

# コスモスな日々，再び<sup>a</sup>

## —突然，星を作らなくなった銀河の発見： 100億年前，銀河に何が起こったのか？<sup>b</sup>—



谷口義明

谷口義明・小林正和・鍛冶澤賢・  
長尾透・塩谷泰広

〈愛媛大学・宇宙進化研究センター 〒790-8577 松山市文京町2-5〉

e-mail: tani@cosmos.ehime-u.ac.jp

私たちの住む天の川銀河のような銀河は，138億年前の宇宙誕生後数億年が経過した頃に誕生しました。そして，宇宙の年齢が20から30億歳の頃に，銀河では爆発的に星が生まれ，その後は星を作らずに静かに進化してきたことがわかっています。では，なぜ星の生成が止まったのか？ また，星生成を止めたばかりの銀河はどこにあるのか？ これらの答えを求めて私たちは100億光年彼方の宇宙で，これまでにない大規模な輝線銀河の探査を行いました。そして，ついに「まさに星の生成が止まりつつある」銀河を発見することができました。星生成が止まるタイムスケールを評価してみると，わずか数千万年であることがわかりました。銀河の年齢は約130億歳ですから，それに比べたら星生成の停止は一瞬の出来事といってもよいでしょう。今回の発見で，銀河の初期進化の全貌がようやく見えてきました。すばる望遠鏡による広域輝線銀河探査の大きな成果です。

### 1. はじめに

宇宙年齢が138億歳である現在の宇宙を眺めると，たくさんの美しい銀河があります(図1)。楕円銀河や，渦巻銀河でも大きな質量(太陽の質量の数百億倍以上；太陽質量 $=2 \times 10^{30}$  kg)をもつ銀河は100億年以上前に生まれた古い星々でできています。これら的大質量銀河は，現在ではほとんど星を作ることなく，穏やかに進化しています。

これら的大質量銀河にある星々はいつ頃作られたのでしょうか？ 宇宙にある多数の銀河を調べてみると，銀河は宇宙年齢が30億歳の頃までに活発に星を作っていたことがわかっています<sup>1)</sup>(図2)。したがって，これら的大質量銀河でも若い頃には活発に星を作っていたと考えられています。

しかし，不思議なことに，現在的大質量銀河には100億年前に生まれた軽い星々しか残っていま

<sup>a</sup> 『コスモスな日々』は以下の天文月報に掲載されました。

第1話 2004年10月号578-585頁， 第2話 2005年2月号90-98頁， 第3話 2005年5月号327-335頁， 第4話 2006年1月号34-43頁， 第5話 2006年7月号372-380頁， 第6話 2007年8月号408-416頁， および番外編『コスモスな日々—2108』(2007年12月号天文月報100巻記念特集号21-27頁)

<sup>b</sup> 本研究成果は日本天文学会2015年秋季年会でプレスリリースされたものです。本稿は報道関係者の方々が理解しやすいように，可能な限り平易な解説を心がけて書かれたものです。そのため，研究者の方々には少し易しすぎるかもしれませんが，日本天文学会には多くの一般会員の方々がおられますので，プレスリリース用の資料に基づく原稿のままとさせていただきます。

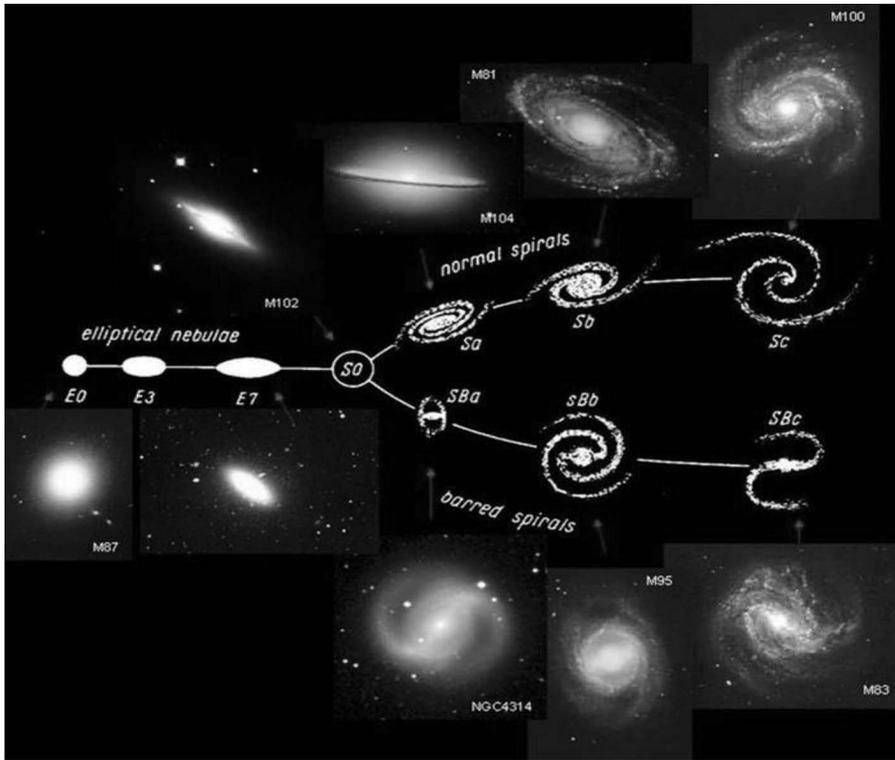


図1 近傍の宇宙にあるさまざまな形をした銀河。図中、左側にあるE0からE7と記された銀河は、見かけが楕円のように見えるので楕円銀河と呼ばれています。その右側には渦巻銀河が示されていますが、円盤部に棒状の構造があるかどうかで、二つの系列に分かれています。楕円銀河と渦巻銀河の中間に位置するS0銀河は、円盤構造はあるものの、渦巻がない銀河です。

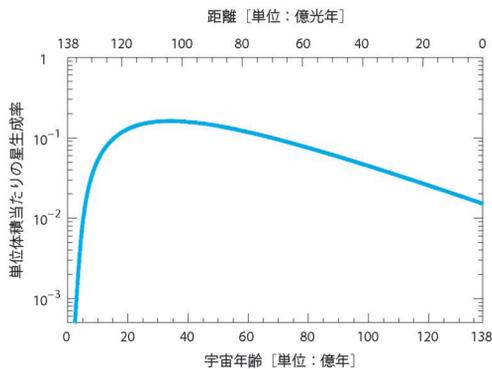


図2 宇宙における星生成の歴史の概略図。

せん。つまり、大質量銀河は今から100億年前に、突然星を作らなくなったのです。星はガスからできています。星を作る材料であるガスは100億年前の銀河にもあったはずですが、それにもかかわら

ず大質量銀河は突然星を作ることを止めたとしたか考えられないのです。この問題は『星生成抑制問題』と呼ばれ、現在、天文学の大きな謎になっています<sup>2), 3)</sup>。銀河の進化を理解するためには、どうしてもこの問題を解決する必要があります。

100億光年彼方の宇宙を調べると、多くの銀河は活発に星を作っています。しかし、なかには星を作るのを止めた銀河もあります。問題なのは、星を作るのを止めつつある銀河が観測されないことです。なぜ、星を作るのを止めるのか？この問題を解決するには、星を作るのを止めつつある銀河を実際に見つけて、その銀河で何が起きているのかを明らかにする必要があります。

今回私たちは、すばる望遠鏡を使って約100億年前の銀河の大規模探査を行う中で、まさに“星

を作ることを止めつつある銀河”を捉えることに世界で初めて成功しました<sup>4)</sup>。

間分布などの研究の発展に大きな貢献をしてきています。

## 2. コスモスな日々

コスモス・プロジェクト<sup>5)</sup>はハッブル宇宙望遠鏡の基幹プログラム<sup>c</sup>“宇宙進化サーベイ (The Cosmic Evolution Survey)”の略称です。観測天域は“ろくぶんぎ座”方向に設定された2平方度(1.4°×1.4°)の広さの天域です(以下ではコスモス天域と呼びます: 図3)。図3を見るとわかるように、2平方度という広さは満月9個分をカバーする広さになります。ハッブル宇宙望遠鏡による観測は高性能サーベイカメラ(ACS)を用いて2003-2005年の期間で行われました。ハッブル宇宙望遠鏡以外にも、すばる望遠鏡や他の波長帯の高性能望遠鏡を総動員してX線から電波まで素晴らしいデータが得られています。すでに100論文以上の研究成果を出し、銀河、巨大ブラックホール、宇宙の大規模構造、そして暗黒物質の空

## 3. コスモス20

私たちはコスモス・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、スプリーム・カムを用いた撮像サーベイ観測を行ってきました。20枚のフィルターを用いたので、このプロジェクトをコスモス20と呼んでいます<sup>6),7)</sup>。遠方の銀河を探索するためには、いくつかの光学フィルター(ある波長帯の光だけ透過して撮像するための装置)を組み合わせる撮像観測を行います。まず、光学フィルターについて説明しておきましょう。天体の撮像観測(直接写真を撮ること)の場合、ある波長範囲の撮像データを集め、それらを解析することで天体の性質を調べます。この目的のために用いられるのが光学フィルターです。図4に可視光帯のフィルターの例を示します。このフィルターの場合、天体からやってくる

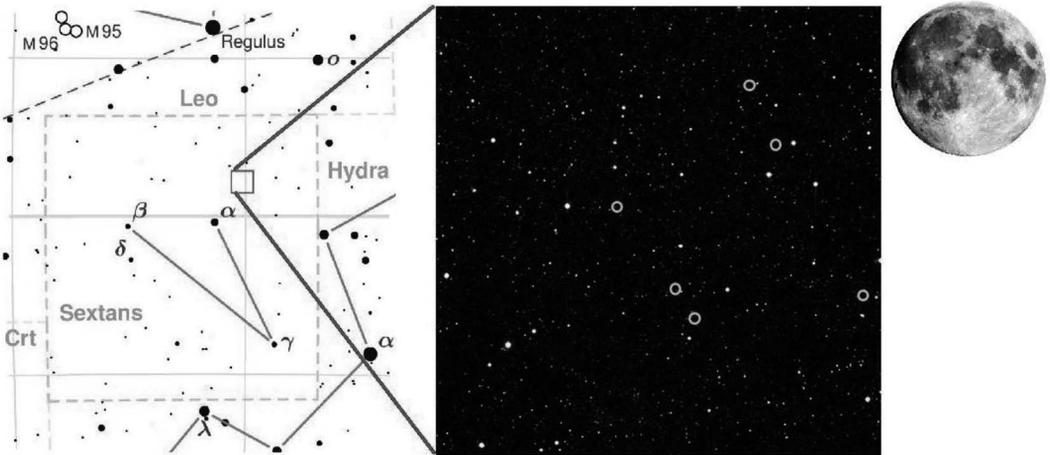


図3 (左) ろくぶんぎ座にある「コスモス天域」(星図はTorsten Bronger氏提供)。(右)すばる望遠鏡で撮影されたコスモス天域の可視光写真。○印はマエストロ銀河の位置。星のように見える天体のほとんどすべては、銀河系の外にある遠方の銀河です。広さのスケールがわかるように、月(見かけの大きさは約0.5°)を右上に示してあります。

<sup>c</sup> 一般の観測プログラムではなく、大規模観測用に特別に差配されたプロジェクトとして推進される観測プログラム。英語名はTreasury Program.

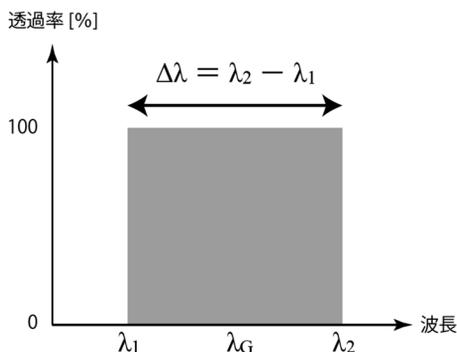


図4 光学フィルターの透過曲線の例.

表1 光学フィルターの分類.

光学フィルターの分類	R
広帯域フィルター	5-10
中帯域フィルター	20-25
狭帯域フィルター	50-100

光のうち、 $\lambda_1$ から $\lambda_2$ の波長範囲にある光だけを透過します。重心波長を $\lambda_G$ としています。

フィルターの帯域は $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ で与えられます。帯域幅の広さの目安として、次の波長分解能（スペクトル分解能）が使われます。

$$R = \lambda_G / \Delta\lambda$$

フィルターはこのRの値によって、広帯域、中帯域、および狭帯域フィルターに分類されます。分類基準を表1にまとめて示します。

一般の撮像観測に用いられるのは広帯域フィルターです。また、ある輝線（スペクトル線）を効率よく捉えたいときは狭帯域フィルターが用いられます。中帯域フィルターはそれほど普及しているわけではありませんが、以下の目的のために使用されます。

- ・強い輝線天体の探査を行う
- ・銀河の距離を撮像データだけで精度良く決める<sup>d</sup>。

ここでは強い輝線天体の探査に的を絞って、

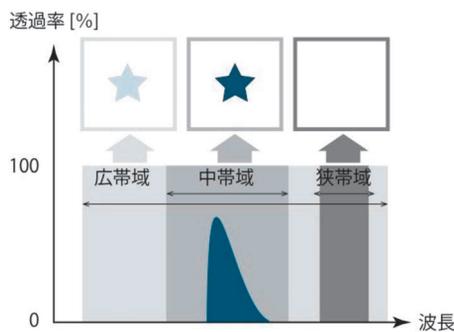


図5 3種類のフィルターの特長. この図では強い輝線が中帯域および広帯域フィルターのカバーする帯域に入っています。強い輝線が狭帯域フィルターのカバーする帯域に入ると、もちろん強い輝線天体として検出されます。ただし、カバーしている帯域が狭いので、検出確率は低くなります。

3種類のフィルターの役割を説明します。図5に広帯域、中帯域、および狭帯域フィルターの透過曲線の例を示しました。ある波長に強い輝線があるとします（図中の青い縦長の三角で示してあります）。広帯域フィルターで観測した場合、帯域幅が広いので輝線以外の波長帯の光で薄まってしまう、淡くしか写りません（図中、左上の画像）。中帯域フィルターで観測した場合、ちょうど輝線をうまく捉えているので、明るく写ります。一方、狭帯域フィルターで観測した場合、図の例では輝線の波長帯をカバーしていないので、全く写りません。

これらをまとめると以下ようになります。

- (1) 広帯域フィルターは輝線天体の探査には向かない
- (2) 中帯域フィルターは狭帯域フィルターに比べてカバーしている波長範囲が広めなので、強い輝線天体の探査に向いている

上記の項目(2)は、中帯域フィルターのほうが狭帯域フィルターに比べて、観測している波長帯が広いので、より広い宇宙を探査していることを

<sup>d</sup>測光赤方偏移と呼ばれます。銀河の距離の測定は、一般的には、分光観測を行い、あるスペクトル線がどの程度赤方偏移しているかを調べることで行われます（分光赤方偏移）。

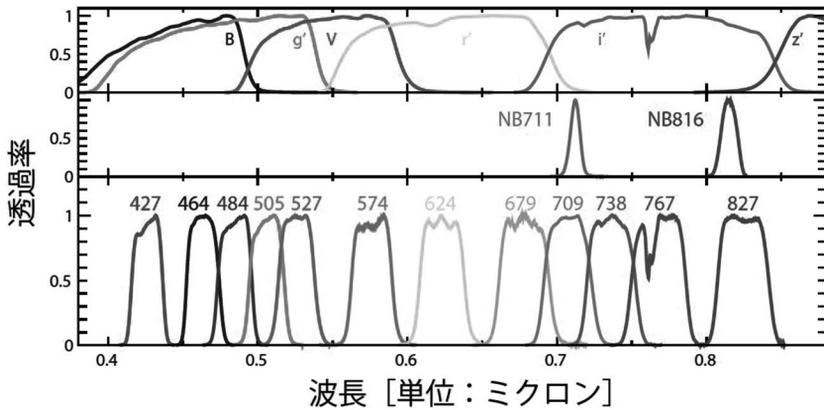


図6 コスモス20プロジェクトで用いられた20枚の光学フィルターの透過曲線。マエストロ銀河の発見に貢献した12枚の中帯域フィルターの透過曲線は下段に示されています。それぞれの透過曲線の上に記されている3桁の数値はフィルターの中心となる波長<sup>c</sup>で、ナノメートル(10<sup>-9</sup>メートル)の単位が用いられています。広帯域と狭帯域フィルターの透過曲線はそれぞれ上段と中段に示されています。

意味します。したがって、強い輝線天体を広域サーベイしたい場合、中帯域フィルターのほうがより効率良い探査を可能にします。今回の私たちの観測は、まさにこれを狙って行われました。

私たちの「コスモス天域」の撮像観測では6枚の広帯域フィルター、2枚の狭帯域フィルターに加え、世界ではほとんど使われていない中帯域フィルター(カバーする波長帯の帯域幅が広帯域と狭帯域の中間的なフィルター)を12枚も使用しました(図6)。合計20枚のフィルターを使うのでコスモス20プロジェクトと呼ばれています。

#### 4. ライマンαエミッター

激しい勢いで星を作っている銀河は、質量の大きな星から放射される強烈な紫外線で電離され、特徴的なスペクトル線(輝線)を放射します。

遠方の銀河の場合、水素原子の放射するライマンα輝線(図7)が特に強く観測されます。まず、水素原子のライマンα輝線放射について説明して

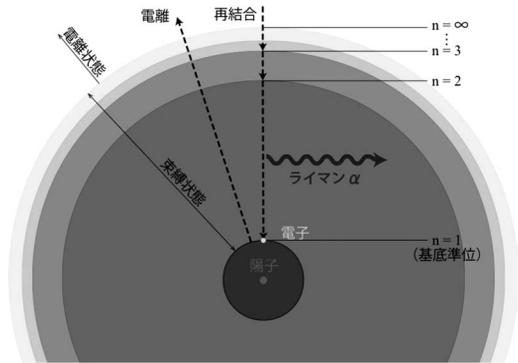


図7 水素原子の電離と再結合に伴う再結合線の放射原理。遠方の宇宙で、ライマンα輝線で輝いている銀河はライマンα輝線銀河<sup>10)</sup>(通常は、ライマンαエミッター, Lyman α emitterなのでLAEと略されます)と呼ばれます。今までの探査では、ライマンα輝線を効率良く検出するために、狭帯域フィルターが使われてきました。狭帯域フィルターを用いるとライマンα輝線銀河を効率良く検出できますが、フィルターの帯域幅が狭いので、広い体積を調べることができないというデメリットがあります。

<sup>c</sup> 中帯域フィルターは英語ではintermediate band filterです。狭帯域フィルターはnarrow band filterなのでNBと略されるので、これに従うと中帯域フィルターはIBとなります。しかし、すばる望遠鏡の主焦点カメラであるスプリーム・カム用の中帯域フィルターとして最初のフィルター・システムであるためIAフィルターと呼ばれています<sup>8),9)</sup>(IA427など)。

おきましょう。水素は陽子1個と電子1個からなる、最もシンプルな元素です。水素原子は波長91.2ナノメートルより短波長の紫外線にさらされると電離され、陽子と電子に分かれます。しかし、両者は再び結合し（再結合）、その際に再結合線と呼ばれる輝線を放射します（図7）。水素原子のエネルギー準位は飛び飛びの値をもっており、最もエネルギーの低い状態が基底状態、それよりエネルギーの高い準位は励起準位と呼ばれます。陽子と電子があるエネルギー準位に再結合すると、最終的には最もエネルギーの低い基底状態まで遷移していきます。第2励起準位（図中の $n=2$ ）から基底状態（図中の $n=1$ ）に遷移するとき放射されるスペクトル線（輝線）がライマン $\alpha$ 線（波長=121.6ナノメートル）と呼ばれます。水素原子の再結合線の中で、ライマン $\alpha$ 線は最も強く放射されるスペクトル線です。

しかし、やはり広い体積を調べることはとても重要です。なぜなら、今まで知られていなかった銀河が見つかる可能性があるからです。遠方の宇宙に、どんな銀河があるのか？ 実際のところ、予測不能なことが多いものです。そこで私たちは、通常のリマン $\alpha$ 輝線銀河よりはるかに明るい銀河があるかもしれないと考え、「コスモス天域」で広域探査をすることにしました。その際用いたのが上述の12枚の中帯域フィルターです。これらのフィルターは波長では0.427ミクロンから0.827ミクロンをカバーし、ライマン $\alpha$ 輝線銀河の距離に換算すると112億光年から128億光年を一挙にカバーします（図8）。「コスモス天域」の広さは2平方度もあるので、今までにないライマン $\alpha$ 輝線銀河の広域探査が実現しました。

この結果、私たちの探査で、人類が今まで目にしたことのない、不思議な性質をもつ銀河が見つかりました。ライマン $\alpha$ 輝線銀河であることは確かなのですが、これらの銀河は次の五つの性質を

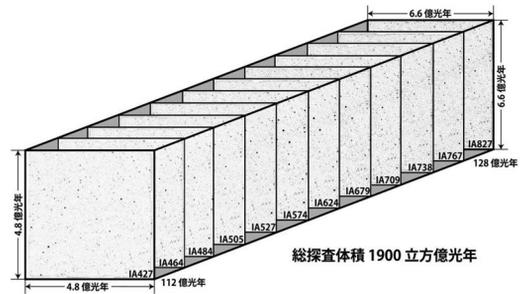


図8 コスモス20プロジェクトの12枚の中帯域フィルターによる広域探査でライマン $\alpha$ 輝線銀河を探査した領域。この図に示されている各中帯域フィルターの画像は観測で実際に得られた画像です。1立方億光年は1億光年×1億光年×1億光年の立方体の体積。

示します。

- (1) ライマン $\alpha$ 輝線が異常に強い
- (2) 大質量銀河である（太陽の300億倍以上の質量）
- (3) 銀河にはライマン $\alpha$ 輝線を放射する元になる大質量星が少ない
- (4) ライマン $\alpha$ 輝線は銀河を取り巻くように広がっている
- (5) 活動銀河核を有する証拠がない

私たちこれらの性質を示すライマン $\alpha$ 輝線銀河を6個発見し、「マエストロ銀河<sup>f</sup>」と名づけました（図9）。

では、なぜマエストロ銀河は不思議な銀河なのでしょう。それは上にあげた性質のうち、(1)と(3)が矛盾するからです。つまり、マエストロ銀河は強いライマン $\alpha$ 輝線を示しているにもかかわらず、比較的古い年齢の星の割合が高いのです。この性質は次の二つの可能性を示唆します。

- (I) 活発な星生成が止まった直後
- (II) 星生成はまだ続いているが、星生成率が急激に減少している最中

宇宙にあるほとんどの銀河は、

- ・星生成を続けている銀河（星生成銀河）

<sup>f</sup> マエストロ=MAESTLO (MASSive Extremely STRong Lyman $\alpha$  Objectの略)。英単語としてあるマエストロはmaestroです。音楽家や芸術家の敬称として使われる言葉ですが、スペルが異なるのでご注意ください。

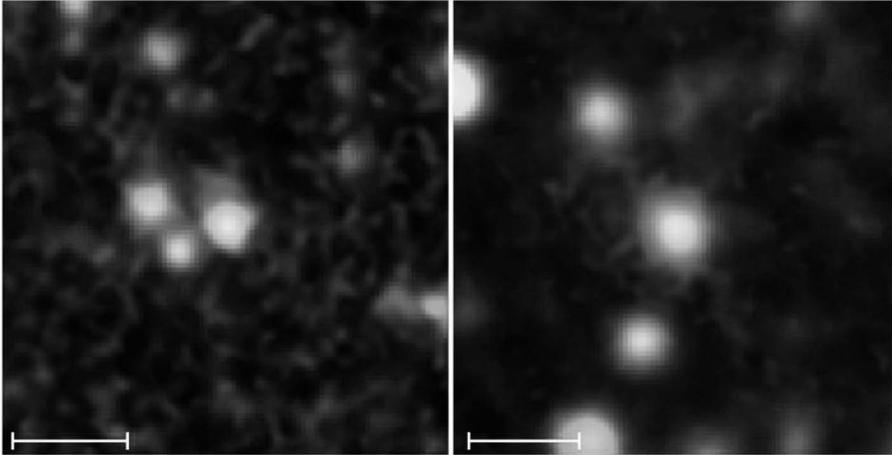


図9 マエストロ銀河の例. 各図ともに中央部に写っている銀河で、その周りに拡がっているのがライマン $\alpha$ 輝線で見える電離ガス. 各画像は一辺15秒角 $\times$ 15秒角の範囲を表示しており、図中の横棒は10万光年に対応. 上が北、右が西.

- ・星生成をしていない銀河（いわゆる「パッシブ銀河<sup>g)</sup>」）

の2種類に分類されます. しかし、マエストロ銀河はこれら2種類のいずれにも該当しません. つまり、(3)の性質から、マエストロ銀河は上記の(I)か(II)のフェーズにいる銀河です. つまり、星生成銀河から星生成をしていない「パッシブ銀河」へと進化しつつある銀河だったのです(図10).

銀河は数百万から数千億個の星の集団です. 銀河の中の星々は、最初からあったわけではなく、銀河の誕生とともにガスから作られてきたものです. つまり、銀河の進化とは「ガスから星を作ってきた歴史」と考えることができます. そのため、銀河の進化を特徴づける物理量として、次の二つがよく使われます.

- ・銀河の星質量: 銀河に含まれる星々の総質量(単位=太陽質量)

- ・星生成率: 1年間当たり、どれだけの質量のガスが星になったかを示す量(単位=太陽質量/年)

図10で説明したように、これら二つの物理量は銀河の進化フェーズを理解するのにたいへん役立ちます.

私たちはなぜマエストロ銀河の存在に気づいたのでしょうか? すでに説明したように、星生成率-星質量関係(図10)を調べると、マエストロ銀河の存在に気がつきます. しかし、もっと直接的な証拠があります. それは“銀河の色”です.

マエストロ銀河は異常にライマン $\alpha$ 輝線が強い銀河として選択されているので、本来ならば活発に星を作っている銀河だと予想されます. その場合、大量に作られる大質量星のおかげで、銀河の色は青くなるはず<sup>h)</sup>です. 星生成率-星質量関係を調べて、変わった銀河がいることに気がついたので、どんな色をしているか調べてみました. す

<sup>g)</sup> 星生成をしていない銀河は、「活動的ではない」という英語のパッシブ (passive) という単語を用いて、専門用語では“passive galaxy”と呼ばれます. 対応する日本語訳で定着しているものはまだありませんが、「パッシブ銀河」のほか、「受動的銀河」と呼ばれることもあります.

<sup>h)</sup> 太陽の表面温度は約6,000度なので、黄色く見えます. 太陽より軽い星は表面温度が下がるので赤く見えます. 一方、大質量星は表面温度が3万度以上にもなり、真っ青な色をしています.

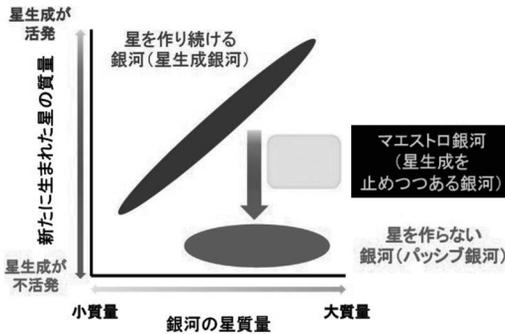


図10 銀河の中にある星の総質量（星質量と呼ばれます）と星生成率の分布。縦軸・横軸共に対数を持ちます。宇宙で見られる銀河のほとんどが星生成銀河と星生成をしていない「パッシブ銀河」に分けられ、その過渡期にある銀河は数が非常に少ないことが知られていました。マエストロ銀河の星質量と星生成率はまさにこの過渡期に位置しており、マエストロ銀河が星生成銀河から「パッシブ銀河」へ進化しつつある銀河であることがわかります。  
 [註] 新たに星が生まれているフェーズでは、銀河の星質量は単調増加します。そのため、この図では右上がりの系列が見えています。これを銀河の“主系列”と呼びます。星が作られなくなると、星生成率はゼロなので、図中では下の部分に銀河が分布することになります。

ると、青いどころか、逆に赤いことがわかりました。星は質量が重くなると表面の温度が高くなり、青く見えます。一方、質量が軽くなると表面温度が下がるので赤く見えます。銀河にはさまざまな質量を持つ（つまり、さまざまな色をもつ）星があるので、銀河の色はそれらを足し合わせた色になります。そのため、銀河の明るさをいろいろな波長で測ることで、その銀河がどのような質量の星からできているのかを推定することができます。星生成を続けている銀河では、大質量星もたくさんできているので、銀河の色は青くなります。したがって可視光より紫外線で明るく見えます。一方、星を作らないパッシブ銀河ではほとんどが小質量星なので、銀河の色は赤くなり、赤外線の方で明るく見えることになります。

図11に典型的な星生成銀河とパッシブ銀河の

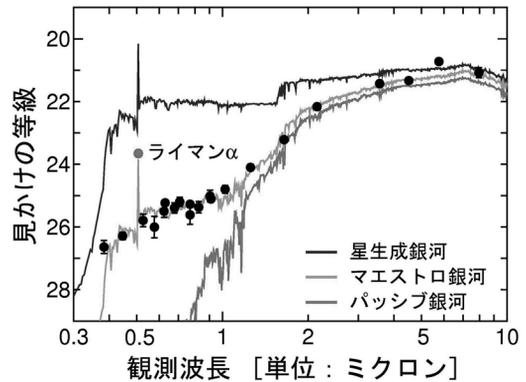


図11 マエストロ銀河と星生成銀河およびパッシブ銀河スペクトル・エネルギー分布の比較。黒丸は本研究で発見された一つのマエストロ銀河で実際に観測されたデータです。黒丸に沿う曲線はこれらのデータ点に最もよく合うスペクトル・エネルギー分布（理論的なモデル）です。ライマンαは中帯域フィルターの一つであるIA 505バンドで検出されていますが、非常に明るいことがわかります。

スペクトル・エネルギー分布と一緒にマエストロ銀河のスペクトル・エネルギー分布を示しました。マエストロ銀河は明らかにパッシブ銀河に近い性質をもつことが一目瞭然です。また紫外線の波長帯で少し明るいのは、大質量星は死にましたが中程度の質量をもつ星々が生き残っているためです。この図から、マエストロ銀河は星生成を突然止めて、パッシブな銀河へと移行中であることがわかります。

ここで謎が一つ出てきます。マエストロ銀河では星生成が止まりつつあり、それまでに作られた多数の寿命の短い大質量星の個数が激減している進化段階にいます。ライマンα輝線は水素原子が電離されているガスの中で放射されます。この電離ガスを作る主たる要因は大質量星の放射する電離紫外線です。つまり、強いライマンα輝線は本来なら大質量星がたくさんあることを意味します。ところが、マエストロ銀河には肝心の大量星が少なのです。それにもかかわらず、なぜライマンα輝線が異常に強いのか？ これは大問題

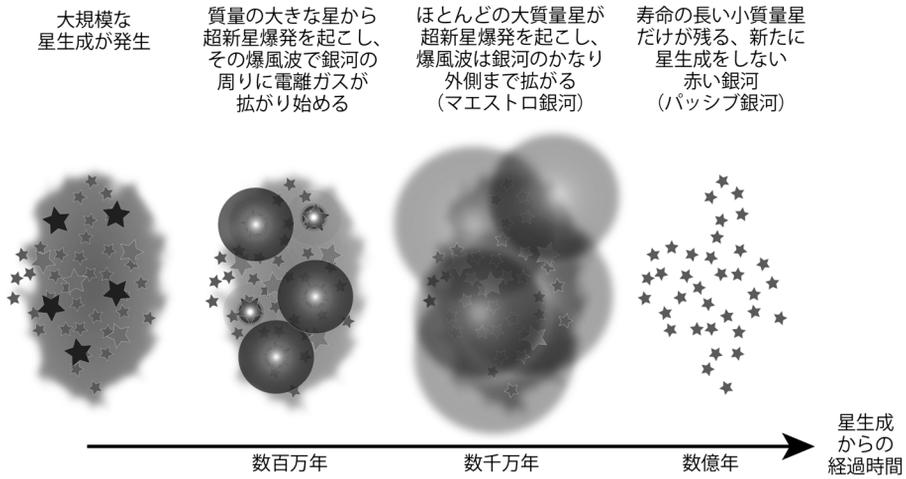


図12 星生成銀河からマエストロ銀河を経てパッシブ銀河へ進化する様子。

です。解決の糸口はマエストロ銀河の性質の一つである(4)です。つまり、ライマン $\alpha$ 輝線が銀河本体を取り囲むように拡がっていることです(図9参照)。星生成が終わりつつあるということは、それまでに作られた多数の大質量星がすでに超新星爆発を起こして死んでいることを意味します。超新星爆発は莫大なエネルギーを放出するので、多数の超新星爆発が起こると相乗効果で爆風波となり、銀河本体から風が吹き出すように逃げています。スーパーウインド(あるいは銀河風)と呼ばれる現象です。スーパーウインドは銀河の中にあつたガスを銀河の外に押し出しますが、そのときの衝撃で水素ガスは電離されてライマン $\alpha$ 輝線を放射します。これにより、マエストロ銀河の外側でライマン $\alpha$ 輝線が強く見えることを説明することができます。一方、スーパーウインドは星の材料であるガスを銀河の外に吹き飛ばすので、銀河の中には星の材料となるガスがなくなり星生成が止まります。このようにスーパーウインド説を採用すると、マエストロ銀河の性質を自然に説明することができます(図12)。

### 5. 星生成抑制問題への挑戦

以上のように、100億年前の宇宙にあるライマ

ン $\alpha$ 輝線銀河の大規模探査を行う中で、「星生成を止めつつある銀河」であるマエストロ銀河を思ひがけず発見することができました。

では、なぜ今までの探査では発見できなかったのでしょうか? 今回私たちはこれまでにない大規模な探査を行いました。発見されたマエストロ銀河はたった6個です。個数が少ないということは希な銀河であることを意味します。この“希さ”は統計的にはマエストロ銀河の状態にいる期間が短いことを意味します。この期間はマエストロ銀河と同程度の質量をもつパッシブ銀河の個数とマエストロ銀河の個数比から、数千万年程度であることがわかります。ただし、この値は下限値です。私たちの強輝線銀河探査の選択基準は厳しめにとっているからです。また、今回のサンプルには活動銀河核を有するものは入れていませんが、じつは活動銀河核を有するマエストロ銀河も10個程度発見しています。したがって、マエストロ銀河のライフタイムは2,3億年程度と考えたほうが良いでしょう。楕円銀河のスーパーウインド・モデルによると<sup>11)</sup>、マエストロ銀河程度の質量をもつ銀河で発生するスーパーウインドのタイムスケールはやはり2,3億年程度です。詳細な研究はこれからですが、タイムスケールの一致は



図13 COSMOSプロジェクトのチーム会議。  
ロシアのサンクトペテルブルクにて。  
マエストロ銀河の研究成果はヘルシンキから  
サンクトペテルブルクに向かうフェリーで開  
催されたCOSMOSプロジェクトのチーム会  
議で初めて発表された。

スーパーウインド説の傍証となります。

今回、このような短いタイムスケールの現象を  
発見できたのは、私たちの探査が従来のライマン  
 $\alpha$ 輝線銀河探査の10倍以上も広い体積を観測した  
からです。大規模探査の重要性を改めて認識する  
ことができました。

こうして、以下のような大質量銀河の進化の描  
像が見えてきました。

- ・大質量銀河は生まれてから10億年程度の間、  
活発な星生成を行う
- ・その後、大質量の星が寿命を迎える時点で  
スーパーウインドが発生し、星の材料であ  
るガスが銀河の外側に噴出される（マエス  
トロ銀河のフェーズ）
- ・大質量銀河は星生成を止め、静かに進化し続  
け（パッシブ銀河のフェーズ）、現在の宇  
宙で観測される楕円銀河などの大質量銀河  
になる

今後は、すばる望遠鏡の新しい主焦点カメラで  
あるハイパー・スプリーム・カムを使ってさらに  
多くのマエストロ銀河を発見し、揺るぎない銀河  
進化の描像を確立したいと考えています。また、  
個々のマエストロ銀河の周りの電離ガスの運動を



図14 COSMOS 2015チーム会議が開催された大型  
フェリー プリンセス・マリア号。  
ヘルシンキ発、サンクトペテルブルク行きで  
す。

詳細に調べ、スーパーウインド・モデルの立証を  
目指します。これにより、大質量銀河がなぜ突  
然、星生成を止めるのか、その物理過程を明快に  
理解できると考えています。

## 6. あとがき

私（谷口）はここ20年来、ディープ・サーベ  
イに関連する研究を主としてやってきました。  
“三日やったら、止められない”と言われる  
ディープ・サーベイですが、関心事は必然的に非  
常に遠方の銀河に限られてきます。なぜなら、探  
してみたいものは初代星、初代銀河、初代巨大ブ  
ラックホールだからです。赤方偏移 $z < 5$ だと、  
近傍宇宙の範疇に入るような感覚です。

今回の研究の対象は $z \sim 3$ の銀河なので、ずい  
ぶん新鮮な気持ちで研究を進めることができて楽  
しい日々を送りました。振り返ってみれば、大学

院生の頃は $z \sim 0$ の、まさに近傍銀河の研究を行っていたわけです。結局わかったことは

“どの $z$ にもお宝が潜んでいる”

ということです。これからも虚心坦懐に研究を進めていこうと、気持ちを新たにしました次第です。

### 謝辞

コスモス・プロジェクトのすべてのメンバーに感謝いたします。特に、Nick Scoville氏およびPeter Capak氏にはプロジェクトの牽引に対して深く感謝いたします。また、すばる望遠鏡のSuprime-Camチームのメンバーの方々にはコスモス天域の観測でたいへんお世話になりました。深く感謝いたします。なお、本研究は科学研究費補助金(15340059, 17253001, 19340046, 23244031, 23654068および25707010)のサポートを受けて行われました。深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) Bouwens R. J., Illingworth G. D., Oesch P. A., et al., 2015, ApJ 803, 34
- 2) Peng Y.-J., Lilly S. J., Kovač, K., et al., 2010, ApJ 721, 193
- 3) Brennan R., Pandya V., Somerville R. S., et al., 2015, MNRAS 451, 2933
- 4) Taniguchi Y., Kajisawa M., Kobayashi A. R. M., et al., 2015, ApJ 809, L7
- 5) Scoville N. Z., Aussel H., Brusa M., et al., 2007, ApJS 172, 1
- 6) Taniguchi Y., Scoville N. Z., Murayama T., et al., 2007, ApJS 172, 9
- 7) Taniguchi Y., Kajisawa M., Kobayashi M. A. R., et al., 2015, PASJ 67, 104
- 8) Hayashino T., Taniguchi Y., Yamada T., et al., 2000, SPIE 4008, 397
- 9) Taniguchi Y., 2004, in Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope, Proceedings of Japan-German Seminar, held in Sendai, Japan, July 24-28, 2001, Eds.: N. Arimoto and W. Duschl, 2004, p. 107-111
- 10) Finkelstein S. L., Padovici C., Dickinson M., et al., 2013, Nature 502, 524
- 11) Arimoto N., Yoshii Y., 1987, AA 173, 23

### Back to the COSMOS Days

#### —Discovery of Galaxies that Suddenly Stopped Their Star Formation at Redshift $z \sim 3$ —

Yoshiaki TANIGUCHI, Masakazu KOBAYASHI, Masaru KAJISAWA, Tohru NAGAO, and Yasuhiro SHIOYA

*Research Center for Space and Cosmic Evolution, Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan*

The star formation activity in galaxies appears to be peaked at redshift  $z \sim 3$  and then declines to the present day. What happened in galaxies at redshift  $z \sim 3$ ? Since cold gas is expected to accrete to a galaxy from its halo region, it is generally difficult to understand such sudden stop of the star formation. This is the so-called star-formation quenching problem at high redshift. During the course of our systematic search for very strong Lyman alpha emitters at high redshift with Suprime-Cam on the Subaru Telescope, we have serendipitously discovered a new population of galaxies in the HST COSMOS field; that is, massive extremely strong Lyman alpha emitting objects (MAESTLOs). The MAESTLOs show very strong, extended Lyman alpha emission but are dominated by passively evolving stars. It is thus suggested that their Lyman alpha emission is powered by the superwind activity after the intense starburst, implying that some massive galaxies at high redshift stopped their star formation due to the gas removal driven by the superwind.