

理

名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報誌

No.5

5

October 2003

philosophia



特集「見えない宇宙を観る」

座談会 芝井 広/田原 譲/長田哲也/福井康雄

時を語るもの 上村大輔

理のトクセイ 山本哲生

理の先端をいく 近藤孝男/関華奈子

講義探検 少人数クラス/物理実験学

施設紹介 生物機能開発利用研究センター

純系動物器官機能利用研究分野

理学部交差点

2

3

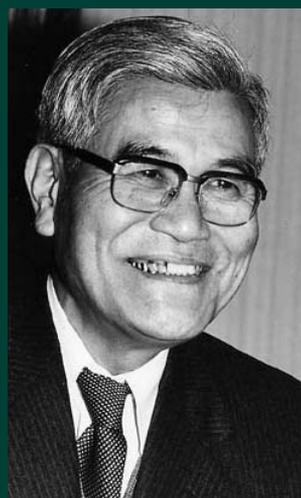
14 10

16

4

時を語るもの

平田義正博士 天然物有機化学の創出



1964年、第3回国際天然物化学会議が京都で開催された。世界中から集まった研究者を最も魅了した演題は、フグ毒テトロドキシンの構造決定であった。ハーバード大学ウッドワード博士、名古屋大学平田義正博士、東京大学津田恭介博士の各グループが独自に複雑な化学構造を決定したのである。戦後の貧しい状況のなか、国内の研究が世界の学問レベルに到達したことを証したこのできごとは、他の学問分野の研究者や学生を含む若き研究者に多大の勇気と希望を与え、その意義は大きかった。その後も生物発光物質や腔腸動物毒パルキシンの構造解明など多くの世界的成果をあげた平田博士には、その研究業績に対する評価以外に、名伯楽の声が高い。すなわち、コロンビア大学の中西香爾博士、ハーバード大学の岸義人博士、名古屋大学の後藤俊夫博士(故人)ら、多くの人材が門下から輩出している。平田博士には、一般の研究教育者とは一線を画す独特の見解があった。それは、「研究課題の設定は絶えず10年先を見て、人のやれないことに着目しなさい」、「優秀な人材から外部に出しなさい」、「世界一の研究者を外部から連れてくる必要はなく、自らなれば良い」であった。多くの門下生が、その教えを胸に世界の舞台に羽ばたいたのである。平田博士を憶う時、今後大人たる研究教育者の出現は「理」の分野からに違いない。(物質理学専攻教授 上村大輔)

平田義正(1915-2000)元名古屋大学理学部教授、日本学士院賞(1977)、日本学士院会員(1997-2000)



理の工ッセイ

宇宙人にはなりたくないー山本哲生

「塵も積もれば山となる」ということわざがあるが、現実には、塵が積もって惑星となった。われわれの住む地球もこの例外ではない。惑星の材料となる塵は主に微小な砂粒や鉄粒子である。これに加えて、宇宙には炭素質の粒子も存在している。銀河系に漂う巨大な暗黒星雲内では、氷や有機物も塵の主要な成分となっている。名大理学部でも活発な研究が行われているカーボン・ナノチューブやフラーレン、さらにはナノダイヤモンドも宇宙塵の候補物質である。

宇宙塵は惑星形成だけにとどまらず、原子分子から惑星、さらには生命にいたる宇宙の物質進化のさまざまな局面で黒幕的な役割を担っている。その昔、坂田昌一博士は「ニュートリノと言えども汲めども尽きない」と言われた。同様に1万分の1ミリの大きさの塵粒子にも、太陽系の歴史や宇宙における物質進化の記録が刻まれている。

この記録を読み解くうえでさまざまな分野の研究者との協力は欠くことはできない。関連分野は地球惑星科学や天文学はもちろん、物性物理学、化学、鉱物学、粉体工学、さらに実用面では磁気テープや化粧品で使われる粒子の研究に及ぶ。私自身の限られた範囲の研究においても、他のさまざまな分野

の人たちとの共同研究をする機会に恵まれてきた。

異分野の研究者との共同研究では、用いる言葉や思考方法の違いのため、最初は宇宙人とコミュニケーションを行うような困難がある。しかし、しばらくつき合っていればこれは解決する。本質的な困難は、むしろ、共有するシャープな問題意識があるか、そして相手が議論のできる人であるかである。ここでいう議論は相手を打ち負かすことが目的ではない。共有している問題に対して、個々ではもっていなかった新たなアイデアを生み出すことが目的である。逆説的ではあるが、これを成功させるためには、個々人が得意の「武器」をもっていることが必須である。さもないと単なる教養のおしゃべりに終わってしまい、ほんとうの醍醐味は味わえないだろう。

研究分野が広がり細分化するにつれて、異分野の科学者間のコミュニケーションがむずかしくなりつつある。しかし幸い、理学には個々人の内発的な問題意識にもとづいて自然認識を深めるという大きな共通目的がある。われわれが互いに宇宙人にならないために、この共通基盤を大切にしたいものである。

山本 哲生(やまもと・てつお)

地球環境科学専攻教授。1949年生まれ。京都大学大学院修了。理学博士(京都大学)。現在の専門は惑星科学。原子分子から惑星や生命にいたる宇宙での物質進化に興味をもっている。

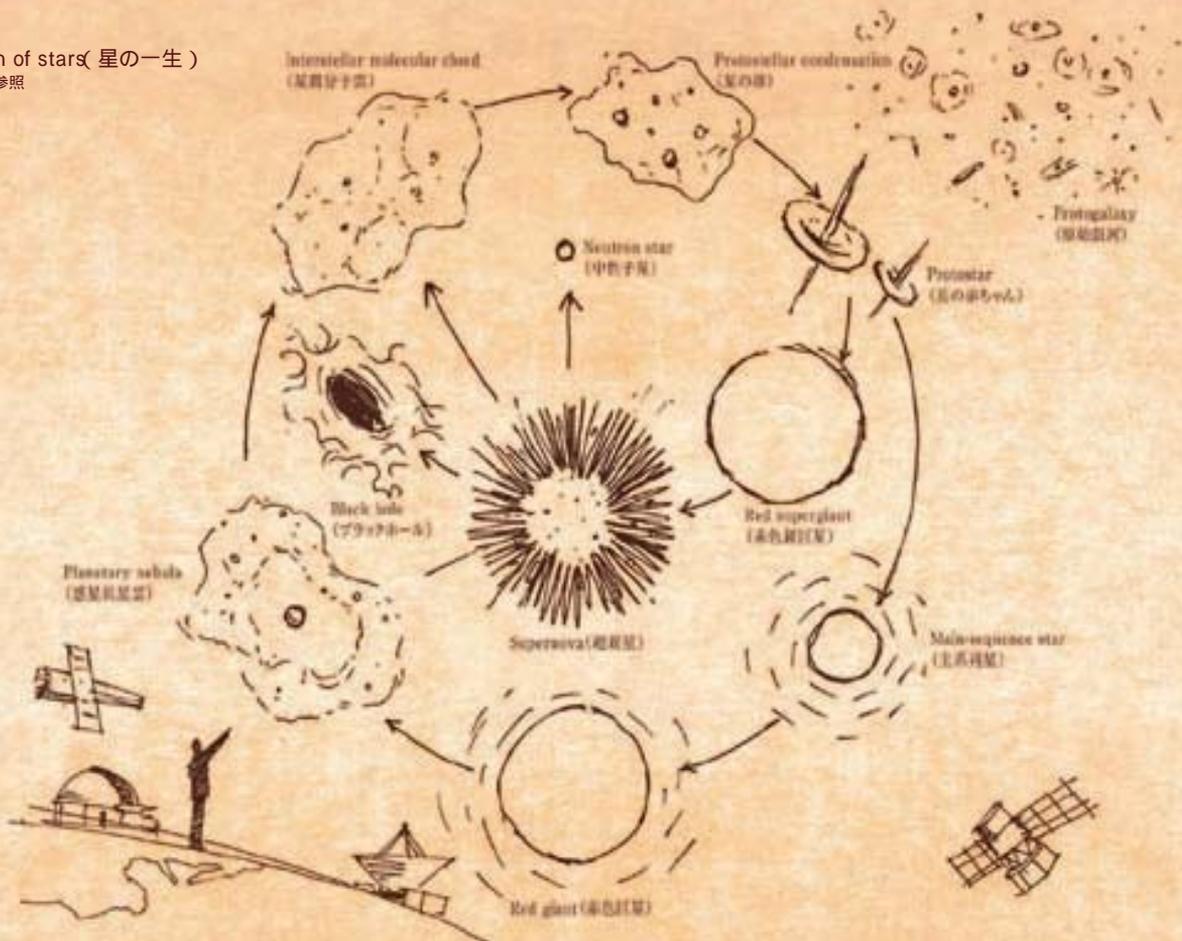
写真の説明

18世紀後半から19世紀前半にかけて、それ以前の「論理性」に「実証性」が加わって、自然科学の急速な発展が達成された。その状況のなかで、質量の精密測定は極めて重要であり、物質科学の根底となっていた。科学者にとって良い天秤を持つことは不可欠であり、加えて良い実験技術の修得が重要となった。特に有機化合物の研究者にとって、元素分析がどれほど精密にできるかによって、研究者の価値が決まるとしても過言ではなかった。平田博士の活躍した時代には、天秤は化学の研究者にとって命であり、非常に大切にされた。平田博士はこの写真のザルトリウス社製の天秤を導入し、以来、息をこらえて左右に天秤をふるわせて正確な質量を測り、七輪で試料を燃焼させて元素分析をしたのである。それを憶うと、今さらのように隔世の思いにかられる。

見えない宇宙を観る

宇宙の謎は、ここ20年ほどの間に飛躍的に解明されつつある。その鍵となっているのが多様な「電磁波」の観測だ。かつては可視光線を通じて望遠鏡でしか見ることのできなかった宇宙が、さまざまな波長帯の電磁波を観測することで、可視光線では見えないダイナミックな姿を私たちにを見せてくれている。宇宙から放射されるX線、赤外線、サブミリ波などの幅広い波長帯をとらえることで見えない宇宙の姿を観ようとする名古屋大学の研究者たちに、宇宙探求の最前線を語ってもらった。

Evolution of stars (星の一生)
*解説はP.9参照



WMAPがしめす 宇宙観

福井 まず、今年のはじめに宇宙の年齢がかなり正確に決まったというニュースがありましたのでその話から始めましょうか。
芝井 宇宙初期の電磁波ゆらぎの精密測定ができたんですね。WMAPという天文衛星が10万分の1という超高精度で観測しました。まず大きな驚きが、宇宙は平坦であることがわかったことですね。フラットユニバースと呼んでいます。三角測量の原理が宇宙のどこまでいっても使えることになり

ます。さらに、宇宙の年齢、つまりビッグバンからの時間は137億年と求められました。同時に、宇宙の膨張はこれからも加速しながら永久に続くと考えられます。
福井 ゆらぎの精密測定ができたことはわかったんですが、それはどういうロジックで年齢につながるんですか。
芝井 膨張宇宙にもさまざまな仮説があり、その中で最も支持されている膨張宇宙モデル*を使ってシミュレーションしました。ただ、ここで注意したいのは、宇宙のエネルギー源のうち、正体がわかっているのは、わずか4パーセントのバリオン*だけで、残りの96パー

- 出席者**
芝井 広 素粒子宇宙物理学専攻教授
田原 譲 理工科学総合研究センター教授
長田 哲也 素粒子宇宙物理学専攻助教授
福井 康雄 素粒子宇宙物理学専攻教授 (進行)

セントは、正体不明のダークマター*3によって構成されているとしていることです。重力の源であるダークマターの性質はまったくわかっていないのです。

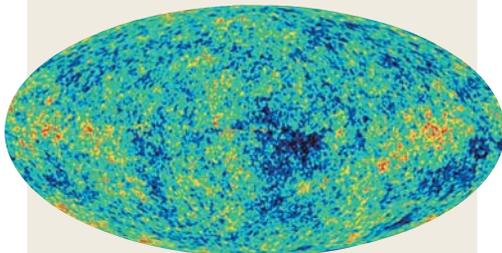
福井 ダークマターの質量は、ニュートリノ*4でも全然足りないんでしたね。

田原 今、比較的確からしいと思われるニュートリノ質量ではまったく足りません。最近の研究では、ダークマターは光で見える物質の30倍くらいだろうと考えられます。

福井 ところで、芝井さんのグループは、WMAPのさがけとなったブーメランという気球による電磁波ゆらぎの観測に、かなり近い研究をやっていましたね。名古屋のグループがこの種の観測をする可能性もあったと思いますよ。

芝井 ブーメランのように気球でやろうとするとかなり大型の望遠鏡が必要です。アメリカのカリフォルニア大学パークレー校のグループがブーメランで使ったのは、口径1.5メートルの大型気球望遠鏡です。3トンくらいあるんじゃないんですかね。日本の気球では上げられない重さです。

■ WMAPからなにがわかったのか



全天の温度のゆらぎをしめした観測結果の図。青は2.73度より低温部分。赤は高温の部分を表している。(NASA提供)

WMAP(Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)はNASAが打ち上げたマイクロ波観測衛星で、プリンストン大学の故D.ウィルキンソン(1935-2002)博士に敬意を表して名づけられた。ビッグバンによって宇宙が誕生した直後に発せられた光は、現在は宇宙背景マイクロ波放射として観測される。このマイクロ波は絶対温度2.73度で全天に広がっているが、その温度にわずかにゆらぎがある。ゆらぎは100万分の1程度の数値という小さいものだが、2001年6月30日に打ち上げられたWMAPは1年かけて全天のゆらぎを正確に観測することに成功した。このゆらぎをもとに計算することで、宇宙の年齢は137億年であることや宇宙誕生からわずか2億年後に最初の星が輝き始めたことなどが明らかになった。さらに、宇宙は平らで、永遠に膨張し続けるであろうという結果も導かれた。

福井 なるほど、気球の大きさに限界があったわけですか。さて、赤外線観測をリードされた早川幸男*5先生は、宇宙論の草分けのころから活躍しておられて、けっこうへそまがりでしたね。先生はいつも膨張宇宙論に対する疑いを持っていた気がするんですね。それで、「定常宇宙論もいいんじゃないか」とかつぶやいておられますよね(笑)。近くにいた田原さん、覚えてますか。

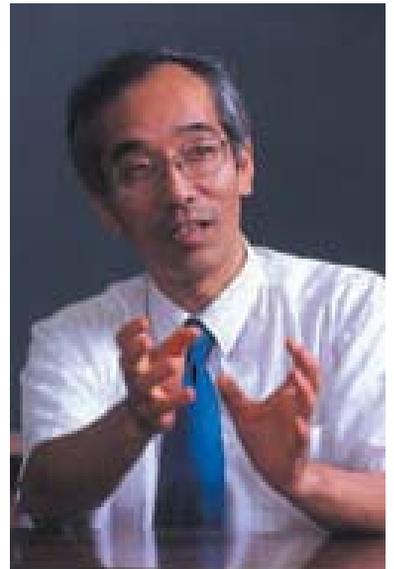
田原 確か一般向けの著書にも書かれますよね。ホイイル*6みたいな人を引き合いに出して、「アンチテーゼを出す人が大切だ」「必ず逆の面からものを見ないとバランスに欠ける」というのは常におっしゃっていました。福井 その意味では、今、137億年とフラットユニバースですべてわかってしまったかのような空気があるとしたら、若干危険な風潮がもたせません。重力源の正体の大部分はよくわかってないわけですから。

田原 池内*7さんも膨張宇宙の基本方程式の宇宙項に対して懐疑的に見ているといますね(笑)。もっと根底を疑う精神があってもいいという気がします。

芝井 とはいえ、WMAPの結果は美しいと思いますよ。

多波長観測から観えるもの

福井 4,50年前までは光で見える星の世界だけが天文学の対象だったのが、ここ30年、それ以外の電波、赤外線、X線などの波長帯に、どんどん天文学は拡大してきました。いろ



芝井 広(しばいひろし)

素粒子宇宙物理学専攻教授。1954年、大阪府生まれ。京都大学博士後期課程中退後、宇宙科学研究所を経て1997年より現職。専門は宇宙物理学。ビッグバン以降の宇宙の歴史、特に銀河誕生過程を遠赤外線の観測で解き明かすことをめざしている。

*1 最も支持されている膨張宇宙モデル
この場合は、「冷たいダークマターモデル」のこと。

*2 バリオン
陽子、中性子など質量の大部分を占める観測可能な素粒子のこと。

*3 ダークマター
どの波長の電磁波で観測しても、直接に検出することのできない未知の物質。しかし、存在は観測と理論の両方から示されている。暗黒物質ともよぶ。

*4 ニュートリノ
「レプトン」とよばれる軽い素粒子の一種。電子、ミュー、タウの3種類のニュートリノがある。

*5 早川幸男(1923-1992)
元名古屋大学理学部教授(本誌第4号P.2参照)。

*6 F.ホイイル(1915-2001)
「宇宙は膨張しているが、真空からの物質創成によって姿は変化しない」という定常宇宙論を主張し続けた英国の宇宙物理学者。SF作家としても有名。

*7 池内了(1944)
素粒子宇宙物理学専攻教授(本誌第2号P.19参照)。

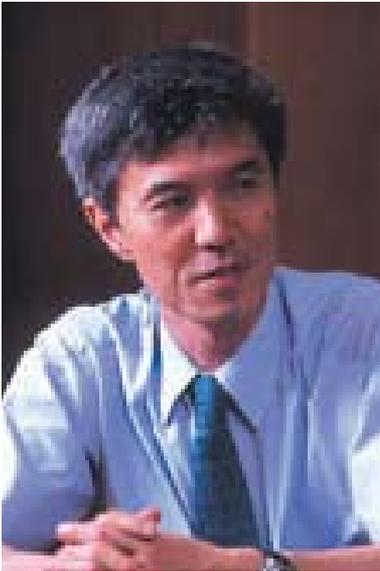
UIR研 宇宙物理学研究室 / 赤外線グループ / 芝井 広



研究対象:銀河の形成と進化

エネルギーの99%を遠赤外線として放射している赤外線銀河が研究対象。赤外線銀河は天の川銀河に比べて恒星の形成率が高く、初期の銀河と考えられ原始銀河ともよばれる。ロケット、気球、衛星に、遠赤外線望遠鏡を搭載し、上空からの宇宙赤外線観測が研究の主体。なかでも2005年に打ち上げを予定している日本の次期赤外線天文衛星ASTRO-Fは研究の中心をなす。全天の遠赤外線サーベイで約1000万個の銀河が検出されると期待されている(本誌第3号P.10参照)。

宇宙物理学研究室赤外線グループホームページ
<http://www-ir.u.phys.nagoya-u.ac.jp/>



田原 謙(たわら・ゆずる)
理工学総合研究センター教授。1952年、長野県生まれ。1980年、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻満了。同年、名古屋大学理学部に助手として赴任、主にX線天文衛星の装置開発と観測的研究を行ってきた。2003年4月より現職。

*8 軟X線

X線のうちで波長の長い(すなわちエネルギーの小さい)ものを軟X線、波長の短いものを硬X線という。天文学ではおよそ波長1オングストローム(10キロ電子ボルト=10keV)付近を境に使い分けている。

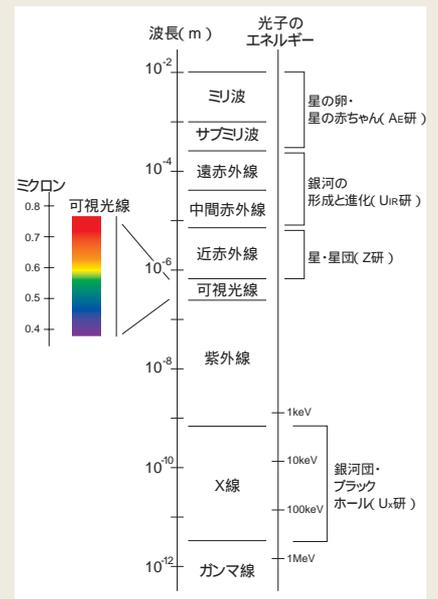
んな波長帯で宇宙を見るといふスタイルにどんどん発展してきたわけです。名古屋大学は、その中でどういう位置にいるのでしょうか。芝井 本研究科の研究の特色は、一大学の中で電磁波のいろんな波長を使って観測していることだと思います。しかも、観測装置も手づくりであることは強調したいですね。星が進化の終末を迎え、超新星爆発で飛び散っていく様子がX線というエネルギーの高い電磁波で見えてきた。一方で、星ができるまえの冷たい世界が赤外線や電波で見えてきて、天体の起源がどんどん解明されてきたわけです。50年前は可視光線で見える恒星だけが対象だったのが、どのように星はできたのか、できた星はこれからどう変化していくのかという、光では見えなかった世界がどんどん暴かれてきたのが特徴ですね。我々の研究も、この流れに貢献してきたと思います。

田原 X線天文学は、1960年代に早川先生たちがはじめられたんですね。そのころは、ガンマ線で気球実験をしたり、紫外線をやったり、そのあと軟X線*8でロケット実験をやりましたね。日本初のX線衛星「はくちょう」があがった1980年ごろからは、中間的なエネルギーのX線観測が主流です。X線で観測されるのは、数千万度の極端に温度が高いガスです。対象はいろいろありますが、たとえば超新星爆発などに伴う熱いガス、あるいは、銀河の中心にある巨大なブラックホールのまわりの高温ガスなどです。

長田 光赤外線研究室は、波長2マイクロン付近をカバーしています。今、働いている望遠鏡は、南アフリカにおいた1.4メートルの比較的小さな望遠鏡IRSFですね。この望遠鏡に3波長の赤外線の画像が一度に撮れるSIRIUSというカメラを組み合わせる観測をしています。我々の銀河系の星形成領域や、銀河系中心そのもの、さらにマゼラン雲という1つの銀河をまるごと見るサーベイ観測もやっています。

芝井 観測天文学には大きく言って2つのやり方があると思います。1つは博物学的手法です。特に明確な目的を定めずにあちこち探検して宇宙に何があるかを調べる仕事です。もう1つは目的達成的手法です。ある特定の問題を明らかにしたい、そのためにはどういふことをやればよいかを考えて実行するわけです。私は物理学教室出身

波長帯からみた研究対象



星ができる前の絶対温度10度前後の冷たいガスは波長0.3ミクロン~3ミクロンのミリ波、サブミリ波を放射する。これをとらえることで、星の卵、星の赤ちゃんのできる様子がわかる。遠赤外線、中間赤外線の波長帯では原始銀河が観測でき、銀河の形成と進化の秘密を解き明かそうとしている。近赤外線帯では、数千度から数万度の星の集まりである星団を観測し、星団形成の秘密に迫りたいと考えている。100万度~1000万度という超新星爆発によって放射されるX線の観測は、銀河団・ブラックホールの研究につながるものだ。名古屋大学の天体観測チームではこうした多波長観測によって137億年の宇宙史を解読しようとしている。

Ux研 宇宙物理学研究室 / X線グループ / 田原 謙(協力教官)



研究対象: 銀河団・ブラックホール

山下廣順教授を中心に、1993年に打ち上げられた日本のX線天文衛星「あすか」を使って主として銀河団とブラックホールの研究を行ってきた。観測データの解析による宇宙物理学の研究と観測技術の開発研究を車の両輪としており、新しいX線望遠鏡の開発にも積極的に取り組んでいる。2001年には多層膜スーパーミラー応用の硬X線望遠鏡を気球に搭載し、世界初の硬X線望遠鏡による撮像観測に成功した。2005年に予定されているASTRO-E2の打ち上げに向けて準備を進めている(本誌第1号P.19参照)。

宇宙物理学研究室X線グループホームページ
<http://www.u.phys.nagoya-u.ac.jp/uxgj.html>

だったせいもあるが後者のほうが馴染みがありますね。

福井 現実には、両方がからんで思いがけない発展をしているようですが。

芝井 目標指向という意味で、私は、銀河ができるところを観測したいと考えています。宇宙の構造の大枠はWMAPなどでわかってきたのですが、その中で天体がどうできるかが皆目わかっていません。ダークマターが重力で集まり、かたまりになる。そのかたまりにバリオンが集中して、銀河や星になったと思われまます。そうやってできた銀河同士が互いにぶつかり、合体して成長すると思われています。一種のボトムアップシナリオですね。銀河と銀河がぶつかって衝突して大きくなる時に、かなり短い時間、1億年くらいなんです。遠赤外線でピカッと光ると予想されるんです。その遠赤外線をとらえるために全天サーベイができる衛星計画ASTRO-Fをすすめています。

福井 次に電波の話をお願いします。私の研究室の電波望遠鏡「なんてん」は、観測条件のよい南米チリにあります。冷たいガスをミリメートル波の分子スペクトルで観測しています。分子できているガス雲は星間分子雲^{＊9}とよばれ、星が生まれるふるさどです。我々は、いかに広く偏りなく全天を調べかを重視しています。そうすることで、天体の「進化」がよくわかるからです。いちばん冷たいガス雲が相手ですから電磁波も弱いんです。そのために極めて高感度な超伝導受信機を自分たちでつくって来ました。

長田 IRSFと同じく「なんてん」も電波望遠鏡としては小型ですね。

福井 天文学にも大きけりゃいいという迷信があるんですが、それは必ずしも正しくない。我々もへそまがり、口径4mの小望遠鏡にこだわって研究しています。電波望遠鏡は小型になると視野が広くなり、広く見るには最適です。広視野を超伝導受信器という組み合わせで活かしているわけです。

芝井 観測対象は、比較的近くの天体ですね。

福井 芝井さんはずっと遠くの銀河ですが、

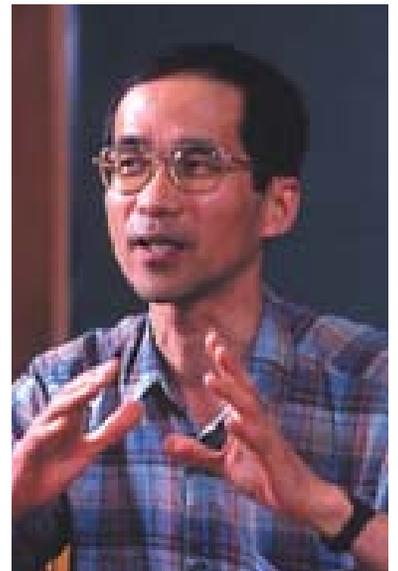
実はこの地球の上も137億年の宇宙の歴史がしっかり刻み込まれているんですね。すぐ近く、といっても10万光年、20万光年の距離の大小マゼラン雲は、重元素の含有量が一桁くらい太陽系より少ない。重元素は宇宙初期にはゼロですから、重元素が今の100分の1しかなかったところに、どんなふうにして星ができていたのかを直接見える可能性がある。遠くでピカッと光るのを見るのも大事ですが、すぐ近くにある化石的な天体にも大きな意味があると考えています。

太陽系の外に 惑星を探す

福井 さて、最近話題の系外惑星の発見に話をうつしましょうか。

長田 太陽以外の恒星のまわりに惑星がある例が、ここ10年で100個以上わかってきたんですね。そのほとんどが木星くらいの重いガス惑星です。地球のような小さな固体惑星が見つかるにはまだ時間がかかります。あと何年かすれば手がかりは見つかると思いますが、手がかりとはいっても、地球的惑星がまわっていて中心星が「揺れている」のが見つかるということで、間接的なものでしょう。

福井 たとえば惑星ができる前は、真ん中に太陽みたいな星があって、そのまわりを濃いチリの円盤がどまっています。チリは小さな粒ですので、シルエットとして暗黒星



長田 哲也(ながた・てつや)
素粒子宇宙物理学専攻助教授。1957年、兵庫県生まれ。1985年、京都大学大学院物理学第二専攻修了後、ハワイ大学、京都大学を経て1995年から現職。専攻は赤外線天文学で、特に銀河系の中心方向の星の誕生と進化に興味がある。

^{＊9} 星間分子雲
銀河系の空間においてガスが低温高密度になって雲状のかたまりを形成しているもの。主成分が水素分子なので分子雲とよぶ。

Z研 光赤外線天文学研究室 / 長田 哲也



研究対象:星・星団

佐藤修二教授を中心に、可視から近赤外域の観測で、天空に生じする不思議さやおもしろさを探検し発見することをめざす。2000年に南アフリカに設置した口径1.4mの光赤外線望遠鏡IRSF (InfraRed Survey Facility) と3色近赤外カメラSIRIUS (Simultaneous 3 color InfraRed Imager for Unbiased Survey) は同研究室の主力装置であり、マゼラン星雲・銀河系の中心・銀河系内の星形成領域・銀河面の向こうの銀河・突発天体現象などさまざまな観測を行っている。IRSF / SIRIUSは国内外の多くの研究者も使用し、活発に共同研究を進めている。さらに、広波長域のユニークな分光偏光器をハワイ・マウナケアや岡山の望遠鏡にとりつけたり、冷却望遠鏡や広視野分光器など手づくりの装置を使ったりして自然のささやきに耳を傾けている。また、チリ・アタカマでの中間赤外線観測や東アジア諸国と共同の中口径望遠鏡建設など、寒冷な高地での地上から行える究極の高感度観測の計画を進めている。

光赤外線天文学研究室ホームページ
<http://www.z.phys.nagoya-u.ac.jp/>



福井康雄(ふくいやすお)
素粒子宇宙物理学専攻教授。1951年、大阪府生まれ。1979年、東京大学大学院天文学専攻修了。専攻は電波天文学で、チリ共和国に電波望遠鏡「なんてん」を設置し、星の生まれるガス雲の観測を行っている。

*10 暗黒星雲

星間分子雲には炭素や酸素、珪素でできた固体微粒子も大量に含まれており、背後から来る光をさえぎるので暗黒星雲としてみえる。

*11 回折限界

光はその波長より小さい物質を扱うことが原理的に不可能であり、回折限界はその最小寸法。

*12 補償光学

地球大気による光の屈折で生ずる望遠鏡の結像のゆがみを是正するために、主鏡を調節することで正しい像を結ばせる技術。

*13 アルマ

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array: ALMA)の略。直径12mの高精度アンテナ64台と超高精度アンテナ16台を組み合わせる干渉計方式の巨大なハイテク電波望遠鏡で、日米欧が共同でチリのアタカマ高地への建設を計画している。2011年の完成をめざす。

雲*10みたいに見えるんですね。それが約1億年で確実にいくつかの惑星にかたまっていくと考えています。

長田 これからの目標は、そういうチリの円盤の構造を克明に観測していくことです。

8 10mクラスの光学望遠鏡がハワイとか南米チリにできています。大きな口径で小さな回折限界*11の像が撮れるようになってきたのが大きな前進ですね。それでも大気がゆらゆらして「かげろう」がたってしまうのですが、「かげろう」と逆方向に鏡を人工的にゆがませればちゃんときれいな像ができるはず。補償光学*12という技術を使うことで、星のまわりの円盤の姿も相当詳しく見えてきています。

福井 今、計画されている「アルマ*13」という大型のサブミリ波干渉計計画があるんですが、それを使うとハッブル宇宙望遠鏡より一桁以上高い詳しさを円盤の密度のゆらぎがわかるはず。今から5年くらいすると観測がはじまり、少なくとも木星型惑星にはかなり近いところまで迫っていけるはず。

観測技術は どこまで進歩するか

福井 これからの観測技術の課題について考えましょうか。大学の研究室はどのように力を発揮できるかについても意見をお願いします。

田原 可視光の望遠鏡はお椀みたいな反

射鏡があります。X線は反射の角度条件が厳しくふつうにお椀をおいたのでは吸収されてしまいます。「X線の鏡」にするには、X線と鏡面の角度を極端に小さく、1度以下にする必要があります。こんなX線望遠鏡を一見すると、鏡の方向と見る方向が同じ方向を向いていて、変な感じがします。一枚ではわずかなX線しか集められませんから、面積を稼ぐために鏡を100 200枚重ねあわせて入れ子状態の望遠鏡をつくるんです。

福井 たいぶ光とイメージが違いますね。

田原 鏡は非常に薄いといけません。たとえば10センチの間に100枚並べて、鏡の厚みが1mmだとすると、鏡の厚みだけでX線が入ってくる場所がなくなっちゃいます。だから0.2mm程度の薄い鏡をつくるわけですが、薄いものできれいなかたちをつくるというのが非常に難しい。今のところ、解像度として人間の眼と同じくらいか、人間より少し悪いくらいなんです。奇しくも4mの電波望遠鏡と非常によく似た角度分解能になっています。長田 特に工夫しているのはどういう点ですか。

田原 新しい点は、多層膜というアイデアです。プラチナと炭素の層をたいたい数ナノmの厚さで100層くらい重ねます。こうすることでエネルギーの広い範囲を反射できる、硬X線でも反射できるものをつくったわけです。

福井 原子1個1個が眼に見るようないわば原子層を反射鏡面に使うデリケートなものですね。X線を画像にするわけで、汎用性があますよね。

田原 理工科学総合研究センターでは多層膜をプラズマ診断に生かそうというプロジェクトも始めています。脳外科の先生の話を知ると、CTより10倍以上細かく診断がつくと、脳出血があった時に開頭しなけければいけないかどうかの判断がつくそうで、医学にも応用できる可能性があります。

福井 電波の場合より詳しく見るのが大きなポイントで、そのためには干渉計を使う以外に方法がないですね。アルマという大型のサブミリ波の電波干渉計は0.01秒角という空前の高分解能を達成します。10キロメー

AE研 天体物理学(実験)研究室 / 福井康雄



研究対象:星の卵・星の赤ちゃん

1996年、南米・チリのラスカンパナス天文台(標高2400m)に設置した電波望遠鏡「なんてん」を用いて、天の川銀河全体や大小マゼラン銀河をカバーするミリ波帯での分子雲観測を行ってきた。「なんてん」は、一般市民等の寄付金による支援も受けて、日本が海外に設置した初めての本格的な天文台である。超伝導を利用した世界最高の感度と広い視野を特長とするこの望遠鏡は、「星の卵」「星の赤ちゃん」と命名した「生後」100万年以内の若い天体を数多く発見している。2003年度中には、この望遠鏡をさらに観測条件に優れた標高4800mのアタカマ高地に移設、サブミリ波による広域観測を計画している。これによって同じアタカマ高地に建設を計画しているアルマをガイドするパイロットの役割も期待される(本号P.19参照)。
天体物理学(実験)研究室ホームページ
<http://www.a.phys.nagoya-u.ac.jp/nanten/>

トル以上の地面に10mクラスの望遠鏡をばらまいて信号を干渉処理するわけです。等価的に10キロメートル以上の口径の望遠鏡を合成できる。遠赤外線でも今とんとん干渉計の方向に動いていますね。

芝井 遠赤外線は地球の空気に吸収されるので必然的に宇宙へもちださないといいけません。宇宙で複数の望遠鏡の信号を干渉させることになります。実は今年からその研究を始めることになりました。大気球で成層圏まで望遠鏡を上げて、遠赤外線干渉計をつくらうという計画です。難しいのは、電波より波長が短いのでさらに精度をあげないといいけない点です。ハイテクではないんですが、複雑なローテクをきちんと動かすことが眼目だと思います。

長田 光や近赤外線ですら地上に直径100mくらいの望遠鏡をつくれないう計画があります。1枚の鏡では無理で、1mくらいの鏡をたとえば1000枚とか並べることになります。問題は重量です。たとえば8mのすばる望遠鏡のためには何百トンという重量の鉄が必要だったんですね。この難問に対して、大学院生の1人がトラス構造^{*14}にすることで非常に軽量に組み立てることを考えました。そういう技術がないとたぶん、将来の100mの望遠鏡はできないと思います。まず、試作機を2m程度の口径でつくってみようと考えています。

天文学者のやりがいとは

福井 さて、最後に天文学者のやりがいについてお聞きしたいと思います。

芝井 やは15年先に学問的な成果が出ることを楽しみにやっていますね。ただし、実験をやっていると、日々、物理学への知的好奇心が満たされる面があります。真空ポンプを使って容器を真空にする時でさえ、物理学としておもしろいなあと感じます。

長田 天文学的な意味でいうと、南アフリカで撮ってきた画像を見て、「わあ、こんな面白いかたちをした星雲があるんだ」というのが見えるとやっぱり面白いですね。ただ、5年後にこれがやりたい、というテーマがあ



東山キャンパスにある天体物理学(実験)研究室の電波望遠鏡とともに

るからこそだと思います。

田原 天文衛星は、アイデアができてから観測まで10年かかるんです。その間、大学院生は5年のサイクルで卒業していきますので、データを見る前に出ていく人は多い。苦しいところです。衛星を打ち上げそこから観測データが送られてくるというのはたいへんにわくわくする経験なんです。大学院生にそれを伝えるむずかしさを痛感します。

芝井 よく宇宙は実験室だといわれますが、物理学だけの実験場ではなくて、化学や生物学などの実験場にもなりつつあるんじゃないかと思います。ますます宇宙の魅力が広がっていくと思いますね。

福井 そうですね。たとえば、フラレーン^{*15}やカーボンナノチューブ^{*16}の発見も、もともとは星間分子の発見がきっかけでした。星間空間にどんな物質があるか知りたくて、電波天文学者は星間分子を探していた。そのなかに炭素がやたら長くつながっている分子が見つかり、それを室内実験で再現しようという中でフラレーンC₆₀が発見されたんですね。私たち現代人の日常生活も、実は天文学の発見に深く根ざしていることと、ときどき学生に話してました。あっという間に時間がきてしまいました。みなさんどうもありがとうございました。

*14 トラス構造

直線的な材料を使って構成される三角形を単位とした構造骨組の一種。各部材の端部節点がすべてピン接合となっているものをいう。鉄橋や屋根組みなどに使用される。

*15 フラレーン

60個の炭素原子がサッカーボールのような球状に規則正しく結合したもの。宇宙物質の研究から偶然発見されたが、カーボンナノチューブとともに次世代の工業材料として注目されている(本誌第2号P.9参照)。

*16 カーボンナノチューブ

炭素原子が規則正しく円筒状に結合した。先端的工業材料の代表格としてさまざまな用途に応用されつつある(本誌第2号P.9参照)。

星の一生 解説

宇宙にはガスの集まりである星間分子雲がある。星間分子雲の密度が高まると温度の高いガスのかたまりになる。これが星の卵である。星の卵は回転して円盤をつくる。やがて円盤の中心に原始星と呼ばれる星の赤ちゃんが誕生する。原始星の中心温度が1000万度を超えると、一人前の恒星(主系列星)として輝き始める。恒星の最期は、その恒星の質量により決まる。軽い星は、赤色巨星を経て惑星状星雲となる。重い星は、赤色超巨星を経て超新星爆発を起こし、中性子星やブラックホールになる。爆発で飛び散ったガスから、ふたたび新たな星が生まれる。



生物時計の謎をさぐる 近藤孝男

近藤孝男(こんどう・たかお)
生命理学専攻教授。1948年愛知県生まれ。
名大の太田行人教授の研究室でウキササの概
日時計の研究を始める。大学院修了後、1978
年から基礎生物学研究所助手、1995年に名
大に戻る。生物がどのようにして日々の生活を送っ
ているかを理解したいと始めた概日時計の研究
は、1990年頃からシアノバクテリアを使うようになっ
た。概日時計の研究から生物の生き様を理解
したいと考えている。

生物は時計をもっている

ヒトも含め多くの生物が昼夜の区別のな
い環境でも約24時間周期の活動リズムを
示すことは、古くからよく知られている。こ
れがいわゆる生物時計であり、リズムの周
期が概ね1日であることから「概日時計」とも
よばれる。調べてみると、このリズムは温度
により周期があまり変化せず、昼夜のある
状態では24時間きっかりに同調できるとい
う性質をもつ。地球に生息する生命にとっ
て昼夜の変化は最も重要な環境変動であ
ろう。生命はこの変動にたくみに反応して
生活しており、さらに、積極的にこの変動を
予測し効率的な生命活動を実現するため、
概日時計を体内に備えているのである。

シアノバクテリアの時計遺伝子

概日時計のからくりを調べるためのモデ
ル生物として我々はシアノバクテリアを選んだ。
シアノバクテリアは生命進化の初期に水を
分解する光合成機能を獲得し、その後30億
年以上にわたる多様な生命進化を可能し
た生物である。この生物は核をもたない原
核生物であるが、光合成に依存した生活を
調節するため時計機能をもっており、最も単
純なモデル生物として好都合だった。まず、
概日時計を見やすくする工夫にとりかかった。
シアノバクテリアのうちの遺伝子操作の容
易な種の中に、概日時計に制御されるよう
仕組んだ生物発光酵素の遺伝子を移入した。
このシアノバクテリアの発光を観察することで、
概日時計の動きを容易にモニターすること
ができるようにしたのだ(図1)。

時計に関係する遺伝子を特定するのは、
普通では気の遠くなる作業である。我々は、
シアノバクテリアが突然変異によってリズム
を変えることを使って、関係する遺伝子の特
定を試みた。シアノバクテリアが寒天上では
多数のコロニーになって成長することを利用
すると、リズムの突然変異体を容易に分
離することができるので見通しがよい(図2)。
リズムの突然変異体では概日時計に不可
欠な遺伝子が異常をおこなっていることが考
えられるため、石浦正寛博士(現遺伝子実
験施設)らとともに、この遺伝子を突き止めよ
うとした。まず正常なゲノムを小さな断片に
分解し、1つずつ突然変異体の細胞に導入
する。もし突然変異をおこなった遺伝子に相
当する正常な遺伝子含むゲノム断片が入
れば、リズムは元に戻る。これが見つかれば
そのなかに時計遺伝子が存在するはずで
ある。こうしてようやく3つの遺伝子が時計
の働きを支配していることを突き止めるこ
とができた。これらの遺伝子は、時計遺伝子
群^{カイ}kaiABCと命名した。時計の「回」転にち
なんでkaiと名付けたのである。

遺伝子発現が時を刻む

発見した時計遺伝子群はどのようにして

24時間のリズムを発生しているのだろうか。観察してみると遺伝子*kaiC*の発現が大変強いリズムを示すことがわかった。ところが、*kaiC*を人工的に強く発現させてみると、本来の*kaiC*の発現は強く抑制されリズムもまったく消失したのである。これは*kaiC*の発現は、その産物KaiCタンパク質があると強く抑制されることを示す。つまり、一種の「負の」フィードバック制御を受けていることになる。

この発現によってKaiCタンパク質が増加すれば、発現は抑制される。やがてKaiCタンパク質は分解され、再び*kaiC*の発現が始まるであろう。すなわち、*kaiC*の発現とそのフィードバック制御が概日振動の発生原因でありシアノバクテリアのなかで時を刻む原因であることを示唆する(図3)。実際、KaiCタンパク質を一時的に増加させてやることで、時計を進めたり遅らせたりすることができることも確かめられた。

なぜ、24時間なのか

このようにフィードバック制御される時計遺伝子の発現が時を刻んでいることは、シアノバクテリアだけでなく動物や植物、カビなどでも明らかになっている。すなわち、時を刻むということも生命の基本である遺伝子発現の制御によって可能であることが明らかになった。しかし、これだけでは肝心の概日時計の特性、すなわち、周期が24時間で温度に影響されないことは全く説明できない。これらの性質が概日時計が役に立つための前提なのだから、安定した24時間振動となる機構こそが進化を通して開発された概日時計の本質であろう。この問題に答えるためには3つのKaiタンパク質とそのパートナーとなる他のタンパク質の働きを具体的に理解しなければならない。現在我々はこの点を解明すべく研究を続けている。全ゲノム情報が得られるようになった現在、細胞内の出来事を系統的に解明し、細胞の生活を概日システムとして理解することが今後の目標である。

時間生物学グループホームページ
<http://www.bio.nagoya-u.ac.jp/%7Eeb1home/b1.html>

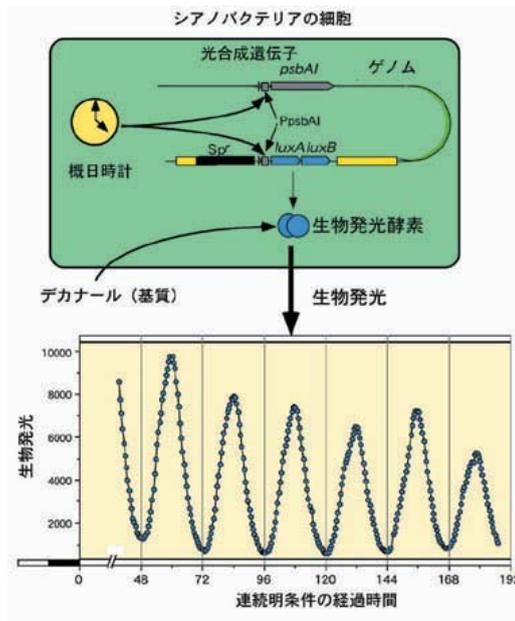


図1 生物発光による概日時計の測定
 概日時計にコントロールされる光合成遺伝子のプロモーター(遺伝子の発現を制御する配列)と生物発光酵素の遺伝子を融合しゲノムに組み込む。概日時計の制御に応じて発光酵素がつくられるので、このシアノバクテリアは概日時計の動きを生物発光として示してくれる。下の図のように昼夜のない連続明条件でも約24時間のリズムが持続する。



図2 シアノバクテリアのコロニー
 寒天培地に播かれた3つのシアノバクテリアがつくったコロニー。それぞれ1つの細胞から100万以上の細胞集団に成長し、大きさが0.1-0.3mmとなったところ。

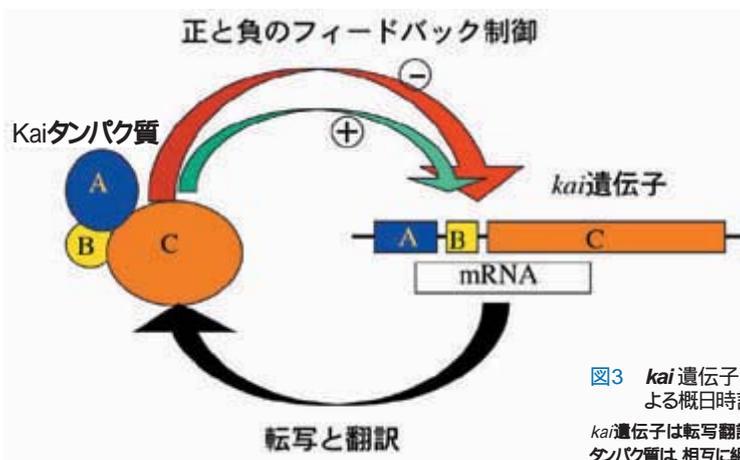


図3 *kai* 遺伝子の発現制御による概日時計

kai 遺伝子は転写翻訳され、つくられたKaiタンパク質は、相互に組み合わせ、協同して、自分自身の発現を促進した(+), 抑制した(-) する。この過程がうまく調整され24時間の概日時計として機能している。



ヒューストンにある NASA のジョンソン宇宙センターにて

ジオスペースに飛びかう、 無衝突プラズマの不思議

—— 関華奈子

関華奈子(せき・かなこ)
太陽地球環境研究所助教授。長野県出身。
東京大学理学部地球惑星物理学科卒業。同
大学院地球惑星物理学専攻修了。専門は宇
宙プラズマ物理学、惑星磁気圏物理学、特に
地球磁気圏におけるエネルギー・物質収支、惑
星大気起源プラズマのダイナミクス。2002年
より現職。

ジオスペース(Geospace)とは、近年、太陽地球系科学、宇宙環境科学の分野で使われはじめた概念である。「地球の」という意味の接頭語「ジオ(geo-)」と、宇宙空間を表す「スペース(space)」とを組み合わせた造語であり、月までの距離^{*1}の数倍以上の範囲にわたり、地球の影響が強く及んでいる宇宙空間を意味する。人工衛星を用いたジオスペースの利用は、1960年代から本格的に始まった。そして現在、天気予報の気象衛星、カーナビのGPS衛星など、宇宙利用はいつの間にか私たちの生活にも深くかかわっている。人工衛星を安全に運用するためにも、人類の活動領域としてのジオスペースをよりよく知る必要性が増している。

ジオスペースは真空ではない。太陽や地球から吐き出された電子や陽子などの粒子群が飛びかう、にぎやかな「プラズマ^{*2}」の世界である。宇宙に存在する物質の99%

はプラズマ状態にあるという表現が時に使われるほど、宇宙ではありふれたプラズマであるが、特にジオスペースプラズマは「無衝突」プラズマであるという性質を持つ。これらのプラズマ粒子は、お互いに直接衝突することはなくとも、広大な電磁場に加速されたり曲げられたりして、ダイナミックにエネルギーをやりとりする。

人工衛星を使うと、このジオスペースプラズマ粒子を捕まえ、速度の分布を直接観測することができる。最新研究の一例を紹介しよう。2002年、日本と米国NASAが共同で打ち上げたGEOTAIL衛星の観測データから、これまでの理論では説明できない面白い現象が発見された。地球の磁場は太陽風によって吹き流されているが、その尾部の赤道面付近には「プラズマシート」と呼ばれる熱いプラズマで満たされた領域が広がっている(図1)。今回の観測では、太

陽光の遮られたプラズマシートの中に、1億度と10万度というまったく温度の違う2つのイオン成分が混在していることがわかったのである(図2)。これは、言うなれば、熱いお風呂の湯のなかに冷たい水のかたまりが消えずに残っているようなものである。なぜこんなことがおきているのだろう。

ふつう磁気圏尾部の運動は、図1の磁気圏対流に基づいて理解されている。磁気圏対流は、太陽風によって駆動される大規模な対流運動である。高緯度で磁気圏内に入り込んだ太陽風のプラズマは、低緯度にあるプラズマシートに運ばれる。このさい、プラズマはローブ領域(4)からプラズマシート(5)に入る境界層で加速・加熱され高温プラズマとなる。ここで半分のプラズマを冷たいままで保つ仕組みは知られていない。

1つの仮説として、観測された低温成分が別の源を持っていたと考えてはどうだろうか。たとえば、地球上層大気から冷たいイオンを磁力線にそって供給する、という仮説である。この仮説に従い、プラズマシートの低温成分を供給するのに要する時間を概算してみると、6時間程度となる。この値は、磁気圏物理学の常識からすると極端に長い。他の地上観測の結果は、図1中の磁束管(5)から(6)への輸送時間は、数十分以下であることを示しているからである。

このように、観測された低温イオン成分は、プラズマのほぼ半分が低温のまま加熱されることなくプラズマシートへ侵入するような機構、あるいは、大規模なエネルギー解放の最中にもかかわらず数時間にわたって少なくとも局所的に、磁気圏対流が極めて遅くなる機構、のいずれかを必要とする。どちらの要求も従来の描像からは説明するのはむずかしく、無衝突プラズマのエネルギー交換という観点からも、興味深い問題を提起している。

ここでは一例をご紹介したが、プラズマの直接観測が可能でジオスペースは、無衝突プラズマの物理的素過程を研究するた

めの天然の実験室でもある。現在、複数の人工衛星で編隊飛行観測を行うことで、この無衝突プラズマをより深く理解しようという計画が、世界的に進んでいる。この一翼を担う意欲的な試みとして、日本でも宇宙科学研究所を中心に、名古屋大学を含めた全国の研究者が協力して、内部磁気圏小型衛星探査やSCOPE衛星計画(図3)などが検討されている。

太陽地球環境研究所総合解析部門ホームページ
<http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/index-j.html>

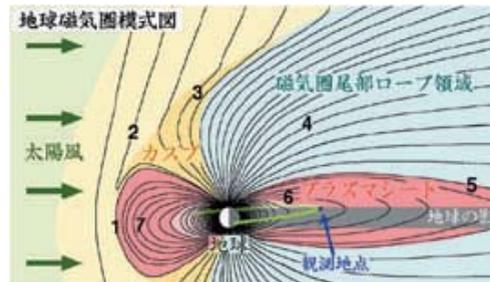


図1 太陽から吹き出す超音速プラズマ流(太陽風)と地球の固有磁場が相互作用して形成される地球磁気圏の模式図

右側(反太陽方向)に彗星の尾のように延びた部分を磁気圏尾部とよぶ。番号は惑星間空間磁場が南向きの場合に、磁束管が対流する経路を示している。観測地点を含む黄緑色の線は衛星の軌道を示す。

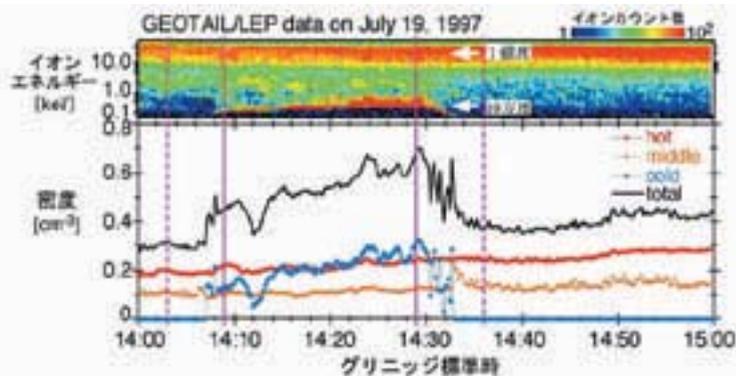


図2 GEOTAIL衛星による1997年7月19日の磁気圏尾部の観測結果

衛星位置は図1に示した。図の上段、縦軸は無衝突プラズマイオンのエネルギー、横軸は時間を示し、カラーはプラズマイオンの濃度を表す。下段は、衛星の電位補正後に計算された、高温(赤)、中間エネルギー(オレンジ)、低温(青)各イオン成分の密度を表示している。縦に引かれた実線(破線)は、地球による本数(半影)の開始および終了時刻を示す。(Seki, K., et al., Nature, Vol.No.422 pp.589-592, [2003]より一部変更して転載)

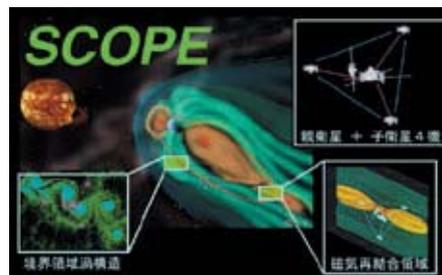


図3 地球を取り巻く宇宙プラズマの構造と変動を探るSCOPE衛星計画の概念図

4機の子衛星と1機の親衛星からなる編隊飛行衛星計画であり、時間と空間の変動を分離した上で高時間分解能観測を達成し、無衝突プラズマ中のエネルギー変換現象の本質に迫ることをねらっている。

*1 約38万キロメートル(地球半径の約60倍)

*2 プラズマとは、マイナスの電荷をもつ電子と、プラスの電荷をもつイオンからなる気体の一種である。全体としては電氣的に中性であるが、粒子の電荷のために電氣的な力に支配され、ふつうの気体にはない独特な集団の振る舞いをする。物質の「第4の状態」とも呼ばれている。

*3 この観測は、人工衛星が地球の影に入る「日陰(にちいん)」で行われた(図1)。ふつう、太陽光があたると光電効果で電子が失われるために、人工衛星表面はプラスに帯電する。そのため、日照のもとでは低温成分は衛星本体に近付けず、測定は困難である。しかし、太陽光があたらない日陰時には衛星の電位が下がり、低温イオン成分の観測が可能となる。



土屋昭博(つちや・あきひろ)
多元数理科学専攻教授。1943年生まれ。京都大学理学研究科修了。1995年より現職。専門は幾何学と数理物理。超弦理論が開く新しい幾何学像を模索している。



空間を多角的に、深く考察する

【少人数クラス・修士課程】

土屋昭博教授

「多元数理科学研究科」、そこではどのような研究、教育が行われているのだろうか。私には「数を用いて世の中の理(ことわり)を探究する」ところだという漠然とした認識しかなかったが、今回土屋昭博先生の少人数クラスに参加し、お話を伺ってみて「数学や数理科学の探究」の奥深さを再認識した。先生が現在、最も興味を持っているのは、幾何学的対象 = 図形をパラメライズしている空間だそうだ。空間の構成する点1つ1つが図形を表しており、図形の幾何学的性質を調べて、元の空間の性質を調べ……。まるで禅問答にも似た話だ。

具体的には、複素2次元空間の中に3次方程式によって定義される図形がつくる空間を考える。この空間の性質を調べるのに、見かけの3次方程式の表現によらない不変式を調べる方法や図形の幾何学的量によって人間でいえば「身長」「体重」「胸囲」を測定するように、形の番地表をつくる方法が考えられるが、この2つの異なる方法で得られた結果の対応関係を確立することが、重要な問題である。

すでに19世紀にはおおまかなことが確立していたが、この10年間に素粒子論における超弦模型との関連で高次元で新しい現象が見つかり、色々な専門分野に属する多くの数学者を興奮さ

せているという。

私が今回探検した少人数クラスについてふれておこう。多元数理科学研究科前期課程の大学院セミナーは今年度から少人数クラスへと大きく姿を変えた。テーマおよび学習レベル別に15のクラスが並行して開講され、それぞれに所属する学生がアドバイザーのもとで数学の探求を行っている。土屋先生のクラスには修士課程の1年生と2年生の学生が1名ずつ所属し、その他3~4人の聴講学生が常に参加し、非常に開かれた、多様な価値観からの活発なセミナーが行われている。数学は多くの分野が関連しあって新しい発展をとげるといふ先生の考えから、少人数クラスの参加者は、上のような空間に対する考え方を分野にとらわれずに多角的により深く学ぶことが要求されているとのことだ。

外部から見ると「多元数理」という耳慣れない名前の研究科であるが、このクラスでは、多元という言葉が表す多様な価値観を許容し発展させる形で講義が展開されておりなじみやすく新たな興味をもってふれることができた。理1号館に足を運ぶと、折りにふれて開かれる談話会などで、この雰囲気を感じとれるかもしれない。

(取材・飯田敦夫 生命理学専攻博士後期課程1年)
多元数理科学研究科セミナーホームページ
<http://www.math.nagoya-u.ac.jp/ja/research/seminar/>



村木 綏(むらき・やすし)
太陽地球環境研究所教授。1943年三重県生まれ。名古屋大学大学院理学研究科修了。東京大学宇宙線研究所、名古屋大学理学部を経て、1991年より現職。専攻は宇宙物理学で、放射性炭素、太陽中性子等を研究。またニュージーランドで重力レンズ天体の観測を実施している。



研究手段としての「技」を伝える

【物理実験学・2年後期】

村木 綏 教授

理学研究の醍醐味の1つは「何もないところ」から「知」と「技」を駆使して新しい科学の概念を打ち立てることにある。私たちが問題に取り組む手段として実験と理論の2つがあることにだれも異を唱えないだろう。一方で、高校における理科教育は、建前上は知も技も授けているが、実際には大学受験を意識して知の詰め込みだけが終始しているのが現状である。それを反映してか電磁気学、量子力学などは学問体系として認知されているが、「物理実験学」と聞いてもびんと来ない人が多いだろう。

「高校から大学に入ってくる今の学生のほとんどが、テスターやオシロスコープの使い方を知りません」と村木先生は言う。このような現状を踏まえ、講義「物理実験学」には実験物理を始める上での基礎的な技を会得するための先生の工夫が詰まっている。

この授業は2年生前期での実験科目である「物理学基礎*」と3年生の「学生実験」の間を取り持つ役割を担う「大学の講義室は『知』を講義するようにはつくりられていても『技』を授けるようにできていません。そのため講義の準備に苦労しています。また^{さか}隆志助手とTA(ティーチングアシスタント)を務める大学院生には多大なる協力を得ています」と先生は語る。

講義のエッセンスは90ページにも及ぶ手づくりの授業テキストに詰め込まれている。「どうしても自分の専門分野が宇宙物理学系なので偏りがあるかもしれない」という中身は、「パルス測定の基本」「CCDカメラの原理」「データ処理法」など多岐に及ぶ。しかし、これらは宇宙物理学に限らず実験物理に携わる研究者には必要なものばかりであり、測定機器の動作原理を把握することでより高度な検出・測定を可能にしてくれる。

「実はもう少し物性物理学の内容を取り入れられないかと考えています」と意欲を語る先生。「この間、病院で核磁気共鳴装置を見たとき、これはどういう原理で動くのだろうかと思いました。身近な装置がどういう機構で動作しているか知るのには大事なことです。原理的には物性物理学で説明できるはずですね。ただ、ある程度簡単に実演できる電磁気学とちがって、量子力学の事象を講義室で実習するのはなかなか難しいかもしれませんが」と結ぶ。先生の「物理実験学」を通じた「高品位教育」への取り組みはつづく。

*現1年生からは、1年生前期「物理学実験」として開講。

(取材・嶋田行志 物質理学専攻博士後期課程1年)
「物理実験学」授業内容ホームページ
<http://www.phys.nagoya-u.ac.jp/edu/syllabus/2-12.htm>



1

メダカ研究半世紀の成果と伝統を受け継ぐ

名古屋大学の発生物学の原点「メダカの研究」は世界に広く知られている。半世紀をこえるメダカ研究の伝統は、生物機能開発利用研究センターの純系動物器官機能利用分野*として、今年度、新たなスタートラインに立った。名古屋大学で開発された透明メダカと、それを利用した研究成果の一端を紹介しよう。

*理学研究科生命理学専攻の協力講座。1981年に設立された理学部附属淡水魚類系統保存実験施設を前身とす

貴重な生物遺伝資源

このセンターには、自然の突然変異で生まれたメダカを中心とする約120系統のメダカが飼われている。突然変異に起因する遺伝的性質をもつメダカを「系統」とよぶ。多くの系統は30年～40年前に発見されたものである。現在、世界中で内分泌攪乱化学物質の研究に使われている系統は今年でちょうど50年になる。メダカたちは、室内の約1400個の循環式水槽と、屋上の水槽で飼育され、国内外の研究機関に提供されている。昨年度から始まった文部科学省のナショナルバイオ

リソースプロジェクトの中核機関にも指定され、メダカのバイオリソース生物遺伝資源)の収集・保存・提供で中心的な役割を担っている。

生きている成体で内臓を透視

メダカやゼブラフィッシュの受精後の胚は透明であるため、発生学の良い研究材料として知られている。しかし、孵化後は皮膚に色がついて不透明になり、体内の組織や器官の観察は困難になる。そこで、皮膚の色素が少ないメダカの系統を選び、交配を重ねることによって、体が透明で、

成体でも外部から内臓を透視することができる透明メダカ(写真)を開発した。生きている成体で内臓を透視できる脊椎動物は自然界にも実験動物としても他に類がなく、世界で初めてのものとなった。解剖をする必要がないために、同じ個体の内臓を繰り返し観察することができる。たとえば孵化後の内臓の成長や成熟、老化の過程、がんなどの病気の発生や進行の過程、さらに、それらの病気の治療法も研究することができる。このように、透明メダカはこれまで不可能であった、生きている



4

透明メダカは半世紀をこえる名古屋大学の「メダカ研究」の象徴。

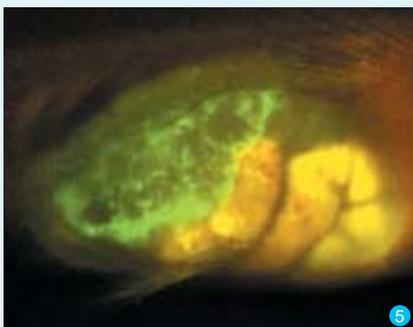


- 1 バイオリソースとして注目を集めるメダカたち。
- 2 室内で設置されている循環式水槽は約1400個にもものぼる。
- 3 たくさんの研究者がメダカの魅力にひきつけられる。円内は若松教授。

成体における内臓の研究という新しい研究手法をもたらした。

遺伝子発現を蛍光で観察する

透明メダカの利用法の1つに、特定の組織における遺伝子発現の様子を蛍光によってリアルタイムで観察する方法がある。一例をあげよう。生殖細胞が緑色の蛍光を発するように設計された遺伝子を導入して「透明で光る」メダカを作製したのである。このメダカでは、精巣や卵巣の組織を、発生の早い時期から老化の時期まで蛍光の発光によって詳細に観察することができる（写真）このメダカのオスを内分泌攪乱化学物質に暴露して、精巣卵と呼ばれる



「透明で光る」メダカ(雌)の腹部。卵巣が緑色に光っている。

卵母細胞様の細胞が出現しメス化する過程を、体外から観察することに成功した。「透明で光る」メダカを利用した化学物質の影響に関する研究は、高い評価を得ている。遺伝子の設計を変えることで、さまざまな組織や器官での応用が考えられている。

ヒトの病気の遺伝子探索に生かすメダカやゼブラフィッシュなどの小型魚類は、器官の機能や形態ばかりでなくゲノムにおいても、ヒトの高い共通性があることが明らかになっている。このことから、小型魚類を使った、ヒトの病気の遺伝子の探索が期待されている。

我々のセンターに保存されているメダカ



嚢胞腎変異体の腎臓。腹腔の大半を大きく腫れた腎臓が占めている。

の系統の1つに嚢胞腎^{のうほうじん}(写真)と名づけられたものがある。性的に成熟するころから腹部の腫脹が見られ、短命に終わる。この系統は1975年に発見されたが、詳しく研究されることがないまま、今日まで飼われてきた。この病気の発症様式や腎臓の組織を詳細に調べたところ、ヒトの多発性嚢胞腎という遺伝性の腎臓病と酷似していることがわかった。ヒトではこの病気は1000人に1人とかかなり高い割合で見られ、成人に発症するものや幼少時に発症するものなど、いくつかのタイプがあることが知られている。交配によって嚢胞腎遺伝子を透明メダカに導入したところ、成魚の透明な体壁を通して、急速に腫れてゆく腎臓を観察することができた。現在、原因遺伝子の探索を進めている。

ヒトの病気の多くは生涯の後期におこる。透明メダカの人為突然変異を使って、成魚で進行する嚢胞腎以外の病気モデルの開発にも取り組んでいる。新たなメダカの変異体が次のバイオリソースとして活用されることを期待している。

(生物機能開発利用研究センター教授 若松佑子)

純系動物器官機能利用研究分野ホームページ
<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/junkei/index.html>



同窓生から

ヒューマニティあふれる理学部

(社)落語協会所属 噺家

三遊亭圓王(さんゆうていえんおう) 本名=廣岡 新

落語協会、昭和52年4月入門の同期生に、林家こぶ平と、先年亡くなった桂三木助がいる。両者とも父が有名な噺家のため「落語界のサラブレッド」と呼ばれて期待され、私は落語史上初の国立大学卒の噺家であっても、学歴など何の関係もない世界なので、単に「名古屋から来たコバ」。さらに協会内の騒動に巻き込まれたこともあって、真打昇進に三木助の倍の年数がかかってしまう。しかし世に神は存在するようだ。概して早く出世したヤツはあの世に旅立つのも早い。次はこぶ平の番である。楽しみに待つことにしよう。

必ずと言っていいほど聞かれるのが「科学をめざした者がなぜ噺家に?」という疑問である。簡単に言えば、趣味と仕事が逆になっただけのことであるが、自分が一極集中型ではなく、マルチタイプ人間であると判断し、自分自身の総合力を生かせる道とを考えてのことであった。現在の私が、落語の世界で成功しているとは、まだとても言える状態ではないが、少なくとも、地球科学の同級生の『酒・煙草・ギャンブル・女性に興味がなく化石が恋人』というような天職の者たちと競争しているよりは幸せな人生かもしれない。

名大入学に際し父から「学業はむろん、大学の『学風』というものを身につけることも大切である」という言葉をもらったが、なるほど、3年生で学部に進級した時に、それを感じるようになった。どんな偉い教授でも、まるで対等な人間関係のように「森下さん^{*1}」「糸魚川さん^{*2}」と、「先生」でなく「さん」づけで呼ぶように言われたことが、大変新鮮に思われ、リベラルでヒューマニティあふれる学部であることを実感した。すでに落語界入りを決意していた私は、学部にとつては良い学生ではなかったが、森下教授の「超法規的協力」を得て、無事卒業することができた。各分野の研究のすごさだけでなく、私のような者まで生み出してしまう名大理学部の包容力、寛大さに、大いなる誇りを持つものである。

(地球科学科1977年卒業)

*1 森下風(もりした・あきら)
元名古屋大学教授、故人。

*2 糸魚川淳(いとがわ・じゆんじ)
名古屋大学名誉教授。



留学生の目

日本に来て変わった私

素粒子宇宙物理学専攻博士課程後期1年

Murat Hudaverdi(ムラット・フダベルディ)

私はトルコから来たムラット・フダベルディです。日本の友だちは、私のことを日本の名前に当てはめて「村田」と呼びます。私は名古屋大学でX線天文学の博士課程に在籍しています。名古屋に来て3年になりますが、日本での生活や、日本の大学で学ぶことに少しは慣れてきました。



日本では大学の研究室が24時間いつでも使えるのがとても気に入っています。イスタンブールで在籍していた大学では、時間が来るとだれもが建物を出なければいけませんでしたが、日本ではどうしようもなく暑くて湿度が高く、とけてしまいそうに感じるような夏でも、夜の涼しい研究室で研究に集中することができます。

トルコにいる家族や友人は「日本に行ってからずいぶん変わった。特に物静かになった」と言います。最近私が実家に帰った時には、私の母いわく、体の臭いまで変わってしまったそうです。私はいつも大学の食堂でごはんを食べているので、ひょっとしたら私の細胞の中身が全部、日本人型に変わってしまったのかもかもしれません。私の日本人の友人によると、トルコ人は羊のような匂いがするらしいのですが、ひょっとしたらそれが魚の臭いになったのでしょうか。日本の食べ物では、納豆以外はどれも大好きです。

トルコの大学生にとって、日本へ留学することはそんなに一般的ではありません。多くの学生が、留学先としてアメリカやカナダ、ヨーロッパを選びます。トルコでは、私が日本で勉強しているというと驚き、日本の生活について尋ねてきます。私にとって日本語を勉強しておくことは、将来とても有益なことになるでしょう。私は、日本で勉強し、生活する機会を与えられてとても幸運に思っています。

(和訳:素粒子宇宙物理学専攻教授 芝井 広)



技術部だより

「なんてん」移設準備のために
技術部第二装置開発班金工室

河合利秀(かわい・としひで)



「なんてん」移設ポイントに立つ筆者

「なんてん」は素粒子宇宙物理学専攻の天体物理学研究室が南米・チリのラスカンパナス天文台に設置した電波望遠鏡である。この「なんてん」を現在地(標高2400m)から約700km北のアタカマ高地(標高4800m)へ移設する計画が今年10月にスタートする。作業は天体物理学研究室と技術部の共同で進められることになっており、この4月、私たちは現地状況を知るためにチリに飛んだ。

今回の目的の1つは、ラスカンパナス天文台で「なんてん」移設の技術的な問題点と天文台の工作設備を確認することだった。天文台には一通りの工作設備は揃っているもののいずれも小型で古く、工具も十分とは思えなかった。ただ工具はユーザーが準備するというルールになっているかもしれない。基本的な工具やドリルの刃は「なんてん」の観測小屋に十分ストックされているので、切削工具を少し持ち込む必要がありそうだ。

アタカマ高地のふもととの村から「なんてん」移設予定地までは車のアクセルを床まで踏み込み、1時間半ひたすら登る。途中、ボリビアに向かう道との分かれあたりから植物らしきものがなくなり標高4800mの平らな土地に出ると、そこが移設予定地だ。アタカマ高地は極寒の世界と聞き、完全冬装備を持っていったが、予想に反し、暑いというのが第一印象だ。太陽が照りつけている間は地表温度がグングン上昇し、逃げ水のような湿度もたつほどだ。ところが、一旦太陽が雲に隠れると、強風がすべてのものを冷やし、一気に気温が下がってしまう。私たち一行は1人も高山病にかからず、皆元気に歩きまわった。今回参加したメンバーは移設作業に中心的に関わることになるので、全員高地順応型であることが確認できたのも収穫だった。



研究トピックス

理学部関連部局で
21世紀COEプログラムに5件採択

名古屋大学の理学部関連部局では、昨年度と今年度合わせて5件が21世紀COEプログラムに採択されました。このプログラムは、「世界的な研究教育拠点の形成を重点的に支援することにより、活力に富み、国際競争力のある世界最高水準の大学づくりを推進する」ことを目的に昨年度から文部科学省がスタートさせたものです。

第1回の昨年度は、名古屋大学全体としては7件、うち2件が理学部関連から採択、今年度は大学全体としては6件、理学部関連では3件が採択されました。

21世紀COE採択テーマ

「等式が生む数学の新概念」

拠点リーダー:多元数理科学専攻教授 宇澤 達
構成部局:多元数理科学専攻

「宇宙と物質の起源:宇宙史の物理学的解読」

拠点リーダー:素粒子宇宙物理学専攻教授 福井康雄
構成部局:素粒子宇宙物理学専攻/物質物理学専攻(物理系)
/理工科学総合研究センター

「物質科学の拠点形成:分子機能の解明と創造」

拠点リーダー:物質科学国際研究センター教授 関 一彦
構成部局:物質物理学専攻(化学系)/物質科学国際研究センター/化学測定機器センター

「システム生命科学:分子シグナル系の統合」

拠点リーダー:生命理学専攻教授 町田泰則
構成部局:生命理学専攻/遺伝子実験施設/生物機能開発利用研究センター

「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」

拠点リーダー:地球水循環研究センター教授 安成哲三
構成部局:地球環境科学専攻/太陽地球環境研究所/地球水循環環境研究センター/年代測定総合研究センター

平成14年度採択 平成15年度採択

【研究会・学会スケジュール】

21世紀COE化学若手研究会

開催日: <無機化学若手研究会> 2003年11月14日(金)・15日(土)
 開催日: <有機化学若手研究会> 2003年12月12日(金)・13日(土)
 開催場所: <無機化学若手研究会> 名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー
 開催場所: <有機化学若手研究会> 名古屋大学共同教育研究施設2号館
 主催: 21世紀COEプログラム「物質科学の拠点形成:分子機能の解明と創造」
 問い合わせ: 吉村志緒里 理学部化学科COE担当事務
 sy@mbox.chem.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2486

第2回坂田・早川記念レクチャー

開催日: 2003年12月20日(土)
 開催場所: 名古屋科学館サイエンスホール(名古屋市)
 主催: 名古屋大学大学院理学研究科
 問い合わせ: 山下廣順 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 yamasita@u.phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3540

21世紀COE-RCMSコンファレンス

「物性化学の新展開(Frontier of Physical Chemistry on Molecular Materials)」
 開催日: 2004年1月13日(火)・14日(水)
 開催場所: 名古屋大学シンポジウム
 主催: 21世紀COEプログラム「物質科学の拠点形成:分子機能の解明と創造」
 問い合わせ: 阿波賀邦夫 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 awaga@mbox.chem.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2487

Conference on Sun Earth Connections

開催日: 2004年2月9日(月)~13日(金)
 開催場所: コナ・アメリカ
 主催: ジョンスホプキンス大学応用物理学研究所、名古屋大学太陽地球環境研究所
 問い合わせ: 上出洋介 太陽地球環境研究所 教授
 kamide@stelab.nagoya-u.ac.jp / TEL:0533-89-5183

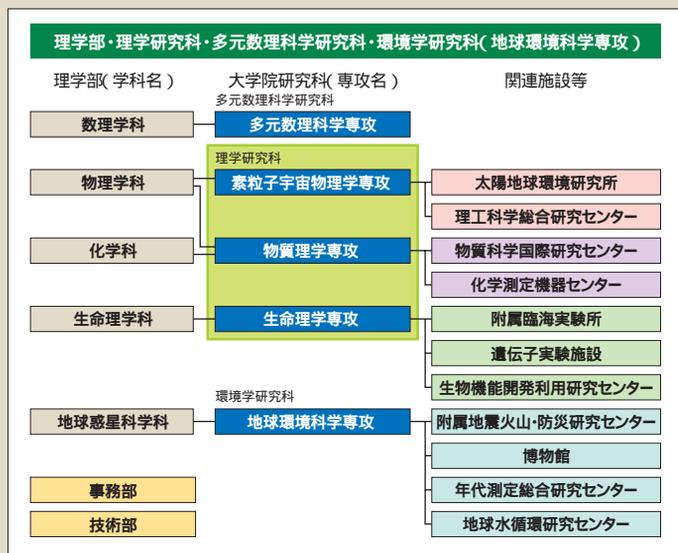
「プレート沈み込み帯におけるスロースリップイベントに関する国際シンポジウム」

開催日: 2004年3月16日(火)~18日(木)
 開催場所: 名古屋大学シンポジウム
 主催: 名古屋大学大学院環境学研究科 地震火山・防災研究センター
 問い合わせ: 木股文昭 名古屋大学大学院環境学研究科 教授
 kimata@seis.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3040

日本天文学会春季年会

開催日: 2004年3月22日(月)~24日(水)
 開催場所: 名古屋大学東山地区(名古屋市)
 主催: 日本天文学会
 問い合わせ: 佐藤修二 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 sato@z.phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2923

組織図



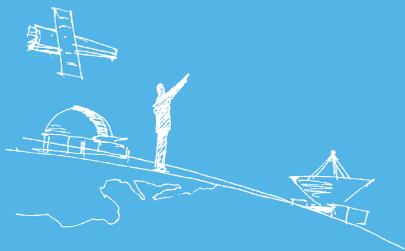
編集だより

「時を語るもの」で紹介した平田先生が使われていた天秤の写真撮影に立ちあった。上村教授から「約40年も前の天秤」との説明を受けた時には、保管状況を心配したが、実物を見て撮影を即決した。平田先生の天秤として今でも大切に保管されており、先生がいかに慕われ、尊敬され、憧れの的であったかが伝わってきた。ご協力いただいた上村教授、ありがとうございました。(斉藤)

座談会「見えない宇宙を観る」では、WMAPの観測で、この宇宙が永遠に膨張することを知って非常に驚いた。門外漢の私としては、膨張と収縮とを繰り返す振動宇宙を勝手に想像し願っていた。理由は2つ、膨張から収縮に転じるときの、自然法則の大転換に興味があること、それから輪廻転生する世界のほうが心やすらかに過ごせそうだからである。(平原)

今回の号では宇宙をくまなく探求したいという天文学者たちが登場したが、私は宇宙のどこかに地球上の憂さから逃げこめるユートピアのための余地を残しておいてほしいと願う。(中西)

「宇宙は137億年前にできた」と聞くと、「142億年前は何もなかったのか」という素朴な疑問がわく。「宇宙は膨張している」と知ると、「いちばん外側の5メートル先はどうなっているのか」と素直に考えてしまう。座談会の質疑応答のときに尋ねてみたら、「調べようがないから調べない」という明確な答えが返ってきた。ああすっきりした。(古賀)



理 *philosophia* No.5 October 2003
 2003年10月15日発行



表紙説明(上から)
 南アフリカの1.4m光赤外線望遠鏡RSF/SIRIUSでとらえた、りゅうこつ座の星形成領域NGC3603。若い大質量星からの紫外線によってまわりの星間物質中の水素原子が電離して輝いている。
 X線天文衛星ASTRO-E2(Ux研)、南アフリカの光赤外線望遠鏡(Z研)、赤外線天文衛星ASTRO-F(Uir研)、チリの電波望遠鏡「なんてん」(Ae研)。



編集発行 / 名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会
 〒464-8602 名古屋市千種区不老町
 TEL 052-789-2394 FAX 052-789-2800
 E-mail kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp
 URL http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/index.html



制作 / 株式会社電通



ご意見、ご感想をお待ちしています。
 本誌の原稿執筆や取材などにご協力いただける方を求めています。
 広報委員会までご連絡ください。なお、ご投稿などの採否については当委員会にお任せください。次号は2004年4月発行の予定です。



- 広報委員 大峯 巖(研究科長)
 近藤孝男(評議員)
 佐藤正俊(評議員)
 中西敏浩(数理学科)
 福井康雄(物理学科) 委員長
 平島 大(物理学科)
 菊川芳夫(物理学科)
 斉藤真司(化学科)
 森 郁恵(生命理学科)
 古賀章彦(生命理学科)
 平原靖大(地球惑星科学科)
 鈴村和夫(事務長)

・本誌記事、写真等の無断複写、転載を禁じます。
 ・本誌は再生紙および大豆油インクを使用しています。
 (大豆油インクとは、石油系溶剤にかわり大豆油を使用したもの。揮発性有機化合物が大気中へ排出されるのを減少させ、また廃棄物の生分解がはやく、再生紙化も容易で環境にやさしいインクです)