



▲MT-135ロケット頭胴部の組立（本文記事参照）撮影：前山勝則

〈研究紹介〉

複合材料と構造力学

東京大学大学院 工学系研究科 青木 隆平

■はじめに

工学の分野において従来は、構造物を対象にした研究分野である構造力学と、その構造物を作るために使われる材料を研究する材料工学或いは材料学は、マクロかミクロといったように考えている大きさのレベルの違いもあり、別の分野であると見なされていたように思います。そうした観点からは、複合材料も単なる材料工学の対象になってしまいます。

ところが、複合材料はその名が示すとおり、それ自体が既に複数の基材の集まりであり、サイズ的には微小ですが、ある材料中に別の材料を配置するという点で、一種の構造物であると見なすこともできます。つまり複合材料は目的に応じて内部の形状諸元の「設計」が可能な構造物だと考えられます。ここでは、このような視点に立って、複合材料を構造力学の対象とする研究分野の、そのまた限られた一分野を紹介します。

■繊維強化複合材料積層板

一口に複合材料と言っても、例えば一方の素材（強化材）が板状、繊維状、粒子状のいずれの形態で他の素材（母材）に混入されているか、といった複合化の形態、或いは素材が金属、セラミックス、プラスチックの何れであるか、といった素材の種類による分類など、その中身は多種多様です。以下では航空宇宙機用の構造部材として広く使われている炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP）について考えてみます。ただし、この用語について補足すると、炭素繊維強化プラスチックという言葉から得られるイメージは、プラスチックを繊維で補強しているというものだと思いますが、実態は高強度、高剛性という特性を持った炭素繊維を、より取り扱い易くするためにプラスチックで固めたというイメージの方が現実に即していると思います。繊維

強化という用語は本来、ガラス繊維などを混ぜてプラスチックを強化するという繊維の使われ方に対するものです。その点、セラミックス短繊維強化金属なども、金属の特性を向上させるために短い繊維を混ぜるもので、繊維強化という用語の与えるイメージが実態に即していると思います。

さて、このCFRPは、直径が $10\mu\text{m}$ 以下の長い炭素繊維を一方向に並べ、それにプラスチックを含浸させたもので、複合材料中の繊維の含有率を体積で表わすと、一般的な利用例で60~70%程度になります。この材料は、繊維が方向性を持って配置されていることに起因して、その剛性や強度が方向によって大きく異なり、いわゆる異方性を示します。一般に繊維方向の剛性は繊維自身によって支配され、繊維に垂直な方向ではプラスチックの影響が大きく出ます。それ故繊維方向とそれに垂直な方向で、剛性は前者が后者の10倍程度はあるのが普通です。強度に至ってはその差は更に広がります。このような極端な異方性を持った、いわゆる一方向強化材料は、ロープや棒材など一方向の強度や剛性のみが要求される特殊な用途には適していますが、航空機の外板など、複数方向に高い性能が要求される部材としては使いにくいのは明かです。そこで繊維方向が異なるCFRPの層を積み重ねて接着し、多方向に繊維が入った積層板と呼ばれる形態で使われるのが一般的です(図1)。

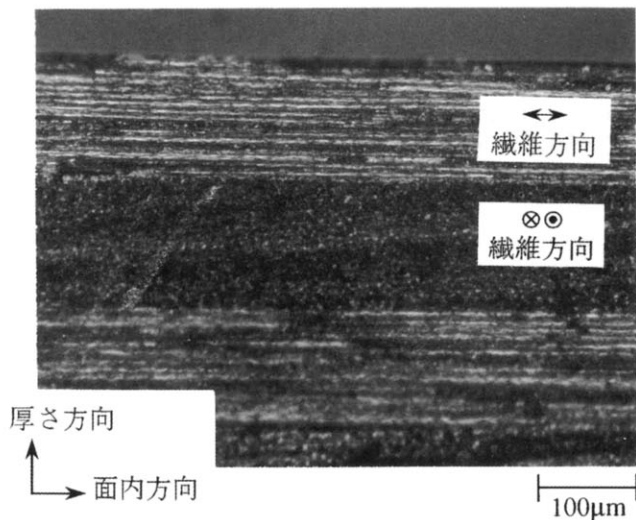


図1 CFRP積層板の断面写真
(1層の厚さ約 $130\mu\text{m}$)

この積層板は、特定方向の特性のみに注目すると、その方向にのみ繊維が並んだ一方向材料と較べて、材料としての効率はもちろん落ちます。それでも軽量かつ高強度、高剛性を必要とする航空宇宙分野では、ジュラルミンなど既存の金属材料より優れているとして利用範囲が拡大しています。最近では、最終製品にするまでの総合的なコストの点でも、製造工程の簡素化等

により、従来材料に対抗できるようになってきたことで、利用される例も増えているようです。

■積層板の弱点を探る

しかしこの優れた特性を持つ積層板にも弱点があります。その弱点を明らかにし、克服することが構造力学の複合材料に関わる一つの研究領域になっています。その弱点ですが、まず第一に、強度の大半を受け持っている繊維が、積層板の面内方向にしか入っていない、つまり厚さ方向には繊維が向いていないため、その方向の強度が極めて低いという点です。第二に、積層板を構成している一方向材の各層が、異方性の向きの違いから、異なる変形挙動をしようとするため、積層板の層間にお互いを拘束しようとする内力(層間応力)が生じる点です。層間応力は、部材としての力の伝達と直接関係のない二次的な内力ですので、ないに越したことはありませんが、それ自体は弱点ではありません。問題なのは、この力の発生が、厚さ方向に強度が低いという一番目の弱点を露呈させる点にあります。つまり、層間応力によって層と層が剥離してしまう、層間剥離が生じる点です。これは実際、例えば引張試験によって積層板試験片を引っ張った場合、荷重方向に垂直な板厚方向に試験片がぱっくりと口を開けるような現象で、とても興味深い挙動です。図2はCFRP積層板試験片に引張荷重を加えた際の、層間に剥離が生じる前後の様子です。

この層間応力の発生メカニズムは、積層板を構成する一方向材の各層を異方性の均質体とみなし、積層板を異方性体が重ね合わされた板としてモデル化し、解析することで明らかになっています。種々の研究では、層間応力は積層板の形状の不連続部位、例えば板の末端部や孔周り、或いは板厚が変化する所で発生することが分かっています。この層間応力は積層板では発生が避けられないものですが、その大きさを小さくすることは各層の積み重ね方を工夫することである程度

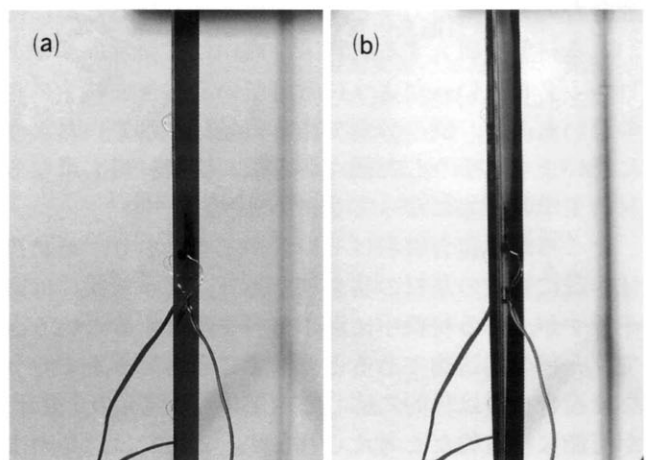


図2 積層板引張試験片に生じた層間剥離
(配線は歪測定用のもの)(a)剥離発生前、(b)剥離発生後

は可能です。また、局部に層間剥離が生じた場合に、それがどの程度の外力によって拡大して全体破壊につながるかといった問題について、評価パラメータの同定や、材料固有の具体的な特性値を測定する試験方法の開発が行われています。こうした研究によって、層間応力による層間剥離の発生はある程度予測が可能になってきました。

前述の一番目の、厚さ方向に強度が低いという弱点は、金属材料では考えられないような問題ももたらします。積層板を航空機の翼の外板に使った場合、機体の整備などで作業員が持っていた工具を翼の上に落とすと、積層板の内部に層間剥離が生じることがあります。或いは、機体に滑走路上で跳ね上げた小石などが衝突した場合も同様の結果になり得ます。この種の層間剥離は、発生位置の予測が不可能であると同時に、積層板表面からの目視による検査では発見できない場合が多々あります。その対策として層間剥離が生じても構造全体に致命的な影響を及ぼさないような設計にすることや、超音波、X線などによる探傷検査で剥離の検出を確実にすることなどが研究され一部実用化しています。構造的には、衝撃により剥離した積層板に圧縮荷重を加えた状態（Compression After Impact, CAI）が最も影響が深刻なため、この場合の挙動について多くの研究がされています。一方、探傷検査ですが、検査設備は極めて大掛りになりますから、検査方法の簡素化は実用上大きな問題で、この方面の研究も進められています。

もう一つ重要なことですが、積層板自体が前述のように繊維方向などを変えることで自由に設計できるため、たとえ形状が同じでも性質の異なる無数の部材を作ることが可能です。これらの部材では、荷重を加えた際の損傷の種類や蓄積程度などが変わり、結果的に最終的な強度までもが変わってくる可能性があります。金属材料では素材の強度を調べれば、部材としての強度も極めて正確に予測できますが、複合材料で作られた部材の場合は、たとえ形状が単純でも簡単ではありません。設計者にとっては、厄介な材料だと思います。つまり設計の自由度が大きいことが強みでもあり、この点が強調されがちですが、見方を変えると強度の予測を難しくする点で弱点にもなっています。

■弱点を克服するには

CFRPの層間強度を積極的に高める研究も当然多くされています。そのための主要な取り組みは、材料の改良で、積層板の厚さ方向の強度を担うプラスチックの改良と、それと同様に重要な繊維とプラスチックの界面の接合強度の向上です。

構造力学的な面からも多くの研究が行われています。その一つが繊維を積層板の厚さ方向に積極的に配置し

て層間を強化する手法です。その代表的な方法が裁縫で使われるボタン穴をかかえる手法に似た方法で、スティッチング（Stitching）と呼ばれるものです。これは、層間剥離が生じ易そうな部位、或いは生じては困る部位を、予め繊維で縫って補強する方法です。この補強によって厚さ方向の強度は増しますが、同時に本来必要な板の面内方向の強度低下をもたらす可能性があります。これを数値的に評価しようとする、解析上は繊維束単位のレベルでのモデル化などが必要で、簡単ではありません。

この考えの延長上には強化繊維を縫って配置することが当然出てくると思います。いわゆる繊維複合材料として実用化されているものです。繊維の織り方で二次元織や三次元織等が考えられますが、これらはいずれも板の面内方向の強度や剛性を多少なりとも犠牲にしているため、繊維にすることの長所と短所を秤にかけて使うことになります。ただし解析でこれら进行评估することはやはり多大の労力を必要とします。

また、出来上がった積層板部材の強度の予測が困難な点を述べましたが、もちろんこの強度予測への理論的な取り組みは無数にあります。しかし、残念ながら未だ幅広く適用し得る一般性のある理論は出来上がっていません。複合材料の構造力学関係の研究ではこの分野は極めて基礎的な領域ですが、内容的には塑性力学、破壊力学、界面の力学、確率論など複数の分野にまたがった横断的な取り組みが必要で、今後いろいろな取り組みからの成果が必ず出てくるものと思います。

■おわりに

ここでは、構造力学的な視点から繊維強化複合材料の、主にマイナスの部分を紹介しました。言ってみればあら探しをしたことになります。これも複合材料が将来を期待された、材料の中の優等生であることの裏返しだのご理解下さい。既に述べたように、複合材料には多くの種類がありますが、この中で現在特に注目されているのは、次世代超音速旅客機用に数100℃といった高温の環境下での長時間使用に耐えるものや、宇宙往還機用に1500℃程度に耐える複合材料です。これらの材料についても、クリープ特性や熱変形など構造力学的な側面から研究すべき点が数多くあります。また、複合材料はアクチュエータやセンサを、容易に内部に埋め込むことができるために、知能材料としても有望で、これに関連した多くの研究がされています。最近では、土木建築分野での橋脚や柱の補強への利用など、新しい適用領域も生まれています。複合材料は常に新しい研究テーマを与えてくれるとても面白い材料だと思います。（あおき・たかひら）



平成9年度「宇宙学校・金沢」開催について

日 時 平成9年11月8日（土）
場 所 金沢大学工学部秀峯会館
校 長 小山 孝一郎 教授

第1時限 （9時40分～11時30分）

- ・X 線 上田 佳宏 助手
- ・電 波 平林 久 教授
- ビデオ ブラックホールをさぐる

第2時限 （12時10分～14時00分）

- ・惑 星 長野 勇 金沢大学工学部教授
- ・生 命 河崎 行繁 客員教授
- ビデオ 私たちの太陽系

第3時限 （14時30分～16時20分）

- ・ロケット 竹前 俊昭 助手
- ・人工衛星 橋本 正之 助教授
- ビ デ オ 人工衛星

問合せ先：宇宙科学研究所庶務課企画・広報係
TEL 0427-51-3911（内線：2205）

宇宙構造材料シンポジウム

日 時 平成9年11月13日（木）～14日（金）
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

宇宙航行の力学シンポジウム

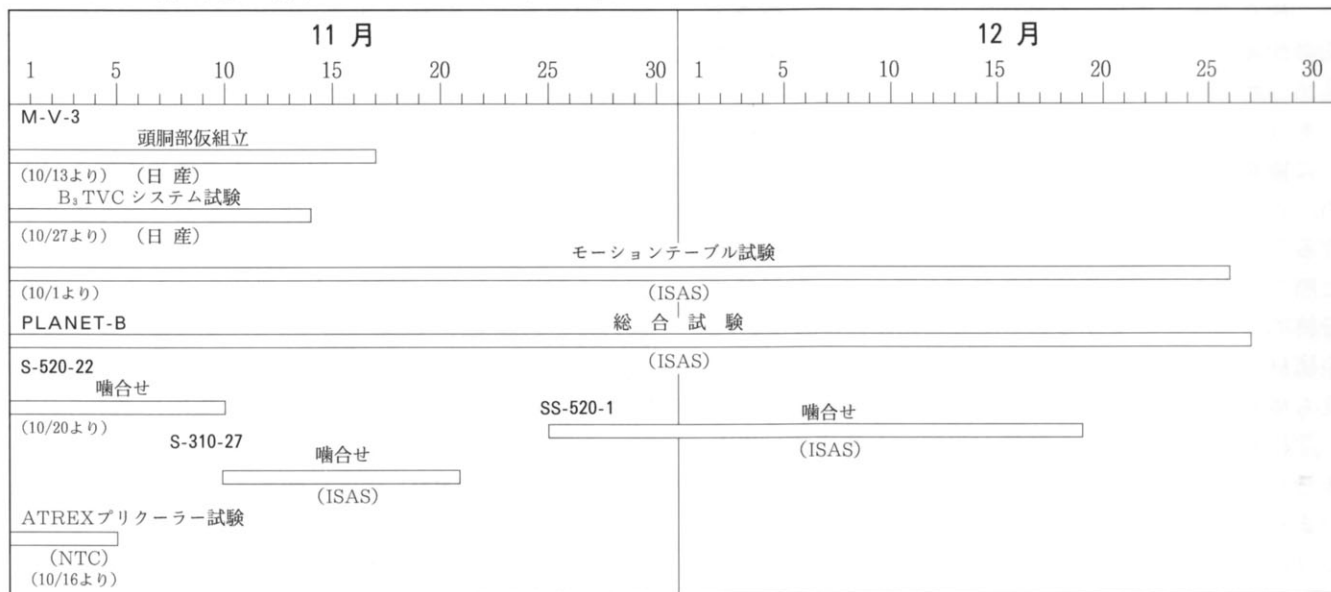
日 時 平成9年11月19日（水）～20日（木）
場 所 宇宙科学研究所本館1階入札室・2階会議場

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用係
TEL 0427-51-39111
（内線2234, 2235）

〔人事異動〕

発令年月日	氏 名	異動事項	現（旧）職等
		（辞 職）	
9. 9. 30	佐鳥 新	辞職	宇宙推進 研究系助手

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（11月・12月）



★平成9年度第2次大気球実験



平成9年度第2次大気球実験は、平成9年8月31日から9月22日まで三陸大気球観測所において実施された。放球した気球は、B5型1機、BT15型1機、BT5型1機、BT1型1機、E V1型1機の計5機であった。尚、当初予定していたB150-1号機は台風19・20号のため待機中に上層風が長時間観測・回収に適さなくなったため中止とした。

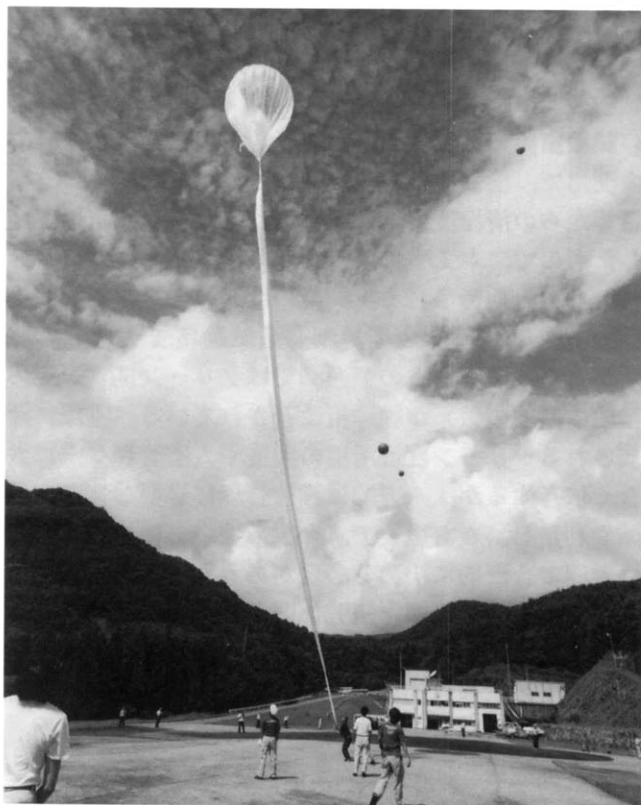
BT5-14号機では、東北大学が開発した太陽紫外光の吸収を利用した光学式オゾンセンサーを用いて成層圏上部までの夏期オゾンの高度分布と経年変化の観測が行われた。本実験により、4年連続同時期におけるデータの取得に成功した。

BT15-2号機は、東京大学が開発した観測器によって35kmから43.7kmの高度領域における酸素原子・オゾン密度の同時観測に世界で初めて成功した。その結

果、この高度領域におけるオゾン光化学を理解するための貴重なデータが取得できた。

BT1-1号機は、國學院大学と国立極地研究所が開発した2波放射計を用いて成層圏二酸化窒素の高度分布の測定に成功した。さらに、レベルフライト時に日没をむかえたため、その影響による密度変化の測定も行うことができた。この型の測定器による二酸化窒素の観測は初めてであり、成層圏オゾンの経年変化を研究するうえで貴重なデータが取得できた。

EV1-1, B5-137号機は、将来の長時間観測用気球として開発を行っている圧力気球の飛翔性能試験であった。前者はエバルフィルムを用いラップシール法で製作した気球であり、後者は排気口に取り付けたマグネット磁石によって自動的に気球内圧力を調整する気球であった。前者は予定高度まで上昇し、予想破壊圧を示した。このエバル気球は従来の10倍の大きさがあり、エバル気球の実用化・大型化にむけた第一歩である。後者は気球内圧力が予定の値に達せず所期の目的を果たすことができなかったが、2機の実験により圧力気球の開発に新たな発展をもたらすことになった。(山上隆正)



薄型高高度気球の放球

★MT-135 打上げ

66号機は9月8日、67号機は9月9日の11時に鹿児島宇宙観測所より発射された。7日夜の嵐のような風雨に明日の天候が心配されたが、両日とも風のない穏やかな日となった。両機ともに、飛翔は正常で、66号機に



MT-135-66号機発射の瞬間

ついては高度50kmから、67号機については、52kmから5kmまでのオゾン密度、風向、風速および気温の観測データを得ることが出来た。

両機のかみ合わせ試験を7月29日～8月1日に行った。その結果、いくつかの不具合が発生し、それらを修理、または破損部品の交換を行って、8月18日～19日に再度、かみ合わせ試験を行った。振動、衝撃試験とパラシュートとオゾン観測器に100Gの衝撃試験を行ったが、何の問題もなく無事に終了した。

MT-135の今後の打上げは、なるべく観測所の職員に行ってもらえるようになった。そのためには、まずロケットをよく知ってもらわなければならない、かみ合わせ試験にも参加してもらった。MT-135は、小型ロケットながら、脱頭、パラシュート放出、温度センサー放出等の複雑な機構を有するため、ネジ一つ締めるにも、丁寧に作業を行っていた。こうした積極的な参加のためであろう、打上げ後のどの職員の顔にも生き生きとした表情が見られたのが忘れられない。(中村良治)

★スエーデン科学アカデミー Fredga 前総裁来所

スエーデン科学アカデミーの前総裁で、現宇宙科学部長のKerstin Fredga博士(次頁写真中央、黒いドレス)が9月17日に来所された。今回の来日は学術振興会の招待によるもので、東大など多数の機関を駆け足で訪問する忙しい日程の一部である。スエーデン科学アカデミー総裁といえばノーベル賞の元締めということであろうが、もともと天体物理学を専門にしておられた方なので、奥田教授等が宇宙研の赤外線、X線、および電波天文学の最近の成果をご紹介し、また鶴田教授がPLANET-Bなどにおける宇宙研とスエーデンの協力についてお話しした。スエーデンの宇宙科学者はオーロラ現象だけでなく惑星プラズマの研究にも立派な実績があり、協力の成果が期待される。(西田篤弘)

VSOPチーム、波長 6 cmでクェーサー核の撮像に成功

電波天文衛星「はるか」は、波長6cmの電波で、世界の電波望遠鏡群と組んで、クェーサー核の画像を作り出すことに成功しました。これによって、7月初めに発表した波長18cmのものに較べて、更に3倍の解像度（十万分の33秒角）を達成しました。今回の解像度は、ハッブル宇宙望遠鏡の0.1秒の解像度の約300倍の性能がありますので、ハッブル宇宙望遠鏡の1画素を10万画素まで分解できるという事です。

実験は、7月5日、電波望遠鏡衛星「はるか」と、アメリカのテレメトリ-2局（西バージニア州グリーン

バンクと、カリフォルニア州ゴールドストーン）、VLBAという電波望遠鏡群（8000kmにひろがるVLBI専用電波望遠鏡群の25mアンテナ10局）との間で行われました。

観測天体は、へびつかい座のクェーサー1741-038です。60億光年ほど遠方の活動的な銀河の中心核ですが、電波でみた強烈な輝きは、中心にひそむ巨大ブラックホールからのジェットを直視していると考えられます。このような天体は、今後、「はるか」のVSOP計画が狙う大きなターゲットです。（平林 久）



★宇宙推進研究施設安全祈願祭

駒場キャンパスの耐爆実験関連施設が、東京大学より「駒場Ⅱキャンパスの施設整備についての協力依頼」の要請に基づき、あきる野市菅生の細谷火工（株）所有地の一部へ移転することとなり、8月下旬にこの施設のための工事契約を締結し、9月19日（金）に工事の安全と建物が無事完成することを願い「安全祈願祭」が現地で行われました。

前日までは台風20号が直撃する天候でしたが、関係者の普段からの熱意が通じたのか当日は式典前に雨も



あきる野市の移転予定地

上がり上々の式典日和でした。

式典は施工業者をはじめ、宇宙科学研究所からは西田所長、高野雅弘教授、松本管理部長、新谷主計課長、佐藤施設課長等の列席のもと、西田所長の鍬入れや玉串奉奠等により厳かに行われました。

なおこの施設は敷地面積約2,000㎡、建物床面積約700㎡で平成10年3月末に完成予定です。（沢口忠司）

★飛翔体環境試験棟(C棟)床面改装工事完了

ロケットや衛星の機械環境試験、組立試験、熱真空試験等でお馴染みの飛翔体環境試験棟(C棟)内の3つの試験室の床面改装工事が完了した。長年にわたっての使用で、塗装面の劣化が進行し、年々厳しくなる衛星等からの清浄度要求に耐えられなくなったため実施したもので、本工事により塵埃の発生がかなり改善されるものと期待される。同種の改装は衛星組立試験室（クリーンルーム）と衛星制御系試験室で実施した経験があり、そのときのデータではクリーン度（一定体積内の塵埃の数）が約一桁改善されている。実際に達成されるクリーン度は清掃の頻度や入室管理などに大きく依存するが、一方では維持管理に必要なコスト低減や利用し易さも重要で、今後の使い方については関係者間で合理的に決める必要がある。（橋本正之）

実施担当の施設課と研究部門との打合わせでは施工時の埃対策が心配であったが、施工会社に飛翔体環境試験棟での試験目的などを十分に説明した結果、埃対策から工期に至るまで満足の行く工事が実施された。これは施設課と研究部門の密接なコミュニケーションの賜物で、施設課も少人数で頑張ってはいますが、何分業務量が多いため今後とも色々と各方面のご援助を頂くことも多いと思います。良い環境で研究・実験を行うためには予算を確保しなければならず、このためには宇宙研のアピールも重要な要素となります。飛翔体環境試験での実験・研究により対外的にもアピール出来る成果が生まれることを期待します。（石井一生）



第11回

「コンプトン散乱」

宇宙科学研究所 堂谷忠靖

光の性質という、小学校の理科の実験でも取り上げられるよう

に、レンズで集光したりプリズムで七色に分解したりと、我々にも馴染みの深いものである。しかし、同じ光の仲間でも、エックス線やガンマ線になると、可視光では見られない性質を示すようになってくる。

エックス線やガンマ線のように、波長が短くエネルギーが高い（正確には、電子の静止エネルギーに近い）電磁波で重要になってくる現象に、コンプトン効果がある。この現象は、1923年にアメリカの実験物理学者、コンプトンによって発見された。コンプトン効果は、電磁波を波ではなく粒子と考えると理解しやすい（図参照）。ガンマ線の“粒子”が静止した電子に勢い良くぶつかると、その反動で電子がはじき飛ばされ、逆にガンマ線がその分だけエネルギーを失ってしまう。つまり、ガンマ線のエネルギーと運動量の一部が電子に移動するわけである。その結果、ガンマ線の波長は少し長くなってしまう。この、散乱によりガンマ線の波長が少し長くなるというのが、コンプトン効果である。このように書くとわかりにくいかも知れないが、相手を弾き飛ばすことで自分の運動量が落ちるといふのと原理的に同じことは、ビリヤードやおはじき遊びでも行なわれているわけで、ごく当たり前のことと言えるかも知れない。この発見により、コンプトンはノーベル賞を受賞した。

今度は、電子が高速で動いている場合について考えてみよう。この場合は、勢い良く走っている電子に光子が弾き飛ばされ、光子のエネルギーがウンと高くなる代わりに、電子のエネルギーが低くなることになる。

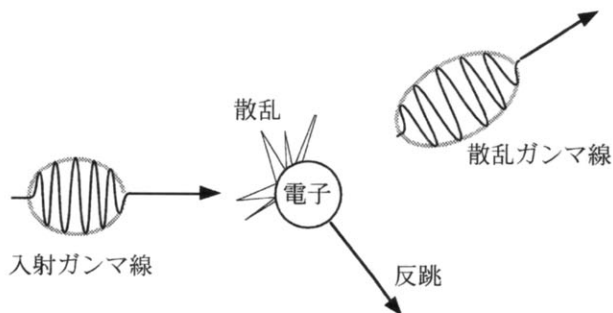


図 コンプトン効果の模式図。入射ガンマ線が電子と散乱することにより、エネルギーを失い波長が延びる。

前の例とは、電子と光子の立場が逆になっているわけで、このような散乱を逆コンプトン散乱と呼んでいる。身近な例では、ボーリングでボール（電子）に弾き飛ばされるピン（光子）でも同じことが起きているわけだし、身近でない例では、スウィングパイで加速していく惑星探査衛星があろう。後者では、惑星が電子に、探査衛星が光子に対応するわけである。

ところで、宇宙を眺めると、とてつもなく強い磁場をもつ中性子星（表面で 10^{12} Gauss、ピップエレキパンの10億倍）のまわりや、巨大ブラックホール（太陽質量の100万倍以上）などのやたら重力ポテンシャルの深いところには、ほとんど光速で飛びまわる電子がふんだんに存在する。このような電子が、周辺に存在する可視光などの波長の長い光子を弾き飛ばすと、光子はウンとエネルギーをもらってエックス線やガンマ線に変化することになる。実際、これらの天体からは、強力なエックス線やガンマ線の放射が観測されている。

強磁場中性子星や巨大ブラックホール近傍では、逆コンプトン散乱が重要な放射過程になっていることはほぼ間違いないと考えられるが、実際にエックス線やガンマ線の観測データから逆コンプトン散乱の確実な証拠をつかむのは、それほど簡単ではない。電子の分布が球対称になっているのかあるいはジェット状になっているのか、またそのエネルギー分布や光子との散乱回数によって、逆コンプトン散乱の結果生成される光子のエネルギー分布の形が大きく異なってくるからである。たとえば、電子が巾型のエネルギー分布を持つ時はコンプトン散乱された光子も巾型のエネルギー分布を持つし、熱平衡にある電子が光子と何回も散乱する時は、光子のエネルギー分布に黒体放射的なピーク（ウィーンピークという）が表れる。また、電子に比べて光子がまわりに多過ぎる時は、光子をガンマ線にたたき上げる前に電子がそのエネルギーを失ってしまっ、十分ガンマ線が生成できないこともある。

このように、コンプトン効果はごく基礎的な物理から導かれるシンプルな放射過程であるにもかかわらず、実際の天体現象の中では複雑な現れ方をすることが多い。その中から、コンプトン効果に固有の特徴を見つけ出し、放射領域の性質を明らかにするには、観測・理論両面でのさらなる研究の発展が必要である。

（どうたに・ただやす）

ポーランドを訪れて

西 田 篤 弘

スウェーデンでIAGAの学会に出席したあと、ワルシャワにあるポーランド宇宙空間研究所（Space Research Institute, Polish Academy of Sciences）を訪問してきました。COSPARの役員になってから事務局長のGrzedzielski教授とのつきあいが深まり、彼が数年前まで二十数年に渡って所長の地位にあった研究所を訪れてみないかと誘われたのです。

研究所の建物はワルシャワの中心から車で20分位の緑豊かな環境にありました。長い間共産圏にあった国ですから過去のモスクワのような町並みを予想していたのですが、駅前にそびえる科学文化宮殿を例外としてほかのところは西欧と変わらない町でした。3階建ての研究所の建物もそうで、外観といい内装といいドイツ、フランス、スウェーデン等の同じ規模の研究所と変わりありません。

研究所の職員数は約150名で、その3分の1が研究者です。年間予算は約3億。特徴の一つは測地学が重点領域の一つになっていることです。前所長 Grzedzielskiの専門である太陽系空間の科学（太陽風の加速、星間物質との相互作用、太陽圏と星間空間の境界領域の構造）の研究は水準が高く、私もかねてから注目してきました。彼等と議論できたのが今回の収穫です。「ようこう」のイメージのdeconvolutionをやっている人もいました。

研究所では衛星搭載ハードウェアの開発が盛んに行われていて、ロシアだけでなくヨーロッパのさまざまな計画に参加しています。たとえば ROSETTAで熱伝導度を測定するためのペネトレーターを開発しており、またCESAR（Central European Satellite for Advanced Research）衛星に搭載するFourier infrared spectro-meter等の試作を行っています。CESARというのはイタリアが中心になって計画をすすめているapogee 1000km, perigee 400km, inclination 70°の衛星のことで、オーストリア、ハンガリー、チェコ、スロバキア及びポーランドという、（意図的ではないでしょうが）かつてのオーストリア・ハンガリー帝国の版図の中にあった国々が力をあわせ、得意の機器を持ち合って実施しようとしているもので、PhaseBの開始をめざしています。好転しつつある経済に助けられて、ポーランドの宇宙科学はソ連（ロシア）との協力で培った経験と実力を生かし、より広い世界での発展

を図っています。

さて、ワルシャワでは、「ユダヤ人のワルシャワ」という半日コースのツアーに参加してみました。ジンガーの小説「父の法廷で」とか、マルタン・グレイの自伝「愛するものの名において」とか、ランスマンの「ショアー」とか、ワルシャワのユダヤ人を描いた作品には心を打たれるものがありましたし、親しい友人の何人かがユダヤ系だということもあって、ゲッソーを実地に見たいと思ったのです。ツアーはわずかに残されたゲッソーの壁の視察に始まり、シナゴグ、当時から残っているアパート、コルチャック先生の孤児院、ユダヤ人墓地、などを回りました。相客はロスから来た老会計士夫妻だけでした。60代と思われる男性のガイドの一家は金で手に入れた証明書でポーランド人になりすますことによって生き延びたのだそうです。戦前40万人だったワルシャワのユダヤ人の数は500人に減り、シナゴグの運営も苦しくなっているということでした。

印象に残ったのは、かつての悲劇と現在の平和な光景のあまりに大きい落差です。わずか数十年前に無数の遺体が投げ込まれた場所が緑の芝生で覆われ、ビキニの美女が愛犬に守られて日光浴をしているのを見ると、歴史の風化の早さを感じないではいられません。今のワルシャワ市民にとってはユダヤ人の悲劇はいわば先住民族に関わる過去の問題になっているのかもしれない、とも思いました。

ワルシャワの旧市街がナチによる破壊のあとで壁のひび割れに至るまで復元されたということは前から聞いていましたが、その見事さは聞きしにまさるものでした。広場に近い聖ヤン教会はゴシック様式ですが、その正面は茶色の煉瓦と白い漆喰が縦縞をなしてパイプオルガンのようなようです。ゴシックの様式と石材に乏しい平原の国ポーランドの風土とが独特の意匠を生んだのでしょう。研究所の人達にここで夕食をご馳走になりましたが、数年前の解放までは店をあけている商店は少なく、集まって会話を楽しむのはばかられるような雰囲気だったそうです。長く暗いトンネルを抜けた人々の表情は明るく、活気に満ちているように感じました。2000年に開催されるCOSPARの時の再訪が楽しみです。

（にしだ・あつひろ）

スペースVLBI入門 (4)

ー仮想レンズをつくるー

宇宙科学研究所 村田 泰宏

前回は、レンズが大きければ大きいほど、言い方を換えれば「電磁波(光)を集める領域が大きければ大きいほど得られる天体の像の解像度が上がります。」というお話をいたしました。ちゃんと計算すると解像度は、光の波長に反比例し、レンズの大きさに比例します。望遠鏡を大きくすればするほど、解像度は上がって行きます。最先端の望遠鏡は、可視光や近赤外線では10mくらい、電波の領域だとプエルトリコにある谷間に作った300mのアレシポの望遠鏡があります。ただ、300mあっても可視光と電波では、波長が10万倍も違いますので、いくら望遠鏡が大きくても解像度では、可視光のほうがいいです。ただ、可視光の場合は、大気による星からの光の乱れが大問題で、実際は解像度は1秒角程度で頭打ちになっています。だから、ハッブル望遠鏡が宇宙へ行ったり、「すばる」望遠鏡で能動光学を使った技術を開発したりしているのです。

一方、電波天文学者ががんばります。はじめの回で述べたように干渉計やVLBIという、2つ以上の望遠鏡を組み合わせる観測をする技術をあみだしました。普通の望遠鏡では、図1のように光を集めて焦点で像を結びます。凹面鏡の方が多いですが、とにかく光を曲げて焦点に集めます。VLBIの場合は、複数のアンテナを配置し、天体からの信号を図2のように集める前に受信し、その電波をアナログデジタル変換を行って信号を符号化してから磁気テープに記録します。同じことを、ほかの望遠鏡も同時に行います。

そして、図3のように磁気テープを再生し、焦点に光を集めます。データをデジタルアナログ変換して、またレンズを通してやっても焦点に光は集まりますが、そんなめんどくさいことをしなくても、もうすでに信号は磁気テープに記録されているので時間を戻したり、進めたりは思いのままです。時間をあやつって、波の山と山を合わせてやればそれで焦点を結んだことになります。その時間合わせと、波と波の重ね合わせをレンズでやるかわりに計算機でやってしまうのです。計算機といっても、それぞれのアンテナからのデータ量は、128Mbps (はるか/V SOPの場合)と早いので、

汎用の計算機ではとても計算が追いつきません。「相関器」とよんでいる、干渉計で焦点を結ぶことを目的に作られた専用計算機で処理を行います。

後で処理することによりもう1ついいことがあります

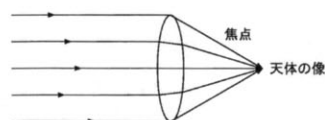


図1 普通のレンズで波を集める

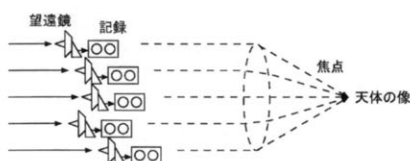


図2 VLBI の場合 電磁波の記録

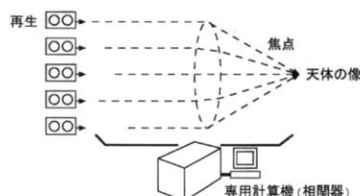


図3 VLBI の場合 電磁波を再生し焦点をつくる

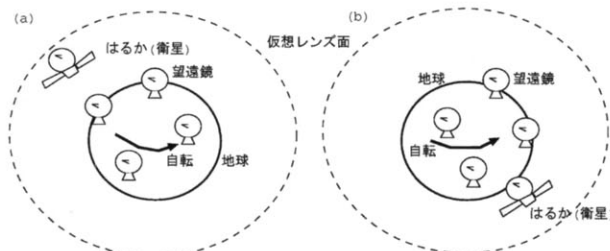


図4 天体から見た仮想レンズ面上での望遠鏡の動き

す。図4 (a) は、ある瞬間に逆に天体からその天体を観測している望遠鏡群がどう見えるかを示しています。(b)はまた別の時間です。衛星の場合は軌道運動で、地上の望遠鏡は地球の自転で仮想的なレンズの中を動き回ります。したがって、天体からの電波が観測中に変わらなければ、時間をかければ仮想的なレンズ面を、望遠鏡がレンズ面を埋める程なくても、望遠鏡自身の動きによって、そこそこの仮想レンズを作ることができてしまうのです。とくに動きの激しい衛星の「はるか」は、仮想レンズを作るのに大活躍します。

(むらた・やすひろ)



最強の液体燃料

森本 雅 樹

鹿児島は「うちゅうけん」です。ISASの「宇宙研」とは違います。宇宙基地が二つとも鹿児島県にあるから「宇宙県」です。県都鹿児島の中心「天文館」は薩摩藩の天文台があり独自の暦を編纂したり、かなりのレベルであったようです。天文館通りを歩くと道に敷いたタイルやアーケードの天井に星座の絵柄があるほど宇宙県、と納得できそうです。

が「しかし」です。天文館が昔の天文台と知る人は少ないし、跡地には小さな石碑と立て札があるだけです。県内産業に特に宇宙指向はありません。中高校などの宇宙教育も特にこれといったものはなく、鹿児島大学でも理学部物理科学科の軒を借りて「宇宙コース」が今年からやっと細々誕生という程度です。

「しかし」の次は「ところが」です。全国星空コンクールでは殆ど毎年鹿児島県のどこかが日本一、ベストテンに必ず2〜3カ所入ります。「宇宙少年団」活動も活発、星空観望会どこでも大入り、宇宙関連の講演会や催しもいつも盛況です。かく言うおじさんも産業廃棄物協会にPTA連合会総会、志布志メダカの学校、星が峯小学校創立何十周年記念式典、看護婦初任者研修会等々あらゆる会合で「宇宙の話を」とよばれます。「政治」「産業」「教育」といったお上からの筋では「宇宙県」は「しかし」でも草の根の方から見れば「ところが」なんです。

鹿児島の教養科目は「うちゅう」で一杯です。「宇宙科学」「宇宙論」はもちろん「宇宙と生命」「宇宙旅行」しまいには「焼酎（しょうちゅう）」まで、年間13コマ出ています。もちろんどの講義も学生の人気は上々です。講義の一部は複数学部の教官が交代で出講する形式です。企画立案、講義の進行、レポートの処理と成績評価などなど大変ですが、自分の聞きたい話が聞ける、結構おもしろいレポートが出てくるなど労力に対する見返りも上々です。交代で講義を担当した教官の間でも好評です。

さてこの宇宙と焼酎、共通点は「うちゅう」の音、鹿児島に関係、だけではありません。まずロマン、それもとらえどころのないロマン、透明だが含蓄ありな

どなど一杯です。さらにどちらも科学、技術、産業、文化、社会、歴史などなどいろんなとらえ方ができ、それぞれに広く深い展開があります。教養科目には最適の主題である、ということができるでしょう。鹿大教養科目は「うちゅう」で一杯です。

焼酎を飲むと心は宇宙へ、足も宇宙歩行になり、それも飲む場所は県内最大の繁華街「天文館」です。おじさんはあちこちでの講演で、宇宙でガスの雲が収縮して星が出来る過程をエチルアルコールの分子式から説き起こすことにしています。題は「焼酎が星を作る」です。宇宙と焼酎の接点、宇酎に一杯ですね。

1993年には鹿児島で日本天文学会が開かれました。「宇宙に関連の銘柄の焼酎を提供いただきたい」と県内の酒屋さんにお手紙を書いたところ「里の曙」「七夕」「宝星」「天文館」「芋ねえちゃん」などたくさんの寄付があり懇親会は大盛況、でも半分も飲みきれずおみやげに出したほどです。ISASニュースの読者にもこの懇親会を覚えておられる方がいるのではないのでしょうか。

エッ何で「芋ねえちゃん」が宇宙に関連？ お酒屋さんいわく、「それは宇宙人のことだ」ってさ。

酎

「いも焼酎」万歳、宇宙研もご愛用
「最強の液体燃料」万歳！

ウかんむりにチュウこれは「うちゅう」とよみます。

(鹿児島大学理学部 もりもと・まさき)



かなり昔、実験のため内之浦に滞在中、「敬老の日」に、本誌現編集長のM教授が、元編集長のH教授に、この液体燃料の瓶に内之浦湾の海水を詰め換えて「大隅大海です」とお届けしたことを思い出しました。数ある液体燃料のうちで、この最強の液体燃料の価格だけが、最近、値上げされたばかり。「宇宙歩行」や「宇宙人との遭遇」に支障無きように祈っております。(荒木)

ISASニュース

No.199 1997.10

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、庶務課法規・出版係(内線2211)までお願いいたします。(無断転載不可)

*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます (<http://www.isas.ac.jp>)