

模擬星間塵表面の微量原子・分子を同定するための波長可変色素レーザー装置
(撮影: 柘植 雅士)

Research



海中での海氷生成が世界一重い水塊をつくる：
海洋大循環の起点
(大島 慶一郎) 2



氷微粒子上を動き回る炭素原子が促進する
星間分子雲での有機分子生成
(柘植 雅士) 5

Report

海外調査(杉山 慎)	7
海外調査(杉山 慎)	8
海外調査(木村 勇氣)	9

Press Release / News



海中での海氷生成が世界一重い水塊をつくる： 海洋大循環の起点

水・物質循環部門 大島 慶一郎

海洋大循環の起点となる南極底層水

世界の最も大きな海洋循環は、極域の海で重い水が沈み込み全海洋の深層に拡がりながら徐々に湧き上がることで作られる海洋深層循環です。海水の密度は水温(熱)と塩分で決まるので、この密度差による循環を熱塩循環とも言います。図1はこの大循環を3次元的・模式的に示したもので、海洋のコンベアベルトとも呼ばれています。深層まで及ぶ重い水の沈み込みは、世界の2か所、北大西洋北部と南極海で生じており、それぞれ北大西洋深層水、南極底層水として世界の海洋深層に拡がっています。このうち南極底層水の方がより重く、世界一重い水塊として全世界の底層に拡がっており、南極底層水起源の水は地球の全海水の30～40%をも占めます。図1には、太平洋の南北断面での南極底層水の占める割合も示しており、太平洋の2000m深以下の海水の多くは南極底層水起源の海水であることがわかります。重い水の沈み込みが弱くなったり、沈み込む場所が変わったりすると、海洋深層循環が変わってしまい、海の持っている熱容量は非常に大きいので、地球上の気候が大きく変化することになります。実際に、過去の地球ではそのような事態が起こっていたことも示唆されています。

南極海で底層水が作られるのは、南極沿岸で大量に海水が生成されることによります。海水が凍って海氷が生成される際、大半の塩分が海氷からはき出されるために、

低温で高塩の重い水が作られ、この水が底層水の起源水となるわけです。特に海氷が大量に作られるのは、沿岸ポリニヤという場所で、そこでは風や海流によりできた海氷が次々に沖に流され、薄氷・疎氷域が保たれ、新しい海氷が次々に生成されます。海氷は厚くなると自らの断熱効果でそれ以上に成長しません。

底層水は南極海のどこでもできるわけではなく、限られた海域で形成されます。最初に南極底層水の形成域が確認されたのは1940年代でウェッデル海、続いて1960年代にロス海、1990年代にアデリーランド沖で確認され、底層水の3大形成海域として知られていました(場所は図5を参照)。2000年代になって東南極(東経側の南極域)でも南極底層水が形成されることが示唆されていましたが、それがどこであるかわかっていませんでした。当研究グループは10年ほど前に、昭和基地の東方1,200kmのケープダンレー沖が未知(第4)の南極底層水形成域であることを、底層水の通り道である峡谷での実測から明らかにしました(Ohshima et al. 2013)。底層水の起源水となる重い水の生成は峡谷の上流にある沿岸ポリニヤ(ケープダンレーポリニヤ)での大量の海氷生成によると考えられます。しかし、このポリニヤ内での実測がないため、どのくらい、どのようにして、海氷生成が生じ、それがどのように底層水形成に繋がっていくのかはわかっていませんでした。

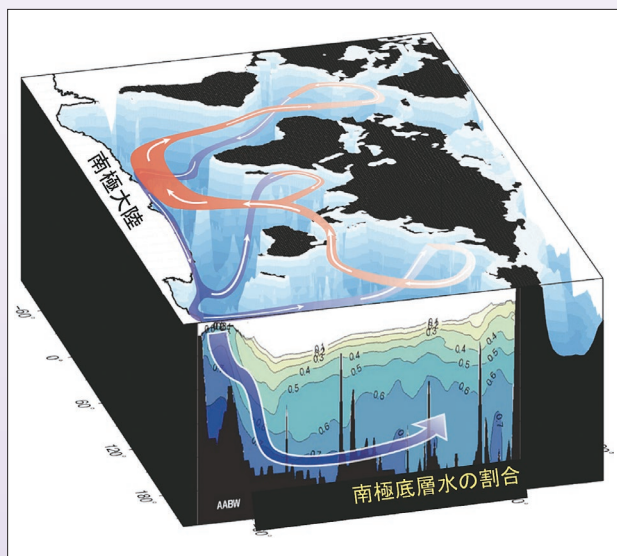


図1：海洋深層(熱塩)循環を3次的に示した模式図。矢印で示した平均的な流れを海洋のコンベアベルトとも言う。(手前断面図)太平洋の南北断面での南極底層水の占める割合(Johnson 2008を参考)。国立極地研究所奥野淳一氏作図。



図2：強風時に撮影された南極ダルトンポリニヤ。白い筋状に見えるのがフラジライス。国立極地研究所伊藤優人氏撮影。

ハイリスク・ハイリターンに係留系観測による発見

ケープダンレーポリニヤでどのように南極底層水の起源地が生成されるかを明らかにするには、海氷生成が盛んな冬季に直接観測することが不可欠ですが、この海域は夏でも沖に海水が残っている場合が多く、砕氷船でしかアプローチできません。この海域は日本南極地域観測隊での砕氷艦しらせの通りの近くにありますが。そこで、我々は南極観測隊に参加させて頂いて、係留系観測という手法で、この海域で起こっていることを明らかにしました。係留系観測とは、浮きと重りで海中に立ち上げたロープに測器を取り付けて観測する手法で（図3左図参照）、2010年2月から1年間、ケープダンレーポリニヤ内に2つの係留系を設置し、海洋と海水の長期連続データを取得しました。冬季を含む長期連続で高精度データを取得するには係留系観測しかありません。ただし、南極沿岸部の係留系観測は、アクセスが難しく氷山の存在もあり、リスクが非常に高い観測であるため、他国でもあまり行われていません。実際、我々も今まで3割の係留系を氷山の衝突等により失っております。第51次南極観測隊で設置した2つの係留系のうちの1つにも、係留中に2回の氷山の衝突の形跡がありました。しかし、幸運も手伝って、第52次隊により、2つの係留系は無事に回収されました。

この係留系観測によって、我々は全く想定していなかった発見をし、なぜこの海域で底層水が形成されるか

を明らかにするに至りました (Ohshima et al. 2022)。この発見というのは、ポリニヤ域では、海中深く100m程度までもフラジルアイスが生成されているということです。フラジルアイスとは、乱流強度が強い時に、過冷却下の海中で生成される海水で、海面では白い筋状に表れます（図2）。それまで、フラジルアイスは深くても20-30mまでしか確認されていませんでした。ただし、この発見を確かなものとして論文発表するには、2つの新しい手法の開発が必要だったため、10年の歳月を要することになりました。

フラジルアイスによる効率的な海氷生成

新手法の一つは、流速を計るための音響測器 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) から、海中の後方散乱強度を導き出し、様々な補正を施すことで、海中内部のフラジルアスを捉える手法で、当時大学院生の伊藤優人氏によって開発されました。図3Cが係留系の ADCP の散乱強度の時系列を示したもので、本発見の中心となる図になります。測器がある水深80m付近まで高い散乱強度（暖色系）を示すイベントが頻繁に起こっていることがわかります。係留系では水温・塩分も計測しており、海水が過冷却になっていたことも観測されています（図3D 水色の陰影）。つまり、高い散乱強度は海水の過冷却により生じるフラジルアイスによることを示しています。

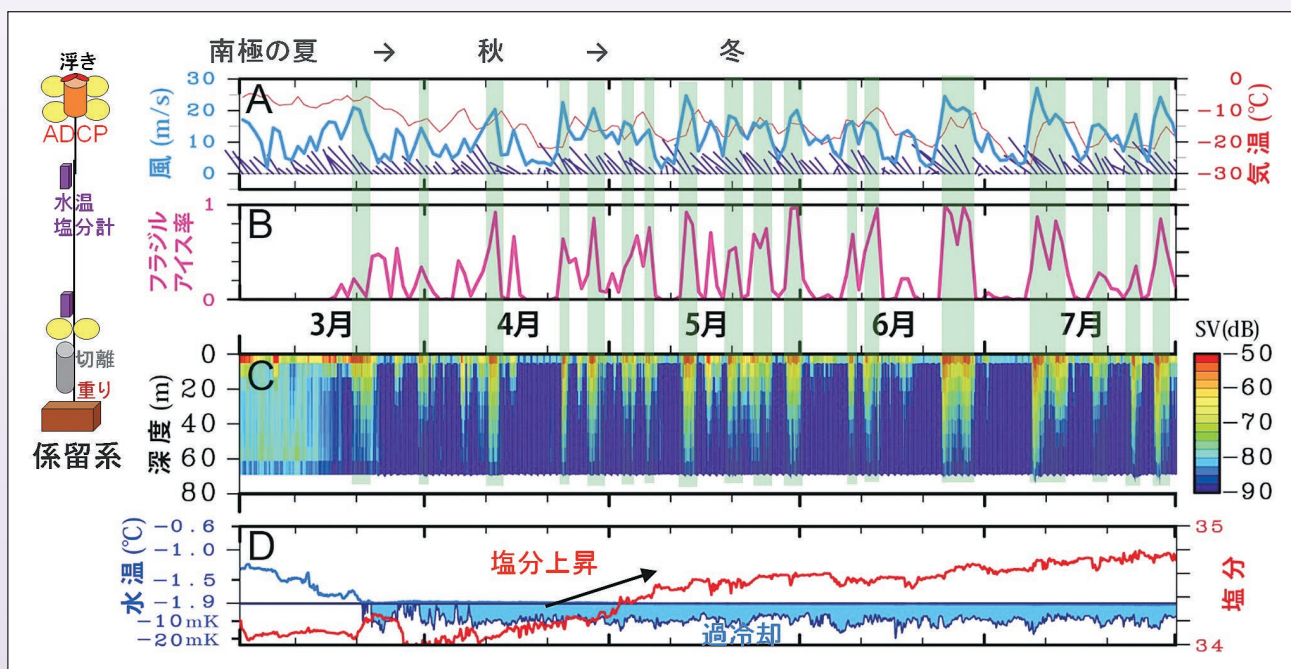


図3. ケープダンレーポリニヤでの気象 (A)・衛星 (B)・係留系 (C, D) データの時系列。(A) 風速 (青)、風ベクトル (紫)、気温 (赤)、(B) 衛星によるフラジルアイス出現率、(C) 音響測器 ADCP による、海中の後方散乱強度 (SV)、強いシグナル (暖色系) がフラジルアイス、(D) 水温 (青)、塩分 (赤)、水色の陰影は過冷却を表す。(左図) 係留系の模式図。

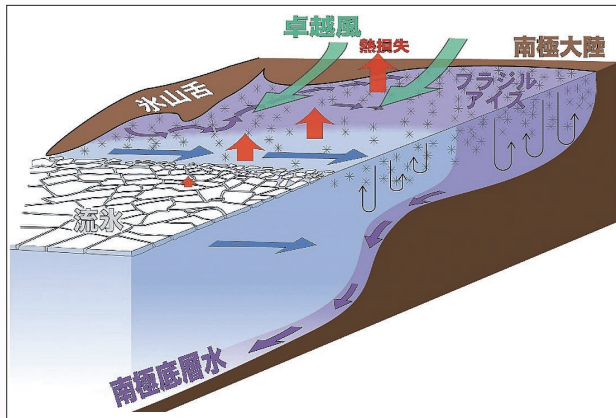


図4. ケープダンレー沖でのフラジルアイス形成と南極底層水形成の模式図。

海中でフラジルアイスが生成され海中に保持されると、海洋表面が断熱材となる海水に覆われず直接寒気にさらされ続けるので、極めて効率的に海水が生成されることとなります(図4)。図3Cに示されるように、このような深いフラジルアイスイベントは、冬季中頻繁に起こっており、強風イベントによって生じていることがわかります(図3Aと緑の陰影)。ポリニヤ内での海中深くまでのフラジルアイス生成が今まで考えられていた以上の海水生産を生み、それが底層水の起源水となる低温・高塩の重い水をつくっていたのです。この高海水生産によってポリニヤ内の塩分が冬季にどんどん上昇することも係留系で捉えられています(図3D赤線)。こうしてポリニヤ内の沿岸側では重い水が生成され、それが下層に潜り込み、陸棚斜面を下りながら周りの水と混合し南極底層水が形成される、という一連のプロセスが係留系観測から明らかになりました(図4)。

人工衛星により底層水の起源を探る

本研究を確かなものにしたもう1つの新手法は、人工衛星マイクロ波放射計データからフラジルアイス域を検知するというアルゴリズムで、当時大学院生の中田和輝氏によって開発されました。図3Bは開発されたアルゴリズムによる係留点でのフラジルアイス出

現率で、非常によくフラジルアイスイベントを捉えていることがわかります(緑の陰影)。この係留系観測によってアルゴリズムが検証されたとも言えます。このアルゴリズムの活用により、毎日、全南極でフラジルアイス域や海水生産量の推定をすることが可能となります。図5は、この衛星アルゴリズムと風データから、深いフラジルアイスイベントが南極海のどこで生じやすいかをマッピングしたものです。このマッピングから、このイベントは、他のポリニヤでも生じることが示唆されるとともに、ケープダンレーポリニヤが群を抜いて生じやすいことが示されます。このことが、このポリニヤ域を南極底層水の形成域たらしめており、それは冲向きの卓越風が非常に強く(図3A)、上流に冰山舌(座礁冰山と海水で形成された動かない水域)があること(図4)が原因と考えられます。

海水を介する物質循環と生物生産

海中深くで生成されるフラジルアイスは、底層水起源水の生成だけでなく、物質循環や生物生産にも大きく寄与している可能性があります。地球最大の季節海氷域(冬季にのみ海水が発達する海域)である南極海は、生物基礎生産が非常に大きい海域としても知られています。その起点となる植物プランクトンの大増殖(春季ブルーム)は、海水の融解時に生じます。最近の研究か

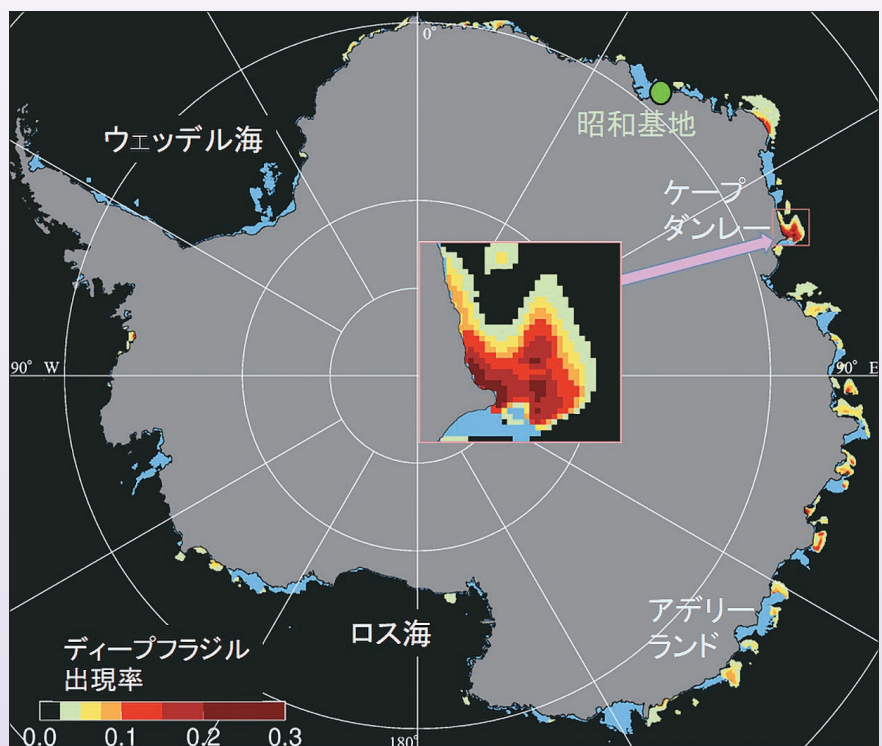


図5. 衛星マイクロ波放射計と風データから推定された、深いフラジルアイスイベントの出現率マップ。ケープダンレーポリニヤが群を抜いて高い出現率を持つことがわかる。

ら、海水が融解する際に放出される鉄分などの栄養分がブルームをもたらしていることが示唆されています。しかし、この鉄分等の栄養分がどう海水に取り込まれるかは未だよくわかりません。今回明らかになった、「フラジライスが海中深くまで達する」という事実は、「フラジライスは、巻き上がった鉄分を含む海底堆積物を海中で取り込むとともに、海底まで達して直接取り込むことが頻繁に起こりうる」ことを示唆しています。図6は、このような海水を介した物質輸送と生物生産を模式的に示したものです。このようなメカニズムは南極海だけでなく、他の季節海水域でも普遍的に生じている可能性があります。我々のグループは、季節海水域であるオホーツク海、さらに近年の海水激減により季節海水域化した北極チュクチ海においても、10年以上にわたって、南極ケーブダンレー沖で行った観測と同様の係留系観測を行っており、図6の模式図で示したプロセスの理解を深めることを、化学や生物の研究者とも協力して推し進めています。

今後への期待

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）報告書は、南極底層水の生成量が有意に減少しているということを報告しています。底層水の減少は海洋深層循環の沈み込みの力の弱化を引き起こし、地球規模の海洋大循環や気候システムに大きく影響を及ぼす可能性があります。これらの将来予測にはモデルが用いられますが、本研究で明らかにされた底層水の形成過程を今後組み込んでいく必要があります。

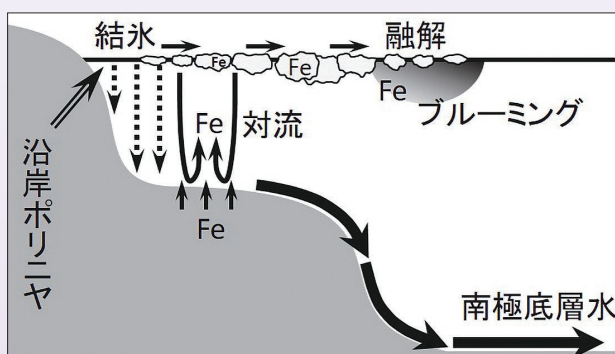


図6. 海水を介した物質輸送と生物生産の模式図。

参考文献

Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, G. D. Williams et al. (2013): Antarctic bottom water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya. *Nature Geoscience*, 6, 235-240, doi:10.1038/NGE01738.

Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, M. Ito, K. Nakata et al. (2022): Dominant frazil ice production in the Cape Darnley polynya leading to Antarctic Bottom Water formation. *Science Advances*, 8, eadc9174, doi:10.1126/sciadv.adc9174.

氷微粒子上を動き回る炭素原子が促進する 星間分子雲での有機分子生成



雪氷新領域部門 柘植 雅士

極低温分子雲での分子生成

宇宙空間には恒星や惑星が生まれる極低温（最低温度マイナス263℃）の領域である星間分子雲が存在します。この領域は、天文観測では光が透過しない暗い領域として観測されるため、暗黒星雲とも呼ばれます。極低温という化学反応に適さない環境にもかかわらず、星間分子雲には有機分子を含む多種多様な化学種が存在することが近年の天文観測から明らかとなってきました。原子や単純な分子からこれらの化学種が生成されていく過程を化学進化と呼びます。星間分子雲に浮遊している氷微粒子（注1）の表面で起きる化学反応が化学進化において重要な役割を果たしていることは古くから提案され、実験的にも証明されてきました。氷星間塵上の化学進化で重要となるのは、ラジカルと呼ばれる非常に反応性の高い化学種です。星間分子雲での様々な有機分子の存在は、炭素を含むラジカルの反応が活発に起きていることを示唆します。しかしながら、多くの有機分子が持つ炭素鎖（炭素原子が複数個連なったもの）がどのように成長するかは、これまで分かっていませんでした。

（注1）宇宙に浮かぶ氷微粒子：氷星間塵とも呼ばれ、0.0001mm程度の直径を持つ微粒子。星間分子雲の形成時にはケイ酸塩鉱物や炭素質物質の核として存在し、時間の経過とともに表面上で生成した（主に） H_2O からなる氷を纏うようになる。

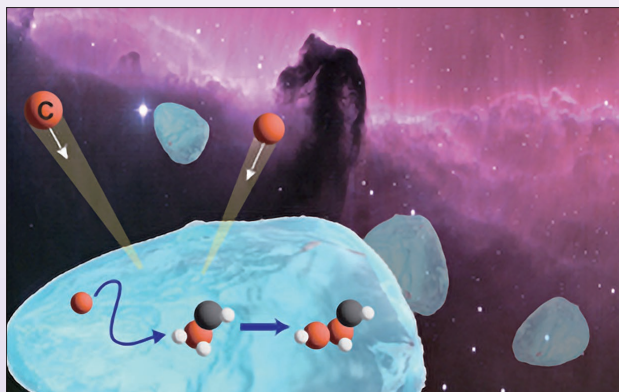


図1 氷微粒子上を衝突する炭素原子のイメージ図。本研究では炭素原子が氷上に拡散する（動き回る）ことを実験的に捉えた。炭素原子の関わる化学反応により、様々な有機分子中の炭素鎖が成長することが期待される。

氷微粒子上の炭素原子を追跡する

我々は炭素を含む化学種のうちもっとも単純な炭素原子に着目しました。炭素原子はラジカルであり、様々な化学種と反応して炭素鎖の成長に寄与すると考えることができます。炭素原子が氷表面で反応を起こすためには、まず初めに氷表面上を動き回って反応相手を見つける必要があります。実験から炭素が氷表面を動き始める温度を決定することで、炭素原子が関わる反応、更には、氷微粒子上での化学進化について理解を深めることに繋がります（図1）。

一般的な分析手法を用いて氷表面に存在する炭素原子をその場観察することは出来ません。我々は2種類のレーザーを用いた独自の手法を開発し、その観察を可能としました。宇宙物質科学グループで独自に開発した真空実験装置内（図2）に宇宙空間に存在する氷微粒子を再現し、炭素原子を発生させる装置を用いて氷表面に炭素原子を付着させました。この炭素原子を1つ目のレーザー（小型レーザー）で氷表面から真空中に飛び出させ、出てきた炭素原子を第2のレーザー（色素レーザー）を用いて分析することで、氷表面に存在する炭素原子を観察しました。

我々の実験では、氷に付着させた炭素原子の数が、マイナス230℃以上の条件下で徐々に減少し、炭素原子2個が結合した分子（ C_2 ）が生成する証拠をつかむことができました。本結果は、氷に付着した一部の炭素原子は極低温の条件下でも氷表面を動き回ることを意味し、

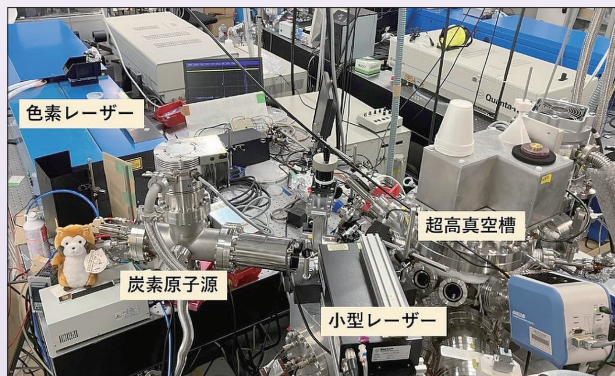


図2 宇宙物質科学グループで開発し、本研究に用いた実験装置（名称：RASCAL）。宇宙環境を再現するための超高真空槽の中心部に極低温の氷を作製した。炭素原子源から供給される炭素原子を氷表面に付着させ、小型レーザーと色素レーザーを組み合わせ炭素原子の振る舞いを調べた。

最近の理論的研究から示唆されていた「炭素原子は氷表面に強く結びつき動けない」という描像と大きく異なるものです。すなわち、氷微粒子上で炭素原子が様々な分子種と化学反応を起こし大きな有機分子を生成しうることを示しています。

実験室実験で決定された炭素原子が動き始めるのに必要なエネルギーを用いることで、氷表面上で炭素原子が動き回る速さの温度依存性を評価することができます。氷微粒子上での化学進化は10万年という時間スケールで進行するため、炭素原子が10万年の間に氷星間塵（直径およそ0.0001 mm）の表面をくまなく動き回ることができる温度を知ることが重要です。実験結果に基づいた計算により、マイナス250℃より高い温度領域で炭素原子が活発に動き回ることがわかりました。数十分の時間スケールで炭素同士が出会う必要がある実験室に比べ、星間分子雲の化学進化には10万年という非常に長い時間スケールが与えられています。従って、実験室実験に比べてより低い温度、すなわち、よりゆっくりとした速度でも炭素原子は十分な距離を動き回れるということになります。星間分子雲では、10-100万年の時間スケールで恒星の形成が進むにつれて、恒星からの距離に依存しますが、最低マイナス263℃程度であった環境の温度はマイナス160℃程度まで徐々に上昇していきます。従って、温度上昇に伴い炭素原子が動き始め、炭素鎖の生成を伴う活発な化学進化が起きることになります（図3）。

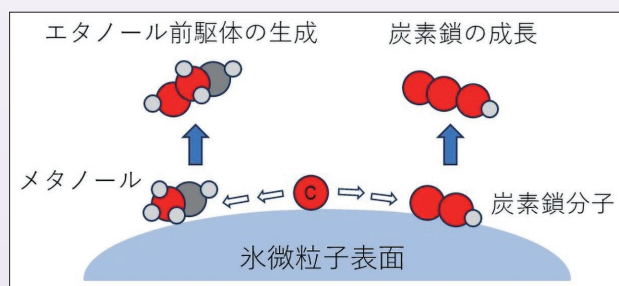


図3 氷表面を動き回る炭素原子の反応経路。炭素原子がメタノール分子 (CH_3OH) と出会ると、炭素原子が挿入された新たな分子 (CH_2OH) が生成する。この分子はエタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) の前駆体と考えることができる。また、炭素鎖分子と出会ると、炭素鎖の成長が起きる。炭素鎖分子の生成は主に気相中で起こると考えられてきたが、本研究の結果は氷微粒子表面でも生成しうることを示唆している。

今後の研究展開

本研究で決定された温度をもとに化学進化の数値シミュレーションを行うことで、動き回る炭素原子の化学反応が有機分子の生成にどのように寄与するかを明らかにすることができます。また、本研究で見いだされた現象は、炭素原子の存在量が多く、温度が比較的高い領域で最も重要となります。我々の研究成果は、そのような領域における長い炭素鎖を持った有機物の起源として、炭素原子の氷表面反応を考慮することの重要性を示唆するだけでなく、将来的な天文観測の指針となります。

星間分子雲の氷微粒子表面では、炭素原子だけでなく様々なラジカルが複雑な分子の生成に関わっています。その中でも、ほんのわずかなラジカル（水素原子、炭素原子、OHラジカル）についてのみ、氷微粒子表面での振る舞いが明らかになってきました。氷微粒子表面での化学進化過程の全容に迫るためには、他の重要なラジカルの振る舞いを明らかにしていくことが必要です。宇宙物質科学グループでは、独自に開発した実験手法を駆使し、その全容解明に向けた研究を進めています。

謝辞

本研究は低温科学研究所渡部直樹教授、東京大学相川祐理教授、同 Germán Molpeceres 博士研究員との共同研究で行われました。本研究の一部は、低温科学研究所リーダーシップ助成金、及び、科学研究費補助金の助成を受けました。

海外調査

■杉山 慎

- (1) 調査・観測先：アラスカ・ジュノー氷原・タク氷河
- (2) 期間：2023年6月から7月
- (3) 参加者：
杉山慎（低温研）、佐藤健、張佳晏（低温研・環境科学院修士課程大学院生）
- (4) カウンターパートの機関名：
アラスカ大学・南東校
- (5) 観測目的：

アラスカ南東部ジュノー氷原に位置するタク氷河は、近年まで拡大傾向にあった世界的にも特異な氷河である。この氷河の前進・後退メカニズムを明らかにするため、アラスカ大学南東校の Jason Amundson 准教授が主導する現地調査に参加した。氷河の末端付近にキャンプを設営し、GPSによる氷流動測定、氷レーダーによる氷厚測定、LiDAR（光波測量装置）による測量等を行った。本研究は、NSF（アメリカ国立科学財団）および ArCS II 北極域研究加速推進プロジェクト若手人材海外派遣プログラムの支援を受けて実施した。Amundson 准教授は外国人招へい教員として2023年12月から2か月間低温研に滞在予定であり、アラスカ大学によって実施された無人航空機測量や質量収支測定の結果と合わせて解析を進める計画である。



図1. 観測を行ったタク氷河の末端部。拡大した氷河が幅広くせり出している。



図2. 氷レーダーによって氷河の厚さを測定。



図3. 気候は比較的温暖で、氷河末端には植生が広がっている。



図4. 観測に参加したメンバー。
右から3人目がプロジェクトリーダーの Amundson 准教授。

海外調査

■杉山 慎、日下 稜

(1) 調査・観測先：グリーンランド北西部カナック周辺

(2) 期間：2023年7月から9月

(3) 参加者：

杉山慎、日下稜（低温研）、今津拓郎、山田宙高、峰重乃々佳（低温研・環境科学院修士課程大学院生）、北大、北見工大、京都大学の研究者および大学院生、合計21名

(4) カウンターパートの機関名：

カナック村研究協力者、グリーンランド天然資源研究所

(5) 観測目的：

グリーンランド北西部カナック村周辺において、氷河水床・海洋・陸域・生態系の変動と、その社会影響の解明を目的に調査を実施した。カナック氷帽では、2012年より継続する質量収支と流動速度のモニタリングを実施し、GPS・ドローン・氷レーダー等を用いた観測を実施した。氷河から流出する河川では流量観測と水流の音響測定を行い、この地域で頻発する洪水災害の理解につながる測定結果を得た。さらに氷河が流入するフィヨルドでは、前年に設置した係留系を揚収して水温・塩分・音響の長期データを取得した。係留系による測定は、氷河海洋相互作用および海洋生態系の解明を目指すものである。またカナック村と近隣の小村では現地の村民を招いたワークショップを開催し、プロジェクトの概要と研究成果を紹介し、環境変化とその社会影響について意見交換を行った。本研究は、低温研が主導するArCS II北極域研究加速推進プロジェクトの研究課題「北極域における沿岸環境の変化とその社会影響」の下で実施したものである。同プロジェクトでは、北大水産科学院・京都大学と共同で海棲哺乳類・鳥類・魚類の生態系調査、北見工大を中心とした地すべりや海水に関する調査、北大工学部による廃棄物処理や居住環境に関する調査を行っている。



図1. カナック氷帽における質量測定用ポールの設置。



図2. 氷河流出河川での流量測定。



図3. 氷河フィヨルドにおける係留系の回収作業。



図4. カナック村で開催した地元住民とのワークショップ。

海外調査

■木村勇氣

- (1) 実験場所：フランスボルドーおよびピスケー湾上空
- (2) 期間：2023年9月3-17日
- (3) 参加者：木村勇氣（低温研）、森章一（低温研）、屋嶋悠河（低温研・理学院博士課程2年）
- (4) 実験目的：航空機を用いた微小重力環境下で気相からの氷の核生成実験を行い、原始太陽系星雲内での氷の凝縮を理論的に予測するために必須の水ナノ粒子の物理量を求めることを目的に実験を実施した。これにより、原始太陽系星雲内の任意の環境におけるダストの表層鉱物と表面積を見積もることが可能になると期待される。
- (5) カウンターパートの機関名：ドイツ航空宇宙センター、ブラウンシュバイク工科大学、Novespace 社



微小重力実験当日の朝、使用した Novespace エアバス社の A310 機の前で。



独日国際協力による微小重力実験のプレスリリース用写真撮影時の1枚。手前はドイツ航空宇宙センターのプロジェクトマネージャー。奥のルーゼーは実験グループごとに搭載するマイクロ重力インジケーターの一つ。Novespace 社撮影。



微小重力実験に使用した A310 航空機内にて。

(2023/7/7)

氷の結晶成長過程を一分子レベルで再現 ～氷の界面構造と結晶成長ダイナミクスのつながりを解明～

発表者：助教 村田 憲一郎

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の村田憲一郎助教、浙江大学化学科の望月建爾教授らの研究グループは、大規模分子動力学シミュレーションを用いて、過冷却水中の水分子が氷結晶に取り込まれ、氷結晶が成長する様子を一分子スケールで再現し、氷結晶の界面構造と結晶成長ダイナミクスが密接に関係していることを発見しました。

氷の結晶成長の研究はこれまで多岐に渡る分野で長年精力的に行われてきましたが、成長時の一分子レベルの素過程については十分に理解されていませんでした。本研究では、氷のローカルな構造的特徴を抽出できる秩序パラメータ*1を用いて氷の成長界面とその構造を同定し、氷の結晶成長が一分子層ずつ秩序を作りながらミルフィーユ状に進行することを見出しました。また、液体側の水分子の拡散ダイナミクスは界面の近傍で数分子層にわたり低下していること、界面と接する最表面層の水の密度が氷よりさらに低い状態になっていることも発見しました。

さらにシミュレーション上で氷の成長条件をより低温にすると、液体側の水分子がそのまま氷結晶に取り込まれることで結晶が成長し、その結果成長界面が荒れること、そしてその界面のダイナミクスがより普遍的な非平衡界面の成長方程式であるKardar-Parisi-Zhang方程式(KPZ方程式)*2に従うことも明らかになりました。

今回の研究成果は、水から氷への成長という最も身近な結晶成長ダイナミクスを分子レベルで理解するための枠組みを与えると同時に、細胞・臓器等の冷凍保存で鍵を握る氷晶成長制御や、類似の結晶成長様式を示すと考えられるシリコンなどの半導体結晶の育成に向けた新たな指針となることが期待されます。

なお、本研究成果は、2023年5月19日(金)公開の Communications Materials 誌に掲載されました。

【用語解説】

- *1 秩序パラメータ … ある分子周辺の秩序を測る指標。綺麗に並んでいれば大きく、乱雑であれば小さくなる。
- *2 Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) 方程式 … 非平衡(熱平衡状態にない)下での界面の運動を普遍的に記述する方程式。その対象には、結晶の成長界面だけでなく、紙の燃焼や細菌コロニーの成長界面も含まれる。M. Kardar, G. Parisi, Y.-C. Zhang により1986年に導入された。G. Parisi は2021年ノーベル物理学賞受賞者。

【論文発表の概要】

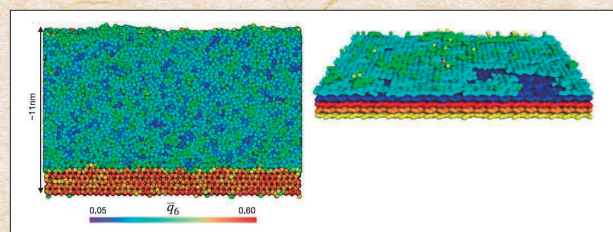
論文名：Microscopic ordering of supercooled water on the ice basal face (氷ベーサル面における過冷却水の小規模な秩序形成)

著者名：望月建爾¹、村田憲一郎²、Zhang Xuan¹ (1 浙江大学化学科、2 北海道大学低温科学研究所)

雑誌名：Communications Materials (材料科学の専門誌)

DOI：10.1038/s43246-023-00359-2

公表日：2023年5月19日(金) (オンライン公開)



氷の構造を抽出する秩序パラメータで見分けた氷-過冷却水の成長界面の様子(左)と氷結晶を構成する水分子のみを抽出した成長界面の様子(右)

(2023/8/22)

東南極最大級の氷河へ向かう暖かい海水のルートを解明 ～トッテン氷河を底から融かす海からの熱供給～

発表者：准教授 青木 茂

【研究成果の概要】

国立極地研究所の平野大輔助教、海洋研究開発機構の草原和弥研究員、産業技術総合研究所の板木拓也研究グループ長、東京海洋大学の溝端浩平准教授、北海道大学低温科学研究所の青木茂准教授を中心とする研究グループは、トッテン氷河周辺海域での現場観測と数値シミュレーションの結果を融合し、東南極最大級の氷河であるトッテン氷河の顕著な“底面”融解を引き起こすメカニズムとして、沖合からトッテン氷河へと向かう“暖水の循環像”を明らかにしました。この成果は、当該地域の氷床損失の包括的理解のみならず、温暖化が進行する現在から近未来における海面水位予測の精度向上にも資すると期待されます。

【論文発表の概要】

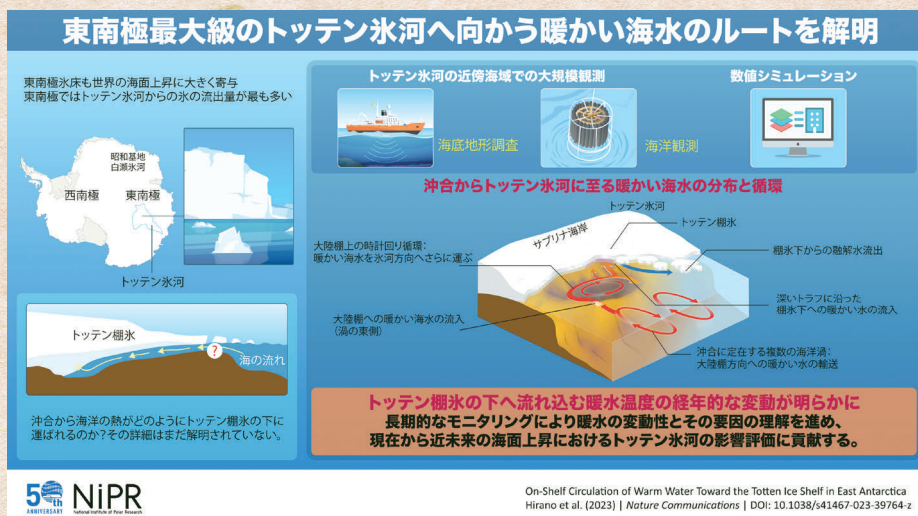
タイトル：On-Shelf Circulation of Warm Water Toward the Totten Ice Shelf in East Antarctica

著者名：平野大輔(国立極地研究所南極観測センター／気水圏研究グループ助教)、田村岳史(国立極地研究所気水圏研究グループ准教授)、草原和弥(海洋研究開発機構地球環境部門研究員)、藤井昌和(国立極地研究所地圏研究グループ助教)、山崎開平(タスマニア大学研究員)、中山佳洋(北海道大学低温科学研究所助教)、小野数也(北海道大学低温科学研究所技術専門職員)、板木拓也(産業技術総合研究所地質情報研究部門研究グループ長)、青山雄一(国立極地研究所地圏研究グループ准教授)、清水大輔(国立極地研究所南極観測センター助教)、溝端浩平(東京海洋大学学術研究院准教授)、大島慶一郎(北海道大学低温科学研究所教授)、野木義史(国立極地研究所地圏研究グループ教授)、Stephen R.Rintoul (CSIRO Environment, Hobart, Tasmania, Australia)、Esmee van Wijk (CSIRO Environment, Hobart, Tasmania, Australia)、Jamin S.Greenbaum (Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego ; La Jolla, USA)、Donald D.Blankenship (Institute for Geophysics, The University of Texas at Austin ; Austin, USA)、齊藤康仁(海上保安庁海洋情報部沿岸調査課)、青木 茂(北海道大学低温科学研究所准教授)

雑誌名：Nature Communications

DOI：10.1038/s41467-023-39764-z

公表日：2023年8月17日(木)



図：本研究の成果概要

(2023/8/24)

栄養を供給してくれる微生物を自分の細胞内に維持できるメカニズムを解明 ～深海に住む貝が何も食べずになぜ生きていける?～

発表者：教授 力石 嘉人

【研究成果の概要】

国立研究開発法人海洋研究開発機構(理事長 大和裕幸、以下「JAMSTEC」という。)地球環境部門の研究グループは、海洋研究開発機構海洋機能利用部門および超先鋭研究開発部門、北里大学海洋生命科学部、福井大学医学部、北海道大学低温科学研究所、福岡女子大学と共同で、深海のメタン湧水域に生息する二枚貝シンカイヒバリガイ(Bathymodiolus japonicus) *1の細胞内共生系*2について、宿主動物が持つ細胞内の栄養環境シグナルを統合する制御タンパク質複合体であるmTORC 1*3が、共生細菌の維持と消化を制御することを世界で初めて発見し、そのメカニズムを明らかにしました。

生物多様性保全のため、沖合海洋保護区候補地の重要海域に指定されている深海の熱水域やメタン湧水域には、二枚貝などの動物が生息しています。これらの動物の多くは、体の細胞内で化学合成細菌*4(共生細菌)と共生関係を結んでおり、共生細菌が作り出した有機物を栄養としてもらって生きています(図)。しかし宿主動物が、共生細菌をどのようにして獲得・維持しているのか、どのようにして共生細菌から栄養を得ているのかについては、これまで不明で、大きな謎でした。

本研究グループでは、シンカイヒバリガイがエラ細胞の食作用*5によって形成された食胞の中に共生細菌を包み込んでいることを明らかにしました。また、この共生細菌を包む食胞の膜の表面に存在するmTORC1は、共生細菌から提供される有機物を検知して、共生細菌の維持と分解をコントロールしていることも初めて明らかにしました。

本成果は、mTORC1が細胞内共生系において重要な働きをしていることを示す、全く新しい証拠を示すものです。mTORC1は多くの生き物に備わっており、細胞の様々な機能を制御する司令塔の役割をしています。そのため、mTORC1の機能や細胞内共生系の成り立ちや進化を理解する上でも極めて重要な成果です。今後、細胞内共生系の制御におけるmTORC1の役割に焦点を当てて研究することで、動物と微生物の細胞内共生の成立と維持メカニズムについてより詳細に明らかになっていくものと期待されます。

本成果は、「Science Advances」に8月24日付け(日本時間)で掲載される予定です。なお、研究は、日本学術振興会科研費(17K07519、20K06779、19K06799)の支援により実施されました。

【用語解説】

- * 1 シンカイヒバリガイ … 食用として有名なムール貝などが属するイガイ科の二枚貝。ムール貝などは、消化管がありプランクトンなどを食物として食べるが、シンカイヒバリガイ類は、口はある一方、他のイガイ類と比べると消化管が短くなっており、自ら食物を食べずに、エラ細胞内に宿す共生細菌から栄養を得ている。
- * 2 細胞内共生系 … 宿主の細胞の内部に共生者が共生している関係。
- * 3 mTORC1 … mechanistic/mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1: エムトールクワン)は細胞内の栄養やエネルギー状態を感知し、タンパク質、脂質、核酸の合成を介して細胞の成長、増殖などを制御するタンパク質複合体。
- * 4 化学合成細菌 … 微生物が化学物質を酸化する際に生じるエネルギーを用いて有機物を合成する過程のことを化学合成と呼び、化学合成をおこなう細菌を化学合成細菌と呼ぶ。
- * 5 食作用 … 細胞が外界に存在する微生物や異物などの粒子を細胞内の小胞(食胞)に包み込む現象。

【論文発表の概要】

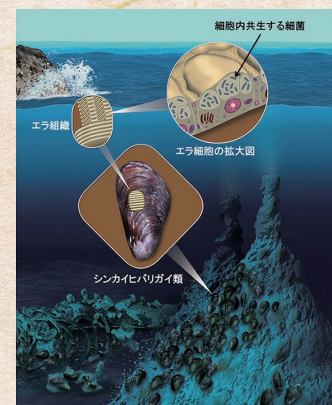
タイトル：mTORC1 regulates phagosome digestion of symbiotic bacteria for intracellular nutritional symbiosis in a deep-sea mussel

著者名：多米晃裕^{1,2,3}、丸山 正²、生田哲朗¹、力石嘉人⁴、小川奈々子⁵、土屋正史¹、瀧下清貴⁶、津田美和子⁷、平井美穂⁷、高木善弘⁷、大河内直彦⁵、藤倉克則¹、吉田尊雄^{1,2} (1 海洋研究開発機構地球環境部門、2 北里大学海洋生命科学部、3 福井大学医学部、4 北海道大学低温科学研究所、5 海洋研究開発機構海洋機能利用部門、6 福岡女子大学、7 海洋研究開発機構超先鋭研究開発部門)

雑誌名：Science Advances

DOI：10.1126/sciadv.adg8364

公表日：2023年8月24日(木)



シンカイヒバリガイ類の細胞内共生
シンカイヒバリガイ類の多くは、エラ組織の細胞内で化学合成細菌と共生関係を築いている。化学合成細菌は、外部の環境中から取り込まれ共生関係を築くと考えられている。(作画：吉原成行)

(2023/9/12)

ヘリコプターを用いた東南極域の大規模海洋観測に初成功

～東南極で最も融解しているトッテン氷河・棚氷への高温水塊の流入経路を特定～

発表者：助教 中山 佳洋
准教授 青木 茂

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の中山佳洋助教、青木 茂准教授、国立極地研究所の田村岳史准教授らの研究グループは、第61次南極地域観測事業の一環として、海上自衛隊の協力のもとヘリコプターを用いた海洋観測を実施し、東南極で最も融解しているトッテン氷河・棚氷*1への高温の水塊の流入経路を世界で初めて特定しました。

日本が集中観測を実施している東南極域に位置するトッテン氷河・棚氷は、氷が全て損失すると約4メートル海面が上昇するとされ、その影響の大きさから世界的に注目を集めています。南極の氷が失われる原因は、暖かい海水が棚氷下部へ流入することです。そのため、南極沿岸域へ流れ込む温かい水塊の流入経路の特定とその変動の解明が、南極氷床による海面上昇を予測するための喫緊の課題となっています。しかし、トッテン氷河・棚氷付近の大部分の海域は、分厚い海水や多数の巨大な氷山に阻まれ海面がきつく閉ざされることが多く、世界各国の砕氷船をもってしても、これらの海域に侵入することが困難であるため、これまで海洋観測ができていませんでした。

そこで、研究グループは南極観測船「しらせ」からヘリコプターで観測点へと移動し、AXCTD及びAXBTと呼ばれる2種類の海洋観測測器を投下し、これらのセンサーから送られてくるデータを取得することで、トッテン氷河・棚氷沖全67地点の海の中の温度、塩分を調査しました。このようなヘリコプターを使った大規模な海洋観測に成功したのは、南極域では初のことです。また、得られたデータの解析により、トッテン氷河・棚氷への高温の水塊の流入の全容を捉えることにも成功しました。

本研究の成果は、日本時間2023年9月11日(月)午後10時公開のGeophysical Research Lettersにオンライン掲載される予定です。

【用語解説】

*1 棚氷 … 海へと押し出され、陸上から連結して洋上にある氷のこと。

【論文発表の概要】

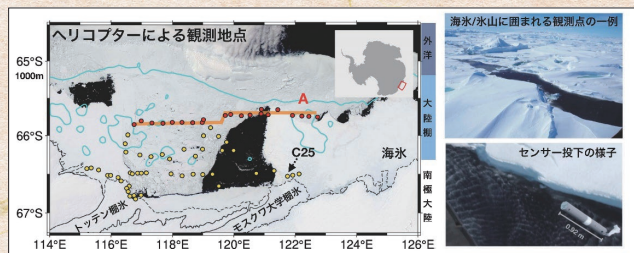
論文名：Helicopter-based ocean observations capture broad ocean heat intrusions towards the Totten Ice Shelf (ヘリコプターを用いた観測によるトッテン氷河・棚氷下部への高温の水塊の流入経路の解明)

著者名：中山佳洋¹、Pat Wongpan²、Jamin S. Greenbaum³、山崎開平⁴(当時)、野口智英⁵、清水大輔⁴、柏瀬陽彦⁶、Donald D. Blankenship⁷、田村岳史⁴、青木 茂¹ (1 北海道大学低温科学研究所、2 タスマニア大学、3 スクリプス海洋研究所、4 国立極地研究所、5 マリン・ワーク・ジャパン、6 苫小牧工業高等専門学校、7 テキサス大学オースティン校)

雑誌名：Geophysical Research Letters
(地球科学の専門誌)

DOI：10.1029/2022GL097864

公表日：2023年9月11日(月) (オンライン公開)



ヘリコプターによる観測地点、観測地点の航空写真、センサー投下の様子

(2023/9/15)

極低温の氷表面で動き回る炭素原子を観測 ～宇宙における炭素鎖生成の起源解明に貢献～

発表者：教授 渡部 直樹
助教 柘植 雅士

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の柘植雅士助教と渡部直樹教授らの研究グループは、極低温の氷表面における炭素原子の振る舞いを、独自に開発した手法を用いて観測することに初めて成功しました。

炭素は宇宙で4番目に存在量が多い元素です。それゆえ、宇宙空間には数多くの種類の有機分子が存在しています。こうした分子の起源は星が誕生する以前の宇宙の極低温空間にあると考えられています。多くの有機分子は炭素原子が複数個連なった炭素鎖を持っていますが、炭素鎖がどのように成長したかは、これまで分かっていませんでした。宇宙に浮遊する氷微粒子表面で鎖が成長する説が有力でしたが、これまでそれを裏付ける証拠がありませんでした。また、最近の理論的研究では、炭素原子は氷表面に強く結びつき動けない事が予想されており、炭素鎖形成の起源は謎とされてきました。

研究グループは、これまで実験的に観測が難しかった極低温氷表面の炭素原子の動きを2種類のレーザーを用いた独自の手法で観測することで、氷表面に強く結びつく炭素原子が存在する一方で、ある炭素原子はマイナス250℃を越えたところで活発に動き出し、炭素鎖を形成し始めることを初めて確認しました。本研究は、水素などに比べ比較的重たく動きにくい炭素原子であっても、極低温氷表面で自由に動き回り、大きな有機分子の骨格を作りうることを初めて示したもので、宇宙に大量に存在する有機分子の起源に関する理解が格段に進展することが予想されます。

なお、本研究成果は、2023年9月15日(金)公開のNature Astronomy誌に掲載されました。

【論文発表の概要】

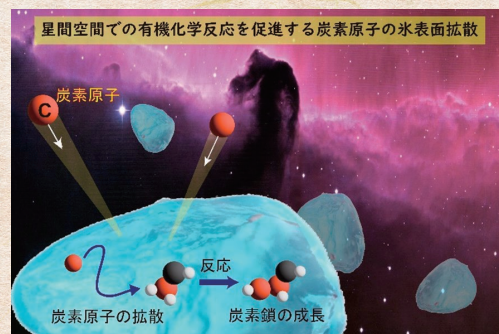
論文名：Surface Diffusion of Carbon Atoms as a Driver of Interstellar Organic Chemistry (宇宙空間における有機化学反応を促進する炭素原子の表面拡散)

著者名：柘植雅士¹、Germán Molpeceres²、相川祐理²、渡部直樹¹ (1 北海道大学低温科学研究所、2 東京大学大学院理学系研究科)

雑誌名：Nature Astronomy

DOI：10.1038/s41550-023-02071-0

公表日：2023年9月15日(金) (オンライン公開)



宇宙空間では氷微粒子上に炭素原子が降り注ぐ。炭素原子を検出する独自の手法を用いて、炭素原子の拡散(氷表面を動き回ること)を捉えた。

炭素原子の関わる化学反応により、様々な有機分子中の炭素鎖が成長することが期待される。

背景は実際の星間分子雲(馬頭星雲と呼ばれる有名な分子雲)の写真。

(2023/9/19)

小惑星リュウグウから始原始的な「塩(Salt)」と有機硫黄分子群を発見

発表者：准教授 大場 康弘

【研究成果の概要】

国立研究開発法人海洋研究開発機構(理事長 大和 裕幸、以下「JAMSTEC」という。)海洋機能利用部門 生物地球化学センターの吉村 寿紘(としひろ) 副主任研究員と高野 淑識(よしのり) 上席研究員、国立大学法人九州大学大学院理学研究院の奈良岡 浩 教授らの国際共同研究グループは、国立大学法人東京大学大学院理学系研究科、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社堀場アドバンステクノ、株式会社堀場テクノサービス、サーモフィッシャーサイエンティフィック ジャパングループ、国立大学法人北海道大学、国立大学法人東京工業大学の研究者らとともに、小惑星リュウグウのサンプルに含まれる可溶性成分を抽出し、精密な化学分析を行い、その組成や含有量などを明らかにしました。

小惑星リュウグウは、地球が誕生する以前の太陽系全体の化学組成を保持する始原始的な天体の一つです。これまではやぶさ2初期分析により、多様な性状や含有物、履歴などが明らかとなってきましたが、可溶性成分のうちイオン性成分の物質情報は、未だ不明のままでした。

そこで本研究では、小惑星リュウグウのサンプルから可溶性成分を抽出し、無機・有機分子レベルの精密な化学分析を行いました。その結果、最も溶解しやすい成分を反映する熱水抽出物は、ナトリウムイオン(Na^+)に非常に富んでいることがわかりました。ナトリウムイオンは、鉱物や有機物の表面電荷を安定化させる電解質として働き、一部は、有機分子などと結合することでナトリウム塩(Salt)として析出していると考えられます。また、抽出物からは様々な有機硫黄分子も見られました。小惑星リュウグウに存在する水に溶存して化学状態が変化することで、多種多様な有機硫黄分子群へと化学進化を遂げたと考えられます。

本成果は、初期太陽系の物質進化を紐解くものであるとともに、それらが最終的に生命誕生に繋がる化学プロセスをどのように導いたかという大きな問題に答える上で、重要な知見となります。

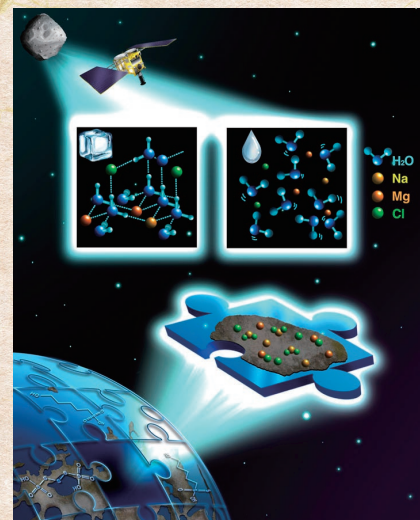
本成果は、2023年9月18日付(日本時間)で科学誌「Nature Communications」に掲載されました。

【論文発表の概要】

タイトル：Chemical evolution of primordial salts and organic sulfur molecules in the asteroid 162173 Ryugu
 著者名：吉村 寿紘¹、高野 淑識¹、奈良岡 浩²、古賀 俊貴¹、荒岡 大輔³、小川 奈々子¹、フィリップ・シュミットコップリン^{4,5}、ノルベルト・ハートコーン⁴、大場 康弘⁶、ジェイソン・ドワーキン⁷、ホセ・アポンテ⁷、吉川 剛明⁸、田中 悟⁹、大河内 直彦¹、橋口 未奈子¹⁰、ハンナ・マクレーン⁷、エリック・パーカー⁷、坂井 三郎¹、山口 美保子¹¹、鈴木 隆弘¹¹、横山 哲也¹²、坂本 尚義¹³、中村 智樹¹⁴、野口 高明¹⁵、岡崎 隆司²、藪田 ひかる¹⁶、坂本 佳奈子¹⁷、矢田 達¹⁷、西村 征洋¹⁷、中藤 亜衣子¹⁷、宮崎 明子¹⁷、与賀田 佳澄¹⁷、安部 正真¹⁷、岡田 達明¹⁷、臼井 寛裕¹⁷、吉川 真¹⁷、佐伯 孝尚¹⁷、田中 智¹⁷、照井 冬人¹⁸、中澤 暁¹⁷、渡邊 誠一郎¹⁰、津田 雄一¹⁷、橋 省吾^{17,19}、はやぶさ2可溶性有機物初期分析チーム(1 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2 国立大学法人九州大学大学院理学研究院、3 国立研究開発法人産業技術総合研究所、4 Helmholtz Zentrum München, Analytical BioGeoChemistry, ドイツ、5 Technische Universität München, Analytische Lebensmittel Chemie, ドイツ、6 国立大学法人北海道大学低温科学研究所、7 Solar System Exploration Division, NASA Goddard Space Flight Center, アメリカ、8 株式会社堀場アドバンステクノ、9 株式会社堀場テクノサービス、10 国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科、11 サーモフィッシャーサイエンティフィックジャパングループ、12 国立大学法人東京工業大学大学院理学系研究科、13 国立大学法人北海道大学大学院理学研究院、14 国立大学法人東北大学大学院理学研究科、15 国立大学法人京都大学大学院理学研究科、16 国立大学法人広島大学大学院先進理工系科学研究科、17 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、18 神奈川工科大学、19 国立大学法人東京大学大学院理学系研究科附属宇宙星科学機構、* 共同筆頭著者)

雑誌名：Nature Communications

公表日：2023年9月18日(月) (オンライン公開)



小惑星探査機「はやぶさ2」が、小惑星リュウグウに存在する塩(Salt)と新しい硫黄分子群の入ったサンプルを地球帰還させる様子 (©JAMSTEC)

(2023/10/12)

水/高圧氷の界面に液晶らしき“未知の水”を発見 ダイナミクスが示唆する未知の水の生成機構と構造の多様性

発表者：教授 木村 勇気

【研究成果の概要】

水は多くの自然現象を支配する身近な存在ですが、他の液体とは異なる奇妙な物性を示します。東北大学多元物質科学研究所の新家寛正助教、北海道大学低温科学研究所の木村勇気教授、鳥取大学工学部機械物理系学科の灘浩樹教授と東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻／附属先進科学研究機構の羽馬哲也准教授を中心とする研究グループはこれまでの研究で、様々な氷と水との界面にできる、通常の水と混ざり合わない低密度および高密度な未知の水を発見しています。今回、未調査であった高圧氷Vと水の界面にも高密度な未知の水ができることを発見しました。また、この未知の水の生成ダイナミクスは、二成分系不混和流体の液-液相分離^(注1)の理論が予測するダイナミクスの特徴と類似していることを発見し、未知の水の生成機構解明へ一歩前進しました。さらに、未知の水の脱濡れ^(注2)の形態に、氷Vの結晶学的異方性を反映した異方性が生じることを発見し、脱濡れ初期の未知の水は液晶である可能性を世界で初めて示しました。この成果は、長年の謎である水の特異物性を解明するため精力的に研究されている水の構造に対し新たな知見を与えるものです。

本成果は、国際科学誌Scientific Reportsに10月11日(水)付でオンライン掲載されました。

【用語解説】

注1. 液-液相分離

水と油のように液体同士が分離する現象のことである。互いに混ざり合わない液体をある温度以上の高温条件におくと液体同士が均質に混ざり合った状態になる場合があり、その混合液体を冷却していくと、均質な混合液体が液-液相分離を起こす。相分離開始組成や冷却の仕方によって、その分離過程(ダイナミクス)は大きく分けて2種類あり、“核形成・成長型”と“スピノーダル分解型”の液-液相分離が存在する。“核形成・成長型”は、量の多い液体中に量の少ない液体の液滴が生成し液滴が成長することで相分離が進行するダイナミクスである。その一方で、“スピノーダル分解型”は、両液体成分の空間的・時間的揺らぎの波が時間経過に伴い増幅することで相分離が進行するダイナミクスである。そのため、特にスピノーダル分解型相分離の進行過程では、両連続的模様と呼ばれる、両液体のネットワーク状の領域が入れ子になったような周期的な波模様が観測される。

注2. 脱濡れ

基板の表面を覆う液体薄膜に穴が開きその穴が拡大していく現象を指す。液-液相分離と同様、脱濡れにも“核形成・成長型”と“スピノーダル型”の脱濡れが存在する。核形成・成長型では、液膜に複数の円形の穴が逐次形成し、その穴が拡大していくダイナミクスを示す。その一方で、スピノーダル型は液膜の膜厚の揺らぎの波が増幅し、時間経過とともに無数の穴がほぼ同時に形成するダイナミクスを示す。そのため、スピノーダル脱濡れの進行過程では、周期的な波模様が形成される。

【論文発表の概要】

タイトル：Anisotropy in Spinodal-like Dynamics of Unknown Water at Ice V/Water Interface

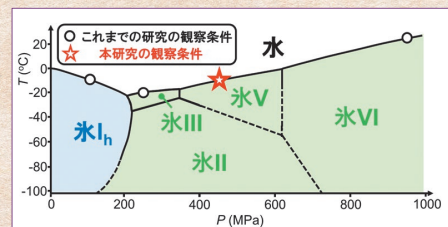
著者名：Hiromasa Niinomi*、Tomoya Yamazaki、Hiroki Nada、Tetsuya Hama、Akira Kouchi、Tomoya Oshikiri、Masaru Nakagawa、and Yuki Kimura

*責任著者：東北大学多元物質科学研究所 助教 新家寛正

雑誌名：Scientific Reports

DOI：10.1038/s41598-023-43295-4

公表日：2023年10月11日(水) (オンライン公開)



水の相図。図は水や氷I_h、III、Vなど様々な氷がどの温度・圧力条件で安定に存在するかを示す。白い丸はこれまでの研究で我々が観察を行った条件を示す。赤い星は本研究の観察条件を示す。青く示された領域は水よりも低密度な、我々の生活に身近な氷I_hの安定領域を示す。緑で示された領域は水よりも高密度な高圧氷の安定領域を示す。

(2023/10/18)

冬眠は体温リズムを夏型に戻す ～哺乳類の冬眠に新たな視点～

発表者：教授 山口 良文

【研究成果の概要】

北海道大学大学院環境科学院博士後期課程の中川 哲氏（北海道大学DX博士人材フェローシップ生）、同大学低温科学研究所の山口良文教授は、冬眠する哺乳類（冬眠動物）のシリアンハムスターにおいて、冬眠を経験すると体温の日内変動リズム（日周リズム）が夏型になることを見出しました。

シリアンハムスターやジリスなどの冬眠動物は、食糧が不足する冬の間、生きるために必要なエネルギーを節約した低体温状態となり、春の訪れとともに冬眠から醒め、活動期を迎えます。これらの動物たちは、冬眠の間、季節の指標となる光の情報を受けとらない巣穴にこもった状態となります。そのため冬眠動物が冬眠前後の環境変化にどのように適応しているのかは、興味深い謎です。研究グループは、長日かつ暖かい環境の夏条件で育ったシリアンハムスターを、短日かつ寒冷の冬条件の飼育室で長期間飼育し、その体温の日周リズムの変化を調べました。シリアンハムスターは冬条件で数ヶ月過ごす冬眠を始めますが、一定期間ののち、自分で冬眠を終了します。この一連の過程で、体温の日周リズムは周囲の環境に合わせて夏型から冬型に変化した後、冬眠期には見られなくなりました。さらに、興味深いことに冬眠終了後、体温の日周リズムは、周囲は冬の環境のままでもかかわらず夏型に戻っており、その後周囲の環境に合わせて、再び冬型となりました。一方、長期の冬様環境下でも冬眠をしなかったシリアンハムスターの体温の日周リズムは、一度冬型になった後、夏型に戻ることはありませんでした。

これらの結果から、シリアンハムスターは、冬的环境に合わせて冬型に適応した体温リズムで冬眠を始めた後、冬眠を終了する頃には自発的に夏型の体温リズムに戻って活動を再開することが分かりました。本研究により、哺乳類の冬眠は、冬季の消費エネルギーを節約するだけでなく、覚醒後に迎える活動期への適応を容易にするプログラムでもあることが示唆されました。

なお、本研究成果は、2023年10月18日（水）公開のProceedings of the Royal Society B: Biological Sciences誌に掲載されました。

【論文発表の概要】

論文名：Spontaneous recurrence of a summer-like diel rhythm in the body temperature of the Syrian hamster after hibernation（シリアンハムスターの体温における冬眠終了後の夏型日周リズムの自発的再出現）

著者名：中川 哲¹、山口良文^{2,3}（1 北海道大学大学院環境科学院、2 北海道大学低温科学研究所、3 稲盛科学研究機構）

雑誌名：Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences（生物学の専門誌）

DOI：10.1098/rspb.2023.0922

公表日：2023年10月18日（水）（オンライン公開）



冬眠前には冬型になった体温のリズムが、冬眠を終えるときに夏型に戻る。ハムスターの冬眠には、体内のリズムを来るべき春に合わせる仕組みも含まれる。

(2023/10/18)

グリーンランド氷床南東部高地の夏季融解量の増加を復元 ～グリーンランド南東ドームアイスコアの高精度年代の構築～

発表者：非常勤研究員 川上 薫
准教授 飯塚 芳徳
助教 的場 澄人

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の川上 薫非常勤研究員、飯塚芳徳准教授、的場澄人助教、北見工業大学の堀 彰准教授、金沢大学環日本海域環境研究センターの石野咲子助教、国立極地研究所先端研究推進系の藤田秀二教授、青木輝夫特任教授、川村賢二准教授、名古屋大学大学院環境学研究科の藤田耕史教授、植村 立准教授、弘前大学大学院理工学研究科の堀内一穂准教授らの研究グループは、2021年に掘削したグリーンランド氷床南東部アイスコア*1の高精度年代スケールを構築し、産業革命前から現在にかけての夏季積雪融解量が北極域の温暖化に伴い増加したことを解明しました。

近年、北極域では地球全体を上回るペースで気温が上昇しています。今回研究グループは、複数の物理・化学的な解析から、グリーンランド氷床南東部のアイスコアの1799年から2020年にかけての時間スケールを、半年解像度という高精度での確立に成功しました。そして確立された年代を元に過去221年の降水量と夏季融解層の厚さを復元しました。その結果グリーンランド南東部では、年降水量は過去221年間にわたり減少も増加も示さず有意な傾向は見られませんでした。融解層の厚さは北極域の温暖化に伴い19世紀から21世紀にかけて増加していることが明らかになりました(図)。本研究結果は、産業革命(1850年)前から現在において、温暖化によりグリーンランドの内陸高地で夏季積雪融解量が増加していることを実証しました。今後、得られた地上真値を用いた長期間の領域気候モデルや衛星観測データの検証から、地球気温の将来予測の精度を高めることが期待されます。

なお、本研究結果は、2023年10月13日(金)公開のJournal of Geophysical Research, Atmospheres誌に掲載されました。

【用語解説】

* 1 アイスコア … 極地氷床などで鉛直方向にくり貫かれる円柱状の氷試料のこと。

【論文発表の概要】

論文名：SE-Dome II ice core dating with half-year precision: Increasing melting events from 1799 to 2020 in southeastern Greenland (SE-Dome II アイスコアの半年精度の年代構築：グリーンランド南東部における1799年から2020年までの融解イベントの増加)

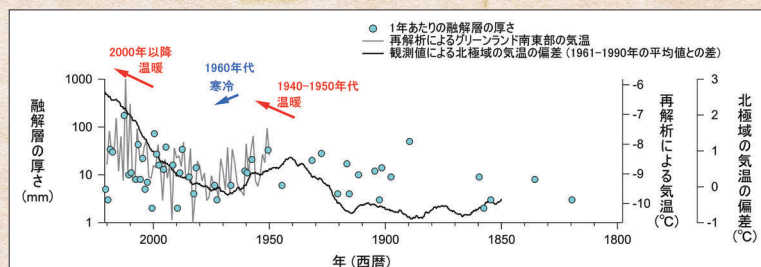
著者名：川上 薫¹、飯塚芳徳¹、捧 茉優²、松本真依²、斎藤 健¹、堀 彰³、石野咲子⁴、藤田秀二^{5,6}、藤田耕史⁷、高杉啓太³、畠山 匠⁸、浜本佐彩⁷、渡利晃久²、江刺和音⁷、大塚美侑²、植村 立⁷、堀内一穂⁸、箕輪昌紘¹、服部祥平⁹、青木輝夫^{5,6}、平林幹啓⁵、川村賢二^{5,6,10}、的場澄人¹ (1 北海道大学低温科学研究所、2 北海道大学大学院環境科学院、3 北見工業大学、4 金沢大学環日本海域環境研究センター、5 国立極地研究所、6 総合研究大学院大学、7 名古屋大学環境学研究科、8 弘前大学大学院理工学研究科、9 南京大学、10 海洋研究開発機構)

雑誌名：Journal of Geophysical Research, Atmospheres
(地球物理学の専門誌)

DOI：10.1029/2023JD038874

公表日：2023年10月13日(金)

(オンライン公開)



グリーンランド南東部アイスコアに含まれる1年あたりの融解層の厚さ、再解析データによる南東部の夏の平均気温、北極域の気温の偏差

AWARD

大場 康弘

公益社団法人日本地球惑星科学連合 第5回地球惑星科学振興西田賞(令和5年5月25日受賞)

本田 茉莉子

日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2023年大会学生優秀発表賞(令和5年7月10日受賞)

松本 真依

日本雪氷学会 雪氷研究大会(2023・郡山)学生優秀発表賞(ポスター発表部門)(令和5年9月5日)

今津 拓郎

日本雪氷学会 雪氷研究大会(2023・郡山)学生優秀発表賞(口頭発表部門)(令和5年9月5日)

大舘 智志

日本哺乳類学会 2023年度日本哺乳類学会賞(令和5年9月9日)

中川 哲

日本時間生物学会 第30回日本時間生物学会優秀演題賞(令和5年9月17日)

波多 俊太郎

北海道大学大学院環境科学院 第9回松野環境科学賞(令和5年9月25日)

滝沢 侑子

令和5年度国立大学法人北海道大学桂田芳枝賞(令和5年10月5日)

■人事異動(令和5年4月2日から令和5年10月1日まで)

異動日	異動内容	氏名	職名	備考
R5. 6. 1	採用	篠原 ありさ	研究支援推進員	
R5. 7. 1	転出	菊地 修平	主任	総務企画部人事課給与支給担当主任へ
R5. 7. 1	転入	高村 由加里	主任	財務部主計課財務管理室付主任から
R5. 7.31	辞職	田中 梓	事務補助員	
R5. 9. 1	採用	近藤 研	技術補助員	
R5.10. 1	採用	中川 哲	学術研究員	
R5.10. 1	採用	若月 美香	事務補助員	
R5.10. 1	採用	中村 明子	事務補助員	

編*集*後*記

- ▶2023年も飛ぶように過ぎていきました。本号にのっているような宇宙や地球の時間軸からすれば人間の営みはまさに一瞬の出来事です。たまには悠久の時間に思いを馳せてみるのも良いかもしれません。(山口)
- ▶ニュースレターは研究所の活動と社会をつなぐ貴重な媒体です。今回も研究の現場から最新のニュースをお伝えしますのでお楽しみください。(白岩)
- ▶本号もフィールドから実験室に至るまで、低温科学の最先端の研究に関する魅力的な記事が掲載されました。(宮崎)
- ▶「海洋の奥深い驚異と宇宙の緻密な化学反応」をお届けする本号。地球と宇宙の複雑なダンスに感じ入ってみてはいかがでしょうか。(渡邊)

低温研ニュース第56号

(北海道大学低温科学研究所広報誌)

発行人:低温科学研究所長

編集:低温研広報委員会

(山口 良文、白岩 孝行、宮崎 雄三、渡邊 友浩、事務部総務担当)

ご意見、お問い合わせ、投稿は下記まで

〒060-0819 北海道札幌市北区北19条西8丁目

TEL:011-706-5445 FAX:011-706-7142

- 低温研ニュースは本研究所ウェブサイトでも公開しております。
<https://www2.lowtem.hokudai.ac.jp/research.html#6>