

平成22年 5月31日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19403005

研究課題名(和文) サブミリ連続波による南天の広域探査

研究課題名(英文) Submillimeter-wave Wide-Field Survey of Southern Hemisphere

研究代表者

松尾 宏 (MATSUO HIROSHI)

国立天文台・先端技術センター・准教授

研究者番号：90192749

研究成果の概要(和文)：

アタカマ高原に設置したサブミリ波望遠鏡 ASTE にミリ波ボロメータアレイ AzTEC を搭載して広視野のサーベイ観測を行い、銀河団および南黄極を中心とした広域サーベイを実行した。この結果、銀河団方向の強く重力レンズの影響を受けたサブミリ波銀河の発見、スニアエフ・ゼルドビッチ効果の画像取得、および南黄極領域におけるこれまでで最も広域で高感度の銀河サーベイが実現し原始銀河の形成と進化に対して制限を与えた。サブミリ波 650GHz 帯の観測装置として SISCAM 観測装置の性能向上を図った。

研究成果の概要(英文)：

Wide field millimeter-wave observations were performed using AzTEC bolometer array on submillimeter-wave telescope ASTE. Survey of galaxy cluster fields and south ecliptic pole regions were performed. Results include a finding of highly gravitationally lensed submillimeter galaxy toward Bullet Cluster, imaging of Sunyaev-Zel'dovich effects and numerous number of galaxies toward South ecliptic pole region which gives new understandings of formation and evolution of submillimeter-wave galaxies. Submillimeter-wave imaging array SISCAM has been refurbished for observations.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2007年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 2008年度 | 4,400,000 | 1,320,000 | 5,720,000 |
| 2009年度 | 4,000,000 | 1,200,000 | 5,200,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 12,900,000 | 3,870,000 | 16,770,000 |

研究分野：電波天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：電波天文学、サブミリ波、2次元アレイ、ボロメータ、超伝導検出器

1. 研究開始当初の背景

国内におけるサブミリ波連続波の観測は、こ

れまでは分子分光観測が中心であったこと、連続波観測装置の開発に時間がかかっている

ることから、半導体ボロメータアレイを用いた海外のグループによる観測に遅れを取っていた。一方で、国立天文台がチリ・アタカマ高原に設置したサブミリ波望遠鏡 ASTE は、標高 5000m 級の高地に設置された世界初の大型望遠鏡であり、リモート観測も可能な望遠鏡であった。

サブミリ波では JCMT など高山にあるサブミリ波望遠鏡に搭載されたボロメータアレイによりサブミリ波銀河の検出が行われていたが、観測視野が狭いため十分な統計が稼げず、光度関数の決定や銀河の形成進化に対して十分な精度が得られていなかった。

国立天文台ではサブミリ波の観測装置として SISCAM (Superconductive Imaging Submillimeter-wave Camera) の開発を進めていた。サブミリ波帯領域での本格的なカメラの実現を目指した装置であるが、ASTE 試験搭載時の過剰雑音が発生することが問題となっていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ミリ波観測装置としてマサチューセッツ大学が開発した 144 素子ボロメータアレイ AzTEC を用いて、南天銀河団領域および南黄極領域の広域サーベイを行い、広視野かつ高感度のサーベイ画像を得ること。そして、この観測データを用いて、1) サブミリ波銀河の光度関数およびサブミリ波銀河の形成進化の歴史を明らかにすること、2) 銀河団高温プラズマによるスニアエフ・ゼルドビッチ効果を通して、銀河団プラズマの物理を解明することである。

この観測をさらに発展させるため、国立天文台で開発を進めているサブミリ波観測装置 SISCAM の性能向上を行い、650GHz 帯での観測により、ミリ波、サブミリ波、遠赤外線のより広い波長域の情報から観測天体の解明に取り組むことを目指した。

3. 研究の方法

AzTEC は JCMT に搭載された実績を持つ観測波長 1.1 ミリ素子数 144 素子の広視野ミリ波カメラであり、視野が約 $8'$ 、空間分解能が約 $30''$ で、ほぼ背景放射限界の観測性能を持つ。観測は 2007 年度と 2008 年度に行い、それぞれ 107 素子および 117 素子が実際の観測で高感度の検出器として動作していた。

観測内容としては、1 回の観測でカバーする視野を $15'$ 四方としてサーベイ観測を行い、合計 20 個以上の銀河団領域の観測を行った。

南黄極領域においては、赤外線天文衛星「あかり」のサーベイ領域 (ADF-S) 内に視野を選び、遠赤外線からミリ波領域の SED より

天体の赤方偏移を決定することができると期待された。

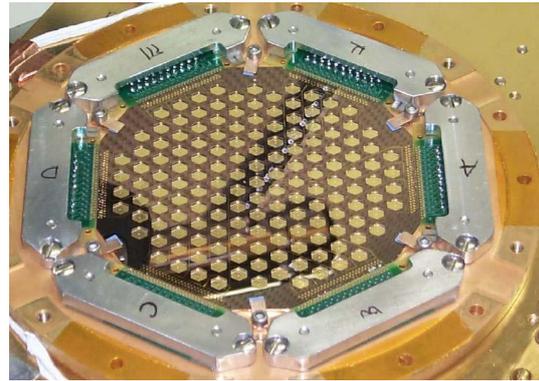


図 1. AzTEC 搭載には 144 素子のスパイダーウェブ・ボロメータ (JPL が製作) が搭載されている。



図 2. ASTE 望遠鏡に搭載された AzTEC クライオスタット。液体ヘリウムおよび液体窒素の注入口が上部に、クライオスタットの下側にアルミの楕円鏡が見える。

4. 研究成果

ASTE に搭載した AzTEC 観測装置により、平成 18 年度と 19 年度の 2 シーズンにわたり、銀河系内分子雲、系外銀河、銀河団、および遠方銀河サーベイなど多くの観測プログラムが実行された。

初年度には、まず AzTEC ボロメータアレイの ASTE 搭載および試験観測を行い、アンテナ光学系の調整、データ取得及び解析手法、および液体ヘリウム・液体窒素の注入作業を

含む運用体制を確立した。観測性能としては、ノイズレベルで 1mJy (1σ) 以下の画像取得が可能となり、アタカマ高原の大気透明度を生かした高感度の観測システムが実現した。

観測としては、銀河系内分子雲および近傍銀河のダスト放射の観測、銀河団を中心としたスニアエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果の観測、銀河団重力レンズを利用した遠方銀河探査、南黄極領域での遠方銀河探査など、幅広い天体の観測を通して、観測および解析手法の確立を行った。初年度観測の成果としては、南天の X 線銀河団 Bullet Cluster 方向に非常に明るいサブミリ波銀河を発見した。図 1 に観測された画像および X 線強度と弱重力レンズから見積もった質量分布との比較を示す (Wilson et al. 2008)。

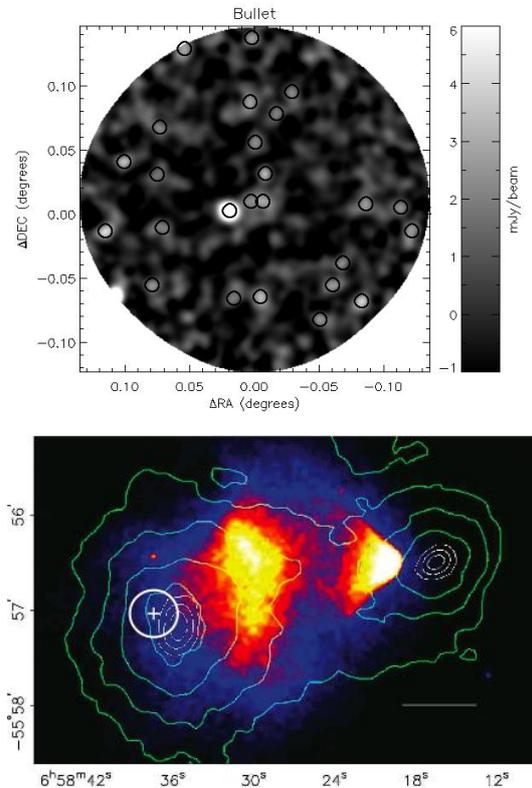


図 3. X 線銀河団 Bullet Cluster 方向に見つかった重力レンズ効果を受けたサブミリ波銀河の発見。上: AzTEC の観測領域 (直径約 $15'$) の中心やや左に強いサブミリ波源がある。下: サブミリ波源の位置を X 線 (カラー) および弱重力レンズから求めた質量分布 (等高線) と比較した図。

初年度の観測で、ASTE に搭載された AzTEC 観測装置が、これまでの行われたボロメータアレイによる観測に比べ、圧倒的に高いサーベイ感度を持つことが明らかとなった。そこで次年度の観測では、サーベイ感度の向上と観測領域を広げることで他の観測装置では成し得ない広域高感度サーベイを実行する

ことを目標とした。特に赤外線天文衛星「あかり」が深探査を行った南黄極領域 (ADF-S) に多くの観測時間を投入し、約 $1^\circ \times 0.3^\circ$ の領域で $0.5\text{--}0.7\text{mJy}$ (1σ) という広視野高感度サーベイを達成し、約 180 個の銀河を検出した。「あかり」の観測データとの比較で 90 ミクロンでの対応天体の少ないことが明らかとなり、多くの AzTEC 天体が赤方偏移 2 以上であることが示唆された。図 4 に南黄極領域の観測例を示す。しかしこの中で「あかり」90 ミクロンで観測された天体は 1 つしかない。このことから、大部分の天体は大きな赤方偏移のために遠赤外線強度が弱いと考えられる。

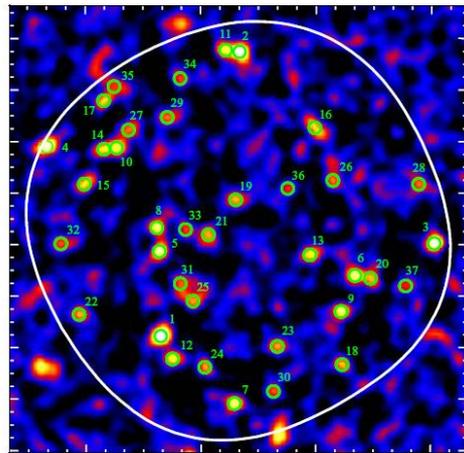


図 4. 「あかり」南天ディープフィールド内での AzTEC 観測例。画像のノイズレベルは約 0.5mJy で、約 $15'$ 四方の視野内 (白枠) に 38 個の銀河が $S/N > 3.5$ 以上で検出されている。

AzTEC による銀河団の観測は、1) SZ 効果の検出を意図したもの、2) 重力レンズを利用して最遠方銀河の検出を狙ったもの、合計で 20 個以上に上る。前者として Bullet Cluster および RXJ1347-1145 など比較的赤方偏移の小さな銀河団から、後者として赤方偏移が大きく AGN 伴った銀河団などの観測データを得ている。解析は主として SZ 効果の検出を目的として広がった放射成分に対して感度の高い解析プログラムの開発を進め、Bullet Cluster, RXJ1347-1145, Abell12163 などでは広がった SZ 効果の検出に成功した。図 5 に観測例を示す。いずれの過去の銀河団衝突の示唆されている銀河団であるが、SZ 効果の分布と X 線放射の分布から銀河団高温プラズマの温度と密度の分布を明らかにすることができる。

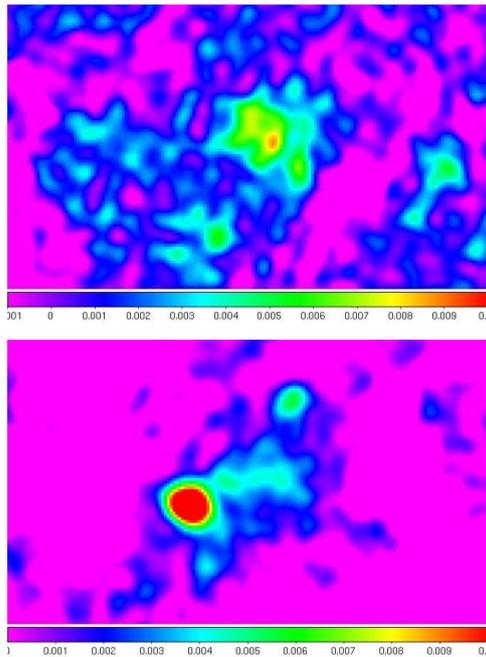


図 5. RXJ1347-1145 (上) および Bullet Cluster (下) の SZ 効果の画像。Bullet Cluster では明るい点源は前出のサブミリ波銀河である。波長 1.1 ミリの観測のため、SZ 効果は正の強度分布として観測されている。

観測波長 450 ミクロン (650GHz) の SISCAM 観測装置については、性能向上のための改修を進めた。試験搭載時に問題となった交流磁場による干渉ノイズの原因が検出器と読み出し回路部の間で発生していることが分かり、交流磁界シールドの導入、および、極低温回路の搭載が必須であることが明らかとなった。

近い将来、サブミリ波帯で本格的なサーベイ観測を実行するために、クライオスタットの交流磁界シールド対策を進めるとともに、GaAs-JFET を用いた極低温集積回路の搭載に向けた 32 チャンネル極低温モジュールの試作を行った。以下の写真に試作した 32 チャンネル読み出し回路のマルチチップモジュールを示す。16ch-AC 結合 CTIA アンプ 2 個、S/H 付マルチプレクサ 2 個、シフトレジスタ 4 個から構成される。

SIS フォトン検出器の大規模アレイと組み合わせることで波長 450 ミクロン (650GHz) での広域サーベイが実行できるものと期待される。

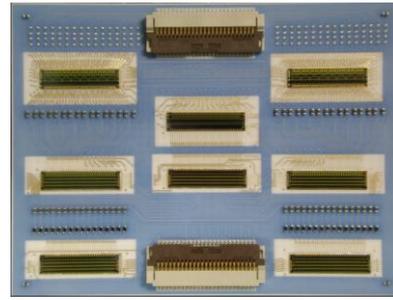


図 6. LTCC 基盤を用いた 32 チャンネルマルチチップ読み出しモジュール

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)

〔雑誌論文〕 (計 6 件)

- ① Scott, K. S., Ezawa, H., Kohno, K., Oshima, T. et al., “Deep 1.1 mm-wavelength imaging of the GOODS-S field by AzTEC/ASTE - I. Source catalogue and number counts”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society in press (2010)
- ② Liu, G., Kohno, K., Ezawa, H. et al., “An Investigation of the Dust Content in the Galaxy Pair NGC 1512/1510 from Near-Infrared to Millimeter Wavelengths”, Astronomical Journal 139, 1190-1198 (2010)
- ③ Tamura, Y., Kohno, K., Ezawa, H., Oshima, T. et al. “Spatial correlation between submillimetre and Lyman- α galaxies in the SSA22 protocluster”, Nature 459, 61-63 (2009)
- ④ Wilson, G. W., Ezawa, H., Kohno, K., Matsuo, H., Oshima, T. et al., “A bright, dust-obscured, millimeter-selected galaxy beyond the Bullet Cluster (1E0657-56)”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 390, 1061-1070 (2008)
- ⑤ Kohno, K., Oshima, T., Matsuo, H., Ezawa, H. et al., “AzTEC on ASTE Survey of Submillimeter Galaxies”, ASP Conference Series 399, 264-267 (2008)
- ⑥ Ezawa, H., Kohno, K., Matsuo, H., Oshima, T. et al., “New achievements of ASTE: the Atacama Submillimeter Telescope Experiment”, Proceedings of SPIE 7012, 701208-701208-9 (2008)

[学会発表] (計9件)

- ① 河野孝太郎 他 「超広帯域ミリ波サブミリ波観測に基づく大規模構造の進化の研究：進捗状況」 日本天文学会 2010年春季年会、平成22年3月25日、広島大学
- ② 田村陽一 他 「原始銀河団中心の原始クエーサー? : サブミリ波銀河SSA22-AzTEC1の多波長分析」 日本天文学会 2010年春季年会、平成22年3月25日、広島大学
- ③ 五十嵐創 他 「AzTEC/ASTEでSXDF領域に発見した超高光度サブミリ波銀河」 日本天文学会 2010年春季年会、平成22年3月25日、広島大学
- ④ 五十嵐創 他 「1.1 mm AzTEC MAPでのスタッキング解析による sBzK 銀河の星質量と星形成率の関係」 日本天文学会 2010年春季年会、平成22年3月24日、広島大学
- ⑤ 南谷哲宏 他 「AzTEC-ASTE 1.1mm Observations toward a Quiescent Giant Molecular Cloud in the Large Magellanic Cloud」 日本天文学会 2009年秋季年会、平成21年9月15日、山口大学
- ⑥ 廿日出文洋 他 「AzTEC/ASTE AKARI Deer Field-South サブミリ波銀河探査」 日本天文学会 2009年春季年会、平成21年3月21日、大阪府立大学
- ⑦ 江澤 元 他 「ASTEの進捗-ボロメータカメラAzTECによる本格的連続波観測の開始」 日本天文学会、2007年9月27日、岐阜大学
- ⑧ Kohno, K. 他 “AzTEC on ASTE Survey of Submillimeter Galaxies” 日本天文学会、2008年3月24日、オリンピック記念青少年総合センター
- ⑨ Matsuura, S. 他 “Multi-wavelength follow-up observations in the AKARI deep field south” 日本天文学会、2008年3月24日、オリンピック記念青少年総合センター

[図書] (計1件)

- ① 松尾 宏 「現代の天文学 宇宙の観測 II 電波天文学」 日本評論社、第5.5章 「サブミリ波直接検出器」 pp. 219-232 (2009)

[その他]

ホームページ :

<http://www.nro.nao.ac.jp/~aste/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 宏 (MATSUO HIROSHI)

国立天文台・先端技術センター・准教授

研究者番号 : 90192749

(2) 研究分担者

江澤 元 (EZAWA HAJIME)

国立天文台・電波研究部・助教

研究者番号 : 60321585

大島 泰 (OSHIMA TAI)

国立天文台・電波研究部・助教

研究者番号 : 40450184

河野孝太郎 (KOHNO KOTARO)

東京大学・理学系研究科・教授

研究者番号 : 80321587

(H20→H21 : 連携研究者)

(3) 連携研究者

該当なし