

2017年 秋季年会 記者会見

発表1

「**銀河の形を運命づけた 110 億年前の転換現象**

～すばる×ハubble×アルマの最強タッグで完全解剖～」

但木 謙一 (マックスプランク地球外物理学研究所、国立天文台  
日本学術振興会特別研究員)

児玉 忠恭 (東北大学 教授)

発表2

「**世界最大級の電波写真集が描き出す銀河における星の誕生過程**

徂徠和夫 (北海道大学／筑波大学 准教授)

久野成夫 (筑波大学 教授)

村岡和幸 (大阪府立大学 助教)

宮本祐介 (国立天文台野辺山宇宙電波観測所 特任研究員)

## 銀河の形を運命づけた110億年前の転換現象

～すばる×ハッブル×アルマの最強タッグで完全解剖～

但木 謙一（マックスプランク地球外物理学研究所、国立天文台）、  
児玉 忠恭（東北大学）

### 研究の概要

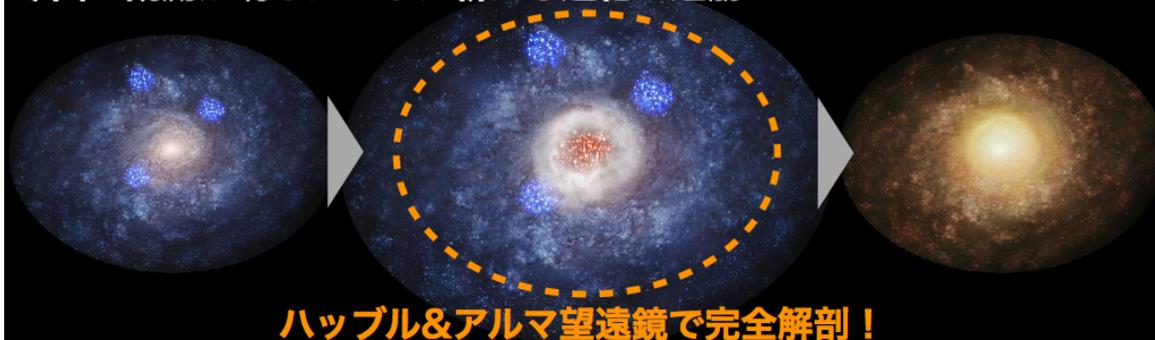
現在の宇宙にある最重量級の銀河は楕円の形をしています。その多くは、かつては私たちが住む天の川銀河のような円盤状の形をして回転していたと考えられています。古代の銀河は、いったいどのようにしてその姿形を変えたのでしょうか？その答えの鍵は銀河の星々の多くが生まれた今から110億年前の宇宙にありました。マックスプランク地球外物理学研究所・国立天文台・東北大学等の研究者からなる国際チームは、従来の定説である『銀河の衝突合体説』に加えて、別の進化経路があったことを示す決定的な証拠を発見しました。世界最高性能の望遠鏡群（すばる・ハッブル・アルマ）を駆使して、110億光年彼方の銀河の中心部で、大量の星が天の川銀河全体の約40倍のペースで急激に生まれていることを突き止めました。この爆発的な星形成活動により、銀河は合体をしなくても、自らその形を変えることができたのです。

#### 従来の『銀河の衝突合体説』による進化の道筋



NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration, A. Evan, K. Noll, and J. Westphal

#### 今回の観測が明らかにした新たな進化の道筋



**ハッブル&アルマ望遠鏡で完全解剖！**

図：円盤型の銀河から楕円型の銀河へと進化する道筋の模式図。従来は円盤型銀河が衝突合体して楕円型銀河へと進化すると考えられていました（上、クレジットは図を参照）。今回の観測では、円盤型銀河の中央部で激しい星形成が起きることによって楕円型へと進化する新たな道筋が明らかになりました（下、クレジット：国立天文台）。

## 銀河天文学者は何を知りたいのか？

今からおよそ100年ほど前、アメリカの天文学者エドウィン・ハッブルは、我々の太陽系がある天の川銀河の外側にも別の銀河が存在していることを発見しました。その姿形は銀河ごとに異なり、天の川銀河のような円盤が目立つ銀河（円盤型）と中央部の星の集合体が目立つ銀河（楕円型）に大きく2つに分類することができます（注参照。現在の宇宙にある巨大銀河の多くが楕円型に分類されますが、古い時代の銀河を観測すると大部分が円盤型であることがわかっています。古代の銀河がいつ、どのようにしてその形を変え、今日に至ったのか説明できた時、私たちは銀河の進化史を解明したと言えるでしょう。

## 遠くの銀河を研究する難しさ

銀河の星々の多くは今から100-110億年前に生まれました。銀河の屋台骨が作られた、銀河進化史上最も重要な時代と言えます。この110億年前の銀河を調べるためには、110億光年離れた銀河を観測すればよいのです。しかしながら問題となるのは、このような遙か彼方にある銀河はとても小さく、私達に届く光も弱いので観測が難しいことです。口径 8.2 メートルのすばる望遠鏡による観測でさえ、銀河は点のようにしか見えません。そこで私たちはまず最初に、多数の天体を検出する能力が高いすばる望遠鏡での近赤外線観測によって、110億光年彼方にある銀河を探しました。こうして発見した銀河を、すばる望遠鏡の3倍の解像度を持つハッブル宇宙望遠鏡（アメリカ航空宇宙局および欧州宇宙機関）とアルマ望遠鏡（日米欧が協力して運用）で観測し、その内部構造を描き出すという戦略を取りました。

## 今回の研究は何が新しいのか

今回の研究の新しい点はハッブル宇宙望遠鏡とアルマ望遠鏡の両方を駆使して、**複数の観点から110億光年離れた銀河を解剖したことです**。近赤外線を観測するハッブル望遠鏡では、銀河を構成する星からの光を捉え、『銀河がどのような形をしているのか』調べることができます。一方サブミリ波帯で高解像度が得られる電波干渉計のアルマ望遠鏡では、星の材料である塵が放つ電波をとらえ、『銀河のどこで新しい星が作られているか』調べることにつながります。この2つを組み合わせることで初めて、『星と星の材料の双方から成り立つ銀河の形がどのように進化するのか』知ることができるのです。

## 銀河の形を変えるほどの激しい星形成現象を観測

ハッブル宇宙望遠鏡で見た110億年前の銀河は大きな円盤状の形をしており、この時点ではまだ楕円型の銀河には進化していませんでした。しかし、アルマ望遠鏡による高解像度データの解析から、これらの銀河の中心で新たな星が急激に生まれていることがわかりました。推定される**星形成活動の規模は天の川銀河の約40倍に相当します**。これは銀河の形を変えるほど激しいものであり、**銀河が自ら円盤型から楕円型へとその形態を大きく変えつつある現場をとらえた**と解釈できます。

## 研究成果の科学的意義

エドウィン・ハッブル以来、この100年間に多くの天文学者達が銀河の形態の起源を解明しようと研究を続けてきました。40年ほど前に、『円盤型の銀河同士が衝突合体し、楕円型の銀河に進化する』という銀河の衝突合体説が提唱され、現在では定説となっています。その一方で、現在の宇宙に存在する全ての楕円型の銀河が衝突合体によって形成したとは限りません。

今回アルマ望遠鏡で観測した銀河は、ヨーロッパ南天天文台が運用する口径8メートルの光赤外用の望遠鏡VLT（ヴィエルティエ）でも観測を行っており、大規模な銀河合体の兆候が見られないことを確認しています。今回の研究成果の科学的意義は、合体の最中ではない回転円盤を持つ銀河で、銀河の形を変えるほどの激しい星形成現象が起きていることを発見した点にあります。言い換えれば、銀河には衝突合体をしない別の進化経路があったことを示す決定的な証拠を発見したことになります。

(注)：エドウィン・ハッブルが始めた銀河の形による分類では、渦巻き型、棒渦巻き型、楕円型、レンズ型などがあります。このうちここでいう円盤型という分類は、扁平に広がる円盤と回転が特徴で、渦巻き銀河と棒渦巻き銀河の両方を含みます。楕円型という分類は、楕円銀河とレンズ状銀河を含んでいます。

## 発表 1

記者会見 発表者氏名：但木 謙一（ただき・けんいち）  
マックスプランク地球外物理学研究所（論文発表時）  
国立天文台・研究員、北海道札幌北高等学校卒業

関連する学会講演：

- ・X18a 「 $z=2.5$ の銀河で発見された高速回転するスターバーストコア」  
但木 謙一（マックスプランク地球外物理学研究所・国立天文台）ほか

記者発表をするメンバー：

但木 謙一（ただき・けんいち）国立天文台・日本学術振興会特別研究員  
兒玉 忠恭（こだま・ただゆき）東北大学・教授

## 発表 1

研究グループ全員の氏名・所属：

但木 謙一 (ただき・けんいち) 国立天文台  
児玉 忠恭 (こだま・ただゆき) 東北大学  
Reinhard Genzel マックスプランク地球外物理学研究所  
Erica J. Nelson マックスプランク地球外物理学研究所  
Sirio Belli マックスプランク地球外物理学研究所  
Natascha M. Foerster Schreiber マックスプランク地球外物理学研究所  
林将央 (はやし・まさお) 国立天文台  
Rodrigo Herrera-Camus マックスプランク地球外物理学研究所  
小山佑世 (こやま・ゆうせい) 国立天文台・総合研究大学院大学  
Phillip Lang マックスプランク天文学研究所  
Dieter Lutz マックスプランク地球外物理学研究所  
嶋川里澄 (しまかわ・りずむ) カルフォルニア大学サンタクルーズ校  
Linda J. Tacconi マックスプランク地球外物理学研究所  
Hannah Uebler マックスプランク地球外物理学研究所  
Emily Wisnioski マックスプランク地球外物理学研究所  
Stijn Wuyts バース大学  
廿日出文洋 (はつかで・ぶんよう) 東京大学  
Magdalena Lippa マックスプランク地球外物理学研究所  
中西康一郎 (なかにし・こういちろう) 国立天文台・総合研究大学院大学  
五十嵐創 (いからし・そう) フローニンゲン大学  
河野孝太郎 (こうの・こうたろう) 東京大学  
鈴木智子 (すずき・ともこ) 国立天文台  
田村陽一 (たむら・よういち) 名古屋大学  
田中壺 (たなか・いち) 国立天文台  
Andreas Burkert マックスプランク地球外物理学研究所  
Richard I. Davies マックスプランク地球外物理学研究所  
井上茂樹 (いのうえ・しげき) 東京大学  
J. Trevor Mendel マックスプランク地球外物理学研究所  
Dave J. Wilman マックスプランク地球外物理学研究所

## 世界最大級の電波写真集が描き出す銀河における星の誕生過程

徂徠和夫（そらい・かずお）北海道大学／筑波大学・准教授

### 概要

私たちの研究グループは 120 個を超える銀河の電波写真を作り、星のもとになる低温ガスの性質が銀河の中で一様ではないことを明らかにしました。観測には、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 m 電波望遠鏡を使用しました。

太陽のように自ら光り輝き、エネルギーを出す星（恒星）も、もとは冷たいガスが集まってできています。そして宇宙には天の川銀河のように星が何千億個も集まった大集団である銀河が多数存在しています。その中で低温の高密度ガス（分子ガス）から星が誕生します。銀河は可視光で見ると円盤状であったり、ラグビーボールのような形状であったりと多様な姿をしています。その主な原因として、そもそも星の誕生のしかたが銀河によって異なることが考えられます。星の誕生過程を探るためには、星の材料となる分子ガスの観測が必要となりますが、そのような状態にあるガスは電波でしか観測できません。ところが可視光に比べて電波の波長領域での撮影（詳細な観測）が困難であったために、銀河の電波写真の数は著しく限られていました。

私たちの研究グループは、新しく整備された観測装置に加え、国内はもとより海を越えて幾つもの大学の大学院生など若手研究者が力を合わせ、限られた時間内に効率よく観測していくための観測方法を開発し、また観測で得られたデータについて従来までの職人技的な方法ではなく客観性の非常に高い解析方法を考案することで、127 個もの銀河の電波写真の撮像に成功しました（図 1、観測天体は添付のリストを参照ください）。このデータ量は、見かけの大きい銀河では空間で 4000 画素以上、分光点数<sup>①</sup>で 120 チャンネル以上になります。可視光では同じ渦巻銀河に分類されていても、分子ガスで見える銀河は様相が異なることがわかります（図 2）。

分子ガスを調べるためには、その中に水素分子に次いで豊富にある一酸化炭素分子を調べる方法がとられています。私たちはこの一酸化炭素分子のうちでもっとも存在度の多い同位体ばかりでなく、2 種類の、より少ない方の同位体<sup>②</sup>についてもそれらの分子の特徴的なスペクトル線の同時観測を行いました。同位体分子のスペクトル線観測をすることで、分子ガスの分布や量（図 3）だけでなく、密度・温度といった質の情報が得られます（図 4）。この膨大なデータを様々な面から見極めることにより、銀河内の星の誕生過程に関してガスの密度、運動に豊かな個性があることが明らかになってきました。一方で、銀河の質量や銀河の存在する環境に応じて、異なる銀河の間に共通の性質があるのかどうかを明らかにし、この宇宙における最近の銀河の進化を理解する決定打を得ようと研究チームは意気込んでいます。

研究プロジェクトの愛称 **COMING** には、若手メンバーの成長とともに、銀河に関する研究の新しい時代を拓くという意味も込めています。実際、本研究グループは、修士課程の大学院生や学部 4 年生など若手メンバーが多く、しかもプロジェクトに積極的に参加し、解析方法など独自のアイデアを出して開発しています（メンバーは添付のリストを参照ください）。

①ここで「分光点数」とは銀河の成分や運動方向の情報を調べる際の情報量とお考えください。

②同位体は、構成する元素の中性子の数が異なる、つまり重さが異なるものです。より中性子が多いものは一般に量が少なくなります。

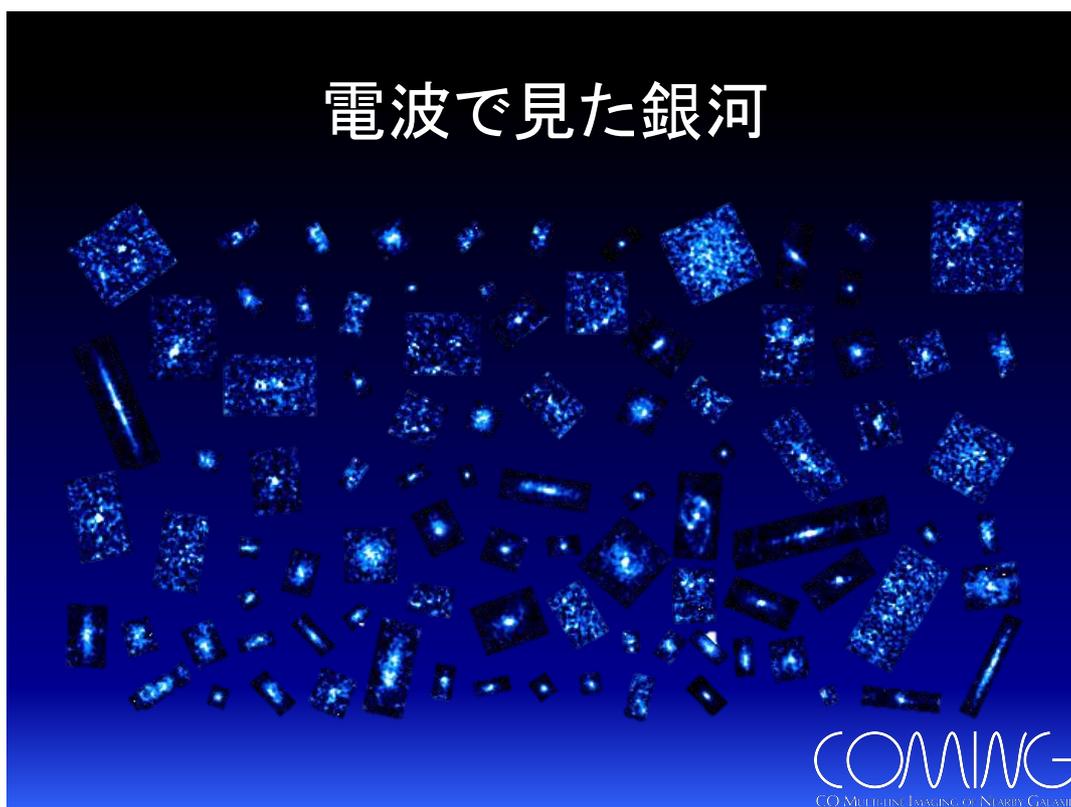


図 1 COMING プロジェクトで撮像した銀河の電波写真（一部の抜粋）。銀河内の分子ガスの分布を示しており、白っぽいところほどたくさんのガスが存在していることを示しています。

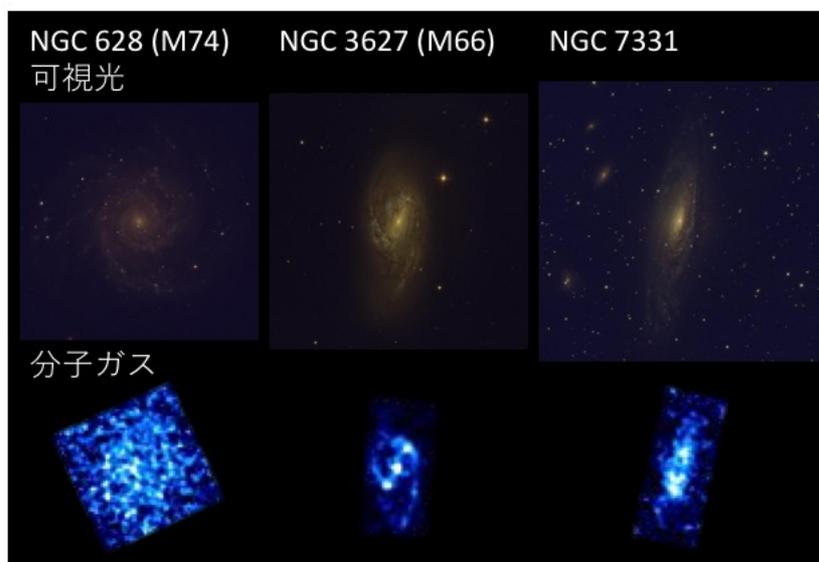


図 2 可視光写真（上段。skyview を用いて SDSS のデータを 3 色合成したもの）と COMING で撮像した分子ガスの写真（下段）。写真のスケールは全て揃えてあります。

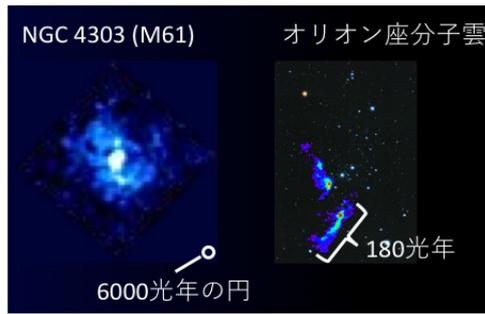


図3 観測した銀河内の典型的な大きさ。左側は COMING で観測した NGC 4303 の分子ガスの分布。右下の円が分子ガスの分布の典型的な大きさで、約 6000 光年に相当。右側の写真（国立天文台のホームページより転載）は銀河系のオリオン座分子雲の電波写真で、大きさは 180 光年ほど。つまり、私たちの観測ではオリオン座分子雲が 30 個ほど集まったような大きさで分子ガスを観測しています。

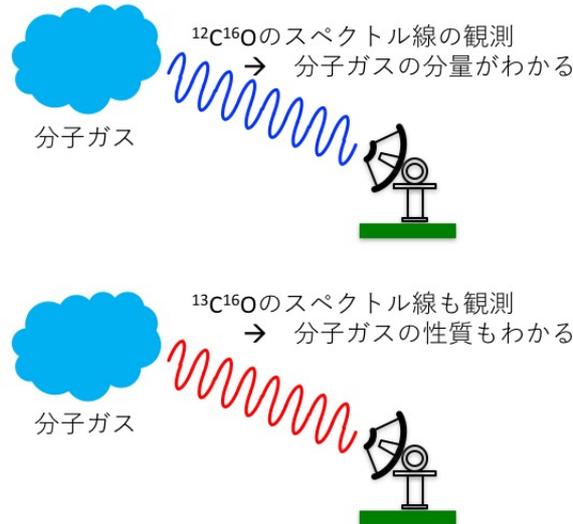


図4 一酸化炭素分子の複数のスペクトル線を観測することで、分子ガスの分量だけでなく、密度や温度といった物理的な性質を知ることができます。

**記者会見 発表者**

徂徠和夫（そらい・かずお）北海道大学／筑波大学・准教授

**関連する学会講演**

- V105a NRO レガシープロジェクト COMING(10):自動リダクションシステムの開発 田中隆広（筑波大学）他
- \*R05a NRO レガシープロジェクト COMING(11)：観測のまとめ 徂徠和夫（北海道大学）他
- R06a NRO レガシープロジェクト COMING (12): 銀河群による近傍銀河のガスの性質に与える環境効果の研究 金子紘之（国立天文台）他
- R07a NRO レガシープロジェクト COMING(13):棒渦巻銀河 NGC 4303 における分子ガスの物理状態 矢島義之（北海道大学）他
- R08b NRO レガシープロジェクト COMING(14)：近傍棒渦巻銀河の円盤領域における分子ガス速度分散と星形成効率の関係 黒田麻友（大阪府立大学）他
- R09b NRO レガシープロジェクト COMING(15):12CO(1-0)と 13CO(1-0)を用いた星形成則の比較 佐藤佑哉（筑波大学）他
- R10b NRO レガシープロジェクト COMING(16): 近傍渦巻銀河 NGC 628 におけるガスの速度ベクトル 宮本祐介（国立天文台）他

**記者会見 参加者**

徂徠和夫（そらい・かずお）北海道大学／筑波大学・准教授

久野成夫（くの・なりお）筑波大学・教授

村岡和幸（むらおか・かずゆき）大阪府立大学・助教

宮本祐介（みやもと・ゆうすけ）国立天文台野辺山宇宙電波観測所・特任研究員

## 研究メンバー

(所属機関ごとに東から西の順)

氏名	所属	職名・学年
梅井迪子 *	北海道大学	大学院理学院宇宙物理学
瀬川陽子 *		専攻
田代貴美 *		
岸田望美 *		
矢島義之		理学部物理学科
柴田修吾		
徂徠和夫		大学院理学研究院物理学部門
	筑波大学	大学院数理物質科学研究科物理学専攻/数理物質融合科学センター
久野成夫		教授 ◎
中井直正		教授 ◎
渡邊祥正		助教
畠山拓也 *		大学院数理物質科学研究科
田中隆広		
富安悠人 *		
佐藤佑哉		
保田敦司		
喜多将一朗		
川原裕佑 *		理工学群物理学類
大井渚	東京理科大学	理学部第二部物理学科
諸隈佳菜	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所
宮本祐介	自然科学研究機構	国立天文台野辺山宇宙電波観測所
金子紘之		
竹内努	名古屋大学	大学院理学研究科素粒子宇宙物理学専攻
依田萌		
村岡和幸	大阪府立大学	大学院理学系研究科物理科学専攻
馬路博之 *		
武田美保 *		
柳谷和希 *		
黒田麻友		
Dragan Salak	関西学院大学	大学院理工学研究科物理学専攻
野間勇斗		
瀬田益道		

氏名	所属		職名・学年
松本尚子	山口大学	時間学研究所	助教（特命）
	自然科学研究機構	国立天文台水沢 VLBI 観測所	特任研究員
中西裕之	鹿児島大学	学術研究院理工学域物理学系物理・宇宙専攻	准教授 ◎
齊田智恵 *		大学院理工学研究科物理・宇宙専攻	修士課程修了
上野紗英子			修士課程 2 年
江副聡一 *		理学部物理科学科	学士課程卒業
Pan Hsi-An	台湾中央研究院	天文及天文物理研究所	研究員

\*は既に卒業・修了したメンバー。◎は研究代表者会議メンバー。