

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和2（2020）年度 研究進捗評価用〕

平成29年度採択分
令和2年3月31日現在

ミリ波サブミリ波帯輝線銀河の無バイアス探索に基づく
隠された宇宙星形成史の研究

Study of cosmic star-formation history based on
an unbiased survey of millimeter- and submillimeter-wave
emission-line galaxies

課題番号：17H06130

河野 孝太郎 (KOHNO, KOTARO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要（4行以内）

138億年の宇宙史における星形成活動の変遷とその原因、特にダストに隠された星形成活動の役割を明らかにするため、ミリ波サブミリ波帯で1オクターブの超広帯域分光を世界に先駆け実現するオンチップ型超伝導分光器 DESHIMA を開発する。これを使った大規模観測から、ダストに隠された星形成率密度や星形成の材料となる分子ガス量密度の変化に新たな制限を得る。

研究分野：銀河天文学・電波天文学

キーワード：宇宙星形成史、銀河進化、ダスト、ミリ波サブミリ波、超伝導検出器

1. 研究開始当初の背景

宇宙における大局的な星形成活動が、時代（赤方偏移）と共にいかに変遷してきたか、その変遷を司る物理過程は何か、を理解することは、現代天文学における最重要課題の一つである。アルマが本格的に稼働し、遠方にあるダストに隠された個々の星形成銀河を高い解像度で精緻に描き出しはじめている一方で、より大局的な星形成活動の指標である「宇宙星形成率密度」の測定は、特に赤方偏移が3~4を超える時代で測定手法の違いによる結果の食い違いが顕在化している。このため、ダストに隠された星形成活動の役割について、統一的な理解は未だ得られていない。

2. 研究の目的

本研究では、ミリ波サブミリ波帯において、スペクトル線を示す「輝線銀河」の大規模探索により、上述の未解明課題の解決を目指す。具体的には以下の2点を目的とする。(1) 遠赤外線域で最も明るい炭素イオンからの[CII] 158 μm 輝線に着目し、赤方偏移が約4から8の時代における星形成銀河を、ダスト減光の影響を受けない手法で、この時代における[CII]輝線光度関数、ひいては星形成率密度を測定する。(2) 分子ガスのトレーサーである回転量子数の比較的小さいCO輝線に着目して無バイアス探索を行うことにより、赤方偏移が0から2に至る時代でのCO

輝線光度関数に制限を与え、分子ガス質量密度の変遷をとらえる。

3. 研究の方法

この目的を達成するため、210GHz から360GHz という幅広い周波数範囲（アルマが1回の観測で分光できる周波数範囲と比較して1桁以上広い）を一挙に分光できるミリ波サブミリ波帯超広帯域分光器 DESHIMA を、最先端の超伝導フォトンクス技術を駆使して開発する。この DESHIMA をさらに空間方向に数10画素規模で配置することにより、超広帯域分光撮像をアルマと同等以上の視野にわたり行うことが可能となる。これを口径50mのミリ波単一開口望遠鏡 LMT に搭載して、重点的な輝線銀河探索観測を行う。

4. これまでの成果

天体信号の検出による、オンチップ型超広帯域超伝導分光器という新しいコンセプトの初実証に、世界に先駆け成功した（図1, 2および発表論文[1]）。これは DESHIMA 技術試験モデルをサブミリ波望遠鏡 ASTE に搭載して銀河を含む天体信号の検出に成功したものである。観測手法・データ較正法の確立（発表論文[2]）も含め大きな進展があった。この成功を踏まえ、220GHz から440GHz という当初案を超えた1オクターブの分光を遂に実現する DESHIMA 2.0 の設計・開発が大きく進

んだ。さらに、LMT 望遠鏡に搭載する大規模アレイ化に向け、広帯域レンズ・アンテナ結合の研究が進み、高い拡張性と将来性を有する優れた設計解を見出すに至ったことも大きな成果である (図 3)。

この他、アルマ等での観測により、ハッブル宇宙望遠鏡等を使った静止系紫外線の銀河探査では見逃されていた、形成途上にある大質量銀河が赤方偏移 3~6 の時代に (現在の理論予測を超え) 大量に存在することを見出し (発表論文[3])、またそうしたダストに隠された銀河やブラックホールの成長を支えるガス流の発見 (発表論文[4]) など、重要な科学成果が得られている。

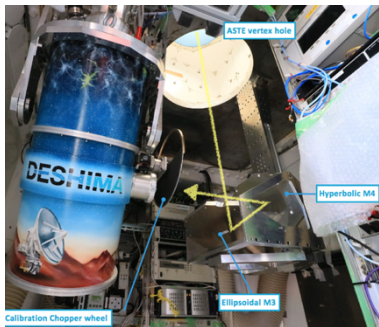


図1:サブミリ波望遠鏡ASTEの受信機室に搭載した超広帯域分光器DESHIMA技術実証機。

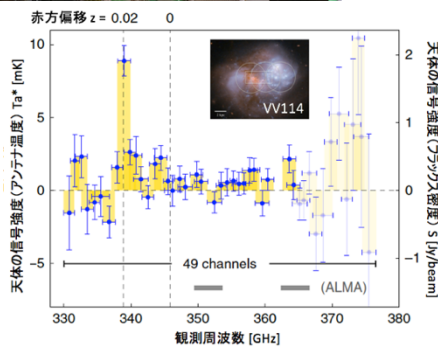


図 2 : ASTE に搭載した DESHIMA により取得したスペクトル。低分散 ($R = 380$) ながら 332GHz から 377GHz まで一挙に分光できる (ただし 370GHz 付近は大気吸収のため雑音大きいことに注意)。

基礎研究提案時の技術で実現した設計解: 検出器1個ごとにフォルダとアンテナが必要
 新たに獲得した知見に基づく設計解: シンプルで小型化、高い拡張性 → 大規模化が可能に

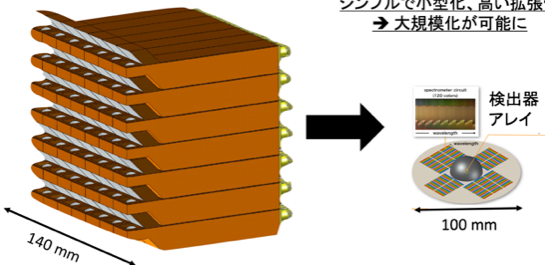


図 3 : 本研究により到達した小型で拡張性の高い検出器アレイの設計解。

5. 今後の計画

2020 年度には、DEAHIMA2.0 を ASTE 望遠鏡に搭載し、赤方偏移 3.3 – 7.6 の明るい

[CII] 158 μ m 輝線を示す銀河の大規模探査を行い、[CII]輝線光度関数とその進化について新たな制限を得ると共に、2021 年度に LMT 望遠鏡へ搭載する多画素化版 DESHIMA の開発を進める予定である。

また 2019 年末に観測が完了したアルマ大型プログラム ALCS (PI:河野) のデータ解析等、アルマを駆使した研究も引き続き進め、ダストに隠された星形成活動の探査および [CII]/CO 輝線光度関数の測定を行い、DESHIMA での観測結果とあわせて、より強い制限を幅広い光度範囲で得ることを目指す。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

[1] “First light demonstration of the integrated superconducting spectrometer”, Endo, A., Karatsu, K., Tamura, Y. (39人中3番目), Oshima, T., Taniguchi, A., Takekoshi, S., Asayama, S., Ishida, T., Ishii, S., Kawabe, R. (39人中18番目), Kohno, K. (39人中20番目) 他 Nature Astronomy, 3, 989–996 (2019)

[2] “DESHIMA on ASTE: On-Sky Responsivity Calibration of the Integrated Superconducting Spectrometer”, Takekoshi, T., Karatsu, K., Suzuki, J., Tamura, Y. (40人中4番目), Oshima, T., Taniguchi, A., Asayama, S., Ishida, T., Ishii, S., Kawabe, R. (40人中19番目), Klapwijk, T. M., Kohno, K. (40人中21番目), 他 Journal of Low Temperature Physics, 印刷中

[3] “A dominant population of optically invisible massive galaxies in the early Universe”, Wang, T., Schreiber, C., Elbaz, D., Yoshimura, Y., Kohno, K., Shu, X., Yamaguchi, Y., Pannella, M., Franco, M., Huang, J., Lim, C.-F., Wang, W.-H., Nature, 572, p.211–214 (2019)

[4] “Gas filaments of the cosmic web located around active galaxies in a protocluster”, Umehata, H., Fumagalli, M., Smail, I., Matsuda, Y., Swinbank, A. M., Cantalupo, S., Sykes, C., Ivison, R. J., Steidel, C. C., Shapley, A. E., Vernet, J., Yamada, T., Tamura, Y., Kubo, M., Nakanishi, K., Kajisawa, M., Hatsukade, B., Kohno, K., Science, 366, p.97–100 (2019)

7. ホームページ等

<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~kkohno/>