

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800098

研究課題名(和文) すばる超広視野撮像カメラ(HSC)で探るアンドロメダ銀河ハローの構造と形成

研究課題名(英文) Structure and Formation of the Andromeda Galactic Halo using Subaru/Hyper Suprime-Cam

研究代表者

田中 幹人(Tanaka, Mikito)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：80572057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam(HSC)を用いて、近傍銀河恒星ハローの撮像サーベイを行った。M31ハローの観測では、HSC用NB515狭帯域フィルターを駆使した観測を行い、M31固有の赤色巨星と、汚染源である前景の銀河系主系列星を効率よく分離する方法を開発した。その結果、すばる望遠鏡/Prime Focus Spectrographを用いたM31ハロー分光サーベイの準備を進めることができた。一方、潮汐相互作用が進んでいる銀河NGC4631の撮像観測から矮小銀河を新たに8つ発見した。NGC4631の矮小銀河は、母銀河の周辺部に等方的に分布していることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We have conducted wide-field photometric survey of nearby galactic halos using the Hyper Suprime-Cam (HSC) on the Subaru telescope. In the HSC study of M31's galactic halo, we have developed a method to effectively segregate M31's RGB stars from foreground contaminations of main-sequence stars of the Milky Way based on HSC's NB515 filter. Then, we have proceeded with future preparations for a wide-field spectroscopic survey of M31's halo using Subaru/Prime Focus Spectrograph. On the other hand, in the other HSC study of a nearby galaxy group, we have detected 8 new dwarf galaxy candidates in the outer region of a spiral galaxy, NGC4631, which is under an on-going tidal interaction with an irregular galaxy, NGC4656, and confirmed the three candidates previously reported by Karachentsev et al. 2014. Apparently, these dwarf galaxies are isotropically distributed around NGC4631 (not NGC4656) in contrast to dwarf galaxies of the Milky Way and M31 distributed in a thin plane.

研究分野：天文学

キーワード：銀河考古学 光学赤外線天文学 銀河形成 宇宙物理 アンドロメダ銀河 すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam 近傍銀河

1. 研究開始当初の背景

銀河の形成史を紐解くことは天文学における最重要課題の一つである。特に、銀河のハローやバルジに存在する銀河古成分（古い星、球状星団や矮小銀河など）は、銀河の力学的・化学的進化の情報を長時間にわたって保持しており、銀河の歴史を調べるために重要な天体となる。銀河古成分に基づいて銀河の歴史を調べる分野をとりわけ銀河考古学と呼び、現在多くの銀河考古学者たちが観測・理論の両面から銀河の階層的構造形成シナリオを主張している。例えば、冷たい暗黒物質モデルを信頼するとすれば、銀河系サイズの銀河は、小さな矮小銀河が母銀河へと次々と降着し形成したと考えられており、降着時の潮汐破壊によって矮小銀河の残骸が母銀河の周りに、アーク状やシェル状などの恒星ストリーム構造として確認できる。

大局的な銀河形成のシナリオが描かれてきた一方で、銀河古成分を主たる構成要素とし、銀河の基本的な構造であるハローやバルジの詳細構造やその具体的な起源は観測が進むにつれて未解明問題が増え、銀河形成史の理解を進めることが困難な状態である。例えば、理論シミュレーションから期待される恒星ストリームの数（質量降着率）や矮小銀河の数が観測結果と一致しない問題や、銀河系とアンドロメダ銀河（M31）のハローおよびそれに付随する矮小銀河の重元素量や年齢の違いは未だ説明が付かない。さらに観測結果は局所銀河群銀河に限られており、銀河の環境や形態によってどのような違いがあるかもわかっておらず体系的な銀河形成史を理解することはできていない。

2. 研究の目的

(1) すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam (HSC) による撮像観測を軸にした M31 ハローの観測

M31 ハローの観測では、M31 の前景に存在する銀河系の星の汚染によって、理論シミュレーションで予想されるような暗いストリーム構造や暗い矮小銀河（まとめてサブ構造と呼ぶ）が発見されていなかった（e.g., Ibata et al. 2014）。そのようなフェイントなサブ構造を検出するために、すばる HSC（視野直径 1.5° ）を用いて M31 ハローの広域撮像サーベイ観測を行う。ゆくゆくは M31 ハローの化学力学構造を解明するために 2018 年度（予定）から観測予定の、すばる望遠鏡に搭載予定の Prime Focus Spectrograph を用いた M31 ハローの大規模分光サーベイに向けた分光サンプルカタログの作成を目指す。

(2) 銀河ハローの形態・環境依存性を調べるための Local Volume 銀河の撮像観測

銀河ハローの構造形成を体系的に理解す

るために、ハローの、銀河の形態・密度環境依存性を調べる。そのために、銀河系や M31 ハローで見つかる数々の構造的な特徴を、すばる望遠鏡を用いて恒星分離観測が可能な Local Volume の多種多様な銀河において検証する。

3. 研究の方法

(1) 我々のチームで HSC 用に開発を行った特殊な狭帯域フィルター(NB515)を使うことによって、前景の主系列星と M31 の赤色巨星を吸収線の形から区別することにより、今までより効率よく M31 ハローのよりフェイントなサブ構造の候補天体を決定する (Majewski et al. 2000. を参考)。

(2) M31 ハローと比較対象の銀河として、M31 より直接的に相互作用を行っている NGC4631 と NGC4656 のシステムをターゲットにして、HSC を用いた広視野撮像観測を行い、銀河ハローのサブ構造の状態を調査する。

4. 研究成果

(1) 2014 年度、2015 年度に渡って、M31 ハローの HSC サーベイ観測を行った。天候や、データ較正が可能な領域による制限のため、NB515 フィルターを加えてカタログ化できた領域は図 1 の赤く塗りつぶされた領域である。一次処理は、HSC のパイプラインで行い、測光解析は PyRAF/DAOPHOT を用いて PFS 測光で行った。なお、観測データのキャリブレーションは、SDSS DR7 を元に行っており、図 1 のグレーの領域が SDSS DR7 の測光カタログが存在する領域である。

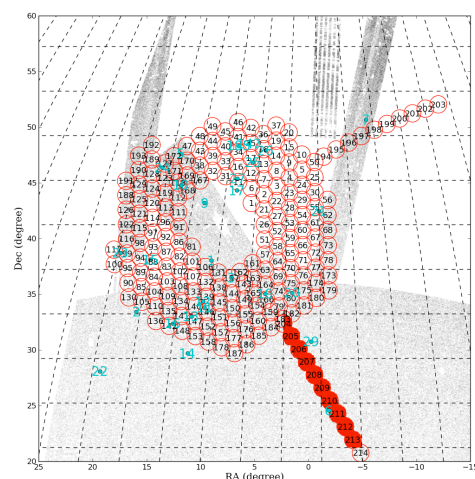


図 1. HSC+NB515 フィルターを使った M31 ハロー解析済みフィールド。

図 2 は NB515 フィルターを使った二色図で、M31 の赤色巨星と前景の銀河系主系列星を分離するために使用する。図中の逆「へ」の字が、主系列星が分布する領域で、赤枠の領域に赤色巨星が分布しやすいことが既知の恒

星スペクトルを用いた計算から分かった。さらに、二色図上において、測光誤差を考慮したときに天体が正規分布に従って分布すると仮定した尤度を元に、ベイズの定理を適用し、赤枠内の定積分をモンテカルロ積分することによって、各天体の Probability Distribution Function (PDF) を計算した。PDF の計算では、実際には色等級図上での分布も考慮しており、1 に近いほど、主系列星より赤色巨星である確率が高いと考える量である。

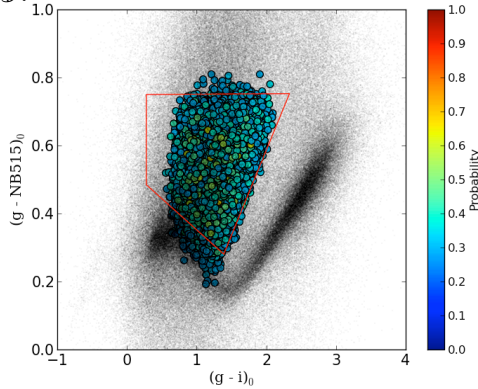


図 2. 図 1 の赤く塗りつぶされた領域の二色図. カラープロットとバーは PDF の値を表す.

図 3 は PDF の値が 0.3 より大きい天体だけの空間分布である。M31 ハローの南西長軸方向で、これまで未観測であった 150kpc から 250kpc までの分光候補天体を初めてカタログ化することができた。現在のところ、撮像観測ではサブ構造の存在が確認できないので、今後の分光観測によるフォローアップでサブ構造の有無を同定する。

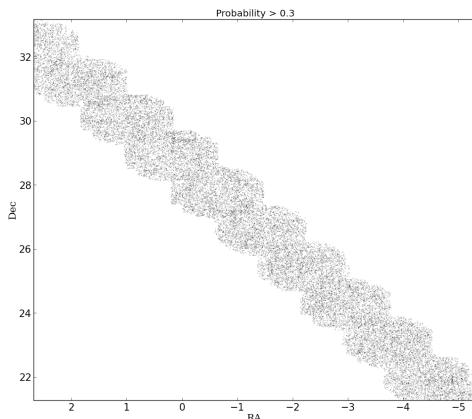


図 3. 図 1 の赤く塗りつぶされた領域で、PDF が 0.3 より大きな天体の空間分布.

(2)2015 年度、HSC を用いて NGC4631 と NGC4656 システムの撮像観測を行った。一次処理は、HSC のパイプラインで行い、測光解析は PyRAF/DAOPHOT を用いて PFS 測光で行ったが、目標天体が CCD1 チップ以上に大きく広がっているため、パイプラインでは大気の散乱光によるノイズ (スカイ) を差し引くことが困難であった。そのため、スカイの空間的な変化を周囲の複数チップから内挿し

て計算し、独自にスカイ引きを行うプログラムを開発し、本研究のデータに適用した。最終的に得られたカタログから、図 4 の色等級図を作成した。その色等級図上で、星の進化モデル (等時曲線) と比較し、恒星種族毎に天体を分類することによって、図 5 の空間分布を得た。図 5 を見ると、比較的若くて重い恒星種族 (MS, RSG, AGB) ほど母銀河上に集中して分布しており、母銀河本体では星形成が活発に行われていることが示唆される。

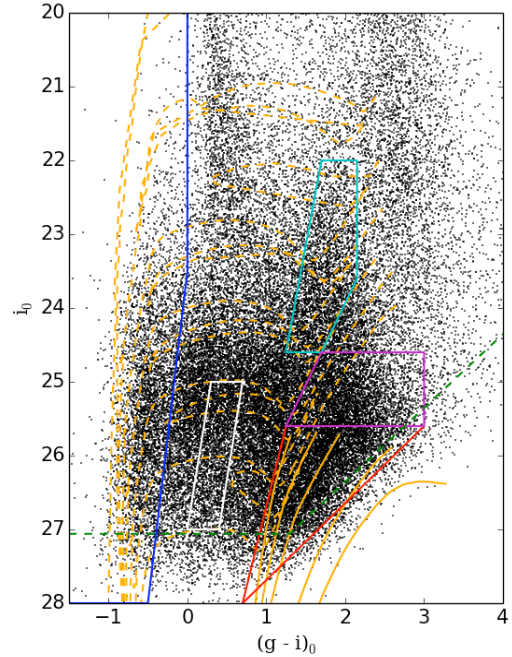


図 4. NGC4631 と NGC4656 領域の色等級図. 赤枠が赤色巨星 (RGB), 紫枠が漸近巨星分枝 (AGB), シアン色枠が赤色超巨星 (RSG), 青枠が主系列星 (MS) である. 白枠は背景銀河の汚染が支配的である領域 (Galaxy) である. オレンジの線は、星の進化モデルに基づく等時曲線 (Bressan et al. 2012) で、連続した線が 10Gyr の古い恒星種族で、ダッシュ線が数 Gyr から数 100Myr 程度の若い恒星種族を示している. また、緑のダッシュ線は限界等級である.

一方、赤色巨星 (RGB) の空間分布を見ると、NGC4631 の周辺部に 2 つのストリーム構造が見え、矮小銀河が母銀河との潮汐作用によって降着合体する階層的構造形成シナリオの現場を見ていることが示唆される。ストリームには、矮小銀河の中心核も確認することができる。今後は、母銀河の円盤部の厚みを測定し、円盤に対してどのような相互作用が引き起こされているか調査する課題が残った。

また、古い恒星種族や若い恒星種族で、空間的に密度が高い領域が存在し、NGC4631 の周辺部に分布している矮小楕円体銀河および矮小不規則銀河の候補天体を、既に発見されていた 3 つの矮小銀河に加えて (Karachentsev et al. 2014), 新たに 8 つ発見した。しかしながら、銀河系や M31 で見

られるような、銀河面に対して垂直方向に広がり、ある同一平面上に矮小銀河が分布するのではなく、NGC4631を取り巻くように等方的に分布している。これは銀河系やM31で見られる矮小銀河が平面上に分布する構造が冷たい暗黒物質モデルによる結果であるとは限らないことを示唆しているのかもしれない。今後は、矮小銀河の同定を進める課題が残された。

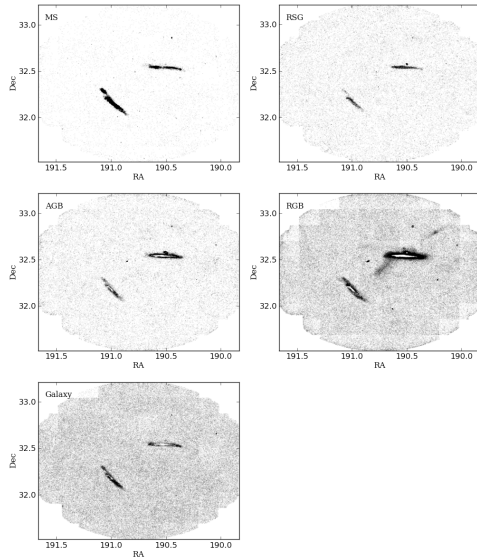


図 5. NGC4631(各パネル内右上)と NGC4656 (各パネル内左下) 周辺の恒星種族毎の空間分布。図 4 での分類に基づいている。

<引用文献>

- ①Ibata et al. 2014, ApJ, 780, 128
- ②Majewski et al. 2000, AJ, 120, 2550
- ③Bressan et al. 2012, MNRAS, 427, 127
- ④ Karachentsev et al. 2014, astro-ph/1401.2719

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)

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① 田中幹人, 銀河考古学分野における今後の観測計画, 光赤天連シンポ「2020 年代の光赤外天文学-将来計画の再構成」, 2013 年 8 月 6 日, 国立天文台三鷹キャンパス
- ② Mikito Tanaka, Performance checks on the NB515 filter, 5th PFS General Collaboration meeting, 2013 年 11 月 5 日, Brazil
- ③ 田中幹人, すばる望遠鏡 HSC で探る NGC4631-NGC4656 の周辺構造, 2014 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「光赤外分野の展望〜将来計画検討書中間報告会」, 2014 年 9 月 8 日, 国立天文台三鷹キャンパス
- ④ 田中幹人, 小宮山裕, 千葉柁司,

Subaru/Hyper Suprime-Cam で探る NGC4631 相互作用銀河群の構造 I, 日本天文学会 2014 年秋季年会, 2014 年 9 月 11 日, 山形大学

- ⑤ Mikito Tanaka, Discovery of new dwarf galaxies around NGC4631 with Subaru/Hyper Suprime-Cam, Subaru Users' Meeting FY2014, 2015 年 1 月 14 日, NAOJ
- ⑥ Mikito Tanaka, Discovery of new dwarf galaxies around NGC4631 with Subaru/Hyper Suprime-Cam, Subaru seminar, 2015 年 3 月 27 日, Hilo
- ⑦ Masashi Chiba, Mikito Tanaka, Yutaka Komiyama, Subaru Hyper Suprime Cam Survey of the Andromeda Halo, The IAU XXIX General Assembly, 2015 年 8 月 4 日, USA
- ⑧ Mikito Tanaka, Yutaka Komiyama, Masashi Chiba, Discovery of new dwarf galaxies around NGC4631 with Subaru/Hyper Suprime-Cam, The IAU XXIX General Assembly, 2015 年 8 月 4 日, USA
- ⑨ Mikito Tanaka, Yutaka Komiyama, Masashi Chiba, Resolved outer region of NGC4631's group from a Subaru/Hyper Suprime-Cam survey, 3rd Annual GMT Community Science Meeting, 2015 年 10 月 1 日, USA
- ⑩ Mikito Tanaka, Masashi Chiba, Yutaka Komiyama, Current Status of M31's Halo WIDE Survey using Subaru/Hyper Suprime-Cam, PFS 7th collaboration meeting, 2015 年 12 月 14 日, France

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 幹人 (TANAKA, Mikito)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号 : 80572057