

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02074

研究課題名(和文)サブミリ波の2帯域同時受信機で明らかにする高光度赤外線銀河のガスと星形成の物理

研究課題名(英文)Revealing the physical relation between gas and star formation in U/LIRGs using a dual band submm receiver

研究代表者

伊王野 大介 (Iono, Daisuke)

国立天文台・アルマプロジェクト・准教授

研究者番号：60425402

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,350,000円

研究成果の概要(和文)：CO(4-3)やCO(3-2)などを同時受信できる装置をASTE望遠鏡に搭載し、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主目的とする。装置開発は概ね順調に進み、当科学観測要求を満たす受信機の開発に成功した。観測では、様々な衝突段階にある26天体に対してCO(3-2)輝線のスペクトルを観測し星形成活動とCO(3-2)輝線の関係を調査した結果、衝突の段階によって星形成効率の違いが見えるなどの新たな科学的知見が得られた。また、NGC3256の観測から高密度ガスのアウトフローを発見した。観測装置トラブルや天候の影響により、当初予定していた103天体のデータは取得できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銀河の衝突段階と星形成効率の関係がわかり、衝突銀河が星形成に与える影響の理解が深まった。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。また、広帯域受信機の開発成果は電波天文やテラヘルツ関連の国際会議で発表するとともに、複数論文発表した。成果発表を通じて、ALMAをはじめとする国際プロジェクトにおける日本の技術力や高いプレゼンスを示すことができたと考えている。さらに、国内の大学や国外の研究機関から、開発した受信機の応用に関する共同研究の申し込みをいただき、実際に応用が始まったプロジェクトもある。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)：The main goal of this project is to develop and install a new receiver system on ASTE telescope in order to observe the CO(4-3) and CO(3-2) emissions in a sample of Luminous Infrared Galaxies. The data is used to investigate the relationship between moderately dense gas and star formation/AGN activities seen in these colliding galaxy systems. The development and implementation of the new receiver were carried out according to the original plan, and the technical specifications were met. A pre-survey of 26 galaxy was successful, and we found a new correlation between star formation efficiency and galaxy interaction stage. In addition, new data toward a late stage Luminous Infrared Galaxy NGC3256 suggests evidence for dense gas outflows. While these pre-surveys were successful, the main survey which targets 103 sources suffered from instrumental problems of the ASTE telescope and unfortunate poor weather conditions, and hence we could not complete the survey as was designed originally.

研究分野：天文学

キーワード：電波天文学 銀河進化

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 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、高密度領域 ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) に存在する比較的励起状態の高い分子を観測し、星形成との関係を理解することが重要となる。特に CO(3-2)、CO(4-3)、CO(5-4) は L_{FIR} との強い線形の相関がみられ、若い星による励起が支配的であると考えられている。しかし、観測装置や地球大気の制限により、赤外線ですべて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。

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分子輝線 (主に CO(4-3)、CO(3-2)、 $\text{HCO}^+(4-3)$ 、 $\text{HCN}(4-3)$) を同時受信できる装置を ASTE 望遠鏡に搭載し、ASTE から観測可能な LIRG 103 天体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。具体的には、以下の考察を行う。

- (1) 物理量 (温度・密度) の導出とガスの励起の起源の解明: 観測データを輻射輸送プログラムと比較し、天体全体の物理量を求め、これを赤外線光度や衝突ステージと比較する。物理量を正しく求めるためには、最低でも 3 輝線の強度情報が必要である。例えば、340GHz 帯で観測可能な 2 輝線 ($^{12}\text{CO}(3-2)/\text{HCO}^+(4-3)$) の比を使用した場合、密度には一定の制限 ($10^{5.2-5.5} \text{ cm}^{-3}$) がつくが、温度を決定することはできない。これに 400GHz 帯で観測可能な 2 輝線 ($^{12}\text{CO}(4-3)/^{13}\text{CO}(4-3)$) の比の情報を追加することによって、はじめて温度密度ともに有意に決定できるようになる。また、本課題で得られたデータと野辺山 45m 鏡・Herschel 赤外線衛星のアーカイブデータを用いて CO の Spectral Line Energy Distribution (CO SLED) を求める。CO の励起には、若い星による紫外線 (PDR) や AGN から放射される X 線 (XDR) などの寄与が考えられる。CO SLED を PDR・XDR のモデル計算と比較することにより、PDR と XDR がそれぞれのくらいの割合で CO の励起に寄与しているか切り分けることができ、CO の励起状態と銀河の衝突ステージや星形成活動との関係を調べることが可能となる。
- (2) 星形成効率と銀河衝突の関係の解明: CO(4-3) 及び CO(3-2) の強度と赤外線光度との比から星形成効率 (Star Formation Efficiency: SFE) を導出する。これまでは CO(1-0) から導出した SFE が主流だったが、CO(3-2) や CO(4-3) を使用することによって星形成に直結したガスに注目した、真の星形成効率を得ることができる。また、理論シミュレーションでは、星形成効率が銀河衝突のステージによって進化することが予想されている。これは、銀河のガス面密度と星形成面密度の関係 (Kennicutt-Schmidt Law: KS-Law) が衝突ステージと関係していることを示唆する。本提案からこれを観測的に実証できた場合には、KS-Law における二つのシーケンス (Starburst sequence と Disk Sequence) を銀河衝突のステージから説明できるようになる。

3. 研究の方法

これまで、宇宙の星形成の重要な部分を占める LIRG の高密度ガス、特に CO(4-3) が指標となるものは系統的に観測されていない。本課題では、複数の分子輝線を同時観測する事で多数の LIRG の温度・密度を高精度で決定することが必要である。当科学観測要求を満たすため、2 つの周波数帯 (345 GHz 帯および 460 GHz 帯) を同時にカバーする超広帯域受信機を新規開発する。このような超広帯域受信機は、技術的にチャレンジングな要素が多く、世界的にも稀有な開発である。したがって、開発においても電波天文学だけでなくマイクロ波工学や超伝導エレクトロニクス等の関連分野への貢献が期待できる。また、広帯域化によって受信機の汎用性が向上し、その台数も減ることからメンテナンス性が向上するなど多くのメリットが生じる。受信機は国立天文台がチリ共和国で運用する ASTE 望遠鏡に搭載し、南天から観測可能な LIRG103 天体を全て観測する。得られた分子輝線強度に輻射輸送プログラムを適用する事で温度・密度を決定する。さらに、Herschel 衛星及び野辺山 45m 鏡で得られた CO 強度と組み合わせる事で CO SLED を求め、LIRG のエネルギー源を決定する。得られたガス密度と赤外線強度から精密な星形成効率を導出し、銀河の衝突ステージあるいはエネルギー源によって KS-law がどのように変化するかを探る。

4. 研究成果

(1) 受信機開発

まず、観測のためのカートリッジ受信機を搭載するためのマルチバンド受信機用冷却システムを設計・製作し、性能評価により所望の冷却能力や剛性を有することを実験的に確認した。このマルチバンド受信機用の冷却システムは、345GHz帯と460GHz帯の2系統のミキサおよび冷却増幅器の低雑音動作に必要な物理温度4Kへの冷却能力が必要である。また、望遠鏡搭載時にアンテナの動きに伴う重力変形を最小限に抑える必要があり、剛性についても慎重に検討した。マルチバンド受信機冷却システムは無事ASTE望遠鏡に搭載された。

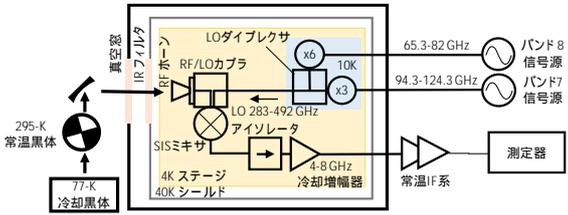


図 1: Band 7+8 DSB ミキサの測定系ブロックダイアグラム

続いて、275-500 GHz をカバーする DSB ミキサ評価系を構築した(図 1)。当評価系に対しては、超伝導ミキサに 283 GHz から 492 GHz までの広い帯域に渡って局部発信 (LO) 電力を供給する導波管回路系を新たに設計・製作・評価・実装するとともに、非常に高い周波数純度と低振幅雑音特性を有するウォーム・カートリッジ・アセンブリを導入した。本 LO 系は 2 つの周波数帯の LO 電力源から構成されており、275-500 GHz を 375 GHz 付近で 2 つに分割するダイプレクサを用いている。これにより、LO 源を機械的に切り替えることなく 2 つ周波数帯をカバーすることができる。また、このダイプレクサを RF 帯に用いれば、1 つの RF 入力に対して、2 つのバンドを同時にカバーすることも可能である。また、RF 信号導入系回路については、当該周波数帯をカバーするコルゲートホーン、2SB ミキサ用の導波管ユニット、導波管型直行偏波分離器(OMT)の開発を進めた。2SB 導波管ユニットに関しては、部品単体で評価を進めたところほぼシミュレーション通りの測定結果を得た。一方、OMT については、製作上の懸念があったことから、まずミリ波帯でスケールモデルを製作し、S パラメータ測定を実施した結果、シミュレーションとよく一致する結果を得た。高い実現可能性が得られたことから、部品をスケールダウンし最終的に 275-500 GHz 帯をカバーする OMT を実現した。

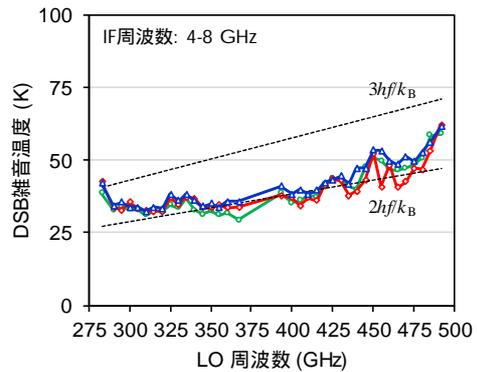


図 2: Band 7+8 DSB ミキサの測定結果。色は異なるシリアル番号のミキサチップを示す。

超伝導ミキサについては、国立天文台にて開発した高臨界電流密度接合を用い、2 つの周波数帯をカバーする超広帯域ミキサチップを回路設計し、クリーンルームにて製作した。当ミキサを図 2 に示す評価系に実装し雑音温度を測定した結果、275-500 GHz 全帯域にわたり、量子雑音 (hf/kB) の 2 倍から 3 倍以内の雑音温度を達成した(図 2)。この結果は 2 つの受信バンドを 1 つのミキサでカバーしたことを実証するものであり、世界的にも初の成果である。また、DSB ミキサの IF 広帯域化も進め、3-22 GHz に渡って低雑音性能を達成した(図 3)。さらに、図 2 に示す評価系を拡張し、2SB ミキサ用導波管ユニット、2 つの DSB ミキサを組み合わせ、2SB ミキサの評価を実施した。その結果、雑音温度やサイドバンド分離比に関して既存の ALMA 望遠鏡の仕様を満たす性能を実証した。

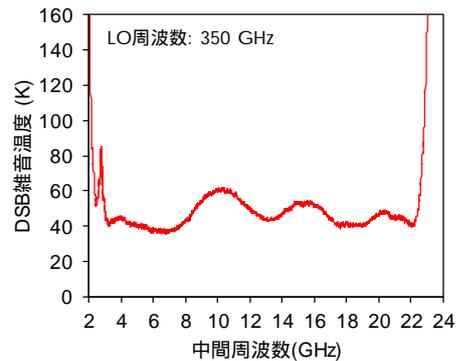


図 3: 3-22 GHz というこれまでの 4-8 GHz に対して 3 倍を超える IF 帯域幅を有する Band 7+8 DSB ミキサの測定結果。

以上の結果は、多数の国際会議で発表するとともに、IEEE 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、既存の ASTE 345GHz 帯受信機を用いた LIRGs のプレサーベイを 2015 年より進めた。約 120 時間の観測で合計 26 個の LIRG において CO(3-2) 輝線を観測することができた。赤外線観測衛星 AKARI のカタログデータ(星形成率の指標となる)と ASTE CO(3-2) 観測を比較することで、星形成率と分子ガス質量の関係(星形成則)を調べた。また、先行研究で既に観測済みの天体も加えて、28 天体の衝突初期段階銀河、35 天体の衝突後期段階銀河、28 天体の衝突していない普通の渦巻き銀河を比較し、近傍宇宙の衝突銀河と衝突していない渦巻き銀河で星形成則に違いが見られるかどうかを調べた。その結果、衝突の後期段階ほど星形成効率が高くなる傾向が見られるなどの新たな科学的知見が得られた(Michiyama, Iono et al. 2016) (図 4, 5)。なお、CO(4-3) や HCN/HCO+ の分子輝線データが未取得のため、温度密度などの物理量の導出は本プレサーベイにおいては達成できなかった。

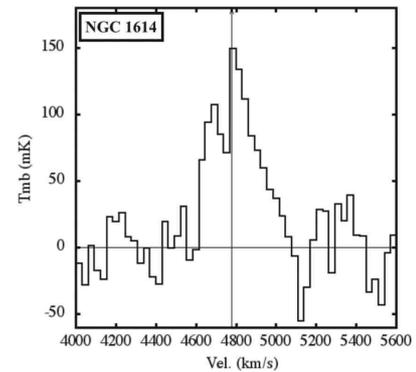


図 4 : NGC1614 の CO(3-2) 輝線。

また、並行して、NGC3256 と呼ばれる ULIRG の HCN/HCO+ 輝線を ALMA 望遠鏡を用いて観測した。NGC3256 は近傍宇宙で最も激しい爆発的星形成活動(1 年間に太陽 70 個程度形成)を示しており、2 つの銀河の南側は AGN をもつことが知られている。本観測から、HCN と HCO+ のアウトフローが発生していることを発見した。また、南側のアウトフローでは中心核に比べて HCN/CO 比 (dense gas fraction) が高いことが示された。さらに、RADEX と呼ばれる放射輸送プログラムを使うことによりアウトフローの温度密度に制限をつけ、南側の AGN 起因のアウトフローは北側の星形成起因のアウトフローよりも高温高密度となるという新しい結果が得られた。(Michiyama, Iono et al. 2018)

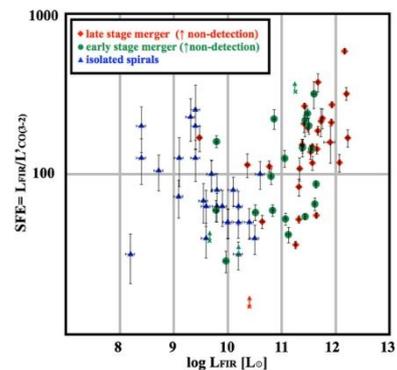


図 5: SFE と赤外線高度 (LFIR) の関係。

(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、LIRG 103 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。観測提案は 2 期に渡り受理され (AC171014, AC181002) 観測の準備は万全であったが、ASTE 望遠鏡の装置トラブルによって共同利用観測に大幅な遅延が生じ、また悪天候の影響も重なり、予定していた観測の一部しか実行できなかった。

このように、装置開発は概ね順調に進んだが、観測においては、プレサーベイデータの取得およびその結果の出版は順調だったものの、期間後半の観測装置トラブルや天候の影響により、期待されていた本サーベイ 103 天体のデータは取得できなかった。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>

Tomonari Michiyama, Daisuke Iono, Kouichiro Nakanishi, Junko Ueda, Toshiki Saito, Misaki Ando, Hiroyuki Kaneko, Takuji Yamashita, Yuichi Matsuda, Bunyo Hatsukade, Kenichi Kikuchi, Shinya Komugi, Takayuki Muto, 2016, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 68, Issue 6, 96

Tomonari Michiyama, Daisuke Iono, Kazimierz Sliwa, Alberto Bolatto, Kouichiro Nakanishi, Junko Ueda, Toshiki Saito, Misaki Ando, Takuji Yamashita, Min Yun, 2018, Astrophysical Journal, Volume 868, 95

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 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Gonzalez Alvaro, Asayama Shin'ichiro	4. 巻 39
2. 論文標題 Double-Ridged Waveguide Orthomode Transducer (OMT) for the 67-116-GHz Band	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves	6. 最初と最後の頁 723 ~ 737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10762-018-0503-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Gonzalez Alvaro, Uemizu Kazunori, Kaneko Keiko, Miyachi Akihira, Kozuki Yuto, Asayama Shin'ichiro	4. 巻 8
2. 論文標題 275-500-GHz Wideband Waveguide SIS Mixers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 638 ~ 646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TTMZ.2018.2873487	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Iguchi Satoru, Gonzalez Alvaro, Kojima Takafumi, Shan Wenlei, Kosugi George, Asayama Shin'ichiro, Iono Daisuke	4. 巻 10700
2. 論文標題 How do we design the interferometric system focused on the analog and digital backend and the correlator for scientifically valuable ALMA developments?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings Volume SPIE 10700, Ground-based and Airborne Telescopes VII	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2312024	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Gonzalez Alvaro, Asayama Shin'ichiro, Iono Daisuke, Noguchi Takashi, Iguchi Satoru, Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Shan Wenlei	4. 巻 10708
2. 論文標題 Technical achievements of the ALMA future receiver development program at the National Astronomical Observatory of Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings Volume SPIE 10708, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy IX	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2312969	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Asayama Shin'ichiro, Gonzalez Alvaro, Kiuchi Hitoshi, Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Shan Wenlei, Kosugi George, Iono Daisuke, Iguchi Satoru	4. 巻 10708
2. 論文標題 Overview of the East Asia ALMA development program	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings Volume SPIE 10708, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy IX	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2313367	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuya Ito, Takeshi Kamazaki, Yasunori Fujii, Natsuko Izumi, Motoko Inata, Kazunori Uemizu, Naohisa Satou, Daisuke Iono, Takeshi Okuda, Shin'ichiro Asayama	4. 巻 10708
2. 論文標題 The new heterodyne receiver system for the ASTE radio telescope: three-cartridge cryostat with two cartridge-type superconducting receivers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings Volume 10708, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy IX	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2313087	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Alvaro Gonzalez, Takafumi Kojima, Keiko Kaneko and Shin'ichiro Asayama	4. 巻 7
2. 論文標題 275-500 GHz Waveguide Diplexer to Combine Local Oscillators for Different Frequency Bands	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 669-676
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THZ.2017.2758789	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 Tomonari Michiyama, Daisuke Iono, Kouichiro Nakanishi, Junko Ueda, Toshiki Saito, Misaki Ando, Hiroyuki Kaneko, Takuji Yamashita, Yuichi Matsuda, Bunyo Hatsukade, Kenichi Kikuchi, Shinya Komugi, Takayuki Muto	4. 巻 68
2. 論文標題 Investigating the relation between CO (3-2) and far-infrared luminosities for nearby merging galaxies using ASTE	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 96-1, 96-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psw087	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 Michiyama Tomonari, Iono Daisuke, Sliwa Kazimierz, Bolatto Alberto, Nakanishi Kouichiro, Ueda Junko, Saito Toshiki, Ando Misaki, Yamashita Takuji, Yun Min	4. 巻 868
2. 論文標題 ALMA Observations of HCN and HCO+ Outflows in the Merging Galaxy NGC 3256	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 95 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae82a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計37件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 Iguchi Satoru, Gonzalez Alvaro, Kojima Takafumi, Shan Wenlei, Kosugi George, Asayama Shin'ichiro, Iono Daisuke
2. 発表標題 How do we design the interferometric system focused on the analog and digital backend and the correlator for scientifically valuable ALMA developments?
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gonzalez Alvaro, Asayama Shin'ichiro, Iono Daisuke, Noguchi Takashi, Iguchi Satoru, Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Shan Wenlei
2. 発表標題 Technical achievements of the ALMA future receiver development program at the National Astronomical Observatory of Japan
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Asayama Shin'ichiro, Gonzalez Alvaro, Kiuchi Hitoshi, Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Shan Wenlei, Kosugi George, Iono Daisuke, Iguchi Satoru
2. 発表標題 Overview of the East Asia ALMA development program
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuya Ito, Takeshi Kamazaki, Yasunori Fujii, Natsuko Izumi, Motoko Inata, Kazunori Uemizu, Naohisa Satou, Daisuke Iono, Takeshi Okuda, Shin'ichiro Asayama
2. 発表標題 The new heterodyne receiver system for the ASTE radio telescope: three-cartridge cryostat with two cartridge-type superconducting receivers
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Alvaro Gonzalez
2. 発表標題 ALMA future receiver development program at NAOJ
3. 学会等名 Japan-Latin America International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshinori Uzawa
2. 発表標題 ALMA Development
3. 学会等名 ALMA Users Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takafumi Kojima
2. 発表標題 Modeling and Feasibility Analysis of a Wideband IF Receiver Frontend
3. 学会等名 East Asian ALMA Development Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Iono
2. 発表標題 ALMA Development Roadmap
3. 学会等名 East Asian ALMA Development Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takafumi Kojima
2. 発表標題 Development of wideband RF & IF receiver frond-end technologies
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kojima Takafumi、Kroug Matthias、Gonzalez Alvaro、Uemizu Kazunori、Kaneko Keiko、Miyachi Akihira、Kozuki Yuto、Asayama Shin'ichiro
2. 発表標題 275-500-GHz Waveguide SIS mixer with Wide IF Bandwidth
3. 学会等名 19th EA Sub-mm-wave Receiver Technology Workshop joint with the 5th Riken-NICT Joint Workshop on Terahertz Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Alvaro Gonzalez
2. 発表標題 Wideband Corrugated Horns and Orthomode Transducers for 67-116 GHz (ALMA band 2+3) and 275-500 GHz (band 7+8) Heterodyne Receivers for Radio Astronomy
3. 学会等名 2nd AT-RASC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Matthias Kroug, Shohei Ezaki, Kazunori Uemizu, and Takafumi Kojima
2 . 発表標題 A 275 - 500 GHz Heterodyne Receiver with High-jc SIS Junctions: Concept and Measurements
3 . 学会等名 32nd URSI GASS (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Alvaro Gonzalez, Takafumi Kojima, Keiko Kaneko, Shin'ichiro Asayama
2 . 発表標題 Development of a wideband waveguide diplexer to provide LO power in the 275-500 GHz band
3 . 学会等名 28th International Symposium on Space Terahertz Technology (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Alvaro Gonzalez, Keiko Kaneko, Shin'ichiro Asayama
2 . 発表標題 Recent Work on (sub-)mm-wave Ultra WideBand Corrugated Horns for Radio Astronomy
3 . 学会等名 The 11th European Conference on Antennas and Propagation (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Misaki Ando, Daisuke Iono, Tomonari Michiyama, Junko Ueda
2 . 発表標題 CO(4-3) and [CI] Observations in Merging ULIRGs with ASTE
3 . 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Misaki Ando, Daisuke Iono, Tomonari Michiyama, Junko Ueda
2. 発表標題 CO(4-3)& [CI] Observations in ULIRGs with ASTE
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上水和田典, 小嶋崇文, Matthias Kroug, Alvaro Gonzalez, 宮地晃平, 江崎翔平, 新関康昭, 金子慶子, 藤井泰範, Wenlei Shan, 野口卓, 浅山信一郎, 上月雄人
2. 発表標題 ALMA Band 7+8帯(275-500 GHz) SISミクサの開発状況とデュアルバンド評価システムの構築
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Alvaro Gonzalez, Takafumi Kojima, Keiko Kaneko, Shin'ichiro Asayama
2. 発表標題 Wideband waveguide power combiner for ALMA Band 7+8 (275-500 GHz) Local Oscillator
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山屋陽香, 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez, 金子慶子, 酒井剛
2. 発表標題 ALMA Band 7+8 (275-500 GHz)導波管型2SBユニットの設計と評価
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 アルマ電波望遠鏡を支えるミリ波・サブミリ波高感度受信機技術と将来開発
3. 学会等名 Microwave Workshops & Exhibition MWE 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 ヘテロダイン受信機・技術の最新動向・将来展望
3. 学会等名 2017年度 宇宙電波懇談会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山屋陽香, 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez, 金子慶子, 酒井剛
2. 発表標題 ALMA Band 7+8 (275-500 GHz) 導波管2SBユニットの改良
3. 学会等名 第18回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ 第4回理研NICT合同テラヘルツワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takafumi Kojima, Matthias Kroug, Alvaro Gonzalez, Kazunori Uemizu, Keiko Kaneko, Akihira Miyachi, Yuto Kozuki, Wenlei Shan, and Shin'ichiro Asayama
2. 発表標題 Development of a waveguide SIS mixer in the 275-500 GHz band and dual band evaluation system
3. 学会等名 29th IEEE International Symposium on Space Terahertz Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小嶋崇文, Matthias Kroug, Alvaro Gonzalez, 上水和典, 江崎翔平, 唐津実希, 新関康昭, 藤井泰範, 金子慶子, Wenlei Shan, 野口卓, 浅山信一郎, 上月雄人 佐藤楽, 酒井剛
2. 発表標題 275-500 GHz帯導波管型SISミクサの設計
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama, Daisuke Iono
2. 発表標題 Investigating the Relation between CO (3-2) and Far Infrared Luminosities for Nearby Merging Galaxies Using ASTE
3. 学会等名 Half a Decade of ALMA: Cosmic Dawns Transformed (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Daisuke Iono, Tomonari Michiyama
2. 発表標題 Investigating the Relation between CO (3-2) and Far Infrared Luminosities for Nearby Merging Galaxies Using ASTE
3. 学会等名 SMA science in the Next Decade (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama
2. 発表標題 Investigating the Relation between CO (3-2) and Far Infrared Luminosities for Nearby Merging Galaxies Using ASTE
3. 学会等名 Physics of Star Formation: Milky Way and Beyond 3rd Harvard-Heidelberg workshop (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上月雄人, 小嶋崇文, Matthias Kroug, Alvaro Gonzalez, 上水和田, 江崎翔平, 唐津実希, 新関康昭, 藤井泰範, 金子慶子, Wenlei Shan, 野口卓, 浅山信一郎, 山屋陽香
2. 発表標題 275-500GHz帯SISミクサの設計
3. 学会等名 第17回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップおよび第3回理研NICT合同テラヘルツワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 道山知成、伊王野大介、斉藤俊貴、山下拓時、植田準子、中西康一郎、安藤未彩希
2. 発表標題 ASTEを用いた衝突の初期段階の銀河ペアのサーベイ観測
3. 学会等名 日本天文学会2015年秋季年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 道山知成、伊王野大介、山下拓時、植田準子、中西康一郎、安藤未彩希
2. 発表標題 Star Forming Molecular Gas in Merging Galaxies
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE/Mopra Users Meeting
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 佐藤直久、稲田素子、藤井泰範、浅山信一郎、伊王野大介、奥田武志
2. 発表標題 ASTE 新3カートリッジデュワーの冷却性能試験
3. 学会等名 天文学に関する技術シンポジウム
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 道山知成
2. 発表標題 Star Forming Molecular Gas in Merging Galaxies -ASTE observation-
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 藤井泰範、佐藤直久、稲田素子、浅山信一郎、伊王野大介、奥田武志
2. 発表標題 ASTEを新3カートリッジデュアの開発
3. 学会等名 日本天文学会2016年春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 道山知成、伊王野大介、斉藤俊貴、山下拓時、植田準子、中西康一郎、安藤未彩希
2. 発表標題 ASTEを用いた衝突の初期段階の銀河ペアのサーベイ観測
3. 学会等名 日本天文学会2016年春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲田素子
2. 発表標題 ASTE 新3カートリッジデュア評価試験
3. 学会等名 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊藤哲也
2. 発表標題 ASTE3カートリッジデュアに対応したDASH345およびBand8受信機の改修
3. 学会等名 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊王野大介
2. 発表標題 Extreme Starbursts Across the Universe
3. 学会等名 2015年度宇宙電波懇談会シンポジウム（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016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	武藤 恭之 (Muto Takayuki) (20633803)	工学院大学・教育推進機構（公私立大学の部局等）・准教授 (32613)	
研究分担者	菊池 健一 (Kikuchi Kenichi) (90358739)	国立天文台・アルマプロジェクト・主任研究技師 (62616)	
研究分担者	小麥 真也 (Komugi Shinya) (90548934)	工学院大学・教育推進機構（公私立大学の部局等）・准教授 (32613)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤井 泰範 (Fuji i Yasunori)		
連携研究者	小嶋 崇文 (Kojima Takafumi) (00617417)	国立天文台・先端技術センター・准教授 (62616)	