



▲国際電気推進会議見学会のようす（本文記事参照）

〈研究紹介〉

鞭毛・繊毛の世界 — 運動制御から見た生殖と走性 —

東京大学大学院総合文化研究科 奥野 誠

生殖と鞭毛・繊毛運動が私の研究室のキーワードです。生物の生殖は多種多様です。多くの動物では、形態も機能も大変異なった二種類の配偶子、すなわち卵と精子を形成し、その融合（受精）によって新しい個体が誕生します。大きくてタンパク質などに富んだ卵と、小さくて活発に動きまわる精子という組み合わせは、進化の過程が生んだ合理的な戦略であるとされています。この精子を動かしているのが微小管を骨格とする構造すなわち鞭毛です。微小管系は、筋肉などを構築する微小繊維系と並んで、細胞運動の二本柱の一つです。そして微小管系の代表的なものが鞭毛・繊毛で、一般的に直径が24nmの微小管が二本結合したようなダブルレット微小管9本を周上に配し、中央に2本のシングルレット微小管をもつ“軸糸”を骨格とします（図1）。多くの動物の精子や、原生生物では、この直径約0.2 μ mの軸糸が鞭毛や繊毛そのものですが、哺乳類の精子ではこの軸糸の外側に外側粗大繊維などの

アクセサリーファイバーをもっており、鞭毛は太くなっています。また軸糸は運動器官のみならず、平衡感覚や聴覚において感覚繊毛として働いています。ところでこれらの鞭毛・繊毛は真核生物に特有の器官であり、バクテリアなど原核生物にある鞭毛とは構造も運動の仕組みも全く異なるものです。

現在進行中の研究テーマは、鞭毛や繊毛がどのような仕組みで屈曲波を作りだしているのか。その運動の制御はどのような仕組みによっているのか。そしてそのような制御機構はどのようにして構築されていくのかということです。材料としては精子及び繊毛をもつニハイチュウなどを用いています。次に幾つかの研究結果を紹介したいと思います。

(1) 精子の運動制御機構

鞭毛・繊毛において運動の力を発生するのは軸糸の部分であり、その他の構造、すなわち哺乳類精子がもつような外側粗大繊維、繊維鞘といったものの生理学

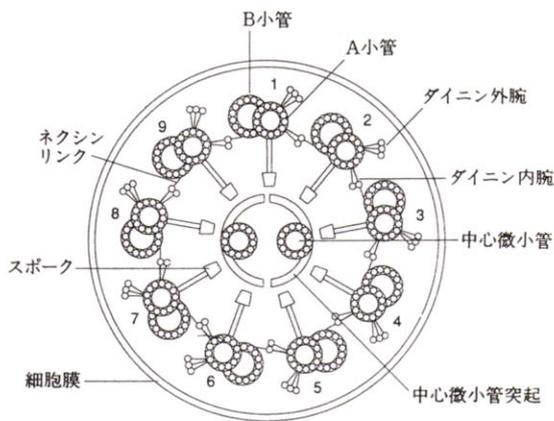


図1 鞭毛（クラミドモナス）の断面の模式図（毛利1976を改変）。9+2構造を示す。

的意義ははっきりしていません。軸糸の9本のダブルレット微小管は“腕”が発生する力によって能動的滑りを起こします。ダブルレット微小管の頭部側の末端は中心体で固定されているため、微小管のずれは屈曲に変換されます。9本のダブルレット微小管のほぼ全長にわたって規則的に存在する“腕”が、時間的、空間的規則性をもって滑り力を発生するために、鞭毛の規則的な屈曲振動が生じると考えられています。

(1.1) 魚類精子の運動開始機構

ところで精子は精巣で作られた後、すぐに動き始めるわけではなく、生殖環境が整った時点で運動を開始します。体外受精の魚類などでは非常にはっきりしており、多くの場合放精と同時に運動を開始します。たとえば淡水魚精子では、一般に体内より低浸透圧に曝されると、すなわち淡水中に放精されると、それを刺激として運動を開始します。このような細胞外からのシグナルが細胞膜を介して細胞内情報に変換され、それが鞭毛軸糸の屈曲を引き起こすと考えられます。

ところでサケ科魚類の場合は、放精によって細胞外カリウムイオン濃度が低下することが引き金となります。私たちはシロサケやニジマス精子を用いて、この細胞外の引き金が細胞内の情報伝達物質であるcAMP合成を誘導し、それが鞭毛内の15kDaタンパク質のリン酸化を引き起こすことが鞭毛軸糸の活性化、ひいては鞭毛の屈曲運動を開始させることをつきとめました。

(1.2) 哺乳類精子の運動調節

哺乳類精子の運動はもっと複雑です。精巣で完成した精子は、運動能はほとんどもっていません。精巣上体を通って始めて運動能が付与され、精囊、前立腺などからの分泌液に希釈されると活発な運動を開始します。さらに雌性生殖器内で受精能獲得と呼ばれるプロセスを経て初めて受精が可能になります。受精能獲得の過程で、鞭毛は超活性化と呼ばれるタイプの運動を呈することになります。これらの一連の現象を解明することは、この過程の生殖における意義を明らかにするためのみならず、鞭毛運動の制御機構を知る上でも大変有意義なことです。

我々はマウスやハムスターを用いて、哺乳類精子の運動能獲得と運動調節の機構を調べてきました。成熟したマウス精子は重炭酸イオンによって運動が活性化します。この時、細胞内では65kDaのタンパク質がリン酸化されます。そして同時に微小管間の相互作用が変化し、微小管の滑り速度が上昇します。図2は、細胞膜を除去した精子において、ダブルレット微小管が滑り出してループを形成しているところです。矢尻で示された繊維鞘の部分に注目すると、活性化する前の精子と後の精子では異なった反応を示していることがわかります。微小管の滑り速度もおよそ2倍に増加していました。同様のことがカルシウムで活性化したハムスター精子でも観察されました。こちらでは36kDaの

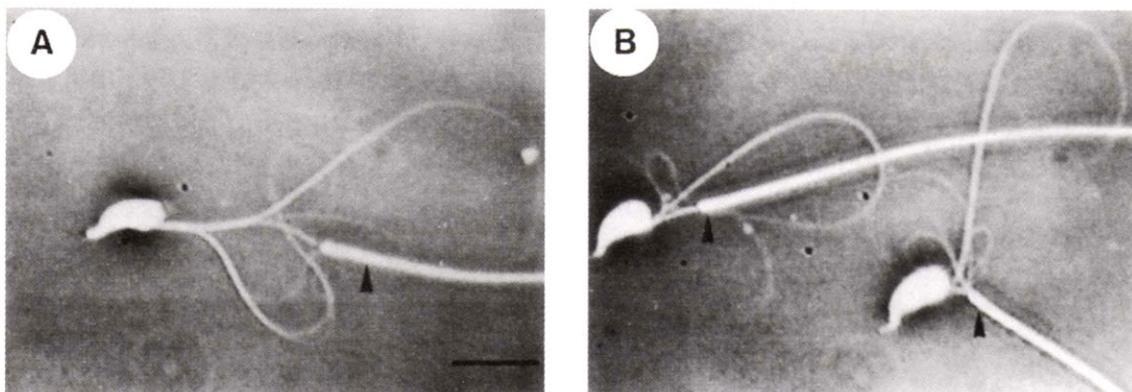


図2 細胞膜を除去したマウス精子で微小管が滑り出してループを作っている様子。A: 活性化していない精子。B: 活性化した精子。矢尻は繊維鞘を示す。黒棒は10 μm。

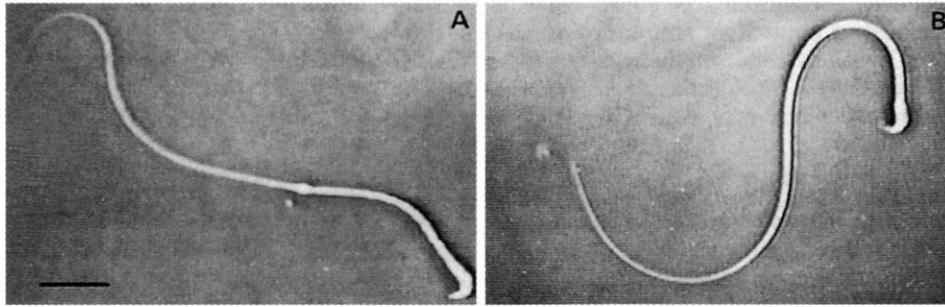


図3 活性化精子 (A) と受精能獲得し超活性化した精子 (B)。黒棒は25 μ m。

タンパク質がリン酸化されます。またこのタンパク質に対する抗体を作用させると、活性化の作用が押さえられることもわかりました。このように、精子の運動活性化には精子鞭毛のタンパク質のリン酸化が重要な役割を演じていることがわかりました。

受精能獲得過程を経ると鞭毛の運動も大きく変わり、超活性化運動をするようになります。図3はそれを示しています。そしてこの変化においても今度は80kDaタンパク質のリン酸化が起こることがわかりました。

このように、運動の変化に伴い、ここでは紹介しなかったものも含めて、様々なタンパク質のリン酸化が起こります。我々は精子の運動の一連の変化の仕組みを、タンパク質のリン酸化を軸にして解明したいと考えています。

(1.3) 生殖と重力環境

生殖は非常にデリケートなものです。環境ホルモンはそのよい例で、わずかなホルモン用物質が性転換を引き起こしたり、生殖能を失わせることがわかってきました。我々は環境と雄の生殖という視点から、地球環境、特に重力環境が生殖にどのような影響を与えるかを調べてきました。

実は精子の運動そのものも重力による影響を受ける可能性があります。精子を遠心分離機にかけると、運動性の高いものが早く沈降するという経験的事実があります。1Gでも、哺乳類精子で調べたところ泳ぐものでは運動をしておらず自然沈降するものに比べると早く沈降することがわかりました。ただし交尾をする哺乳類ではあまり重要な違いでないと思われます。

さてマウスの雄では、誕生後精巣は発達し続け、およそ5週齢で完成された精子が精巣上体に出現します。低重力環境でこのように長期間飼育することは地上では無理です。そこで、遠心飼育機による加重実験によって過重力の影響を調べ、微小重力の影響を推測することにしました。その結果、驚いたことに、加重によって精子形成は抑制されるどころかむしろ促進されるの

ではないかという結果を得ました (図4)。3Gで遠心飼育を行ったところ、精巣重量はあまり増えないのですが体重は更に抑制されます。その結果、精巣重量/体重の値をとると、1Gのものとは歴然とした差がみられました。しかし精子の性状ではほとんど差がないことがわかります。飼育条件を4Gにすると発育が非常に悪くなること、多世代にわたる飼育では出産数はあまり変わらぬものの大人になる個体が著しく減ることなど、尚多くの課題が残されてはいますが、大変興味深い現象です。微小重力ではどうか。これは現在是非調べてみたい問題です。

(2) 重力走性と繊毛運動の制御

繊毛で運動する動物には単細胞の原生動物からより複雑な体制をもつものまであります。これらは走性や走温性など様々な走性を示しますが、ゾウリムシなどでは重力走性を示すことが古くから知られています。精子とは違った意味で、繊毛運動の制御という点から大変興味深い問題です。

我々はニハイチュウという数十個の細胞のみで出来ている生物の滴虫型幼生が、強い正の重力走性を示すことを見だし、その性質について調べています。この幼生は、先端にある頂端細胞が高密度な屈光体をもつため、頭部を下に向ける正の重力走性を示します。しかし、図5に示すように、下方へ泳ぐ遊泳速度は、水平方向の遊泳速度に自然沈降を加えた値より遙かに速いものでした。また遊泳方向を重力方向へ変えていく回転速度も、予測される値よりも速いものでした。これらの結果は、物理的原因に加えて、それを増幅する生物学的な仕組みが働いている可能性を示唆するものです。この生物学的な仕組みを明らかにしていきたいと考えています。

結語

生殖も運動もきわめて生物学的な現象です。その両

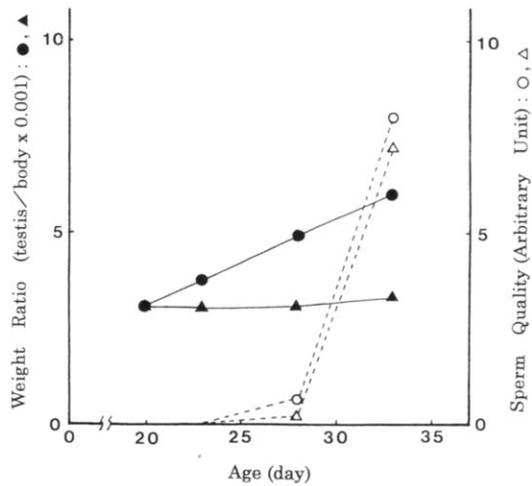


図4 過重力下での精巣の発達と精子性状。実線は精巣重量と体重の比率、破線は精巣上部尾部から得た精子の性状の相対評価。●、○は3G実験群、▲、△は1Gコントロール群。

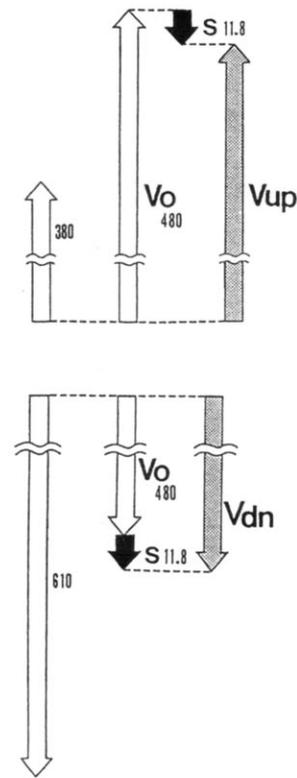


図5 ニハイチュウ滴虫型幼生の遊泳速度。左端は上方及び下方への遊泳速度。中央は水平方向の遊泳速度 (Vo) 及び自然落下の速度 (S)。右端は水平方向の遊泳速度と自由落下の速度から推定される上方及び下方への遊泳速度。数字は $\mu\text{m/s}$

者を結びつけているものが鞭毛・繊毛であると言ってもよいと思います。鞭毛・繊毛運動の制御機構を明らかにすることを通じて、精子の機能や細胞運動を明らかにしていきたいと考えています。

(おくの・まこと)

お知らせ



★人事異動 (教官)

発令年月日	氏名	異動事項	現(旧)職等
		(採用)	
11. 11. 1	山村 一誠	宇宙圏研究系助手	
		(客員部門)	
11. 11. 1	田原 譲	宇宙圏研究系助教授	名古屋大学大学院理学研究科助教授

★シンポジウム

太陽系科学シンポジウム

開催日：平成11年12月13日(月)～14日(火)

場所：宇宙科学研究所本館2階会議場

システム計画研究会

開催日：平成12年1月6日(木)

場所：宇宙科学研究所本館2階会議場

宇宙空間原子分子過程研究会

開催日：平成12年1月6日(木)～7日(金)

場所：宇宙科学研究所本館1階入札室

宇宙利用シンポジウム

開催日：平成12年1月10日(月)～11日(火)

場所：宇宙科学研究所本館2階会議場, 1階入札室

宇宙輸送シンポジウム

開催日：平成12年1月13日(木)～14日(金)

場所：宇宙科学研究所本館2階会議場, 1階入札室

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当

TEL：042-759-8019



★DASH-DOM-2 地上燃焼試験について

さる9月29日、DASH-DOMの第2回地上燃焼試験があきる野施設で行われました。DASHは、H-IIA初号機のピギーバック衛星として来年打ち上げ予定の高速再突入実験機ですが、その目的は、遠く惑星空間から帰ってくるMUSES-Cカプセルの機能と性能をあらかじめ確認しておくことにあります。カプセルを静止遷移軌道から離脱させ、大気圏に突入させるために用いられる小型の固体モータがDASH-DOMです。その推進性能のばらつきは、カプセルの落下点の分散に影響するため、比推力等のパラメータを精度良く推定するのがこの燃焼試験の使命です。DASH-DOMの燃焼試験は、当初1回の予定でしたが、2回の燃焼試験の結果をもってより確度の高いデータを得ることができたと考えることができます。そのおかげで、回収部隊がラクダに乗って何千里もさ迷って行方不明になるというようなことはなさそうです。今回の試験は、M-Vの噛み合わせの合間を縫って準備を重ねるといふハードなスケジュールもあって、実験班の苦労は普段以上のものでしたが、それも報われたと言えるでしょう。このあと、DASHは12月の中旬から総合試験を開始し、いよいよ打ち上げに向けてその準備は佳境に入ることになります。

(森田泰弘)

★「はるか」の近況

電波天文衛星「はるか」を中心にすえたスペースVLBI観測計画(VSOP)では、第3期の観測募集(AO3)を9月30日に締め切りました。AO1, AO2の期間は、それぞれ17カ月と12カ月で、以降1年毎と考えていたのですが、地上のVLBI観測網が4カ月毎にAOをだしているの、これと同期させることにしました。すなわち、VSOPでもこれから4カ月おきにAOを出します。VSOPは世界中を巻き込んだ観測装置ですので、この方針に達するのに、数カ月の話し合いが続きました。これは、今後のスペースVLBIを全世界的な協力でやっていく場合に必要の議論だったと思います。

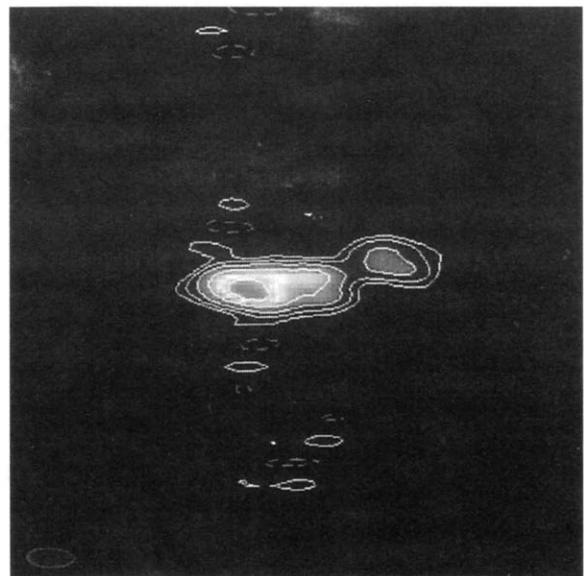
8月、トロントでおこなわれたURSI(国際電波科学連合)総会では、宇宙観測で圧倒的な解像度のスペースVLBIとミリ波VLBIを抱き合わせたセッションを開きました。多くのVSOP観測結果が発表されました。総会では、電波科学全分野から選ばれた4つのGeneral Lectureがありましたが、スペースVLBIがこのひとつに選ばれ、筆者が不得手な英語で発表しました。銀河中心の超巨大ブラックホールと降着円盤、そこから飛び出すジェットなどについて、トイレットペーパーで

つくったモデルをとりだして切腹覚悟で熱演、皆さんげげら笑ってもお構いなし、首がつながりました。

2000年1月末には、VSOP国際シンポジウムを宇宙研で開きます。「はるか」がスタートした1989年(平成元年)の11月に、VSOPとミリ波VLBIと一緒にした国際シンポジウムを宇宙研で開き、国外から46人(赤穂浪士最終討ち入り人数?)の出席者がありました。思えば、あれから10年と2カ月です。

最後に、VSOPの科学的話題。この夏には本格的X線観測衛星Chandraがあがり、校正観測として、点源のキューサーPKS0637-752と拡がった超新星残骸CasAを観測すると報じられました。PKS0637-752はすでに1万分の2秒の解像度の波長6cmで、オーストラリアのTingay博士をPIとするVSOP観測がおこなわれ、ジェットが見えていました。活動銀河核での電波からX線にわたる放射メカニズムは、いわゆるSynchrotron-Self-Comptonモデルでつないで考えることができ、X線と電波の同時観測により、物理モデルに制限を与えることができます。こうして、VSOPは2回目の観測のスケジュールを変更して、9月に、Chandraとの同時観測をしました。ところが、なんと、ChandraはX線でもジェットを描いて見せたのです。それは、VSOPがすでに描いていたジェットと同じ方向を示していました。また、Chandraが描いた超新星残骸CasAのど真ん中には点状のX線源がありました。新しい観測機器が予期せぬ発見をする力を見せつけた時でした。ASTRO-Eにも、大いに期待したいところです。

(平林 久)



写真：VSOPによるキューサーPKS0637-752のジェット
(観測波長6cm, 視野サイズ0.006秒角, 解像度0.0002秒角, Tingay他)

★糸川先生を偲ぶ会

去る2月21日に逝去された糸川英夫先生を偲ぶ会が、“ロケットOBと現役の懇親会”主催で、10月16日東京大学山上会館で開かれた。西田所長の挨拶、野村前宇宙開発委員長代理、秋葉前所長、平尾名誉教授による我が国ロケット草創期における糸川先生のご活躍の様子に続き、糸川研究室先輩の金沢磐夫氏、当時取材に当たられた元NHK記者の隈部紀生氏、また晩年の丸子町での生活で行を共にされた金井剛氏から大変興味深い先生の側面がご披露された。日産自動車戸田康明顧問の発声による献盃ののち、思い出話がはずみ、流れ解散の予定を変更して強制解散となった。(松尾弘毅)



★国際電気推進会議について

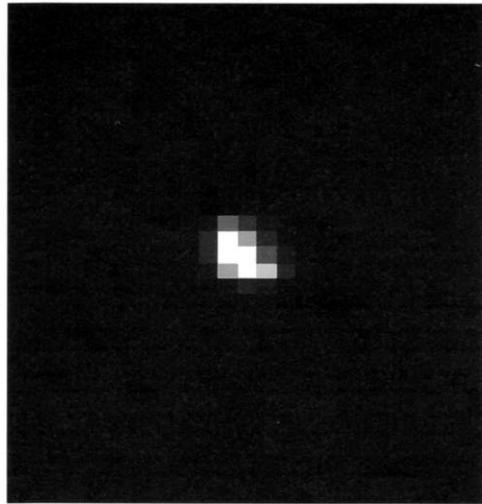
去る10月17日～21日北九州市にて第26回国際電気推進会議が開かれ、22日には会議終了後のテクニカル・ツアーとして午前中に航技研、午後には宇宙研の見学会が行なわれました。北九州からは会議終了後さらに一泊二日の旅となるにも関わらず30名弱の研究熱心な外国人見学者が観光バスを逃れてやって来ました。もともこの会議は電気推進が世に出た1960年代から米国でスタートしたもので、初期の頃は1年半に1回米国のどこかで開かれました。1984年に初めて日本がホスト国となって東京で開催されて以来、隔回で米国と米国以外がホスト国となる慣例が出来上がり、ドイツ、イタリア、ロシア、そして本年は再び日本、議長は宇宙研名誉教授の栗木恭一先生という布陣になりました。電気推進は前回東京で開催した頃とは比較にならぬほど世界中で実用化が認められており、発表件数は約200件、参加者も240名と倍増、そのうち外国人は110名(米、仏、露、独、伊、英、中、韓、アルゼンチン、オーストリア、スペイン、ウクライナ、オランダ、イスラエル、ベルギー)と半数近く、MPDやパルスプラズマ、イオンエンジン、アークジェット、ホール等の研究者の新旧交代や研究テーマの新陳代謝が激しい

中、いつもの国際電気推進会議らしい雰囲気となりました。日本もMUSES-Cでマイクロ波イオンエンジンを小惑星探査ミッションに搭載するとあって晩餐会に立ったドイツ代表からは成功を祈る旨のメールが贈られました。(都木恭一郎)

★「のぞみ」搭載カメラによる火星撮像

火星探査機「のぞみ」は、さる9月7日に火星に最接近し、火星までの距離約438万kmに達しました。その際、8月28日17時00分(日本時間)には、搭載カメラMICによって火星を撮像しました。最接近とは言ってもまだ距離は遠く(撮像時約556万km)、写真のように数ピクセルにしか写っていませんが、初めて本物の火星を撮像した意義は大きいです。カラー合成した写真は下記MICのホームページをご覧ください。

http://www.planet-b.isas.ac.jp/MIC/MIC_j.html 火星の近接画像は、あと4年お待ちください。(橋本樹明)



「のぞみ」搭載カメラによる火星

★倉谷健治名誉教授に勲三等旭日中綬章

倉谷健治先生が、この秋の叙勲で勲三等旭日中綬章を受章されました。倉谷先生は、赤外分光・分子構造研究の基礎をその黎明期に築かれ、また化学と流体力学をあわせ、気体中の高速化学反応がどのような分子的な過程により進むかを明らかにされました。基礎的な理学研究で着実な成果をあげるばかりでなく、その学識をもとに、ロケットエンジンの中での燃焼反応を解析したり、公害の一つである自動車や航空機のエンジンで生成する窒素酸化物などの生成機構を解析してその低減技術をみいだすなど、社会的な問題への貢献も積極的にされています。さらに、能代実験場長として、地上燃焼実験に心血を注がれた姿は、開発に参加した多くの人々の記憶に新しいところです。

(山下雅道)

『赤外線』と『電波』の周波数(波長)の境界は曖昧である。同じ電磁波でも電波は「波」として捕らえ、赤外線は「光子」として捕らえる。国立天文台の発行する「理科年表」では周波数1THz以下の電磁波を電波としているが、他の資料では波長1ミリ(300GHz)が電波と赤外線の境とされている。これは、300GHz以上の電磁波を波として捕らえることが難しかったことを反映している。

この境界領域に相当する波長域(300GHz~1THz)が、サブミリ波帯と呼ばれる波長域であり、電波の検出技術と光の検出技術の交錯する波長帯でもある。電磁波を波として捕らえるには入力信号と局部発信機の信号を混合する『ヘテロダイン受信機』が用いられ、宇宙空間の分子から発する光の分光観測などで用いられる。一方、光子エネルギーの総積分量を熱エネルギーに変換して検出する『ボロメータ』が、宇宙空間のダスト(宇宙塵)などから発する連続波放射の観測で威力を発揮する。

ボロメータは、半導体サーミスターを用いた温度センサー、サファイアあるいはダイヤモンド基板に金属蒸着した吸収体と、センサーの信号を読み出すリード線から構成され、一定温度の熱浴と適当な熱伝導度でつながっている。入射した光子のエネルギー総量は吸収体の温度上昇として検出される。ボロメータの雑音は熱的な要因に左右され、動作温度が低いほど、また熱浴との熱伝導度が低いほど雑音が低くなり、感度が高くなる。

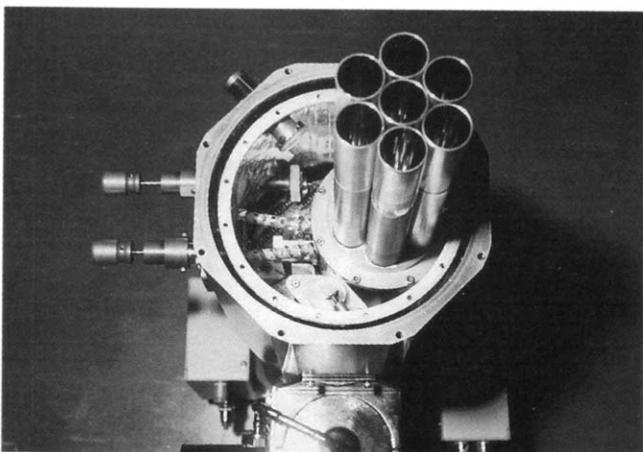
国立天文台野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡では、このボロメータを用いた受信機、NOBA(NObeyama Bolometeter Array)が活躍している。観

測波長2ミリ(150GHz)のボロメータ7素子からなり、45m鏡の焦点面のホーンアレイに取り付けられている(写真参照)。天体からの微弱な信号を受けるためには、ボロメータは絶対温度0.3Kまで冷却される。例えばミリ波で明るいクエーサーを口径45mの電波望遠鏡を用い150GHzを中心とした30GHz幅の広い周波数帯域で観測したとしても、集めることができるのは約1pW(ピコ・ワット= 10^{-12} W)のエネルギーである。NOBAの場合1秒積分で約 10^{-16} Wのエネルギー検出能力があるので、光学系の効率を加味しても十分な感度でクエーサーが観測できる。現在ミリ波では宇宙の果てで生まれたばかりの銀河が放つ微弱な放射をも観測することが可能である。

だが、実際にこのような観測を実現することは容易なことではない。ミリ波・サブミリ波では常に10~100pWもの地球大気からの放射がボロメータに降り注いでいる。つまり、観測したい天体よりも5~6桁も強い大気放射に埋もれた天体信号を検出しなければならない。より暗い天体、より広い領域の観測を行うためには、大気放射の少ない高山あるいは宇宙空間からの観測が必須である。大気の放射雑音や吸収による観測波長域の制限などを考えれば宇宙空間が望ましい。1995年3月に打ち上げられたSFUに搭載された赤外線望遠鏡(IRTS)の遠赤外線測光器(FIRP)には、0.3Kに冷却された高感度ボロメータが搭載されていた。遠赤外線からサブミリ波の4つの波長帯を4つのボロメータにより同時観測を行うことのできる観測装置である。IRTSは15cm望遠鏡も液体ヘリウムで冷却され、観測装置からの背景雑音のない環境が実現された。この低背景放射環境を生かした高感度のボロメータにより、銀河面に広がった星間ダストの観測などで成果が得られている。

宇宙空間からのサブミリ波観測を本格的に行うためには、口径10~20m程度の望遠鏡が必要とされる。サブミリ波では銀河系の放射や近傍の銀河の放射がより遠方の宇宙を観測するときの雑音となる。空間分解能を遠方天体の大きさ(1~10秒角程度)程度にすることで近傍天体の雑音に邪魔されずに遠くの銀河が観測でき、銀河の形成過程をサブミリ波で明らかにすることが可能になる。地上のサブミリ波観測ではそろそろ限界が見えてきており、大口径サブミリ波望遠鏡をスペースに打ち上げる必要性が高まっている。

(国立天文台 まつお・ひろし)



ドイツ・ペーネミュンデ ～近代ロケット発祥の地を訪ねて～

竹前俊昭

ドイツのペーネミュンデと言えば、「V-2」が開発された近代ロケット発祥の地である。ここで8月1日から9月17日まで、宇宙開発事業団（NASDA）と宇宙研が合同で展示会を開催した。

NASDAと宇宙研は、大きな国際会議等の展示会の際にJAPANブースとして合同展示を行ってきているが、7月のUNISPACE（ウィーン）展示終了後から10月のIAF（アムステルダム）開催前まで、ペーネミュンデの技術史情報センターで日本の宇宙開発を紹介する事になったのである。宇宙研からはM-Vロケットや各衛星の模型・パネル等の展示やホームページが出展された。

ペーネミュンデは、バルト海沿岸のドイツ東北端のウーゼドム島に位置し、人口500人足らずの小さな町である。この地で半世紀も前に、フォン・ブラウンを中心としてV-2が開発された。V-2は、ロンドン爆撃に使用されたロケット兵器である。しかしV-2によって、人類は初めて宇宙空間へ出る技術を確認したのも事実である。第2次大戦終戦後、V-2の技術はアメリカとソ連に渡り、冷戦もあって目まぐるしい進歩を遂げた。特にNASDAは、アメリカのロケットを基礎としているので、技術的にはペーネミュンデの孫の世代に当たる。近代ロケット発祥の地でロケット技術の原点に触れ、科学と平和目的のために行われている日本の宇宙開発の現状と将来計画を紹介する事が、今回の展示会のコンセプトであった。

ペーネミュンデのロケット開発施設は連合軍の爆撃を受けて壊滅したが、発電所等当時の面影を残す建物が幾つか残っている。展示を行った技術史情報センターはその発電所の隣にあり、V-2を始め軍用機やミサイルが展示されていて、軍事博物館といった内容である。

ペーネミュンデはベルリンから電車で半日以上もかかる片田舎だが、島全体が自然公園に指定されていて手付かずの自然が素晴らしく、夏は保養地として多くの人が訪れる。海岸線は美しく、ヌーディストビーチも有るとの事だが、日本より寒い9月半ばでは誰もいなかった（残念）。

展示が行われた1ヶ月半の期間中に、実に8万人が来場した。展示会の最終日には、会場内でクロージングセレモニーが行われ、平日にも関わらず多くの来場者と関係者が集まった。町長の挨拶の後、主催者代表として自分が挨拶をした。セレモニーには、当時ペーネミュンデで働いていた技術者やユダヤ人の団体も招待され

ていたが、それぞれの立場があり、V-2の話題に触れるのは難しいものだった。このセンターで海外から展示会を開くのは今回の日本が初めてで、地元のマスコミにも大きく取り挙げられた。

展示会も無事終了し、V-2の射点を見学させてもらう事になった。V-2の射点は島の東海岸に位置し（展示会場は西海岸）、不発弾も完全には処理されていないので立入り禁止になっている。長い年月で草木が生い茂り、いきなりその場に行ったのでは当時の様子を想像するのは難しい。センターにある射点の地形模型を、しっかり頭の中に入れてから出発した。

射点は小高い岡の様に盛られた土手で囲まれていて、打上げと同時に燃焼試験もここで行われた。燃焼試験のスタンドの下にはコンクリートの大きな溝が掘られていて、試験時には水が溜められる。打上げは、そのスタンドのすぐ隣で行われた。

現在、当時の面影を残しているのは、この土手と溝だけである。溝には水が溜まり、草木は生え放題である。まさに、「兵どもが夢の跡」と言った表現がぴったりだ。溝との位置関係から、発射点のおおよその位置が特定できるが、印も何も無い只の草原である。しかしいざ射点（らしき）場所に立ってみると、V-2の轟音が聞こえる様で、不思議な感覚であった。



V-2射点の地形模型。小高い土手に囲まれた射点では、燃焼試験のスタンドが一際目立つ。

センター内に屋外展示されているV-2の傍に、桜の苗木を展示会の開催記念として植樹した。この地方は気候が寒冷で、無事育ってくれるか少し心配だが、いつの日か美しく咲いた桜の花を見に、再びこの地を訪れたいと思う。（たけまえ・としあき）

宇宙輸送の空気力学とコンピュータ

藤井孝藏

空力シリーズも今回で最後です。今回は空力技術とコンピュータについてお話ししましょう。

今回のシリーズでは「熱い」課題が主に紹介されてきましたが、「熱い」以外に空力的な課題がないわけではありません。ロケットの空気抵抗の軽減化や見積もり推算の向上はペイロードの増加につながりますし、再使用型飛翔体やスペースプレーンなどの将来型宇宙輸送ではさらに難しい空気力評価が必要になります。静的な評価に加えて動的な評価も安定性を議論する上で大切です。また、機体速度が音速に近くなるいわゆる遷音速域では、複雑な衝撃波などが発生して思わぬ空気力を受ける場合も出てきます。民間の航空機が音速の90%以下で飛んでいるのもこのような理由からです。「音の壁」ですね。

再突入カプセルの話がまさにそうです。MUSES-Cのようなカプセルが再突入してくる際には、音速付近で図のような流れ場が形成されます。前々回に稲谷先生が書かれたように物体の後ろでは複雑な渦を巻き、低速度域ができますが、これが背面衝撃波などと絡んで複雑な流れ場を作ります。これがカプセルにピッチ／ヨー振動を起こすこと、風洞試験による解析が有効だったことは前回記述されました。形状にもよりますし、角度がつくと安定側に変化するので不安定というわけではありませんが、気にはなります。また現象自体は知られていますが一体どういったメカニズムで起こるのかは明らかではありません。

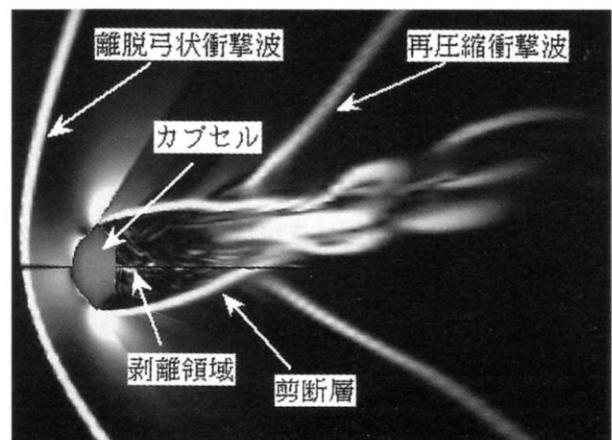
こういったとき、計算機シミュレーションが力を発揮します。図も実はその結果です。実験では、力などの情報は得られますが、空間内の複雑な様子を知るのは容易ではありません。それに対して、シミュレーションは空間内のあらゆる場所での流れの時間変動を知ることができます。現在進行中ではありますが、それによってこのカプセル動的な不安定現象のメカニズムが解明されると期待しています。

流体数値シミュレーション技術は数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)と呼ばれ、AIAAにもCFD会議がありますし、大きな国内シンポジウムもあります。1970年代以降航空宇宙を中心に発展してきたシミュレーション技術は、機械、土木は言

うに及ばず天体物理の世界に至るまであらゆる分野で利用されるようになってきました。製造技術や材料などと違って目に見えないので目立ちませんが、航空宇宙分野からのスピノフ技術の代表格といえます。

国内ではNALの超音速実験機飛翔計画やNASDA-NALの宇宙往還実験機HOPE-Xの設計にもさかんに利用されています。しかし、まだまだ十分な信頼を得ていません。何故かというところと計算機シミュレーションはモデル化された式を使っているからです。もちろん風洞試験にも大きさなどのモデル化が存在しますが、過去の長い歴史からモデル化の特性や必要な修正が明らかになっています。航空機についてはCFDもかなりの経験ができてきましたが、宇宙輸送についてはこれからというところでしょうか。聞くところによるとスターダスト計画ではカプセルの空気力推算にCFDが使われ、CFDの空力データのみに頼った速度領域も広いようです。流れ解析の道具としてのCFDの有用性も大切ですが、同時にその信頼性を明確にして、より実践的な利用を促進したいと考えています。現在、M5の機体、簡単なアポロ型のカプセル、再使用型機体などを対象に空気力を計算し、その信頼性を確認していますが、これまでのところ割と良い結果が出ています。

更なる技術向上と信頼性確保を進め、再使用型往還機が上昇、帰還するプロセスの軌道をCFDにフライト計算を組み合わせることで正確に予測できるようになる日が来ることを期待しています。(ふじい・こうぞう)



再突入カプセルまわりの遷音速流れ



「スペースシャトルと馬の尻」とISAS宇宙科学

松本 紘

最近、おもしろい話を目にした。まず紹介したい。『アメリカの列車軌道の幅は4フィート8.5インチである。なぜそんな半端な幅なのだろう。それは、米国の列車軌道が最初英国の技師によって敷設されたからである。

それでは、どうして英国ではそうしたのであろうか？それは英国では最初、市電の技師たちが同じゲージを使って列車軌道を敷設したからである。

では、どうして市電技師たちのゲージはその幅だったのだろうか？それは最初に駅馬車の車輪幅を決める道具を使ったからである。

では駅馬車の車輪幅はどうしてそう決まったのか？駅馬車は長距離走で壊れないように、轍（わだち）に合わせて作るよう道具が決まっていたからである。

では、ヨーロッパの長距離の轍道路は誰が作ったのであろうか？それはローマ帝国の軍隊である。彼らの二頭立戦車の幅が実は4フィート8.5インチだったのである。ではなぜか？実はそれは戦車を引く二頭の馬の尻が収まるサイズで決まっていたのである。

つまり、現代の列車の軌道幅が帝国ローマの軍馬の尻の大きさで決まっていたということになる。

さらに、古代軍馬のお尻のサイズはスペースシャトルの固体ロケットブースターSRBのサイズも規定している。なぜなら、SRBはトンネルを通過して運ばれるため、列車の軌道幅と同程度にせざるを得なかったからである。最先端技術も実は古代の決まりに縛られている。』

これを読んで筆者はこう思った。自主的にやっていると知っていることが実は良くも悪しくも古い時代に規定されている点である。今のISAS宇宙科学についてもISAS黎明期の「馬の尻」とおおいに関係するのではという気になった。二つのことを書いてみたい。

ひとつは「馬の尻」というにはあまりに失礼ではあ

るが「いも焼酎」のカラム記事ということでご勘弁願いたい。ISAS設立当時の中核研究者の構成が今なお科学衛星実験の分野を規定しているという点である。東大宇宙航空研究所のころのわが国の飛翔体科学の創始者の先生方の専門が今の衛星計画の骨格を決めている。科学分野で言うとX線天文学、電離圏・大気圏科学、太陽系プラズマ系科学がいわば馬の尻に相当し、その後はそれで決まった轍が現在の科学分野を規定しているように見える。もちろん、列車軌道に標準軌道以外に広軌、狭軌があるようにその後、関連する新しい学問領域の衛星実験が行われるようになったが、まったく異なる分野の宇宙科学の参入が難しいのは、上の話と関係があると思うがどうであらうか？宇宙工学のほうは良くは理解できていないが、関係者の意見を伺いたいと思っている。

もうひとつ。こちらはローマ帝国のChariot（戦車）がなつかしい、という思いである。今50才を超える宇宙科学分野の全国大学および宇宙研の実験研究者のほとんどは内之浦のロケット実験を経験しているのではないだろうか。筆者が最初に内之浦の「いも焼酎」の洗礼を受けたのは大学院の学生の頃であった。もちろん見習いというか丁稚であった。それでも、教育効果は絶大であった。それが今の宇宙研実験研究の基礎財産となっている。こちらの轍の伝統はその後、どこかで実質的に消えてしまっている。そこで是非、学生をロケット実験に参画させられる企画を宇宙研に考えてほしいと願っている。後継者養成に効果絶大と信ずる。（京都大学超高層電波研究センターまつもと・ひろし）



最近のビジュアルライゼーション技術の進歩はめざましく、最新の科学成果が迅速にかつ分かりやすい形で発表されています。割り付けていて楽しい限りです。（久保田）

ISASニュース

No.224 1999.11

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8009

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話(庶務課法規・出版係)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>)。