

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24840010

研究課題名(和文) ハッブル宇宙望遠鏡で探る宇宙再電離源

研究課題名(英文) Properties of Galaxies in the Reionization Epoch Revealed by the 2012 Hubble Ultra Deep Field Campaign

研究代表者

小野 宜昭 (Ono, Yoshiaki)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号：60631116

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：ハッブル望遠鏡を用いて新たに取得されたこれまでにない感度の近赤外画像を解析し、宇宙再電離期にあると考えられる星形成銀河の静止系紫外光でのサイズを見積もった。解析の結果、赤方偏移 $z=7-10$ にある銀河のサイズ(半光度半径)はきわめて小さく、平均して $0.3-0.4$ kpc程度しかないことがわかった。これは、近傍の巨大分子雲複合体と同程度である。さらに、同程度の紫外光度を持つ銀河の平均的なサイズの赤方偏移進化を調べたところ、遠方ほどサイズが小さいという傾向は $z=8$ より遠方でも続いていることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The sizes of high-redshift galaxies in the rest-frame ultra-violet wavelengths were measured with deep near-infrared images obtained from the 2012 Hubble Ultra Deep Field campaign, which offered an increased signal-to-noise ratio. The analyses have revealed that the average half-light radii of $z=7-10$ galaxies are extremely small, $0.3-0.4$ kpc, comparable to the sizes of giant molecular associations in local star-forming galaxies. It is also found that the clear trend of decreasing half-light radius with increasing redshift continues beyond $z=8$.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：銀河形成 銀河進化 宇宙再電離 高赤方偏移銀河

1. 研究開始当初の背景

ハッブル宇宙望遠鏡に新しく搭載された近赤外カメラ Wide Field Camera 3 (WFC3) による深宇宙探査プロジェクトなどにより、赤方偏移 $z \sim 7-10$ という遠方宇宙における銀河探査が精力的に行われてきた。その結果、高赤方偏移にある銀河の個数密度は赤方偏移とともに減少しており、その傾向は $z \sim 7-10$ にかけても続いていることがわかってきた。

銀河の形態やサイズの進化を特徴づけることは、銀河形成史を理解する上で有用である。Oesch et al. 2010, ApJL, 709, L21 は、ハッブル宇宙望遠鏡 WFC3 カメラによる深宇宙探査の初期データを用いて、 $z \sim 7$ にある銀河のサイズ(半光度半径)を調べた。その結果、それらのサイズは、より低赤方偏移の銀河と比べて小さいことがわかった。また、そのサイズ進化は $(1+z)^{-1}$ でよく説明できると主張した。ただ、データの感度が十分ではなかったため、調べた銀河は明るいものに限られていた。また、さらに高赤方偏移にある銀河は見かけ上より暗いため、それらのサイズを調べることは困難であった。

2. 研究の目的

新たに取得するハッブル宇宙望遠鏡の近赤外データを用いて、宇宙再電離期にあると考えられる銀河の静止系紫外光でのサイズを見積もる。過去の研究より感度の高いデータを用いることで、赤方偏移範囲をより遠方へ、紫外光度範囲をより暗い側へ拡張する。さらに、低赤方偏移で見ついている銀河のサイズの観測結果と組み合わせ、幅広い赤方偏移に渡って銀河のサイズの進化を明らかにする。

3. 研究の方法

ハッブル宇宙望遠鏡 WFC3 を用いた新しい深宇宙探査プロジェクト 2012 Hubble Ultra Deep Field (Ellis et al. 2013, ApJL, 763, L7; Koekemoer et al. 2013, ApJS, 209, 3) に参加し、そこで取得されたこれまでにない感度の近赤外データを解析した。過去のデータと比べて、このデータには二つの優れた点がある。ひとつは、過去のデータより $1.2 \mu\text{m}-1.6 \mu\text{m}$ のデータが深いことである。これにより、 $z \sim 7-10$ にある銀河の静止系紫外光を過去の研究と比べてより高い信号対雑音比で検出でき、その波長でのサイズ測定を高い精度で行なうことができた。もうひとつの優れた点は、深い $1 \mu\text{m}$ データがあることである。これにより、特に $z \sim 8$ を越えるような銀河を選択する際に問題となる、手前の天体のコンタミネーションを減らすことができ、

よりロバストな高赤方偏移銀河サンプルを構築することが可能となった。

今回取得したデータと過去に取得された可視光などの多色データを組み合わせ、赤方偏移した銀河のライマン ブレークの特徴を手がかりに、検出された全天体から $z \sim 7-10$ にある銀河の候補天体を選択した(Schenker et al. 2013, ApJ, 768, 196; McLure et al. 2013, MNRAS, 432, 2696)。高感度の近赤外データを重ね合わせることでさらに感度を上げ、選択した $z \sim 7-10$ 銀河の静止系紫外光でのサイズを見積もった。暗い銀河については画像をスタックして信号対雑音比を上げ、平均的なサイズを見積もった。さらに、過去の研究結果と組み合わせ、 $z \sim 4$ から $z \sim 10$ に渡る銀河サイズの赤方偏移進化を調べた。

4. 研究成果

解析の結果、 $z \sim 7-10$ にある銀河のサイズはきわめて小さく、平均して $0.3-0.4 \text{ kpc}$ 程度しかないことがわかった。これは近傍の星形成銀河で見ついている質量 $10^7 M_{\text{sun}}$ ほどの巨大分子雲複合体と同程度(たとえば Vogel et al. 1988, Nature, 334, 402)である。

また、明るい銀河ほどサイズが大きいというサイズ-紫外光度関係が $z \sim 7-8$ 銀河に見られることがわかった。似たようなサイズ光度関係は、近傍銀河に対しても存在することが知られている(たとえば de Jong & Lacey 2000, ApJ, 545, 781)。 $z \sim 7-8$ 銀河のサイズ-紫外光度関係を、銀河の星形成率面密度が一定の曲線と比較したところ、暗い銀河でも明るい銀河でも星形成率面密度は $1-10 M_{\text{sun}}/\text{yr}/\text{kpc}^2$ 程度であることがわかった。

さらに、異なる赤方偏移にある銀河についての過去の研究結果と組み合わせ、同程度の紫外光度を持つ銀河の平均的なサイズの赤方偏移進化を調べた。過去の研究で、平均的なサイズは赤方偏移が大きくなるにつれて小さくなるという傾向が報告されていたが(たとえば Oesch et al. 2010)、 $z > 7$ でもその傾向が続いていることがわかった。その赤方偏移進化は、 $(1+z)^{-1.3}$ でよく説明できることがわかった。ただ、今回得られた銀河サイズの赤方偏移進化を定量的に解釈するためには、銀河の星成分とダークハローのサイズ比の進化を考慮して、銀河の衝突合体、超新星や活動銀河核によるフィードバックといった複雑な物理過程を組み込んだ銀河形成シミュレーションの結果と比較する必要があり、今後の理論研究の進展が待たれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Ono, Y., Ouchi, M., Curtis-Lake, E., Schenker, M. A., Ellis, R. S., McLure, R. J., Dunlop, J. S., Robertson, B. E., Koekemoer, A. M., Bowler, R. A. A., Rogers, A. B., Schneider, E., Charlot, S., Stark, D. P., Shimasaku, K., Furlanetto, S. R., Cirasuolo, M., Evolution of the Sizes of Galaxies over $7 < z < 12$ Revealed by the 2012 Hubble Ultra Deep Field Campaign, The Astrophysical Journal, 査読有, 777, 2013, 155 (13pp), DOI: 10.1088/0004-637X/777/2/155

Koekemoer, A. M., Ellis, R. S., McLure, R. J., Dunlop, J. S., Robertson, B. E., Ono, Y., Schenker, M. A., Ouchi, M., Bowler, R. A. A., Rogers, A. B., Curtis-Lake, E., Schneider, E., Charlot, S., Stark, D. P., Furlanetto, S. R., Cirasuolo, M., Wild, V., Targett, T., The 2012 Hubble Ultra Deep Field (UDF12): Observational Overview, The Astrophysical Journal Supplement, 査読有, 209, 2013, 3 (14pp), DOI: 10.1088/0067-0049/209/1/3

Dunlop, J. S., Rogers, A. B., McLure, R. J., Ellis, R. S., Robertson, B. E., Koekemoer, A., Dayal, P., Curtis-Lake, E., Wild, V., Charlot, S., Bowler, R. A. A., Schenker, M. A., Ouchi, M., Ono, Y., Cirasuolo, M., Furlanetto, S. R., Stark, D. P., Targett, T. A., Schneider, E., The UV continua and inferred stellar populations of galaxies at $z \sim 7-9$ revealed by the Hubble Ultra Deep Field 2012 campaign, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有, 432, 2013, 3520-3533, DOI: 10.1093/mnras/stt702

McLure, R. J., Dunlop, J. S., Bowler, R. A. A., Curtis-Lake, E., Schenker, M., Ellis, R. S., Robertson, B. E., Koekemoer, A. M., Rogers, A. B., Ono, Y., Ouchi, M., Charlot, S., Wild, V., Stark, D. P., Furlanetto, S. R., Cirasuolo, M., Targett, T. A., A new multi-field determination of the galaxy luminosity function at $z=7-9$ incorporating the 2012 Hubble Ultra Deep Field imaging, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有, 432, 2013, 2696-2716, DOI: 10.1093/mnras/stt627

Schenker, M. A., Robertson, B. E., Ellis, R. S., Ono, Y., McLure, R. J., Dunlop, J. S., Koekemoer, A., Bowler, R. A. A., Ouchi, M., Curtis-Lake, E., Rogers, A. B., Schneider, E., Charlot, S., Stark, D. P., Furlanetto, S. R., Cirasuolo, M., The UV Luminosity Function of star-forming galaxies via dropout selection at redshifts $z \sim 7$ and 8 from the 2012 Ultra Deep Field campaign, The Astrophysical Journal, 査読有, 768, 2013, 196 (14pp), DOI: 10.1088/0004-637X/768/2/196

Robertson, B. E., Furlanetto, S. R., Schneider, E., Charlot, S., Ellis, R. S., Stark, D. P., McLure, R. J., Dunlop, J. S., Koekemoer, A., Schenker, M. A., Ouchi, M., Ono, Y., Curtis-Lake, E., Rogers, A. B., Bowler, R. A. A., Cirasuolo, M., New Constraints on Cosmic Reionization from the 2012 Hubble Ultra Deep Field Campaign, The Astrophysical Journal, 査読有, 768, 2013, 71 (17pp), DOI: 10.1088/0004-637X/768/1/71

Ellis, R. S., McLure, R. J., Dunlop, J. S., Robertson, B. E., Ono, Y., Schenker, M. A., Koekemoer, A., Bowler, R. A. A., Ouchi, M., Rogers, A. B., Curtis-Lake, E., Schneider, E., Charlot, S., Stark, D. P., Furlanetto, S. R., Cirasuolo, M., The Abundance of Star-Forming Galaxies in the Redshift Range 8.5 to 12: New Results from the 2012 Hubble Ultra Deep Field Campaign, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 763, 2013, L7 (6pp), DOI: 10.1088/2041-8205/763/1/L7

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

ハッブル宇宙望遠鏡の深宇宙探査により超
遠方銀河候補を発見
<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/2012/12/13040100.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 宜昭 (ONO YOSHIAKI)
東京大学・宇宙線研究所・助教
研究者番号：60631116

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：