

北海道大学低温科学研究所 技術部技術報告

第 25 号



2019年11月

表紙の写真（本文 P. 34）

アラスカ州バローにおいて 2013 年 7 月 31 日、現地時間で 15 時半過ぎ、沿岸から 20 km ほど離れた沖合に設置した係留系の回収に向かった。現場に着いたのが 17 時過ぎ、周りには多くの海水が漂っていた。切り離し装置に信号を送信、この時誰もが思っただろう、「土嚢から切り離された係留系が海水の下に浮いて来たらまずい・・・」と。皆、自分が先に見つけると周りを見渡す。パシャパシャと海水の浮き沈みする音が聞こえる。突然「あった～!!」と響き渡る声に一同「よかった」と一安心。係留系のオレンジ色の浮き球が海水に囲まれた開水面に浮いている。さあ～取りに行こうかと慌ただしくなった。

**北海道大学低温科学研究所
技術部技術報告**

第 25 号

2019 年 11 月

2019年度技術報告会開催に寄せて

本日、第25回低温科学研究所技術部技術報告会を開催する運びとなりました。まず、日頃よりご支援を賜っております関係各位に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

本報告会は、技術部の一年間の活動を所内外の皆様にとって頂く機会として、また、参加者の皆様に情報交換の場をご提供することにより、新技術の活用や新たな研究展開へのきっかけを見出して頂く機会として企画しているものです。実り多い報告会になりますよう、皆様の活発なご議論をお願い致します。

また、技術部職員にとりましては、この会は、自分たちが日頃行っている技術支援が具体的にどのような研究成果に結びつくのかを知り、利用者の皆様の意図や要望をよく理解する大変良い機会になります。それにより、自ら新たな創意工夫や改善点を見出し、新たに習得すべき技術を探索し、柔軟な発想の元手となる新たな知識を求めるなど、自己研鑽に向かう強い動機づけを得ることができます。参加者の皆様には、是非この機会に、奇譚のないご意見やご要望をお聞かせ下さるようお願い申し上げます。

さて、最先端の研究には、最先端の技術が必須であることは言を俟たないことと思います。既成品のない新たな実験装置の開発や、高度な研究設備の維持・管理はもとより、研究現場で直面する様々な技術的課題に対する迅速かつ柔軟なサポートを確実に行うことのできる、高度な技術と幅広い知識をもった技術者が必要です。その上で、研究者と技術者とが一体となって問題解決に取り組むことができる、融通性のある仕組みや雰囲気を持することが重要です。そうすることで、既存の枠にとらわれない独創的な発想が生まれ、先駆的な研究成果を迅速に発信する研究所本来の機能が最大限に発揮されることとなります。

技術部職員一同は、こうした要請に応え、今後も高度なパフォーマンスを発揮し続けられるよう、教員・事務職員と協力して一丸となって努力して参る所存です。今後とも、低温研技術部に対する皆様のご支援とご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

2019年11月15日
技術部長 渡辺 力

目次

1. 微小重力実験用ダスト再現装置の動作結果：海外の観測ロケット実験を終えて 木村 勇気・齋藤 史明・中坪 俊一・千貝 健・森 章一・稲富 裕光	1
2. 氷-水成長界面におけるステップダイナミクスのその場観察 村田 憲一郎・長嶋 剣・佐崎 元	13
3. <i>Nitrospirota</i> 門に属する新規硫黄不均化細菌の生理学的特徴 加藤 由佳子・梅澤 和寛・小島 久弥・福井 学	16
4. バスケットを用いたオホーツク海の海水サンプリング観測 豊田 威信・西岡 純・伊藤 優人	19
5. 極低温ステージの製作 藤田 和之	24
6. 低温氷表面吸着物質の高感度非破壊質量分析装置の開発 石橋 篤季・日高 宏・大場 康弘・羽馬 哲也・香内 晃・渡部 直樹・ 藤田 和之・森 章一・平田 康史	30
7. アイスコア用の近赤外反射率測定装置の開発 飯塚 芳徳・齋藤 健	32
8. アラスカ北部チュクチ海における海水・海洋の係留観測の支援について 高塚 徹・深町 康・大島 慶一郎・平野 大輔・伊藤 優人・ Andrew R. Mahoney・Joshua Jones	34
9. 雪崩測定機器の製作 西村 浩一・伊藤 陽一・森 章一・藤田 和之	39
10. 総合技術研究会 2019 九州大学参加報告 佐藤 陽亮・藤田 和之	43

微小重力実験用ダスト再現装置の動作結果： 海外の観測ロケット実験を終えて

木村 勇氣^{1,2}、齋藤 史明³、中坪 俊一⁴、千貝 健⁵、森 章一³、稲富 裕光⁴

1. 共同研究推進部
2. 雪氷新領域部門宇宙雪氷学分野
3. 技術部装置開発室
4. 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
5. 技術部先端技術支援室

はじめに

我々は、微小重力環境下で宇宙ダストの生成過程を模擬した実験を行うために、ドイツとアメリカとの国際共同研究チームを立ち上げ、2016年12月に宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の宇宙理学委員会にダストの核生成ワーキンググループとして認められ、準備を開始した。その後、2017年4月に同所の戦略的基礎開発予算（理学）に採択され、2017年7月には DUST (Determining Unknown yet Significant Traits) というプロジェクト名で小規模計画に採択された。そして、アメリカの共同研究者である J. A. Nuth III 氏を代表として提案した NASA の “Astrophysics Research and Analysis” プログラムに 2017年10月に採択されたことで、打ち上げに向けて実験装置の検討、作製を本格的に始めた。さらに、ドイツ航空宇宙センター (DLR) のサポートで、スウェーデン宇宙公社 (SSC) の観測ロケット MASER 14 を用いた実験の実施が 2018年6月に内定した。昨年の技術報告会では、低温科学研究所と宇宙科学研究所の技術室の協力の元に検討、作製した実験装置について紹介した。本年度は、完成した装置とロケットへの組み込み準備や、本原稿執筆時点で終了した SSC における実験状況について報告する。

プロジェクトの目的

我々 DUST プロジェクトの大きな目的は、『138億年の宇宙史における、分子、鉱物粒子（ダスト）、惑星、そして生命へとつながる有機物の形成過程や変遷を、物質科学の視点から理解する。そして、物理、化学の素過程に立脚した揺ぎ無い宇宙物質の創成史を確立する』ことにある。宇宙における物質進化を素過程から理解したいというのがモチベーションであり、具体的にはナノ粒子としての表面自由エネルギー、付着確率、赤外特性を微小重力環境下で調べる。ドイツとの共同研究では特に、星間物質の主要成分の一つである炭素質物質の生成に必須のデータを取得し、その進化史を明らかにすることを目的に据えた。また、アメリカとの共同研究では、酸素星および惑星系星雲におけるシリケートダストの生成過程の理解が目的である。

実験装置の概要

本プロジェクトでは、二波長マッハツェンダー型レーザー干渉装置と浮遊ダスト赤外線スペクトルその場測定装置の二つの実験装置を搭載した（図1）。両装置とも、日本で

2012年と2015年に行ったS-520観測ロケットを用いた微小重力実験で用いた装置を踏襲した[1,2]。

干渉装置は、屈折率変化を100万分の1以下の感度で捉えられる干渉計と、高温のガスから宇宙ダストの類似物としてのナノ粒子を形成できる真空槽（核生成チェンバー）から成る。干渉計が検出できる感度は、光路長にして数十nm程度の極微小な変化に対応する。この二波長レーザー干渉装置を用いることで、核生成時のガスの温度と濃度を同時に決定できる。気相中の核生成環境の屈折率は温度、濃度、レーザー波長の関数で記述できるため、異なる二波長の光を核生成領域に入射して屈折率の変化を同時に得ることで、簡単な計算の後に温度と濃度の情報を同時に決定できる。基準温度を得る為に白金抵抗測温体をチェンバー毎に2個ずつ設置した。一つは蒸発源につながっている銅の電極に、もう一つは試料採取用のx軸アクチュエーター（超音波モーター）に取り付けた（昨年原稿[3]の図3を参照）。x軸アクチュエーターを駆動することでシャッターを動かして、生成粒子が時間と共に凝集していく過程を調べる。この他に、蒸発源温度と核生成チェンバー内の圧力を二色放射温度計と圧力計でそれぞれ計測する。干渉縞と実像の画像データはテレメトリーで地上に送るだけでなく、ドローン用として売られている小型の画像記録装置を用いてSDカードにそれぞれ記録する（昨年原稿[3]の図4を参照）。

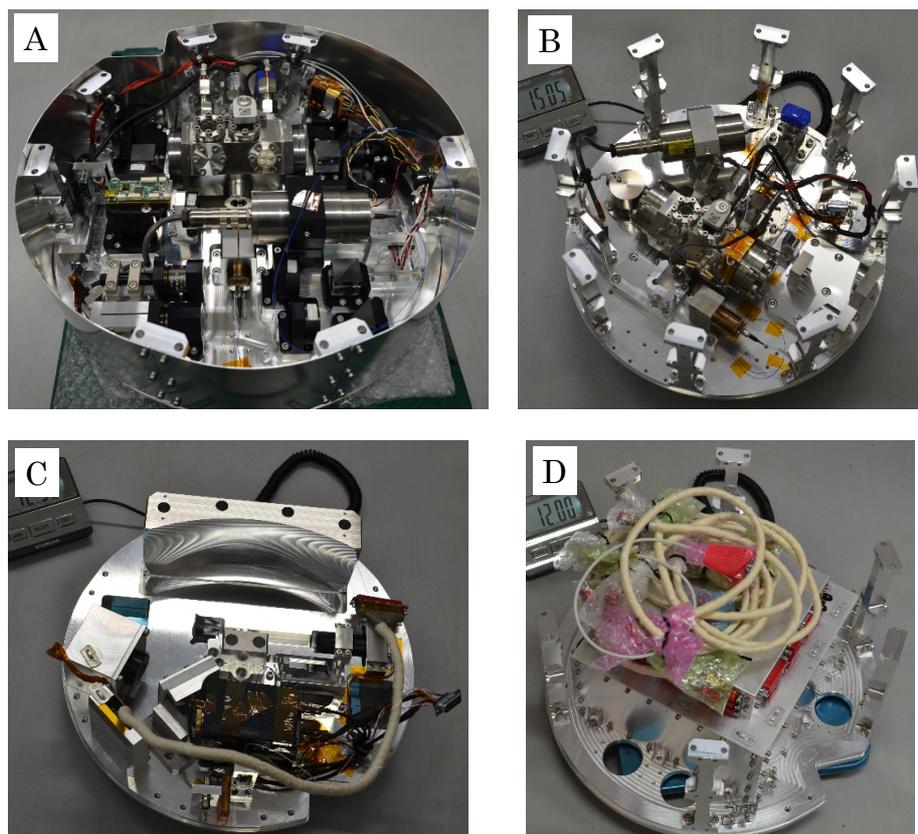


図1 ロケットに搭載した主要装置。A：二波長マッハツェンダー型レーザー干渉装置。B：浮遊ダスト赤外線スペクトルその場測定装置の上面、C：同下面。BとCは組み合わせて使用する。D：インターフェース装置。実験装置の制御とロケット側との通信を担う。

x 軸アクチュエーターの 1 パルスあたりの駆動効率は温度に依存する。そのため、白金抵抗測温体を x 軸アクチュエーターのベースに取り付けて温度を計測した。実験開始時に IF 装置が立ち上がって 30 秒後の温度を取得し、実験中に送るパルス数を決定した。これは、赤外線光源と蒸発源を駆動するための HC の電源が入ると、計測データが下駄をはいてしまうことが分かったため、実験中の計測値をリアルタイムに用いることを諦め、HC の電源投入を IF に対して 50 秒遅らせる処置をとったためである。具体的には、SSC (NASA) の実験では X-298 秒 (X-300 秒) で IF 電源投入、X-268 秒 (X-270 秒) で x 軸アクチュエーターの温度取得、X-248 秒 (X-250 秒) で HC 電源投入となる。ここで、X は打ち上げ時刻である。

試料採取装置には 5 つの穴が空いており、SSC 用には窒化シリコン製、NASA 用にはカーボン製の非晶質薄膜が貼られた電子顕微鏡観察用のグリッドを配置した。最初の穴は初めからオープンになっており、蒸発源の加熱終了後 5 秒でクローズし、次の穴がオープンとなる。その後、10 秒、20 秒、50 秒 (蒸発源加熱終了から 15 秒、35 秒、85 秒) 後に順次採取し、最後の穴は実験終了時までオープンのままとなる。ここで、白金測温体の断線などで想定外のパルス数が送られることを防ぐために、0℃以下の場合は 18℃に、0℃から 22℃では補正無しで、22℃から 50℃の時は 22℃、50℃以上の時は 18℃のパルス数を送るよう設定した。また、打ち上げ時には 15 ± 5 ℃で打ち上げるようにリクエストした。SSC における実験時のパルス数と温度 (T(℃)) の関係を以下に示す。

IFC1

$$1 \rightarrow 2 : \text{パルス数} = 1964 - 57 \times T \quad 2 \rightarrow 3 : \text{パルス数} = 2659 - 90 \times T$$

$$3 \rightarrow 4 : \text{パルス数} = 3073 - 107 \times T \quad 4 \rightarrow 5 : \text{パルス数} = 3694 - 137 \times T$$

IRC1

$$1 \rightarrow 2 : \text{パルス数} = 3715 - 137 \times T \quad 2 \rightarrow 3 : \text{パルス数} = 2079 - 55 \times T$$

$$3 \rightarrow 4 : \text{パルス数} = 1876 - 54 \times T \quad 4 \rightarrow 5 : \text{パルス数} = 1630 - 41 \times T$$

赤外線スペクトル装置は、独自に開発した波長分散型の赤外分光光度計と、高温のガスから宇宙ダストの類似物としてのナノ粒子を形成できる核生成チェンバーから成っている。干渉装置の核生成チェンバーとの違いは、中間赤外線領域の光を核生成チェンバー内に導入するために、ガラスの代わりに SSC 用には KBr、NASA 用には KRS5 のビューポートを用いた点と、光を核生成チェンバー内で二回反射させるために二枚のパラボラミラーが入っている点にある。中間赤外領域は多くの鉱物の指紋領域であり、その特徴から非晶質から結晶への変化や、鉱物組成、および、その結晶構造の同定を行うことが可能である。本装置の特徴は、測定した赤外スペクトルを、天文観測で得られる天体周辺での宇宙ダストの赤外スペクトルと直接比較できる点にある。この他、蒸発源温度と核生成チェンバー内の圧力を計測する二色放射温度計と圧力計、実像の画像データとその画像記録装置、x 軸アクチュエーターは干渉装置と同様である。

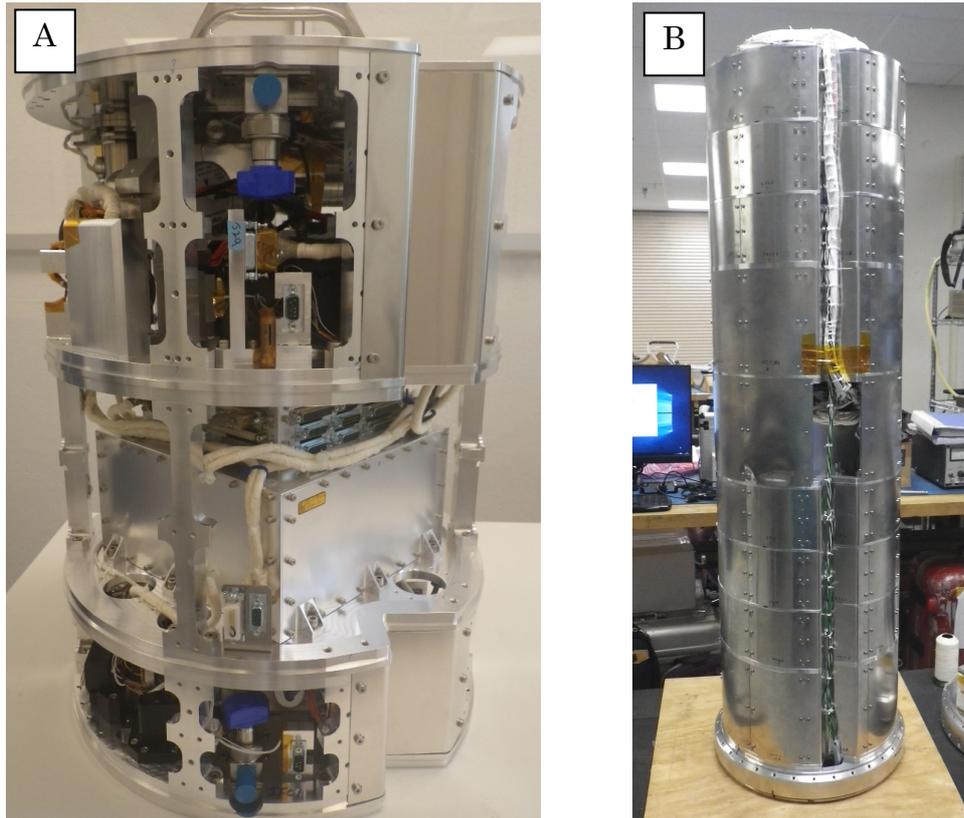


図 2 観測ロケット搭載用実験装置。A: SSC 用で干渉装置 (IFC) 1 台、赤外線スペクトル装置 (IRC) 1 台、インターフェース装置 (IF・HC) 1 台で構成される。上から IRC1、IF・HC、IFC1 で、全長 560 mm、直径 405 mm、重量約 53 kg。B: NASA 用で、干渉装置 4 台、赤外線スペクトル装置 2 台、インターフェース装置 1 台で構成される。上から、IFC4、FC3、IRC1、IF・HC、IFC1、IFC2、IRC2 で、全長 1,400 mm、直径 405 mm、重量約 150 kg である。SSC 用の実験装置では、53 kg の重量制限をクリアするために、インターフェース装置の柱を 3 本と外壁の大部分を取り払った。NASA 用の装置では、中央のインターフェース装置の壁以外は全て取り付けられた状態で実験を行う。NASA 側の要望で、ケーブルを固定するための小さな金具が切欠き部分の壁に取り付けられた。両者ともスキンと呼ばれるロケットの外筒に収められる。

赤外線光学系は、光が核生成領域を 3 回通る仕様で、装置の小型化と 8.1–36 μm の全波長域のスペクトル (分解能 $R = \lambda/\Delta\lambda = 110 - 190$) を同時に取得できる仕様となっている。幅広い波長領域を一度に測定するために、光路を 3 つに分けて、3 台の赤外線カメラを検出器としてそれぞれ用いた。3 つの光路は短波長側から、 $\lambda = 8.1 - 12.0 \mu\text{m}$ ($R = 190$)、 $\lambda = 11.9 - 23.7 \mu\text{m}$ ($R = 170$)、 $18.2 - 36 \mu\text{m}$ ($R = 110$) の波長域をカバーしている。長波長側のスペクトル測定用には、今回新たに設計製作したスリットミラー (クリスタル光学製) を用いて光路を二つに分けることで対応した。SSC の実験では、重量制限をクリアするために長波長側の光学系を外して 8.1–23.7 μm の測定波長領域で運用した。

中間波長領域と長波長領域の赤外線用の検出器である赤外線カメラは、PC を用いて制御する必要がある。そのため、カメラ 1 台につき 1 台の小型 PC を搭載した。この PC は、電源導入と同時に起動し、画像記録用ソフトウェアを立ち上げて自動的にデータを SD カードに記録、シークエンス終了後に停止するようにプログラミングした。SD カードに記録されたデータの中から、1 秒以内に生成されている最新のファイルが、USB で接続している IF 内の FPGA へ送られる。該当するファイルが無い時には、ダミーデータを送るようにした。FPGA では、まずヘッダデータをサーチし、検出に成功するとデータ受け取りを開始して、一旦バッファメモリに記憶する。このバッファメモリは 1 フレーム分のデータだけを記憶できる。バッファメモリからデータを読み出して、波長ごとの赤外線強度の最小値を探し、その値をすべての強度データから引き算して、ベースラインを下げる。これは、値を小さくすることで一つの強度データを 16 ビット以内に収めることが目的である。ここで、最大値がまだ 16 ビットよりも大きな値を持つ際には、BitShift の操作を行う。このシフト量も後から復元できるようにテレメトリーで取得した。このように処理したデータは、テレメトリー用の送信バッファメモリまたはプレイバック用の SSRAM に記憶される。SSC の実験では、赤外線スペクトル測定の終了後に、リアルタイムで地上に送ることができなかったスペクトルデータをプレイバックしてテレメトリーに載せる。データは、送信バッファメモリと SSRAM の両方に書き込まれることはないため、地上に降ろしたデータに重複はない。

図 2 に SSC と NASA それぞれの観測ロケット用の実験装置を示す。SSC の実験では干渉計と赤外スペクトル装置をそれぞれ 1 台ずつ、NASA の実験では、干渉計を 4 台と赤外スペクトル装置を 2 台搭載した。実験装置の基本構成は 2015 年に日本の観測ロケット S-520 30 号機を用いて行ったものと同様であるが、今回はペイロード部を回収できるために、試料採取機構や画像記録装置などを搭載した。

テストモードとフライトモード

核生成は蒸発した分子が凝縮するための土台があると、簡単に不均質核生成してしまうために、核生成チェンバー内に微粒子が漂っていると正確なデータが取れない。また、確実に蒸発させるために、蒸発源が切れるほど高温に加熱する。そのため、核生成チェンバー内に蒸発源を用意すると、実験ができるのは一度きりである。そのために、蒸発源物質を蒸発させずに運用するテストモードと、本番用のフライトモードを用意した。

本番では、15 秒間かけて蒸発源電圧を 15 V まで徐々に昇圧し、その後 5 秒間 15 V を保つ。昇圧時の負荷については 1 (ON) : 255 (OFF) から始まり、最後は 100% ON の状態とした。このとき、半導体リレー (solid-state relay; SSR) を用いてパルス幅変調 (pulse width modulation; PWM) の周波数 40 Hz でスイッチングを行った。この時に流れる電流は負荷に依存しない。テストモードでは、最も小さな負荷で電流を流した。赤外線光源の駆動電圧は定格 12 V に対して、輝度を上げるために 14 V で運用する。電圧を上げると短くなる光源の寿命をできる限り延ばすために、テストモードの時には 10 V で運用した。

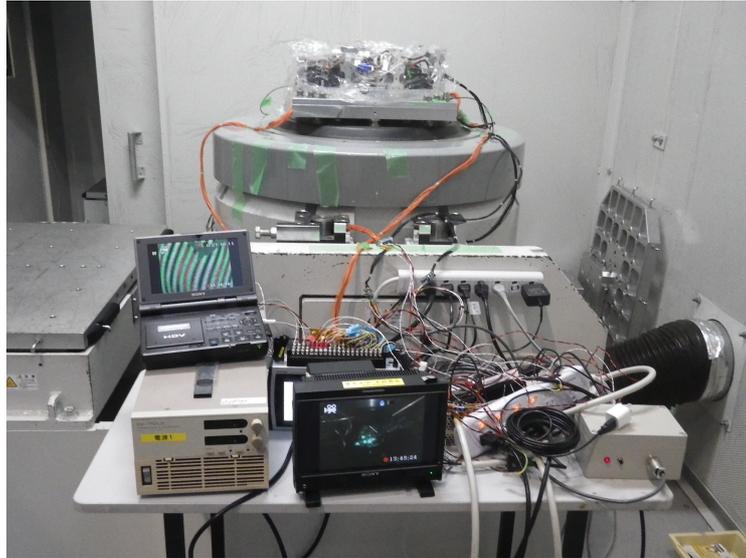


図3 神奈川県立産業技術総合研究所に設置されている加振機を用いた振動試験の様子。IFC1 を通電状態で機軸方向に加振する。

テストモードとフライトモードは、IFの外側に用意したコネクタを差し替えることで切り替える方式をとった。これにより、ソフトウェアの不具合などで予期せずフライトモードになることを避けた。SSCとNASAの実験用シーケンスも同様のコネクタの差し替えで切り替える。

NASA側からバッテリーテストのために蒸発源にフライトと同様の電圧をかけた時と同様のテストができるように求められたため、IRC1にだけ複数回電圧が掛かるテストモード2を後から用意した。この時には、IRC1の蒸発源加熱用コネクタを外して外部に用意したテスト用チェンバーをつないで試験を行った。テストモード1と2の切り替えはソフトウェアで行った。

装置完成から打ち上げまでの作業状況

観測ロケットに搭載する装置は、事前に振動試験を実施して健全性を担保しておく必要がある。今回は、同じ装置をSSCとNASAの二つの観測ロケットに搭載するために、双方の要求を満たす必要があった。固体燃料を用いた観測ロケットでは、要求される振動試験条件は装置が壊れるのではないかと心配になるほど厳しいために、両者の条件で二回実施するのは避けたい。そこで、SSCに対してNASAの観測ロケットの振動条件を示して相談し、「NASAの振動条件を満たせばSSCの要求を満たしているとみなして良い」という結論を得た。

振動試験は神奈川県海老名市の神奈川県立産業技術総合研究所に設置されている加振機で干渉装置4台、赤外装置2台、インターフェイス装置1台の計7ヶを個別に、x, y, zの3軸それぞれにランダム加振、x軸にはサイン加振も合わせて実施した。まず、SSCに向けて4月22日に発送する予定であった干渉装置(IFC1)と赤外装置(IRC)を一台

ずつ4月3日にロケット打ち上げ時と同じ状態を模擬するために通電状態で試験を行った(図3)。続けて、4月15日にSSCでは予備となる干渉装置(IFC2)を一台とインターフェイス装置の振動試験を行った。全装置の最終確認を4月18日にJAXA/ISASで行って健全性を確認し、ペイロード部(143×102×98 cm, 150 kg)、真空排気装置(130×91×109 cm, 155 kg)、工具類など(91×91×85 cm, 80 kg)の三箱に梱包して、4月22日にスウェーデンのストックホルム市近郊のソルナ市にあるSSCに発送した(図4)。NASA用にのみ使用する実験装置(IFC3, 4, IRC2)の振動試験は5月30日に実施し、ペイロード部1箱(143×102×98 cm, 180 kg)を7月3日に噛み合わせ試験を実施するワロップスに発送した。



図4 スウェーデン、ソルナ市のSSCに到着したペイロードを収納した通箱(左)と工具類を収納した通箱(右)。



図5 SSCにおいてクリーンブース内でペイロードを外筒に組み込む様子(左)と外筒に用意したハッチから真空引きする様子(右)。



図 6 エスレンジのドーム内で準備中の観測ロケットのペイロード部。机の上に設置されているのが真空排気装置。NW25 のフレキシブルチューブを上方に伸ばして、外筒に用意したハッチから 2 台の核生成チェンバーを同時に真空引きしている。

5 月 6-10 日にソルナ市の SSC でロケット側との噛み合わせ試験を行った。この試験では、クリーンブース内で実験装置をロケット外筒に入れて結合試験を実施し、外筒の外から核生成チェンバーの真空引きとガス導入ができることを確認した(図 5)。また、シークエンステストを行い、所定のデジタルデータ、アナログデータ、画像データがロケット側の装置を通して記録できることを確認した。これは、2018 年 12 月と 2019 年 2 月に 2 回 SSC から技術者が来日して低温科学研究所において計器合わせを行い、事前に確認を行っていたために大きな問題なく終了することができた。

SSC の実験では、我々の他に三つのプロジェクトとの相乗りであった。個別の試験が終了した後、我々の帰国後に全実験機器を結合し、シーケンス中に各実験機器が引き起こす振動に関する試験 (induced vibration test) が SSC 側で行われ、プロジェクト間で実験機器同士が影響を与えないことが確認され、ペイロードは射場のあるキルナ市のエスレンジに輸送された。

エスレンジでは、6月10日から打ち上げに向けて準備をスタートさせた。我々も10日に現地入りして、作業を開始した (図6)。現地では、毎朝8時半からデイリーミーティングを行った。エスレンジにおける主な作業を時系列を追って以下に記す。

- 6月10日：ドームに設置されているペイロードの外壁から IF の FPGA ROM 書き換え作業を実施。
- 6月11日：サイエンスセンターにおいてクイックルックを自前の PC で表示できることを確認。IFC と IRC の真空引き開始。
- 6月12日：ペイロードの最終確認。ノーズコーンとサービスモジュールをペイロード部に結合。
- 6月13日：テストモード2で DUST のシーケンス試験、EMI 試験、Late アクセスの手順の確認を実施。打ち上げ5時間前からの最終シーケンスの確認試験をテストモード1で実施。
- 6月14日：早朝に別プロジェクトの打ち上げがあり、24時間射場のベント待ち。
- 6月15日：ペイロードを射場に移動するためにケーブル類や真空ポンプをすべて取り外して記念撮影。ノーズコーンにサインをして、ペイロードを射場に移動。射場で真空ポンプを再度立ち上げて、真空引きを開始。
- 6月16日：射場にあるペイロードとサイエンスセンター間のデータの送受信の確認。射場近くにクリーンルーム完成。Ar ガス用のレギュレーターを真空装置に接続。今後の日程に関するミーティングを実施。
- 6月18日：気象ミーティングの練習に参加。北風の場合、射角が打ち上げ可能範囲内に入りにくいいため、南風が望ましいことが伝えられた。
- 6月20日：クリーンルーム内にクレーンを設置。Ar ガスの導入テストを実施。実験室をドームから射場横の建物内のクリーンルームに移設。Ar ガスボンベと真空装置間の真空引きを開始。実験室をドームからクリーンルームに引っ越し。気象ミーティングにおいて、23日の打ち上げが難しいことが報告された。ロケットとサイエンスセンター間の接続試験を実施。ペイロードチェックアウト (SSC の装置の運転状況の確認)。
- 6月21日：Early アクセスの手順を確認 (Ar ガスの導入)。気象ブリーフィングを実施。ドレスリハーサル (テストカウントダウン) を実施し、その中で Late アクセスの手順を確認。ドレスリハーサル終了後に真空引きを再開。ドレスリハーサル終了後ミーティングを実施。

6月22日：DLRとSSCとの間で取り交わされる最終的な打ち上げの承認会議に参加。
気象ブリーフィング、デイリーミーティングを実施。各研究テーマの紹介。
DLRと電話会議。

6月23日：

11時 気象ブリーフィングの結果、翌24日の打ち上げが決定。
14時30分 最終確認会議。
16時30分 射場に移動してArガスを導入。真空装置とボンベを射場から降ろした。
22時 サイエンスセンターに集合して打ち上げ準備を開始。
23時05分 カウントダウン開始。
23時17分 ペイロードチェック（DUST装置を立ち上げて圧力などを確認）。

6月24日：

1時25分 Lateアクセスのために射場へ。
1時43分 IF装置からD-Subコネクタのテストプラグを外し、窒素ガスでペイロード内部をパージ。
3時 全体的な作業の遅れで30分のHold（打ち上げ4時30分へ変更）。
3時30分 ペイロードチェックアウト（SSCのDUST制御モジュールとの通信を確認）。
4時15分 風のためにX-20分へ戻りホールド。
7時15分 カウントダウン再開（打ち上げ時刻7時35分に設定）。
7時30分 全実験チームのコマンドが通らず、シーケンスが流れなかったため、カウントダウン停止。
8時32分 原因究明の後、T-20分から再開。
8時47分 T-5分、コマンドが通ってDUST装置ON。
8時48分 DUST実験装置に問題のないことを確認
8時52分 MASER14打ち上げ。
8時59分30秒 微小重力終了、打ち上げ成功を確認。
9時02分10秒 パラシュート展開
9時06分02秒 通信終了。
10時06分 ペイロードのランディング後の状態を確認するために、着地地点までヘリコプターで回収に出発。
10時32分 ペイロードから少し離れた所に着陸、回収作業開始。ペイロードは岩の上に落ちていたが、横倒しになり、DUST装置はブッシュの上に接地していた。大きな外傷が無いこと、地面は乾燥していてスキンも濡れていないことを確認。
11時32分 回収作業終了、ペイロード部エスレンジのドームへ運搬。他のメンバーと6人で着地地点にて待機。
12時49分 ヘリコプターが戻り、エスレンジへ帰還。

13時20分	エスレンジ到着。
14時25分	実験データの取り出し、ペイロード部をクリーンブースまで運搬。
15時20分	ペイロード部の健全性を確認。実験装置とスキンを分離。
18時	実験データ確認。
21時30分	打ち上げイベント完了。

MASER 14 打ち上げ結果

本原稿執筆時点では、NASA での実験はまだ終了していないため、これ以降の作業については SSC における実験についてのみまとめる。SSC からの公式発表を元に MASER 14 の打ち上げ結果をまとめると、カウントダウン開始時刻は現地時間 2019 年 6 月 23 日 23 時 05 分、打上げ時刻は同 24 日 8 時 52 分であった。微小重力開始時間は打ち上げ後 66 秒で、同 448 秒後に終了し、微小重力時間は 382 秒 (6.4 分) であった。最高到達高度は打ち上げ後 257 秒時に 244.7 km で、日本の S-520 観測ロケットの 300 km 超と比べると若干低い。そのため、微小重力時間も 1 分ほど短い。微小重力終了後 X+448 秒で再突入のために毎秒 152 度までスピニングアップを行った。減速時の G レベルは最大 11.5 G であった。打ち上げ後 584 秒で減速用パラシュート展開、同 610 秒でメインパラシュートを展開した。打ち上げ後 842 秒でロケットとの通信は途絶えた。ペイロード部の着地点は射場から 74.6 km で、ペイロード帰還は 24 日打ち上げ日の 12 時 05 分であった。以上より、当初の予定通り打ち上げは成功した。

実験後作業

まず、打ち上げ翌日 25 日の午前中に実験後ブリーフィングを行った。その後、クリーンブース内で実験装置の分離作業を行い実験試料の回収と実験データの保存を実施した。また、予備用としていた IFC2 を用いて地上対象実験を行った。その後、NASA における実験のために、IFC1、IFC2、IRC1 の核生成チェンバーの掃除、電子顕微鏡観察用グリッドの準備、シリケートの蒸発源を準備して真空引きなどを実施した。また、IRC1 の赤外線スペクトルを長波長側まで測定できるように組み替えた。すべての装置の光軸を確認して、NASA ワロップスに向けて発送する手はずを整え、28 日に準備を終了した。我々の帰国後、7 月 3 日に荷物は NASA ワロップスに向けて発送された。

帰国後は、実験データの分析、回収試料の TEM 観察を行いながら、10 月 7 日に予定されている NASA での打ち上げ準備を実施した。本原稿執筆時点において NASA での実験準備は続いているため、詳細は次の機会に譲る。

謝辞

本プロジェクトは宇宙科学研究所 小規模計画、同 戦略的基礎開発予算、基盤研究(S)を元に推進している。MASER 14 観測ロケットは、ドイツ航空宇宙センターとスウェーデン宇宙公社の協力により打ち上げられた。本プロジェクトの準備では、宇宙科学研究所 宇宙環境利用専門委員会、北海道大学低温科学研究所をはじめ、業者の方々、相談に乗って頂いた関係者の皆さまに多大なご協力を得ました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Ishizuka, S., Kimura, Y., Sakon, I., Kimura, H., Yamazaki, T., Takeuchi, S., Inatomi, Y., 2018. Sounding-rocket microgravity experiments on alumina dust. *Nature Communications*, **9**, 3820 (6pp).
- [2] Kimura, Y., Tanaka, K. K., Nozawa, T., Takeuchi, S., Inatomi, Y., 2017. Pure iron grains are rare in the universe. *Science Advances*, **3**, e1601992.
- [3] 木村 勇気、齋藤 史明、中坪 俊一、千貝 健、森 章一、左近 樹、稲富 裕光 「海外の観測ロケットを用いた微小重力実験用ダスト再現装置の作製」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、**24**、2018年12月、40-45。

氷－水成長界面におけるステップダイナミクスのその場観察

村田 憲一郎、長嶋 剣、佐崎 元

雪氷新領域部門相転移ダイナミクス分野

はじめに

結晶の成長（および融解）は広範な物質群に存在する最も基本的な一次相転移現象の一つである。一次相転移のダイナミクス（特に核生成の後のプロセスにおいて）では、界面の動力学が重要となることは良く知られているが、とりわけ結晶表面（界面）の微視的構造およびその環境相との関係性は、その動力学を支配する決定的因子である。気相成長、溶液成長については理論、実験の両面で広範かつ精緻に研究されているものの、融液成長に関しては液体相の理論的取り扱いの難しさ故に、「気相、溶液成長の自然な拡張」という現象論的理解に止まっており、特に界面の微視的構造に着目した実験的研究は数値実験 [1] やコロイド系などのモデル実験 [2]、ヘリウム結晶 [3] を除き極めて少ない。一般的に、融液成長界面の成長速度は気相、溶液成長のそれと比べて著しく速く、かつ界面の反射率自体も極めて低いことから、通常の光学顕微鏡によるその場観察は困難である。また、結晶の表面観察において威力を発揮する AFM、STM などの表面プローブ顕微鏡であっても、環境相である融液の存在により非侵襲で成長界面にアクセスするのは非常に難しい。それ故に、融液成長界面のその場観察は今なお挑戦的課題である。また理論的にも、同じ凝縮相であり、密度差が小さい（数パーセント程度）結晶とその融液が、界面においてどのように区別されるか — 秩序変数が連続的に変化する界面なのか、一分子レベルで結晶構造を保持する不連続な界面なのか — は、結晶成長学を超えた本質的な問いである。

本研究では、融液成長のモデルケースとして、我々にとって最も馴染み深い氷の融液成長を扱う。氷一分子段差（単位ステップ）を可視化する共焦点微分干渉顕微鏡（LCM-DIM）を用いて氷－水成長界面のその場観察を行い、成長界面における特異的なステップダイナミクスとステップの存在と界面の微視的構造との間の関係性について明らかにする。

その場観察システム

一般にバルク融液成長の沿面成長速度は気相成長に比べて著しく速く、成長界面のその場観察は極めて困難である。もちろん氷の融液成長も例外ではない（沿面成長速度： $0.2 \mu\text{m/s}$ [4]）。そこで本研究では、本研究所技術部の協力の下、顕微鏡光軸方向の温度を独立に制御できる温度勾配チャンバーを作成した。本チャンバーにより光軸方向に融点を跨ぐ温度勾配を印加することで固定された 0°C 平衡界面を作り出し、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡（LCM-DIM）による氷－水界面のその場観察を行った。この実験系

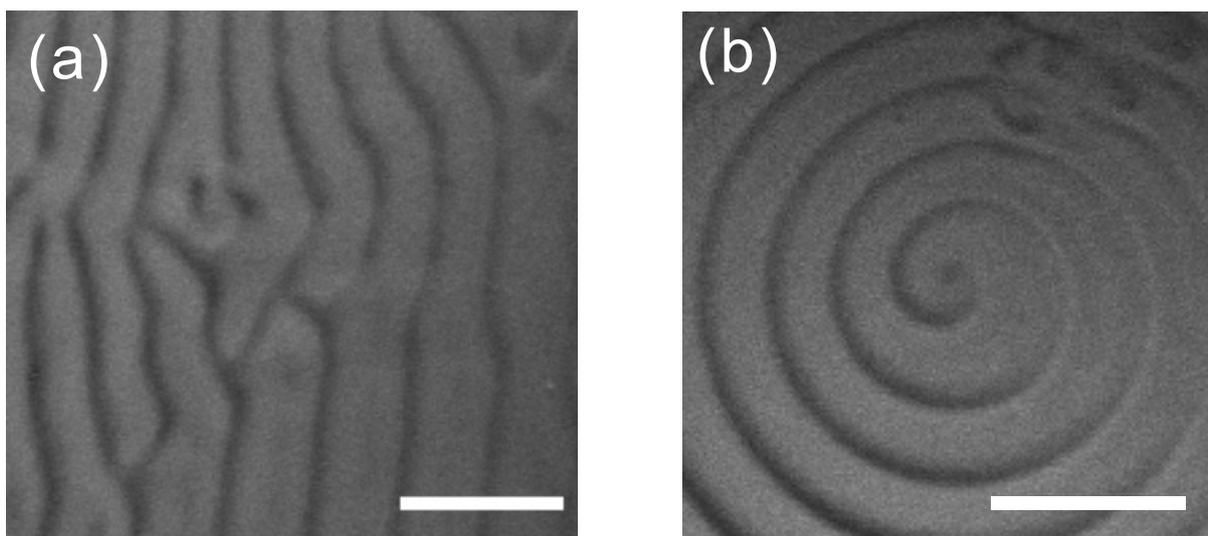


図1 (a) 過冷却水中における氷成長界面で観測されたステップバンチングの LCM-DIM 像。スケールバーは $50\ \mu\text{m}$ 。(b) マクロステップ同士の衝突により生まれた渦巻成長。スケールバーは $50\ \mu\text{m}$ 。

では温度勾配を精密に変化させることで、走査型レーザー顕微鏡であっても十分に観察可能な成長・融解速度の遅い界面を作り出すことができる。

観察結果

図1 (a) は LCM-DIM により得られた成長界面の様子である。ステップ列が一定間隔を保持しつつ、ステップの一部は断裂と隣接するステップとの結合を繰り返しながら前進している。マイケルソン干渉計による同時測定により、各々のマクロステップの高さは $80\ \text{nm}$ に達することが明らかになった。ベーサル面における単位（一分子）ステップの高さは $0.37\ \text{nm}$ であることは良く知られているが、このステップ列の高さはそれと比較して圧倒的に大きい。つまり、氷-水成長界面において単位ステップのバンチング不安定化（束化）が生じ、マクロステップ列が形成されることを意味する。また、マクロステップ列同士の衝突と合体により、らせん転位および渦巻成長モードが生成する瞬間を捉えることにも成功した（図1 (b)）。更にこの研究で特に興味深いのは、異方向から進行するマクロステップ列同士の合体により、干渉様パターンが生じている点である。通常のステップの場合、ステップ同士が同一高さであれば衝突により消失するが、本系のマクロステップはステップ密度波として形成され、干渉という全く異なる挙動を示す。バンチング不安定化、およびマクロステップ列の干渉パターンのメカニズムの解明には更なる研究が必要であり、引き続き本研究に取り組む予定である。

おわりに

本研究では氷-バルク水界面での単位ステップの可視化には至っていないが、バンチングの存在自体が単位ステップの存在を意味している。つまりバルク水という融液内部であっても、氷表面では一分子ステップが存在し、分子レベルの層状秩序が維持されているのである。また、バンチング不安定化自体は、分子線エピタキシー [5] やシリコンの通電加熱 [6]、溶液成長 [7] など幅広い結晶成長系で観察される普遍的現象である。本研究は、これらの系で培われた結晶成長理論が融液成長にも包括的に適用できること、広義の視点からは、結晶成長の基本概念であるキンクスステップ-テラス描像が、気相や溶液等の環境相の違いを越えて、融液成長においても成り立つことを明らかにした点で大きな意義があるといえる。

参考文献

- [1] J. Benet, L. G. MacDowell and E. Sanz, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 16, 22159 (2014).
- [2] J. H. Guzman and E. R. Weeks, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 106, 15198 (2009).
- [3] S. Balibar, H. Alles and A. Y. Parshin, *Rev. Mod. Phys.* 77, 317 (2005).
- [4] E. Yokoyama et al., *J. Phys. Chem. B* 115, 8739 (2011).
- [5] C. Schelling et al., *Phys. Rev. Lett.* 83, 995 (1999).
- [6] K. Yagi et al., *Surf. Sci. Rep.* 43, 45 (2001).
- [7] J. Bisschop and D. K. Dysthe, *Phys. Rev. Lett.* 96, 146103 (2006).

Nitrospirota 門に属する新規硫黄不均化細菌の生理学的特徴

加藤 由佳子¹、梅澤 和寛²、小島 久弥²、福井 学²

1. 技術部先端技術支援室
2. 生物環境部門微生物生態学分野

はじめに

細菌や古細菌の中には、硫黄化合物から生育に必要なエネルギーを獲得するものがある。硫黄によるエネルギー獲得の代表的な反応として、硫酸還元、硫黄酸化、そして、硫黄不均化が知られている（図 1）。硫酸還元反応には、硫酸が電子受容体となり水素や有機物などの電子供与体が必要である。また硫黄酸化反応には、電子供与体としての硫黄化合物の他に酸素などの電子受容体が必要となる。このように、硫酸還元や硫黄酸化を含む呼吸と呼ばれるエネルギー代謝機構には、電子供与体と電子受容体を必要とする。しかし、硫黄不均化反応では、一種類の硫黄化合物（単体硫黄やチオ硫酸など）以外の化合物を必要とせずエネルギーを獲得し、硫化水素と硫酸が生成される。硫黄不均化細菌は嫌気性であり、その多くが二酸化炭素を炭素源としている。

35 億年前の地層から微生物の硫黄不均化によって生成したと考えられる痕跡が見つかり、硫黄不均化は生命誕生初期のエネルギー獲得機構の一つとして考えられている。実際に、生命の起源の候補の一つとして知られている熱水噴出孔や温泉といった極限環境から硫黄不均化細菌が分離培養されている。また、微生物による硫黄代謝は環境中の硫黄循環に大きな影響を与えている。湖沼や海洋の堆積物での硫黄循環には微生物による硫黄不均化が大きく寄与しており、その堆積物から硫黄不均化細菌が分離されている。

硫黄不均化細菌のほとんどは、系統的に硫酸還元細菌に近縁であり、硫酸還元に必要なとされる遺伝子を全て有している。しかし、それら硫黄不均化細菌の中には硫酸還元できない細菌がある。硫黄不均化細菌と硫酸還元細菌のそれぞれに対する遺伝子マーカーは未だ見つかっていない。近年、シーケンス技術の発展によって環境中の微生物から遺伝子情報を取ることが容易になってきたが、硫黄不均化細菌と硫酸還元細菌は遺伝子情報に基づいて両者を区別することはできない。そのため、硫黄不均化細菌の特定には培養実験が必要不可欠となっており、報告されている硫黄不均化細菌は、硫酸還元細菌に比べて大変少ない。

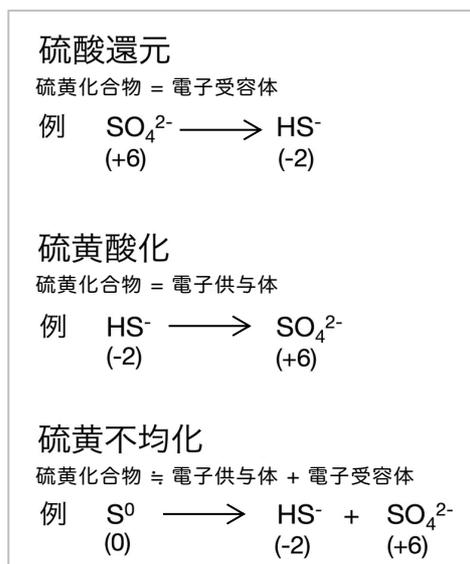


図 1 異化的硫黄代謝の模式図。



図2 サンプルング風景。北海道札幌市定山溪温泉にて微生物マットを採取した。

本発表では、*Nitrospirota* 門に属する新規硫黄不均化細菌を分離したので、その生化学的特徴、系統学的特徴、そして遺伝学的特徴についての紹介を行う。

生化学的特徴

2016年5月13日、北海道の定山溪温泉にて微生物マットを採取した(図2)。微生物マットをチオ硫酸不均化条件の培地に入れて45°Cで培養を行ない(図3)、希釈培養による純化作業を経て、T55J株の純粋培養系を確立した。T55Jの生育温度は25–60°Cであり、至適生育温度は、53–57°Cであった。

また、チオ硫酸及び硫酸を電子受容体として、ギ酸、酢酸、グルコースなど数種類の有機物を電子供与体とした培養条件でT55Jが生育できるかどうか実験を行なったが、いずれも生育しなかった。したがって、T55Jは硫酸還元を行わず、硫黄不均化により生存に必要なエネルギーを得ていることが示された。



図3 硫黄不均化細菌の培養(左が培養前、右が培養後)。チオ硫酸の不均化によって生成した硫化水素が酸化鉄と反応して黒く変色する。

系統学的特徴

16S rRNA 遺伝子を用いた系統解析の結果、本株は *Nitrospirota* 門に属することが明らかとなった。既存の培養株との配列相同性が 90%未満であり、異なる系統に位置していたことから、新規性の高い細菌であることが明らかとなった。

硫黄代謝によるエネルギー獲得を行う本門に属する細菌として、これまでは *Thermodesulfovibrio* 属に属する硫酸還元細菌しか培養株が得られていなかった。メタゲノム解析やマーカー遺伝子を用いた研究から、*Nitrospirota* 門に硫黄酸化細菌や硫黄不均化細菌がいることが示唆されてきたが、培養に基づく証拠がなかった。そのため、本株は *Nitrospirota* 門で硫黄不均化を行うことが証明された初めての培養株である。

遺伝学的特徴

この分離株については、次世代シーケンス解析により完全長ゲノムが得られた。Wood-Ljungdahl pathway と呼ばれる炭酸固定経路の遺伝子や、硫酸還元に必要な遺伝子を全て有していた。他の硫酸還元を行わない硫黄不均化細菌と同様に、T55J も硫酸還元に必要な遺伝子を有しているが硫酸還元を行わない細菌であることが明らかとなった。

おわりに

硫黄不均化細菌の研究は、硫酸還元細菌や硫黄酸化細菌の研究と比較して発展途上にある。硫黄不均化の代謝経路は未だそのほとんどが明らかとなっていないので、分子生物学や遺伝学の手法などを取り入れていきながら硫黄不均化経路を明らかにしていきたい。

バスケットを用いたオホーツク海の海氷サンプリング観測

豊田 威信^{1,2}、西岡 純²、伊藤 優人³

1. 水・物質循環部門大気海洋相互作用分野
2. 環オホーツク観測研究センター
3. 水・物質循環部門海洋・海氷動態分野

はじめに（研究背景）

北海道オホーツク海沿岸は沿岸結氷を除外すれば世界で最も低緯度に位置する海水域である。その海氷の特性を知りたいというのは海氷研究者のみならず多くの人々の長年の願望であったと想像される。これまで単発的な沿岸での観測は時折なされていたものの、組織立った観測が実現したのは海上保安庁と北大低温研が巡視船「そうや」を用いた共同観測が1996年に始まってからである。船上甲板から海水を採取する作業は意外に難しく、当初は停船中に周辺の手ごろな氷塊をロープに括りつけて引き上げるという手法を取ったため（図1）、引き上げられる氷塊には自ずと限界があり、厚さ70cmほどの海氷が精々であった。より厚い海氷を含めたこの海域の海氷の一般的な性質を把握するためには、サンプリング方法を開発する必要があった。試行錯誤のうえ、技術部の方と協力して生み出されたのがアルミ製のバスケットを用いた観測である。2003年2月初めに製作されて以来16年間、無事故で観測研究に大いに貢献してきた。本稿ではこのバスケットによって得られた研究成果をいくつか紹介したい。



図1 ロープや竹竿を用いた海氷サンプリング。



図2 バスケットを用いた海氷サンプリング。

バスケットおよび観測内容

図 2 に示すように、バスケット本体は 1.5 m 四方、高さ 1 m のアルミ製の枠組みで構成されており、船体のクレーンで吊り下げてヘリ甲板から海氷表面に直接人と機材を運ぶ。バスケットは太いロープを介して船上の人とつながっており、風によって回転する動作が最小限になるようにロープで制御する。ちなみに、アルミの枠組みをできる限り風通しよくしたのも風圧を最小限にして風による影響を少なくするためであった。バスケットの床は凍結による滑りを少なくするために木材でできており、中心部には海氷コアを採取するための直径 24 cm の孔が 2 つ空けられている。これは、作業は原則としてバスケット内で完結するよう、海上保安庁側からの要請に応えるためであった。2 つの孔により床の強度が下がらないよう、格子状に張られたアルミ製の骨組みが木製の床を支えている。搭乗者は原則二人で互いに協力し、クレーン操縦者と連携しながら通常 30 分から 1 時間程度の作業時間で効率よく海氷、雪、海水などのサンプリングを実施してきた。クレーンは当初、図 2 のように少し細めで強度が心配されたが 2010 年に巡視船「そうや」の補強工事が行われた際に、海上保安庁のご配慮により一層強固なクレーンに取り替えられた。

研究成果

ここでは特にバスケットの貢献が大きい研究成果を 3 つ取り上げて紹介する。

1. 海氷および海氷上積雪の特性

バスケット観測の導入により厚い海氷（最大厚 225 cm）のサンプリングが画期的に容易になり、一般的な海氷の物理特性が徐々に明らかになってきた。効率の良いサンプリングが海氷現場温度の測定を可能にした点も重要である。このことにより、海氷温度と塩分の関数として計算されるブライン体積比（海氷内の高塩分濃度水が占める体積の割合）の鉛直プロファイルが描けるようになった。ブライン体積比は海氷の強度や浸透性の目安となる重要なパラメータであるため、この海域の海氷の特性を定量的に論じることが可能になった。図 3 に一例として海氷の結晶構造解析や各種パラメータの鉛直プロファイルを示す。約 40 cm 程度のブロックが重なっており、各ブロックは層状に積み重なった構造が顕著に見られる。ブライン体積比は 5% 以上であれば浸透性が良いとされており、この海域は比較的温かいが故に全体的に浸透性が良いことが判る。約 30 本のコアを採取して解析した結果、粒状氷が卓越していること（約 50%）、層状構造が顕著であり（平均層厚 10 cm）氷厚発達には氷盤が積み重なる過程が重要であること、このため雪ごおりが内部に見られることなどが明らかになった（Toyota et al., 2007）。

また、海氷上の積雪調査が可能になったことも重要な点である。積雪は断熱効果により海氷の成長量を抑制する働きがある一方で、積雪の荷重が大きくなって積雪－海氷境界に海水が浸水して凍結すると雪ごおりが生成して海氷の成長を促進する働きもある。また、何よりもほとんどの海氷は雪に覆われているため、衛星から見る海氷の特性は雪の特

性を知らずには語れない。しかしながら、特にこの海域のように比較的小さな氷盤が卓越する海氷域では積雪調査は非常に困難であった。数年間にわたる調査の結果、平均積雪深は 10 ± 4 cm、平均雪密度は 225 ± 109 kg m⁻³、最も卓越する雪質は南極海氷と同様に霜ざらめ雪であることなど積雪の基本的な特性を明らかにすることができた。

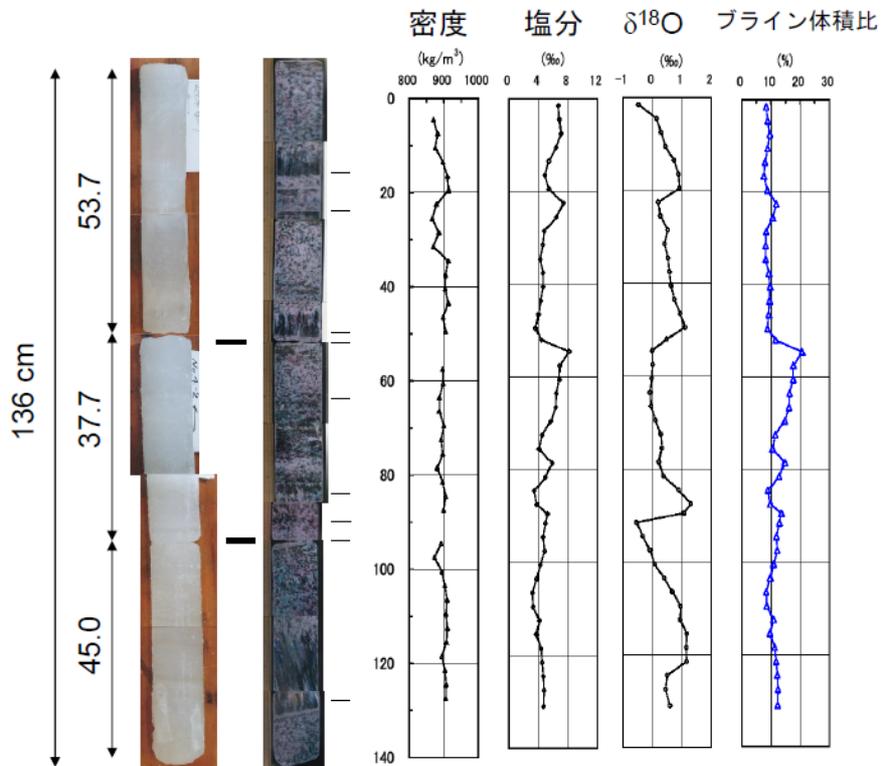


図 3 オホーツク海南部で採取された海水の鉛直プロファイル（結晶構造、密度、塩分、酸素安定同位体比、ブライン体積比）の一例。

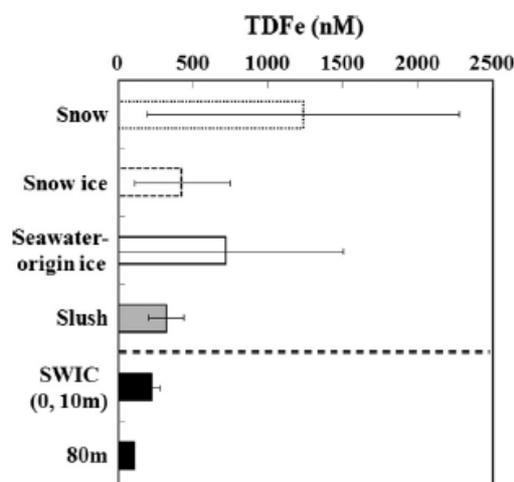


図 4 海氷上の積雪、雪ごおり、海水起源の氷、スラッシュ、海氷域内の表層水、水深 80 m での鉄濃度。破線は海氷と海水の境界を表わす。誤差バーはそれぞれの層の標準偏差 (Kanna et al., 2014 より引用)。



図 5 フラジルアイスのサンプリングの様子。バスケットを海面直上で宙吊りにして特製シリンダーでグリーンアイスを直接採取。

2. 海水内の化学成分の特性

海氷は流動して内部に含まれる化学物質を運搬することにより物質循環の一翼を担う役割もある。海氷内部に含まれる化学物質の特性はバスケットによる海氷サンプリングで初めて明らかになった。サンプルを分析した結果、海氷にはしばしばセディメント層が見られ、そこには直下の海水に比べて特にリン酸やケイ酸などの栄養塩が顕著に多く含まれることが分かった (Nomura et al., 2010)。また、海氷中の鉄濃度が直下の海水に比べて極めて高いことが判明し (図 4)、鉄とアルミニウムの濃度の相関が良いことから鉱物起源とも推定された (Kanna et al., 2014)。このように海氷は栄養塩や鉄などを取り込んで輸送する役割が示された。とりわけ鉄の輸送は重要な意味がある。鉄は光合成を促進する働きがあるため、春先に海氷がオホーツク海南部で融解して放出された大量の鉄が生物活動を活発化して、知床半島周辺の豊かな生態系を支えている可能性がある。今後さらにデータを収集してこの仮説を検証したいと考えている。

3. フラジルアイスの基礎的な特性

海氷の成長過程は大まかには、擾乱下でフラジルアイスが集積して固化したものと静穏な環境で底面結氷したものの 2 通りに分類される。バスケットで採取した海氷サンプルを解析した結果、この海域では前者の過程が卓越することが分かった。しかしながら、この過程は擾乱下で生じることやサンプリングの困難さのため観測データが乏しく、現在でも定量的にはあまりよく理解されていない。南極域でも同様に最も卓越する成長過程であることを考慮すると、観測から実態を明らかにすることは大変重要な課題といえる。この観測でもバスケットは大いに貢献している。

この過程を明らかにするためには、まずフラジルアイスが高濃度に集積したグリースアイスの基礎的な性質を把握する必要がある。そこで、技術部の方と協同してフラジルアスを効率よく採取するシリンダーを開発した。バスケットをグリースアイスが卓越する海域の海水面直上で宙吊りにした状態で、このシリンダーを用いてグリースアスを海水と共に丸ごと採取することを試みた（図5）。この手法によりグリースアイスの平均的な厚さは10 cm程度、グリースアイス内のフラジルアスの体積濃度は20–40%程度、個々のフラジルアスの形状は縦横比がおおよそ2の楕円形をしていることなど基礎的な特性が明らかになりつつある。ただし、まだデータは限られているのでさらに観測を積み重ねてゆく予定である（Ito et al., 2019）。

まとめ

本稿では技術部に開発して頂いたバスケットによって得られた研究成果をいくつか取り上げた。いずれも海氷の物理・化学的性質を論ずるうえで本質的なデータであり、これなしにはこの海域の海氷の理解が進まなかったと言っても過言ではない。今後もさらに活用して有意義な研究成果を上げたいと考えている。

参考文献

- Ito, M., Toyota, T., Nishioka, J., Nomura, D., Kanna, N., Murakami, K. and Ohshima, K. I., 2019. Grease ice observations in the southern Sea of Okhotsk with P/V Soya. *Proceedings of The 34th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans 2019*, 247–250.
- Toyota, T., Takatsuji, S., Tateyama, K., Naoki, K. and Ohshima, K. I., 2007. Properties of sea ice and overlying snow in the southern Sea of Okhotsk. *Journal of Oceanography* **63**, 393–411.
- Kanna, N., Toyota, T. and Nishioka, J., 2014. Iron and macro-nutrient concentrations in sea ice and their impact on the nutritional status of surface waters in the southern Sea of Okhotsk, *Progress in Oceanography* **126**, 44–57.
- Nomura, D., Nishioka, J., Granskog, M. A., Krell, A., Matoba, S., Toyota, T., Hattori, H. and Shirasawa, K., 2010. Nutrient distributions associated with snow and sediment-laden layers in sea ice of the southern Sea of Okhotsk, *Marine Chemistry* **119**, 1–8.

極低温ステージの製作

藤田 和之

技術部装置開発室

はじめに

国立天文台との共同研究で極低温ステージを製作した（写真 1）。極低温ステージの役割は、ミリ波サブミリ波における宇宙観測のための極低温検出器（MKID: Microwave Kinetic Inductance Detector）のアレイを温度 0.25 K まで冷やすことである。検出器とその治具が大きくなるにつれて、冷凍機（ヘリウム 3 の吸着式冷凍機）のヘッド部分の強度のみでは保持できなくなる。そのため極低温ステージを組み上げる必要がある。冷凍機が持つ多段の温度ヘッド（4、1、0.35、0.25 K）のそれぞれに熱アンカーを取りつつ冷却するための、多段の温度ステージが必要となる。今回は極低温ステージの部品である optstage-support-plate と optstage-plate-4k の製作について報告する。

optstage-support-plate の製作

製作にはグラファイト（100 × 100 × 1 mm）を使用した。グラファイトを素材として選んだ理由は以下である。

1. 同じ熱流入量（伝導率）に対して強度が強い（変形量が小さい＝ヤング率大きい）。
2. 短納期、低価格。
3. 極低温での熱絶縁だけを優先すると、室温から冷やす際に時間がかかるため、室温から液体窒素温度程度では熱の良導体であることが望ましい。

従来使用されてきたベスペルという材質では 1 のみが該当するが、グラファイトはすべてを満たす。また、グラファイトは 1 の優秀さを最大限に活かせば、構造を簡素化しつつも構造強度を保つことができる。図面はこの文章の最後に添付した（図 1）。

グラファイトの加工手順は以下である。回転数や送り速さ等の詳細も記載した。

1. グラファイト板をベーク材にアクアワックスで貼り付け（ヒーターとドライヤーでベーク材を温めながらアクアワックスを溶かす）。
2. $\Phi 1.0$ センタードリル、1500 rpm でセンター穴加工（写真 2）。
3. $\Phi 3.2$ ロウソクドリル、1000 rpm で穴あけ加工。
4. $\Phi 2.0$ エンドミル、22260 rpm、切込み深さ 0.1 mm、F 値 190 mm/min で切削加工（写真 3）。
5. ベーク材に張り付いたワークを熱湯に入れてアクアワックスをはがす（写真 4）。

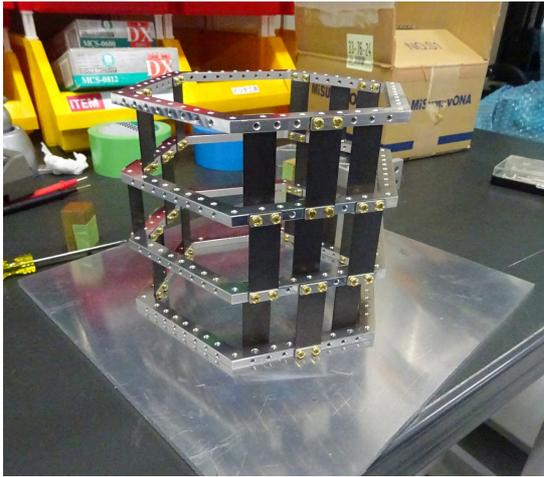


写真1 組立てた極低温ステージ。

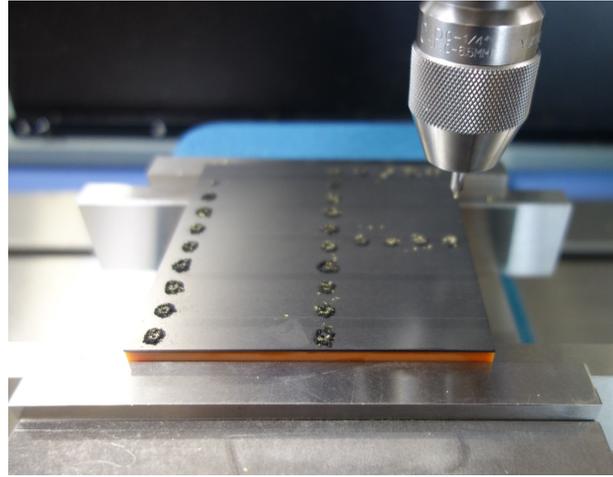


写真2 optstage-support-plate のセンタードリル加工。

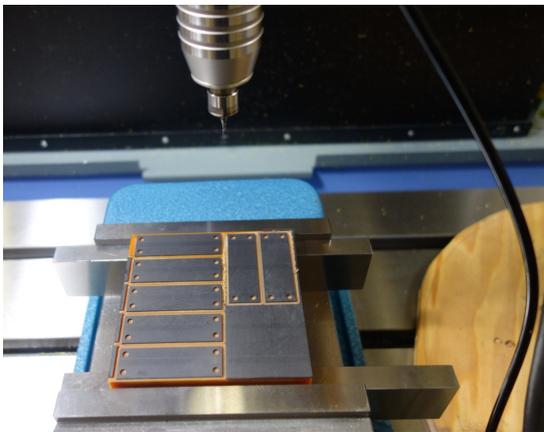


写真3 optstage-support-plate の $\Phi 2.0$ エンドミル加工。

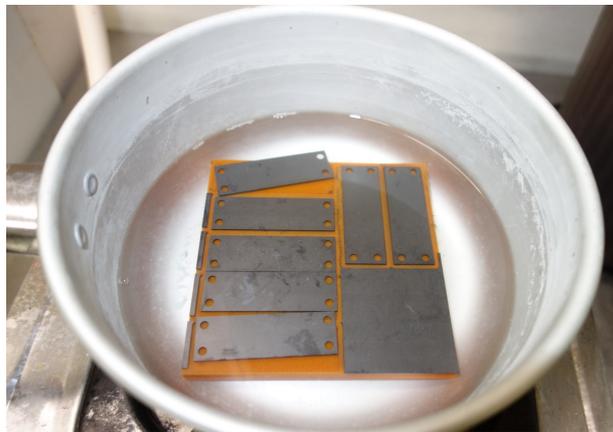


写真4 熱湯に浸してアクアワックスをはがした。

工夫は以下である。

- エンドミルでの加工は高速回転のためエアスピンドルを使用した。
- グラファイトの切り粉がフライス盤の内部に入ったままフライス盤を稼働すると送りねじが摩耗するなどの悪影響を及ぼしてしまう。そのため切り粉が内部に入らないように掃除機で切り粉を吸いながら加工した。
- 刃物の消耗が早かったため、グラファイトを 2 枚加工するごとにエンドミルやドリルを新品や刃を研ぎなおしたものと交換した。

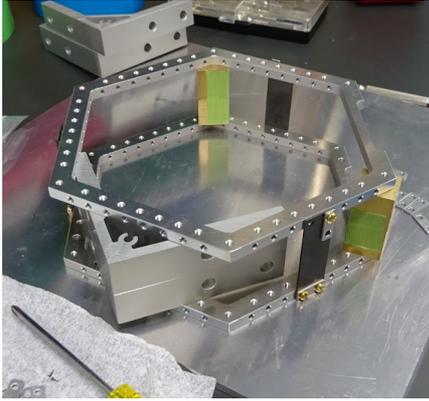


写真 5 完成した optstage-plate-4k。



写真 6 optstage-plate-4k のインデックス
取り付け治具。

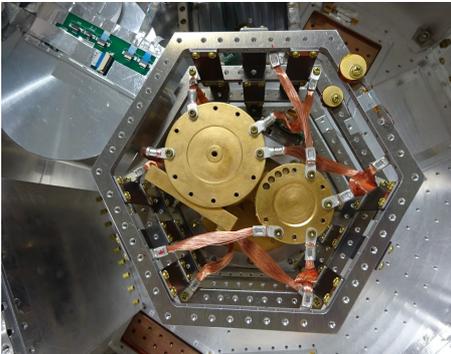


写真 7 optstage-plate-4k に熱アンカー用の高純度銅線
(7NCu) をステージに這わせた。

optstage-plate-4k の製作

材質は A6061 (アルミ合金) で外形が六角形、厚み 6 mm にしたものを使用した。図面を図 2 (文章の最後に添付) に、完成品を写真 5 に示す。加工手順は以下である。

1. フライス盤でバイスにワークを挟んで上面を穴あけ、タップ加工。
2. フライス盤でインデックスに治具 (写真 6) を取り付け、治具とワークを固定して側面の穴あけ、タップ加工 (ワークの取り付けは、平面を出すためダイヤルゲージで測りながら垂直に合わせて固定)。
3. ワイヤ放電加工用の治具にワークを固定して、ワイヤ放電加工で内側とスリット部分を切り抜く。

また、以下のように工夫し、製作した。

- ・ワークの内側の切り落とし部分 (製品に必要なのない部分) に側面加工治具との固定用の穴 (6 箇所) と、センターを合わせるため中心にピンを通す穴をあけた。
- ・側面加工用の治具にはワーク固定用のタップ加工 (6 箇所) と中心にピンを入れた。ワイヤ放電加工用の治具には、加工中にねじが干渉しないように下側から皿ねじを使用した。

おわりに

optstage-plate-4k に、グラファイト板固定用以外のタップをたくさんたてたことで、入り組んだ構造の冷凍機でも熱アンカー用の高純度銅線 (7NCu) を這わすことができた (写真 7)。完成した極低温ステージを用いて、1 日で室温から 0.25 K に冷える冷却系を構築することができた。

グラファイトの加工は初めてのことで、厚みが 1 mm と薄かったことから製品として仕上げられるか不安であった。しかし、極力負荷を与えない加工方法であれば、厚みを 1 mm にしてもグラファイトが割れたりすることなく加工が可能なが分かった。optstage-plate-4k の製作では治具のピンは 1 本で中心を合わせるだけだったが、ピンを 2 本にすれば中心に加えて位置 (角度) 出しも同時にできたのではないかと思う。

図 1、2 は東京大学竹腰達哉氏が作成したものを、許可を得て掲載した。

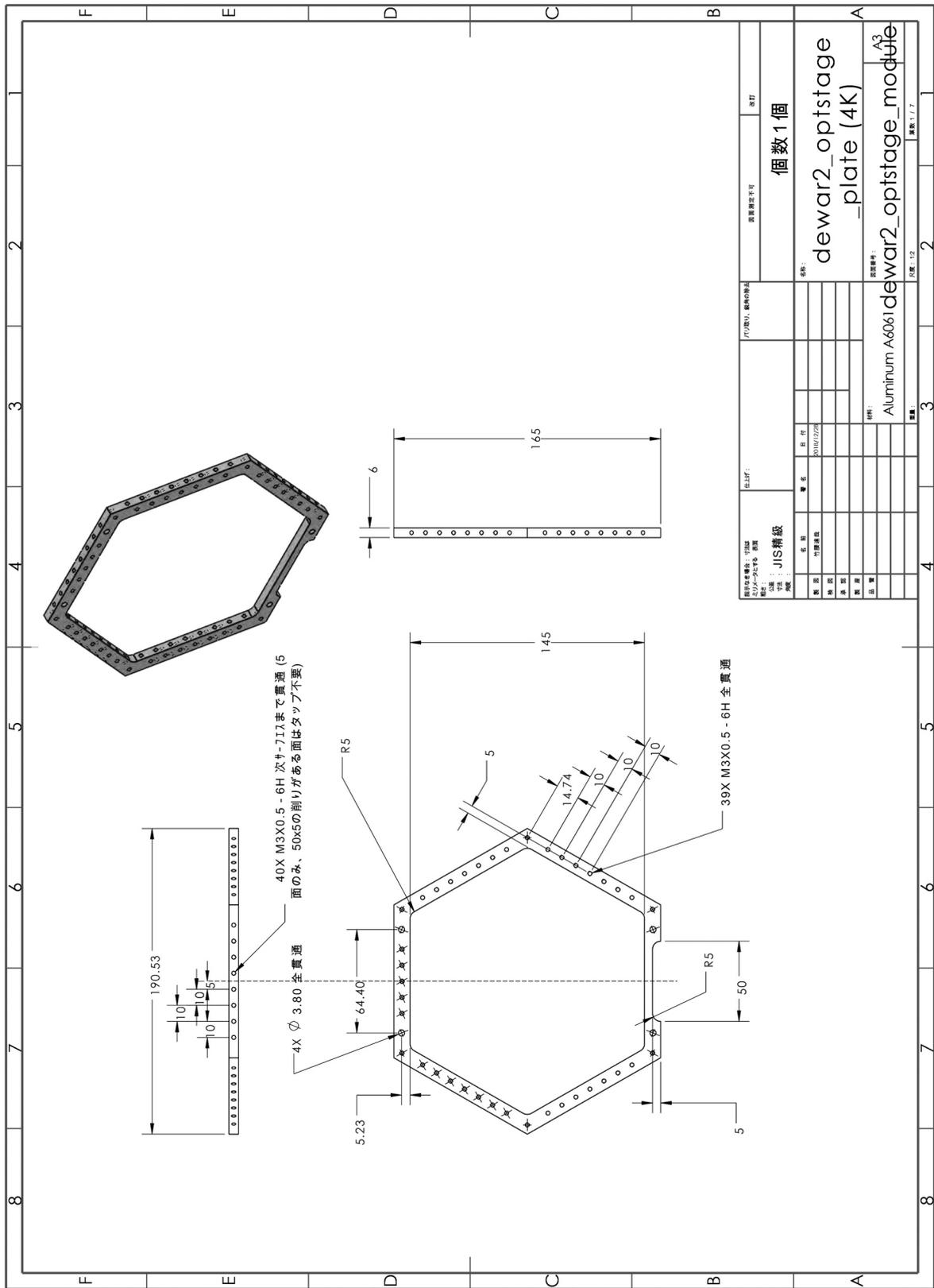


図 2 optstage-plate-4k 図面。

低温氷表面吸着物質の高感度非破壊質量分析装置の開発

石橋 篤季¹、日高 宏¹、大場 康弘¹、羽馬 哲也¹、香内 晃¹、渡部 直樹¹、
藤田 和之²、森 章一²、平田 康史²

1. 雪氷新領域部門宇宙雪氷学・宇宙物質科学分野
2. 技術部装置開発室

はじめに

星間空間には原子や分子、そして星間塵と呼ばれるサブミクロンサイズの鉱物が漂っている。これらが重力により高密度になった領域を星間分子雲といい、温度は 10 K 程度と極低温環境である。星間分子雲における、星間塵表面での活発な化学反応は分子の生成・進化に非常に重要とされている。そのため、星間塵表面物質として知られる氷表面での反応実験がこれまでに多くなされてきた[1]。しかし、従来用いられてきた、フーリエ変換型赤外吸収分光光度計や昇温脱離法などの測定手法では存在度の低い反応中間体などの検出は困難であった。特にラジカルは多くの分子生成反応の中間体として重要である。そのため、我々は氷表面に微量に存在するラジカルの検出を目指し高感度非破壊質量分析装置の開発をした。

実験

Cs⁺ イオンピックアップ法を用いる。星間塵表面を模し、超高真空内 (10⁻⁸ Pa) の低温金属基板 (13 K) にアモルファス氷を作成し、表面上の化学種を低エネルギー (~ 20 eV) の Cs⁺ イオンでピックアップする。基板表面の化学種 (質量数 M) は Cs⁺ イオンに吸着され Cs 付加イオン (質量数 133 + M) として、四重極型分析計 (Q-MS) にて質量検出

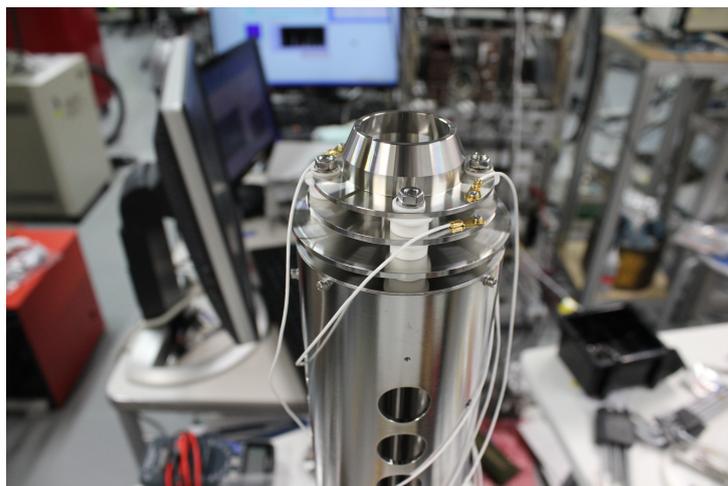


図 1 Q-MS の上に設置した、3 枚 1 組の静電レンズ。1 枚目がディフレクターの役割を兼ねるために 2 つに分割されている。

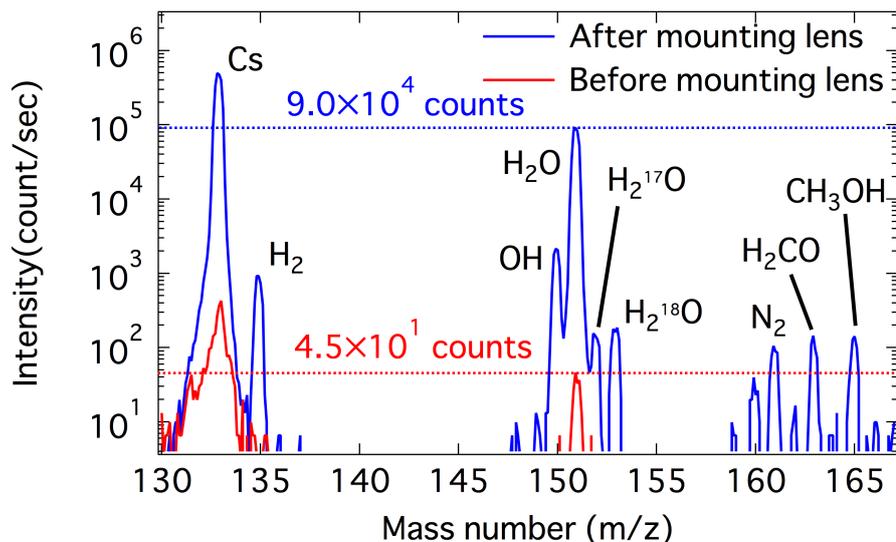


図2 アモルファス氷 20 ML 上に吸着した残留ガスの RIS 質量スペクトル。(赤線) レンズ設置前、(青線) レンズ設置後。

される (RIS) [2]。しかし、この手法は金属表面であれば高感度であるのに対し、氷表面であると検出感度が著しく低下した。そこで、我々は Q-MS の前にイオン捕集用の静電レンズをイオン軌道計算の結果をもとに設計し、その製作を技術部に依頼した。実際に完成した静電レンズを図 1 に示す。

結果

図 2 に氷表面に存在する吸着物の RIS スペクトルを示す。縦軸が 1 秒あたりのカウント数、横軸が質量数である。赤線が静電レンズ設置前の RIS スペクトルである。質量数 133 に Cs、質量数 151 に Cs にピックアップされた H₂O を検出した。青線が設置後であり、H₂O のピークで比較すると検出感度が 4.5×10^1 count/sec から 9.0×10^4 count/sec に、およそ 2000 倍となったことがわかる。そして、静電レンズ設置前には検出することのできなかった、H₂O の同位体やチャンバー内の残留ガスのピークまでもが検出できるほどの高感度になった。

参考文献

- [1] T. Hama & N. Watanabe, 2013. Chem. Rev. **113**, 8783–8839.
 [2] H. Kang, 2011. Bull. Korean Chem. Soc. **32**, 389–398.

アイスコア用の近赤外反射率測定装置の開発

飯塚 芳徳¹、斎藤 健²

1. 雪氷新領域部門氷河・氷床分野
2. 共同研究推進部

積雪構造の指標として、積雪粒子の比表面積（単位体積当たりに含まれる積雪粒子の表面積）が用いられている。積雪の比表面積は積雪粒子の粒径や形状に依存し、積雪の微細構造を理解するために有力である。さまざまな比表面積を測定する手法があるが、このうち近赤外反射率を利用する方法は簡便で安価であり、多量の測定をするのに適している。これらの理由のため、アイスコアのような長い雪氷試料の測定にも適応しやすい。

2017年に採取したグリーンランド SIGMA-A アイスコアの近赤外反射率測定には気象研が開発した写真法、極地研が開発した動画法を適用してきた（柴田、2019）。前者はフィールドでの運用を意図したものであり、後者は1軸移動モジュールを必要とする半自動化されたハイスpek的な特徴を持つ。本研究では低予算（総額100万円未満）でアイスコアの近赤外反射率を簡便に分析できる装置を製作した。未だ若干の改良の余地があるが、この近赤外反射率装置は2020年に掘削予定の SE-Dome II アイスコアの比表面積測定に運用していく予定である。

作成した装置は以下の特徴を持つ。

- 1) 約 2.5 m³ の暗室を -22 °C の低温室に導入して、アイスコアを設置する机、カメラ・光源を暗室内に設置した。
- 2) カメラは中古のニコン D7000 を購入し、近赤外除去フィルターを取り除いた。また、可視光（760 nm）以下の波長を取り除くフィルターを取り付けた。
- 3) 光源には amazon で安価であった野外用の近赤外投光器（EnergyPower S8100）を用いた。この光源の波長は 850 nm であり、アイスコアに均等に照射できるように光源を4つ並列に設置して、80 × 30 cm の照射面を得た。
- 4) カメラを、ケーブルを介して低温室外のパソコンから制御できるようにした。これは暗室内に人がいると、近赤外域でノイズとなる影響を避けるためであり、撮影時はリモートで制御できるようにした。
- 5) これまでの写真法や動画法はコアセクション（50 cm 単位）の測定が主であり、コアの継ぎ目のデータが損失していた。そのため、前後のコアを設置できるように 1.5 m の撮影台を導入した。
- 6) 標準反射板（特注品、東京インスツルメンツ Zenith Lite）を加工し、位置や高さをアイスコアの表面に合わせられるようにした（図 1、2）。また、反射板とアイスコアの近赤外反射強度を写真の同じ位置で計測することにより、より確度の高いアイスコアの反射率を算出できるようになった。

- 7) 画像 (RAW ファイル) の取り込みには Photoshop を、画像の解析には Image J を用いた。前者は北大の一括契約ソフトで、後者はフリーソフトである。
- 8) 暗室 (約 20 万円) ・カメラ (約 20 万円) ・光源 (約 5 万円) ・標準反射板 (1 つ 約 20 万円) 以外のほとんどの物品は穴あきアングルなど装置開発室や廊下の片隅などに置いてあったものを提供していただいた。また、装置開発室の皆様にはその消耗品の加工を快く作業をしていただいた。この場を借りて、装置開発室の皆様に深くお礼申し上げます。

参考文献

柴田麻衣、「グリーンランド南東ドームフィルンコアにおける比表面積測定」北海道大学大学院環境科学院修士論文、2019年3月。



図 1 標準校正板の近赤外反射写真。それぞれ明るい板から 92、50、20、5% の反射率を示す。絞り 25、シャッター速度 1/40 秒、焦点距離 28 mm。

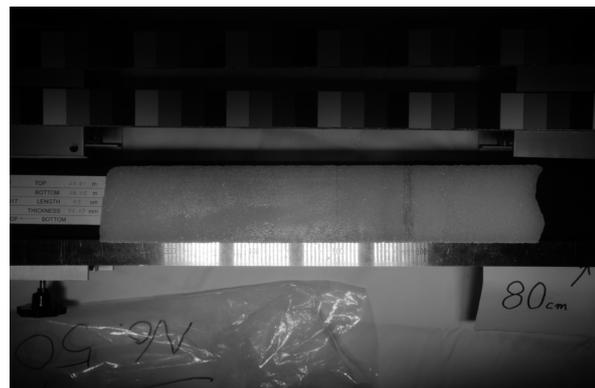


図 2 アイスコアの近赤外反射写真。SIGMA-A アイスコア深度約 28 m。絞り 25、シャッター速度 1/40 秒、焦点距離 28 mm。

アラスカ北部チュクチ海における 海氷・海洋の係留観測の支援について

高塚 徹¹、深町 康^{2,3}、大島 慶一郎^{3,4,5}、平野 大輔^{3,5}、伊藤 優人³、
Andrew R. Mahoney⁶、Joshua Jones⁶

1. 技術部先端技術支援室
2. 国際連携研究教育局北極域研究グローバルステーション
3. 水・物質循環部門海洋・海氷動態分野
4. 共同研究推進部
5. 北極域研究センター
6. The Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks

はじめに

アラスカ大学と共同で 2009 年に開始したアラスカ北部のバロー沖合における海氷と海洋の係留観測は 2019 年現在継続中である。2011 年から毎年夏季に、2015 年からは 2 年ごとに技術部が同行して係留系の回収・再設置を行っている。2017 年の係留系設置点を図 1 に示す。設置点 B2 における係留系の回収・再設置作業（2017 年）、設置点 B4 における係留系の再設置作業（2019 年）を報告する。

係留系の構成

係留系は超音波氷厚計（IPS）、多層流向流速計（ADCP）、水温・塩分計（CT 計）、水温・圧力計（PT 計）の測器および係留系を海中で直立させるためのプラスチックフ

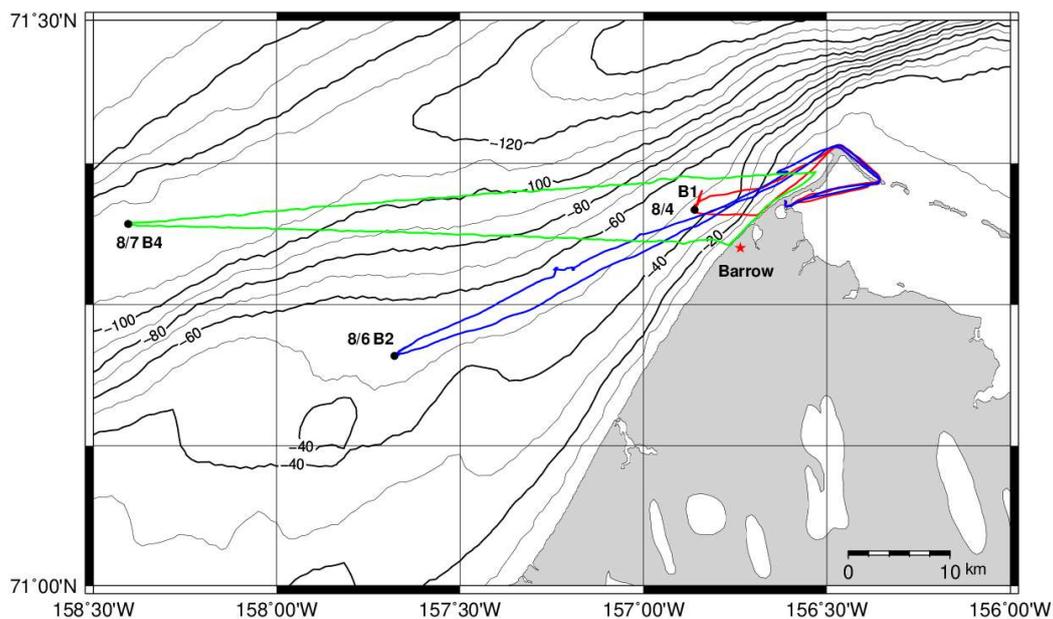


図 1 2017 年係留系設置点(黒丸 B1、B2、B4)、赤青緑の線は航路。

ロート、係留系を土囊から切り離すための切り離し装置、係留系を海底に固定するための土囊（中身は粒の小さい砂）で構成されている（図 2）。

設置点 B2 の係留系回収

2017年8月3日、2015年に設置した設置点 B2 の係留系を回収した。船上に置かれた切り離し装置デッキユニットから係留系に取り付けられている切り離し装置に向けて起動コマンドを送信し、切り離し装置を起動（投入時はスリーブ状態）させた後、切り離しコマンドを送信した。切り離しコマンドを受信した切り離し装置が切り離しフックを動作させて土囊を切り離し、係留系は浮上し回収された（図 3）。



図 2 係留系の構成（2017）。

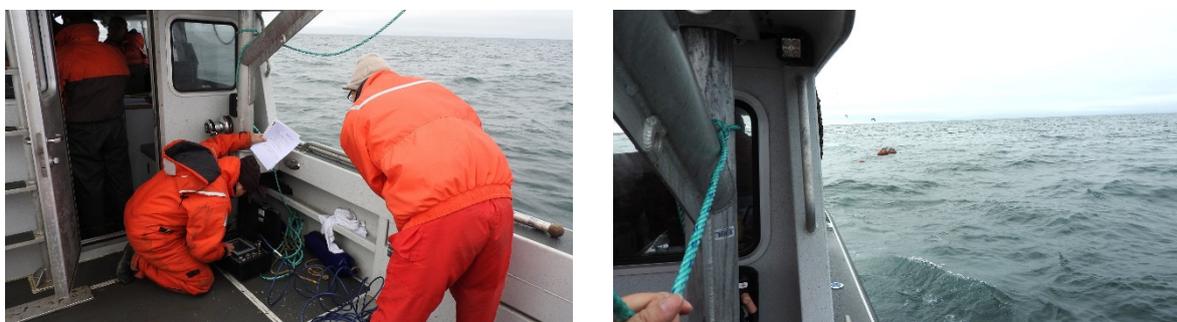


図 3 デッキユニットからコマンド送信をする作業（左）と浮上してきた係留系（右）。



図 4 設置点 B2 における係留系再設置風景（矢印は作業順）。



図 5 設置点 B2 で使用したボート。

設置点 B2 の係留系再設置

2017年8月6日、設置点 B2 に係留系を再設置した。図 4 に再設置風景、図 5 に使用したボートを示す。土嚢 3 個（1 個 100 kg 強）をロープで 1 つにまとめ、輪にして縛った。ボートには滑車の付いたクレーン（クレーンの吊り下げ荷重 300 kg）とフックが付いたワイヤーロープが備え付けられていた。フックを輪にしたロープに取り付け土嚢を吊り上げた。作業中土嚢によって船が左に傾きすぎないように一人が右側で待機した（転覆防止のバランスの役目）。二人が土嚢を徐々に船外に押し出すと同時に、もう一人は土嚢に付いているロープを持って土嚢が急激に船外に落ちないようにサポートした。次に、一人が土嚢を船から離れないように土嚢に付いているロープを手前に引っ張り、もう一人はクリート（船に付いているロープを巻き付ける物）に巻き付けてあったリリースロープ（土嚢をリリースするためのロープで、土嚢に付いているロープの輪を通して反対側は柱に固定）の巻き付けを緩めた。ワイヤーロープを徐々に緩めて土嚢が海水に浸かるところまで下ろした。リリースロープに土嚢の重さが掛かるようにしてリリースロープを再度クリートに巻き付けた。ワイヤーロープにも土嚢の重さが掛かるようにワイヤーロープを巻き上げ土嚢を固定した。係留系の投入が終わるとワイヤーロープを緩

めてフックから土嚢を取り外した。土嚢の全重量がリリースロープに掛かっているのでリリースロープを手離さないようにしっかり持ってクリートから巻き付けをほどいた。土嚢が急速に落下しないようにリリースロープをゆっくり手前に送りながら土嚢を落下させ、最後にリリースロープを手離した。リリースロープが土嚢に付いているロープの輪から抜けると係留系は土嚢に引っ張られて沈み、係留系の再設置は終了した。

設置点 B4 の係留系再設置

2019年8月9日、設置点 B4 に係留系を再設置した。図 6 に再設置風景、図 7 に使用したボートを示す。係留系再設置の要領は設置点 B2 と基本的に同じなので違いを説明する。使用したボートが一回り大きくなり甲板から海面までの高さが高くなった。そのため土嚢を吊すロープの長さを 3.5 m と長くした (図 8)。土嚢を船外に出す直前に一旦、人力で土嚢を持ち上げて押し出す必要があった。そのため二人で持ち上げることが出来るように土嚢 1 個の重さを 68 - 73 kg にして 5 個 (合計 350 kg 前後) 作った (図 8)。再設置において、土嚢は 1 個ずつ船外に出した。



図 6 設置点 B4 における係留系再設置風景 (矢印は作業順)。



図 7 設置点 B4 で使用したボート。

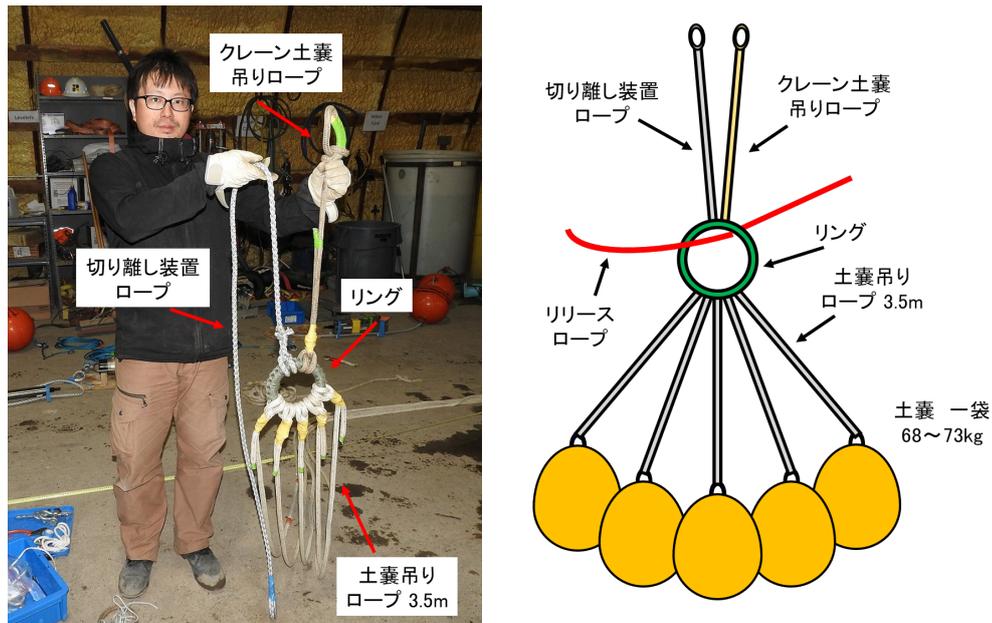


図 8 設置点 B4 土嚢の取り付けイメージ。

終わりに

係留系再設置に際して、事前に船を使い再設置のリハーサルを行った。甲板から海に係留系と土嚢を投入する手順、役割配置を確認した。特に土嚢に関しては実際に土嚢を使って本番さながらのリハーサルを行った。リハーサルは安全（事故防止）に設置作業を行う上でも有効だった。

2011年からアラスカバローでの係留観測に同行して係留系の回収・再設置支援を行ってきた。支援の中で測器設定、係留系の繋ぎ方、設置、回収後のデータ回収、ロープの結び方などを学ぶことが出来た（高塚）。

雪崩測定機器の製作

西村 浩一¹、伊藤 陽一²、森 章一³、藤田 和之³

1. 名古屋大学大学院環境学研究科
2. 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター
3. 技術部装置開発室

1 はじめに

現在、スイス・フランス・ノルウェーなどでは人工雪崩実験で得られた知見をもとに雪崩運動シミュレーションの開発・検証やハザードマップ作成などが積極的に行われている。対して日本では、1990年代を最後に組織的な雪崩実験は行われておらず、雪崩研究のための基礎的データが不足しているのが現状である。しかし、日本では21世紀に入っても平成18年豪雪をはじめ、2014年2月の関東甲信大雪における「非雪国」での雪崩多発による交通障害・集落孤立なども発生しており、最新の知見にもとづく雪崩災害対策が求められている。

このような事態を打開するために、科学研究費補助金「フルスケール雪崩実験と多項式カオス求積法を用いた次世代型雪崩ハザードマップの作成（2015－18年度）」を契機として、新たに人工雪崩実験を北海道ニセコで行うプロジェクト（通称：平成雪崩大実験）がスタートした。雪崩実験により①雪崩の内部構造や運動などの包括的データを取得するほか、それらをもとに②雪崩発生箇所、規模、底面・内部摩擦等のモデル入力値がもつ不確定性を、多項式カオス求積法（PCQ法）を応用して考慮する次世代型雪崩ハザードマップの作成を最終目標とするものである。

本研究の特徴は、各国で人工爆破により調査が進められている雪崩に比べて小さい規模の雪崩に焦点を絞った点があげられる。これは、国内で災害をもたらした実際の雪崩は小規模のものが多く事実にもとづいており、スケールが小さくなることで、より接近した位置での観測や新たな観測手法の導入により、今まで見えなかった雪崩の素顔がより明らかになることが期待される。ここでは、低温科学研究所技術部製作による雪崩の内部構造測定機器などが展開された2018年3月の人工雪崩実験の事例を紹介する。

2 測定機器の概要

雪崩の内部構造を測定するために、雪崩が斜面を流下する経路の途中に各種センサを取り付けた測定機器を設置し、雪崩が機器を覆うように通過する際のセンサ出力をデータロガーで記録することとした。機器を設置する箇所は、北海道ニセコのスキー場管理コース内であるため、コース営業中は機材を設置することは禁じられている。コース営業が終了し、雪崩実験を行う直前に設置作業を行う必要があるため、装置筐体2箇所に固

定されたチャンネル鋼材を 110 cm 下方に出し、雪面に打ち込むことで固定するようにした。さらに、積雪がやわらかく固定しにくい場合に備えて、チャンネル鋼に単管杭をさらに 110 cm 継いで打ち込めるようにした (写真 1)。

装置筐体は防水合板を使用し、雪崩に直撃される形になるため前面投影面積を小さく、かつ先端部を鋭角な形状とした。各センサは側面に配置し、配線は底部から引き出すことにした。各センサのアナログ信号は、雪の中に埋め込んだ同軸ケーブルにて搬送され、多チャンネルデータロガーに接続した (写真 2)。



写真 1 測定機器全体像。

3 測定センサ

3.1 流速センサ

雪崩内部の速度変動を測定するためのセンサで、赤外線による反射型フォトリフレクタ 2 個を雪崩の流下方向に 20 mm 離して側面に埋め込んだ。雪崩が測定機器側面に沿って流動すると、雪崩に赤外線が反射されセンサ出力が生じる。このとき、上流側と下流側のセンサから、ほぼ類似した信号波形が時間差をともなって出力されるので、この時間差とセンサ間距離から雪崩の速度を求めることが可能となる (写真 3)。



写真 2 測定機器底部から。

さらに、センサを高さ方向に 100 mm 間隔で 9 セット配置し、速度の鉛直分布も測定できるようにした (写真 4)。

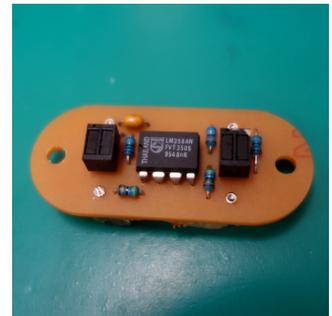


写真 3 流速センサ基板。

3.2 圧力センサ

圧力センサを用いて積雪表面付近の間隙圧を測定した。これは、雪崩が接近すると積雪内部の間隙圧が上昇し、雪粒子同士の結合が破壊され積雪が流動化することで、雪崩内部に積雪が取り込まれるという仮説 (Gauer and Issler, 2004) を検証するためのものである。これまでの大規模な人工雪崩実験では圧力センサを都合よく積雪表面付近に配置することが困難であり、本研究のような小規模実験でのみ検証可能と思われる。

雪面より 100 mm 下部の側面に圧力センサに接続したチューブの開口部を設置し、開口部には雪が詰まらないようにステンレスメッシュで保護した (Ilstad et al., 2004)。



写真 4 流速センサの配置。

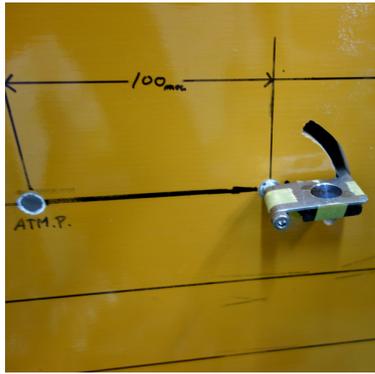


写真5 圧力センサ開口部(左)、ロードセル(右)。

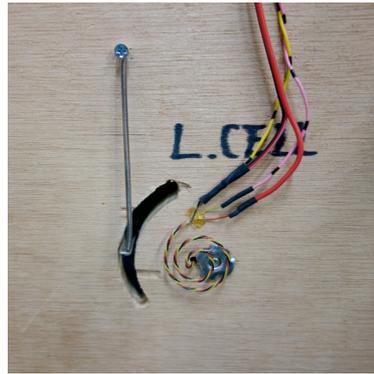


写真6 ロードセル(裏側から)。

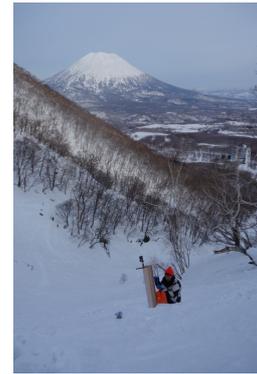


写真7 測定機器設置風景。



写真8 設置後の測定機器。



写真9 爆破の瞬間。

3.3 ロードセル

雪崩通過時に積雪にかかる圧力を測定するために、小型ロードセルを上向きに取り付けた金属板が雪面と同じ高さで側面から突き出る形で配置した。このとき、ロードセルが流れと水平でないと動圧も測定してしまうため、流れにまかせて揺動できるように半固定状態にした(写真5、写真6)。

4 人工雪崩実験

2018年3月22日に斜面に測定機器を設置した(写真7、写真8)。

翌23日に人工雪崩実験を実施した。積雪中にダイナマイト10kg以上を埋め込み爆発させたところ、多量の雪塊が飛散し一部は斜面上を転動したものの、雪崩と言えるような流れは発生しなかった(写真9)。

しかし、爆破後の状況を確認するためにスキー場のパトロール隊員が急斜面を滑走したところ、小規模な湿雪雪崩が誘発された。この雪崩はゆっくりと斜面を流下したが、発生箇所が爆破地点と離れていたため、測定機器の近くを通過しただけでデータは得られなかった。

5 まとめ

今回製作した測定機器は可搬性を考慮しているため、雪崩に直撃されると破壊されてしまう可能性が高いが、雪崩が発生しなかったために測定機器は健在のままである。必要に応じてセンサ部の改良またはセンサ追加の検討も行いたい。

また、人工雪崩実験の特徴として、積雪が安定している場合は炸薬を用いても雪崩が発生しにくく、逆に積雪が非常に不安定な状況では実験準備のために現場に立ち入る事も危険な状態になってしまう点が挙げられる。このように実験前の気象状況などに実験の可否が委ねられている状況にあるため、今後も実験を継続的に行う努力が必要である。

参考文献

- Gauer, P, Issler, D (2004) Possible erosion mechanisms in snow avalanches. *Annals of Glaciology*, 38, 384–392.
- Ilstad, T, Marr, J G, Elverhøi, A, Harbitz, C B (2004) Laboratory studies of subaqueous debris flows by measurements of pore-fluid pressure and total stress. *Marine Geology*, 213, 403–414.

総合技術研究会 2019 九州大学参加報告

佐藤 陽亮、藤田 和之

技術部装置開発室

はじめに

2019年3月6日から8日まで「総合技術研究会 2019 九州大学」が行われ、佐藤・藤田2名が技術交流会、施設見学、特別講演、口頭・ポスター発表に聴講参加してきたので報告する。開催概要と会場を以下に示す（図1）。

開催日時 2019年3月6日（水）～8日（金）	3月6日（水） 13:00～ 技術交流会・施設見学
開催場所 九州大学伊都キャンパス	3月7日（木） 10:50～ 安全衛生技術講習会 13:20～ 特別講演 「新元素の探索」森田 浩介 教授 15:20～ 口頭発表
	3月8日（金） 9:30～ ポスター発表 12:50～ 口頭発表



図1 開催概要と会場。

総合技術研究会について

総合技術研究会は全国の大学法人、独立行政法人の研究機関、国立高等専門学校機構に属する技術職員が職務遂行上有益な知識を習得すること、および意識の啓発と資質の向上を図ることを目的とし、全国規模の技術研究会として一千人規模で隔年開催されている。

特別講演

3月7日（木）には各分野の発表に先立ち、「新元素の探求」と題して九州大学理学研究院、森田浩介教授による113番元素「ニホニウム (Nh)」発見に関する研究の過程、新元素命名に関するエピソード等が特別講演として行われた。

ポスター発表、口頭発表

3月7日（木）、8日（金）に12分野でポスター262件、口頭187件の発表が行われた。主に機械・材料系、製作技術分野の発表を重点的に聴講し、ワイヤー放電加工、溶接技術、加工機による切削加工に関する発表に興味深く聴いた。

技術交流会・施設見学

3月6日（水）技術交流会・施設見学が10分野で行われその中の「機械工作技術及びガラス工作技術交流会」に参加した。

この交流会のメインは製作課題として事前に希望者が「独楽（コマ）」を製作し、製作した「コマ」を持参してプレゼンテーションと実演をおこなうというものであった。多種多様なコンセプトの「コマ」が集い、プレゼンテーションや実演を通して興味深い情報を得た（図2）。

またその後、理学部の機械工作室、硝子工作室を見学した（図3）。



図2 「コマ」のプレゼンテーション。



図3 施設見学。

おわりに

「総合技術研究会」は数少ない技術職員の交流の場として、また有意義な情報交換をするための貴重な機会となっている。今回も幅広い分野の多くの発表を聞くことができ、また全国の技術職員との技術交流や施設見学などを通し、今後の業務に有益な情報をたくさん得ることができた。今回得た情報、知識を日常業務に活用し、その成果を次回の技術研究会で発表できるように準備していきたいと考えている。

今回の総合技術研究会参加は2018年度技術部技術奨励費の助成をいただいた。



編集後記



今年は例年より一カ月ほど早い時期に低温科学研究所技術報告第 25 号を発刊することとなりました。

今回も技術職員の携わった研究内容、新しい技術の習得、既成している技術のさらなる研鑽、総合技術研究会への参加が報告されています。わたくし個人的にですが、今回は低温研に異動して 3 回目の技術報告会であります。この低温研技術報告会は技術職員のみならず研究者も参加し、今まで技術支援で担当した案件の経緯、結果、これからの対策が報告されこのフィードバックが技術職員のモチベーション、技術力向上への励みになっていると感じました。この点は、他部局には少ないお互いの緊密な関係が成立している証明と思えました。また、日々の技術支援業務は現地観測、観察、装置の保守点検といった「フィールドワーク」も多く、これは今までにない経験で私的には新鮮な刺激ともなっています。

北海道大学の全学技術部組織化が本格的に動き出し一年が経過しました。全学的な業務として技術支援依頼が公開され該当する技術職員が支援しています。この全学技術支援も依頼者側からのフィードバックが活発に行われ各人の技術向上につながり組織がより一層機能することを望みます。

最後になりますが本技術報告の作成にあたり原稿の執筆にご協力いただいた皆さまに深く感謝いたします。

2019 年 11 月 15 日

平田 康史

