

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05222

研究課題名（和文）原始惑星系円盤形成領域の化学組成とその進化

研究課題名（英文）Chemical Composition of Disk Forming Regions of Solar-type Protostars and its Evolution to Planetary Systems

研究代表者

山本 智 (YAMAMOTO, Satoshi)

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授

研究者番号：80182624

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 144,500,000円

研究成果の概要（和文）： 原始星円盤の構造と化学組成をアルマ望遠鏡による分子スペクトル線観測で研究した。十数個の天体の観測から、飽和有機分子に富むホットコリノ化学を示す天体が約半数を占める一方、飽和不飽和を問わず有機分子がほとんど見られない天体も存在することを示した。その結果をもとに、原始星天体の化学的多様性の全貌を、有機分子を軸として確立した。また、原始星円盤形成において降着衝撃波が発生し、化学組成に大きな影響を与えていることを高分解能観測で示した。さらに、実験室で分子スペクトル線の周波数と強度を精密測定するために放射型サブミリ波分光計を開発し、メタノールとその同位体種の測定を行い観測データの解析に資した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、原始星円盤に化学的多様性があり、それが4つの類型に分類できることを観測的に明らかにした。原始星円盤の化学組成は惑星系への化学進化の初期条件となる。本研究の結果は、物理的に同じような惑星系が形成されたとしても異なる化学的特徴を持ち得ることを示しており、我々の太陽系の起源の理解において重要な意義がある。また、原始星円盤の化学組成は過去の星形成履歴や環境を反映していることから、星形成研究にも新しい方法論を提示した。

本研究の結果は、我々が済む太陽系の価値、さらには地球環境の価値を、宇宙的視野で改めて示すもので、その理解を通して私たちの自然観や社会活動に間接的な影響を与えるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）： Structures and chemistry of protostellar disks have been investigated by molecular line observations with ALMA. Hot corino chemistry characterized by rich saturated organic molecules is found in about half of the observed sources. On the other hand, sources without bright emission of any organic molecules have been found. Based on these result, chemical diversity of protostellar sources is established based on the presence of saturated and unsaturated organic molecules. In addition, our high-resolution observations have revealed that the accretion shock plays an important role in chemical composition and its evolution in disk formation. In parallel to the above observational efforts, we have developed the emission-type submillimeter-wave spectrometer to measure accurate frequencies and intensities of interstellar molecules in the laboratory. With this spectrometer, the spectra of the isotopologues of methanol have been measured for the analyses of the observation data.

研究分野：電波天文学

キーワード：星形成 惑星系形成 星間物質 電波天文学 星間化学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽系の起源は、天文学、宇宙物理学、惑星科学の最も重要なテーマの一つであり、活発に研究が行われている。そのアプローチの一つは、我々の太陽系を詳しく調べることによりその成り立ちを辿る方法である。もう一つは、太陽系以外の惑星系、および、惑星系が生まれている現場を観測的に調べることにより、惑星系形成過程の普遍性と多様性を明らかにし、太陽系の起源の理解につなげる方法である。それらの2つの方法は相補的アプローチとしてともに重要であるが、現在のところ、両者間にはまだ大きなギャップがある。一方、近年の系外惑星の観測から、多様な構造の惑星系の存在が明らかになり、その起源が議論されている。そのような状況下で、太陽系の物質的起源についても、物質進化の普遍性および多様性の観点から注目されている。

ここ10年程度の間で、太陽型(低質量)原始星の周辺(数100-数1000 au)には多種多様な有機分子が存在していることが電波望遠鏡による観測からわかってきた。しかもその組成が原始星天体ごとに系統的に異なっていることも明らかにされてきた。その1つの典型は飽和した有機分子(HCOOCH_3 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ など)が豊富に存在する **Hot Corino 天体** と呼ばれるもので、もう1つの典型は不飽和な有機分子(CCH や C_4H_2 などの炭素鎖分子)が豊富に存在する **WCCC (Warm Carbon-Chain Chemistry: 温かい炭素鎖化学) 天体** と呼ばれるものである。WCCC 天体の存在は我々のグループが発見したもので、それにより同じ進化段階にある原始星天体でも、その化学組成には多様性があることが初めて明らかになった。このような化学的多様性を生む原因と惑星系への進化は、太陽系の物質的起源との関連で関心がもたれている。

近年、ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)によって、様々な有機分子の回転スペクトル線の高解像度観測から新しい恒星と惑星系が生まれる過程での物質進化が捉えられるようになってきた。我々は、ALMA の初期運用当初からこのような観測的研究を展開し、上で見られていた化学的多様性が惑星系形成の初期段階にまで持ち込まれていること、また、原始星円盤が形成される外縁部で劇的な化学変化が起きていることを示してきた。しかし、惑星系形成領域の物理進化・化学進化の研究はまだ端緒を掴んだばかりであり、その多様性を含めた全容は謎のままである。本研究の目的は、星・惑星系形成に伴う物質進化の多様性の全体像とそれを支配する物理的要因を解明すること、および惑星系形成とそこでの物質進化過程を克明に描き出すことにある。それらを総合して、惑星系形成に伴う物理・化学進化の道筋を捉え、「太陽系の物質的起源」の解明という根源的学術課題の核心に迫る。

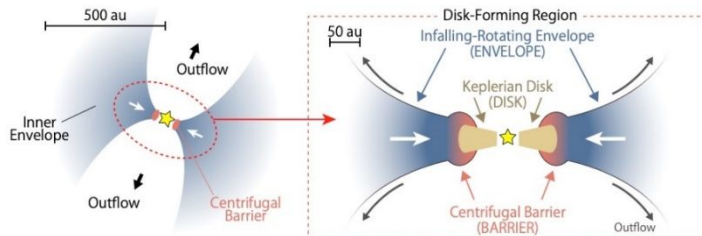


図1：太陽型原始星周りの構造の模式図。回転落下エンベロープから原始星円盤への遷移領域は物理的、化学的に複雑な様相を呈する。その解明が本研究の目標の一つである。

2. 研究の目的

(1) 化学的多様性の全貌と原始惑星系円盤への進化の探求：これまで、原始星の化学組成を100 au (惑星系スケール)より細かく調べる研究は、僅か6個程度の限られた天体に対して、限られた分子種で行われてきた。それらの研究で、原始星に向かって回転しながら落下するガスの化学組成が、原始星円盤に降着する直前で劇的な変化を起していること、1000 au スケールで見られる化学的多様性が惑星系スケールにまでもたらされていることが示されている。本研究ではこれらの先駆的成果を検証・発展させ、惑星系形成領域の物質進化の全体像に迫る。

(2) 原始星円盤形成とそこでの物理・化学過程の解明：特徴的な化学組成を持つ代表的原始星天体について、ALMA の最高解像度で分子分布を描き出す。我々は、最近、L1527 に対してALMAを用いた高解像度観測(30 au)を行い、原始星に向かって落下してきたガスが遠心力バリアの手前で滞留し、ガスが円盤面の垂直方向に膨れ上がっていることを発見した。本研究では円盤形成領域の詳細構造と化学組成分布を高解像度で描き出し、惑星系形成領域の化学過程を解明する。

(3) 化学的多様性の起源の探求：ALMA を用いて1つの分子雲中の多くの原始星天体を無バイアス観測し、統計的議論によって星・惑星系形成における物質進化の法則性を描き出す。原始星近傍の化学組成分布を50 - 100 au 程度の解像度で明らかにし、化学的多様性の全貌を捉える。これにより、Hot Corino 天体と WCCC 天体、およびその中間的天体の出現頻度を調べるとともに、それらの化学的組成と原始星が置かれている外部環境との関連を探究する。

(4) 分子スペクトル線静止周波数の精密測定：ALMA による観測に必要な分子スペクトル線の周波数はデータベースにまとめられているが、必ずしも本研究に必要な精度に達していない場合や、すべてのスペクトル線がリストアップされていない場合が多い。そこで、理化学研究所で製作しているミリ波・サブミリ波分光測定装置 (SUMIRE) の周波数範囲を拡大して観測周波数に対応させ、上記の(1)-(3)の研究を効率的かつ高い信頼性で進めることができるようにする。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的で述べた4つの項目に対して、次のように研究を進めた。

(1) 化学的多様性の全貌と原始惑星系円盤への進化の探求

IRAS16293-2422、L483、B335 について化学組成の全貌を明らかにする観測が ALMA で実行されているので、その解析を進めた。それとともに、研究代表者が主導する ALMA Large Program (FAUST: Fifty AU Study of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars) のデータを解析し、様々な分子スペクトル線で15個程度の原始星天体の化学組成分布を明らかにした。これらにより、惑星系形成領域の化学的多様性の類型化を試みた。その際、Hot Corino 天体(飽和有機分子が豊富)と WCCC 天体(不飽和有機分子が豊富)を両極端とする軸以外に、多様性の軸がないかどうかを検討した。

(2) 原始星円盤形成とそこでの物理・化学過程の解明

この項目では、原始星円盤の形成、アウトフロー発生機構、および、そこでの化学組成変化に着目した研究を進めた。アウトフローが回転落下エンベロープの角運動量を抜き、ガスの原始星円盤への落下を許している可能性は以前から指摘されているので、その定量的検証を目指した。これは、星形成と惑星系形成の根幹にかかわることなので、代表的天体(L1527, IRAS16293-2422, L483, B335) に対して ALMA で到達できる最高解像度(10 - 数 au 程度)で、遠心力バリア付近の物理現象と化学組成分布を詳細に観測した。

(3) 化学的多様性の起源の探求

この項目では、我々が提案したペルセウス座分子雲の観測が ALMA で実行された。惑星系形成領域を認識できる分解能で50個の原始星天体の化学組成を調べる観測は過去に例がない。この観測では、CH₃OH などの飽和有機分子と、CCH や c-C₃H₂ などの不飽和有機分子の存在量を比較して化学組成の特徴を調べた。それにより、Hot Corino 天体と WCCC 天体のどちらが主要な化学組成であるかを(半)統計的に調べ、化学的多様性の起源を理解する基礎を固めた。

(4) 分子スペクトル線静止周波数の精密測定

本研究の対象である太陽型原始星においては、有機分子の同位体種(¹³C, D, ¹⁵N など)や高励起状態(回転・振動)のスペクトル線が、ALMA を使うと容易に検出される。しかし、それらの静止周波数は必ずしもデータベースで整備されていない。その測定を ALMA データ解析の必要に対応して迅速に行うため、理化学研究所に放射型ミリ波サブミリ波分光装置(SUMIRE)を立ち上げた。これを用いて、CH₃OH の同位体種のスペクトルの網羅的測定を進めた。

4. 研究成果

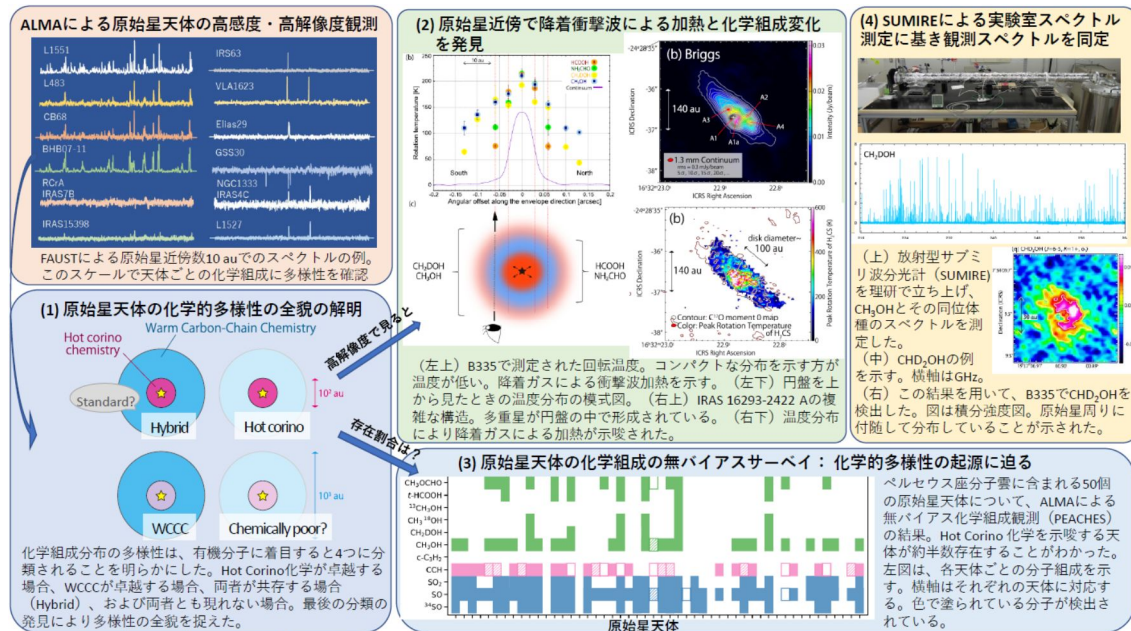
[本研究課題による研究成果]

本研究課題は順調に進行し、図2に示す成果を挙げることができた。

(1) 化学的多様性の全貌と原始惑星系円盤への進化の探求

FAUSTで観測された13個に加えてB335とIRAS 16293-2422を加えた15個の原始星天体について調べ、9個の天体でHot Corino 化学の特徴を示す飽和有機分子のスペクトルを検出した。一方、WCCCの性質を示したのは6個であった。それらの中で、両者の化学的性質を併せ持つ天体(Hybrid)は4個で、WCCCのみを示したのはL1527とNGC1333 IRAS4Cの2個であった。残りの4個の原始星天体は、Hot Corino 化学もWCCCも示さなかった。

本研究で進めたCB68およびIRAS 15398-3359の解析によって、このような化学組成および



化学構造の多様性を系統的に理解する道が開かれた。CB68 では WCCC の特徴である $c\text{-C}_3\text{H}$ や CCH が原始星周りの数 100 au スケールで見られ、Hot Corino 化学の特徴である CH_3OH の高励起線や HCOOCH_3 が原始星方向でのみ検出された (Imai et al. 2022)。一方、IRAS 15398-3359 は典型的な WCCC 天体と見られていたが、高感度観測によって CH_3OH の高励起線と HCOOCH_3 が原始星方向のコンパクトな領域(数 au 程度)で検出された (Okoda et al. 2023)。これらのことにより、WCCC と Hot Corino 化学が空間的に異なるスケールで共存することを確立した。WCCC は CH_4 が星間塵から脱離することで起こるが、その温度は 25 K 程度である。それに対して、Hot Corino 化学は飽和有機分子の脱離によるが、その温度は 100 K と高い。このことが、それぞれが起こる空間スケールの大小を決めている。そして、星間塵の氷マントルに含まれる CH_4 の存在量と、 CH_3OH などの飽和有機分子の存在量の違いによって、化学組成の多様性が生まれると理解できる。これによって、両者の性質を併せ持つ天体の存在も説明できる。

特に重要な成果は、WCCC も Hot Corino 化学のいずれも示さない天体の存在である (Oya et al. 2019)。そこで、Elias 29 と RCrA IRS7B について詳しく調べた。両者とも、原始星周りで有機分子は検出されず、そのため、原始星方向では SO および SO_2 のスペクトルが強調されて観測された。この原因として、Elias 29 や RCrA では、母体となる分子雲コアの温度が高いため (> 25 K) 飽和有機分子を生成するもととなる CO が星間塵に吸着しておらず、また、 CH_4 も星形成以前にすでに昇華してしまっている可能性が高い。一方、SO や SO_2 は蒸発温度が 50 K 以上と高いので星間塵上に残り、星形成に伴って昇華してきていると考えられる。事実、上記 2 つの天体では、近傍の B 型星の輻射によって母体となる分子雲コアが暖められていることが報告されており、SO、 SO_2 のみが現れる特異な化学組成と矛盾しない。

以上の研究から、原始星近傍の化学組成は、星間塵上の CH_4 と飽和有機分子の存否によって図 2 左下パネルに示す 4 パターンに整理できることが確立した。これは有機分子を軸として化学的多様性の全貌を統一的に理解したもので、大きな学術的意義がある。

(2) 原始星円盤形成とそこでの物理・化学過程の解明

(2-1) Hot Corino 化学と衝撃波加熱: 円盤形成領域は複雑な物理構造と化学組成分布を示すので、Hot Corino 化学を示す B335、IRAS 16293-2422A、L483 について、ALMA を用いて 10 au 程度(土星の軌道半径程度)よりもよい解像度での観測を行った。IRAS 16293-2422A は 10 au スケールで微細構造をもち、A1-A5 の 5 つのコンポーネントからなることを示した。そのため、この天体では A1-A5 までを取り囲む 100 au スケールの回転落下エンベロープと、それぞれのコンポーネントに付随する 10 au スケールの円盤構造から成り立っていることがわかった。 H_2CS の複数輝線の解析から、回転落下エンベロープと原始星円盤の境界で温度上昇が見られ、降着ガスの衝撃波加熱が起きていることがわかった (Oya and Yamamoto 2020)。降着衝撃波による飽和有機分子の蒸発現象は B335 においても高解像度観測で確認された (Okoda et al. 2022)。これらの天体は、Hot Corino 化学を示す典型的な天体であるが、上記の高分解能観測により Hot Corino 化学の出現に円盤形成の遷移領域における降着衝撃破が重要な役割を果たしていることを示した。この成果は円盤形成の物理過程の理解の上でも大きな貢献である。

(2-2) 非対称構造と間歇的降着: 円盤形成領域では、単独星の場合でも円盤構造の非軸対称性がしばしば見られる。これは母体となる分子雲コアの非一様性と力学的相互作用によるものと見られ、結果として間歇的な質量降着を生じる一因と考えられている。そこで、円盤を伴う原始星天体にガス塊が落下した場合の数値シミュレーションを行ったところ、ガス塊は中心星に近づくにつれて引き延ばされ、あたかも原始星に流れ込むストリーマー状の構造が見られることがわかった (Hanawa et al. 2022)。このようなストリーマー構造は本研究でも VLA1623 や BHB11 で見いだされた。このようなガス塊が異なる角運動量軸を持つと、その降着によって生じるアウトフローの向きは降着ごとに変化する。後で述べるように、IRAS 15398-3359 では、アウトフロー軸の大きな変化が観測された(「当初予見していなかった成果」を参照)。このように、降着ガスの間歇性、および角運動量軸の変化が原始星進化に大きな影響を与えていることが示された (Ohashi et al. 2022; Vastel et al. 2022; Sakai et al. 2019; Okoda et al. 2021 など)。

(2-3) 円盤形成に伴う角運動量分配: L483、IRAS 16293-2422A、NGC1333 IRAS4C について、円盤形成領域から噴出するアウトフローを高解像度で観測した結果、アウトフローの軸周りの回転が検出された。円盤形成領域では回転エンベロープおよびディスクの回転も観測されているので、この 3 つの成分の比角運動量を定量的に比較した。それらはほぼ同程度の大きさであり、誤差がまだ大きいものの、円盤形成領域でアウトフローが角運動量を抜き取っている可能性を観測的に示すことができた (Oya et al. 2018; 2021; Zhang et al. 2018)。

(3) 化学的多様性の起源の探求

(3-1) ペルセウス座分子雲における原始星天体の無バイアス観測: 原始星天体の化学組成の多様性は上記の研究で確立し、星間塵の化学組成が鍵となっていることが示されてきた。(1)(2) では比較的少数の天体を対象にして研究を進めてきたが、多様性の起源に迫るには、より多くの天体で化学組成を調べ、化学組成の特徴と物理状態の対応をつける必要がある。この考えから、ペルセウス座分子雲に含まれる 50 個の原始星天体について、ALMA で化学サーベイを行った (PEACHES プログラム 代表: 坂井) その結果、58%の天体で、原始星方向に飽和有機分子

のスペクトル線を検出した。このことから、およそ半数以上の天体が Hot Corino 化学を示していることがわかった。この比率は、FAUST の 13 天体で Hot Corino 化学を示すのが 7 個であったことと整合している。本研究では原始星方向のガスの柱密度が大きいほど検出される飽和有機分子の数が増えることから、温度の低く柱密度が高い天体ほど、そこで生まれる原始星は Hot Corino 化学に近くなること示された(Oya et al. 2019; Yang et al. 2021 など)。

(3-2) WCCC 出現に関する理論計算： 多様性の原因の一つと考えられているのは、分子雲コアの形成から星形成開始に至る経過時間の長短である。このことを調べるため、化学反応ネットワーク計算を行った。分子雲の収縮をわざと遅らせて化学組成に対する効果を調べた。その結果、分子雲コアの形成時にすでに炭素の主要形態が CO になっている場合、星形成までの時間の長短によらず、Hot Corino 化学が出現することがわかった。従って、WCCC のみを出現させるためには、分子雲コアの形成時に炭素の主要形態がまだ炭素原子の状態にあるよう、たとえば外力による急速な分子雲コア形成過程を考える必要があることが確認された(Aikawa et al. 2020)。

(4) 分子スペクトル線静止周波数の精密測定

分子スペクトル線の周波数と強度を精密に測定するために、放射型サブミリ波分光計を開発してきた。この分光器を用いて、ALMA でよく観測される CH₃OH のスペクトルを測定し、分光器の能力を確認した (Watanabe et al. 2021)。また、¹³CH₂DOH のスペクトルを初めて測定し報告した(Ohno et al. 2022)。CH₃OH およびその同位体種の回転スペクトルは、分子自体の回転とメチル基の内部回転が結合するため、量子力学によるエネルギー準位および波動関数の計算が非常に難しい。実際、CH₂DOH のスペクトルでは、遷移強度がスペクトルデータベースに掲載されているものと大きく異なることがわかった。その他、CHD₂OH, CH₃OD, CH₃¹⁷OH などのスペクトルを網羅的に測定した。それらの結果は ALMA の観測においても有用で、たとえば、B335 では CHD₂OH や CH₃OD のスペクトルの検出に役立った(Okoda et al. 2022)。

【当初に予見していなかった新たな展開等によって得られた研究成果】

(1) アウトフロー軸の大きな変動の発見

FAUST では ACA というコンパクトな配列を含めた観測を行ったため、比較的広がった輝度の低い分子放射にも十分な感度を持っている。そのことが幸いして、IRAS 15398-3359 において既知のアウトフロー (NE-SW 方向) とほぼ直交する方向 SE-NW 方向 に、SiO, SO, H₂CO, CH₃OH などの衝撃波をトレースする分子スペクトル線が観測され、その分布と速度構造から、もう一つのアウトフローが過去に吹いていたことがわかった (図 3 左)。そればかりか、CO 分子の観測により、S-N 方向にさらにもう一つの広がったアウトフローを見出した。この天体は高解像度観測から単独の原始星であることがわかっている。従って、3 つのアウトフローが観測されたことは、一つの原始星からのアウトフローの方向が時間とともに変化していることを示す。アウトフローの方向は降着するガスの角運動量軸に平行になるので、間歇的に降着するガスが異なる角運動量軸を持っていたことを意味する。この結果は、誕生したばかりの原始星についてのまったく新しい描像であり、当初は全く予想していない結果であった(Okoda et al. 2021)。

(2) 多変量解析・機械学習を用いた化学組成分布の無バイアス解析

ALMA では、一つの天体で数 10 本以上の様々な分子のスペクトル線が観測される。それらの分布については目で見て特徴を把握していた。そのため、多くのスペクトル線をすべて解析することは事実上困難であり、観測データを十分に活かすことができないばかりか、恣意的な解釈の可能性を排除できない。そこで、主成分分析 (PCA) による分布の分類を着想し、速度情報も含めた 3 次元データを用いることで、運動も考慮して分類ができることを示した (Okoda et al. 2021)。実際に B335 における研究で非常に役立った (Okoda et al. 2022)。(図 3 右)

それと併行して、機械学習によって回転落下エンベロープ構造と円盤構造を切り分けることができることを示した。速度構造を含めた回転落下エンベロープと円盤構造のモックデータを生成する汎用プログラム (FERIA) を開発し、教師あり機械学習の一つである SVM を用いて、IRAS 16293-2422 の分子スペクトル線データに適用したところ、各スペクトル線がどちらの構造を示すかを分類できた (Oya et al. 2022)。

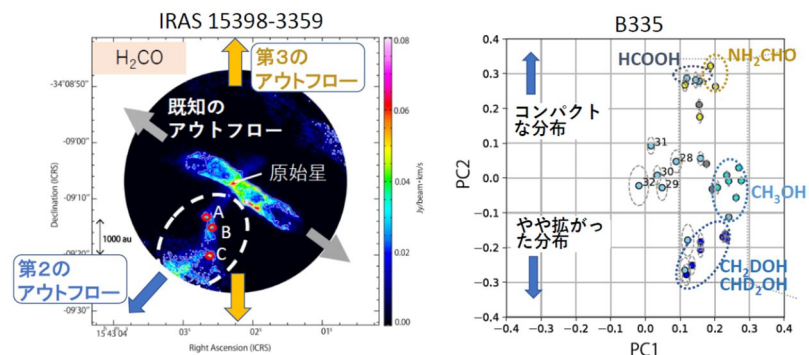


図 3 : (左) IRAS 15398-3359 で発見された第 2, 第 3 のアウトフロー。この天体は単独の原始星のみをもつので、複数のアウトフローの検出は、間歇的降着によってアウトフローの方向が変化していることを意味する。(右) B335 について、様々な分子の 3 次元データ (天球面座標 + 速度) について主成分分析を行った結果。分子ごとの分布の分布が無バイアスかつ明瞭に区別できる。特に、HCOOH, NH₂CHO が CH₃OH よりもコンパクトな分布を示すことがわかる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計43件（うち査読付論文 43件 / うち国際共著 33件 / うちオープンアクセス 42件）

1. 著者名 Lu, Y., Chang, Q., Aikawa, Y.	4. 巻 869
2. 論文標題 The Chemical Evolution from Prestellar to Protostellar Cores: A New Multiphase Model With Bulk Diffusion and Photon Penetration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 165 (21 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaeed8	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 Lee, J.-E. Lee, S., Baek, G., Aikawa, Y., Cieza, L., Yoon, S.-Y. Herczeg, G., Johnstone, D., Cassasus, S.	4. 巻 3
2. 論文標題 The ice composition in the disk around V883 Ori revealed by its stellar outburst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 314-319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-018-0680-0	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 Furuya Kenji, Aikawa Yuri, Hama Tetsuya, Watanabe Naoki	4. 巻 882
2. 論文標題 H2 Ortho-Para Spin Conversion on Inhomogeneous Grain Surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 172 (11 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3790	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 Kayanuma Megumi, Shoji Mitsuo, Furuya Kenji, Kamiya Katsumasa, Aikawa Yuri, Umemura Masayuki, Shigeta Yasuteru	4. 巻 123
2. 論文標題 First-Principles Study of the Reaction Mechanism of CHO + H on Graphene Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 5633 ~ 5639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.9b02345	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 Yuri Aikawa, Kenji Furuya, Satoshi Yamamoto, Nami Sakai	4. 巻 897
2. 論文標題 Chemical Variation among Protostellar Cores: Dependence on Prestellar Core Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 110 (17 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab994a	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 Shimonishi Takashi, Das Ankan, Sakai Nami, Tanaka Kei E. I., Aikawa Yuri, Onaka Takashi, Watanabe Yoshimasa, Nishimura Yuri	4. 巻 891
2. 論文標題 Chemistry and Physics of a Low-metallicity Hot Core in the Large Magellanic Cloud	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 164 (24 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6e6b	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 Lee Seokho, Lee Jeong-Eun, Aikawa Yuri, Herczeg Gregory, Johnstone Doug	4. 巻 889
2. 論文標題 The Circumstellar Environment around the Embedded Protostar EC 53	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 20 (12 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5a7e	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 Marta De Simone, Cecilia Ceccarelli, Claudio Codella, Brian E. Svoboda, 他13名	4. 巻 896
2. 論文標題 Hot Corinos Chemical Diversity: Myth or Reality?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L3 (5 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab8d41	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 E. Bianchi, C. J. Chandler, C. Ceccarelli, C. Codella, N. Sakai, 他61名	4. 巻 498
2. 論文標題 FAUST I. The hot corino at the heart of the prototypical Class I protostar L1551 IRS5	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mon. Not. R. Astron. Soc.	6. 最初と最後の頁 L87-L92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slaa130	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 Yuki Okoda, Yoko Oya, Nami Sakai, Yoshimasa Watanabe, Satoshi Yamamoto	4. 巻 900
2. 論文標題 Molecular Distributions of the Protostellar Envelope and the Outflow of IRAS 15398-3359: Principal Component Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 40 (20 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba51e	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 M. Bouvier, A. Lopez-Sepulcre, C. Ceccarelli, C. Kahane, M. Imai, N. Sakai, S. Yamamoto, and P. J. Dagdigan	4. 巻 636
2. 論文標題 Hunting for hot corinos and WCCC sources in the OMC-2/3 filament	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astron. Astrophys.	6. 最初と最後の頁 A19 (26 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201937164	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 Yoko Oya and Satoshi Yamamoto	4. 巻 904
2. 論文標題 Substructures in the Disk-forming Region of the Class 0 Low-mass Protostellar Source IRAS 16293-2422 Source A on a 10 au Scale	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 185 (32 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abbe14	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 Aya E. Higuchi, Agnes Kospal, Attila Moor, Hideko Nomura, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 905
2. 論文標題 Physical Conditions of Gas Components in Debris Disks of 49 Ceti and HD 21997	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 122 (16 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc5bb	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 Yuki Okoda, Yoko Oya, Logan Francis, Doug Johnstone, Shu-ichiro Inutsuka, 他64名	4. 巻 910
2. 論文標題 FAUST. II. Discovery of a Secondary Outflow in IRAS 15398-3359: Variability in Outflow Direction during the Earliest Stage of Star Formation?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 11 (13 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abddb1	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 Yao-Lun Yang, Nami Sakai, Yichen Zhang, Nadia M. Murillo, Ziwei Zhang, その他12名	4. 巻 910
2. 論文標題 The Perseus ALMA Chemistry Survey (PEACHES). I. The Complex Organic Molecules in Perseus Embedded Protostars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 20 (38 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdfd6	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 Yoshiki Shibayama, Yoshimasa Watanabe, Yoko Oya, Nami Sakai, Ana Lopez-Sepulcre, Sheng-Yuan Liu, Yu-Nung Su, Yichen Zhang, Takeshi Sakai, Tomoya Hirota, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 918
2. 論文標題 Exploring the 100 au Scale Structure of the Protobinary System NGC 2264 CMM3 with ALMA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 32 (16 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0ef6	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 Yoko Oya, Yoshimasa Watanabe, Ana Lopez-Sepulcre, Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch, Cecile Favre, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 921
2. 論文標題 Rotating Motion of the Outflow of IRAS 16293-2422 A1 at Its Origin Point Near the Protostar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 12 (15 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0a72	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 Yuki Okoda, Yoko Oya, Shotarao Abe, Ayano Komaki, Yoshimasa Watanabe, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 910
2. 論文標題 Molecular Distributions of the Disk/Envelope System of L483: Principal Component Analysis for the Image Cube Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 11 (13 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2c6c	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 Takeshi Sakai, Patricio Sanhueza, Kenji Furuya, Ken'ichi Tatematsu, Shanguo Li, 他12名	4. 巻 925
2. 論文標題 The ALMA Survey of 70 μ m Dark High-mass Clumps in Early Stages (ASHES). V. Deuterated Molecules in the 70 μ m Dark IRDC G14.492-00.139	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 144 (16 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac3d2e	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 Satoshi Ohashi, Claudio Codella, Nami Sakai, Claire J. Chandler, Cecilia Ceccarelli, 他76名	4. 巻 927
2. 論文標題 Misaligned Rotations of the Envelope, Outflow, and Disks in the Multiple Protostellar System of VLA 1623-2417: FAUST. III	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astrophys. J.	6. 最初と最後の頁 54 (22 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4cae	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 L. Chahine, A. Lopez-Sepulcre, R. Neri, C. Ceccarelli, S. Mercimek, C. Codella, M. Bouvier, E. Bianchi, C. Favre, L. Podio, F. O. Alves, N. Sakai, and S. Yamamoto	4. 巻 657
2. 論文標題 Organic chemistry in the protosolar analogue HOPS-108: Environment matters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astron. Astrophys.	6. 最初と最後の頁 A78 (18 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141811	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 Yuri Aikawa, Kenji Furuya, Satoshi Yamamoto, and Nami Sakai	4. 巻 897
2. 論文標題 Chemical Variation among Protostellar Cores: Dependence on Prestellar Core Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 110(17pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab994a	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 M. Bouvier, A. Lopez-Sepulcre, C. Ceccarelli, C. Kahane, M. Imai, N. Sakai, S. Yamamoto, and P. J. Dagdigan	4. 巻 636
2. 論文標題 Hunting for Hot Corinos and WCCC Sources in the OMC-2/3 Filament	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A19(26pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201937164	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 Yoko Oya, Ana Lopez-Sepulcre, Nami Sakai, Yoshimasa Watanabe, Aya E. Higuchi, Tomoya Hirota, Yuri Aikawa, Takeshi Sakai, Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch, Claudine Kahane, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 881
2. 論文標題 Sulfur-bearing Species Tracing the Disk/Envelope System in the Class I Protostellar Source Elias 29	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 112(16pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2b97	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 Aya E. Higuchi, Kazuya Saigo, Hiroshi Kobayashi, Kazunari Iwasaki, Munetake Momose, Kang Lou Soon, Nami Sakai, Masanobu Kunitomo, Daisuke Ishihara, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 883
2. 論文標題 First Subarcsecond Submillimeter-wave [CI] Image of 49 Ceti with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 180(8pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3d26	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 Aya E. Higuchi, Yoko Oya, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 885
2. 論文標題 First Detection of Submillimeter-wave [13CI] 3P1-3P0 Emission in a Gaseous Debris Disk of 49 Ceti with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L39(5pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab518d	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 Kento Yoshida, Nami Sakai, Yuri Nishimura, Tomoya Tokudome, Yoshimasa Watanabe, Takeshi Sakai, Shuro Takano, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 71
2. 論文標題 An unbiased spectral line survey observation toward the low-mass star-forming region L1527	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publication of Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S18(53pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy136	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 E. Artur de la Villarmois, J. K. Jorgensen, L. E. Kristensen, E. A. Bergin, D. Harsono, N. Sakai, E. F. van Dishoeck, and S. Yamamoto	4. 巻 626
2. 論文標題 Physical and Chemical Fingerprint of Protostellar Disc Formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A71(19pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201834877	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 Shogo Tachibana , Takafumi Kamizuka, Tomoya Hirota, Nami Sakai, Yoko Oya, Aki Takigawa, and Satoshi Yamamoto	4. 巻 875
2. 論文標題 Spatial Distribution of A10 in a High-mass Protostar Candidate Orion Source I	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L29(4pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab1653	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 Aya E. Higuchi, Nami Sakai, Yoshimasa Watanabe, Ana Lopez-Sepulcre, Kento Yoshida, Yoko Oya, Muneaki Imai, Yichen Zhang, Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch, Claudio Codella, Rafael Bachiller, Tomoya Hirota, Takeshi Ssakai, Satoshi Yamamoto	4. 巻 236
2. 論文標題 Chemical Survey toward Young Stellar Objets in the Perseus Molecular Cloud Complex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 52 (25pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365-aabfe9	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 Yoko Oya, Nami Sakai, Yoshimasa Watanabe, Ana Lopez-Sepulcre, Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch, Satoshi Yamamoto	4. 巻 863
2. 論文標題 Sub-arcsecond Kinematic Structure of the Outflow in the Vicinity of the Protostar in L483	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 72 (14pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aacf42	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 Yuki Okoda, Yoko Oya, Nami Sakai, Yoshimasa Watanabe, Jes K. Jorgensen, Ewine F. Van Dishoeck, Satoshi Yamamoto	4. 巻 864
2. 論文標題 The Co-evolution of Disks and Stars in Embedded Stages: The Case of the Very-low-mass Protostar IRAS 15398-3359	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L25 (7pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aad8ba	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 Muneaki Imai, Nami Sakai, Ana Lopez-Sepulcre, Aya E. Higuchi, Yichen Zhang, Yoko Oya, Yoshimasa Watanabe, Takeshi Sakai, Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch, Satoshi Yamamoto	4. 巻 869
2. 論文標題 Deuterium Fractionation Survey Toward Protostellar Sources in the Perseus Molecular Cloud: HNC Case	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 51 (26pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aacb21	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 Nami Sakai, Tomoyuki Hanawa, Yichen Zhang, Aya E. Higuchi, Satoshi Ohashi, Yoko Oya, Satoshi Yamamoto	4. 巻 565
2. 論文標題 A warped disk around an infant protostar	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 206-208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-018-0819-2	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 Yuji Ebisawa, Nami Sakai, Karl M. Menten, Satoshi Yamamoto	4. 巻 871
2. 論文標題 The Effect of Far-infrared Radiation on the Hyperfine Anomaly of the OH 18 cm Transition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 89 (28pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0538-4357/aaf72b	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 Muneaki Imai, Yoko Oya, Nami Sakai, Ana Lopez-Sepulcre, Yoshimasa Watanabe, Satoshi Yamamoto	4. 巻 873
2. 論文標題 Unveiling a Few Astronomical Unit Scale Rotation Structure around the Protostar in B335	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L21 (7pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab0c20	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 Hirota, T.	4. 巻 33
2. 論文標題 Recent progress in high-mass star-formation studies with ALMA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Korean Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 21-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5303/PKAS.2018.33.2.021	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 Hirota Tomoya, Plambeck Richard L., Wright Melvyn C. H., Machida Masahiro N., Matsushita Yuko, Motogi Kazuhito, Kim Mi Kyoung, Burns Ross A., Honma Mareki	4. 巻 896
2. 論文標題 Magnetic Field Structure of Orion Source I	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 157 (60 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab959e	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 Hirota Tomoya, VERA collaboration and 560 authors	4. 巻 72
2. 論文標題 The First VERA Astrometry Catalog	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 50 (19 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa018	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 Nakatani Riouhei, Liu Haiyu Baobab, Ohashi Satoshi, Zhang Yichen, Hanawa Tomoyuki, Chandler Claire, Oya Yoko, Sakai Nami	4. 巻 895
2. 論文標題 Substructure Formation in a Protostellar Disk of L1527 IRS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L2 (12 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab8eaa	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 Soon Kang-Lou, Momose Munetake, Muto Takayuki, Tsukagoshi Takashi, Kataoka Akimasa, Hanawa Tomoyuki, Fukagawa Misato, Saigo Kazuya, Shibai Hiroshi	4. 巻 71
2. 論文標題 Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz112	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 Hanawa Tomoyuki, Kudoh Takahiro, Tomisaka Kohji	4. 巻 881
2. 論文標題 Fragmentation of a Filamentary Cloud Permeated by a Perpendicular Magnetic Field. II. Dependence on the Initial Density Profile	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 97 (13 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2d26	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 Satoshi Ohashi, Akimasa Kataoka, Hiroshi Nagai, Munetake Momose, Takayuki Muto, Tomoyuki Hanawa, Misato Fukagawa, Takashi Tsukagoshi, Kohji Murakawa, and Hiroshi Shibai	4. 巻 864
2. 論文標題 Two Different Grain Size Distributions within the Protoplanetary Disk around HD 142527 Revealed by ALMA Polarization Observation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 81 (17 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad632	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 -

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Yoko Oya
2. 発表標題 Chemical Differentiation and its Relation with the Physical Structures in Disk-Forming Regions of Young Low-Mass Protostellar Sources
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Okoda, Yoko Oya, Muneaki Imai, Nami Sakai, Yoshimasa Watanabe, Ana Lopez-Sepulcre, and Satoshi Yamamoto
2. 発表標題 Compact Distributions of N-bearing species and HCOOH in the Protostellar Source B335
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoko Oya
2. 発表標題 Rotation Motion in Circumultiple Structure, Circumstellar Disk, and Outflow: the IRAS 16293-2422 Source A Case
3. 学会等名 East Asia ALMA Science Workshop 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yamamoto, S.
2. 発表標題 Organic Molecules in Disk Forming Regions
3. 学会等名 43rd COSPAR Scientific Assembly, F3.5 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nami Sakai
2. 発表標題 Centimeter Wave Observations Required for Astrochemistry
3. 学会等名 Linking the science of large interferometers in the 2030s (online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nami Sakai
2. 発表標題 Chemical evolution in star formation
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2021 (online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoko Oya
2. 発表標題 Chemical Differentiation and its Relation with the Physical Structures in Disk-Forming Regions of Young Low-Mass Protostellar Sources
3. 学会等名 Astrochemical Frontiers 2021 Quarantine Edition 2 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Yamamoto
2. 発表標題 FAUST
3. 学会等名 East Asia ALMA Science Workshop 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoko Oya
2. 発表標題 Unbiased Analyses of 3-Dimensional Molecular Line Data with Unsupervised/Supervised Machine Learnings
3. 学会等名 East Asia ALMA Development Workshop 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Aikawa, Y.
2. 発表標題 Gas-dust chemistry of volatiles in the star and planetary system formation
3. 学会等名 IAU Symposium 350, Laboratory Astrophysics: From Observations to Interpretation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aikawa, Y.
2. 発表標題 Chemistry of Volatiles from Molecular Cloud Formation to Protostellar Core
3. 学会等名 Origins of Solar Systems, Gordon Research Conference, Meteoritical, Spacecraft and Astrophysical Perspectives on the Assembly and Composition of Planets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eri Saiga, Yoko Oya, Anna Miotello, Cecilia Ceccarelli, Claudio Codella, Claire Chandler, Nami Sakai, Satoshi Yamamoto, and FAUST Team Members
2. 発表標題 ALMA View of Molecular Outflow in Elias 29
3. 学会等名 天文学会2021年秋季年会、オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoko Oya, Muneaki Imai, Brian Svoboda, Hanyu Baobab Liu, Cecilia CecGas-dust chemistry of volatiles in the star and planetary system formationelli, Claire Chandler, Claudio Codella, Nami Sakai, Satoshi Yamamoto, and FAUST team members
2. 発表標題 Chemical and Physical Characterization of the Isolated Source CB68
3. 学会等名 天文学会2021年秋季年会、オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大小田結貴, 大屋瑠子, 今井宗明, 坂井南美, 渡邊祥正, Ana Lopez-Sepulcre, 山本智
2. 発表標題 B335 における原始星近傍10 au スケールの化学組成分布と速度構造
3. 学会等名 天文学会2021年秋季年会、オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Okoda, Yoko Oya, Logan Francis, Doug Johnstone, Shu-ichiro Inutsuka, Satoshi Yamamoto, and FAUST team members
2. 発表標題 Hot Corino Activity in IRAS 15398 - 3359 at a 50 au Scale
3. 学会等名 天文学会2021年秋季年会、オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大屋瑠子、矢口公貴、李維遠、山本智
2. 発表標題 IRAS 16293(2013)2422 Source A の星周円盤における複雑な飽和有機分子の分布
3. 学会等名 天文学会2022年春季年会、オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eri Saiga, Yoko Oya, Anna Miotello, Cecilia Ceccarelli, Claudio Codella, Claire Chandler, Nami Sakai, Satoshi Yamamoto, and FAUST Team Members
2. 発表標題 Temperature structure of the Class I protostar Elias 29 and its environment
3. 学会等名 天文学会2022年春季年会、オンライン開催
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Oya, Y.
2 . 発表標題 A 10 au Scale View of the Low-Mass Protostellar Source IRAS 16293-2422 Source A
3 . 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2019, Taipei, Taiwan (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Okoda, Y., Oya, Y., and Yamamoto, S.
2 . 発表標題 Co-evolution of Disks and Stars in Embedded Stages
3 . 学会等名 【East Asian ALMA Science Workshop 2019, Taipei, Taiwan (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Oya, Y.
2 . 発表標題 Sub-mm Views of Disk-Forming Regions in Young Low-Mass Protostellar Sources
3 . 学会等名 East Asian ALMA Development Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yamamoto, S., Oya, Y. and Sakai, N.
2 . 発表標題 Chemical Evolution and Its Diversity in Disk Forming Regions
3 . 学会等名 WE-Heraeus-Seminar: Chemical Evolution of Cosmic Matter (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamamoto, S.
2. 発表標題 Why Chemistry in Astronomy
3. 学会等名 ENS-UT Workshop on Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋瑠子、山本智
2. 発表標題 低質量原始星 IRAS 16293-2422 の 10 au スケールでの円盤/エンベロープ構造
3. 学会等名 天文学会 2019 年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋瑠子、山本智
2. 発表標題 Class 0 低質量原始星天体 IRAS 16293 ^{UTF(2013)2422} A の内部構造
3. 学会等名 天文学会 2020 年春季年会、オンライン公開
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oya Yoko
2. 発表標題 Three Cases of Chemical Differentiation in Disk-Forming Regions of Low-Mass Protostellar Sources
3. 学会等名 The Early Phase of Star Formation 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Imai Muneaki
2. 発表標題 Chemical Characteristics of Prototypical Isolated Protostar in B335
3. 学会等名 NOEMA/30m Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Okoda Yuki
2. 発表標題 High resolution observations of forming disks; Very-Low-Mass Protostellar case
3. 学会等名 JCMT team meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Oya Yoko
2. 発表標題 Unified Picture of Chemical Differentiation in Disk-Forming Regios of Low-Mass Protostellar Sources
3. 学会等名 IAU Symposium 345 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大屋瑠子
2. 発表標題 Class I 低質量原始星天体 Elias 29における円盤/エンベロープ構造の解析
3. 学会等名 天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海老澤勇治
2. 発表標題 Pipe nebulaにおける分子雲形成の研究
3. 学会等名 天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田健人
2. 発表標題 星形成領域L1527における炭素鎖分子CCHの重水素化物のALMA観測
3. 学会等名 天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井宗明
2. 発表標題 B335における原始星近傍エンベロープガスの回転構造
3. 学会等名 天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大小田結貴
2. 発表標題 初期進化段階にある円盤構造を付随した超低質量原始星の探査
3. 学会等名 天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大屋瑠子
2. 発表標題 低質量原始星の原始惑星系円盤形成に伴う化学組成の変化
3. 学会等名 生命関連分子地球外運搬説ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Oya Yoko
2. 発表標題 Elias 29: a Class I Low-Mass Protostellar Source Rich in S-bearing Species
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2016 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Imai Muneaki
2. 発表標題 Innermost Envelope Structure of B335 Traced by Complex Organic Molecules
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2016 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大小田結貴
2. 発表標題 The Co-evolution of Disks and Stars in Embedded Stages
3. 学会等名 ALMAワークショップ：円盤から太陽系へ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大屋瑠子
2. 発表標題 Class I低質量原始星天体Elias 29における100 auスケールでの化学組成
3. 学会等名 天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井宗明
2. 発表標題 B335の原始星近傍ガスの物理・化学構造
3. 学会等名 天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大小田結貴
2. 発表標題 低質量原始星 IRAS 15398--3359 のアウトフローの化学組成
3. 学会等名 天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田孝典
2. 発表標題 Class 0/I 低質量原始星コアL1527のアウトフローの分子分布と速度構造
3. 学会等名 天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019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	大屋 瑤子 (OYA Yoko) (00813908)	京都大学・基礎物理学研究所・講師 (14301)	
研究分担者	坂井 南美 (SAKAI Nami) (70533553)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員 (82401)	
研究分担者	相川 祐理 (AIKAWA Yuri) (40324909)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	花輪 知幸 (HANAWA Tomoyuki) (50172953)	千葉大学・先進科学センター・特任教授 (12501)	
研究分担者	廣田 朋也 (HIROTA Tomoya) (10325764)	国立天文台・水沢V L B I観測所・准教授 (62616)	
研究分担者	酒井 剛 (SAKAI Takeshi) (20469604)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授 (12612)	
研究分担者	渡邊 祥正 (WATANABE Yoshimasa) (20586929)	芝浦工業大学・工学部・准教授 (32619)	

6. 研究組織（つづき）

	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	前澤 裕之 (MAEZAWA Hiroyuki) (00377780)	大阪公立大学・大学院理学研究科 ・准教授 (24405)	

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1件

国際研究集会 Next Generation Astrochemistry Symposium	開催年 2022年～2022年
--	--------------------

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			
イタリア	アルチェトリ天文台			
米国	国立電波天文台			
カナダ	ピクトリア大学			
フランス	グルノーブル-アルプス大学			
ドイツ	マックスプランク研究所			
米国	国立電波天文台			