

発表その1

超巨大ブラックホールのそばに 新種の分子ガス雲を発見 ～体重が増えると出生率は上がる！～

古屋 玲（徳島大学）、谷口 義明（放送大学）

日本天文学会 2017 年春季年会 記者発表
事前配付資料

報道解禁日時：2017 年 3 月 15 日 午前 0 時

研究グループ代表 古屋 玲（徳島大学・准教授）

問合せ先

E メール rsf@tokushima-u.ac.jp

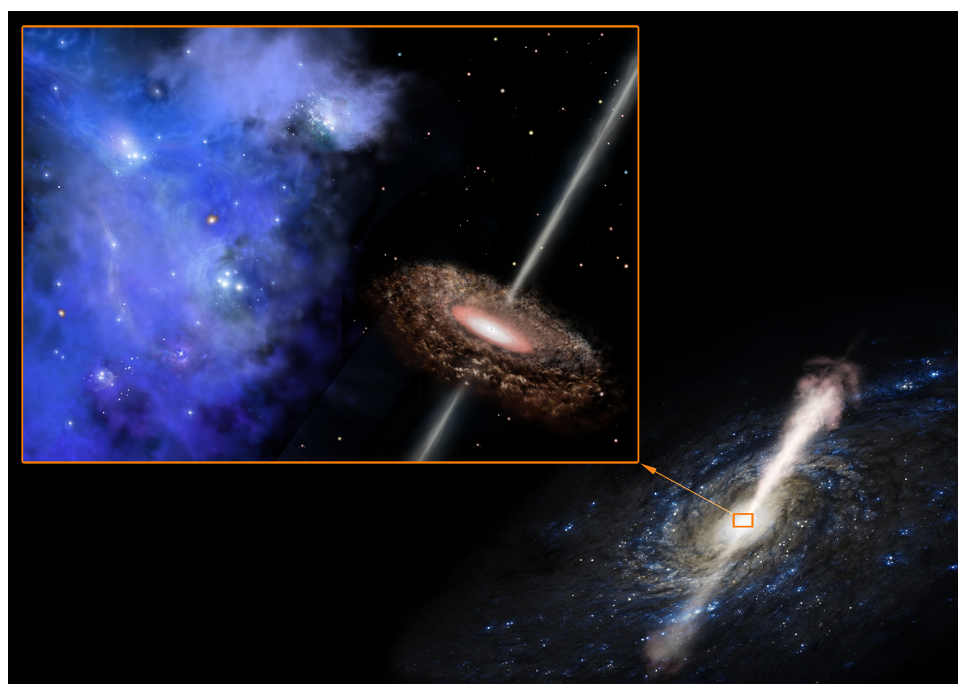
電話：088-656-8016（職場）

携帯電話番号については E メールでお問い合わせください

超巨大ブラックホールのそばに 新種の分子ガス雲を発見 ～体重が増えると出生率は上がる～

概要

宇宙には 1000 億個もの銀河（星の大集団）がありますが、ほとんどの銀河の中心核には巨大ブラックホールが鎮座しています。約 1 %の銀河では、巨大ブラックホールにガスが吸い込まれる時に解放される重力エネルギーを利用して強烈な光（電磁波）やジェット出しており、そのような銀河中心核は区別されて“活動銀河中心核”と呼ばれています。NGC1068 は近傍の宇宙にある代表的な活動銀河中心核を持つ渦巻銀河です（くじら座の方向、約 5000 万光年の距離にあります）。徳島大学の古屋玲准教授と放送大学の谷口義明教授からなる研究チームは、アルマ望遠鏡で得られた NGC1068 の高解像度の電波観測データを用いて、中心核（超巨大ブラックホール）からわずか約 50 光年の至近距離にある分子ガス雲の性質を調べることに世界で初めて成功しました（下図のイラストを参照）。天の川銀河の中にある分子ガス雲と、活発に星を生んでいる銀河の中にある分子ガス雲の質量には約 6 桁以上もの開きがありますが、その中間的な質量を持つ分子ガス雲の発見です。この分子ガス雲は活動銀河中心核から放射される強烈な電磁波やジェットの影響を受けている可能性があるにもかかわらず、単位質量あたりの星生成率は今まで観測されてきた分子ガス雲と同じであることがわかりました。即ち、分子ガス雲における星生成のメカニズムは環境によらず普遍的であることがわかったのです。今後、星生成の統一モデルの構築に大きな貢献をすることが期待されます。



（イラスト 池下章裕氏）

研究グループ

古屋 玲(ふるや・れい)徳島大学・准教授

谷口 義明(たにぐち・よしあき)放送大学・教授

当日の記者発表出席者

古屋 玲(徳島大学・准教授)

谷口 義明(放送大学・教授)

問合せ先

氏名: 古屋 玲

電話番号: Eメールでお問い合わせください(携帯)

088-656-8016(職場)

電子メールのアドレス: rsf@tokushima-u.ac.jp

本発表の解説は、以下のウェブサイトからダウンロード可能です。随時更新することがありますので、ご了承ください。

<http://cosmos.phys.sci.ehime-u.ac.jp/~tani/FT-ASJ17S.pdf>

<http://cosmos.phys.sci.ehime-u.ac.jp/~tani/FT-ASJ17S.docx>

尚、画像についてはメールでお問い合わせください。

研究の背景

星の大集団である銀河には、中心部分がひとときわ明るく見える銀河があります。その中心部分は活動銀河中心核と呼ばれています。私たちの天の川銀河から数億光年ほどの近傍宇宙にある銀河を調べると、約 1 割は活動銀河中心核を持っていることがわかっています。これらの銀河では、中心にある超巨大ブラックホール（太陽質量の 100 万倍以上）にガスや塵が降り積もり、その時に解放される重力エネルギーを、可視光などの電磁波に変えています。水力発電ではダムから落下した水が解放する重力エネルギーを利用しますが、それと同じ原理です。しかし、質量が非常に重いので、超巨大ブラックホールに落ちるガスによる発電量は、太陽の 1 億倍から 1 兆倍以上の明るさにもなります（補遺 1）。

ところで、夜空の天の川をじっくり眺めたときに黒いシミのようなものに気がつくかもしれません。このシミは天の川銀河に漂う気体（ガス）と塵のしわざです。ガスと塵は星と星とのあいだに漂っているので、星間物質と呼ばれます。では、活動銀河中心核の周辺にはどのような星間物質があるのでしょうか？ 星間物質の成分はほとんど水素ですが¹、私たちの太陽などの星々を作る原材料なのです。つまり、星は星間ガスから生まれるので、星間ガスの性質を見極めることは非常に重要です（補遺 2）。しかし、従来の電波望遠鏡では角分解能²が不足していて、遠くの銀河の中心核付近に存在するガスの性質を調べることは不可能でした。

星間ガスの濃さ（密度）や温度はさまざまですが、星が生まれる星間ガスは密度が高く（水素分子の個数密度 $>10^5 \text{ cm}^{-3}$ ）、極低温（約 10 K [ケルビン] = 約マイナス 260 °C）の静かなガスです。それらは分子ガス雲を形成して、銀河の円盤部に漂っています。従来の研究で、分子ガス雲の質量とそのガス雲の中で星が 1 年あたりどのくらい生まれるか（星生成率と言います）には良い相関があることが知られていました（図 1）。2012 年ころにアメリカの天文学者、チャールズ・ラダ（Charles Lada）博士らが見出した関係です。この図を見ると確かにきれいな相関が見えます。ところが、天の川銀河の分子ガス雲と天の川銀河以外の活発に星を生んでいる分子ガス雲の間には明瞭なギャップがあり、謎とされていました（さまざまなスケールで起きている星の誕生現場を補遺 3 にまとめてあります）。

¹ 原子の個数では、9 割は水素、1 割がヘリウム、炭素などの重い元素は 0.0001% 程度の割合になっています。水素のうち半数は原子として存在し、残りの半数は分子になって存在しています。

² 細かな構造を分解して観測する能力。視力のことだと考えてください。

研究の成果

私たちはこのギャップを埋める新種の分子ガス雲を発見することに世界で初めて成功しました。私たちは、アルマ望遠鏡（補遺4）で得られた高解像度の電波観測データを用いて、近傍宇宙の代表的な活動銀河中心核を持つ渦巻銀河 NGC 1068 (= メシエ 77 [M 77]、くじら座の方向で約 5000 万光年の距離にある)の中心核（超巨大ブラックホール³）からわずか 50 光年の至近距離（天球に投影した距離）にある分子ガス雲の性質を調べてみました（図2）。この分子ガス雲は太陽の約 20 万倍の質量を持ち、活発に星を生んでいます。そして、この分子ガス雲の質量と星生成率をラダ博士らの見つけた相関図にプロットしてみました。すると、見事にギャップを埋めることがわかったのです（図3）。

図3にあるような関係を自然科学では“スケール則”と言います。ところがスケール則はよく考えてみると不思議な関係です。横軸の分子ガス雲の範囲をみてみると、約 6 桁以上もの開きがあります。図に 45 度の傾きの破線が示されていますが、これは比星生成率と呼ばれます。定義は

$$\text{比星生成率} = \text{星生成率} / \text{分子ガス雲の質量}$$

なので、「分子ガス雲の単位質量あたりにどのくらい星が生まれるか」を意味します⁴。つまり体重差が 6 桁以上もあるのに、比星生成率がほとんど同じ値になることを意味します。体重差が 6, 7 桁と言え、ハチドリや小さな虫と象くらいの体重差に相当します。今回発見した分子ガス雲の質量（体重）と星生成率（出生率）は、ちょうど天の川のガス（小さな虫）と非常に活発に星を生んでいる銀河のガス（象）の中間的な質量の分子ガス雲（モルモットやウサギの質量程度）でも、単位質量あたりの出生率（比星生成率）は同じであることが分かったのです。

この発見で、

分子ガス雲と星生成率の間にあるスケール則が普遍的である

ことが確実にになりました。

じつは、私たちがこの研究に取り組んだ動機は、“天文学者としての常識”に基づく陳腐な発想からでした。つまり、こうです。

³ NGC 1068 の中心にある超巨大ブラックホールの質量は太陽の約 840 万倍です。ちなみに、天の川銀河の中心にある超巨大ブラックホールの質量は太陽の約 430 万倍です。

⁴ 物質の熱量を考えると、単位質量あたりの熱量を比熱と呼びます。比星生成率の“比”は、比熱の“比”と同じ意味で使われています。

「活動銀河中心核の周辺にある分子ガス雲は、
超巨大ブラックホールの重力場の影響や
強烈な電磁波やジェットによる影響を受けているに違いない。
だから、天の川銀河にある普通の分子ガス雲とは
性質が違っているはずだ」

教科書に基づけば、こんな発想になります。ところが宇宙が私たちに見せてくれた姿はこうでした。

「超巨大ブラックホールのご近所という
きわめて過酷な環境においても、
今まで知られていたスケール則にしたがって
星が生まれている！」

これは、まさに予想を覆す結果でした。その意味では、私たちよりも宇宙が上手だったわけですが、やはり想定内と思うべきなのでしょう。

大切なことは、今まで知られていなかったスケール則上のミッシング・リンクの発見に至ったことです。星や星団がうまれるプロセスを理解する上で、きわめて大きなステップとなりました。

今後の研究の発展

このような研究が可能になったのは、まさにアルマ望遠鏡の類稀なる高い感度と角分解能のおかげです。今回の発見で、宇宙における星生成の原因を統一的に理解する研究への道が拓けてきました。また、他の活動銀河中心核の周辺にある分子ガス雲を系統的に研究することで、活動銀河中心核とその母銀河の進化に関する研究も進展することが期待されます。

この研究成果は、Furuya, R. S., & Taniguchi, Y. “A Massive Dense Gas Cloud close to the Nucleus of the Seyfert Galaxy NGC 1068” として、2016 年 12 月 1 日発行の日本天文学会の専門誌「日本天文学会欧文報告」に掲載されました (PASJ, 68 巻, 103-111 頁)。なお、本研究は日本学術振興会の科学研究費 (23244041 及び 16H02166) の支援を得て行われました。

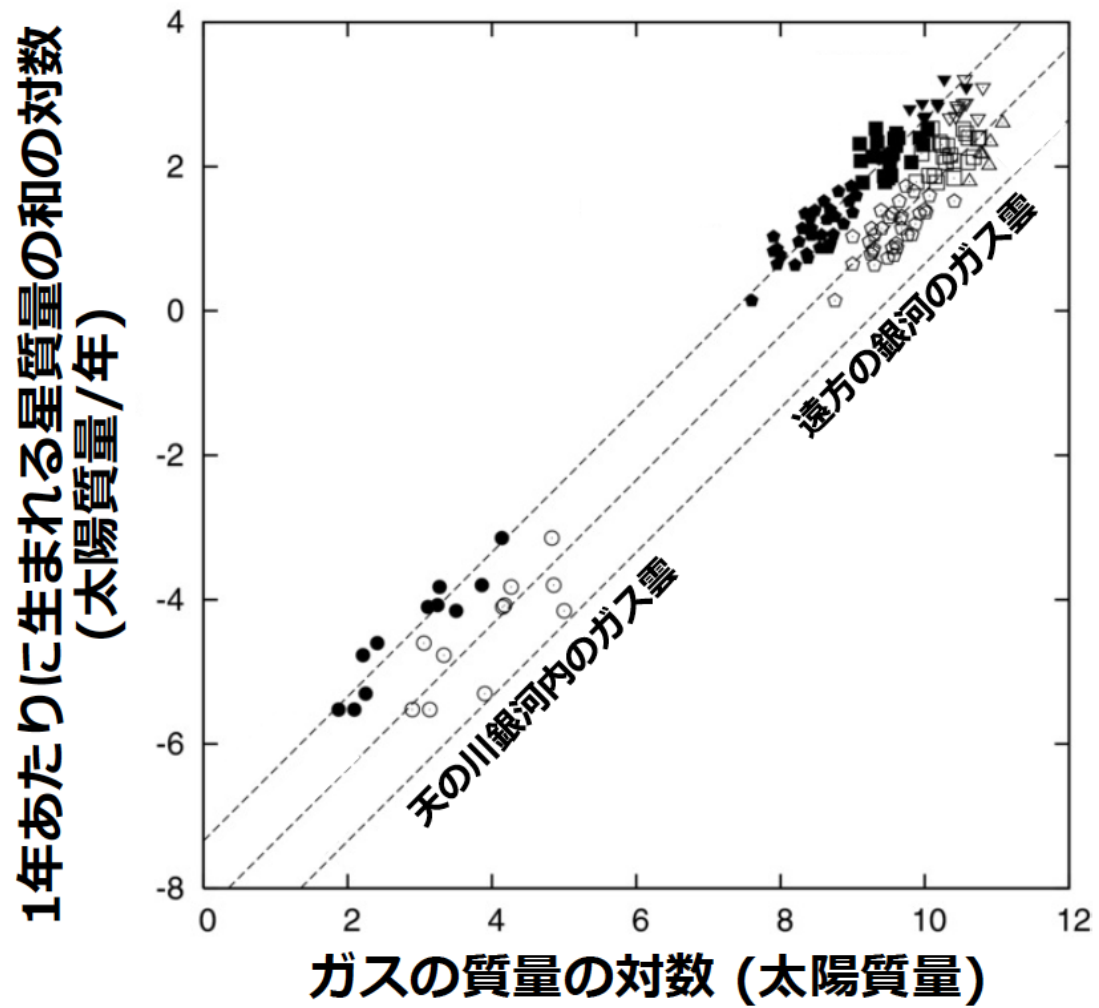


図1 星生成率と分子ガス雲の質量の間に見られる相関関係。天の川銀河の中にある分子ガス雲と遠方の星を活発に生んでいる銀河との間には同じ関係が見られる。しかし、両者の間にはデータ点が存在しない、明瞭なギャップがあることに気がつく。（提供：Charles Lada 氏）

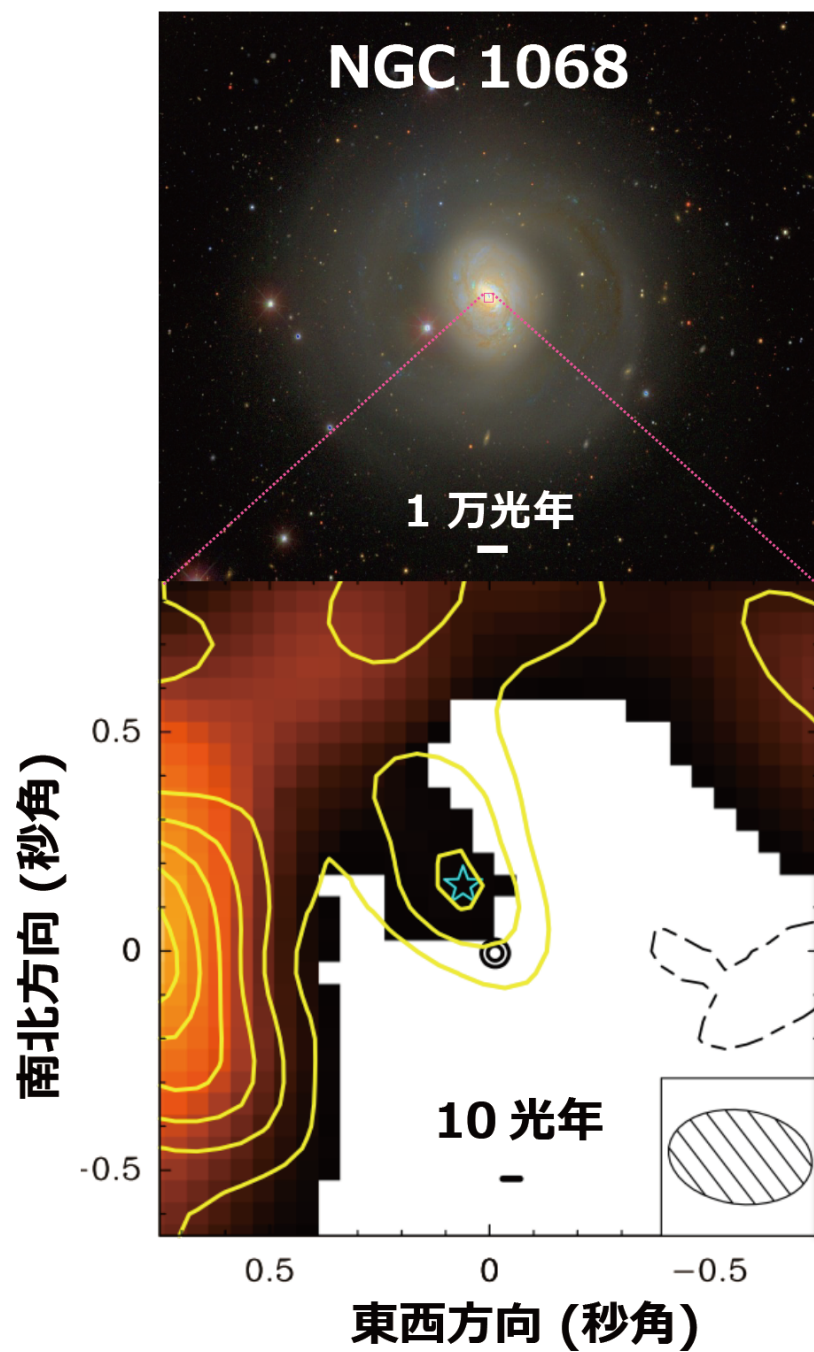


図2 (上) NGC 1068 の可視光写真 (提供 : Michael R. Blanton 氏) (下) 今回発見された分子ガス雲。黒い二重丸は NGC 1068 の銀河中心核 (超巨大ブラックホール) の位置。カラーで示されているのは高密度分子ガスの分布 [一酸化炭素分子 CO(J=6-5)輝線]で、黄色のコントアは塵粒子の放射する熱放射の分布 (周波数 689 GHz の連続光)。右下の楕円はアルマ望遠鏡の観測周波数帯でのビームサイズ。なお、上図に示した中心領域のボックスは、実際のスケールより大きく描いてあります。

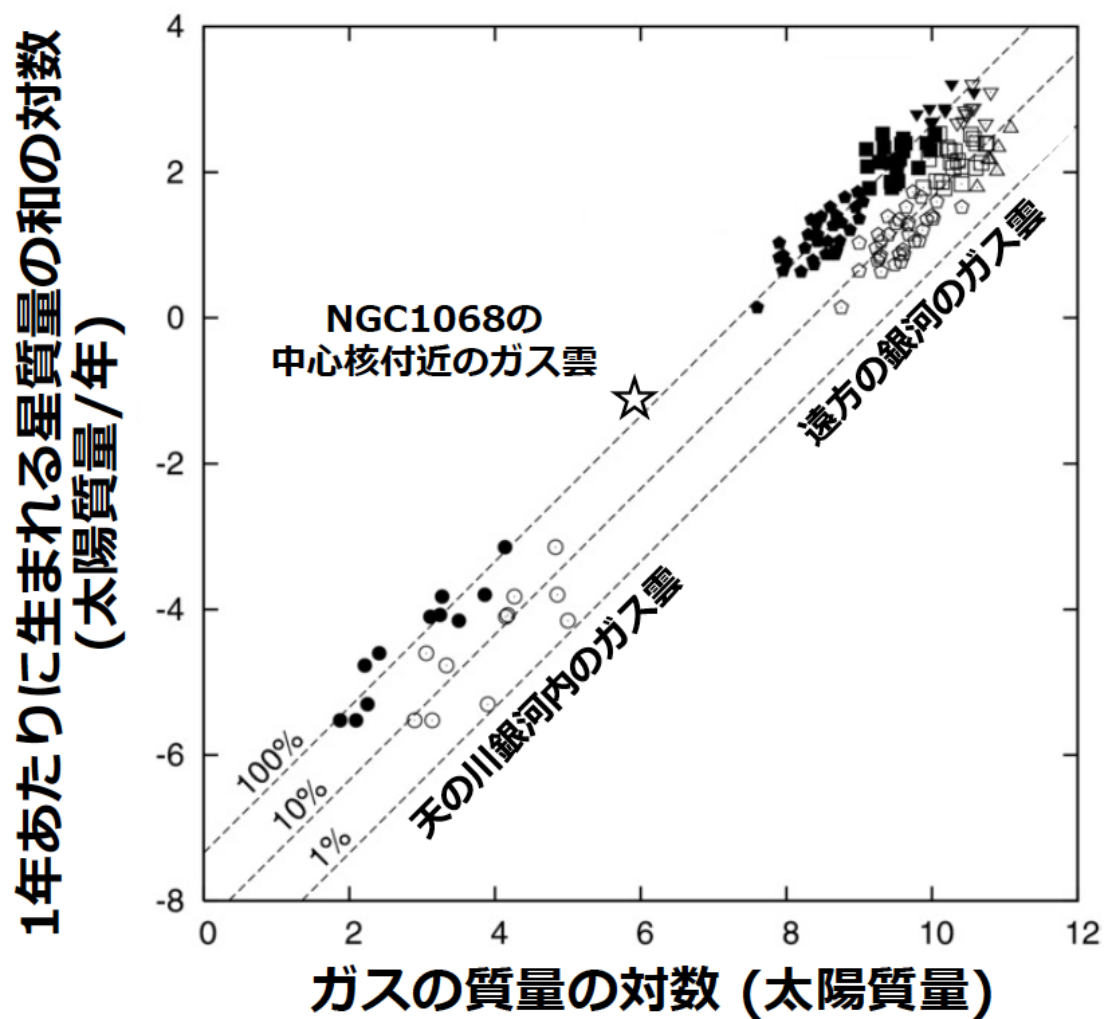


図3 図1と同じ図に今回発見された分子ガス雲のデータをプロットしたもの。今回発見した NGC 1068 の分子ガス雲のデータは、天の川銀河の中にある分子ガス雲と遠方の星を活発に生んでいる銀河との間に来ることがわかる。
(原図の提供は図1と同様に Charles Lada 氏)

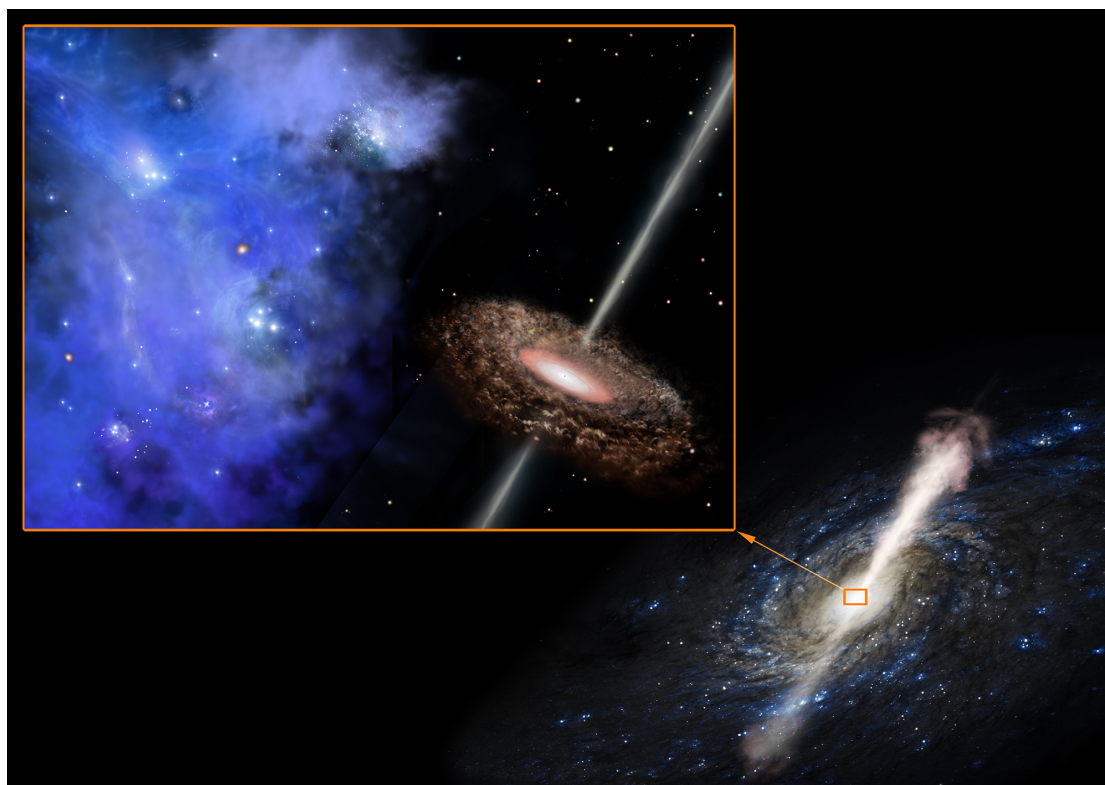


図 4 a NGC 1068 は端正な形をした渦巻銀河のように見える（図 2 の上のパネル）。しかし、銀河中心核からは銀河の円盤に対して約 30 度の傾き角を持って電波ジェットが出ており、周辺の星間ガスに影響を与えていることが知られている。今回発見された分子ガス雲はその中心核からわずか 50 光年の距離にある。（イラスト 池下 章裕氏）

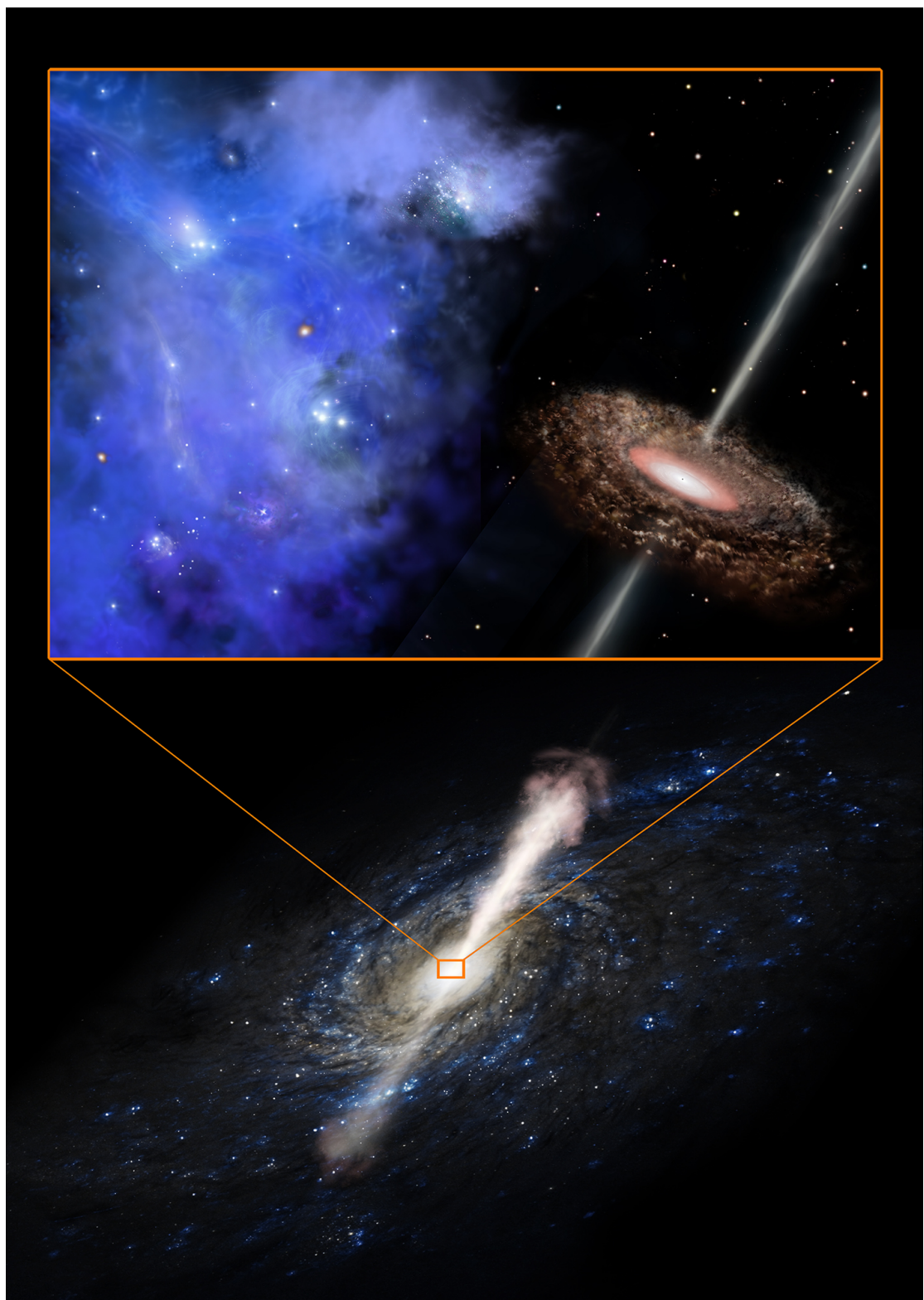


図4b 図4aと基本的に同じであるが、縦型に配置したもの。
(イラスト 池下 章裕氏)

用語説明・補足説明

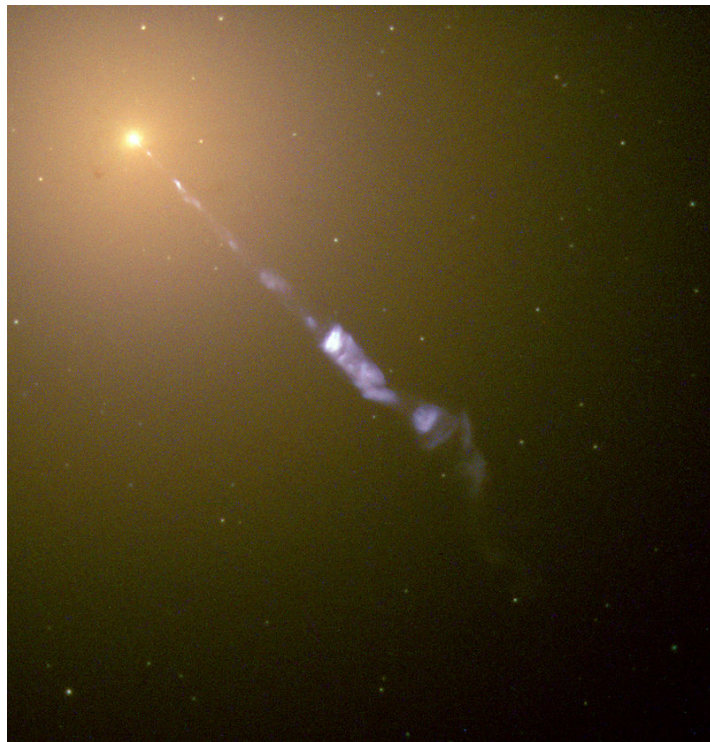
以下の補遺では、
今回の発見の意義を理解するための基本的な情報をまとめてあります。
適宜、参照されてください。

補遺 1 活動銀河中心核

銀河の中心には必ずと言って良いほど、巨大ブラックホール（超大質量ブラックホール）があります。天の川銀河も例外ではなく、太陽の約 400 万倍の質量の巨大ブラックホールがあることがわかっています。今までに太陽の 100 万倍から 100 億倍の質量を持つ巨大ブラックホールが見つかっています。

巨大ブラックホールにガスや星などが落ち込むと、そのときに解放される重力エネルギーを利用して、強烈な電磁波やジェットを放出します。それが活動銀河中心核として観測されます。

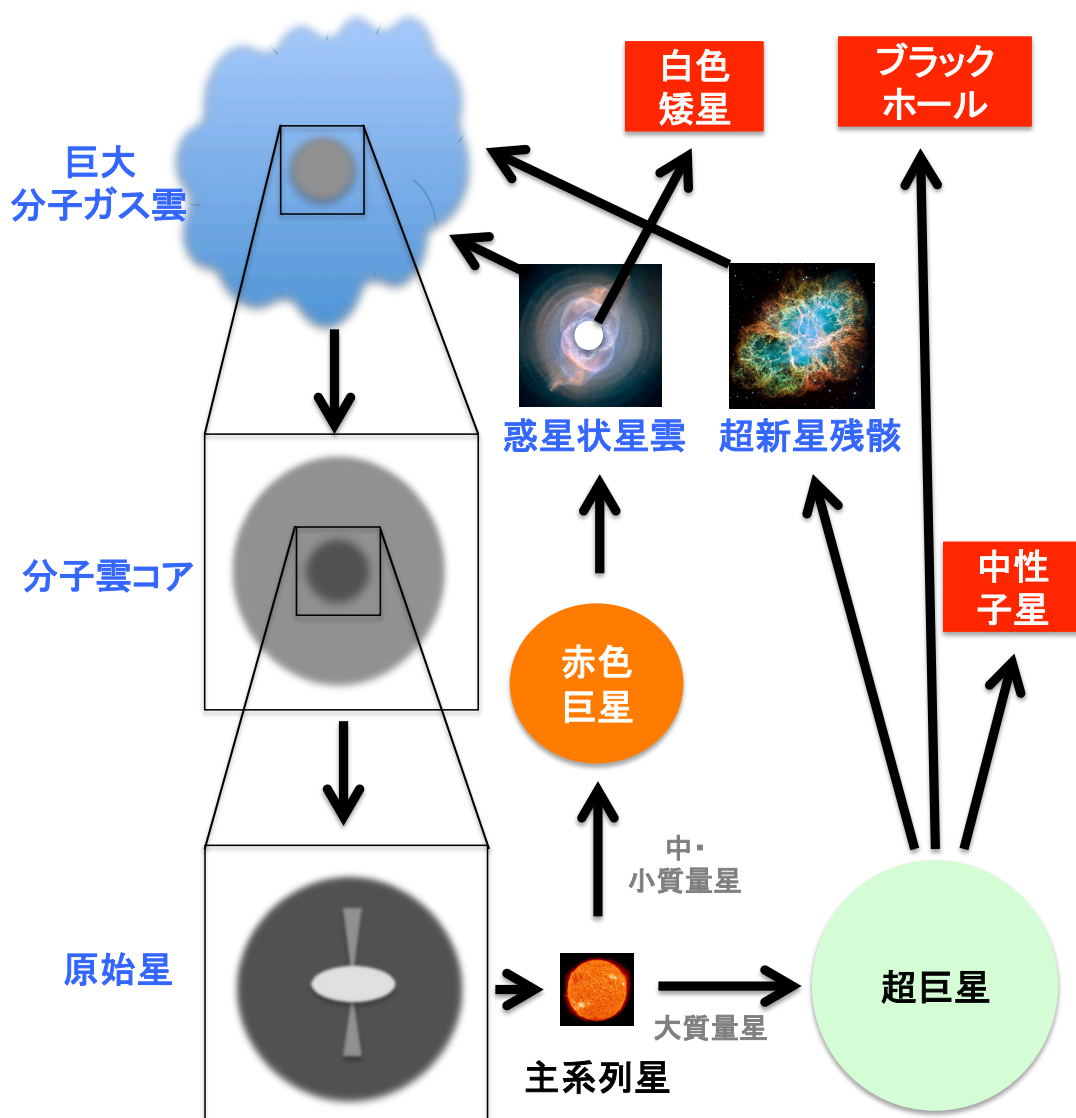
宇宙で一番明るい活動銀河中心核はクェーサーと呼ばれ、約 130 億光年彼方まで観測されています。今回の研究対象であるセイファート銀河はクェーサーに比べて 1/100 程度の明るさですが、近傍の宇宙にあるため、詳細に研究することができます。



楕円銀河 M87 の活動銀河中心核から放射されるジェット (NASA/ESA/STScI)

参考図書 『クェーサーの謎』 谷口 義明著、講談社ブルーバックス、2004 年
https://www.amazon.co.jp/クェーサーの謎-宇宙でもっともミステリアスな天体-ブルーバックス-谷口-義明/dp/4062574586/ref=sr_1_7?s=books&ie=UTF8&qid=1486340971&sr=1-7

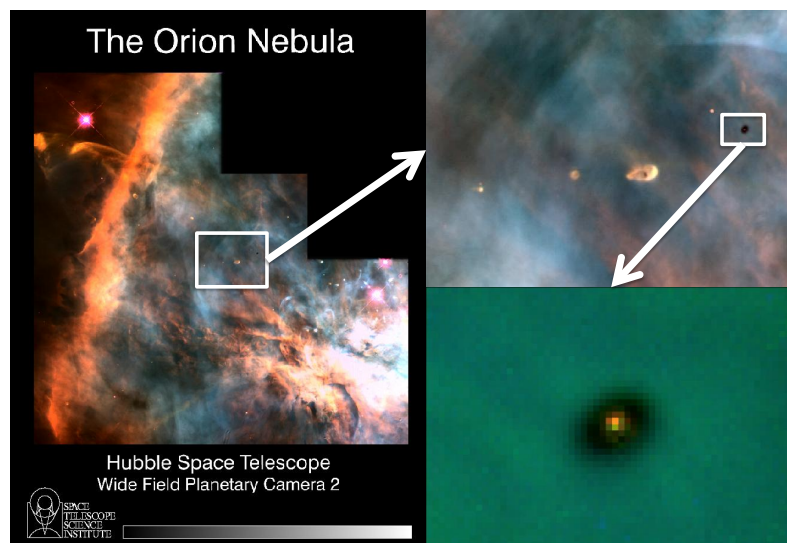
ガスと星の輪廻



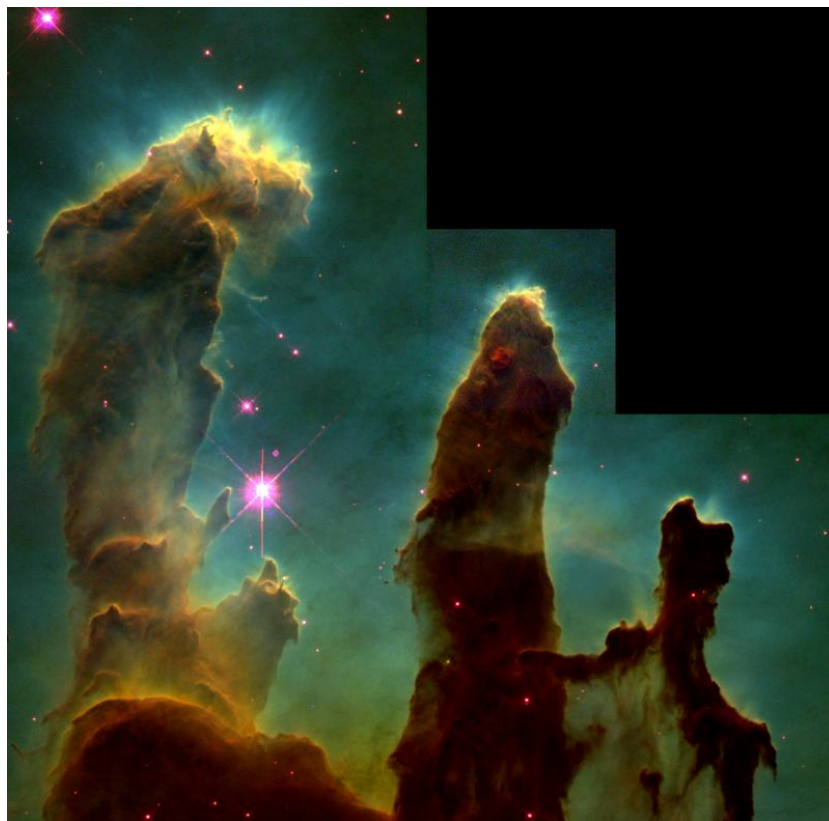
星の一生の概念図。巨大分子ガス雲の密度の高い場所が自己重力で収縮し、分子雲コアを形成する。コアはさらに自己重力で収縮するが、角運動量を持っているためガス円盤を作りながらさらに収縮を続ける。その際、角運動量を輸送するために双極分子ガス流が発生する（図の左下）。その後、ガス球の中心部で熱核融合が発生することで星が誕生する。その後の星の進化は星の質量で決まるが、大半のガスは再び星間ガスに戻っていき、次世代の星の誕生に繋がっていきます。

補遺 3 さまざまなスケールで発生している星生成の例

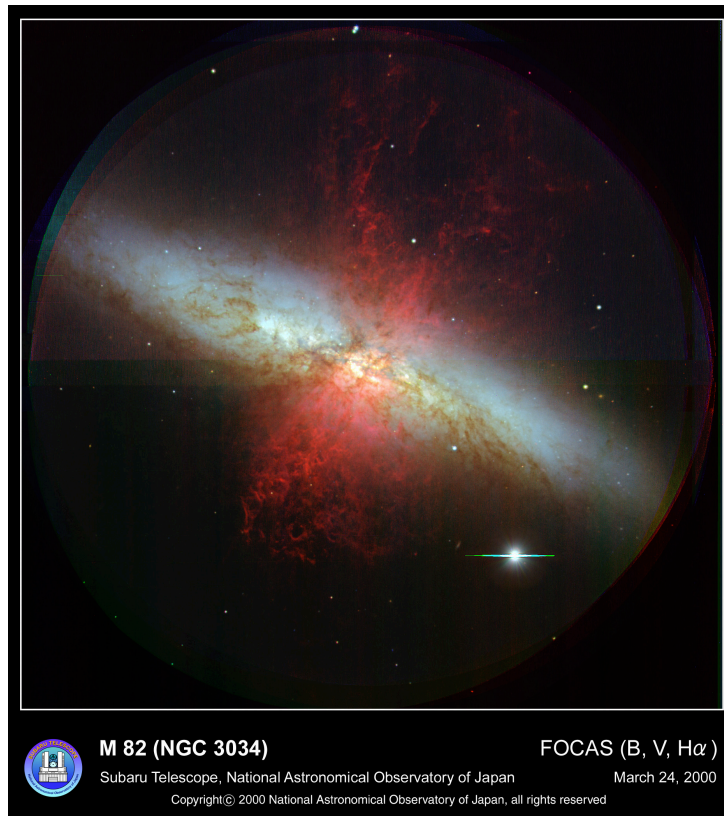
オリオン星雲にある生まれたての星々



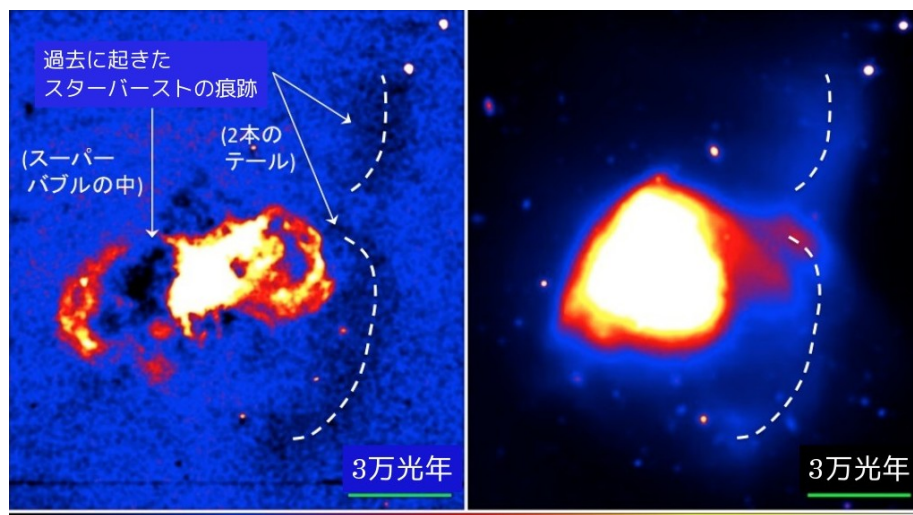
天の川銀河のオリオン大星雲（太陽からの距離＝1300 光年）で星が生まれている様子。この領域には分子ガス雲があり、その一部の領域で星が生まれている。（NASA/ESA/STScI）



天の川銀河のイーグル星雲で見られる暗黒星雲（塵粒子がたくさんあり、背景の光を吸収・散乱しているため、暗く見えている）。ここにも分子ガス雲があり、密度の高い場所で星が生まれている（NASA/ESA/STScI）



円盤銀河 M 82（天の川銀河からの距離＝1100 万光年）の中心領域で激しい勢いで星が生まれている。太陽の 10 倍以上の質量を持つ大質量星が 1 万個程度生まれ（スターバーストと呼ばれる現象）、それらが一斉に超新星爆発を起こして、銀河の中から風が吹き荒れている（スーパーウインドと呼ばれる現象）。M 82 の星生成の規模はオリオン大星雲で発生している星生成の 1000 倍にもなる。（国立天文台）



多重合体銀河 Arp 220（天の川銀河からの距離＝2 億 4000 万光年）。合体によって引き起こされたスターバーストで、約 1 億個もの大質量星が生まれた。そのため、M 82 と同様に、スーパーウインドが吹き荒れている。

国立天文台すばる望遠鏡からのプレスリリース（谷口 義明 他）：
http://subarutelescope.org/Pressrelease/2012/05/24/j_index.html

補遺 4 アルマ望遠鏡

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array: ALMA, "アルマ望遠鏡") は、ヨーロッパ南天天文台 (ESO)、米国国立科学財団 (NSF)、日本の自然科学研究機構 (NINS) がチリ共和国と協力して運用する国際的な天文観測施設であり、南米チリ共和国の標高 5000 メートルのアタカマ高地に設置されています。

アルマ望遠鏡は、パラボラアンテナ 66 台を組み合わせる干渉計方式の巨大電波望遠鏡です。直径 12 メートルのアンテナを 50 台組み合わせるアンテナ群と、直径 12 メートルのアンテナ 4 台と直径 7 メートルアンテナ 12 台からなる「アタカマコンパクトアレイ (ACA: モリタアレイ)」で構成されています。

アルマ望遠鏡の建設・運用費は、ESO と、NSF およびその協力機関であるカナダ国家研究会議 (NRC) および台湾行政院国家科学委員会 (NSC)、NINS およびその協力機関である台湾中央研究院 (AS) と韓国天文宙科学研究院 (KASI) によって分担されます。

アルマ望遠鏡の建設と運用は、ESO がその構成国を代表して、米国北東部大学連合 (AUI) が管理する米国国立電波天文台が北米を代表して、日本の国立天文台が東アジアを代表して実施されています。合同 ALMA 観測所 (JAO) は、ALMA の建設、試験観測、運用の統一的な執行および管理を行なうことを目的として運用されています。ちなみにアルマ望遠鏡は世界初の国際共同運用天文台です。



アタカマ高地に設置されたアルマ望遠鏡

<http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/aboutalma/outline/00.html>

本年会における関連講演

分野名 : 星・惑星形成

講演番号 : P141a

講演タイトル : 「A Massive Dense Gas Cloud close to the
Nucleus of the Seyfert Galaxy NGC 1068」
古屋 玲（徳島大学）、谷口 義明（放送大学）

講演日時 : 2017 年 3 月 18 日 午前 9 時 30 分-42 分

講演場所 : 九州大学（伊都キャンパス）センター2 号館 2F G 会場