

平成 2 6 年 6 月 4 日現在

機関番号 : 1 2 6 0 1

研究種目 : 若手研究(B)

研究期間 : 2012 ~ 2013

課題番号 : 2 4 7 4 0 1 1 9

研究課題名 (和文) 階層的銀河形成 : 巨大銀河はどのように形成されたのか ?

研究課題名 (英文) Hierarchical Galaxy Formation: How was massive galaxy formed?

研究代表者

B u n d y K e v i n . A (Bundy, Kevin Allen)

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・特任助教

研究者番号 : 2 0 6 2 4 1 4 1

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,100,000 円、(間接経費) 930,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本課題の目的はSDSS-IIIおよびBOSSによって観測された銀河の星質量推定ツールを開発し、「Stripe 82」領域の観測データを解析、大質量銀河の成長率を測定することである。

可視、近赤外光の膨大なデータを処理するツールを制作し、2012年度に公開した。この方法は他の望遠鏡、他の波長領域にも適用可能で、これまでよりはるかに高速処理が可能であり、数百万個の銀河を短時間で解析できる。これは本課題で行うBOSS銀河の星質量の成長測定には不可欠である。また将来のHSCなどの観測にもこの手法は有用である。昨年度、宇宙の歴史の後半においてより巨大な銀河がより高速に成長していることを示唆する結果を得た。

研究成果の概要 (英文) : The purpose of this project was to develop new tools to measure the stellar masses of SDSS-III / BOSS galaxies and apply these tools to a sample observed in the Stripe 82 region in order to construct an unbiased measure of the growth rate of massive galaxies over the last 6 billion years of cosmic time.

The tool required to match large optical and near-IR datasets was successfully developed and written up as a publication in FY2012. This method matches different observing bands from different telescopes much faster than previous methods. It therefore makes it easy to measure matched photometry for millions of galaxies in a short time. This is needed to determine the stellar mass growth of BOSS galaxies in this proposal. It is also useful for future surveys, e.g. with HSC.

Over the last year, I have applied the tool to the data sets in question and have derived a preliminary result which indicates that more massive galaxies assemble their stellar mass more quickly at late cosmic time.

研究分野 : 数物系科学

科研費の分科・細目 : 物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード : 星質量関数 銀河成長 階層的形成

1. 研究開始当初の背景

CDM と呼ばれる、「冷たい暗黒物質」と宇宙項の理論体系は、宇宙の物質の分布が時間とともにどのように進化してゆくかについての合理的な説明に成功している。CDM による基本的な予言は、銀河の暗黒物質のハローの成長が階層的である、つまり小さな単位の小塊が結合して大きな単位になってゆく、というものである。

銀河の成長もまた階層的な成長が予言されている。しかし、これを観測的に調べることはこれまでほとんど不可能であった。さらに、これまで銀河の成長における合体、内部での星形成および潮汐力による引き裂きのそれぞれの寄与がどの程度であるかわかっていない。問題となるのは、Stringer et al. (2009) に示したように、過去の銀河観測の規模が非常に小さく、不定性が大きかったことである。現在進行中の、私がチームのメンバーであるバリオン音響振動観測 (Baryon Acoustic Oscillations Survey; BOSS) では、幸いにして大きな星質量の銀河の成長を詳細に測定するのに十分なデータを保有しており、この問題に迫ることができる。

2. 研究の目的

BOSS のデータを利用して銀河の成長を高精度に測定し、階層的な集まり方を検証し、さらに大きな星質量の領域における銀河の成長に、上記のそれぞれの物理過程がどんな割合で影響するのかを決定することが目的である。

今回行う詳細な観測では、他の銀河との合体、銀河内部での星形成、潮汐力による引き裂きによる質量損失といった物理過程が銀河の成長にどのように影響を与えるかを調べる。これらの過程の正しいバランスを知ることなしに、正確な結論にたどり着くことはできない。このため、たとえば、観測された銀河の色の分布と現在の星質量関数を適合させるために、銀河形成の半解析的モデルでは大質量銀河内での星形成を停止させるために活動銀河核 (active galactic nuclei; AGN) の観測結果を用いている。ただしこのような現象が実際の銀河形成において本当に起きているかどうかは大きな論争を呼んでいる。一方、大質量の銀河が近傍の銀河と合体して成長する速度はこれまでのモデルで予想されるよりは遅い様である。このことは、これまでのモデルは潮汐力に寄る引き裂きと、近傍銀河の合体による質量損失があることを考慮に入れていなかったことによると考えられる。(失われた質量は銀河団内の銀河間の光になった可能性がある。) これらのことを補正することにより、AGN によるフィードバックの必要性はこれまで考えられて

いたよりも非常に小さなものになる可能性がある。研究代表者の保有する観測結果により銀河形成モデルに制限を与えることでこの問題を解決出来ると期待される。この比較結果を観測結果とともに本課題の期間中に発表する予定である。

3. 研究の方法

銀河の成長を測定するために、本研究ではまず距離の測定 (赤方偏移の測定) が行われた銀河のサンプルを作成した。現在の測定技術ではおよそ 90 億年前まで (赤方偏移 z が 1.5 以下) の銀河を集められる。その後、銀河の成長速度をその星質量 (M^*) の関数として求める。もし、大質量 ($M^* \sim 3 \times 10^{12} M_\odot$) に置ける星質量の成長が低質量 ($M^* \sim 4 \times 10^{11} M_\odot$) の領域よりも速い場合、階層的な成長の兆候が見られるであろう。言い換えると、階層的な成長は銀河の星質量関数に漸増を刻み込むはずである。

本研究では Stripe 82 領域にある $z=0.6$ 近辺の銀河の星質量関数の増加として銀河の成長を測定した。このとき、それぞれの銀河について、可視光及び近赤外領域の 9 個のバンド領域について利用可能なすべての観測結果を用いる、統合光学観測を試みた。正確に組み合わせた統合光学観測により銀河の星質量を推定するために不可欠な要素である各銀河のエネルギー分布スペクトルを求めることが可能となった。観測バンドごと、観測装置ごとにそれぞれ異なる観測状況を正しく補正することは新しい試みであった。本研究では、各観測バンドにおける銀河の光の状況を注意深くモデル化し、点拡がり関数 (PSF) の広がりを考慮することで各波長領域での銀河の光の同じ成分を比較することを可能にした。

さらに、星質量関数の観測における系統誤差の影響をモデル化し、観測された銀河の進化と理論モデルとを比較することに注力した。最も大きな誤差は光の散乱および星質量と赤方変移の推定の際の潜在的な偏りによるものが考えられる。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

可視光および近赤外の巨大なデータセットを統合するためのツールを開発し、2012 年度に公開した。この方法により複数の望遠鏡による複数の観測バンドのデータをこれまでよりもはるかに高速に統合でき、数百万個の銀河の光学観測データを短時間で統合することが容易になった。このことは本研究で計画している BOSS で観測された銀河について星質量の成長の決定に必要である。

2013 年度には、今回開発したツールを問題となっているデータに適用し、予想されていたように銀河の成長が階層的であることを示唆する基礎的な結果を得た。このことは、より質量の大きな銀河は宇宙の歴史の後半に置いて非常に高速に成長したことを示す。しかし、非常に大質量の極限では成長率は理論予想よりも低い。この食い違いは小さな銀河が大きな暗黒物質のハロー部分に落ち込むときの「周辺部の引きはがし」の影響を過小評価していたこと、もしくは最終的にそれらの銀河が大きな中心部の銀河と合体し今回のサンプルの主要部となる割合を正しく求められなかったことによると考えられる。どちらの点も今後の研究でさらに深く掘り下げる必要がある。

今回の結果による 2 編の論文を現在作成中である。1 編は一般公開する銀河のカatalog 作成に関連するものであり、多くの研究グループがこのカatalog にアクセスし、多くの科学的な目的に利用している。もう 1 編は銀河の成長の測定とその解釈についての論文である。

論文出版に当たり、光学観測による赤方偏移の推定に関して、解決すべき問題が発覚した。本研究では BPZ と呼ばれる計算コードを用いて赤方偏移を決定していたが、最近、BPZ の計算式は本研究で対象としている様な非常に希な大質量の銀河を取り扱う時以外には問題とならないわずかなずれを生じる可能性が明らかになった。赤方偏移が大きくなるにつれてこの小さな系統的なずれによって大質量の銀河の数が見かけ上大くなり、成長率の見積りを誤らせる。現在、新たな光学的赤方偏移の計算式 (EAZY) の適用を始めしており、数ヶ月の間に問題は解決され結果を公表出来る見通しである。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

世界各国の複数の研究者が本研究で開発した SYNMAgS と呼ばれる計算ツールに興味を示している。研究代表者は 2014 年 3 月プリンストン大学で開催された研究会に招かれ、このツールについて議論を行った。またフィンランドや台湾の研究者がそれぞれの持つデータセットにこの計算ツールを適用しようとしており、直接連絡を取っている。

(3) 今後の展望

光学観測統合ツール (SYNMAgS) と大規模データセットに対する光学的赤方偏移および星質量の推定における系統的なずれの解析は間もなくデータが公開される最新の、非常に興味深い広域光学観測データに直接適用可能である。新しいデータセットには米国の Dark Energy Survey (暗黒エネルギーサーベイ) や日本のハイパー・シュプリーム・カム

(Hyper Suprime-Cam; HSC) によるサーベイがある。HSC サーベイチームの中心メンバーとして、観測の多くの段階で銀河の成長の測定に SYNMAgS を適用することが本研究の中心課題である。

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 1 件)

Bundy, Kevin; Hogg, David W.; Higgs, Tim D.; Nichol, Robert C.; Yasuda, Naoki; Masters, Karen L.; Lang, Dustin; Wake, David A., "SYNMAg Photometry: A Fast Tool for Catalog-level Matched Colors of Extended Sources", The Astronomical Journal, 144 (6), 188, (2012) 査読有 DOI: 10.1088/0004-6256/144/6/188

〔学会発表〕(計 2 件)

Kevin Bundy, "Hierarchical Growth in Stripe 82", The Multi-Wavelength, Multi-Epoch Heritage of Stripe 82, 2014 年 3 月 18 日, アメリカ・ニュージャージー州プリンストン, 招待講演

Kevin Bundy, "Galaxy Growth in Panoramic Surveys", Carnegie Observatories Colloquium, 2012 年 12 月 14 日, アメリカ・カリフォルニア州パサデナ, 招待講演

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

BUNDY, Kevin

東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構・特任助教

研究者番号: 20624141

(2) 研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし