

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成20年度採択分

平成23年5月25日現在

研究課題名（和文） **超広帯域ミリ波サブミリ波観測による
大規模構造の進化の研究**
研究課題名（英文） A Study of the Evolution of Large Scale Structures
Based on the Ultra Wide Band Mm/Submm Observations
研究代表者
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：初期宇宙におけるダストに隠された星形成活動を探る上で特に有効な、ミリ波サブミリ波という波長帯での超広帯域観測により、可視光や赤外線では捉えられない、隠された星形成銀河を新たに多数検出し、その距離を直接的に測定する。これにより、宇宙初期における真の星形成活動と大規模構造を捉え、その変遷を明らかにする。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：ミリ波サブミリ波、超伝導、銀河形成、ダスト放射、分子輝線

1. 研究開始当初の背景

(1) 初期宇宙での星形成活動の歴史は、可視光や赤外線での観測研究が進んでいるが、星間物質、特にダストによる減光の影響が大きく、その真の描像は未だ得られていない。
(2) 初期宇宙において、ダストに隠された爆発的星形成活動を探る決定打となるのがミリ波サブミリ波帯の観測であるが、技術的な困難から、統計的に十分な数の銀河を検出できるような広さ・深さの掃天観測は、この波長帯では、未だ実現していない。

2. 研究の目的

(1) 統計的に有意な、～1000個に迫る数の、初期宇宙に存在し多量のダストに隠された爆発的星形成銀河（サブミリ波銀河）を新たに発見し、従来知られていたサブミリ波銀河の個数を一挙に数倍に拡大する。
(2) ミリ波サブミリ波帯の超広帯域観測に基づく複数の手法により、検出したサブミリ波銀河の距離（赤方偏移）を、直接的に推定・測定する。
(3) これらの観測結果から、従来の可視光や赤外線での観測では見逃されてきた「ダストに隠された大質量星形成銀河の大規模構造」を初めて明らかにする。冷たい暗黒物質理論に基づく構造/銀河形成シナリオを検証すると共に、ダスト減光の不定性のない、真の宇宙星形成史を描き出す。

3. 研究の方法

(1) 南米アタカマ砂漠の高地（標高 4860m）

に設置した、高精度なサブミリ波望遠鏡 ASTE（図1左下）に連続波カメラを搭載し、波長1mm帯での広域掃天観測を行う。

(2) 複数の波長での測光を行う多色カメラを開発、ASTE望遠鏡に搭載し、スペクトル分布から、大まかな赤方偏移を推定する。また、ミリ波サブミリ波帯の超広帯域分光装置を開発、野辺山45m電波望遠鏡等に搭載し、分子・原子スペクトル線の分光観測により、高い精度で赤方偏移の決定を行う。

(3) これらの結果に基づき、宇宙の各年代に存在するサブミリ波銀河の個数密度を測定し、宇宙の星形成率密度とその変化を求める。また、2点相関関数の解析により、暗黒物質ハローの質量とその変遷を調べる。

4. これまでの成果

(1) 初期宇宙におけるダストに隠された爆発的星形成銀河（サブミリ波銀河）の膨大な発見と、その追及観測・解析。波長1.1mm帯のカメラAzTECをサブミリ波望遠鏡ASTEに搭載して行った重点的な掃天観測により、合計1400個以上ものサブミリ波銀河を検出することに成功した（図1）。この膨大なデータをもとに、すばる望遠鏡やあかり衛星等のデータと比較しつつ、以下のような成果を得ている。①明るいサブミリ波銀河、約20個が、赤方偏移3.1の初期宇宙の狭い領域に密集している現場を初めて発見[5]。すばる望遠鏡による輝線銀河との2点相互相関解析により、これらの爆発的星形成銀河が、暗黒物質による大規模構造に付随していることを初めて示した。②サブミリ波銀河の、かつて

ない精密な銀河計数の測定と、宇宙星形成史への制限[2]。波長 1.1mm での深い撮像観測により、極めて高い打率で初期宇宙の爆発的星形成銀河が検出できることを実証。③2 体相関関数解析による、暗黒物質ハロー質量の推定。サブミリ波銀河が、極めて大質量のハローに付随していることを示唆する結果を得た。④SMA など既存のミリ波サブミリ波干渉計を使った個別サブミリ波銀河の詳細研究。基本的物理量の測定[4]、大規模構造に付随する、ダストに深く隠された原始クエーサーの発見[3]、重力レンズにより強く増光された、初期宇宙（赤方偏移約 3.4）にあるサブミリ波銀河の発見[1]、等の成果を得た。

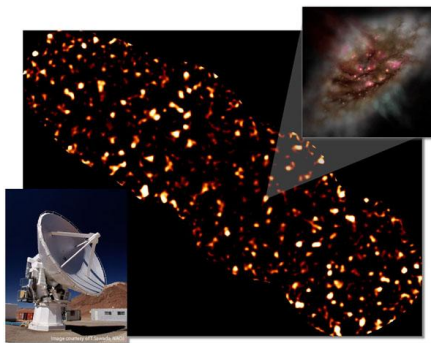


図1：ASTE 望遠鏡（左下）により得た、ADF-S 領域の、波長 1.1mm 帯画像。白い点の一つ一つが新たに検出された爆発的星形成銀河（右上の想像図）である。この画像には、198 個の銀河が検出されているが、「あかり」衛星データとの比較解析により、検出天体のほとんど（196 個）が、初期宇宙（80 億光年以上）の爆発的星形成銀河であることが分かった。

（2）超伝導遷移端センサー（TES）ボロメーターを用いた多色カメラの開発（図2）。現在、第一フェイズとして、2 波長（1.1mm 帯・0.87mm 帯）同時観測を実現する、合計 400 画素のカメラ・システムがほぼ完成し、ASTE 望遠鏡への搭載準備が進んでいる。また、解析ソフトウェアや、新しい観測アルゴリズムの手法開発も進展した。

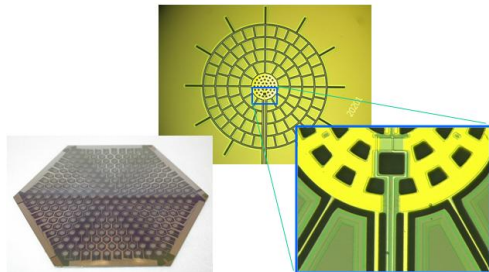


図2：開発した 0.87mm 帯超伝導ボロメーターアレイのウエハ（左下）。1 素子を拡大するとスパイダーウェブ構造が見える（中央）。その中心付近に、超伝導遷移端センサー（TES）が配置されている（右下）。

（3）超広帯域ヘテロダイン分光受信機システムの開発・野辺山 45m 鏡への搭載と科学観測の開始。現在までに、100GHz 帯において、周波数帯域 16GHz という非常に広い帯域での高分散分光が可能になり、高赤方偏移銀河からの CO 輝線の検出にも成功した。また、超広帯域分光装置 Z-Spec を CS010m 鏡に搭載し、発見した天体の中で特に明るく興味深いサブミリ波銀河の分光観測を行った[1]。

5. 今後の計画

開発を進めてきた多色連続波カメラを ASTE 望遠鏡に搭載し、総合試験を経て、観測を開始する。我々が検出した膨大な数のサブミリ波銀河について、その赤方偏移分布を明らかにすることができる他、更に新たな銀河の検出も見込まれる。平行して、野辺山 45m 鏡に搭載した超広帯域分光システムの性能向上と分光観測をさらに進める。

また、いよいよアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）が稼働する。我々が検出してきた膨大な数のサブミリ波銀河は、アルマの初期科学運用期における絶好かつ我々独自の貴重なサンプルである。アルマの高い解像度を活かして、本研究と相補的かつ高い相乗効果をもったデータが取得できる。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

（研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線）

[1] Ikarashi, S., Kohno, K., and 31 coauthors, “Detection of an ultra-bright submillimeter galaxy in the Subaru/XMM-Newton Deep Field using AzTEC/ASTE”, MNRAS, in press (2011)

[2] Hatsukade, B., Kohno, K., and 21 coauthors, “AzTEC/ASTE 1.1-mm Survey of the AKARI Deep Field Southsource catalogue and number counts”, MNRAS, 411, 102-116 (2011)

[3] Tamura, Y., 12 coauthors, Kawabe, R., Kohno, K., and 7 coauthors, “Submillimeter Array Identification of the Millimeter-selected Galaxy SSA22-AzTEC1: A Protoquasar in a Proto-cluster?”, ApJ, 724, 1270-1282 (2010)

[4] Hatsukade, B., 8 coauthors, Ezawa, H., Hanami, H., Ho, P., Hughes, D. H., Kawabe, R., Kohno, K., and 10 coauthors, “Unveiling the Nature of Submillimeter Galaxy SXDF 850.6”, ApJ, 711, 974-979 (2010)

[5] Tamura, Y., Kohno, K., and 19 coauthors, “Spatial correlation between submillimetre and Lyman- α galaxies in the SSA22 protocluster”, Nature, 459, 61-63 (2009)

ホームページ等

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