

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03725

研究課題名(和文)サブミリ/THz多輝線観測によるLIRGs衝突の星形成・AGNと高密度ガスの物理

研究課題名(英文) Study of relations of the dense molecular gas, AGN and star formation enhanced by LIRGs collisions based on submillimetre and THz observations.

研究代表者

浅山 信一郎 (Asayama, Shin'ichiro)

国立天文台・アルマプロジェクト・特別客員研究員

研究者番号：60390621

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,200,000円

研究成果の概要(和文)：高臨界電流密度SIS素子を用いたTHz帯超高感度受信機をASTE望遠鏡に搭載して近傍星形成領域等の試験観測に成功し、南米の10mクラスの大型電波単一鏡に搭載された世界最高性能のTHz帯観測システムの構築を実現した。世界的なパンデミックによる国内外の移動規制等のため、ASTEによる高回転遷移データは取得できなかった。しかしながらALMA望遠鏡等を用いて近傍U/LIRGsを観測を行った結果、U/LIRGsなどの衝突銀河においては高密度ガスが卓越しており、また星形成効率が高くなっていることが示された。さらにALMA/ACA望遠鏡を用いて、一酸化炭素と中性炭素の間に相関がある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

U/LIRGsなどの衝突銀河においては高密度ガスが卓越し、また星形成効率が高くなっていることを示し、U/LIRGsにおいて一酸化炭素と中性炭素の間に相関があることを明らかにした。今後衝突銀河が多く存在する初期宇宙の観測への応用が期待される。さらにOrion-A巨大分子雲に対するTHz帯観測結果を「デモサイエンスデータ」としてコミュニティに公開した。THz帯広帯域受信機の開発成果は国際会議で発表するとともに、複数論文発表した。広帯域のTHz帯シリコン真空窓の新しい作製手法を確立し、産業応用も期待される成果も得られた。このことから、高い水準で学術的貢献ができたものと考えている。

研究成果の概要(英文)：A new THz receiver with SIS mixers employing high critical current density junctions was installed on the ASTE telescope. Wide-field images were successfully obtained toward one of the nearest star-forming regions. THz observation capability on a 10 m-class single dish telescope in South America was established. Due to the global pandemic, high transition CO observation data were not obtained with ASTE. However, observations of nearby U/LIRGs using the ALMA telescope and other telescopes showed that dense gas and star formation/AGN activities were seen in these colliding galaxy systems. Furthermore, using the ALMA/ACA telescope, a correlation between carbon monoxide and neutral carbon was confirmed.

研究分野：電波天文学

キーワード：星形成 LIRGs ALMA AGN SIS素子 THz ASTE

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高光度赤外線銀河 Luminous Infra-Red Galaxies (LIRGs) は $L_{IR} > 10^{11} L_{sun}$ で定義される赤外線非常に明るい銀河である。全光度の 90%以上をダストからの赤外線領域で放射しており、その多くが変則的な形態を示していることから、銀河衝突による誘発的星形成や活動銀河核 (AGN) の発生を強く示唆している。LIRGs は近傍宇宙においては非常にまれな天体であるが、近年の衛星によるサーベイの結果、赤方偏移 1 以上の初期宇宙では個数・エネルギーともに星形成の大部分を占めることがわかってきた。そのため、近傍の LIRGs における活動現象 (星形成や AGN) の発生メカニズムを詳細に調べることは、宇宙における銀河形成を理解する上で大変重要なテーマであるといえる。爆発的星形成や AGN の活動の材料となっているのは分子ガスである。これまでは、ミリ波帯で観測される CO(1-0)などの低回転遷移ガスの観測が主流だった。しかし、CO(1-0)によってトレースされる分子ガスは銀河全体に広がっていることが多く、必ずしも星形成や AGN に直結するガスではないことがわかっている。また、ASTE の 345GHz 受信機を使って観測できる CO(3-2)輝線も同様に広がっていることが最近の ALMA などの干渉計を使った高空間分解能観測からわかってきた。そのため、鍵となるのが、高密度領域 ($> 10^4 \text{ cm}^{-3}$) に存在する励起状態の高い分子の観測である。このような分子は星形成や AGN 周辺に多く存在すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、高密度ガスのトレーサーである CO(6-5)、CO(7-6)、CO(8-7)、CO(9-8)が観測できる受信機を ASTE 望遠鏡に搭載し、ASTE から観測可能な LIRG の分子ガススペクトルを取得し、銀河衝突における星形成活動・AGN と高密度ガスの関係を調べることを目的とする。高い回転遷移 (高い周波数)ほど地球大気の吸収が厳しくなるため観測は容易ではなく、赤外線特に明るい一部の天体を除いては、このような密度の高い分子ガスの系統的な観測はほとんど進んでいないのが現状である。また、本研究は、LIRG における 4 つの分子ガスの回転遷移を同じ観測装置で観測するという点に特徴があり、銀河衝突における星形成と高密度ガスの関係の本質に迫るといふ大きな意義がある。これまでに Herschel 衛星に搭載されている SPIRE 装置を使って観測は行われているが、同装置の速度分解能は非常に粗く (200km/s 程度)、銀河の速度構造など、動力学的な議論はできなかった。また、CO(4-3)、CO(3-2)は現在 ASTE に搭載されている受信機で観測でき、すでにサーベイが行われており、これらの結果を組み合わせることで物理量が精度よく定まる。CO の低励起から高励起までを高い分解能で観測することは難しく、詳細な研究は行われていないため、本研究課題で先鞭をつけるものである。

3. 研究の方法

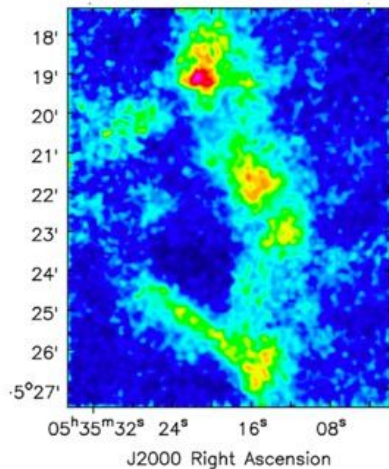
ALMA の周波数帯 Band 9 (602-720 GHz) と Band 10 (787 - 950 GHz)、さらに 1 THz 帯の大気窓 (1000 - 1050 GHz) に相当する広範囲の周波数領域 (602 - 1050 GHz) に存在する分子スペクトル線の同時観測を南米チリ・ALMA サイトに設置された ASTE 望遠鏡にて行う。具体的には、高密度ガスのトレーサーである CO(6-5)、CO(7-6)、CO(8-7)、CO(9-8)の分子輝線を明るい高光度赤外線銀河に対し取得することにより、その銀河の物理量 (温度、密度、紫外線輻射強度) を精度よく求めることが可能となる。このデータを使い、(1) 銀河衝突のステージと物理量の間関係を定量化し、N 体-SPH シミュレーションの予想と直接比較をする。また、(2) 星形成の強度や AGN の有無と物理量の間関係を調査する。これまでは、Herschel 望遠鏡を使った観測により同様のスペクトルは得られているが、分解能が粗いため銀河全体の平均値しか得られなかった。これは、特に銀河中心付近のガスの状態を調査する上で問題であった。口径 10m の ASTE 望遠鏡を用いることで、10 秒角以下の高分解能観測が可能になり、銀河内部の空間的な違いを直接調査することが可能となる。

4. 研究成果

(1) 受信機開発

高臨界電流密度 SIS (Superconductor Insulator Superconductor) 素子により広帯域低雑音性能を実現した最新の SIS ミクサを用いた THz 帯超高感度超伝導受信機を開発し、ASTE 望遠鏡に Band 10 受信機として搭載した。システム評価および科学評価観測を実行したのち、近傍の星形成領域等に対して高回転遷移の一酸化炭素輝線および中性炭素輝線の試験観測を遂行した。その結果、近傍の大質量形成領域である Orion-A 巨大分子雲において、これまでにない広範囲にわたる [C I](2-1) 分布を明らかにした。これにより ASTE において THz 帯の科学観測が可能であることが実証されただけでなく、南米の 10m クラスの大型電波単一鏡に搭載された世界最高性能の THz 帯観測システムの構築を実現した。また Orion-A 巨大分子雲に対する較正済み THz 帯観測データを「デモサイエデータ」としてコミュニティに公開した (図 1)。

ピーク強度図



積分強度図

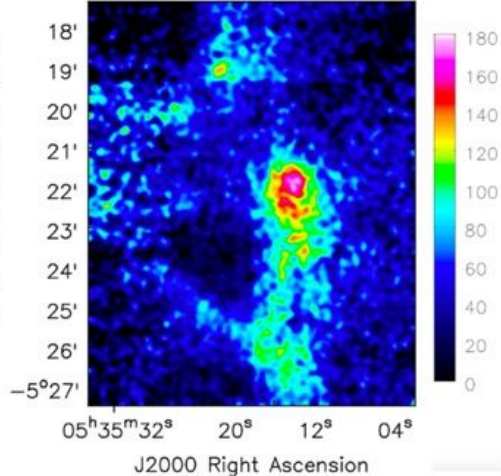


図 1: Orion-A 巨大分子雲における [C I] (2-1) 輝線広域分布。

THz 帯受信機の開発においては、THz 帯の反射防止 (Anti-reflection, AR) 構造を施したクライオスタット用真空窓の開発を進めた。Silicon on insulator (SOI) 基板のシリコン表面に、AR 加工を施したサブ波長構造 (SWS) を深堀エッチング法にて作製し、ASTE Band 10 受信機用に 2 層の AR SWS を持つ真空窓を開発した (図 2)。シリコン製真空窓の特性を把握するため、テラヘルツ時間領域分光法 (THz time domain spectroscopy, THz TDS) による透過率測定と、受信機雑音温度およびビームパターン測定を実施し、シリコン製真空窓は、ALMA Band 10 受信機の石英窓と同等の特性を持つことを確認した。この結果は、より広帯域の THz 帯受信機への AR シリコン窓の応用を強く後押しするものである。

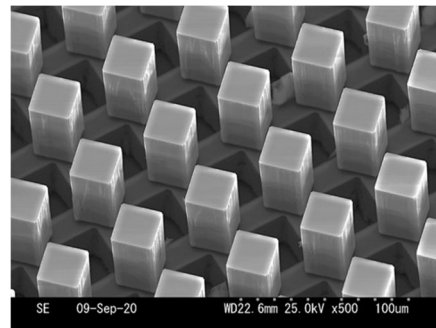


図 2: 作製した 2 層 AR 構造の走査電子顕微鏡 (SEM) 画像。

また THz 帯における導波管や IF 帯回路における信号損失を低減するために、3dB 90 度ハイブリッドカップラや RF/L0 結合回路および IF 振幅位相合成回路を一体化したコンパクトなサイドバンド分離ミキサを試作し性能評価をおこなった。その結果、典型的に 10dB 以上のサイドバンド分離比を達成し、またダブルサイドバンドミキサの雑音温度から推定されるシングルサイドバンド受信機雑音温度とも矛盾のない結果を得た。さらに THz 帯広帯域 SIS ミキサの開発として、国立天文台保有のサイドバンド分離低雑音受信機とチリ大学が有するデジタル振幅・位相補正技術を適用し、サイドバンド分離比の大幅な向上を狙うとともに THz 帯での実用化への課題を抽出することを目的とし、チリ大学より技術者を招聘し共同実験を実施した。その結果国立天文台の受信機を用いた原理実証に成功し今後の実用化に向けた有望な結果を得られた。

以上の結果は、SPIE 等の多数の国際会議で発表するとともに、PASJ 等の論文誌で複数件の論文を出版した。

(2) LIRG のプレサーベイ

本研究課題は、ASTE 望遠鏡に搭載された THz 受信機を使い、近傍 LIRG/ULIRG の高回転遷移の一酸化炭素輝線を観測し、モデル計算と組み合わせることでガスの物理状態を調査することを目的とする。ガスの物理状態に強い制限を与えるためには、高回転遷移とともに低・中回転遷移の情報が必要である。また、中性炭素輝線やシアン化水素などの他の分子輝線も相補的な情報を与える。本装置を用いた本格的な観測を進めるための準備研究として、ALMA 望遠鏡の Band 3 および Band 8, LMT 望遠鏡の 100GHz 帯受信機を用いて、低回転遷移の一酸化炭素輝線および中性炭素輝線を観測した。

LMT で U/LIRGs28 天体を観測し(図3 : Ueda et al. 2021)、21 天体から分子輝線が検出され、複数の輝線が検出された天体に対しては輝線強度比を求めた。その結果、U/LIRGs においては、赤外線で見えない銀河と比較して高密度ガスが卓越しており、また星形成効率が高くなることが示された。これは、U/LIRGs の特徴である銀河衝突によって分子ガスの密度が上昇し、星形成が誘発されていることがシナリオとして考えられる。

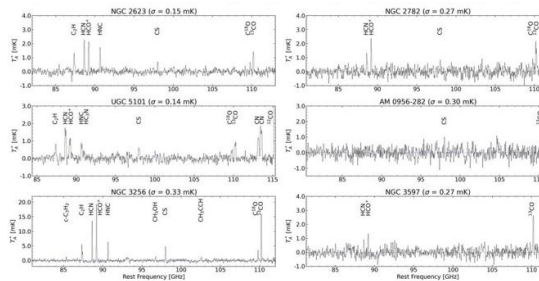


図3 : LMT で取得した輝線スペクトルの一部。100GHz 帯で多くの分子輝線が検出された。

ALMA 望遠鏡を用いた高分解能観測より、最近傍 ULIRG の Arp220 中心核における、炭素と一酸化炭素の分布、存在比と一酸化炭素の励起状態などの関係を調査した(図4 : Ueda et al. 2022)。その結果、炭素と一酸化炭素の空間分布は概ね一致しており、一酸化炭素の励起状態が高い場所においては炭素・一酸化炭素の輝線強度比も高いことがわかった。このことについては、モデル計算との比較の結果、炭素・一酸化炭素の存在量比が関係していることが示された。また、炭素の高速成分が、中心核付近から噴き出すアウトフローに付随するものであることが示唆された。

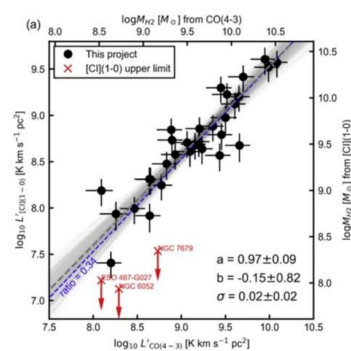


図4 : Arp220 における一酸化炭素 (CO(1-0))と炭素 ([CII](1-0)) のスペクトルの比較。

ALMA/ACA 望遠鏡 Band 8 受信機を用いて、U/LIRGs 36 天体に対する炭素および CO(4-3)のサーベイを行った結果、CO(4-3)輝線によってトレースされる一酸化炭素と中性炭素の間に相関があることが示された(図5 : Michiyama et al. 2021)。一方、全体の相関から有意に外れる天体も一定数存在することがわかった。銀河衝突とそれによる活動銀河核の発生が、CO(4-3)と炭素の比の多様性に寄与している可能性が指摘される。また、近傍 U/LIRG における炭素と CO(4-3)の比が、遠方サブミリ波銀河と同様の値であることが示された。

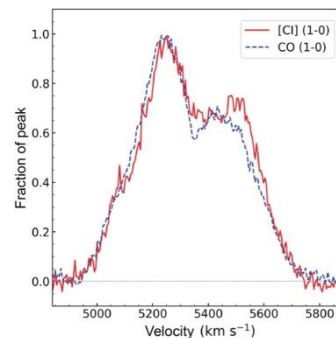


図5 : 炭素 ([CII](1-0))と一酸化炭素 (CO(4-3))輝線の積分強度の比較。

(3)本サーベイ

上述のプレサーベイで得られた結果を受け、低・中回転遷移の一酸化炭素データは概ね揃えることができた。LIRG 天体のアーカイブデータの整理、およびASTE を使った分子輝線の観測を実施するための準備を進めてきた。しかし新型コロナウイルス感染症の感染拡大による世界的なパンデミックによる国内外の移動規制による ASTE 望遠鏡の運用停止と、さらに副鏡装置トラブルのため、補助事業期間終了まで ASTE による高回転遷移データは取得することはできなかった。そのため、ガスの物理量の考察は未完了のまま研究期間を終了した。

<引用文献>

Junko Ueda, Daisuke Iono, Min S. Yun, Tomonari Michiyama, Yoshimasa Watanabe, Ronald L. Snell, Daniel Rosa-Gonzalez, Toshiki Saito, Olga Vega, and Takuji Yamashita, "Cold Molecular Gas in Merger Remnants. II. The properties of dense molecular gas," 2021, Astrophysical Journal Supplement Series Volume 257, Number 2, 57

Tomonari Michiyama, Toshiki Saito, Ken-ichi Tadaki, Junko Ueda, Ming-Yang Zhuang, Juan Molina, Bumhyun Lee, Ran Wang, Alberto D. Bolatto, Daisuke Iono, Kouichiro Nakanishi, Takuma Izumi, Takuji Yamashita, and Luis C. Ho, "An ACA Survey of [CII]³P₁₋₃P₀, CO J = 4-3, and Dust Continuum in Nearby U/LIRGs," 2021, Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 257, Number 2, 28

Junko Ueda, Tomonari Michiyama, Daisuke Iono, Yusuke Miyamoto, and Toshiki Saito, "Spatially-resolved relation between [CII]³P₁₋₃P₀ and ¹²CO (1-0) in Arp 220," 2022, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 2, 407

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Asayama Shin'ichiro, Kamazaki Takeshi, Ishii Shun, Ito Tetsuya, Fujii Yasunori, Iono Daisuke, Gonzalez Alvaro, Inata Motoko, Sakamoto Seiichi	4. 巻 74
2. 論文標題 ASTE Band10 (787-950GHz) heterodyne receiver: System description, commissioning, and science verification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 678 ~ 688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac028	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 -
1. 著者名 Ueda Junko, Michiyama Tomonari, Iono Daisuke, Miyamoto Yusuke, Saito Toshiki	4. 巻 74
2. 論文標題 Spatially-resolved relation between [C I] 3P1-3P0 and 12CO(1-0) in Arp 220	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 407 ~ 420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac004	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 -
1. 著者名 Curotto Franco, Finger Ricardo, Kojima Takafumi, Uemizu Kazunori, Gonzalez Alvaro, Uzawa Yoshinori, Bronfman Leonardo	4. 巻 8
2. 論文標題 Digital calibration test results for Atacama Large Millimeter/submillimeter Array band 7+8 sideband separating receiver	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	6. 最初と最後の頁 024004 ~ 024004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JATIS.8.2.024004	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
1. 著者名 Ueda Junko, Iono Daisuke, Yun Min S., Michiyama Tomonari, Watanabe Yoshimasa, Snell Ronald L., Rosa-Gonzalez Daniel, Saito Toshiki, Vega Olga, Yamashita Takuji	4. 巻 257
2. 論文標題 Cold Molecular Gas in Merger Remnants. II. The Properties of Dense Molecular Gas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 57 ~ 57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac257a	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

1. 著者名 Miyahara Tomonari, Saito Toshiki, Tadaki Ken-ichi, Ueda Junko, Zhuang Ming-Yang, Molina Juan, Lee Bumhyun, Wang Ran, Bolatto Alberto D., Iono Daisuke, Nakanishi Kouichiro, Izumi Takuma, Yamashita Takuji, Ho Luis C.	4. 巻 257
2. 論文標題 An ACA Survey of [C I] 3P1-3P0, CO J = 4-3, and Dust Continuum in Nearby U/LIRGs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 28 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac16df	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

1. 著者名 Fujii Yasunori, Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Uzawa Yoshinori	4. 巻 11453
2. 論文標題 Design of all-in-one 2SB mixer for ALMA Band 10	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy X	6. 最初と最後の頁 114533Y
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2562032	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Gonzalez Alvaro, Kojima Takafumi, Shan Wenlei, Kiuchi Hitoshi, Uzawa Yoshinori, Iono Daisuke, Kosugi George	4. 巻 11445
2. 論文標題 Status of the East Asia ALMA development program: Towards the implementation of the ALMA development roadmap	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE, Ground-based and Airborne Telescopes VIII	6. 最初と最後の頁 1144538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561603	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Kamazaki Takeshi, Ishii Shun, Silva Andrea, Asayama Shin'ichiro	4. 巻 11453
2. 論文標題 ASTE BAND10 commissioning and science verification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy X	6. 最初と最後の頁 114533X
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561968	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Ito Tetsuya, Fujii Yasunori, Inata Motoko, Kamazaki Takeshi, Sakamoto Seiichi, Asayama Shin'ichiro	4. 巻 11453
2. 論文標題 Upgrade of an ALMA Band 10 prototype receiver for ASTE radio telescope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy X	6. 最初と最後の頁 114533Q
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561076	査読の有無 無
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21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Sano, H
2. 発表標題 Cosmic-ray acceleration in supernova remnants: Impacts on the chemical composition of the surrounding molecular clouds
3. 学会等名 Molecules in Extreme Environments: Near and Far Workshop (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sano, H., Ishii, S., Iono, D., Kamazaki, T., Minamidani, T., Izumi, N., Tokuda, K., Yamada, R. I., Tachihara, K., Fukui, Y., Asayama, S.
2. 発表標題 ASTE [CI](2-1) Observations toward the Massive Star-Forming Region RCW 38
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野栄俊、石井峻、伊王野大介、鎌崎剛、南谷哲宏、泉奈都子、徳田一起、山田麟、立原研悟、福井康雄、浅山信一郎
2. 発表標題 ASTE を用いた大質量星形成領域 RCW 38 の [CI](2-1) 観測
3. 学会等名 日本天文2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野栄俊
2. 発表標題 ALMAで探る超新星残骸と星間物質の相互作用
3. 学会等名 近傍宇宙の観測的研究で探る星間物質ライフサイクル
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Imada Hiroaki, Kaneko Keiko, Saka Ryo, Kang Haoran, Masai Takaho, Nagai Makoto, Shan Wenlei, Ezaki Shohei, Uzawa Yoshinori, Kojima Takafumi, Gonzalez Alvaro
2. 発表標題 An overview of recent research on antennas and feeds for mm-wave radio astronomy at NAOJ
3. 学会等名 17th European Conference on Antennas and Propagation
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sano, H.
2. 発表標題 ASTE science I: Supernova Remnants
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野栄俊
2. 発表標題 超新星残骸の多波長観測で探る星間現象
3. 学会等名 宇宙電波懇談会シンポジウム2021
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ezaki. S., Nagai M., Sakai R., Kaneko K., Imada H., Kojima T., Shan W., Uzawa Y., Asayama S.
2. 発表標題 Development of silicon vacuum windows
3. 学会等名 ALMA Front End Development (Virtual) Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江崎翔平、永井誠、坂井了、金子慶子、今田大皓、小嶋崇文、単文磊、鶴澤佳徳、浅山信一郎
2. 発表標題 サブミリ波受信機用シリコン真空窓の開発
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ezaki Shohei, Nagai Makoto, Sakai Ryo, Kaneko Keiko, Kojima Takafumi, Shan Wenlei, Uzawa Yoshinori, Asayama Shin'ichiro
2. 発表標題 Development of Vacuum Windows with Anti-reflection Structures
3. 学会等名 21st East Asia Submillimeter-wave Receiver Technology Workshop (Online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江崎翔平、永井誠、坂井了、金子慶子、小嶋崇文、Shan Wenlei、鶴澤佳徳、浅山信一郎
2. 発表標題 サブミリ波帯反射防止構造の開発
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井泰範、小嶋崇文、Kroug Matthias、鶴澤佳徳
2. 発表標題 Band10 2SBミクサ
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅山信一郎, 鎌崎剛, 石井峻, 伊藤哲也, 藤井泰範, 伊王野大介, 阪本成一, 鶴澤佳徳, 他ASTE運用メンバー
2. 発表標題 ASTE Band 10受信機(787 - 950 GHz)システム評価および科学評価試験結果
3. 学会等名 日本天文学会春季年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江崎翔平, 永井誠, 坂井了, 小嶋崇文, Wenlei Shan, 鶴澤佳徳, 浅山信一郎
2. 発表標題 サブミリ波帯反射防止構造の作製と評価
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shun Ishii, Shin' ichiro Asayama, Takeshi Kamazaki, Andrea Silva, Tetsuya Ito, Fujii Yasunori, Daisuke Iono, Uzawa Yoshinori, Seiichi Sakamoto, and ASTE team
2. 発表標題 Commissioning and science verification of ASTE Band 10
3. 学会等名 テラヘルツ波が拓く新しい宇宙像
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kojima, T.
2. 発表標題 Technology developments for a submillimeter-wave receiver based on high-current-density SIS junctions
3. 学会等名 East Asian ALMA Development Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kroug, M. Miyachi, A., Ezaki, S., Shan, W.
2. 発表標題 Superconducting Mixer Technology at NAOJ
3. 学会等名 ALMA Development Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kojima, T.
2. 発表標題 Study and Development of Wideband Receivers at NAOJ
3. 学会等名 ALMA Development Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井康雄, 河野樹人, 藤田真司, 佐野栄俊, 立原研悟, 浅山信一郎
2. 発表標題 ASTEによる800GHz帯のCI・CO初期観測データの解析と考察
3. 学会等名 日本天文学会春季年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小嶋崇文, Kroug, M., 藤井泰範, 大田原一成, 宮地晃平, Gonzalez, A., 金子慶子, 鶴澤佳徳, 浅山信一郎
2. 発表標題 高臨界電流密度接合によるALMA band 10ミキサの広帯域低雑音化
3. 学会等名 応用物理学会秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小嶋崇文, Kroug, M., 藤井泰範, 大田原一成, 宮地晃平, Gonzalez, A., 金子慶子, 鶴澤佳徳, 浅山信一郎
2. 発表標題 高臨界電流密度接合によるALMA band 10ミキサの広帯域低雑音化
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018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
研究 分担者	小嶋 崇文 (Kojima Takafumi) (00617417)	国立天文台・先端技術センター・准教授 (62616)	
研究 分担者	伊王野 大介 (Iono Daisuke) (60425402)	国立天文台・TMTプロジェクト・准教授 (62616)	

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
---------	---------