

北海道大学 低温科学研究所

INSTITUTE OF LOW TEMPERATURE SCIENCE, HOKKAIDO UNIVERSITY

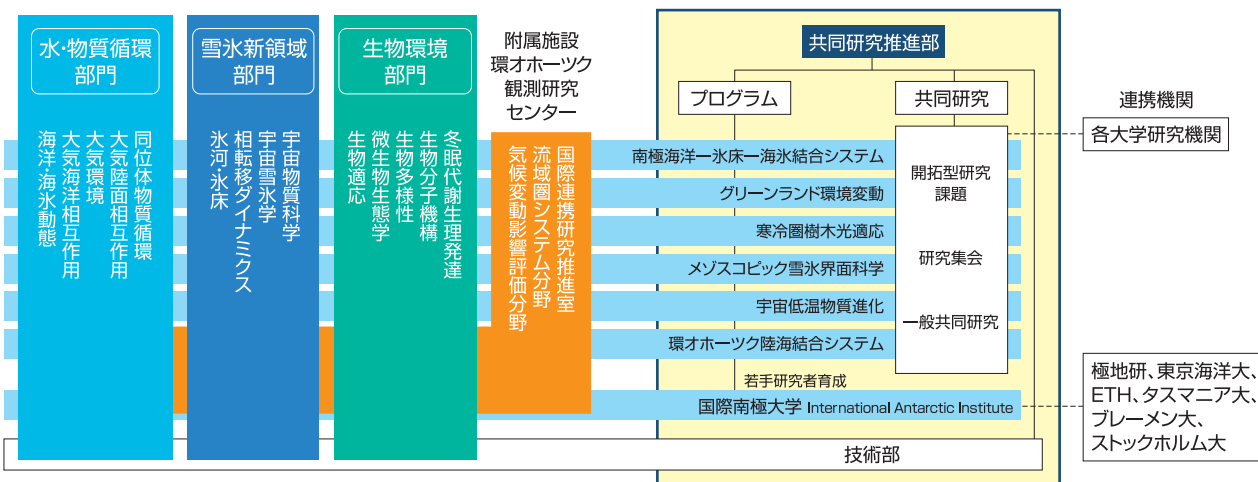
[ダイジェストガイド]

低温科学研究所の研究組織と運営

本研究所は、水・物質循環部門、雪氷新領域部門、生物環境部門の3大研究部門と環オホーツク観測研究センター、および共同研究推進部により構成されています。共同研究推進部では、共同利用・共同研究拠点として多くの共同研究を実施しています。研究所の研究分野が、物理学、化学、生物学、雪氷学、海洋学、宇宙物質科学、環境科学等、多方面にわたり、学際性

が高いことから、特に研究所を発信源とする新しい分野横断型研究コミュニティの構築・発展を目指した活動を積極的におこなっています。

一方、本研究所では、研究を支える事務部や技術部により、世界最先端の研究が生み出される研究環境の構築と維持に努めています。



低温科学研究所で学びたい学生の皆さんへ

低温科学研究所で学びたい修士および博士課程入学希望者は、興味を持った研究分野に対応する北海道大学の大学院コースを受験してください。

研究分野	修士・博士課程コース
水・物質循環部門	海洋・海氷動態 環境科学院 地球圏科学専攻 大気海洋物理学・気候力学コース
	大気海洋相互作用 環境科学院 地球圏科学専攻 大気海洋物理学・気候力学コース 地球圏科学専攻 雪氷・寒冷圏科学コース
	大気環境 環境科学院 地球圏科学専攻 生物地球化学コース
	大気陸面相互作用 環境科学院 地球圏科学専攻 雪氷・寒冷圏科学コース 地球圏科学専攻 大気海洋物理学・気候力学コース
同位体物質循環 環境科学院 地球圏科学専攻 生物地球化学コース	
雪氷新領域部門	氷河・氷床 環境科学院 地球圏科学専攻 雪氷・寒冷圏科学コース
	相転移ダイナミクス 理学院 宇宙物理学専攻
	宇宙物質科学・宇宙雪氷学 理学院 宇宙物理学専攻
生物環境部門	生物適応 環境科学院 生物圏科学専攻 分子生物学コース
	微生物生態学 環境科学院 生物圏科学専攻 分子生物学コース
	生物分子機構・生物多様性 環境科学院 生物圏科学専攻 分子生物学コース 生物圏科学専攻 動物生態学コース
	冬眠代謝生理発達 環境科学院 生物圏科学専攻 分子生物学コース
環オホーツク観測研究センター	環境科学院 地球圏科学専攻 生物地球化学コース 環境起学専攻 人間・生態システムコース
	環境科学院 地球圏科学専攻 大気海洋物理学・気候力学コース 地球圏科学専攻 雪氷・寒冷圏科学コース

入学手続きの詳細についてはHPでご確認ください

- 環境科学院 環境起学専攻 <https://www.ees.hokudai.ac.jp/kigaku/>
- 環境科学院 地球圏科学専攻 <https://www.ees.hokudai.ac.jp/earth/>
- 環境科学院 生物圏科学専攻 <https://noah.ees.hokudai.ac.jp/bio/>
- 理学院 宇宙物理学専攻 <https://www2.sci.hokudai.ac.jp/gs/dc>

◎現員 (2022年11月1日現在)

教授	13名	客員教授	2名
准教授	9名	特任教授	3名
講師	1名	研究員	4名
助教	20名	非正規職員	33名
事務系職員	8名	大学院生	85名
技術職員	9名		

◎主要建物

- 研究棟
- 図書室(寒冷圏文献資料)
- 実験棟
- 一般低温実験室(-20℃)
- 低温試料室(-25℃)
- 無風低温室(-15℃~-10℃)
- アニリン室(-25℃~-5℃)
- 研究棟新館
- 分析棟
- 各種分析室(クリーンルームを含む)
- 低温分析室(-20℃~+5℃)
- 超低温保存室(-50℃)
- 低温飼育室(+4℃)



北海道大学低温科学研究所

〒060-0819 札幌市北区北19条西8丁目
TEL.011-706-5445(総務担当) FAX.011-706-7142

<https://www2.lowtem.hokudai.ac.jp/>



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



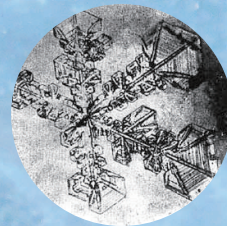
未知なる
低温の世界へ
ようこそ。

HISTORY

1941 低温の科学、ここに始まる。

低温科学研究所は1941年、北海道大学では最初の附置研究所として誕生しました。その基となったのは、世界で初めて人工雪を作ることに成功した、中谷宇吉郎の功績です。本研究所は氷点下の環境におけるさまざまな自然現象の解明をめざす、世界的にもユニークな研究所として、その第一歩を踏み出しました。

初期の低温科学研究所では、雪や氷のもつさまざまな特性を明らかにするとともに、それらが私たちの日常生活に及ぼす詳細な影響の解明に取り組みました。また、寒冷圏に存在する雪や氷が、地球の気象、気候、水河の流動や積雪などに、どのように影響しているかについての研究もスタートしました。さらに、「寒冷圏の動物や植物は、いかにしてその厳しい環境を生き抜いてきたのか」という生物学の問題も、研究所の黎明期における重要な研究対象となりました。



●中谷宇吉郎による、世界初の人工雪の結晶写真



●南極氷床の底面水サンプリング



●水河質量収支観測のための浅層ボーリング



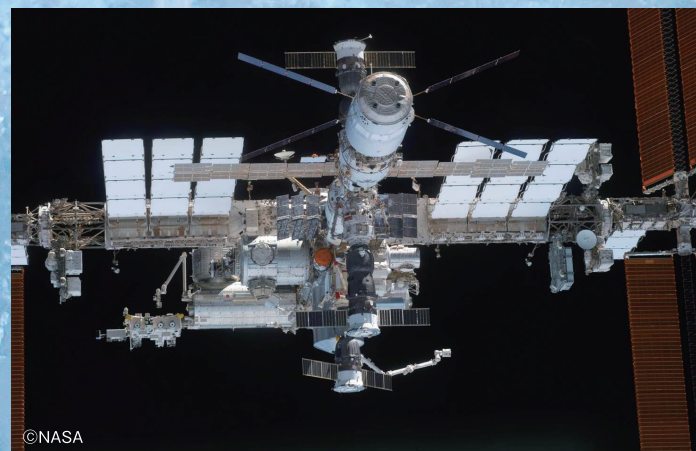
●森林火災後のカムチャッカの森の調査

1995 グローバルな地球寒冷圏研究へ。

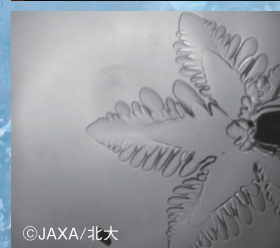


本研究所は、地球寒冷圏におけるさまざまな自然現象の基礎と応用の研究を目的とする、全国共同利用研究所に改組されました。これにより、地球規模で起こる気候変動や地球温暖化、さらに自然破壊をもたらす環境問題の研究を行うセンターとしての役割を担うことになったのです。

地球規模の自然破壊は、けっして地球上に均等に出現するわけではなく、特に寒冷な環境の領域に、より顕著な影響が現れると考えられています。グローバルな寒冷圏研究の重要性がますます高まるとともに、低温科学研究所の存在意義も高まることとなりました。



©NASA



©JAXA/北大

●中谷に始まる雪や氷の結晶パターンの研究は、国際宇宙ステーションを利用した無重力実験に発展。2008年に世界に先駆けて宇宙での氷結晶成長実験に成功

2010 共同利用・共同研究拠点への発展。

2010年、本研究所は文部科学省により「寒冷圏および低温条件下における科学現象の基礎と応用に関する研究」を目的とする共同利用・共同研究拠点に認定されました。雪や氷に関する基礎的な物理化学的研究から、地球だけではなく、惑星環境までを含めた極めて広い範囲にわたる研究を展開。研究分野をリードし、あらたな研究領域を創設するような未来志向型のリーダーシップを発揮することが使命となっています。



国内外の研究機関との連携

2022年現在、スイス連邦工科大学(ETH)など31の外国研究機関と国際交流協定を結ぶなど、共同利用・共同研究拠点として発展を遂げています。また、タスマニア大学(オーストラリア)の提唱する、雪氷寒冷圏科学教育のための国際的な大学間連携プログラムである「国際南極大学」には、大学院環境科学院とともに参画し、次世代を担う大学院生の海外交流を促進しています。上の写真はスイス連邦工科大学のBlatter教授によるインターネット遠隔講義の様子。

Present facilities

低温研の施設・設備

現在の低温研の、最先端の研究を支えている施設・設備です。



●超低温保存室

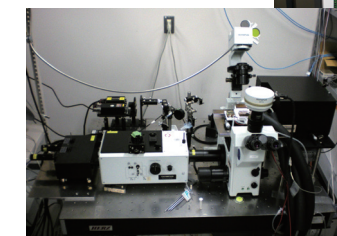
低温室
低温研には、さまざまな低温環境を実現できる国内随一の低温室群を備えています。

●超低温保存室
室内は常に-50℃。南極大陸の水床から採取した長さ約3000mの「氷コア」が保管されています。

●低温実験室
氷コアの分析が行われる、-20℃の低温実験室。研究員は防寒着を着用します。

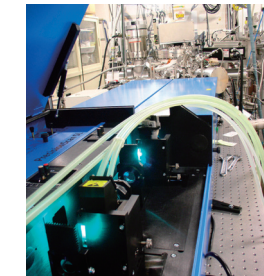
低温科学研究所 情報処理システム

低温科学に関する数値シミュレーションおよび大量の情報処理を行うための計算サーバーです。



レーザー共焦点 微分干渉顕微鏡

オリンパスと共同開発した、世界一小さな段差を観察できる光学顕微鏡。原子1個分の段差を見分けることが可能です。



波長可変レーザー

原子・分子を分析するレーザー。原子・分子のエネルギー状態を調べ、反応経路等を知ることができます。



冬眠飼育室

小型哺乳類の冬眠誘導専用低温飼育室です。

超高真空極低温透過型電子顕微鏡

装置内に超高真空極低温環境をつくり、そこで生成した薄膜の幾何構造の解析や組成分析が可能です。



Technical division【技術部】

技術部は本研究所で実施する観測や実験の技術的な支援を行い、研究活動を高度に維持するための心臓部としての機能を果たしています。装置開発室、先端技術支援室、および共通機器管理室で構成されています。



■装置開発室／精密金属工作機器、木工加工機械等を備えており、材料加工、実験装置、観測機材の設計・製作・改良などを行います。国際宇宙ステーションでの実験や南極コアの掘削など、世界最先端の研究を支える装置などもここで製作しています。

■先端技術支援室／各種観測機器の技術支援、電気電子回路の設計・製作、ネットワーク管理、生体・化学物質の精密分析、広報・情報発信など、高度な専門技術を生かした支援を行っています。

■共通機器管理室／本研究所のさまざまな空調設備や冷凍機器のメンテナンスを一手に引き受けています。

いま、 低温科学が 熱い!

世界各地の寒冷陸域・海域でのフィールド研究、物性物理学・地球科学・宇宙物質科学・生物環境科学等々の基礎研究。低温研で取り組んでいる世界最先端の研究テーマから、今、最もホットな研究を少しだけご紹介します。

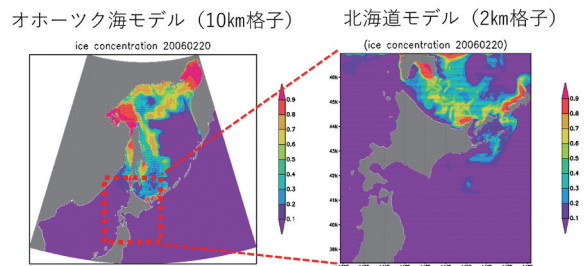
CASE 01

オホーツク海の海水変動予測と豊かな海洋生態系を生み出す仕組みを解明する

南部オホーツク海域では、春季の海水融解に伴って植物プランクトンが大増殖を起こし、それを起点とした豊かな生態系が形成され、大型鯨類も来遊する高度な生物多様性を示す。もし当海域から海水が消失すれば、海洋生態系への影響が甚大であろうことが予想される。そこで、南部オホーツク海域における海水・海洋変動を予測し、温暖化による海水域の変化が海洋生態系に与える影響を評価する研究を展開している。

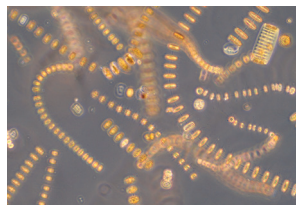
オホーツク海南部の海水・海洋変動予測

温暖化の度合いによっては北海道周辺海域でも海水域が消失する可能性があり、その条件を導き出すことを目的に、衛星や海上保安庁砕氷監視船「そうや」によって取得された長期海水観測データの解析、海水・海洋数値モデルの開発を実施している。これまでに、北緯46度以南のオホーツク海の水面積は30年規模で若干増加しており、海水の減少が見られる中部・北部とは有意に異なる変動特性を示すことが明らかになっている。



●オホーツク海海水数値モデル

●春季オホーツク海で増殖する植物プランクトン



●海上保安庁撮影協力

南部オホーツク海のモニタリング観測網の構築

南部オホーツク海の海洋循環や生物地球化学的な知見を収集するために、年間を通じた時系列モニタリング観測網の構築を進めている。船舶を用いた定線観測やプロファイルングフロート、および係留計を用いた観測を展開している。その結果、これまで明らかになっていなかった冬季海水期・春季海水融解期を含めた水塊構造や栄養物質濃度の季節変動が解明されつつあり、海水が微量栄養物質を運ぶなど、春季の植物プランクトン大増殖に果たす海水の役割が見えてきた。

CASE 02

気候に影響を与える南極の海洋環境ロボットでの南極沿岸の観測を開始

2000年もの時間をかけて、海の深部を巡る深層循環は、大量の熱や物質を循環させ、地球全体の気候に大きな影響を与える。深層循環は、北大西洋で冷やされる水や、南極での海水の生産に伴って作られる冷たく重い水が、海洋深層や海底付近にまで沈み込むことによって起こる。近年、南極においてこの冷たく重い水(南極底層水)の減少が確認されており、監視が続けられている。

南極底層水を定期的に観測 その変化の実態を明らかに

南極底層水は、南極沿岸の薄氷域(ポリニヤ)で海水生産の際にできる塩分を含んだ重たい水が、海底を下ることで作られる。東南極にこのポリニヤが多く存在することを、低温研を中心とした日本の研究グループが突き止めた。

さらに、南極底層水の性質や量などの変化について、数年ごとに定点観測を実施。沿岸に近い底層水の塩分濃度の低下や、底層水の体積の減少を確認した。また、底層水の水温上昇も報告されている。低温研では底層水の変化について、南極氷床と呼ばれる南極を覆う氷の流出が進み、沿岸の水が淡水化して軽くなったことで、底層水が以前ほど作られにくくなったと考え、研究を進めている。



南極氷床の縮小と気候変動の関係

南極氷床は雪が押し固められた氷の塊で、雪の積もる量と氷の流れ出る量によって体積が増減する。近年、人工衛星の観測により、西南極で氷床の流出の加速が確認された。このことは、氷床が海から受ける熱が増え、体積の減少につながっている可能性を示唆している。

氷床の流出は南極底層水のでき方にも影響を及ぼすことが考えられる。南極底層水が減少すれば、深層循環が弱まることも予想され、気候変動への影響が懸念されている。

海洋研究の分野では、無人ロボットによる観測が急速に発展しつつある。低温研でもそうした最新技術を積極的に開発し、南極沿岸の海と氷の謎の解明に挑んでいる。



CASE 03

微生物が作り出す彩雪現象が太古の地球をひも解く鍵に

雪の表面が絵の具で着色したように、赤や緑、青などに染まって見える「彩雪現象」。微生物の増殖や鉱物が生み出すことによって引き起こされる現象で、南極にあるテイラー氷河の「血の滝」が世界的に知られている。こうした現象の発生メカニズムの研究はまだ新しく、さまざまな可能性を秘めた分野として注目されている。

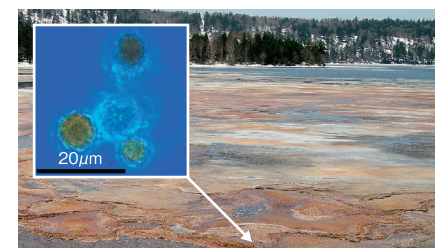
藻類やバクテリアが雪を赤く染める

彩雪現象は、微生物がどのように栄養を得て増殖しているかによって2つに大別される。

1つは10℃以下でも増殖可能な雪氷藻類によるもので、夏の南極でも観察されている。雪氷藻類が増える過程で光合成色素(クロロフィル)や補助色素(カロチノイド色素)を作り出し、雪が緑や赤に

見える原因となる。

もう1つはバクテリアによるもので、雪の多い湿原では、泥炭の水中に溶けた還元鉄が、雪解けで雪の表層に浸透する際、バクテリアが酸化鉄を作る。これが赤い色の原因になる。日本では尾瀬ヶ原の「アカシボ」がよく知られている。

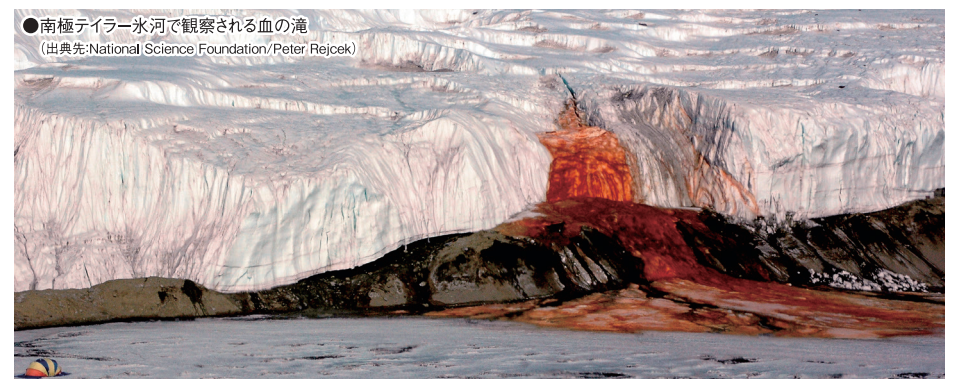


●群馬県尾瀬沼で観察されるアカシボ現象とアカシボ粒子

「血の滝」現象の研究から太古の地球を理解する

南極のテイラー氷河で観察される「血の滝」は、南極大陸の岩盤と氷床の間にある氷床下湖と呼ばれる湖から鉄を豊富に含む水が流れ出し、酸化することで生じる。海水が凍る際に塩類や有機物などが排出され、濃縮された状態の水には、酸化鉄由来の還元鉄が豊富に含まれており、微生物の働きによって酸化鉄からの還元が行われていることがわかった。暗く酸素もない海水中で、微生物たちは酸化鉄を還元することで栄養を得ているのだ。

この氷床下湖の水は新原生代(10億年~5億4200万年前)の海と似ている。血の滝現象の研究は、海の形成メカニズムや、微生物生態系の理解につながると期待されている。



●南極テイラー氷河で観察される血の滝
(出典先:National Science Foundation/Peter Rejcek)

CASE 04

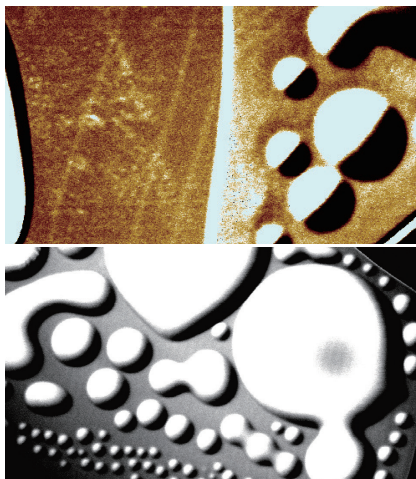
氷の表面を薄く覆う擬似液体層をナノメートルレベルで観察することに成功

氷の表面に擬似液体層と呼ばれる薄い水の膜ができ、わずかに濡れた状態になることがある。擬似液体層の厚さはナノメートル単位のため、従来の実験方法ではアプローチが難しかったが、低温研が開発した光学顕微鏡によって視覚的に捉えることに成功した。

分子レベルの観察が可能な光学顕微鏡を開発

低温研では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）を開発し、非接触・非破壊での擬似液体層の観察を可能にした。本研究では、擬似液体層同士が氷の上でくっつくときの形態変化を測定。表面張力や粘性などから擬似液体層の物理的性質を調べた結果、通常の水より200倍も流れにくいことなど、特異な構造・運動性を持つ可能性を確認した。

また、薄い膜状で完全に濡れた状態と、部分的に濡れた状態とがあることも視覚的に捉え、完全に濡れた状態ではおよそ9ナノメートルの厚さであることも明らかにした。



●光学顕微鏡で撮影した氷表面上の擬似液体層。下はドロップレット（液滴）形状を持つ擬似液体層が氷表面上に析出している様子

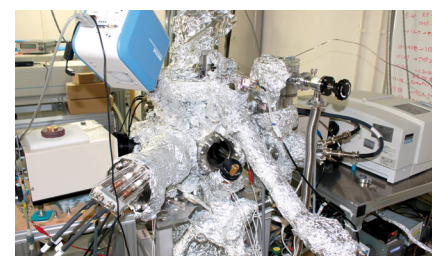
CASE 05

極低温の宇宙環境に浮遊する氷微粒子表面で生じる化学反応を実験で解き明かす

宇宙の極低温領域に浮遊する氷微粒子（氷星間塵）は、地球上に存在する水や複雑な有機物の材料物質と考えられている。星や惑星が誕生する以前の極低温の宇宙空間で、様々な分子種がいかんして氷星間塵上で生成・進化してきたか、新たに開発した超高感度の表面吸着分子非破壊分析装置を用いてその解明に挑む。

超高感度の表面吸着分子非破壊分析装置を開発

氷星間塵表面では、水素原子、水、一酸化炭素、メタノールなどの単純な原子・分子を材料として生じる様々な化学反応の連鎖により、複雑な有機分子が生成されている。これら複雑有機分子の生成過程を調べるために、実験装置内に超高真空・極低温（-263℃、絶対零度に近い温度）の宇宙

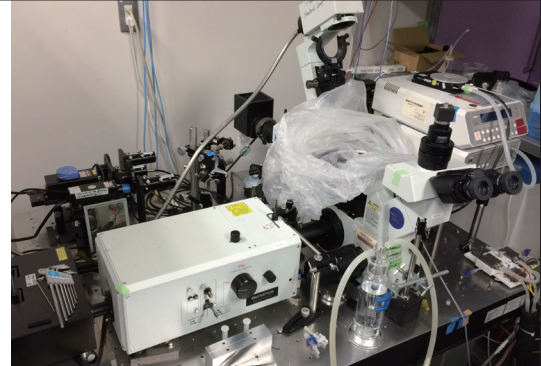


●超高感度の表面吸着分子非破壊分析装置、超高真空内に用意した-263℃の水表面上で生じる化学反応により、時々刻々と変化する表面吸着分子の種類と量の時間変化を極微量であっても測定することができる

環境を再現した。その中で、従来は不可能だった、極低温の水表面上で生じる、ラジカルなどの表面には瞬間的にわずかな量しか存在しえない分子種が関与する化学反応過程の観察を、新たに開発した超高感度表面吸着分子非破壊分析装置により可能にした。低エネルギーセシウムイオンビームを固体表面に斜入射し、反射するときにセシウムイオンに“そと”付着した固体表面吸着分子を質量分析することで、表面吸着分子を破壊することなく分析することができる。これまでの実験装置では捉えることができなかった反応性の高いラジカル分子の挙動をつぶさに追うことで、未知の化学反応ルートが明らかになってきた。

ラジカル分子が関与する化学反応過程をとらえた

氷星間塵には大量のメタノール分子が存在することが知られている。近年発見された原始的有

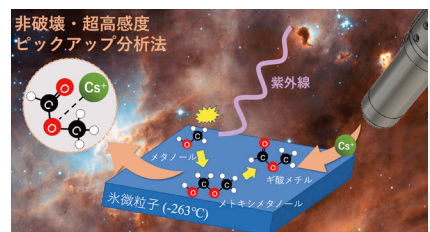


●レーザー共焦点微分干渉顕微鏡。1分子レベルの段差を可視化できる

水が氷に変わる相転移を理解する手がかりに

擬似液体層は、スケートの滑りやすさや雪の結晶の“形態変化”、凍結によって地面が隆起する凍上現象など、低温での自然現象と深い関わりがあると考えられている。低温研がその物性をより詳細に明らかにしたことは、自然現象を理解するための重要な手がかりになる。

本研究では、特に氷に焦点を当て、同じ物質である水や水蒸気が氷へと変化する「相転移現象」を、最先端の光学顕微鏡を用いて解明しようとしている。近年はナノレベルの空間における水の動きの研究が注目されており、細胞内での水の流れの解明などにも、研究の成果が生かされる可能性がある。



●氷表面で生成したメトキシメタノールやギ酸メチルを、セシウムイオンにより高感度検出するときのイメージ図



●メトキシメタノールおよびギ酸メチルの生成過程。メトキシラジカルとヒドロキシメチルラジカルの反応によりメトキシメタノールが生成される。その後、生成されたメトキシメタノールに紫外線があたることで、ギ酸メチルが生成される。ラジカルを実験的に捉えることで、反応経路を明確に知ることができる

機分子ギ酸メチルは、メタノールから進化したと考えられていたが、その詳細は不明であった。それを知るため、-263℃の水表面上にメタノールを吸着させ紫外線照射実験を行ったところ、メトキシメタノールやギ酸メチルといった、複雑有機分子の生成が観測された。紫外線照射中に行った、ラジカル種を含む様々な表面吸着種の種類や量の時間変化を追うことにより、メタノールと水からギ酸メチルが生成されるルートを初めて明らかにした。本装置は、氷星間塵表面で生じている生命の材料物質となる様々な複雑有機分子の生成過程の研究にプレイクスルーをもたらした。

CASE 06

生物が獲得してきた資源・エネルギーの効率的利用術を解明する

生物進化の長い歴史の中で、今を生きる生物たちは、幾多の試行錯誤の結果として、資源・エネルギーを最も効率的に利用する術を獲得してきた。そして各々が生態系のメンバーとしての役割を持ち、生物同士が相互に影響を及ぼし合うことによって、地球生物圏を形成している。この資源・エネルギーの効率的な利用が実際にどのように行われているのかはほとんどわかっていない。しかし低温科学研究所で開発した解析法を用いることによって、その一端が見えてきた。

有機化合物の安定同位体比を用いた解析法を開発

生物の生理学的反応に伴うエネルギー収支は、生物が利用しているアミノ酸、脂質などの有機化合物の安定同位体比（¹³C/¹²C比、¹⁵N/¹⁴N比など）に記録されている。低温研ではこれらの安定同位体比を高精度で測定し、エネルギー収支を推定するための解析法を開発した。この解析法を用いることで、植物や植物プランクトンの光合成によって獲得された太陽エネルギーや、固定された元素が、食物連鎖網の中で、あるいは捕食者の体内で、どのようなルートを通り、どのように保存または消費されていくのかが評価できるようになった。



●ガスクロマトグラフ-同位体比質量分析計では、1ナノグラム（1グラムの10億分の1）の有機化合物から安定同位体比を高精度で測定できる

CASE 07

落葉と常緑:寒冷圏の樹木が越冬するための2つの戦略

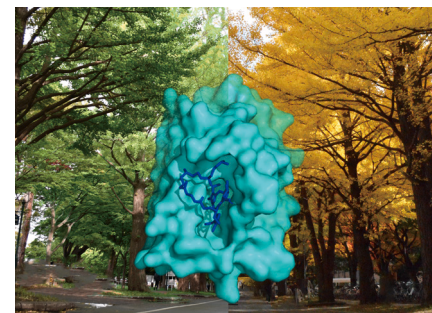
光合成は、植物が日光からエネルギーを得るための重要な反応だが、一方で、低温条件では葉の細胞にとって毒となりえる活性酸素を生み出す危険性がある諸刃の剣である。このため、寒冷圏の樹木は、冬季には落葉をするか、あるいは、葉をつけたまま光合成の活性を抑える必要がある。低温研では落葉樹が紅葉（紅葉）し、落葉するために必要な酵素を発見した。また、常緑樹が冬季に光合成の活性を抑える仕組みの解明に取り組んでいる。

紅葉（紅葉）に必要なクロロフィル分解酵素の発見

樹木は春から秋にかけて盛んに光合成を行い、葉の細胞の中に糖や脂質やアミノ酸を貯蔵する。落葉樹は、秋の落葉の前にこれらの物質を枝や幹の細胞に移す必要がある。このために必要なのが、紅葉（紅葉）、すなわち葉緑素の分解である。紅葉がおこることによって、光合成に使われていたタンパク質や脂質が分解され、分解された物質は葉から枝や幹に移動することができるようになる。

低温研では、葉緑素を分解する酵素を発見した。この酵素は、葉緑素に結合しているマグネシウムを外す働きがあり、マグネシウムが外れると葉緑素は徐々に分解される。そして、葉緑素が分解す

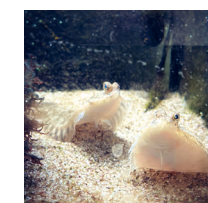
ると葉は黄色くなり、さまざまな物質が移動する。すなわち、この酵素が紅葉の引き金を引くのである。



●葉緑素を分解する酵素の分子構造が明らかになった

飼育実験を通して生物の環境適応戦略を紐解く

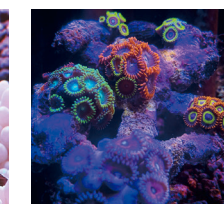
生物は、季節変化、飢餓、よそ者の侵入などの様々な環境変化に曝されながら、一見すると、その変化が存在しないかのごとく、過酷な環境へも適応して生きている。また多くの生物が、異なる生物種間での共生関係を形成し、エネルギーを効率的に利用して生きている。研究室内で様々な環境を模した飼育実験と、安定同位体比分析を組み合わせた研究は、このような生物の環境適応戦略の理解につながると期待されている。



●低温（10～17℃）では、海水を浄化するバクテリアの活性がとて低くなるため、高度な飼育技術が求められる



●クマノミとイソギンチャクは、異種間の共生の代表例である



●サンゴは体内に褐虫藻を共生させ、褐虫藻が光合成で作出す有機物をもらって生きている



●常緑樹は光エネルギーを熱に変えることで冬の低温下での活性酸素の発生を防いでいる（撮影:小野数也）

光エネルギーを熱に変えることで光合成活性を抑制

一方、常緑樹は冬季にも葉緑素を保ち光エネルギーを吸収しているが、このエネルギーは活性酸素を生み出す危険性がある。そこで、常緑樹は冬季には吸収した光エネルギーの大半を熱に変えてしまうことでこの危険性を回避することがわかってきた。低温研では、常緑樹の遺伝子やタンパク質を研究することで、この反応の解明に取り組んでおり、葉緑体に含まれる特別なタンパク質がこの反応に関わることが次第に明らかになってきた。近い将来、冬の常緑樹が光エネルギーを熱に変える仕組みが解明されれば、寒冷圏の樹木の越冬に必要な2つの戦略、すなわち落葉と常緑の仕組みが分子レベルで明らかになると期待される。