェットによる姿勢制御の結果も良好であった。有翼飛翔体を気球から切離した状況は、気球に搭載したITVでとらえ、その姿勢変化の状況を逐一観測することができた。有翼飛翔体投下後の支持棒はその後気球から切離したが、支持棒にとりつけられたこのITVは海面から数m

の所まで、海面と波が盛上ってくる迫力のある画像を送ってきた。(西村 純)

★第7回宇宙研陸上大運動会開催

宇宙研陸上大運動会は、10月16日(金)に予定されていたが、台風19号による雨のため延期となり、10月30日(金)曇天の中開催された。設営準備中に雨がバラつきだし関係者をやきもきさせたが、午後1時から運営委員長補佐的川助教授の開会宣言に続き、所長代理小口教授の開会挨拶、前年度優勝宇宙工学45チーム安田技官による優勝杯返還、審判委員長宗形管理部長のルール説明、選手を代表して、荒木技官の味のある老練な選手宣誓で開会式を終え、引き続き全員で専属インストラクター指導のもと、エアロビクスでの準備体操を行い十分に笑いと油汗を流してから競技に移った。今年は「うずまき競争」に代って、「地球がまわる」を新種目として企画し、年齢制限なしで各チームから精鋭を出場させたところ、迷ランナー続出で、思いがけなく場内は、爆笑のうずとなった。最後の種目「綱引き」は例年各チームの対抗意識が高く、今年は工学45チームと管理部チームが総合優勝をかけた争いとなり、圧倒的強さで管理部チームが昨年同様勝利を手にし、全競技を終了した。続いて閉会式が行われ、各種目にむらなく得点し総合優勝を達成した管理部チームに小田所長から優勝杯が授与され午後4時30分駒場キャンパスにおける最後の陸上大運動会は無事幕を閉じた。

(藤山由弘)



★日独防振協定

MUSES-Aに搭載するため西独ミュンヘン工科

大学ではかねてからピエゾ型のセンサーを用いたダストカウンターを開発してきた。ところがM-3 S II型打ち上げ時の振動環境にこのピエゾの板がもたないと予想されるに至ったため、「今度は板抜きでやろう」という訳で、ターゲットに当たってプラズマ化したダストの電位を測ることでダストの質量と速度を割り出す方式が提案された。10月2日～5日、同大学のイゲンベルグ教授以下5人の西独ダストカウンターグループが来日、宇宙研に於いて機械的、電気的インターフェイスを含む詳細な打合せが行われた。日本側からは最近結成されたデータ共同解析のためのサイエンスグループも出席し、熱のこもった討議がかわされた。防振対策のとられたこのダストカウンターに関するミュンヘン工科大と宇宙研間協力についての公式文書のとりかわしは現在準備が進められている。

(上杉邦憲)

★GEOTAILがシャトルに三くだり半

西田先生を団長に、宇宙研のGEOTAIL七人の侍がNASAに出張、ゴダードとケネディで、主として打上げ手段とそのインターフェイスにつき討論を行った(9月17～27日)。当初スペースシャトルを予定していたGEOTAILは、チャレンジャーの事故の影響などもあってアメリカの使い捨てロケットで打上げることになっていたが、機種が確定せず、衛星との間のインターフェイスが心配されていた。今回の話し合いで、“sole source

procurement”と称する一種の随契により、早期に機種を確定するようNASAが努めること、及び、万一公開入札になってもDELTA IIインターフェイスを守ること、という合意を得て、それに基づく細かな電気的・機械的インターフェイス及び射場作業、打上げシーケンス等を議論した。宇宙研が自前のロケットを持つことの有難さが改めて認識される出張であった。

(中谷一郎)

★有翼飛翔体第2回滑空飛行実験～表紙カット～

昨年6月にひき続き第2回目の滑空飛行実験が10月19日から27日にかけて能代実験場で行われました。今回の実験は前回の経験を生かして低速における有翼飛翔体の飛行特性の理解と姿勢制御および地上系とのリンクによる誘導を行うことを目的として行われました。用意された3機の機体は、姿勢制御機能の確認、地上からの誘導による長秒時の定常直線飛行および旋回能力の確認のための飛行と順に実験を行い、いずれの機体についても良好な飛行結果が得られました。今回の実験のトピックは飛行が予定どおりであったことは勿論ですが、2回目の飛行で光学観測に成功し、飛行中の映像が得られたことと、海水スイッチを利用したフロートを頼りに機体の回収が行えたことでした。毎回獲物を持って回収船から帰ってくる秋山さんの笑顔が印象的でありました。

(稲谷芳文)



諸先輩を思い出させる金木屋

正門を入ってつきあたる建物の前に、季節が来ると木の枝全体に花をつけるような金木屋がある。

秋の西日がこの木々を照らす頃、かなり強い独自の香を匂わせながら金の粉を播き散らしたように散って行くこの花の終焉は実に素晴らしい風情がある。この風情の中に佇むと、早い時の流れの中でこの地を去って行かれた先輩方、やむない事情によって遠ざかった同輩達、激しい関わり合いのあった忘れ難い人達、そして音信もなく数年も経ってしまった人々を、当時そのまま鮮かに思い出せる場所なのである。

この駒場とも間もなくお別れである……

やがて「この道はいつか来た道。ああそうだよ」と節をつけて唱えられるような思い出を一杯背負って、いい日旅立ちしたいものである。

(菅家邦一)



★新生IACG会議からの報告

イタリア、パドバ大学のコロンボ教授の提唱で1986年に来訪(?)が予定されたハレー彗星に関心をもつ宇宙科学機関——ESA, IKI(インターコスモス), ISAS, NASA——がパドバに集ったのは1981年のことである

(ISASニュースNo.8 松尾報告)。この会合には松尾さんと私が出席したが、これに先だって平尾さん達や森先生他工学の専門家の間でも、非公式には日本でも出来るかということについて話は進められていたのだと思う。パドバではこの会合をIACG(関係機関連絡協議会)と名づけ、1983年には鹿児島に集まる等、会合を重ねて、その間には、ハレー・アルマーダ(ハレー艦隊)という名前も生れてきた。

この間に惜しくもコロンボ教授は故人となられたが、1986年3月には各機関総計6機の探査機、GIOTTO, VEGA 1, 2, すいせい, さきがけ, ICEが全機無事ハレー彗星に群がりそれぞれの役割を果たしたのだった。この和洋東西の協力に感動されたローマ法王の御希望でハレーIACG会合の最終会をヴァチカンで開いたことは既に御承知のところである。(ISASニュースNo.69 西田報告)。

法王に「パドバグループ」と呼びかけられたこれら四機関は、更に共通のテーマをとらせ、協力していこうという事になり、新生第一回(通算第七回)のIACGを、この10月19日から京都で開催した。場所は新ミヤコホテル、議長は西田さん、事務局長はESAのラインハルト(ISASニュースに何度か登場)であった。そこにはブライトンで開かれたIAF, IAA総会(別記)の最終日に英国としては300年来(超新星ほど珍しい)という大ハリケーンに見舞われ、生命から抜け出して来た私も含めて10何人かの人々が集まってきた。私はこれをブライトンから京都へのEXODUSとして歓迎の辞とした。

今後のテーマの主力は太陽系の科学である。これは太陽系で起きるすべての(?)現象の源である“母なる”太陽の研究——従ってSOLAR-A——、地球を囲む環境を総合的に理解しようとするISTP——従ってGETAIL——、そしてULYSSES等々も含まれることになる。新生IACGの準備は昨年来様々な機会をとらえてすすめられてきていた。これまで太陽系科学の「科学」と「データ」の2つのWG(ワーキンググループ)に別れて議論してきたのを一つのWGとし、チェアマンをこれまでの「科学WG」のチェアマンだったNASAのショーハンがつとめ、これまで「データWG」

のチェアマンだった西田さんがCo-チェアマンということになった。これまで会合では、それぞれの国や立場の違い、また機関として約束することの出来る限界等の事から、会議の途中でちょっとした暗礁にのりあげたような気がした事もあったものだが、今回は比較的順調に運んだようだった。

新生IACGはこの他に二つのパネルを整えている。その一つは何度かこのニュースにも登場した事のあるスペースVLBIである。ソ連のカルダシェフ、JPLのヨルダンを正副チェアマンとするこのパネルは既に昨年トルーズで、今年5月にはバサデナで開かれ、日本側からは西村(敏)、林(友)、天文台の森本、平林さん達の参加があつて活発な会が重ねられている。ソ連のRADIOASTRON, ISAS—野辺山—JPLの共同計画VSOP(森本さんが主役の一人だからこの名称にも御納得がいこう)、NASA—ESA共同のQUASAT(いずれも熱心に夢の実現にすすんでいる。これには昨年来の、JPLのTDRSSと白田アンテナによる数十例のQSOの観測の成功が大きくなはずみになっている。

もう一つのNASAのブリグスと大家さんを正副議長とするパネルはサンプルリターンを含む惑星系の研究を軸としている。ソ連がフォーボス探査を目前にしていること、米ソが火星の大型探査を考えている(?)事もあつて、ISASとしてはどう口や手を出して良いのかちょっとこれまでとは様子が違っている。しかし当方にも月の計画、金星の計画、ファーカーさんに火をつけられた(?)彗星の塵の話もあり話題には事欠かない。日米で研究会をつくっていこうという話も起きてきたものである。このパネルでははからずも、ISASが惑星系探査の先駆的実験をするためにロケットをもう一歩大型化する事への希望が出されている事をつけ加えておく。

(小田 稔)



久し振りのモスクワ訪問記

東海大学 平 尾 邦 雄

昭和62年8月21日ソ連科学アカデミー宇宙科学研究所所長サグデエフ博士から鄭重な招待状を受けとった。そこには10月2・3・4日にモスクワでSpace Future Forum を開催するので是非出席してほしい。ついては費用は当方で全部負担しますというものであった。それからあちこち問合せてみると、かなりの人が招かれているらしいのでそれでは出掛けることにしようと腰を上げることになった。先ず彼にあててお招きを受けたい、ついては10月1日に東京をたて10月5日にモスクワを去りたいので、しかるべく御手配をという手紙をおくった。さてそれから大学に出張上申したり、又丁度9月30日まで学会の予定だっただったので、うまく間に合うかなと心配をしていた。ビザの件は宇宙研の小山先生にお願いしてまあ何とかなるだろうと呑気にかまえていたのである。しかし相手もさるもの9月も25日ごろになって、突然30日の飛行機を予約したからそれで来てくれとのテレックスである。早速学会出席は取消し、さらに大変なのはビザの問題である。申請では10月1日入国としてあるが飛行機は9月30日、なにしろ出入国管理の厳重な国のこと、このままでは不法入国で拘留ということにもなりかねない。そこでいざとなったら行かないまでということにしてまた小山先生にお願いして大使館まで行ってもらった所あっさりとい付を変更してくれたとのことで、どうやら出掛けることが出来るようになった次第。成田に行ってみると、私と小山さんの他に天文台の平林さんなど総計6人明日出掛ける人もいたのでどうやら日本からは10人位招かれているらしい。

私が以前にモスクワを訪れたのはレニングラードでコスパーが開かれた時なので、ざっと20年前のことである。成田から乗ったイリュージン62型のアエロフロート機は私の思い出にあるそれとは違って快適で、スチュアードスもかなり洗練されている。それよりも成田でチェックインする時に荷物にVIP Forum KOSMOSという真赤な札をつけてくれ座席もきちんときめてあったのには、さすがアカデミーの招待だと安心した次第である。飛行機は殆ど雲に覆われたシベリア上空を飛んで予定通りにモスクワについた。入国審査は何事もなく、いよいよ難関の税関ということになった時どこからともなくたどたどしい英語を話す若い女性があらわれて皆揃ったら私についてこいというのである。まわりを見れば税関のところには長い行列がある。彼女についてゆくと別の入口から簡単な外貨申請の書類

を見せるだけですと通ってしまっ、ここでもアカデミーの威力がかんじられた。外へ出るとまた4～5人の人が寄って来てこれからホテルに案内するといつてまた長々と相談、しかしどうやら無事にタクシーでついたのが巨大なロシアホテルであった。1日早くついたおかげで



ガガーリン広場に立つ彼のステンレス像

次の日は見物ということになりアカデミー派遣のオルガという女性ガイドにつれられて市内見物となった。ここで私の印象！前に来た時はモスクワ中レーニンの顔などを書いた真赤な看板で一杯だったのに、今度は殆ど見られなかったのである。同行の西田先生も街の中が非常に明るくなったと言っていた。さてそろそろ紙面も残り少なくなってきたところでForumについて一言。今回のForumはスプートニク1号の30周年記念ということで10月4日がその当日という次第。第一日の開会式はアカデミーのお歴きやチトフ宇宙飛行士に加え小田所長や外国の名士が壇上に並んで始まった。宇宙の平和利用や国際協力が熱心に論じられたスピーチは昼迄続いた。参会者は約500名とのことで、米国からは110人を越す参加者があるとのことである。いかにソ連が力を入れているかを示すものであった。午後からは分科会、私のでた太陽系の分科会では予想どおり火星とフォボスの探査が主題であった。西田先生の出たプラズマの分科会では、将来の問題として太陽の探査が大きな題目となったようである。第二日の午前中は見学会で私はガガーリン名称の宇宙飛行士訓練センターに行った。施設そのものについては常識的なものであったが、40数人の米・ソ宇宙飛行士が壇上に会したのを見たのはなかなかの見物であった。午後はまた分科会、そうして第三日目は帰国のため欠席という次第であった。それにしても今回のForumはソ連としては大成功であったろう。私にとっても最近のソ連の一部でも見られたことは興味深かった。今後更に改革が進んでより親しみ易い国になることを願うものである。

(ひらお・くにお)

大マゼラン雲の超新星

小田 稔

この10月には、東奔西走された沢山の方々と色々な所でお目にかかった。モスクワでのスプートニク30周年記念の将来計画フォーラムではすぐ思いつくだけでも平尾、西田、小山(孝)、天文台の森本、平林、その他の諸先生方、メーカーの方々、引きつづきというよりは一日端折ってかけつけたベニスの宇宙基地科学者会議とテザーの国際会議では河島、小野田、渡辺(直)の皆さん、11日から英国ブライトンで開かれたIAF、IAA総会では秋葉、三浦、二宮、上杉、高野(雅)、小野田他の皆さん、事業団大沢理事長他多数の方々、それにメーカーの方々である。この間に田中(靖)さんはワシントンへ、横野さんは中国へと大忙しの1ヶ月だった。そのそれぞれについて様々な悲喜劇が展開されたようだが、それはまたそれぞれの御報告もあろうから、ここではその共通項としてマゼラン星雲の超新星SN1987Aの話を話題としたい。

今年の2月23日、前回ケプラーが1604年に見てから、殆んど4世紀ぶりに人間の眼にふれる至近距離で大マゼラン星雲に超新星が発生したのである。超新星は“新”という言葉は入ってはいるが、星が年老いて進化の涯てに起す大爆発である。有名な“かに星雲”は、西暦1054年の超新星の名残りである。超新星は星の進化の話としても、また極端な環境で起きてその跡に中性子星やブラックホールを残す物理現象ということで、もう何世紀もたっているからそろそろとよく冗談のように、物理学者達が待ち望んでいた事なのである。

初めに気付いたのは南半球各地の天文台だが、東大理学部素粒子物理国際センターが岐阜県神岡鉱山で働かして居たKAMIOKANDE-IIとアメリカでクリーブランドの地下の装置とが超新星爆発と同時にニュートリノをとらえたことも物理学にとっては画期的な事件として世界中を沸かせたのである。神岡鉱山の装置は地下1000メートルのと

ころに約2000トンの水タンクをつくり、これを1000個程の直径50cm(!)の光電管で見張っているというものである。もともとは素粒子論の大統一理論から予想される $10^{30} \sim 10^{33}$ 年(!)に一回起きるかもしれない陽子の自然崩壊をつかまえようということなのである。ところがこれが一方ではニュートリノという直接にはほとんど(私の学生の頃は「全く」と教わった)とらえる事の出来ないニュートリノを2月23日7時35分35秒に14個とらえたのである。これで永年理論物理学者が唱えてきた超新星に伴うニュートリノの大発生(理論によればこの水タンクを通ったと考えられる 10^{18} 個のうちのたった14個をとらえたことになる)が証明され、また爆発の時間ゼロ点がわかったことになる。

そうすると次に、いつX線が見えてくるかということが世界中の関心の的になる。何という偶然か(何世紀に一度という)超新星の数週間前2月5日に打ち上げられていた世界で唯一のX線天文衛星“ぎんが”に期待が集まり、問い合わせと観測の要請が殺到したのである。一方“ぎんが”はもともと英米の研究者達との共同開発による装置も載せて居り、ゲストオブザーバーとして英米の観測者の参加をうけつけるいわばX線国際天文台である。2月から夏すぎまでは、少しずつ衛星の機能を試験したり、装置の校正をしたり、つまり秋からの本観測への準備に忙殺される筈だった。そこにこのとんだ珍客(!)である。色々な予定が狂ってしまっ、それでも時々ちらりちらりと超新星を眺めていたものである。

それが8月頃から見え始めてきたのである。(はじめに何かありそうといい出したのは大学院生だったことを特記しておく。)ところが、いつこれを公表するか、“ぎんが”チームの中でも甲論乙駁の状態になってしまった。世界中の期待が大きいだけに間違いがあってはならぬし、慎重すぎても世

界中で情報を待っている人達に申し訳ない。観測を担当した人々、直接の責任者横野さん、それを後から見ている田中さん、それを又遠くから見ている私、皆が気が気ではなかった。

というのは、その頃になるとソ連のミール宇宙基地についているクワント（クワンタム）衛星にミュンヘンのマクスプランクグループ、英国のバーミンガム、オランダ等々西欧グループがX線装置を載せていることが判ってきたからである。これは思わぬ伏兵だった。いつまでも情報を伏せておくのもというので、モスクワを含めて各地に知らせ、当時ヨーロッパに居た田中さんとも相談して国際天文連合を通じて横野さんの名で通報を流したのである。この情報には折返しモスクワからミール／クワントも8月10日からX線を見ているというTelexが戻ってきた。丁度そんな時期だったので、今月に入ってから、田中さんはワシントンで開かれた超新星の会合に出かけ、今月初めからのモスクワ、ベニス、ブライトンと、もともとそれぞれの目的を持った会議が、いずれも臨時に数時間或いは半日、超新星X線発見の会合を設けたのである。

モスクワでは私はまだ“ぎんが”のデータの速

報しか手にしていなかったが、ベニス、ブライトンと移動するとともにホテルあてのファクスによって次々に詳しいデータが入って来た。そんな事で各地で“ぎんが”のデータと独ソグループのデータとが比較され議論され、或る口の悪い人が日露戦争と呼んだ討論がすすめられた。（もっとも相手もいずれも20年以上つきあいのある友人ばかりである。）こうして実はミールの方が先に見ていたのだと言いたげな向こうの人々に対して圧倒的に質の良い結果を見せる事が出来たが、このいわば仲の良い論争は双方の論文をネーチュア誌に同時に並べて出すという事でけりがつきそうである。

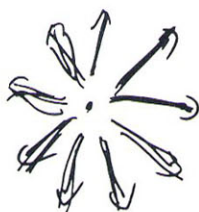
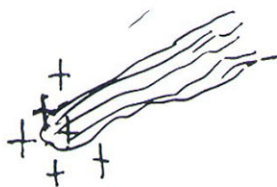
（このところは丁度テレビでジャパンカップの日ソバレー戦を見ながら書いています。）

たまたまブライトンで夫婦でNASAのフレッチャー長官と一夜夕食を共にした。その際、現在衛星の手段を持たぬNASAとしては極めて多数のロケット、気球を南半球に送って“じんじゃ”（と発音された）の情報に従って連続観測のキャンペーンをしたい事、超新星観測の継続についてはNASAとしては90年代半ばまで手を出せないののでASTRO-Dに協力したいという話だったことを附記しておく。

（おだ・みのる）

Space Science in Japan

Halley / Supernova / Future



Bang!



（カットも筆者）

エアロブレーキ

宇宙科学研究所 安 部 隆 士

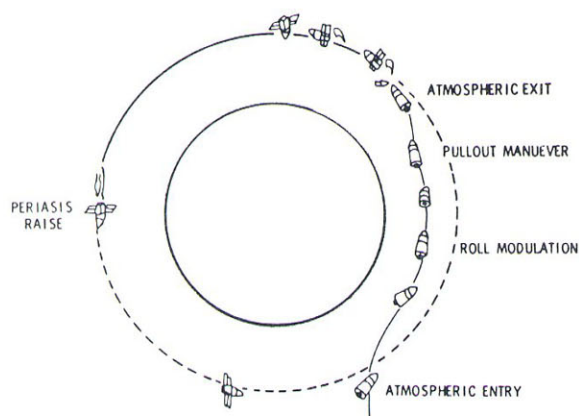
静止軌道から低軌道へ移行したり、惑星間軌道から惑星周回軌道へ宇宙船が移行するときなど、エネルギーの大きな軌道から小さな軌道へ移行するときには、必然的に減速を伴う。これらの減速は、現在の技術では、補助ロケットを用いて行うのが普通のやり方である。エアロブレーキの技術では、必要な減速を惑星の大気をかすめることにより行おうとするものである。これにより、減速に必要な推進剤を節約することが可能となり、結果的にペイロード比を高めることが可能となる。

エアロブレーキには、大きく分けて2つのモードがある。1つは、シングルパスモードで、必要な減速を1回の大気進入により行おうとするものである。他の1つは、マルチパスモードで複数回大気に入進して最終的に必要な減速をえようとするものである。いうまでもなくシングルパスモードでは、大気に深く入る必要があり、空力加熱が大きな問題となってくる。マルチパスモードでは、1回の進入による減速は比較的小さくてもよいので、上層の密度の小さい大気を通過すればよいことになり、空力加熱は軽減される。しかしながら、必要な減速を達成するために時間がかかることに

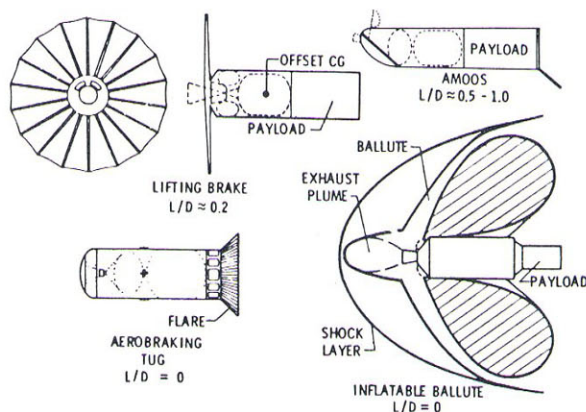
なる。エアロブレーキを行うための課題としては、空力加熱以外にも、制御の問題等いくつか解決すべき問題がある。

応用範囲としては、地球近傍での衛星の軌道変更から、惑星ミッションまで、広く考えられる。エアロブレーキのアイデアは、1961年のH.Londonの論文にまでさかのぼれるのでふるくからあったものであるが、実現に至っていない。米国においてもいくつかの(VOIR等)の計画が存在したが結局計画だおれとなっている。エアロブレーキを行うためには、空力加熱からの防御とか姿勢、飛行パス制御などの問題を解決する必要がある。これらの問題は、各専門分野には面白い問題を提供するわけであるが、計画遂行上は、リスクとなっている。このため、過去いくつかの計画がありながら計画だおれになっていると思われる。

この技術を用いる最初のミッションとしては、惑星ミッションが適当であるように思える。なぜなら、総重量の小さな衛星では、ペイロード比の向上は、極めて重要な問題であるからである。このため切札としてエアロブレーキ技術の開発が急務となってきた。 (あべ・たかし)



シングルパスエアロブレーキの軌道



様々のエアロブレーキ衛星

アンテナの話 —特性測定法—

装置の特性を測定することは、時として製作するよりも難しいことがあります。アンテナでは、放射パターンや利得等の電気特性と、製作精度や強度等の機械特性を測ることになります。同じ項目でも測定法は、アンテナの種類により随分と違います。

電気的な性能測定は基本的には、送信レベルと受信レベルを測定することになります。その場合まず注意すべきは、周囲の物体の影響を避けることです。そのため図1のような、壁に到達した電波を全て吸収してしまう電波暗室が使われます。ただし、それもアンテナの寸法が、およそ $\sqrt{\text{波長} \times \text{送受信の距離}}$ よりも小さい場合だけです。

臼田や内之浦の大型の開口面アンテナの測定をするには、数km～数十km以上の距離が必要であり、屋外の開けた空間を用いることになります。電波源としては視準塔を建てたり、電波星を用いたりします。後者の場合、電波星の軌道に沿ってアンテナを駆動しておき、その軌道値の前後でアンテナを振って受信レベルを測定します。

アンテナの寸法と測定距離に対する前述の制約を克服するには、アンテナを含む空間で擬似的に平面波を作ってやることです。またアンテナの開口面の電界や磁界の分布を測定し、それからアン

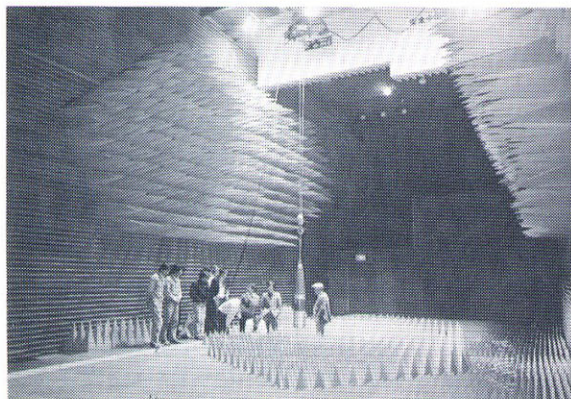


図1 電波暗室とロケット搭載アンテナの測定風景

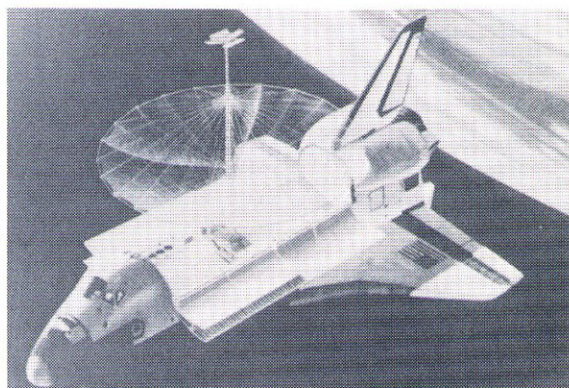


図2 スペースシャトルを用いた大型アンテナの試験案(NASA CP-2368, Dec. 1984より)

テナの放射特性へ換算することも行われます。これら2つの方法は、電気特性の新しい測定法として最近研究が進められています。

ロケットや衛星に搭載するアンテナでは、放射パターンが広いために構体等の影響は避けられません。そのため構体をモデルで作り、全体としての特性測定をします(図1)。他にもモデルを使う方法としては、アンテナが直接測るには大きすぎたり小さすぎたりする場合に、実際と測定時の周波数比例で大きさを換算したモデルを用いれば、特性を再現して測定できます。

アンテナの機械特性としては、寸法精度を測定することは基本的ですが、大口径で周波数が高い程必要な測定精度を出すことが難しくなります。光学的な三角測量が普通の方法ですが、最近ホログラフィの技術も応用されています。

やわな搭載用展開アンテナでは、重力等により変形が起こります。そのため、鏡面の向きを適当に選んで外力の影響を少なくしたり、重力を補正する装置をつけたりします。また展開性能も重要なことであり、NASAやESAではスペースシャトルに積んで宇宙空間で展開試験することが、開発の一過程として考えられています(図2)。

—宇宙研— 高野 忠



オーロラを撃ち損なったこと

東京大学理学部 國分 征

もう20年も前のことになってしまったが、私が最初にロケットと関わりを持ったのは南極の昭和基地で帰国の準備が一段落した時のことであった。1967年の1月の終わり頃だったと思うが、一通の電報が舞い込んだ。昭和基地でロケットを打つ計画が具体化しそうだから、ロケット施設に良さそうな場所の写真を撮って帰れという内容だった。当時は、ロケットについてロケットの口の字程の知識も持っていなかったので、普段減多にいかない基地から数百m程はなれた広い場所を適当に見当をつけて写真を撮ることくらいしかできなかった。写真が役に立ったかどうか定かではないが、最初に見当をつけたあたりにロケット施設が結果的には建設された。帰国後は、ロケットにも建築にも全くの素人なのにロケット施設建設の会議に引っ張りだされ、第一期の13次隊では実験主任として越冬する羽目になった。素人なりについていけたのも、当時の南極ロケットを強力に推進しておられた玉木、森先生の所に伺った際、ロケットの推葉はマッチを近づけても発火するものでもないし、バッテリーからイグナイターに電流を流せば、真っすぐ飛んでいくもので簡単なものですよ、まあ気楽にやりなさいというような意味のことを言われて勇気づけられた事があったからかも知れない。

ロケット施設の建設は10次隊から始まったが、宇宙航空研究所から山脇さんが参加し、最初のロケット施設建設にあたった。11次には発射台、ランチャやレーダなどの飛翔実験に必要な設備が設置され、最初の打ち上げが行われた。この最初の実験S-160の打ち上げは1970年2月10日、最初の衛星「おおすみ」成功の前日の事であった。

越冬中にオーロラにロケットを打ち込む実験は、12次隊から始まったが、それ以来12～14次の第一期、IMS期間中の二期、MAPプログラムの第三期を通じて、S-160、5機、S-210、31機、S-310、12機の実験が行われた。当初、発射台は当時計画していたS-350まで打てるように設計された。オーロラ観測を第一の目的としたことから、実験は厳冬期に行われるのでロケットの保温が一番問題となり回転式の発射台の上に、天井に油圧で開閉する発射口のある上屋が設けられることになっていた。この上屋は当時の昭和基地の建物としては最高の高さになるはずであった。しかし、再開以来続いた基地周辺の良好な氷状が悪化し、11次

隊以後何年か「ふじ」が接岸できない状況が続いた。このため発射台上屋は結果として作られなかった。この結果ロケットの保温方法として、ランチャに枠を作りビニールを張って温風を流し込み、ロケットは全面の紙を破って飛び出すという簡便な方法が12次隊によって考案され、その後もこの方法が使われてきた。大きな上屋の保守や保温を考えると、上屋が出来なかったことが結果的には幸いであったようにも思える。第一期には、初の経験だったため各隊とも夫々工夫を凝らし厳冬期のロケット実験に対処したわけであるが、この中から限られた人数で厳しい自然条件の下で行う昭和基地におけるロケット実験のノウハウが生まれてきたと思われる。

ロケットの実験には、待つことがつきもののようであるが、オーロラを撃とうとすると待つことが本質的なことになる。待つことに徹しなければ、良いデータが取れないといってもよい。我々が現在持っている知識では、オーロラの出現の場所や変化を予測することは非常に難しい。活動的なオーロラがいつも決まった時間に起こるわけではないし、一晩中待っていてもオーロラが基地の上空に現れないこともある。従って、確率的に最もオーロラが現れやすい時間の少し前から準備万端整えて待機することになる。実験主任がオーロラの活動状況をいろいろなデータから判断して発射の指令を出すか、待機に入ったその日に打てるというのは先ず有り得ないといってもよく、何日も待機することが普通である。

私の経験で一番辛かったことは、連日のスタンバイに疲れ、少し早く見切りをつけたばかりに千載一遇の好機を逸し、その後天候とオーロラ活動の位相が合わず、約2ヵ月スタンバイ状態を続けざるを得なかったことであった。今でも忘れないが、1972年の6月14日、朝5時過ぎまでスタンバイしたが打てる状況にならず、オーロラが活動的になりそうな予感がしたものの中止することにした。中止の後食堂で休んでいた時、PI担当の宮崎隊員が来る途中、天頂付近でオーロラ嵐が始まるのを見たとき興奮気味に云いながら入ってきた。これが約2ヵ月間の待機という結末になった。オーロラ現象の複雑さや状況判断の難しさを身を持って体験した貴重な経験でもあった。

(こくぶ・すすむ)



駒場最後の運動会も無事終り、いよいよ移転も間近になりました。これからは足腰を鍛え引越に堪える体力を養わなければと毎日体力づくりに励んでおります。(高橋)

ISAS ニュース No.80 1987.11.

発行：宇宙科学研究所(文部省)

〒153 東京都目黒区駒場4-6-1 TEL03-467-1111