



平成29年1月31日

遠方の星形成銀河でさぐる宇宙の泡構造
～ 暗黒物質（ダークマター）の中で進化する銀河にせまる ～

【本研究成果のポイント】

- ・ 広島大学の研究者が開発に参画した、大型望遠鏡のなかで世界最大の視野を持つ国立天文台すばる望遠鏡超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いて、本研究の基礎となる撮像観測を行いました。
- ・ そのHSCのデータから暗黒物質の分布を明らかにし、暗黒物質の分布と銀河の3次元分布を直接比較するこれまでとは異なる新たな手法を開発し、「暗黒物質の集積と銀河における星形成の歴史」の関連を明らかにしました。
- ・ 暗黒物質の分布と銀河の3次元分布図を詳細に比較することで、宇宙の歴史をさらに探ることが期待できます。

【概要】

このたび、広島大学宇宙科学センター内海洋輔特任助教らの研究グループは、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ（HSC）を使って、本来は「見えない物質」である「暗黒物質（ダークマター）」の分布図を作成しました。

その暗黒物質の分布図と、「見える物質」である銀河の大規模な3次元サンプルから銀河分布図を作成して比較し、暗黒物質の分布と銀河分布の様子がよく似ていることを確認しました。

さらに、暗黒物質の分布図と、距離の異なる銀河の3次元分布図を比較するという新たな手法で、暗黒物質の集積の歴史と銀河の星形成が関連していることを明らかにしました。

今後はより遠方の銀河の観測を行う装置を開発することで、宇宙進化の中における暗黒物質と銀河の関係をさらに解明することが期待できます。

この研究成果は、2016年12月14日に発行された天文学誌『アストロフィジカル・ジャーナル』に掲載されました（Utsumi et al. 2016, ApJ, 833, 156 “A Weak Lensing View of the Downsizing of Star-forming Galaxies”）。また、この研究成果は、JSPS 科研費（JP26800103, JP24103003）によるサポートを受けています。

[発表論文]

論文題目：A Weak Lensing View of the Downsizing of Star-forming Galaxies

著者名：Yousuke Utsumi*(広島大学), Margaret J. Geller, Ian P. Dell’Antonio, Yukiko Kamata, Satoshi Kawanomoto, Michitaro Koike,

Yutaka Komiyama, Shintaro Koshida, Sogo Mineo, Satoshi Miyazaki, Jyunya Sakurai, Philip J. Tait, Tsuyoshi Terai, Daigo Tomono, Tomonori Usuda, Yoshihiko Yamada, Harus J. Zahid
*Corresponding author (責任著者)

掲載誌：The Astrophysical Journal

DOI 番号：10.3847/1538-4357/833/2/156

【背景】

宇宙に点在する銀河の分布を観測すると、ほとんど何もないところや、逆に銀河がたくさん集まっているところがあります。この銀河の分布は「宇宙の泡構造」と呼ばれ、その中で多数の銀河が集中しているところは「銀河団」と呼ばれています。138億年におよぶ宇宙の進化の帰結と言ってもよい「宇宙の泡構造」の形成は、光で見ることのできない「暗黒物質（ダークマター）」同士の重力相互作用によって支配されています。暗黒物質のかたまりが重力で引き合った結果、暗黒物質の巨大な集積場所が生まれます。そのなかに光で見ることのできる普通の物質（バリオン）が落ちていき、そこで活発な星形成が起こった結果、銀河団が生まれると考えられています。

「宇宙の泡構造」の中で、暗黒物質の集積の様子と、どのような銀河がどんな場所に存在するかを調べることは、私たちの宇宙構造形成に対する理解を深める上でとても重要なことです。

近年、すばる望遠鏡などのさまざまな望遠鏡により、深く大規模な観測が行われ、銀河が進化してきた様子が徐々に明らかにされています。ところが、暗黒物質は直接観測することができず、これまで暗黒物質の集積の様子と銀河の進化の関係がはっきりしていませんでした。しかし、新しいカメラの開発などが進み遠方の銀河の形状が銀河団の重力によってわずかにゆがめられる「弱重力レンズ効果」を用いれば暗黒物質の分布を調べることが可能になりました。

今回、研究グループはこの点に着目し、弱重力レンズで暗黒物質の分布を調べ、それを銀河の分布と詳細に比較することで、暗黒物質の集積の様子と銀河における星形成の歴史の関連を調べました。

【研究成果の内容】

望遠鏡で観測すると、銀河団など重いかたまりがレンズのように振る舞い、その背後にある銀河の像がゆがめられることがあります。「弱重力レンズ」と呼ばれるこの現象は、暗黒物質の分布を明かす上で有用です。背景銀河の形から、手前にある暗黒物質分布を「写真」のように得ることができるのです。すばる望遠鏡は空の広い範囲の写真をシャープに撮影することが可能なので、弱重力レンズ地図（暗黒物質の分布図 *1）を作成する上で非常に強力です。

すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) 開発チームの内海洋輔（広島大学）らの研究グループは、かに座にある「DLS 領域」と呼ばれる比較的広い天域（4 平方度）について約 1 時間の撮像観測を行い、暗黒物質の分布図を作りました（図 1）。地図中の等高線の山はそれぞれ暗黒物質が大きく集積している場所である銀河団を示しています。

一方、銀河の3次元分布を明らかにするためには、大型望遠鏡に搭載された分光器で銀河からの光を一つ一つ精密に調べる（分光する）必要があります。宇宙が膨張していることから遠くの銀河ほど銀河が発する光が赤くなる（赤方偏移する）ことが知られているので、銀河の赤方偏移の大きさを調べることで銀河までの距離を測定できます。また、分光すれば、その銀河が星形成をしている（星形成銀河*2）か、それとも星形成をすでにやめてしまったかも区別することができます。

共同研究者のマーガレット・ゲラー（ハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター）らのグループは、米国にある口径 6.5 メートルの MMT 望遠鏡(*3)に搭載された分光器 Hectospec を使い、1 万 2000 個もの銀河の赤方偏移を測りました。Hectospec によるこの探査には、暗黒物質の分布図に影響するほぼすべての銀河が含まれます。銀河までの距離を正確に測定しているため、これらのデータから銀河の3次元分布を作ることができました。

研究グループは、こうして作った銀河の3次元銀河分布から予測される質量分布と弱重力レンズによって求めた暗黒質量の分布図とを詳細に比較しました（図2）。その結果、お互いの構造がよく似ていることがわかりました。つまり銀河によって描き出された質量分布は暗黒物質の分布とよく一致していたのです。

さらに銀河の3次元分布を異なる赤方偏移（＝宇宙の異なる時代）に切り分けて、時代ごとに銀河の分布が暗黒物質の分布図とどれくらい似ているかどうかを調べました（図3）。星形成銀河に注目すると、近傍銀河団（30億光年先）ではその分布が暗黒物質の分布とあまり一致していませんが（図4上）、遠方銀河団（50億光年先）では暗黒物質の集積場所に対応する銀河が増えていることがわかりました（図4下）。遠方にいくほど（＝過去にいくほど）、暗黒物質の集中しているところで銀河の星形成が活発であるという傾向を捉えたのです。今回の研究によって、弱重力レンズ信号から宇宙の暗黒物質の分布を正確に求め、銀河観測と組み合わせることで、宇宙における暗黒物質集積と銀河進化の関連を明らかにすることに成功しました。今回の研究手法は、これまでに試みられたことがないもので、今回の結果は、宇宙の歴史を探る新たな手法を開発したという意味でも意義深いものです。

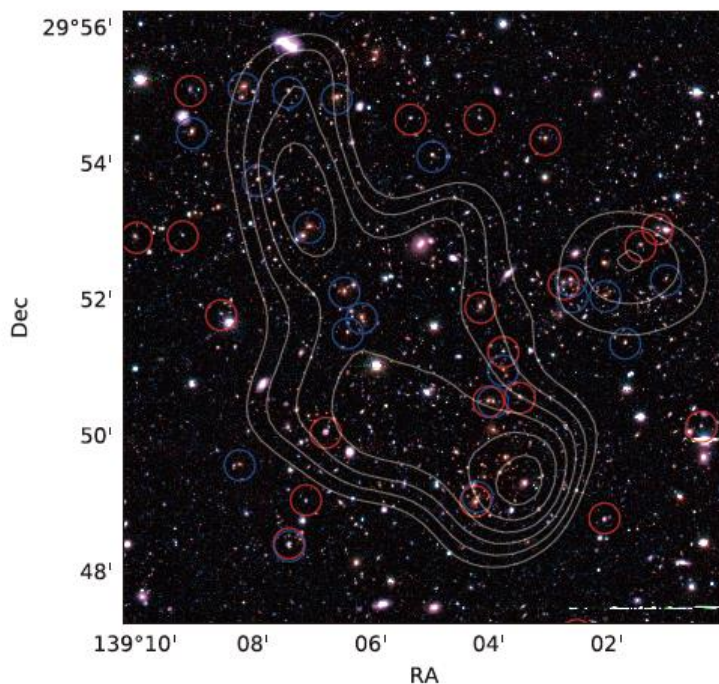


図 1: 銀河団領域の拡大写真。HSC 画像（赤色）とキットピーク 国立天文台にあるメイオ

ール 4 メートル望遠鏡の画像を合成 (R-band を緑, V-band を青)。等高線は暗黒物質の分布を表し、赤と青の丸はそれぞれ星形成をやめた銀河と星形成をしている銀河を表しています。(クレジット：広島大学／国立天文台)

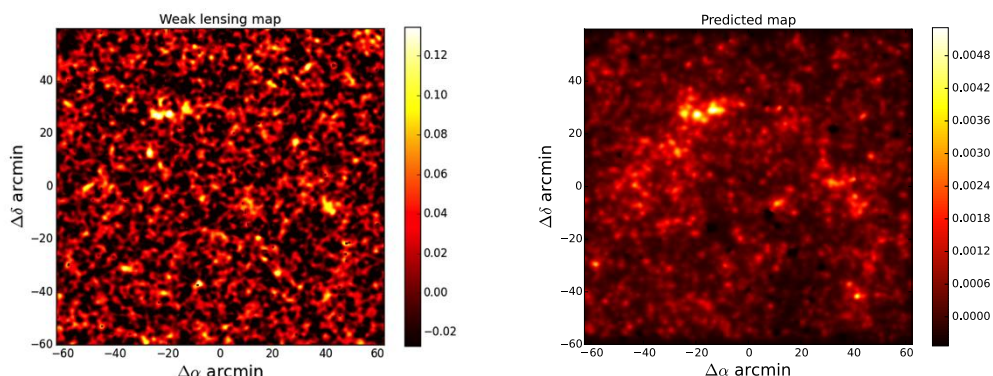


図 2: 暗黒物質の分布図(左)と対応する銀河の分布(右)。銀河分布図中で目立つ構造は左の暗黒物質の分布図にも表れています。銀河の数が少ないところ(右図で黒く見えているところ)では、暗黒物質も少ない傾向があることもわかります。(クレジット：広島大学／国立天文台)

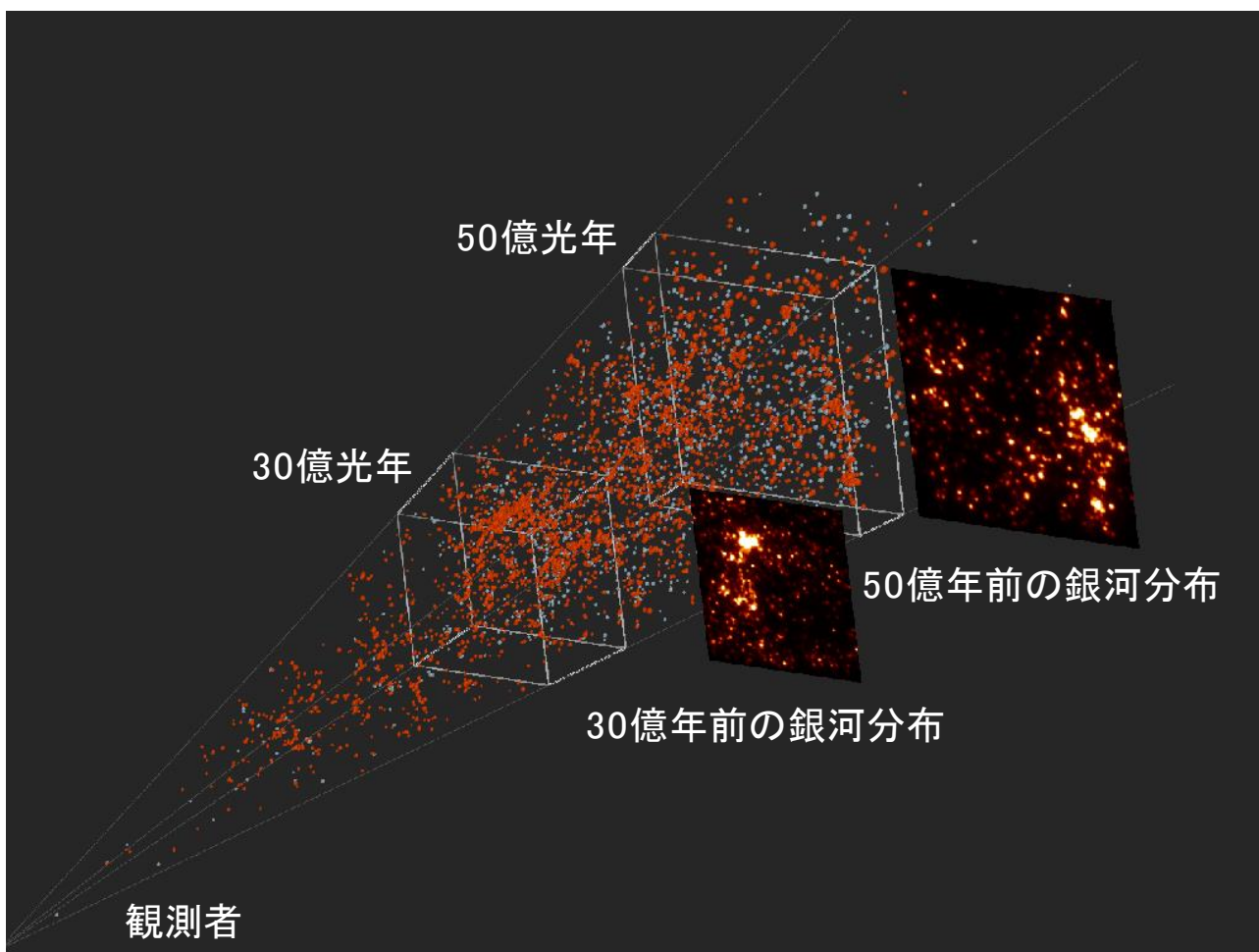
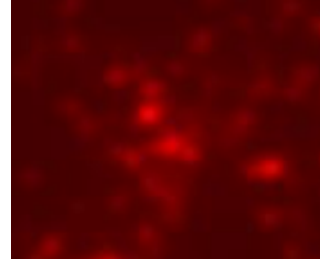
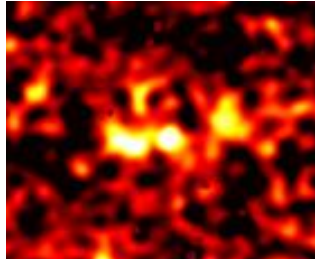


図 3: 銀河を距離ごとわけて銀河分布を調べるイメージ。左下が地球で、観測された銀河の 3 次元分布を描いています。赤い点は星形成をやめた銀河を表し、青い点は星形成中の銀河を表します。手前の四角柱は 30 億光年先の領域で、奥の四角柱が 50 億光年先の領域。横に対応する銀河分布を表示しています。(クレジット：広島大学／国立天文台)

暗黒物質の分布図

星形成銀河の分布図

30億光年先



50億光年先

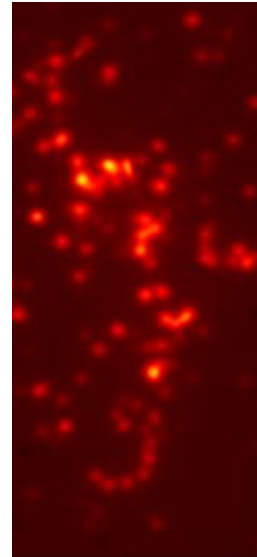
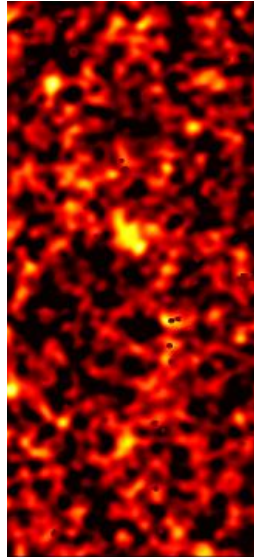


図 4:30 億光年先（上）と50 億光年先（下）の銀河団領域の拡大図。暗黒物質の分布図（左）と星形成銀河の分布（右）。30 億光年先の銀河団を見ると暗黒物質の集積場所に対応する星形成銀河の数は少ない傾向がありますが、50 億光年先の銀河団では暗黒物質が集積しているところに星形成銀河が増えている様子がわかります。（クレジット：広島大学／国立天文台）

【今後の展開】

本研究では、星形成銀河を含む様々な種類の銀河の3次元分布を、弱重力レンズによって得られた暗黒物質の分布図と詳細に比較しました。そしてこの新たな手法によって宇宙における暗黒物質の集中と銀河進化の関係を明らかにしました。研究チームは「宇宙では過去に遡るほど、暗黒物質の集積と銀河における星形成に関連が深いことが新たにわかりました。HSC で得られた暗黒物質の分布図の中にはさらに遠方の宇宙における情報も含まれていると考えられます。現在開発中のすばる望遠鏡次世代超広視野多天体分光装置 PFS が完成すれば、より遠方の銀河を一度にたくさん分光することができます。HSC と PFS のデータを組み合わせることで、星形成活動がより活発だった時代の暗黒物質と星形成銀河の様子の解明を目指します」と意気込んでいます。

【参考資料】

(*1) 暗黒物質の分布図：この図の中には暗黒物質のみならず、すべての質量が含まれますが、その量の比は大きくほとんど暗黒物質であるため、ここでは単に「暗黒物質の分布図」と呼んでいます。

(*2) 星形成銀河：たくさんの星が集まった銀河にも様々な種類がある。銀河を構成する星たちのなかに、質量が大きく寿命の短い青い星を含む銀河では今もなお星が活発に形成されていると考えられるので星形成銀河と呼ばれる。一方で星形成をほとんどやめてしまった銀河も存在する。

(*3) MMT 望遠鏡：米国アリゾナ州にある大型天体望遠鏡。光を集める鏡の直径が6.5m。米国アリゾナ大学とスミソニアン協会によって運営されている。

【お問い合わせ先】

宇宙科学センター 特任助教 内海 洋輔

Tel：082-424-6278

E-mail：youtsumi@hiroshima-u.ac.jp

※カラーの画像をご希望の場合は、メールでお送りすることが可能です。

発信枚数：A4版 6枚（本票含む）