

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：特別推進研究

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06087

研究課題名（和文）星間塵表面における分子進化の解明：素過程からのアプローチ

研究課題名（英文）Chemical evolution on cosmic dust: approach from elementary processes

研究代表者

渡部 直樹 (Watanabe, Naoki)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：50271531

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 437,400,000円

研究成果の概要（和文）：星間分子雲における分子進化の鍵を握る様々な星間塵表面化学物理素過程を、実験および量子化学計算を用いて明らかにした。独自の実験手法を開発することにより、これまで謎であった始原的有機分子、硫黄・燐含有分子等の生成・脱離過程、星間分子の重水素濃集過程、星間塵物質上での水素分子の核スピン転換機構などを解明した。また、各種顕微鏡を用いて星間塵表面物質である極低温氷表面の直接観測・分子拡散測定に世界で初めて成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

星間塵表面での化学物理プロセスは分子雲における初期分子生成・脱離・重水素濃集に主要な役割を果たしているが、その理解には推測による部分が多く残されていた。本研究で、さまざまな表面物質や表面構造、温度で系統的な実験を行うことにより、その理解を格段に深めることができた。また、新たな実験手法の開発や星間塵表面過程への量子化学計算の適用など、これまでの当該分野には無かったアプローチを確立した。

研究成果の概要（英文）：Using novel experimental methods and quantum chemical calculations, we demonstrated various physicochemical processes on the surfaces of cosmic dust analogues, which play an important role in evolution of molecules in space. Notable findings were made on (1) formation and desorption process of some organic molecules and sulfur- and phosphorous-containing molecules; (2) deuterium fractionation of molecules; (3) nuclear-spin conversion of hydrogen molecules on dust. Furthermore, direct observation of amorphous ice at around 10 K was first successful with cryogenic transmission electron microscope and atomic force microscope.

研究分野：数物系科学、地球惑星科学

キーワード：地球外物質科学 分子進化 星間塵 星間化学物理 重水素濃集

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

太陽系を含む惑星系に至る物質進化のスタートラインは、恒星・惑星誕生以前の極低温領域(分子雲:およそ 10~100 K)と考えることができる。分子雲には大量の固体微粒子(星間塵:~0.1 μm 程度)が存在している。その極端環境にもかかわらず、分子雲には、原子や簡単な分子から生成・進化(分子進化)した、有機物を含む多種多様な分子が存在している。分子進化に重要な役割を果たし存在度が高い始原的な星間分子(H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 等)や多くの有機分子は気相反応による生成は困難であり、星間塵上での表面反応が不可欠であると考えられているが、その詳細は明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、星間塵表面における分子進化の鍵を握る化学・物理素過程に、様々な実験手法と量子化学計算を用いて系統的・定量的にアプローチすることで、分子雲における極低温下で外部エネルギーを必要としない初期分子進化の解明を目指す。特に、有機物を含む多くの分子生成に関与し、量子効果が顕著に現れる水素が関わる素過程に着目する(図1)。低温星間塵表面【氷、ケイ酸塩、炭素質物質、氷】における初期分子進化を理解するため、次の3点を明らかにする。

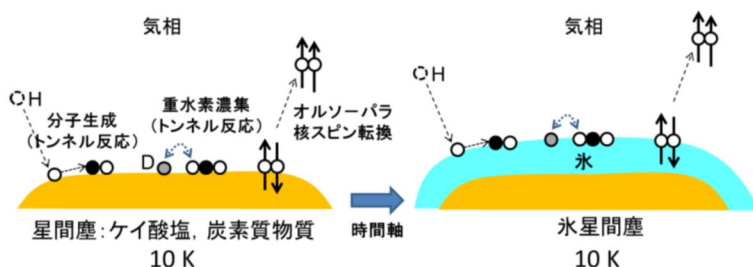


図1. 星間分子の生成・進化を理解する鍵となる星間塵表面過程(分子生成、重水素濃集、核スピン転換)。分子雲中では、ケイ酸塩・炭素質物質表面に時間とともに水分子が生成・蓄積して氷星間塵となる。

#### (i) 分子生成プロセス

H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、などの始原的な分子、および分子進化において重要な分子種の生成に関わる低温表面における原子拡散、トンネル反応の反応経路および速度の表面物質(氷、ケイ酸塩、炭素質物質)・温度依存性、脱離分子の有無やエネルギー状態等を明らかにする。

#### (ii) 重水素濃集プロセス

低温の星間塵物質表面上での H、D 原子付加、H-D 置換トンネル反応による重水素濃集機構を明らかにする。対象とする分子は主に天文観測により重水素濃集が確認されている水分子などの水素を含む始原的な分子とする。

#### (iii) 表面における分子のオルソ-パラ存在度比(核スピン温度)決定機構

星間塵表面で生成した H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 分子が気相に放出される際のオルソ-パラ比は気相での化学反応に大きな影響を及ぼすことから、近年、星間塵表面でのオルソ-パラ比決定機構は当該分野の一大テーマになっている。本研究では、核スピン温度の決定機構および分子進化への影響をさらに包括的に理解するため、星間塵表面を模擬した氷表面および炭素質物質、ケイ酸塩表面における H<sub>2</sub> 分子のオルソ-パラ転換を、さまざまな温度と表面構造で調べ、変化速度を測定する。得られたデータを理論モデルに組み込み、分子進化におけるスピン転換の影響を評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 擬似星間塵表面の作製

本研究では、様々な方法で試料表面を作製し評価する。試料作製法及び評価法は以下の通り。  
氷試料: 真空ガス蒸着法で作製し、原子間力顕微鏡(AFM)、透過電子顕微鏡(TEM)で評価。  
炭素質物質、ケイ酸塩試料: レーザースパッタリング法で作製。走査電子顕微鏡(SEM)、透過電子顕微鏡(TEM)により評価。様々な条件で試料を作製し、最適な生成法、生成速度などを決定する。

#### (2) 分子生成プロセス

擬似星間塵物質表面における分子生成過程の詳細をレーザー分光、赤外線吸収分光、昇温脱離法等を用いて明らかにする。

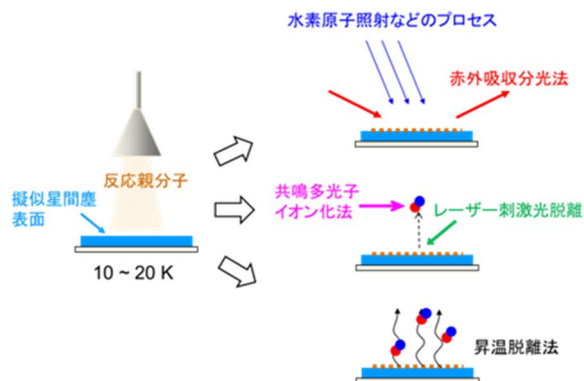


図2：分子生成実験の概要

図2左のように作製した星間塵物質表面に反応親分子を蒸着し、水素原子照射などのプロセスを与え、反応生成物に応じて、主に3つの手法【赤外吸収分光(右上); レーザー分光(右中); 昇温脱離法(右下)】により反応をモニターする。表面拡散を調べる実験では、主にレーザー分光法を用いる。水素原子などは表面拡散の後、活性化エネルギーを必要としない再結合反応で分子化することで、その表面数密度を減少させる。数密度の時間変化はレーザー分光法を用いれば測定することが可能である。その変化率から表面拡散に関する情報が得られる。上記3つの実験手法の他に、上記手法では検出できない微量の吸着種を測定するための

新たな手法(イオンピックアップ法)を開発する。イオンピックアップ法: 低エネルギーのCs<sup>+</sup>イオンを表面に入射し、吸着物を非破壊・非加熱的にピックアップし、質量分析する。赤外吸収分光法よりも3桁以上高感度の分析が可能になる。

### (3) 重水素濃集プロセス

星間塵模擬物質表面における分子の重水素濃集プロセスを明らかにする実験を行う。実験手法は主として(2)で述べた赤外吸収分光を用いる。各種表面上に吸着させた対象の標準体分子(H原子のみを含む)に、重水素(D)原子を照射し、H-D置換反応で生成した重水体分子を観測する。同時に重水体分子にH原子を照射し、D-H置換反応の効率を導出し、重水素濃集への寄与を評価する。

### (4) 表面における分子のオルソ-パラ存在度比決定機構

様々な表面物質に吸着させた水素分子、および水分子のオルソ-パラ核スピン転換を「共鳴多光子イオン化法(上述のレーザー分光法と同じ)」および、「和周波発生分光法」により観測し、転換速度を求め、水素分子、水分子のオルソ、パラ状態は回転状態と結合しているため、各分子の回転分布の時間変化を測定する。

### (5) 理論モデルへの適用

星間塵物質と各種原子・分子との相互作用(吸着エネルギー等)や表面反応に関する量子化学計算を行い、実験結果の素過程に関する知見を得る。また、実験で得られたデータを新たな理論モデルに組み込む。

## 4. 研究成果

### (1) 擬似星間塵表面の作製

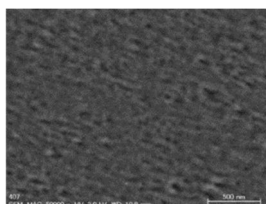


図3: レーザーアブレーションで作製したケイ酸塩表面のSEM像。表面の均質性は良好で、ESDによる測定で、組成比もほぼMg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>になっていることがわかった。

ケイ酸塩試料は、レーザーアブレーションにより金属基板上に作製した。透過型電子顕微鏡(TEM)および走査型電子顕微鏡(SEM)により評価を行った。図3の通り、均質なアモルファスケイ酸塩試料を作製することに成功した。

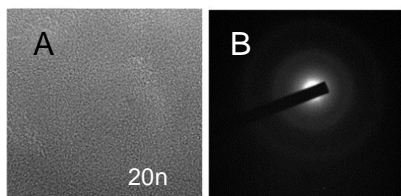


図4 A: レーザーアブレーションで作製した炭素質物質のTEM像。均一なアモルファス状であることが分かる。B: 作製した炭素質物質試料の電子回折像。アモルファス特有のハローパターンが観測された。

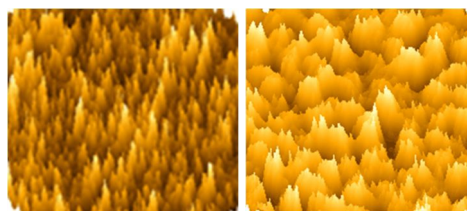


図5. AFMで観察したアモルファス氷表面像(右:100 K, 左:10 K)1辺200 nm

同様にアモルファス炭素質物質試料でもレーザーアブレーション法が最適であることがわかった。図4に示したように、均一なアモルファス表面が得られている。ただし、

作製した試料を一度大気に晒すとH<sub>2</sub>Oにより汚染されることが明らかになったため、実験槽の中で試料を「その場」作製できるように装置を構築した。

アモルファス氷試料は従来通り、金属基板表面へのH<sub>2</sub>Oガス蒸着法で行った。超高真空極低温原子間力顕微鏡(AFM)を用いて世界で初めてその表面観測に成功した(図5)。これにより、15

K と 100 K では、アモルファス氷の幾何形状が大きく異なることが分かった。アモルファス氷の蒸着温度に特徴づけられた典型的な形状が判明したことにより、形成過程における拡散の影響を評価することが可能になった。さらに、アモルファス氷表面形状に依存した表面電位分布の情報を含むデータの取得にも成功し、これは幾何形状データとともに、氷表面上における物理・化学過程の理解に資するものである。

## (2) 分子生成プロセス

### CO 氷表面における水素原子の吸着・拡散

温度の低い分子雲中の星間塵表面は一部 CO 固体で覆われていることが天文観測によって分かってきた。星間塵表面での分子進化学理論モデル構築には、水素原子の CO 固体表面での拡散係数が求められる。それを受け、純 CO 固体表面反応に先立つ素過程として、H 原子の CO 固体表面拡散に関する実験を行った。H 原子の表面拡散は熱的拡散が支配的であり、その活性化エネルギーは、それぞれおよそ 22~37meV と求められた。これらの活性化エネルギーと典型的な H 原子付加反応の反応速度を考慮すると、星間塵表面では“低温では H<sub>2</sub> 生成、10K 以上では水素付加反応が優勢になる”ことが示唆された。

### 炭素質物質（アモルファスカーボン）表面における水素原子拡散、H<sub>2</sub> 生成

レーザーアブレーション法で作製したアモルファスカーボン表面での様々な温度における水素原子、水素分子の振る舞いを調べ、以下を明らかにした。(i) H<sub>2</sub> 分子の表面脱離の活性化エネルギーは 30meV を中心値とし、理論的に示唆されたよりも広い分布を持つこと。(ii) H<sub>2</sub> 生成効率は氷表面ではほとんどゼロになる 20K においても高い値を示し、炭素質物質星間塵は比較的暖かい星間空間での H<sub>2</sub> 生成の母胎となり得る。(iii) H 原子はアモルファスカーボン表面をトンネル拡散する。

### ケイ酸塩表面における水素分子生成過程

水素分子生成を律速する水素原子の吸着・拡散に関する実験をケイ酸塩表面で行った。その結果、水素原子は表面温度 20K 以上でもケイ酸塩表面に存在していることが示唆された。これは従来考えられていなかった事実で、比較的温度的の高い (>20K) の星間塵上でも水素分子生成が十分に可能であることを意味する。

### H<sub>2</sub>S 分子、PH<sub>3</sub> 分子生成および反応性脱離

H<sub>2</sub>S 分子は硫黄 S を含む分子として最もその存在度が高く、分子雲における硫黄の化学に大きな役割を果たすと考えられている。また、PH<sub>3</sub> は近年、宇宙における P 含有分子の化学の鍵を握る分子として注目されている。本研究では、これらの分子が星間塵上で S, P 原子への H 原子付加反応で生成することを示し、同時に、反応の際 H<sub>2</sub>S, PH<sub>3</sub> が表面から脱離することを発見した。この脱離メカニズムは外部からのエネルギーを必要としない反応性脱離と呼ばれ、低温の分子雲における星間塵からガスを供給する重要なプロセスと理論モデルでは考えられている。本実験では、反応性脱離効率を定量的に検証することに世界で初めて成功した。

### 氷表面における OH ラジカル挙動

反応性に富むラジカルは氷表面における複雑な有機分子生成の鍵になると考えられているが、その化学物理プロセスは、実験の技術的難しさから全く調べられていない。本研究では、2 種類のレーザーを用いて氷表面に存在する OH ラジカルをモニターする実験的手法を新たに開発し以下の知見を得た。表面の OH ラジカル数密度の温度変化を調べ、OH ラジカルの氷表面拡散の情報を得た。表面の OH ラジカルが電子を捕獲し OH を生成すると、下層の H<sub>2</sub>O からプロトンを引き抜き、下層に OH を生成する。その繰り返しにより OH によって負の電荷が運ばれる。この発見は、氷に負の電荷が流れるという、これまで知られていなかった氷の電気化学的性質を示す画期的な成果である。

### OCS 分子の水素付加反応による分子進化

S 含有分子として存在度の高い OCS 分子の星間塵表面上における進化過程を実験および量子化学計算により明らかにした。その結果、OCS 分子は H 原子トンネル付加反応により CO、H<sub>2</sub>S に分岐することが分かった。また、HCOSH 分子の生成が確認され、分子雲におけるその存在を示唆した。

### 原始的複雑有機分子：ギ酸メチルの生成過程の解明

ギ酸メチル (HCOOCH<sub>3</sub>) は宇宙の様々な場所で観測されており、分子雲に見られる複雑有機分子の代表例である。ギ酸メチルはメタノールと水分子が紫外線で分解して生成した反応性の高い CH<sub>3</sub>O、CH<sub>2</sub>OH、および OH ラジカルを材料とし、それらが決まった順序で反応することで合成されることが分かった。また、合成の最終段階ではギ酸メチルに水素原子が 2 つ余分に付いたメトキシメタノール (CH<sub>3</sub>OCH<sub>2</sub>OH) という有機分子を経由することを初めて実証した。特に重要なことは氷中の水分子を由来とする OH ラジカルがないと、メトキシメタノールの合成が有効に生じなくなり、ギ酸メチルの合成もほとんど起こらなくなる。この合成のレシピはこれまでに提案されていないもので、特に氷の存在が重要であることを示す画期的なものである。

### (3) 重水素濃集プロセス

#### H<sub>2</sub>S、PH<sub>3</sub>の重水素濃集過程

星間硫化水素は高度に重水素濃集していることが分かっている。これをうけ、H<sub>2</sub>Sに関する重水素濃集実験を行った。10Kの氷表面に吸着させたH<sub>2</sub>S、D<sub>2</sub>S分子にそれぞれD、H原子を照射することで、H-D、D-H置換反応が生じることを観測した。両置換反応には大きな反応速度の差は見られなかったが、H<sub>2</sub>Sの重水素濃集にH-D置換トンネル表面反応が有意に働くことが明らかになった。また、上述の反応性脱離効率が氷の構造には、ほとんど依存しないことが明らかになった。いっぽうで、PH<sub>3</sub>の重水素体は宇宙では見つかっていないが、実験ではH-D置換反応が確認され、今後の観測的研究に指針を与えた。

### (4) 表面における分子のオルソ-パラ存在度比決定機構

#### H<sub>2</sub>O分子のオルソ-パラ存在度(O/P)比に関する実験

天文観測で得られるH<sub>2</sub>O星間分子のO/P比の起源を知るためには、H<sub>2</sub>O分子が生成される氷星間塵でO/P比がどのように振る舞うかを明らかにしなければならない。本研究では、パラのH<sub>2</sub>O分子のみから生成した氷を作製し、そこから光脱離したH<sub>2</sub>OのO/P比を測定した。その結果、これまでの様々なH<sub>2</sub>O氷を用いた実験と同様にO/P比は3となり、天文観測で得られた星間H<sub>2</sub>O分子の低いオルソ-パラ比を説明するには気相反応の寄与が必要であることが強く示唆された。

#### H<sub>2</sub>分子のオルソ-パラ存在度(O/P)比に関する実験

炭素質物質表面、ケイ酸塩表面におけるO-P転換を観測し転換速度の温度依存性を測定し、そのメカニズムを提唱した。また、和周波発生分光装置を用い、物理吸着した水素分子や、氷の水素結合ネットワーク中の水分子の量子力学的な運動や核スピン状態、配向構造を観測することが可能になった。物理吸着した水素分子のオルソ・パラ状態を単一分子レベルで検出することを可能とする分光法の理論を初めて提案し、極低温表面の局所構造においてオルト-パラ転換が誘起されている水素分子のその場計測を行うための分光学的基礎を構築した。また、氷表面におけるオルソ-パラ転換を考慮した新たな化学モデルを構築した。

### (5) 理論モデルへの適用

実験で得られた、「氷表面におけるCO分子等の拡散の活性化エネルギー」、「各種星間塵表面物質上でのH<sub>2</sub>の核スピン(オルソ-パラ)転換速度」、「PH<sub>3</sub>の反応性脱離率」などの結果を新たに分子進合理論モデルに組み込み、その影響を初めて評価した。

### (6) 当初予期していなかった新たな展開等で得られた研究成果

極低温下で水中にプロトンホール移動により負の電荷が流れることを発見した。従来、氷中の電流のキャリアは余剰プロトンの移動(プロトントランスファー)だけが考えられていた。本研究は基礎化学・物理の分野でも知られていなかった全く新しい知見で、氷の新しい電気化学的性質を明らかにした画期的な研究となった。

アモルファス氷や結晶氷の構造には、生成初期の基板上での水分子の配向状態が重要であることが見出された。同時に、結晶氷の表面においては、3配位の水分子が5、7員環から成る特異な水素結合ネットワークを構成することを見出し、氷表面の化学的性質に大きく寄与することを明らかにした。

氷内部でのCO分子へのH原子付加反応を初めて観測した。H原子反応はこれまで氷表面でのみ生じると考えられていたが、H原子が氷内のクラックなどを通して内部に侵入し、氷内に存在するCO分子と反応を起こすことが分かった。反応可能な温度は表面反応の20K以下に対し、氷内では50K程度であることが分かった。

表面分子の高感度非加熱非破壊分析法(イオンピックアップ法)を独自に開発することに成功した。この手法では、赤外分光のおよそ1000倍の感度を持ち、赤外不活性種でも観測することができる。これにより、表面に存在するOH等の化学的に活性な微量成分を検出することが可能となった。これまでに、宇宙で代表的な複雑有機分子(ギ酸メチル)の生成過程の詳細を明らかにし、現在、他の有機分子生成過程の研究に着手している。

可視光によりOHラジカルが氷表面から脱離することを発見した。OHラジカルおよびH<sub>2</sub>O分子は、それら単体では可視光を吸収しないが、OHが隣接する3つのH<sub>2</sub>O分子と複合体を形成することで可視光を吸収するようになりOHへの脱離に繋がり、その後の気相での分子進化に影響を及ぼすことが示唆された。従来、星間塵からの分子の脱離は紫外光の寄与のみが考えられてきたが、本研究により、可視光による脱離の重要性が明らかになった。実際、分子雲においては紫外光に比べて可視光のフラックスが上回る。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計68件（うち査読付論文 68件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 19件）

1. 著者名 Minissale Marco, Aikawa Yuri, Bergin Edwin, ..., Watanabe Naoki (19名中17番目)、Wakelam Valentine, Dulieu Francois	4. 巻 6
2. 論文標題 Thermal desorption of interstellar ices: A review on the controlling parameters and their implications from snowlines to chemical complexity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 597 ~ 630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.1c00357	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 Furuya Kenji, Oba Yasuhiro, Shimonishi Takashi	4. 巻 926
2. 論文標題 Quantifying the chemical desorption of H <sub>2</sub> S and PH <sub>3</sub> from amorphous water-ice surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 171(17pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4260	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 Ohashi Satoshi, ..., Oba Yasuhiro (72名中52番目)、..., Watanabe Naoki (72名中67番目)... et al.	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 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 54(22p)
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 Tsuge Masashi, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 923
2. 論文標題 Measurements of ortho-to-para nuclear spin conversion of H <sub>2</sub> on low-temperature carbonaceous grain analogs: diamond-like carbon and graphite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 71(8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2a33	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 Kouchi Akira, Kimura Yuki, Kitajima Kensei, Katsuno Hiroyasu, Hidaka Hiroshi, Oba Yasuhiro, Tsuge Masashi, Yamazaki Tomoya, Fujita Kazuyuki, Hama Tetsuya, Takahashi Yukihiro, Nakatsubo Shunichi, Watanabe Naoki	4. 巻 9
2. 論文標題 UV-induced formation of ice XI observed using an ultra-high vacuum cryogenic transmission electron microscope and its implications for planetary science	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 799851(13pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2021.799851	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 Nguyen Thanh, Oba Yasuhiro, Sameera W. M. C., Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 922
2. 論文標題 Successive H-atom addition to solid OCS on compact amorphous solid water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 146(13pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2238	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 Ishibashi Atsuki, Hidaka Hiroshi, Oba Yasuhiro, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 921
2. 論文標題 Efficient formation pathway of methyl formate: The role of OH radicals on ice dust	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L13(9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac3005	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 Nguyen Thanh, Oba Yasuhiro, Sameera W. M. C., Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 918
2. 論文標題 Experimental and computational studies on the physicochemical behavior of phosphine induced by reactions with H and D atoms on interstellar ice grains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 73(15pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0cf4	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 Kouchi Akira, Tsuge Masashi, Hama Tetsuya, Oba Yasuhiro, Okuzumi Satoshi, Sirono Sin-iti, Momose Munetake, Nakatani Naoki, Furuya Kenji, Shimonishi Takashi, Yamazaki Tomoya, Hidaka Hiroshi, Kimura Yuki, Murata Ken-ichiro, Fujita Kazuyuki, Nakatsubo Shunichi, Tachibana Shogo, Watanabe Naoki	4. 巻 918
2. 論文標題 Transmission electron microscopy study of the morphology of ices composed of H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , and CO on refractory grains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 45(20pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0ae6	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 Kouchi Akira, Tsuge Masashi, Hama Tetsuya, Niinomi Hiromasa, Nakatani Naoki, Shimonishi Takashi, Oba Yasuhiro, Kimura Yuki, Sirono Sin-iti, Okuzumi Satoshi, Momose Munetake, Furuya Kenji, Watanabe Naoki	4. 巻 505
2. 論文標題 Formation of chiral CO polyhedral crystals on icy interstellar grains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1530 ~ 1542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1173	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 Molpeceres de Diego German, Zaverkin Viktor, Watanabe Naoki, Kastner Johannes	4. 巻 648
2. 論文標題 Binding energies and sticking coefficients of H <sub>2</sub> on crystalline and amorphous CO ice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A84(30pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202040023	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 Takano Yoshinori, Oba Yasuhiro, Furota Satoshi, Naraoka Hiroshi, Ogawa O. Nanako, Blattmann M. Thomas, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 463
2. 論文標題 Analytical development of seamless procedures on cation-exchange chromatography and ion-pair chromatography with high-precision mass spectrometry for short-chain peptides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 116529(15pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijms.2021.116529	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 Okoda Yuki、...、Oba Yasuhiro (69名中48番目)、...、Watanabe Naoki (69名中63番目)... et al.	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 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 11(13pp)
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 Tsuge Masashi、Namiyoshi Toshinobu、Furuya Kenji、Yamazaki Tomoya、Kouchi Akira、Watanabe Naoki	4. 巻 908
2. 論文標題 Rapid Ortho-to-para nuclear spin conversion of H <sub>2</sub> on a silicate dust surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 234 (9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd9c0	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 Tsuge Masashi、Watanabe Naoki	4. 巻 54
2. 論文標題 Behavior of hydroxyl radicals on water ice at low temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 471 ~ 480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.0c00634	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 Sameera W. M. C., Senevirathne Bethmini, Andersson Stefan, Al-Ibadi Muhsen, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira, Nyman Gunnar, Watanabe Naoki	4. 巻 125
2. 論文標題 CH <sub>3</sub> O radical binding on hexagonal water ice and amorphous solid water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 387 ~ 393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c09111	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 Kitajima Kensei, Nakai Yoichi, Sameera W. M. C., Tsuge Masashi, Miyazaki Ayane, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 12
2. 論文標題 Delivery of electrons by proton-hole transfer in ice at 10K: Role of surface OH radicals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 704 ~ 710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c03345	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 Miyazaki Ayane, Watanabe Naoki, Sameera W. M. C., Nakai Yoichi, Tsuge Masashi, Hama Tetsuya, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira	4. 巻 102
2. 論文標題 Photostimulated desorption of OH radicals from amorphous solid water: Evidence for the interaction of visible light with an OH-ice complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 052822(10pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.102.052822	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 Tsuge Masashi, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 900
2. 論文標題 Diffusive hydrogenation reactions of CO embedded in amorphous solid water at elevated temperatures ~70K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 187(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abab9b	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 Tsuge Masashi, Nguyen Thanh, Oba Yasuhiro, Hama Tetsuya, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 760
2. 論文標題 UV-ray irradiation never causes amorphization of crystalline CO2: A transmission electron microscopy study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 137999(6pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2020.137999	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 Hama Tetsuya, Ishibashi Atsuki, Kouchi Akira, Watanabe Naoki, Shioya Nobutaka, Shimoaka Takafumi, Hasegawa Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Quantitative anisotropic analysis of molecular orientation in amorphous N2O at 6 K by infrared multiple-angle incidence resolution spectrometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 7857 ~ 7866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c01585	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 Hama Tetsuya, Kouchi Akira, Watanabe Naoki, Shioya Nobutaka, Shimoaka Takafumi, Hasegawa Takeshi	4. 巻 266
2. 論文標題 In vivo characterization of the structures of films of a fatty acid and an alcohol adsorbed on the skin surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Chemistry	6. 最初と最後の頁 106459(14pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpc.2020.106459	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 Nguyen Thanh, Oba Yasuhiro, Shimonishi Takashi, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 898
2. 論文標題 An experimental study of chemical desorption for phosphine in interstellar ice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L52(6pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aba695	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 Bianchi Eleonora, ..., Oba Yasuhiro(66名中47番目)、..., Watanabe Naoki.(66名中61番目)、... et al.	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 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	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 Watanabe Naoki, Tsuge Masashi	4. 巻 89
2. 論文標題 Experimental approach to physicochemical hydrogen processes on cosmic ice dust	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 051015(12pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.051015	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 Nakano Hideyuki, Hirakawa Naoki, Matsubara Yasuhiro, Yamashita Shigeru, Okuchi Takuo, Asahina Kenta, Tanaka Ryo, Suzuki Noriyuki, Naraoka Hiroshi, Takano Yoshinori, Tachibana Shogo, Hama Tetsuya, Oba Yasuhiro, Kimura Yuki, Watanabe Naoki, Kouchi Akira	4. 巻 10
2. 論文標題 Precometary organic matter: A hidden reservoir of water inside the snow line	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7755(13pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-64815-6	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 Sugimoto Toshiki, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 22
2. 論文標題 Orientational ordering in heteroepitaxial water ice on metal surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 16453 ~ 16466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp01763a	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 Kato Fumiaki, Sugimoto Toshiki, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 11
2. 論文標題 Direct experimental evidence for markedly enhanced surface proton activity inherent to water ice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2524 ~ 2529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c00384	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 Oba Yasuhiro, Takano Yoshinori, Naraoka Hiroshi, Furukawa Yoshihiro, Glavin P.Daniel, Dworkin P. Jason, Tachibana Shogo	4. 巻 11
2. 論文標題 Extraterrestrial hexamethylenetetramine in meteorites-a precursor of prebiotic chemistry in the inner solar system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6243(8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-20038-x	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 Hiromasa, Sugimoto Toshiki	4. 巻 63
2. 論文標題 メタン水蒸気改質反応条件下の光触媒に対する紫外光強度変調オペランドFT-IR分光	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 表面と真空	6. 最初と最後の頁 476 ~ 481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.63.476	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 羽馬哲也、香内晃、渡部直樹	4. 巻 78
2. 論文標題 宇宙と太陽系の水の起源と水の核スピン異性体	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 低温科学	6. 最初と最後の頁 11-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/lowtemsci.78.11	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 木村勇氣、佐藤理佳子、土山明、為則雄祐、羽馬哲也、日高宏、渡部直樹、香内晃、永原裕子	4. 巻 78
2. 論文標題 低温低圧環境下における触媒反応による有機分子の生成実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 低温科学	6. 最初と最後の頁 79-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/lowtemsci.78.79	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 日高宏、渡部直樹、香内晃	4. 巻 78
2. 論文標題 原子間力顕微鏡によるアモルファス氷表面構造の直接観察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 低温科学	6. 最初と最後の頁 27-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/lowtemsci.78.27	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 Kouchi Akira, Furuya Kenji, Hama Tetsuya, Chigai Takeshi, Kozasa Takashi, Watanabe Naoki	4. 巻 891
2. 論文標題 Direct measurements of activation energies for surface diffusion of CO and CO2 on amorphous solid water using in situ transmission electron microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L22(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab78a2,	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 Watanabe Naoki, Tsuge Masashi	4. 巻 89
2. 論文標題 Experimental approach to physicochemical hydrogen processes on cosmic ice dust	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 051015(12pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.051015	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 Hama Tetsuya, Seki Kousuke, Ishibashi Atsuki, Miyazaki Ayane, Kouchi Akira, Watanabe Naoki, Shimoaka Takafumi, Hasegawa Takeshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Experimental approach to physicochemical hydrogen processes on cosmic ice dust	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1567 ~ 1580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz063	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 Oba Yasuhiro, Takano Yoshinori, Naraoka Hiroshi, Watanabe Naoki, Kouchi Akira	4. 巻 10
2. 論文標題 Nucleobase synthesis in interstellar ices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12404-1	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 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 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 172 (11pp)
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 Oba Yasuhiro, Takano Yoshinori, Naraoka Hiroshi, Watanabe Naoki	4. 巻 10
2. 論文標題 Nucleobase synthesis in interstellar ice	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4413 (8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12404-1	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 Otsuki Yuji, Watanabe Kazuya, Sugimoto Toshiki, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 21
2. 論文標題 Enhanced structural disorder at a nanocrystalline ice surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 20442-20453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP07269H	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 Kato Fumiaki, Sugimoto Toshiki, Harada Kuniaki, Watanabe Kazuya, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 3
2. 論文標題 Unveiling two deuteration effects on hydrogen-bond breaking process of water isotopomers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 112001(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.112001	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 Amano Fumiaki, Mukohara Hyosuke, Sato Hiroki, Tateishi Chihiro, Sato Hiromasa, Sugimoto Toshiki	4. 巻 4
2. 論文標題 Vapor-fed photoelectrolysis of water at 0.3 V using gas-diffusion photoanodes of SrTiO <sub>3</sub> layers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 S1-S18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SE01068H	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 杉本敏樹、石山達也	4. 巻 21
2. 論文標題 和周波発生振動分光計測と分子シミュレーションからみる氷表面の分子構造	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 分子シミュレーション研究会会誌	6. 最初と最後の頁 177-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11436/mssj.21.177	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 Minami Takeshi, Hatanaka Kousuke, Motizuki Yuko, Nakai Yoichi, Takahashi Kazuya	4. 巻 28
2. 論文標題 A method of collecting trace amounts of vermilion from artifacts for source estimation by sulfur isotope ( <sup>34</sup> S) analysis: use of sulfur-free adhesive tape to minimize damage to the artifact body during sampling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Archaeological Science: Reports	6. 最初と最後の頁 102027(5pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jasrep.2019.102027	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 Oba Yasuhiro, Tomaru Takuto, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 874
2. 論文標題 Physico-chemical behavior of hydrogen sulfide induced by reactions with H and D atoms on different types of ice surfaces at low temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 124 (8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0961	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 Sugimoto Toshiki, Otsuki Yuji, Ishiyama Tatsuya, Morita Akihiro, Watanabe Kazuya, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 99
2. 論文標題 Topologically disordered mesophase at the topmost surface layer of crystalline ice between 120 and 200K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 121402(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.121402	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 杉本敏樹	4. 巻 34
2. 論文標題 水分子凝集系における水素原子の位置に敏感な和周波発生(SFG)振動分光法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 エレクトロニクスコミュニケーション誌	6. 最初と最後の頁 19-24
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 Miyake Fusa, Horiuchi Kazuho, Motizuki Yuko, Nakai Yoichi, Takahashi Kazuya, Masuda Kimiaki, Motoyama Hideaki, Matsuzaki Hiroyuki	4. 巻 46
2. 論文標題 10Be signature of the cosmic ray event in the 10th century CE in both hemispheres, as confirmed by quasi annual 10 Be data from the antarctic dome Fuji ice core	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 11 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL080475	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 渡部直樹、大場康弘	4. 巻 73
2. 論文標題 なぜ宇宙空間の分子はガス状で存在できるのか？星間塵上の化学反応によるガスの放出を放出を実証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 12-15
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 Kimura Yuki, Tsuge Masashi, Pirronello Valerio, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 858
2. 論文標題 Measurements of the activation energies for atomic hydrogen diffusion on pure solid CO	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L23 (5pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2014-8213/aac102	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 Hama Tetsuya, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 857
2. 論文標題 The ortho-to-para ratio of water molecules desorbed from ice made from para-water monomers at 11K	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L13 (6pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aabc0c	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 Sugimoto Toshiki	4. 巻 67
2. 論文標題 Sum-frequency generation spectroscopy of heteroepitaxial ice films: Unveiling orientation of water molecules, and structural and physical properties of ice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Spectroscopical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 189-196
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 Takahashi Kazuya, Nakai Yoichi, Motizuki Yuko, Ino Toshiyuki, Ito Shigeru, Ohkubo B. Satoru, Minami Takeshi, Takaku Yuichi, Yamaguchi Yoshitaka, Tanaka Miho, Motoyama Hideaki	4. 巻 32
2. 論文標題 High-sensitivity sulfur isotopic measurements for Antarctic ice core analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 1991-1998
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcm.8275	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 Oba Yasuhiro, Tomaru Takuto, Lamberts Thanja, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 2
2. 論文標題 An infrared measurement of chemical desorption from interstellar ice analogues	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 228-232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-018-0380-9	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 香内晃、日高宏、羽馬哲也、木村勇気、渡部直樹、中坪俊一、藤田和之、新堀邦夫、池田正幸	4. 巻 80
2. 論文標題 超高真空極低温透過型電子顕微鏡の開発 氷のその場観察をめざして	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本雪氷学会誌	6. 最初と最後の頁 19-36
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 Aiga Norihiro, Sugimoto Toshiki, Otsuki Yuji, Watanabe Kazuya, Matsumoto, Yoshiyasu	4. 巻 97
2. 論文標題 Origins of emergent high-Tc ferroelectric ordering in heteroepitaxial ice film: Sum-frequency generation spectroscopy of H <sub>2</sub> O and D <sub>2</sub> O ice films on Pt(111)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 075410(21pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.075410	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 Shirai Kenji, Fazio Gianluca, Sugimoto Toshiki, Selli Daniele, Ferraro Lorenzo, Watanabe Kazuya, Haruta Mitsutaka, Ohtani Bunsho, Kurata Hiroki, Valentin Di Cristiana, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 140
2. 論文標題 Water-assisted hole trapping at highly curved surface of nano-TiO <sub>2</sub> photocatalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 1415-1422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b11061	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 Shirai Kenji, Fazio Gianluca, Sugimoto Toshiki, Selli Daniele, Ferraro Lorenzo, Watanabe Kazuya, Haruta Mitsutaka, Ohtani Bunsho, Kurata Hiroki, Valentin Di Cristiana, Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 140
2. 論文標題 Water-assisted hole trapping at the highly curved surface of nano-TiO <sub>2</sub> photocatalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 1415 ~ 1422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b11061	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 Hama Tetsuya, Kouchi Akira, Watanabe Naoki, Enami Shinichi, Shimoaka, Takafumi, Hasegawa Takeshi	4. 巻 121
2. 論文標題 In situ nondestructive analysis of kalanchoe pinnata leaf surface structure by polarization modulation infrared reflection absorption spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry	6. 最初と最後の頁 11124-11131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b09173	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 Wakelam Valentine, Bron Emeric, Cazaux Stephanie, Dulieu Francois, Gry Cecile, Guillard Pierre, Habart Emilie, Hornekaer Liv, Morisset Morisset, Nyman Gunnar, Pirronello Valerio, Price D. Stephen, Valdivia Valeska, Vidali Gianfranco, Watanabe Naoki	4. 巻 9
2. 論文標題 H <sub>2</sub> formation on interstellar dust grains: The viewpoints of theory, experiments, models and observations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecular Astrophysics	6. 最初と最後の頁 36pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molap.2017.11.001	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 Oba Yasuhiro, Takano Yoshinori, Naraoka Hiroshi, Kouchi Akira, Watanabe Naoki	4. 巻 849
2. 論文標題 Deuterium fractionation upon the formation of hexamethylenetetramines through photochemical reactions of interstellar ice analogs containing deuterated methanol isotopologues	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa8ea5	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 Tachibana Shogo, Kouchi Akira, Hama Tetsuya, Oba Yasuhiro, Piani Laurette, Sugawara Iyo, Endo Yukiko, Hidaka Hiroshi, Kimura Yuki, Murata Ken-ichiro, Yurimoto Hisayoshi, Watanabe Naoki	4. 巻 3
2. 論文標題 Liquid-like behavior of UV-irradiated interstellar ice analog at low temperatures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaao2538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aao2538	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 Kobayashi Kensei, Geppert D. Wolf, Carrasco Nathalie, Holm G. Nils, Mousis Olivier, Palumbo M. Elisabetta, Waite J. Hunter, Watanabe Naoki, Ziurys M. Lucy	4. 巻 17
2. 論文標題 Laboratory studies of methane and its relationship to prebiotic chemistry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 786 ~ 812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2016.1492	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 Hama Tetsuya, Ishizuka Shinnosuke, Yamazaki Tomoya, Kimura Yuki, Kouchi Akira, Watanabe Naoki, Sugimoto Toshiki, Pirronello Valerio	4. 巻 19
2. 論文標題 Fast crystalline ice formation at extremely low temperature through water/neon matrix sublimation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 17677 ~ 17684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CP03315J	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 Sugimoto Toshiki、Kunisada Yuji、Fukutani Katsuyuki	4. 巻 96
2. 論文標題 Inelastic electron tunneling mediated by a molecular quantum rotator	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 241409(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.241409	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 Yabuta Mitsunori、Takeda Atsuhiko、Sugimoto Toshiki、Watanabe Kazuya、Kudo Akihiko、Matsumoto Yoshiyasu	4. 巻 121
2. 論文標題 Particle size dependence of carrier dynamics and reactivity of photocatalyst BiVO <sub>4</sub> probed with single-particle transient absorption microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 22060 ~ 22066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b06230	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 羽馬哲也、渡部直樹、香内晃	4. 巻 59
2. 論文標題 星間塵表面における量子トンネル水素付加反応：その同位体効果と表面構造依存	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 242-248
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 Sugimoto Toshiki	4. 巻 28
2. 論文標題 Infrared spectroscopy of water adsorbates on TiO <sub>2</sub> -photocatalyst surface that directly contribute to trapping of photo-generated hole	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 FTIR Talk Letter	6. 最初と最後の頁 2-7
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97件(うち招待講演 38件/うち国際学会 56件)

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 共鳴多光子イオン化法による宇宙空間アモルファス氷上での化学物理過程の追跡
3. 学会等名 レーザー学会 学術講演会 第42回年次大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Schmidt Timothy, Watanabe Naoki, Goettl Shane
2. 発表標題 Misconceptions in Astrochemistry: A Chemist's guide
3. 学会等名 Pacifichem 2021:A Creative Vision for the Future(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyazaki Ayane, Watanabe Naoki, Sameera W.M.C., Hama Tetsuya, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira
2. 発表標題 Detection of OH radical produced by photodissociation of H <sub>2</sub> O on water ice
3. 学会等名 Pacifichem 2021:A Creative Vision for the Future(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ishibashi Atsuki, Hidaka Hiroshi, Oba Yasuhiro, Kouchi Akira, Watanabe Naoki
2. 発表標題 Experimental studies on the surface reaction of atomic hydrogen with "exotic" molecules at low temperatures
3. 学会等名 Pacifichem 2021:A Creative Vision for the Future(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Monitoring of OH radicals on ice surface under astrochemical conditions
3. 学会等名 Origin and evolution of molecules in our Galaxy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 羽馬哲也、石橋篤季、香内晃、渡部直樹、塩谷暢貴、下赤卓史、長谷川健
2. 発表標題 赤外多角入射分解分光法によるアモルファス分子性固体の構造解析
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柘植雅士、宮崎彩音、Sameera W.M.C.、中井陽一、羽馬哲也、日高宏、香内晃、渡部直樹
2. 発表標題 低温H <sub>2</sub> O氷表面からのOHラジカルの可視光脱離過程
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎彩音、渡部直樹、柘植雅士、Sameera W.M.C.、日高宏、香内晃
2. 発表標題 低温H <sub>2</sub> O氷表面でのOHラジカルの拡散
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 石橋篤季、日高宏、大場康弘、香内晃、渡部直樹
2. 発表標題 氷表面におけるメタノールの光化学反応生成物の高感度分析
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大場康弘、高野淑識、奈良岡浩、古川善博、橘省吾、グラビン ダニエル、ドワーキン ジェイソン
2. 発表標題 炭素質隕石中ヘキサメチレンテトラミンの検出とその化学進化における役割
3. 学会等名 Japan geoscience Union Meeting2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北島謙生、中井陽一、柘植雅士、日高宏、香内晃、渡部直樹
2. 発表標題 極低温の水と NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S 固体の界面における負電荷移動機構
3. 学会等名 原子衝突学会第46回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋篤季、日高宏、大場康弘、香内晃、渡部直樹
2. 発表標題 超高感度表面分析法による低温氷表面に吸着したメタノールからの効率的なギ酸メチル生成過程の解明
3. 学会等名 原子衝突学会第46回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Tsuge Masashi, Kouchi Akira, Hama Tetsuya, Oba Yasuhiro, Okuzymi Satoshi, Sirono Sin-iti, Momose Munetake, Nakatani Naoki, Furuya Kenji, Shimonishi Takashi, Yamazaki Tomoya, Hidaka Hiroshi, Kimura Yuki, Murata Ken-ichiro, Tachibana Shogo, Watanabe Naoki
2. 発表標題	Icy grains are not spherical nor ellipsoidal
3. 学会等名	Workshop on Interstellar Matter 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ishibashi Atsuki, Hidaka Hiroshi, Oba Yasuhiro, Kouchi Akira
2. 発表標題	Water-promoted formation of methyl formate from methanol via methoxymethanol on ice
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	Kitajima Kensei, Nakai Yoichi, Sameera W.M.C., Tsuge Masashi, Miyazaki Ayane, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira, Watanabe Naoki
2. 発表標題	A new electrochemical property of ice: negative charge transport triggered by reactions of surface OH radicals with electrons
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	Miyazaki Ayane, Watanabe Naoki, Sameera W.M.C., Nakai Yoichi, Tsuge Masashi, Hama Tetsuya, Hidaka Hiroshi, Kouchi Akira
2. 発表標題	Detection of photodesorption OH radicals from H <sub>2</sub> O ice surface by visible light
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 Nakai Yoichi、Hidaka Hiroshi、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Methanol production via interactions of low-energy CH <sub>3</sub> + ions with ASW surface: experimental investigation of ion-surface reactions
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 Nguyen Thanh、Oba Yasuhiro、Sameera W.M.C.、Kouchi Akira、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Experimental and computational studies on the physicochemical behavior of phosphine induced by reactions with H and D atoms on interstellar ice grains
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 Ishibashi Atsuki、Hidaka Hiroshi、Oba Yasuhiro、Kouchi Akira、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Development of a high-sensitivity and non-destructive detection system for trace amounts of adsorbates on ice
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 Tomaru Takuto、Hidaka Hiroshi、Kouchi Akira
2. 発表標題 STM and Non-Contact-AFM observation of Si(111) by a self-made Qplus sensor at low temperatures
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 Tsuge Masashi、Hidaka Hiroshi、Kouchi Akira、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Diffusive hydrogenation of CO embedded in amorphous solid water at temperature up to 70K
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 Tsuge Masashi、Namiyoshi Toshinobu、Furuya Kenji、Kouchi Akira、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Ortho-to-para nuclear spin conversion of H <sub>2</sub> on interstellar bare grain analogues
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 Kitajima Kensei、Nakai Yoichi、Tsuge Masashi、Miyazaki Ayane、Hidaka Hiroshi、Kouchi Akira、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Verification of proton-hole transfer in ice at 10 K via detection of surface OH radicals
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 大場康弘
2. 発表標題 星間塵表面における化学反応素過程研究の最前線
3. 学会等名 日本地球化学会第68回年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中井陽一
2. 発表標題 低エネルギーイオンと低温氷表面との反応実験装置開発の現状
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Infrared spectroscopy of water-assisted carrier trapping at TiO <sub>2</sub> photocatalyst surfaces with distinct morphologies
3. 学会等名 IRCCS The 3rd Joint International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Behaviors of nuclear spins of hydrogen and water molecules on ice at very low temperatures: Implication to astrochemistry
3. 学会等名 NSFC-CAS-JSPS Symposium on Nuclear Spin Isomers of Molecules and Molecular Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Behavior of OH radical on ice
3. 学会等名 Water in the Universe in the ACS National Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Behavior of OH radical on an ice surface at low temperatures
3. 学会等名 35th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Ortho-to-para ratios in water and H <sub>2</sub> - experimental view
3. 学会等名 Astrochemistry from nanometers to megaparsecs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Physicochemical processes of hydrogen and the OH radical on ice: nuclear spin conversion and surface diffusion
3. 学会等名 van Marum colloquium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Experimental approach to physicochemical processes on ice dust
3. 学会等名 CSH Colloquia/WP Seminars (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Behavior of OH radical on an ice surface at low temperatures
3. 学会等名 35th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Detection of OH radicals on amorphous solid water
3. 学会等名 IAUS 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 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Proton ordering in heteroepitaxial ice films
3. 学会等名 IMS symposium "Water at interfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Emergent proton ordering in heteroepitaxial ice films on metal substrates
3. 学会等名 International workshop on nonlinear optics at interfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Water-Assisted Hole Trapping at the Highly Curved Surface of Nano-Photocatalyst
3. 学会等名 81st OKAZAKI CONFERENCE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井 陽一
2. 発表標題 星間塵表面を模擬した低温氷表面と低エネルギーイオンとの反応実験装置の開発
3. 学会等名 原子衝突学会第44回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部直樹
2. 発表標題 低温星間塵表面における原子分子過程
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部直樹, 木村勇氣, 柘植雅士, 香内晃, Pirronello Valerio
2. 発表標題 低温 CO 固体表面における水素原子表面拡散の観測
3. 学会等名 原子衝突学会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Watanabe Naoki、Kimura Yuki、Tsuge Masashi、Kouchi Akira、Pirronello Valerio
2. 発表標題 Measurements of activation energies for diffusion of hydrogen atom on pure CO solid
3. 学会等名 ECOSS34 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡部直樹
2. 発表標題 星間塵表面の化学：重水素濃集に果たす役割
3. 学会等名 2018年度 日本地球化学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Infrared measurements on efficient chemical desorption of hydrogen sulfide from amorphous solid water
3. 学会等名 42nd COSPAR Scientific Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Astrochemistry and surface chemistry of the ISM
3. 学会等名 The Olympian Symposium 2018 "Gas and stars from milli- to mega- parsecs" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Water-assisted hole trapping at the highly curved surface of nano photocatalyst
3. 学会等名 FHI-JST Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Toward understanding reactive surface species in photocatalytic water splitting
3. 学会等名 The 2nd IMS-NANOTEC Joint Research Meeting, Institute for molecular science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Effects of interface on orientational ordering of heteroepitaxially grown ice film
3. 学会等名 Coatings and Interfaces (The AVS Pacific Rim Symposium on Surfaces 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Proton ordering in heteroepitaxial ice films
3. 学会等名 MS symposium "Water at interfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 赤外分光・和周波発生分光による水分子凝集系の表面・界面における創発物性と反応活性に関する研究
3. 学会等名 2018日本分光学会年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 固日本物理学会 2018年秋季大会 体表面の対称性の破れに誘起される水分子凝集系の配向秩序と電荷移動ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 レーザー非線形分光法が拓く固体表面吸着水の創発機能研究
3. 学会等名 第3回 科学技術交流財団「マイクロ固体フォトニクス」研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 水分子の向きが揃った特殊な結晶氷の生成
3. 学会等名 第119回分子科学フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakai Yoichi, Watanabe Naoki, Oba Yasuhiro
2. 発表標題 Laboratory experiment for hydrogenation of C60 fullerenes deposited on a solid surface under low temperature conditions
3. 学会等名 The Olympian Symposium 2018 on "Gas and stars from milli- to mega- parsecs" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中井陽一、渡部直樹
2. 発表標題 低温薄膜状 C60 固体にトラップされた水素分子の振動回転励起の赤外吸収スペクトル
3. 学会等名 原子衝突学会第 43 回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相賀則宏、杉本敏樹、渡邊一也、松本吉泰
2. 発表標題 和周波発生振動分光による氷の強誘電性の基板依存性
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林柚子、渡邊和也、杉本敏樹、松本吉泰
2. 発表標題 MoS2ナノシートにおける光腐食反応の印加電位依存性
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田龍矢、田中駿介、渡邊一也、杉本敏樹、松本吉泰
2. 発表標題 二次元物質によるアルカリ単原子層プラズモン応答の変調
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大槻 友志、杉本敏樹、渡邊一也、松本吉泰
2. 発表標題 Rh(111)上に作製した水薄膜のヘテロサイン検出和周波発生振動分光
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hama Tetsuya、Hidaka Hiroshi、Kouchi Akira、Watanabe Naoki、Yarnall Yuki
2. 発表標題 Reaction experiments on H exposure of solid methanol at low temperatures
3. 学会等名 255th American Chemical Society National Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Oba Yasuhiro
2. 発表標題 Experimental studies on the surface reaction of hydrogen sulfide with deuterium atoms on amorphous solid water at 10 K
3. 学会等名 255th American Chemical Society National Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 表面融解点以下の低温領域でみられる結晶氷Ih(0001)最表面の特異な構造転移
3. 学会等名 サテライトワークショップ~高分解能顕微・分光法による表面・界面研究の最前線~ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto T., Kato F., Otsuki Y., Ishiyama T., Morita A.
2. 発表標題 Structural transition and acceleration of H-D exchange reaction at topmost surface of hexagonal ice
3. 学会等名 The 98th CSJ Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahashi S., Kasukawa S., Watanabe K., Sugimoto T., Matsumoto Y.
2. 発表標題 Polariton formation and dynamics in amorphous rubrene thin film embedded in optical microcavity
3. 学会等名 The 98th CSJ Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamada K., Watanabe K., Sugimoto T., Matsumoto Y.
2. 発表標題 Exciton dynamics in organic amorphous thin film studied by fluorescence transient hole-burning spectroscopy
3. 学会等名 The 98th CSJ Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東泰佑、杉本敏樹、武安光太郎、伊東洋二、山本旭、吉田寿雄、渡邊一也、松本吉泰
2. 発表標題 Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 光触媒による水蒸気下メタン改質反応: 反応活性・選択性のメタン圧力依存性
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto Toshiki
2. 発表標題 Unveiling subsurface hydrogen-bond structure of crystalline ice
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Oba Yasuhiro
2. 発表標題 Negative catalytic effect of amorphous solid water on the hydrogen abstraction from dimethyl ether with deuterium atoms at low temperatures
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Temperature dependence of ortho-to-para conversion of H <sub>2</sub> on amorphous solid water at around 10K
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 H2 ortho-para conversion on amorphous solid water
3. 学会等名 ICPEAC 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hama Tetsuya、Kouchi Akira、Watanabe Naoki
2. 発表標題 Ortho-to-para ratio of water desorbed from ice and its implications for astronomy and planetary science
3. 学会等名 ICPEAC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nakai Yuichi、Watanabe Naoki、Oba Yasuhiro
2. 発表標題 Hydrogenation of C60 deposited on a substrate under low temperature condition
3. 学会等名 ICPEAC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Strong temperature dependence of H2 nuclear spin conversion on ice: what controls the rate?
3. 学会等名 Meeting on Dust and Ice Particles Spectroscopy and Scattering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Ortho to para nuclear spin conversion of H <sub>2</sub> on ice: a key to chemical evolution in space, prebiotic chemistry in space and Earth
3. 学会等名 the XXXVI biennial meeting of the Spanish Royal Society of Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Physicochemical processes on Ice dust towards deuterium enrichment
3. 学会等名 International Symposium on Molecular Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡部直樹
2. 発表標題 低温氷表面における水素の化学物理過程：宇宙の分子進化の鍵
3. 学会等名 日本真空学会関西支部 & 日本表面科学会関西支部合同セミナー 2017 水素の挙動と物質科学 - 最近の展開 - (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Watanabe Naoki
2. 発表標題 Physicochemical processes of hydrogen on ice relevant to chemical evolution in space
3. 学会等名 106 Spring Colloquium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Oba Yasuhiro、Takano Yoshinori、Naraoka Hiroshi、Watanabe Naoki、Kouchi Akira
2. 発表標題 Variations in the deuterium enrichment of amino acids formed by photolysis of ice mixtures containing mono-deuterated methanol at 10 K
3. 学会等名 GOLDSCHMIDT2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大場康弘、高野淑識、奈良岡浩、渡部直樹、香内晃
2. 発表標題 疑似星間塵氷の光化学反応で生成するヘキサメチレンテトラミンの重水素存在度
3. 学会等名 2017年度日本地球化学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 羽馬哲也、香内晃、渡部直樹
2. 発表標題 10 Kの氷の表面から光脱離する水分子の核スピン異性体
3. 学会等名 第11回分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大場康弘、高野淑識、奈良岡浩、香内晃、渡部直樹
2. 発表標題 宇宙での化学進化におけるヘキサメチレンテトラミンの役割
3. 学会等名 第35 回有機地球化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	羽馬哲也、香内晃、渡部直樹、滝沢侑子、力石嘉人、江波進一、下赤卓史、長谷川健
2. 発表標題	葉の表面の非破壊その場赤外反射分光によるクチクラ層の構造解析 新規赤外分光法によるセイロンベンケイソウのクチクラ層の構造と分子配向解析
3. 学会等名	日本植物学会第81回大会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	木村勇気、佐藤理佳子、土山明、永原裕子、羽馬哲也、日高宏、渡部直樹、香内 晃
2. 発表標題	鉄、ニッケルおよび、その合金基板上での水素と一酸化炭素の触媒反応効率
3. 学会等名	JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Sugimoto Toshiki
2. 発表標題	Emergent high-Tc ferroelectric ordering of strongly correlated and frustrated protons in crystalline-ice films
3. 学会等名	Symposium on Molecular Science of Ice (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Sugimoto T., Takeyasu K., Higashi T., Fujiwara K., Yamamoto A., Yoshida H., Watanabe K., Matsumoto Y.
2. 発表標題	Effect of methane pressure on photocatalytic water-steam reforming reaction by d0 semiconductor metal oxides
3. 学会等名	The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 Takeyasu K., Sugimoto T., Higashi T., Mochizuki N. Fujiwara K., Yamamoto A., Yoshida H., Watanabe K., Matsumoto Y.
2. 発表標題 Pressure dependence in photocatalytic non-oxidative coupling of methane on d0 semiconducting metal oxides
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kato F., Sugimoto T., Watanabe K., Matsumoto Y.
2. 発表標題 H/D exchange reaction at surface of crystalline-ice thin films
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sugimoto T., Kunisada Y., Fukutani K.
2. 発表標題 Inelastic electron tunneling mediated by molecular quantum rotator
3. 学会等名 5th Ito international Research Center conference (IIRC5) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 TiO2光触媒の電荷ダイナミクスに直接関与する表面吸着水の分光
3. 学会等名 2017年真空・表面科学合同講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル結晶氷薄膜における水分子の強誘電的配向秩序：熱的性質と同位体効果
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 表面科学的アプローチによるメタンの部分酸化還元光触媒活性サイトの探求
3. 学会等名 REST・さがけ「革新的触媒」合同成果シンポジウム ～メタン資源利用に向けて～
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本敏樹
2. 発表標題 結晶氷薄膜における強誘電的配向秩序 ～熱的性質・同位体効果～
3. 学会等名 中部・関西誘電体セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大槻 友志、杉本 敏樹、相賀 則宏、渡邊 一也、松本吉泰
2. 発表標題 HDO・H <sub>2</sub> O結晶氷Ih(0001)表面の構造緩和と振動カップリング
3. 学会等名 第11回分子科学討論会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石山達也、大槻友志、杉本敏樹、森田明弘、渡邊一也、松本吉泰
2. 発表標題 氷表面の分子動力学シミュレーション：フリーOH振動の和周波発生スペクトル強度と表面環構造との関係について
3. 学会等名 第11回分子科学討論会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤史明、原田国明、杉本敏樹、渡邊一也、松本吉泰
2. 発表標題 同位体混合氷の昇華における二種の競合同位体効果
3. 学会等名 第11回分子科学討論会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田一斗、渡邊一也、杉本敏樹、松本吉泰
2. 発表標題 非晶質テトラフェニルジベンゾペリフランテン薄膜中の励起状態緩和ダイナミクスの温度依存性
3. 学会等名 第11回分子科学討論会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋翔太、粕川周平、渡邊一也、杉本敏樹、松本吉泰
2. 発表標題 光共振器中の非晶質ルブレン薄膜におけるポラリトン形成
3. 学会等名 第11回分子科学討論会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原田国明、加藤史明、杉本敏樹、向井孝三、吉本真也、吉信淳、渡邊一也、松本吉泰
2. 発表標題 Pt(111)上の氷薄膜の水素結合ネットワーク構造変化
3. 学会等名 第11回分子科学討論会2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中井陽一	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 596
3. 書名 加速器ハンドブック第20.3.2節 “ 大気微粒子と銀河宇宙線	

〔産業財産権〕

〔その他〕

北海道大学低温科学研究所 宇宙物質科学・宇宙雪氷学グループHP <a href="http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/index.html">http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/index.html</a>
--

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	大場 康弘  (Oba Yasuhiro)  (00507535)	北海道大学・低温科学研究所・准教授    (10101)	

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	杉本 敏樹  (Sugimoto Toshiki)  (00630782)	分子科学研究所・物質分子科学研究領域・准教授   (63903)	
研究分担者	中井 陽一  (Nakai Yoichi)  (30260194)	国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・専任研究員   (82401)	

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2件

国際研究集会 Workshop on Interstellar Matter 2018	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 Workshop on Interstellar Matter 2021	開催年 2021年～2021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			
フランス	グルノーブル大学			
ドイツ	シュツットガルト大学			