

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14766

研究課題名（和文）究極の深撮像データで捉える遠方銀河外縁部の冷たいプラズマ

研究課題名（英文）Identification of ionized gaseous halos in distant galaxies with extremely deep data

研究代表者

嶋川 里澄 (Shimakawa, Rhythm)

国立天文台・ハワイ観測所・特任助教

研究者番号：20823321

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：当該研究はすばる望遠鏡に搭載された超広視野撮像装置HSCが5年以上に渡り取得した深撮像データを駆使し、約40億光年先の銀河外縁部に存在する冷たいプラズマを検出することを目的としている。具体的には、ある特定の時代のプラズマから放たれる水素の再結合線を捉えることのできる、特注の狭帯域フィルターで取得した観測データが存在し、これを全て合わせることで、一見何も見えない銀河外縁部の淡い構造が露わになることが期待される。最終的に計8千天体弱に及び銀河を合わせることで、銀河が放つ淡い輝線を裾野にあたる約数十キロパーセク外側まで検出することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遠方銀河の外縁部の性質を知る手段は非常に限られており、本研究はすばる望遠鏡の特色を存分に生かし銀河に付随するプラズマを外縁部まで広い範囲にわたって検出することに挑戦した。この試みはスローンデジタルスカイサーベイによる近傍銀河外縁部の研究を除けば初めての試みである。また、これは日本が誇るすばる望遠鏡が持つ唯一かつ最大の魅力とも言える、世界最大級の口径から成せる「視力」に広視野可視撮像装置HSCによる最高峰の「視野」の融合によってもたらされた、膨大な深撮像データを有効活用した研究である。こうした研究は現状すばる望遠鏡のデータを持ってしか実現することができず、国際的価値の高い研究であると言える。

研究成果の概要（英文）：This work is motivated to detect faint ionizing photons in outer regions of distant galaxies, by using the large data-set taken from the Subaru Hyper Suprime-Cam since 2014. It is expected that stacking analysis of deep narrow-band imaging data for H-Alpha emission at the certain redshifts will allow us to detect faint-end of line emission associated with galaxies. As a result, we successfully stack about 7,000 galaxies, and find a H-Alpha emission-line envelope out to a few ten kilo parsec in four billion light-years away.

研究分野：光赤外天文学

キーワード：銀河

## 1. 研究開始当初の背景

### 銀河を包み込む冷たいプラズマ：銀河の主要構成要素なのに見えないバリオン

宇宙大規模構造の大半は暗黒物質によって支配されている。残りの大半はプラズマガスが占めており、一般に銀河として認識される星や星間物質の割合は宇宙全体の数パーセントにも満たない。したがって宇宙の近くできる物質＝バリオンのほとんどはプラズマであり、これを理解することは天文学を根底的に理解する上で非常に重要である。中でも一万～十万ケルビン程度温度にある「冷たいプラズマ」は放射冷却率が高く、最終的に星形成の原料となることから銀河の成長に密接に関わるガスとして知られている。つまり第ゼロ近似で言えば、一般に銀河として認識される星の集合体の成長過程はこの冷たいプラズマによって決定されていると言っても過言ではない。現に多くの宇宙論的流体シミュレーションでは、この冷たいプラズマがある一定の密度限界を超えたところ（厳密には放射冷却時間が力学時間より十分に短くなった段階）で「星ができる」と近似して計算している。

以上のように銀河形成を理解する上で欠かせない基本要素である冷たいプラズマであるが、実際のところ観測的にはほとんど分かっていない。根本的な問題として、プラズマガスは大変希薄であるため、現在の如何なる装置を持ってしても個別に直接観測することが不可能である点が挙げられる。本研究提案の申請当時、観測に唯一成功したのはスローン・デジタル・スカイ・サーベイに基づく研究で (H. Zhang et al. 2016)、近傍銀河のプラズマガスから放たれる微弱な水素の再結合線を、スローンが 20 年かけて観測した 7 百万天体を超える分光スペクトルをうまく合成することで初めて検出することに成功した。この成功例からも冷たいプラズマを検出することが如何に困難であることが想像できるであろう。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、この微弱な光をこれまでの研究されてきた近傍銀河周辺よりもさらに遠方の銀河外縁部で検出することである。これは銀河の形成を時代ごとに理解するために必要不可欠であり、また最新の現実的な銀河を生成するシミュレーションが、冷たいプラズマのような観測データの乏しい領域もちゃんと再現できているかどうか確かめる上で非常に重要である。過去の多くの研究によって明らかになった宇宙の星形成史によると、遠方銀河は近傍銀河よりも遥かに星形成活動が盛んであるため、この冷たいプラズマの性質も大きく異なることが期待される。ナイーブな考察に基づく、星形成の原料である冷たいガスが多いことに加えて、銀河中心の星形成活動に伴う光電離光子の放出量も大きくなるので、絶対フラックスとしては近傍銀河よりもずっと高いことが期待される。

## 3. 研究の方法

### すばる望遠鏡ハイパーシュプリームカムで取得された膨大な深撮像データの合成解析

絶対量は遠方銀河の方が高いかもしれないが、実際のところ観測的には遠方の宇宙であるほど赤方偏移の 4 乗で空間あたりの検出感度が低下するため、検出することが極めて困難になる。そこで本研究では、地上大型可視赤外望遠鏡すばる望遠鏡の旗艦装置であるハイパーシュプリームカム (HSC) と呼ばれる超広視野可視撮像装置によって撮られた、膨大な深撮像データを使用する。これはすばる望遠鏡のレガシーサーベイの一環として開始され、スローンよりも 5 等近く深い画像データを満月 100 個超分に渡って取得し、先行研究とは次元の全く異なるデータベースの構築に成功している。中でも特注の狭帯域フィルターで撮られたデータは、約 44 億光年先にある銀河が放つ水素の再結合線を巧妙に捉えるよう設計されており、この特別なデータを大量に足し合わせることであれば銀河外縁部の冷たいプラズマの情報が得られるはずである。

## 4. 研究成果

結果、図のようにターゲットである約 44 億光年にある銀河の水素の再結合線を沢山足し合わせることで、銀河外縁部およそ 30 キロパーセク外側まで再結合線の検出に成功した (図 1)。銀河

の足し合わせには約 8,000 天体の銀河を用いた。これは申請当初に予定していた数に到底及ばないが、研究解析のベースであるすばる望遠鏡のレガシーサーベイのデータ自体が想定よりも浅かったことに起因しており、本件を超えた問題であるため許容して解析を進めている。とは言うものの、足し合わせたデータ自体はこれまでの研究データでは達成不可能な深さに達しており、本来の目的は十分に果たせたと考えている。これらの解析結果は 2021 年度中にまとめて国際学術論文誌に投稿する予定である。

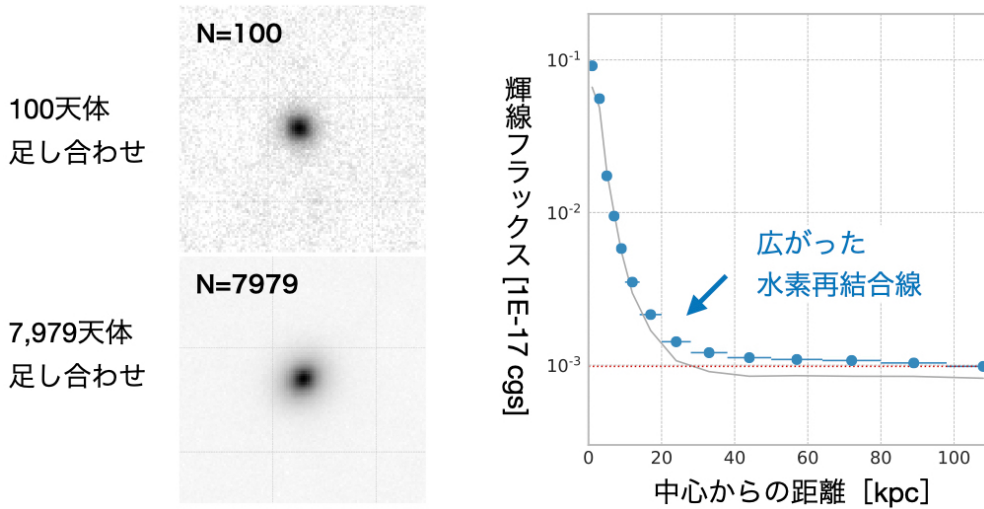
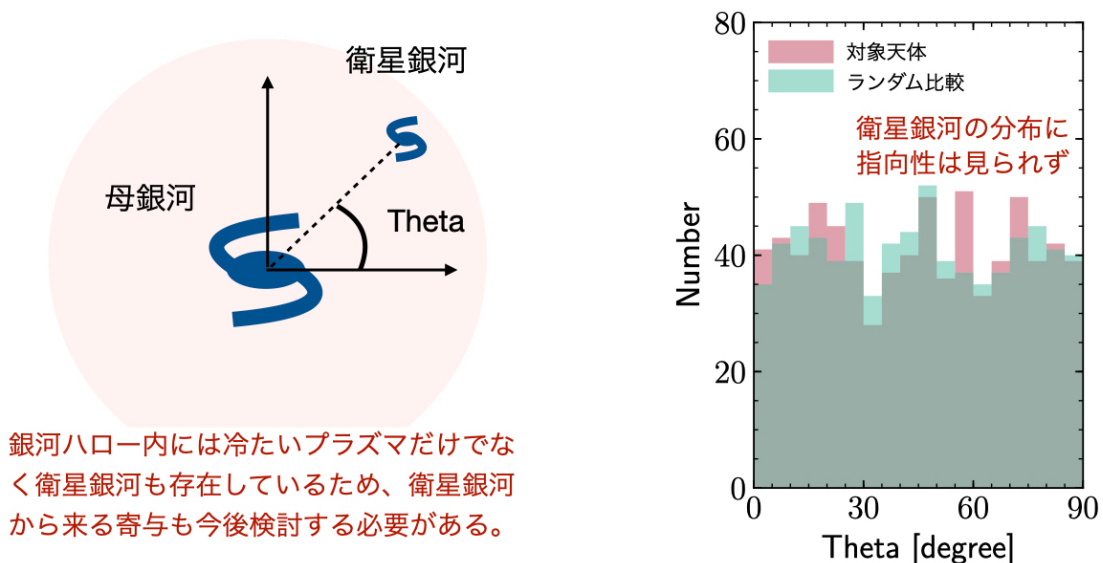


図 1 : 実際に銀河の画像を足し合わせた例 (左) と検出された水素の再結合線の動径方向における輝線分布 (右)。より多くの銀河を足し合わせることでノイズが軽減されていることが分かる。

また、将来的なシミュレーションとの比較に向けて、観測データをうまく再現する宇宙論的 N 体計算のモックデータ (K. Ogura et al. 2020) との比較も進めている。シミュレーションデータを参照することで銀河外縁部から来る微弱な光が具体的に何に起因しているのかについて、理論的な制限を与えることができると期待している。中でも衛星銀河の寄与を調べることは極めて重要である：例えばこの寄与が十分に高い場合、本研究で捉えた外縁部の輝線放射は銀河ハローを満たす冷たいプラズマではなく、衛星銀河の星形成領域に由来するものだと結論することになる。今後観測データとモックデータを比較することで、この問題について詳細に明らかにできると考えている。

今後は銀河外縁部の輝線の広がりだけでなく、広がった輝線に指向性があるのかどうかについて、銀河全体が織りなす大規模構造と照らし合わせて検証していきたい。例えば理論的には銀河の円盤の向きに沿ってガスが降着すると考えられるので、それを取り巻くガスや衛星銀河の分布に指向性が見られる可能性がある。後者については図 2 のように既に検証を進めており、目立った指向性が存在しないことを確認した。



銀河ハロー内には冷たいプラズマだけでなく衛星銀河も存在しているため、衛星銀河から来る寄与も今後検討する必要がある。

図 2 : 母銀河に属する衛星銀河の角度分布 (右) と概略図 (左)。

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 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ogura Kazuyuki, Nagashima Masahiro, Shimakawa Rhythm, Hayashi Masao, Kobayashi Masakazu A. R., Oogi Taira, Ishiyama Tomoaki, Koyama Yusei, Makiya Ryu, Okoshi Katsuya, Onodera Masato, Shirakata Hikari	4. 巻 895
2. 論文標題 Quantifying the Effect of Field Variance on the H Luminosity Function with the New Numerical Galaxy Catalog ( 2GC)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8631	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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 嶋川里澄
2. 発表標題 研究者バトルロイヤル
3. 学会等名 2019年度 第49回 天文・天体物理 若手夏の学校（招待講演）
4. 発表年 2019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
---------	---------