低温研ニュース

ILTS

2019年12月
No.48

打ち上げを待つ観測ロケットBlack Brant IX 343号機
（撮影：US Army）

打ち上げを待つ観測ロケットMASER 14
（撮影：スウェーデン宇宙公社）

Research

北太平洋の表層と中層をつなぐ子午面循環の研究
（三寺　史夫）…… 2

冬に備えてハムスターは脂肪組織を変化させる
（山口　良文）…… 5

季節海氷域の振る舞いの理解に向けて
（豊田　威信）…… 8

People …… 11

Report

海外調査
（杉山　慎）…… 13

海外調査
（大島　慶一郎）…… 14

Publication／Press Release／News

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

北太平洋の表層と中層をつなぐ子午面循環の研究

環オホーツク観測研究センター　三寺　史夫

海洋の子午面循環

海洋では、低緯度から高緯度に運ばれた表層の海水が極域の寒気にさらされて重くなり、深く沈み込みながら中深層を通ってまた低緯度に戻るという、南北面（子午面）での鉛直循環が生じています。これを子午面循環と呼びます。世界で最も重い海水ができるのは南極沿岸、次いで重くなるのがグリーンランド沖で、これらは世界中の深層循環を形成します。一方、北太平洋域で生成される最も重い水はオホーツク海北部の大陸棚で作られ、それが北太平洋へと流れ出て中層（300-800m 程度）を通り低緯度へと向かう比較的浅い子午面循環を形成します。オホーツク海北部の重い水は活発な海氷生産により塩分が濃縮されて出来る海水であり、高密度陸棚水（DSW; Dense Shelf Water）と呼ばれています。オホーツク海における DSW の沈み込みは、アムール川を起源とする鉄など海洋生物生産に重要な栄養物質の長距離輸送に寄与しており、豊かな親潮海域の基盤であることがわかってきました。

オホーツク海における沈み込み

北太平洋の DSW が中層までしか到達しないのは、表層塩分が南極海域に比べて低いためです。このことは、オホーツク海北西部の表層塩分が、北太平洋の子午面循環の変動を決定する主要因であることを意味します。したがって子午面循環の変動を解明するために先ず肝要なのは、沈み込みを起こす DSW の塩分変動の把握でした。しかしながら、DSW が生成されるオホーツク海北西部はロシアの排他的経済水域（ロシア水域）にあり、データが少ないという問題がありました。そこで我々はロシア極東海洋気象学研究所と共同研究することにより、これまで未公開だったデータを含むロシア水域の海洋データ解析を実現し、DSW の塩分とその変動要因の抽出に成功しました。その結果、DSW 塩分は、ここ 50 年間で著しい低塩化傾向にあること、顕著な 10 年規模変動を示すこと、また変動を引き起こす重要な要因は「アラスカンストリームや西部亜寒帯循環から発し、ベーリング海を経由してオホーツク海北部に到達する、表層塩分変動の長距離伝搬」であること、を発見しました（図１）。

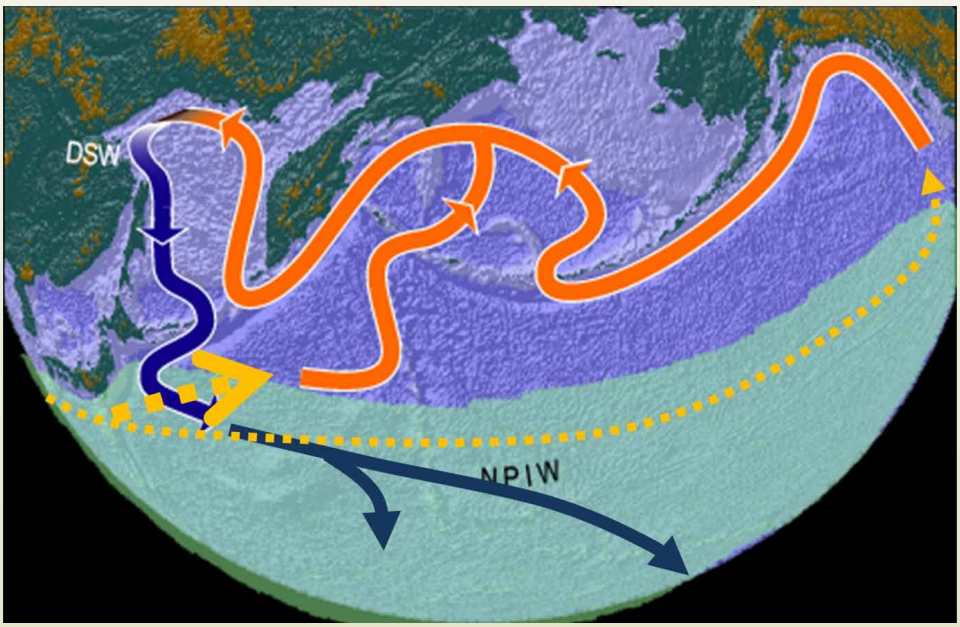


図１　表層と中層を繋ぐ北太平洋子午面循環の模式図。オレンジ色が表層ルート、藍色が中層ルート。黄色の破線矢印は亜熱帯から亜寒帯への高塩水供給ルートで、太いものが表層ジェット。

この表層塩分の低下は、オホーツク海においてはDSWの沈み込みに伴って水深500mの海洋中層まで及び、その著しい低塩化を引き起こすことが明らかとなりました。また、低塩化に伴い中層水温も上昇することも分かりました。数値シミュレーションによると、中層温暖化に対する表層低塩化の影響は、海氷生産によるDSW供給量変動の影響とほぼ同程度ということが判明しました。

子午面循環の強度を決める北太平洋表層の海水ルート

以上より、北太平洋低緯度域からオホーツク海に至る子午面循環表層ルート上の塩分が、DSW塩分ひいては沈み込み強度にとって重要であることが分かります。気候変動に関する政府間パネル（IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change）の報告によると、地球温暖化に伴い高緯度地域･海域では降水量が増加しています。北太平洋高緯度域でも降水量が増えており、亜寒帯循環の表層では明らかな低塩化が生じています。DSWの低塩化傾向が北太平洋亜寒帯循環のものと同程度であることから、前述したような水深500mまで達するオホーツク海の低塩化は、亜寒帯循環における表層塩分低下が図1のルートを通ってオホーツク海に到達することにより生じる、ということが分かります。

一方、大局的にみると、北太平洋亜寒帯域では蒸発に対して降水や河川からの淡水供給が過多であり、表層塩分は常に希釈される傾向にあります。したがって、どこからか塩供給がなければ、亜寒帯の海水の塩分はどんどん薄くなります。その塩供給を担っているのが、亜熱帯循環と亜寒帯循環の境界を横切る子午面循環の表層ルートです（図1破線矢印）。この循環境界を横切るルートが北海道東方1000㎞沖合にある海洋表層ジェット（通称、磯口ジェット）であることがわかってきました。このジェットは海洋の真ん中にあるにもかかわらずほぼ決まった位置にあるため長らく不思議に思われてきましたが、水深6000mの深海にあるわずか500mほどの海底起伏の影響が表層まで及び、循環境界を横切る表層ジェットを作り出すというメカニズムが明らかとなりました（図2）。

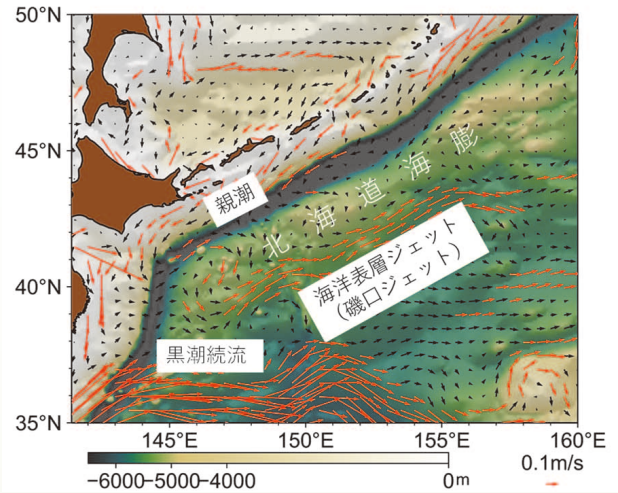


図2　北海道東方の海洋表層海流（矢印）と海底起伏（カラー）。海底起伏は5000m以深を強調している。海洋表層ジェット（磯口ジェット）の形成には、深海6000mにあるわずか500mほどの北海道海膨と呼ばれる海底起伏が本質である。

この表層ジェットが高温高塩の黒潮水を亜熱帯から亜寒帯循環へと運びます。それが亜寒帯循環を巡りやがてオホーツク海に到達して中層に沈み込むという、北太平洋子午面循環の三次元的構造が見えてきました（図1）。

北太平洋子午面循環を制御する陸海結合システム

亜寒帯循環からオホーツク海北部へと至る塩分変動のルートは、図1で示されるように、北米大陸からユーラシア大陸にわたって陸岸に沿っています。このことは、河川を通した大陸から海への淡水供給が、DSW塩分に影響を及ぼしうることを示しています。実際にオホーツク海北部のDSW塩分とカムチャツカ半島の降水量の関係を調べると、逆相関であることが判明しました。つまり、カムチャツカ半島上の降水量が大きい時には、DSW塩分は薄いということであり、合理的な関係です。このことから、DSW形成に与えるカムチャツカ半島の陸水の影響を解明することが喫緊の課題となりました（図3）。

そこでまず、陸面モデルを活用し、過去30年間の気象客観解析データを入力値としてカムチャツカ半島の河川流量の推定を試みました。ロシア水文気象環境監視局

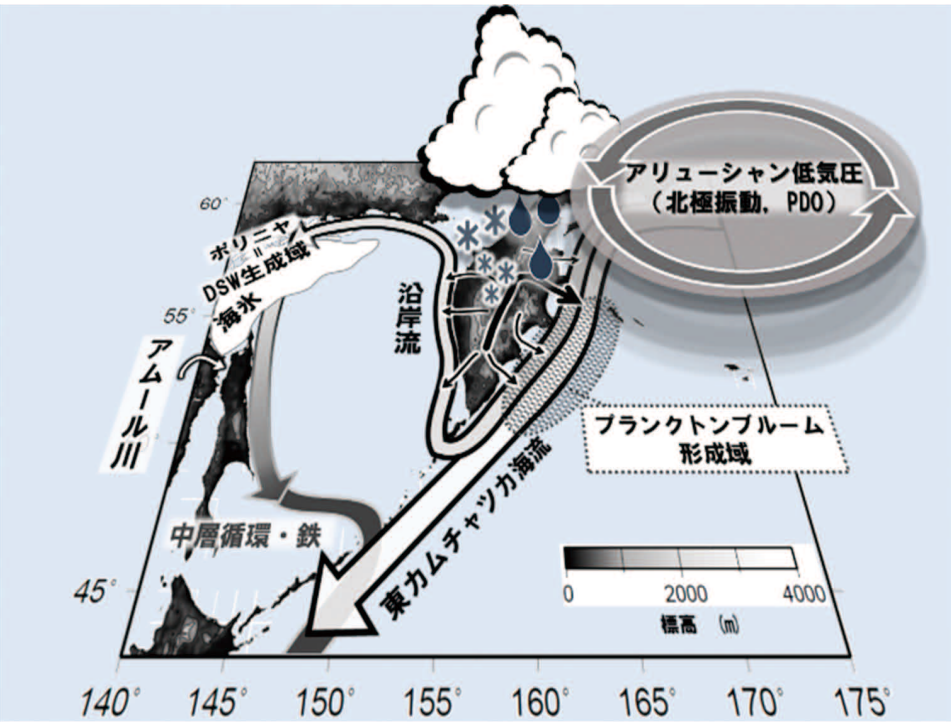


図３　オホーツク海とその周辺地域における陸海結合システムの概念図

から入手した 13 河川の月別流量を用いてモデル出力値の検証を行ったところ良い一致が見られ、カムチャツカ半島から北太平洋・オホーツク海に流出する河川流量を定量化することに成功しました。これにより、DSW 形成における海洋表層塩分を、河川流量を考慮した陸と海の相互作用の観点からも定量化することが可能となりつつあります。

オホーツク海では、海氷減少や海洋中層温暖化など、気候変動による影響が顕在化しています。上述したように、オホーツク海の DSW 形成が起点となる子午面循環には、シベリアからの吹き出しによる海氷生成に加え、カムチャツカ半島の降水による河川流出やアラスカ湾から到達する海洋表層の塩分変動が大きな寄与を及ぼす、という、新たな海洋循環像が明らかとなりつつあります。このことから、私たちは、ユーラシア大陸と北米大陸の河川を通した淡水供給の定量的な把握を基礎として、オホーツク海における DSW の沈み込み、ひいては北太平洋子午面循環の気候変動に対する応答を解明したいと考えています。その一つの観点が、カムチャツカ半島への降水と河川からの流出でした。今後注目する海域として、アラスカ湾を挙げたいと思います。図 1 に見る通り、アラスカ湾は、DSW 塩分に関わる塩分変動の起点です。注目すべき点は、北半球の亜寒帯においてアラスカ湾沿岸が最も降水量の大きい地域となっているということです。アラスカ湾沿岸には急峻な山岳地帯が広がっており、そこに偏西風が当たることにより、膨大な降水がもたらされることがその要因です。また、アラスカ湾には、世界最大の山岳氷河が発達していることも特徴です。現在アラスカでは急激な温暖化・氷河融解が進んでおり、このため河川流出・氷河流出に伴う海洋への淡水供給は大きく増加していることが見込まれます。北太平洋亜寒帯循環表層およびオホーツク海 DSW の低塩化には、アラスカ山岳氷河の融解水が寄与しているかもしれません。DSW の変動は、鉄など栄養物質循環を通して北太平洋における生物生産の変動につながります。気候変動にともなう北太平洋子午面循環の変化を明らかにすることにより、豊かなオホーツク海、親潮海域における栄養塩循環システムや鉄供給システムが地球温暖化からいかなる影響を受けるかを、観測やデータ解析、数値モデルなどを利用しながら精査したいと考えています。

冬眠に備えてハムスターは脂肪組織を変化させる

生物環境部門　山口　良文

哺乳類の冬眠

哺乳類の中には、寒冷に見舞われ食料が枯渇する長い冬を、体温を低下させた「冬眠」状態で乗り切る、冬眠する哺乳類がいます。この哺乳類の冬眠に見られる体温低下は、ヘビやカエル、昆虫など、体温が外気温に左右される変温動物の冬に見られる体温低下とは少々様子が異なります。恒温動物である哺乳類は、体内の筋肉や褐色脂肪と呼ばれる細胞で熱を産生することで体温を維持しています。寒冷下でも体温を維持できるおかげで、哺乳類は冬季でも活動性を維持でき、生息域を拡大しました。しかし、この熱産生は炭水化物や脂質などのエネルギー源を必要とします。従って、食料が枯渇した場合は、体に蓄えた脂肪や筋肉を分解することでエネルギーとしますが、体に蓄えられるそれらの量には限度があります。気温が低くかつ利用できる食物も少ない冬季は、体温を維持するためのエネルギーをどう賄うか、という問題が生じます。こうしたエネルギー源不足への対応策として、あえて体温維持・熱産生を放棄し、消費エネルギー量を節約した低体温状態で長期間生き延びる戦略が「哺乳類の冬眠」です（図１）。

ではなぜ一部の哺乳類のみが冬眠を行い、ヒトやラットなど他の多くの哺乳類は冬眠しないのでしょうか。この点はまだ全く不明です。私の研究室では、この「哺乳類の冬眠」の謎に、メカニズムを理解することから迫るべく、主に以下の三つの観点から研究を行なっています。①冬眠できる冬のからだと冬眠しない夏のからだの違いは何か？②哺乳類にも関わらず低体温での生存が可能な仕組みは何か？③冬眠導入とそこからの目覚めの制御の仕組みは何か？、です。本稿では、冬眠時のエネルギー貯蔵組織である白色脂肪組織に、①の観点から着目した最近の私たちの研究について紹介します。

冬眠期間のエネルギー貯蔵源：白色脂肪組織

ツキノワグマ、ヒグマ、ジリスやマーモットなど比較的からだの大きな冬眠する哺乳類は、冬の間はほぼ絶食状態で冬眠します。そのためにこれらの動物は、夏の終わりから秋にかけて過食状態となり、体内の白色脂肪組織（注１）に中性脂肪を大量に蓄えたある種の肥満状態となります。冬眠期の間は、この蓄えた脂肪を燃焼してエネルギーを取り出すことで、冬眠期を乗り切ります。一方、より小型のシマリスやハムスターは、脂肪貯蔵型の冬眠動物と同じく体内に脂肪を蓄えますが、それに加えて、秋の間に巣穴に多量の木の実などの餌を貯蔵し、冬眠の間の中途覚醒時（図１）に餌を食べて過ごす「餌貯

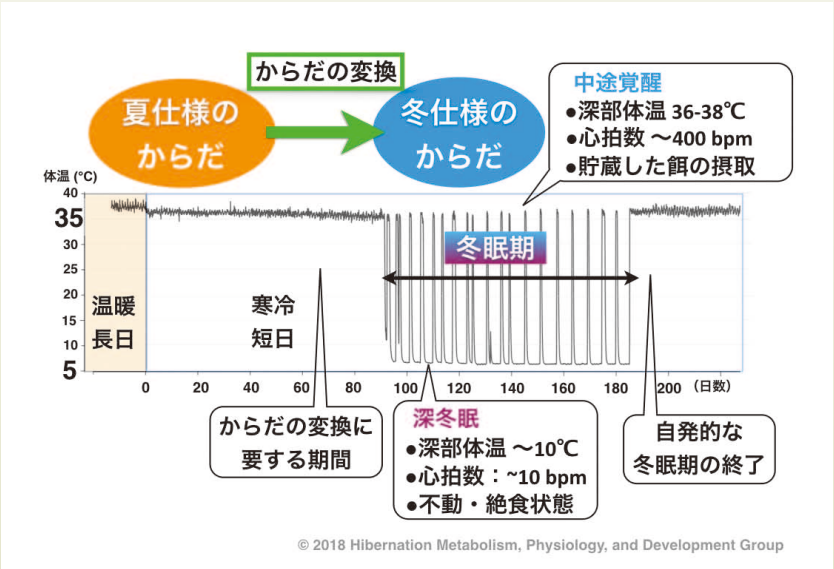


図１. 小型冬眠動物シリアンハムスターの冬眠に備えた「からだの変化」と実験室環境（室温 4℃）での体温変化のグラフ。冬眠期の間、低体温の深冬眠と高体温の中途覚醒とを繰り返す。

蔵型」の冬眠動物です。冬眠期の餌摂取戦略に違いはあるにせよ、いずれの型の冬眠動物でも、冬眠期のあいだの生存に必要なエネルギー源である脂肪を貯蔵する白色脂肪組織の使い方が重要なのは間違いなく、冬眠時には何らかの性質変化が生じていると予想されます。しかし、具体的に白色脂肪組織の細胞がどのような性質変化を生じているのかは不明な点が多く残されています。

注１：白色脂肪組織
白色脂肪組織は、食物から吸収した糖質や脂質を、脂肪滴と呼ばれる細胞内構造体の中に中性脂肪の形で貯蔵する組織です。貯蔵された中性脂肪は、飢餓や運動時などエネルギーが必要な際にリパーゼと呼ばれる酵素により脂肪酸とグリセロールとに分解され、さらに脂肪酸はβ酸化と呼ばれるプロセスを経て生体内のエネルギー通貨である ATP 産生に使われます。

餌貯蔵型冬眠動物シリアンハムスターでは冬眠期に脂肪の同化と異化に関わる経路が同時増強される

私たちの研究グループでは、実験環境を整えることで実験室での冬眠誘導が通年可能で、冬眠の制御機構を調べる上で他にも複数の利点を有する、シリアンハムスターを冬眠モデル生物として研究を行なっています。シリアンハムスターは「餌貯蔵型」の冬眠動物で、寒冷短日条件に長期間（～数ヶ月）置かれると、体が冬仕様の冬眠できる状態となり、冬眠を開始します（図１）。本研究では、冬眠できる「冬仕様」の白色脂肪組織の状態を調べるために、夏条件（温暖長日：室温 23-25 度、明暗周期 =16 時間：8 時間）で飼育された冬眠しない「夏仕様」状態と、冬条件（寒冷短日：室温 4-5 度、明暗周期 =8 時間：16 時間）に長期間置かれ冬眠する「冬仕様」状態との比較解析を行いました。私たちの先行研究で、夏条件で育てた個体を冬条件に移すと、体重や基礎体温が減少することが明らかになっていましたので、まずその際の組織変化の詳細を調べました。

白色脂肪組織は体全体に広く分布しています。いわゆる皮下脂肪や内臓脂肪、と言われるものはその分布部位を示します。冬条件の寒冷短日下で飼育された個体では、皮下白色脂肪と内臓白色脂肪、どちらも白色脂肪細胞が小型化し、組織重量の減少が見られました。これは寒冷下で体熱を維持するために多くエネルギーを必要とするため、脂肪の燃焼が進んだためと考えられます。しかし体重あたりの白色脂肪の割合で見てみると、面白いことがわかりました。冬条件で２ヶ月以上過ごした個体や、その後冬眠をはじめた個体では、その割合が減少から増加に転じたのです。白色脂肪組織の重量減少にもかかわらずその体重あたりの割合は増加ということは、体の中の白色脂肪組織以外のどこかの組織がさらに減少することを示唆します。私たちは現在、筋肉の変化が怪しいとみて研究を進めているところです。ともあれ、これらの観察結果は、白色脂肪を保存しようとする何らかの仕組みが、長期間の冬条件下では動き出すことを示唆します。そこでこの仕組みに迫るべく、皮下脂肪組織で発現する数万個の遺伝子発現情報を、次世代シーケンサーと呼ばれる解析技術を用いて調べました。その結果、冬条件に長期間過ごした個体では、夏の個体に比べ、中性脂肪を分解しエネルギーを取り出す異化反応に関わる酵素群の遺伝子発現量が増大することがわかりました。これは冬眠動物が貯蔵脂肪を用いて冬を乗り切ることから、脂肪を効率よく燃やせるように体が変化することを示しており、予想された結果です。実際、絶食状態で冬眠を乗り切る「脂肪貯蔵型」の冬眠動物では、冬眠期のあいだ、こうした変化が生じることが知られていました。しかしシリアンハムスターでは、異化反応とは逆に中性脂肪や脂質の合成に関わる同化反応系の酵素群や、脂肪酸の不飽和化に関わる酵素群の遺伝子発現も同時に増加していました。こうした脂質同化系の同時発現増強は、脂肪蓄積型の冬眠動物では知られていない現象です。このように、同じ冬眠動物でも、「脂肪蓄積型」と「餌貯蔵型」の冬眠動物では、白色脂肪組織の使い方に差があることが明らかとなりました（図２）。

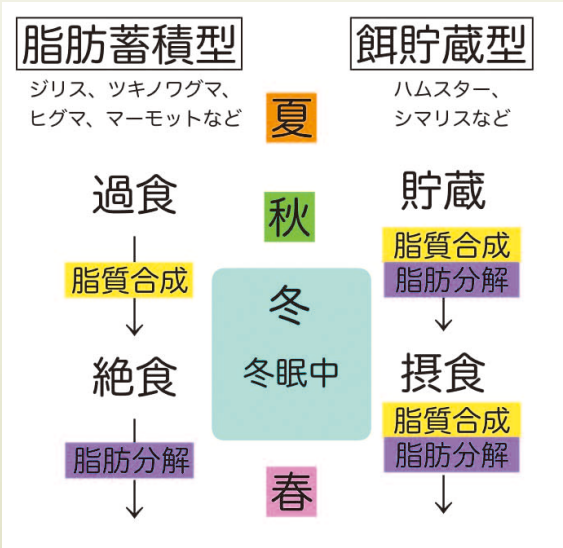


図 2. 冬眠動物の脂肪蓄積型と餌貯蔵型による分類。

白色脂肪組織は冬眠に備えて変化する

私たちが調べているシリアンハムスターは、内因性の概年リズムに依存して冬眠を行う他の冬眠動物と比べ、温度と光条件の変化だけで冬眠を誘導できる冬眠動物です[注2]。これは、冬眠に備えた体の変化が始まるタイミングをある程度制御できるという点で、研究を進める上での大きな利点です。実際、今回の研究では、シリアンハムスターの白色脂肪組織が、冬の寒冷短日条件曝露後のいつから冬眠時の状態に変化するのかも調べることができ、夏条件から冬条件に移行したシリアンハムスターでは、３ヶ月程度冬条件で過ごすと、冬眠時の遺伝子発現状態を示すことがわかりました。この発現増強のタイミングは、先に観察した白色脂肪の体重あたりの割合が増加する時期と一致します。つまりこの時点から、冬眠に先立ち、脂肪の効率的代謝系が発達してくると言えます。こうした脂質代謝系の同時亢進がどのようなシグナル経路で制御されうるのか、シリアンハムスターの白色脂肪組織を取り出して培養し薬理学的実験を行うことで検討しました。その結果、肥満症や生活習慣病の治療標的でもある、PPARs（ペルオキシソーム増殖剤活性化受容体）と呼ばれる核内受容体を活性化させるシグナルが、冬眠期のシリアンハムスター生体内で生じることが示唆されました。さらに今回の解析では、脂肪酸の不飽和化に関わる酵素群の遺伝子発現の上昇と、エネルギーから熱を産生する褐色脂肪様の細胞（ベージ細胞）が白色脂肪内に生じることも明らかになりました（図３）。脂肪酸の不飽和化は、低体温状態で脂肪が固形化しないために必要で、細胞膜成分のリン脂質に取り込まれることで細胞膜の流動性を高めるためにも有効と考えられます。白色脂肪内に出現するベージ細胞については、近年マウスやヒトで盛んに研究が進んでおり、肥満や生活習慣病との関連も示唆されています。冬眠動物でベージ細胞が出現するとの報告はこれまでになく、今後その機能の解明が待たれます。

注２：概年リズムと冬眠
ジリスやシマリス、ツキノワグマなどの冬眠動物は、からだの中に一年を刻む体内時計（概年時計）を有すると示唆されています。この概年時計が「冬」でかつ外界が寒冷短日の冬の条件になった時に冬眠が発動すると考えられています。一方、ハムスター概年時計は有さず外界環境の変化に応じて体を変化させ冬眠発動が可能です。概年時計の仕組み自体、大変面白い、生物学上の大きな謎なのですが、現時点ではその実体がほとんど不明です。そのため、実験室でこうした動物を飼育した場合にその個体の体内の季節がいつなのかの判定が困難となり、冬眠に関わる夏と冬のからだの違いを調べる上では問題となります。ハムスターはこの問題は回避できるため、冬眠そのものの仕組みを調べるためには非常に優れたモデルとも言えます。

冬眠の謎の解明に向けて

冬眠は、古くから人々の興味を惹きつけてきたにも関わらず、冬眠動物での実験の難しさによる遺伝子機能解析の遅れなどにより、いまだその仕組みはほとんど謎のままです。本研究のように、近年進展の著しい解析技術をシリアンハムスターの冬眠研究に適切に導入していくことで、夏と冬のからだの違いをはじめ、哺乳類の冬眠の長年の謎に迫っていきたいと考えています。

謝辞

本研究は、東京大学大学院薬学系研究科の茶山由一氏、安藤理沙氏（大学院生・当時）、三浦正幸教授、基礎生物学研究所・重信秀治教授、福山大学・田村豊教授らとの共同研究として行われ、2019 年 1 月 28 日にスイスのオンライン国際誌 Frontiers in Physiology 誌（doi.org/10.3389/fphys.2018.01973）に掲載されました。

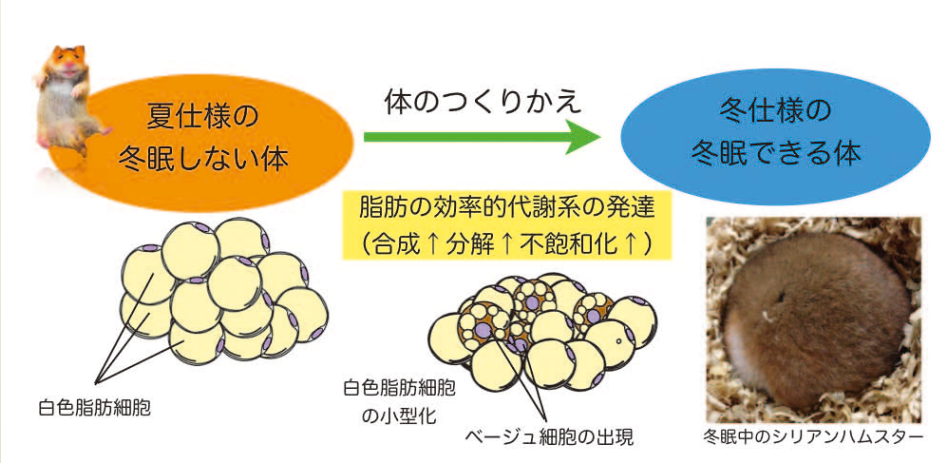


図 3. 冬眠に備えた白色脂肪組織の変化のまとめ。

季節海氷域の振る舞いの理解に向けて

水・物質循環部門　豊田　威信

季節海氷域の実態

極域・亜極域に分布する海氷域は地球の全海洋面積の約１割を占め、気候システムに大変重要な役割を果たしています。このうち冬季のみに出現する海氷域のことを季節海氷域と呼びます。北極域では全海氷域の約半分、南極域では約 80％を占めており、地球上で表面形態の季節変化が最も著しい領域の一つと考えられています。近年、北極海では年間に北海道と同程度の面積が消失しており、特に夏季の面積減少が著しく季節海氷域の割合は増加傾向にあります。従って、海氷域の将来を予測するためには季節海氷域の振る舞いを理解することが重要なのですが、観測の困難さもあって現在でも理解が十分に進んでいない課題の一つです。本稿では２つの側面から自身の研究を紹介します。

季節海氷域の様子を端的に示しているのが図１です。この図から、1）海氷域は様々な大きさを持った氷盤の集合体であること、2）このため海氷の振る舞いは氷盤間の相互作用が本質的であることなどの特徴が見えてきます。この特徴は程度の差こそあれ、多くの季節海氷域に共通していますので、季節海氷域の振る舞いを理解するためには、まずその構成要素である氷盤の形状や大きさの分布を定量化することが重要と考えられます。

氷盤の大きさ分布の特徴

図１から個々の氷盤は実に様々な形態を呈しており複雑な印象を受けますが、マクロな視点で統計的に見ると自己相似性（数学の言葉でフラクタル）という特徴をもつことが知られています。すなわち、スケールによらず同じように見える特徴があります。例えば、図２で右図は左図の四角の領域を拡大したものですが、分布にさしたる違いがないように見えないでしょうか。

数学的には、単位面積あたりの積算個数 $N(d)$（直径が d よりも大きな氷盤の個数）が $A \cdot d^{-\alpha}$ と表わされる関数で記述できれば統計的に自己相似性があるといえます。ここで指数の α はフラクタル次元に相当します。従来、この統計により衛星画像などから比較的大きな氷盤分布（$d \geq 100m$）には自己相似性の性質があることは知られていたのですが、多くの場合、α が２を超えるという問題を抱えていました。$\alpha > 2$ を小さな氷盤にまで拡張すると面積が発散するためです。この事実は、$d<100m$ では氷盤分布の特性が変化することを意味します。氷盤の大きさが小さいほど春先の融解速度は速くなりますから小さい氷盤の分布特性は海氷域の融解を予測する上でも重要な情報です。

そこで、このことを確かめるため 2003 年にオホーツク海南部で Landsat-7 衛星と巡視船「そうや」の同時観測を実施して、当時の大学院学生であった高辻氏と直径数 m から数 km にわたる幅広い大きさの氷盤の分布特性を調べました。その結果、直径約 40m を境に特性は変化し、$d<40m$ では $\alpha < 2$ となることを初めて見出しました。その後、国際共同観測で南極域で観測する機会も得て、氷盤分布に同様

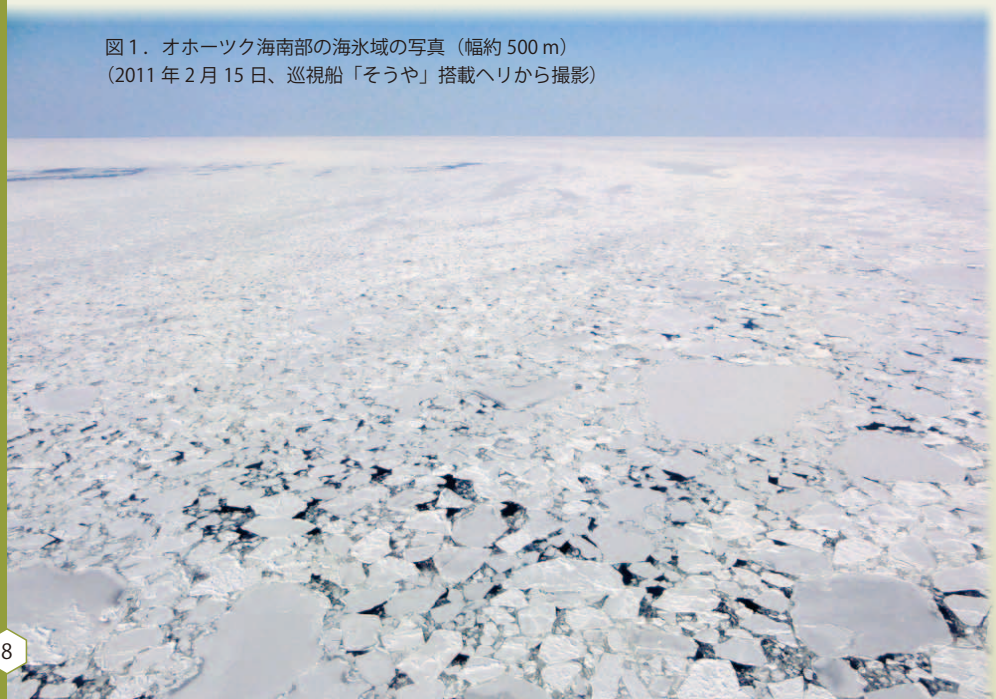


図１．オホーツク海南部の海氷域の写真（幅約 500 m）
（2011 年 2 月 15 日、巡視船「そうや」搭載ヘリから撮影）

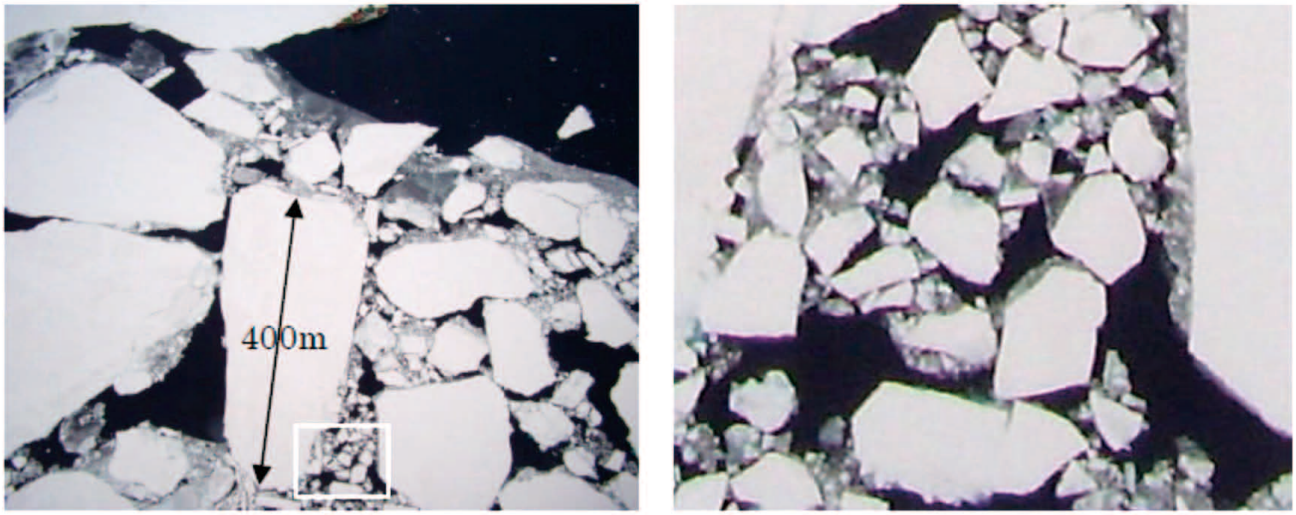


図２．ウェッデル海氷縁域で撮影した氷盤分布の写真（2006 年 9 月 9 日、ドイツ研究船「Polarstern」搭載ヘリから撮影）

の特性が得られましたので季節海氷域ではある程度共通した特徴と考えられます。

では何故このような２つの異なる分布特性が存在するのでしょうか？明確な答えはまだ模索中なのですが、氷盤の形成過程には２つの異なるスケールがあると考えるのが自然です。大きなスケールは高気圧や低気圧に伴う風や海流と氷盤との相互作用、小さいスケールは外洋からの波や氷盤同士の衝突による氷盤破砕効果などが有力な要因と考えられます。氷盤分布は海氷の融解過程と直接関連するため、ここ 10 年間でとみに関心が高まっている印象を受けます。理論、数値モデルを含めて様々なアプローチが試みられており、さらに詳細な観測によって氷盤分布の実態や形成過程が解明されることが期待されています。

季節海氷域のレオロジー

一般に連続体の流動を予測するために必要となる、内部応力と変形（速度）の関係を取り扱う学問分野をレオロジーと言います。例えば、大気や海洋の動きを記述する流体力学はその一つです。細かな粒子からなる流体の場合には応力と変形速度に線形関係があることが特徴ですが、有限の大きさをもつ氷盤の集合体である海氷域の場合にはどのようなレオロジーを当てはめれば良いのでしょうか？今なお様々な議論があるのですが、気候研究に用いられる多くの数値海氷モデルでは北極海における観測結果を基に塑性体として扱われてきました。塑性体とはある臨界値を超える応力によって生じた物体のひずみが応力を取り去っても回復しない物体のことを言います。このことを最初に提唱したのは Coon 博士による 1974 年の論文です。彼は海氷域が有限の大きさをもつ氷盤の集合体であることに着目し、砂粒の集合体である土壌を塑性体と扱ったシミュレーションの成功を参考にしたようです。応力が十分小さいときには氷盤同士がスクラムを組んで応力に抗しますが、臨界値を超える応力に対してはスクラムが崩れて流動を始めるというイメージです。その後、1979 年には Hibler 博士によって現在の数値海氷モデルの根幹をなす定式化がなされました。臨界応力以下では粘性をもつ流体として扱いますので粘塑性レオロジー（viscous-plastic rheology）とも呼ばれています。

塑性の流動では臨界値を上回る応力は（二次元の場合）降伏曲線と呼ばれる関数で表される応力を取ることになりますので、降伏曲線の形状を定めることが本質的な課題です。Hibler による定式化は、降伏曲線の形を縦横比２の楕円とし、その大きさを氷厚や海氷密接度の関数として与えたことに特徴があります。この定式化によって北極海の海氷特性がある程度再現できるようになりました。しかしながら、このような降伏曲線を考えた理由は単に数学的な便宜上と考えられていました。もしそうであるならば、多年氷が卓越する北極海で考え出されたこの定式化が季節海氷域に適用できるのかどうか疑問が残ります。また、この定式化を観測データから検証した研究は非常に少ない状況にありました。

そこで、まず Hibler の定式化について物理的意義を

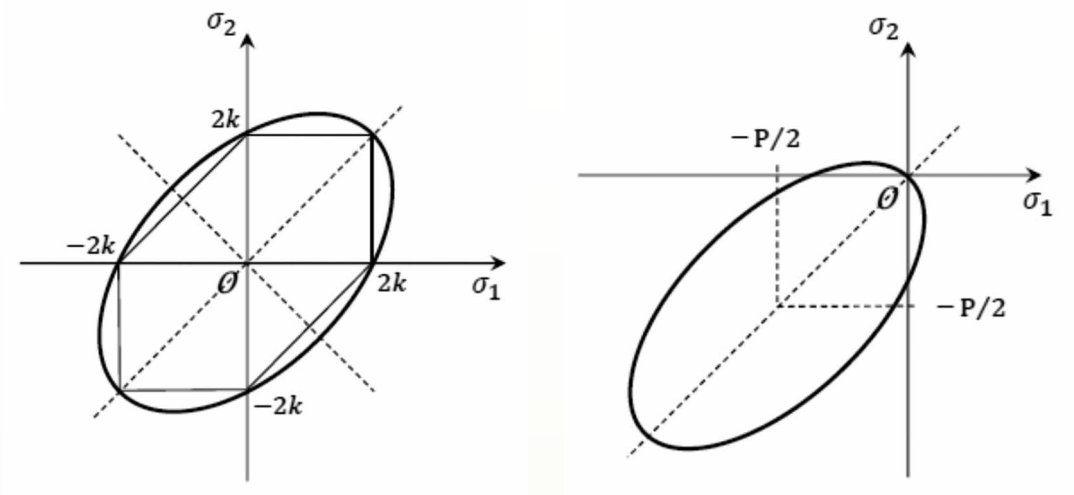


図３. 等方的塑性体の降伏曲線（縦軸と横軸は２つの主軸応力）（左）塑性理論から導かれたもの　（右）Hibler による定式化

探ること、そして季節海氷域であるオホーツク海の海氷を対象に観測データからその妥当性を検証することに取り組みました。観測データから直に検証するのは困難ですから Rothrock 博士が 1975 年に提案したエネルギー的考察を参考に、海氷速度データから間接的に検証を行いました。その結果、Hibler が用いた降伏曲線が塑性理論から導かれる降伏曲線と比較的良く合致することを見出して物理的な根拠を与えることができました（図３）。また、観測データは時間や空間のスケールに依らず、Hibler による定式化とほぼ整合することが示されました。空間的なスケール普遍性は前節で述べた氷盤分布の自己相似性に起因すると考えられます。しかし一方で、オホーツク海では速度場の空間変動は北極海に比べて顕著に大きく、サブグリッドスケールの速度の空間変動を正しく表現せねば Hibler の定式化は機能しないことも明らかになり、新たなパラメタリゼーションを開発する必要性が提起されました。

今後の展望

本稿で取り上げた氷盤分布の特性と海氷レオロジーの２つの課題はどちらも今なお発展段階にあり、研究者の間でも模索が続いています。例えば、氷盤分布の自己相似性に疑問を投げかける人もいますし、新たな海氷レオロジーを提唱している研究グループもあります。現段階では観測データを積み上げてゆくことが重要です。時宜を得て、北極海では現在、Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate（MOSAiC）と呼ばれる大掛かりな国際共同観測プロジェクトが実施されています。船を特定の氷盤の上に固定して漂流させ、周囲約 40km 以内の詳細な氷厚や海氷速度の分布など力学的パラメータの観測を約一年間にわたって継続的に実施する計画です。私自身このプロジェクトに参加しており、新たな展望を拓くことに幾ばくかの貢献をしたいと考えています。

謝辞：一連の研究には日本学術振興会による科研費（No.18510003, 21510002, 24510001, 16K00511, 19K12304）および特定国派遣研究者事業（NZ）の助成を受けました。また、オホーツク海における観測は、海上保安庁巡視船「そうや」のご協力を得て実施されました。

退職のご挨拶

寺島　美亜
（元　生物環境部門）

2019 年 5 月をもって、北海道大学低温科学研究所を退職いたしました。2015 年 4 月の採用から 4 年間様々な方から支えてもらい、とても恵まれた環境で研究ができました。

低温研での研究について

短い期間でしたが、低温科学研究所微生物生態学分野では私の研究を今まで触れたことのない分野に広めることができました。私は、低温研に着任して初めて本格的な野外調査を行いました。一年目に福井先生と小島先生のご指導のもとでオコタンペ湖や春採湖での調査に参加し、野外調査のあらゆるノウハウを教えていただきました。初めて野外で試料を採取して実感したのは、全体のプロセスが想像以上に長く、大仕事だったことです。環境中微生物採取目的の野外調査といえば、一般的には水や土の試料をチューブなどに集めたり、現地で pH 等の測定や、環境の観察をしているところのイメージが湧きますが、多くの野外調査は事前の計画や準備、戻ってきてからの試料の処理、保存等の作業に手間がかかるのです。実際参加してみて、野外調査を長年やり続けている人たちの凄さを改めて実感しました。調査に必要な手間と体力の他に、限られた試料で解析を成功させるプレッシャーもあります。

2 年目からは自分で野外調査を計画し、大雪国立公園旭岳で赤雪の採取を行いました。赤雪とは 6 月～7 月の雪どけが進む時期に残雪の表面に微細藻類が高密度に発生することによって、雪の表面が赤色になる現象です（写真 1）。なぜ、赤くなるのでしょうか？藻類は緑色のイメージが湧くと思います。氷雪藻類も増殖期は緑色を

写真 1　旭岳での赤雪調査地

していますが、いずれは鞭毛を失い不動胞子になり、硬い細胞内に赤い色素を大量に蓄積します（写真２）。赤い色素は、旭岳のような高山での強光や高紫外線から身を守る働きをしていると考えられています。また、凍結による乾燥及び、雪どけ後のサバイバルのために氷雪藻類は短期間にできるだけ増殖し、胞子状態で翌年まで待機するのです。この氷雪藻類を含む雪を旭岳から採取し、藻類の他にどのような微生物が共存するのか調べました。実験室で雪を溶かし、DNA を抽出し、特定遺伝子の塩基配列を調べ、微生物の同定を行いました。解析を行なった後、雪氷藻類と一緒に特殊な細菌が優占していることがわかりました。雪氷藻類は昆虫の餌になることが知られていますが、他の微生物も支える重要な基礎生産者なのです。旭岳由来の雪氷藻類を実験室で培養すると、特殊な細菌が一緒に生えてきました。この細菌抜きでは藻類の培養ができず、お互いを必要としていることがわかりました。赤雪がみられる季節は、ほんの数週間ですが、その期間だけでも微生物はお互い特殊な“関係”を作って生きているのだと思うと、この残雪環境のことをもっと知りたくなりました。

旭岳調査は、研究結果で得た知識の他に調査の経験もでき、とても勉強になりました。快晴の旭岳を見ながら、雪の採取をするのは本当に気持ちがよかったです。調査の予想外ハプニングもありました。特に思い出深いのは、調査中カラスにザックのジッパーをあけられ、おにぎりを盗まれたことです。春の旭岳では、赤雪のほかに大変頭の良いお腹を空かせたカラスがいるようです。

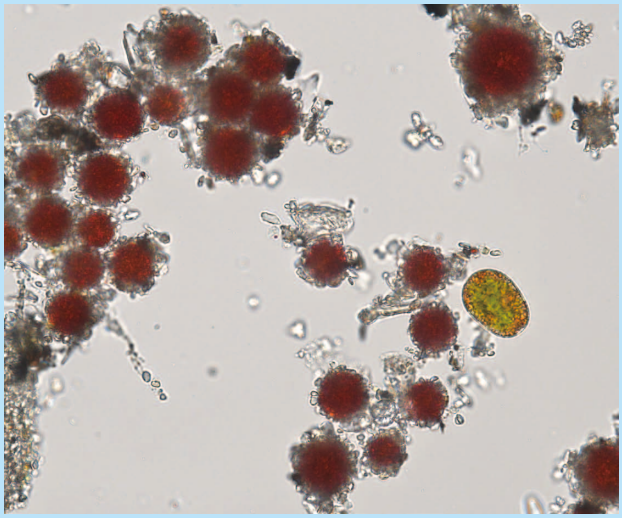


写真２　赤雪の顕微鏡写真

この先の研究について

現在ベルリンに住んでいますが、育児休暇後の研究復帰の企画をしています。ポツダムのフラウンホーファー研究機構で氷雪藻類のコレクションがあり、そこの研究所と共同研究し低温科学研究所で行なった研究テーマを続ける予定です。氷雪藻類の生理について未知なことが多く、緑色の遊泳細胞から真っ赤な不動細胞に変わる時に、実際遺伝子発現レベルではどのような変化が起こっているのか調べたいと思っています。氷雪藻類のゲノム解析をし、低温で生きるために欠かせない特殊なタンパク質なども探したいです。

女性研究者として

低温科学研究所に在任中は、女性研究者としてアピールする機会もいただきました。札幌の高校や中学校を訪問し、研究のことについて発表をした際、研究の世界に興味を持つ理系女子は沢山いることに気づきました。少しでもこのような生徒に「研究者になってもいいな」、と思ってもらえたら嬉しいです。子育てと研究を両立するのは決して簡単なことではありません。私も娘が生まれ、家族の事情でドイツに移る決心をし、現在研究活動の復帰を目指しているところです。子育てと研究を両立させて成功している数多くの女性研究者を見習い、アドバイスを受けながら活躍したいと思います。いつかまた、低温科学研究所を訪れ、ここで始まった私の雪氷藻類の研究についてお話しできることを願っています。

今後ともお世話になると思います。どうぞよろしくお願いいたします。

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：2019年6月から8月

（3）参加者：

杉山慎（低温研）、漢那直也、安藤卓人（低温研・北極域研究センター）、浅地泉、近藤研、Yefan Wang（低温研・環境科学院・博士および修士課程大学院生）、その他北大、北見工大、スイス連邦工科大、カルガリ大の研究者および大学院生10名

（4）カウンターパートの機関名：

スイス連邦工科大学、カナック村研究協力者

（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、氷河氷床の変動と海洋との相互作用、および沿岸の環境変化が社会に与える影響の解明を目的に調査を実施した。ボードイン氷河でスイス連邦工科大学と協力して集中観測を実施した他、氷河が流入するフィヨルドでの海洋観測、カナック氷帽の質量収支モニタリングと流出河川の流量測定、イッカク鯨やアザラシの生態調査などを行った。さらに、カナック村と近隣のケケッタ村において村民を招いたワークショップを開催し、研究成果とデータの紹介、環境変化とその社会影響に関する議論を行った。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。

ボードイン氷河での観測

カナック氷帽での観測

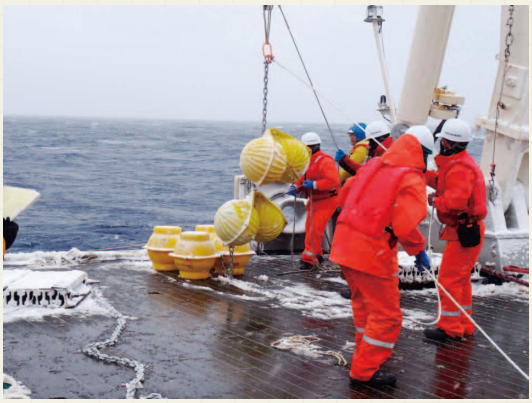
観測の拠点となったカナック村の港

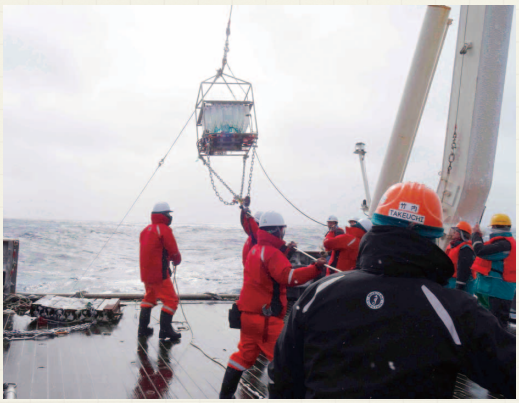
Report

海外調査

■大島　慶一郎

（1）調査・観測先：南大洋インド洋セクター（南極ケープダンレー沖）
（2）期間：2019年1-2月
（3）参加者：大島慶一郎・中山佳洋・高塚徹（低温研）
（4）カウンターパートの機関名：東京大学大気海洋研究所他
（5）観測目的：
当グループが発見した第4の南極底層水形成域ケープダンレー沖において、底層水の形成量や物質循環における役割を解明するために、高知大学の池原実教授、東京海洋大学の川合美千代准教授らと共同で、JAMSTECの研究船白鳳丸による観測（KH-19-1）を実施した。観測では、底層水が沈み込む海底峡谷での、流速・水温・塩分・溶存酸素・pH・濁度のセンサー、自動採水器、セジメントトラップを装備した係留系の設置や底層水形成周辺海域での多層採水観測等を行った。


暴風雪の中で行われた係留系の設置作業


自動採水器を係留系に取り付ける

寄港地のオーストラリア・フリーマントルでの白鳳丸乗船研究者の集合写真

Publication

北海道大学低温科学研究所
低温科学　第77巻　152P
平成31年3月20日発行
ISSN 1880-7593

地球の気候システムは、大気、海洋、陸面、生物、雪氷などの要素から構成され、それぞれの要素が互いに影響を及ぼし合いながら変動を続ける相互作用系をなしている。その変動は、太陽放射の変動などの外的要因に対する各要素の第一次的な応答と、それにともなう各要素間のフィードバックが重なることで生じるため、現在の気候の成り立ちはもとより、過去に起こった気候変動の解明、今後に起こるであろう気候変化の的確な見通しのために、各要素間の相互作用に対する理解が重要である。

中でも陸面は、気候システムの中で最も大きな多様性をもつ要素である。陸面上には、降水、温度、日射などの気候や大気の状態に応じて、裸地・植生・雪氷といった、地域に特有な地表面の状態が形成され、その反面、それぞれの地表面状態（アルベド、粗度、水分、熱慣性など）の違いに応じた、異なる影響を大気に対して及ぼしている。また、都市や農耕地など、人為活動による改変を強く受けた領域が少なからず存在しているのも陸面の特徴の一つである。それらの領域では、都市域における建築物や人工排熱、農耕地における植栽や水分管理などのような、人為的な操作によって地表面の熱・水・物質収支が大きく左右されるため、自然の地表面とは異なる影響を大気に及ぼす。一方、都市や農耕地においては、生活や生産の環境を良好に保つために、地表付近の微気象や、土壌中の水や温度などの条件を適切に維持・管理することが求められ、まさに地表と大気の相互作用過程に関する正確な理解に基づいた実践が必要とされている。

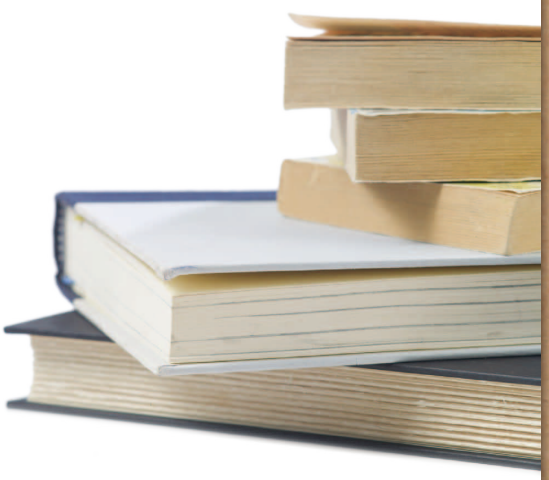
本特集は、森林、都市、農耕地等を含む陸面と大気の相互作用過程に関わる研究において、気象、地球化学、水文、地理、都市工学、農業などの分野でそれぞれ活躍されている方々に、最近の研究成果を取り入れた解説論文を執筆して頂き、分野を横断する解説集として取りまとめたものである。陸面状態の違いはもとより、数cm ～数1,000kmにわたる空間スケールの異なる過程を対象とした、基礎研究から応用までを包含する内容になっている。これらの解説論文が、陸面と大気の相互作用に関わる分野横断的な研究の発展に 資することになれば望外の喜びである。

最後に、本巻の刊行にあたり、論文を執筆して下さったすべての著者と論文の審査を引き受けて下さったすべての査読者に、この場をお借りして御礼申し上げる。

目次

・A Literature Review on Vegetation-Atmosphere Interaction Research for Carbon Cycle and EnergyBalancein TerrestrialEcosystems
・冷温帯林の森林植生に由来する大気エアロゾルと雲粒生成への影響
・安定同位体を用いた森林生態系における炭素循環の解明
・積雪域に大雨が降った時の雪氷水文現象
・地表面と永久凍土面の年平均温度の違い―年平均気温・地表面温度が氷点下でなくても永久凍土は存在する―
・総観気象と大気-陸面相互作用
・寒気吹き出し時に東京都市域で発生する大気下層の乱気流の数値実験
・相互作用の担い手―接地層乱流の空間構造を探る
・都市域における熱輸送
・都市大気境界層の大規模計算が示す多スケール間の流れの相互作用
・大気-陸面相互作用における農耕地の影響とそのモデル化
・農耕地における地表面交換係数
・水田群落微気象モデルの概要と農学分野への応用
・高度な農地水管理のための水田水温シミュレーション

「低温科学」第77巻編集委員会
編集委員長： 渡辺　力（北大・低温研）
編 集 委 員： 桑形恒男（農研機構・農環研）
川島正行（北大・低温研）
下山　宏（北大・低温研）



(2019/6/28)

観測ロケットMASER 14打ち上げ成功
～国際協力による微小重力実験で炭素質宇宙ダストの生成を再現～

発表者：准教授　木村　勇気

研究成果の概要

北海道大学低温科学研究所の木村勇気准教授らのグループは、スウェーデン宇宙公社(SSC)の観測ロケット MASER 14を用いて、「炭素質宇宙ダストの核生成過程の解明」を目的とした微小重力実験を実施しました。この実験は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所の小規模計画として、ドイツ航空宇宙センター（DLR)との国際協力のもとに実施されました。

宇宙ダスト(星のかけら)と呼ばれる微粒子は、天体より放出されるガスから生成されます。その中でも炭素を主成分とした微粒子は、ナノメートルのサイズから惑星に至る固体物質の変遷及び生命へとつながる有機物の生成において、非常に大きな役割を担っています。そのため、炭素質宇宙ダストの生成過程の理解は、宇宙の物質循環を知る上での根幹となります。そこで本実験では、ロケットの弾道飛行による微小重力環境を利用して、高温のガスから炭素質宇宙ダストを模擬した微粒子が生成・成長する過程を直接測定することで、その生成条件と赤外線に対する特性の理解を目指しました。

今回の実験で得られたデータを分析することにより、炭素質の宇宙ダストの生成過程が明らかになり、宇宙史の中での物質進化の解明が飛躍的に進むことが期待されます。

打上げの概要

打上げ日時：2019年6月24日(月) 8時52分00秒(日本時間：15時52分00秒)
打上げ場所：スウェーデン、キルナ市、エスレンジ宇宙センター
最高到達高度：244.7 km（打ち上げ後 257秒)
微小重力環境時間：382秒
参加研究機関：北海道大学、ブラウンシュヴァイク工科大学(ドイツ)、JAXA 他

(2019/8/6)

日蘭共同開発の新型超伝導受信機DESHIMAが拓く、電波天文学の新航路

発表者：教授　香内　晃
技術専門職員　藤田　和之

研究成果の概要

オランダ・デルフト工科大学、名古屋大学、東京大学、国立天文台、低温科学研究所などの国際研究チームは、最先端の超伝導技術を駆使して全く新しい仕組みの電波受信機DESHIMAを開発し、それを国立天文台がチリ共和国で運用するアステ望遠鏡に搭載することにより、天体からの電波観測に成功しました。DESHIMAは、非常に広い周波数帯域の電波を一度に受信しながら、これを分光することができるのが大きな特徴で、従来の電波受信機ではこの両立は大変困難でした。

香内教授・藤田技術専門職員は低温科学研究所の一般共同研究のプロジェクトの一環として国際チームに参画し、超伝導素子の冷却部および真空容器の設計・製作、現地観測などを担当しました。

DESHIMAを使った今回の試験観測では、遠方にある銀河までの距離を効率よく計測することができることが実証されたほか、オリオン大星雲に含まれる分子の種類と分布を明らかにできる高い能力も確認されました。DESHIMAが実証に成功した世界初の技術を応用して本格的な電波分光撮像カメラを開発することで、遠方銀河研究から天の川銀河内の星形成領域研究に至るさまざまな分野において、新たな研究が花開くことが期待できます。

論文発表の概要

論文名：A. Endo et al. “First light demonstration of the integrated superconducting spectrometer”

著者名：遠藤光（デルフト工科大学）、唐津謙一（デルフト工科大学/オランダ宇宙研究所）、田村陽一（名古屋大学）、大島泰（国立天文台/総合研究大学院大学）、谷口暁星（名古屋大学）、竹腰達哉（東京大学/電気通信大学）、浅山信一郎（国立天文台）、Tom J. L. C. Bakx（名古屋大学/国立天文台/カーディフ大学）、Sjoerd Bosma（デルフト工科大学）、Juan Bueno（オランダ宇宙研究所）、Kah Wuy Chin（国立天文台/東京大学）、藤井泰範（国立天文台）、藤田和之（北海道大学）、Robert Huiting（オランダ宇宙研究所）、五十嵐創（デルフト工科大学）、石田剛（東京大学）、石井峻（国立天文台/合同アルマ観測所）、川邊良平（国立天文台/総合研究大学院大学/東京大学）、Teun M. Klapwijk（デルフト工科大学/Moscow State Pedagogical University）、河野孝太郎（東京大学）、香内晃（北海道大学）、Nuria Llombart（デルフト工科大学）、前川淳（国立天文台）、Vignesh Murugesan（オランダ宇宙研究所）、中坪俊一（宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所）、成瀬雅人（埼玉大学）、大田原一成（国立天文台）、Alejandro Pascual Laguna（オランダ宇宙研究所/デルフト工科大学）、鈴木惇也（高エネルギー加速器研究機構）、鈴木向陽（名古屋大学）、David J. Thoen（デルフト工科大学）、塚越崇（国立天文台）、上田哲太朗（名古屋大学）、Pieter J. de Visser（オランダ宇宙研究所）、Paul P. van der Werf（ライデン大学）、Stephen J. C. Yates（オランダ宇宙研究所）、吉村勇紀（東京大学）、Ozan Yurduseven（デルフト工科大学）、Jochem J. A. Baselmans（オランダ宇宙研究所/デルフト工科大学）

雑誌名：ネイチャー・アストロノミー

ＤＯＩ：10.1038/s41550-019-0850-8

公表日：2019年8月5日（日本時間2019年8月6日）

(2019/9/6)

植物の老化や紅葉には、バクテリアの遺伝子が関わっていた ～酵素の本来の役割とは異なる触媒活性が新しい代謝系の誕生に重要であることを解明～

発表者：助教　伊藤　　寿

研究成果の概要

北海道大学低温科学研究所の伊藤 寿助教、北海道大学大学院生命科学院博士後期課程の小畑大地氏らの研究チームは、植物の祖先がバクテリアから酵素を獲得し、それを利用してクロロフィルの分解系を作ったことを解明しました。

植物の光合成に関わるクロロフィルはマグネシウムを中心金属として持っています。クロロフィルの分解は、このマグネシウムがマグネシウム脱離酵素により外されることによって始まります。この反応は植物の老化や紅葉に中心的な役割を果たしています。興味深いことに、植物のマグネシウム脱離酵素と似たタンパク質がクロロフィルを持たないバクテリアに見つかったことから、その酵素活性を調べたところ、クロロフィルのマグネシウムを脱離する活性を持ち、植物の酵素より高い活性を示すことがわかりました。ただし、この酵素はバクテリアの中ではクロロフィル分解には関わらず、本来は別の働きをしていると予想されます。また、分子系統解析の結果、植物の祖先がバクテリアからこの酵素を遺伝子の水平伝播*1によって獲得したことがわかりました。

これらの結果はバクテリアの酵素が偶然クロロフィルを分解する活性を持ち、それが植物に取り込まれることによって植物がクロロフィルを分解できるようになったことを示しています。この成果は新しい酵素や代謝系の獲得機構の解明に貢献すると期待されます。

論文発表の概要

論文名：Horizontal transfer of promiscuous activity from non-photosynthetic bacteria contributed to evolution of chlorophyll degradation pathway（非光合成型バクテリアからの、本来とは異なる酵素活性の水平伝播がクロロフィル分解系の進化に貢献した）

著者名：[1]小畑大地、[2]高林厚史、[2]田中亮一、[2]田中 歩、[2]伊藤 寿（[1]北海道大学大学院生命科学院、[2]北海道大学低温科学研究所）

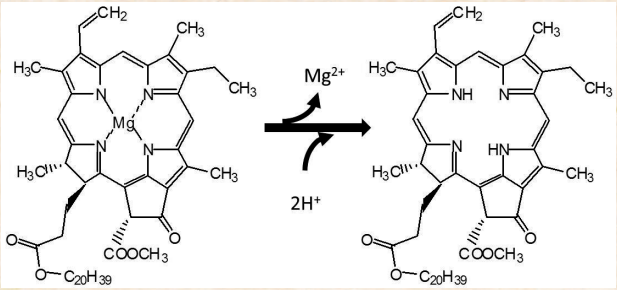
雑誌名：Molecular Biology and Evolution（進化生物学の専門誌）

ＤＯＩ：10.1093/molbev/msz193

公表日：日本時間2019年9月6日（金）午前6時（協定世界時2019年9月5日（木）午後9時）（オンライン公開）

【用語解説】

＊1　遺伝子の水平伝播 … 新しい遺伝子の獲得方法として、DNA複製過程で変異が生じやがては新しい機能を持つ遺伝子になるという場合とは異なり、他の生物の持つ遺伝子を直接取り込むこと。



(2019/9/24)

九州・パラオ海嶺に過去2000万年間の連続的な堆積物があることを発見 ～ 1973年に掘削されたレガシー試料の再解析～

発表者：准教授　関　　宰

研究成果の概要

国際深海科学掘削計画*注1の枠組みの下、高知コアセンター*注2は日米欧の世界3か所しかないコアレポジトリーの一角として、深海掘削試料（海洋コア）の保管・管理の任務を果たしつつ、海洋コアを用いた研究を推進しています。高知大学海洋コア総合研究センターの松井浩紀特任助教、池原実教授ら国内8機関10名から成る研究グループは、九州付近から沖ノ鳥島を経てミクロネシアのパラオ付近に至る南北3000kmに渡る海底山脈である九州・パラオ海嶺で1973年に採取されたSite 296海洋コアを再解析しました。レガシー試料*注3であるSite 296海洋コアは黒潮流路に近い九州・パラオ海嶺の北端から採取されたことから、黒潮の長期的な変遷を記録していると期待されます。コアレポジトリーの適切な保管・管理により、46年の時を経たのちもSite 296海洋コアを全く問題なく解析に資することができました。Site 296海洋コアに含まれる微小なプランクトン化石の産出状 況を再解析するとともに、ストロンチウム同位体比と炭素・酸素安定同位体比を統合することで、掘削 当時は発展途上で十分に確立できていなかったSite 296海洋コアの年代モデル（微化石層序・地球化 学層序）を46年ぶりに再編することができました。この成果によりSite 296海洋コアが過去2000万年間の海洋環境を連続的に記録した、北太平洋における極めて貴重な試料であることを明らかにしました。こうした過去2000万年間にわたって連続的に堆積した海洋コア試料は北太平洋では極めて稀であり、黒潮の流域ではSite 296海洋コアが唯一の報告例です。特に、現在よりも顕著に温暖だった時代における黒潮の流路や強さを解明していく上で、過去3000万年間において最も温暖な時代であったとされる中期中新世（約1600万年前～ 1160万年前）の連続的な試料は貴重で、今後も Site 296海洋コアの活用が期待されます。

論文発表の概要

論文名：Integrated Neogene biochemostratigraphy at DSDP Site 296 on the Kyushu–Palau Ridge in the western North Pacific

著者名：松井浩紀[1*]、堀川恵司[2]、千代延俊[3]、板木拓也[4]、池原実[1]、河潟俊吾[5]、若木仁美[1]、淺原良浩[6]、関宰[7]、岡崎裕典[8]
[1]高知大学海洋コア総合研究センター [2]富山大学大学院理工学研究部（理学）[3]秋田大学大学院国際資源学研究科 [4]産業技術総合研究所地質情報研究部門 [5]横浜国立大学教育学部 [6]名古屋大学大学院環境学研究科 [7]北海道大学低温科学研究所 [8]九州大学大学院理学研究院

雑誌名：Newsletters on Stratigraphy
ＤＯＩ：10.1127/nos/2019/0549
公表日：2019年9月20日

高知コアセンターのコアリポジトリー。太平洋西部とインド洋の深海掘削試料を適切に保管・管理

【用語解説】

注1：国際深海科学掘削計画

科学的な深海掘削として1968年に深海掘削計画（Deep Sea Drilling Project: DSDP）が開始され、1985年から2003年の国際深海掘削計画（ODP）、2003年から2013年の統合国際深海掘削計画（IODP）を経て、2013年以降の国際深海科学掘削計画（IODP）に引き継がれています。

注2：高知コアセンター

高知大学と海洋研究開発機構（JAMSTEC）が共同で運営する研究施設です。掘削コア試料を保管する大型冷蔵･冷凍庫とともに最先端の分析機器群を備えており、コア試料に関する研究を推進しています。

注3：レガシー試料

深海掘削試料のうち、1968年から2003年までに採取されたDSDP/ODP試料の通称です。2003年以降の深海掘削試料と同様に、過去に採取されたレガシー試料が海洋コア研究を支えています。

（2019/9/30）

星間分子雲における核酸塩基生成に世界で初めて成功
～宇宙の極限環境で核酸の構成成分が光化学反応により生成～

発表者：助教　大場　康弘

研究成果の概要

北海道大学低温科学研究所の大場康弘助教、海洋研究開発機構の高野淑識主任研究員、九州大学大学院理学研究院の奈良岡浩教授らの研究グループは、実験室内で極低温・超高真空の宇宙空間を再現し、水と一酸化炭素、メタノール、アンモニアで構成される氷薄膜内の光化学反応によって、遺伝物質である核酸の構成成分の一つ、核酸塩基が生成可能であることを世界で初めて確認しました。

星が誕生する前の宇宙空間には、水素を主成分とする多様なガスと、星間塵（せいかんじん）と呼ばれる氷微粒子で構成される領域（星間分子雲）があります。星間分子雲は－263℃という極低温にもかかわらず、活発な化学反応の場であることが知られています。これまでの研究においては、紫外線や宇宙線という宇宙における普遍的なエネルギー源を用いた化学反応が検証され、たんぱく質の主成分であるアミノ酸など、生体関連分子が生成可能であることがわかっていました。近年の実験・分析技術の発展により、生命の遺伝情報を担う核酸（DNA・RNA）の構成成分2種（糖・リン酸）の生成も確認されるようになりましたが、残る一つの成分、核酸塩基についてはそうした宇宙の極限環境で生成可能かどうかは実証されていませんでした。そこで本研究では、星間分子雲における氷微粒子の光化学反応を再現し、超高分解能質量分析計を駆使した分析を行いました。その結果、得られた生成物から初めて核酸塩基を検出することに成功し、核酸の構成成分すべてが生成可能であることを実証しました。本結果は、太陽系形成時にどのような有機化合物が存在したのか、それらは地球上での生命誕生にどのように寄与したのかなど、人類にとっての根源的な疑問を紐解くカギとなることが期待されます。

論文発表の概要

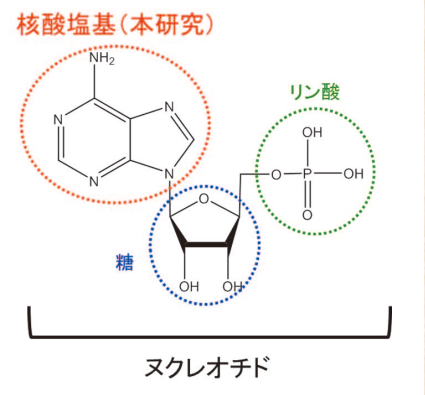
論文名：Nucleobase synthesis in interstellar ices（星間氷中での核酸塩基生成）

著者名：大場康弘[1]、高野淑識[2]、奈良岡浩[3]、渡部直樹[1]、香内 晃[1]（[1]北海道大学低温科学研究所、[2]海洋研究開発機構、[3]九州大学大学院理学研究院）

雑誌名：Nature Communications（Nature Publishing Group）

ＤＯＩ：10.1038/s41467-019-12404-1

公表日：日本時間2019年9月27日（金）午後6時（英国夏時間2019年9月27日（金）午前10時）（オンライン公開）



(2019/10/8)

NASA の観測ロケットを用いた微小重力実験に成功
～国際共同研究により宇宙ダストの生成を再現～

発表者：准教授　木村　勇気

研究成果の概要

北海道大学低温科学研究所の木村勇気准教授らの国際研究チームは、アメリカ航空宇宙局（NASA）の観測ロケットBlack Brant IX 343号機を用いて、「ケイ酸塩宇宙ダストの核生成過程の解明」を目的とした微小重力実験を実施しました。この実験は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所の小規模計画（プロジェクト名：DUST）として、NASAとの国際協力のもとに実施されました。

本計画は、138億年の宇宙史における物質の創成史を確立することを目的として2017年に構築した国際共同研究のもとで進めています。今回は、宇宙物質の主役の一つであるケイ酸塩*1（シリコン、マグネシウム、鉄を主成分とした鉱物）に注目しました。宇宙ダスト（星のかけら）と呼ばれる微粒子は、天体より放出されるガスから生成します。ケイ酸塩微粒子がガスから生成する過程の理解は、天体の放出ガスから微粒子を経て惑星に至るまでの固体物質の変遷を知るカギとなります。そこで本実験では、ロケットの弾道飛行による微小重力環境を利用して、高温のガスからケイ酸塩宇宙ダストを模擬した微粒子が生成・成長する過程を直接測定することで、生成過程の理解を目指しました。

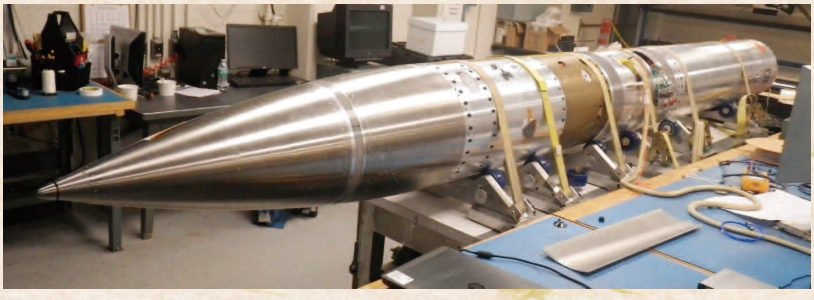
もう一つの主役である炭素質微粒子に関して、本年6月にスウェーデン宇宙公社の観測ロケットを用いて微小重力実験を実施しました。今回の結果と合わせることで、宇宙における物質進化の理解が飛躍的に進むと期待されます。

打上げの概要

打上げ日時：2019年10月7日（月）9時00分00秒（日本時間：8日（火）0時00分00 秒）
打上げ場所：アメリカ合衆国、ニューメキシコ州、ホワイトサンズミサイル実験場
最高到達高度：約340km
微小重力環境時間：約460秒
参加研究機関：北海道大学、NASA ゴダード宇宙飛行センター（米国）、JAXA 他

【用語解説】

＊1 ケイ酸塩 … 酸化物を作る天体周辺に観測される9.7μmの光の起源物質であると考えられている。



(2019/10/9)

紫外線照射で純氷にマイナスの電気が流れることを発見
～氷の新しい電気的性質が明らかに～

発表者：教授　渡部　直樹

研究成果の概要

北海道大学低温科学研究所の渡部直樹教授らの研究グループは、真空中で極低温の純氷を作製し、そこへ紫外線と電子を照射することで氷中にマイナスの電気が流れることを発見しました。また、その電流は紫外線のオン・オフで鋭敏にコントロールできることがわかりました。氷は金属とは異なり、その内部に自由に動き回れる電子（マイナスに帯電）を持たないため、これまで、電子の流れによる電流をほとんど通さないと考えられていました。そこで研究グループは、この現象を説明するために理論計算を行い、紫外線を照射することにより氷表面の水分子（H_2O）が分解し、OHが生成され、そのOHが氷内で電子を運ぶマイナス電気のキャリアとなって動き回ることを明らかにしました。発見した現象は、氷内に電気を流すための電解質の不純物を一切必要としません。

氷はその内部にもともと微量に存在する動き回れる陽子（プラスに帯電）が水分子の間を移動することにより、わずかながらプラスの電気が流れるため、半導体としての性質を持つことが知られています。しかし、陽子の移動には熱エネルギーが必要なため、およそマイナス80℃以下では電流が流れないことがわかっています。研究グループはマイナス 220℃以下でも温度に依存することなくマイナスの電気が流れることを確認しており、本研究で発見したマイナス電気の移動には熱エネルギーを必要としないことを示しました。

本研究では、従来全く想像されていなかった以下の3つの知見が画期的といえます。①氷中にマイナスの電気が定常的に流れうることを発見した。②マイナスの電気の流れは紫外線でコントロールできる。③従来知られていた氷中のプラス電気の流れとは異なり、極低温でも電気が流れる。

今後は、この現象をより幅広い温度領域で、氷の構造、紫外線強度などを変えて調べていく予定です。水や氷は、これまで長年様々な分野で研究されてきた、いわばありふれた物質です。本研究は、そうした氷にもまだ知られていない側面があることを示しており、水や氷の科学のさらなる展開のきっかけになると期待されます。

論文発表の概要

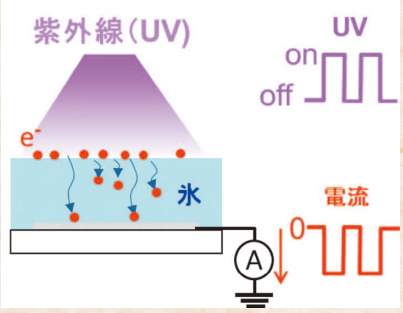
論文名：Ultraviolet-photon exposure stimulates negative current conductivity in amorphous ice below 50 K（温度 50 ケルビン以下の氷に紫外線を照射することでマイナスの電気が流れる）

著者名：渡部直樹[1]、W.M.C. サメーラ[1]、日高 宏[1]、宮崎彩音[1]、香内 晃[1]（[1]北海道大学低温科学研究所）

雑誌名：Chemical Physics Letters（化学の専門誌）

ＤＯＩ：10.1016/j.cplett.2019.136820

公表日：2019年10月3日（木）（オンライン公開）



■低温科学研究所が韓国極地研究所と部局間交流協定を締結

低温科学研究所は、6月24日（月）に韓国極地研究所KOPRI（Korea Polar Research Institute）と部局間交流協定を締結し、調印式を行いました。調印式は韓国極地研究所で執り行われ、同研究所からHo Il Yoon所長ら8名、本研究所からは福井学所長ら5名が出席しました。

韓国極地研究所は、南北両極域での現場観測を精力的に推進しており、本研究所が有する基盤的技術の活用や両所の相補的な観測活動による極域観測網の構築などにより、極域科学分野の革新的な進展が可能となります。

調印式の後には共同研究推進に関する意見交換を行い、今後のさらなる連携強化の方向で一致しました。

協定書を取り交わすYoon所長（左）と福井所長（右）

調印式における関係者集合写真

AWARD

黒﨑　豊、的場　澄人、飯塚　芳徳

公益社団法人 日本雪氷学会2019年度 論文賞

（令和元年9月9日）

波多　俊太郎

公益社団法人 日本雪氷学会・日本雪工学会 雪氷研究大会 学生優秀発表賞 口頭発表部門

最優秀発表賞

（令和元年9月11日）

浅地　泉

公益社団法人 日本雪氷学会・日本雪工学会 雪氷研究大会 学生優秀発表賞 口頭発表部門

優秀発表賞

（令和元年9月11日）

木村　勇気

日本結晶成長学会 第36回論文賞

（令和元年10月31日）

■令和２年度共同研究・研究集会の公募について

令和２年度共同利用・研究集会は、令和元年12月２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31年4月2日から令和元年10月1日まで）

異動日	異動内容	氏　名	職　名	備　考
H31. 4.22	採用	川　俣　大　志	技術補助員	
R 1. 5.30	辞職	寺　島　美　亜	助　教	
R 1. 6.30	辞職	斉　藤　　潤	学術研究員	
R 1. 7. 1	転出	吉　田　早　織	主　任	病院医療支援課主任へ
R 1. 9.30	任期満了	岸　本　純　子	技術補佐員	
	任期満了	森　　朋　恵	技術補佐員	
	任期満了	谷　口　玲　子	事務補助員	
	任期満了	鈴　木　あずさ	研究支援推進員	
R 1.10. 1	採用	北　川　暁　子	事務補佐員	
	採用	篠　原　琴　乃	事務補佐員	
	採用	平　川　　靜	事務補助員	

編❄集❄後❄記

▶冬眠という新たな低温研究の魅力をお届けします。お楽しみください。（三寺）

▶編集委員として先生方の記事をいち早く読めるのが密かな楽しみです。記事を読むたびに低温研のフィールドの広さに驚き、知的好奇心が刺激されます。今号も低温研の魅力が満載です。（村田）

▶低温研の研究内容をわかりやすくお伝えできるよう編集作業等を行いました。今号も充実した内容となっています。
なお、広報委員の青木准教授は、第 61 次南極地域観測隊長として、南極で観測中です。（総務担当）

低温研ニュース第48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
（三寺　史夫、青木　茂、村田憲一郎、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