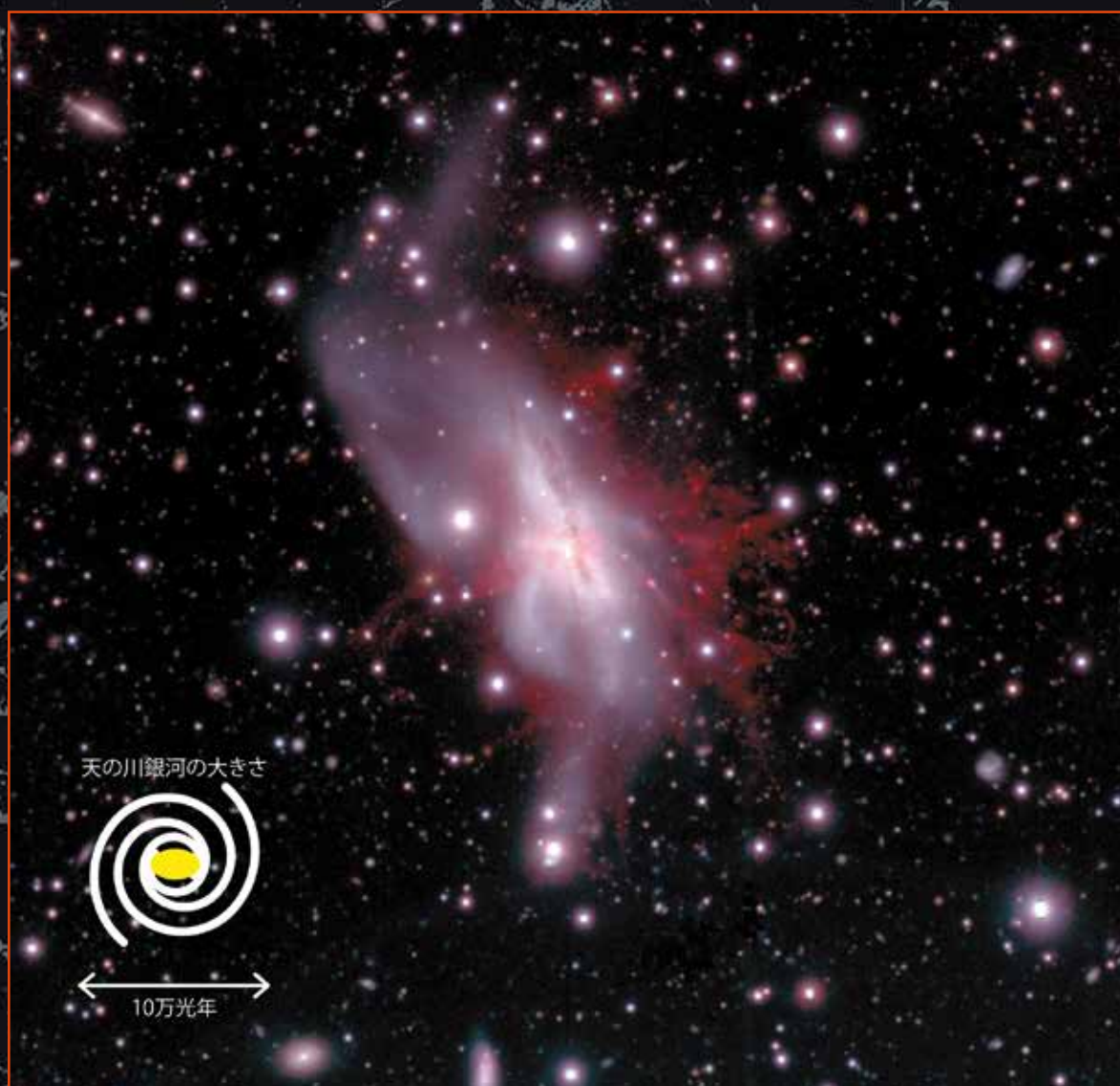


国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2016年7月1日 No.276

特集 すばる望遠鏡 2016 —進化する「すばる望遠鏡」最新レポート—



天の川銀河の大きさ



- ●すばる望遠鏡2016
 - I.すばる望遠鏡の今、そして未来…/II.すばる望遠鏡の最新観測装置/「HSC時間領域天文学ブレインストーミング研究会」報告/「HSC-SSPデータベース講習会」報告/III.すばる望遠鏡の最新研究成果/「2015年度すばるユーザーズミーティング」報告/「2020年代のすばる望遠鏡と衛星計画のシナジー検討研究会」報告
 - TMT計画の現状について
 - 国際研究会「理論と観測から迫る太陽磁場:到達点と残された問題」報告
 - 授賞/宮崎 聡 准教授が日本天文学会林忠二郎賞を受賞/アルマ望遠鏡アンテナ開発チーム、田中雅臣助教、銭谷誠司特任助教が文部科学大臣表彰を受賞

7

2016

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

特集

すばる望遠鏡2016—進化する「すばる望遠鏡」最新レポート—

- Ⅰ すばる望遠鏡の今、そして未来… — 有本信雄（ハワイ観測所長）
- Ⅱ すばる望遠鏡の最新観測装置
 - 主焦点超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC)
 - ・「HSC時間領域天文学ブレインストーミング研究会」報告
 - ・「HSC-SSPデータベース講習会」報告
 - 主焦点超広視野ファイバー多天体分光装置 Prime Focus Spectrograph (PFS)
 - 近赤外高分散分光器 InfraRed Doppler (IRD)
- Ⅲ すばる望遠鏡の最新研究成果
 - 銀河からの風が語るスターバーストの歴史
 - 合体銀河NGC6240のスーパーウィンドの詳細構造解明—
 - M81 銀河考古学プロジェクト
 - ★HSCパノラマ写真館
 - ☆HSCは画素数10億の大型カメラ！

■授賞

HSC開発責任者の宮崎 聡 准教授が日本天文学会林忠四郎賞を受賞！

- 中間赤外線であらえたヴィーナスの姿
- 115億年前の原始銀河団における非常に高密度な大質量銀河群の発見
- すばる望遠鏡、食べ散らかす赤ちゃん星の姿を捉える
- 126億光年かなたの宇宙で成長中の小さな銀河を多数発見
 - ・「2015年度すばるユーザーズミーティング」報告
 - ・「2020年代のすばる望遠鏡と衛星計画のシナジー検討研究会」報告

37

おしらせ

- TMT計画の現状について — TMT推進室
- 国際研究会「理論と観測から迫る太陽磁場：到達点と残された問題」報告
 - 花岡庸一郎（太陽観測所）

39

授賞

アルマ望遠鏡アンテナ開発チーム、田中雅臣助教、銭谷誠司特任助教が文部科学大臣表彰を受賞！

39

- 編集後記
- 次号予告

40

新連載！「アルマ望遠鏡観測ファイル」04

渦巻銀河M77

— 平松正顕（チリ観測所）／高野秀路（日本大学工学部）



表紙画像

すばるの主焦点カメラ Suprime-Cam で捉えた合体銀河 NGC6240 の姿。スーパーウィンドで銀河の外に吹き飛ばされたガス（電離ガス）が赤く見えている（15ページ参照）。

背景星図（千葉県立郷土博物館）
渦巻銀河 M81 画像（すばる望遠鏡）

特別附録！

すばる望遠鏡スペシャル・ポスターを同封します！

今月号の特集「すばる望遠鏡2016—進化する「すばる望遠鏡」最新レポート—」のスペシャル・ポスターをお届けします（※台外発送分のみ）。



国立天文台カレンダー

2016年6月

- 2日（木）幹事会議
- 10日（金）4次元デジタルシアター公開／観望会
- 14日（火）企画委員会／天文データ専門委員会
- 17日（金）幹事会議／電波専門委員会
- 18日（土）4次元デジタルシアター公開
- 24日（金）三鷹地区安全衛生委員会
- 25日（土）4次元デジタルシアター公開／観望会

2016年7月

- 8日（金）幹事会議
 - 4次元デジタルシアター公開／観望会（三鷹）
- 16日（土）4次元デジタルシアター公開（三鷹）
- 22日（金）三鷹地区安全衛生委員会
- 23日（土）4次元デジタルシアター公開（三鷹）
- 25日（月）運営会議
- 27日（水）幹事会議（野辺山開催）
- 28日（木）安全衛生委員会（全体会）

2016年8月

- 12日（金）4次元デジタルシアター公開／観望会（三鷹）
- 20日（土）4次元デジタルシアター公開（三鷹）
- 26日（金）三鷹地区安全衛生委員会
- 27日（土）4次元デジタルシアター公開／観望会（三鷹）

特集

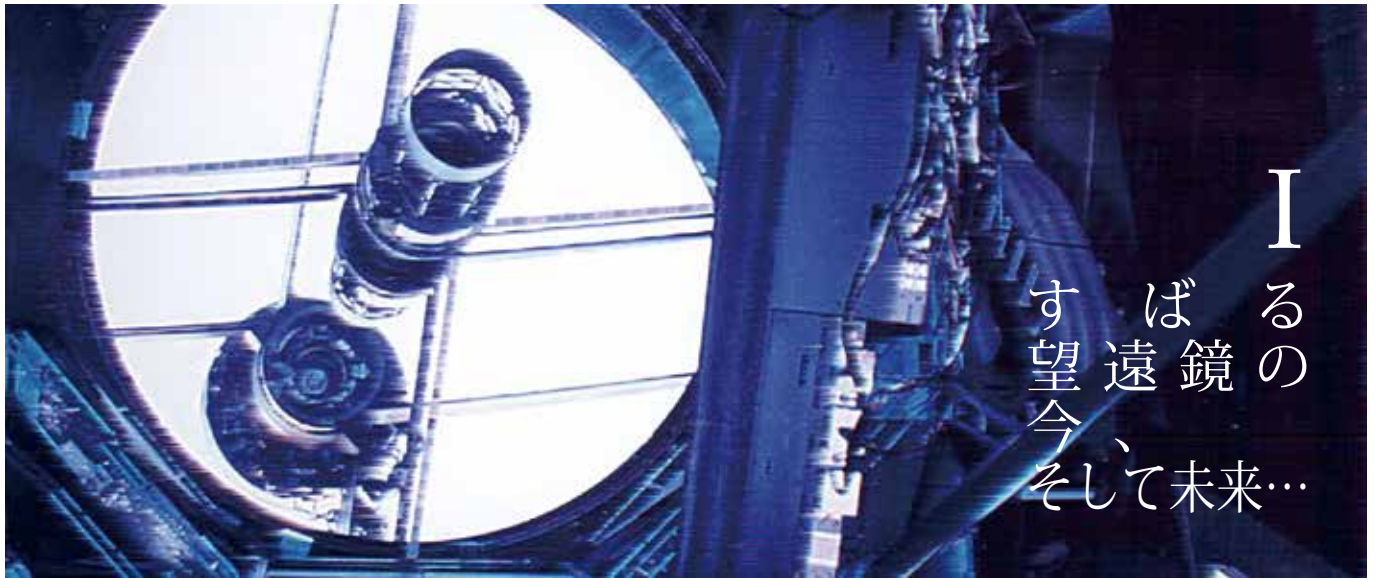
すばる望遠鏡2016

—進化する「すばる望遠鏡」最新レポート—

すばる望遠鏡がハワイ島マウナケア山頂で産声をあげて今年で17年。日本の光赤外天文学を世界トップレベルに引き上げた「すばる」は、今日も優れた研究成果を挙げながら、さらなる進化に向けて新装置の運用・開発が行なわれています。すばる望遠鏡の今と未来をご紹介します。

制作協力：ハワイ観測所

すばる望遠鏡ドームとすばる（プレアデス星団）
Photo by Mr. Pablo McLoud -
Subaru Telescope, NAOJ
(2012年撮影・中央の明るい星は木星)



すばる望遠鏡の今、そして未来…

有本信雄（ハワイ観測所長）



●ヒロの夜汽車

南の島ハワイといっても、我が家はハワイ島のなだらかな斜面にありますから、年中布団に包まって寝ています。まだ暗い明け方、ガタンゴトン、ガタンゴトンと遠くを通る夜汽車の音が聞こえてきます。ああ、もうすぐ起きないといけない。……ここでふと我に帰ります。さてよ、ここはハワイ島だから汽車なんか走っているわけがないな。そう思って耳を澄ますと、それは激しくアタン屋根を打つ雨が近づいて来る音なのです。雨はさっと来てそのまま過ぎて行き、夜汽車のように聞こえるのは布団の中で聞いているから…。やがて東の空が白んでくる頃、街は起きだし、車の音に夜汽車の幻想は消えて行きます。この頃になると、ハワイ観測所の所員の第一陣がマウナケアの山頂を目指します。一方、山頂では、観測を終えた所員と観測

者が眠い目をこすりながら中腹にある宿泊施設を目指して降りて行きます。明け方の細い月や、雲海に映る山影が幻想を誘います。

●すばる望遠鏡の歴史

すばる望遠鏡は、共同利用観測を開始してから、今年で17年目になります（望遠鏡の建設予算が国会で承認されたのは1991年4月、この年に建設を開始しました。ハワイ島マウナケア山頂での工事が始まったのが1992年6月、1997年3月にドームが完成し、1年後にドーム内での望遠鏡の組み立てが完了しました）。試験観測開始は1999年1月、そして、2000年12月に共同利用観測が始まったのです。望遠鏡の口径は8.2m、焦点距離は15m、主鏡の厚さは20cm、重さは22.8トン、超低熱膨張ガラス

でできた1枚鏡です。焦点は、①主焦点、②ナスミス焦点（可視光）、③ナスミス焦点（赤外線）、④カセグレン焦点、特に望遠鏡本体のトップに位置する主焦点がすばるの特長です（図02）。

●多すぎる観測装置

当初の観測装置は、主焦点カメラ（Suprime-Cam）、高分散分光器（HDS）、近赤外線分光撮像装置（IRCS）、微光天体分光撮像装置（FOCAS）、冷却中間赤外線分光撮像装置（COMICS）、OH夜光除去分光器（OHS）、



図01 岩手軽便鉄道（資料提供：林風社）。

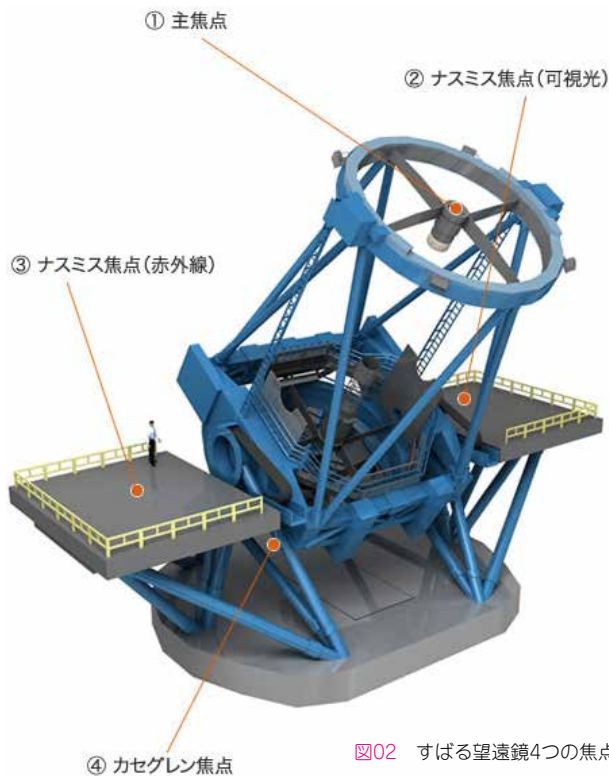


図02 すばる望遠鏡4つの焦点。

コロナグラフ撮像装置 (CIAO) の7つでした。1台の望遠鏡に7つの装置は多すぎるという気もしますが、熟練した所員が装置交換を行ってこれを乗り切りました。この他に、大気の揺らぎを補正して、シャープな画像を実現する188素子波面補正光学装置 (AO188) があります。また、その後の運用を経て、役割を終えたOHS、CIAOは廃棄され、多天体近赤外撮像分光装置 (MOIRCS) とファイバー多天体分光器 (FMOS) が新たに加わりました。すばる望遠鏡がこのような数多くの装置を備えているのは、研究者のサイエンスに対する多様な要求に応えるためですが、やはりその数には限界があります。すばる望遠鏡にはある決断が必要だったのです。

●すばるの決断

すばる望遠鏡のこれまでの運用形態は、多様な装置を用意する、観測夜をできるだけ多くの研究者に配分するというものでした。これですと、装置交換が頻繁になります。当初いたベテラン所員も年と共に観測所を離れ、現場には次々と若手が参加して行きます。装置交換の頻度が高ければ高いほど、人為的なミスが発生する心配もあります。そこで、すばる望遠鏡はまず装置数を大幅に減らす、そして、サーベイ型の大規模観測を中心に進めるという決断をしたのです (また、空の状態に合う観測プログラムを臨機応変に選んで実施するというキュー観測を開始する。これによって、観測者はハワイに来る必要がなくなります)。それではどの装置を廃棄して、どれを残すか。遅かれ早かれ現有の装置は全て廃棄、あるいは、バックアップ用として維持する、ただし、重大な故障が発生した場合には修理はせずに廃棄処分にすることにしました。えーっと驚くかもしれませんが、これがすばるの採るべき戦略なのです。

●天文学の謎と鼎の三脚

21世紀の天文学の課題は何でしょう。それは次の6つです。

- ① 宇宙で最初に誕生した星や銀河はどのようにして生まれた

のだろうか。

- ② ダークマターやダークエネルギーって何だろう。
- ③ 銀河はどのようにして誕生して進化してきたのだろうか。
- ④ 恒星や惑星はどのようにして生まれるのだろうか。
- ⑤ 元素は恒星の中でどのようにして作り出され、銀河全体に広がっていったのだろうか。
- ⑥ 重力波は実在するのだろうか。

重力波は最近検出されたという報告がありましたが、すばる望遠鏡には重力波の源を探し出すという使命が残されています。これらの謎を解明するために、すばる望遠鏡は新たに3つの観測装置を開発しています。そのうちの1つは既に完成し、共同利用観測が始まっています。それがこの特集で紹介されている超広視野主焦点カメラ (HSC) です (08ページ参照)。もう1つは現在開発が進められていて、2019年に試験観測が予定されている主焦点超広視野分光器 (PFS) です。これもこの特集で紹介されています (12ページ参照)。そして3つめが、ハワイ観測所が最優先で開発に取り組んでいる接地層補償光学撮像分光装置 (ULTIMATE-Subaru) です。HSCは銀河団の弱い重力レンズ効果を解析して、宇宙におけるダークマターの分布を明らかにします。PFSは遠方銀河の距離を測り、宇宙の加速度膨張の様子を明らかにします。ULTIMATEは赤方偏移が10以上 (130億年前) の遠方にある銀河を探索し、宇宙の再電離の原因を調べます。暗夜のHSCとPFS、明夜のULTIMATEという3台の装置を備えて、初めて1年間有効にすばる望遠鏡を使うことが出来るのです。この3台を中国古代に使用された肉を煮る礼器に例えて、「すばる鼎の三脚」と呼んでいます。

●ULTIMATE

この名称はすばる望遠鏡の究極の装置という洒落です。すばる望遠鏡の場合、望遠鏡に近い地表層の大気の揺らぎが一番大きいことが分かっています。そこで、その揺らぎを補償光学を使って補正するのがこの装置です。4本のレーザーを照射し、レーザートモグラフィーという手法で広い視野をカバーします。大気の揺らぎをカセグレン焦点に備え付けた波面センサーで探知し、それを可変副鏡に送って瞬時に補正して、近赤外線カメラや分光装置に光を導くのです。狙うサイエンスは超遠方の銀河の発見と宇宙再電離の物理過程の解明です (このテーマはカナダ、オーストラリアの関心が高く、観測所では国際プロジェクトとして位置付けています)。

●すばる戦略枠

すばる望遠鏡は大規模なサーベイ観測に重点化するとお話ししましたが、それはまさにこれら鼎の三脚を使っての大規模プロジェクトで、HSCで300夜、PFSでも300夜を投入することが決まっております。ULTIMATEでは100夜以上を投入する予定です。このように最新の装置に大量の観測時間を割り当てて、世界に先駆けて科学的成果を得ようとするプログラムを「すばる戦略枠」と言います (p04 図03・04 / 「すばる戦略枠」については国立天文台ニュース2013年12月号 No.245も参照してください)。

●Keck、Geminiとの時間交換

観測装置の数を減らして、サーベイ型の戦略枠に特化した場合に、研究者の多様な要求に応えられるのか？天文学がこれからどのように発展するか分からないのに、HSC、PFS、ULTIMATEだけのサイエンスに限定するのは危険ではないかと思われるかもしれません。そのためにKeck望遠鏡やGemini望

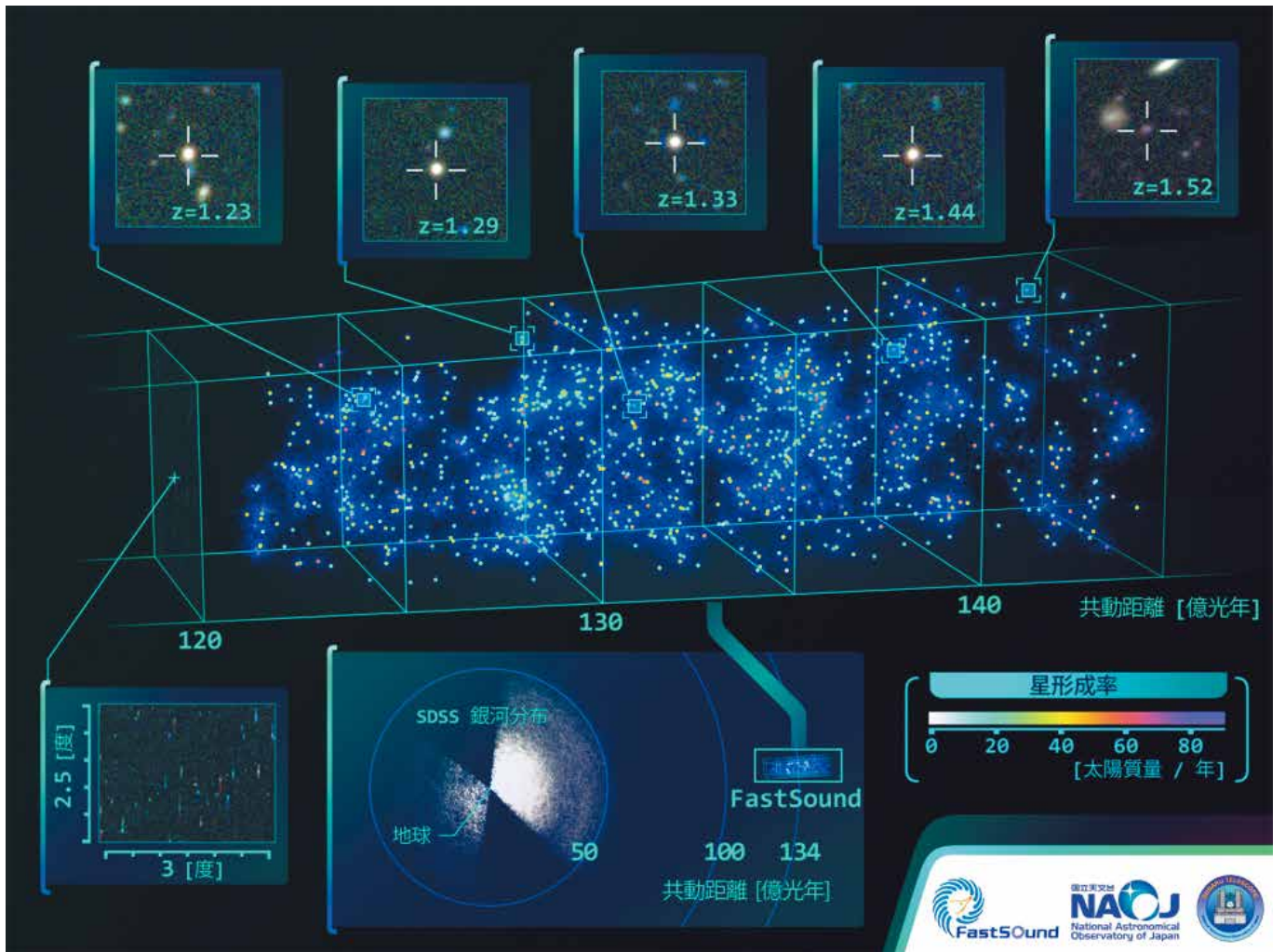


図03 すばる戦略枠“FastSoundサーベイ”によって明らかになった3次元銀河地図。平均して130億光年もの遠距離にある約3000個もの銀河の運動から、重力によって大規模構造が成長していく速度の測定に初めて成功し、そのような遠方宇宙でも構造形成速度がアインシュタインの一般相対性理論の予想と一致することが確かめられました。



図04 HSCで観測された銀河団と解析で得られたダークマター分布図。



図05 ケック望遠鏡、ジェミニ望遠鏡との時間交換。すばるとジェミニとの時間交換はNature誌で新しい動きとして紹介された。

望遠鏡との時間交換を実施しています。すばるのユーザーはこれらの望遠鏡の多様な装置を使ってオリジナルな研究を行うことができます（また、時間交換ですから、これらの望遠鏡のユーザーもすばる望遠鏡のHSCやPFSを使えます）。それぞれ、年間10夜程度の交換ですが、特にKeck望遠鏡との時間交換への期待は高く、交換夜数を増やそうという話が進んでいます（図05）。すばるへの海外の研究者の期待も大きく、VLTやGTCから共同研究を始めたいという話も来ています。

●国際共同運用

これまですばる望遠鏡は日本の望遠鏡でした。けれども、近い将来そうでなくなります。すばる望遠鏡の予算は10年前に比べて半減しています。この状況に対処するために、観測所では装置開発は全て外部資金で行っています。また、装置の機

能を特化して、経費を削減しているのもここで話した通りです。それでも十分ではありません。それにTMT（30メートル望遠鏡）が完成すれば、すばる望遠鏡の運用経費は更に大幅に削減されるでしょう。そのような時代が来ることを見越して、すばる望遠鏡は国際共同運用のパートナーを探すことにして、現在、複数の国々との交渉をしています（図06）。

●TMT時代に向けて

今から10年後にはTMTが動き始めるでしょう。そのときにすばる望遠鏡は不要になるのでしょうか。そんなことはありません。すばる望遠鏡はサーベイ観測を中心にして、TMTに日本独自のターゲットを供給する。TMTはそれを詳細に観測する。これがすばるの戦略です。広視野を誇るすばる望遠鏡の探查能力があってこそ、TMTの高感度が生きるのです。ですから、2030年代であってもすばる望遠鏡は活躍し続けることでしょう。



図06 すばる望遠鏡の国際共同運用の概念図。



図07 すばる望遠鏡（右のドーム）とKeck望遠鏡（左の2つのドーム）。

II

すばるの 望遠鏡の 最新観測装置

II章では、すばる望遠鏡の最新観測装置をご紹介します。
ナビゲータは、ハワイ観測所のマスコット
「すばるちゃん」です。



ALOHA!

こんにちは。私、今年で17歳になりました。元気にやっています。とはいえ15の春迎りからマウナケアも少しタバタしていた時期もあったのだけれど、今はだいぶ落ち着いてきているかな。

さてさて、私はたくさんのカメラや分光器を持っているのが自慢の一つ。いろいろな星や銀河を可視光から赤外線までさまざまな方法で観測できるので、出てくる結果もほんとうにバラエティーに富んでいて毎日とっても楽しみなの。この号にも私のところに観測に来たお兄さんお姉さん達のワクワクする記事がたくさん載っているの、

ぜひ読んでみてください。

そして、いま、新しいカメラや分光器も作られているんです。どれもこれも見たことのない面白い世界が見えてくるんだって。私をもっとドキドキさせてほしいな。ここでは、3つの装置を紹介したいと思います。ひとつは「主焦点超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC)」。これは、もう観測に使われていて、すでにたくさんの観測成果をあげています。あとの二つは「主焦点超広視野ファイバー多天体分光装置 Prime Focus Spectrograph (PFS)」と「近赤外高分散分光器 InfraRed Doppler

(IRD)」です。

一方、17歳にもなると、いろいろな事情でお別れしなくてはならなかったカメラや分光器たちもいくつかあるのです。OH夜光除去分光器 (OHS)、36素子波面補償光学装置 (AO)、コロナグラフ撮像装置 (CIAO)、そして最近になってファイバー多天体分光器 (FMOS) ともお別れということになりました。みんな一緒に汗をかいて頑張ってきた仲間。あなたの笑顔に何度助けられただろう。苦しかったことも楽しかったことも今ではいい思い出です。ありがとう ありがとう Best Frineds.

すばる望遠鏡

主焦点超広視野カメラ

新型観測装置

Hyper Suprime-Cam (HSC)

稼働中!

すばるちゃん

(ハワイ観測所)

●超一広い視野が自慢

さて、まずは「主焦点超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC)」を紹介します。14歳頃から使い始めて、最近調子がぐんぐんアップ。HSCという略称で呼ばれることが多いのだけれど、「え? HST? (こちらはハッブル宇宙望遠鏡の略称)」なんて聞き間違えられることもたまにあってたりするんです。ハッブル先輩はいつもクールでシャープな天体画像をバシバシ

撮っていて、本当に憧れの存在なので、呼び間違えられるのもちょっと嬉しかったりするのだけれど、でもね、私のHSCも負けません。さすがにシャープな天体画像を撮るという点ではかなわないのだけれど、一度に見ることができの空の領域はハッブル先輩の約700倍 (!!!) なので、珍しい天体がひょっこり見つかったり (図01)、思いがけないところ彗星なんかか写っていたりして (図02)、毎回どんな発見があるんだろうと

ドキドキしています。この号にもM81の記事と迫力満点の写真が掲載されているのでぜひ見てね（18ページ参照）。

●すばる戦略観測

友達のケックちゃんやジュミニちゃん（07ページ参照）にも「広い視野でいいなあ」とうらやましがられているHSC。実際の視野は、差し渡しで1.5度。満月にして3個分（図03）。他の望遠鏡の観測装置と比べると、とってもワイド。でも、満月にして3個分というと、腕を前に伸ばして親指をグーって突き出した時の爪位の大きさ…。空全体を観測しようと思ったら、私、一体何歳になっちゃうんだろう？なんて、ちょっと途方に暮れそうになりますが、いえいえ、それなら、HSCの強みを最大限に引き出す観測体制を整えて、他の望遠鏡ではマネのできない発見・研究をしようという計画が進んでいるの。「すばる戦略観測」と言って、5年間で300夜を使うというすごい計画みたいなんだ。HSCの成果のひとつとして、M81の写真はこの号で観音開きで紹介されているのだけど（19～22ページ）、この戦略観測が終わった3～4年後くらいには、巻物みたいな形の付録が閉じこまれた国立天文台ニュースができるのかな？どのくらいの太さの巻物になるのかな？なんて考えていると、ちょっと楽しくなっちゃいます。

そんなHSCだけど、やっぱりちゃんとデータが見られるようにするまでは、いろいろと大変みたい。まずは望遠鏡に取り付けるのも大仕事だし、カメラはデジカメのお化けみたいな1ギガピクセルのカメラなもんだから、一度に出てくるデータが1.8ギガバイトもあるんだって（23ページ、および国立天文台ニュース2013年11月号参照）。撮ったデータを綺麗な画像にして新しい発見や研究ができるようにするためには、コンピューターもフル回転、観測所のみんなもフル回転。みんなで頑張っていかないと…。私も頑張らなくっちゃ。

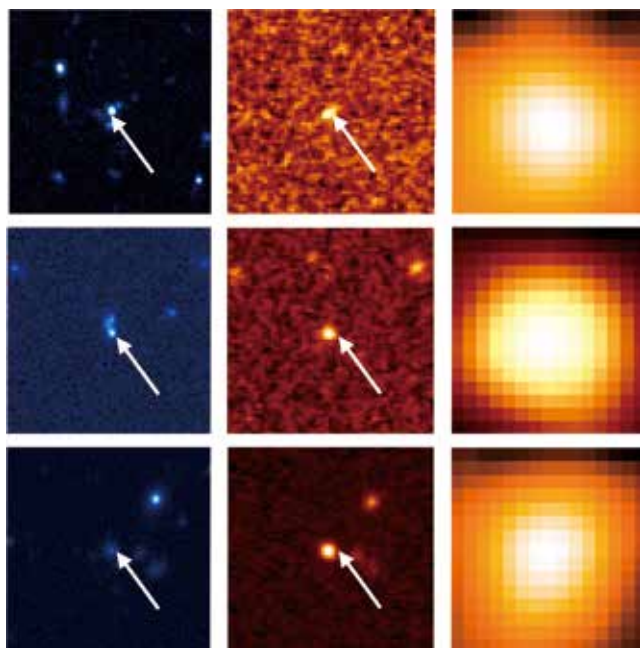


図01 すばる望遠鏡HSCで見えてきた、急成長を遂げつつある銀河と超巨大ブラックホール。画像は、塵に覆われた銀河DOG (Dust Obscured Galaxy)の一部の、可視光線(左: HSC)、近赤外線(中央: 広域近赤外線探査計画「バイキング」、中間赤外線(右: 赤外線天文衛星「WISE」)の各画像。視野は20秒角。DOGは可視光線では暗く、中間赤外線では明るく輝いています。(画像: 愛媛大学/国立天文台/NASA/ESO)

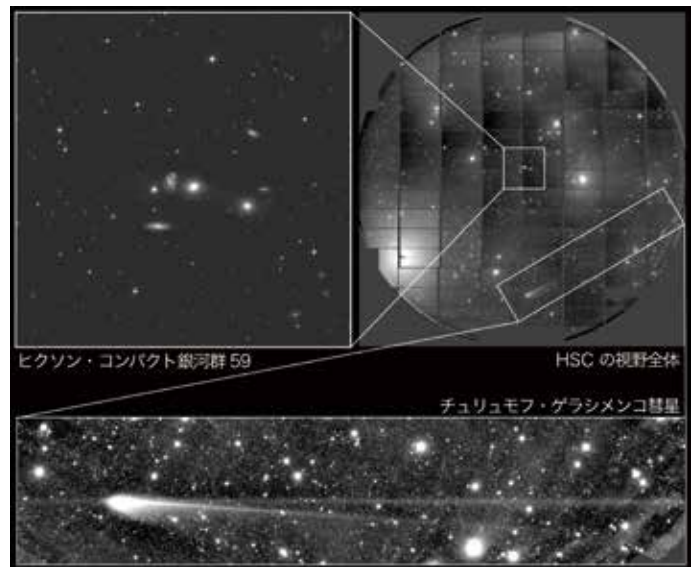


図02 HSCの視野全体(右上)の中央付近に写る元々の観測対象HCG 59(左上に拡大図)と、端に写り込んだチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星(下に拡大図)の位置関係。HCG 59付近の画像(左上)の右上隅に微かに超暗黒銀河候補が写っています。



図03 HSCの視野の比較。HSCの1世代前のすばる望遠鏡広視野カメラ(Suprime-Cam)とHSCが撮影したアンドロメダ銀河。視野の広さの差は歴然です。満月との比較では、HSCの差し渡しの視野が満月の3個分であることもわかります。

★HSCに関係するさまざまな研究会が開かれています。その中から2つの研究会の報告記事をp10～11でご紹介します。



「HSC時間領域天文学ブレインストーミング研究会」報告

高田昌広★ (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)、田中雅臣 (国立天文台理論研究部)



研究会の様子。

「HSC時間領域天文学ブレインストーミング研究会」が、2016年3月4日(金)から5日(土)の日程で国立天文台講義室において開催されました。世話人は、高田昌広、安田直樹(カブリIPMU)、田中雅臣、宮崎聡(国立天文台)、千葉 証司(東北大)、吉田道利(広島大)が務めました。文字通り「ブレインストーミング」を謳い、様々な分野の研究者が一堂に会し、すばるHyper Suprime-Cam(HSC)による時間領域天文学の開拓の可能性、その戦略を自由に議論することを目的としました。約50名の研究者が参加し、すばるデータを使ったことがない研究者が約3割程度を占め、活発な議論の場を持つことができました。

宇宙には様々な時間変動する天体現象があります。広大な宇宙から時間変動する天体を見つけるには、ターゲットとなる時間変動のスケールの間隔で何度も同じ天域を観測し、観測領域から(変光する、あるいは移動する)候補天体を見つける必要があります。しかし、非常に稀な、つまり面白い、未発見の時間変動の天体の場合は、できるだけ広い空の領域を探索することも必要になります。すばる望遠鏡の集光力、HSCの広視野は、この時間変動の天体を探索するには世界最高性能の望遠鏡・装置で、いわゆる時間領域の天文学という新たな分野を開拓できる可能性があります。

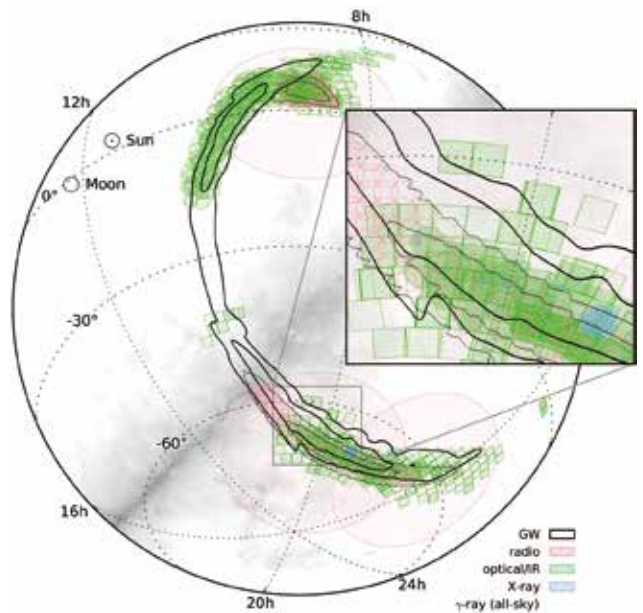
研究会では、重力波の電磁波対応天体の同定、超新星爆発、銀河系変光星、第9惑星の探査、高速電波バーストの対応天体、マイクロ重力レンズによる惑星探査および原始ブラックホールの探査、将来の衛星計画とのシナジーと多岐にわたるトピックが議論されました。特に、米国のAdvanced LIGO実験による重力波の初検出はノーベル賞級の大発見ですが、

今後熾烈な競争が確実な重力波の対応天体の同定、あるいは新聞等の報道で世間を賑わせた太陽系外縁部に存在する可能性がある第9惑星の探査には約1000平方度の領域について、約25等級程度の深さで、何度も観測する必要があります。これを現実的な望遠鏡の夜数で可能にするのは、現時点ですばるHSCのみです。

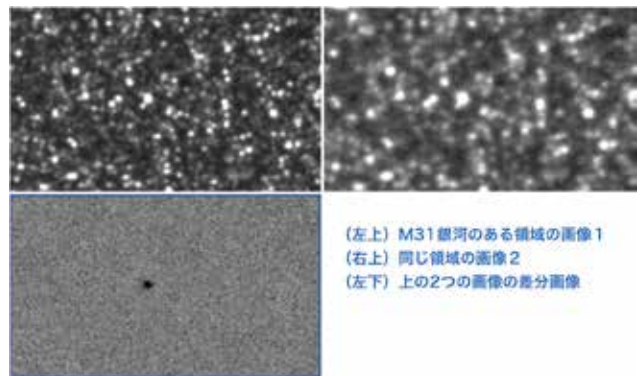
研究会では、まず宮崎聡氏と安田直樹氏によるHSCの現状、威力、また膨大なデータの解析に必要な不可欠なパイプラインの現状についての報告があり、その威力を再認識することから始まりました。そのあとで、各分野の最先端の成果、未解決な問題の紹介、またHSCの時間領域天文学の可能性、必要な観測パラメータ(天域の広さ、深さ、時間間隔の頻度)について議論がなされました。二日間にわたり、理論、観測、装置開発、また研究分野の垣根を越えた、活発な議論が交わされました。個人的な感想かもしれませんが、この近年に参加した研究会のなかで、将来への期待が膨らむ、最もエキサイティングな研究会になり、世話人を務めた甲斐が十分にありました。

米国では、2020年代の天文学を見据えて、実質口径約6.5m、視野が約10平方度(HSCの約5.5倍)の究極的なサーベイ専用望遠鏡Large Synoptic Survey Telescope(LSST)が建設され、時間領域天文学を大きく飛躍させることが確実です。しかし、LSSTが目指しているサイエンスはすで

にHSCで実現可能です！つまり、未同定の時間変動天体をHSCで「今」「発見」し、後にLSSTが確認し、その統計を増やすというストーリーを私たちが作ることができます。波長、研究分野の垣根を越え、新たな研究分野を開拓し、またすばるユーザーの裾野を広げるためにも、今後も引き続き時間領域の天文学の研究会・検討を進めていくことを参加者で同意し、興奮のなか研究会を終えることができました。この場を借りて、活発な議論を行って下さった参加者の皆さんに感謝致します。HSC時間領域天文学はいつやるの？ 今でしょ！



重力波天体GW150914の天球上での候補領域(黒い等高線)。その他の色の領域は、電磁波観測による対応天体の探索領域。プレプリント arXiv:1602.0849から抜粋。今回の研究会の世話人の田中、吉田は共著者。



(左上) M31銀河のある領域の画像1
(右上) 同じ領域の画像2
(左下) 上の2つの画像の差分画像

アンドロメダ銀河(M31)のHSCデータの時間領域天文学の解析例。CCDピクセルに多数の星が存在する、非常に星密度が高いデータであっても、2つの画像を比較する(差分をとる)ことで、偏光する候補天体(左下の画像)を検出することに成功しているのが分かる。(Niikura, Takada et al. in prepから抜粋)。

「HSC-SSP データベース講習会」報告

池田浩之 (ハワイ観測所)

国立天文台では、東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構など多数の国内研究機関やプリンストン大学及び台湾と共同で、すばる望遠鏡に搭載されている超広視野主焦点カメラ Hyper-Prime-Cam (ハイパー・シュプリーム・カム:HSC) の戦略的観測 (SSP: Subaru Strategic Program) を行っています。この観測プログラムでは、5年間で合計約300晩を費やすことで、これまでにない広い領域で暗い天体まで写った撮像データの取得を行う予定です。現在までに20%程度の観測が完了しており、すでに世界最先端の研究成果を上げることのできるデータが揃っています。さらに素晴らしいことに、このデータは日本人であれば誰でも使用して研究活動を行うことができます。解析済みのHSC-SSPデータはデータベースに登録されており、研究者ユーザはSQL (Structured Query Language) を用いることで種々の高度な条件で天体情報を検索し研究活動を行うことができます。しかしながら、データベース検索に馴染みのないユーザにとってはデータ利用の敷居が少し高くなっているのが現状です。

そこで先端技術センター、天文データセンター、ハワイ観測所のスタッフが協力し、2016年4月11日(月)に国立天文

台三鷹キャンパスのすばる棟において、HSC-SSPデータに興味があり、SQLや大規模データなどに馴染みのない大学院生や研究者を対象とした「HSC-SSP データベース講習会」を開催致しました。年度初めの講習会にもかかわらず、全国から多数参加の申し込みがあり、21名の大学院生及び研究者の方々に参加して頂きました。

この講習会では、まず午前中にハワイ観測所の田中賢幸氏から講習会の趣旨が説明された後、先端技術センターの宮崎聡氏及びハワイ観測所の山田善彦氏からHSCの装置説明及びHSC-SSP観測の概要についての説明が行われました。また、天文データセンターの高田唯史氏及び古澤久徳氏からはHSC-SSPデータが置かれているデータベース、HSCデータ解析の概要についての説明が行われま

した。午前中の講義は休憩がなく、2時間連続で行いましたが、講習会参加者の方々には非常に集中して熱心に聞いて頂きました。また講義中にも適宜質問を頂き、講師側としても大変有意義な時間を過ごすことができました。



講習会参加者の質問に対して講師が解説している様子。



集中してデータベースから必要なデータを取得している様子。

午後からはハワイ観測所の峯尾聡吾氏及び小池美知太郎氏からSQLの使い方、HSC-SSPデータの画像が一望できるhscMapの使い方の説明が行われた後、実際にデータベースから興味のある研究に必要なデータを取得してもらうための作業を各自で行って頂きました。そこでは、太陽系、銀河、重力レンズを対象とした研究に興味があるグループにそれぞれ分かれてもらい、これまでに講義した講師陣及びハワイ観測所の林裕輔氏及び筆者が講習会参加者の傍について、わからないところがあれば適宜質問して頂きながら作業を進める実習形式で行いました。午前中及び午後で講義した情報量が多く講習会参加者の方々はすでに疲労してしまい集中力が散漫になるのではと少し心配していましたが、それを感じさせないくらい実習中も集中して取り組んでおり、非常に充実した講習会となったのではないかと感じました。この講習会で学んだことを生かして様々な素晴らしい研究成果が出てくることを講師一同、楽しみにしています。



★では次に、いま開発中の「主焦点超広視野ファイバー多天体分光装置 Prime Focus Spectrograph (PFS)」と「近赤外高分散分光器 InfraRed Doppler (IRD)」を紹介します。IRDもとPFSも分光器なんだけれど、IRDは一つの星をじっくりと見て、わずかな

星のふらつきからその星の周りの惑星を探すための分光器なんだって。かたやPFSは一度に最大で約2400個もの天体を同時に分光してしまおう、というこれまたすごい分光器。それでは、PFSを田村直之さん、IRDを小谷隆行さんにご案内いただきます。

すばる望遠鏡
新型観測装置
開発中！①



主焦点超広視野ファイバー多天体分光装置 Prime Focus Spectrograph (PFS)

田村直之

(東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)

●はじめに

遥か昔から、人類は夜空を見上げながら疑問を抱き続けています。

「宇宙はどのようにしてできたのだろうか？」

「宇宙に終わりはあるのだろうか？」

「なぜ我々はここにいるのだろうか？」

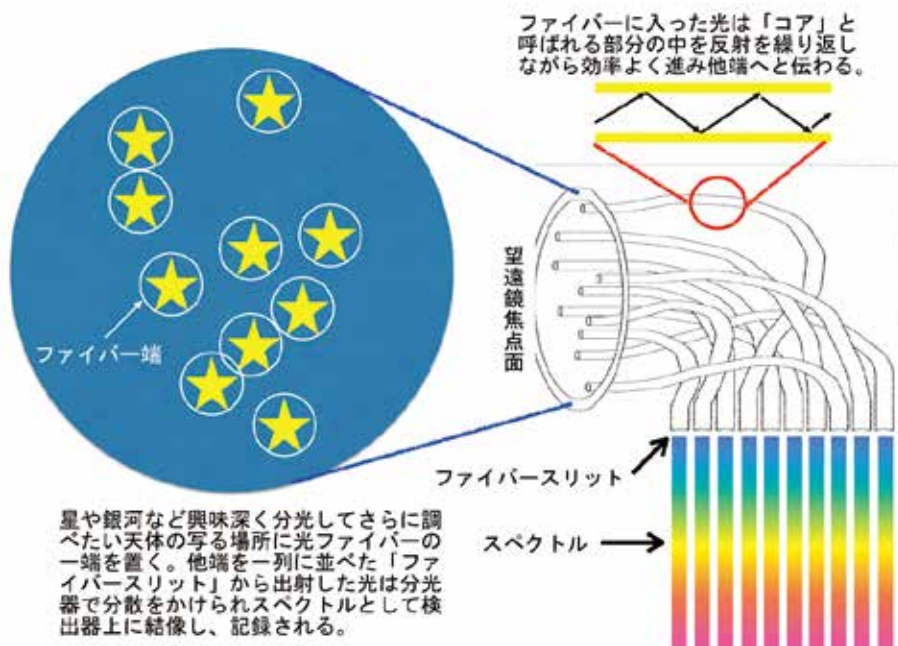
そして最近、宇宙について驚くべき事がわかってきました。原子など通常の物質は我々の宇宙のほんの4%ほどを占めるにすぎず、残りは重力以外ほとんど他の物質と反応しない「ダークマター」と、さらに不思議な謎の「ダークエネルギー」で満たされているというのです。一体、これらの正体は何なのでしょう。どのように我々のまわりに存在しているのでしょうか。銀河や星、そして我々人類の誕生や進化とどう関係しているのでしょうか。PFSプロジェクトは、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構（以下カブリIPMU）が中心になり、最先端の科学技術の力を使ってこうした疑問の答えを見いだそうとする宇宙観測計画です。

●宇宙「空間」を測る

人類にとって宇宙への窓である夜空。星々に彩られ果てしなく広がるその姿は圧倒的というより他はありません。しかし眺めるだけではなかなかうまく感じられないことがあります。それは「奥行き」です。私たち人類が暮らしている地球は、太陽系にある一つの惑星であり、太陽系は銀河系の一部であり、そして銀河系は宇宙という空間に無数に存在する銀河という星の集団の一つ……目に見える風景や写真からはなかなか読み取ることができませんが、言うまでもなく宇宙は立体的であり空間なのです。

●「分光」という観測手法

宇宙はどのようにできたのか、終わりはあるのか、そういった問いに答えを出すべく、研究者たちは長年、宇宙の「中身」である天体の性質をつぶさに調べ、それらが宇宙がまだ若かった大昔から現在までどのように変化してきたかをまず理解しようと努力しています。が、天体の昔の姿なんてわかるのでしょうか。夜空の上で一筆書きのようにとある天体の歴史を追うことはできませんが、実は、無数に映る天体の中から昔の天体を拾い上げることはできるのです。光の速さは有限なので、より遠くにある天体ほど光が地球に届くのにかかる時間が長くなります。つまり、より遠くにある天体を見つけたら、それはより昔の天体から届いた光を



図の一部は Title: The Astronomical Uses of Optical Fibers / Authors: Parry, I. / Journal: Fiber Optics in Astronomy III, ASP Conference Series, Vol. 152, 1998, ed. S. Arribas, E. Mediavilla, and F. Watson (1998). Proceedings of a meeting held in Puerto de la Cruz, Canary Islands, Spain, 2-4 December 1997. ISBN 1-886733-72-4., p.3 Figure 2を参照して制作

図 1 ファイバー多天体分光観測の原理。

見ていることになるのです。その天体がどのくらい遠くにあり、従ってどの時代のものは、天体からの光を波長ごとに分解する「分光観測」をして、赤方偏移を測ることで調べられます。

●PFS (Prime Focus Spectrograph) : すばる望遠鏡 主焦点超広視野ファイバー多天体分光装置

この分光観測というものは、従来は一度に一つの天体に対してしか行えなかったので、たくさんの銀河を分光し広範囲にわたってその数分布を調べたりするのはとても時間のかかる作業でした。しかし近年観測装置の発達により多数の天体を同時に分光できるようになってきていて、PFSでは最大約2400もの天体を一度に分光できます(図1)。しかもこの2400天体を、満月が数個おさまるような広い領域の中から選ぶことができます。分光観測では、文字通り地球に届いた天体からの光を波長ごとに分散させて記録するので、写真を撮る場合に比べ質の良いデータを撮るのが数段大変です。特に遠くにある天体はそれだけ暗く見えますからなおさらです。しかしすばる望遠鏡では8.2mという大きな鏡で光をたくさん集めますので、PFSを使って遠くの銀河や、銀河系にある星でも暗いものまできちん



図4 組み上げ中の分光器の様子。コリメータ鏡、シャッター、カメラなど様々な光学系、機械系が設置された後、右図のようなカバーで全体が覆われた状態で運用される。

と分光することができます(図2)。また、PFSが一回の露出で記録できる波長範囲はとても広く、近紫外域から可視光域を越えて近赤外域まで及びます。これは、様々な赤方偏移、つまり様々な時代にある天体の調査に極めて大きな威力を発揮します。

PFSの装置開発は、カブリIPMUを中心とした、7か国に亘る国際チームにより推進されており、現在すでに海外の共同研究機関において一部のサブシステムの製造、組み上げ、試験が始まっています(図3、4)。今後は、来年からいよいよハワイにあるすばる望遠鏡へハードウェアを搬入し始め、2018年前半からの試験観測開始、2019年後半からの科学運用開始に向けて準備を進めていく予定になっています。PFS完成後は、「すばる戦略枠観測プログラム」に応募して5年程度に及ぶ大規模な分光サーベイ観測プロジェクトを行い、数百万個の銀河について赤方偏移を測定し宇宙の謎に迫りたいと考えています。現在、カブリIPMU、国立天文台他日本の研究者と海外の研究者が協力して様々な検討を重ね綿密な観測戦略を練っているところです。



図2 遠くの天体、暗い天体を分光観測するには、光をたくさん集められるすばるのような大きな望遠鏡が必須。



図3 光ファイバーの一端を、天体の写っている位置まで正確に動かすためのアクチュエータ。ファイバーが取り付けられ、2400本が焦点面に敷き詰められる。(上段) 納入されたアクチュエータの基本動作試験をしているところ。(下段) 先端部分の拡大写真。

すばる望遠鏡新型観測装置開発中! ②

近赤外高分散分光器
 InfraRed Doppler (IRD)

すばるちゃん+小谷隆行
 (自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター)

開発中の新型観測装置の二つ目は「近赤外高分散分光器 InfraRed Doppler (IRD)」です。いま、立ち上げに向けてお忙しい小谷さんにお話を伺ってみました。

すばる (以下「す」): IRDは惑星探しの分光器とのことですね。
 小谷 (以下「小」): はい。太陽より小さい星の周りを回る地球型惑星を探すための分光器です(図4)。これまでの惑星探査は、主に太陽に似た恒星を周回する惑星をターゲットに行われてきました。しかし、そこで地球と良く似た大きさや環境にある惑星を探すと、いろいろ難しい問題があります。まず公転周期が長い。つまり地球と同じくらいの時間をかけて公転をするわけですから、惑星を発見し、その軌道や運動等を詳しく調べるためには、少なくとも数年間にわたる継続的な観測が必要になります。これは、なかなかたいへんなので、観測ターゲットを変えることにしました。

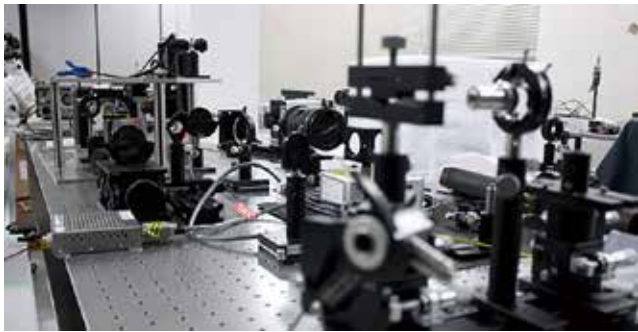


図1 開発中のIRD。

す：太陽型ではない恒星を狙うんですか？

小：当たり前！ 太陽よりも軽くて小さいM型主系列星（以下M型星）と呼ばれる恒星の周りを回る地球型惑星を探すことにしました。M型星は太陽に比べて軽くて低温なので、地球型の環境をもつ惑星は、より主星に近い軌道を回っていないといけません。すると惑星の公転周期は数日から数週間程度と、地球に比べてとても短くなります。そのぶん、短期間で多くの周期を観測できますよね。さらにいいことには、M型星は主星と惑星が近いので、主星のふらつきがずっと大きくなります。IRDは、主星のふらつきを精密な分光観測で測定して、そこから惑星の存在を捉える装置ですから（視線速度法）、ふらつきが大きいのはとても有利です（図2）。加えて、M型星は太陽型の恒星に比べてとてもたくさんあります。だから、M型星の方が、地球型の惑星を発見できる可能性が高いと言えます。

す：M型星すてき！ でも、太陽より暗いとなると、観測がたいへんなのでは？

小：いい質問ですね。確かに、M型星は小さくて暗いため、観測が比較的困難です。とはいえ、太陽に比べるとM型星は可視光よりも赤外線では明るく輝いているため、赤外線ですぐ観測できればチャンスは広がります。IRDは、その点を踏まえて、赤外分光に強い観測装置としてさまざまな工夫が凝らされているのです。

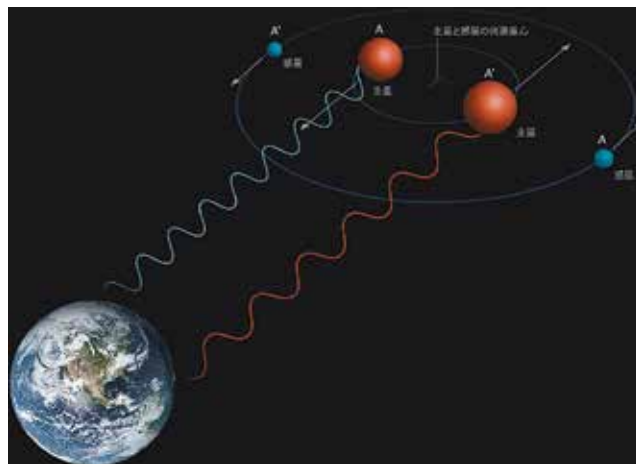


図2 視線速度法の概念図

暗すぎて直接見えない惑星の存在を確かめる手法の一つ。惑星がAの位置にいるとき、主星もAの位置にあり、観測者に少し近づいていて、光が少し青く（波長が短く）なります。また、惑星がA'にいる時は、主星もA'の位置にあり、観測者から少し遠ざかっていて、光が赤く（波長が長く）なります。この現象を利用して系外惑星を見つける方法を視線速度法といいます。

そして、楽屋で…

す：IRDがハワイに届きましたね。

小：実は3月には届いていたのですが…。

す：あれれ？ それじゃあそろそろ観測開始？

小：実は検出器周りがまだ届いていなくて…。

す：うーん、ハワイアン時間が流れてますね（笑）。

小：というわけで到着を待っているのですが、夏過ぎには山頂に上げて試験観測開始、一年後には本観測が開始できると思っています。

す：待ち遠しいですね。IRDは三鷹で製作されていたそうですが、ハワイへの出荷までは順調だったんですか？

小：なかなか人手不足で…それが一番大変でした。レーザー周波数コムは西川さん、など分担して製作してきたのですが、人手がなくて、メインの分光器はほとんど一人で作ったようなものです。

す：すごい！すごい！でもハワイではサポートがほしいですね。

小：これから新しい大学院生なども参加してくれることになっているので期待しています。また、装置はともかく、インフラについてはハワイ観測所スタッフがきちんと対応してくれたのでとても助かりました。おかげさまでクーデ室に立派なIRD用の部屋ができました。

す：あー、あの倉庫と化してたクーデ室。きれいになったんだ。

小：まだまだぱっと見は倉庫のままです。工具や部品に埋もれてIRDがあるって感じです。

す：そんなところから世界最高の観測成果が生まれてくるんだ。まさに掃きだめから鶴？

小：世界最高と言われるまでには、まだ道程が長いです。IRDの目指す1km/sという速度分解は世界でも、まだ1つの装置でし

か実現できていません。そこに到達するまではどんな困難が待っているのか…。まだまだ精進の日が続きます。

す：なんだか小谷さんが修行僧のように見えてきました。

す：IRDを使って小谷さんが一番見てみたいものは何ですか？

小：IRDのメイン・サイエンスである視線速度の測定による地球質量に近い系外惑星の検出もとても興味深いです。その先として、SCEXAOと組み合わせて系外惑星の直接分光をしたいと思っています。

す：ええっ！？ そんなこともできるんですか？

小：はい。それに向けて準備を進めています。系外惑星大気を分光してその中に生命の痕跡を探そう、という試みが進められています。中でも高分散スペクトルが得られるIRDは、決定的な役割を果たせると思っています。高空間分解能と高分散分光をあわせ持つすばるならではの強みです！

す：す、すごい。小谷さんからにじみ出すエネルギーというか圧力というか念というか、まるで系外惑星人が目の前に現れた、みたいなオーラで、私タジタジです。

小：その後はTMTへとつなげていきたいと思っています。空間分解能などの性能がさらに高まりますので今からとても待ち遠しいです。

す：とっても楽しみです。でもTMTかあ。私何歳になっているの…？（遠い目…）

小：お互い元気に頑張ってください！



★それでは、次のⅢ章では、すばる望遠鏡による最新研究成果を大特集でお届けします。A hui hou! (また、お会いしましょう！)

銀河からの風が語るスターバーストの歴史 —合体銀河NGC6240のスーパーウィンドの詳細構造解明—



吉田道利
(広島大学)

●吹けよ風、呼べよ嵐

ピンク・フロイド (Pink Floyd) という英国のロックバンドに、「吹けよ風、呼べよ嵐」と邦題のついた曲がある。原題は「One of these days (いつかそのうち)」という面白くもなんともないもので、よくまあこんなに原題とかけ離れた邦題をつけたものだと感心する。しかしこの曲、聴けばまさに邦題通りのイメージであることが分かる。ビュービュー吹く風の音から曲が始まり、やがて不気味なベースが聴こえ、キーボードが絡んでくる。全曲インストルメンタルで、こんな調子で5分あまり続くのである。聴いているうちに、これのどこが「One of these days」なんだと文句を言いたくなっていく。よく分からない方には、アブドラー・ザ・ブッチャー (古い) のテーマ曲だと言えはわかっていただけのだろうか。無理か。

●銀河からの風、銀河風

さて、冒頭より天文学とは何の関係もない話をしてしまったが、今回のお題は「風」である。風は風でも「銀河風」である。風、という点繋がりだけの与太話をしたことを反省しつつ、とにかく話を進めよう。

銀河風とは、文字通り銀河から吹く風のことである。が、これは地上の風とは違う。何も無いところ (あるいは希薄なガスの中) に、ガスや塵が流れ出して広がっていく現象である。太陽風、星風といった「風」も煎じ詰め

ればこの類である。銀河風の場合、それが銀河スケールにまで広がった巨大でエネルギーの大きなものとなっている。

銀河風のエネルギー源として考えられているものの一つに、激しい星形成活動＝スターバーストがある。銀河中で短期間 (★01) に異常に多くの星を作った結果 (これをスターバーストと言う)、大量の大質量星からの強い紫外線放射や超新星爆発によって、ガスが銀河の外に放り出されるのである。

スターバーストによる銀河風のことを特に「スーパーウィンド」と呼ぶ。なんだか格好いい名まえだ。スーパーウィンドは、銀河の進化に大きな影響を及ぼす。そもそもスターバーストが起こっただけでも、一度に大量の

★ newscope <解説>

★01

ものによるが、数千万年程度の時間スケールと考えられている。

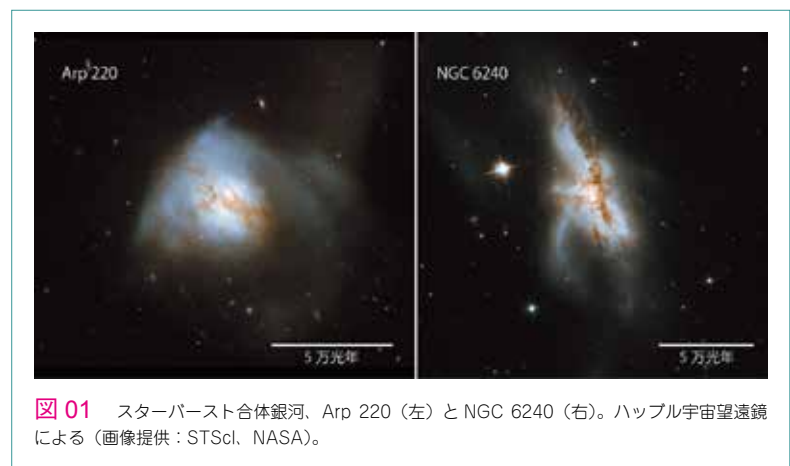


図 01 スターバースト合体銀河、Arp 220 (左) と NGC 6240 (右)。ハッブル宇宙望遠鏡による (画像提供: STScI, NASA)。

星間ガスが星に変わってしまっていて大変だ。スーパーウィンドが吹くと、それが周りのガスを巻き込んで銀河の外に吹き飛ばしてしまう。そして銀河は急速に星間ガスを失う。ガスが無くなると星形成が一気に止まってしまう。吹き飛ばされたガスは銀河間空間に広がっていくが、ウィンドが弱ければ銀河の重力に引かれて、また銀河円盤に舞い戻ってくる。再び銀河に降り積もったガスは次のスターバーストを起こす材料となるかもしれない。

●合体銀河 NGC6240

2014年某月某日、私は、すばる望遠鏡の観測室で悩んでいた。我々はとある銀河団を観測していたのだが、夜中の3時ごろになるとそれは地平線に沈んでしまう(★02)。こういうときに空いた時間には、バックアップ天体を観測することになっている。問題は、一体どのバックアップ天体を観測するかだ。

悩むこと3秒、突如、私は啓示を受けた。

「NGC6240……」

私には、ずっと気になっていた天体があった。有名な2つのスターバースト銀河、Arp220とNGC6240である(図01)。いずれも、1年間に数10~1000個もの星を作っている(★03)と考えられている、近傍宇宙では超弩級のスターバースト銀河である。そして、どちらも異様な形をしている。Arp220などまるでエンゼルフィッシュだし、NGC6240はクリオネ(★04)である。こうした奇妙な形態は大きな銀河どうしの合体で形成される。銀河衝突・合体が、激しいスターバーストを引き起こしたのである。Arp220はすでに合体前の銀河の形を留めておらず、合体過程が相当進んでいる。一方、NGC6240はクリオネの胴体と羽の部分に合体した2つの銀河の痕跡がある。つまり、NGC6240はArp220よりも少し前の段階にあるのだ。よって、この2つの銀河は、近傍宇宙にあって銀河合体が銀河の進化に及ぼす影響を詳細に調べるための格好のターゲットとなっている。

私が知りたかったのは、クリオネ銀河NGC6240のスーパーウィンドの全体像はどうなっているのかということであった。Arp220については、すでに巨大な泡構造からなるスーパーウィンドが詳細に観測されている。だが、NGC6240は、中心にあるツインブラックホール(★05)とその周辺に注目が集まっており、広がった構造は明らかではなかった。

空き時間を全部投入してNGC6240を観測する。目的は、スーパーウィンドの全体像とスターバーストの歴史の解明である。

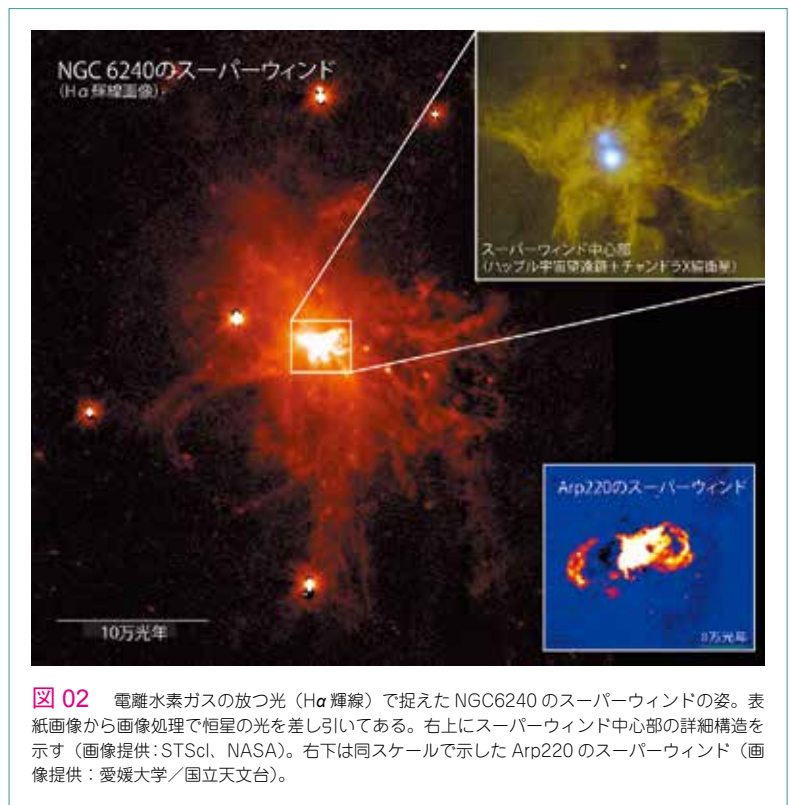


図02 電離水素ガスの放つ光(H α 輝線)で捉えたNGC6240のスーパーウィンドの姿。表紙画像から画像処理で恒星の光を差し引いてある。右上にスーパーウィンド中心部の詳細構造を示す(画像提供: STScI, NASA)。右下は同スケールで示したArp220のスーパーウィンド(画像提供: 愛媛大学/国立天文台)。

●近傍宇宙最大のスーパーウィンド

我々は、すばる望遠鏡主焦点カメラ(Suprime-Cam)に、電離水素ガスの放射するH α 輝線の光を選択的に透過する狭帯域フィルターを装着して観測を行った。銀河全体に広がった淡い構造を捉えるのだから、6000秒の露出をかけることにした。10分の露出を10回行って重ねるのである。

最初の10分露出が終わって画像を見た瞬間、目を疑った。銀河からインギンチャクのようなものがもやもやと生えているではないか(表紙画像)。クリオネからインギンチャク……。すばるはたった10分で、これまで誰も知らなかったスーパーウィンドの構造をとらえたのであった。

6000秒のデータを重ね合わせた結果、浮かび上がってきたのは、差し渡し30万光年にも及ぶ巨大で複雑な構造をしたスーパーウィンドの姿であった(表紙画像、図02)。電離水素ガスのウィンドが、私たちの住む天の川銀河(直径10万光年)を超えたサイズまで広がっている。Arp220のスーパーウィンドに比べて、NGC6240のウィンドはサイズも複雑さもはるかに上回っている。NGC6240のスーパーウィンドは近傍宇宙における最大の銀河風なのであった。

電離水素ガスの広がりとはX線放射ガスの広がりとは極めて良く似ていることも明らかになった(図03)。電離水素ガスとX線ガスの形態的相

new scope <解説>

★02

観測スケジュール割り当ての都合で、ときどきこうということが起きる。

★03

我々の銀河系の星生成率は1年間に太陽1個程度である。

★04

軟体動物門腹足綱裸殻翼足類ハダカカメライ科の軟体動物。翼のような足をひらひらさせながら水中を泳ぐ。

★05

それぞれ合体した銀河の中心核だったと考えられている。

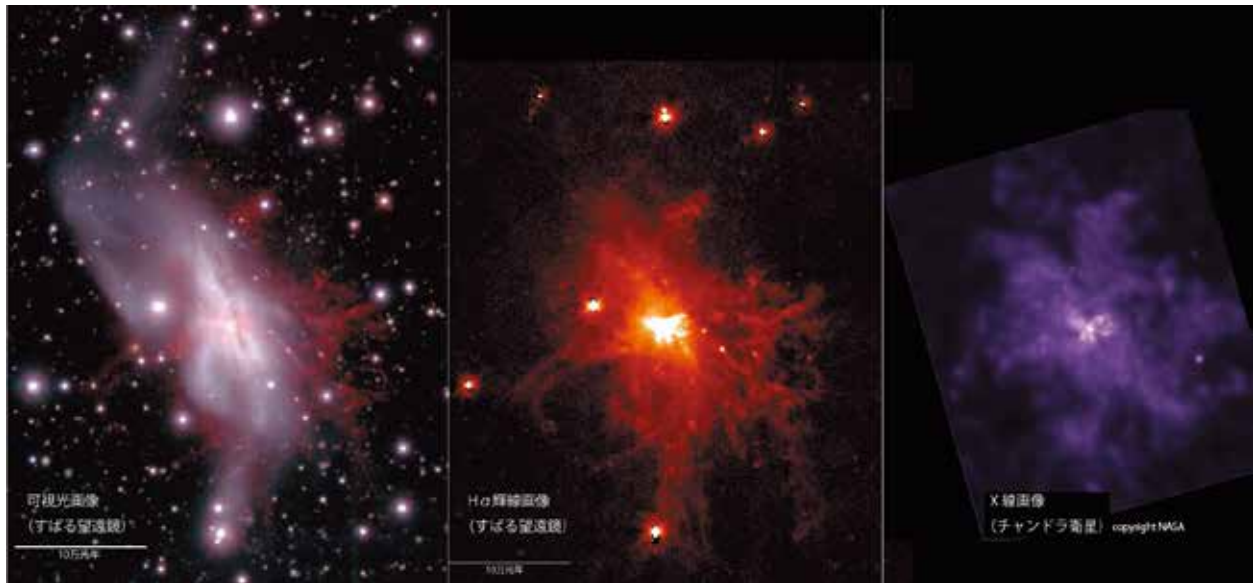


図 03 NGC6240 の可視光擬似カラー画像（左）、電離水素ガス画像（H α 輝線画像：スーパーウィンド）（中）、X線画像（右）。

関は、もっと小規模のスーパーウィンドではこれまでも知られている。H α 輝線とX線の両方が同じメカニズム（おそらく衝撃波）で励起されているからだとされている。我々の観測は、このようなメカニズムが10万光年を超えるようなスケールでも起こっていることを明らかにした。

●スーパーウィンドとスターバーストの歴史

今回得られたH α 画像を詳しく解析し、先行研究とも比較した結果、NGC6240のスーパーウィンドは、①800万年前～現在、②約2400万年前、③約8000万年前、の3つの大きなスターバーストで形成されたことが分かった（図04）。特に、今回の観測で明らかになった巨大な泡構造（図04に黄色線で示す）は、最も古い③のスターバーストで形成されたスーパー・スーパーウィンドの痕跡であろうと考えられる。

NGC6240ではおよそ1億年前から現在までに少なくとも過去に3回の大規模なスターバーストが起きた。銀河合体は10億年以上の時間をかけて進行する。NGC6240の場合、あと数億年すれば、銀河合体過程はほとんど終了するだろう。今回我々は、銀河合体の最終段階で間欠的な激しいスターバーストが起こり、それらが銀河からガスを奪い去る様子を垣間見たと言える。

●再び、吹けよ風、呼べよ嵐

NGC6240には激しい風が吹いていた。今回の観測でその詳細構造が明らかになった。だが、ガスの運動、電離メカニズム、化学組成などは不明であり、スーパーウィンドの全

体像を明らかにするには今後の分光観測が待たれる。

冒頭で紹介した「吹けよ風、呼べよ嵐」には唯一セリフが入っている。「いつの日か、お前をバラバラにしてやる」という不穏なものだ。銀河風・スーパーウィンドは銀河をバラバラにはしない。だが、銀河進化を左右する非常に重要な現象である。いつの日か、銀河風を手がかりに、銀河進化の謎をバラバラに解きほぐしたい。某月某日、すばるを後にする私に、そんな思いが去来したのであった。

●参考文献：
Yoshida, M., et al. 2016, ApJ, 820, 48.

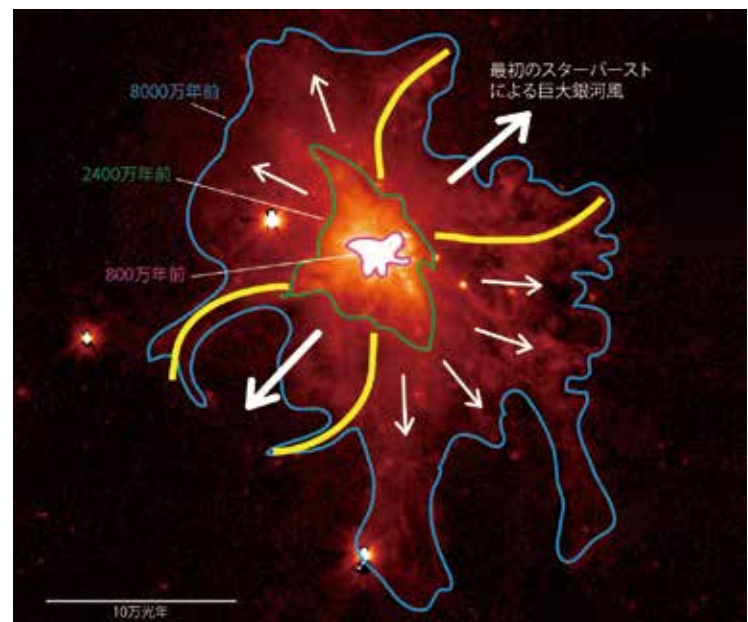


図 04 NGC6240のスーパーウィンドの構造と、それを作り出した過去のスターバーストとの関係。図中に黄色線で示した破れた泡構造（図の右上と左下に延びている）は、最初のスターバーストによる巨大スーパーウィンドと考えられる。

H S C
パノラマ
写真館

08ページで解説した「主焦点超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC)」の高性能ぶりを、ワイドな写真で実感していただくこのコーナー。まずは、**図01**をご覧ください。差し渡し満月3個分（約1.5度）のHSCの視野（09ページ参照）で捉えた、M81を中心とする銀河グループの姿（疑似カラー画像）です。中央にある渦巻銀河がM81。上端に見える棒状の不規則銀河はM82。この銀



この見開きページでは、いま大活躍中の「主焦点超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC)」が撮像したM81を中心とする銀河グループの写真を紹介します。

河は、星がたくさん生まれているスターバースト銀河として知られています。そして、左下端に写っている楕円銀河はNGC3077です。つぎに、M81の渦巻腕を拡大した画像が**図02**です。そして、さらに研究データレベルにまで拡大して画

像処理を施したものが**図03**です。M81の星のひとつひとつがくっきりと写し出されていますね。とても広い視野を確保しながら、たいへんな高解像度を兼ね備えたHSCのすごさを実感できます。では、この左右のページを開いてパノラマ写真をお楽しみください。



図 01 M81、M82、NGC3077（視野は約1.5度）。

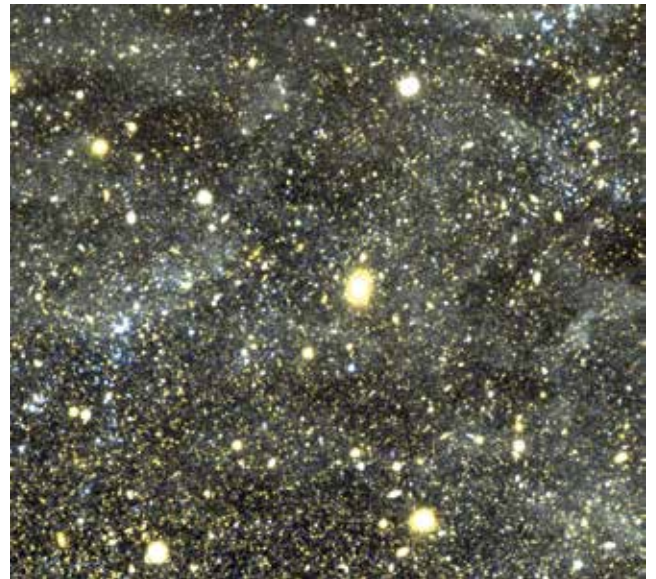


図 03 M81の研究データ画像。



図 02 M81の渦巻腕の拡大画像。

09ページでも、アンドロメダ銀河の撮影範囲を、以前使われていた「広視野カメラ Suprime-Cam」と「超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC)」で比較しましたが、ここに写っているM82は、すばるの観測装置のひとつ「微光天体分光撮像装置 (FOCAS)」がファーストライトの時（2000年）にも撮像していたので、ご紹介します（**図04**）。活発な星生成（スターバースト）によって、電離した水素ガスが銀河の外側に噴出しているようすがわかります（赤いH α 線として見えています）。このような現象は「スーパーウインド」と呼ばれています（「スーパーウインド」については15ページの吉田さんの記事をご参照ください）。



図 04 激しく水素ガスを噴き出すM82 (FOCASによる撮像)。



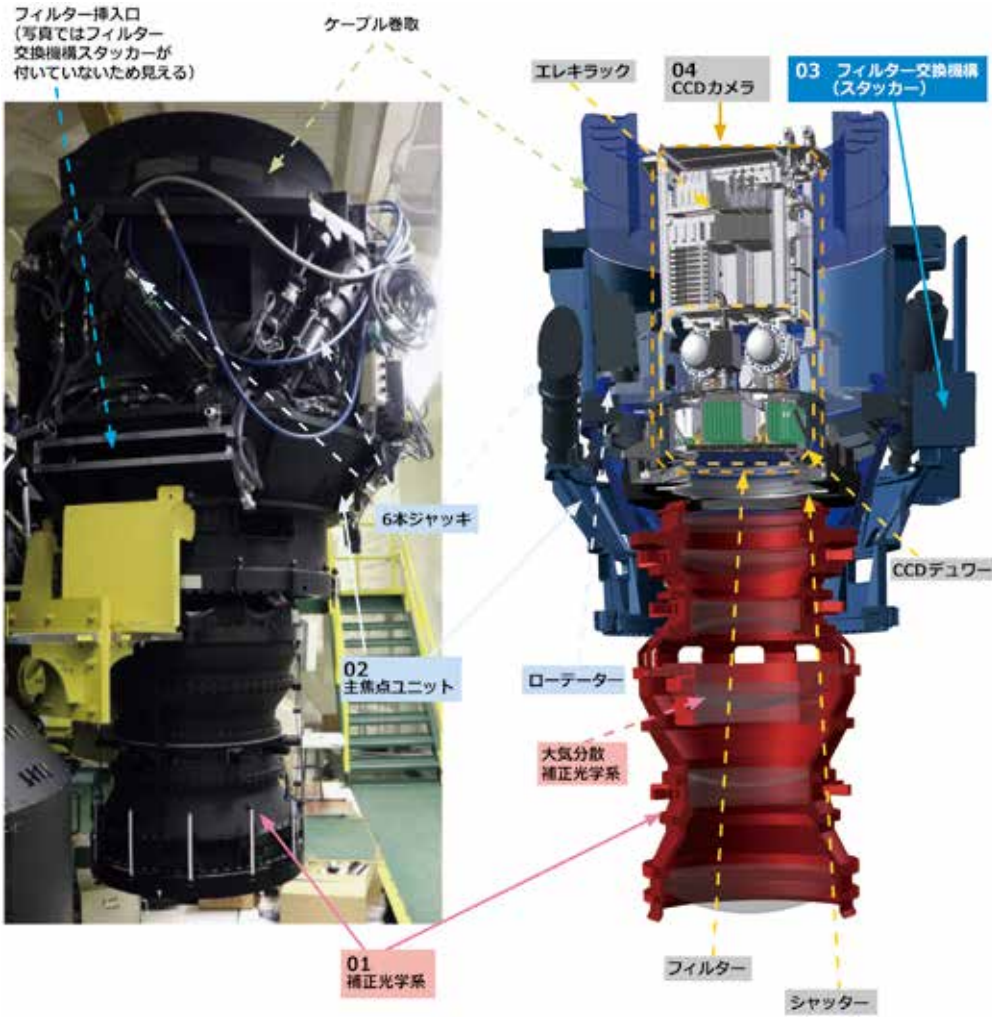
M81を中心とする銀河グループ (HSC撮像による疑似カラー画像)

中央の渦巻銀河が M81。画面右上の棒状の不規則銀河が M82。画面左上の楕円銀河は NGC3077 です。M81 の左上に HolmbergX という矮小銀河も写し出されています。これらの銀河はお互いに強い重力で影響を及ぼしあっています。その研究成果のくわしい解説は、24 ページの岡本さんの記事をご覧ください。

HSCは 画素数10億の 大型カメラ！

HSCは、直径1.5度の視野を116枚という数多くのCCDで覆い尽くす画素数10億の大型カメラで、すばる望遠鏡の主焦点に取り付けられます。HSCの特徴や性能、開発の経緯などは、国立天文台

ニュース2013年11月号の「HSC特集」にくわしく掲載していますので、ご参照ください。



◀ HSCの実物画像(左)と内部構造CG(右)。HSCはさまざまなコンポーネントからなっています(主なものとして、01 補償光学系、02 主焦点ユニット、03 フィルター交換機構、04 CCDカメラなど)。画素数10億の超大型デジタルカメラであるHSCは、すばる望遠鏡の主焦点に取り付けられて他の追従を許さない超広視野撮像を実現しているのです。



▲すばる望遠鏡の主焦点に取り付けられたHSCとすばる(プレアデス星団)。

HSC開発責任者の宮崎 聡 准教授が日本天文学会林忠四郎賞を受賞！

HSCの開発責任者である宮崎 聡さん(国立天文台先端技術センター准教授)が、2015年度日本天文学会林忠四郎賞を受賞しました。受賞対象となった研究は「すばる望遠鏡用広視野カメラの開発と、それを用いた観測的宇宙論の推進」です。

宮崎さんは自らが開発したカメラを用いて、弱重力レンズ効果からダークマター分布を求める観測研究を長年にわたり行ってきました。2015年にはHSCの観測で得られた最初のダークマター地図を発表しました(p06・図04参照)。また、すばる望遠鏡第1期装置である主焦点カメラSuprime-Cam(シュプリーム・カム)の開発でも重要な役割を果たし、科学成果を上げています。

宮崎さんは現在もHSCを用いたすばる望遠鏡の「戦略枠プログラム」を率いており、5年間で300夜を投じる大規模な観測プログラムを推進しています。最終的には観測天域を1000平方度以上に広げ、ダークマターの分布とその時間変化から、宇宙膨張の歴史を精密に計測することを目指しています。

宮崎さんは今回の林忠四郎賞受賞について「受賞理由からも分かるように、私の開発・研究は個人でできるものではなく、一緒に仕事をしてきた仲間との共同開発・研究です。皆と喜びを分かち合いたいと思っています」と語っています。



授賞式にて賞状を受け取った宮崎さん。



M81銀河考古学プロジェクト



岡本桜子
(上海天文台)

●銀河考古学

わたしたちの住む銀河系のような大きな銀河は、重力による相互作用で小さな銀河がいくつも合体することで、大きく成長していったと考えられています。そして現在の大きな銀河の周りには、その成長過程を生き残った衛星銀河や、衛星銀河が大型銀河の潮汐力で引き千切られて星が帯状に分布した「恒星ストリーム」などが多く存在すると理論的に予測されています。

実際、ここ10年ほどの間には、銀河系と隣のアンドロメダ銀河の周辺から、複雑なハロー構造や多くの衛星銀河、恒星ストリームなどが新しく発見されています。そして、そのような構造に含まれる星の年齢や成分を詳しく調べることで、巨大銀河本体の歴史をひも解く「銀河考古学」や「近傍宇宙論」と呼ばれる新しい研究分野が発展してきています。

●銀河を星に分解する

可視光で見える銀河の姿は、中に含まれる数千万から数十兆個の恒星の光が集まったものですので、単位平方角当たりの明るさ（表面輝度）を用いて、大きさや平均年齢、平均金属量などの性質を調べることが一般的です。しかし銀河ハロー（★01）は星が少なく広がっているので、前景と背景の天体に埋もれてしまい、この方法で性質を調べることは困難です。そこで銀河の星を一つひとつ同定する「恒星分離」を行います。

銀河系が夜空で無数の星の川に見えるように、十分に近い距離で銀河を「深く」撮ると、18ページの図03のように銀河を構成する星々が写ります。その一つひとつの星の明るさと色を測り、恒星進化モデルと比べることで、各星の進化段階、年齢、成分などがわかります。また前景／背景天体を取り除いた星密度の空間分布は、前述の表面輝度による研究に比べて詳細に、また非常に暗い構造まで調べることができます。ただし、銀河系の外の星の光を捕らえるには大型望遠鏡の集光力が必須ですし、銀河の光を個々の星に分離

する高い空間分解能も欠かせません。また銀河系近くの大型銀河は天球上に大きく広がって見えますから、全体像を捕らえるにはカメラの広い視野も不可欠です。これらの条件をすべて兼ね備えた観測装置は近年まで存在せず、銀河全体を「恒星分離」できるような対象は、銀河系、アンドロメダ銀河とその周辺の小さな銀河に限られていました。

●Suprime-CamとHSCによるM81観測

1774年にドイツの天文学者ヨハン・ボーデによって発見されたM81（別名 ボーデの銀河）は、地球から1200万光年の距離にあります。銀河系に最も近く、また銀河系に似た性質を持つ渦巻銀河の一つですので、銀河形成のモデルを検証するのに最も適した「実験台」です。私たちの研究グループは2005年から、すばる望遠鏡の主焦点カメラ（Suprime-Cam）を使ってM81のハローを研究してきました。27分角×34分角の視野は、8m級の大型可視光望遠鏡に搭載されたカメラとしては当時、世界最大を誇っており、局所銀河群の外（地球からおよそ500万光年以上の距離）の銀河としては初めて、M81外縁部の複雑な種族／空間構造を明らかにしました。しかしそのSuprime-Camでも、潮汐半径（約3.7度）をカバーするには視野が到底足りず、M81全体を調べることは私たちの夢でした。

2014年春、新しい超広視野主焦点カメラ

★newscope<解説>

★01

銀河のハローとは、中心部のバルジ（ふくらんだ構造）や円盤を球殻状に取り巻く大きな構造で、星や球状星団、希薄なガスが含まれています。銀河系を例にすると、半径500万光年ほどの円盤に対して、ハローは半径30万光年以上広がっていると考えられています。

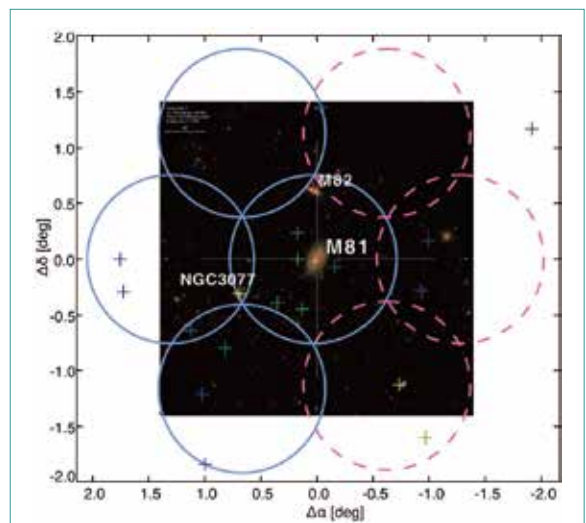


図01 M81銀河考古学の観測計画図。M81から約2度（約40万光年）の範囲をHSCの7視野でカバーします。青い円は観測済みの領域、赤い破線の円は今後観測する領域です。図中のクロスマークは、M81銀河グループに所属する銀河の位置を示します（画像：国立天文台）。

(HSC) が共同利用観測で公開されたのを機に、わたしたちはM81のハロー成分と周囲の衛星銀河を包括的に調べる「M81銀河考古学」プロジェクトをスタートさせました。直径1.5度の視野を誇るHSCを使えば、7視野で中心から2度の範囲を撮ることができます(図01)。2014年3月末に行った最初の観測は生憎の気象条件でしたが、2015年1月、ついにM81グループの中心銀河であるM81と、それに付随するスターバースト銀河M82、不規則銀河NGC3077などの衛星銀河の詳細な姿を捉えることができました。19~22ページの写真は、その際に取得したM81を中心とする一部領域を疑似カラー合成した画像です。

●銀河円盤の外にある若い星集団

画像に写る80万個以上の星一つひとつを色と光度で分類し、若い主系列星と年老いた赤色巨星の位置を調べたのが図02です。天体写真で見るM81やM82の大きさと比べると、その広がりには驚かれることでしょう。年齢が1億年未満の若い主系列星の空間分布図(図02・左)では、実線で示したM81、M82、NGC3077のR25半径(★02)よりも外にたくさんの若い星の集団があることが、初めて明らかになりました。さらにM81とNGC3077をつなぐ恒星ストリームも見られます。どの星集団も明るさの分布が等しく、また中性水素ガスの分布(図03)とほぼ同じ場所にあることから、約2億年前に起こったとされる3つの銀河の重力相互作用によって、M81からたくさんのガス塊が引き千切られ、そのガスの中で新たな星集団が同時多発的に生まれたと考えられます。

●広がった古い赤色巨星の分布

一方で、10億年以上昔に生まれた赤色巨星(図02・右)は、3つの銀河のハローが重なり合

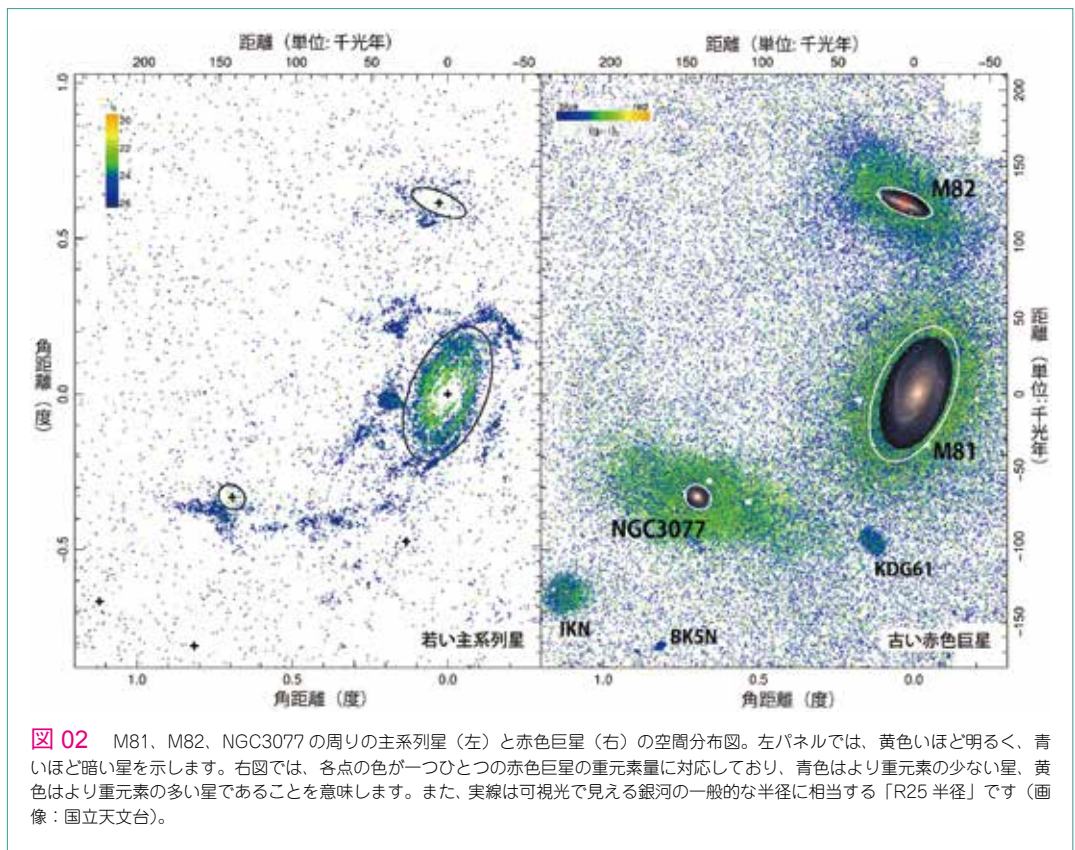


図02 M81、M82、NGC3077の周りの主系列星(左)と赤色巨星(右)の空間分布図。左パネルでは、黄色いほど明るく、青いほど暗い星を示します。右図では、各点の色が一つひとつの赤色巨星の重元素量に対応しており、青色はより重元素の少ない星、黄色はより重元素の多い星であることを意味します。また、実線は可視光で見える銀河の一般的な半径に相当する「R25半径」です(画像: 国立天文台)。

うように広範囲になめらかに分布しています。また、M82のハローの星は、M81とNGC3077のハローよりも平均的に重元素が少ないことも分かりました。NGC3077の明るさはM81の約1/9、R25半径は約1/6しかありませんが、ハローは非常に大きく、外側で左上方向と右下方向によじれた「S字」を描いており、M81の潮汐力で大きく引き伸ばされていることが窺えます。さらに左右の図を比べると、若い星の分布図では見えなかった別の3つの矮小銀河(IKN、BK5N、KDG61)の姿も確認でき、これらの銀河には古い星しか存在しないことが分かります。「M81銀河考古学」プロジェクトはまだ道半ば。予定する7視野のうち、4視野の観測と基礎解析が終わったところです。残る西側領域と合わせて、M81の全体像が解明されれば、銀河系、アンドロメダ銀河に続いて3例目の銀河考古学として、大型銀河の過去の形成過程に大きな制限を与えることが期待できます。

★newscope<解説>

★02 銀河の表面輝度が、可視光で25等/arcsec²となるような等輝度線の銀河中心からの距離。銀河の大きさは見る光の波長によって異なりますが、R25は可視光で見える銀河円盤の一般的な半径に相当します。

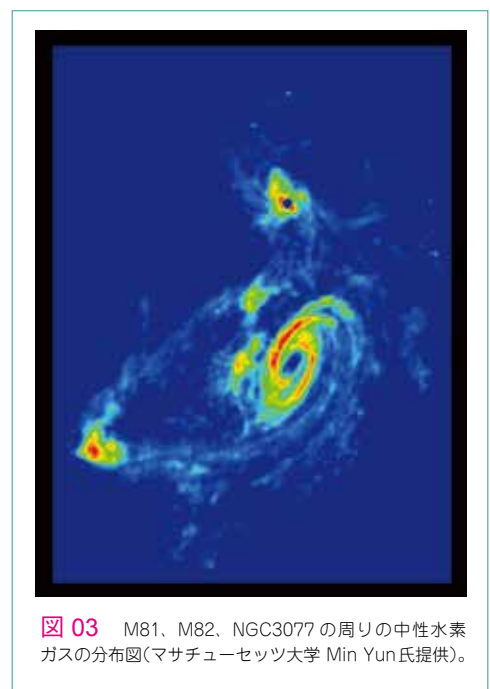


図03 M81、M82、NGC3077の周りの中性水素ガスの分布図(マサチューセッツ大学 Min Yun 氏提供)。

中間赤外線でとらえたヴィーナスの姿



佐藤隆雄
(宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所)

●地球の双子星：金星

金星は地球とほぼ同じ大きさ・密度を有しており、同時期に類似の過程を経て誕生した双子星だと考えられていますが、現在の惑星環境は似ても似つかないものです。大気の主成分は二酸化炭素であり地表面は90気圧、730 Kという**高圧灼熱地獄**^{★01}です。高度50～70 kmには濃硫酸の厚い雲が全球を覆っており、**太陽光の大部分を宇宙空間に反射する**^{★02}とともに下層大気からの赤外放射を吸収し、惑星全体の熱収支に強い影響を及ぼしています。この雲の存在こそが、双子星の気候変遷を分けたのかもしれない。

紫外線で見える金星の雲頂（高度70 km）では、「スーパーローテーション」と呼ばれる惑星規模の高速帯状風によって、英字のYまたはVを横倒しにしたような模様が西向きに約4地球日で1周することが知られています。固体部分の自転は約243地球日ですので、いかに**高速な風**であるか分かります^{★03}。ところで、雲を調べる上で紫外線は必ずしも

最適とは言えません。つまり紫外線で見える模様は、大気中に存在する（雲ではない）未同定化学物質の分布量の違いを主に反映しており、かつ太陽が照らしている昼面の情報しか得られないという短所があるのです。そこで登場するのが中間赤外線です。中間赤外線（波長8～13 μm）は、紫外線が感度をもつ雲頂付近から発せられる雲の熱放射を可視化できるだけでなく、熱放射に比べて太陽光が十分弱くなるため金星の昼夜に関係なくデータを取得できる特徴があります。70年代後半から80年代前半には米ソの探査機によって中間赤外線観測が行われましたが、探査機の軌道や装置の都合からスーパーローテーションが卓越する赤道域に着目した画像を得るには至っていません。いよいよ地上望遠鏡の出番となる訳ですが、地上観測の最大の敵は、地球大気のゆらぎによる空間解像度の劣化です。ただし可視光に比べると中間赤外線におけるゆらぎの影響は小さく、基本的には望遠鏡の口径（回折限界）で解像度が決まりま

★ newscope <解説>

★01
どれくらい高圧灼熱地獄かといえますと、90気圧は地球の深海約900mに相当し、730 Kはピザ窯の温度に匹敵します。

★02
明けの明星、宵の明星の名で知られる金星は、太陽と月を除けば地球から見える星の中で最も明るく見えますが、その理由は太陽光の大部分を雲が反射しているからです。

★03
地球の自転速度が赤道上で約470 m/sであるのに対して、最も速い偏西風でも100 m/s程度でありしかも限られた緯度帯でしか存在しません。

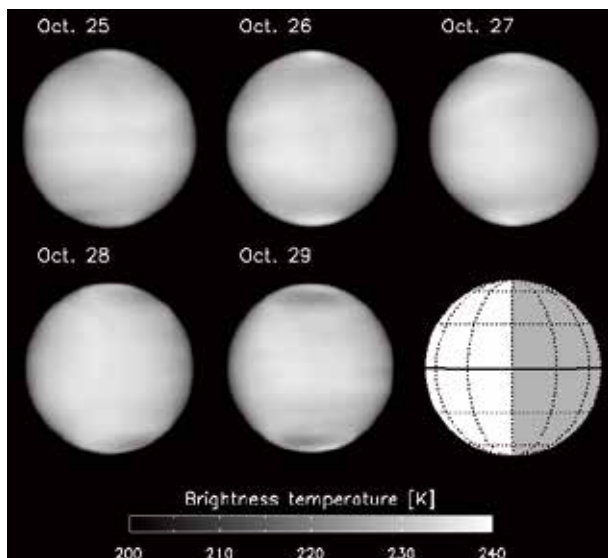


図 01 8.66 μm で見た金星の姿。輝度温度をグレースケールで表示しています。日の出前2時間観測を5日間（2007年10月25～29日）にわたり行いました。右下の図は、観測時の金星の昼面と夜面を表しています。

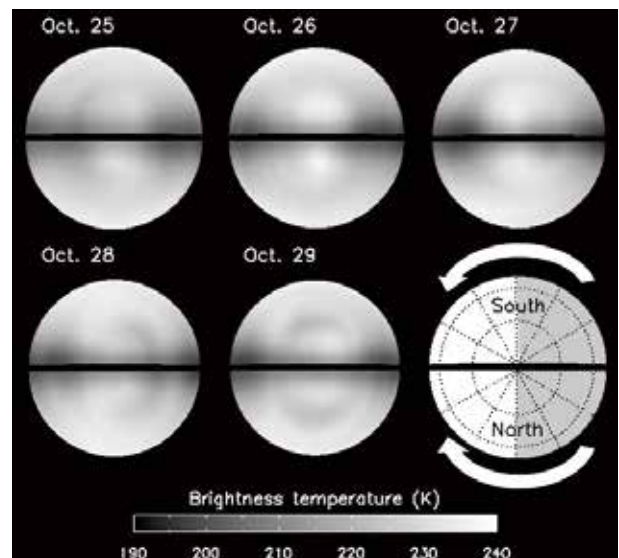


図 02 両極の明暗模様注目した極展開図。各観測日の画像上半分(下半分)は、南極(北極)から見た金星を極投影表示しています。大気は矢印の方向(西向き)に移動します。

す。こうした背景から私達は、すばる望遠鏡の冷却中間赤外分光撮像装置COMICSを用いた金星撮像観測に挑んだのです。

●すばる望遠鏡COMICSで明らかとなった金星の姿

私達は日の出前の2時間観測を5日間(2007年10月25~29日)にわたり行いました。この期間はちょうど西方最大離角に位置し、金星の朝方境界線を中心に昼夜を半分ずつ観測しました。

図01は波長8.66 μm で見た金星の姿です。木星や土星に比べると模様に乏しい惑星だと思ったことでしょうか。最も顕著な構造は、両極の高温域とそれを取り囲む低温域で、日々変化しているのが分かります。両者は雲層における温度分布の違いを反映しており、最近の大規模数値シミュレーションによってその維持機構が明らかになりつつあります。両極の模様に注目して5日間の画像を追ってみると、似たような明暗模様が南北対称に移動しているように見えます。より分かりやすく極展開したものが図02になります。ビックリするほど似ていますね。この「同期」現象が常に存在するのか偶然の産物なのか、観測頻度・期間ともに足りないため判然としませんが、もし物理的意味があるとするれば、地球とは異なる大気現象が存在することを示唆しています。図03は微細な模様を強調するため、図01にハイパス処理を施したものです。振幅0.5K程度の筋構造や斑模様が全球に分布しており日々変化していることが分かります。

この模様は、雲頂温度または雲頂高度の違いを反映していると考えられます。特筆すべきは、28日に見られる弓状構造や英字のVを横倒しにしたような模様で、紫外線で見られる特徴と類似しています。紫外線模様を作る未知化学物質は太陽光を吸収し周囲の大気を温める効果があるので、中間赤外線で見える模様が似ていても不思議な事ではないかもしれません。今回のすばる観測は、中間赤外線による金星大気の新発見と更なる謎を問いかけてくれました。これに答えるためには、観測頻度・期間を向上させた連続観測が必要不可欠となります。

●今後の展望：金星探査機「あかつき」による観測開始と地上望遠鏡の役割

奇しくも軌道投入失敗からちょうど5年経った2015年12月7日(日本時間)に「あかつき」は念願の金星周回軌道に入り、地球以外の惑星を周回する日本初の探査機となりました。軌道投入直後に中間赤外線(10 μm)で捉えた惑星規模の弓状構造を始めとして、従来の金星観を覆すような画像が4台のカメラによって着々と蓄積されています。異なる高度の模様を連続的に可視化することで、すばる望遠鏡で得られた現象の物理機構に迫ることができると考えています。

私達は「あかつき」の科学成果を最大限にするため、地上望遠鏡との連携観測を計画しています。特にCOMICSは、すばる望遠鏡の大口径を生かした探査機に匹敵する高空間分解能画像だけでなく、撮像観測主体の「あかつき」では成し得ない相補的な情報を分光観測により取得できるため、活躍が期待されています。今後、こうした連携観測の成果もお伝えする機会があればと思います。金星は2016年10月頃から日没後の空に一際明るく輝いています。金星と「あかつき」のことを思い出して夜空を見上げてもらえたら幸いです。

●本内容は以下の論文を基に執筆しています。

* Sato, T.M., Sagawa, H., Kouyama, T., Mitsuyama, K., Satoh, T., Ohtsuki, S., Ueno, M., Kasaba, Y., Nakamura, M., Imamura, T., 2014. Cloud top structure of Venus revealed by Subaru/COMICS mid-infrared images. Icarus 243, 386-399.

★本研究を遂行する上で、宇宙航空研究開発機構の片坐宏一准教授、東京大学の宮田隆志准教授、国立天文台の藤吉拓哉研究員には大変お世話になりました。この場をお借りして感謝申し上げます。

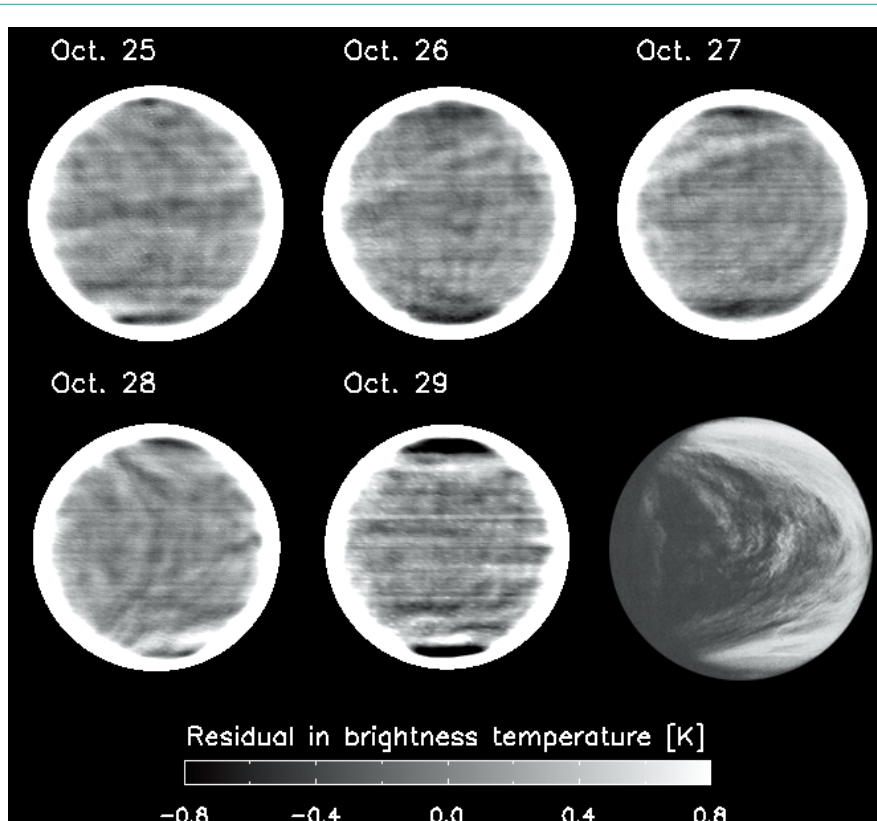


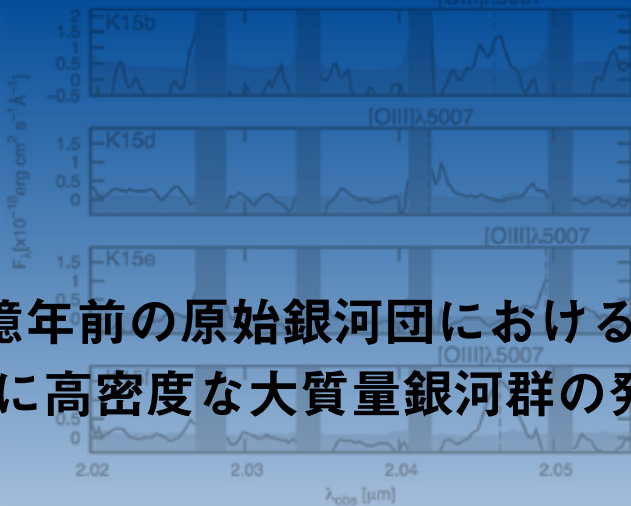
図03 ハイパス処理で浮かび上がった微細模様。振幅0.5K程度の筋模様や斑模様が全球に分布しており、日々変化していることが分かります。この模様は、雲頂温度または雲頂高度の違いを反映しています。右下の図は典型的な紫外線模様で、中間赤外線で見られた模様との類似性が示唆されています。各画像で見られる横線は検出器の読み出しに起因するノイズです(紫外線画像: Rossow et al., 1980より抜粋)。



115億年前の原始銀河団における非常に高密度な大質量銀河群の発見



久保真理子
(国立天文台
TMT 推進室)



● SSA22原始銀河団

夏にかけて、みずがめ座あたりの空は観測シーズンを迎えます。そこには約115億年前という遠方宇宙にありながら、私たちから見て満月ほどの広がりを持つ巨大な銀河集団があります。SSA22原始銀河団とよばれるこの銀河団は遠方宇宙に見つかった最も巨大な構造の一つです。

原始銀河団とは、現在の銀河団の祖先と考えられる遠方宇宙の銀河高密度領域です。銀河の性質には強い環境依存性があり、銀河団には古く星形成が不活発な大質量楕円銀河が多く分布することが明らかになっています。原始銀河団は銀河が周囲の環境と共にどう進化してきたか明らかにするための重要な観測ターゲットです。特に100億年程前の宇宙は最も活発に銀河形成進化が進んだ重要な時代であると考えられています。

SSA22原始銀河団ははじめ、空のごく狭い領域数か所の遠方銀河探査によって発見されました。さらに、すばる望遠鏡 SuprimeCam による広視野 Ly α 輝線銀河探査から非常に顕著な銀河高密度領域を結節点とするようなフィラメント上の大規模構造であることが明らかになりました。たまたま観測した空に、宇宙で最も重い銀河団の祖先らしい顕著な遠方銀河高密度領域を引き当てたというわけです。

● MOIRCSによる観測

Ly α 輝線銀河は静止系紫外線、115億年前(赤方偏移 $z=3.1$ 、観測される光の波長は $z+1$ 倍となる)の銀河にとっては可視光での観測のみで検出された天体です。静止系紫外線は銀河の星形成率の良い指標ではありますが寿命の短い星の光に依るため、銀河の中で形成され集積されてきた星の分布は明らかにできません。また、銀河進化激動期の多種多様な銀河の姿を明らかにするには様々な波長での観測が必要となります。SSA22原始銀河団もチャンドラX線観測衛星からチリのALMA望遠鏡のサブミリ波★01まで様々な望遠鏡で多くの研究者によって研究されてきました。

私たちは、すばる望遠鏡の多天体赤外線撮像分光装置MOIRCSを使ってSSA22原始銀河団を研究してきました。現在の銀河団中心を占める大質量楕円銀河がどのように組み上がってきたか明らかにするには、銀河団の祖先を遡って大質量銀河の分布を明らかにする必要があります。また、銀河の中で集積

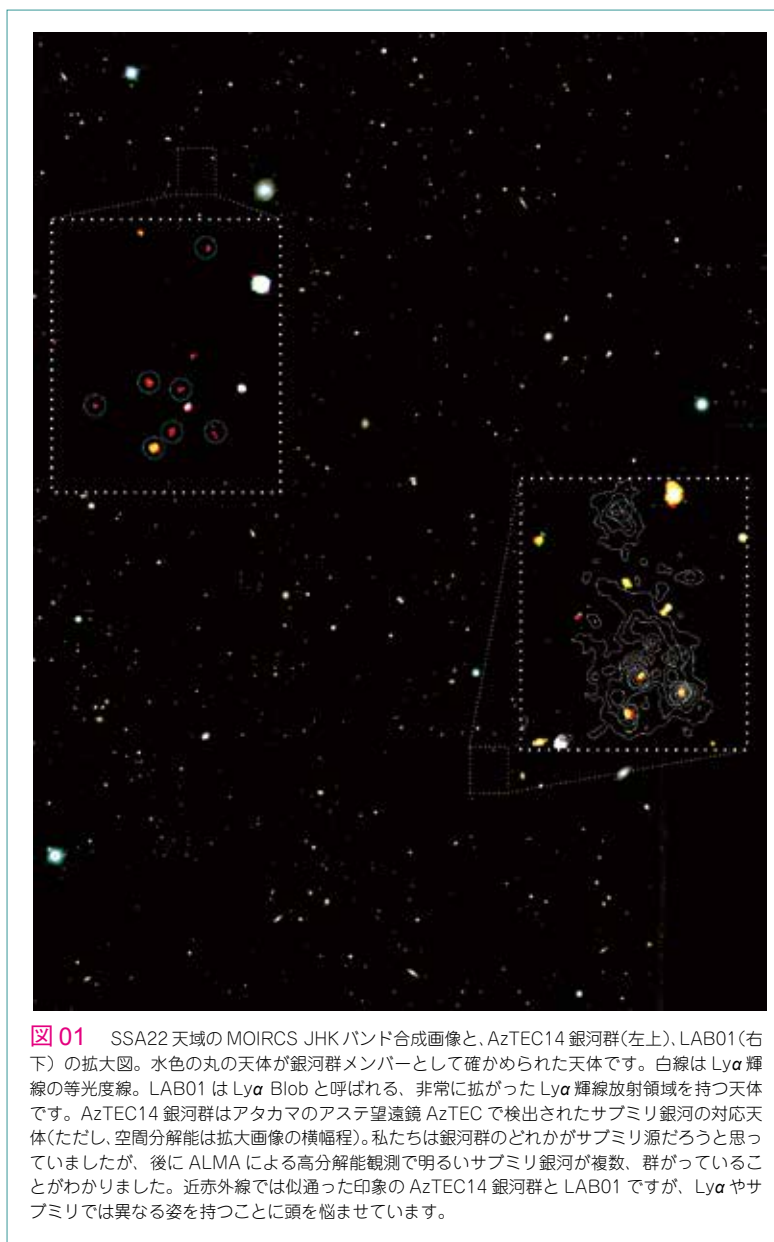


図01 SSA22天域のMOIRCS JHKバンド合成画像と、AzTEC14銀河群(左上)、LAB01(右下)の拡大図。水色の丸の天体が銀河群メンバーとして確かめられた天体です。白線はLy α 輝線の等光度線。LAB01はLy α Blobと呼ばれる、非常に広がったLy α 輝線放射領域を持つ天体です。AzTEC14銀河群はアタカマのアステ望遠鏡AzTECで検出されたサブミリ銀河の対応天体(ただし、空間分解能は拡大画像の横幅程)。私たちは銀河群のどれかがサブミリ源だろうと思っていましたが、後にALMAによる高分解能観測で明るいサブミリ銀河が複数、群がっていることがわかりました。近赤外線では似通った印象のAzTEC14銀河群とLAB01ですが、Ly α やサブミリでは異なる姿を持つことに頭を悩ませています。

されてきた星質量に制限をつけるには、4000 Åより長波長での観測が必要です。z = 3.1の銀河の場合は近赤外線2μm帯が最適で、この波長帯での広視野高感度観測ができる数少ない観測装置がMOIRCSです。私たちは将来銀河団コアに成長すると考えられる密度ピーク周辺100平方分に渡る近赤外線深撮像を行い、天の川銀河ほどの星質量の銀河までの分布を明らかにしました。その結果、SSA22原始銀河団では大質量銀河でも顕著な密度超過があることがわかりました。さ

らにこれらを詳細に解析すると、爆発的星形成銀河から古く星形成が不活発な大質量銀河（現在の銀河団大質量楕円銀河に近い銀河！）まで多様な銀河が入り混じっていることが明らかになりました。SSA22原始銀河団ではまさに銀河が大量の星を形成し、また星形成をやめ、大質量楕円銀河に進化しつつある時代であることを示唆しています。

● AzTEC14銀河群

私たちが特に着目したのは、銀河多重合体による大質量楕円銀河形成シナリオです。

近年の高分解能宇宙論的数値シミュレーションでは、銀河は銀河どうしの合体を階層的に繰り返して成長することが予測されています。この階層的な銀河形成モデルは様々な観測結果を大枠で説明できるため多くの研究者に信じられてきましたが、実際に遠方宇宙で銀河多重合体による大質量楕円銀河形成を捉えた例はありませんでした。

私たちはMOIRCSによる深撮像・分光観測から、SSA22原始銀河団に数多く分布する爆発的星形成銀河の中に非常に高密度な大質量銀河の群れがあることを発見しました。

図01はSSA22原始銀河団のMOIRCS JHKバンドの合成画像と、その一部を拡大したものです。左上の天体はAzTEC14銀河群、右下の天体はLAB01と呼ばれる天体で、それぞれサブミリ銀河、Ly α ブローブという爆発的星形成銀河として発見されました。AzTEC14銀河群にはいくつかの赤い天体が、

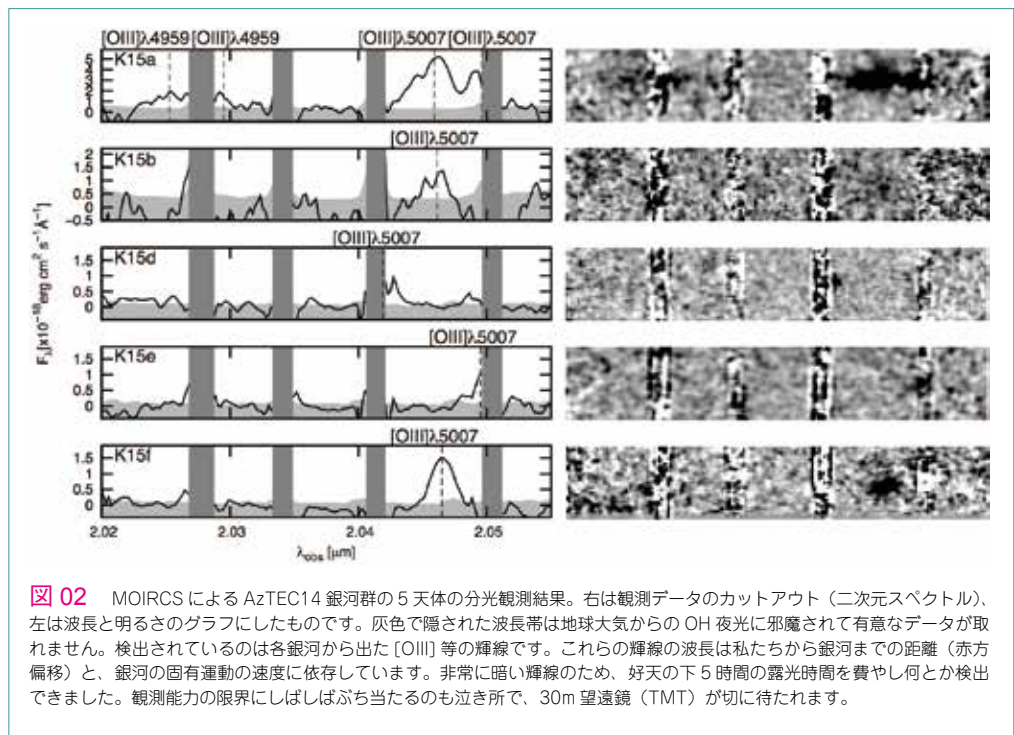


図02 MOIRCSによるAzTEC14銀河群の5天体の分光観測結果。右は観測データのカットアウト（二次元スペクトル）、左は波長と明るさのグラフにしたものです。灰色で隠された波長帯は地球大気からのOH夜光に邪魔されて有意なデータが取れません。検出されているのは各銀河から出た[OIII]等の輝線です。これらの輝線の波長は私たちから銀河までの距離（赤方偏移）と、銀河の固有運動の速度に依存しています。非常に暗い輝線のため、好天の下5時間の露光時間を費やし何とか検出できました。観測能力の限界にしばしばぶち当たるとも泣き所、30m望遠鏡（TMT）が切に待たれます。

LAB01にはLy α 輝線の等光度線に包含されるように複数の銀河が分布しています。これらの銀河が確かに原始銀河団に属し、さらにそれぞれが重力的に束縛された銀河群であるか確かめるため、私たちはMOIRCSによる分光観測を行いました。AzTEC14銀河群の観測結果が図02です。ごく狭い赤方偏移に天体が集中しており、サブミリ銀河の一般的な背景ハロー質量程の天体に重力的に束縛されていることがわかりました。

特にAzTEC14銀河群は7つの銀河からなる特異な大質量銀河群です。トータルでは天の川銀河の10倍以上の星質量を持ち、銀河密度は同じ時代の一般領域の数百倍に及びます。大規模宇宙論的数値シミュレーションでは最も重い銀河団の最も明るい大質量銀河の祖先として、AzTEC14銀河群のような天体を予測していることから、銀河多重合体による大質量楕円銀河形成を捉えた初の観測例であると考えられます。

さて、この銀河多重合体はどう大質量楕円銀河の形態を形作ってきたのでしょうか？現在、私はすばる望遠鏡補償光学システムによる高分解能撮像観測を使った形態の研究を進めています。新しい発見が新たな迷宮の入り口というのが、宇宙でも稀な存在であるSSA22原始銀河団の泣き所ですが、次は何がわかるだろうとワクワクしながら研究を続けたいと思います。

★ newscope <解説>

★01

国立天文台ニュースNo.191「アステ望遠鏡、115億光年彼方に爆発的星形成銀河の集団を発見」等

●本研究は久保真理子、山田亨、市川隆、鍛冶澤賢、松田有一、田中志、梅畑豪記により行われ、科学研究費補助金の基盤研究(C)（課題番号:26400217）による助成を受けています。研究成果は、Monthly Notice of Royal Astronomical Society (Kubo et al. 2016, MNRAS, 455, 3333)に掲載されています。

すばる望遠鏡、 食べ散らかす赤ちゃん星の姿を捉える



高見道弘
(台湾中央研究院)



Liu, Hau-Yu
(ヨーロッパ南天天文台)

私たちはすばる望遠鏡に搭載されたカメラ HiCIAO (ハイチャオ) を用いて、星と惑星が活発に成長していると考えられる現場を捉えることに成功しました (図01)。その姿はあたかも、夢中に食べる人間の赤ちゃんが「ごはん」を食べ散らかしているかのようです。この新しい成果は、星と惑星系の誕生の謎を解く上で重要な手がかりになります。

●星の誕生過程

星は、塵を伴う巨大なガス雲の中心が、重力でつぶれることにより誕生します。惑星はこの過程で、ガスと塵で構成される円盤状の構造の中で成長していくと考えられています。しかし、星と惑星の誕生については、まだわかっていないことがたくさんあります。星の「ゆりかご」であるガスと塵の巨大な雲は、水素分子などの分子が大きな割合を示す

ことから「分子雲」と呼ばれています。分子雲の中では、重力のため、最も密度の高い領域に周りのガスが降り積もっていきます。この過程は「質量降着」と呼ばれます。質量降着は、100万年から1000万年程度の年月をかけて徐々に、切れ目なく続くと考えられてきました (図02)。ただしこのような降着では、星の最終質量の1~10%しか説明できないことがこれまで研究で示されています。残りのガスや塵はどうやって集積していったのか、そもそも星や惑星はどうやって生まれるのかという謎に、研究者たちは挑みつけています。

生まれかけの星の中には、100倍以上もの突如の増光を伴う突発的な質量降着を起こすものがあります。この現象は、FU Ori (オリオン座FU星) という星で初めて見つかったことから、FU Ori型バーストと呼ばれています。このような増光が観測されている星は、

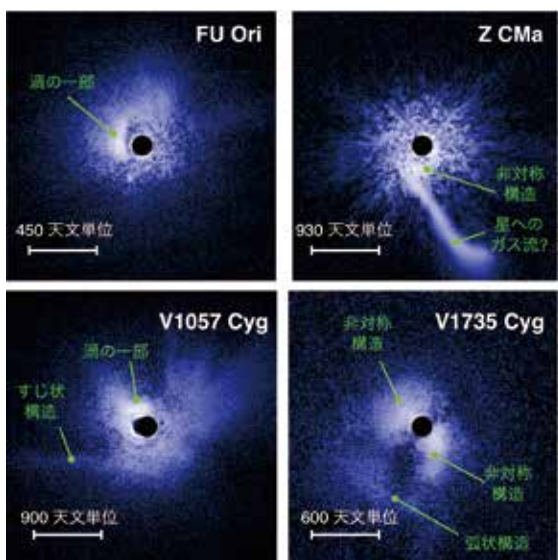


図01 すばる望遠鏡に搭載されたカメラ HiCIAO (ハイチャオ) が映し出した赤ちゃん星たちの星周物質の分布。左上が FU Ori (オリオン座FU星)、右上が Z CMa (おおいぬ座Z星)、左下が V1057 Cyg (はくちょう座V1057星)、右下が V1735 Cyg (はくちょう座V1735星)。赤ちゃん星の「ごはん」に相当する星周物質は、私たちの太陽系の大きさよりはるかに広がって分布しています。このような星周構造が赤ちゃん星のまわりで観測されたのは、世界で初めてのことです。中心星自身からの光は中央の黒丸 (!) で隠されています。白いスケールバーは構造の空間的な大きさを示します (クレジット: Science Advances, H. B. Liu.)

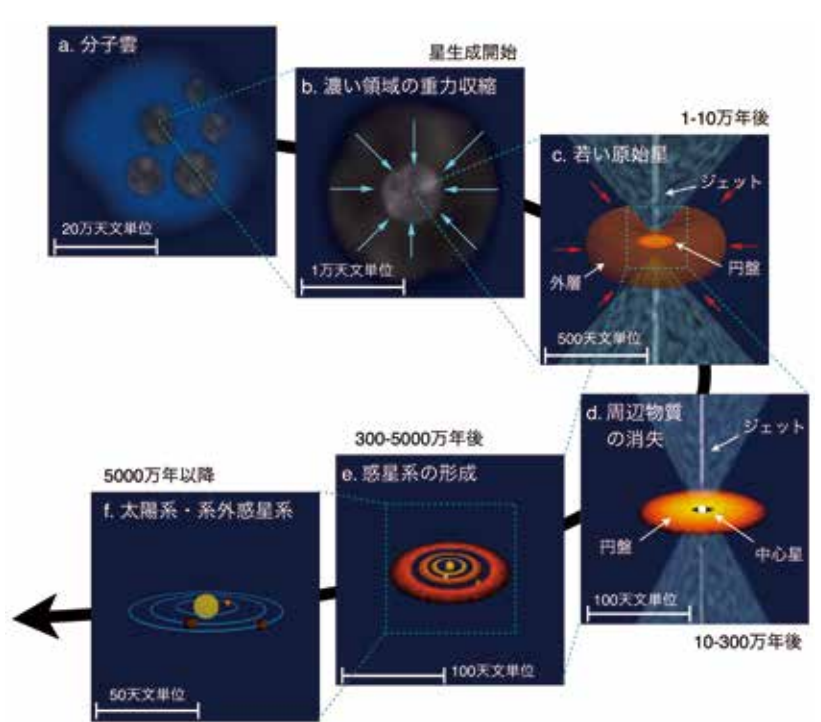


図02 星と惑星の誕生の標準的な概念図。グリーン (2001) の原図を元に作成 (クレジット: 台湾中央研究院)。

何千もの生まれかけの星の中のわずか十数個に過ぎません。しかし天文学者たちは、上で述べた星の質量をめぐる問題ゆえ、この現象は全ての星の誕生に必須の現象ではないかと考えています。実際にバーストが観測される星が少ないことは、星の誕生にかかる時間に比べてバーストの時間がはるかに小さいことで説明できます。

従って「どうしてこのようなバーストが起こるか？」という問いこそ、星の誕生の重要な問いではないかと私たちは考えています。鍵を握るのが、生まれかけの星へと降着しつつある星周物質です。上に説明した突発的な増光は、「降着円盤」と呼ばれる星周物質の円盤が高温に加熱されることにより起こります。なぜバーストが起こり円盤がどうやって加熱されるのかについては複数の理論が提案されており、天文学者たちは数十年の間、詳細な観測による検証を試みてきました。

●すばる望遠鏡による成果

私たちは、すばる望遠鏡の新しい観測技術でこの問題に挑みました。この観測技術—コロナグラフ偏光撮像—は、その高い解像度と感度から、星周物質を観測する上で大変強力です。

分子雲や星周物質はガスと塵の混合体です。塵はガスに比べて大変に微量ですが、ガスの中の塵は中心星からの光を散乱するために星周物質が光り、その分布を観測することができます。すばる望遠鏡に搭載されたカメラHiCIAOは、このような散乱光の観測に特に威力を発揮してきました。研究チームはこのカメラを用いて、FU Ori型バーストを起こしている4つの星を観測し、星周物質の分布を詳細に捉えることに成功しました。

これらの星は、私たちの太陽系から約1500～3500光年離れています。観測された星周物質の画像(図01)は、これまで観測されてきたどの赤ちゃん星とも大きく異なります(図01)。3つの星(FU Ori、Z CMa、V1735 Cyg)では尾のような構造が見られます。さらにそのうちひとつ(FU Ori)では、渦のような運動に伴うと見られる構造があります。別の星(V1057 Cyg)では中心星から複数の筋のような構造が伸びていて、中心星でのバーストが星周物質を吹き飛ばしたかのようにも見えます。これらはいずれも、従来の質量降着の考え方からは予想できないものです。あたかも、夢中に食べる人間の赤ちゃんが「ごはん」を食べ散らかしているかのようです。このよ

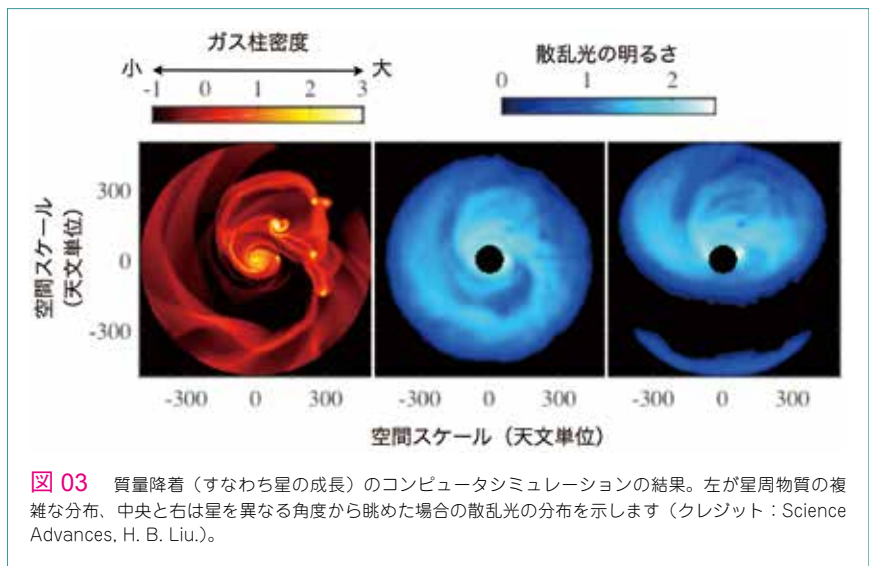


図03 質量降着(すなわち星の成長)のコンピュータシミュレーションの結果。左が星周物質の複雑な分布、中央と右は星を異なる角度から眺めた場合の散乱光の分布を示します(クレジット: Science Advances, H. B. Liu.)。

うな星周構造が赤ちゃん星のまわりで観測されたのは、世界で初めてのことです。

なぜこのような構造ができたのでしょうか? 研究チームの理論家たちが力学構造のコンピュータシミュレーションを行った結果、星周物質が降着して星が生まれる際に、落下運動、軌道運動、そして星周物質自身の重力により、コーヒーに少し注いだクリームのような複雑な構造ができることがわかりました(図03・左)。赤ちゃん星に降り注ぐ物質がこのように複雑な分布をしているため、星に到着する星周物質の量が大きく時間変動し、時々大きな増光が観測されるというわけです。研究チームはさらに、HiCIAOで観測できる近赤外線の散乱光のシミュレーションを行いました(図03・中央および右)。観測された構造と全く同じ構造を再現するにはさらなる検証が必要ですが、現在のシミュレーション結果は、このシナリオで観測された構造が説明できそうであることをうかがわせます。

今回の研究結果は、星の誕生のみならず、惑星系誕生の謎を解く手がかりにもなると私たちは期待しています。これまでたくさんの星のまわりに惑星系が発見されていますが、その中には、中心星からの軌道距離が、太陽と地球間の距離の1000倍以上も離れているものがあります。この軌道の大きさは、私たちの太陽系の中で太陽から最も離れた海王星の軌道距離(太陽と地球間の距離の30倍=30天文単位^{★01})よりもはるかに大きなものです。一方でコンピュータシミュレーションによると、HiCIAOで観測された複雑な構造の中では、木星や土星のようなガス惑星が成長するはずですが、この場合、上に述べたようなような軌道距離の非常に大きい惑星が存在することを自然に説明することができます。

★newscope<解説>

★01

「天文単位」は、天体の空間的な大きさを示す単位。1天文単位は、太陽と地球の距離に相当。

●この研究は、日米欧の研究者の国際共同研究です。私たちがすばるでわくわくした研究が展開できるのも、国立天文台の皆さんが機器開発や望遠鏡・装置運用のためたゆまない努力をしてくださっているからであり、それを事務方のみなさんが支えているからだと思います。今回の研究に多大な協力をしてくださった工藤智幸さん(ハワイ観測所)と橋本淳さん(現アストロバイオロジーセンター)、この原稿のもととなるプレスリリース原稿と一緒に仕上げた藤原英明さん(ハワイ観測所)はじめ、国立天文台のみなさまに改めて感謝の言葉を述べたいと思います。

126億光年かなたの宇宙で成長中の 小さな銀河を多数発見



小林正和
(呉工業高等専門学校)

ハッブル宇宙望遠鏡の基幹プログラム「宇宙進化サーベイ」[コスモス・プロジェクト]の一環として、すばる望遠鏡の主焦点カメラで126億光年かなたの宇宙に約80個の若い銀河を発見しました。ハッブル宇宙望遠鏡の高性能サーベイカメラが撮影したこれらの銀河の画像を解析したところ、54個の銀河で詳細な形を調べることができました。8個はふたつの小さな銀河の集まりで、残り46個はひとつの銀河のように見えていますが、少し伸びた構造をしていました。コンピューター・シミュレーションを駆使して調べたところ、ふたつ以上の小さな銀河が非常に近い距離にある場合に、観測された少し伸びた構造が再現できました。126億光年彼方の宇宙では、小さな銀河の塊が衝突することで星が活発に作られ、大きな銀河へと育っていく途上にあることがわかりました。

●銀河の誕生と成長

現在の宇宙（宇宙年齢＝138億歳）には、天の川銀河のような巨大銀河がたくさんあります（星の数は約1000億個で大きさは約10万年光年）。しかし、宇宙創成直後からこのような巨大銀河があったわけではありません。

銀河の種が誕生したのは、宇宙創成から2億歳から3億歳が経過した頃です。銀河の種は冷たいガス雲ですが、大きさは現在の銀河の1/100程度で質量は100万分の1程度だと考えられています。その中で、宇宙の一番星が生まれた時が銀河の誕生です。その後、小さな銀河の種は周囲にあった同様の種とどんどん合体し、成長していきます。人類が行ってきた深宇宙探査のおかげで、130億光年かなた（宇宙年齢＝8億歳）まで銀河が見つけれられるようになってきました。ところ

が、まだ銀河の成長の様子をつぶさに見ることはできていませんでした。

●126億光年かなたの銀河の発見と形状の測定

若い銀河の発見はすばる望遠鏡が得意とするところですが、それらの形を詳細に調べるにはハッブル宇宙望遠鏡の高い解像力が必要です。私たちはまさに、すばる望遠鏡で126億光年かなたの銀河をたくさん見つけ、ハッブル宇宙望遠鏡でその形を詳細に調べてみました。すると、54個中8個はふたつの小さな銀河が衝突しているように見えることがわかりました（図01）。

では、ひとつの銀河のように見える残り46個の若い銀河は、本当にひとつの銀河なのでしょうか？ ハッブル宇宙望遠鏡の画像をよく見てみると、少し細長い形をしているものが多いことに気がつきました（図02）。

★newscope <解説>

★01 ライマンα輝線

宇宙でもっとも豊富に存在する元素の水素から、もっとも強く放射されるスペクトル線の名称です。実験室での波長は121.7ナノメートルで紫外線ですが、非常に遠方にある天体から放射されたライマンα輝線は宇宙膨張の効果で波長が伸び、可視光や近赤外線の光として観測されます。ライマンα輝線は、陽子1個と電子1個からなる元素の水素において、束縛状態にある電子が第2励起準位（下図のn=2）と基底準位（下図のn=1）の間を遷移する際に放射・吸収されます。束縛状態から電離された電子が再結合する過程で放射されるため、再結合線とも呼ばれます（図05）。

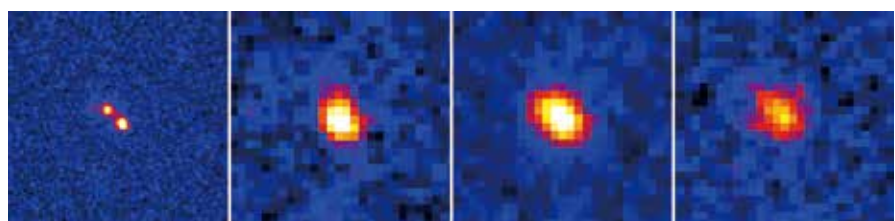


図01 54個の銀河のうち、ふたつの小さな銀河が衝突しているように見える例。左から、ハッブル宇宙望遠鏡のACSカメラで撮影されたIバンド（重心波長＝814ナノメートル）、すばる望遠鏡のスプリーム・カムで撮影されたNB711、i、およびzバンドのイメージ。NB711は水素原子の放射するライマンα輝線★01を捉えており、たくさんある大質量星の紫外線によって電離されたガスを見ていると考えられます。それ以外のバンドでは、大質量星が放射する紫外線そのものを見えています。各パネルは天球面上の4秒角×4秒角の領域で、126億光年の距離では8.5万年光年×8.5万年光年に相当します。

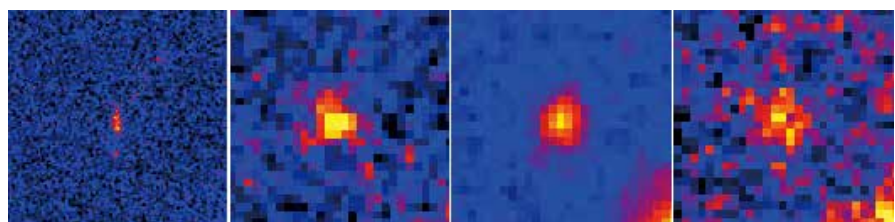


図02 ひとつの細長い銀河のように見える例です。4枚の画像の並び、およびスケールは、図01と同じです。

●細長い形が語ること

私たちは、「ひょっとしたらハッブル宇宙望遠鏡でも分解できないくらい、ふたつの小さな銀河が近づいているのではないかと」考えました。そこで、コンピュータを使ってチェックしてみることにしました。まず、ひとつに見える銀河の形を楕円でフィットし、楕円率^{★02}を求めます。それを銀河の大きさに対してプロットします。次に、コンピュータの中で、ふたつの小さな銀河をさまざまな角距離において、実際の銀河と同じ測定方法で楕円率と大きさを測定し、観測データと比較してみます。その結果が図03です。

コンピュータによるシミュレーションの結果と観測結果は、見事に一致しました。つまり、ハッブル宇宙望遠鏡でも分解できないくらい、ふたつの小さな銀河が近づいていたために、ひとつの銀河に見えていたのです。

もし、このアイデアが正しければ、予測できることがあります。活発な星形成がふたつの小さな銀河の塊の衝突で起こっていると考えると、ひとつに見えるものは距離が近いため、衝突の影響で星が活発に形成されている可能性が高いはずですが、中には距離は離れているが、たまたま視線上に並んでいるケースもありますし、単に孤立したひとつの銀河である可能性もあります。それらはふたつに見える銀河と同程度の星形成を起こしているでしょう。そして、実際にそうなっていることが分かったのです(図04)。

●今後の展開：ハッブルでも見えない世界へ

今までにも若い銀河の形はハッブル宇宙望遠鏡で調べられてきましたが、ひとつに見える銀河はひとつの銀河であると断定して解析が進められてきました。しかし、今回の私たちの研究によって、ハッブル宇宙望遠鏡でも分解できないくらいふたつの小さな銀河が衝突しつつある姿がようやく見えてきました。今回はふたつと仮定しましたが、ひょっとしたらもっと多くの小さな銀河たちが衝突をしながら進化している可能性もあります。

銀河は理論が予想するように“小から大へ”の進化をしている様子が初めて見えてきました。では、今後どのように研究を進めたら良いでしょうか。今回の研究は、既存の世界最高レベルの望遠鏡では、もう到達できない観測分野があることを教えてくれました。この状況を打破していくためには、次世代のスーパー望遠鏡が必要だということです。日本が参加している口径30メートル望遠鏡(TMT)やジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡による新たな深宇宙探査が待たれます。

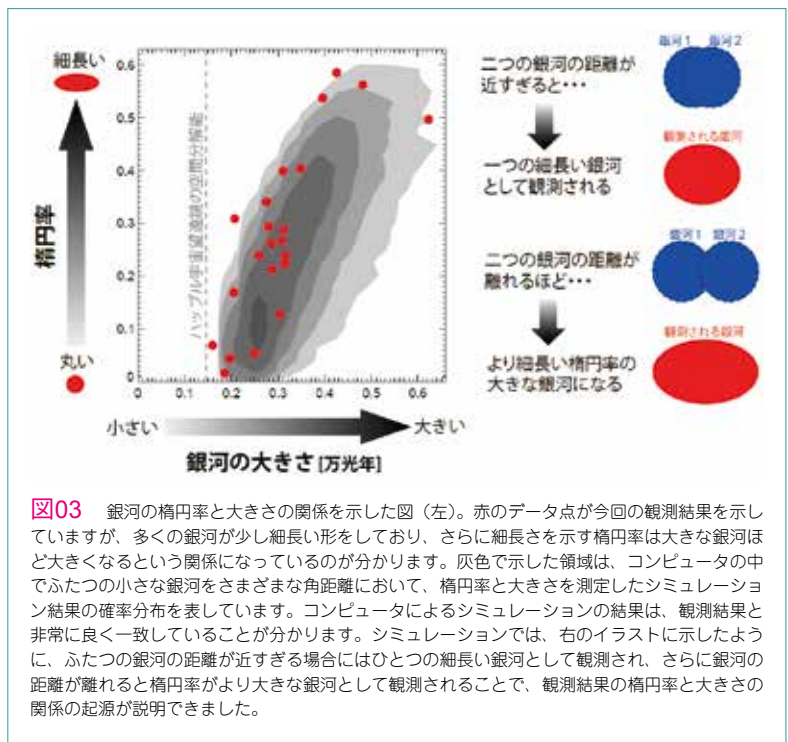


図03 銀河の楕円率と大きさの関係を示した図(左)。赤のデータ点が今回の観測結果を示していますが、多くの銀河が少し細長い形をしており、さらに細長さを示す楕円率は大きな銀河ほど大きくなるという関係になっているのが分かります。灰色で示した領域は、コンピュータの中でふたつの小さな銀河をさまざまな角距離において、楕円率と大きさを測定したシミュレーション結果の確率分布を表しています。コンピュータによるシミュレーションの結果は、観測結果と非常に良く一致していることが分かります。シミュレーションでは、右のイラストに示したように、ふたつの銀河の距離が近すぎる場合にはひとつの細長い銀河として観測され、さらに銀河の距離が離れると楕円率がより大きな銀河として観測されることで、観測結果の楕円率と大きさの関係の起源が説明できました。

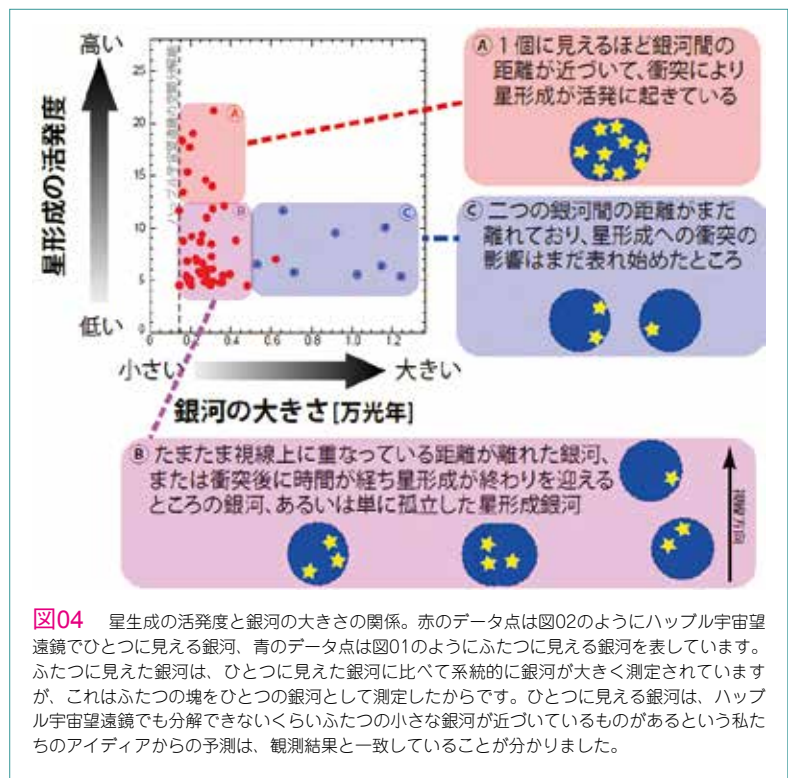


図04 星形成の活発度と銀河の大きさの関係。赤のデータ点は図02のようにハッブル宇宙望遠鏡でひとつに見える銀河、青のデータ点は図01のようにふたつに見える銀河を表しています。ふたつに見える銀河は、ひとつに見える銀河に比べて系統的に銀河が大きく測定されていますが、これはふたつの塊をひとつの銀河として測定したからです。ひとつに見える銀河は、ハッブル宇宙望遠鏡でも分解できないくらいふたつの小さな銀河が近づいているものがあるという私たちのアイデアからの予測は、観測結果と一致していることが分かりました。

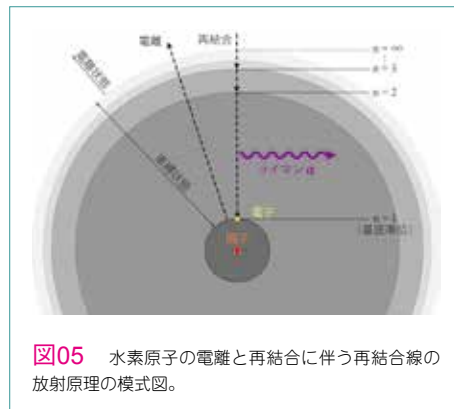


図05 水素原子の電離と再結合に伴う再結合線の放射原理の模式図。

★newscope<解説>

★02 楕円率

楕円率は、楕円の長軸、短軸の長さをそれぞれ a 、 b とすると、 $1 - b/a$ で定義されます。円の場合は $a = b$ となりますので、楕円率は0になります。細長い楕円ほど、 $a > b$ で a と b の違いが大きくなり、楕円率は1に近づきます。

「2015年度すばるユーザーズミーティング」報告

成田憲保（東京大学／自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター）

2015年度のすばるユーザーズミーティングが、2016年1月19日から21日にかけて静岡県熱海市（KKRホテル熱海）で開催されました。すばるユーザーズミーティングが国立天文台のキャンパス以外で開催されたのは、実にすばる望遠鏡創設以来初めてのことで

今回のユーザーズミーティングには国内外から約120名が参加し、望遠鏡や観測装置の運用に関する観測所からの各種報告に加えて、すばる望遠鏡による最新の科学成果の報告が行われました。今回のユーザーズミーティングの講演資料は以下の集録ページで確認することができます。

<http://subarutelescope.org/Science/SubaruUM/SubaruUM2015/index.html>

今回のユーザーズミーティングでは、2020年代を見据えて各国の望遠鏡との連携をどのように進めていくかが重点的に議論されました。特に、すばる望遠鏡と同じくハワイ島マウナケアを拠点とする望遠鏡群と今後さらに緊密に連携していくことの重要性が改めて認識される機会となりました。

また、これから広視野・高感度の撮像・分光装置やユニークな系外惑星観測装置を観測装置の柱としていく予定のすばる望遠鏡にとっては、将来の光赤外線宇宙望遠鏡との連携も不可欠です（→35ページ）。今回のユーザーズミーティングでは、将来計画されている4つの宇宙望遠鏡計画（WFIRST、Euclid、TESS、SPICA）の紹介が行われ、すばる望遠鏡との連携観測の可能性について議論が行われました。Hyper Suprime-Cam（HSC）（→08ページ）や、現在開発が進んでいるPrime Focus Spectrograph（PFS）などの広視野観測装置（→12ページ）、そして赤外線視線速度測定装置 InfraRed Doppler instrument（IRD）（→13ページ）などのすばる望遠鏡のユニークな観測装置たちは、これらのスペースミッションと連携して素晴らしい相乗効果をもたらすと期待され、世界的にも一層注目されています。

ファーストライトから15年以上が経過したすばる望遠鏡は、現在も第一線で活



研究会会場の様子。熱海という場所柄もあり、例年より多くの参加者が集まりました。



研究会会場のホテルからは正面に海を望むことができ、ホテルからの眺望や温泉は海外からの参加者にも大変好評でした。



バンケットでは和食が振る舞われました。多くの参加者が会場のホテルに宿泊していたため、参加者同士の交流は部屋に戻ってからも夜遅くまで続きました。



ハワイ島マウナケア山頂部の天文台群。

躍を続けています。今回のユーザーズミーティングはすばる望遠鏡の現状を認識し、すばる望遠鏡が2020年代に向け

てどのように進化を続け、世界的な研究成果を発信し続けていくのかの展望を描く良い機会となったと考えられます。

「2020年代のすばる望遠鏡と衛星計画のシナジー検討研究会」報告

田中雅臣★(国立天文台理論研究部)、柏川伸成(国立天文台 TMT 推進室)、高田昌広(カブリ数物連携宇宙研究機構)



2016年4月21日(木)、22日(金)、国立天文台三鷹キャンパスにて、すばる望遠鏡と衛星計画のシナジーを検討するための研究会が行われました。すばる望遠鏡では現在、8m級の大望遠鏡としては世界一の広視野を誇るHyper Suprime-Cam (HSC)を用いた大規模な観測(すばる戦略枠観測)が行われています。また、広視野を生かした多天体同時分光器 Prime Focus Spectrograph (PFS)の開発も進んでおり、世界中から注目を集めています。このユニークな性能のため、2012年にはESAの赤外線衛星計画Euclid(2021年頃打ち上げ予定)のグループから、Euclidと連携してすばる望遠鏡/HSCで5000平方度にわたる画像を取得して欲しいという依頼がありました。また、NASAの赤外線衛星計画WFIRST-AFTA(2025年以降打ち上げ予定)のグループからも、HSCやPFSを用いた共同観測に強い興味が示されています。さらに、系外惑星トランジット探査を目的とするNASAのTESS(2017年打ち上げ予定)との連携観測の可能性もあります。日本の研究者コミュニティは、これまでも2020年代にすばる望遠鏡をどのように利用していくかを盛んに議論してきており、今回の研究会ではEuclidやWFIRST、TESSなどの衛星計画とどのようなシナジーをもつべきかを集中的に議論することになりました。

研究会には光赤外線天文学の研究者を中心として、約50名の参加がありました。Euclid、WFIRST、TESSの詳細な紹介のほか、それぞれの衛星とすばる望遠鏡を用いたサイエンスに関する講演や、中立的な立場からすばる望遠鏡の長期的ビジョンにたった講演が行われました。検討研究会という名前の通り、研究会では議論の時間を十分に確保し、様々な視点から意見交換がなされました。

これらの衛星計画とすばる望遠鏡が連携して観測を行うことは素晴らしいことである、というのはほとんど全ての研究者が疑いなく同意するところです。一方で、すばる望遠鏡では現在HSCを用いた大規模な観測が行われており、その後もPFSによる大規模な観測が予定されています。すばる望遠鏡の観測時間は有限ですから、

このような状況のなか、衛星との連携観測を並行して行うことは観測時間の点では簡単ではありません。すばる望遠鏡のユニークさゆえの嬉しい悩みなのです。

研究会における議論の結果、①2020年代にすばる望遠鏡とTMTが共存することが必要不可欠であり、そのためにコミュニティ全体が最大限の努力をすること、②衛星との連携観測のような大規模な観測と、個人や小規模グループのアイデアに基づく観測のバランスを保つことが必要であることが再確認されました。そして、③PFSの大規模観測が終了する予定の2025年前後から、WFIRST衛星との連携のために100晩規模の観測時間の確保を目指すこと、すばる望遠鏡での観測が肝となるサイエンステーマを策定し、WFIRSTとの共同研究を開拓することが合意されました。また、④Euclid衛星のためのデータを、コミュニティとして今すぐ100晩規模の観測時間を割いて取得することは観測時間の観点で

現実的でないものの、研究者グループ主体のより小規模な観測の積み重ねでデータを取得する努力を継続することが確認されました。

衛星計画との連携に向けて最初の一步を踏み出すことが出来たのは、この研究会の大きな収穫でした。しかしそれだけでなく、2020年代のすばる望遠鏡のあり方を議論するなかで、国際パートナーとの共同運用やTMTとのシナジーなど、関連する様々な事項も議論のテーマとなりました。このような様々な国内・国際状況を見据えて、すばる望遠鏡が2020年代に今よりもさらに魅力的になるように、世界的にユニークな研究成果をあげられるようにと、研究者が一丸となって議論できたことが、この研究会のより大きな成果だったと思います。この場を借りて、活発な議論を行って下さった参加者の皆さんに感謝致します。



研究会冒頭、趣旨説明の様子。



千葉柁司さんの講演後の議論の様子。



TMT計画の現状について

TMT推進室

TMTは口径30メートルの大型光学赤外線望遠鏡を国際協力で建設する計画です。2015年から建設地ハワイ・マウナケア山頂域での建設作業を本格的に進める計画でしたが、2015年12月にハワイ州最高裁判所がTMT計画のための保護地区利用許可の承認を差し戻す判決を出したことにより、現在、現地工事は中断し、利用許可の再審査手続きが進められています。

(1) マウナケア保護地区利用許可に関する裁判について

2015年12月2日（現地時間）、ハワイ州最高裁判所は、2013年にハワイ州土地・天然資源委員会が出したTMT計画のための保護地区利用許可（建設許可）の承認手続きに対する異議申立を認め、許可が無効であるとの判決を出しました。

保護地区利用許可は、ハワイ州土地・天然資源委員会によって2011年2月に最初に承認されましたが、その際に、係争が発生した場合には同委員会がそれを解決し最終承認するまで建設作業は行わないこと等が決められていました。その後公聴会が開催され、2013年4月に最終的な利用許可が承認されました。最高裁は、同委員会が公聴会を開く前に条件付きとはいえ保護地区利用許可を出したのは不適切で、許可は有効とはならないとし、本案件を同委員会に差し戻しました。

マウナケア山頂域はハワイ州の保護地区とされ、ハワイ大学が管理を委託されています。TMT建設のための保護地区利用許可申請や環境影響評価報告書は、ハワイ大学からハワイ州土地・天然資源委員会に提出され、承認を受けます。TMTはこれまで8年以上の間、ハワイ州で定められたプロセスに従ってきました。また、2008年以降、20以上の一般公聴会が開催されました。提出された環境影響評価報告書は、同委員会による承認を得ています。今回も、保護地区利用許可の再承認に、ハワイ大学と協力しながら取り組んでいます。

この裁判の背景には、地元での建設への反対運動が活発になったことがあります。TMTとしては、保護地区利用許可の再審査の過程で、地元の方のご意見に

これまで以上に耳を傾けて、対話を続けていきたいと考えています。

(2) 保護地区利用許可の承認手続きの状況

2016年2月に正式に裁判所からハワイ州土地・天然資源委員会への差し戻しが行われ、これにもとづき、マウナケアの保護地区利用許可の再審査手続きが開始されました。この手続きの重要なプロセスとして公聴会が

開催されます。この公聴会を実施し、聴き取った意見のとりまとめを行う審査官（Hearing Officer）が選出され、5月から準備会合が開かれています。

ハワイでは、TMT建設への反対運動がありますが、世論調査では建設支持が多数であり、支持の意見表明も活発になっています。TMTは、日本のすばる望遠鏡をはじめ、マウナケアの天文台と協力して、地元での対話と理解を得る取り組みを進めています。

(3) 建設計画への影響について

保護地区利用許可の審査には1年程度はかかる見込みであり、TMTプロジェクトとしては、2018年4月の現地工事再開を目指して準備を進めています。このスケジュールが進められた場合、望遠鏡完成時期は当初予定よりも約3年遅れ、2027年となる見込みです。

望遠鏡建設においては、現地工事だけでなく、各国でのドームや望遠鏡本体、

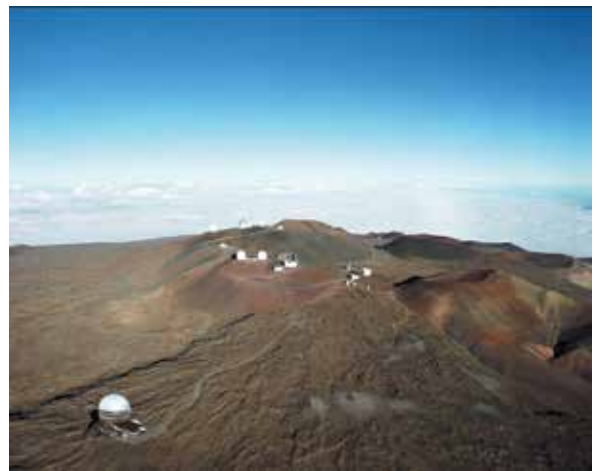


図01 マウナケア山頂域。左下がTMT（完成予想図）。

鏡の製作に長い時間を要します。現在、各国で設計や試作品の製作などが進められています。日本が担当している主鏡製作については、すでに量産工程に入っており、鏡材製造から非球面研磨の工程が進められています。また、望遠鏡本体の最終設計も順調に進んでいます。これらの進捗は、今後、国立天文台ニュースでも順次ご紹介する予定です。

(4) 建設地変更の可能性について

TMT国際天文台は、設立の合意書でハワイでの建設を前提としております。ただし、万一保護地区利用許可が得られないなど、ハワイでの建設が不可能になった場合に備え、他の複数の候補地での建設の可能性の調査を行っています。調査は引き続き行われますが、TMT国際天文台および国立天文台としてはハワイでの建設を第一に目指す方針が変わりはなく、ハワイの地元の方々の理解と協力を得る努力を続けています。



図02 地元（ハワイ州ヒロ市）でのTMT支持キャンペーン（2016年6月4日）。

国際研究会「理論と観測から迫る太陽磁場：到達点と残された問題」報告

花岡 庸一郎 (太陽観測所)



研究会会場（大セミナー室）の様子。



講演する桜井さん。

太陽の研究では多くのテーマが磁場と関係していて、太陽のような晩期型を中心とする星をはじめ、天体プラズマの研究において磁場は本質的に重要と捉えられています。この太陽・天体プラズマの磁気現象の研究を理論的にも観測的にもリードしてきた桜井 隆教授が2015年度末をもって定年退職されました。これを

機に、天文台太陽関係者が中心となって太陽磁場研究の現状をとらえ、将来の研究の方向を議論する場としての研究会を企画し、「理論と観測から迫る太陽磁場：到達点と残された問題 (Theoretical and observational approaches to the solar magnetic field: Achievements and remaining problems)」と銘打って5月27日に天文台大セミナー室にて開催しました。今年度は他に大きな太陽の国際研究会の日本での開催が予定されているので、日程は1日だけとして絞った内容の集会としています。旅費は用意できなかったものの桜井さんのためならということでご参加頂いた海外からの研究者も多く、招待講演6件のうち5件は海外の方をお願いしました。

研究会では、まず桜井さんがキーノートスピーチとして、コロナ加熱とコロナのエネルギー解放現象へとつながるエネルギー蓄積の問題を中心に成果と今後の研究の方向のレビューを行い、その後磁場を持って回転する星からの恒星風の理論と天体ジェット現象の物理への発展 (工藤さん)、太陽コロナを代表とする磁気プラズマにおける磁気流体波 (Goossensさん)、太

陽表面の磁場とコロナの構造の観測に基づく3次元磁場構造の推定 (Wiegelmannさん)、現代の太陽表面磁場の観測とそれに基づく磁気流体現象研究 (Chaeさん)、太陽活動領域での磁気エネルギー蓄積に見られるヘリシティとダイナモ活動 (Zhangさん)、太陽活動に見られる長期変動と蓄積データに基づくその推定 (Solankiさん)、といったテーマについてレビュー講演をして頂きました。その他の講演も併せて全体で講演10件・ポスター8件の発表があり、日頃の仕事で見失いがちな学問を俯瞰するという視点を再確認できたと思います。

また、桜井さんは長く“Solar Physics”誌 (太陽物理学を中心とした分野の学術雑誌) の編集にも携わって来られたので、出版元のシュプリンガー社の方も参加され、感謝の意を表して記念品を贈呈されました。

当日出張できない人のためにウェブ中継も行ったので、参加者は大セミナー室での記名参加54名に加えてウェブでの遠隔参加もありました。

研究会終了後は新宿に場所を移して桜井さんの定年退職記念パーティーを開催し、約100の方が参加されました。



シュプリンガー・ジャパンの得能さんより桜井さんへ記念品贈呈。



定年退職記念パーティーで挨拶する桜井さん。

アルマ望遠鏡アンテナ開発チーム、 田中雅臣助教、銭谷誠司特任助教が文部科学大臣表彰を受賞！

●アルマ望遠鏡のための高精度アンテナ開発チームが、平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）を受賞しました。受賞者は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所所長の齋藤正雄准教授、同チリ観測所の水野範和准教授、東アジア アルマプロジェクトマネージャーで同チリ観測所の井口 聖教授、および三菱電機株式会社通信機製作所の川口 昇氏と大島丈治氏の5名です。

受賞対象となった業績は「超高精度サブミリ波望遠鏡ALMAアンテナの開発」です。アルマ望遠鏡のアンテナは、波長の短いサブミリ波をアタカマの厳しい自然環境の下でも効率よく受信することが要求されます。そのアンテナにおいて、高い鏡面精度と追尾精度を実現するシステムを新たに考案し、アルマ望遠鏡の運用に寄与したことが評価されました。

アルマ望遠鏡プロジェクトのメンバーは、平成23年度、平成25年度にも同賞を受賞しており、今回が3度目の受賞となります。

●平成28年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞を、理論研究部の田中雅臣助教と銭谷誠司特任助教（国立天文台フェロー）が受賞しました。

田中氏は「宇宙の爆発現象に関する理論的および観測的研究」の業績が受賞対象となりました。田中氏は、超新星爆発のメカニズムや中性子星同士の衝突合体といった先駆的な理論シミュレーションに加え、観測による検証も自ら行うなど、理論研究と観測研究を融合させることで宇宙における爆発現象の解明に向けた新たな道筋を切り開いています。

銭谷氏は「相対論的磁気リコネクションの先駆的シミュレーション研究」の業績が受賞対象となりました。銭谷氏は、相対性理論を考慮すべき高エネルギー天体の周辺で起こる「相対論的磁気リコネクション」の重要性を予見して、プラズマ粒子の運動状態を解くシミュレーションを世界に先駆けて行い、今後の高エネルギー天文学の議論の発展に貢献しています。

●表彰式は、ともに2016年4月20日に文部科学省（東京都千代田区）にて執り行われました。おめでとうございます。



左から、田中雅臣さん、齋藤正雄さん、銭谷誠司さん。

編集後記

先日久々に西日本に出張しました。忘れかけていた猛暑多湿の梅雨の洗礼を浴びました。(は)

笹を子どもが保育園からもらってきたが、日々忙しく、飾りつけをする時間なし。気づいたら私の願いの短冊を1枚付けただけの笹がそのままゴミ袋に入っていた…。(l)

アルマ望遠鏡観測成果のプレスリリースがテレビニュース2件、全国紙4紙、海外も含めてオンライン記事に400件以上取り上げられる大ヒットでうれしい限り。重力波2発目と都知事のニュースをかいくぐってよく頑張った。(h)

梅雨の合間に大阪の古墳群を歩きました。野性のイノシシに会ったのは驚きでした。大きかったなあ。(e)

イギリス・エジンバラに国際会議で出張。向こうは涼しいというより寒いくらいだったがビールはおいしかった。日本に帰ってくると蒸し暑さにぐったりだがビールはおいしい。どっちにしてもビールはおいしい。(K)

夜中に隣の家からガサゴンと物音がするのでそと外を見みると、温水器の上で寝ているネコが。何もこの暑いのに温水器の上で寝なくてもと思いつつ、ほんのり暖かい布団の上から冷たい床の上にゴロンと転がった小暑の夜でした。(κ)

南の空に輝く火星、土星、アンタレスが直角三角形から夏には正三角形に?? 夏の小三角。。。 (W)

国立天文台ニュース NAOJ NEWS

No.276 2016.7

ISSN 0915-8863

© 2016 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

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・副会長）／小宮山裕（ハワイ観測所）／秦和弘（水沢VLBI観測所）／勝利行雄（ひので科学プロジェクト）／平松正顕（チリ観測所）／小久保英一郎（理論研究部／天文シミュレーションプロジェクト）／伊藤哲也（先端技術センター）

●編集：天文情報センター出版室（高田裕行／岩城邦典）●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/naoj-news/>でもご覧いただけます。

発行日／2016年7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（出版室）

FAX 0422-34-3952（出版室）

国立天文台代表 TEL 0422-34-3600

質問電話 TEL 0422-34-3688

8月号は、重力波望遠鏡KAGRA（かぐら）の近況をご紹介します。LIGOによる「重力波」の世紀の大発見の解説記事もお楽しみに！

次号予告

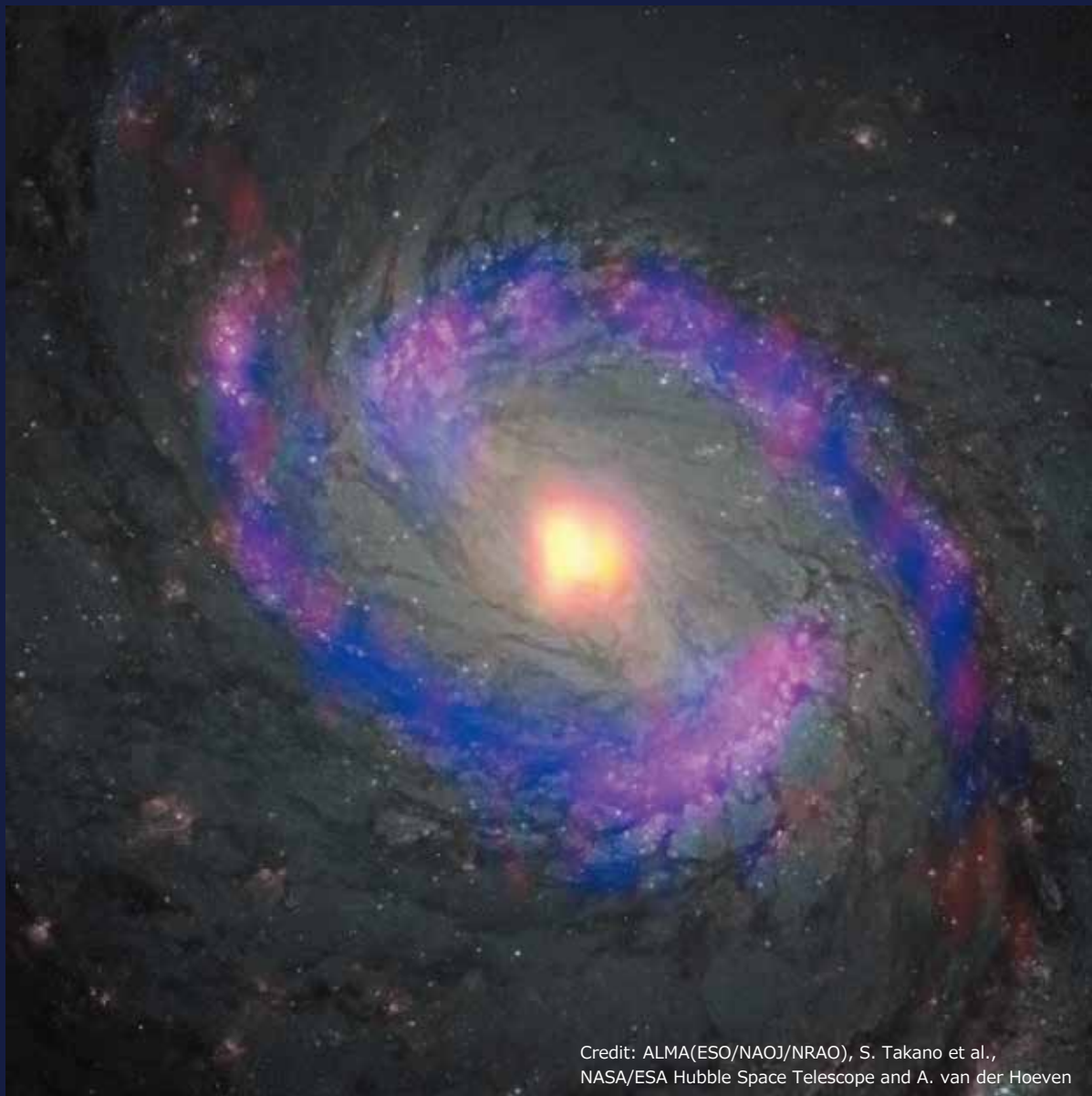


アルマ望遠鏡 観測ファイル04 渦巻銀河M77

Navigator
平松正顕 (チリ観測所)

●くじら座の方向にある渦巻銀河M77を、アルマ望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡で観測した画像です。アルマ望遠鏡の観測画像ではシアノアセチレン(HC₃N)を黄色、硫化炭素(CS)を赤、一酸化炭素(CO)を青でそれぞれ示しています。銀河中心部にHC₃NとCSが分布し、それを

取り巻くようにCOの腕が見えています。ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した可視光画像で暗く見えるところとCOの腕が一致していることから、光では見えない低温ガスの分布をアルマ望遠鏡が写し出していることがよくわかります。



Credit: ALMA(ESO/NAOJ/NRAO), S. Takano et al.,
NASA/ESA Hubble Space Telescope and A. van der Hoeven

研究者の声

高野秀路 (日本大学工学部)

「これはすごい!」、画像を見た瞬間の印象でした。中心にあるフラックホールの周囲のガスに、有機分子が集中して存在している、というビックリの結果でした。約4700万光年の距離から放出される有機分子の電波は、大変に弱いですが、その電波が、アルマ(しかも初期運用)では「普通」に、しかも「画像として」写し出されることを実

感した瞬間でした。銀河の分子組成の研究が、格段に進んだ1つの例となりました。自然の面白さと、それを写し出したアルマに携わる関係者の努力によって得られた貴重な画像です。アルマは、現在さらに色々な分子の画像を写し出しており、モデル計算とも合わせて大きな進展が得られることでしょう。

