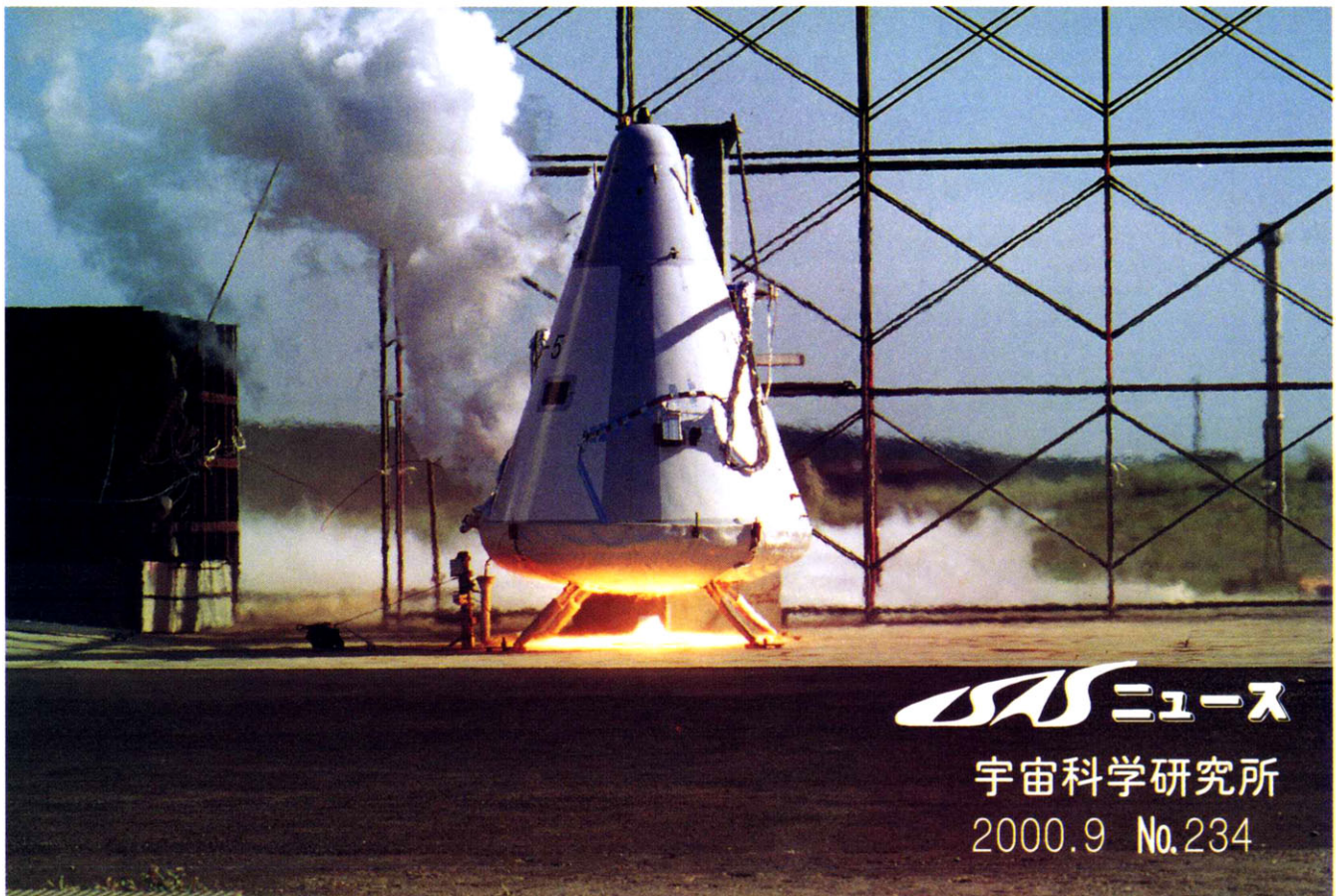




▲再使用ロケット地上燃焼試験（撮影：杉山吉昭）

〈研究紹介〉

進化と酵素と好熱菌と

東京薬科大学生命科学部 山岸明彦

私は好熱菌や超好熱菌などの極限環境微生物を実験材料として、大きく分けて二つの側面から研究しています。その第一は生命の初期進化に関する研究で、もう一つは蛋白質工学に関する研究です。細かいテーマも含めるとかなり多くなりますが、その中から何か一つでも興味を持っていただければと思います。それらを含めて紹介させていただきたいとおもいます。お忙しい方は、小見出しだけご覧下さい。

I. 生命の初期進化の研究（参考文献1-5）

1. 全生物の共通の祖先はどんな生き物だったか

生命は今から約40億年前に誕生したと考えられています。地球上の温泉や海底の熱水噴出口に棲む現存の超好熱菌や好熱菌を調べることから、40億年前の生物がどのような生物であったのかが分かるのではないかと考えています。

図1は、現在最も信頼されている全生物の系統樹を

示しています。系統樹の根元は生命の起源を表し、系統樹の枝の先端が現在の様々な生物種に対応しています。現存する生物は大きく3つに分類されています。それらは、真正細菌（いわゆる良く知られたバクテリア）と古細菌（極限環境にすむ特殊な原核生物）、それに真核生物（動物、植物、カビ、原生動物など）です。生命の起源の後、図1でコモノートと書いてある点で約38億年前に生命は真正細菌と古細菌に分かれました。古細菌の様々な性質を調べて、真正細菌と比較することから両者の（従って全生物の）共通の祖先がどのような生物だったのかが分かるのではないかと考えています。

2. 全生物の共通の祖先は超好熱菌だったか

図1の各生物種のあとに書いてある数字はそれぞれの生物の生育温度です。これを見ると系統樹の根元付近から分岐した生物はいずれも80℃以上で生育する超

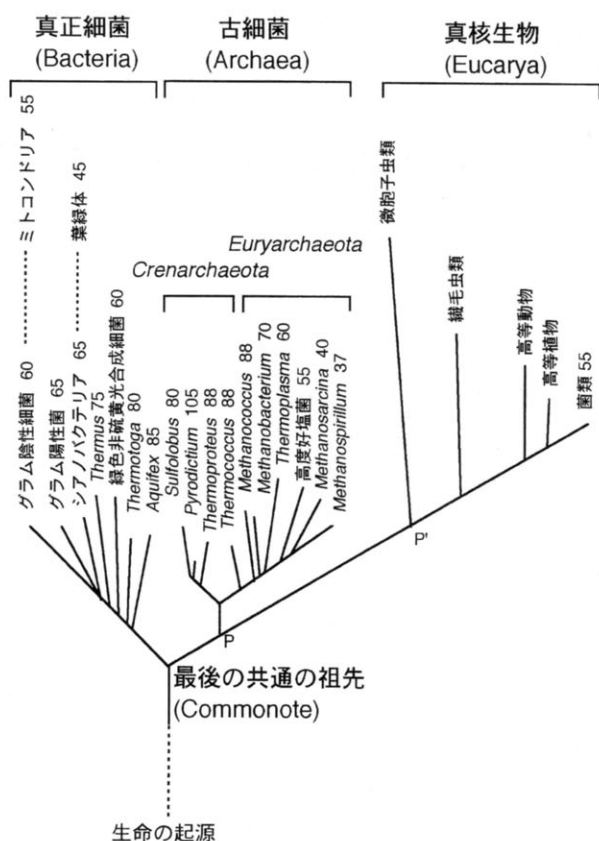


図1 全生物の進化系統樹。生物界は三つに分けられている。真核生物のミトコンドリアと葉緑体はそれぞれ専用のrRNA遺伝子を持ち、その配列を解析すると、真正細菌の中に分類される。

好熱菌であることが分かります。根元付近の生物は進化的に古い生物です。このことから、全生物の共通の祖先は超好熱菌であったのではないかと推定しています。さらに、この推定を確かめる実験も行っています。結果は今のところ、超好熱菌祖先説を支持しています。

3. 未知の超好熱菌を探して単離する

こうした研究を進める上で、未知の超好熱菌を探し出す研究も行っています。地上の温泉や海底の熱水噴出口などから熱水を採集し、その中から超好熱菌を培養して単離します。最近、海底のさらに地下から超好熱菌が単離できないかという研究をはじめました。

4. 真核生物細胞がどのように形成されたか (3, 5)

さて、図1をもう一度みてもらえると、古細菌と真核生物はPとのかいた点で枝分れしています。従って、この点で古細菌の祖先と真核生物の祖先が別れたことになります。しかし真核生物細胞と原核生物細胞（古細菌と真正細菌）の構造は大きく異なります（図2参照）。真核生物細胞は原核生物細胞よりもかなり大きく、また細胞内に脂質膜で囲まれた多くの構造体を

持っています。これらの構造体のうちミトコンドリアと葉緑体は構造体自身のDNAを持ち、それぞれが分裂して増殖することなどが知られています。これらの構造体は真正細菌が細胞内共生する事によってできたものであることはほぼ間違いがありません。しかし核やその他の構造体の起源に関しては、はっきりしていません。われわれは、図2に示したように古細菌の祖先が多核の層状構造を持つ巨大細胞を形成し、それが真核生物細胞の基になったのではないかと言う仮説を提案しています。それを確かめるために、サーモプラズマという古細菌を材料として、脂質合成系、細胞骨格、遺伝子操作系の開発、株間の細胞形態の差の検討などを進めています。

5. シロアリの腸管内にいる共生細菌

さてシロアリの腸管内には興味深い共生細菌が住み着いています。その中の一つはメタン菌です。メタン菌は古細菌の一種でシロアリ腸管内に住み着いてシロアリのセルロース分解を助ける働きをしています。さらに、シロアリの腸管内にはセルロースを分解する原生動物（真核生物）が住み着いています。それらの原生動物はミトコンドリアを持っていないかわりにメタン菌を共生させています。その共生関係を研究する事から真核生物と原核生物の共生の仕組みが分かるのではないかと思います。

6. 宇宙環境下での極限微生物の分布

最近、航空機を用いた上空での微生物の探索を開始しました。地上12kmまでの大気中から塵埃を採集して、その中にどのような微生物がいるか探索を始めています。驚くべき事に、上空にも微生物はちゃんと存在していました（たぶん増殖しているわけではない）。現在、それらがどのような菌か、検討を行っています。将来、大気球を用いて、更に上空の塵埃が採集できないかと考えています。もしこの研究所内で共同研究が可能ならば素晴らしいことです。

II. タンパク質工学の研究 (6, 7)

もう一つの分野の研究はタンパク質工学の研究で、とりわけ酵素の耐熱性に関連した研究を行っています。もともと好熱菌タンパク質が耐熱なのはなぜかという興味から研究を始めました。酵素はタンパク質でできた化学触媒ですが、無機触媒にはないすばらしい特徴を持っています。そのひとつは鏡像異性体までも区別する非常に高い反応の基質特異性です。また酵素は、

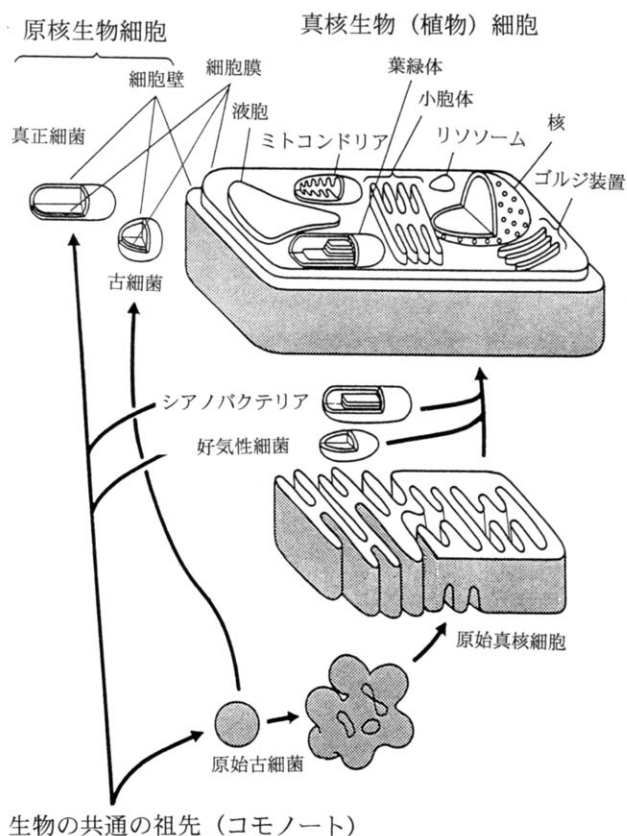


図2 原核生物(古細菌, 真正細菌)と真核生物の細胞構造と進化。真核生物の細胞内にあるミトコンドリアと葉緑体は、それぞれ好気性の真正細菌とシアノバクテリアが細胞内共生してできた。真核生物の祖先は古細菌が多核巨大細胞を経てできたのではないかと考えている。

反応の副生成物を全く出さず100%の効率で反応を行う高い反応特異性を持っています。さらに無機触媒と異なり、微生物により分解されるので環境にも優しいのです。反面、酵素は一般的には安定性が低いために触媒としての寿命は長くありません。そこで酵素の安定性すなわち耐熱性を高めることがタンパク質工学の大きな課題の一つとなっています。

1. タンパク質の進化工学的安定化(耐熱化) (6)

われわれは好熱菌を用いて酵素を細胞内で進化させるという実験系を開発しました。好熱菌中のタンパク質はすべて耐熱性が高いので、まず好熱菌の中の酵素の一つを常温菌のものと置き換えました。すると、その好熱菌は低温では生育できるものの、高温にするとその酵素が変性して酵素活性を失ってしまうために生育できなくなりました。しかし、高温で培養を続けると、やがて突然変異によって生育できるようになった菌が現れました。その菌の中の常温菌酵素の遺伝子を調べると、突然変異によって、いくつかのアミノ酸の種類が変わっている事が分かりました。つまり、この

方法を用いることで耐熱性の低い酵素の耐熱性(安定性)を変えることができたことになります。また、一つの酵素の遺伝子に限定して、高温への適応進化の過程を実験室内で見ることができたことにもなります。いまこの方法を用いて、タンパク質の耐熱性をあげる突然変異はどのような特徴があるのを検討しています。

2. 酵素の進化工学的活性上昇 (7)

好熱菌のタンパク質はもともと耐熱性が高いのだからそれをそのまま使えば良いのではないかという考えもあり得ます。しかし好熱菌の酵素は高温では活性が高いのですが、低温では活性が非常に低くなってしまいます。そこで、今度は逆に好熱菌のタンパク質の活性を低温で進化させる実験を行いました。好熱菌酵素の遺伝子を、今度は常温菌である大腸菌の中に遺伝子操作で取り込ませました。大腸菌は好熱菌の酵素の活性が低いために低温では生育できなくなりましたが、やがて低温でも生育できるようになった菌が得られました。その菌の好熱菌酵素の遺伝子を調べるとやはり遺伝子の中のアミノ酸の種類が変わっていました。また驚くべき事に、酵素活性が上昇した酵素のうちのいくつかでは、もとの高い耐熱性がそのまま保持されていました。つまり、耐熱性と低温での活性の両方とも高い酵素をこうした方法で手に入れることができる事になります。

3. 耐熱性タンパク質の熱力学的性質

一つのタンパク質分子は数百個のアミノ酸からできている高分子です。しかし、普通の高分子とは全く異なりそれらのアミノ酸が一定の位置にきちんと折り畳まれた構造をとっています。その構造が、温度を上昇させるとやがてほどけて水分子のなかで自由な運動を始めます。これが、タンパク質の変性で、変性したタンパク質はもう生物学的触媒活性を持たなくなります。そこで、好熱菌の耐熱性タンパク質は常温菌のタンパク質に比べてどのような熱力学的特徴があるのか検討しています。

4. タンパク質の動力学計算

また、タンパク質の安定性は最終的にはタンパク質を構成する約1万個の原子間相互作用の総和で評価できるはずです。動力学専用の並列型計算機を用いて、タンパク質の挙動をシミュレートしたり、安定性の評価を試みています。

5. タンパク質・タンパク質相互作用

さらに、タンパク質が2つ相互作用する場合にも本質的には、タンパク質内部と同様に取り扱えるはずで、相互作用する二つのタンパク質の相互作用面に積極的にアミノ酸変異を導入してその影響を調べています。

以上、宇宙研の現在の守備範囲とはかなり異なるかもしれない事も多く含まれますが、敢えてご紹介させていただきました。(やまぎし・あきひこ)

参考文献(参考となる総説)

- 1) 山岸明彦：古細菌から見た生命の起源と進化(1997) 月刊地球, 19: 269-273
- 2) 磯崎行雄, 山岸明彦：初期生命の実像：野外地質

学と分子生物学からのアプローチ(1998) 科学(岩波) 68: 821-828

- 3) 山岸明彦：40億年前の熱い地球を忘れない生き物たち(1999) 第13回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編「生きている地球の新しい見方：地球・生命・環境の共進化」p.138-147, クバプロ,
- 4) 山岸明彦：われわれの共通の祖先細胞(2000) パリティ15: 10月号 印刷中
- 5) 山岸明彦：裸の古細菌サーモプラズマ(1996) 科学(岩波), 66: 464-466
- 6) 山岸明彦：進化分子工学的手法による蛋白質の耐熱化(1996) 生物物理36: 144-148
- 7) 山岸明彦：進化分子工学を利用した蛋白質分子育種の実例 3)耐熱性酵素の低温適応(2000) 化学と生物38: 118-121



★一般公開開催される

恒例の宇宙科学研究所相模原キャンパスの一般公開が、8月26日(土)に行われました。今年は天候にも恵まれ、夏休み最後の週末が公開日となったためか、家族連れが多く目立ちました。また夏休みの宿題の追い込みでしょうか、一生懸命メモをとっている小学生もたくさん見かけました。

今年は6会場で41のブースが展示・実演・講演・ビデオ上映等を行いました。中庭が工事のため、共和小学校の校庭をお借りして水ロケットの打ち上げを行いました。子供たちのカウントダウンと一緒に行ったパラシュート付ロケットの打ち上げも印象的でした。新企画としてフォトルミネッセンスや宇宙の大きさを測ろう(X線天文学)なども加わり、年々パワーアップしています。

「わかりやすい説明を」という呼びかけに、各ブースの展示では、コンピュータや映像・ポスターが工夫

されていました。当日は、駐車場は満杯、水ロケットの整理券が早々になくなり、ビデオ上映も満員御礼、各展示も行列のできる盛況ぶりでした。入場者数はなんと約25,000人。来訪者数の記録を更新しました。

最後に一般公開をスムーズに運営していただいた管理部の皆さん、設営や準備をしていただいた観測部や技術部の皆さん、さまざまなアイデアで展示をしていただいた各ブースの皆さんに、この場を借りてお礼を申し上げます。(実行委員長・久保田孝)

★「21世紀夢の技術展」宇宙研ブース大盛況

日経新聞主催の「21世紀夢の技術展」が、7月21日から8月6日まで東京ビッグサイトで開催され、宇宙科学研究所も文部省の後押しで300平方メートルという広いブースを出展しました。広い会場に70を超すブースが趣向を凝らして展示・催しを繰り広げ、入場者は17日間で118万人に上りました。

宇宙研のブースでも宇宙への夢を広げてもらおうと、



M-Vスケジュール見直し

2月のショックから半年が経ち、ようやく先のことが考えられる状況になってきました。宇宙研の衛星打上げスケジュールの見直しもその一つです。宇宙研では、M-Vロケットの信頼性回復と事故で失われたASTRO-E衛星の代替機（ASTRO-E II）の早期実現を目指して検討をしてきました。M-Vの信頼性回復はノズルスロート部の耐熱材を従来のグラファイトから3Dカーボン・カーボン材に変更することを基調とした対策を施すことによって達成しようとしています。関連する様々な試験等に要する時間を考えますと2002年7月に予定していたMUSES-Cの打ち上げは困難であるとの結論になりました。幸い、MUSES-Cが対象としていた小惑星(1989ML)に代わって1998SF36という小惑星を新たな対象にすることによって半年遅れの2002年11-12月という打上げが可能であることが分かりました。この結果、

LUNAR-A、ASTRO-Fの打上げもそれぞれ予定より半年遅れの2003年夏期、冬期打ちとすることになりました。ASTRO-E IIとSOLAR-Bを共に2004年度に打上げることが研究者の強い希望でありましたが、それは困難で、苦しい判断の結果、ASTRO-E IIを2004年度冬期、SOLAR-Bを2005年度夏期打上げとすることになりました。特に、2004年度夏期打上げを目指して開発を進めていたSOLAR-B関係者には大変苦しい妥協をお願いすることになってしまったことが残念です。

現在、このようなスケジュールに基づいて関係省庁との折衝が進んでおります。

このスケジュールで進むことが出来れば今回の打上げ失敗に伴う処置は2005年度までで全て完了するものと考えています。

(鶴田浩一郎)



いろいろな企画を行いました。現在から過去へ宇宙の時間をさかのぼるコズミックタイムトンネルの大壁画や、科学ミッションを衛星模型、ビデオ、絵本で紹介するコーナーでは、説明員がさまざまな質問からお叱りにまで対応しました。

月・惑星探査ローバの実演は大人気で毎回大勢の観客があり、毎日4回も5回も実演する目玉イベントでした。「ようこう」の太陽のX線画像の出力も列が出来るほどの人気でした。ジオラマまで手作りの太陽発電衛星SPSのコーナーでは熱心にビデオに見入る人も多く、会場で受け付けた質問用紙の1/3が太陽発電に関するものでした。

ミニミニ宇宙教室は土日毎に開かれ、1回2人ずつの

先生が専門分野から宇宙の果てまでの熱心な質問に答えました。終了後も質問攻めにあっている姿も見受けられました。プロのブラスアンサンブルのミニコンサートはくつろぎのひとときを提供してくれました。

企画から会期中の要員まで、多くの方々の協力を得てこの一大イベントを無事終わらせることが出来ました。

(周東三和子)

★MT-135-72、73号機のかみ合わせ試験

MT-135-72号機と73号機のかみ合わせ試験が、8月21日から24日までC棟で行われた。3年前からKSCの職員が主体的に打ち上げを行っているので、そこから3名の職員の参加があった。振動と衝撃試験、さらにオゾン観測機に100Gの衝撃試験を行ったが、不具合の発生がなく無事に試験を終了した。

9月8日にパラシュートの本組みを行う。前年の71号機の打ち上げでは、パラシュート吊索とライザーの連結部が切れてしまったので、今回はその結び目をボーラインノットからラークスヘッドノットに変更して強度を8割程増加した。実験の目的は、オゾン層におけるオゾン密度の変動を長期的に観測することである。オゾンは酸素ガス中での放電で発生する毒性の強いガスであるが、上空のオゾンは太陽からの紫外線を吸収する。それにより人類は皮膚ガンを免れているのであるが、この20年、成層圏に拡がったフロンガスがオゾ



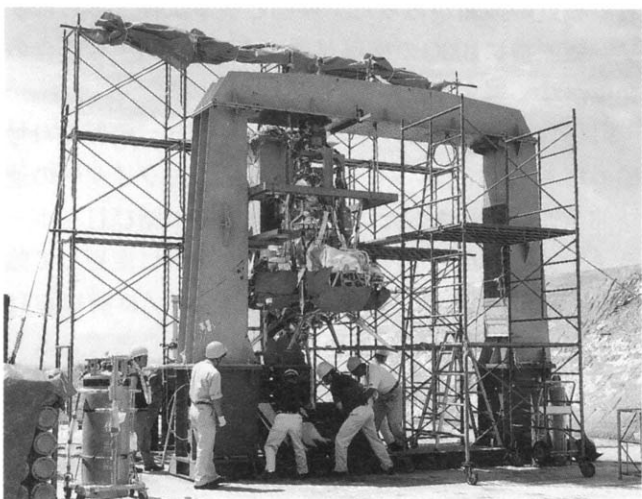
ン層を破壊するという問題が起きている。フロンは、冷蔵庫の冷却剤やスプレーの噴射剤に用いられた無毒で不燃性のガスである。現在では、フロンの製造は禁止されているが、フロンの寿命は数十年もあるので、過去に空気中に放出されたフロンが今後もオゾン層に拡散しオゾンが減少しつづけると考えられている。将来、古い家屋が取り壊される時、断熱材に含まれているフロンが空気中に逃げることも問題になっている。

(中村良治)

★再使用ロケット実験機・第4次地上燃焼試験

【表紙写真、撮影：杉山吉昭】

7月17日から8月4日まで能代実験場で再使用ロケット実験機のエンジン燃焼試験が行われました。今回の実験はエンジンの推力制御、再着火特性データ取得に始まり、各種搭載機器を取り付けた飛翔形態での離着陸時の環境調査や水素漏れを検知しながらの運用性の確認などを目的として実施しました。実験後半で取り付けた空力整形用ボロかくしのエアフレームも、最初は何んとか変ですが見慣れるとなかなかのものに見えます。合計6回のエンジン燃焼を伴う各種試験を予定



通りに終え、再度離着陸実験に臨むためのデータ取得ができました。

実験前半は梅雨の名残で多少不順な天候でしたが、後半は梅雨も明け、おまけにフェーン現象まで重なる猛暑となりました。前回の3月の試験の時の天気を思い出せば天国のような環境でしたが（天国とはよいことばかりではありません）、すっかり黒く焼けた実験班の中で本部周辺だけが日焼けなしというのもバツの悪いものです。後半の暑さに加え体力勝負の実験であることは相変わらずでしたが、最終日の反省会を兼ねた打ち上げパーティーは開放感も手伝って最高に盛り上がりました。内容は実験班だけのヒミツです。

ともあれ無事に実験を終えた機体はまた相模原に帰ってきました。次は飛ばす実験の準備にかかります。再使用と言う名の無限地獄はなお続きます。

(稲谷芳文)

★「あすか」事情

X線天文衛星『あすか』は、7月15日に発生した激しい磁気嵐の影響で姿勢に大きな乱れを生じ、その後、姿勢を回復できない状態が続いています。現在、復旧に向けた努力が続けられていますが、すみやかな回復は困難な状況です。

『あすか』は、1993年2月の打ち上げ以来、7年半にわたり順調に観測を続け、その間約950編の査読付論文や70編を越える学位論文を生み出すなど、大きな成果を上げてきました。しかし、今年7月の時点では当初530kmだった近地点高度が440kmにまで下がり、軌道寿命はあと1年程と考えられていました。ところが、7月14日頃に巨大な太陽フレアが起これ、それに伴って非常に発達した磁気嵐が7月15日に発生しました。その結果、『あすか』軌道高度付近の大気密度が突如数倍に増加したため、空気抵抗による外乱が急増し、姿勢が保持できなくなってしまいました。『あすか』は、自動的にセーフホールドモード（安全退避モード）に移行しましたが、想定以上の空気抵抗のためセーフホールドモードが十分機能せず、姿勢が流され続け、太陽電池への日射量が大きく減少し、結果的にバッテリーが枯渇して制御不能となってしまいました。

衛星機能を回復するためには、まず電力を確保しセーフホールドモードに復帰させる必要がありますが、過放電でバッテリーが損傷を受け、充電が技術的に困難な状況です。現在、衛星の状態を監視しつつ、電力を確保する方法を模索中ですが、すみやかな回復は困難になっています。

(堂谷忠靖)

宇宙を 第17回 多層膜反射望遠鏡による太陽コロナ観測

探子

永田 伸一

宇宙には文字通り「星の数」ほどの天体がありますが、表面さらには内部の物理状態を直接観測できる恒星は、太陽のみです。精密な観測と理論の比較が可能のため、太陽は天体物理学の「実験室」に相当するとも言われ、中でも「太陽コロナ加熱問題」は、天文学以外の広範な分野からも盛んに研究がなされている天体物理学の重要課題です。

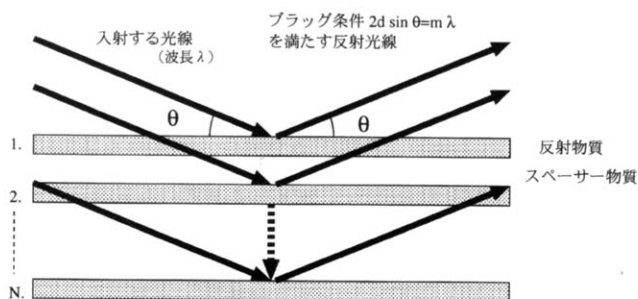
「コロナ加熱問題」を簡単に要約すると次のようになります：太陽の表面温度は、約6000度ですが、その外層には100万度以上の高温プラズマが広がっています。一見すると、熱源(太陽表面)より3桁も高い温度に上空大気が保たれており、熱力学第2法則に反しています。しかし、第2法則を破ることは不可能ですから、熱以外の形でエネルギーは移送され、コロナ中で熱化(散逸)が起っているはずですが、この、エネルギー移送、散逸現象を「コロナ加熱」と呼んでいます。コロナ加熱には、磁場が基本的な役割を果たしていることが分かっていますが詳細は未解明です。この磁気的な加熱機構は他の天体現象でも機能している可能性があるのです。

コロナの高温希薄なプラズマからは、様々な波長の輝線が放射されています。輝線強度はプラズマをなすイオンの電離状態に強く依存するため、輝線観測からプラズマの診断が出来ます。従って、特に輝線の豊富な極紫外領域(波長が100~300Å(オングストローム))での観測は、太陽コロナの物理状態を調べる有効な手段となります。ところで、反射も屈折もし難い極紫外線は、通常の光学系では集光、結像が難しくなります。しかし、近年の微細加工技術の進展により、原子レベルの厚みの制御が可能になり、任意の格子定数をもつ人工的な結晶構造を作り出せるようになりました。「ブラッグ反射」を示す人工結晶構造「多層膜」は、極紫外観測を容易にしました。さらに、多層膜反射鏡は、分光フィルターでありかつ反射鏡として機能する

ため、従来の分光観測では難しい広視野、高時間分解能の観測を可能にします。

我々は、この多層膜反射鏡の特性を生かし、コロナ加熱の素過程として有力視されている「磁気リコネクション」に伴って発生が期待される高速ジェットを検出を試みました。180万度のプラズマから放射される鉄の13階電離イオンFeXIV 211Åの輝線に対し、フィルターバンドの中心を約±1Åずらした、一組のフィルターバンド幅の狭い多層膜反射鏡でコロナを撮像し、画像の強度比から速度を求めるという発想です。XUV Doppler Telescope(XDT)と名付けられた望遠鏡は、1998年1月に観測ロケットで打ち上げられ、5分間の観測で、合計14枚の画像の取得に成功しました。限られた時間の観測では、ジェット検出には至りませんでした。が、今までにない高精度の多層膜反射鏡により、コロナの速度、温度構造の精密測定を行うことが出来ました。

現在、我々は、コロナの高温プラズマと、その加熱に関与していると考えられる磁場を同時に観測する「SOLAR-B衛星」の開発に取り組んでいます。多層膜反射望遠鏡こそ搭載されませんが、SOLAR-BにはXDT開発で培われたX線CCDカメラ、可動鏡などの技術が駆使されています。この衛星により、プラズマと、磁場の同時診断を詳細に行い、コロナ加熱機構の解明を目指しています。(ながた・しんいち)



多層膜反射鏡の原理



ロケットに組み込まれるXDT

7月、ポーランドの首都ワルシャワを訪ねました。目的は、宇宙空間科学研究委員会(COSPAR)の第33回総会に参加して「のぞみ」の火星探査や将来の惑星探査について各国の研究者と意見を交換すること。初の東欧訪問ということではささか浮かれてはいましたが、目的はあくまで真面目なものです。このCOSPAR総会は2年に1度開催されるもので、地球科学、惑星科学、天体物理学、生命科学、材料科学など多岐にわたる研究分野の世界中の研究者が参加して成果を発表します。今回の会場はワルシャワ工科大学で、7月16日から1週間にわたって開催されました。夏休みだったせいか、私は学生寮のようなところに比較的安く泊まることができました。

ワルシャワの町並みは、思い描いていた東欧のイメージよりも明るく、一見、西欧とさほど変わらない印象を受けました。しかし、市の中心部に旧ソ連の置き土産の巨大な建造物が鎮座していたり、旧市街と思った町並みが実は大戦で完全に破壊されたあとで復元されたものだったり、よく見ると異質なところも見えてきます。宇宙研と一緒に研究していたこともあるウクライナ人研究者Nabatov氏が陸路で来たと聞いたときは、この国が旧ソ連の国々と国境を接していることに思い至り、大戦前後の激動の歴史にしばし思いを馳せてしまいました。ワルシャワといえばなんと言ってもワルシャワ条約機構なわけです。Nabatov氏は、ここではロシア語も通じるんだがロシア語を使うと嫌な顔をされるから、と言って英語を使っていました。

会議出席者に配られる名札をつけていれば市内の公共交通機関が全てタダ、というのは初めての経験でした。市をあげてこの国際会議を盛り上げようとしているのでしょうか。そのせいなのかどうなのか、会場の雰囲気は東欧のイメージを大きく裏切るバブリーなものでした。マスコットキャラクター？をあしらった派手な看板の下をくぐってメイン会場に入ると、SFっぽいコスプレのポーランド娘が会場係として走り回っていて、受付では変なおもちゃを沢山渡されて、いったい何のイベントだこれかと思いました。80年代の日本を思い出して懐かしくなりました。

会議には、場所のせいかヨーロッパやロシアからの参加者が多かったようです。私が参加した惑星探査関連のセッションでは、Mars Expressなど既に走り出しているESAの惑星ミッションの他、現在ESAに提案さ



れている将来計画に関する講演も多く聞かれました。多くの国々が団結してNASAと並ぶ宇宙科学の柱たんとしている熱気を感じます。ひるがえってアジアで、このような協力のもとにミッションが実施される日は来るのでしょうか。

会議ではまた、将来の惑星ミッションについて、NASAの惑星探査に長年関わってきた人達と意見を交換することができました。このとき強く感じたのは、惑星ミッション立案の際に持っているべきノウハウの量が違うということでした。たとえばある測定を試みる時に気をつけねばならないことについて、私たちが1年間議論しても思い至らなかったことを、彼らは既に知っている。また、豊富な経験に裏打ちされているから、ピギーバックの小型衛星を金星の大気圏に直接突入させるなどという大胆なミッションを提案できる。しかし一方で私たちにも、アイデアでは負けないという自負はあります。実際、私たちが持っていたミッション案は好意的に迎えられ、国際協力の話も進展しました。より良いミッションのためにはもっと人的な交流が必要と思い知った次第です。

会議の合間にキュリー婦人の生家を訪ねました。実験器具が展示されていましたが、まるで小学校の理科実験みたいでした。これでノーベル賞なわけですから、宇宙研の技術をもってすればとてつもない発見ができそうです。

ところで、食事は繊細な味の料理が多く、煮込み料理などなかなかのものでした。ビールも良。食事の美味しい国はそれだけで親近感がわきます。いつか仕事抜きで来たいと思いながら帰途につきました。

(いまむら・たけし)



惑星探査テクノロジー第6回

探査機の自律航法 ～自分の位置は自分で測る～

橋本 樹明

惑星探査機は地球から遠いところを飛ぶため、地上から探査機と通信するには時間がかかります。たとえばお隣の惑星である火星でも、地球から最も遠い時期は約4億km離れていますので、電波の速度でも往復約40分かかります。また通信できるデータ量も限られますから、地上から惑星探査機を遠隔操縦することは困難で、あらかじめ「何時何分何秒に何をせよ」と覚え込ませておくか、探査機が自分で状況判断して行動するように作っておくしかありません。

今までの探査機は、主に前者の方式をとってきました。この方式でも火星に着陸することはできましたが、目標とする地点に高精度に着陸させたり、軌道が正確に分かっていない小惑星に接近・着陸することはできません。そこで後者の機能である、探査機が自分で自分の位置を知って（自律航法と呼ぶ）、目的とする地点まで行くことが必要になります。

探査機が惑星に対する自分の相対位置を知る有力な手段は、百聞は一見に如かずのことわざ通り、搭載カメラで観測することです。遠いところからは、惑星も恒星と同じように光る点として見えるので、画像中から星カタログ（簡単に言うと、星座早見盤）に載って

いないものを探せば、目当ての惑星を探すことができます。図1はNEAR探査機が小惑星Mathildeに接近しつつあるときの搭載カメラの画像です。NEARの場合は、この画像データを地上に送信し電波による計測結果（8月号の当欄参照）とあわせて探査機の位置を決めたので、自律航法ではありませんが原理は同様です。惑星の方向がわかれば、そちらの方向に進めば良いわけです。で、ちゃんと図2のような近接写真が撮れました。

宇宙研の火星探査機「のぞみ」も、火星の衛星であるPhobos、Deimosの近接撮像を計画しています。この場合は探査機自体の軌道を変えることはしませんが、搭載カメラの指向方向を搭載カメラからの画像をもとに搭載カメラの計算機によって計算していますので、一種の自律航法です。詳しくはISASニュース1997年8月号などをご参照下さい。

惑星に近づいた後は、その表面の画像からクレータ等の目印を選び出し、複数の目印の見える方向から、三角測量の原理で相対位置、姿勢を計算することができます。図3は画像処理技術を使って、クレータを抽出したシミュレーション例です。この画像は、アルゴリズムの検証のために、人工的に作った模擬惑星表面です。実際の惑星探査では、一枚の画像だけからでは十分な精度は得られないので、高度計などのほかのセンサと併用したり、探査機の軌道運動の方程式を使って複数画像からの情報を複合して処理したりしています。（はしもと・たつあき）

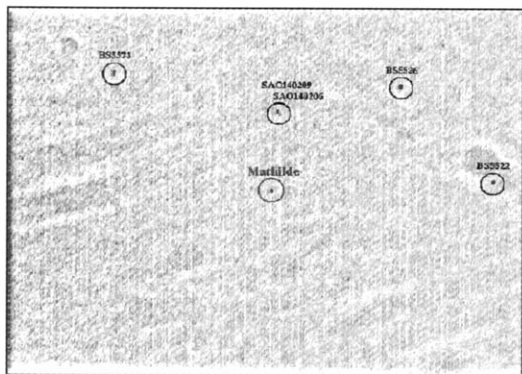


図1 小惑星Mathildeへの接近時の画像
(出典: <http://www.jhuapl.edu/>)



図2 小惑星Mathildeの近接画像
(出典: <http://www.jhuapl.edu/>)

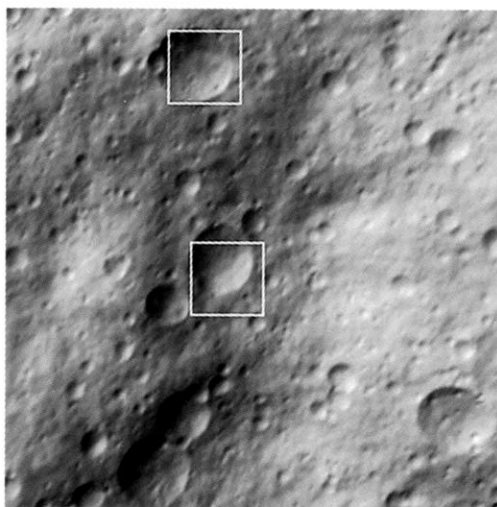


図3 クレータ抽出のシミュレーション例



生きている間何かする事は在るものです

平尾 邦雄

編集委員会から何か書くようにと言われて暫く考えていたが、思いつく事も余り無く書き出す事にした。

私は定年退職してからもう15年以上になる。齢78才を越したからまあ日本人の男子の平均年齢は生きた事になる。無理が出来ないとか力仕事は2、3日程経ってからこたえとか一応年寄りの特性は出てきているがまだ普通の暮らしには事欠かない。何を生き甲斐にして居るかと言われると返事に窮する所もあるが、何が面白くて生きているかと問われると色々はある。研究所の皆さんのご好意で出入り自由、科学衛星の打ち上げの時は内之浦に呼んで頂ける等の事や、ISASニュースのお陰で研究所の活躍の状況が良く判り、未だぼけていない積もりの頭の中に入って来るのが一つの大きな楽しみである。そうして色々な内外の雑誌から宇宙の事、地球の事等が判るのも楽しみである。

最近5月号のESAの報告の中に灰塵から立ち上がるというCluster衛星群の復活に就いての報告を興味深く読んだ。Ariane5の初号機で打ち上げられたが発射直後の事故で近くに落ちたClusterを何とかして復活させようとしたESAの話である。Clusterの復活機は2回に分けて打ち上げられ、まずサルサとサンバが7月16日に、次いでタンゴとルンバが8月9日に、いずれも「ソユーズ・ロケット」でバイコヌールから成功裏に軌道に送り込まれた。宇宙研のM-Vで打ち上げられたASTRO-Eが無念の失敗をした事と思わせている。昔あったCORSAの失敗後の再打ち上げでわが国のX線天文学が見事に生き返った事と共に、衛星打ち上げに時として起き得るこの様な事故に決して負ける事無く再挑戦する科学者の姿は何時見ても素晴らしいものである。ASTRO-Eも必ず復活してわが国の力を見せる事と信じている。

最近の環境問題にしても、EOSにミシシッピー河沿岸大農業地帯の肥料が流れ出してメキシコ湾に大規模な赤潮の被害が出ている事が載っていた。農業は大事な仕事ではあるが、余分な肥料が漁業に対して被害を与える事にも注意しなければ我々の良好な環境は守れない。こんな雑知識を楽しんで居る最近である。趣味

としては下手の横好きで園芸、特に今年は野菜の栽培をしている。家内が近所の口の悪いおばさんに家計の足しになるかと言われて怒っていたが、この採り立ての新鮮な野菜の味が判らないとは可哀相なものだと思ったと言っている。特に内之浦で覚えた苦瓜の味が忘れられて、何処でも売ってはいるが自分で成らせた味を一杯やりながら楽しんでいる。

それといまだに車の運転が好きで、医者が本業の息子が昔からやっていた埼玉での学習塾の手伝いに行く事を口実にして運転を楽しんでいる。間もなく3才になる孫に会いに行くのが一番大きな理由かも知れない。そうして居る間に職業人を主体としているロータリークラブに入会させられ、地域社会に奉仕というボランティア活動にも首をつっこむ事になった。学習塾では数学や理科が嫌いな生徒が多い事が目に着く。何とか面白がらせようとするが中々難しい。宇宙の話をする面白がって聞くがそれで理科が好きになるわけではない。時に好きになり出す子を見つけると本当に嬉しく思うが、無理矢理暗記させられるとか、何処か初めに判らなくなるとそれで嫌いになるという傾向である。極く初めの所を時間を掛けて教えると言う事が如何に大事な事であるかを感じる。

取り止めの無い事を書いたが、一応元気で過ごして居る嘗ての一宇宙研メンバーの近況を書きました。さて宇宙研は来年からどの様な組織になるのか知りませんが、今までの活力ある宇宙研で通して欲しいと思いますし、ISASニュースもずっと続けて欲しいと思っています。皆さん、頑張ってください！！ 私も応援します。(ひらお・くにお、宇宙科学研究所名誉教授、初代編集委員長)



故郷名古屋の厳しい夏に慣れた身には相模原は過ごしやすいが、今年は厳しかった。夏バテ気味で少しは身が細ったかに思っていたが、馴染みの酒屋のおやじに「太った?」といわれたショックは大きい。

(紀伊)

ISASニュース

No.234 2000.9

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>)。