

# ダークマターの空間分布の測定に世界で初めて成功

谷口 義明

愛媛大学大学院の谷口義明教授ら日米欧の研究チームが、宇宙空間におけるダークマター（暗黒物質）の3次元分布を世界で初めて明らかにした。銀河とよく似た分布が得られたことから、ダークマターが銀河の誕生と成長を促したという仮説を観測的に検証。宇宙進化の解明を大きく前進させるこの成果はNature 2007年1月18日号で発表され<sup>1</sup>、広く世界中に報道された。谷口教授に、発見の経緯やその意義、今後の展望などについて話を聞いた。

## 宇宙の目に見えない物質を重力レンズ効果で捕らえた

**Nature Digest** — ダークマターとは、どのような物質でしょうか？

**谷口** — 質量はあるけれども姿は見えない正体不明の物質、それがダークマターです。つまり、星や銀河とは異なり光も電波も出さないため、直接には観測できない物質です。1980年代後半になって、宇宙にある無数の銀河は均一に分布しているのではなく、個数密度の高い場所や低い場所があって泡状の構造になっていることが明らかになりました<sup>2,3</sup>。これを宇宙の大規模構造とよんでいます。この構造は、宇宙初期に生じた密度の小さなムラが成長することで進化したと考えられていますが、その構造ができるのに目に見える物質だけでは重力が足りず、時間がかかりすぎてしまうという問題点がありました。そのため、目に見える物質より数倍も質量密度の高いダークマターが存在し、ダークマターの密度のムラがまず濃くなっていくことで、ちりやガスがそこに引き寄せられて星や銀河が形成されたという仮説が生まれました<sup>4</sup>。

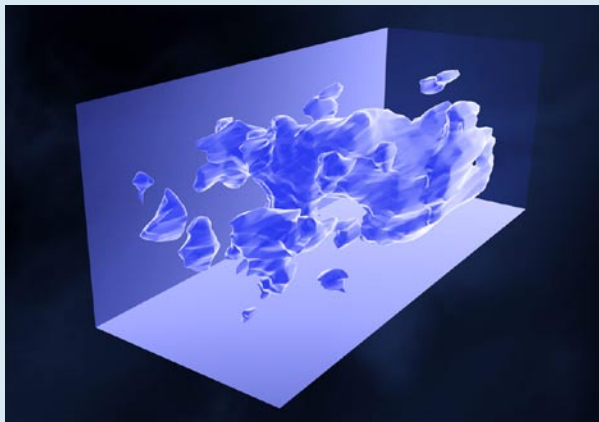


図1: COSMOS天域（ろくぶんぎ座方向）におけるダークマターの3次元マップ。左手前から右奥にいくほど地球から遠ざかり、最も右奥は約80億光年の距離にある。縦横は約2.4億光年。

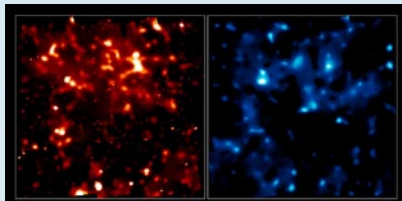


図2: COSMOS天域で見える銀河の分布（左）とダークマター（右）の分布。天球に投影した2次元分布だが、両者がよく似ていることがわかる。

**ND** — その見えないダークマターを今回、どのようにして捕らえたのですか？

**谷口** — ダークマターの重力によって、その背後にある銀河の形がゆがんで見える重力レンズ効果<sup>\*1</sup>という現象を利用しました。ろくぶんぎ座の方向にある約50万個もの銀河について、ハッブル宇宙望遠鏡でその形態とゆがみ方をIバンドの波長帯（814nmを中心100nm帯域をカバー）で詳細に観測することによって、ダークマターの質量を推定しました。一方、ハワイ島にある日本のすばる望遠鏡では可視光帯全域の観測を行い、それぞれの銀河までの正確な距離を測定しました。この結果をハッブル宇宙望遠鏡の結果と併せて解析すると、重力レンズ現象を引き起こしているダークマターまでの距離が推定でき、地球から80億光年先までのダークマター3次元マップを世界で初めて描くことに成功したのです（図1）。

**ND** — ダークマターもまた、大規模構造を形成していたのでしょうか？

**谷口** — そうです。そして、そのダークマターと銀河の分布を比較した結果、ダークマターの密度の高い場所に銀河が集まっていることが確認されました（図2）。これまでの研究では、ダークマターの存在は局所的に推定できる程度だったのですが、今回は、前述のダークマターの中で銀河が育ってきたという銀河形成論を観測的に検証したことになります。これはハッブル宇宙望遠鏡の基幹プログラムであるCOSMOSプロジェクト<sup>\*2</sup>による初期成果となります。

## 成功のかぎはハッブルとすばるの合わせ技

**ND** — 画期的な成果が得られた要因はどこにあるのでしょうか？

**谷口** — ハッブル宇宙望遠鏡とすばる望遠鏡という、2大望遠鏡のコラボレーションが功を奏した結果といえるでしょう。今回のプロジェクトでは、2平方度という9個分の満月がすっぽり入ってしまうほどの広い視野をカバーしなくてはなりません。ハッブルの高性能サーベイカメラは0.05秒角という高精度での撮像（地上望遠鏡の場合は0.5～1秒角）が可能ですが、視野がそれほど広くないので、観測は625回に分けて観測する必要がありました。そのため2003年から2年間にわたり、ハッブルのもつ観測時間の10%を使って観測が行われました。一方、すばるの主焦点カメラはハッブルの230倍という地上望遠鏡では最大の視野をもって、ハッブルの能力をうまく補うことができました。それでも、全部で30晩の観測時間を要する大規模な観測となりました。



谷口義明 (たにぐち・よしあき) / 愛媛大学大学院理工学研究科教授。理学博士。専門は銀河天文学。1954年、北海道生まれ。1978年、東北大学理学部天文学科卒業、1984年、同大学大学院理学研究科博士課程修了。1987年、東京大学東京天文台助手、1988年、東京大学理学部天文学教育センター助手。1991年、東北大学大学院理学研究科助教授を経て、2006年より現職。

1997年、欧州宇宙機関 (ESA) の赤外線宇宙天文台 (ISO) を用いて、人類初の中間赤外線 (波長  $7\ \mu\text{m}$ ) 帯でディープサーベイを成功させ、ダストに包まれた100億光年彼方の若い銀河を発見した。翌年には人類初のサブミリ波帯 ( $850\ \mu\text{m}$ ) でのディープサーベイも成功させ、ダストに

包まれた銀河研究のブームを引き起こした。2003年には米国超長基線電波干渉計を用いて、電波銀河の中心核に巨大ブラックホールバイナリーを世界で初めて発見。2003年から2005年にかけて、すばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて128.3億光年彼方の銀河を多数発見し、すばる望遠鏡を世界的に有名にした。主な著書に『宇宙を読む』(2006年中央公論社刊)、『暗黒物質の謎』(2005年講談社刊)、『キューサーの謎』(2004年講談社刊) などがある。

**ND** — 先生は、COSMOS プロジェクトの日本人で唯一の正式メンバーと聞いています。

**谷口** — ええ。COSMOSの正式メンバーは世界各国から集められた39名の研究者たちです。代表はカリフォルニア工科大学のニック・スコビル教授で、日本からは私が参加し、すばる望遠鏡による観測を担当しました。このようなビッグプロジェクトの1員として仕事をするのは、たいへん光栄なことだと思っています。失敗は許されないというプレッシャーはありましたが、幸運にも天候に恵まれ、極めて順調に観測することができて、ありがたかったですね。今回、最終的にすばらしい結果が得られたわけですが、正直に言って、当初はこれほどうまくいくとは思いませんでした。重力レンズ効果を用いた測定はある意味CTスキャンのようなもので、原理的にはもちろんできるはずなのですが、予想以上の成果が得られたという印象をもっています。銀河形成論のような大きなパラダイムを観測的に実証するというのはとてもむずかしいことです。それをやってのけたのは、やはりCOSMOSプロジェクトのすごさなのでしょうね。

### ダークマターの正体はあと数年で暴かれる

**ND** — COSMOS プロジェクトは今後、どのように進むのでしょうか？

**谷口** — 今回はハッブルとすばるがメインで、主に可視光帯を測定しましたが、今、いくつかの望遠鏡を使ってX線から電波まで全波長帯でのサーベイが進んでいます。例えば、X線だとCOSMOS天域にある銀河中心の巨大ブラックホールの分布を見ることができ、ブラックホールの成長史から宇宙進化を研究することができます。プロジェクトのキーであるダークマターについては、すばるでの観測がまだ継続しています。フィルターバンドの枚数を増やすことによって、銀河までの距離の測定精度をさらに上げていく予定です。現在はまだダークマターの形がモコモコとしていますが、2年先くらいにはもっとシャープな画像となって発表できると思います。

**ND** — ダークマターの正体は何なのでしょう？

**谷口** — ダークマターが実際にどんな粒子で、エネルギーや質量がどれくらいかという謎を解明するのは、素粒子物理学の研究分野になります。素粒子の性質を統一的に説明する理論から現在、有力候補として挙げられているのが、ニュートラリーノとアクシオン<sup>\*3</sup>とよばれる粒子です。その検出を目的としたさまざまな実験が、日本をはじめフランス、英国、アメリカなどで計

画されていて激しい競争となっています。実験の精度がかなり上がってきているので、私の予想ではあと数年で明らかになるのではないかと考えています。ところが実は、星や銀河など目に見える物質は宇宙全体を構成する物質とエネルギーの総量のわずか4%しか占めていないことがわかっています。ダークマターにしても約22%にしか過ぎません。残りの74%はダークエネルギーとよばれるこれまた仮想の存在です。ダークエネルギーは宇宙を加速膨張させる斥力を生み出すといわれていますが、その解明は極めてむずかしいようです。こちらの実体がわかるまでには、少なくともあと20~30年かかるでしょう。

**ND** — 最後に研究者をめざす若い人たちにメッセージをお願いします。

**谷口** — 研究というビジネスは、たった2つの要素で成立していると考えています。1つは「これは何だろう？不思議だな」と感じる好奇心、研究活動のきっかけを与えてくれます。もう1つは集中力。関心の対象を理解するためには長時間集中して考える必要があるからです。それから私の場合、研究中に誰も知らないことを発見したり、面白いことを思いついたりする瞬間に気分が昂揚します。それはサイエンティフィックハイとよばれたりしますが、そんな瞬間瞬間の積み重ねが次の研究への推進力となっていると思います。

**ND** — ありがとうございます。 ■

聞き手は北原逸美 (Nature Digestのエディター)。

#### \*1 重力レンズ効果

アインシュタインの一般相対性理論では銀河などの質量をもつ天体があると、その影響で時空がゆがむ。その背後の天体から電磁波がやってくると、そのゆがんだ時空を通過するため、電磁波の経路が変わる。これを観測者から見ると、電磁波がいろいろな方向から視線に入り込んでくるため、あたかも重力源 (この場合は銀河) がレンズの役割を果たしているように観測される。

#### \*2 COSMOS プロジェクト

COSMOSはCosmic Evolution Surveyの略で、宇宙進化を探るための観測プロジェクト。総勢39名の研究者から成る国際共同研究で、2003年から2平方度の広さの天域を、X線から電波までの多波長帯でディープサーベイ (深宇宙探索) している。ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡をはじめ、各波長帯で最高性能の望遠鏡だけを駆使するドリームプロジェクトである。

#### \*3 ニュートラリーノとアクシオン

どちらも弱い相互作用しかしない粒子 (WIMP) である。ニュートラリーノは超対称性理論から予言されている超対称性粒子の1つで、電子の10万~100万倍も質量が大きいとされる。アクシオンは磁場の影響で光子に変わる性質がある極めて軽い粒子。電子の1000億分の1~1兆分の1程度の質量と考えられている。

1. Massey, R. et al, *Nature*, **445**, 286-290 (2007)
2. Kirshner, R. P. et al, *Astrophys. J.*, **248**, L57-L60 (1989)
3. Geller, M., & Huchra, J. P. *Science*, **246**, 897-903 (1989)
4. Blumenthal, G. R. et al, *Nature*, **311**, 517-525 (1984)