

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04031

研究課題名(和文) すばる望遠鏡超広視野カメラで探る近傍大型銀河の最外縁部構造

研究課題名(英文) Outskirts of nearby large galaxies with Subaru/Hyper Suprime-Cam

研究代表者

岡本 桜子 (Okamoto, Sakurako)

国立天文台・ハワイ観測所・助教

研究者番号：80823377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：すばる望遠鏡の超広視野カメラを用いて、5の近傍大型円盤銀河の撮像サーベイを行った。悪天候や装置トラブルによる観測計画の遅延により、本研究で対象としていた7つの銀河のうち、データが得られたのは5つに限られ、それぞれの銀河の観測範囲も予定より限られたものになった。しかしながら観測したすべての銀河について、年齢の古い恒星からなる外縁部構造を発見し、大型円盤銀河において外縁部構造が普遍性のものであるということを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大型の円盤銀河が銀河系で知られているような複雑で豊富な外縁部構造を持つか否か、またその構造に含まれる恒星の年齢や金属量が共通なのかどうかは、銀河の進化過程における矮小銀河降着の影響を測る上で非常に重要である。本研究では、銀河系が含まれる局所銀河群を超えた距離にある複数の大型円盤銀河をターゲットにして、すばる望遠鏡の超広視野カメラを用いることで、その銀河を構成する個々の星を捉え、非常に暗い外縁部構造の存在とその性質を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We conducted the "Subaru Near-field cosmology survey" using Hyper Suprime-Cam on Subaru Telescope. Due to the severe weather at Maunakea and unexpected instrument troubles, we only obtained data of five galaxies out of the targeted seven galaxies, covering at least 50 kpc from each galaxy center. We detected diffuse stellar components such as stellar halos and thick disks around all observed galaxies and revealed that these outer structures are ubiquitous in large galaxies.

研究分野：天文学

キーワード：銀河考古学 光赤外線天文学 近傍銀河 銀河形成 恒星種族

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

銀河系のような大型銀河は、周辺の矮小銀河が重力相互作用でいくつも合体、集積することで、階層的に大きく成長してきたと考えられている (e.g. White & Frenk 1991, ApJ, 379, 52)。そして現在の大型銀河の外縁部には、その成長過程を生き残った衛星銀河や、衛星銀河が潮汐力で引き千切られて星が帯状に分布した恒星ストリームなどのサブ構造が多く存在すると理論的に予測されている。実際ここ 20 年ほどの間に、銀河系や隣接するアンドロメダ銀河(M31)の周辺から、複雑な恒星ハロー構造や多くの衛星銀河、恒星ストリームなどが新しく発見されてきた(e.g. Belokurov et al. 2007, ApJ, 654, 897; McConnachie et al. 2009, Nature, 461, 66)。このような状況下で、円盤銀河が一般的に、銀河系や M31 のように複雑で豊富な外縁部構造を持つか否か、またそれに含まれる恒星種族(年齢/金属量)が共通なのかどうかは、銀河の進化過程における矮小銀河降着の影響を測る上で非常に重要な問題である。

恒星ハローのように星密度の非常に低い銀河外縁部の性質を正確に調べるには、その銀河に属する個々の恒星を検出する必要があるが、それと同時に、銀河の潮汐半径を覆うような全域を捉えることも不可欠である。銀河系と M31 の属する局所銀河群より遠くにあるような近傍大型銀河について、この二つを同時に満たす観測装置は、世界ですばる望遠鏡の超広視野カメラ(HSC)のみであり、銀河系や M31 で知られているような年齢が古く低金属量の恒星ハローが、円盤銀河に普遍的に存在するのかどうか、評価するにはサンプルが不足していた。

### 2. 研究の目的

近傍円盤銀河の外縁部構造について、統計的な理解を得るため、すばる望遠鏡の超広視野カメラ(HSC)を用いて、複数の近傍円盤銀河を撮像して外縁部を検出する「すばる近傍宇宙論サーベイ」を行う。対象銀河のデータを解析して [1] 外縁部構造の有無とその恒星種族、[2] 衛星銀河の分布と総数、恒星ストリーム等サブ構造を調べ、近傍の大型銀河に外縁部構造が普遍的に存在するのか明らかにする。

### 3. 研究の方法

すばる望遠鏡の共同利用プログラムで採択された「すばる近傍宇宙論サーベイ」を実施して、近傍の 7 つの銀河について、潮汐半径の半分以上を覆うような、2 色の撮像データを取得する。先行して取得していた M81 銀河と合わせて画像解析を行い、各銀河の RGB 頂部(古い赤色巨星が進化中に取り最明るい等級)から 1.5 等級暗い範囲( $g \sim 28$ )までの星を検出する。本課題が支援される 3 年の間に当初の観測を完了し、もし天候不順や装置トラブル等の影響で観測が遅延した場合は、共同利用公募に追加提案を行い、データの取得を目指す。画像から検出した天体の形状、明るさと色を使ってその銀河に属する恒星を選び出し、[1] 円盤半径( $R_{25}$ )を超える外縁領域の恒星の空間分布から、恒星ハロー/厚い円盤の有無を明らかにする。また星の色と等級を恒星進化モデルに基づく等時曲線と比較して年齢と金属量を見積もり、種族ごとの空間分布を明らかにする。[2] 未知の衛星銀河/恒星ストリーム等を探す。また観測領域内にある既知の衛星銀河の性質も調べて、衛星銀河の光度/空間/金属量分布を明らかにする。

### 4. 研究成果

(1) 天候不順や予期しない望遠鏡装置トラブルの影響により、当初の観測期間で取得できたデータは予定の 4 割に留まったものの、追加の観測時間を申請して承認され、最終的には目標の 6 割のデータを取得した。7 つのターゲット銀河のうち 5 つの銀河の、少なくとも中心から 50kpc を覆うような範囲について、研究に必要な等級とカラーのデータを得ることができた。しかし、2 つの銀河については全くデータを取得できなかったほか、5 つの銀河についても観測エリアは予定より限られたものになっており、恒星ハローの最外縁部や新しい衛星銀河の探索に影響が出ている。これらの観測進捗は、すばるユーザーミーティングにて、毎年、インテンシブレポートとして報告した。

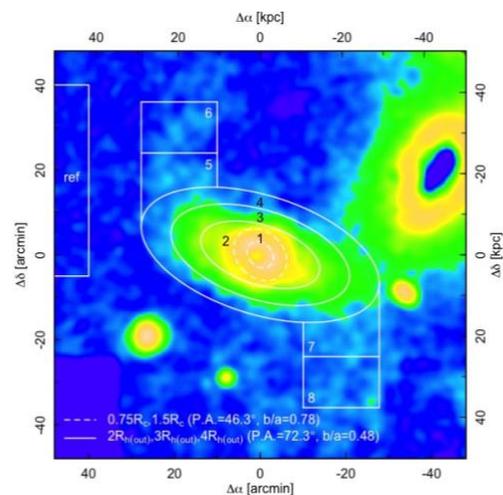


図 1. NGC3077 の赤色巨星の空間分布 (Okamoto et al, 2023, ApJ in press. )

取得したデータの解析も観測と同時並行で進め、本課題が支援された3年の間に、全ての銀河について、基礎解析を完了した。そしてデータの測光精度と天体検出率を評価するため、人工天体を画像に埋め込んで測光結果を比較する「人工天体テスト」を進めている。

(2) ターゲット銀河の一つのM81の衛星銀河であるNGC3077について、画像データに写る天体の位置と明るさを測り、点光源の色と等級を恒星進化モデルと比較することで、NGC3077に属する赤色巨星を検出した(図1参照)。その赤色巨星を使ってNGC3077の構造パラメータ、総光度、恒星質量、金属量分布を求めた。また銀河本体とNGC3077から伸びるS字型の潮汐腕の領域の星の金属量分布(図2参照)の比較から、S字型のサブ構造が、NGC3077の外縁部から引き伸ばされて分布していること、また中心から外側へ向かって平均金属量が小さくなるような勾配があることを明らかにした。NGC3077は古い星を持ちつつ、中心で爆発的な星形成を起こしており、形状や明るさなどの性質では一般的な銀河分類のどれにも当てはまらない奇妙な銀河であるが、本研究結果から、NGC3077はかつては普通の矮小楕円銀河であったものの、近年のM81との重力相互作用によって中心部にガスを供給されて星形成が起こり、今日の姿になったと結論付けた。以上の結果はAstrophysical Journalにて論文として受理された。

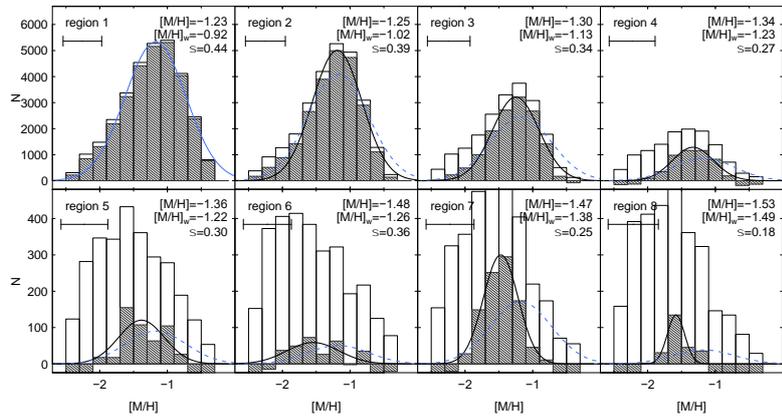


図2. NGC3077の領域ごとの赤色巨星の金属量分布 (Okamoto et al. 2023, ApJ in press.)

(3) M81銀河の衛星銀河であるF8D1に、巨大な恒星ストリームが付随していることを発見した。F8D1本体の大きさの30倍以上、約20万光年にも伸びる赤色巨星の分布(図3右参照)は、矮小銀河のF8D1が巨大なM81の近くを通過した際に受けた強い潮汐力によって生じたと思われる。F8D1は極端に暗く広く広がっている超淡銀河(ultra diffuse galaxy; UDG)のうち、銀河系から最も近いものの一つであり、近年多く発見されているUDGの少なくとも一部は、F8D1のように強い潮汐力によって生じた可能性が高い。以上の結果を、王立天文学会月報(Monthly Notices of the Royal Astronomical Society)にて論文として発表した。またこの発見は、国立天文台、ハワイ観測所、カナダ-フランス-ハワイ望遠鏡から合同プレスリリースとして発表された。(https://subarutelescope.org/jp/results/2023/01/26/3222.html)

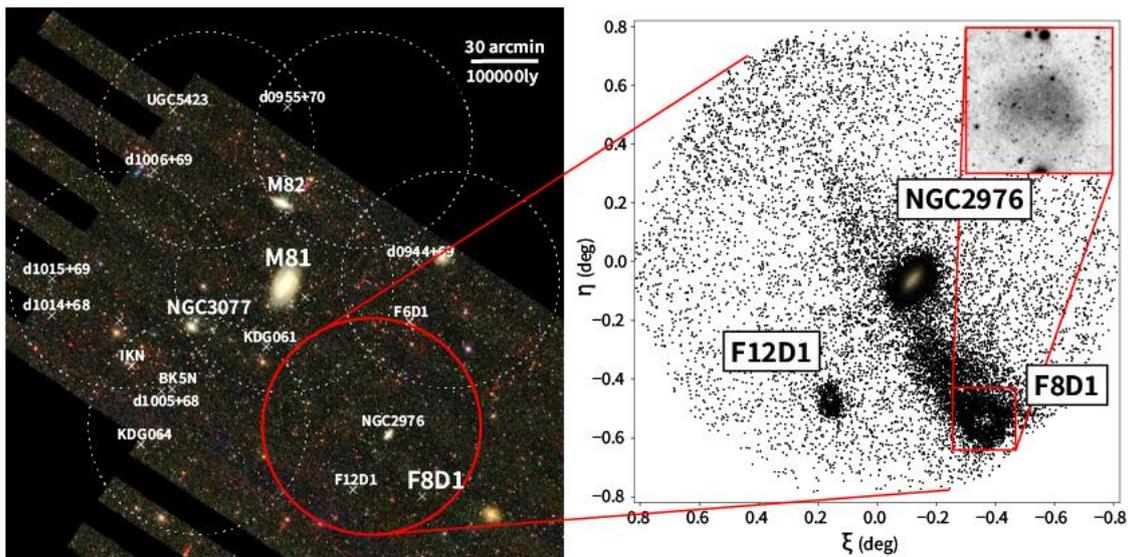


図3. M81銀河の観測領域(左)と、赤色巨星の空間分布(右)中のF8D1銀河とストリーム (Zemaitis et al. 2023, MNRAS, 518, 2497; 図はすばる望遠鏡プレスリリースより転載)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Zemaitis Rokas, Ferguson Annette M N, Okamoto Sakurako, Cuillandre Jean-Charles, Stone Connor J, Arimoto Nobuo, Irwin Mike J	4. 巻 518
2. 論文標題 A tale of a tail: a tidally disrupting ultra-diffuse galaxy in the M81 group	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2497 ~ 2510
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/mnras/stac3133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Sakurako Okamoto
2. 発表標題 Subaru Near Field Cosmology Survey
3. 学会等名 Subaru User's Meeting FY2021（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sakurako Okamoto
2. 発表標題 Subaru Near Field Cosmology Survey
3. 学会等名 Subaru User's Meeting FY2020（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本桜子, Annette Ferguson, Rokas Zemaitis, Mike Irwin
2. 発表標題 Resolved Stellar Population of Nearby galaxies
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sakurako Okamoto
2. 発表標題 Subaru Near Field Cosmology Survey
3. 学会等名 Subaru User's Meeting FY2022 (招待講演)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関