

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2010年12月1日 No.209

特集 理論研究部の歩き方

～国立天文台「理論研究部商店街」で宇宙ショッピング!～



- 研究トピックス 省エネ世界一のGRAPE-DR
- 「はやぶさ」の大気圏再突入の観測
- 連載 Bienvenido a ALMA! アルマ バンド10受信機の開発
- シリーズ分光宇宙アルバム09「流星のスペクトル」

12

2010

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

研究トピックス

省エネ世界一のGRAPE-DR
——牧野淳一郎（天文シミュレーションプロジェクト）

05

特集 理論研究部の歩き方

～ NAOJ理論研究部商店街・宇宙ショッピングガイド～

- | | |
|--------|-----------------|
| 富阪幸治 | 「ギャラクシーカメラ」 |
| 牧野淳一郎 | 「フルーツショップ・葡萄」 |
| 吉田春夫 | 「力学書房」 |
| 梶野敏貴 | 「劇団そら」 |
| 小久保英一郎 | 「京風焼物・地球堂」 |
| 中村文隆 | 「黒猫印の金魚店」 |
| 大須賀 健 | 「パチンコ・黒洞ホール」 |
| 工藤哲洋 | 「磁気治療院・パワースポット」 |
| 固武 慶 | 「天体花火・超新星菊屋」 |
| 濱名 崇 | 「ハイパーめがね」 |
| 町田正博 | 「三鷹星アクセサリー工房」 |

21

おしらせ

- 「はやぶさ」の大気圏再突入の観測

22

連載 Bienvenido a ALMA ! 07回

アルマ バンド10受信機の開発

23

平成23年度共同開発研究等の公募のおしらせ
人事異動
New STAFF

- 編集後記
- 次号予告

24

シリーズ 分光宇宙アルバム09

流星のスペクトル——渡部潤一（天文情報センター）



表紙画像
“省エネ世界一”を達成した重力多体問題専用計算機 GRAPE-DR。

背景星図（千葉市立郷土博物館）
渦巻銀河 M81 画像（すばる望遠鏡）



忘年会で「モウー杯」! 師走の夜空に、ほろ酔い加減のおうし座。 イラスト/石川直美

国立天文台カレンダー

2010年11月

- 2日(火) 光赤外専門委員会/電波専門委員会
- 6日(土) 岡山天体物理観測所秋の観望会
- 9日(火) 太陽天体プラズマ専門委員会
- 10日(水) 平成22年度普通救命講習
- 16日(火) 職員みんなの天文レクチャー
- 17日(水) 総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 21日(日) サイエンスアゴラ2010「国立天文台講演会」/すばる望遠鏡公開講演会2010/スターアイランド2010 (VERA小笠原観測局特別公開)
- 22日(月)~24日(水) 第6回天文学の普及をめざすワークショップ
- 25日(木) 平成22年度永年勤続者表彰式
- 26日(金) 運営会議
- 29日(月) 三鷹地区防災訓練
- 30日(火) 研究計画委員会/天文データ専門委員会

2010年12月

- 6日(月)~8日(水) プロジェクトウィーク
- 10日(金) 職員みんなの天文レクチャー
- 13日(月) 総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 14日(火)~17日(金) すばる秋の学校
- 18日(土) アストロノミー・バフ
- 27日(月) 先端技術専門委員会

2011年1月

- 7日(金) 理論専門委員会
- 12日(水) 運営会議
- 14日(金) 科学記者のための天文学レクチャー
- 19日(水) 総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 25日(火) 電波専門委員会

省エネ世界一の GRAPE-DR



牧野淳一郎

(天文シミュレーションプロジェクト)

Little Green 500 トップ

この記事を書いている11月27日現在では、すでに世界一ではないので若干ニュースというにも時宜を逸した感があるが、今年6月に発表されたLittle Green 500リストで、三鷹キャンパスに設置されたGRAPE-DRシステムが第1位となり、世界でもっとも電力当り性能が高い計算機と認められた。

計算機の性能のランキングとしては、HPLベンチマークでの性能によるTop 500が有名だが、Green 500というものが数年前に始まった。これは、Top 500にリストされる計算機について、消費電力当りの性能でランキングするものである。さらに、Little Green 500は、18か月前のGreen 500リストなら掲載される性能のマシン、つまり、若干規模の小さい計算機まで範囲を広げたものである。GRAPE-DRは、この、より範囲を広げたリストで首位となった。

GRAPE と GRAPE-DR

GRAPE-DRは、東京大学・国立天文台で1989年から開発・利用を続けてきた重力多体問題専用計算機GRAPEシステムの最新のものである。GRAPEは、1988年に当時野辺山の助教授であった近田が、「理論家も計算機を作るべし」という小文を書き、その例として重力多体問題専用機の概略を述べたことから始まっている(図1)。基本的な発想は、

図に示すように粒子間の重力相互作用計算をハードウェアパイプライン★で行う第1号機(図2)、第2号機の実際開発は、当時東大の大学院生で、現在は千葉大学の教授となっている伊藤智義が行った。3号機以降は専用LSIでパイプラインプロセッサを作り、それを多数並列動作させることで高い性能を実現した。1995年に完成したGRAPE-4で1 Tflops★、2002年のGRAPE-6では64 Tflopsと、当時の最高速のスーパーコンピュータを上回る性能を1/100以下のコストと消費電力で実現した(図3)。

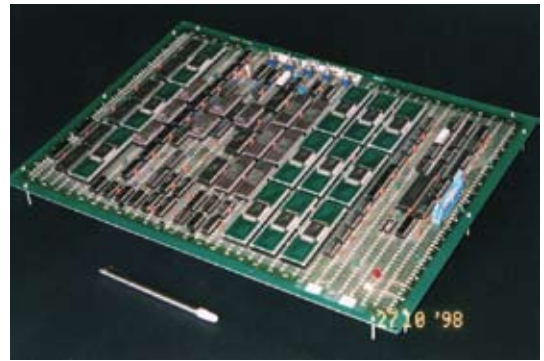


図2 GRAPE-1

GRAPE-DRでは、従来のGRAPEとは違って専用化したパイプラインプロセッサを作るのではなく、非常に簡略化したものではあるが、プログラム可能なプロセッサを1チップに多数集積するアプローチをとっている。これは、半導体開発の初期費用の増大に対応するためである。重力多体問題だけでは、10億円近くなる初期費用を賄うだけの大型予算の獲得は困難になった。このため、重力計算以外のこともできるようにプログラ

できるよ

newscope <用語>

▶ ハードウェアパイプライン

例えば重力計算のようなものを、計算する順番通りに演算器をつないで、流れ作業で実行する回路。図1の近田による図にその構成が示されている。

newscope <用語>

▶ flops (フロップス)

計算機の速度の単位。1秒間に加減乗除の四則演算を何回実行するか、という数字。通常は四則といっても加減乗の3演算をそれぞれ1とし、除算や、平方根の計算等は適当に換算する。Tflops (テラフロップス) は1秒間に1兆回の計算速度である。

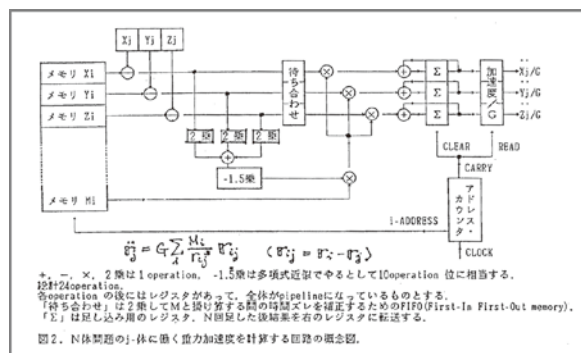


図1 近田による重力多体問題専用計算機のブロック図。

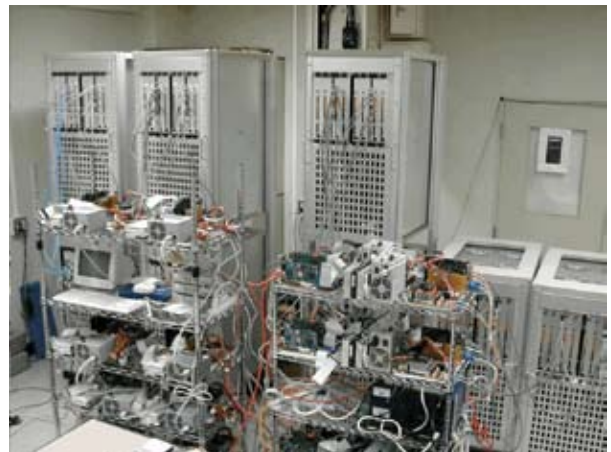


図3 GRAPE-6

ム可能なプロセッサにしたものである。

もちろん、プログラム可能にすることで性能は大きく低下する。具体的には、GRAPE-6では、250 nmルール、およそ800万トランジスタで30 Gflops、3 Gflops/Wの性能の実現したのに対して、GRAPE-DRではトランジスタ数25倍、クロック周波数5倍だが性能は理論ピーク性能で400 Gflopsにしかならず、プログラム可能にしたために10倍近く損をしている。

しかし、それでも、同じ半導体技術で作った汎用プロセッサに比べるとトランジスタあたりの性能は100倍近くになるので、開発することに十分意味はあると考えた。

GRAPE-DRのハードウェア自体は2004年度から5年間の振興調整費で開発した。その後、ソフトウェアの改良を進め、今年度初めにはTop 500で使われるHPLベンチマークでもある程度の効率ができるようになった。その成果が LittleGreen 500での1位となったものである。実際の、電力あたりの性能は815 Mflops/Wで、最新の汎用プロセッサに対して数倍程度である(図4)。

電力効率

GRAPE-DR、あるいはそれ以前のGRAPEで電力あたりの性能が高いのには2つの理由がある。ひとつは、プロセッサチップから浮動小数点演算器★以外の回路を極力排除していることである。通常のプログラム可能なマイクロプロセッサでは、数千万個のトランジスタを使ったプロセッサで4程度の演算器を持つ。しかし、演算器に必要なトランジスタは10万個程度なので、99パーセント以上のトランジスタはプログラムの実行制御やデータの流れの制御に使われている(これは22年前に近田が指摘したことである)。専用化によりこの99パーセント以上の部分を、ほとんど無くすることができる。もうひとつは、プロセッサとメモリ間のデータのやりとりをなるべく少なくできるような計算方法を開発し、それに適したアーキテクチャにすることである。LSIチップ間の通信は、内部でのトランジスタ間の通信に比べて何桁も大きな電力を消費する。しかし、普通の計算機では、演算性能に対してなるべく高いメモリ転送性能



図4 GRAPE-DR

を持たせるようにしている。これは、元々99パーセント以上が無駄なのでこの部分が気にならないからでもある。しかし、99パーセントの無駄をとってしまうと、メモリとの通信がネックになる。アルゴリズムを改良することで、メモリとの通信の必要な量を減らし、それに適したハードウェアにすることでコスト、消費電力を下げている。

GRAPE・GRAPE-DRの今後

現在、GRAPE-DRは国立天文台でシミュレーション研究に使われている。一部は共同利用システムとして、また、一部は理論部・CfCAで使われている。従来のGRAPEや汎用並列マシンに比べると、10倍以上の性能向上を実現しており、これから銀河形成・惑星形成等の研究で大きな成果を挙げるものと期待している。

計算機は数年で陳腐化するので、GRAPE-DR後継の開発も始めている。これは、GRAPE-DRのようなプログラム可能なもの、従来のGRAPEのような専用化したものの2本立てで進めている。といっても、プログラム可能なほうは予算申請はしているがまだついていない。専用化したものは、「構造化ASIC」という、完全に専用化したカスタムLSIほどの性能はないが、その代わりに数千万の下の方の初期コストで開発可能なLSIを使ったものを昨年度からの予算で開発している。こちらは、50~100 Gflops/Wと、現在の最新の汎用プロセッサに比べると100倍前後の電力あたり性能を実現することを期待している。

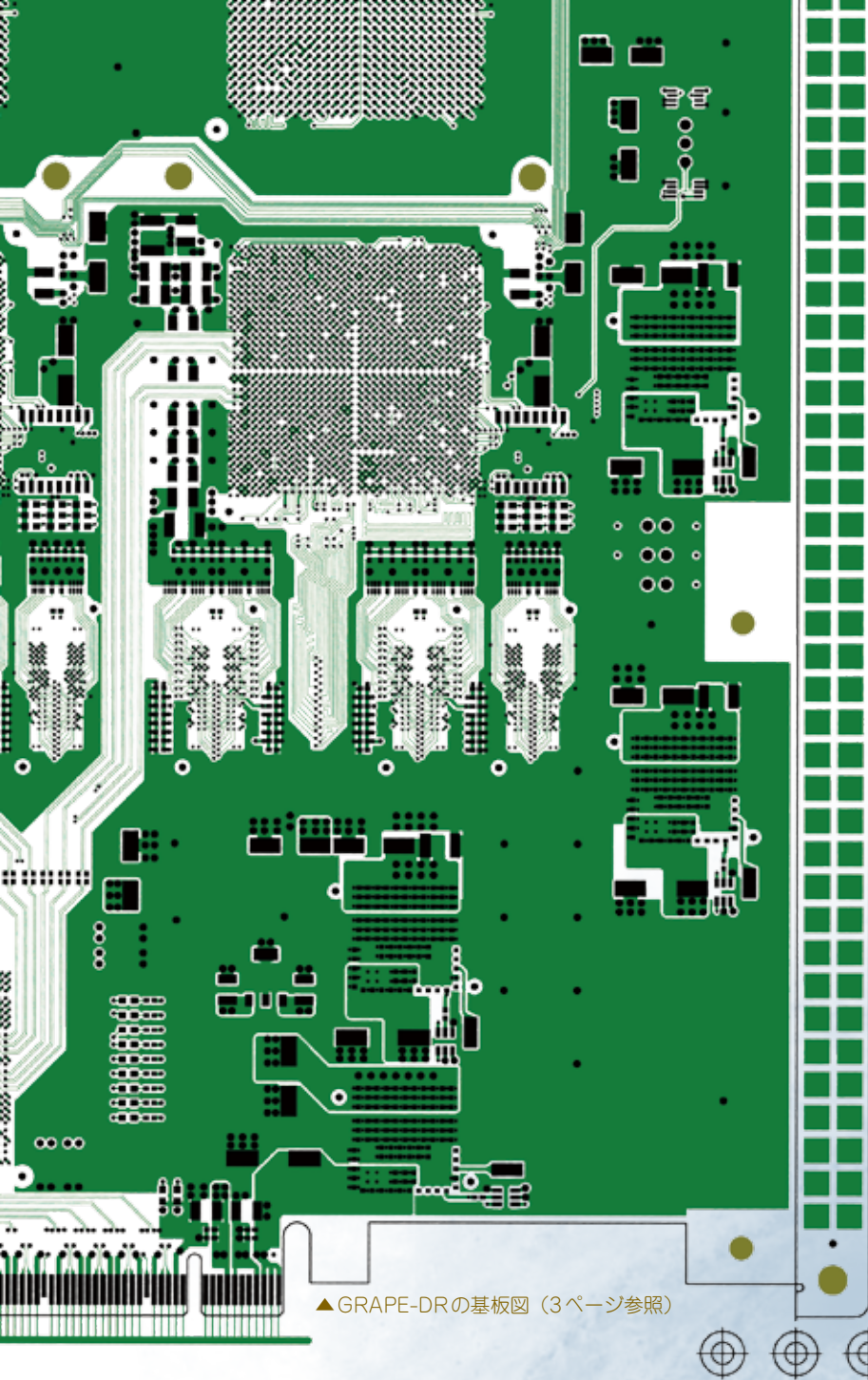
newscope<解説>

▶浮動小数点演算器

計算機の中で、実際に加減算や乗算を行う回路。数値計算に用いられる浮動小数点数(3.142592×10⁵のような、有効数字と桁数での表現)どうしの加減算や乗算を実行する専用回路。最近のマイクロプロセッサでは、プロセッサコアごとに加算回路が2個、乗算回路が2個あり、プロセッサコアが最大8個程度1チップに集積されている。

参考文献

- 伊藤智義: 2007, スーパーコンピュータを20万円で作る, 集英社新書.
- Sugimoto, D., et al.: 1990, A special-purpose computer for gravitational many-body problems, *Nature*, **345**, 33-35.
- Makino, J., and Taiji, M.: 1998, Special Purpose Computers for Scientific Simulations - The GRAPE systems, John Wiley and Sons, Chichester.
- Makino, J., Hiraki, K., Inaba, M.: 2007, GRAPE-DR: 2-Pflops massively-parallel computer with 512-core, 512-Gflops processor chips for scientific computing, *Proceedings of SC07(Online)*, ACM.



▲GRAPE-DRの基板図 (3ページ参照)

NAOJ 理論 研究部の 商店街

宇宙 ショッピング ガイド

イラスト／藤井龍二



●ようこそ、国立天文台 (NAOJ) 理論研究部商店街へ！ 天文学の理論の研究現場というと、ちょっと近寄りたいたいかも……、とってしまう読者の方々も多いと思います。でも、いったん足を踏み入れてみると、個性的で味わい深い研究者が、自由な発想と緻密な論理、そして独創的な計算機を駆使して、日夜、宇宙の謎解きに挑んでいる“熱い”世界なので

す。研究テーマや手法が十人十色なのも、理論研究部ならではのユニークなところ。そこで今回は、理論研究部の11人の研究者に、誌上でお店を開き、それぞれの研究を自慢の商品にたとえて紹介してもらいます。名づけて「NAOJ理論研究部商店街・宇宙ショッピングガイド!」。さて、どんなお店があるのかな???



Photo Shop 赤外線/電波/証明写真

店主 富阪幸治

ギャラクシーカメラ

シミュレーション天文学

赤外線写真、電波写真なんでもお任せください!

星をスーパーコンピュータの中に作って観測的可視化カメラで撮影します。原始星ができる直前までフォーカス中!

●研究対象と手法

銀河の中では、星間ガスから密度の高い分子雲コアを経て星が生まれる、星が終末を迎えて爆発する、外層を放出するといったように、物質の循環が見られます。銀河の中のこれらの過程に広く興味を持って研究してきましたが、現在は分子雲から星や惑星が形成される過程を研究対象としています。

星形成では基本的に自分の重力でガスが集まって密度が上がって行くわけですが、圧縮によってガスが得た熱を輻射で冷却し、分子雲が持っている磁場の力を借りて一部の物質を分子流、光学ジェット の形で外界に捨てるといった外界との相互作用の結果、恒星や惑星系ができると考えられています。このような複雑なプロセスを明らかにするためには、輻射と自己重力を考慮した磁気流体力学などを取り扱わねばなりません。これらを数値シミュレーションを用いて研究しています。

●研究概要と成果

星形成プロセスについて、分子雲コアから原始星や星への進化をシミュレーションによって解明することに取り組んできました。輻射や自己重力の効果を取り入れた磁気流体力学方程式を解くことで、等温収縮期から第1コア期の進化が明らかになってきました。磁場による角運動量輸送により分子流が生じること、磁場と重力不安定による渦状構造によって第1コア内の角運動量が輸送され進化

が進むこと、進化の道筋が初期の磁場強度と回転速度によって決まることなどが分かってきました。

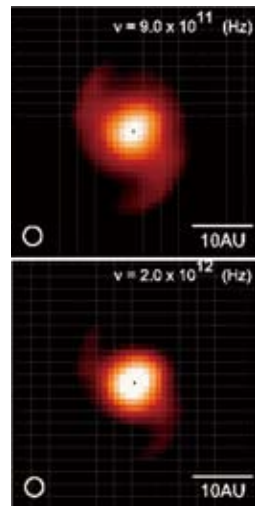
理論と観測を比較検討することは、理論的なモデルの正当性の検討に不可欠です。そのために、計算機シミュレーションの結果をもとに、分子線や星間塵熱輻射などの観測手段で「天体観測」した場合の予測をし、それを実際の観測結果と比較する必要があります。このようなシミュレーションの結果の観測予測を「観測的可視化」と呼んでいます。輻射が動的な進化に直接効いていない場合には、磁気流体力学方程式をまず解いて、1つの時刻を取り出して、(非局所熱平衡) 輻射輸送方程式を解くことで「観測的可視化」を実現します。これは業界用語でポストプロセスと呼びますが、これですらスーパーコンピュータの力を借りなければ解けない大変な問題です。

●最新の研究

星形成過程でガスが超音速で飛び出す双極分子流の起源については、磁場で直接駆動されるとする説と、同じくガスが超音速で飛び出す現象ながら、より高速で狭く絞られたジェットが周りの分子ガスを押して生じるという(エントレインメント) 説の2つがありました。自己重力を含んだ磁気流体力学方程式でシミュレーションすると磁気駆動で分子流が形成されますが、この結果について星間塵の熱輻射の偏波(これは磁場の方向に依存します) がどれだけ観測されるのかに注目して観測的可視化シミュレーションを行ったところ、観測される偏波分布から、双極分子流の起源が磁場駆動かエントレインメントかを定める方法が分かりました。アルマ望遠鏡でこれを測るのが楽しみです。

●今後の研究

星形成は、等温収縮期、第1コア期を経て、さらに、中心の原始星とその周囲の円盤からなる系へ進化します。この円盤



900GHz(上)と2THz(下)連続波で見た第1コアの様子。上はアルマ望遠鏡のバンド10での観測予測。

は降着で中心星を太らせる役割もありますが、分裂によって連星を生じたり、惑星の材料にもなり得る可能性があります。重要なことがこの中で起こっていると考えられます。このような系の進化を磁気流体力学シミュレーションで明らかにした上で、これがどのように観測されるのかを研究する必要があります。この天体は周囲をガスエンベロープに覆われているので、アルマ望遠鏡のサブミリ波で観測が一気に進むと考えられますが、それが天体のどのような実相(構造)を表しているのかを突き止めるのが目下の緊急の課題です。



正確なシミュレーション撮影技術で星形成のありのままの姿を皆様にお届けします。

研究対象
星形成、星間雲、超新星残骸

研究概要
星形成過程の進化の解明と観測的可視化

最近の研究
双極分子流の起源

今後の研究
シミュレーションにもとづく原始星円盤系の観測予測



店主 牧野淳一郎
シミュレーション天文学
硬い果物から柔らかい果物
まで、品数に自信あり!

店長特選の GRAPE をふんだんに盛った大規模シミュレーションで、宇宙の様々な構造の形成・進化を研究しています。

●研究対象と手法

宇宙における、主に重力による構造形成の過程を対象にします。対象は惑星、恒星から星団、銀河、ダークマターハロー、銀河団、宇宙の大規模構造と幅広く、それらに共通する理解の枠組みの構築を目指しています。

重力は、惑星形成から宇宙の大規模構造まで、あらゆる空間スケールでの天体の構造計算を支配しています。重力による構造形成の研究には、高速計算機による大規模シミュレーションが重要なツールになります。これは、構造形成が非線形な現象であるため解析的な研究が困難であること、また多くの場合に球対称の近似も無理で3次元性が重要なため、大規模な計算が必要になることによります。このため、シミュレーション用の計算機ハードウェアの開発から、その上でのシミュレーションプログラム、シミュレーションアルゴリズムの研究開発、それらを使った天体現象の研究を総合的に進めています。

●研究概要と成果

自己重力による構造形成は、地上の物質の物理学ではあまり取り扱われない、宇宙を特徴づける現象です。惑星から銀河団にいたるあらゆる天体で、自己重力がその形成・進化に本質的な役割を果たしています。そのような、重力による構造形成の過程をシミュレーションするため

の計算機ハードウェア、ソフトウェアも開発しながら、星団、銀河といった様々な天体の形成と進化を研究しています。

20年間にわたって、世界の計算機開発のトレンドの先をいく高性能なシミュレーション用計算機を開発してきました。それらは世界中で惑星形成、星団進化を始めとして様々な研究に使われてきました。我々のグループによる研究としては、球状星団の力学進化、ダークマターハローの構造、銀河中心での星団の力学進化、銀河中心での巨大ブラックホールの少数多体系といった様々な問題について研究を進めてきています。

●最新の研究

計算機ハードウェアでは、現在の最新鋭システムである GRAPE-DR が、2010年6月の Little Green 500 リストで第一位になり、世界でもっとも電力効率の良い計算機と認められました(3ページ参照)。これらの計算機や、天文台のスーパーコンピューターも使っている様々な研究をしています。ダークマターハローについての最近の研究(石山智明さんによる)では、もっとも質量が小さい、地球くらいの質量のダークハローでは、中心密度が非常に高くなっていて、活発にガンマ線を出している可能性があることがわかりました。

●今後の研究

GRAPE-DR はできたので、次世代システム (GRAPE-9) の開発を始めています。GRAPE-DR ではプログラム可能な計算機システムを開発しましたが、なかなかそういうことができる規模の予算獲得はできないので、今回は構造化ASICを使った専用パイプラインシステムです。GRAPE-DR の開発と並行して進めた計算機の研究によって、これまでは非常に計算量の多い方法しか使えていなかった惑星形成や星団進化の研究にも、高速なアルゴリズムが使える目処がついてきたので、そのような高速アルゴリズムに専



地球質量ダークマターハローの構造(石山智明さん提供)。上は、現実的な初期ゆらぎをいれたもの。下は、スケールフリーのべき乗ゆらぎの場合。現実的なゆらぎでは、小さいゆらぎがないため上の図のようなスムーズな構造ができる。この場合の方がハローの中心密度は高くなる。

用化したシステムにすることで高い実効性能を小規模なシステムで実現し、惑星形成・星団進化・銀河形成等の研究をさらに進めたいと考えています。



世界のどこにも真似ができない、独自製法で世界一の計算機開発、世界一の研究を進めます。

研究対象
宇宙の様々な構造の形成・進化

研究概要
自前の計算機での大規模シミュレーションで、構造形成についての新しい理解を構築

最近の研究
GRAPE-DR とマイクロハローの研究

今後の研究
GRAPE-DR の次世代システム「GRAPE-9」の開発



古本 力学書房

店主 吉田春夫
力学系の可積分性の研究
解けるか解けないか、それが問題だ!

掘り出し物の力学全集を紐解き、力学系の可積分性の判定条件やシンプレクティック数値解法を研究しています。

●研究対象と手法

太陽系内の惑星運動は2体問題と呼ばれる解析的に解けます。ところがもし太陽が2つあると、その周りの軌道運動は3体問題となり、楕円軌道のような軌道にはならずカオス軌道となります。2体問題はなぜ楕円軌道のように軌道が確定し、3体問題以上になるとなぜカオス軌道となるのか？ つまりどのような力学系が「解析的に解けるか＝可積分となるか」を明らかにすることが、この古書店の店主のほとんどライフワークになりつつある仕事です。既に30年以上の実績があり、店主曰く、それなりに国内外での知名度もあるとのこと。

研究は、ノート、コピー紙の裏、鉛筆、ボールペン等の古典的な「理論研究者」の必携品がメインの道具です。あと国内外の仲間との共同研究を容易にしてくれる電子メール、web検索による情報収集、それにMathematica等のコンピュータの非数値的利用等のモダンテクノロジーも大事な道具です。スーパーコンピュータには今のところ縁が無いとのこと。ガウスやポアンカレが発見していても不思議はない真理の探求が目的のため、店構えも古書店としたようです。

●研究概要と成果

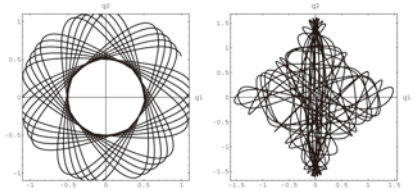
三角関数と指数関数は複素関数として見れば同じものです。同様にニュートンの運動方程式を複素変数で考えると、実数だけでは見えないことが、いろいろ見

えてきます。その一例として解が解析的に求められるか否か、つまり可積分となるか否かが具体的に判定できるようになってきました。1980年代以降のことです。詳細は省きますが、店主がこれまでに販売した中で売れ行きの良い商品の一つが、この可積分性の必要条件を、ある2行2列の行列の固有値から判定できることを示したものです。一時は一世を風靡したとのこと。

また副業として、保存力学系の特徴を最大限活かした運動方程式の数値解法を販売したこともあります。1990年発売の単一の商品で、これまでの売り上げ総数730部(=トムソン・ロイター社 Web of Science による2010年11月中旬の被引用数)。これだけの売り上げは国立天文台販売商品のトップテンに入る可能性もある、と店主のオヤジは時々一人でつぶやいています。

●最新の研究

2体問題のような保存力学系では全エネルギーが保存されます。この意味で全エネルギーは保存量と呼ばれますが、それ以外に運動量、角運動量を保存する力学系もあります。保存量がたくさん存在することが可積分となるための条件です。また必要以上に保存量が存在する系を超可積分系と言います。2体問題は実は可積分であるだけでなく超可積分でもあるのです。超可積分系では有限に留まる軌道は常に周期軌道になります。店主のオヤジは、系が超可積分となるための必要条件をポーランドの2人の研究者と共に2008年に見つけて販売を開始しました。このような一般性を持つ超可積分性の必要条件が売りに出されたのは過去200年でこれが初めてのことです。また2010年夏に発売した商品では、この必要条件が新たな超可積分系を見つけるのに真に役立つこと示しました。こんなに強力に役に立つ必要条件是滅多にありません。これホントです、とは店主の言。



左：解ける問題の軌道。右：解けない問題の軌道。

●今後の研究

力学系は可積分系と非可積分系に分けられます。その可積分系となるための強力な必要条件が21世紀初頭になって初めて得られたため、可積分系の完全リストの作成という野望が現実味を帯びてきました。ここで完全リストとは、例えばメンデレーフが発見した元素の周期律表のようなものです。もちろんその完全リストを完成したことで、発見者以外の誰が喜ぶかを常に意識しておく必要があります。つまり商品を買ってくれる客のことです。しかし科学の歴史を振り返ると、純粋な知的好奇心に基づく発見は、後世にほとんど全てその確実な応用例を見い出しています。その理由はおそらく知識欲が人間の持つ3本能(生きたい、知りたい、仲間になりたい)の一つだからでしょう。本能に強く訴える商品は常に買い手があると。さて、どうなることやら。

研究対象
力学系とその数値解法(対象は物理的なものではなく数理的なもの)

研究概要
解けるか解けないかが、2行2列の行列の固有値の計算でわかる！これ、すごくない？

最近の研究
超可積分性の必要条件

今後の研究
可積分ポテンシャルの完全リストの完成に向けて



格調：Complexifying the equation simplifies the problem / 方程式を複素化(複雑化)すると問題は簡単になる。



店主 梶野敏貴
宇宙論と元素の起源論
時空を自由に翔る舞姫を
ご覧ください!

素粒子・暗黒物質・暗黒エネルギーの正体と性質を突き止め、宇宙進化の謎と元素の起源を解明しましょー!

● **研究対象と手法**

素粒子から宇宙までを対象にします。量子論が支配する時空と元素の起源を解明し、物理素過程から組み上げて、相対論が支配する宇宙・銀河・星および生命の誕生・形成・進化過程を解き明かします。

私たちの研究道具は頭脳、情熱、そして好奇心です。コンピュータも重要な研究手段です。宇宙開闢から現在に至るまでの宇宙の進化は、みずからの尾を飲み込むウロボロスの蛇のように、どこまでもミクロな世界の法則に支配されています。どのように時空の対称性が破れ、素粒子が誕生し、火の玉宇宙となったのか。素粒子や元素が宇宙ゆらぎの成長と構造形成にどのように関わっているのか。生命や太陽系を構成する元素はどこでどのように作られたのか。これらの謎を解き明かすために理論モデルを構築し、コンピュータを用いてさまざまな宇宙・天体現象を予測し、観測と実験による検証を行います。国内外のすべての共同研究者が「劇団そら」の団員です。

● **研究概要と成果**

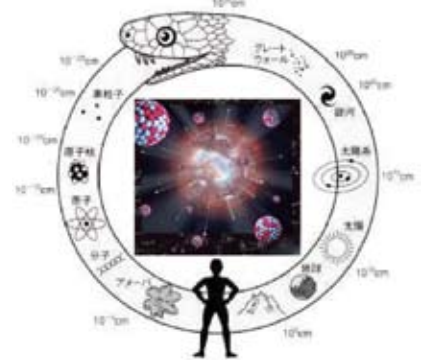
私たちは、素粒子と4つの基本力から全宇宙を作りあげることができると考えています。ニュートリノは、エネルギー

保存則の辻褄合わせのための「脇役」としてデビューしましたが、超新星1987Aからのニュートリノを人類が捉えて以来、超新星爆発、元素合成、宇宙の大構造形成など宇宙進化のさまざまな局面で重要な役割を果たすことが明らかにされ、「プリマ」としての地位を確立しました。「劇団そら」では、プリマである素粒子(ニュートリノ・レプトン・クォーク)、プリンシパル(光子などのゲージ粒子とヒッグス粒子)、暗躍するブラックスワン(暗黒物質と暗黒エネルギー)の性格と特徴を理解し、「宇宙進化」と「元素合成」という総合舞台芸術を作り上げる研究を行っています。

研究成果としては、力の統一理論が予言する超対称粒子を暗黒物質とみなすことでビッグバン元素の謎が解けることを示し、余次元宇宙や初期宇宙磁場およびニュートリノの非等方ストレスから宇宙背景放射ゆらぎが作り出されるメカニズムを解明しました。W.A. ファウラー(ノーベル物理学賞受賞)の研究以来半世紀以上の間の謎であったP元素の起源は超新星の光核反応であり、R元素が示すユニバーサリティーは超新星ニュートリノで説明できることを明らかにしました。素粒子物理学の大問題である未知のニュートリノ振動と温度を、元素の起源論および銀河の化学進化論から決定する理論モデルを構築中です。

● **最新の研究**

太陽系で最も希少な同位体元素タンタル180(崩壊寿命は宇宙年齢の10万倍以上)の生成起源が超新星ニュートリノにあることを、超新星元素合成モデルとレアメタルの量子力学計算を用いて解明しました(国立天文台ニュース2010年7月号)。地球生命を構成するアミノ酸の左右非対称・キラリティーの起源が、原始中性子星の磁場にさらされた星・惑星形成領域のガス雲中での元素と超新星ニュートリノとの相互作用にあり、これは地球



マクロな宇宙の進化や超新星爆発のダイナミクスも、みずからの尾を飲み込むウロボロスの蛇のように、元素合成などミクロな世界の法則が支配しています。(ウロボロスの蛇の図: 東京大学総合研究博物館ニュース「Ouroboros」第29号より)

生命に限った特質ではなくユニバーサルであるとする宇宙起源説を提唱しました(ニューサイエンティスト2010年5月15日号)。

● **今後の研究**

宇宙の加速的膨張は天文学最大の謎です。アインシュタインの宇宙項 Λ (暗黒エネルギー) $=0$ である5次元宇宙で暗黒素粒子の重力質量・エネルギー交換を許すモデル(暗黒物質一元論)を提案しましたが、今後も謎の解明に挑みます。時間・空間・物質の起源は何でしょうか。素粒子クォークと核力の基礎理論であるQCD(量子色力学)から原子核を作り、宇宙での元素合成過程を解明し、素粒子・原子核・宇宙・生命の統一的な起源論の構築を目指します。

研究対象 Musical
 宇宙、超新星、元素、アミノ酸など

研究概要
 素粒子と元素の起源を解明して宇宙の進化論を構築

最近の研究
 太陽系レアメタルの起源解明、アミノ酸キラリティー宇宙起源説の提唱

今後の研究
 加速的宇宙膨張の解明と、QCD(量子色力学)から元素の起源論の構築を目指します。



日本の伝統ミクロメソッドを用いて、宇宙(そら)を自由に翔る舞姫たちに宇宙進化の謎を解かせます。

焼物



京風焼物 地球堂

店主 小久保英一郎

惑星系形成論

ちりをかためて地球を作ります!

星くずの宇宙土に重力軸薬を用いてさまざまな天体を焼きながら、太陽系や地球、月の起源を解き明かします。

●研究対象と手法

地球をはじめとする太陽系の惑星、その衛星と環、そして小惑星や彗星などの小天体を対象にします。さらに最近発見された多様な太陽系以外の惑星系、系外惑星系までを扱います。

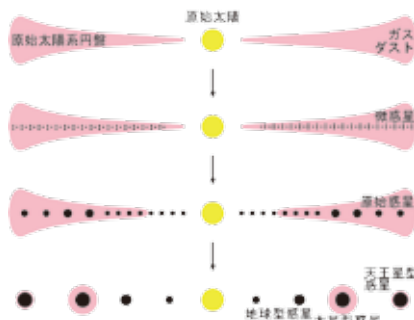
太陽系は今から約46億年前に誕生したと考えられています。このときにどのようにして太陽系が形成されたのかを明らかにするために、スーパーコンピュータを用いたシミュレーション（模擬実験）を行い、天体物理学の理論を駆使しながら、形成シナリオを構築していきます。このシミュレーションは文字通りコンピュータの中に宇宙を再現し、そこで惑星を作る実験を行うというものです。

●研究概要と成果

惑星系は恒星の周りのガスとダストからなる円盤から形成されたと考えられています。この円盤から太陽系や系外惑星系がどのように形成されるのかを理論的に明らかにすることが目的です。この研究から、太陽系のような惑星系が普通なのか、地球のような惑星は他にもあるのか、などがわかるようになると期待されます。

太陽系の惑星は3種類に分けられます。地球のような岩石と鉄でできた地球型惑星（水星、金星、地球、火星）、木星のようなガスでできた木星型惑星（木星、土星）、天王星のような氷でできた天王星型

惑星（天王星、海王星）です。太陽系の起源の現在の標準シナリオは「京都モデル」とよばれ、次のようなものです。まず、原始太陽の周りの円盤の中のダストが集まって、微惑星とよばれる小天体が形成されます。微惑星は太陽の周りを回りながら衝突合体して大きくなり、惑星の一段階前の天体、原始惑星となります。この原始惑星どうしの衝突によって地球型惑星が、原始惑星が重力でガスを集めることによって木星型惑星や天王星型惑星が完成します。これまで微惑星の形成や合体成長の素過程を明らかにしてきました。



太陽系形成の標準シナリオ（京都モデル）。

●最新の研究

地球型惑星形成の最終段階について調べています。地球型惑星形成の最終段階は原始惑星とよばれる月から火星くらいのおおきさの天体の衝突合体です。この段階は大きな天体どうしが衝突するので巨大衝突の時代とよばれます。巨大衝突によって、どのように地球型惑星の質量や軌道そして自転などが決まるのかをシミュレーションによって調べています。惑星の質量、軌道、自転はその惑星に海が存在できるかを定める重要な特徴になります。これらの特徴がどのように決まり、どのようなものができやすいかを知ることが、地球のように海のある惑星、第2の「地球」の形成確率を考える上で基本情報となるのです。これまでに、質量については、個々の地球型惑星の質量

は元になる原始惑星の全質量に比例する、自転については、自転周期は数時間くらいの惑星が多く、自転軸の方向は等方的、つまり、公転面に対して倒れて自転している惑星が多くなる！などがわかってきています。

●今後の研究

太陽系で力学的にもっとも重要な惑星は木星で、次に重要なのが土星。この2個で太陽系の力学的構造を決めているといってもいいくらいです。これから考えたいと準備しているのが、木星と土星の形成です。考えているシナリオは次のようなものです。太陽系の中で雪線とよばれる水蒸気が氷になる場所にまず木星の核（原始惑星）が形成されます。雪線の場所では氷ができるので、その内側よりダストの量が多く、大きな原始惑星が形成されるからです。大きくなった核は強い重力で円盤からガスをまとい木星となります。この木星の重力の影響下で、土星の核が成長していきます。おそらく木星による散乱で集められた微惑星によって核の成長が加速されるのではないかと推測しています。これらの過程を大規模シミュレーションによって明らかにしたいと思っています。



葡萄印の超電子窯などを使って、ちりから地球や月などを作ります。京風の雅を大切に、丁寧な仕事を心がけています。目指すは瑠璃色に輝く耀変地球！



研究対象

惑星、衛星、環、小惑星、彗星など

研究概要

スーパーコンピュータを用いて惑星を作る実験をしながら惑星系形成の理論を構築

最近の研究

地球型惑星形成の最終段階

今後の研究

木星と土星の形成



黒猫印の金魚店

店主 中村文隆
星団形成・星形成論
宇宙生まれの可愛い
金魚を育てています!

さまざまな星々が生まれる星団は、金魚が群れる金魚鉢のよう。星・星団の形成過程を巧に掬い上げます。

●研究対象と手法

太陽のような恒星は宇宙空間を満たす希薄な気体（星間ガス）が集まって誕生します。星間ガスや形成途中の星などが研究の対象です。星間ガスの構造や星の形成と進化を理論的・観測的に明らかにすることを目指します。

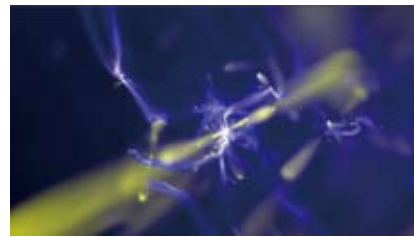
宇宙で生まれるほとんどの星は星団内で誕生すると考えられています。星団内では先に生まれた星が将来生まれる星の誕生過程に多大な影響を及ぼします。この過程を明らかにするために、スーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションを行います。星団内で起こる星形成過程を詳しく調べ、星団全体が誕生する様子を明らかにします。また、シミュレーションで再現したコンピュータ内のモデルを実証するため、星団形成領域の電波観測も進めます。

●研究概要と成果

宇宙で生まれるほとんどの星は星団内で誕生すると考えられています。星団内で星がどのように誕生するかを理論的および観測的に明らかにすることが目的です。この研究から、宇宙の中で最も基本的な天体と考えられる星がどのように誕生するかを理解できると期待しています。

星は自分の周りのガスを自身の重力で集めるだけでなく、その一部を原始星アウトフロー（あるいは原始星ジェット）として星間空間に放出します。そのため、星団のように星が密集して生まれる環境

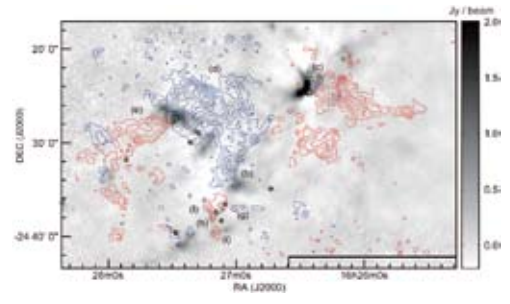
では、先に生まれた星からの原始星アウトフローが周囲の物理状態を変え、次に生まれる星の形成過程に大きな影響を及ぼします。さらに、原始星アウトフローは星団形成領域に激しく乱れた流れ（乱流）を作り出します。激しい乱流は、ガスを圧縮して星形成を誘発したり、星が生まれそうなガス塊を壊したりします。このような複雑な星の誕生過程を大規模コンピュータシミュレーションで調べ、自ら行った観測とも比較し、理論・観測を駆使し、星形成モデルの構築を進めています。



星団形成シミュレーション。ほとんどの星は星団内で誕生します。星団内では、複数の星がほぼ同時に生まれるため、先に生まれた星からの原始星アウトフロー（黄色）が将来生まれる星の誕生に多大な影響を及ぼします。図中の白い点は形成途中の星、青や白色の広がった部分はそれを取り巻く高密度ガスの分布です。

●最新の研究

星団の中で大質量の星や太陽程度の小質量星がどこでどのようなプロセスで生まれるかを調べています。最新のシミュレーションによると、大質量の星は星団を生む高密度ガス塊の中心部（最も重力の強い部分）で周りからガスを集めて生まれることがわかってきました。大質量星の周りには多数の小質量星も誕生するため、小質量星からの原始星アウトフローが大質量星に降り積もるガスを吹き飛ばし、激しい乱流を生み出します。そのため、小質量星が大質量星の誕生をコントロールします。さらに近傍の星団形成領域（へび使い座分子雲など）で原始星アウトフローが周囲のガスに大きな影響を及ぼす様子を観測し、理論モデルの実証を進めています。



星団形成領域へびつかい座分子雲の電波観測。野辺山45m電波望遠鏡による一酸化炭素分子輝線観測。等高線は、原始星アウトフローによる高速ガス流の広がり（青は我々に近づく流れ、赤は我々から遠ざかる流れ）である。グレースケールは高密度ガスの分布。(d)と(e)で示された等高線は、今回の観測で明らかになった巨大原始星アウトフロー。

●今後の研究

これまでの研究では、太陽近傍で起こる星形成を中心に調べてきました。しかしながら、我々の銀河系内でも、銀河中心付近や外縁部では、星間ガスの物理状態・力学状態が異なっています。系外銀河では、激しい星形成を起こしている銀河もたくさん存在しています。このような多様な環境下で起こる星形成をコンピュータシミュレーションを用いて明らかにし、宇宙で起こる星形成過程を统一的に理解したいと考えています。



さまざまな星の卵から、たくさんの金魚をふ化させます。野外探集で、元気な金魚も探します。

研究対象
星団、星、星間ガス、星間磁場など

研究概要
星・星団の誕生を解き明かします。

最近の研究
星団形成における原始星アウトフローの役割の解明

今後の研究
星形成統一モデルの構築

歓迎
国立天文台
理論研究部商店街

ようこそ、NAOJ 理論研究部商店街へ！このガイドマップを参考に、好きなお店でショッピングをお楽しみください。



面白い商店街だな

あっ、見つけた！

いろいろなお店があるわ

先生にも教えてあげよう

PhotoShop 赤外線/電波/証明写真
キャラクシーカメラ



富阪幸治さんのお店
TOMISAKA, Kohji

★シミュレーション天文学★



赤外線写真、電波写真なんでもお任せください！

星をスーパーコンピュータの中に作って観測的可視化カメラで撮影します。原始星ができる直前までフォーカス中！

お買い物は6ページへ！

fruits shop
葡萄



牧野淳一郎さんのお店
MAKINO, Junichiro

★シミュレーション天文学★



硬い果物から柔らかい果物まで、品数に自信あり！

店長特選の GRAPE をふんだんに盛った大規模シミュレーションで、宇宙の様々な構造の形成・進化を研究しています。

お買い物は7ページへ！

黒猫印の金魚店



中村文隆さんのお店
NAKAMURA, Fumitaka

★星団形成・星形成論★



宇宙生まれの可愛い金魚を育てています！

さまざまな星々が生まれる星団は、金魚が群れる金魚鉢のよう。星・星団の形成過程を巧に掬い上げます。

お買い物は11ページへ！

PACHINKO
黑洞ホール



大須賀 健さんのお店
OHSUGA, Ken

★ブラックホール宇宙物理学★



打ち止め無制限で大サービス中です！

今日も出しますジャンジャンばりばり！ブラックホール降着円盤およびジェットの詳細モデルを構築します。

お買い物は14ページへ！

磁気治療院
パワースポット



工藤哲洋さんのお店
KUDOH, Takahiro

★天体磁気流体现象論★



磁場のおかげで元気になりましょう！

ようこそパワースポットへ。宇宙における磁場の重要性を解き明かします。決して怪しいお店ではありません。

お買い物は15ページへ！



吉田春夫さんのお店
YOSHIDA, Haruo

★力学系の可積分性の研究★



解けるか解けないか、
それが問題だ！

掘り出し物の力学全集
を紐解き、力学系の可
積分性の判定条件やシ
ンプレクティック数値
解法を研究しています。

お買い物は8ページへ！



梶野敏貴さんのお店
KAJINO, Toshitaka

★宇宙論と元素の起源論★



時空を自由に翔る舞姫
をご覧ください！

素粒子・暗黒物質・暗
黒エネルギーの正体と
性質を突き止め、宇宙
進化の謎と元素の起源
を解明しましょー！

お買い物は9ページへ！



小久保英一郎さんのお店
KOKUBO, Eiichiro

★惑星系形成論★



ちりをかためて地球を作
ります！

星くずの宇宙土に重力粘
薬を用いてさまざまな天
体を焼きながら、太陽系
や地球、月の起源を解き
明かします。

お買い物は10ページへ！



固武 慶さんのお店
KOTAKE, Kei

★高エネルギー爆発天体理論★



星をミゴトにキレイに
爆発させます！

うちの自慢は、秘伝の
宇宙最大ウルトラ3尺
玉の打ち上げ！超新
星爆発の仕組みを明ら
かにしますよ！

お買い物は16ページへ！



濱名 崇さんのお店
HAMANA, Takashi

★観測的宇宙論★



アインシュタインのレ
ンズで暗黒世界もくっ
きり見えます！

宇宙の進化と宇宙の大
規模構造の形成進化
を、当店ならではの重
力レンズを利用して研
究しています。

お買い物は17ページへ！



町田正博さんのお店
MACHIDA, Masahiro

★星形成過程の解明★



ハンドメイドのきらきら
輝く星をお求めの方に！

さまざまな星アクセサ
リも、基本的な製法は
ひとつ。冷たいガスの中
で星が誕生する過程を解
き明かします。

お買い物は18ページへ！

新台入荷

PACHINKO 黑洞ホール

店主 大須賀 健

ブラックホール宇宙物理学
打ち止め無制限で大サービ
ス中です!

今日も出しますジャンジャンぱいぱい! ブラックホール降着円盤およびジェットの研究モデルを構築します。

●研究対象と手法

光さえも脱出できない強重力天体ブラックホール、その周囲のガスは回転ガス円盤を形成しつつブラックホールに吸い込まれます。ガス円盤は光り輝き、円盤の一部のガスはジェットになって遥か遠方まで噴出します。このようなブラックホール周辺での激しい現象を研究対象とします。ブラックホール周辺からの強力な放射やジェットは、星や銀河の形成・進化にも重大な影響を与えた可能性があります。ブラックホールはこの宇宙を形作る陰の立役者かもしれないのです。

ブラックホール周辺の構造とそのダイナミクスを解き明かすためには、重力や流体はもちろんのこと、放射や磁場の効果が重要と考えられます。つまり、これらの効果を全て取り入れた放射磁気流体力学が必要です。複雑な放射磁気流体力学方程式を、スーパーコンピュータを用いて数値的に解いて研究を進めています。

●研究概要と成果

ブラックホール天体の光度や放射スペクトルには多様性があります。そのため、黒体放射が卓越するものには標準円盤モデル、ベキ状のスペクトルを示すものにはRIAFモデル、光度が極めて高い場合にはスリム円盤モデルを適用して理解してきました。しかしながら、各々の状況に応じてモデルを変えるのでは本当に物理を理解したことにはなりません。ブラックホール周りで重要になる可能性のある

物理を全て考慮した放射磁気流体シミュレーションを用いれば、多様な降着円盤を統一的に理解することが期待されます。

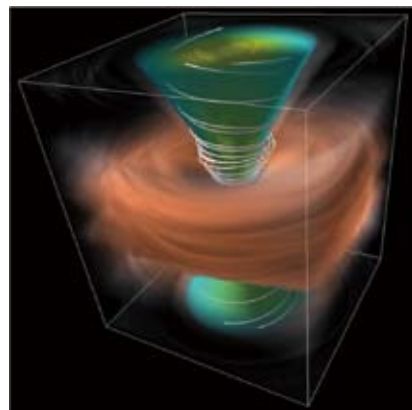
私たちの研究では、降着円盤の多様な状況の一つの数値計算コードで再現することに成功しました。ブラックホールが大量のガスを引き付け、質量降着率の大きなガス円盤が形成されると、放射圧加速型ジェットを吹きだす分厚い円盤が形成されます。質量降着率がこれより小さい場合、放射冷却が効いて薄い円盤が現れます。さらに質量降着率の小さい円盤は、希薄な高温プラズマのガス圧で分厚くなり、磁気ジェットを噴出することが示されたのです。

●最新の研究

ブラックホール周囲の降着円盤からは、細くそして高速なガスの流れ(ジェット)が発生します。このジェットの形成メカニズムは長年にわたって議論されてきました。磁場の効果で発生させるものや放射圧で噴出するものが代表例です。しかし、磁気ジェットは大量のガスを噴出させることができず、また、放射圧ジェットは流れを細くすることができませんでした。したがって、大量のガスを遠方に運ぶパワフルなジェットの形成メカニズムは未解決でした。我々は放射磁気流体シミュレーションで、この問題を解決することのできる新たなジェットの形成メカニズムを発見しました。それは、放射と磁場の効果を巧妙に組み合わせた新型ジェットモデルです。この新型ジェットは放射圧で加速され、大量のガスを噴出します。しかし放射圧ジェットのように広がってしまうわけではありません。磁力線がジェットの周囲にらせん状に巻きつき、磁場の効果で細く絞るのです。この成果は、新聞やネット、ニュートンや日経サイエンス等で公表されました。

●今後の研究

およそ全ての銀河の中心には巨大ブラックホールが潜んでいます。また、超巨



ブラックホール周囲のガス円盤(茶)から噴出する新型ジェット(緑)。白線は磁力線。

大ブラックホールは、宇宙初期に既に存在していたことがクエーサーの観測からわかっています。ブラックホールへのガス降着史を解明することは、巨大ブラックホールの宇宙論的進化の解明への重要な足がかりとなるに違いありません。また、強力な放射やジェットは母銀河の形成や進化に甚大な影響を与えたと考えられます。「如何に巨大ブラックホールは成長したのか、そこで銀河はどのような影響を受けたのか、逆に、銀河の進化が如何にブラックホールの成長に影響を与えたのか」、ブラックホールと銀河との相互フィードバックを考慮し、巨大ブラックホールの形成および銀河との共進化の問題に取り組みたいと思っています。

研究対象

ブラックホール周囲の降着円盤やジェットの物理

研究概要

放射磁気流体シミュレーションで、多様なブラックホール降着円盤・ジェットの統一的な理解

最近の研究

新型ブラックホールジェットの発見

今後の研究

超巨大ブラックホール形成論、および巨大ブラックホールと銀河の共進化



びかびかの店内でじゃんじゃん出して下さい! (でも大半は吸い込んでいますけど)

磁気治療院

パワースポット

店主 工藤哲洋

天体磁気流体现象論

磁場の力で元気になる
ましょう!

ようこそパワースポットへ。宇宙における磁場の重要性を解き明かします。決して怪しいお店ではありません。

●研究対象と手法

天体における磁場の重要性に着目し、磁場があることによって発生する天体現象を研究しています。具体的にはこれまで、降着円盤、宇宙ジェット、太陽大気、星間ガス、星形成などを研究対象としました。磁場があることによって生じる物理的な現象が、スケールの異なるいろいろな天体現象に共通に起こっている点に興味を持っています。

宇宙に存在する物質の大部分は電子が陽子から離れて自由に動ける状態にあります。このような物質には電流が流れるため磁場と相互作用して複雑な天体現象を引き起こします。その天体現象を解明するため主に磁気流体力学という物理を用いています。そして複雑な現象を理解するため数値シミュレーションという手法で研究しています。数値シミュレーションでは現象を再現するだけでなく、そこから非線形現象の物理を明らかにすることを常に心がけています。

●研究概要と成果

磁場の存在がその天体現象には欠かせないと思う現象を研究してきました。特に、以前に行った降着円盤から噴出する宇宙ジェットの研究はよい成果をあげることができたと思います。

生まれただけの星やブラックホールからは高速のガスが噴出しています。

研究対象

磁場を持った星間ガスなど

研究概要

磁場と回転によって噴出する高速ジェットの仕組みの解明

最近の研究

磁場を持ったガスから星へ

今後の研究

銀河系にある磁場の起源

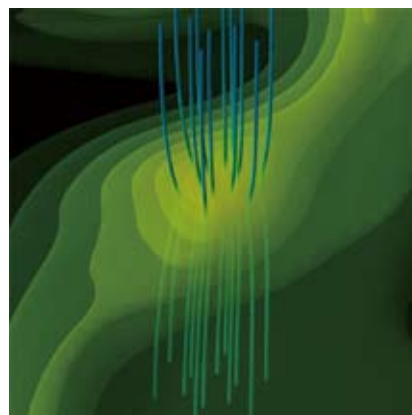
それを宇宙ジェットと呼びます。宇宙ジェットは星やブラックホールの周りにあるガスの回転円盤(降着円盤)から噴出していると考えられます。私は磁場による宇宙ジェットの加速の仕組みを研究しました。その結果、磁場に貫かれた円盤があると、最初に磁場が非常に弱くても、円盤の回転で磁力線がギリギリ巻きにねじられることで磁場が強くなり、最終的にはその磁気的な圧力で円盤の回転速度程度の高速なジェットが噴出することを準解析的に示しました。さらに、数値シミュレーションの結果がその理論と一致することを確認しました。これは、最初の段階では磁場が弱かったとしても、回転があることで最終的には磁場が重要になるという天体現象のよい例です。

●最新の研究

生まれただけの星から噴出している宇宙ジェットは磁場で加速されていることがわかってきました。では、星の誕生と磁場とはどのような関係があるのでしょうか?その謎を解明するため、最近星間ガスから星が生まれる時の磁場の影響を調べています。星はガスの中から自分自身の重力で引き合うことで生まれます。しかし、星が生まれるような星間ガスには磁場があることがわかっています。磁場があると反発力が働き星の形成をさまざまに妨げます。最近の観測では星間ガスにはかなり強い磁場があって星の形成を大きく妨げている可能性があることがわかっています。そのようなガスからどのように星が生まれていくのかを研究しています。実はガスの中には超音速の流れがあることもわかっています。流れが衝突してガスを圧縮すると磁場の拡散を促進します。磁場がある程度拡散すると重力で引き合って星ができやすくなります。その過程を数値シミュレーションで計算しています。

●今後の研究

星の形成や宇宙ジェットなど天体現象



強い磁場を持ったガスから星が生まれる直前の様子。線は磁力線。色の明るい所はガスの密度が高い。ガス密度の高い中心部で星が誕生する。

に磁場の存在は欠かせません。では、その磁場はどこから来たのでしょうか?宇宙における磁場の起源は天文学における大きな謎の一つです。特に、私たちのいる銀河系の中の磁場がどのようにして今あるような比較的強い磁場になり星の形成などに影響を与えるようになってきたのかは興味深い問題です。そこで、今後私は銀河系の磁場の問題に取り組んでいきたいと思っています。その問題を解決するヒントは私たちの銀河系が渦巻き銀河という回転している銀河であるということです。回転は磁場と相性がよく磁場を増幅させるメカニズムを持っています。銀河系の磁場が増幅し、それを強いまま維持していく物理的な仕組みを数値シミュレーションなどによって明らかにしたいと思っています。



弱い磁力でも秘伝の回転マッサージを行うことで活力が湧きます。

天体花火 超新星菊屋

店主 固武慶

高エネルギー爆発天体理論

星をミゴトにキレイに爆発
させます!

うちの自慢は、秘伝の宇宙最大ウルトラ3尺玉の打ち上げ! 超新星爆発の仕組みを明らかにしますよ!

●研究対象と手法

超新星爆発・ガンマ線バーストなど、大質量星の最終段階を彩る大爆発現象を研究対象にしています。このような爆発現象がどのような仕組みで起こるのか、理論的に解明することを目指しています。

重い星がその一生を終える際に引き起こす超新星爆発、その最期を彩る灯火(ともしび)は、太陽の100億倍もの明るさになることもあります。超新星爆発は一天体現象でありながら、ブラックホール・中性子星・ガンマ線バーストなど様々な興味深い天体現象と関連があることから、恒星進化論の最重要テーマの一つとなっています。私たちは、スーパーコンピュータを駆使した数値シミュレーションを行い、大質量星がその進化の最後に到達する様々な最終形態の全体像を明らかにし、恒星進化論に統一的な描像を与えることを目指しています。

●研究概要と成果

40年にわたるこれまでの理論研究の中で、最も有力な爆発シナリオと考えられているのは、「ニュートリノ加熱メカニズム」と呼ばれるものです。実はこのシナリオ、小柴先生たちの超新星からのニュートリノ検出成功によっても大筋が正しいことが分かっています。では、いったい何が問題なのか? これが私たちの研究の最も大事なポイントとなっています。

理論天文学者が「爆発のメカニズムを理解した!」と自信を持って主張するた



最新の起爆装置・特別調合した
花火玉を使って、きれいな花火
を夜空に咲かせます。

めには少なくとも、観測される超新星爆発の様子を理論的に再現することが不可欠です。そのためには、数値シミュレーションが不可欠なツールとなってきます。ただ、これまでのシミュレーションの大部分は単純化のため、星がまん丸、つまり星が球対称であることを仮定してきたせいで、爆発を再現することができませんでした。一方で超新星の中心部では、味噌汁を温めたときのように、物質はより内側からニュートリノで温められるので、対流運動なども起こっていることが予想できます。このような球対称性を仮定している限り扱うことができない多次元(2次元や3次元)の効果が、爆発の仕組みを理解する上で本質的な役割を果たすことを明らかにすることができました。これが私たちのこれまでの研究のエッセンスです。

●最新の研究

世界中のグループが日夜、爆発メカニズムの謎に取り組んでいる中、私たち国立天文台のグループはニュートリノ加熱の効果を含む3次元の超新星爆発のシミュレーションをいち早く行うことに成功しています(図)。球対称のときに比べ格段に爆発を引き起こしやすいことから、3次元シミュレーションが超新星メカニ

研究対象

超新星爆発、ガンマ線バーストなど高エネルギー天体現象と高密度天体におけるニュートリノ、重力波、元素合成プロセスの解明

研究概要

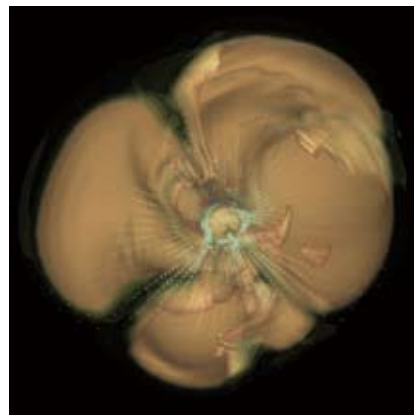
スーパーコンピュータを駆使した成果に基づき、新しい爆発シナリオを構築

最近の研究

3次元の超新星爆発シミュレーション

今後の研究

次世代観測で明らかにする超新星のエンジン



3次元シミュレーションによって明らかにされた超新星が爆発を起こす瞬間の様子。超新星爆発は、打ち上げ花火のように真ん丸(球対称)に起こるわけではなく、非常に複雑な対流運動を伴いながら(矢印が流体の運動方向をあらわす)、非球対称に起こることが見て取れます。この結果は、国立天文台スーパーコンピュータ・クレイ XT4 で計算したものです。

ズムの理解には欠かせないことを明らかにすることができました。

●今後の研究

上で述べてきたような理論モデルの研究が急速に進歩しているように、観測面でも新たな展開が起きています。検出が非常に難しいニュートリノや重力波による宇宙の観測が、今や可能になりつつあります。アインシュタインの一般相対論が予言する重力波は、その信号が大変小さく、これまで誰も検出に成功していません。検出に成功すれば、間違いなくノーベル賞クラスの業績だといわれています。物質に対する透過力が高いニュートリノや重力波は、星のコア(中心部)で生成されるとすぐに星の外に出て、私たちにダイレクトに届きます。一方、爆発の際にコアから放たれる光は、星の外に出てくるまで外層部で様々な過程を経験してしまい、コアの情報はロスしてしまっています。つまり、重力波やニュートリノは、コアのダイナミクス、つまり爆発メカニズムを私たちに教えてくれるライブ・メッセンジャーといえます。今後は、このような先進の観測も見据えた理論研究を更に強化していきます。



特製重力レンズの店



店主 濱名 崇

観測的宇宙論

アインシュタインのレンズで暗黒世界もくっきり見えます!

ハイパーメガネ

宇宙の進化と宇宙の大規模構造の形成進化を、当店ならではの重力レンズを利用して研究しています。

●研究対象と手法

宇宙は何で出来ているのか？ 宇宙膨張の歴史、またこの先、宇宙はどのようなのか？ 宇宙の構造はどのように形成進化してきたのか？ こういった宇宙の大域的進化に関する謎が研究対象です。これらの謎の鍵を握るのは、「暗黒物質」と「暗黒エネルギー」と呼ばれている正体不明の物質です。これら謎の物質は宇宙の進化に多大な影響を与えていますが、通常のアストロノミカル手法で直接観測することは出来ません。しかし銀河や銀河団など私たちが観測できる天体にその存在の痕跡を残します。私は、どんな痕跡を残しているのか、そしてどうすればそれを観測できるかを理論的方法や数値実験を用いて研究しています。また、実際にすばる望遠鏡などで得られた観測データの解析を行い、謎の物質の痕跡を探しています。

●研究概要と成果

アインシュタインの一般相対性理論によって予言された重力レンズという現象を研究の道具としています。一般相対性理論によれば重たい物体があると時空が歪み、そこを通過してきた光の軌跡は重たい物体が無かった場合に比べ曲がったように観測されます。また銀河のように広がりを持つ天体の像は歪められます。まるで物体の重力が光学レンズのような働きをするので重力レンズと呼ばれています。通常のレンズ（例えば虫眼鏡）は研究対象を拡大して観察するために使われます。虫眼鏡のレンズの性質は分かっているので研究対象が何倍に拡大されて観測されているのか分かるわけです。重力レンズの場合はその逆です。遠方銀河の姿を重力レンズを通して見たときの歪みを観察してレンズの性質を調べるのです。研究対象は遠方銀河ではなくレンズ、すなわち重力源である暗黒物質なのです。私たちは非常に遠方の銀河像の歪みを調べることで、レンズの役割をしている暗黒物質の性質（空間分布）を調べていま

す。実際にこの手法をすばる望遠鏡で得られた20平方度におよぶ撮像データに適用しました（国立天文台の宮崎聡さんたちとの共同研究です）。その結果100個もの暗黒物質の巨大構造を発見しました。これらは銀河団の母体になっている構造だと考えられ、実際同じ場所に銀河の集団が発見されています。また暗黒物質分布のスペクトラムを測定する事にも成功しました。

●最新の研究

先に述べたように、重力レンズ効果によって遠方銀河の像が歪められる現象を利用して暗黒物質分布を測定しています。ところで、はるか遠方宇宙の天体からやってきた光は望遠鏡に届く前に地球大気を通過するわけですが、大気内にある大気の流れが乱れた層を通る際にも天体像は歪められます。地球大気による像の変形は、重力レンズの研究においては邪魔者なので、なんとかして消し去らなければなりません。現在は経験的な手法によって消し去っていて、それはまあまあ成功しているのですが、もっと高精度な消去法を開発したいと考えています。「敵を倒すにはまず敵を知るべし」と昔から言われていますので、大気乱流による非等方 point spread function（点光源の広がり）生成についての研究を始めました。大気乱流による非等方PSFは大きなスケールほど強い振幅を持つべき乗則スペクトラムをなし、最大で数十分角にわた

る特徴的なパターンを生成することが分かってきました。

●今後の研究

重力レンズ効果を利用して宇宙の3次元暗黒物質地図を作ろうとしています。現在、宮崎聡さんをリーダーとして次期すばる主焦点カメラ「Hyper Suprime-Cam」の開発が進められています。これにより視野が現在の主焦点カメラの7倍になりサーベイ効率が格段に向上します。この装置を用いた広域撮像観測計画が日本、台湾、プリンストンの研究者により検討されています。この計画が実現すると、様々なサインエンスが展開されると期待されています。私は1000平方度以上の領域にわたる3次元暗黒物質地図を作成する事を目指しています。暗黒物質の空間分布データは、宇宙の構造進化や暗黒物質の正体を探る上で基本的かつ重要な情報です。また暗黒物質構造は銀河や銀河団の母体となっていると考えられているので、銀河の形成進化研究にも新たな知見が得られることが期待されます。さらに、暗黒エネルギーは構造の進化に影響を及ぼすので暗黒エネルギーの正体につながるヒントも得られると考えられています。



アインシュタインが発明した重力レンズを使って暗黒世界が見られるメガネを開発しました。

研究対象

宇宙の組成、宇宙の大規模構造、銀河団、重力レンズ

研究概要

すばる望遠鏡で得られたデータの重力レンズ効果を解析して暗黒物質分布のスペクトラムを測定

最近の研究

大気乱流による非等方PSFパターンの生成

今後の研究

宇宙の3次元暗黒物質地図を作ろうとしています。



アクセサリ・ショップ



三鷹アクセサリ工房

店主 町田正博

星形成過程の解明

ハンドメイドのきらきら
輝く星をお求めの方に!

さまざまな星アクセサリも、基本的な製法はひとつ。冷たいガスの中で星が誕生する過程を解き明かします。

●研究対象と手法

太陽のように自分自身で輝いている恒星がどのように誕生したのかを研究しています。また、星が誕生する瞬間に現れる原始星ジェットという現象や、非常に若い星の周りで作られる円盤、その円盤の中で出来る巨大ガス惑星の形成についての研究も行っています。

星は、低温で濃いガスの塊の中で生まれます。星が生まれる現場は、この濃いガスのために霧がかかったような状態になっていて、どんな望遠鏡を使っても見通すことが出来ません。星がどのように誕生したのかを解明するために、スーパーコンピュータを用いてシミュレーション（模擬実験）を行い、この低温ガスの塊の中で、熱い星が出来るまでを計算をしています。このシミュレーションによって、星がどのようにして誕生するのかを理解することが出来ます。

●研究概要と成果

太陽のような恒星は、分子雲コアと呼ばれる天体の中で産まれます。この分子雲コアは、太陽半径の100万倍以上の大きさを持つ、低温のガスの塊です。星は、このガスの塊が自分自身の重力によって収縮して誕生します。産まれたばかりの星からは、原始星ジェットと呼ばれる高速のガス流が観測されています。また、非常に若い星の周りには、惑星形成の母体となる円盤も現れます。この研究の目的は、星の誕生や円盤の形成、

ジェットが現れるメカニズムを解明することです。

計算技術の発展とコンピュータ性能の向上により、近年、分子雲コアの中で星が出来るまでを直接計算することが可能になりました。このような計算によって、ガスの塊からどのようにして星が生まれたのかを解明することが出来ました。生まれたばかりの星は、太陽の1000分の1程度の質量しか持っていません。これは、木星の質量とほぼ同じです。このように生まれた当時非常に軽かった星は、その後、徐々に質量を増やしながら成長していきます。この質量を増やしていく過程で、星の周りに円盤が出来ます。後に、この円盤の中で惑星が誕生すると考えられます。また、星が成長する過程では、磁場の力によってジェットが駆動することが分かりました。このジェットは、最初に分子雲コアがもっていた余分な回転（角運動量）を星間空間に吐き出すという役割を持っていて、星が成長するために重要な役割を果たしています。その後、星の質量が十分増えると、内部で核融合反応が始まり太陽と同じような大人の星になります。

●最新の研究

夜空を見あげると多くの星が輝いています。様々な望遠鏡によって、これらの星の周りにも我々の太陽系と同じように惑星が存在していることが観測されています。しかし、いくつかの惑星（系）は、我々の太陽系とは大きく異なっていることが分かりました。例えば、巨大なガス惑星が中心の恒星から非常に遠く離れた領域を周回している系も存在します。これらの惑星は、太陽系とは異なるメカニズムで誕生したのかもしれませんが。このような惑星がどのようにして出来たのかを調べるために、シミュレーションによって、星が誕生した後に出来る円盤の性質を調べています。多くの場合、星の周りで出来る円盤は非常に大きく重いことが

分かりました。このような円盤は、中心の星から十分離れた場所でもガス惑星を作り出すことが可能です。

●今後の研究

木星や土星のような巨大ガス惑星の周りには多くの衛星が周回しています。これらの衛星の中で巨大なものは規則衛星と呼ばれ、太陽系の惑星のように惑星の周りを規則正しく回っています。しかし、これらの衛星は、巨大ガス惑星のごく近傍にのみにしか存在しません。これは、太陽系の惑星が非常に遠方まで広がっていることと大きく異なります。規則衛星も木星や土星が誕生する際に出来る円盤の中で誕生したと考えられます。したがって、ごく近傍の規則衛星の存在は、惑星の周りにできる円盤が太陽などの恒星の周りにできる円盤とは異なり非常に小さかったのではないかと考えられます。シミュレーションで巨大ガス惑星の周りにできる円盤を調べたところ、現在の衛星の軌道とほぼ同じ領域に小さな円盤が生まれることが分かりました。これは、規則衛星の形成と惑星の周りにできる円盤に密接な関係があることを意味しています。今後、衛星を構成する固体成分の運動も考慮しながら衛星の形成過程をさらに詳しく調べていく予定です。



特殊な製法により、冷たい
ガスのかたまりから、きら
きら輝く星を作っています。

研究対象

星、円盤、ジェット、巨大ガス惑星、衛星など

研究概要

スーパーコンピュータを用いて、ガスの塊から星が出来るまでの過程を再現

最近の研究

円盤の中で巨大ガス惑星の誕生

今後の研究

巨大ガス惑星の衛星系の形成

●国立天文台（NAOJ）理論研究部商店街のショッピングはいかがでしたか？ いろいろなお店を巡って、お疲れのようなら、ちょっと一休みして、お茶でも召し上がっていただきます。商店街の店主たちの憩いの店でもある「Café Riron」は、こちらです。



幼い頃、よく宇宙の果てについて考えていました。当然答えは見つからず、いつしかそれは私の中で忘れられてしまいました。ところが、数十年が経ち、縁あって、その「不思議」を日々研究している人たちの中で働くことになりました。お茶を飲みながらも熱く議論する姿を見ていると、遠くにあるはずの銀河や様々な天体現象が、彼らの手の中にあるように思われ、一緒にそれを見せてもらっている喜びを感じます。理論研究部は、個人商

店の集まりと言われますが、たくさんの専門店が軒を連ねる賑やかなバザールのようです。その奥は、深く入っていくと別の場所につながっていたりもします。店主は誰も自分の店が最高の品を揃えていることに自信と誇りを持っています。この妖しくも魅力的な空間を楽しむゆとりを持ちつつ、これからも事務的な支援ができれば幸いです。（理論研究部パンフレット『理論研究最前線・理論のお茶部屋』より）

店番 泉 塩子（理論研究部秘書室）

国立天文台2011年特製カレンダー “The Universe in a Computer”

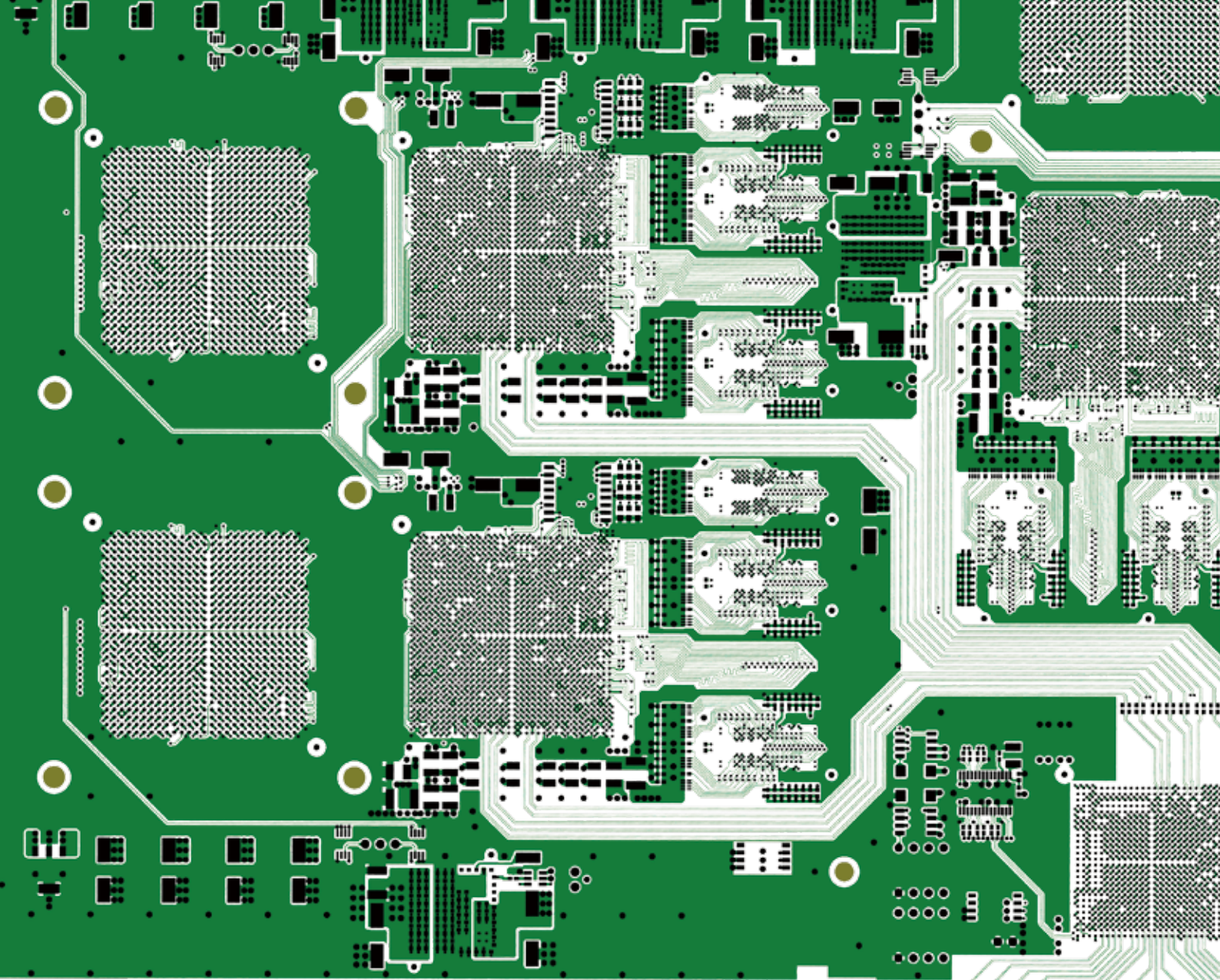
『国立天文台ニュース』12月号（定期発行分）の恒例の別冊付録は国立天文台特製カレンダーです。今年は、理論研究部と天文シミュレーションプロジェクト（CfCA）、4次元デジタル宇宙プロジェクト（4D2U）の協力を得て、数々の最新天文学シミュレーション画像をまとめた“The Universe in a Computer”をお届けします。理論研究を基礎とするシミュレーション天文学は、計算機科学の長足の進歩ともあいまって“理論

の望遠鏡”ともいわれ、いまや天文学研究の大きな柱となっています。国立天文台ではシミュレーション天文学で得られたさまざまなデータの可視化の研究にも力を入れ、理論研究の可能性を広げる努力を続けています。“The Universe in a Computer”には、その成果画像が数多く盛り込まれています。本誌の特集記事と合わせて、理論研究が描き出す「もうひとつの宇宙の姿」をお楽しみください。

歳末セール!
別冊プレゼントのお知らせ
天文情報センター出版室



カレンダー本編の12の画像は、月の誕生から宇宙大規模構造の形成まで…、そのテーマは天文学の全領域に及びます。最後の見開きページでは、4次元デジタル宇宙プロジェクトが開発した宇宙ビューワ「Mitaka」による、地球から宇宙の果てに至る宇宙の旅も集録しています。



理論の望遠鏡を駆使し、さらに「すばる」や「アルマ」とも連携した研究をめざして

富阪幸治（理論研究部主任）

さて「理論研究部商店街」、お楽しみいただけただけでしょうか？ 国立天文台理論研究部は、国内で最も多数の理論天文研究者を擁しているグループで、その研究分野は理論天文のすべての分野と言ってもよく、宇宙論から銀河・銀河団、星、星間物質、ブラックホール、超新星、惑星系、そして力学系にまで及んでいます。日本の理論天文学の研究の最先端を担いつつ、一方で理論天文学研究者が共同で研究を行うセンターの役割を果たしています。研究部での研究もその多くが共同研究の成果です。「商店街」ではあまり触れられませんが、大学院生対象のサマースクール、ウインタースクール、研究部に1か月間滞在する滞在型研究員などにも協力して積極的に取り組んでいます。

商店街に何度も登場したスパコン、もちろん計算機ですが、私たちにとっては宇宙に関する仮説を実験し、モデルを確かめるための観測家にとっての望遠鏡、そう「理論の望遠鏡」といえるものなのです。物理学者にとってはKEKBやSPRING-8のような大型実験装置といってもよいでしょう。私たちは、このスパコンをシミュレーションのために自分たちが使うだけでなく、天文シミュレーションプロジェクトという組織を作って、全国の理論研究者が365日、24時間利用できるよう万全を尽くしています。シミュレーションの結果は、4次元デジタル宇宙プロジェクトを通じてドームシアターで上映されるとともにムービーが公開されていますので、ご覧になった方も多いでしょう。

また理論研究部は、国立天文台のすばる望遠鏡やアルマ望遠鏡（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計）といった大型の観測装置を駆使して進められている観測研究と強く連携した理論研究を進めたいと考えています。その一端は「商店街」にも書かれていますが、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡を使って、理論的な予測を証明していく研究、正体の分からない天体を理論的に突き止めていく研究などをさらに進めていきます。シュプリーム・カム（主焦点広視野カメラ）の7倍もの広視野を持つハイパー・シュプリーム・カムのすばる望遠鏡への取り付け、これまでにない分解能が達成されるアルマ望遠鏡の観測開始が近づき、どんな新しい発見があるのか、研究部一同、気合いを入れ直しているところです。

渡部潤一（天文情報センター）

●はやぶさ流星の解析

はやぶさ探査機の大気圏再突入観測を行ったことは、7月号で速報したとおりである。その結果がある程度まとまり、天文学会に4件の報告をすることになった。申し込みを終え、ほっとしていると、理事から「この研究成果を記者会見で披露しないか」という話が舞い込んできた。学会の記者会見に適切かなあ、とも思いながら、共同研究者に了解を取った上で、何を目玉にするか議論をはじめた。4件の発表はどれも意義深いからである。

大規模な日本独自の人工流星の実験として、はやぶさ探査機のカプセルは耐熱シールドで保護されながら、高温となり、明るく光りながら落下していった。本来の予定にはなかったが、探査機本体も大気圏に再突入し、バラバラになって燃え尽きていった。筆者は特に、本体の分裂に興味があり、その破片のサイズ分布のべき指数が約1～1.5と、自然の天体の分裂現象よりも小さいことを見いだしていた。分裂現象の破片が、内部構造を示唆する強い証拠であった。また、分裂する流星としての本体の発光の時間変化や、その明るさも導出していた。17台も持ち込んだ機材のほとんどで、最大光度の部分が飽和してしまっていたため、静止画像のゴーストを用いて光度を導出した。探査機本体の最大発光時の明るさは、マイナス13.0等と満月よりも明るかった

ことがわかった。また、カプセルは分裂しない単一の流星として解析ができる。こちらの明るさは金星ほどだったが、その発光効率（どの程度のエネルギーが光として発光したか、と言う流星天文学における最も基本となる物理量）が最大0.8%に達したことがわかった。さらに分光観測からは、本体の輝線だけでなく、カプセルの耐熱シールドの温度上昇のための連続光がわずかに見えていて、数千度に達していたことなどがわかってきていた。

●はやぶさ、名月の舞い

会見内容には、その4件の発表結果を並列することにしたのだが、打ち合わせ中に、記者会見の予定日が9月21日で、実は中秋の名月が翌日であることに気づいた。

「本体発光の最大光度って、どのくらいだったけ？」。

「マイナス13等クラスですね。」

「これ、満月の明るさくらいだよねえ…。」

「それじゃ、キャッチコピーは、中秋の名月かな。」

満月の写真等級はマイナス12.66等。2010年中秋の名月、つまり9月22日23時の月の位相角は約10°で、月までの距離の変化や大気減光や誤差などの細かい要素を無視すれば、マイナス12.4等となる。これだ、ということでキャッチコピーが決まった。こうして、「—その最後の輝きは“中秋の名月”を超える明るさだっ

た—」という副題で記者会見を行ったのである。タイミング、わかりやすさ、そしてなにより「はやぶさ」人気がもの見事にあたった。事前の取材も多く、会見に出られなくても記事にしてくれるメディアも多かった。会見後に打ち上げをしている居酒屋には、ひっきりなしに電話がかかってきた。久しぶりにグラントスラムを達成し、日本天文学会の名前を露出させることに成功した。これは、われわれの発表を取り上げようと判断した学会理事の明察だったことは間違いないだろう。

さらに11月になってカプセルから回収された多数の微粒子が、小惑星イトカワのものであることが判明した。われわれの研究は日本惑星科学会でも紹介させて頂いたが、いずれにしろはやぶさ探査機は、日本の惑星科学にとって歴史的な成果になったことは間違いない。

ところでひとつ面白い事実も判明した。われわれが観測地に選んだ場所には、ぼつねんと朽ち果てた廃車がうち捨てられていた。帰国後に調べてみると、その車は驚くべき事に1960年型のFORD “FALCON”、つまり「はやぶさ」だったのである。われわれの広視野画像には、地上のはやぶさと、探査機のはやぶさが両方写っているものがあった。これをわれわれは「奇跡のツーショット」と呼んでいる。



突入してきた本体の最大発光時と、そのゴースト像（赤）。画像左端に写っている本体より先行している光点がカプセル。（撮影／国立天文台観測隊：飯島 裕）



07 アルマバンド10受信機開発

アルマ望遠鏡

検索

● 傭兵部隊??

私は大学を卒業してから、天文機器製造会社に就職し、2年後にNASDA（現JAXA）に4年間出向し宇宙ステーション搭載サブミリ波リムサウンダー（JEM/SMILES）の初期SISミキサの開発に従事しました。再び会社に戻った後、しばらくしてからALMAバンド10受信機チームにかかわるようになりました。NASDAのミッションもALMAバンド10のミッションも配属直後は実験室に何も無いような状態から始まり、設計資料をかき集めたり測定系の準備をしたりと、さながら戦場の様な状態でした。さらにバンド10チームは外国人比率も多いため、会話はつたない英語と日本語で乗り切ってきました。

● バンド10受信機・SISミキサ

すでに、ALMA連載04特別編「アルマ、日本が開発した受信機で、初スペクトルを取得!」、連載06「アルマバンド4/8受信機の開発」でバンド4/8の紹介がありましたが、バンド10はその数字が示すようにさらに高い周波数帯（787～950GHz）を狙います。この周波数帯ではバンド4、バンド8で使用できた超伝導体「ニオブ（Nb）」が抵抗として働いてしまうため、そのままでは損失を嫌う低雑音受信機には使うことが出来ません。そこで、別の超伝導体「窒化ニオブチタン（NbTiN）」を情報通信研究機構未来ICTセンターの協力を得て開発を行ない、損失の少ない良好な超伝導特性を有

する薄膜を製作することに成功しました。このNbTiN薄膜とSIS接合としては実績の高いNb・AlOx・Nbを回路

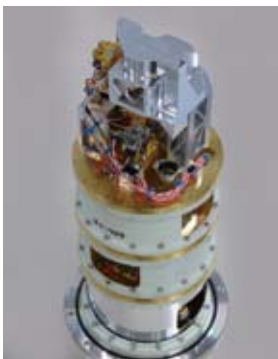


図1 バンド10受信機プロトタイプ機。

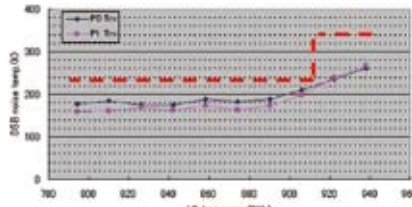


図2 プロトタイプカートリッジにて、遂に両偏波ALMA雑音スペックを達成!!

に組み込み、測定評価をふまえて設計を変更していくという泥臭い試作を繰り返すことにより段階的に性能向上を目指していきました。その結果、世界最高性能のサブミリ波（テラヘルツ）受信機の実現を得ることができました（国立天文台ニュース2009年8月号）。またこの結果が評価され超伝導科学技術賞と言う栄誉ある賞を受賞することができました（国立天文台ニュース2010年5月号）。

● バンド10受信機・受信機構成

バンド4/8カートリッジ受信機では導波管方直交偏波分離器（OMT）と導波管型2SBミキサを搭載し直交2偏波かつUSB/LSB同時観測が行えます。

一方、バンド10ではSISミキサそのものがチャレンジングな開発要素であるためシンプルなDSB受信機構成を採用しました。また、バンド10の導波管サイズは0.304mm×0.152mmの極小サイズ。髪の毛の太さ2本分ではOMTのような複雑な導波管回路を製作するのは難易度が高すぎます。そのためバンド10では光学的にワイヤグリッドで偏波分離した後にそれぞれSISミキサで受信する方式を採用しました。このように光学的に分離する方式ではその機械加工精度が性能に直接影響を及ぼします。いくつも設計・試作・評価を行なって何とか開発の目処が立ってきました。

さて、このSISミキサと光学系が何とかなれば後のIF系は周波数帯が4～12GHzとこれまでより広帯域とはいえずすでに開発が終わっている製品を利用することができ、バンド4/8のIF4系統（2偏波USB/LSB）に比べて半分の2系統

（2偏波DSB）になります。スペースとしては比較的自由に使うことができるため、視認性・組み立ての容易性をできるだけ取り入れながら設計を行ってきました。

● バンド10受信機・評価系

バンド10受信機はDSB受信機構成を採択したため、SISミキサ単体評価系はそのままカートリッジ受信機コンポーネントの要素試作につながります。評価系を構築している過程で見つかるコンポーネントの不都合・改良もどんどん受信機設計のほうにフィードバックしていきます。また、SISミキサ評価系はそのままカートリッジ評価系に移行できるように先行しているバンド4/8チームの協力を得ながら構築していきました。

● バンド10受信機・これから

バンド10受信機はこれまで試作を繰り返し、現在は製品に近い形でのプロトタイプ機（図1）で数々の評価を行っております。またこのプロトタイプ機において初めて両偏波同時にアルマの非常に厳しいスペックを達成することができました（図2）。とは言い、まだ本作へのスタートライン一步前といったところです。製品に近い形とは言え細かい不都合はいくらでも出てきますし、ここをこうしたら組み立てが容易になるだろうな、といった改良点も出来るだけ組み込むようにしています。何せ70台近い受信機を製造するために出来るだけやれることはやっておこうと思っています。これからもよりいっそうのご協力のほどよろしくお願いたします。



図3 小学校での特別授業も（じつはPTA会長だったりするので・笑）。

●平成 23 年度共同開発研究等の公募のおしらせ

国立天文台では平成 23 年度共同開発研究等を公募しています。くわしくは以下をご覧ください。

<http://www.nao.ac.jp/pio/kouryuu/>

人事異動

研究教育職員

| 発令年月日 | 氏名 | 異動種目 | 異動後の所属・職名等 | 異動前の所属・職名等 |
|------------------|--------|------|---------------------------------------|--------------------------|
| 平成 22 年 9 月 1 日 | 小笠原 隆亮 | 兼務免 | ALMA 推進室チリ事務所事務部長の兼務を免ずる | |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 小麥 真也 | 採用 | 電波研究部助教 (ALMA 推進室) | |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 泉浦 秀行 | 昇任 | 光赤外研究部准教授 (岡山天体物理観測所) | 光赤外研究部助教 (岡山天体物理観測所) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 泉浦 秀行 | 併任 | 岡山天体物理観測所長に併任 (平成 26 年 3 月 31 日まで) | |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 松本 晃治 | 昇任 | 電波研究部准教授 (RISE 月探査プロジェクト) | 電波研究部助教 (RISE 月探査プロジェクト) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 神澤 富雄 | 昇任 | 光赤外研究部主任研究技師 (ハワイ観測所) | 光赤外研究部研究技師 (ハワイ観測所) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 佐藤 克久 | 昇任 | 電波研究部主任研究技師 (水沢 VLBI 観測所) | 電波研究部研究技師 (水沢 VLBI 観測所) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 武士俣 健 | 昇任 | 電波研究部主任研究技師 (水沢 VLBI 観測所) | 電波研究部研究技師 (水沢 VLBI 観測所) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 森田 耕一郎 | 配置換 | 電波研究部教授 (ALMA 推進室チリ事務所) | 電波研究部教授 (ALMA 推進室) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 鎌崎 剛 | 配置換 | 電波研究部助教 (ALMA 推進室チリ事務所) | 電波研究部助教 (ALMA 推進室) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 立原 研悟 | 配置換 | 電波研究部助教 (ALMA 推進室チリ事務所) | 電波研究部助教 (ALMA 推進室) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 田中 伸幸 | 配置換 | 光赤外研究部主任技術員 (重力波プロジェクト推進室) | 太陽天体プラズマ研究部主任技術員 (太陽観測所) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 斉藤 守也 | 配置換 | 自然科学研究機構事務局財務課技師 (鈴蘭連絡所) | 太陽天体プラズマ研究部技師 (太陽観測所) |
| 平成 22 年 10 月 1 日 | 櫻井 隆 | 併任解除 | 岡山天体物理観測所長事務取扱を免ずる | |
| 平成 22 年 11 月 1 日 | 川村 静児 | 併任解除 | 重力波プロジェクト推進室長の併任を解除 | |
| 平成 22 年 11 月 1 日 | 藤本 真克 | 併任 | 重力波プロジェクト推進室長に併任 (平成 24 年 3 月 31 日まで) | |

事務職員

| 発令年月日 | 氏名 | 異動種目 | 異動後の所属・職名等 | 異動前の所属・職名等 |
|------------------|-------|------|------------|------------|
| 平成 22 年 11 月 1 日 | 山藤 康人 | 採用 | 事務部総務課総務係 | |

NEW STAFF ニュースタッフ



山藤康人 (やまふじ やすと)

所属：事務部総務課総務係

出身地：埼玉県

11 月 1 日付で国立天文台事務部総務課総務係に新規採用されました山藤康人と申します。今年 3 月に大学を卒業してからようやく就職氷河期への旅路を始める向こう見ずで、つい先ごろまで世間の厳しさと冷たさに心は凍えてしまいそうでした。全ては己の不徳の致したところですが、そのようななかで国立天文台との縁を勝ち得たことは望外の幸せであります。まだまだ未熟者につき、皆様方に多大なるご迷惑をお掛けすると思ひますが、一所懸命に職務に励みますのでご指導のほどよろしくお願ひいたします。

編集後記

11 月に西から東(三鷹)にやってきました。杜の都で育ったので三鷹の森是和みます。これからどんな毎日がやってくるのか楽しみです。みなさま、どうぞよろしくお願ひします！(S)

雪降る英国で久しぶりに集中してコード開発。バグとりもまた楽しからずや？ 帰国後は今回の特集作りにカレンダー作りなど、師走らしく走ってました。また楽しからずや？(e)

羽田発の国際線を始めて利用してみました。私の住んでいるところから羽田まで出かけるのに結構時間がかかるので、近くて便利という感じはあまりなかったというのが正直なところですが、便の選択肢が増えるのはよいことです。(K)

エコ生活と言うのはエネルギー消費効率を良くする生活なのか、それともエネルギー消費量を下げる生活なのか。究極的には生活範囲を狭めることがエコ生活ではないかと思ひられます。でも、経済の活性化とは逆行しそうですが……。 (J)

中国で二足歩行するパンダ発見？ と見紛うニュース映像を見て我が家の食卓は止まった。実際は着ぐるみを着た飼育員だったのですが、そういえば、レッサーパンダの風太君はどこに行ってしまったんだろう、と一年を振り返る年の瀬です(←今年じゃないか)。(κ)

さぁ、本号は編集委員会としてはかなり冒険しました。評価はどうか、気になるところですが……。 (W)

国立天文台ニュース

NAOJ NEWS

No.209 2010.12

ISSN 0915-8863

© 2010 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日 / 2010 年 12 月 1 日

発行 / 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

国立天文台ニュース編集委員会

〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

TEL 0422-34-3958

FAX 0422-34-3952

国立天文台ニュース編集委員会

●編集委員：渡部潤一 (委員長・天文情報センター) / 小宮山 裕 (ハワイ観測所) / 寺家孝明 (水沢 VLBI 観測所) / 勝川行雄 (ひので科学プロジェクト) / 佐藤友美 (ALMA 推進室) / 小久保英一郎 (理論研究部) ●編集：天文情報センター出版室 (高田裕行/山下芳子) ●デザイン：久保麻紀 (天文情報センター)

★国立天文台ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話あるいは FAX でお願ひいたします。
なお、国立天文台ニュースは、http://www.nao.ac.jp/naojnews/recent_issue.htmlでもご覧いただけます。

国立天文台ニュース
1 月号の研究トピックス
は、すばる望遠鏡が捉えた
電離水素ガス雲の発見。す
ばるのメンテナンスの記事
も必読。お楽しみに！

次号予告

- ・天体名 / 流星
- ・観測装置 / UV-I.I.-HDTV 流星分光器
- ・波長データ / 紫外-可視光線

流星のスペクトル

● 渡部潤一 (天文情報センター)

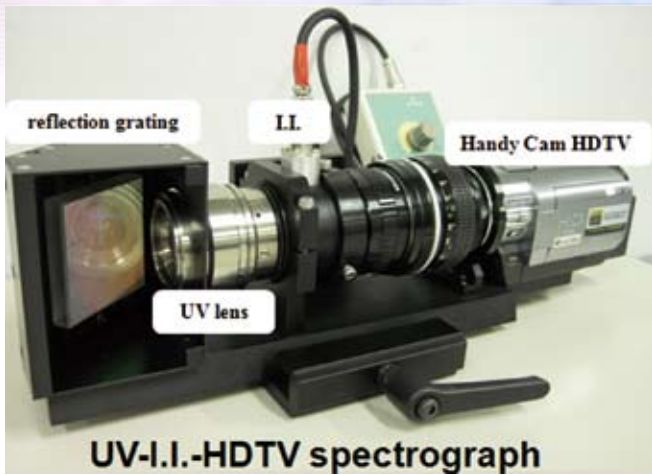


図1 しし座流星群出現に備えて開発した、UV-I.I.-HDTV 流星分光器。

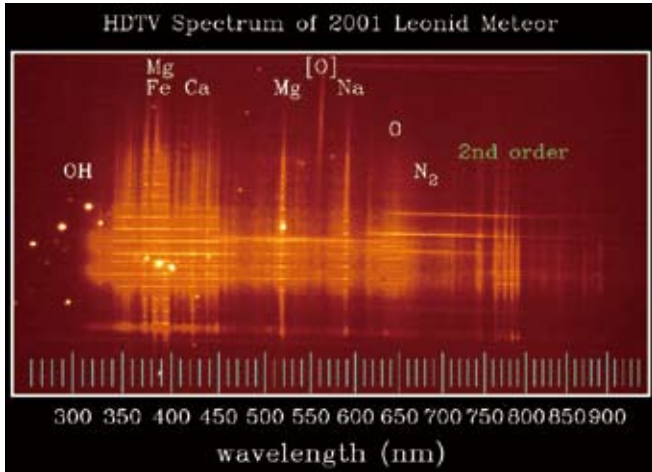


図2 しし座流星群の流星のスペクトル画像。



図3 しし座流星群の大火球。

参考文献
S. Abe, N. Ebizuka, H. Yano,
J.-I. Watanabe, J. Borovika,
"Detection of the N+2 First Negative
System in a Bright Leonid Fireball,"
ApJ 618, L141-L144 (2005).

流星観測の難しさ

「はやぶさ」などの人工流星を除けば、流星観測の難しさは、いつどこにどの程度の明るさの流星が出現するか分からないという点と、発光時間が短いという2点に集約される。したがって、流星の分光観測は、たくさん出現するであろう流星群の時に、その予想される飛跡と分散方向が直交する分散を得るように装置を置き、ビデオのような時間分解能の高い記録を残しながら、出現を待つ「待ち受け観測」がメインである。しし座流星群の活動期には、これまでにない流星スペクトルデータが世界中で取得された。われわれのグループでも、しし座流星群でOH輝線を検出したり、うしかい座流星群の活動予測を期に、世界初の小規模流星群の分光データを取得するなどの成果をあげている。

流星は、地球大気に高速で飛び込んできた小さな塵粒が、衝撃加熱によって高温となり、塵粒から溶解した成分と、ももとの大気成分とが混じり合い、数千度という高温プラズマとなって発光する現象である。隕石落下を伴うような火球と呼ばれる大流星や、人工衛星の大気圏再突入の場合は、加熱された本体の連続光が検出されることもあるが、通常の流星でのスペクトルは基本的には輝線の集合である。流星本体起源であるカルシウムやマグネシウム、ナトリウム、鉄などの輝線と、主に大気起源である窒素や酸素などの輝線が目立つ。流星を観察すると、しばしば色が付いて見えるが、肉眼で感じる色は、こういった何種類かの輝線の組み合わせによるものである。

ただ、対地速度・突入角度の違いや、発光高度の差による物理・化学的環境の差、そしてももとの流星体の個体差などによって、輝線の種類や強度比は大きく異なっている。最近では同じ流星群に属する流星でも、特にナトリウムなどの揮発性元素の含有量が異なっているらしいこともわかってきた。流星の母親である彗星との関係においても、難揮発性物質のサンプルとして、流星のスペクトルは注目されている。流星が過ぎ去った後、飛跡に沿って煙のような痕跡「流星痕」が残ることがある。数秒後には消えてしまう短痕と、数分から時には1時間近く発光し続ける永続痕とがあり、永続痕は窒素分子バンドとされているが、光り続けるメカニズムは完全に解明されたわけではない。

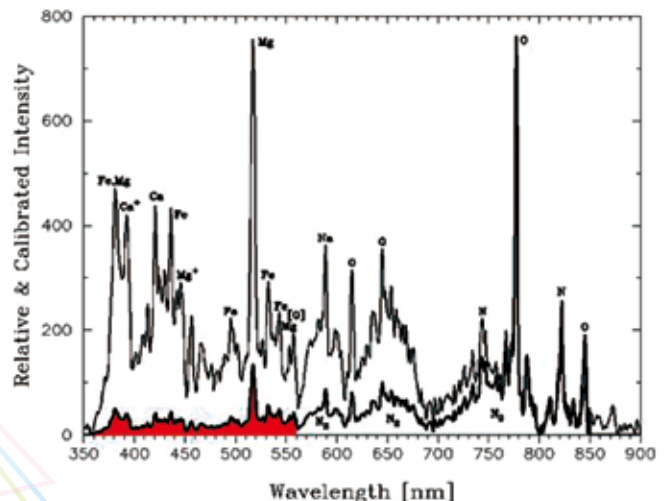


図4 しし座流星群の流星のスペクトル。