

115 億光年彼方に爆発的星形成銀河の 集団を発見



田村 陽一

〈国立天文台野辺山宇宙電波観測所 〒384-1305 長野県南佐久郡南牧村野辺山 462-2〉
e-mail: yoichi.tamura@nao.ac.jp

およそ 10 年前、謎の銀河種族、サブミリ波銀河が発見された。以来、天文学者はその理解に努め、それらが遠方宇宙にあるダストに覆われた大質量の爆発的星形成銀河であることが確実となった。宇宙構造形成理論に基づけば、このような銀河は暗黒物質の集中箇所に生じるはずである。例えば、原始銀河団だ。筆者らのチームは、サブミリ波望遠鏡 ASTE を用いて原始銀河団の広域探査を行った。この結果、サブミリ波銀河が原始銀河団のコアに群れ集まっている様子を捉えた。この発見は、巨大銀河が高密度環境で形成されるという理論的予想を支持し、サブミリ波広域深探査が若い銀河の“ゆりかご”を発見するのに有力であるという可能性を示す。

観測技術の発達によって、遠方の宇宙ではさまざまな銀河種族が発見されている。が、それらの形成過程や種族間の相互関係はよく理解されていない。あまりに混沌としたこの状況がしばしば「銀河動物園」と揶揄されるのもうなずける。

今日のお話の主演は「サブミリ波銀河」である。サブミリ波銀河とはどんな生態をしているのか？そもそもサブミリ波とは何なのか？まずは銀河動物園の珍獣・サブミリ波銀河の檻へのご案内しよう。

1. サブミリ波とは？

友人に電波天文学の話をするとう「電波で見る、ってどういうこと？」という質問をしばしばもらう。たしかに想像が付きにくい。ここでは紙面の都合上、電波一般というよりは、サブミリ波で見ると何が見えるかに特化してご紹介したい。

おそらく読者の皆さんにとって、普段サブミリ波という単語を耳にする機会はそれほどないであろう。サブミリ波とは波長 0.1-1 mm の電波の一種である。そろそろ筆者も買い替えを検討し始め



図1 サブミリ波大気透過率イメージャー (MiSTI) によって得られた ASTE 望遠鏡の電波画像 (左)。色が明るいほど放射強度が強いことを示す。サブミリ波では物体の熱放射をとらえることができる。右は光学写真。

ている地デジ (地上デジタル波放送) 対応テレビの放送電波で約 60 cm, 携帯電話 (第 3 世代) の波長 15 cm よりもまだ短い。日本人男性の髪の毛の太さがおよそ 0.1 mm 程度であるらしいから、電波としてはかなり波長が短い部類に入る。図 1 を見ていただきたい。筆者が大学院生のときに開発していた小型サブミリ波望遠鏡で撮像した、ASTE サブミリ波望遠鏡のサブミリ波写真と光学写真である。明るい部分ほどサブミリ波強度が高

い。空や空を映し出す望遠鏡の鏡面は暗い一方で、地面や望遠鏡本体(地面を映し出している)が煌煌と輝いていることがおわかりいただけると思う。これは地面を覆っている岩石や砂粒が出す「熱放射」をとらえているからである。

2. 爆発的星形成とダストの密接な関係

実は宇宙空間にもこのような砂粒(ダスト)が存在する。図2はハッブル宇宙望遠鏡がとらえたアンテナ銀河の画像である。二つの銀河同士が衝突している最中で、衝突箇所はなんだかもうめっちゃくちゃである。この箇所では凄まじい打ち上げ花火のごとく続々と新しい恒星が誕生していることがわかっている。よく見ると黒い煙のようなものがシルエットとなって見えることに気づく。ちょうど打ち上げ花火が連続すると煙が花火をさえぎってしまうあの状態である。この煙がまさにダストと分子ガスが混在した雲で、巨大分子雲と呼ばれる星形成の母体である。あまりに星形成活

動が激しい銀河では、巨大分子雲はいよいよ銀河全体を覆い尽くしてしまう。すると、ガスやダストが星の紫外線や可視光線を吸収・遮断し、通常の手段ではその銀河を発見することがとても難しくなる。逆説的に聞こえるかもしれないが、爆発的に星形成を行う銀河の星は、宇宙のダストに隠されてしまって見えないのである。一方で、紫外線に暖められたダストが、今度は中間赤外線からサブミリ波にわたる波長帯で莫大なエネルギーを放出し始める。そう、サブミリ波ではダストの雲、つまり星々のゆりかごが見えてくるのである。

3. 猛獣、サブミリ波銀河

サブミリ波にはもう一つ面白い特徴がある。図3は、さまざまな距離の爆発的星形成銀河の放射強度を波長ごとに示したもの(スペクトル)である。遠方銀河からの放射は、距離が遠いので全体的に暗くなっているに加えて、宇宙膨張の影響で波長が伸びている。なお、この波長の伸びを

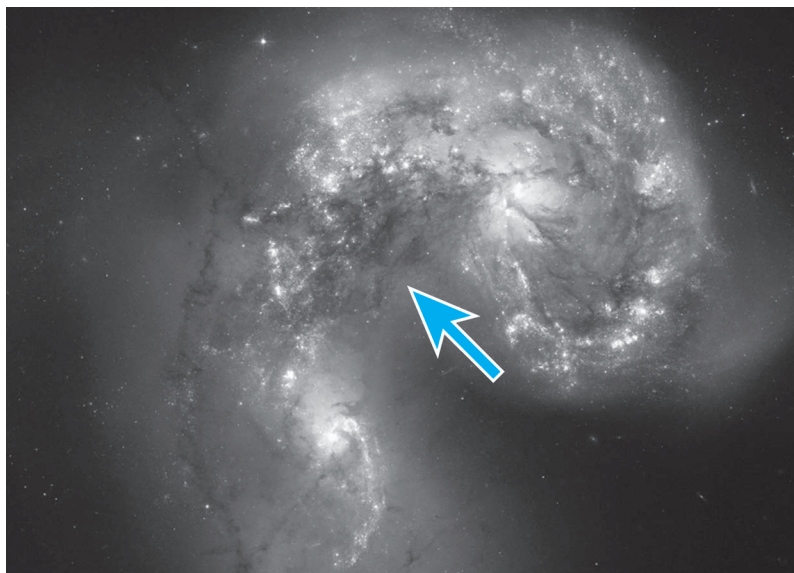


図2 ハッブル宇宙望遠鏡が撮像したアンテナ銀河 NGC4038/39 の画像。銀河の衝突箇所(矢印)では巨大分子雲が発達し、ダストに埋もれた大規模な星形成活動が誘発されている。画像はハッブル宇宙望遠鏡のサイトより取得。

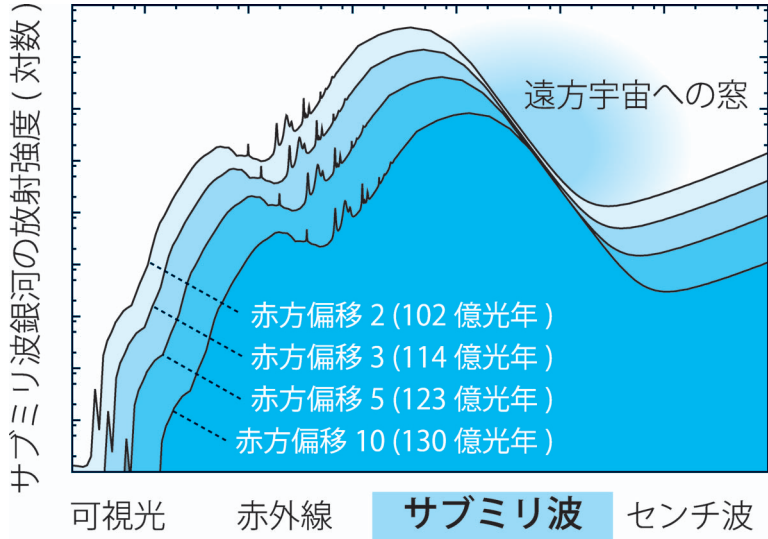


図3 さまざまな赤方偏移における爆発的星形成銀河の放射スペクトル。サブミリ波帯で観測すると、放射強度がほとんど一定になることがわかる。サブミリ波は遠方宇宙への窓と言えるかもしれない。

“赤方偏移”と呼び、天文学では距離の指標として頻繁に用いられる。

さてここでサブミリ波帯に注目していただきたい。非常に遠方でも放射強度がほとんど変わらないことに気づかれるだろうか。このため、赤方偏移 10 という超遠方に爆発的星形成銀河が存在したとしても、それらはサブミリ波で極めて明るく観測されうる、ということが 1990 年代前半に指摘されていたり、現在人類が知りうる最遠方天体で赤方偏移 8.2 だから²⁾、サブミリ波がたいへん興味深い“高赤方偏移への窓”であることがわかりただけだろう。そして、1990 年代中頃になって登場したサブミリ波カメラ SCUBA が、実際にサブミリ波で明るく輝く銀河種族「サブミリ波銀河」を発見したのである³⁾⁻⁶⁾。

これらサブミリ波銀河とは、本当に爆発的星形成銀河なのか？ 1997-98 年のサブミリ波銀河の発見以来、天文学者たちはこの謎に満ちた珍しい銀河種族を徹底的に調べてきた。この結果、100 億年ほど過去の宇宙（赤方偏移 2-3）においてダストに覆われた爆発的星形成を行う巨大質量銀河であることが観測的に確実視されるようになって

きた^{6),7)}。

例えば、特記すべきサブミリ波銀河の特徴に、毎年およそ 1,000 太陽質量（天の川の約千倍）に達する銀河の成長率（星形成率）が挙げられる。この 1,000 太陽質量/年がどのくらい凄まじいかというと、8 時間に一つ太陽が生まれているようなものである。サブミリ波銀河がもつガスの質量はおおよそ 1 千億太陽質量、天の川銀河がもつガス量の 10 倍以上に達する⁸⁾⁻¹⁰⁾。なかには、太陽の 1 億倍もの質量をもつ超巨大ブラックホールを潜ませているものもしばしば発見されている¹¹⁾。このとおり怪物のような特徴を備えているサブミリ波銀河は、どうやら銀河動物園のなかでも猛獣の部類に入るようだ。

4. サブミリ波銀河は宇宙の過密地帯に生まれるのか

さて、依然として謎が残っている。サブミリ波銀河はどこに生息しているのか。この疑問に答えるために、話題をもう少し大きい視点へ移してみよう。

さきほどサブミリ波銀河の星形成率が 1,000 太

陽質量/年であるというお話をした。一般には、銀河が衝突・合体するなどしてガスが大量にかき集められたときに、星形成率が上昇する。先のアンテナ銀河を例にとれば、最近の研究で6-7太陽質量/年程度であることがわかっている¹²⁾。アンテナ銀河もゆくゆくは一つの銀河へと合体するのだが、その最終段階でも星形成の規模をせいぜい1桁上げる程度である。となると、1,000太陽質量/年を説明するためには二つ程度の銀河衝突ではだめで、もっと大規模なガス等の質量の集積ないし複数の銀河の同時多発的な衝突合体が生じたと考えざるをえない。そのような場所があるのだろうか。

現在の銀河形成理論^{13), 14)}によれば、約100億年前の宇宙で質量が次々に集積しているような場所、例えば成長を続ける宇宙大規模構造のごく中心部で、巨大銀河が誕生すると考えられている。若い銀河たちの集団（原始銀河団）のような場所だ。このような物質が集積する箇所では、重力場にとらえられた銀河や大量のガスが互いに衝突・合体する。そして、ガスとダストに深く埋もれた爆発的な星形成活動を経て成長し、やがて非常に重い巨大銀河へと進化する。

さらに、遠方宇宙の特殊な環境でサブミリ波銀河の密度超過があるのではないかという観測結果も報告されるようになった^{15), 16)}。しかし決定的な証拠はいまだ報告されていない。サブミリ波銀河が宇宙の過密地帯に好んで誕生するのか、依然として謎に包まれたままであった。

5. 巨大銀河のゆりかご最有力候補： SSA22

サブミリ波銀河の誕生が促進されている領域はどこか。赤方偏移が2を超えるような宇宙で暗黒物質が集積していると期待される場所がいい。また他の銀河種族との比較のために、さまざまな波長のデータがそろっている場所がいい。これらの要求を満たす天域がある。原始銀河団領域 SSA22

である。

SSA22 領域はみずがめ座の方向に位置する空の一部で、これまでのすばる望遠鏡等の観測によって赤方偏移3.1（115億光年彼方、宇宙年齢が現在の15%程度の時代）にライマン α 輝線銀河と呼ばれる、若く小さい銀河が密集し、原始銀河団と呼ばれる大規模構造を形成していることがわかっていた¹⁷⁾⁻¹⁹⁾。その広がりはおよそ数十分角四方（満月およそ一つ分）に及ぶ。

しかし、これまでのサブミリ波観測ではその1割に満たない領域しか観測できず²⁰⁾⁻²²⁾、まさに針の穴から天上をのぞくことしかできていなかった。その元凶の一つに大気がある。サブミリ波帯は地球の大気、特に水蒸気にはばまれやすく、地上観測技術最後の秘境とも言われるほどに技術的な困難が立ちはだかっていた。またサブミリ波の検出技術や観測手法も発展途上であった。とにかく世界最高の空と世界最高の装置が必要なのである。

6. 宇宙に一番近い場所

世界最高の観測条件が得られる場所はどこか。15年前に国立天文台のサイト調査チームが探し当てた場所、それが南米アンデス山脈のアタカマ高地（標高4,800m）だった。アタカマ高地はチリの西岸を流れるフンボルト海流の影響で世界屈指の高い晴天率を誇る。さらに、その標高は富士山より1,000m以上、ハワイ・マウナケア山頂よりもまだ600m高い。気圧は平地の半分。非常に空気の薄く乾燥した環境が整っており、サブミリ波銀河を探査するには絶好の場所なのである。

国立天文台、東京大学ほか大学連合がアタカマで運用しているASTE（アステ）望遠鏡は、口径10mのアンテナをもつサブミリ波望遠鏡である²³⁾。野辺山宇宙電波観測所が30年来培ってきた高い技術力と極めて水蒸気量の小さいアタカマ高地のユニークな特長を活かし、サブミリ波銀河に対する高い探査能力を実現することのできる望

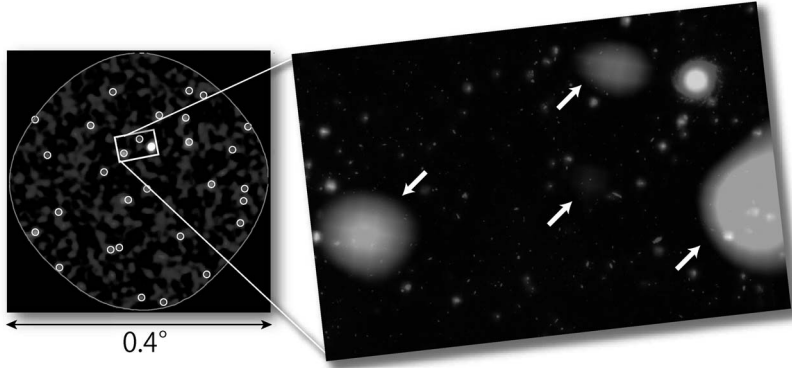


図4 原始銀河団領域 SSA22 の 1.1 ミリ波イメージ。視野は差し渡し 0.4 度 (満月 2/3 の大きさに相当)。色が明るいほど、サブミリ波の放射強度が強いことを示しており、一度に 30 個のサブミリ波銀河が検出されていることが確認できる (丸印)。右図は、SSA22 原始銀河団中心領域の拡大画像で、サブミリ波画像に赤外線画像、および可視光画像を重ねて示した。可視光線ではとらえることの難しい爆発的星形成銀河を克明に描き出している。画像では四つのサブミリ波源が見えている (矢印)。

遠鏡である。

そんな ASTE に、新型カメラ AzTEC*1 の搭載の提案が米国マサチューセッツ大学から舞い込んできたのは 2006 年夏のことだった。彼らは J. C. マクスウェル望遠鏡での大規模なサーベイを成功させたばかりだった^{24)~26)}。まさに千載一遇のチャンス。ASTE チームと AzTEC チームは共同研究の合意を結んだ。明くる年、速やかに望遠鏡への搭載作業とさまざまな評価試験が完了し、2007 年 7 月にいよいよ科学観測が開始された。まさに空前の大規模サブミリ波サーベイプロジェクトの火蓋が切って落とされたのである。

7. 群れ集まるサブミリ波銀河たちを発見

2007 年 8 月夕刻、筆者の乗った飛行機は砂漠のまっただ中の空港へと着陸した。トラップを下りると目に飛び込んできたのは、雲一つない青い空、地平線ぎりぎりから強烈に照りつける太陽だ。夕焼けなどない。わずかに赤く色づいた地平

線は迫りくる漆黒の夜空に速やかに吸い込まれていく。

ここは、南米チリ・アンデス山中の街、カラマである。カラマは古くから銅鉱山として栄え、現在でも多くの鉱山労働者と世界各国からやってきたビジネスマンたちでにぎわう。そのカラマから 100 km ほど南東へ進んだサンペドロ・デ・アタカマという村に、私たちの ASTE オフィスがある。

筆者らの観測チームは、ASTE 望遠鏡を用いて 0.1 平方度を超える SSA22 領域の広域画像の取得を開始した。観測シーズン中は、2 日に一度、100 kg を超える液体ヘリウムタンクを倉庫から引っ張り出し、地上 6 m の受信機キャビンに液体ヘリウム転送管を這わせ、カメラに液体ヘリウムを充填する必要がある。何がつらいかというと、標高 4,800 m、氷点下 5 度、風速 10 m の屋外作業を余儀なくされることだ。高山病と寒さにさいなまれながらも、しかし私たちは興奮に包まれていた。なにせこのような深探査自体が初めてである。

*1 Astronomical Thermal Emission Camera (AzTEC) は波長 1.1 ミリで観測を行う 144 素子ボロメーターカメラである³⁰⁾。米国マサチューセッツ大学、メキシコ国立天文学・光学・電子工学研究所 (INAOE) ほかが開発・運用を行ってきた。現在 AzTEC はメキシコの大型ミリ波望遠鏡 (LMT) への搭載準備が進んでいる。なお、aztec とはかつてメキシコに栄えたアステカ文明を指す「アステカの」という意味の英語である。

いったいどんな銀河が検出されるのか、日を追うごとにアップデートされていくサブミリ波イメージを、固唾を呑んで見守った。

14 晩、合計約 40 時間を投じて得られた画像が図 4 である*2。実に過去に得られた観測面積の 20 倍もの広さに達する。非常に希有であるサブミリ波銀河候補天体が一度に 30 天体検出されている。SCUBA の視野をまるで避けるかのように明るいサブミリ波銀河が分布しているのはご愛嬌といったところだろうか。

SSA22 原始銀河団はライマン α 輝線銀河で特徴づけられる。この銀河種族は、サブミリ波銀河とどう関係しているのだろうか*3。AzTEC イメージの視野には 30 個のサブミリ波銀河と 166 個のライマン α 輝線銀河が含まれている。しかし、「サブミリ波銀河かつライマン α 輝線銀河」という条件を満たす天体は一つもなかった。さらに、ある統計的手法を用いてライマン α 輝線銀河の平均的なダスト質量を推定すると、サブミリ波銀河のダスト質量よりも 2 桁以上も軽いことがわかった。ライマン α 輝線銀河に対するダストの観測はこれまでに 3 例報告されている^{27)–29)}。筆者らの結果はそれらのいずれよりも深い制限を与えている。

筆者は明るいサブミリ波銀河がある特定の方向に群れ集まっていることに気づいた。その方向はライマン α 輝線銀河の過密地帯が存在する場所のように見えて仕方がない。本当だろうか。図 5 は両者の広域的な分布の相関を定量する 2 点角度相互相関関数である。5 分角以下のスケールで相関関数が正に振れている。これは、サブミリ波銀

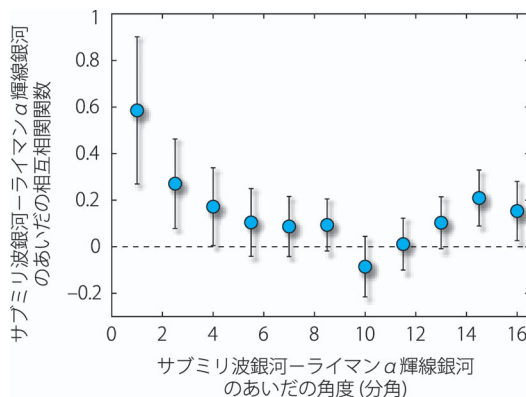


図 5 サブミリ波銀河とライマン α 輝線銀河の間の 2 点角度相互相関関数。二つの銀河種族の広域的分布が似ている場合のみ、相互相関関数は正の値を示す。相互相関関数が 5 分角以下で正の値を取っていることから、これらの全く異なる銀河種族が共存（共形成）している可能性を示唆する。なお 1 分角は、1 度の 60 分の 1。

河とライマン α 輝線銀河の間の距離が短い (5 分角以下の) ペアの数、完全に無関係な (ランダムな) 二つの統計的母集団に期待されるペアの数よりも有意に大きい、ということを示している。

これらの観測事実をもっと簡単に言うと、サブミリ波銀河はライマン α 輝線銀河と全く異なる性質を示しているにもかかわらず、広域的には両者の分布が類似している (相関している) ことがわかったのである。

8. 原始銀河団という巨大銀河たちのゆりかご

これらの観測事実をナイーブに解釈すると、次のような説明は成り立たないだろうか。

*2 ただし、その後 2008 年シーズンにもさらに領域を拡大してデータの取得を行っている。新しい結果についてはまた別の機会に。

*3 ライマン α 輝線は、ダストが存在するとすぐに遮蔽されてしまう。このため、ライマン α 輝線銀河とサブミリ波銀河が異なる種族なのは当たり前じゃないか、という方もいらっしゃるであろう。しかしそれは自明ではない。事実、サブミリ波銀河に対する大規模な可視光分光サーベイでは約半分 (47%) のサブミリ波銀河からライマン α 輝線が検出されている⁷⁾。もちろん、分光が可能なほどに静止系紫外光が明るいサンプルにバイアスしている点には注意する必要があるが、それでも大量のダストとライマン α 輝線が共存するという観測事実は無視できないであろう。

銀河の密度が高いということは、暗黒物質の密度も高いことを意味する。そして、現代の構造形成理論が、暗黒物質の密度が高いところで非常に重い巨大銀河が誕生することを予想していたのは前述のとおりだ。本研究の結果は、天文学者たちが描く銀河形成のフレームワークに大筋で一致していることになる。さらに、高密度環境でしか生じえないサブミリ波銀河を目印にして、これまで知る手だての乏しかった高赤方偏移 (>2) における暗黒物質の広域分布を知ることができるかもしれない。本研究成果はサブミリ波銀河の研究を進展させたとして、2009年5月のNature誌に掲載された³⁰⁾。

筆者らは、他の天域に対しても過去に例を見ないほど大規模な観測をすでに完了しており、鋭意解析中だ。爆発的星形成を行うこれらサブミリ波銀河が普遍的に銀河の過密地帯に分布しているのか？ どの程度の質量の暗黒物質の塊(ハロー)にサブミリ波銀河が形成するのか？ どのようにして現在の大質量銀河へと進化するのか？ 謎は尽きない。今後はサブミリ波銀河に対する高精度の観測が重要になるだろう。

9. そしてALMAへ

開口合成型干渉計は1950年代に英国M. ライル卿が発明した画期的な観測技術であり、複数の望遠鏡をケーブルで結合することで、あたかも一つの望遠鏡として機能するように工夫された望遠鏡である。このとき、望遠鏡間の距離のうち最も大きいものが仮想的な望遠鏡の口径となる。そして口径が大きいほど望遠鏡の視力(分解能)が高い。したがって、開口合成型干渉計を用いれば、サブミリ波帯においてもおよそ1秒角を切る分解能を得ることができる。サブミリ波帯として世界唯一の開口合成型電波干渉計であるサブミリ波干渉計(SMA, ハワイ・マウナケア)が、サブミリ

波銀河の高分解能観測や赤方偏移決定の一翼を担っている。

しかし実は最近困ったことになっている。SSA 22 原始銀河団よりもさらに遠方、非常に若い宇宙(赤方偏移>5)でもなおサブミリ波銀河が宇宙全体の星形成活動の大部分を担っているとすれば、それは現在天文学者たちが信じている銀河形成の標準モデルに強力な異議を突き付けることになると言われている³¹⁾⁻³⁵⁾。ところが、SMAで正確な位置が決められたサブミリ波銀河の赤方偏移記録がここ最近わずか1年あまりで次々と更新され、いまや赤方偏移5の壁を破らん勢いである³⁶⁾⁻³⁹⁾。果たして巨大銀河形成のシナリオは、5を超える赤方偏移で破綻しているのか。さらなる謎が浮上している。

幸運なことに、筆者らの手元には、文字どおり手に余るほどの膨大なサブミリ波銀河サンプルがある。そしてこれらのうち9割以上はその赤方偏移がわかっていない。これらのサンプルはもはやSMAでは手に負えない。現在開発が鋭意進行しているASTE搭載用新型超電導カメラを用いた多色同時撮像による赤方偏移推定がきわめて有力かつ効率的になるはずである。そして、これはALMA^{*4)}の部分運用開始時に真っ先に取り組むべき課題だ。今後のALMAの建設・評価試験の成功を願いつつ、筆を置くことにしたい。

謝辞

本研究は、川邊良平、河野孝太郎、中西康一郎、廿日出文洋、伊王野大介、Grant Wilson, Min Yun, 高田唯史、松田有一、濤崎智佳、江澤元、Thushara Perera, Kim Scott, Jay Austermann, David Hughes, Itziar Aretxaga, Aeree Chung, 大島泰、山口伸行、田中邦彦各氏との共同研究であり、ASTEチーム、AzTECチームの協力がなければ実現しなかった。この場をお借りして深く感謝し

*4 アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA, アルマ)は、日本・北アメリカ・ヨーロッパ・チリの諸国が協力して、ASTE望遠鏡サイトの近くに建設が進む大型電波望遠鏡である。

たい。本稿執筆のお誘いをいただき、また本研究についても重要なご議論をいただいた児玉忠恭氏に厚くお礼を申し上げたい。本研究成果の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金・特別推進研究（研究題目：超広帯域ミリ波サブミリ波観測による大規模構造の進化の研究，研究代表者：河野孝太郎），および筆者の日本学術振興会特別研究員奨励費により得られたものである。

参考文献

- 1) Blain A. W., Longair M. S., 1993, MNRAS 264, 509
- 2) Tanvir H., et al., 2009, GCN Circulars 9219
- 3) Smail I., et al., 1997, ApJ 490, L5
- 4) Hughes D. H., et al., 1998, Nature 394, 241
- 5) Barger A. J., et al., 1998, Nature 394, 248
- 6) Blain A. W., et al., 2002, Phys. Rep. 369, 111
- 7) Chapman S. C., et al., 2005, ApJ 622, 772
- 8) Greve T., et al., 2005, MNRAS 359, 1165
- 9) Iono D., Tamura Y., et al., 2006, PASJ 58, 957
- 10) Tamura Y., Iono D., 2007, AstHe 100, 529
- 11) Alexander D. M., et al., 2005, Nature 434, 738
- 12) Brandl B. R., et al., 2009, ApJ, in press
- 13) Mo H. J., White S. D. M., 1996, MNRAS 282, 347
- 14) Cole S., et al., 2000, MNRAS 319, 168
- 15) Stevens J. A., et al., 2003, Nature 425, 264
- 16) Daddi E., et al., 2009, ApJ 695, L176
- 17) Steidel C. C., et al., 1998, ApJ 492, 428
- 18) Hayashino T., et al., 2004, AJ 128, 2073
- 19) Matsuda Y., et al., 2005, ApJ 634, L125
- 20) Chapman S. C., et al., 2003, ApJ 585, 57
- 21) Blain A. W., et al., 2004, ApJ 611, 725
- 22) Scott S. E., et al., 2006, MNRAS 370, 1057
- 23) Ezawa H., et al., 2004, Proc. SPIE 5489, 763
- 24) Scott K. S., et al., 2008, MNRAS 385, 2225
- 25) Perera T. A., et al., 2009, MNRAS 391, 1227
- 26) Austermann J. E., et al., 2009, MNRAS 393, 1573
- 27) Dunne L., et al. 2003, MNRAS 341, 589

- 28) Webb T. M. A., et al., 2007, ApJ 659, 76
- 29) Boone F., et al., 2007, ApJ 475, 513
- 30) Tamura Y., et al., 2009, Nature 459, 61
- 31) Granato G., et al. 2004, ApJ 600, 580
- 32) Baugh C. M., et al. 2005, MNRAS 356, 1191
- 33) Hopkins P. F., et al. 2005, ApJ 630, 705
- 34) Bower R. G., et al., 2006, MNRAS 370, 645
- 35) Swinbank A. M., et al., 2008 MNRAS 391, 420
- 36) Capak P., et al., 2008, ApJ 681, L53
- 37) Coppin K., et al., 2009, MNRAS, in press
- 38) Daddi E., et al., 2009, ApJ 694,1517
- 39) Cowie L. L., et al., 2009, ApJ 697, L122
- 40) Wilson G. W., et al., 2008, MNRAS 386, 807

A Discovery of a Cluster of Starburst Galaxies 11.5 Billion Light-Years Away

Yoichi TAMURA

Nobeyama Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, Nobeyama 462-2, Minamimaki, Minamisaku, Nagano 384-1305, Japan

Abstract: Since the first discovery of a mysterious galaxy population—submillimeter galaxies—a decade ago, astronomers have almost reached a common understanding that they are distant massive dust-obscured starburst galaxies, which should take place only at high-density peaks of growing dark matter structures such as proto-clusters of galaxies. Our new wide and deep millimeter-wavelength survey towards a distant proto-cluster revealed a dozen submillimeter galaxies clustering around the core of the proto-cluster. This does not only support the prediction about formation of the most massive galaxies, but also demonstrates the potential of submillimeter galaxies as signposts of cosmic large-scale structures.