



文部科学省

# 国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory

すばるがとらえた様々な星が  
誕生する現場 S106



5月号

## 目次

表紙	1
国立天文台カレンダー	2
研究トピックス	3
星形成領域における超低質量天体探査と その光度関数 宇宙開発事業団 地球観測利用研究センター 大朝 由美子	
ジョン・テイラー英国科学技術庁 研究会議統括次官来台	5
エッセー	6
21世紀は重力波天文学の時代...か!? 位置天文・天体力学研究系 助教授 川村 静児	
お知らせ	7
水沢観測センター施設公開のお知らせ 国立天文台セクシュアル・ハラスメント防 止講演会の開催について	
人事異動	8
シリーズ「談話会紹介」	10
赤方偏移1を超える遠方銀河団・超銀河団の 観測 光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 山田 亨	
研究トピックス	11
AO(補償光学系) 光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 高見 英樹	
編集後記	12

## 国立天文台カレンダー

<4月>

- 4日(水) 電波専門委員会  
 5日(木) 総研大入学式  
           すばる望遠鏡専門委員会  
 5～6日 ALMA調整会議  
 10日(火) 研究交流委員会  
           大学院教育委員会  
 16日～20日  
           会計検査院会計実地検査  
 18日(水) 光赤外専門委員会  
 19日(木) セクシュアル・ハラスメント防  
           止委員会

<5月>

- 24日(木) 教授会議

<6月>

- 1日(金) 運営協議員会  
 4日～8日 地球惑星科学関連学会合同大会  
           (国立オリンピック記念青少年  
           総合センター)  
 8日(金) 評議員会  
 22日(金) 総研大評議会  
 23日(土) 水沢観測センター  
           施設公開(10時～16時)

### 表紙の説明

すばる望遠鏡に搭載された近赤外線カメラCISCOを用いて取得した、はくちょう座分子雲にあるS106領域の近赤外三色合成図(Jバンド:青、Hバンド:緑、K'バンド:赤)。

中心付近の白く明るく見える部分には、赤外線源IRS4と呼ばれる年齢約10万年、質量が太陽の20倍程度の星があり、この生まれたばかりの大質量星から双極状に噴出したアウトフローが作り出した、分子雲中の巨大な空洞及びその微細構造が見事にあらわれている。約0.3"のシーイングで観測されたこれまでで最も詳細な画像から、惑星に近い極めて小質量の星が多数発見された。

(すばる望遠鏡ホームページ)

[http://www.naoj.org/j\\_index.html](http://www.naoj.org/j_index.html)参照)

## 研究トピックス

# 星形成領域における超低質量天体探査とその光度関数

宇宙開発事業団 地球観測利用研究センター 大朝 由美子



私がこの世界に関わったのは、進学先を決める最終調査の締め切りの日。入学当時の進学希望先は自分に向いていないと教養の間を感じたので、なんとなく選択した「物理学専攻」を、「実験より観測の方がおもしろそうかも」というような理由から、最後になって「天文学専攻」にかえたのが始まりです。それまでどうみても天文少女とは縁遠かったのですが、その頃はこれだけ長く天文学に関わるとは思ってもいませんでした。私にとっては偶然の重なりあいであったかもしれませんが。色々な縁から進めてきた研究について、少し紹介させていただきたいと思います。

星の質量は、分子雲からの誕生時にその大半が決定されます。誕生する星の質量及び質量分布は、星自身の物理状態を決めるだけでなく、銀河の形成や化学進化にも影響を及ぼします。今から半世紀ほど前、星が誕生する際の質量と数を表す質量分布(初期質量関数:IMF)が、大質量星から低質量星に向かって単調増加する関数で表現されることが発見されました(Salpeter 1955, ApJ, 121, 161)。このことは、生まれてくる星の大半は我々の太陽より軽い星が占めることを意味します。しかし、質量がより軽い天体は光度が非常に暗いため観測が困難であり、特に水素を安定に燃焼することができない低温の褐色矮星や惑星などの超低質量天体の質量関数はよくわかりません。これまで0.3太陽質量付近に分布のピークを持つという説と、質量のより軽い方向に向かって減少傾向は見られないという相反する説とが提唱されていましたが、統計的な議論は不十分でした。超低質量天体は、太陽のような恒星の数よりも多く、軽いほどその数は増え続けるのでしょうか?この問いに答えるためには、低質量星から超低質量天体についての詳細な探査観測が必要となります。私が大学院に進学した1996年は、相次ぐ褐色矮星の発見と系外惑星の間接検出(Nakajima et al. 1995, Nature, 378, 463; Mayor & Queloz 1995, Nature, 378, 355)から、これらの観測的研究が現実のものになり始めていました。

ところで、IMFについては多くの場合普遍的であると仮定されます。しかし、場所によら

ず単一の形で表されるかについては観測的に明確には示されていません。形成される超低質量天体の数は、母体である分子雲の初期条件や同時に形成されている星の物理条件に依存するのでしょうか?それとも、異なった条件から形成されても、その過程で自己調整が行なわれ、生まれてくる星は普遍的な質量分布を持つようになるのでしょうか? IMFの形及び普遍性を解明する目的には、異なる物理状態を持つ星形成領域において若い褐色矮星を無バイアスに検出し、その光度関数を求める手法が非常に有効です。若くて軽い星は分子雲に埋もれており、比較的低温のため、近赤外波長域での探査観測が最適な手段となります。そこで、異なる星形成の描像を示す複数の星形成領域に対して、質量の大部分が決まりつつある若い褐色矮星が十分検出可能である詳細な近赤外探査観測を行いました。

非常に暗い超低質量天体の検出を目的としているため、まず、最近傍の星形成領域の中から、カメレオン座分子雲(距離160pc) おうし座分子雲(距離140pc)について、それぞれセロトロロ天文台、パロマー山天文台の望遠鏡を用いて近赤外撮像観測を行いました。これらの分子雲では大質量星は形成されておらず、主にK型星からM型星などの低質量星が形成されていることがわかっています。両観測の限界等級(S/N=10)はKバンドで16等を越え、以前の同領域における観測よりも3-4.5等深い観測が達成されました。検出された天体の色を調べると、ディスクやエンベロープなどの星周構造を伴う若い天体(YSOs)が、カメレオン座、おうし座の領域に19及び10個存在しており、検出天体に占める割合は約30及び数%でした。新しく発見されたYSOs候補天体は同じ分子雲にある既知のTタウリ型星より7等以上も低光度でした。なかにはプレアデス星団(125pc, ~10<sup>8</sup>年)に存在する、より年老いた褐色矮星よりもさらに3等程度暗い天体も存在しました。これらの天体の質量を正確に求めるためには分光観測や多波長の観測などが必要ですが、新しい超低光度天体全てを分光することは現在の観測技術ではまだ非常に困難です。そこで最新の理論進化モデルをもとに質量光度関係を求め、

天体の赤化補正した光度から質量を推定しました。ディスクを持つTタウ型星の年齢から典型的に  $10^6$  年、最大値として  $10^7$  年と仮定すると、超低光度 YSOs は太陽の 0.08 倍より軽い、褐色矮星の質量を持つことがわかりました。つまり、褐色矮星がカメレオン座分子雲、おうし座分子雲中で形成されていると考えられます。さらに木星の質量の数倍程度、つまり巨大惑星質量の YSOs も含まれており、伴星ではなく単独天体として惑星質量の天体が形成されている可能性が示唆されました。これは、一部の研究者の間で "free-floating planets" と呼ばれている天体で、実は「最初の発見」でした ( Tamura et al. 1998, Science, 282, 1095; Oasa et al. 1999, ApJ, 526, 336 )。同定した YSOs について求めた星間減光を補正した光度関数は、限界等級までカットオフがなく、0.3 太陽質量付近でのピークは見られませんでした。さらにカメレオン座分子雲についての光度関数は褐色矮星域まで平坦な傾向を示すのに対し、おうし座分子雲の光度関数は単調増加傾向が見られました。また、 $C^{18}O$  分子輝線の電波観測との比較から YSOs の星形成率、数密度について求めた結果、これら二領域は星形成のモードが異なり、カメレオン座領域ではクラスターの星形成、おうし座領域では孤立的な星形成が行なわれていることが判明しました。従って、星形成のモードが異なっても褐色矮星は低質量星の数に比べて減少することなく形成されていると考えられます ( Oasa et al. 1999, ApJ, 526, 336; Oasa et al. 1999, SF1999, 343 )。

低質量星が形成される現場では、光度が暗い、つまり質量が軽くなるほど星の数が増える傾向が褐色矮星についても当てはまることが明らかになりました。次に、マウナケア山頂にあるハワイ大学の望遠鏡を用いて、中質量星が形成されている領域、ペルセウス座分子雲中の NGC1333 領域 ( 距離 320pc ) に埋もれている若い褐色矮星の探査観測を行いました。ペルセウス座分子雲は OB アソシエーションを伴い、中質量から低質量の星を形成していることがわかっています。NGC1333 はその中の B 型星によってできた反射星雲です。限界等級は Ks バンドで 18 等を越え、以前の同領域における観測よりも 2 等深い観測が達成されました。観測は一部、岡山天体物理観測所の望遠鏡を用いても行いました。検出された天体の色を調べた結果、43 個の YSOs 候補天体が同定され、その比率は約 50% であることがわかりました。中には、低質量星形成領域で見つかったのと同様の

超低光度 YSOs が存在していました。YSOs の質量を推定すると、半数以上が若い褐色矮星候補天体でした。さらにこの領域でも、推定質量が惑星質量の単独天体が存在することがわかりました。同定した YSOs の赤化補正した光度関数は、褐色矮星域に対して減少せず、平坦な傾向を示しており、0.3 太陽質量付近でのピークは見られませんでした。その光度関数から、恒星と褐色矮星の境界質量付近と褐色矮星と惑星の境界質量付近に二つの星集団が存在する可能性が示唆されました。さらに野辺山電波望遠鏡を用いて、 $^{13}CO$  及び  $C^{18}O$  分子輝線観測を行い、母体である分子雲について調べました。赤外観測から得られた YSOs の情報と電波観測から得られた分子雲の情報を合わせると、今回同定された YSO 候補天体は高密度分子雲の表面近くで密集して形成されていると考えられます。

超低質量天体の銀河系全体での頻度を推測するためには、大質量星形成領域についての褐色矮星の頻度分布についても調べる必要があります。しかしこれまでのところ、0.2-3 太陽質量付近でターンオーバーの傾向が見られると言われているオリオン座分子雲についてしか超低質量側の観測はありませんでした。そこで近傍の大質量星形成領域である、はくちょう座分子雲中の S106 領域 ( 距離 600pc ) に埋もれている若い褐色矮星の探査観測をマウナケア山頂にあるすばる望遠鏡を用いて行いました。OB アソシエーションを多数伴うはくちょう座分子雲は大質量から低質量の星を形成しており、S106 は O9.5 型星によってできた HII 領域です。星像の FWHM は典型的に 0."3 程度、検出限界が K' バンドで 20 等を越える撮像観測が達成されました。これは現在までのいかなる星形成領域における探査観測よりも深いものです ( 表紙参照 )。天体の色から同定された約 600 天体の YSOs 候補天体の中には中・低質量星形成領域で見つかった天体と同程度の光度を持つ超低光度 YSOs が存在していました。質量を推定した結果、同定した YSOs の半数以上が若い褐色矮星候補天体でした。また大質量星形成領域においても、巨大惑星の質量を持つ可能性がある天体が 100 個程度存在することがわかりました。YSOs は空間的に一様には分布しておらず、その星間減光や YSOs の数密度、割合などから、4 つのグループに分類できました。グループごとに求めた赤化補正した光度関数は、どれも 0.3 太陽質量付近でのピークは見られませんでした。褐色矮星の質量域に向かって、増加するもの、平坦な傾向を示すものがありました。

従って、一つの分子雲に対しても空間分布や分子雲、星の密度に対して光度関数は一様ではないことが考えられます。

以上の観測から得られた光度関数について詳細な比較を行った結果、星形成領域には超低質量天体が分子雲によらず形成されていること、超低質量天体の数が低質量星の数に比べて減少せず、多数存在することが判明しました。特に木星の数倍程度の質量を持つと考えられる若い単一天体が四領域全てにおいて見つかったことは特筆すべきことです。海外のグループによりオリオン星雲でも発見されています(Lucas & Roche 2000, MNRAS, 314, 858; Zapatero-Osorio et al. 2000, Science, 290, 103)が、100個を超える天体の発見は初めてでした(Science, 2001, 291, 1680)。さらに、IMFを求め、他の星形成領域で得られている質量関数を考え合わせると、0.3太陽質量付近のピークはオリオン座分子雲以外の領域では見られず、褐色矮星域に向かって増加傾向を示す領域、平

坦な領域及びわずかに減少傾向を示す領域がありました。つまり光度関数及びIMFは、母体となる分子雲、同時に形成される星の数や密度により違いが見られます。これにより、異なった条件から形成されてもその過程で自己調整が行われ、普遍的なIMFを持つという説が否定されると考えられます。本研究は超低質量天体を含むIMFについて大きな一歩を踏み出しました。しかし、これら超低質量天体がどのように形成されるかは謎であり、星形成、IMFの両方において新たな問題を提示しています。

本研究を進めるにあたり、東京大学、国立天文台の方々には、事務の方々を含め多大なるご支援、ご協力をいただきました。また、CTIO, Palomar, LCO, IRTF, UH, SUBARU, NRO, OAOの観測に携わってくださったの方々には大変お世話になりました。さらに、国立天文台の田村元秀助教授には多岐にわたって指導をいただきました。この場をお借りして、みなさまに改めて感謝の意を表します。

## ジョン・テイラー英国科学技術庁研究会議統括次官來台

平成13年2月5日テイラー次官が、英国大使館の随行員と共に來台されました。テイラー氏は英国研究会議統括次官として7つの研究会議(PPARC:素粒子物理・天文学研究会議も含む。)王立協会、英国技術者連盟への科学予算の規模と予算配分に関し、関係大臣に勧告を行う権限を持つ地位にあります。同氏は、ケンブリッジ大学で電気工学の分野で博士号を取得した研究者で、ヒューレットパッカートの研究所での所長などマネジメントの経歴もあります。海部台長を初め、観山企画調整主幹、石黒教授と長時間にわたって懇談して、科学予算の配分の現状や評価の在り方、科学的成果の国民

への還元などについて、貴重な意見交換が行われました。すばる望遠鏡、VERA計画、TAMA300、次期大型計画ALMA、天文シミュレーションなどの活動について、国立天文台側から説明の後、三鷹構内の天文機器開発実験センターや重力波観測装置TAMA300などを見学されました。その間、大変重要で専門的かつ的をついた質問で深い造詣を示されたテイラー氏は、VERAやTAMA300など先進的研究活動に深い感銘を受けたと感想を述べられました。大変忙しい日程にもかかわらず、午後の時間全てを国立天文台の訪問にあてていただきました。



国立天文台正面玄関前にて。左より石黒教授、観山企画調整主幹、海部台長、テイラー次官、フェラー英国大使館一等書記官、ホーブリティッシュ・カウンシル科学・社会部長、客地通訳。



台内視察の様子

## 21世紀は重力波天文学の時代...か!?

位置天文・天体力学研究系 助教授 川村 静児



重力波アンテナ TAMA300 が世界最高感度を更新した。1995年に開始された TAMA 計画は代表である古在元天文台長のもと、多くの大学や研究所の協力で着実に感度を改善していき、ついに 1994 年に Caltech の 40m プロトタイプで実現された「奇跡の感度」と呼ばれる世界最高感度の記録を 6 年ぶりに打ち破ったのである。

しかし、世界最高感度達成とはいっても重力波検出までの道のりはまだまだ険しい。現在の TAMA300 は、我々の銀河内で起こる中性子星やブラックホールの連星合体から放出される重力波を余裕を持って検出できるのだが、標準的な予想ではこれらの現象が起こる頻度は非常に低い。もちろん標準的でない予想もあるし、また予想できないことが起こるのがこの世の常であるから、明日にでも重力波が検出される可能性もなきにしもあらずである。

しかし常識的に考えれば、重力波を検出するためには、今後もより高度な技術を開発し、より巨大な装置(重力波信号は干渉計のアーム長に比例)を建設する必要がある。技術に関して言えば、干渉計の 3 つの基本的雑音である、地

面振動、鏡の熱雑音、光のショットノイズのそれぞれをとことん引き下げ、またその他のプラクティカルな雑音に対してもそれら全てを上記 3 つの基本的雑音より小さくなるよう抑え込まなくてはならない。さらに重力波を頻繁に検出し、重力波天文学という全く新しい天文学を創成するためには、一段とすさまじい究極的超高技術の開発が必要なのである。

思えば、重力波検出実験というのは因果な研究である。「人類未踏の重力波検出」とか「アインシュタインの忘れ形見の重力波」とか「21世紀は重力波天文学の時代だ」などなど物理・天文をやっている人ならコロリと参ってしまいそうなキャッチフレーズを掲げながら、実際に日々行っていることはたとえば、光学・制御・熱雑音・防振・電子回路・雑音除去・真空などおよそ一般相対性理論や天文学とは縁のない研究ばかりなのである。もちろん最先端の実験・観測というものはたいていの場合、その目的を達成するための装置の開発を必要とするが、重力波検出の場合、装置の開発にかかる時間(分母)と、その装置を使って得られるデータを使って目的のサイエンスを行う時間(分子)と



2000年夏、100時間観測の目標を達成し喜ぶTAMAのメンバーたち。重力波天文学創成のプロローグか?それとも...

の比を表すエンゲル係数ならぬケンデル(研究が出る)係数が尋常ではないほどに小さい。もちろん分子にサイエンスの意義という重みをかけると、重力波が検出された暁には、ケンデル係数は一挙に跳ね上がるのであろうが...

さて、先ほど「21世紀は重力波天文学の時代だ」というキャッチフレーズを紹介したが、皆さんがこのエッセイを呼んでいる今はもうすでに21世紀である。ということは重力波天文学の幕開けはすぐそこに来ているということになる。はたして重力波は我々の夢を乗せて大空に羽ばたき大輪の美しい花を咲かせ、ケンデル係数にインフレーションをもたらし、TAMAメンバーから「やっぱりあなたについてよかった！」と絶賛の拍手の嵐を受けるのであろうか。それとも期待の重さに耐えかねてついには重力崩壊を起こし、ケンデル係数は限りなくゼロのまま、TAMAメンバーから「俺の青春を返せー！」と罵られるのであろうか？知りたいようで知りたくない、その答えが出るのはもうすぐなのである。

## お知らせ

### 水沢観測センター施設公開のお知らせ

国立天文台水沢観測センターの施設公開を下記のように行います。通常公開している施設のほかに、VERA及び10mアンテナ関連施設などを公開いたします。最近の研究成果や、研究プロジェクトの紹介のほか、講演会や各種コーナーを予定しております。入場は無料です。ふるってご来場ください。(小学校低学年の方は、保護者同伴でお願いします。)

日時 平成13年6月23日(土)、10時～16時  
場所 国立天文台水沢観測センター  
岩手県水沢市星ガ丘2-12

公開施設 ・VERA関連施設  
・10mアンテナ  
・木村記念館など

講演会 11時～12時「電波で見る宇宙と銀河」  
講師 国立天文台地球回転研究系教授  
川口則幸

展示ほか ・ビデオ上映会  
・実演コーナー  
・展示コーナー  
・クイズコーナー  
・質問コーナーなど

問い合わせ先 国立天文台水沢観測センター  
TEL0197-22-7111



## 国立天文台セクシュアル・ハラスメント防止講演会の開催について

平成13年3月13日(火)に、お茶の水女子大学戒能民江教授を招き、約90分間に渡りセクシュアル・ハラスメント防止講演会を開催した。

講演会は、国立天文台の三鷹地区、水沢地区、野辺山地区、ハワイ観測所をテレビ会議システムを使用しての開催となり、約75人の教職員等が熱心に受講した。



講演会の様子

## 人事異動

平成 13 年 3 月 31 日付け

退職

前原 英夫 停年退職(光学赤外線天文学・観測システム研究系教授)  
 中島 弘 停年退職(電波天文学研究系教授)  
 横山 紘一 停年退職(地球回転研究系教授)  
 大江 昌嗣 停年退職(地球回転研究系教授)  
 野口 猛 停年退職(光学赤外線天文学・観測システム研究系助教授)  
 中井 新二 停年退職(地球回転研究系助教授)  
 菊地 直吉 停年退職(水沢観測センター助教授)  
 今井 英樹 停年退職(乗鞍コロナ観測所助教授)  
 永井隆三郎 停年退職(天文情報公開センター助教授)  
 多々井愛吉 定年退職(管理部会計課課長補佐)  
 米澤 誠介 定年退職(管理部庶務課岡山地区事務係長)  
 新井 健好 定年退職(管理部庶務課自動車運転手)  
 井山 敏子 定年退職(技術部技術第二課課長補佐)

辞職

井美 克己 技術部技術第一課

平成 13 年 4 月 1 日付け

転出

阿部 彰 独立行政法人国立オリンピック記念青少年総合センター総務部長(管理部長)  
 内山 芳樹 国立学校財務センター管理部総務課長(管理部庶務課長)  
 有井 博文 木更津工業高等専門学校会計課長(ハワイ観測所事務長)  
 一杉 和良 東京農工大学経理部経理課課長補佐(管理部庶務課課長補佐)  
 本館 順一 岩手大学工学部専門職員(管理部庶務課専門職員)  
 高橋 喜博 東京大学薬学部・薬学系研究科庶務掛長(管理部庶務課人事係長)  
 久保木 健 電気通信大学学生部留学生課

留学生係長(管理部庶務課研究協力係長)  
 金子 伸一 東京大学生産技術研究所経理課契約第二掛長(管理部庶務課共同利用係長)  
 眞田 宏 信州大学総務部人事課福祉係長(管理部庶務課野辺山地区庶務係長)  
 下村 英登 東京大学海洋研究所経理課経理掛長(管理部会計課出納・情報処理係長)  
 上川 正石 三重大学経理部契約室契約第四係長(管理部会計課契約係長)  
 大西 智之 電気通信大学学生部入試課入学試験係(管理部庶務課庶務係)  
 森永恵理子 電気通信大学会計課経理係(管理部会計課出納・情報処理係)  
 小林 寛和 信州大学教育学部用度係(管理部会計課野辺山地区会計係)  
 酒井 勝之 東京農工大学施設課建築第一係(管理部庶務課建築係)  
 転入  
 辻田 政昭 管理部長(豊橋技術科学大学総務部長)  
 岡田 一哉 管理部庶務課長(金沢大学経理部主計課長)  
 立岡 稔 管理部庶務課課長補佐(東京農工大学総務部人事課任用係長)  
 内藤 明彦 管理部庶務課専門員(山梨医科大学総務部会計課司計係長)  
 重光 良一 管理部会計課課長補佐(東京大学経理部管財課課長補佐)  
 千葉 成 管理部庶務課専門職員(岩手大学経理部契約室契約第三係長)  
 菅 哲郎 管理部庶務課専門職員(東京大学海洋研究所総務課庶務掛主任)  
 川合登巳雄 管理部庶務課庶務係長(東京大学教養学部等経理課出納掛長)  
 海老沢節夫 管理部庶務課人事係長(東京大学理学系研究科等庶務掛主任)  
 安藤 秀之 管理部庶務課研究協力係長(電気通信大学教務課教務係長)  
 書上 正則 管理部庶務課共同利用係長(核融合科学研究所管理部庶務課庶務係主任)  
 岡田 浩之 管理部会計課出納・情報処理係長(高エネルギー加速器研究機

構国際研究協力部研究協力課  
 共同利用第一係共同利用主任)  
 田中 雄 管理部会計課契約係長(大島  
 商船高等専門学校会計課総務  
 係総務主任)  
 市村 和久 管理部会計課野辺山地区会計  
 係長(信州大学医学部医事課  
 医事係主任)  
 金城 徹 管理部庶務課庶務係主任(琉  
 球大学経理部経理課)  
 興津 美彦 管理部会計課契約係(電気通  
 信大学会計課)  
 村上 和弘 管理部施設課建築係(電気通  
 信大学施設課)  
 昇任  
 日置 幸介 地球回転研究系教授(同研究  
 系助教授)  
 渡邊 峯子 管理部庶務課岡山地区事務係  
 長(同係共同利用主任)  
 林 博 管理部会計課総務係主任(同  
 課用度係)  
 河野矢英成 ハワイ観測所会計係主任(同係)  
 井上志津代 技術部技術第二課課長補佐  
 (同課技術第二係長)  
 篠原 徳之 技術部技術第二課技術第二係  
 長(同課)  
 配置換  
 山下 芳子 管理部庶務課広報係長(同課  
 庶務係長)  
 保坂 道徳 管理部庶務課野辺山地区庶務  
 係長(管理部会計課野辺山地  
 区会計係長)  
 國光 昌子 管理部庶務課岡山地区事務係  
 主任(同係庶務主任)  
 三浦 進 管理部会計課司計係主任(同  
 課契約係政府調達主任)  
 原田佐恵子 管理部会計課出納・情報処理  
 係主任(同課総務係主任)  
 井上 知巳 管理部会計課契約係主任(同  
 係物品供給主任)  
 大塚 朝喜 管理部会計課野辺山地区会計  
 係経理主任(管理部庶務課野  
 辺山地区庶務係主任)  
 澤田 健司 管理部会計課野辺山地区会計  
 係契約主任(同係主任)  
 保坂 敦司 管理部会計課用度係(同課司  
 計係)

#### 客員部門併任

関 宗蔵 光学赤外線天文学・観測シス  
 テム研究系教授(東北大学大  
 学院理学研究科教授)  
 面高 俊宏 太陽物理学研究系教授(鹿児  
 島大学理学部教授)  
 藤本 正行 理論天文学研究系教授(北海  
 道大学大学院理学研究科教授)  
 船崎 健一 地球回転研究系教授(岩手大  
 学工学部教授)  
 花輪 知幸 光学赤外線天文学・観測シス  
 テム研究系助教授(名古屋大  
 学大学院理学研究科助教授)  
 富田 晃彦 理論天文学研究系助教授(和  
 歌山大学教育学部助教授)  
 羽部 朝男 電波天文学研究系助教授(北  
 海道大学大学院理学研究科助  
 教授)  
 西尾 正則 地球回転研究系助教授(鹿児  
 島大学理学部助教授)

#### 研究主幹等併任

家 正則 光学赤外線天文学・観測シス  
 テム研究系研究主幹(同研究  
 系教授)  
 安藤 裕康 ハワイ観測所長(同所教授)  
 柴崎 清登 太陽活動世界資料解析セン  
 ター長(電波天文学研究系助  
 教授)  
 水本 好彦 天文学データ解析計算セン  
 ター長(光学赤外線天文学・観  
 測システム研究系教授)  
 小林 行泰 天文機器開発実験センター長  
 (光学赤外線天文学・観測シス  
 テム研究系教授)

#### 研究主幹等事務取扱

家 正則 岡山天体物理観測所長事務取  
 扱(光学赤外線天文学・観測シ  
 ステム研究系教授)

#### 併任

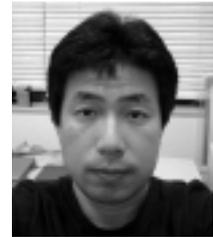
千葉 成 管理部庶務課水沢地区庶務係  
 長(同課専門職員)  
 松浦 孝 管理部庶務課研究協力係(総  
 合研究大学院大学総務課)

## シリーズ「談話会紹介」

### 赤方偏移 1 を超える遠方銀河団・超銀河団の観測

(開催：三鷹、平成 12 年 6 月 2 日)

光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 山田 亨



今回の談話会(といっても、実は、この原稿を書いているほぼ1年前になってしまいましたが)では、赤方偏移1を超える遠方宇宙の銀河団の探査、観測の研究成果について、お話ししました。形成期に近い銀河を観測し、予想される顕著な色、光度進化の有無を調べることによって、銀河の形成時期などに強い制限を付けることができるという、なかなか、エキサイティングな研究です。

今回は、私が平成12年4月に国立天文台に赴任してはじめての談話会であったということもあり、それまでの数年間にわたる遠方銀河団の観測の成果をまとめてお話しすることにしました。これらの研究は東北大学在職時の学生で、学位をとり現在は天文台研究員の田中壺君、特別共同研究員(受託院生)として現在も研究をともに進める鍛冶澤賢君をはじめとして、いろいろな方との共同研究の成果でもあります。

まず、赤方偏移 1.1 のクェーサー集団領域における超銀河団構造の発見と、そのうち最も密な部分を構成する B2 1336+27 銀河団中の銀河の色分布について報告しました。我々は、 $z=1.086$  のクェーサー B2 1336+27 の周辺領域について、近赤外線及び可視光での深撮像観測を行い、 $R - K=5-7$  という非常に赤い色を示す、多数の銀河が、強いクラスタリングを示していることを発見しました。これは、星形成期を経て数十億年たった銀河が1を超える大きな赤方偏移にあってはじめて観測されるような、特徴的な色分布と言えます。可視 - 赤外線で非常に赤い色を持つ天体を探して遠方銀河団を探査することは、今ではかなり一般的な手法になっているのですが、我々の研究は、その先鞭をつけたもののひとつであったと自負しています。さらに、我々は、実際にはこの銀河団を構成しているのはこのような古い銀河だけではなく、星形成によると思われる紫外線超過を示す銀河もかなりの割合で存在することを示し、赤方偏移1付近を境に、銀河団中の銀河が「静的

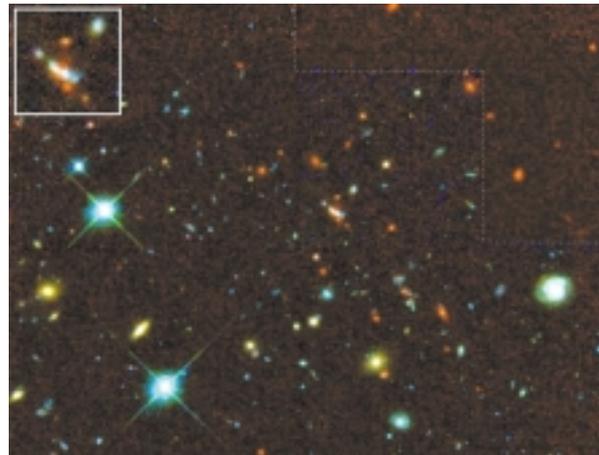


図1：すばるCISCO及びHSTによる3C324銀河団画像

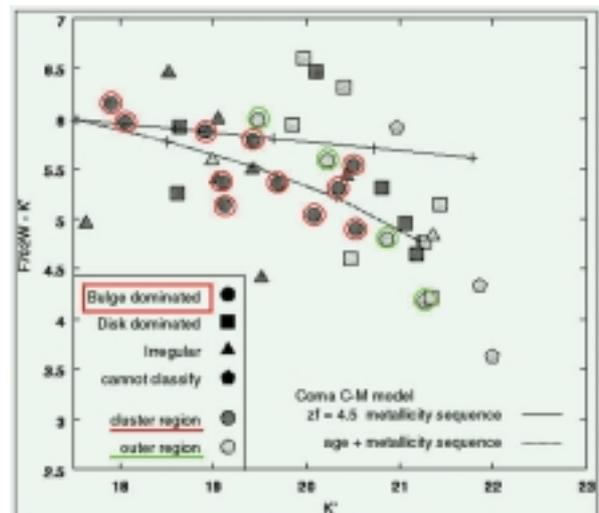


図2：3C324 銀河団中の早期型銀河の色等級関係

な進化」から、かなり活動的な進化を示す時代にさかのぼっていくことを示しました。

このような銀河の進化の状態は、銀河団環境の力学的進化との結びつきがあると考えられます。我々は、さらに広視野の観測から、クェーサー集団に付随すると思われる超銀河団構造を示す銀河のクラスタリングを明らかにし、より大きなスケールで、銀河密度と銀河の進化段階との関連を調べる研究を進めています。

次に、すばる望遠鏡の試験観測期に得たデー

タに基づく、赤方偏移 1.2 の 3C324 銀河団 ( 図 1 ) 中の銀河の色分布についての研究の成果の報告を行いました。この研究では、すばる望遠鏡データとハッブル宇宙望遠鏡のデータを合わせて解析し、早期型銀河の色-等級関係に大きな傾き ( tilt ) が存在することを、はじめて、明らかにしました ( 図 2 ) 。これは質量の小さな銀河ほど平均年齢が 10-20 億年ほど若い場合に、高赤方偏移銀河団を観測して初めて検出が予想される傾向です。我々は、同時に観測された銀河光度による空間分布の分化と併せて、原始銀

河団領域では、まず中心部で質量の大きな銀河が選択的に形成され、その後周辺で形成された低質量の銀河が落下して成長してくるのではないかと、というやや思い切った説を導いています。これは、biased galaxy formation が実際に起こったことを強く示唆する観測の一例となるのではないかと考えています。

現在は、これらの研究をさらに発展させた研究をすばる望遠鏡などを用いて展開していません。

## 研究トピックス

### AO ( 補償光学系 )

光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 高見 英樹



すばるを始め、最近の大型望遠鏡は、主鏡支持技術の進歩のおかげで、望遠鏡そのものでは回折限界に近い性能を持つようになってきました。そうすると、大気揺らぎが星像を劣化させる主要原因となってきました。大気揺らぎとは、空気の温度むらによって、その屈折率が変化するために、光の波面を乱してしまうもので、夏に熱い地面から立ち昇るかげろうがその典型的なものです。すばる望遠鏡のあるマウナケア山は世界でも最も揺らぎの小さいところなのですが、それでも揺らぎのせいで近赤外域では口径 1.3m 相当の望遠鏡もつ分解能しか出すことが出来ません。これを解決する技術が補償光学系 ( AO ) です。

AO とは、この大気揺らぎによって乱れた光波面の形を瞬時に測定し ( 波面センサー ) 、波面が変化する時間より速く、光路中にある鏡の形を波面の乱れをキャンセルするようにリアルタイムで変えてやる ( 可変形鏡 ) ことによって、波面を補正するシステムで、大型の望遠鏡には必須の装置となってきました。

すばる補償光学系は、1 ~ 5  $\mu\text{m}$  の近赤外域で 8.2m の口径での回折限界の分解能を得る目的で開発されました。本当は、より短い波長の可視域で働くシステムがよいわけですが、そのためには可変形鏡を制御するべき素子数が数

100 ~ 1000 と増える上に、1 素子当りに入ってくるガイド星からの光の量が少なくなってしまうために、明るい天体しか観測が出来なくなってしまいます。現在の技術では、近赤外域が最も AO として高い性能を出すことができます。

AO にもいくつか方式があるのですが、我々が選択したのは、波面の曲率分布を測定するタイプのセンサーと、圧電素子を使って鏡面の曲率を制御するバイモルフ型可変形鏡を組み合わせた方式をとりました。このタイプの特徴は、同じ素子数での補正性能が高く、素子数が少なく出来ること、そのために、現在検出器としては、最も高感度の光量子計数アバランシェ・フォトダイオードが使えることです。それによって、暗いガイド星 ( 約 16 等星 ) でもシステムが動作し、AO を使って観測できる天体の割合が他の形式の AO よりも多いという利点があります。私達のシステムでは、波面センサー、可変形鏡とも 36 素子のものを用い、毎秒 2000 回の波面測定・補正を行い、マウナケアの平均的シーイング 0.5 秒角のときに波長 2.2  $\mu\text{m}$  で回折限界分解能が得られるものを目指しました ( 写真 1 ) 。この AO はカセグレン焦点に取り付けられ、ともに用いられる観測装置には、IRCS ( 赤外分光器 ) 及び CIAO ( 赤外コロナグラフ ) があり、AO で得られる高分解能に

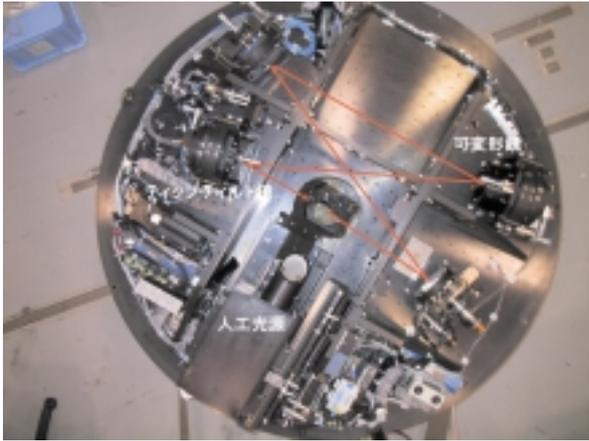


写真1：すばる望遠鏡に取り付ける前のAOを上から見たところ。望遠鏡からの光は、一旦平行光線になったのち可変形鏡で、補正を受け、再びティップティルト鏡で集光して、観測装置へと進む。

合わせた検出器のピクセルスケールとなっています。

三鷹で開発を進めてきたAOは、2000年4月にハワイ観測所に到着したのち、そこでの調整を経て2000年11月にすばる望遠鏡カセグレン焦点に取りつけられました。この時期、天候不順に悩まされましたが、2000年12月に観測装置としてIRCSをつかってファーストライトを迎えることが出来ました。このときは、好シーイングに恵まれ、波長1.65及び2.2  $\mu\text{m}$ で0.07秒を切るほぼ回折限界分解能を達成することが出来ました。その後のCIAOと組み合わせた試験観測では、AOシステムの性能評価試験の他に、CIAOのもつコロナグラフ機能と組み合わせ、原始惑星系のような明るい中心星の周りの暗い天体を検出する能力の評価観測も始めました（写真2）。

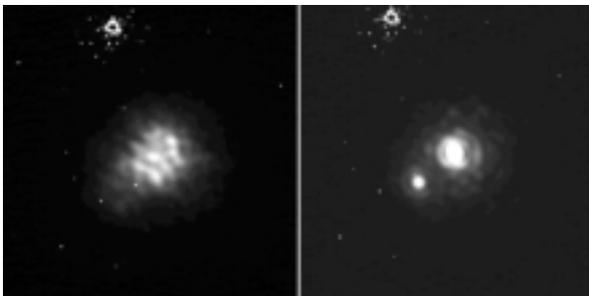


写真2：AOとCIAOで観測した2重星BS1852の補正無し（左）と補正あり（右）。2重星の離角は0.3秒角である。

現在、我々はAOのガイド星の限界等級を下げる努力を始め、シーイングの変化よっての制御パラメーターの最適化、IRCSを使った時

の分光観測性能の評価などを行った上で、2002年4月からの共同利用を始めることを目指しています。

望遠鏡の性能を格段に向上させることの出来るAOにも解決しなければならない問題があります。波面を測定するのに用いるガイド星は、観測したい天体の近くになければならないために、全天の任意の天体を観測することができません。また、観測天体がガイド星から離れると補正の性能が悪化するため、観測できる視野は数10秒角という狭い範囲に限られてしまいます。今、これらの問題を解決するための新しい技術が開発されつつあります。一つは、観測したい方向にレーザーを打って高層大気にあるナトリウム原子を光らせて人工の星を作る「レーザーガイド星」、もう一つは大気揺らぎのある高さに合わせて可変形鏡を複数枚配置し、立体的に波面を補正することによって補正できる視野を広げる「マルチコンジュゲート技術」です。これらの技術は、次世代の数10m級の望遠鏡に用いるAOには必須なものであることから、その進歩は著しく、すばるでも基礎的な実験を進めてきましたが、今後本格化するための検討を始めています。

### 編集後記

このところ目が疲れるので、ディスプレイを液晶に取り替えたが、どうも思わしくない。ストレスか、緑内障か、不安な気持ちのまま眼科に行くと、たった一言、「こりゃ、老眼ですね。」ガーン、ついにそんな年になってしまったのか。(F)

この原稿を書いているときは、ゴールデン・ウィークの計画はまだ何も考えていません。ひょっとすると、父島出張になっているかも。ノートパソコンを持ち込んで仕事をするよりは、双眼鏡を持ちこんで南の空を眺めてみたい。(Y.T.)

野辺山での試験を終えた超高精度10mアンテナがまもなくチリに旅立ちます。日本の本格的サブミリ波観測の幕開けです。(成)

工事でご迷惑をおかけしましたが、大赤道儀室が展示室（天文台歴史館）としてリニューアルしました。ぜひ、一度ご覧ください。(Agt)

天文台に採用されて丸6年。今年の4月の異動でも自分より年下の人（管理部に）いないようだ。いつになったら年下の人があるのだろうか。もうそんなに若くもないのに...(UA)