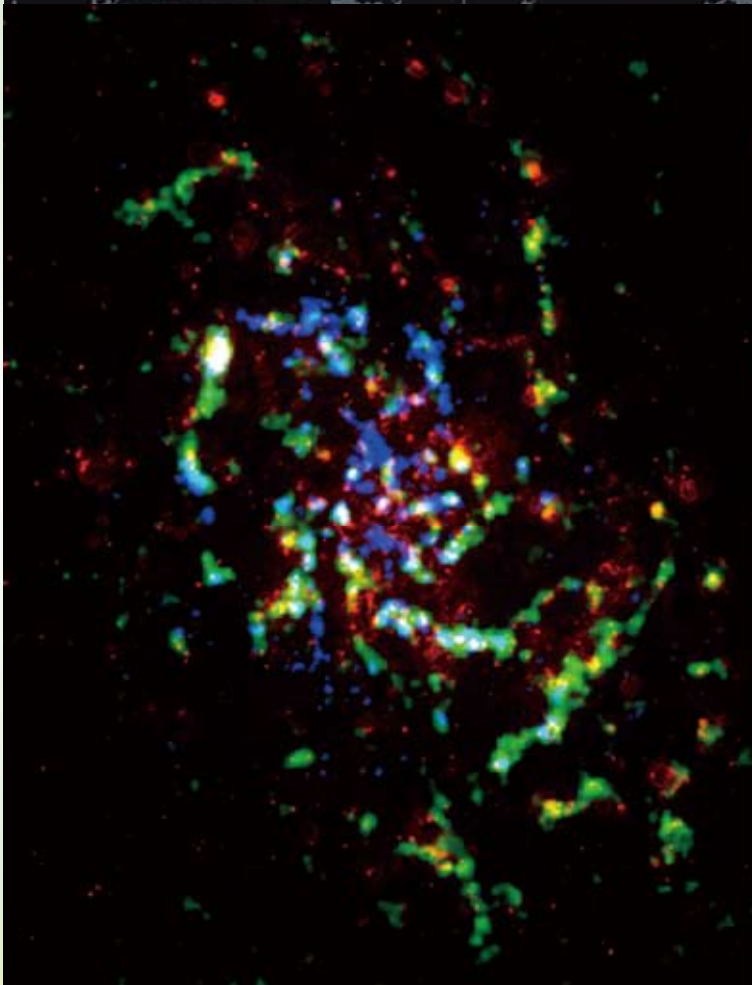


国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2012年2月1日 No.223

ガスと星と、時々、ダスト



● 天文台メモワール

- 「国立天文台 お世話になりました」—— 観山正見(台長)
- 「退職のご挨拶」—— 藤本真克(重力波プロジェクト推進室)
- 「コロナ観測所と共に」—— 佐野一成(太陽観測所)
- 「坂の上の天文台」—— 山崎利孝(ALMA推進室)
- 「退職のご挨拶」—— 武士俣 健(水沢VLBI 観測所)
- 「中途半端な思い出話」—— 宮下正邦(太陽観測所)
- 「国立天文台退職にあたって」—— 出口修至(野辺山宇宙電波観測所)
- 「38年を振り返って」—— 真鍋盛二(水沢VLBI 観測所)

2

2012

NAOJ NEWS 国立天文台ニュース

C O N T E N T S

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

研究トピックス

ガスと星と、時々、ダスト

——小麥真也（ALMA 推進室）、濤崎智佳（上越教育大学）

06

受賞

- 田中雅臣（理論研究部 助教）が第28回井上研究奨励賞を受賞
- 銭谷誠司（理論研究部 特任助教）が第130回地球電磁気・地球惑星圏学会大林奨励賞を受賞

07

天文台メモワール

- 「国立天文台 お世話になりました」—— 観山正見（台長）
- 「退職のご挨拶」—— 藤本真克（重力波プロジェクト推進室）
- 「コロナ観測所と共に」—— 佐野一成（太陽観測所）
- 「坂の上の天文台」—— 山崎利孝（ALMA 推進室）
- 「退職のご挨拶」—— 武士俣 健（水沢 VLBI 観測所）
- 「中途半端な想い出話」—— 宮下正邦（太陽観測所）
- 「国立天文台退職にあたって」—— 出口修至（野辺山宇宙電波観測所）
- 「38年を振り返って」—— 真鍋盛二（水沢 VLBI 観測所）

08

特別寄稿

天文学者と仏教徒 —— 観山正見

18

お知らせ

- 「すばる秋の学校2011」報告
- 岡山天体物理観測所「特別観望会2012春」のご案内
- 2011年度「すばる観測研究体験企画」報告
- 2011年度「N体シミュレーション小寒の学校」報告
- PLCによる天文観測への影響
- モンゴル人宇宙飛行士ジェクテルデミット・グラグチャさん来台

22

連載 Bienvenido a ALMA！ 19回

ALMA de 太陽 —— 下条圭美（野辺山太陽電波観測所）

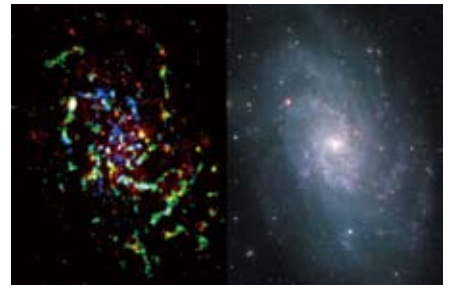
23

- 編集後記
- 次号予告

24

シリーズ 分光宇宙アルバム 23

X線分光で探る銀河団 —— 竹井 洋（JAXA 宇宙科学研究所）



表紙画像

左は、M33の分子ガス（青）、ダスト（緑）と星形成領域（赤）の地図。右は同じスケールの可視光の画像。

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）



春へ針路をとれ！2月のアルゴ座。イラスト/石川直美

国立天文台カレンダー

2012年1月

- 6日（金）理論専門委員会
- 17日（火）～18日（水）CfCA ユーザーズミーティング2011
- 18日（水）総研大物理科学研究科専攻長会議
- 20日（金）運営会議
- 21日（土）アストロノミー・パブ（三鷹ネットワーク大学）/日本サイエンスコミュニケーション協会設立記念シンポジウム（東京大学）
- 23日（月）先端技術専門委員会
- 24日（火）文化財消防訓練

2012年2月

- 8日（水）研究計画委員会

- 10日（金）～11日（土）「自然科学における階層と全体」シンポジウム（名古屋市）
- 15日（水）総研大物理科学研究科専攻長会議
- 18日（土）アストロノミー・パブ
- 20日（月）太陽天体プラズマ専門委員会
- 22日（水）電波専門委員会
- 23日（木）総研大物理科学研究科教授会
- 23日（木）～24日（金）国立天文台研究集会「天文学を中心とした理工学における乱流研究」（東京大学生産技術研究所）
- 28日（火）～3月1日（木）すばるユーザーズミーティング2011年度

2012年3月

- 4日（日）すばる望遠鏡公開講演会（一橋記念講堂）
- 6日（火）天文情報専門委員会

- 8日（木）職員懇談会
- 9日（金）研究交流委員会
- 12日（月）総研大物理科学研究科天文学専攻専攻終了式
- 13日（火）教授会議
- 14日（水）光赤外専門委員会
- 17日（土）アストロノミー・パブ
- 19日（月）～22日（木）日本天文学会2012年春季年会（京都市・龍谷大学）
- 20日（火・祝）第12回自然科学研究機構シンポジウム（東京国際フォーラム）
- 21日（水）総研大物理科学研究科専攻長会議
- 26日（月）運営会議
- 26日（月）～29日（木）総研大物理科学研究科スプリングスクール（春の体験入学）
- 29日（木）平成23年度退職者永年勤続表彰式

ガスと星と、時々、ダスト



小麥真也

(ALMA 推進室)



濤崎智佳

(上越教育大学)

ガスの進化と星の形成

宇宙の星は、すべて水素を主な材料としています。宇宙を漂っている水素ガスが重力によって集まることで星となりますが、この「集まって星になる」過程を理解することは現代天文学の重要なテーマです。

星は死ぬときに大量のガスを宇宙空間に放出します。このガスは希薄な★水素原子のガス(原子ガス)として漂っています。この原子ガスが冷えて互いの重力で集まると、原子同士が結合して、分子雲と呼ばれる濃い★水素分子のガス(分子ガス)の塊になります。分子雲の多くは質量が太陽十万~百万個分、直径が数十~数百光年ある巨大な構造で、銀河にたくさん分布しています。分子雲は時間とともにさらに濃くなり、最も密度の高い部分から星が生まれます。分子雲ごとにこのような「進化」が数千万年から一億年に渡って進むと考えられています。

一方で、何千万年も一つの分子雲の観測を続けることのできない私たちは、例えば「どのようなガスをどの量で用意したら、どの質量の星がいくつできるのか」といった問いかけには答えられていません。理論的には、ガスの水素以外の成分や運動の状態が生まれる星の数や質量に関係すると考えられています。しかし観測からは、「ガスがたくさんあると星がたくさん出来る」といういわば当たり前のことしかわかっていないのです(図1左)。

最近私たちのグループによって、この当たり前の現象の中に分子雲の進化についてヒントが隠されていることがわかりました(図1右)。全体としてはガスが多ければ星をたくさんつくりますが、分子雲それぞれを見分ける細かさで比べると必ずしもガスの量だけで星の量を見積もれないのです。ガスが多くて星をほとんど生んでいない分子雲、またガスがほとんどないけれども星がたくさん生まれている分子雲がありました。これはまさに分子雲の進化段階の違いを表していると考えられます。星のレシピを知るには、分子雲の進化に関する理解は避けて通れないようです。

ガスのソーシャルサイト、ダスト

ガスの進化を決定しているのは何でしょう。色々な要因がありますが、「ダスト」が重要な役割を果たしていると私たちは考えています。ダストは、ガスとともに漂っている直径0.1ミクロン程度の固体の粒子です。星の中で核融合によってできた炭素やケイ素などが主成分ですが、ダストは原子ガスが分子ガスに変化するための「出会いの場」を提供していると考えられています。

河原でキャッチボールをしている少年達を想像してみてください。ボールはたくさん飛び交っていますが、ボール同士が空中でぶつかることは稀です。宇宙でも同じように、原子同士が出会い、くっついて分子になることはほとんどありません。ではビリヤード台ではどうでしょう。白い玉を適当に突くと、狙ってもいない色の玉に当たったりします(少なくとも筆者は)。ビリヤード台は二次元の面なので、三次元の空中よりも衝突が起きやすいのです。ダストは原子ガスにとってビリヤード台の役目を果たします。三次元空間で出会いのなかった原子ガスたちは、自分よりずっと大きなダスト粒子には簡単にくっつきます。そうしてたくさんの孤独な水素原子がダスト表面という二次元空間に集まり、結ばれ、幸せな水素分子となってまた広い宇宙

★ newscope <解説>

▶ 希薄な水素原子ガス

1ccあたり原子数個程度。

★ newscope <解説>

▶ 濃い水素分子ガス

1ccあたり分子数百~数千個程度。

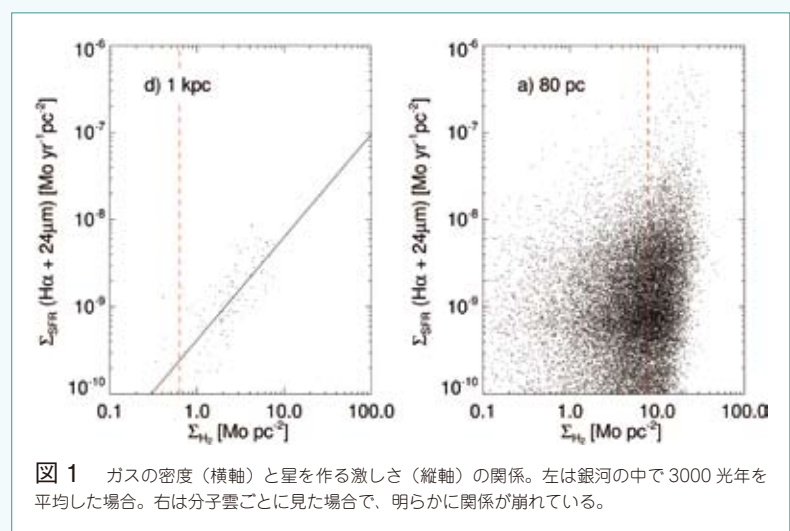


図1 ガスの密度(横軸)と星を作る激しさ(縦軸)の関係。左は銀河の中で3000光年を平均した場合。右は分子雲ごとに見た場合で、明らかに関係が崩れている。



図2 すばる望遠鏡によるM33。

へ飛び出していきます。人間世界にも似たような仕組みがあるようですが★、宇宙ではダストがなければ、原子ガスが分子ガスに変化することはほとんどできないと言われていま

す。しかし、ガスが出会うサイトとしてのダストの効率はその形や成分、そして温度によって変化すると考えられています。特に温度は、冷たすぎても熱すぎてもいけない、マイナス260℃くらいの丁度良い温度じゃないとあまり仕事したくないんだよね、といった具合に割と面倒なことを言うようです。なんだか回りくどいですが、ガスと星の形成の関係を理解するには結局、ガスの進化だけでなくダストの性質を理解しないといけません。

地図をつくる

銀河の中に数多ある分子雲それぞれの進化段階とそこにあるダストの性質、そしてそこから生まれている星。これを一挙に調べるには、何はななくとも地図が必要です。

私たちは、天の川に近い「さんかく座銀河 (M33)」の地図をつくることにしました。M33は通常の渦巻きを持ち、円盤が横向きになっていない銀河の中で、最も地球に近い銀河です(図2)。満月2個分ほどのみかけの大きさを持つM33をすべて観測するのは大変ですが、幸いM33は北半球と南半球の両方から観ることができます。ガスの観測は長野県から、ダストの観測は南米チリから、と手分けすることにしました。

野辺山宇宙電波観測所の45m望遠鏡は、分子ガスが出す「ミリ波」と呼ばれる電波を



図3 野辺山での観測の様子。

観測できる世界最大の望遠鏡です。2年間、1000時間近くをかけてメンバーでローテーションを組んで毎日、日課のようにして観測をつづけました(図3)。ダストの観測は南米チリ・アタカマ砂漠にあるアステ望遠鏡で行いました(図4)。標高4800mの乾燥した環境と新しく開発されたカメラ「AzTEC」★のおかげで観測はすぐに済みましたが、データ解析は大変でした。そもそもM33のような見かけの大きな銀河を撮るようにつくられていなかった解析ソフトを根本から見直し、テストを繰り返し、また最初に戻る…2007年の夏に初めて観測してから、気づいたら4年も経っていました。いまだにデータを見ると自然に筋肉が縮みます。しかし、苦労して得られたガスとダストの地図は素晴らしいものでした。

新しい世界

野辺山で得られたこれまでで最も高精度のM33の分子ガス地図には、数多くの分子雲が映っていました(図5左)。

アメリカのVLA干渉計で撮られた原子ガスの分布と比較すると興味深いことがわかりました。二つを比較することで「ガス全体の何割が分子ガスとして存在しているか」という指標(分子ガス比)をつくることができます。分子ガス比をみると、銀河の中心付近は



図4 野辺山45m望遠鏡(左)とアステ望遠鏡(右)。

★ newscope <解説>

▶ 似たようなしくみ

もっとも、成功率はダストより低いようです。

★ newscope <用語>

▶ AzTEC

The Astronomical Thermal Emission Camera、略してアズテック。zに対応する単語がないのは気にしない事になっている。米マサチューセッツ大学で開発された「ボロメータ」と呼ばれる検出器を使ったカメラで、冷たいダストから放射される波長1.1ミリの電波を検出できる144個の素子を持つ。装置全体を約マイナス273℃まで冷やして使用するため、冷媒の液体ヘリウムを汲むのが大変な肉体労働だった(らしい)。筆者らは三鷹から観測をする事で難を逃れた。

銀河の外縁付近に比べて明らかに分子ガス比が高いのです(図5右)。言い換えれば、銀河の中心近くでは外側に比べて効率よく分子ガスが形成されているということになります。これは初めての発見で、銀河規模でどの様に原子ガスが分子ガスに変換されているかを理解するヒントになりそうです。

チリで得られた世界で初めてサブミリ波で見るM33のダストは、渦を巻きながら分子雲に沿って分布していました(図6左)。

原子ガスから分子ガスへの変換にはダストの温度が重要な役割を果たす、というのが私たちの予想でした。そこで赤外線的数据を組み合わせてダストの温度を計算してみたところ、驚くべき結果を得ました。銀河全面に渡ってダストの温度が非常に滑らか、かつ緩やかに中心から外側へ向かって下がっていました(図6右)。中心でマイナス250℃、2万光年離れた銀河の端でもマイナス260℃と、たったの10℃しか変化していません。これがもし東京—ニューヨーク間だったら、気温が20兆分の1℃しか変わっていないことになります。分子ガスの割合が銀河の中心で突然大きくなるというガスの地図の結果とどのようにあわせて理解するのか、楽しみです。さらに、星の光とダストの温度を比較することで、ダストの温度を決めているのは太陽のような普通の星であることも判りました。これまでは大きく重い星がダストの加熱源だと考えられ

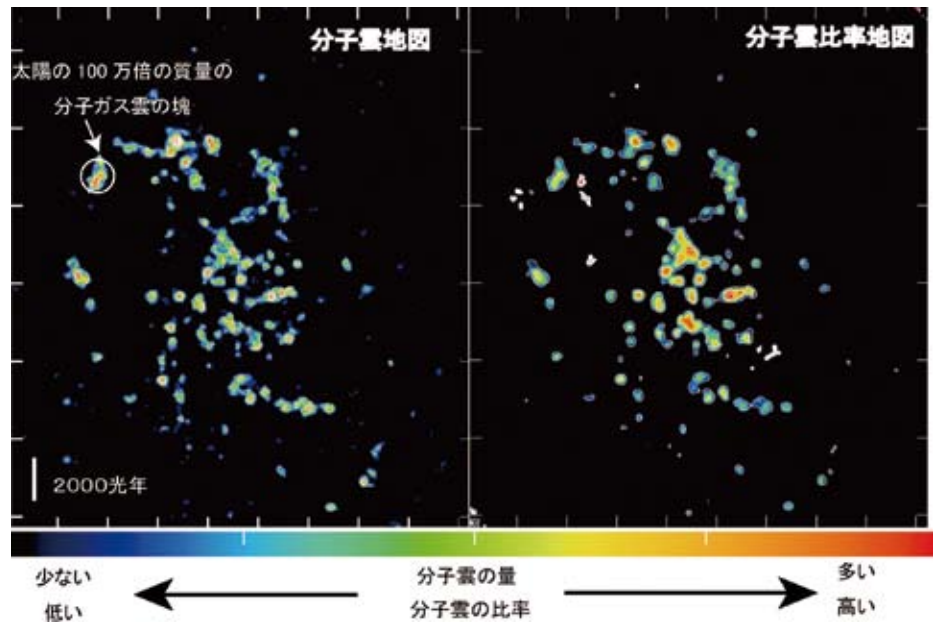


図5 分子ガス地図(左)と分子ガス比率地図(右)。

ていたので、常識を変える発見です★。

今後

私たちは分子ガスとダストという2枚の地図を手に入れました。これらを使って新たに分子ガスとダストの分布、分子ガス比の場所ごとの違い、ダストの温度やその加熱源などが判りましたが、全体としてわからないことは逆に増えたようです。この2枚の地図の関係すらまだよくわかりません。しかし、わからないことが増えたというのは、その先にはより新しく広い世界があることの証明です。これから星のレシピの研究を進めるにあたってどのような問いかけをすればいいのか、答えを得るためにどこを観測するとい

いのか、わかるようになったのが最大の成果と言えます。この地図を持ってアルマをはじめとする世界中の望遠鏡でさらに詳細な観測を行えば、もっとたくさんの疑問と答えが返ってくるはずです。

newscope <解説>

▶ 常識を変える発見

大質量星は数が少なく星形成領域に集中しているため、加熱源ならダスト温度は銀河のなかで大きくバラつくはず。温度が銀河の中でほとんど変わらなかった私たちの結果と矛盾します。

参考文献

- Komugi, S., et al.: 2011, Temperature Variations of Cold Dust in the Triangulum Galaxy M33, *PASJ*, **63**, 1139-1150.
 Tosaki, T., et al.: 2011, NRO M33 All-Disk Survey of Giant Molecular Clouds (NRO MAGiC). I. HI to H₂ Transition, *PASJ*, **63**, 1171-1179.

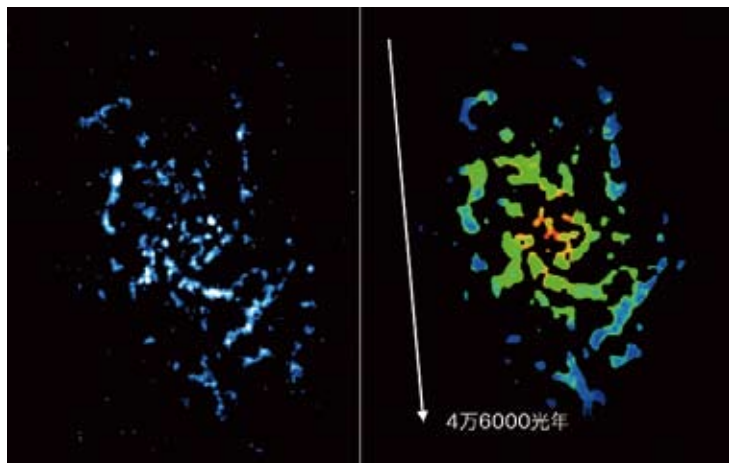


図6 ダスト地図(左)とダスト温度地図(右)。赤はおよそマイナス250℃、青はマイナス260℃。

銭谷誠司特任助教（理論研究部）が 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会大林奨励賞を受賞

理論研究部の銭谷誠司特任助教が、2011年11月5日に神戸大学で開催された第130回地球電磁気・地球惑星圏学会総会において大林奨励賞を受賞しました。

この賞は地球電磁気・地球惑星圏学会の35歳以下の若手会員の中で独創的な成果を出し、さらに将来の発展が見込まれる研究を推進している者に与えられる賞です。

受賞理由は「相対論的電子・陽電子プラズマの電流シートにおける加速・加熱メカニズムの研究」で、これに関わる3つの論文が評価されました。



★銭谷さんの受賞コメント

「私のルーツである地球電磁気学会で評価していただけてとても嬉しいです。天文学会でも、本格的なプラズマ物理研究の素晴らしさを知っていただけるよう、頑張っ行ってきたいと思います。これからもどうぞよろしくお願いたします」。

田中雅臣助教（理論研究部）が 第28回井上研究奨励賞を受賞



理論研究部の田中雅臣助教が、超新星爆発の三次元構造の研究により第28回

井上研究奨励賞を受賞しました。

この賞は、過去3年間に理学・工学・医学・薬学・農学等の分野で博士の学位を取得した35歳未満の研究者で、自然科学の基礎的研究において新しい領域を開拓する可能性のある優れた博士論文を提出した研究者に贈呈されるものです。

広い自然科学分野全体で、今年は田中氏を含め全国で30名のみが受賞しました。贈呈式は2012年2月3日に行われました。

★田中さんの受賞コメント

「井上科学振興財団より、第28回井上研究奨励賞を頂きました。2009年に私が東京大学に提出した博士論文『超新星爆発の三次元構造』を評価して頂き、大変嬉しく思っております。この研究で行った、超新星爆発の数値シミュレーションと可視光観測の経験だけでなく、共同研究者の方々との出会いが、現在の研究に活かされています。今回奨励賞に推薦して下さった東京大学の野本憲一特任教授、観測研究を強力にサポートして下さい下さった広島大学の川端弘治 准教授を始め、素晴らしい研究環境を提供して下さい下さった共同研究者の方々に感謝致します」。

平成25年（2013）暦要項発表

片山真人（天文情報センター・暦計算室）

2月1日に「平成25年（2013）暦要項」を発表しました。春分の日、秋分の日は、それぞれ3月20日、9月23日になります。日食が2回、月食が1回あります。4月

26日明け方の月食は西日本を中心に見られますが、食分は最大でも0.020とごくわずかに欠けるだけです。5月10日には金環日食がありますが、日本では、

南鳥島とその周辺海域で部分食が見られるのみです。11月3日から4日にかけて金環皆既日食がありますが、日本では見られません。

ぶしらせ
NO.01
せ

国立天文台 お世話になりました 観山正見 (台長)

私が国立天文台に勤め始めたのは、平成元年3月でしたから、平成の年代が進むと共に滞年数が延びて、今年の3月末で23年と1か月間です。大変お世話になりました。あつという間でもあるようですし、いろいろなことがあったと長く感じられる年月でした。以下小学生の卒業感想文のようになりますが、退任挨拶です。

● 楽しかったこと

今思い起こせば、一番楽しかったのは助教時代でした。池内 了教授がいて、いろんな研究・アイデアを自由に議論できる環境でした。そして、良いアイデアは、池内さんが交渉上手で実現してくれました。また、スーパーコンピューターの導入で活動をしていた、メーカーと共同研究で、スパコンを無償で導入しようとしたり、ファームシップという計算機科学プロジェクトの立案を図ったり楽しい時代でした。

研究面では、星・惑星形成で、大学院生と一緒に研究できたことも楽しい思い出です。幾人かの大学院生を引き連れて、米国の国際会議に出席・発表したり、国際会議を日本で主催したり、有意義な日々でした。また、野辺山の長期観測プロジェクトを立ちあげて、数年間観測に参加したことは、貴重な経験でした。観測者を観測して、その気質も少しわかりました。

● 責任を感じたこと

その後、池内さんが転出して、私が教授に昇任しました。理論天文学研究系主幹や計算センター長を務めて、責任が次第に増えてきました。決定的だったのが、企画調整主幹(副台長格)に教授会の選挙で選ばれたことです。亡くなった小杉健郎さんと、教授会の選挙でトップ同数になり、その後数回同数投票が続き、結局私が選ばれました。これが管理職としての方向性を決めた転機で、その後十年間、企画調整主幹・副台長を務め、台長職を6年間も

続ける発端になりました。あの時、小杉さんが選ばれていたら、また別の人生だったかもしれません。

● 大変だったこと1

大学共同利用機関(大共機関)の法人化という嵐がやってきた時です。しかも、大共機関は、国立大学に先行して独立行政法人化されるという動きがあり、その防戦に大変でした。小平台長の頃でしたが、よく所長懇談会に代理で出席しました。

40代であり血気盛んで、代理にもかかわらずいろいろな発言しておりました。そのためか、懇談会に設置された目標評価担当の第三部会の座長をすることになり、「研究評価」に関わることとなりました。法人化は、その後多数の時間を費やす課題となりました。

この評価の関係から、学位授与機構に国立大学の評価の機能を付与するための準備委員会に、途中から参加しました。後で聞いた話ですが、それまでは大学出身の委員は、大学の評価なんてやめようという空気だったそうです。私は、散々大共機関の評価のあり方を検討してきましたから、「評価を受けることは今や当然だ」という発言をいたしました。それで、委員会の空気は完全に変ったということ、後の大学評価・学位授与機構の木村 孟機構長(当時)から伺いました。このご縁で、大学評価・学位授与機構の非常勤監事や、木村先生が主査であった文部科学省文教施設部の委員を務めることとなりました。

● うれしかったこと

ハワイのすばる望遠鏡は安定期で、数々のすばらしい成果をあげました。国民の多くの方に喜んでいただき、いろいろな講演会でも、文部科学省でも、マスコミの方と会っても、すばる望遠鏡は大成功であるとお褒めをいただきました。本当に台長冥利に尽きました。また、超広視野カメラ(Suprime-Cam)の活躍で宇宙論的な研究に成果を出し、世界的な評価を受け、その結果、プリンストン大学や東大IPMUからも装置開発に参加の表明がありました。すばるが現代物理の最先端を切り開く装置であると認識されるようになったこと、また、技術力も世界トップレベルになったことは、大変うれしいことです。



ALMA 所長会議 (2012年2月18日)。左から、林次期台長、観山、de Zeeuw(ESO所長)、Ball(アルマ観測所副所長)。右から Lo(NRAO所長)、Bocaz(アルマ観測所スタッフ)、de Graauw(アルマ観測所所長)。

● 大変だったこと2

すばらしい成果が約束されている計画で期待は大きいですが、国際協力事業 ALMA は、体力的にも精神的にも大変な事業です。最高決定機関の協議会に年2回(日本から30時間のチリで開催)参加し、毎月の深夜か早朝の電話会議、別に4所長会議が年3回と毎月の電話会議、人事委員会、予算委員会など本当に大変でした。我が国ががっぷり四つに組んだ最初の国際学術事業と言っても過言でなく、大いに得るところが多い計画です。その中で、痛感したのは、研究者でも、エンジニアでも、事務職でも、国際的に通用する力を持つ人をもっと育てなければならぬということです。

● 辛かったこと

古在由秀さん、小平桂一さん、海部宣男さんなど諸先輩の指導と、副台長をはじめとするスタッフ、そして、理論の皆さんのおかげによって、様々なことがありましたが「辛い」と思ったことはありませんでした。いつも支えていただいた秘書の鈴木初恵さん、泉 塩子さん、小林香代さん、岩下由美さん、そして、村上祥子さん、本当にお世話になりました。そして皆さんありがとうございました。



プリンストン大学との懇親会。左から2番目が、Ed Turner(プリンストン大学教授)、3番目が Stew Smith(プリンストン大学研究担当部長)。

天文学者と仏教徒

国立天文台長 観山正見



左から長圓寺全景、五月の境内の花々、黒松に咲き乱れるカヤラン（茅欄）。

2008年に、私が国立天文台の台長になったとき、英国のある科学者から一通のメールをいただきました。そこには、「あなたは、日本の天文学の中心的存在である国立天文台の台長になったそうだが、同時に、寺の僧侶であると聞いた。そこで質問したいのだが、仏教では創造主は誰か？ 僧侶である身と、天文学者（科学者）は矛盾しないか？」という内容が書かれていました。

確かに私は、広島県東広島市の浄土真宗の寺の長男として生まれました。この寺は、長圓寺と言い、1599年に創設されました（ガリレオが望遠鏡で宇宙を見る10年前）。私が住職を継承するとすれば、15代となるようです。境内は横にながく、庫裡（参拝者が会食などするところ）は茅葺きです。話は横道にそれますが、五月になると境内では藤の花、シャクナゲ、ボタンが咲き乱れ、それはきれいな景色です。それともう一つ、境内の黒松にカヤランという特殊な欄が黄色い花を咲かせるのも5月です。

結局、英国人のメールには返事を出さずじまいでした。ただこれ以外にも、海外の研究者に、私が寺の僧侶である（宗教者である）と話しますと、多くの場合、大変びっくりされるのが常です。そして、同様に、以下のような質問を受ける場合が多いです。同様の質問をされる日本の方もおられます。

- ① 科学者と僧侶（宗教者）という立場は互いに矛盾しないのですか？
- ② 自然科学と仏陀の教義は矛盾しないのですか？
- ③ 仏教では、宇宙の創造主は誰なのですか？
- ④ あなたは科学者として「浄土」をどのように考えるのですか？

等です。特に④はなかなか難しい質問です。

仏陀の教えには、創造主はいません。この点は、キリ

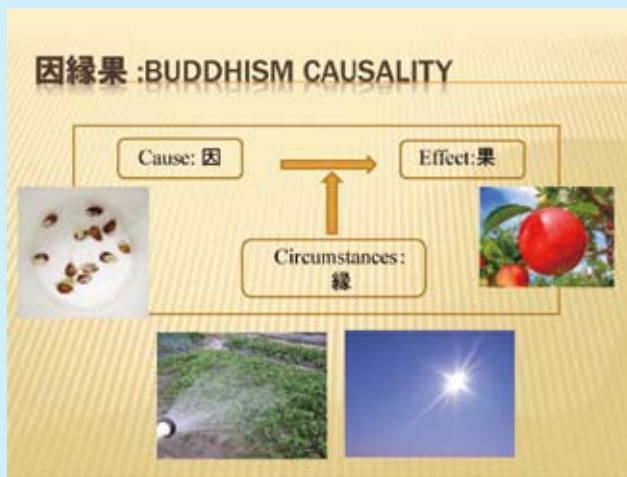
スト教やイスラム教と大きく違う点です。特に、欧米の科学者は、キリスト教と、ガリレオやダーウィンなどの科学者との争いの歴史を知っていますので、上のような質問は自然なのでしょう。

それでは、仏陀は自然についてどう考えたのでしょうか？ 仏教の教えにはいろいろな根本理念があります。その中に重要な教えとして、「因果」の法則、または、「因縁果」があります。すべての物事の成立、つまり事象（果）には、それを生み出す原因（因）があると教えま。たとえば、リンゴという果実があれば、それには種という原因があり、土や水や太陽の光という環境（縁）が関与しています（次ページの図参照）。そして、結果は、新たな原因となって、次々と原因と結果をくり返します。やがて、様々な事象は無数の関係性を作っていくと仏陀は説きます。これは、誠に、科学的に見ても自然な考えです。この関係性は、空間的にも時間的にも膨大なネットワークを作ります。

私たちの存在は、先祖の様々な関係性の中に生まれしており、友人や知人などの人間の関係性のおかげで社会的に生きています。それだけでなく、食物の連鎖、環境のつながり、そして宇宙ともつながっています。宇宙には星の一生というサイクルがあり、その結果、物質の生成、循環があって、私たちの存在は、宇宙の創生にまでつながっていますが、正にこの関係性の一端です。

仏教の「因果」の法則は、言うなれば科学的であり、そして、この関係性は、仏教の基本的概念を生み出します。その一つは、すべてのものは時間的に変化することから「諸行無常」と言う概念が生まれます。そして、すべてのものは、様々な関係性に生きているということから、自分自身を明確に定義できないので、「諸行無我」に行き着きます。

仏教の教えは、キリスト教やイスラム教のように、すべての物事を創造した絶対神を認めませんから、東洋の



歴史の中では、科学的な考えと大きく矛盾することはありませんでした。しかし、だからといって仏教と科学が、同じ方向性を持っているということではなくて、それらは全く異なる営みです。

科学の主たる目的は、物理的現象の中に、基本的真実や法則を発見するものです。科学者は、物理過程の一片を切り取って、その中に存在する普遍性や、結果の客観性を極めて重要視して、法則を作り上げます。たとえば、再現性のない実験や、誰もが確認できない発見は、意味のないものとされます。ケプラーの法則やハッブルの法則など、人の名前がついた法則がありますが、その人にだけに当てはまる法則ではなくて、万人に当てはまる法則です。

一方、仏教の主たる目的は、科学と全く異なります。苦しみからの解放を導く教えであり、「目覚めたもの」になる方法を教えます。これらのプロセスは、主観的であって、個々の人間に具体性を持って教えられます。決して、すべての人に適応する普遍的な方法は採りません。一人ひとり、異なる独自の味わいをするのが、仏教の受け取り方でしょう。

従って、この全く異なる方向性のため、私自身の中に、仏教の考えと、科学的思考は共存できています。

最後に、著名な物理学者が仏教の心に触れたエピソードをお話ししましょう。大正時代の1921年に、物理学者アインシュタインは、日本を訪れました。香港から船で神戸に着いたのが11月17日でした。香港で、ノーベル物理学賞の受賞の報が入ったこともあって、日本では大歓迎であったようです。アインシュタインは、日本の各地を訪問して、講演や講義をしたようです。相対性理論の講演もあり、講演会は何処も超満員だったそうですが、その内容を理解した人は一人もいなかったという笑い話が残っています。さて、アインシュタインは、来日に際して、文部省の人に、せっかく東洋の地に来たのですから「仏教の心」に触れたいとお願いされたそうです。

そこで、文部省は、浄土真宗の僧侶である近角常観師ちかづみじょうかんを紹介しました。近角先生は、アインシュタインに会って、日本の

古い民話である「おぼすて山」の話を始められたそうです。

遠い昔、ある貧しい農村では、老人がある年齢に達しますと、若い人の食いつちを確保するために、山に老人を捨てに行くきまりがありました。ある一軒の家でも、母親がその年齢に達しましたので、息子が背負せおひ子に母親を乗せて山に連れて行きました。帰ってこれないほど深い山まで母親を捨てに行きました。いよいよお別れの時です。

「お母さん、いよいよここでお別れです。今までのご恩は一生忘れませんが、村の掟おきてなので、申し訳ないけど、ここに置き去りにして帰ります。」と泣き声で母親に別れを告げました。母親の弱った足では、とうてい村に帰れないでしょう。餓死するか、オオカミに食べられるのが必定です。

「息子や、こんなに深い山まで入っておまえは、里まで道に迷わず帰れるか？」

「確かにここまで深く来たことはないが、たぶん大丈夫だろう。」と言う息子に、母親は、

「私がおまえの背中に負われて来ていた道すがら、分かれ道では、枝を折って目印をつけておいたよ。それをたどっていけば里に帰れるよ。」と教えました。息子の泣き声は一層大きくなりました。

近角師は、アインシュタインに説明しました。この母親は、まさに自分の境涯は、死にゆくのみというときにもかかわらず、自分の息子の心配をしています。この母親の我が子への愛は、なんの代償も求めない慈愛です。そして、その慈愛こそ、お釈迦様が自らを信じるすべてのものへ与えられる慈愛と同じですと、お教えになりました。

それを聞いてアインシュタインは大変感動して、「私は、初めて東洋的な仏教の心に触れることができました。それと同時に、日本に来たことを本当にうれしく思いますし、そのような仏教の教えに会えたこと、また、その教えを信じる人々に会えたことを大変うれしく思います。」と結ばれたそうです。

世界的な科学者にも、仏教の心はなんの矛盾もなく受け入れられたということでしょうか。

天文台メモワール

東京天文台の天文時部に職を得たのは、博士論文として取り組んだ「かにパルサーからの重力波」検出実験で装置から見たパルサーの正確な回転位相の情報が必要となり、太陽系重心に対する装置の位置と時刻を精度良く知るために時系や位置天文学に関心をもったことがきっかけでした。天文時部ではルーティンとして午前9時（世界時0時）の時計比較と写真天頂筒による地球自転に基づく時刻決定観測があり輪番制で担当していましたが、個人的には大学院時代からの延長である重力波検出実験を東大物理の平川浩正先生の研究室に入入りして続けておりました。最初の海外留学もローマ大での重力波実験への参加でした。物理学会100周年記念事業で来日されたアマルディ教授が名大の早川幸男先生や平川先生と重力波研究での日伊協力について相談された結果、第一陣として私がイタリアに行くことになったものです。天文時部の仕事とは直接関係のない用件での留学を就職してわずか2年で許可していただいたことは、自分が責任ある立場になってみて、その当時の先生方からは本当に大きな度量と忍耐深さを示していただいたのだと今更ながら深い感謝の気持ちを覚えます。

帰国後はGPS衛星からの信号を利用した国際間の精密時刻比較の実験と定常運用の開始や、時系や座標系、天文定数系を相対論の枠内で矛盾なしに定義する研究を行うなど、天文時部に関係する仕事にも取り組みました。この頃の研究については、1月号14ページの青木信仰先生の追悼文のなかで簡単に書きましたので省略しますが、フンボルト財団の招聘研究員としてドイツ・シュトゥットガルト大で二度目の海外留学生活を楽しんだ

ことは貴重な経験でした。

国立天文台への改組が議論されている最中に、私にとって大きな出来事が続けて起きました。平川先生の逝去とその3か月後の小柴昌俊先生による超新星爆発からのニュートリノ検出です。後者が「次は重力波検出を」という期待を抱かせ一方で、前者はそれまで行われてきた我が国の重力波研究の継続を危うくするものでした。早川先生は電気通信大の宅間宏先生やコロラド大の水島正喬先生と相談され、散在していた重力波研究者を組織化し研究推進の強化をはかるために研究グループの結成を呼びかけられました。平川先生の共同研究者として個人レベルで研究に参加していた私も京大の中村卓史さんや東大の坪野公夫さんとグループ結成に加わる一方で、天文時部を改組後は時刻だけでなく時空間を研究する「宇宙計量（私の造語）」部門に変更する提案を行いました。これは、相対論の枠組で時系や座標系を考える研究からの必然的な帰結でもありましたが、この部門の研究対象に重力波が含まれることもひそか(?)に期待しての改組案でした。

その後、重力波検出をめざす研究は、研究グループによる共同研究として主に大型科研費を使って行われました。国立天文台では重点領域の計画研究の1つとして基線長20mのプロトタイプでファブリペロー方式レーザー干渉計の開発研究を行ったのに続いて、創成的基礎研究として基線長300mの実証型の重力波検出用レーザー干渉計を三鷹構内に建設することになりました。TAMA300と名付けた干渉計は我が国の重力波研究者がグループの共同研究として建設し運転するもので、古在由秀先生に研究代表者を引き受けていただき、国立天文台はホスト

機関としての役割を担うことになりました。こうして重力波の研究は宇宙計量部門の最大の研究テーマとなり、私はTAMA300の現地責任者になりました。TAMA300が米欧で建設が開始されていた大型レーザー干渉計に先駆けて実証機として最初に運転を開始して、当時の世界最高感度での長時間運転に世界で初めて成功できたことは、多くの共同研究者の協力の賜物ですが、なかでも重力波研究グループが結成された後に大学院生として育ってきた若い力と彼らの超人的な努力による部分が大きいと思います。彼らの多くはTAMA300や米欧で動き出した大型干渉計などでさらに経験を積み、昨年度からスタートした大型低温重力波望遠鏡（LCGT）計画推進でも中核として活躍しています。

個人の研究者としてはLCGT（愛称：かぐら）計画の開始があと5年早かったら、との思いはありますが、法人化やその原因でもある政府の財政危機の影響もありやむを得なかったものと思います。あるいは我々の努力不足を別の外的原因に押し付けているのかも知れませんが、ともかく、震災前に予算がただけでも幸運と思わなければならないでしょう。LCGTや米欧で進行中の改良型干渉計による重力波検出の実現と重力波天文学の開始を信じて、これからも応援を続けて行くつもりです。皆様方もぜひ新しい研究分野への挑戦を暖かく見守り御支援くださいますようお願いいたします。

最後になりましたが、私の自由な研究活動を許容して応援や叱咤激励をくださった諸先輩方と同僚の皆様、また一緒に夢の実現に向けて頑張っていたいている重力波研究に関わる皆さんと私を支えていただいた多くの方々に感謝いたします。ありがとうございました。



(左) イタリア滞在中トリエステで開かれたマルセル・グロスマン会議のあとベネチアで(左から、前田恵一、藤本、中村卓史、観山正見)。(右) 宇宙計量の職場旅行で台湾に。

退職のご挨拶 藤本真克 (重力波プロジェクト推進室)

たま かぐら TAMA から KAGRA へ

藤本真克 (重力波プロジェクト推進室)



TAMA300のトンネル内にて、移動用の自転車に乗って（取材用のポーズです・笑）。

大型低温重力波望遠鏡（愛称：KAGRA / かぐら）の建設が始まった。KAGRAは8億光年の距離で発生する連星中性子星の衝突・合体からの重力波を検出できる感度を持つ。銀河系内で発見されている連星パルサーから推定される衝突・合体の頻度と観測範囲にある銀河の数から計算すると、検出可能な重力波を発生する連星中性子星の合体は1年間に数回以上起きていると予想される。そのため、数年の観測で重力波を捕える可能性は大きく、重力波による天文学を切り開くものと期待される。

今世紀に入った頃からTAMA300を筆頭に独英のGEO600、米国のLIGO、仏伊のVIRGOが稼働を始め、重力波の探査観測を行ったが、これまでで最も高感度な観測でも1億光年の距離までしか探査できなかったため、1年を超える探査観測によっても重力波は検出できていない。そのためレーザー干渉計をさらに高感度化して探査範囲を広げる計画が各プロジェクトで進行中である。LIGOとVIRGOは装置の大幅な改造に着手しており、我が国ではTAMA300に続く本格的な検出装置としてKAGRAを新たに建設している。

建設を始めた当初のTAMA300やLIGOは、重力波検出用レーザー干渉計の標準的な構成をしており、「プレーンピザ」に例えられた。プレーンピザであっても素材となる高出力高安定なレーザー光源や光学的にも機械的にも高性能なミラーなどは、簡単に購入すれば済むものではなく、自らが性能評価し開発にも協力しなければならなかった。TAMA300は

素材の入手に成功し、様々な雑音源への対策と長時間安定運転への取り組みの結果、レーザー干渉計が重力波検出装置として利用可能である（食べられるプレーンピザを作る）ことを世界で最初に示すことができた。建設に平行してグループ内では「トッピング」についての議論も始

まり、外国の計画にはない日本独自のものとしてミラーの低温化に取り組むことになった。また、設置場所についても国内外の数か所の候補地について検討され、神岡鉱山の地下トンネル内を最有力と決めた。こうして、TAMA300に続く本格的な検出装置は、「基線長3km」「地下」「低温」を3本柱とすることになったのである。

高感度化を実現するには、干渉計を構成するミラーの位置ゆらぎを可能な限り抑える必要があり、防振と熱雑音低減が

重要になる。鉱山内の地面振動は三鷹に比べると100分の1以下と非常に小さいがそれでも十分ではなく、高性能な防振が必要である。防振装置についてはVIRGOで使われているものと類似の低周波防振装置をTAMA300のトッピングの一つとして導入し開発してきた。そこでの経験と実績を基にKAGRAでも常温部分の防振用に低周波防振装置を採用する。また、熱雑音低減のためにはミラーを20Kまで冷却する方法を採用した。ミラー冷却での熱雑音低減による感度改良も神岡鉱山内に設置した基線長100mのプロトタイプ干渉計CLIOによって実証され、KAGRAの建設が認められる大きな要因となった。

我が国の重力波研究グループは、目下KAGRAの建設に全力を注いでいるところであるが、KAGRAや欧米の改良型検出器が稼働を始めて重力波が検出される時代は目前に迫っており、重力波を含む多種類の観測手段による「マルチメッセンジャー天文学」への展開を真剣に考え、準備を始める時期に来ていると考える。国立天文台として今後もこの分野へのこれまで以上のご支援をお願いしたい。

KAGRA（かぐら）の命名

1月28日に、東京大宇宙線研究所より大型低温重力波望遠鏡の愛称は「KAGRA（かぐら）」と発表されました。その由来は、望遠鏡が設置される岐阜県神岡（KAMIOKA）と重力波（Gravitational Wave）の頭文字を組み合わせ、「神楽」のイメージと重ねたものです。作家の小川洋子さんを委員長とする命名委員会によって、全国から応募された350を超える愛称候補の中から選ばれました。命名委員の一人で本誌の編集委員長でもある渡部潤一さんは「委員会では、もっとも多くの方から寄せられた名称候補と競ることになったが、最終的には、カミオカおよび重力波の英語名の組み合わせと、日本語での意味の良さが重視され、かぐら（KAGRA）に決定した」と述べています。



選考会のようす（写真提供：東京大宇宙線研究所）。

コロナ観測所 と共に

佐野一成
(太陽観測所)



昭和46年に環境庁が発足され、その組織内にパークレンジャーと呼ばれる憧れの職業が有りました。当時、全国で55人という超難関の狭き門に無謀にも挑戦しようと、環境庁の自然保護課を目指しましたが、この年は人を取らないとの事で次年度に望みを託していた折、乗鞍コロナ観測所からお声が掛かったのです。話だけでも面接に出かけたのですが、国立公園内で仕事が出来ると言う事を聞き、自然に関われるのであればこういう道もいいかなという気になり、気がついたら即採用になっていました。新年度前の中途半端な時期に入台し、厳冬期の登頂は無理であったため、乗鞍コロナ観測所に初登頂したのは昭和47年4月でした。4月と言っても乗鞍は銀世界、スキー板なるものを担がされ登ったのですが、「下山時は滑って下りなきゃ帰れねえぞ！」と先輩から脅され……どうする？

実はスキー経験なし、始めてスキー板をはいたのが海拔2876mの山頂で、靴擦れのため血と涙を流しながら地獄の特訓に耐え、当時の滞在期間（3週間）を過ごしました。スキー指導員の資格のあ

る地元職員の方々のお陰で、山スキー最強テクニック「ボーゲン」と言う技を習得し、無事下界に帰還することが出来た時の安堵感は今も忘れられません。

あれから40年、振り返るとあっという間でしたが、天文に全く興味がなかった私もいつの間にか少しでも良い観測をしてやろうと必死になっていた自分が居たことは確かで、コロナ緑色輝線眼視観測時代は年間データ取得回数1位の年もあったと思います。時の流れと共に観測もアナログからデジタルに移行してゆき、自慢の25cmコロナグラフ観測装置も改修を重ね何とか新しい観測に対応してきましたが、施設も含め老朽化と言うことで閉所を余儀なくされました。25cmコロナグラフの観測が開始されたのが昭和47年からですので、このコロナグラフは正に同期の桜です。皮肉にもコロナ観測所閉所作業に関わり、散ってゆく姿を目にするとは思いませんでした。自分の手で分解した観測装置を手にとると、その一つ一つから思い出が蘇り、言い知れぬ寂しさがこみ上げてきましたが、「頑張ったね！ご苦労様。」と声をかけ梱包していきました（涙）。

また生活面では、辛かった厳冬期の登下山、猛吹雪、雪崩、急斜面アイスバーンのトラバース等、大自然からの容赦無い洗礼を受け、気を許せば命を落としかねない状況にも何度か遭遇しましたが、大きな事故も無く閉所を迎えることが出来た事は、仲間の信頼感と絶妙なチームワークがあったからこそなせた技だと思っております。

そんな中で心の支えとなったのは、これもまた乗鞍の大自然、沢山の元気と感動を貰いました。パークレンジャーにはなれなかったけど、私なりにこの大自然と融合できたと満足しております。

最後に沢山ある思い出画像の中から、お気に入りの画像を数枚ご紹介したいと思います。長い間支えてくださった皆様、そして乗鞍コロナ観測所に感謝！



滅多に無い快晴での下山。下界へまっしぐら！



日の出前に現れた、珍しいサンピラー現象。

天文台メモワール

東京天文台へ初出勤の昭和43年、東京一帯の大雪のために電車が止まり、やっとたどり着いた正門の坂は滑ってのぼりにくかった。勤務43年間を振り返れば、これがハプニングの始まりであった。

はじめは天文時部に配属されPZT観測にあたった。観測業務は約20年担当した。昭和27年ころ作られた望遠鏡は多くの改良もなされていた。観測当番は、前夜に観測された2枚の乾板を計測し、暗くなるのを待って観測準備をはじめ。前半夜と後半夜の間に乾板の交換をし、後半夜の観測終了を待ち、回収した乾板の現像をして、作業終了となる。乾板は水の中に入れ、現像するので、いかに一様に乾燥するかに工夫を必要とする。関東一円が被雷した1988年初夏、PZTは望遠鏡に落雷した誘導を受けて、電気回路が全滅して突然の終焉となった。

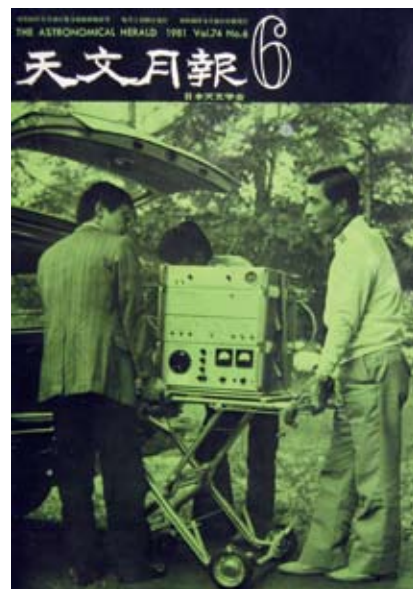
1980年代にはPZT観測と同時に天文時部内の時計部門の仕事も併行していた。インテル社の8008という8ビットのプログラムで動くLSIを用いた回路製作をした。メモリーボードのバスラインの配線とハンダ付けは気の遠くなるような作業であった。当時から計算機関係の進歩の速度は1年で倍と言われていた。ちなみに、クロックが500kHzで2マイクロ秒のアクセスタイムであった。

観測データの計算機での処理が始まり、ソフト開発に没頭した。当時の計算機は沖電気5090という大量のトランジスタ回路で動いていた。紙テープに、algolipというプログラム、データも入力した。パンチミスを修正するときは手動パンチでも穴あけをして修正した。年を追うごとに媒体もプログラム言語も進歩し、紙からカードになり、MT、フロッピーなどと変化し、使う言語もFORTRAN、Cなどと変わった。

中央標準時の維持管理という仕事も長く携わった。年に2回ほど定期的に国内研究機関への運搬時計比較を行った。国内の時計の相対的な差は運搬比較で校正した。米国からはフライングクロックといって、Cs型原子時計を持ち歩いてアジア地域の時刻同期を行っていた。日常的には、短波信号、LORAN-C、TV同期信号など電波信号を仲介にして差を計測しモニターしていた。1981年ごろ画期的なGPSシステムが導入され精度が一気に向上し、大きく変わった。このため国内外を含めて、運搬時計比較の必要性がなくなった。

GPSは当時最先端の技術装置であり、面白かった。やがて三鷹のタイム部門も閉鎖になり、重力波の部門へ移った。重力波が立ち上がるまでは、子午環観測当番などをしていた。この頃、宇宙研の屋上に1.3m赤外望遠鏡の駆動ソフトの開発依頼を受けて、観測やトラッキングソフトはC言語で開発して動かした。Cのポインターに不慣れで、最初から書き直しを何度もした。Cの開発環境も貧弱であった。そうこうするうちに、大型の科研費で20m、300m重力波アンテナの建設となり、事務処理も担当した。そしてALMAとなった。若い頃に耳の病気を煩った後は、会話が聞き取り難く会議などが苦手になった。海外への出張は、3回ほど経験させていただいた。

登山は国内での3000m以上は聖岳を残すのみである。お金もないので、手近なロッククライミングにはよく出かけた。週末には青梅線に乗り、翌早朝から岩に取り付いていた。冬山で新雪雪崩にまきこまれたこともある。前穂高や剣岳の岩などによく登り、耐寒訓練としてシュラフのみで氷の上や雪壁に穴を掘ってのピバーク訓練などをしたものだ。穂高の岩場では人が降ってきたことがあったし、大雨の中でやむなく通路に幕営し、水責めに遭うなど危険な場面に出くわしたり



運搬時計比較の様子。写真左端が山崎さん（1981年『天文月報』6月号表紙より）。

もした。わずかに残った燃料の白ガソリンを火に投げ込み、手元まで燃えてきたヒヤリハットも経験した。これらの訓練のおかげで6200mの山に登った時に、-24℃でのイタサにも耐えられたことはいまでも思い出す。山は高く大きく、すべてが雄大だった。麓での荷揚げ中、山はほとんど曇の中であり、時折見える山はきれいであった。マッキンリー山、登頂の日だけは快晴だった。

天文台宿舎での約20年の生活は、四季折々にこの東京での田舎暮らしを楽しめた宝物だったと感謝している。

先輩の退職の折『過去のことは忘れて、先のことを考える』と言われた言葉を思い出している。最近は木工工作の趣味を楽しんでいる。土、日が作業日。年に1作程度である。簡単なものしかできないが、無垢材での作品はいいもんだと自己満足している。

初日にすべった「天文台への坂道」は、今でも息を切らしている。雨には泥水で、雪にはすべるのは変わらない。無事に定年になり、多くの方にお世話になりました。ありがとうございました。



坂の上の天文台 山崎利孝 (ALMA 推進室)

天文台メモワール

退職のご挨拶

武士 健

(水沢 VLBI 観測所)



1989年、改組間もない国立天文台にお世話になり23年間に過ぎました。最初の赴任先は改組により国立天文台に合流した旧名大空電研の太陽電波部門の豊川観測所でした。そこは1950年代から続く太陽電波観測の拠点の一つであり偏波計、太陽電波干渉計、電波ヘリオグラフによる観測が続けられていました。先輩職員と私の二人で観測装置を運用し保守することになりましたが老朽化も進んだ数十台のアンテナを動かしてゆくのは大変で、故障部品の交換などいたちごっこの状態でした。それまで学生実験以来マイクロ波のような周波数の高い信号を扱ったことの無かった私にとって大変新鮮で有益な修行の場となりました。太陽電波干渉計はパラボラアンテナどうしを導波管で接続して構成した干渉計でした。干渉計の発展の歴史の中の一方式で今では見ることのできないもので、それに触ることができて良かったと思っています。

観測所は戦前の海軍工廠の跡地のため戦争遺跡が多いことや、春のワラビ、秋のアケビなどの環境もあって私にとって豊川での活動は特に印象深いものとなっています。

その後偏波計は野辺山に移設されすべてのアンテナが撤去され豊川観測所は短期間でその幕を閉じました。

電波ヘリオグラフの建設が始まり私も

参加するため野辺山勤務となりました。建設が進み調整段階で初めてリアルタイムの太陽画像が現れた時は干渉計と言うより電波写真儀の名称に納得でした。84台のアンテナの運用・保守、ヘリオグラフの2週波化改修、太陽観測衛星「ようこう」の運用など懐かしく思い出されず。

最先端の観測装置のある野辺山観測所はいわば、あこがれの職場でアンテナに囲まれた生活は基本的に楽しいものでした。

最後は三鷹勤務となり相関器室を足場にJ-Net、VSOP、VERAなどの仕事をを行いました。

「はるか」のリンク運用、VERAの立ち上げなどいろんな仕事をすることができました。Astro-G計画は残念ながら中止となってしまいましたが最高の分解能がもたらされるスペースVLBIによるAGN観測はいつか行われると思っています。

入台当初は以前に勤務していた大学と天文台の予算規模と比較的自由な雰囲気の違いに驚いたものです。この恵まれた研究環境をさらに伸ばし国立天文台の研究が発展することを希望しています。

これまで多くの方々にお世話になり感謝いたします。

ながい間ありがとうございました。



豊川観測所の太陽電波干渉計(9.4GHz)と弾薬庫屋上の偏波計。

天文台メモワール

初出勤の1966年4月1日は小雨が降っていました。どの建物に行ってもかわからず守衛所でしばらく待っていると入江さんが出勤してきて、旧本館の太陽の部屋に案内されました。現在の中央棟は完成していましたがまだ引っ越し前でした。入江さんには以後ずっと公私ともにご指導して頂きました。最初に教えて頂いたのは8インチでの太陽全面像の撮像および現像でした。シャッターは扇形の角度を変え露出を変えるスリットシャッターで、セットをどじると内部のスプリングがはずれ修復に苦労しました。8インチでの黒点スケッチから、近年は新黒点望遠鏡のCCDカメラによる観測に携わってきました。

乗鞍コロナ観測所にはこの年の6月に初めて出張しました。夏場は鉄道、バス、官用車で楽に登ることができますが、冬場は鈴蘭連絡所に泊まり翌日徒歩での登山になります。宇宙線観測所からコロナ観測所までの最後の上りは強風の通り道で傾斜もきつくととてもつらい登山でした。荷揚げのため宇宙線観測所へ降りるとき滑落して岩に腰を強打し骨盤を亀裂骨折してスノーボードで降されたこともありました。観測所で最初の仕事は発電機のエンジン保守で毎日の点検、データ取り規定時間でのエンジンの切り替え、今まで使用していたエンジンのオイル交換、燃料噴射ノズルの洗浄等を先輩から指導されました。観測は、直視分光器でのコロナ強度測定、太陽リム現象の写真観測等でした。1969年から病気のため6年ほど勤務できませんでしたが車が入る夏場だけ観測に従事することができました。

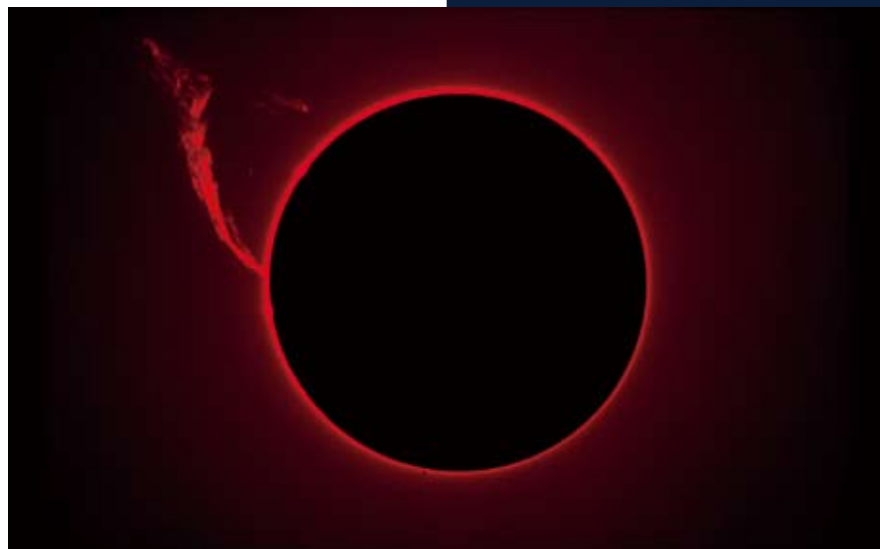
岡山天体観測所では、太陽クーデ望遠鏡での観測でした。エッセルカメラでコマ数をたくさん撮ったフィルムの現像を一人でやった時、フィルムが現像液でヌルヌルする上幅が広いので横滑りして筒のようになってしまい、2往復くらいで現像時間になってしまったこともあり



除雪後の雪の壁。

ました。マグネトグラフの観測は桜井さんに一から十まで教えて頂きました。

内之浦宇宙空間観測所では「たんせい4号」「ひのとり」「ようこう」衛星運用にかかわらせて頂きました。「たんせい4号」の時は衛星に送るOPは計算機に紙テープを使用していました。「ひのとり」では衛星のアンテナ切り替え、データレコーダーの再生等々のリアルタイムコマンドをデジスイッチで設定しエキスクートボタンを押し送信するのですが設定値を間違えているとメーカーさんが指摘してくれました。打つコマンドは多く、打てる時間も限られているので、いつも緊張しビビりながら打っていました。「ようこう」では相模原からSSOC当番として、「ひので」では衛星部品の洗浄に関する仕事に従事しました。



噴出型プロミネンス 1992年7月31日。

ご迷惑をおかけした皆様ごめんなさい。ご支援頂いた皆様ありがとうございました。



中途半端な 想い出話

宮下正邦
(太陽観測所)

天文台メモワール

国立天文台退職 にあたって

出口修至

(野辺山宇宙電波観測所)



東京大学東京天文台に就職する前はアメリカの大学に6年程おりました。自分の好きなサイエンスをやりたい放題して来たように思われておりますが、実はそうでもありません。当時のアメリカと日本の研究レベルの落差は非常に大きく、ポストドクというのは短期間でばったした成果を挙げねばならないので、ハンディを克服するのが大変でした。40歳近くになり研究もうまくいきたしたところで行先もなくなり、日本へ帰ってきて右往左往しながらもやっと定職に就けたのはまことに幸いでした。

天文学者になったからには発見の一つもしたい、名の残る仕事をしたいと誰もが願うと思われれます。一つ良い仕事ができると、今度はそれを上回る仕事をしようと思い、さらに欲求が高くなれば仕事のレベルは向上しますが、成功するのはより難しくなるものです。今日まで私がなんとか研究を続けられたのは、ひとえに良い共同研究者に恵まれたからであり、それに、私の傍若無人な態度に耐えて、あたたかく見守りサポートしていただいた人々のお陰であろうと感謝しています。ご迷惑ばかりかけた人もありますが、どうかお許しください。

大学院生だった頃、皆に「天文学はビッグサイエンスです、日本の天文学もそうならねば」と説いてまわったことがあ

りました。その時、それに反対していた人たちが、今日のビッグサイエンスを背負っている人たちです。当時は、日本は金がないからゲリラ戦でいかねば立ち行かない、と言われておりました。時代が変化するのはやむをえず、それに合わせたサイエンスを行うのは当然であろうと思われれます。今やこの国のサイエンスは、正攻法の時代は過ぎ去って、元のゲリラ戦の時代に戻らざるをえないのかもしれないと思われれます。あるいはオランダのように、金はなくとも高いサイエンスのレベルは維持し、うまく立ち回って諸国に人材を提供することであらゆるビッグサイエンスプロジェクトに参加協力していくという道を取るのかもしれない。

未来を予言することが天文学者の大切な社会的使命であると、私は考えていました。ケプラーなど星占いで生活を支えていた時もあり、惑星の軌道を計算できれば未来のすべてを予言できると考えて、ケプラーの3法則を発見したと言われていています。今日で言う万物の理論です。これには様々な異論もあろうかと思われるので此所ではこれ以上書きませんが、興味をお持ちの方がおられれば議論を吹っかけに来て下さい。

皆様の研究が進展されるのを願っております。

野辺山の春。

38年を振り返って

真鍋盛二

(水沢 VLBI 観測所)

本稿の依頼と「教職員の退職前後の手続きガイドブック」を一緒に受け取った。変でも何でも無いが退職の現実感がぐっと大きくなったのは確かである。博士課程在学中に教室主任に緯度観測所に行くかと訊かれて二つ返事でお受けして、水沢に赴任してから38年も経ってしまった。当時の定年年齢は64歳で現在と同じであるが、26歳の私にはそこまで在職するとはそれこそまったく現実感のないことであった。先日自身の経歴について代筆する機会があったが、今更ながら力不足であったと、手遅れではあるが忸怩たるものがある。

緯度観測所で最初に配属されたのは伝統ある観天頂儀係で、4日に1度、時には3日に1度の夜間観測が業務であった。若かったことと、もともと宵張りだったので、厳寒期でもつらいとは思わず勤めることができた。ただ、研究職なので教育公務員特例法は適用されないにも拘わらず、出退勤時間は適当になって行った。観測業務と研究の比率は50%ずつと言われていたが、望遠鏡の管理、観測データ整約等は他の人が担当していたので、実際にはルーチンの比率はずっと低く、結構自分の好きなことができたことには感謝している。その後異動したアストロラブ観測を含め、夜間観測者は同じ釜の飯を食ったという連帯感があり、まったく環境が変わった今でも続い

ている。

緯度観測所への電子計算機導入は比較的早く、私が就職した時にはTOSBAC 3400というシステムが入っていた。ACOS600、MELCOM COSM0900IIと更新されたが、今に比べればとんでもなく遅くメモリも少ない計算機で、国際緯度観測事業や国際極運動観測事業データの解析をするためには他人が使わない夜中にほぼ占有する必要があった。酒類自動販売機が始まる午前5時まで仕事をし、仕入れたビールを寝酒にする生活が続き、勤務時間はますますずれて、午後出勤が普通の期間が暫くあった。

入所後10年ほどしてから、文部省所轄3研究機関が中曽根行政改革の俎上に載り、組織転換の地ならしが始まった。VLBIやSLRといった宇宙測地技術の発展で、緯度観測所がやってきた地球回転観測が時代遅れになってしまったのも同時期で、やむを得ないものであった。研究テーマはVLBIとなり、勉強を始めた。東京天文台との合併が決まり、その実施に至るまでの交渉には直接関与はしていないが、その時々状況についてはある程度知る立場にいたので、交渉にあった方々の大変さ、悔しさが伝わってきたものである。

国立天文台への改組統合後の第1回教授会議には敵地に乗り込む気持ちで行った。徐々に慣れたものの今でも文化の違いを感じることもある。三つ子の魂百までとはよく言ったものである。この違和感がその後皆さんをお世話する立場になってから発展の足を引っ張ったかもしれない。

国立天文台ではもっぱらVLBIを行った。ただ貧弱な陣容で長期的にNASAと張り合うのは大変で、結局解析センターを維持することは諦めた。また、10m望



スズメバチの巣をとってこれから食べようとしているところ?!

遠鏡を使ったIRIS-Pも消滅し、ここでも我が身の力不足を恥じなくてはならない。

測地学におけるVLBIの黄金時代は10年程で終わり、主役はGPSに移った。改組以来の悲願であるVERA計画は銀河系位置天文学に装いを変えた。VERAとはしばらく距離を置いていたが、推進体制が改まったことを機にこれでは駄目だ、水沢と笹尾さんを助けなくてはと100%の力を注いだ。水沢-三鷹間を何往復したことか。マフラーに穴が開いたままで東北自動車道を爆走したことを思い出す。最終的には皆様のご支援をうけて当初計画通り完成できて、感謝に堪えない。

さて、VERAが完成して10年になるが、年周視差を10 μ sレベルで決めるという目標は達成できているように見える。しかし、銀河系の3次元地図にはまだ道半ばにも達していない。ALMA、TMTと大計画が並びGAIAが迫り来る中、スタッフの漸減という厳しい状況が続くかもしれないが、プロジェクト全員の一層の奮起を期待している。

最後に地球惑星であるが、RISEが成功裏に終わったことは誠に喜ばしい。一方、VERAを用いた緯度観測所以来の地球回転・測地学はかなり厳しい状況であるが、他のグループとの協調を高めて頑張らなければならない。私の力不足がここまで状況を厳しくしてしまった一因である。

緯度観測所に1/3、国立天文台に2/3在職したが、果たして楽しんだのかはよくわからない。退職後離れてみたら結論づけられるかもしれないと思っている。

いずれにしろ、38年という長きにわたり事故なく過ごせたのは皆様のおかげと感謝している。誠に有難うございました。



就職当時の1974年の私(左)と2011年の私(右)。

「すばる秋の学校2011」報告

青木和光 (ハワイ観測所)

ハワイ観測所・天文データセンター・光赤外研究部は共催で毎年「すばる秋(冬)の学校」を開催しています。これは大学院生や大学院進学が決まっている学部4年生を対象に、すばる望遠鏡のデータ解析を体験してもらうもので、すでに取得されているデータの解析や今後の観測研究に生かしてもらうことを目的としています。これまで5回実施され、受講生でその後すばる望遠鏡を使って活発に研究を進めている若手研究者が少なくありません。

今年度(2011年)の秋の学校は、国立天文台三鷹キャンパスすばる棟において、11月29日から12月2日まで、4日間にわたって開催されました。今回のデータ解析講習には16人が参加し、3つのグループに分かれて、それぞれ主焦点カメラ(Suprime-Cam)、高分散分光器(HDS)、冷却中間赤外線分光撮像装置(COMICS)のデータ解析を行いました。

Suprime-CamとHDSは、解析講習では定番となっていますが、Suprime-Camの講習では標準的な解析に加え、小惑星など視野内で移動していく天体の解析も試

みられました。HDSについても、これまでではCCD画像からスペクトルを抽出するところまでを扱っていましたが、今回はそこから先に、天体の視線速度を測定するところも一部行いました。

一方、COMICSの解析講習は久々に実施されました。これは東京大学・神奈川大学の研究者のご協力で実現したもので、この場をお借りして感謝いたします。

解析講習以外にも、データ解析の基礎的な概念やすばる望遠鏡による最近の観測成果の講義も行われました。また、研究者としての心構えや大学院生の研究生活といった話題で円卓方式で議論を行いました。この議論は毎回、いろいろなテーマ・スタイルで試みられていますが、今回は参加者から比較的多く発言してもらうことができました。

参加者からは「解析の流れが理解できた」「どのような研究が行われているのかわかることが出来た」といった感想や「もっと解析の時間を長くしてほしい」「今回の経験を活かせるよう、観測させてください」などの要望が出されました。

今回は受講者数(16人)に対して申し



講師に質問しながら熱心にデータ解析を進める受講生(Suprime-Cam講習のひとつ)。



講師からの詳細な説明を物語るホワイトボード(COMICS講習より)。

込み数が18人ということで、かなり希望どおりに受け入れることができました。ただし、講習を実施する観測装置によって希望者数がかなり異なるので、新しい装置を加えながら「秋の学校」を継続的に実施していきたいと考えています。

岡山天体物理観測所「特別観望会2012春」のご案内

・日時

2012年5月26日土曜日

3班編成、各班出発時刻 ①1班・18時30分、②2班・19時15分、③3班・20時00分

指定の集合場所(JR鴨方駅より徒歩約10分・無料駐車場あり)より送迎バスにて移動。

所要時間、各班約3時間。

・場所

岡山天体物理観測所および岡山天文博物館(岡山県浅口市鴨方町)

・対象

小学生以上(小学生は必ず保護者が同伴してください)

・観望天体

火星・土星(予定)

・定員

100名(応募者多数の場合は抽選となります)

・参加費

無料

・主催

国立天文台 岡山天体物理観測所

・共催

岡山天文博物館

・応募方法

往復ハガキの往信面に下記をご記入の上、ご応募ください。

・応募人数

ハガキ1枚につき5名まで。

代表者の郵便番号、住所、氏名、年齢、連絡先電話番号、希望する班の番号(①、②、③、いずれでも可は④を指定)

また、返信面の宛先には、代表者の住所、氏名を記入してください。

・応募期間

2012年4月2日(月)から2012年5月2日(水)。

結果は5月14日までに連絡いたします。

・応募先

〒719-0232 岡山県浅口市鴨方町本庄3037-5

岡山天体物理観測所 特別観望会係

・お問い合わせ

TEL:0865-44-2155(代表)(平日の10時30分から17時00分)

FAX:0865-44-2360

※お知らせ※

同じ代表者名で何通でもご応募できます。ただし、当選は1通のみです。

2011年度「すばる観測研究体験企画」報告

今西昌俊 (ハワイ観測所)

「すばる観測研究体験企画」は、学生が主体となって、望遠鏡や観測装置、観測の科学的背景を事前に学んだ後、ハワイ島マウナケア山頂のすばる望遠鏡を用いて観測天文学を実体験してもらうための、すばる教育プログラムの一環の企画である。今年で第10回目の開催となった。最近は、天候の良い夏に実施することを目標として来た。しかし、今年度は、前年度の担当者の内一名はHyper Suprime-Cam (超広視野カメラ) 立ち上げのために多忙を極め、もう一名(私)は勤務地が三鷹からハワイに変更になったため、三鷹側での準備が遅れ、冬にずれ込んだ。

3年生以下の学部生約8名の募集をかけたが、例年同様20名以上の応募があった。応募書類に基づき、特に強い意欲が感じられた候補を一次選抜した。当初はFOCAS(微光天体分光撮像装置)を用いた可視分光観測を計画していたが、公募をかけた後の7月上旬にすばる望遠鏡冷却液漏れの事故が発生し、FOCASが使用できないことが判明した。様々な要素を勘案して代理の装置を検討したが、系外惑星に興味を持つ学生が多かったことから、太陽系外惑星探査プロジェクト室長の田村元秀さんに依頼して、PI装置(注:ハワイ観測所外の人が責任を持って管理している装置)であるHiCIAO(高コントラストコロナグラフ撮像装置)を使わせてもらうことになった。同プロジェクト室の成田憲保さん、松尾太郎さんの全面的協力を得て、9月1日に三鷹キャンパスにて事前セミナーを開催した。参加者全員に、望遠鏡、観測装置や系外惑星に関する何らかのテーマを与え、各自調べてきたことを発表してもらった。本事前セミナーは、ハワイ渡航旅費のほとんどを国立天文台が援助するため、書類だけではわからない本人の能力、やる気を確認するための面接も兼ねていたが、皆おしなべて優秀で、結

局11名に、ハワイでのすばる望遠鏡を用いた実際の観測に参加してもらうことにした。

9月1日の事前セミナーから12月下旬の本観測まで期間が空くと中だるみが生じる恐れがあったため、11月下旬に第二回セミナーを実施することにした。ここでは、世話人がいくつかの観測候補天体を提示し、学生たちに、どの天体の観測を希望するかを、根拠を持って説明してもらった。議論の後の投票の結果、3個の候補天体がすべて同票になり、その場では決定できなかったが、その後の世話人間での調整の結果、一天体に決定した。ドップラー分光観測から惑星の存在が示唆されている星の直接撮像である。

ハワイでの観測経験のある人ならご存知だと思うが、マウナケア山は、12月から1月にかけては天候が余り良くないことが知られている。特に一度天気が崩れると、それが数日間続くことが多く、冬開催の今年は、天候が最大の不安材料であった。

12月19日、私自身はハワイ側でのサポートに回り、児玉忠恭さん、成田さんの引率により、学生全員が無事ヒロに到着した。すばる所長による歓迎のあいさつ、施設見学の後、皆さん睡眠不足で疲れていることもあり、早めにホテルで休んでもらうことにした。天気予報は、数日間絶望的な悪天候が続くというものであった。

翌12月20日は、ハレポハク(中間宿泊施設)を経由し、山頂施設(すばる望遠鏡)を見学する日である。しかし、天気予報は全く改善せず、雪となっていた。雪が降って路面が凍結すれば、山頂に上がることができず、すばる望遠鏡を見学することすらできないという最悪の事態に陥る。幸い、前日多く降った雪は止み、車で山頂へ上げられることになった。無事山頂に到着したものの、霧のために視界はほとんどゼロ、車を降り、ドームの周

囲に積もった雪の中を歩いて入り口まで辿り着き、中の望遠鏡、観測室などを見学することができた。常夏の島として知られるハワイで雪と遭遇するという、天文観測以外でも非常に貴重な体験になったであろう。

12月21日の観測当日、天気予報は良くなる。夕方、雪は降っておらず、路面も凍っていなかったため、山頂には行けることになった。山頂の上空は雲一つない快晴、しかし、湿度が100%でドームが開けられないという最もフラストレーションがたまる天候であった。観測室で待てども湿度は下がらず、本企画に割り当てられた40分があったという間に過ぎてしまった。4年前に私が担当してから初めて、全く観測できないという事態となり、学生には申し訳ない気持ちであった。しかし、観測天文学は自然が相手であるということを感じ取ってもらえたと思う。例年通り、観測室で集合写真を撮り(図1)、隣のラウンジの雑記帳に思い思いのことを記入してもらった。悪天候の今回は、無念の思いが書き綴られ、ページはすぐに埋まってしまった(図2)。

12月22日は、下山してヒロに戻り、山麓施設で、以前にHiCIAOで取得したバックアップ天体の解析を行った。最も速い1グループが、無事最終画像に辿り着いた。

わかっていただろうが、冬は悪天候になる確率が高く、本企画はやはり夏に実施するのがよいと改めて痛感した。とはいえ、年明けの1月上旬から、本記事を執筆している2月5日までは、マウナケアは連日快晴が続き、すばらしい観測データが取れ続けている。『天気も実力の内』という人もいるが、単に天気を味方に付けられなかった我々が実力不足なだけなのかもしれない。今回観測できなかったという無念を糧に、より勉強に励んで大学院に合格し、すばるを用いた科学観測をしたいという学生が何人かいたが、近い将来、そのような人が実際に現れることを願っている。

●本年度の「すばる観測研究体験企画」の実現、開催に当たっては、観測の現場から各種手続きまで、ハワイ観測所及び国立天文台すばる室の多くの方々にご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。



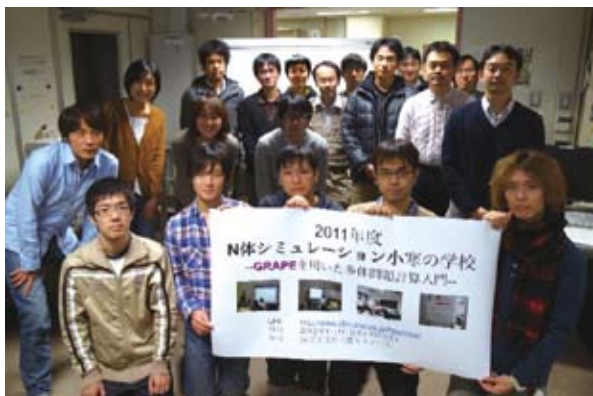
図2 参加者の思いが記された雑記帳のページ。



図1 観測終了直後の全員集合写真。望遠鏡観測室にて。

2011年度「N体シミュレーション小寒の学校」報告

石津尚喜 (天文シミュレーションプロジェクト)



今年の受講者の集合写真。

今年度も恒例の「N体シミュレーション小寒の学校」が、2011年1月11日(水)から13日(金)までの3日間にわたり天文シミュレーションプロジェクト(CfCA)と天文データセンターとの共催により開催されました。講義は中央棟(東)輪講室、実習は南棟2階共同利用室にて行われました。今回は開催時期が例年よりも少し早めのため小寒の学校と銘打っています。銀河団、銀河、星団、微惑星系、惑星リングなどの多くの天体から構成されていて、その進化が重力によって支配されている系を重力多体系と呼びます。その重力多体系の進化を調べる有効な手段としてN体シミュレーションは広く使われています。N体シミュレーションでは、天体をたくさん粒子で表現しその粒子間の重力相互作用を計算することで個々の粒子がどう動き、全体として天体がどう進化していくかを調べることができます。

CfCAでは重力多体系専用計算機GRAPEシステム[愛称: Mitaka Underground Vineyard (略称: MUV)]の共同利用を行っています。GRAPEはN体シミュレーションの中でもっとも計算量の大きい重力相互作用の部分を超高速で計算するハードウェアです。GRAPEを使うことにより大規模なN体シミュレーションが可能になります。N体シミュレーションのおもしろさと、MUVのさらなる有効活用を促進するために、N体シミュレーション小寒の学校が企画されました。

参加者は13名で学部3年1名、4年5名、修士1年1名、2年1名、PD1名でした。今回の参加者は学部生がメインで活気のあるものとなりました。これらの若い学生の方々が次世代のGRAPEユーザーとなりすばらしい成果を出してもらえると期待しています。ただ、学部生の主体の参加者ということで、スタッフの間では内容を理解してもらえるか、コーディングを最後までやり遂げてもらえるか不安がありました。しかし、スタッフのサポートもあり、参加者の皆さんが非常に優秀

でしたのでその心配は杞憂に終わりました。さて、N体の学校の内容ですが、本学校ではGRAPEの使い方を習得するだけでなく、コーディングやチューニングの手法を学ぶうえでも意義のある学校です。各講師の方々が最新のGRAPEによる成果などを取り入れ、専門分野を生かした講義をしました。GRAPEを使うバックグラウンドでもある重

力多体系の物理や数値計算手法についても明解な講義が行われました。

初日は輪講室において講師の方々による講義が行われました。ここでは、重力多体系での物理的基礎、N体シミュレーションに必要な数値計算法の基礎を学びました。その後、実習室に移りN体シミュレーションのコード作成の実習です。今年度は初日からコーディングに取り掛かってもらいました。実習ではC言語を用いてコードを書いてもらうのですが、あまりC言語を使ったことのない人にとっては教科書などを参考にしながら、がんばってもらいました。実習は6時終了予定となっていますが、これ以降の時間は自習となります。次の日の予習などしている方もいました。次の日聞いたところによると、夜の12時まで取り組んでいた学生もいました。

さて2日目です。この日は通常の計算機を用いたN体シミュレーションのコーディングを行います。数値計算だけでなく可視化についても学びます。可視化によりリアルタイムでシミュレーションが進んでいくのを見ることができ、現象の理解を深めることができます。可視化はデバッグをする上でも非常に有効なツールとなります。参加者も進捗状況に差はあるものの、スタッフのフォローの下



(上) 講義の様子。(下) 実習の様子。

で着実に課題をこなしていました。実習後にはGRAPEシステムの見学及び、4次元宇宙デジタルシアターにてこれまで国立天文台で計算されたシミュレーションの立体映像ムービーをご覧になっていただきました。ムービーにより研究のモチベーションを高めた後、各自残された課題を実習室でおこないました。この日も11時まで残り課題にチャレンジした参加者もいました。

そして、最終日である3日目にいよいよ重力相互作用の計算をGRAPE-7(★1)により実行します。前日に作成したコードによる通常の計算機でのシミュレーションとの計算速度の違いを体感できたのではないのでしょうか。この日も講義が行われ、ここではツリー法(★2)などのより高度なN体計算の手法が講義されました。また、重力多体系以外のGRAPEの応用例としてプラズマ多体系(★3)のシミュレーションの紹介がありました。

これまで衝突系の多体問題の専用計算機として長年使われてきたGRAPE-6に代わりGRAPE-DRの本格運用が始まっています。これまでのGRAPEシリーズと異なりGRAPE-DRは重力多体系以外の計算も取り扱うことができます。また次世代のGRPAE-9の導入も予定されています。



GRAPE-DRの見学。

★今年度も南棟2階の共同利用室を占有して実習に使用させて頂きました。学校の開催中はご不便をおかけしましたことをお詫びいたします。天文データセンター並びに関係者の方々のご協力に厚く御礼申し上げます。2011年度N体シミュレーション小寒の学校スタッフ: 小久保英一郎、台坂博、道越秀吾、武田隆顕、和田智秀、川本いぶき、石津尚喜

★1 CfCAでは、GRAPE-7(無衝突系)とGREPA-6(衝突系)とついでに合わせて最適化された計算精度をもつ2種類のGRAPEシステムが運用されています。GRAPE-7は宇宙の大規模構造形成、銀河形成等の研究、GRAPE-6は球状星団、微惑星集積等の研究に使用されています。

★2 遠方にある質点の集合を1つの質点とみなして計算することにより計算量を削減する方法です。

★3 プラズマ同士に働くクーロン力の大きさは重力と同じく粒子間の距離の2乗に反比例するため、GRAPEを用いることができます。

PLCによる天文観測への影響

大石雅寿 (天文データセンター)

● PLC (電力線通信) とは

PLC (Power Line Communications) とは、屋内外の電力線に2~30MHz (波長150mから10m) の高周波信号を重畳させることにより、電力線を通信線として使おうとするものです。電力線はどこにでも配線されているので、新たな配線なしで高速有線通信ができる、という触れ込みです。小泉内閣時の規制改革路線を受け、2006年から日本でも屋内限定という条件下でPLCモデムの販売が許可されています。

電力線は、電気を送るために最適化した線路設計になっており、電磁シールドはされていません。高周波の波長が線路の長さと同程度になると線路が良いアンテナになる (★1)、ということから、PLCを使うと極めて強い妨害電波が発生することが広く知られています。市販のPLCモデムを使うとモデムを繋いだ電力線の近くでは短波放送が聞こえなくなることからも、妨害電波の発生を実感できます。このため、国内はもとより世界の無線関係者 (短波放送、航空無線、アマチュア無線など) がPLC使用への懸念を共有しています。

● 短波帯電波天文観測への影響調査

日本では、東北大学、福井工業大学、高知高専などで、太陽や木星などを対象とした短波帯電波天文観測が活発に行われています。PLCは家電量販店などで

アンテナ名	PLCからの距離 [m]	漏洩電波強度 [K]	干渉閾値との比
A	126.5	5,276	5.4×10^4
E	94.5	4,358	4.4×10^4
D	62.0	13,690	1.4×10^5
B	45.5	50,880	5.2×10^5

表1 電波天文干渉閾値との比較。

誰でも購入できるため、PLCが普及するにつれて短波帯電波天文観測に影響が出て観測が困難になることが予想されます。そこで私達は、2009年に東北大学飯舘惑星圏観測所で実測を行いました。

PLCを設置した家屋から距離10mでの実測例を図1に示します。PLC未使用の時には、多種多様な放送波や通信波がスパイク状に見えています。ところがPLCを動かすと、大きな妨害電波が発生し、電界強度が40dB μ V/m (★2) 程度より弱い信号のほとんどは妨害電波に埋もれてしまうことがわかります。短波帯電波天文観測では、放送波や通信波よりも遙かに弱い信号を受信します。国際電気通信連合 (ITU) は、電波天文観測を人工電波などから保護するための干渉閾値を勧告しており、短波帯の場合、閾値はおおよそ-53~-55dB μ V/mです。つまり、今回の実測で埋もれてしまった放送波などより数万倍も弱い信号を受信しているのです。

次に私達は、同観測所の電波天文アンテナによるPLC妨害波の受信を行いました。使用したアンテナは、小屋からの距離が、32/45.5/62/94.5/126.5mのものでした。図2に距離45.5mでの測定例を示します。図2の縦軸は、受信した電力をdBm (★3) 単位で表記したものです。ITUが定めた電波天文専用バンドが25.55~25.67MHzにあります。データを示すことは省略しますが、距離約126mにあるアンテナでもPLC妨害波が測定できました。これらの測定に基づき、受信されたPLC妨害波強度とITUの定める電波天文干渉閾値の比を求めた結果を表1に示します。距離126.5mでも、比は5万4000倍にも上り、この結果から、電波天文

観測所の周囲およそ33km以内でPLCモデムを動作させると電波天文観測に影響が出る可能性があることがわかりました。

● 屋外PLCへの懸念

屋内限定にした理由は、発生した妨害電波が家屋などの壁により減衰することが期待できるからです。実測によれば、許容値を遙かに超える妨害電波が発生しています。こういう事実を知っているにも関わらず総務省は、経済団体からの要請 (★4) を受け、現在の屋内用PLC技術基準をそのまま屋外でも使用可にする作業を進めています (★5)。壁による減衰がないのですから、非常に強い妨害電波が発生することは明白です。宇宙からの微弱な電波を受信することにより成立している短波帯電波天文観測への大きな影響が懸念されます。

このような現状を踏まえ、日本天文学会は、「電波天文観測に有害干渉をもたらす広帯域電力線搬送通信 (PLC) の拙速な屋外利用を進めないこと」と題する要望書を2012年1月28日に採択しました。

PLCは、使用した人が知らないうちに電波環境を汚染し、周囲に迷惑を掛けてしまう技術です。遠方の飛行機との通信には短波帯を使います。現在検討が進んでいる津波検知レーダーも短波帯を使います。短波帯の汚染は、場合によっては人命に関わるかもしれません。もし周囲にPLCを使っている人がいたら、電波環境を汚染しているかもしれませんよ、と知らせてあげましょう。

★1 アンテナ長が高周波波長の半分になると最も効率よく電波が放射/受信できます。このアンテナは広帯域アンテナであることがよく知られています。

★2 電界強度の表記には、対数表示であるデシベルがよく使われます。dB μ V/mは、1 μ V/mに対する電界強度の比の常用対数を20倍したものの。

★3 dBmは、1mWに対する電力の比の常用対数を10倍したものの。

★4 <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2010/088/index.html#07> 及び <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2011/088/index.html#07> を参照。

★5 http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/denpa_kankyou/kousoku.html を参照。

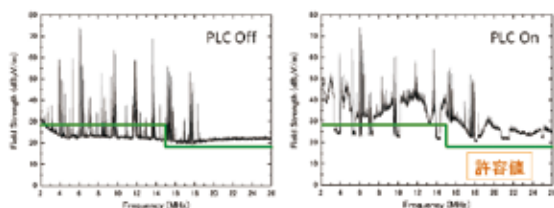


図1 PLCモデムを設置した家屋から10mでの実測データ例。横軸は周波数 (MHz) で縦軸は電界強度。緑の線は、日本のPLC技術基準に等しい電界強度許容値。PLC offの時に見えているたくさんのスパイクは放送波や通信波で、PLCをonにすると見えなくなる (聴取できなくなる) ことがわかります。

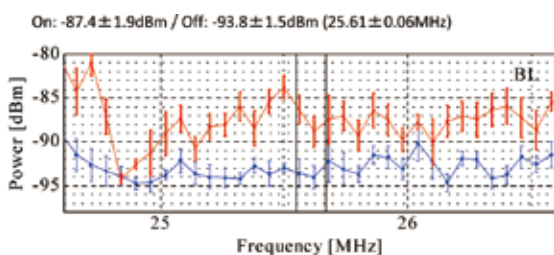


図2 25.55-25.67 MHzの電波天文バンド (2本の垂直線内) での測定データ。赤がPLC on、青がPLC offに対応。使用した電波天文アンテナは、PLCモデムを設置した家屋から約40mの距離にある。横軸は周波数 (MHz)、縦軸は受信電力 (dBm)。



Bienvenido a ALMA!

ALMA アンテナは太陽へ向けても燃えません。

野辺山
太陽電波観測所
下条圭美



19 ALMA de 太陽

アルマ望遠鏡

検索

● ALMA で太陽!?

「ALMAで太陽観測するの!? アンテナは燃えないのかい?」、ALMAによる太陽観測の実現を模索し始めてから何回聞いた台詞でしょうか。聞きたくない気持ちもよくわかります。私も最初に聞いたときは、「本当ですか?」と聞き直したぐらいです。

ALMAでの太陽観測はALMA計画の当初から考えられていたようで、特に野辺山にも頻りに来所されていたアメリカ・メリーランド大学 Mukul R. Kundu 教授がご尽力されたと聞いています。一方、ALMAによる太陽観測の実現のため、日米欧のアンテナ開発チームに大きな負担を強いてしまった事は容易に想像できます。表面を鏡のように磨いたアンテナを太陽に向け、なおかつ鏡面精度をサブミリ波の観測に耐えうる範囲に押さえないければならなかったのですから。ALMAを使って太陽観測する研究者は、観測中でも燃えださずにデータをもたらしてくれるアンテナとアンテナ開発チームへ特に感謝しなければいけないでしょう。

ALMAの観測波長域であるミリ波サブミリ波での太陽観測は、1960年代から単一鏡による観測が始められましたが、その後の発展はそれほど大きくありません。ALMAのような干渉計観測になるとさらに観測例は少なく、2003年頃にBIMA望遠鏡による80GHz帯での太陽の干渉計観測が行われましたが、その後この波長域での干渉計観測はなされていません。決して科学的に意味が無いからではなく、観測および干渉計データからの像合成が一筋縄ではいかなからです。

● 近いから苦勞する?

言うまでもなく、太陽は我々に最も近い恒星です。その近さゆえ、他の天体観測に比べると膨大な量の電磁波が太陽から届きます。天文学の他の分野からは羨ましがられる状況ですが、近ければ近いなりの苦勞があります。すでに紹介したアンテナの加熱は可視光・赤外線が主な原因ですが、ミリ

Jy (ジャンスキー): 天体からの電波を発見したカール・ジャンスキーにちなんで名付けられた電波強度を示す単位。太陽電波観測ではこれとは別にSFU(Solar Flux Unit) という単位を用いており、1SFUが1万Jyに対応する。

波サブミリ波もとんでもない量がアンテナに入ります。もともとミリJyとかマイクロJyという微小な電波を捉える為の受信機に、フレア時には数万Jyという電波を入力させることになり、受信機の感度特性でも非線形の領域で電波を受ける事になります。これを防ぐため減衰フィルター、簡単に言えばALMA用のサングラスをかけさせます。しかし、フィルターによる影響が観測データに入ってしまうため、補正してやらなければなりません。その補正值を求めるため、フィルターのプロトタイプを使って試験観測を行い、現在データ解析をしている最中です。

近いという事は、干渉計観測の特色である像合成にも大きな影響を及ぼします。干渉計観測では、個々のアンテナで受けた信号をコンピュータで処理を行い、天体の像を合成します。その画像の視野は、基本的にアンテナの指向性に依存し、ALMAでは100GHzの観測で直径約60秒角の円となります。図1に巨大フレアの画像と60秒角の円を示してみました。一目瞭然ですが、太陽に比べてALMAの視野はとても狭く、大きな黒点程度の大きさしかありません。これは、干渉計が苦手とする視野全面に構造がある画像を合成しなければならない事を意味します。この問題を解決する為に太陽専用の像合成法を確立しなければなりません。力強い味方がいます。それは日本が建造したACAです。ACAは太陽のように広がった電波源の画像を合成する時に威力を発揮します。小さいながらも強力なACAの威力を太陽画像によって皆さんに示したいものです。

● Alma de Sol

“Alma de Sol” = 「太陽 (物理学) の魂」は、もっとも近い恒星である太陽での現象を物理的に理解し、天体現象のプロトタイプを作る事だと思います。ALMAで達成できる0.1秒角以下の空間分解能は、今後10年間に建造される予定の太陽望遠鏡では達成できない値です。この性能により、これ

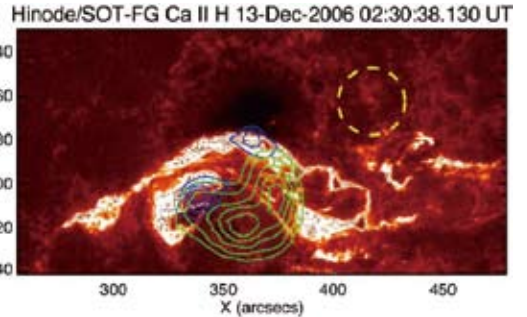


図1 ひので衛星(カラー)・野辺山電波ヘリオグラフ(緑線)・RHESSI衛星(青線)が捉えた巨大フレアの画像とALMAの視野@100GHz(黄破線)。

まで約10秒角の電波観測データで研究されてきたフレア時の粒子加速の理解が、一挙に前進する事は火を見るより明らかです。一方、ALMAによって開拓される研究分野があります。それはミリ波サブミリ波による彩層の研究です。ひので衛星により彩層が想像以上に活発である事が判明し、彩層加熱をこの活動性と共に物理的に理解する事が重要になりました。太陽から届くミリ波サブミリ波のほとんどは彩層下部からの熱放射であるため、競争相手が絶対届かないALMAの空間分解能で彩層に迫る事ができます。ALMAによる太陽研究により、宇宙のいたる所で起きている粒子加速やプラズマ加熱の問題へ、衝撃を与える結果が出ることを期待しています。

筆者は、2010年に亡くなられたKundu教授とようこう衛星や野辺山電波ヘリオグラフのデータを基に、共同研究をさせて頂きました。星の巡り合わせで筆者がALMAの太陽観測に関わる事になりましたが、先人の努力に応えるためALMAによる太陽研究が成功するように貢献していきたいと思っています。



図2 OSFから見たアタカマ砂漠に落ちる夕日。

モンゴル人宇宙飛行士 ジェクテルデミット・グラグチャさん来台

関口和寛、吉田二美 (国際連携室)



観山台長と懇談。



日本科学未来館で毛利 衛館長とつとむに。

2011年12月8日に、モンゴル人でただ一人の宇宙飛行士であるJüggerdemidiin Gürragchaa (ジェクテルデミット・グラグチャ)さんが、国立天文台を訪問されました。Gürragchaaさんは、1981年3月22日に打ち上げられたソユーズ39号で、ソビエト連邦の宇宙ステーション「サリュート6号」にドッキング。そこ

で地球科学に関する実験を行いました。その後、モンゴルの国会議員や防衛大臣を務められ、現在はモンゴル科学アカデミーのアドバイザーとして、首都(ウランバートル)に新しく建設中の宇宙科学博物館の初代館長に就任される予定です。

今回の日本訪問は、天文学振興財団の支援を受け、建設中の宇宙科学博物館の運営と展示の参考にするために、国立天文台、JAXAの筑波宇宙センター、東京・お台場にある日本科学未来館の施設を見学し、展示関係者と意見交換することが目的です。Gürragchaaさん他2名(天文・地球物理学研究所 Usnikh Sukhbaatar 所長と Sodnomsambuу Demberel 博士)と一緒に国立天文台の国際連携室のメンバーが同行し、Gürragchaaさん一行の訪問をサポートしました。筑波宇宙センターでは宇宙飛行士の向井千秋さんが、日本科学未来館では毛利衛さんがGürragchaaさんを迎えられました。ロシア語での挨拶のあと、施設内の展示を見学され、科学館の運営について意見交換されました。国立天文台では観山台長と懇談の後4D2Uを見学し、とても興味もたれ、彼らの博物館にもぜひこのよう



日本科学未来館で子どもたちにサイン。



横綱・白鶴関と会食。

なシステムを持ちたいと話されていました。また今回の滞在中にモンゴル人力士会の方とも会って、宇宙科学の普及・啓発分野での日本との交流への協力をお願いしました。

編集後記

渡辺謙主演の「はやぶさ」映画を見た。程度の差はあれ、およそプロジェクトというものほどどこでも山あり谷ありドラマあり、のはず。ALMAをネタにどなたか脚本書きますか？(h)

研究会で鳥取の倉吉と三朝に行ってきました。見たかった三仏寺投入堂は雪で見られませんでした。これについて47都道府県制覇です。(e)

ふとしたことから中学生のときの自由研究を発掘。20年前の夏休みの太陽は、今と違って黒点がえらい多かったことが発覚。今ここにいるのはそのときの活発な太陽が印象的だったからかもしれない。(k)

長期外出中に凍っていた屋根の雪が滑り落ちていました。おかげで、物置までのアクセスで作っていた道がすべて埋まってしまい、ローカルながら雪による通行止めです。(j)

厳冬の今年は梅の開花も遅かったのですっかり油断していましたが、3月上旬の暖かい数日で、一気に花粉にやられてしまいました。それでも例年に比べれば発症は半月くらい遅いようです。厳冬のせいで花粉飛散の期間が短くなるのか、はたまた単に半月ほど遅れるだけなのか。前者を願わずにはいられない毎日です。はっくしょん。(k)

いよいよ主催する国際会議まで、2か月。震災の影響で1年延びたが、そこそこの発表が集まり、ほっとした。さあ、これからだ。(w)

国立天文台ニュース
NAOJ NEWS

No.223 2012.02

ISSN 0915-8863

© 2012 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日 / 2012年2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) / 平松正顕(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でお願いいたします。
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。

次号は、アルマ望遠鏡の特集・前編です。現地の取材画像を中心に増ページ特集号で紹介！
※2月号は、一部予定を変更してお送りいたします。

次号予告

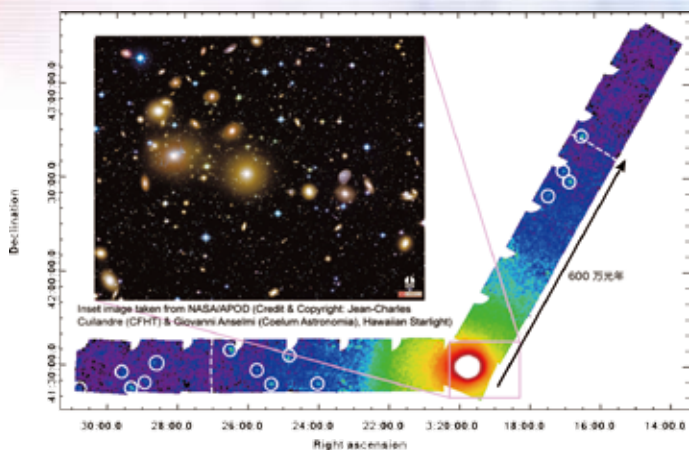


図1 「すざく」XISによるペルセウス座銀河団のX線モザイク観測（2方向）。X線で明るく輝いているのは銀河団の高温ガス。中心部の可視光画像も共に示す。

- ・天体名 / ペルセウス座銀河団
- ・観測装置 / 「すざく」衛星 XIS
- ・波長データ / X線 1.0 ~ 7.5 keV (1.6 ~ 12 Å)

X線分光で探る銀河団

●竹井 洋 (JAXA 宇宙科学研究所)

銀河団は銀河の集合として発見された。しかし、その後のX線による観測により、銀河団の中の主役は銀河ではないことが明らかになった。X線を観測するには、人工衛星などを使い、大気に吸収されない宇宙空間に検出器を持っていかねばならない。そうして宇宙からX線で銀河団を観測すると、図1に示すように、X線でしか観測されない数千万度の高温ガスが発見されたのである。銀河と銀河の間の一見何も無い空間には高温ガスが満ちており、その質量は銀

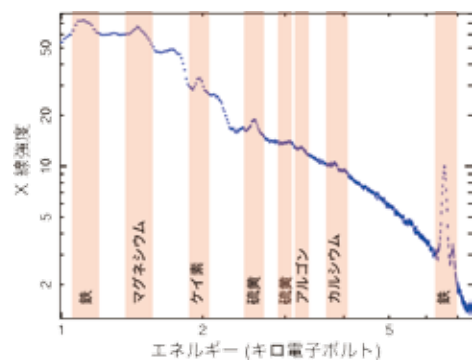


図2 「すざく」XISによるペルセウス座銀河団中心部のスペクトル。主要な元素の輝線の位置を赤で示している。スペクトルの形状や輝線の強度から、温度、密度、各元素の量を知ることができる。

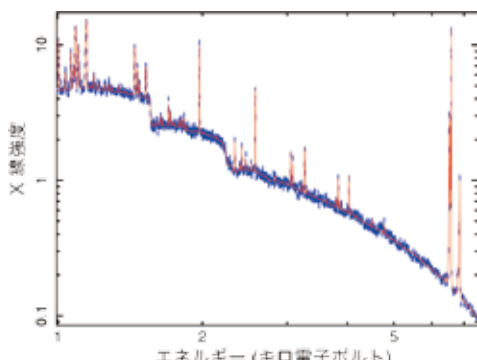


図3 ASTRO-H衛星SXSによるペルセウス座銀河団中心部のスペクトルのシミュレーション。輝線の細さから分光能力の高さが明確である。

河の総和の数倍に達する。また、高温ガスを銀河団に閉じ込めておくために、さらに数倍の見えない質量、ダークマターが必要であることも分かったのである。

図2はペルセウス座銀河団中心部のX線スペクトルである。スペクトルから高温ガスの温度、密度、重元素量などが計算できる。たとえば、スペクトル中の輝線は、高温ガス中の重元素からの放射であり、ケイ素や鉄などの重元素が銀河から遠く離れた高温ガスにも含まれることがわかる。最近の「すざく」の観測によりクロムやマンガンといったレアメタルも発見されている。これらの情報から、銀河団中で起こった超新星爆発の回数なども推定できる。実は、銀河団の高温ガス中の重元素量がメンバー銀河に現存する量よりも多いことが知られている。重元素は銀河中の星の超新星爆発により作られたと考えられるが、銀河から銀河間空間にガスが出て行くメ

カニズムはまだ明らかになっていない。

なお、「すざく」は銀河団の端（図1の破線。ビリアル半径と呼ばれている）の暗い放射を観測できる感度を持った初の衛星であり、多くの銀河団の外縁部が観測されている。銀河団の端では非一様性や非平衡状態が強く示唆され、銀河団外部からガスが降着している影響であると考えられている。

銀河団は重力的に束縛された宇宙最大の構造であり、その成長はガスだけでなくダークマターの分布やダークエネルギーの性質にも影響を受ける。銀河団が成長を続けている現場を理解することは宇宙の構造進化を理解する上で大事である。今後も精度の高いX線観測を続けることで、宇宙の構造形成、進化に迫ってけると期待される。

ASTRO-HのSXS

よりすば

XISなどのX線CCDの分光性能（エネルギー／エネルギー分解能）は50程度である。これは他波長に比べると非常に小さく、大幅な向上が待ち望まれている。それを実現するのが、日本の次期X線天文衛星ASTRO-H搭載のSXSである。SXSは絶対温度50ミリ度（摂氏-273.1度）という極低温で動作し、X線入射による温度上昇を精度良く測定することで、分光性能1000を達成する。SXSによるペルセウス座銀河団のシミュレーション観測を図3に示す。違いが一目瞭然であろう。これだけの分光性能があれば、ドップラー効果を利用して毎秒100kmほどの速度を測定することができる。銀河団ガスの乱流状態や他の銀河団との衝突の有無など新たな知見を得ることができる。しかし、宇宙でこれだけの極低温を実現することは簡単ではない。同様の検出器が「すざく」にも搭載されていたが、科学観測を行う前に極低温が保てなくなってしまった。その失敗を繰り返さず、世界が待ち望むX線の精密分光を実現するべく、私たちは開発を進めている。