

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03634

研究課題名（和文）アルマ広周波数域分子輝線サーベイによるスターバースト現象の解明

研究課題名（英文）Understanding starburst phenomena by ALMA wide-frequency band molecular line survey

研究代表者

原田 ななせ（HARADA, Nanase）

国立天文台・科学研究部・助教

研究者番号：10785421

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では非常に激しい星形成、スターバーストを起こしている銀河の中で、その非常に激しい星形成を可能にする要素は何か、また現在ある星はどのように将来の星形成に影響するのか、の解明を目的とする。星間化学は星の材料である分子ガスの物理条件の良い指標であるので、スターバースト現象の起源や終焉について調べるのに適している。アルマ大型プログラムALCHEMIのデータを用い、近傍のスターバースト銀河NGC253の星間化学を調べることによりその現象を解明する。この研究によって、星形成を助長するような分子雲衝突や高密度ガスが多くあること、また将来の星形成を抑圧しうる現在や過去の星のエネルギーの影響が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銀河進化の中で多くの銀河が激しい星形成を起こしている段階を通過してきたと考えられる。そのため、その激しい星形成がどうやって起こり、終わっていったのかを知るには私たちがどのように存在することができるのかを知るストーリーの一部となる。星の形成は分子ガスが材料になるためその分子ガスの理解は星形成に重要である。これまで私たちが住む天の川銀河ではない銀河では分子ガスの質量は簡単に測ることができたが、それ以外の性質を知ることは困難であった。私たちの成果では、その性質をこれまでになく詳しく知ることができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we target starburst galaxies, where the star formation rate is extremely high. Our aim is to understand what makes this high star formation rate possible, and what is the mechanism to suppress this star formation. To end, we leverage astrochemistry because the molecular compositions are excellent tracers of physical conditions of molecular gas, which is the ingredients of star formation. We utilize the data from the ALMA large program ALCHEMI to derive the molecular composition of the nearby starburst galaxy NGC 253. Our results show several phenomena in NGC 253 related to star formation. We found signs of clouds collisions, which may promote star formation in the future. There are also a large amount of dense gas in NGC 253 compared to our Galactic center, which can explain the high star formation rate in NGC 253. We also found that energies of current and previous generation of stars are heavily influencing the molecular gas, which could hinder future star formation.

研究分野：星間化学

キーワード：電波天文学 星間化学 銀河天文学

## 1. 研究開始当初の背景

銀河の中には星形成が非常に盛んである段階にあるスターバーストを経験している銀河(スターバースト銀河)がある。宇宙の歴史の中では現在よりも星形成率が高かった時期があるが、現在つまり近傍のスターバースト銀河を調べることにより星形成が高かった時代の宇宙を垣間見ることができる。そうしたスターバーストを引き起こすためには星形成の材料である分子ガスの物理条件が他の星形成領域とは異なる可能性がある。また、スターバースト現象はできた星や超新星爆発のエネルギーによって終わりを告げることがわかっている。これをフィードバックと呼ぶが、どのようなフィードバックがどの範囲まで効くか、そのメカニズムはわかっていない。

そうした激しい星形成を可能にする物理条件であったり、フィードバックが起こるメカニズムを導き出すために重要になるのが星形成の材料である分子ガスの分子組成である。分子組成を用いそれを分子ガスの物理条件と繋げる研究を星間化学と呼ぶが、この星間化学的手法はこれまで系外銀河では観測できる分子が非常に限られてきた。しかし、アルマ望遠鏡により多数の分子が観測、かつ空間的に解像できるようになってきた。

## 2. 研究の目的

この研究の長期的な目的としては上に挙げたようなスターバーストを引き起こす物理条件やどのようなフィードバックが効いているかを解明することである。そのために、スターバースト銀河における分子ガスの組成を多数の分子にわたって観測的に解明すること、またはそれをモデル計算と比較し物理条件に制約を与えることが直近の目的である。

## 3. 研究の方法

上に述べたようなアルマによる系外銀河における星間化学の観測的発展を受けて、研究代表者はPIの一人としてアルマ大型プログラムALCHEMIを申請し、採択された。この研究ではこのプログラムのかつてない超広周波数域(ALMA Band 3からBand 7, 85-375 GHzのほとんどの周波数域)高感度のラインサーベイデータを用いる。最近傍のスターバースト銀河NGC253を対象天体として用いるため、他の波長のデータや文献も多く、そこから得られる情報と比較するのにも適している。系外銀河の星間化学としては画期的になるような系外銀河ではこれまでにない数の分子輝線が得られた観測結果と分子の存在量を導き出す化学モデル計算を組み合わせ、近傍銀河で分子の性質によって多種の分子存在量がどう変わるかの理解を発展させる。

## 4. 研究成果

この研究によって、一つの銀河においてこれまでに検出されたことのある輝線数の10倍以上の輝線を検出することができ、多数の分子の解析が可能になった。これにより、分子によって星形成の誘発に役立つ物理条件、また逆に将来の星形成を阻害するであろう物理条件が明らかになってきた。

星形成を助けうる現象の一つに分子雲(分子ガスが雲状に存在するもの)同士の衝突がある。そうした分子雲衝突はガスを圧縮し、高密度ガス、つまり重力によって崩壊しやすい状態を生み出す。この重力崩壊が星形成につながる。同時に分子雲衝突は衝撃波を引き起こすが、我々の研究ではその衝撃波をメタノールレーザーなどにより捉えることができた(Humire et al. 2022; 代表者共著)。また、これまで衝撃波をトレースするとは知られていなかった分子、HOCO+(プロトン化した二酸化炭素)が衝撃波をトレースすることがわかった。二酸化炭素は通常ダストと呼ばれる固体に氷ついているためプロトン化した二酸化炭素も気中では量が少ないが、衝撃波により二酸化炭素が昇華し、プロトン化した二酸化炭素が気中で増えたため観測できたと考えられる。このように、星間化学的観点からも新たな発見があった(Harada et al. 2022; 代表者主著)。

また、先ほども述べた通り高密度の状況では星が作られやすいため、このようなスターバースト銀河では高密度ガスが大量に存在することが予想される。我々の研究では様々な違った励起エネルギーを持つ分子輝線を用い、密度や温度を導き出した。結果、NGC253ではより星形成の効率が低い天の川銀河の中心領域に比べ、30倍も高密度ガスが多いことがわかった(Tanaka et al. 2024; 代表者共著)。

また、将来の星形成を抑制しうる機構としては、現在の星や大質量星の最期の超新星爆発からのエネルギーが考えられるが、そのエネルギーを示唆する結果も得ることができた。超新星爆発からは大量の宇宙線と呼ばれる高エネルギーの粒子が放出されるが、その宇宙線からの電離率がNGC253では太陽近傍に比べ3桁程度高いことがわかった(Harada et al. 2021; 代表者主著)。

これらの様々な分子の動向をまとめた結果として、ALCHEMIで得られた画像に機械学習の手

法である PCA という手法を用い、衝撃波、若い星形成、より発達した星形成などの物理条件にどの輝線が一番関連しているのかを調べることができた (Harada et al. 2024; 代表者主著)。これを知ることにより将来の観測でどの輝線を観測すればより効率的に物理条件を調べることができるかを知ることができた。この論文は ALCHEMI で得られた画像を紹介するまとめの論文でもある (図 1)。

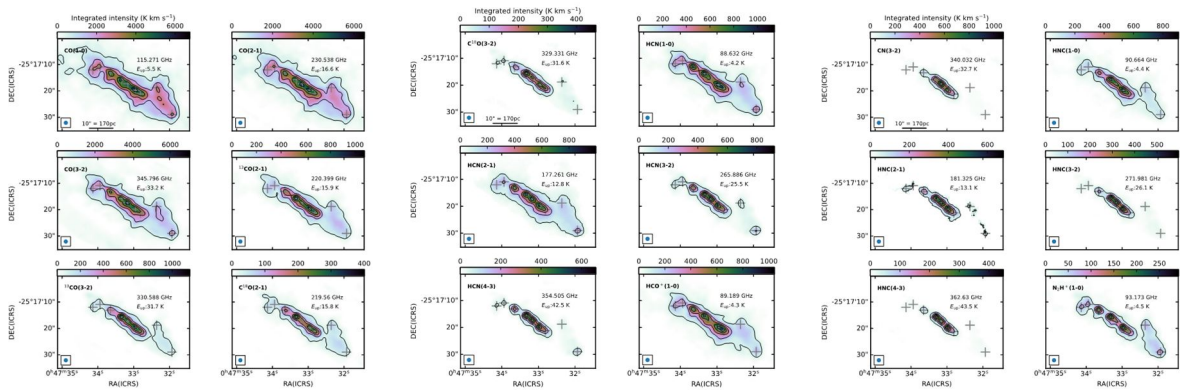


図 1 : ALCHEMI サーベイで得られた積分強度図の一部 (Harada et al. 2024)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 23件 / うちオープンアクセス 22件）

1. 著者名 Holdship Jonathan, Mangum Jeffrey G., Viti Serena, Behrens Erica, Harada Nanase, et al.	4. 巻 931
2. 論文標題 Energizing Star Formation: The Cosmic-Ray Ionization Rate in NGC 253 Derived from ALCHEMI Measurements of H30+ and SO	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 89 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac6753	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

1. 著者名 Humire P. K., Henkel C., Hernandez-Gomez A., Martin S., Mangum J., Harada N., et al.	4. 巻 663
2. 論文標題 Methanol masers in NGC 253 with ALCHEMI	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A33 ~ A33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202243384	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

1. 著者名 Saito Toshiki, Takano Shuro, Harada Nanase, Nakajima Taku, Schinnerer Eva, Liu Daizhong, Taniguchi Akio, Izumi Takuma, Watanabe Yumi, Bamba Kazuharu, Kohno Kotaro, Nishimura Yuri, Stuber Sophia, Tosaki Tomoka	4. 巻 935
2. 論文標題 AGN-driven Cold Gas Outflow of NGC 1068 Characterized by Dissociation-sensitive Molecules	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 155 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac80ff	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

1. 著者名 Harada Nanase, Martin Sergio, Mangum Jeffrey G., Sakamoto Kazushi, Muller Sebastien, Rivilla Victor M., Henkel Christian, Meier David S., Colzi Laura, Yamagishi Mitsuyoshi, Tanaka Kunihiko, Nakanishi Kouichiro, Herrero-Illana Ruben, Yoshimura Yuki, Humire P. K., Aladro Rebeca, van der Werf Paul P., Emig Kimberly L.	4. 巻 938
2. 論文標題 ALCHEMI Finds a "Shocking" Carbon Footprint in the Starburst Galaxy NGC 253	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 80 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8dfc	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

1. 著者名 Behrens Erica、Mangum Jeffrey G.、Holdship Jonathan、Viti Serena、Harada Nanase、et al.	4. 巻 939
2. 論文標題 Tracing Interstellar Heating: An ALCHEMI Measurement of the HCN Isomers in NGC 253	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 119 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac91ce	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

1. 著者名 Koda J、Hirota A、Egusa F、Sakamoto K、Sawada T、Heyer M、Baba J、Boissier S、Calzetti D、Donovan Meyer J、Elmegreen B. G.、Gil de Paz A.、Harada N、Ho L C.、Kobayashi M. I. N.、Kuno N、Lee M、Madore B F.、Maeda F、Martin S、Muraoka K、Nakanishi K、Onodera S、Pineda J L.、Scoville N、Watanabe Y	4. 巻 949
2. 論文標題 Diverse Molecular Structures across the Whole Star-forming Disk of M83: High-fidelity Imaging at 40 pc Resolution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 108 ~ 108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acc65e	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

1. 著者名 Huang K.-Y.、Viti S.、Holdship J.、Mangum J. G.、Martin S.、Harada N.、Muller S.、Sakamoto K.、Tanaka K.、Yoshimura Y.、Herrero-Illana R.、Meier D. S.、Behrens E.、van der Werf P. P.、Henkel C.、Garcia-Burillo S.、Rivilla V. M.、Emig K. L.、Colzi L.、Humire P. K.、Aladro R.、Bouvier M.	4. 巻 675
2. 論文標題 Reconstructing the shock history in the CMZ of NGC 253 with ALCHEMI	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A151 ~ A151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202245659	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

1. 著者名 Harada N.、Martin S.、Mangum J. G.、Sakamoto K.、Muller S.、Tanaka K.、Nakanishi K.、Herrero-Illana R.、et al.	4. 巻 923
2. 論文標題 Starburst Energy Feedback Seen through HCO+/HOC+ Emission in NGC 253 from ALCHEMI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 24 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac26b8	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

1. 著者名 Holdship J., Viti S., Martin S., Harada N., Mangum J., Sakamoto K., Muller S., Tanaka K., Yoshimura Y., Nakanishi K., Herrero-Illana R., Muehle S., Aladro R., Colzi L., Emig K. L., Garcia-Burillo S., Henkel C., Humire P., Meier D. S., Rivilla V. M., van der Werf P.	4. 巻 654
2. 論文標題 The distribution and origin of C <sub>2</sub> H in NGC 253 from ALCHEMI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A55 ~ A55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141233	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

1. 著者名 Barrientos Alejandro, Holdship Jonathan, Solar Mauricio, Martin Sergio, Rivilla Victor M., Viti Serena, Mangum Jeff, Harada Nanase, Sakamoto Kazushi, Muller Sebastien, Tanaka Kunihiro, Yoshimura Yuki, Nakanishi Kouichiro, Herrero-Illana Ruben, Muehle Stefanie, et al.	4. 巻 52
2. 論文標題 Towards the prediction of molecular parameters from astronomical emission lines using Neural Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Experimental Astronomy	6. 最初と最後の頁 157 ~ 182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10686-021-09786-w	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 Martin S., Mangum J. G., Harada N., Costagliola F., Sakamoto K., Muller S., Aladro R., Tanaka K., Yoshimura Y., Nakanishi K., et al.	4. 巻 656
2. 論文標題 ALCHEMI, an ALMA Comprehensive High-resolution Extragalactic Molecular Inventory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A46 ~ A46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141567	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

1. 著者名 Sakamoto Kazushi, Gonzalez-Alfonso Eduardo, Martin Sergio, Wilner David J., Aalto Susanne, Evans Aaron S., Harada Nanase	4. 巻 923
2. 論文標題 Deeply Buried Nuclei in the Infrared-luminous Galaxies NGC 4418 and Arp 220. I. ALMA Observations at $\lambda = 1.4-0.4$ mm and Continuum Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 206 ~ 206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2746	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

1. 著者名 Sakamoto Kazushi, Martin Sergio, Wilner David J., Aalto Susanne, Evans Aaron S., Harada Nanase	4. 巻 923
2. 論文標題 Deeply Buried Nuclei in the Infrared-luminous Galaxies NGC 4418 and Arp 220. II. Line Forests at $\lambda = 1.4-0.4$ mm and Circumnuclear Gas Observed with ALMA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 240 ~ 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac29bf	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

1. 著者名 Haasler D., Rivilla V. M., Martin S., Holdship J., Viti S., Harada N., Mangum J., Sakamoto K., Muller S., Tanaka K., Yoshimura Y., Nakanishi K., Colzi L., Hunt L., Emig K. L., Aladro R., Humire P., Henkel C., van der Werf P.	4. 巻 659
2. 論文標題 First extragalactic detection of a phosphorus-bearing molecule with ALCHEMI: Phosphorus nitride (PN)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A158 ~ A158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202142032	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

1. 著者名 Saito Toshiki, Takano Shuro, Harada Nanase, Nakajima Taku, Schinnerer Eva, Liu Daizhong, Taniguchi Akio, Izumi Takuma, Watanabe Yumi, Bamba Kazuharu, Herbst Eric, Kohno Kotaro, Nishimura Yuri, Stuber Sophia, Tamura Yoichi, Tosaki Tomoka	4. 巻 927
2. 論文標題 The Kiloparsec-scale Neutral Atomic Carbon Outflow in the Nearby Type 2 Seyfert Galaxy NGC 1068: Evidence for Negative AGN Feedback	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L32 ~ L32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac59ae	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

1. 著者名 Sato M. T., Aalto S., Kohno K., Koenig S., Harada N., Viti S., Izumi T., Nishimura Y., Gorski M.	4. 巻 660
2. 論文標題 APEX and NOEMA observations of H <sub>2</sub> S in nearby luminous galaxies and the ULIRG Mrk 231	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A82 ~ A82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141260	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

1. 著者名 Nakajima Taku, Takano Shuro, Tosaki Tomoka, Taniguchi Akio, Harada Nanase, Saito Toshiki, Imanishi Masatoshi, Nishimura Yuri, Izumi Takuma, Tamura Yoichi, Kohno Kotaro, Herbst Eric	4. 巻 955
2. 論文標題 Molecular Abundance of the Circumnuclear Region Surrounding an Active Galactic Nucleus in NGC 1068 Based on an Imaging Line Survey in the 3 mm Band with ALMA	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 27 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ace4c7	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

1. 著者名 Tanaka K, Mangum J. G., Viti S, Martin S, Harada N, Sakamoto K, Muller S, Yoshimura Y, Nakanishi K, Herrero-Illana R, Emig K. L., Muhle S., Kaneko H, Tosaki T, et al.	4. 巻 961
2. 論文標題 Volume Density Structure of the Central Molecular Zone NGC 253 through ALCHEMI Excitation Analysis	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad0e64	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

1. 著者名 Lin Lihwai, Pan Hsi-An, Ellison Sara L., Harada Nanase, Jimenez-Donaire Maria J., French K, Decker, Baker William M., Hsieh Bau-Ching, Koyama Yusei, Lopez-Coba Carlos, Michiyama Tomonari, Rowlands Kate, Sanchez Sebastian F., Thorp Mallory D.	4. 巻 963
2. 論文標題 The ALMaQUEST Survey. XII. Dense Molecular Gas as Traced by HCN and HCO+ in Green Valley Galaxies	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 115 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad18b9	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

1. 著者名 Harada Nanase, Meier David S., Martin Sergio, Muller Sebastien, Sakamoto Kazushi, Saito Toshiki, Gorski Mark D., Henkel Christian, Tanaka Kunihiko, Mangum Jeffrey G., et al.	4. 巻 271
2. 論文標題 The ALCHEMI Atlas: Principal Component Analysis Reveals Starburst Evolution in NGC 253	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 38 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ad1937	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



1. 著者名 Butterworth, J. ; Viti, S. ; Van der Werf, P. P. ; Mangum, J. G. ; Martin, S. ; Harada, N. ; Emig, K. L. ; Muller, S. ; Sakamoto, K. ; Yoshimura, Y. ; Tanaka, K. ; Herrero-Illana, R. ; Colzi, L. ; Rivilla, V. M. ; Huang, K. Y. et al.	4. 巻 686
2. 論文標題 Molecular isotopologue measurements toward super star clusters and the relation to their ages in NGC253 with ALCHEMI	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202348787	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

1. 著者名 Nishimura, Y. ; Aalto, S. ; Gorski, M. D. ; Konig, S. ; Onishi, K. ; Wethers, C. ; Yang, C. ; Barcos-Munoz, L. ; Combes, F. ; Diaz-Santos, T. ; Gallagher, J. S. ; Garcia-Burillo, S. ; Gonzalez-Alfonso, E. ; Greve, T. R. ; Harada, N. ; Henkel, C. et al.	4. 巻 686
2. 論文標題 CON-quest II. Spatially and spectrally resolved HCN/HCO+ line ratios in local luminous and ultraluminous infrared galaxies	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202348331	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

1. 著者名 Bao, Min ; Harada, Nanase ; Kohno, Kotaro ; Yoshimura, Yuki ; Egusa, Fumi ; Nishimura, Yuri ; Tanaka, Kunihiko ; Nakanishi, Kouichiro ; Martin, Sergio ; Mangum, Jeffrey G. ; Sakamoto, Kazushi ; et al.	4. 巻 受理済
2. 論文標題 Physical Properties of the Southwest Outflow Streamer in the Starburst Galaxy NGC 253 with ALCHEMI	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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5件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 原田ななせ
2. 発表標題 Chemistry and molecular cloud properties in nearby galaxies
3. 学会等名 Physics and Chemistry of Star Formation The Dynamical ISM Across Time and Spatial Scales (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田ななせ, David Meier, Sergio Martin, Sebastian Muller, Toshiki Saito, ALCHEMI collaboration
2. 発表標題 A statistical study of molecular emission in the starburst galaxy NGC 253 using PCA
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田ななせ
2. 発表標題 Chemical models for external galaxies
3. 学会等名 Molecules in Extreme Environments: Near and Far (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田ななせ
2. 発表標題 Proposing and managing the large program ALCHEMI
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田ななせ
2. 発表標題 Molecular Cloud Evolution, Feedback, and Astrochemistry in Nearby Galaxies
3. 学会等名 New Eyes on the Universe: ngVLA and SKA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
スウェーデン	Chalmers University of Technology			
米国	National Radio Astronomy Observatory	University of Virginia	New Mexico Inst. of Tech. and Mining	
ドイツ	Max Planck Institute for Radio Astronomy			
オランダ	Leiden University			
チリ	Joint ALMA Observatory			
オランダ	Leiden University			
その他の国・地域	台湾中央研究院			