低温研ニュース

ILTS

2016年12月
No.42

微小空間から宇宙まで、広がる低温研究の世界

国後島最北端の活火山　爺爺岳（標高1882m）とその麓を流れるセオイ川の河口付近。8月には多くのカラフトマスが遡上する。道路がない国後島北部の河川調査では、悪路を走破できる四輪バギーが唯一の輸送手段である。（撮影：白岩　孝行）

Research

氷点下の氷も濡れている!ナノメートルの微小世界を探る
（村田憲一郎）……2

宇宙空間の環境を再現し生命のルーツの解明に挑戦
（大場　康弘）……4

南米パタゴニアで氷河と湖の境界に迫る
（杉山　　慎）……6

北方四島　国後島における河川調査
（白岩　孝行）……9

People ……12

Report

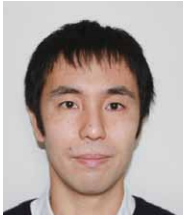
南極大学カリキュラム紹介その４
「南極学特別講義Ⅱ」（杉山　　慎）…16

海外調査　（杉山　　慎）…17

Publication／Press Release／News

北海道大学低温科学研究所
http://www.lowtem.hokudai.ac.jp

氷点下の氷も濡れている！ ナノメートルの微小世界を探る



※１ナノメートル＝1mmの100万分の１

雪氷新領域部門　村田憲一郎

150年以上も前からの氷の謎

雪国に住む人でなくとも、一家に一台の冷蔵庫がある現代では、固体化した水である「氷」は身近な存在です。けれど、意外に知られていないこともあります。例えばみなさんは、氷点下にあっても氷の表面が濡れていることがある、ということを知っているでしょうか？実は、氷の表面に非常に薄い水の膜（擬似液体層）ができて、少し溶けて濡れたような状態になることがあるのです。「表面融解」と呼ばれるこの現象は150年以上も前から知られており、多くの研究者が現象の解明に力を注いできました。

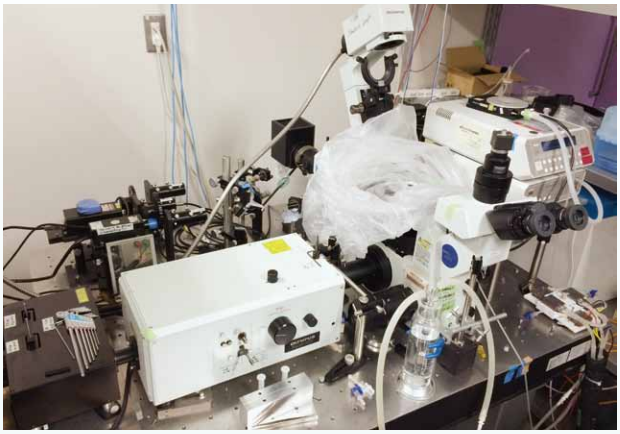
擬似液体層の厚さはナノメートル単位です。そのため、光を当ててその吸収と放出の様子から分析したり（分光法）、波長が短く非常に強い光を使って原子・分子レベルでの形や機能を調べたり（X線による構造解析）というアプローチを用いることが実験的に難しく、今もなお、擬似液体層が発生する理由は明らかになっていません。

シャボン膜にできる氷の結晶

同じ水なのに、200倍も流れにくい！

氷の表面の擬似液体層を、視覚的に捉えたい。その願いを叶えたのは、私たちの研究チームが開発した、１分子レベルの高さを読み取ることができる光学顕微鏡（レーザー共焦点微分干渉顕微鏡）です。

この光学顕微鏡を用いれば、擬似液体層の物理的な性質や、バルク水（他の物質から性質が変化するような影響を受けていない、水以外の物質と接していない状態の水）との違いを明らかにすることへのアプローチが可能になります。そこで、擬似液体層同士が氷の上でくっつき合うときの形態の変化を測定し、表面張力や粘性などから擬似液体層そのものの物理的性質を調べたところ、擬似液体層はバルク水よりも非常に流れにくい状態であり、異なる構造・運動性をもっている可能性が実験的に確認できました。氷の表面を覆う擬似液体層は、なんと通常の水よりも200倍も流れにくいのです。また、擬似液体層は薄い膜状で完全に濡れた状態と、表面張力で粒状にまとまった部分濡れの状態とがあることを視覚的に捉え、完全に濡れた薄膜状態ではおよそ９ナノメートルの厚さであることも明らかにしました。さらに、部分濡れの状態では、流れにくさは通常の水の20倍まで低下していることも明らかになりました。



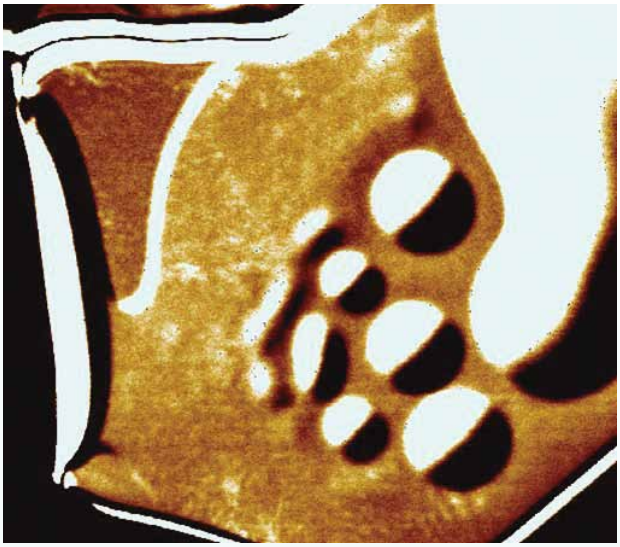
レーザー共焦点微分干渉顕微鏡の写真。一分子レベルの段差を可視化する非常に高い分解能を持つ。

顕微鏡で探る相転移のダイナミクス

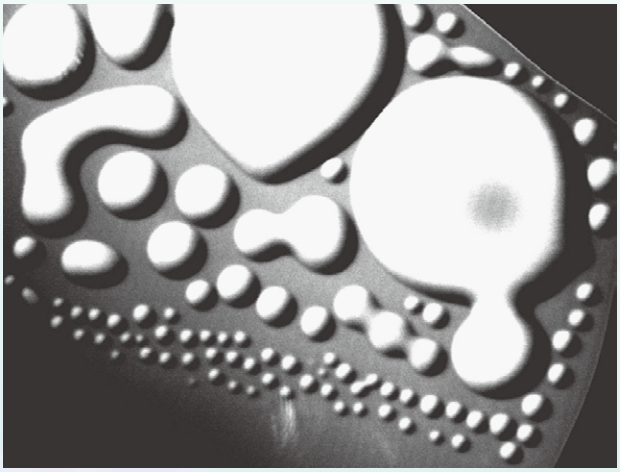
擬似液体層は、雪玉づくり、スケートの滑りやすさ、雪の結晶の形態変化、凍結によって地面が隆起する凍上現象、雷雲での電気発生など、私たちの身近にある低温での自然現象に深く関わっていると考えられています。私たちが擬似液体層の物性をより正確に評価したことは、これらの自然現象を理解するための重要な手がかり

となります。また、バルク水とは異なる水の動きは、擬似液体層以外にも、他の物質と接している部分で起こる普遍的な現象だと考えられます。近年はナノレベルの空間における水の動きについての研究が注目されており、例えば細胞内での水の流れの解明などにも、私たちの研究の成果が活かされる可能性が大いにあります。

さて、ここまで氷と水の話をしてきたわけですが、これはご存じのとおり、同じ H_2O という分子でできています。水（液体）と氷（固体）と水蒸気（気体）のように、同じ物質であるにも関わらず異なる物性を持つ状態を一般に「相」と呼び、異なる「相」の間の移り変わりを「相転移」と呼びます。私たちの研究グループでは特に氷に焦点を当て、水や水蒸気が氷へと時々刻々と変化する様子、つまり氷の相転移ダイナミクスを、最先端の顕微鏡を使って研究しているのです。相転移の研究では「普遍性」という概念が重要になります。自然界には多種多様な物質群が存在しますが、実はそれらの相転移現象は、物質の次元性や対称性、分子・原子間の相互作用の到達距離が変わらない限り、全く同じ振る舞いをするのです。私たちの研究対象は氷ですが、氷にみられる興味深い現象が他の物質やその相転移現象で普遍的にみられるかどうか、また氷の特殊性がその中でどう位置付けられるかなどが、今後の研究において重要になってくると考えています。



私たちの研究グループで独自に開発した光学顕微鏡で撮影した氷表面上の擬似液体層の様子。擬似液体層は均一かつ完全に氷表面を濡らしていると従来考えられてきましたが、私たちの顕微鏡により 非接触、非破壊での観察が可能になり、擬似液体層の濡れ方が時間的にも空間的にも不均一であることが明らかとなりました。



ドロップレット（液滴）形状を持つ擬似液体層が氷表面に析出している様子。ドロップレットの形状は時々刻々と変化します。私たちの研究ではこの液滴の動きを詳細に解析することで、氷表面上での擬似液体層の流れやすさを定量化しています。

ある冬の朝に衣服に付着した雪の結晶。その形態変化にも擬似液体層が関与していると考えられている。

宇宙空間の環境を再現し 生命のルーツの解明に挑戦

雪氷新領域部門　大場　康弘

暗黒星雲にアミノ酸はあるか？

地球上で大いに繁栄している多種多様な生命。そのルーツを探す科学者たちの視線は、はるか彼方の宇宙空間にも向けられています。生命に必要な物質には、隕石や彗星によって宇宙空間から運ばれてきたと考えられるものがあるからです。例えば、タンパク質の材料となるアミノ酸のうち、最も単純な構造を持っているグリシンは、隕石や彗星から得られたサンプルの分析によって、地球外の環境にも確かに存在することがわかっています。それに対し、多くの研究者がさまざまな試みを行っていますが、星や惑星系の誕生の場である暗黒星雲（星間分子雲）では、まだグリシンが発見されていません。しかし、暗黒星雲に近い環境を再現して行った実験では、グリシンは最も作りやすいアミノ酸であり、暗黒星雲に豊富に存在する氷（H_2O）のなかでは紫外線を浴びても分解しにくいこと、さらにはグリシンの材料となりそうな分子が多く存在していることから、いずれ暗黒星雲でもグリシンが発見されるだろうと期待されています。

宇宙に探す生命のルーツ

ところで、分子には、同じ種類・同じ数の原子を組み合わせたものでありながら違う構造を持つ「異性体」があるものが存在します。この異性体のうち、立体的な構造の違いによって右手と左手の関係のように鏡で映した配置になり、互いに重ね合わせることができない異性体を、鏡像異性体または光学異性体と呼びます（図 1）。

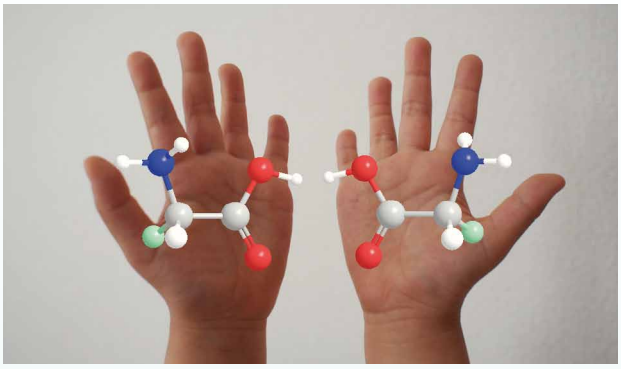
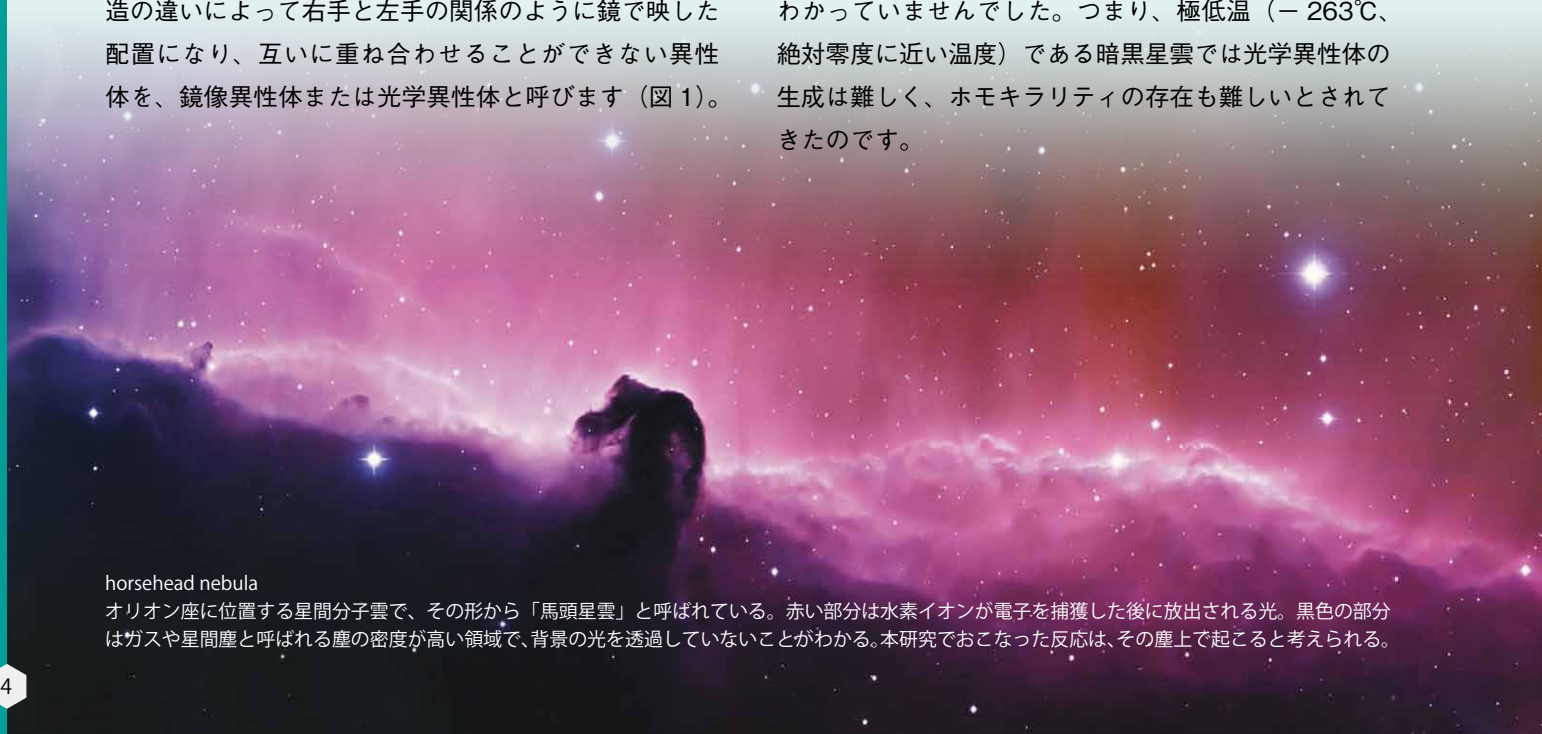
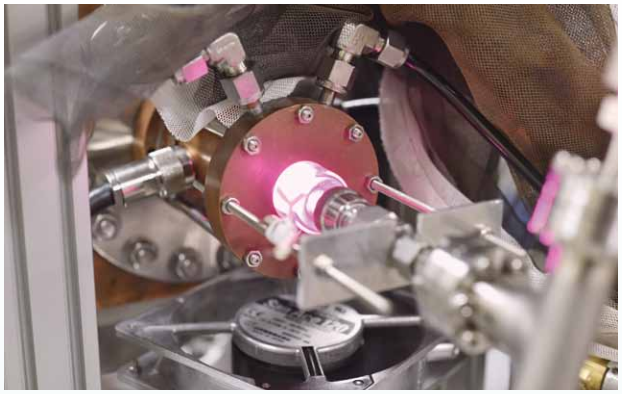


図 1 : キラルグリシン
両手の写真にキラルグリシンの模型をおいて加工した写真。キラル、つまり光学活性な分子は、いわゆる我々の右手・左手のように、互いに立体的に重ね合わせることができない。

アミノ酸や糖の多くは光学異性体を持ちますが、生体内ではこれらの分子はほぼ片方の構造で存在しています。このように、片方の光学異性体しか持たない状態はホモキラリティと呼ばれています。地球上におけるホモキラリティの起源に関しては、これまでにさまざまな仮説が提唱されてきました。しかし、いまだに解明されておらず、生命の起源に関する最大の謎の一つとなっています。また、ホモキラリティの前提として光学異性体の存在が必要となりますが、光学異性体を持つ有機分子の生成には大きなエネルギーが必要であり、－173℃より低い温度では光学異性体を持つ分子が生成するかどうかわかっていませんでした。つまり、極低温（－263℃、絶対零度に近い温度）である暗黒星雲では光学異性体の生成は難しく、ホモキラリティの存在も難しいとされてきたのです。



horsehead nebula
オリオン座に位置する星間分子雲で、その形から「馬頭星雲」と呼ばれている。赤い部分は水素イオンが電子を捕獲した後に放出される光。黒色の部分はガスや星間塵と呼ばれる塵の密度が高い領域で、背景の光を透過していないことがわかる。本研究でおこなった反応は、その塵上で起こると考えられる。



プラズマ
実験室内では、重水素分子（D_2）をプラズマ状態にして、重水素原子（D）を作製する。赤〜ピンクに見える部分は重水素イオンが電子を捕獲した後に放出される光で、星間分子雲で見られるものと同様。

宇宙で最初の光学活性アミノ酸、生成経路を解明！

暗黒星雲の分子には、重水素原子が多く含まれているという特徴があります。私たちの研究チームでは、暗黒星雲にグリシンが存在するならば、他の星間分子と同様に、水素が重水素に置換されているのではないか？と考えました。そこで、極低温の暗黒星雲の環境を再現できる実験装置を開発して実験したところ、重水素置換グリシンと重水素原子との反応によって光学異性体を持つグリシンが生成されることを確認しました（図 2）。量子トンネル効果※というエネルギーの壁をすり抜ける現象が起こり、極低温で光学異性体を持つ分子が生成されたのです。これは二つの意味で、驚くべきものでした。実は、グリシンはアミノ酸の中では珍しいことに、光学異性体を持っていないのです。そのグリシンが、重水素と反応することで光学異性体を生成しました。そしてそれは、光学異性体の生成に必要と考えられていた温度よりも低い極低温の環境で起こりました。繰り返しとなりますが、グリシンはアミノ酸の中で最も単純な構造を持つため、最も作りやすいアミノ酸だといえます。そのため、「暗黒星雲の環境でグリシンが重水素と反応し、光学異性体を生成した」というこの実験の結果により、グリシンが分子進化（単純な原子・分子がさまざまな化学反応を経験することで、より構造的に複雑で大きな分子に変化していくこと）の過程において最初の光学異性体を持つアミノ酸だと考えることができるのです。また、このような星・惑星系誕生の初期段階で光学異性体が生成されたということは、片方の光学異性体しか持たないホモキラリティも、これまで考えられてきたよりも遥かに早い段階で発現していても不思議ではない、と考えられるのです。しかしながら、生命を構成するアミノ酸や糖がなぜ片方の光学異性体のみで構成されるのかは、いまだに謎のままです。今後は光学活性グリシンが分子のホモキラリティ発現にどのような影響を及ぼすのか、実験的に解明されることが期待されています。

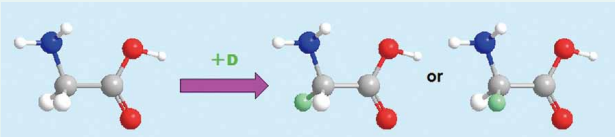
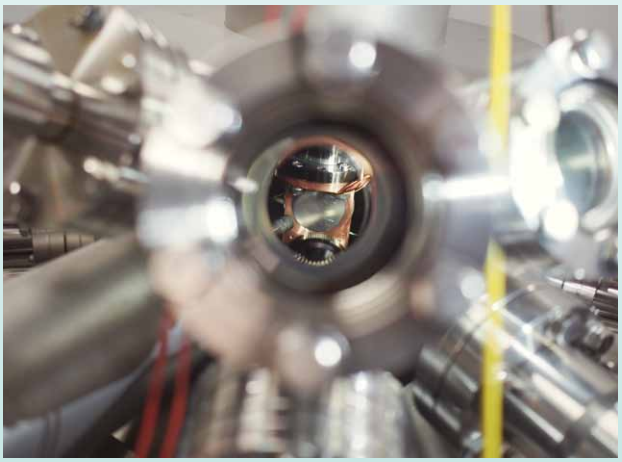
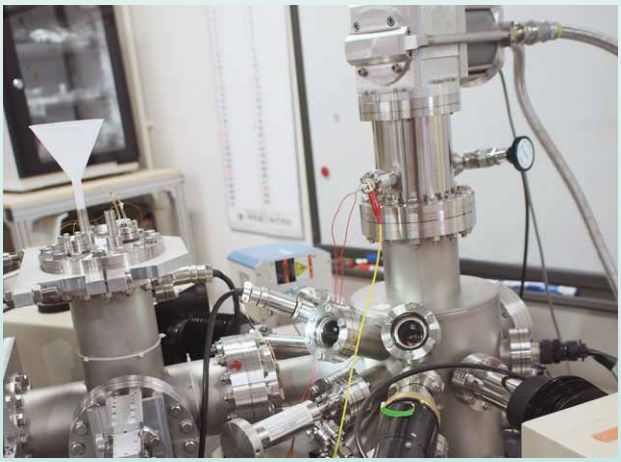


図 2：本研究で調べたグリシンと重水素原子との反応を模式的に描いた図。

※量子トンネル効果
物質を粒子として扱う古典力学では、化学反応が進むためには反応物が活性化障壁（化学反応を起こすために必要なエネルギー）を乗り越えるエネルギーが必要となる。しかし、水素原子、重水素原子など質量の小さい粒子は波動性が顕著であるため、エネルギーがなくても活性化障壁を透過して化学反応が進む。このことを量子トンネル効果という。



反応基板
実験装置の中心に設置されたアルミニウム製の円形基板で、グリシンと重水素原子はこの上で反応している。その温度はおよそ－261℃（12 ケルビン）。基盤の左に見える筒状のものが、D 原子を導入するパイプ。



反応装置
研究に用いた実験装置の全体図。装置の上部には反応基板冷却用のヘリウム冷凍機が取り付けられている。左に見える原子源には生成された重水素原子を冷却するため、液体窒素を導入できるようになっている。

南米パタゴニアで氷河と湖の境界に迫る

共同研究推進部（雪氷新領域部門） 杉山　慎

パタゴニア氷河研究のパイオニア

パタゴニア。南米大陸の南端を指すこの地名は、山や旅、アウトドアが好きな方には魅力的に響くことでしょう。チリとアルゼンチンの国境沿いに伸びるパタゴニアの山岳地域では、鋭い岩峰と青い湖が美しく印象的な景色をつくっています。岩山を削り、湖に融け水を流し込んでいるのがパタゴニア氷原（図 1）。南半球では南極に次ぐ大きさを持つ氷河です。低温科学研究所では、OB となられた成瀬廉二さんを中心に 30 年以上前からパタゴニアの調査活動を行い、この地域における氷河研究のパイオニアとしての役割を果たしてきました。その後も国内外の研究機関と協力して研究を継続しています。本稿では、パタゴニアにおける氷河と湖に関して、最新の研究活動とその成果についてご紹介します。

パタゴニアの氷河はその多くが湖や海に流れ込み、カービング氷河と呼ばれています。そのような氷河は流動が激しく、末端から氷山を切り離すため、陸上に末端を持つ通常の氷河よりも複雑な変動を示します。近年世界中のカービング氷河が急速に後退しており、パタゴニアでも同様の傾向が伝えられています。そこで私たちは 2011 年にプロジェクトを発足し、パタゴニアにおけるカービング氷河変動について詳しい調査を開始しました。

厳しくも美しい氷河での観測

厳しい自然環境に阻まれて、パタゴニアにおける現地調査は非常に困難です。だからこそ、フィールドワークに実績を持つ低温研が力を発揮できる研究対象ともいえます。パタゴニアは地球のちょうど裏側。長いフライトを乗り継いでたどり着くのはアルゼンチンの小さな街カラファテ。さらに車と船を使って、氷原の東側に位置するペリートモレノ氷河、ウプサラ氷河、ヴィエドマ氷河などパタゴニアを代表するカービング氷河に向かいます（図 1）。現地ではキャンプや山小屋を利用して、氷河とその周辺で数週間にわたる観測活動を行います。具体的には、測量装置や気象観測機器などを使って、氷河の流動、標高の変化、降雪・融解量、気象条件などを調べます。強い風と雨にさらされて、クレバスを飛び越えながら行う観測は容易でありません（図 2）。しかしながら、氷河研究の分野にはその場に行かなくては得られないデータがたくさんあります。諸先輩の時代から蓄積された現

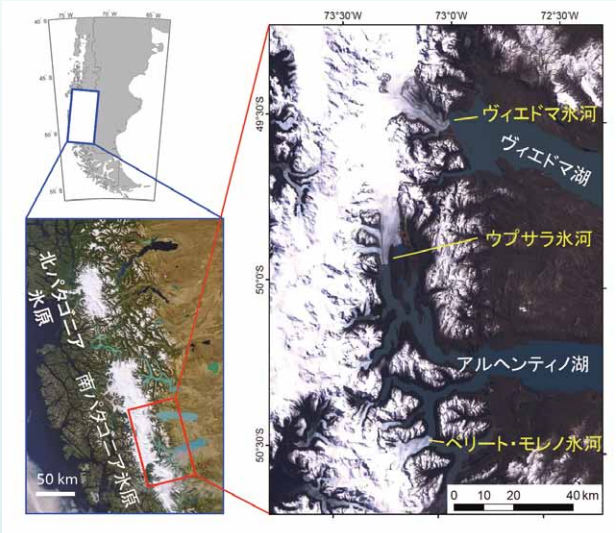


図 1. 南米大陸の南端に位置するパタゴニア。南パタゴニア氷原で湖に流入するカービング氷河の観測を行いました。画像は ESA と NASA による人工衛星データ。

図 2.（左）ペリートモレノ氷河と（右）ウプサラ氷河での観測。

地データの積み重ねが、気候の影響を受けて変動する氷河の振る舞いを解き明かしてくれるのです。そして何より、美しい氷河と山々に囲まれた環境で行う野外観測が、私たちにとって一番楽しい仕事です。

宇宙から氷河変動を探る

現地における観測が重要な一方で、人工衛星技術の進歩が氷河の研究に重要な役割を果たしています。特にパタゴニアは自然環境が厳しく、広い範囲に氷河が散在してアクセスも難しいため、人工衛星データの解析が大きな力を発揮します。その一例は、南パタゴニア氷原全域のカービング氷河に関して行った、氷河後退と流動の測定です。解析の結果、1980 年代から現在にいたる約 30 年間ほぼ全ての氷河が縮小傾向にあり、うち 3 つの氷河は 6 km 以上にわたって大きく後退したことが明らかになりました。さらに、氷原全域の流動速度マップを世界に先駆けて完成しました（図 3）。

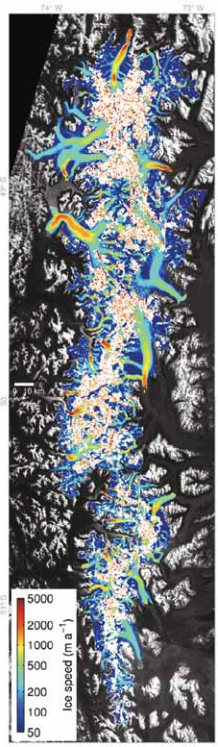


図 3. 南パタゴニア氷原全域をカバーする流動速度マップ（Sakakibara and Sugiyama, JGR 2014 を改変）。

人工衛星で測定できるのは末端位置や流動だけではありません。氷河の表面高度変化、すなわち氷の厚さ変化を正確に知ることができます。パタゴニア南部の隣り合ったふたつのカービング氷河で測定を行ったところ、2000 年から 2008 年の間にアメギノ氷河では 20 メートル以上も氷が薄くなった一方で、ペリートモレノ氷河では数メートル氷が厚くなっていることが判明（図 4）。ほぼ同じ気候条件で全く異なる変動を示すのは、カービング氷河の特徴です。湖につかった氷河末端から切り離される氷山の量や、末端の氷が水中で融ける速度が、氷河変動に大きな影響を与えていると考えられます。近年になって氷河と海の相互作用に注目が集まり、海に流入するカービング氷河の研究が盛んになりました。しかしながら、淡水に流入するカービング氷河末端の詳細な研究はほとんど例がありません。

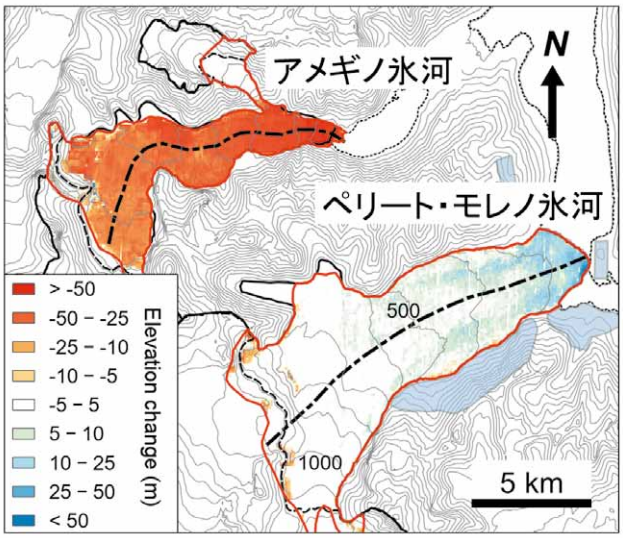


図 4. 2000~2008 年におけるペリート・モレノ氷河とアメギノ氷河の表面標高変化。アメギノ氷河では平均 20 メートル以上表面が低下しました（Minowa et al., Ann. Glaciol. 2015 を改変）。

ペリートモレノ氷河
（H. Biondi 氏による撮影）

ボートに乗った氷河研究者

カービング氷河の変動を解く鍵が湖にある、人工衛星データの解析でそんな結論に達した私たちは、再びフィールドに戻ってきました。向かうのは氷河ではなく湖。同僚の海洋研究者から借用した機材を小さなボートに積み込んで、水深や水温・濁度の測定、分析用の採水など、慣れない観測に挑戦しました。氷河末端ギリギリまで近寄りたいところですが、氷が崩れる危険があるので気が抜けません（図 5）。風の強いパタゴニアでは湖に高い波が立つことも多く、最後は経験豊富な船長の判断に任せるしかありません。そんな苦労の末に得られたデータは、私たちの仮説を裏付ける事実が半分、想像さえしなかった新しい発見が半分でした。中でも驚いたのは、ヴィエドマ氷河の前で得られた湖水の温度です。表面から 118 メートルの深さまでは比較的暖かい水。その下たった 1 メートルで 4 度以上の水温変化があり、深さ 300 メートル以上の湖底までほぼ凍結温度の冷たい水が観測されたのです（図 6）。湖の深いところでは水圧がかかるので、水温は 0 度以下。この水は土砂を含んで比重が高く、氷河の底から流出した濁った融け水が湖の深みに溜まっていることを示しています。氷河から 2 キロメートル沖では湖底が盛り上がって浅瀬になっており、この地形が冷たく濁った氷河融解水をせき止めている構造がはっきりと示されました。

図 5. ペリートモレノ氷河の前縁湖での観測

カービング氷河の変動メカニズム解明に向けて

ヴィエドマ氷河に続き、ペリート・モレノ氷河、ウプサラ氷河の湖でも同様の観測を実施。氷河前縁湖の水温構造に新しい知見が得られました。しかしながら、パタゴニアには無数の氷河が存在し、氷原の西側にあたるチリには海に流れ込むカービング氷河もあります。パタゴニアの氷河変動をより深く理解するために、2016 年には新しいプロジェクトの下、チリ側で氷河・湖の観測を開始しました。海洋研究者や地形研究者とも協力して、氷河末端部で様々な観測を計画しています。また、2013 年からグリーンランドで海洋性カービング氷河の観測を続けている他、2017/18 年には南極沿岸のカービング氷河でも観測を行います。パタゴニアと両極を舞台にして、カービング氷河の変動に総合的な解釈を見出すことを目指しています。

謝辞

ここで紹介した研究の大部分は、榊原大貴さん（現・北極域研究センター）、箕輪昌紘さん（環境科学院）、澤柿教伸さん（現・法政大学）と共同で行ったものです。また現地での活動には Pedro Skvarca さん（カラファテ氷河博物館）、内藤望さん（広島工業大学）らの協力を得ました。その他、プロジェクトにご尽力頂いたみなさまに感謝します。本研究は科研費（23403006・26550001・16H05734）の助成を受けて実施しています。

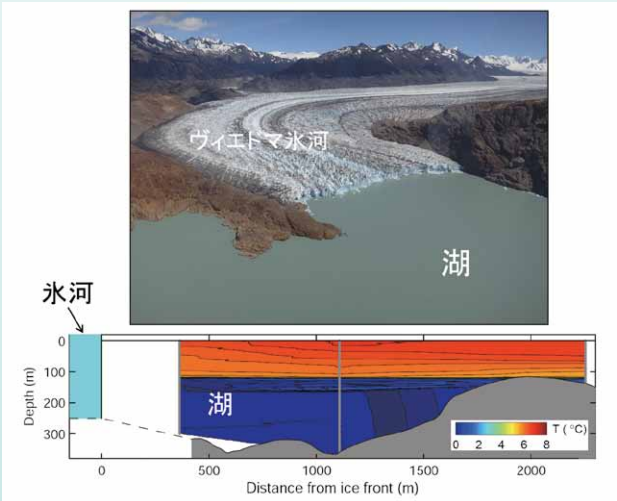


図 6. ヴィエドマ氷河末端部の写真と湖の水温分布。湖の深い部分はとても冷たい水で満たされています（Sugiyama et al., JGR 2016 を改変）。

北方四島　国後島における河川調査

環オホーツク観測研究センター　白岩　孝行

日露隣接地域生態系保全協力プログラム

オホーツク海とその周辺陸域のつながりを研究するにあたり、その重要性は誰もが認識しておりながら、研究対象として取り上げるのがとても困難な地域があります。我が国固有の領土である北方四島です。ロシアが実効支配するこの島々は、自国の領土でありながら、研究はおろか、立ち入ることさえ難しい地域です。私は四半世紀前にロシア極東の環境に興味を持ってから、長い間、この島々を訪れたいと思っていました。その理由は、北海道からロシア極東へと遷移していく自然環境を理解するためのミッシングリンクとしての存在。そして、既に人為的な擾乱を受けてしまった北海道の原風景としての存在にあります。

最近、日露関係は大きく前進する気配を見せていますが、残念ながら両国の隣接地域の環境理解および環境保全に関する協力はこれまで活発であるとは言えませんでした。例えば、私が研究する自然環境について言えば、北海道とロシア極東は隣接しており、両者の間をつなぐ自然環境が不可分であるにも関わらず、二国間で取り組む環境のための取り組みは漁業関係が中心で、その背景となる陸域・海域の自然環境の理解となるとあまり充分とは言えません。2005 年の秋に発生したアムール川支流の松花江のベンゼン汚染とそのオホーツク海への影響評価、2006 年春に北海道オホーツク海岸に漂着した油が付着した多数の鳥の死骸の死亡原因の究明等、日露隣接地域の環境を巡っては、ロシアと連携して解決すべき課題が多々あるのですが、有効な仕組みを欠いているのが現状です。

このような状況を憂い、日露両国は、オホーツク海を始めとする日露の隣接地域における生態系の保全及び持続可能な利用のための協力の具体的な方向性を示すことを目的とした協力プログラムを 2009 年 5 月に立ち上げました。ご縁があって、2015 年から私はこのプログラムの日本側委員長を仰せつかっています。このプログラムの中では、知床世界自然遺産と隣接する北方四島の生態系保全は、大きな関心事です。陸と海のつながりで維持される知床世界自然遺産の保全は、海を隔てて隣接する北方四島の環境と切っても切れない関係にあるからです。

写真1　セオイ川左岸にあるクリル自然保護区の監視小屋“サラトフロッジ”

委員長が北方四島を知らないわけにはいかないだろう、というご意見をいただき、2015 年 8 月、日露政府の進めるビザなし交流の枠組みのひとつとして行われている専門家交流団に参加させていただきました。訪問先は国後島です。調査団の主目的は国後島の中小哺乳類の調査にありましたが（福田他 , 2016）、この隊に同行し、国後島中部の山地・河川環境を見ることができました。既に開発の進んでしまった北海道の河川環境と何が違うのか、とりわけ、自然状態の湿原や森林を流域に持つ河川の水質はどのようなものなのか。このような興味を持って現地を訪問し、その期待に応えてくれる手応えを得たため、2016 年は本格的な調査を計画することにしました。

複雑な準備過程と国後島の豊かな自然

前年度の訪問を踏まえ、2016 年は自分が団長として国後島の調査団を計画することになりました。鳥類、植生（2 名）、国際法を専門とする皆さんに河川調査を目的とした私の 4 名です。これに環境省と外務省から担当官が 1 名づつ加わり、択捉島と国後島で河川とその周辺の植生・鳥類調査、ならびに島を実行支配するロシアがいかにして環境を保全しているかの制度に関する聞き取り調査を計画しました。

北方四島の調査計画は、前年の 11 月に環境省・外務省を通じて内閣府に計画書を提出することから始まります。この後、実際に出発するまで、実に様々な手続きと許可申請が課されます。これらの全てを記述すると一冊の本が出来てしまうのではないかと思うくらいです。初めての経験に面食らうことの多い半年でしたが、関係省庁や経験者のアドバイスに助けられて、2016 年 8 月 5 日、我々一行をのせた北方四島交流等事業船「えとぴりか」は大勢の人に見送られて根室を出港することができました。

当初計画では、前半の8月5日から7日の三日間が択捉島の調査、後半の8月8日から14日の一週間を国後島の調査に充てていました。しかし、前半の択捉島は予定していた地点に上陸がままならず、結局、研究調査活動を行うことができず、択捉島の火山や豊かな森林を船から望見するに留まりました。

8 月 8 日の早朝、ロシアが用意したはしけに乗船し、国後島最大の街、古釜布（ふるかまっぷ）に上陸したところから、いよいよ我々の調査が始まります。今回共同研究を行うクリル自然保護区のスタッフの出迎えを受け、この日は古釜布で明日から始まる調査の打ち合わせとロシアがいかにして保護区を運営しているかについての聞き取り調査を行いました。

8 月 9 日、台風 5 号のもたらした雨の中、大型の幌付きトラックに乗り、我々は国後島北部にある音根別川を目指して古釜布を出発しました。今回の調査の主目的

写真 2　爺爺岳西斜面に源をもつ音根別川河口付近。
国後島の調査ではヒグマと遭遇する確率がとても大きい。

は、古釜布から国後島北端にそびえる爺爺岳（ちゃちゃだけ：標高 1882m）に至る区間にある河川の環境と河川水質を調査することです。国後島には古釜布から南部に向かう道を除き、舗装された道はありません。このため、我々の調査は、海岸の砂浜を走るトラックと、内陸に分け入る際に使用する４輪バギーを用いて実行されました。台風による降水で増水した河川を渡ることは簡単ではなく、トラックは出発して１時間ほどで河川内でタイヤをとられてしまい、そこに放置することになりました。その後は、３台の４輪バギーで道なき道を辿って北を目指しますが、目的地までは到達できず、留夜別川のほとりにある自然保護区の監視小屋に宿泊することになりました。

監視小屋では、遊びに来たヒグマと鉢合わせになるというちょっとしたハプニングもありましたが、なんとか 10 日は北に進み、セオイ川左岸にある自然保護区の監視小屋“サラトフロッジ”に到着することができました（写真１）。太平洋を眼前に望む河岸段丘上にある気持ちの良い小屋です。以後、11 日から 13 日までの三日間、この小屋を拠点として、ノツカ川、音根別川、セオイ川、クラオイ川、留夜別川、チクニ川などの主要河川の流量・水質観測、ならびに周辺植生の調査を実施しました（写真２）。

北海道の原風景としての国後島の河川群

さて、今回初めて国後島の河川群とその周辺環境を調査したのですが、これらは北海道の河川と比べて、何が違っていたのでしょうか。正直な感想を言うと、国後島の環境は実に北海道的でした。目隠しをして、ここはどこかと聞かれたら、北海道のどこかだと思うでしょう。実に似ています。

しかし、両者には大きな違いがあります。今回調べた６河川のいずれにおいても、北海道の河川で目にする護岸の人工工作物や砂防堰堤などはありません。河川はじつにたおやかに、言い方を変えれば、その流路を自由に変えながら太平洋に注いでおりました。

水質においても違いがあります。沿岸域の植物プランクトンに利用される微量栄養塩のひとつとして挙げられている溶存鉄濃度が、国後島の河川群では高いのです。通常、溶存鉄は湿原を流れる河川で高くなることがわかっていますが、太平洋に注ぐ国後島の河川の流域に占める湿原の面積はさほど大きくありません。おそらくは流域に残された豊かな森林地帯に秘密があると予想していますが、こちらの調査はこれからの課題です。

短期間の調査ではありましたが、国後島の河川は北海道の河川のあり得べき姿を考える上で、とても重要な答えを与えてくれるであろうことを確認することができました。我々はどの程度まで河川に手を入れることができるのか、人の手が入っていない河川は、人の手が入った河川と比べて何が違うのか。北海道の河川環境の未来を考える上で、国後島の河川を知ることは実に有益であることを実感する旅でした。

本調査は NPO 法人北の海動物センターの事業として実施した。調査の実施にあたり、同法人代表の大泰司紀之 北大名誉教授と事務局の小林万里 東京農業大学教授には、様々なアドバイスをいただいた。記して感謝申し上げます。

参考文献

福田知子ほか７名 , 2016: 国後島の「ストルボフスキー生態観察路」の生物相概説 , 哺乳類科学 , 56（1）, 71-76.

低温科学研究所での 11 年

元雪氷新領域部門　田中　秀和

ご挨拶が遅れましたが、2016 年 4 月に東北大学の天文学専攻に異動致しました。低温科学研究所には 2005 年 3 月の着任より 11 年 1 ヶ月の間お世話になりました。低温研の素晴らしい研究環境・雰囲気の中で研究に没頭することができ、研究者として多少なりとも成長させて頂いた 11 年でした。

低温研においては理論惑星科学分野として「太陽系・系外惑星の起原」や「惑星形成現場における宇宙氷や塵の成長」に関する研究を進めてきました。低温研共同研究の支援のもと国内外の研究者とも広く多くの共同研究を立ち上げて成果を挙げることができました。ここでは、いくつかの研究成果について簡単に紹介させて頂こうと思います。

惑星形成現場における宇宙氷や塵の成長

惑星誕生への道のりは、若い恒星周りのガス円盤内における氷や珪酸塩でできた固体微粒子（ダスト）の付着成長で始まります。惑星は微惑星という km 程度の天体が集積してできたとされていますが、ダストから微惑星がどのようにできたのかは明らかになっていません。他の恒星周りの惑星形成現場の天文観測では、ダストの熱放射を観測します。またダストは分子生成反応が進行する場でもあります。これらの研究においても宇宙ダストの付着成長は重要となっています。

ダストの初期サイズは星間ダスト観測から 0.1 μm程度とわかっており、これらが付着成長したダストは 0.1 μmの構成粒子の集合体（アグリゲイト）となります（図 1 上）。従来はこのアグリゲイトの力学構造や付着過程の知見がなかったため、現実的なダスト成長モデルをつくることは不可能でした。

我々は、この状況に鑑みて、ダストアグリゲイトの衝突を、構成粒子個々の運動を追う個別要素法という数値計算手法を用いて詳細に調べ、ダスト成長過程へ応用しました。それにより、付着合体により非常に空隙の多い構造となること（図 1 上）や、この高空隙率構造が衝撃を効率よく吸収することで氷ダストの場合は時速 200km の高速衝突でも付着合体できる（図 1 下）という驚くべき結果を得ました。

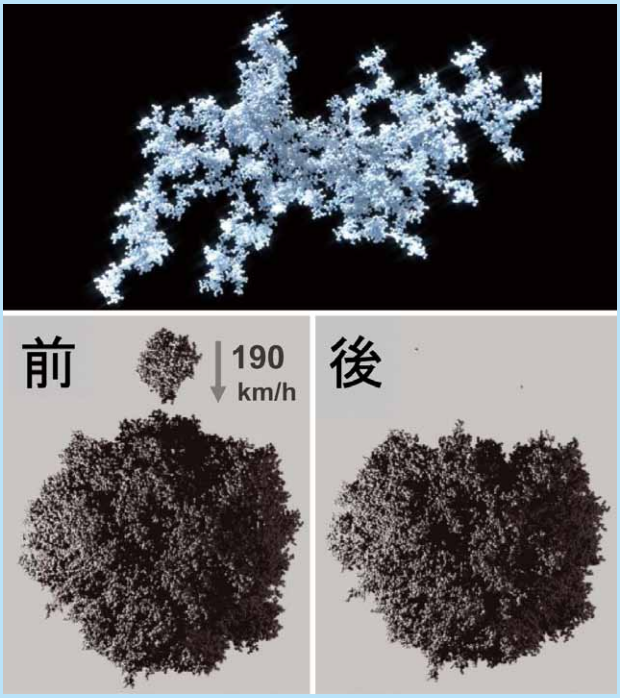


図 1：ダスト衝突の数値計算。
上：低速連続衝突でつくられた空隙の多いアグリゲイト。
下：アグリゲイトの高速度正面衝突の前後（Wada et al., A&A, 2013, Fig 2 を改変）。衝撃を効率よく吸収し合体した。

雪玉をつくるのにも苦労する北海道のパウダースノーを思い浮かべると、宇宙氷ダストが上記のように非常に付着しやすいことは一見不思議に思われます。しかし、これは両者の構成粒子サイズの差によるものでした。宇宙氷ダストは 0.1 μmという微粒子の集合体であるために高い付着性を持つのです。この得られたダストの微物理をもとにして、我々は付着成長による氷微惑星形成説を提唱しています。

次の目標は、高い空隙率をもつダストアグリゲイトを他の恒星の惑星形成現場の天文観測で見つけ出すことです。そのために高空隙率ダストが光をどれくらい吸収・散乱するかを表す光学モデルを新たにつくりました。ハワイのすばる望遠鏡や南米チリのアルマ望遠鏡では、惑星形成現場の鮮明な画像が次々と撮られています。（話が少々それますが、木星のような巨大惑星が形成されている現場の観察から理論モデルの検証するという研究も進めています。）我々の高空隙率ダストのモデルを天文観測から実証できたという報告を近々できるかもしれません。

過飽和蒸気における微粒子形成の分子動力学計算

飽和した蒸気が凝縮または凝結する場合、まず気体分子からナノサイズの微粒子がつくられ、それを核として凝縮・凝結が進行します。この凝縮核の生成率がこの過程の進行を律速するのですが、核生成率がどの程度になるかは未だ解明されていません。室内実験で得られた水の核形成率は、従来の古典的核生成理論が与える値から数桁以上もずれることが報告されており、有効な理論が存在しないことが深刻な問題となっています。宇宙ダストもこのような凝結でつくられるのですが、核生成理論の不定性のため生成される個数やサイズが決まりません。核生成に関して同様なことが多くの分野で問題になっているのです。

我々は、核生成過程を大規模な分子動力学計算を行うことで調べました。核生成の分子動力学計算はそれまで幾つか行われていましたが、分子数が数千と少ないため、室内実験よりもずっと過飽和が強く核生成率は 10 桁も大きい場合しか調べることができませんでした。我々は、分子数を増やしかつ長時間を追う大規模計算を行うことで、室内実験条件に近い低過飽和での核生成の再現を目指しました。

まずは、計算が簡単なアルゴン分子で 20 万分子の計算を行いましたが室内実験と同じ低過飽和度・低核生成率の領域までには届きませんでした。その後、チューリッヒ大学の宇宙論N体数値計算を行っている研究者と惑星科学者である我々とが共同しこの核生成の問題に再挑戦しました。彼らは大規模計算に慣れていたため、80 億分子までの計算をスーパーコンピュータで実行することができました。これにより、室内実験と同条件で実験値の核生成率を再現することに成功しました。また、広い過飽和度の範囲を様々な温度で調べることにより、従来の古典的核生成理論を修正する理論モデルを構築することもできました。

その後もチューリッヒ大学との共同研究で、水分子の凝縮核生成の大規模計算（図２）や、アルゴン分子では液体が沸騰する際の気泡核生成、液滴結晶化の核生成など様々な現象を分子動力学計算で明らかにしています。また、核生成実験を行っている宇宙雪氷学分野の木村勇気さんとの共同研究も現在進行中です。

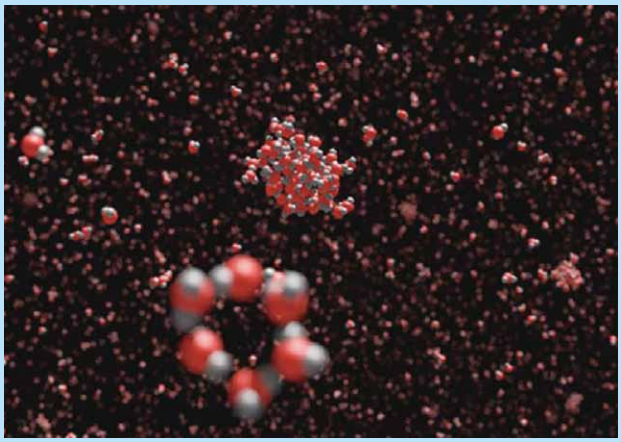


図 2：分子動力学計算でつくられた水の凝縮核。数値計算から凝縮核の生成率が直接求まるとともに、凝縮核のサイズ分布よりそれらの生成エネルギーも求まる。

今後の研究

分子動力学計算では、微粒子間の付着力を解明する研究にも挑戦していました。サブミクロンの微粒子を 1 億分子で構成し、その付着力を分子動力学計算で調べるというものです（図３）。この研究で、従来注目されていなかった微粒子付着の際のエネルギー散逸が観察され、理論化できそうなところまでこぎつけています。ダストの付着合体においても、このエネルギー散逸が効きそうです。

今後も、宇宙での微粒子の形成や付着成長という、ミクロな物質科学と密接に関連した現象から惑星形成にアプローチする研究を進めていきます。今後も学外から低温研の皆様と共同研究を行うことになりますので、引き続きどうぞよろしくお願い致します。

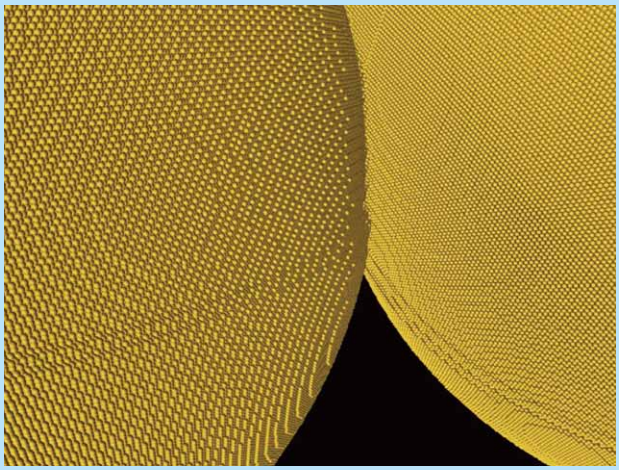


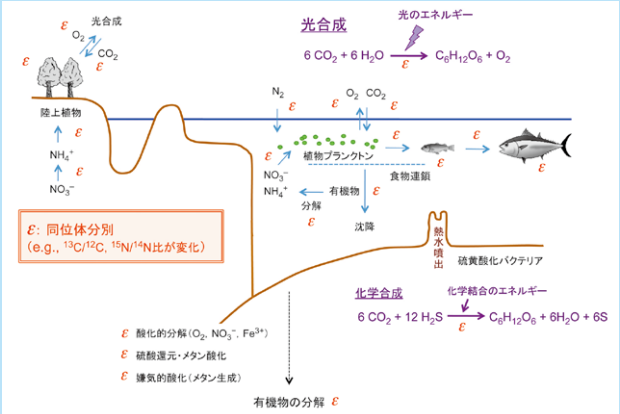
図 3：微粒子衝突の分子動力学計算。この数値計算では各粒子は 1 千万分子からなる。衝突時の高い応力でクラックができ強いエネルギー散逸がおきた（田中 , 分子シミュレーション研究会会誌アンサンブル、2015, 図 1 を改変）。

自己紹介

水・物質循環部門　力石　嘉人

本年度9月より水･物質循環部門、同位体物質循環分野の教授として着任致しました「力石嘉人」と申します。「リキイシ」ではなく「チカライシ」です。珍しい名字だと思いますが、小学生の時は、全校生徒のなんと10～15%は「力石」でした。生まれと育ちは、神奈川県の湯河原町です。湯河原町は、人口３万弱の過疎化が進む小さな町ですが、舛○前東京都知事が別荘に毎週末？通うほどの、温暖で自然が豊か、かつ、かの万葉集にも読まれ、古くから万病に効くと評判の良質な温泉が湧くことで知られる町です。また、夏に涼しく冬に暖かく、季節を問わず豊かな山海の幸に恵まれ、行楽・静養に、そして、研究計画の立案・試料の採取・論文の執筆にも、最適？？？な町です。このような温室育ちの私が、札幌の冬を無事に乗り越えられるのか、いささか不安ですが、低温科学研究所の研究と教育活動の発展に力を尽くしたいと思っていますので、皆様どうぞよろしくお願いします。

私は2004年に東京都立大学で博士号を取得し、その後の約12年間を国立研究開発法人 海洋研究開発機構で働いてきました。大学院在籍中も含めて、常に、「自然界に存在する様々なparadoxを1つ1つ確実に解き明かすことを目的に、有機化合物の安定同位体比を用いた新しい方法論を確立し、そして実際にparadoxを解き明かしていく」というスタイルで、研究を行っています。自然界には、ほぼ無限の種類の有機化合物が存在し、それぞれが特徴的な機能・役割を持っています。そして、有機化合物を構成する水素・炭素・窒素などの元素には安定同位体が存在し、その比率（安定同位体比：D/H, $^{13}C/^{12}C$, $^{15}N/^{14}N$など）には、(1) 地球上の物理化学・生化学反応の基質・経路・フラックスに対して定量的に変化する、(2) この基本原理が個々の反応スケールの研究から地球化学・地質学スケールの研究まで共通の一般則として広く適用できる、という２つの性質があります。従って、有機化合物の安定同位体比の研究には、適切な有機化合物の適切な元素の同位体比を、研究目的に合わせて「うまく」使うことができれば、我々の周りで起こる様々な現象を、優れた精度で「定量的」に理解することができる、という可能性があり、またそれに挑戦する「おもしろさ」があります。この「おもしろさ」が、私の研究を支える重要なモチベーションの1つであり、それを共同研究者や研究室の学生達と共有したいと考えています。



地球生物圏での有機物・エネルギーの流れ。安定同位体比の変化を利用して、「矢印の太さ（F)、長さ（1/t)、変化（dx/dt)」を定量化する。

低温研では、「同位体元素とエネルギー循環の統合的かつ定量的理解」、もう少し噛み砕いた表現をすれば、「太陽エネルギーがどのように地球の生物圏で保存、移動、消費されるのか、それらが有機化合物の安定同位体比にどのように記録されているのか、を本質的に理解すること」を研究テーマの中心にして、有機化合物の組成と安定同位体比に変動をもたらす基礎過程の解明と、その知見が地球表層の物質循環（とくに寒冷・低温環境における物質循環）の解明に貢献できるように、生理学、生態学、地球化学の統合的な側面から研究を進めて行きたいと考えています。また、このような研究を将来にわたって継続的にできるような人材の育成と、低温研内外の研究者・学生が有機化合物の安定同位体比を用いた研究に、容易にアクセスできるような環境作りに、力を尽くしたいと考えています。

私は、「研究」兼「趣味」として、「海釣り」と「小さな海水魚の飼育」をしています。研究面では、例えば、釣った魚や飼育した魚に含まれるアミノ酸の窒素同位体比（$^{15}N/^{14}N$）を測定し、沿岸域の生態系構造を明らかにし、捕食 - 被食の中で行われる物質循環に「普遍性」と「ゆらぎ」をもたらすメカニズムを調べています。趣味としての、魚との1対1の真剣勝負（美味しい魚ほど釣れない！）や、難飼育性の魚（キレイでカワイイ魚ほど飼育できない！）を飼育することへの挑戦には、研究と匹敵する「おもしろさ」があります。飼育されている魚の運命（冷凍されて、含まれる有機化合物の同位体比が測定される）さえ考えなければ、キュートな魚達に囲まれている研究室は、癒しの空間を提供してくれます。そのような癒しが必要な時には（もちろん、有機化合物の同位体比の可能性に触れたい、実際に使ってみたい、などの時も)、是非、同位体物質循環分野の研究室に遊びに来て下さい。

皆様どうぞよろしくお願いします。

研究室で飼育している稚魚達

自己紹介

水・物質循環部門　平野　大輔

これまでとこれからの研究

2016 年 10 月 1 日付で水・物質循環部門　海洋・海氷動態分野の助教に着任致しました平野大輔と申します。学位を東京海洋大学で取得した後、水産総合研究センターの国際水産資源研究所、国立極地研究所の国際北極環境研究センターや気水圏研究グループ（前職）に所属しておりました。専門は海洋物理学・極域海洋学で、観測船に乗船して南極・北極海へと出向き、現場観測で得られたデータを解析・研究するという観測研究に携わってきました。特に学生時代は、海洋大の「海鷹丸」という船で度々南極海へ行き、それらの観測航海で大島先生、深町先生、青木先生とご一緒することもありました。

ここで少し私の研究を紹介させていただきます。南北両極域の沿岸ポリニヤ（風や海流によって維持される薄氷域）では、活発な海氷生産に伴って低温で高密度の水が形成されます。南極海では、この高密度水が深・底層へと沈み込みながら変質することで南極底層水が形成され、これは全球を巡る海洋深層（熱塩）循環の駆動源として重要なプロセスです。北極海では、表層の低温水と中層の高温水（大西洋起源）の間へと沈み込むことで、高温水から表層や海氷への海洋熱供給を妨げる“バリア”の形成・維持に寄与します。このように、沿岸ポリニヤを起源とする高密度水の特性、変質過程やその動態といった諸現象の理解は、海洋循環や海氷の消長等の理解において極めて重要です。

南極海に関する研究としては、海洋の乱流混合を直接計測可能な乱流プロファイラーを用いて南極底層水の主要な形成海域（ケープダンレー沖やアデリーランド沖）で乱流観測を実施し、どの様な混合過程を経て南極底層水が形成されるのか等、南極底層水形成プロセスにおける乱流混合の役割について研究を行いました。

また北極海に関しては、アラスカバロー沿岸に冬季形成されるポリニヤの形成・維持機構について、係留観測や衛星観測データおよび数値実験の結果を合わせて調べました。その結果、同じ北東風という条件の下、このポリニヤでは海氷生産が促進されると共に、大西洋起源の高温水が下層から湧き上がってくる（湧昇）ことで海氷生産が抑制される、という特殊なハイブリッドポリニヤであることを提示しました。

また近年では、南極氷床の融解加速に伴う全球的な海水準変化が懸念されていますが、特に東南極地域の氷床融解メカニズムがよく分かっていません。まずは昭和基地の南西に位置する白瀬氷河の棚氷（氷床・氷河が海洋へと張り出した領域）をターゲットとし、海洋（暖水）による白瀬氷河の棚氷底面融解の現状を明らかにしたいと考えています。2017 年度の 59 次南極地域観測隊（通称 JARE）に参加して海洋や棚氷の観測を行い、棚氷ー海洋相互作用に関わるデータを取得する予定です。

不思議なご縁？？

話は飛びますが、学生の頃、低温研の若土先生（現・名誉教授）との何気ない会話の中で、若土先生と同郷（大阪府高槻市）であることを知り、かなりローカルな話が通じたことに驚きました。つい最近、これまたご本人から、私が今使わせて頂いている場所（席）は、その当時若土先生が低温研で使っておられた場所だということを伺いました。

出身高校はカトリック系ですが、テニス部の同期になぜか「お寺の長男」がいます。数年前、お坊さんとなった友人と久々に会った際、「人生はご縁や、何事もご縁で成り立っとるんやで」と彼はしきりに言っていました。全て偶然とはいえ、そんな友人の言葉が急に思い出され、勝手に不思議なご縁を感じた次第です。これまでの、そしてこれからの様々なご縁を大切に、低温研の一員として研究・教育活動に精進して参りたいと思います。皆様、今後ともどうかよろしくお願いいたします。

CTD（海水の水温・塩分を計測する測器）を用いた海洋観測

Report

■南極学カリキュラム紹介その４「南極学特別講義 II」

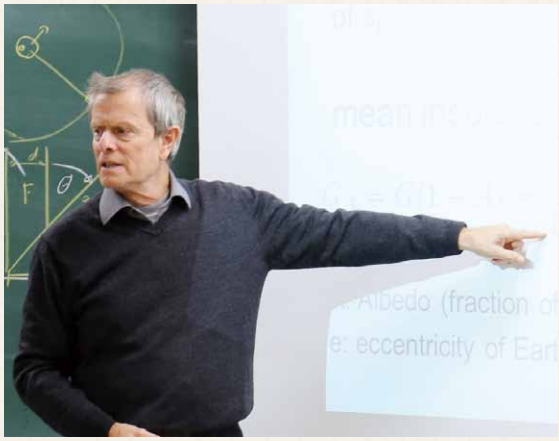
共同研究推進部（雪氷新領域部門）　杉山　慎

これまで３回にわたって「南極学カリキュラム」の野外実習をご紹介してきました。本カリキュラムではユニークな野外実習に力を入れる一方で、南極科学の基礎と先端について学ぶ講義にも充実を図っています。ふたつの「南極学特別講義」を開講する他、極域科学に関する環境科学院の様々な講義がカリキュラムの選択科目となっています。連載４回目の本稿では、「南極学特別講義 II」をご紹介します。

南極学特別講義 II では、海外から一線の研究者を講師として招聘し、南極を中心とした極域科学の基礎と最先端を英語で学びます。現在の講師はスイス連邦工科大学の Heinz Blatter 名誉教授とブレーメン大学の Wilhelm Hagen 教授。ヨーロッパを代表する両大学は北大の大学間交流協定校でもあり、長く南極学カリキュラムの実施に協力を得ています。Blatter 教授は氷河学を専門とし、氷河氷床、雪氷物理、大気・気象、気候変動など広い分野に知識と経験をもつ研究者です。本講義の担当はすでに 10 年目。本学の大学院生を良く理解して、毎年きめ細かい指導を実践しています。一方の Hagen 教授は極域での海洋生物学が専門。北極と南極における数々の調査経験に基づいて、現場の写真も交えた迫力のある講義内容です。

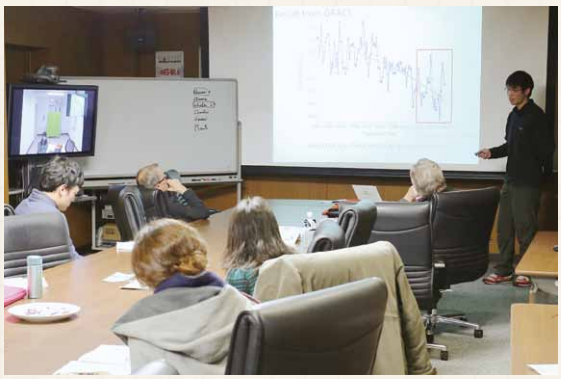
科学的な内容の理解に加えて、英語による講義を聴講し、質疑応答を通じて英語によるコミュニケーションを経験することも講義の重要な目的。プログラムの一部では、南極科学に関する最新の知見を受講生自身が英語で紹介します。講師を前にした英語の発表に受講生はもちろん緊張気味。しかしながら本学での豊富な講義経験を持つ両講師は、いつも笑顔で受講生の緊張を和らげてくれます。講義の最終回には講師を囲んでスープカレーを食べに出かけるなど、楽しい課外活動の機会もあります。

当初は大学院生のみを対象にしてきたこの講義ですが、2013 年度からは国際交流科目として学部学生や留学生の受講を受け入れています。南極に憧れを持つ若い学生や、語学に堪能な留学生を交えて、ますます刺激的なプログラムに発展してきました。これからもより多くの学生に、南極が地球環境に果たす重要な役割とそのダイナミックな変化について学んで欲しいと願っています。



Heinz Blatter 教授による力の入った講義。

受講生とのコミュニケーションを大切にする Wilhelm Hagen 教授。


受講生による英語のプレゼンテーション。遠隔講義システムを使って函館キャンパスの学生も受講しています。

Report

海外調査

■杉山　慎

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：2016 年 6 月から 8 月

③参加者：杉山慎、深町康、大橋良彦、浅地泉（低温研）、Evgeny Podolskiy、漢那直也、榊原大貴（北大・北極域研究センター）、高橋美野梨（北大・スラブユーラシア研）、西沢文吾（北大・水産）、山崎新太郎（北見工大）、スチュアート・ヘンリ（放送大学）、スイスとイタリアの研究者 5 名

④カウンターパートの機関名：スイス連邦工科大学、フィレンツェ大学

⑤観測目的：

グリーンランド北西部における氷河氷床と海洋の相互作用を研究課題として、ボードイン氷河、ボードインフィヨルド、カナック氷帽にて観測を行った。また環境変化が人々の暮らしに与える影響を調べるため、カナック村にて社会科学的調査を実施し、村民を招いたワークショップを開催した。本研究は ArCS 北極域研究推進プロジェクトのもとで実施した。

カナック村民と開催したワークショップ

氷河前のでの海洋観測

Publication

「低温環境の科学事典」

体裁：A4
頁数：411 ページ
編集：河村 公隆、大島 慶一郎、小達 恒夫、川村 賢二、佐﨑 元、杉山 慎、関 宰、高橋 晃周、西岡 純、原 登志彦、福井 学、藤吉 康志、三寺 史夫、宮﨑 雄三、本山 秀明、渡部 直樹
出版：朝倉書店
定価：11,880 円（税込）

本書は、北海道大学低温科学研究所と国立極地研究所の研究者を中心に、約 150 名の研究者によって執筆されています。低温の場としては、身近な大気（地表付近から超高層まで）、高緯度（南極・北極）、山岳地帯、海氷、深海さらには宇宙空間までを対象としています。身の周りの低温現象から地球・宇宙に至るまで、低温に関わるキーワードを広く挙げて、一般の人にもわかりやすく解説されています。

（目次）

第1章　超高層・中層大気
オゾンホール
極成層圏雲
極中間圏雲
極夜ジェット
極域大気の不思議な温度構造
成層圏突然昇温
ブリューワー -ドブソン循環
成層圏の水蒸気
温暖化に伴う中層大気の変化
オーロラ
磁気嵐
極域の大気潮汐波
超高層大気の長期変動
宇宙から観たオゾン同位体
中層大気の塩素化学

第 2 章　対流圏大気の化学
北極霞
南極積雪中の化学成分
炭素質エアロゾルの光学特性
生物氷晶核
大気バイオエアロゾル
積雪中のブラックカーボン
温室効果気体
山岳大気中の雲凝結核
シベリア上空の温室効果ガス
立山・室堂平の積雪中の化学成分
富士山麓における生物起源 VOC
北極圏でのメタン濃度変動と
メタンの炭素・水素同位体比
高緯度森林大気でのイソプレン
とホルムアルデヒド
南極大気中の海塩粒子
北極海での大気観測
森林火災，バイオマス燃焼
対流圏オゾン
極域におけるハロカーボン

第 3 章　寒冷圏の海洋化学
極域海洋の炭素循環・気体交換過程
極域海洋の栄養塩動態
極域海洋の酸性化
北極海の微量金属元素の動態
極域海洋の非生物態有機物動態
陸域 - 海洋相互作用
海氷上のフロストフラワー
極域海洋の基礎生産
極域海洋の生物ポンプ
極域海洋の海氷変動史
南大洋の基礎生産変動史

第 4 章　海氷域の生物
アイスアルジー
春季氷縁ブルーム
南極の動物プランクトン
北極の動物プランクトン
海氷生物群集
南極海洋生態系の鍵種：
ナンキョクオキアミ
南極の魚
コオリウオ類
不凍魚
南極海の魚のこども，そのくらし
ホッキョクダラ
極域の海鳥類
ペンギン
アザラシ
ホッキョクグマ
クジラ類

第 5 章　海洋物理・海氷
海氷・海洋アルベドフィードバック
海氷の熱的性質とブライン
海氷の生成と成長過程
海氷の結晶構造
フラジルアイスと過冷却
海氷のモデリング
沿岸ポリニヤ
海洋深層循環
南極底層水
北大西洋深層水
オホーツク海での海氷生成
北極海の海氷減少と地球温暖化
海氷リモートセンシング
棚氷と海洋の相互作用
淡水循環と極域

第 6 章　永久凍土と植生
永久凍土の形成・分布
永久凍土の物理と化学
植物の分布
寒冷圏冬季の光合成
北方林の天然更新
北方林樹木の繁殖様式
樹木細胞の凍結挙動
樹木の生理生態的特徴と
寒冷域の環境要因
寒冷域の光ストレスに対する
植物の応答
北方林における森林火災
北方林への人為的影響
北方林における熱・水収支
過去の植生変動
地球環境変動と北方植生
北方林における物質生産
北方林の利用
北方域における人と動物の暮らし
年輪が語る過去の気候変動
永久凍土と北方林生態系の将来

第 7 章　寒冷圏の微生物・動物
好冷性・耐冷性微生物
雪氷藻類
氷核活性微生物
雪と植物病原菌
南極の地衣類はどこから来たのか
クマムシ
雪氷動物
昆虫の耐寒性
鳥類の低温生存戦略
哺乳類の低温適応
彩雪現象
アカシボ
湿地・湖沼のメタン循環
土壌凍結と微生物
永久凍土と微生物
氷河・氷床・氷底湖の微生物
氷河生態系
極地砂漠
高山湖沼生態系
南極湖沼生態系
メタンハイドレードと微生物
好雪性変形菌類

第 8 章　雪氷・アイスコア
地球最古の氷
氷期 - 間氷期サイクル
グリーンランドの気候変動
氷河湖
氷河地形
氷河底面プロセス
日本の氷河
雪国への恵み，雪資源
河川・湖沼の雪氷現象
アイスコア掘削技術
さまざまな過去の気温推定法
アイスコア解析の最先端
アイスコアの空気からわかること
氷上・氷河上ダストの起源
屋久杉とアイスコア
グリーンランド氷床の表面融解
ドームふじ基地での越冬観測
雪氷圏のガスハイドレード
粒々のダイナミクス
南極とグリーンランドの氷床
質量変化と海面上昇
過去の二酸化炭素濃度の変動

第 9 章　寒冷圏から見た大気・海洋相互作用
オホーツク海高気圧の発達
オホーツク海の下層雲・霧と
大気海洋相互作用
ストームトラック
アリューシャン低気圧
北極振動
成層圏ー対流圏結合
北太平洋亜寒帯循環の長期変動
環オホーツク地域の大気海
洋海氷相互作用
北極海海氷変動と気象気候
南極大気・海洋の長期変動

第 10 章　寒冷圏の身近な気象
気温が下がる仕組み
ポーラーロウ
爆弾低気圧
冬季雷・竜巻
ブリザード
降雪粒子と雪雲
低温域で発生する雲
雪と雨の境目
蜃気楼
ハロー
気象改変

第 11 章　氷の結晶成長，宇宙における氷と物質進化
氷結晶の構造と相図
氷 Ih の相転移と自然現象
アモルファス氷の相転移
雪の成長とその形
氷結晶の融液からの成長
氷結晶の成長機構
表面融解
雪から氷へ
不凍タンパク質と氷核タンパク質
クラスレートハイドレートの物性
オホーツク海のメタンハイドレード
凍結現象と化学反応
機能材料としての氷
宇宙低温下の気相反応と分子生成
分子雲での化学進化
氷星間塵
氷星間塵表面での化学
星間雲における有機物生成
氷惑星・氷衛星
宇宙の氷
彗星
彗星での化学進化

「100万人のフィールドワーカーズシリーズ 12 女も男もフィールドへ」

椎野若菜・的場澄人　編
古今書院
平成28年6月発行
ISBN978-4-7722-7133-2

本書は、自然科学や人文社会科学など様々な分野のフィールドワーカーが、テーマに基づいて自らの経験を紹介する「100万人のフィールドワーカーズシリーズ」の第12巻である。本書のテーマはフィールドワーカーの性（ジェンダー、セクシャリティー）と出産や子育てなどのライフイベントである。

本書は3つのパートからなっている。最初のパートのテーマは「フィールワーカーのジェンダー」、である。フィールドワーカー個人の持つジェンダーやジェンダー観と、研究対象またはフィールドで共同研究をともにする異性との関わりを取り上げた。二つ目のパートのテーマは「子連れフィールドワーカー」である。オランウータンの森、イルカの海、アフリカの村落や都市へ、準備に膨大な時間とエネルギーをとられ、病気や怪我を心配しながらも、子どもとフィールドに連れて行くフィールドワーカーの体験を取り上げている。三つ目のパートのテーマは「ライフイベントとフィールドワーカー」である。就職、妊娠、出産、授乳、介護などの年齢とともに訪れる人生のイベントと近親との関係において、フィールドワークをどう捉えていくのかを取り上げている。

現在の自分の置かれた状況に対し、時に迷い苦しみ、時に楽しみ笑いながら、試行錯誤をしている30～40歳代のフィールドワーカーの体験が赤裸々に語られている。

本書内容

パート1：フィールドワーカーのジェンダー

1．フィールドで「ヨメサン・ムスメ」となるためのスイッチ（中川千草）
2．雪氷女子の誕生（永塚尚子）
3．自分を守りつつ調査する　－インド「ヒジュラ」へのアプローチ（國弘暁子）
4．「ゲイ・コミュニティー」でフィールドワークする（新ヶ江章友）

パート2：子連れフィールドワーカー

5．子どもを連れてボルネオ島の熱帯雨林へ（久世濃子）
6．ベビーを連れてアフリカへ　－ナイロビ、カンパラでの経験（椎野若菜）
7．子連れフィールドワーク　－ウガンダの村落での経験を中心に（杉田映理）
8．家族でフィールドワーク　－伊豆諸島御蔵島でのイルカ研究（酒井麻衣）

パート3：ライフイベントとフィールドワーカー

9．フィールドに行けないフィールドワーカー（四方篝）
10．響きあう家族のかたち　－南インドのフィールド・ライフ（石井美保）
11．カップルでのフィールドワーク（菊地滋夫・菊地紀久恵）
12．子持ちのフィールドワーカーと子育てするフィールドワーカー（三谷曜子）

コラム

女も男も無意識の思い込みに気づくために（長堀紀子）
嫁さんマイル（的場澄人）

付録

若手研究者支援制度と女性研究者支援制度
アンケート：フィールドワークとキャリアアップ、子育て、介護などの両立を考える

（的場　澄人）

(H28.6.23)

極低温氷表面における水素分子のエネルギー状態転換機構の解明：宇宙における分子進化の鍵

発表者：教授　渡部　直樹

研究成果の概要：

宇宙で最も存在度の高い水素分子は、宇宙空間に浮遊する氷微粒子上で２つの水素原子が合体して生成します。生成した水素分子には異なる原子核スピン状態に起因する、オルソとパラと呼ばれる２つのエネルギー状態が存在します。水素分子がどちらのエネルギー状態で氷微粒子から宇宙空間に放出されるかは、宇宙における分子進化を左右する重要な鍵になります。オルソ－パラ間のエネルギー状態は分子が氷微粒子から離れると変化しないため、分子の生成母体である氷微粒子上での状態変化に大きな関心が向けられていました。本研究では、このエネルギー状態の時間変化率（時間と共に変化する割合）がわずか－264℃から－257℃の温度範囲で急激に変化すること、また、その変化が生じるメカニズムを世界に先駆けて明らかにしました。これは従来考えられていた宇宙における分子進化の理解に一石を投じる成果です。

本研究は、Physical Review Letters の Editors’ Suggestion に選ばれました。

論文発表の概要：

研究論文名：Surface Temperature Dependence of Hydrogen Ortho-Para Conversion on Amorphous Solid Water（アモルファス氷表面における水素分子オルソ - パラ転換の温度依存性）

著者：植田寛和（北海道大学、現：物質材料研究機構）、
渡部直樹（北海道大学）、羽馬哲也（北海道大学）、香内 晃（北海道大学）

公表雑誌：Physical Review Letters（American Physical Society）

公表日：米国東部時間 2016 年 6 月 22 日（水）（オンライン公開）

(H28.8.9)

「生きた化石」キューバソレノドンの起源は恐竜の絶滅よりも新しかった

発表者：助教　大舘　智志

研究成果の概要：

「毒を持つ珍獣」や「生きた化石」と呼ばれるキューバソレノドンを含む真無盲腸目（モグラの仲間）の系統関係と分岐年代の推定を、DNA の情報を用いて明らかにしました。その結果、ソレノドン科は真無盲腸目のなかで最初に分岐したことがほぼ確定しましたが、その時期はメキシコのユカタン半島への大隕石落下後、つまり恐竜の大絶滅の後に起こっていたことが分かりました。また現生の２種のソレノドンの種分化は、従来の説とは異なり生息地の地理的な分離の後に起こり、海洋を漂流してそれぞれの島で進化したことが分かりました。また真無盲腸目では、毒の獲得は独立して何回か起こったと考えられます。

この研究成果は国際的に大きく評価され、イギリスの科学雑誌“Scientific Reports”に 2016 年 8 月 8 日（月）に掲載されました。

論文発表の概要：

研究論文名：Molecular phylogenetic analysis of nuclear genes suggests a Cenozoic over-water dispersal origin for the Cuban solenodon（核の遺伝子に基づく分子系統学的分析によるキューバソレノドンの新生代における渡海による起源の示唆）

著者：佐藤 淳（福山大学生命工学部）、大舘智志（北海道大学低温科学研究所）、Lazaro M.Echenique-Diaz（宮城教育大学環境教育実践研究センター）、Rafael Borroto-Páez（キューバ、動物学会）、Gerardo Begué-Quiala（キューバ、アレハンドロ・デ・フンボルト国立公園）、Jorge L.Delgado-Labañino, Jorgelino Gámez-Díez（キューバ、アレハンドロ・デ・フンボルト国立公園）、José Alvarez-Lemus（キューバ、科学技術省）、Son Truong Nguyen（ベトナム科学アカデミー、生態学および生物資源研究所）、山口誠之（カタール、カタール大学生物環境科学部）、北 将樹（筑波大学数理物質系）

公表雑誌：Scientific Reports

公表日：英国時間 2016 年 8 月 8 日（月）（オンライン公開）

(H28.9.13)

メンデルの緑色の豆の原因を解明～クロロフィルを分解する酵素の発見～

発表者：助教　伊藤　寿

研究成果の概要：

植物は光を吸収するクロロフィルを持つため、葉が緑色をしています。秋の紅葉は、クロロフィルが分解されるために起こる現象です。クロロフィルはマグネシウム（Mg）と結合していますが、クロロフィルの分解はこのマグネシウムが外れることにより始まります。今までマグネシウムを外す酵素（Mg 脱離酵素）はわかっていませんでしたが、今回、Mg 脱離酵素を決定することに成功しました。興味深いことに、これは植物が緑色を長く保持する（Stay-Green）突然変異体の原因遺伝子として知られていた SGR でした。このことから、メンデルが遺伝学の法則で利用した緑色の豆の原因は、クロロフィルからマグネシウムを外すことができないことであることが明らかになりました。

この成果は、植物の老化・紅葉の解明に貢献するとともに、有機物から金属を外すという新しい種類の酵素反応として重要な発見になることが期待されます。

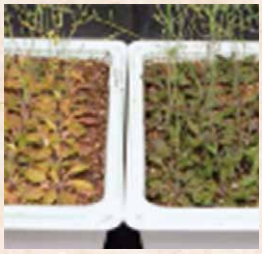
論文発表の概要：

研究論文名：Arabidopsis STAY-GREEN, Mendel's Green Cotyledon Gene, EncodesMagnesium-Dechelatase（シロイヌナズナにおけるメンデルの緑色の子葉の遺伝子はマグネシウム脱離酵素である）

著者：下田洋輔（元 北海道大学低温科学研究所）、伊藤 寿、田中 歩（北海道大学低温科学研究所）

公表雑誌：The Plant Cell（植物生理学の専門誌）

公表日：米国東部時間 2016 年 9 月 7 日（水）（オンライン公開）



(H28.10.19)

氷の表面はなぜ濡れる？ 氷にまつわる長年の謎を解明

発表者：助教　村田　憲一郎

研究成果の概要：

氷の表面は氷点下にあっても擬似液体層と呼ばれる非常に薄い水膜で濡れています。この現象は氷の表面融解として 150 年以上前から知られていますが、そのメカニズムは今なお謎に包まれています。本研究では独自の光学顕微鏡を駆使し、擬似液体層が様々な温度、水蒸気圧下でどのように生成・消失し、氷表面を濡らしているのかについて詳細な観察を行いました。その結果、従来の定説に反し、水はそれ自身の固体である氷を完全に濡らすことができないこと、それゆえ、擬似液体層は平衡状態※1 では安定に存在できず、蒸発してしまうことが分かりました。一方で、氷表面がある一定の氷の成長条件もしくは昇華条件を満たしたときのみ、擬似液体層が生成されることも突き止めました。この結果は、擬似液体層が水蒸気から氷へと相変化する過程（もしくはその逆）で過渡的に生み出される中間状態であることを強く示唆します。本研究成果は、長年の謎であった氷の表面融解を引き起こすメカニズムを新たに解き明かすと同時に、他の結晶表面における表面融解を理解するための普遍的枠組みを与えるものと言えます。

※1　平衡状態：ここでは氷表面がある一定温度、かつその温度での氷の平衡蒸気圧に保たれている状態を指す。この状態では氷は成長も昇華もしない。

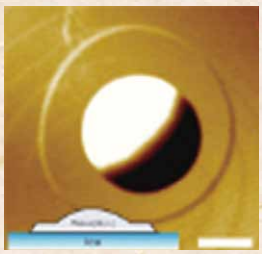
論文発表の概要：

研究論文名：Thermodynamic origin of surface melting on ice crystals（氷結晶における表面融解の熱力学的起源）

著者：村田 憲一郎（北海道大学）、麻川 明俊（北海道大学、現：山口大学）、長嶋 剣（北海道大学）、古川 義純（北海道大学）、佐崎 元（北海道大学）

公表雑誌：米国科学アカデミー紀要

公表日：米国東部時間 2016 年 10 月 17 日（月）午後 3 時（オンライン公開）



AWARD

宮﨑　雄三
公益社団法人 日本気象学会 2016 年度 正野賞
（平成 28 年 10 月 27 日受賞）

木村　勇気
第 12 回（2016 年度）日本マイクログラビティ応用学会 研究奨励賞
（平成 28 年 10 月 27 日受賞）

ミュラー・アストリッド
第 22 回大気化学討論会（日本大気化学会）学生優秀発表賞
（平成 28 年 10 月 14 日受賞）

隅田　明洋
平成 28 年度「科学研究費」審査委員の表彰
（平成 28 年 9 月 30 日受賞）

中田　和輝
北海道大学 環境科学院 2016 年度 松野環境科学賞
（平成 28 年 9 月 23 日受賞）

羽馬　哲也
第 17 回 原子衝突学会 若手奨励賞
（平成 28 年 4 月 27 日受賞）

■平成 29 年度共同研究・研究集会の公募について

平成 29 年度共同利用・研究集会は、平成 28 年 12 月 1 日から募集を開始しています。
詳しくは、当研究所ホームページの「共同研究」のページでご確認願います。
http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/kyoudou.html

■人事異動（平成 28 年 4 月 2 日から平成 28 年 10 月 1 日まで）

異動日	異動内容	氏　名	職　名	備　考
H28.7.1	転　出	江崎　公二	係員（総務担当）	工学系事務部　総務課（人事担当）へ
H28.7.28	採　用	GLADYSHEV SERGEY	特任教授	
H28.7.31	任期満了	永田　浩一	技術補助員	
	任期満了	Jia Ting	学術研究員	
H28.9.1	採　用	力石　嘉人	教授	海洋研究開発機構　主任研究員から
H28.9.2	任期満了	VORONTSOV Dmitry Anatolievich	特任准教授	
H28.9.30	任期満了	POKHREL AMBARISH	特任講師	
H28.10.1	採　用	平野　大輔	助教	国立極地研究所　特任研究員から
	採　用	DIVYAVANI	学術研究員	
	配置換	山崎　智也	博士研究員	

編集後記

▶インドアからアウトドアまで低温研の幅広いアクティビティーをお楽しみください。（佐崎）
▶今号は、微小世界、宇宙、北方四島、パタゴニアと、低温研究の広がりを感じさせる記事が集まりました。（田中）
▶今回も盛りだくさんの内容となりました。滅多に見ることのできない北方領土の風景写真も掲載しています。必見ですよ!（日高）
▶新しく低温研のメンバーとなられた2名の先生も紹介されており、充実した内容となっています。（長尾）

低温研ニュース第42号
（北海道大学低温科学研究所広報誌）
発行人：低温科学研究所所長
編　集：低温研広報委員会
（佐崎　元、田中　亮一、日高　宏、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。
http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/newsletter.html