

北海道大学低温科学研究所  
技術部技術報告

第 19 号

2013年 12月



## 2013年度技術報告会開催に寄せて

日頃より技術部に対するご理解ご協力を頂き誠にありがとうございます。本日、第19回目の低温科学研究所技術報告会（技術支援本部共催）を迎えることができました。本報告会は技術部職員にとって一年の節目であり、多くの教員と議論を交わすことのできる重要な行事です。今回も力のこもった9件の発表が予定されています。いずれも技術部職員と教員・研究員・大学院生の努力の結晶です。実際には、まだ成果に表れていない研究にも技術部の貢献は大きく、低温研の研究・教育にとって技術部はなくてはならない存在になっています。

低温研で行われている研究の分野、手法はさまざまです。そのため、低温研技術部は機械加工、情報処理、電子・電気工作、分析、フィールド調査など多岐に渡る支援業務を行っています。これほどまで広い業務を、しかも高い技術力で行える技術集団は、国内外の大学・研究所を見渡しても極めて稀です。実際、他機関から訪問する研究者の多くが、低温研技術部の質の高さに驚きます。昨年の自己点検評価書でも明らかになったように、低温研の研究業績は年々着実に向上しています。これは、低温研研究者の研究形態を考えたとき、技術部の支援が長きに渡り継続的に行われてきたことと無関係ではありません。

今日、多くの大学・研究所で改革の名のもとに技術支援組織の統合・廃止が進められています。効率化は大切ですが、結果として技術支援組織と研究者組織との距離が離れてしまっただけでは意味がありません。限られた予算の中で効率的な組織作りを進めつつも、研究者と一体となった技術支援体制を堅持することが何より大切です。一流の研究には一流の研究支援が欠かせません。低温研は全国共同利用・共同研究拠点です。関連研究者からも評価の高い低温研技術部を維持・発展させていくことは、低温研の使命でもあります。技術部職員はこれからも慢心することなく日々研鑽を積み、教員、事務職員と協力して、より良い組織づくりを目指して改善に努めて参ります。

今後とも、低温研技術部に対するみなさまの一層のご支援、ご鞭撻の程よろしくお願い申し上げます。

2013年12月13日

技術部長 渡部直樹





# 目次

1. 自動開閉式 CO <sub>2</sub> チャンバー：厳冬期南極海氷上での CO <sub>2</sub> フラックス測定 野村 大樹・兒玉 裕二・中坪 俊一・藤田 和之・福地 光男 .....	1
2. 氷結晶の成長に及ぼす表面拡散及び体積拡散の効果 麻川 明俊・佐崎 元・横山 悦郎・長嶋 剣・中坪 俊一・古川 義純 .....	5
3. 氷結晶の渦巻ステップの構造について 佐崎 元・麻川 明俊・長嶋 剣・中坪 俊一・古川 義純 .....	11
4. 水素分子－氷表面相互作用研究のための分子線装置開発 植田 寛和・羽馬 哲也・中坪 俊一・森 章一・藤田 和之・齋藤 史明・ 香内 晃・渡部 直樹 .....	14
5. 紋別市オホーツクスカイタワーから見るオホーツク海： カメラ設置からウェブサイト公開まで 千貝 健・大井 正行・中坪 俊一・池田 正幸・藤吉 康志 .....	17
6. レーザー分光用の小型低温冷却装置の製作 藤田 和之・森 章一・池田 正幸 .....	23
7. 氷縁に見られる海氷バンドの形成過程 三寺 史夫・佐伯 立・小野 数也 .....	27
8. 特殊仕様 NC フライス盤の導入とその加工例 中坪 俊一・森 章一 .....	30
9. 1 年半を振り返って 齋藤 史明 .....	35
10. 葉緑体タンパク質 LIL8 欠損株の光合成 加藤 由佳子・岸本 純子・横野 牧生・高林 厚史・田中 歩・田中 亮一 .....	37

11. 加工磁化測定装置の製作	
森 章一・中坪 俊一・池田 正幸 .....	41
12. 低温研ウェブサーバアクセス解析 2012/10–2013/09	
千貝 健 .....	45
13. サロマ湖における過去 20 年間の気温水温の経年変化とサロマ湖の結氷期間	
高塚 徹・三寺 史夫・長澤 正氏・椋本 介士・若林 良二・亀井 利久 .....	49

# 自動開閉式 CO<sub>2</sub> チャンバー： 厳冬期南極海氷上での CO<sub>2</sub> フラックス測定

野村 大樹<sup>1,2</sup>、兒玉 裕二<sup>3</sup>、中坪 俊一<sup>4</sup>、藤田 和之<sup>4</sup>、福地 光男<sup>3</sup>

1. 水・物質循環部門海洋・海氷動態分野
2. 日本学術振興会
3. 国立極地研究所
4. 技術部装置開発室

## 概要

海氷の存在が、大気—海洋間の CO<sub>2</sub> 交換に及ぼす影響を定量評価し、海氷域が炭素循環に果たす役割を明らかにするため、海氷—大気間の CO<sub>2</sub> フラックス（交換量）を直接測定するための自動開閉式チャンバーを開発した（野村他、2010；中坪他、2010）。その後、南極海、北極海での氷上で現場観測を実施し、多くの観測データを取得した。また、米国 LI-COR 社のチャンバーシステムとの CO<sub>2</sub> フラックスの比較観測を実施した結果、良い一致を示した。しかし、強風および低温状況下においては、チャンバーシステムが停止するなどのトラブルが生じた。

## 観測

開発した自動開閉式チャンバー使用し、以下の観測を実施した（図 1）。

- 1) 2010 年夏季：砕氷艦しらせを用いた南極昭和基地沖定着氷上での観測（JARE51）
- 2) 2011 年春季：砕氷船ランセを用いた北極スバル諸島沖での海氷観測（ICE11）
- 3) 2012 年晩冬—初春：砕氷船オーロラ・オーストラリスを用いた東南極海氷域での国際海氷観測航海（SIPEX2）
- 4) 2013 年厳冬期：砕氷研究船ポーラシュティンを用いた南極ウェッデル海での海氷観測航海（AWECS）



図 1. 自動開閉式 CO<sub>2</sub> チャンバーの使用風景。

(a) JARE51、(b) ICE11、(c) SIPEX2、(d) AWECS。

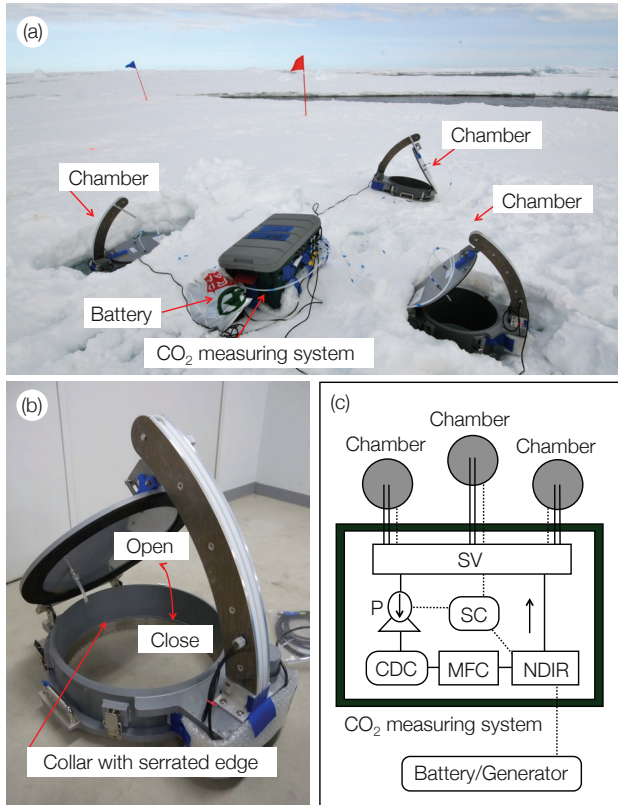


図 2. 自動開閉式 CO<sub>2</sub> チャンバーの設置風景 (a)、詳細説明 (b)、システム概略図 (c)。Nomura et al. (2013) より。

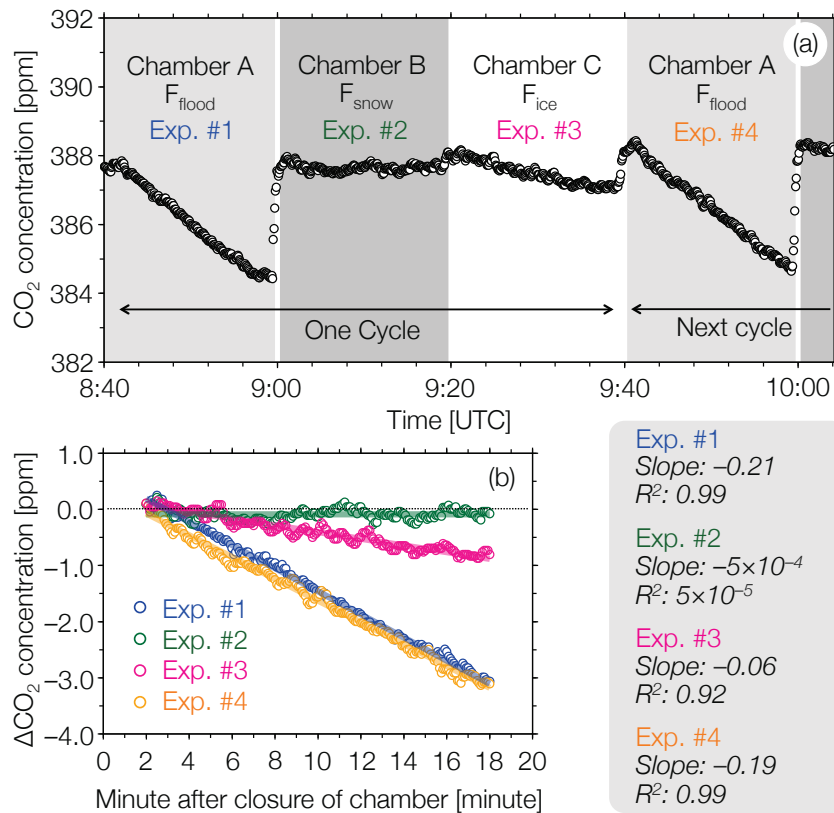


図 3. チャンバー内 CO<sub>2</sub> 濃度変化の一例 (a)。チャンバー内 CO<sub>2</sub> 濃度変化 (傾き) をもとに CO<sub>2</sub> フラックスを計算する (b)。Nomura et al. (2013) より。

自動開閉式チャンバーは、3つのチャンバー、チャンバーの開閉を制御するための装置、CO<sub>2</sub>濃度を測定するための装置、電源から構成されている（図2）。各観測において3つのチャンバーを海氷の表面状態が異なる箇所（例えば、海氷上に積雪がある or ない状態等）に設置し（図2a）、20分間隔で各チャンバー内のCO<sub>2</sub>濃度の変化を測定した（図3a）。チャンバー内の変化より海氷—大気間のCO<sub>2</sub>フラックスを算出した（図3b）。観測4）では、開発した自動開閉式チャンバーとLi-8100（LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA）のチャンバーシステムについて同じ条件下で比較観測を実施した（図4）。

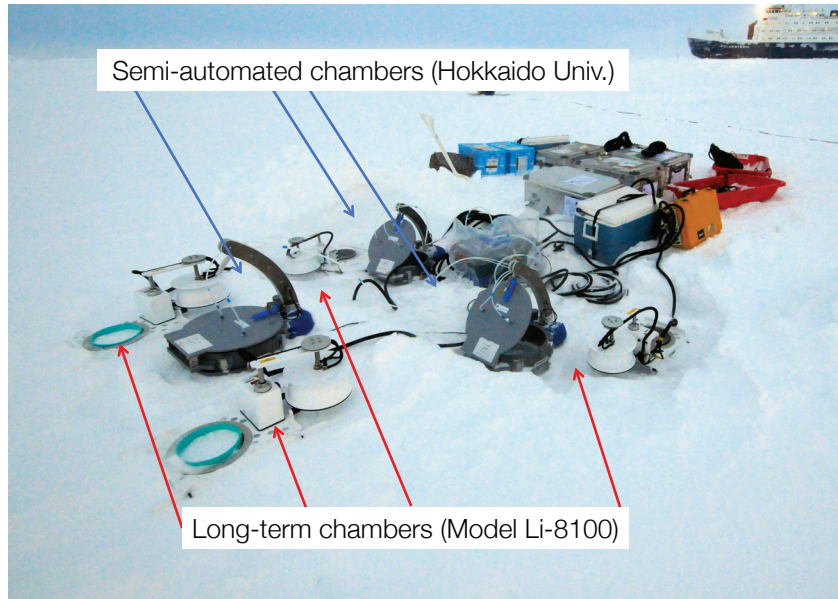


図4. 開発した自動開閉式チャンバーとLi-8100のCO<sub>2</sub>フラックスの比較観測（AWECS）。

### 結果と今後期待される成果

観測1) および2) の夏季および春季における大気—海洋間のCO<sub>2</sub>フラックス測定より海氷融解期における大気から海氷へのCO<sub>2</sub>吸収に関するデータを得た。本結果は、国際誌に掲載された（Nomura et al., 2013）。また、3) および4) の厳冬期および晩冬期のCO<sub>2</sub>フラックス測定より海氷成長期における海氷から大気へのCO<sub>2</sub>放出に関するデータを得た。現在、データ解析中である。観測1) から4) により、大気—海洋間のCO<sub>2</sub>フラックスに関する情報を年間通して得ることが出来た。また、開発した自動開閉式チャンバーとLi-8100のチャンバーシステムの結果を比較したところ、とても良い一致を示した（図5）。本比較観測によって、これまでおよびこれからの取得データの直接比較、研究者間でのデータ共有が可能となった。

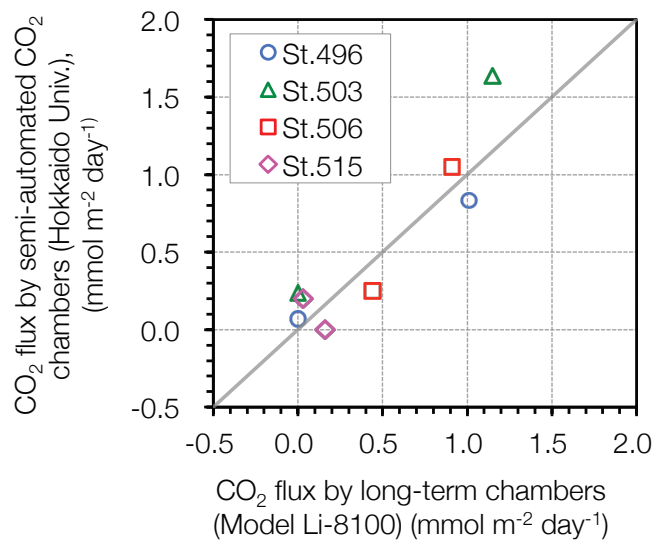


図5. CO<sub>2</sub>フラックスの比較観測結果（開発した自動開閉式チャンバー VS. Li-8100）。

開発した自動開閉式チャンバーは、ほぼ全ての観測において順調に作動し、良好なデータを取得することが出来た。しかしながら、厳冬期および晩冬期に相当する観測 3) および 4) では、低温または強風状況下において、自動開閉式チャンバーが一時的に作動しない等のトラブルが生じた。約 $-25^{\circ}\text{C}$ 以下においては $\text{CO}_2$ 濃度を測定するためのセンサーが低温となり正常な $\text{CO}_2$ 濃度の値を示さなくなった。本トラブルが生じた後は、保温性の高い金属箱に収納し、金属箱内部に電熱線を設置し、センサーを保温するなど工夫した。その結果、正常な $\text{CO}_2$ 濃度の測定が可能となった。また、強風および低温時は、チャンバーの自動開閉システムが動作しなくなった。2つの理由が考えられる。1つ目は、強風によってチャンバーの開閉部分に風圧がかかるため開閉が困難となったと考えられる。2つ目は、約 $-25^{\circ}\text{C}$ 以下の低温状況下において、チャンバー開閉のためのモーターの作動能力が低下したと考えられる。以上より、強風による風圧、低温によるモーター出力の弱化の両者が重なった結果、チャンバーの自動開閉システムが動作しなくなったと考えられる。本トラブルが生じた後、チャンバーに電熱線を設置する等の対策を考えたが、チャンバー自体の温度上昇による積雪・海氷の融解などによって測定面の状況が人為的に変化する恐れがあったため実施しなかった。本観測中は、有効な解決策が見つからなかったため、今後、より高出力のモーター等を採用するなど検討する必要がある。

## 参考文献

- 野村 大樹、兒玉 裕二、中坪 俊一、福士 博樹、千貝 健、藤田 和之、清水 大輔、福地 光男 「自動開閉式チャンバーを用いた海氷—大気間の $\text{CO}_2$ フラックス測定—南極海定着氷上での現場観測—」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、16、26-27、2010年12月。
- 中坪 俊一、藤田 和之、池田 正幸 「自動開閉式チャンバーの製作～海氷上 $\text{CO}_2$ チャンバー～」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、16、28-31、2010年12月。
- Nomura, D., Granskog, M. A., Assmy, P., Simizu, D., Hashida, G., 2013. Arctic and Antarctic sea ice acts as a sink for atmospheric  $\text{CO}_2$  during periods of snow melt and surface flooding. *Journal of Geophysical Research* 118, 1-14, doi:10.1002/jgrc.20430, 2013.



# 氷結晶の成長に及ぼす表面拡散及び体積拡散の効果

麻川 明俊<sup>1</sup>、佐崎 元<sup>1,2</sup>、横山 悦郎<sup>3</sup>、長嶋 剣<sup>1</sup>、中坪 俊一<sup>4</sup>、古川 義純<sup>1</sup>

1. 雪氷新領域部門相転移ダイナミクス分野
2. 共同研究推進部
3. 学習院大学計算機センター
4. 技術部装置開発室

## はじめに

氷は地球上で極めて大量に存在し、その相転移（成長や融解・昇華）は地球の寒冷圏で起こる様々な自然現象を支配する。降雪、霜柱や南極・北極の氷の融解、寒冷圏に存在する生物の不凍現象はその一例である。そのため氷の結晶成長を理解することは、様々な分野で重要である。

氷の結晶成長を解明するため、これまで、多くの研究が光学顕微鏡を用いた氷結晶の外形や表面モルフォロジーの観察を行ってきた。そのため、氷結晶の成長過程のマクロな理解は進んだが、報告された成長素過程の十分な理解は得られなかった。最近、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡（LCM-DIM）を用いると、気相から成長する氷結晶の表面上の「単位ステップ」（0.37 nm 高さ）をその場観察できるようになった[1,2]。それにより氷結晶表面も他の結晶と同様にテラスーステップーキンク描像に従うことが明らかになった。この結果は LCM-DIM を用いることで、分子レベルでの成長カイネティクスを直接明らかにできるということを示している。本研究では LCM-DIM を用いて、まず氷ベール面上での単位ステップの成長カイネティクスを観察した。特にステップ前進速度  $V_{\text{step}}$  の隣接するステップ間隔  $L$  依存性及び水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  依存性について調べた。

## 実験

図 1 に観察用チャンバーの模式図を示した。上部の銅板に固定した AgI 結晶上に、観察体となる氷を成長させた。また下部の銅板上に、水蒸気源となる氷を成長させた。観察用氷と水蒸気源となる氷の温度（それぞれ  $T_{\text{sample}}$ ,  $T_{\text{source}}$ ）を独立に調節することで、観察用氷が蒸発する水蒸気分圧  $P_e$  と観察用チャンバー内の水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  を制御することができる。このように、結晶化の駆動力を自由に制御できる観察用チャンバーを用い、氷の成長温度  $T_{\text{sample}} = -8.4 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $P_e = 298 \text{ Pa}$ )、種々の水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  での氷ベール面上を LCM-DIM 観察した。

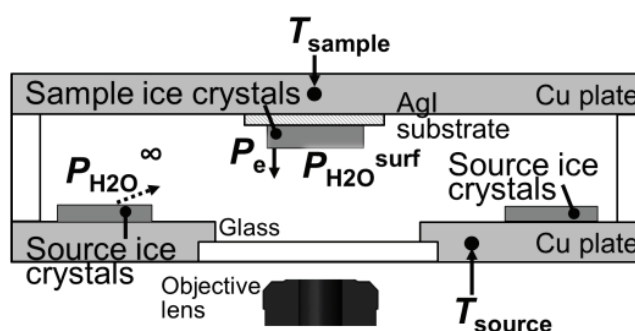


図 1 観察用チャンバーの模式図。

## 結果と考察

### ステップ前進速度の隣接するステップ間隔依存性

図 2 は、観察した氷ベーサル面の全体像を示している。単位ステップは黒矢印頭から同心円状に繰り返し現れ、白矢印に向かって前進した。

単位ステップは白点線で囲まれた領域にさしかかると、その形態をベーサル面の左側のエッジを中心とした同心円状に変化させた。このような現象は Berg 効果を用いると容易に説明することができる。Berg 効果とは、稜やエッジでの水蒸気圧が、面の中央に比べ高くなる現象を指す。結晶面の稜やエッジは面の中央に比べ、図 2 の観察像の奥側からやって来る過飽和水蒸気を取り込むことができる。そのため、結晶面の稜やエッジの水分子の供給量は、面の中央に比べて高くなる。実際にベーサル面のへりやエッジ近傍でのステップ前進速度はベーサル面の中央でのステップ前進速度よりも速かった。また、Berg 効果は、単位ステップの成長過程が体積拡散の影響を大なり小なり受けていることを示す。エッジからおよそ  $40 - 100 \mu\text{m}$  程度の範囲で Berg 効果は現れた。

次に単位ステップの成長過程を定量的に解析した。種々の単位ステップの位置を時間ごとに計測し、ステップが前進する速度  $V_{\text{step}}$  と隣接するステップ間隔  $L$  の評価を行った。図 3 (A) に隣り合うステップの間隔  $L$  がステップ前進速度  $V_{\text{step}}$  に及ぼす効果を示す。 $L \leq 15 \mu\text{m}$  の場合には、 $L$  の減少に伴い  $V_{\text{step}}$  は減少した。一方  $L \geq 15 \mu\text{m}$  の場合には、 $V_{\text{step}}$  はほぼ一定の値をとった。このような現象はテラス上での水分子の表面拡散を考えると説明できる。体積拡散後、テラス上に吸着した水分子が、ステップから表面拡散距離  $\chi_s$  より

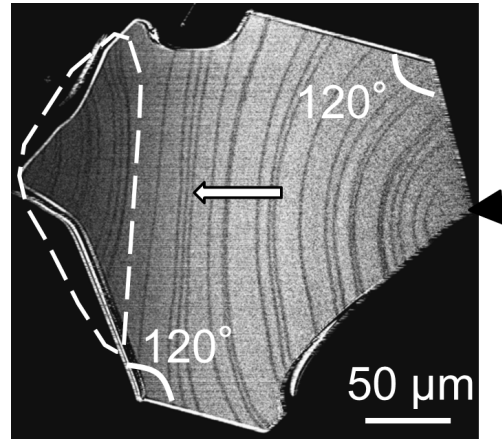


図 2 氷ベーサル面上の単位ステップ ( $T_{\text{sample}} = -8.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty = 323 \text{ Pa}$ )。黒矢印頭；単位ステップの中心。白矢印；ステップの前進する方向。

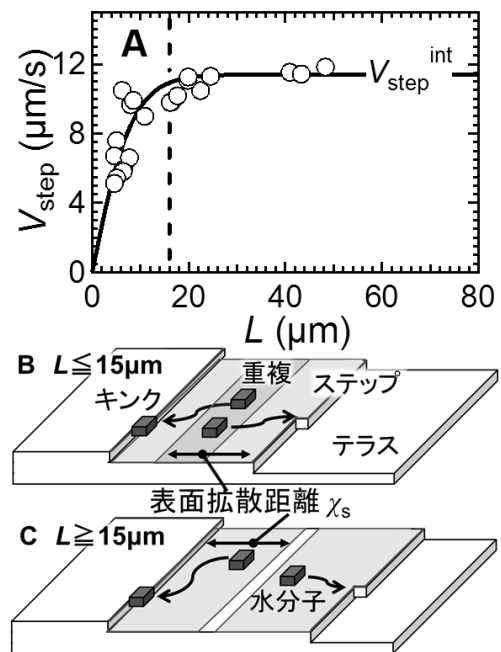


図 3 (A) ステップ前進速度  $V_{\text{step}}$  の隣接するステップ間隔  $L$  依存性 ( $T_{\text{sample}} = -8.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty = 323 \text{ Pa}$ )。実線；式 (1) を用いて得られたフィッティングカーブ。(B)  $L \leq 15 \mu\text{m}$  の場合でのテラス上で拡散する水分子。(C)  $L \geq 15 \mu\text{m}$  の場合でのテラス上で拡散する水分子。



遠くに吸着すると、吸着した水分子はステップに到達することができない。一方、水分子がステップから表面拡散距離  $\chi_s$  以内に吸着すると、吸着した水分子は到達することができる。 $L \leq 15 \mu\text{m}$  の場合には、図 3 (B) に示したように、テラスに吸着した水分子は隣接するどちらのステップにも到達することができる。一方、 $L \geq 15 \mu\text{m}$  の場合には、図 3 (C) に示したように、テラスに吸着した水分子は隣接するどちらか一方のステップにのみ到達することができる。そのため、 $L \leq 15 \mu\text{m}$  の場合には、隣接したステップ同士で、テラス上に吸着した水分子の奪い合いが生じたと考えることができる。一方、 $L \geq 15 \mu\text{m}$  の場合には、氷ベール面は実験条件固有のステップ前進速度  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  を示している。

以上のように、単位ステップの成長素過程が表面拡散で説明できる場合、式 (1) を用いると、表面拡散距離  $\chi_s$  と孤立したステップ前進速度  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  を定量的に求めることができる。本研究では、種々の  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  下での  $\chi_s$  と  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  を求め、氷ベール面上での単位ステップの成長素過程の水蒸気圧依存性について更に議論した。

$$V_{\text{step}} = V_{\text{step}}^{\text{int}} \times \tanh\left(\frac{L}{2\chi_s}\right). \quad (1)$$

#### ステップ前進速度の水蒸気分圧依存性

はじめに表面拡散距離  $\chi_s$  の水蒸気分圧依存性について解析した(図 4)。 $\chi_s$  は水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  が増加してもほとんど一定であった。またそれらの平均値は  $4.5 \mu\text{m}$  であった。Hallet, Mayson 及び小林らはバンチングステップを用いて、我々の研究の  $15 \mu\text{m}$  に対応する距離を求めている[3-5]。彼らの値はおおよそ、 $6 \mu\text{m}$  であった。興味深いことに、彼らはバンチングステップを用いて計測しているにもかかわらず、我々と同じような値を示している。

次に  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性について解析した (図 5)。 $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  は固-気

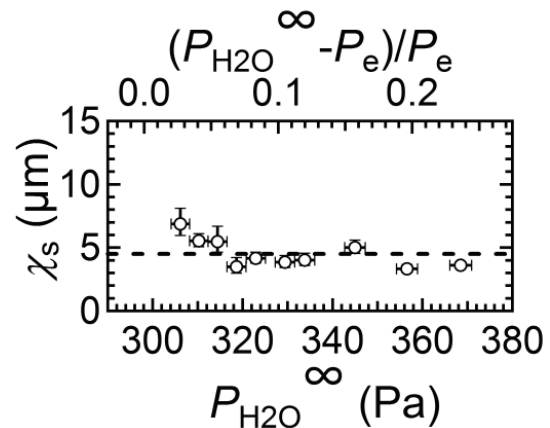


図 4 表面拡散距離  $\chi_s$  の水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  依存性 ( $T_{\text{sample}} = -8.4 \text{ }^\circ\text{C}$ )。

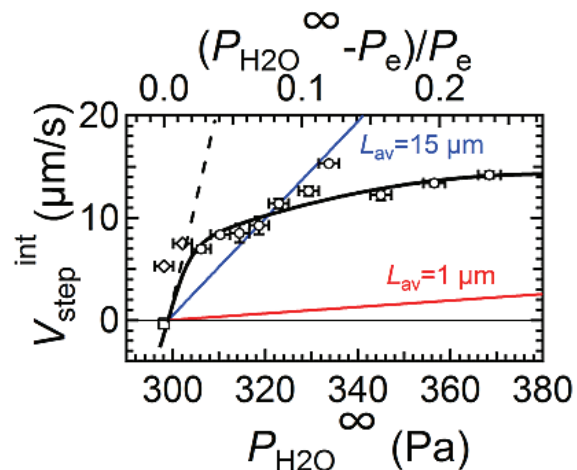


図 5 孤立したステップの前進速度  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  依存性 ( $T_{\text{sample}} = -8.4 \text{ }^\circ\text{C}$ )。点線；表面カインティクスが律速する際の  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性。青線及び赤線；体積拡散が律速する際の  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性（それぞれ  $L_{\text{av}} = 15 \mu\text{m}, 1 \mu\text{m}$ ）。

平衡水蒸気分圧近傍で急激に増加した。また  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  の増加に伴う  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の増加傾向は緩やかになった。通常、 $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  はステップカイネティック係数  $\beta_{\text{step}}$  と表面水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{surf}}$  (テラス上に吸着した水分子の水蒸気分圧) により、式 (2) と表すことができる。

$$V_{\text{step}}^{\text{int}} = \beta_{\text{step}} \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{surf}} - P_e}{P_e}. \quad (2)$$

ステップカイネティック係数  $\beta_{\text{step}}$  とは、成長素過程を特徴づける定数である。 $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  が固-気平衡水蒸気分圧近傍である場合、観察用チャンバー内の水蒸気圧は均一であるため、通常、結晶成長過程での体積拡散の影響を無視することができる。そのため、ステップカイネティック係数  $\beta_{\text{step}}$  は表面カイネティクス (表面拡散と吸着した水分子のキンク位での取り込みを合わせた成長素過程) の起こりやすさを示す。固-気平衡水蒸気分圧近傍では  $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{surf}} \cong P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  と取り扱うことができるため (図 6 (B))、 $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気圧依存性の傾き (図 5 の点線) から、氷結晶のステップカイネティック係数  $\beta_{\text{step}}$  を求めた。その値は  $700 \mu\text{m/s}$  であった。我々は、氷結晶のステップカイネティック係数を初めて直接計測することに成功した。

では、 $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  vs.  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  プロットの傾きは、水蒸気圧の増加に伴い、なぜ減少していったのだろうか？ 本研究では、その原因を明らかにするため、体積拡散が氷結晶の成長カイネティクスに極端に影響する場合を考えた。ステップの前進速度が体積拡散によって完全に決定される場合、 $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{surf}} \cong P_e$  と仮定することができる (図 6 (C))。体積拡散により供給された水分子の量が吸着した水分子が結晶に取り込まれる水分子の量と等しくなる場合を考えた。式 (3) はこのような物質収支を表している。

$$\frac{\Omega}{k_B T_{\text{sample}}} \cdot D_V \cdot \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty - P_e}{\delta} = \frac{h}{L_{\text{av}}} V_{\text{step}}^{\text{int}}. \quad (3)$$

$\Omega$  は氷結晶中に水分子が占める体積 ( $3.25 \times 10^{-29} \text{ m}^3$ ) を示しており [6]、 $k_B$  はボルツマン定数 ( $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ) を示している。 $D_V$  は体積拡散定数 ( $2.22 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ) を

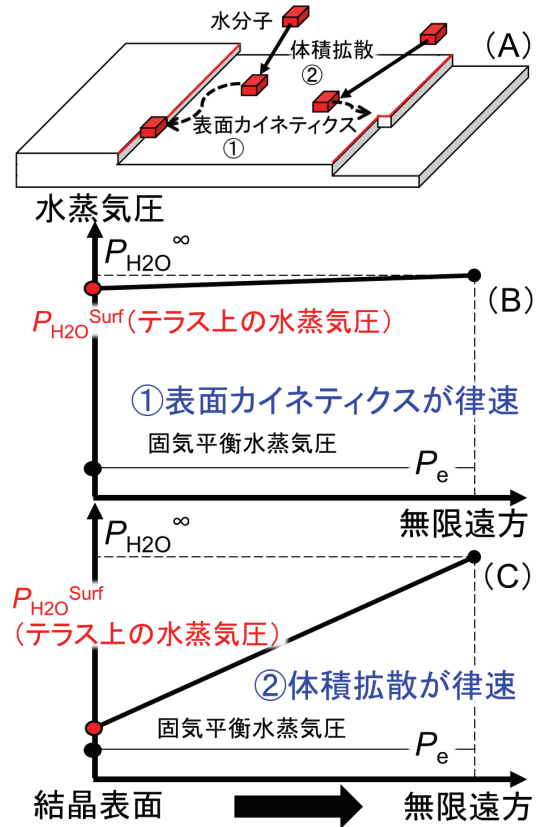


図 6 律速過程と表面水蒸気圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{surf}}$  との関係。(A) 結晶成長における種々の素過程。(B) 表面カイネティクスが律速した際の表面水蒸気圧。(C) 体積拡散が律速した際の表面水蒸気圧。赤丸；テラス上の水蒸気圧。

示しており[7]、 $\delta$  は拡散境界層厚さを示している。拡散境界層厚さ  $\delta$  の値として観察用氷と水蒸気源となる氷結晶との距離 16 mm を用いた。 $h$  はステップの高さ (0.37 nm) を示しており[8]、 $L_{av}$  は隣り合う渦巻きステップの平均間隔を示している。式 (3) は次のように整理される。

$$V_{\text{step}}^{\text{int}} = \frac{\Omega}{k_B T_{\text{sample}}} \cdot D_V \cdot \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}^{\infty} - P_e}{h} \cdot \frac{L_{av}}{\delta}. \quad (4)$$

式 (4) を用いて、体積拡散律速の際の  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  を計算した。図 5 中の青線及び赤線は、隣り合う渦巻きステップの平均間隔  $L_{av}$  がそれぞれ 15  $\mu\text{m}$  と 1  $\mu\text{m}$  の場合の  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  を示している。このように、青線及び赤線は、図 5 中の水蒸気圧が高い領域での実験値と同程度のオーダーを示している。この結果から、体積拡散を考えると、水蒸気圧が高い領域での成長素過程を説明することができると言える。

図 7 は  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性が、どのような成長素過程に影響を受けるかを示している。水蒸気圧が低い領域では、 $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性は表面カイネティクスの影響を受け、水蒸気圧が高い領域では、体積拡散の影響を受けると考えることができる。また、我々の結果は、氷ベール面上の成長カイネティクスが表面カイネティクス律速から体積拡散律速へ遷移している様子を示していると考えている。氷ベール面のカイネティクスが体積拡散の影響を示しているかを確認するために、近い将来、観察用チャンバー内の拡散場を制御し、 $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性を計測する予定である。

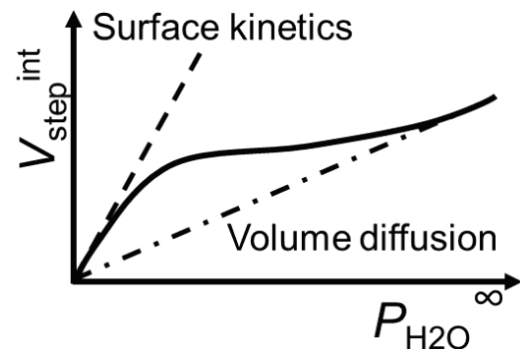


図 7 孤立したステップの前進速度  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\infty}$  依存性と律速過程との関係。点線；表面カイネティクス（表面拡散とキルク位への取り込みを合わせた過程）律速を示した時の  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性。一点破線；体積拡散律速を示した時の  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  の水蒸気分圧依存性。

## まとめ

本研究では、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡 (LCM-DIM) を使い、氷の成長温度  $T_{\text{sample}} = -8.4 \text{ } ^\circ\text{C}$  における単位ステップの成長カイネティクスを直接観察した。特にステップ前進速度  $V_{\text{step}}$  の隣接するステップ間隔  $L$  依存性及び水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\infty}$  依存性について調べた。

それにより、氷結晶の成長カイネティクスにおいて鍵となる以下の 2 つの結果を得た。

- (1) ステップ間隔  $L \leq 15 \mu\text{m}$  の場合には、 $L$  の減少に伴いステップ前進速度  $V_{\text{step}}$  は減少した。この現象は表面拡散を用いると説明することができた。
- (2) 水蒸気分圧  $P_{\text{H}_2\text{O}}^\infty$  vs. 孤立したステップの前進速度  $V_{\text{step}}^{\text{int}}$  ( $L \geq 15 \mu\text{m}$  の場合の  $V_{\text{step}}$ ) プロットの傾きは過飽和度の増加に伴い減少していった。この現象は体積拡散を用いると説明することができた。また氷結晶のステップカイネティック係数  $\beta_{\text{step}}$  は  $700 \mu\text{m/s}$  であった。

以上の結果より、氷ベール面上の成長過程は表面拡散と体積拡散に支配されることが明らかとなった。

### 参考文献

- (1) Sazaki, G.; Matsui, T.; Tsukamoto, K.; Usami, N.; Ujihara, T.; Fujiwara, K.; Nakajima, K., 2004. In situ observation of elementary growth steps on the surface of protein crystals by laser confocal microscopy. *Journal of Crystal Growth* 262, 536-542.
- (2) Sazaki, G.; Zepeda, S.; Nakatsubo, S.; Yokoyama, E.; Furukawa, Y., 2010. Elementary steps at the surface of ice crystals visualized by advanced optical microscopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, 19702-19707.
- (3) Hallett, J., 1961. The growth of ice crystals on freshly cleaved covellite surfaces. *Philosophical Magazine* 6, 1073-1087.
- (4) Mason, B.; Bryant, G.; Van den Heuvel, A., 1963. The growth habits and surface structure of ice crystals. *Philosophical Magazine* 8, 505-526.
- (5) Kobayashi, T., 1967. On the Variation of Ice Crystal Habit with Temperature. *Physics of Snow and Ice: proceedings* 1, 95-104.
- (6) Petrenko, V. F.; Whitworth, R. W., 1999. *Physics of ice*. Oxford University Press: Oxford.
- (7) Müller, R., 1968. Die Annäherung der Temperaturabhängigkeit der Transportkoeffizienten von Gasen durch einen Potenzansatz. *Chem Ing Tech* 40, 344-349.
- (8) Sazaki, G.; Asakawa, H.; Nagashima, K.; Nakatsubo, S.; Furukawa, Y., Double spiral steps on Ih ice crystal surfaces grown from water vapor just below the melting point. Submitted to *Crystal Growth & Design*.

# 氷結晶の渦巻ステップの構造について

佐崎 元<sup>1,2</sup>、麻川 明俊<sup>1</sup>、長嶋 剣<sup>1</sup>、中坪 俊一<sup>3</sup>、古川 義純<sup>1</sup>

- 1. 雪氷新領域部門相転移ダイナミクス分野
- 2. 共同研究推進部
- 3. 技術部装置開発室

## はじめに

氷は地球上で極めて大量に存在し、その相転移（成長や融解・昇華）は地球の寒冷圏で起こる様々な自然現象を支配するため重要である。本研究では、氷のベーサル面およびプリズム面上で生成する渦巻成長ステップの構造について報告する。

我々がこれまでベーサル面・プリズム面上で観察した二次元島のステップは、水 1 分子高さ（それぞれ 0.37 および 0.39 nm: それぞれバイレイヤー 1 層分の高さに相当する）を示した[1]。しかし、図 1 に示した様に、それぞれの面上のらせん転位のバーガースベクトルは、結晶学的制限のためにバイレイヤー 2 層分の高さでなければならない。そのため、渦巻ステップが実際にはどのような構造を持つのか、光学その場観察によって調べた。

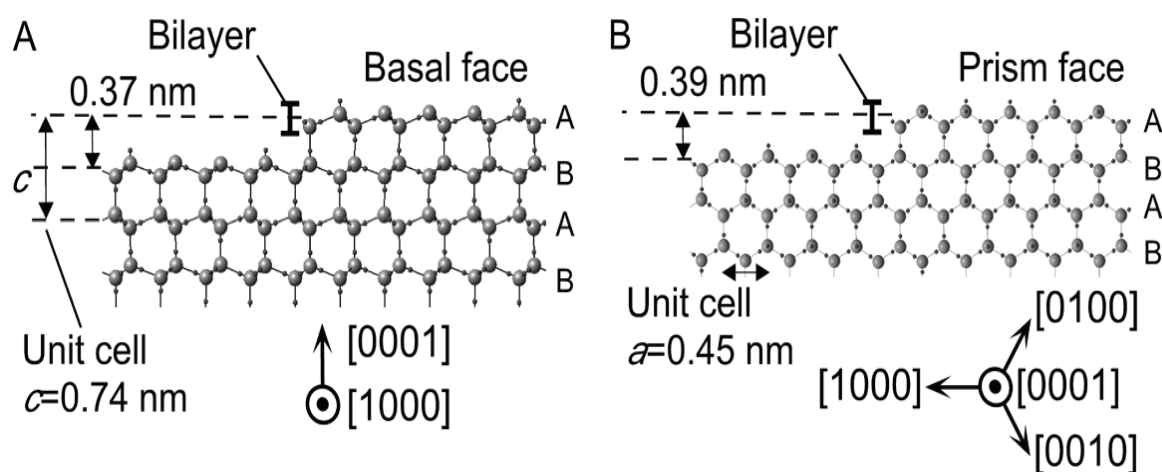


図 1 氷結晶のベーサル面 (A) およびプリズム面 (B) の断面の模式図。

## 実験

窒素雰囲気下、AgI 単結晶の壁かい面上に過飽和水蒸気を供給し、氷結晶を成長させた。密閉空間中で、試料用の氷と水蒸気供給用の氷の温度を別々に制御することで、氷結晶の成長温度と過飽和度を独立に制御した。そして、氷結晶が成長する様子を、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡 (LCM-DIM) を用いてその場観察した。



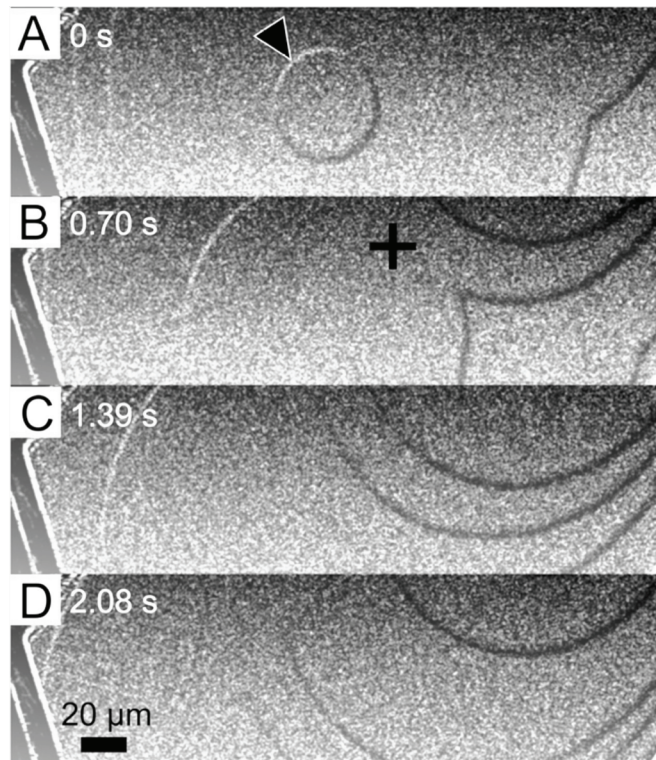


図 2 ベーサル面上での 2 次元島のステップと渦巻ステップの衝突に伴うステップコントラストの消滅 ( $-3.0^{\circ}\text{C}$ )。

## 結果と考察

水蒸気中で成長させた氷結晶のベーサル面とプリズム面の上で、2 次元島のステップと渦巻ステップが合体する様子を観察した。合計で数 100 個以上の結晶について観察を行ったところ、そのような事例を幸運にも 4 例見出すことができた。その一例を図 2 (ベーサル面上) に示す。2 次元島ステップ (黒矢印頭) と渦巻ステップが衝突すると、ステップのコントラストが完全に消滅することより (+印)、2 次元島ステップと渦巻ステップの高さは互いに等しい、バイレイヤー 1 層分の高さ (0.37 nm) であることがわかる。

しかし、結晶学上の制限より、らせん転位のバーガスベクトルは 1 ユニット高さ (ベーサル面では水 2 分子高さ: 0.74 nm)、すなわちバイレイヤー 2 層高さでなければならない。さもなければ、図 1 に示した様な ABAB 型の積層が実現できず、六方晶ではなくなってしまう。実際に、120–150 K の低温下では、バーガスベクトルが 1 ユニット高さの際には立方晶が生成することが、走査型トンネル顕微鏡 (STM) によって報告されている[2, 3]。

ステップの高さがバイレイヤー 1 層分であり、かつバーガスベクトルが 1 ユニット (バイレイヤー 2 層分) 高さであることより、渦巻ステップは図 3 に示したような構造を持つものと考えられる。すなわち、ステップは渦巻の中心ではバイレイヤー 2 層高さ (A 層と B 層) であるが、成長とともに両層がほどけて、バイレイヤー 1 層高さの層が生成するものと予想される。

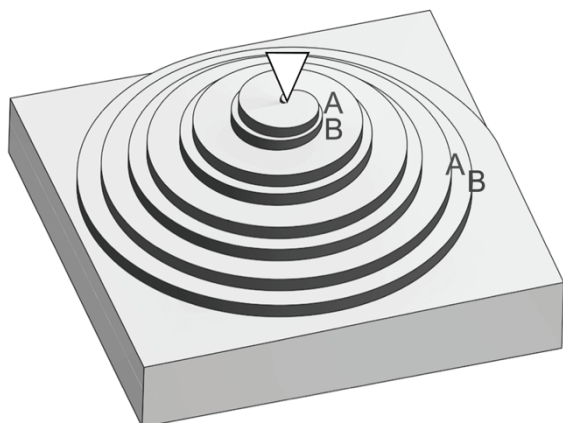


図 3 氷表面上での渦巻ステップの構造。

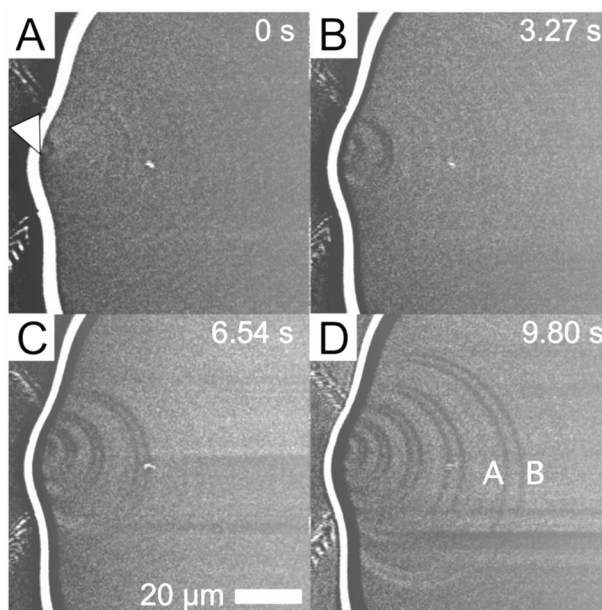


図 4  $-15^{\circ}\text{C}$  においてベーサル面上で生成した 2 重渦巻ステップ。

この予想を裏付けるため、我々の観察装置が達成できる最低温度である $-15.0^{\circ}\text{C}$ で渦巻ステップをその場観察した。まず、過飽和度を慎重に低下させて、わずかに未飽和な水蒸気のもとで、ベーサル面上の渦巻ステップを全て昇華させて消滅させた。その後、注意深くわずかに過飽和を与えて、渦巻ステップが発生する様子をその場観察した。その結果、図 4 に示した様に、予想どおり 2 重の渦巻ステップ（図 3）が生成する様子を観察することができた。この結果は、図 3 に示した渦巻ステップの構造が正しいことを示す。

同様の観察をプリズム面でも行ったところ、プリズム面上の渦巻ステップも、ベーサル面と同じく、図 3 に示した構造を持つことがわかった。

## 参考文献

- 1) G. Sazaki, et al., *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.*, **107**, 19702-19707 (2010).
- 2) K. Thürmer, et al., *Physical Review B*, **77**, 195425-1-10 (2008).
- 3) K. Thürmer and S. Nie, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.*, **110**, 11757-11762 (2013).

# 水素分子－氷表面相互作用研究のための分子線装置開発

植田 寛和<sup>1,2</sup>、羽馬 哲也<sup>1</sup>、中坪 俊一<sup>3</sup>、森 章一<sup>4</sup>、藤田 和之<sup>3</sup>、齋藤 史明<sup>3</sup>、  
香内 晃<sup>5</sup>、渡部 直樹<sup>1,2</sup>

1. 雪氷新領域部門宇宙物質科学分野
2. 共同研究推進部
3. 技術部装置開発室
4. 技術部先端技術支援室
5. 雪氷新領域部門宇宙雪氷学分野

## はじめに

宇宙空間で最も存在度の高い分子は水素分子で、その内部エネルギー状態は宇宙における分子進化に大きな影響を及ぼす。最近の研究から、水素分子は星間氷微粒子との衝突により内部エネルギー状態が変化することが分かった[1]。

本研究の目的は、分子線技術を用いて、入射方向および内部状態と並進エネルギーを良く定義した状態の水素分子を氷表面に照射し、表面から散乱（脱離）してくる水素分子の回転・振動状態と並進エネルギーを計測することである。

本稿では、研究を遂行するためにこれまで開発してきた実験装置について報告する。

## 実験装置

図 1 に、本研究で用いる実験装置の外観図を示す。良く定義した状態の水素分子を用意するために超音速分子線技術[2]を導入した。高压のガスを細い孔のあいたノズルを通して真空中に断熱膨張的に噴出させ、流れの中心部分を円錐状のスキマーによって取り出すことで分子線が形成される。ノズル内の温度で熱平衡下の静止状態のガス分子が真空中に断熱膨張する時に、熱エネルギーの大部分が分子線の並進エネルギーに変換される。従って、入射方向と分子の内部状態および並進エネルギーが良く定義された分子線の作成が可能となる。

本装置では、パルス状の水素分子線を作成するために、100  $\mu\text{m}$  の孔のあいたパルスバルブをノズルとして用いた。パルスバルブが開いた際に、孔内の 2 気圧程度の水素ガスが真空 ( $\sim 10^{-6}$  Pa) に保たれている第 1 室内に噴出し、ガスの中心部分をスキマーで濾し取る (図 2 (a, b))。スキマーを通過した水素分子はさらに、(主に差動排気を目的とした) 第 2 室内のコリメータ (直径 1 mm) を通過し、散乱室中心に用意された氷表面に衝突する。



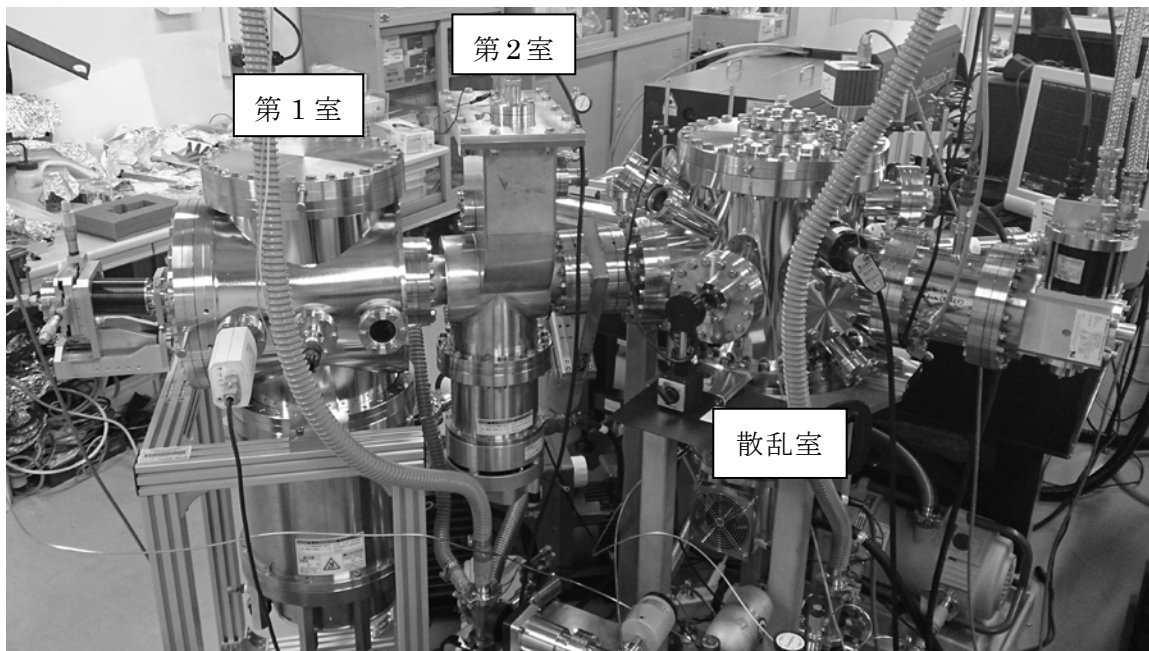


図 1 実験装置外観。

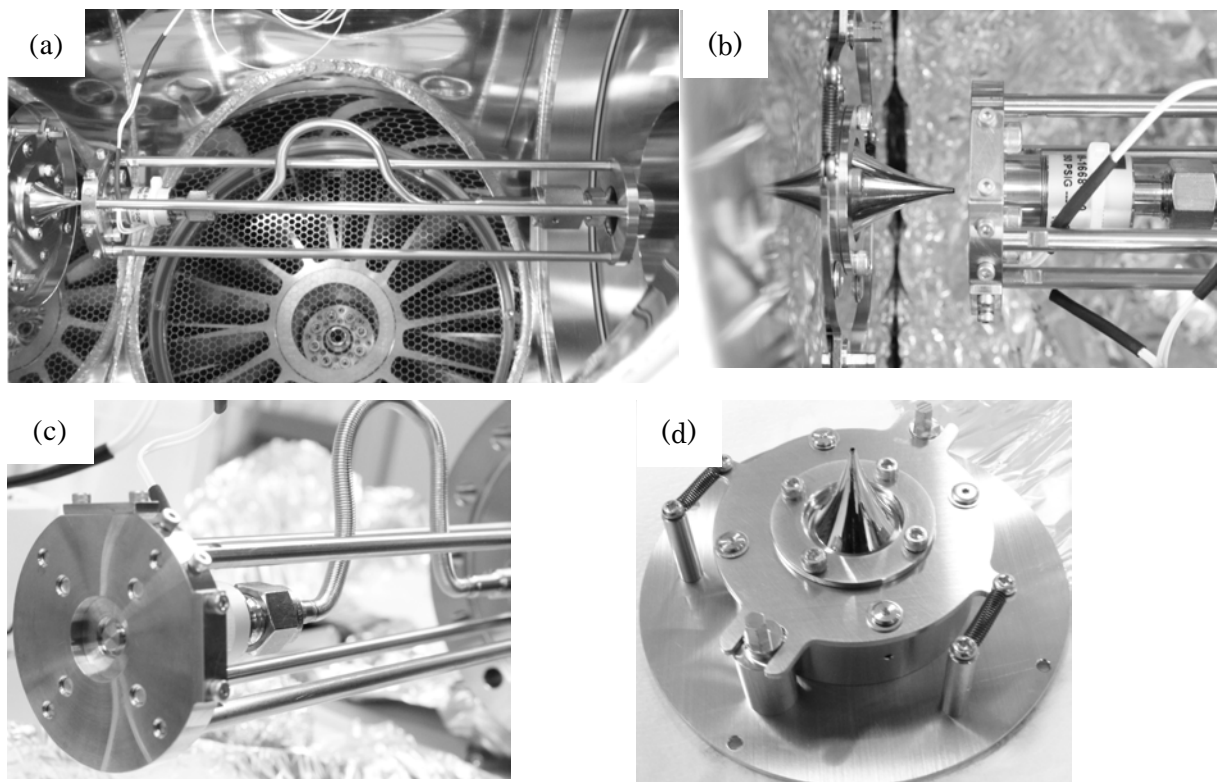


図 2 (a) 第 1 室内部、(b) ノズルおよびスキマー、  
(c) ノズル機構、(d) スキマー機構。

分子線を作成する上で、ノズル（本研究ではパルスバルブ）とスキマーの位置決定は重要である。パルスバルブは第 1 室外から導入されるガス管と接続しており、パルスバルブ自身は銅のホルダーに取り付けられている。また、ノズル機構全体が撓まず水平を保つために 4 本のロッドで支えられている（図 2 (c)）。パルスバルブの位置はマニピュレータによって真空外部から調整することが可能である。スキマーは、スキマー取り付け機構の上下の 2 本のロッドを回すことで、スキマーを取り付けた面全体を動かすことができる仕組みになっており、スキマー位置の微調整が可能となっている（図 2 (d)）。

## おわりに

今後は、作成した水素分子線を入射角 45 度（基板表面垂直を 0 度する）で氷表面に照射し、表面から出てくる水素分子を多光子共鳴イオン化法で特定の回転・振動状態にある水素分子をイオン化し、飛行時間型質量分析を行うことで水素分子-氷表面相互作用ダイナミクスを理解していく予定である。

## 参考文献

1. Watanabe, N., Kimura, Y., Kouchi, A., Chigai, T., Hama, T., and Pirronello, V., 2010. *The Astrophysical Journal Letters*, **714**, L233 – 237.
2. Scoles, G., 1988. *Atomic and Molecular Beam Methods*, **1&2**, Oxford University Press, New York.

# 紋別市オホーツクスカイタワーから見るオホーツク海： カメラ設置からウェブサイト公開まで

千貝 健<sup>1</sup>, 大井 正行<sup>2,3</sup>, 中坪 俊一<sup>4</sup>, 池田 正幸<sup>5,6</sup>, 藤吉 康志<sup>3</sup>

1. 技術部先端技術支援室
2. 株式会社ジェイ・ツー
3. 水・物質循環部門雲科学分野
4. 技術部装置開発室
5. 共和暖房工業株式会社
6. 技術部共通機器管理室

## 1 はじめに

オホーツク海沿岸域の海と大気の相互作用に関連し、雲と海の変化を調べるために、紋別市紋別山（大山、標高 333 m）山頂にあるオホーツクスカイタワー（スカイタワー）にカメラを設置し、毎日 15 分おきにオホーツク海を撮影、ウェブ公開<sup>\*1</sup>している。カメラ設置からウェブサイト公開までを紹介する。

## 2 カメラ設置

カメラは Nikon D300S、カメラに取り付けるレンズは Tokina AT-X 124 PRO DX II 12-24 mm F4 をレンズ焦点距離 12 mm（35 mm 判換算焦点距離 18 mm, 画角 99°）で使用し、スカイタワーに設置する。カメラの制御は Nikon Camera Control Pro 2 をインストールした PC（OS は WindowsXP 以降）から行う。インターバル撮影（一定間隔で複数枚の写真を連続撮影する）は Nikon Camera Control Pro 2 の機能を用いて行う。以上のことが決まっていたので、どのように遠隔でカメラ制御用 PC を操作するか、撮影した画像をどうやって低温研までもってくるか、スカイタワーのどこに設置するかを決める必要があった。

スカイタワーにブロードバンド環境がないため、スカイタワーからドップラーレーダー制御室まで（直線距離で約 100 m）を無線 LAN でつなぎ、紋別ドップラーレーダーネットワークを利用し、遠隔操作と画像転送を行うこととした。2012 年 9 月 12 日、カメラの設置のための調査（どこに取り付けるか、無線 LAN が届くかのテストなど）を行い、展望室内にカメラと無線 LAN アンテナを設置<sup>\*2</sup>することに決定した。カメラおよび無線 LAN アンテナを取り付ける架台（雲台）を製作し、2012 年 10 月 23 日に設置した（図 1, 2）。架台は既設の手すりを利用して取り付けられている。カメラの向きはほぼ北東向き（海岸線が水平になる）で、水平線を下 1/3 程度においた構図としている。

<sup>\*1</sup> <http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/CAM/>

<sup>\*2</sup> 展望室が電波を通さない特殊なガラスを使用していた場合は、アンテナを室外に設置する必要があり、難易度が上がる。



図1 紋別市オホーツクスカイタワー展望室内。



図2 紋別市オホーツクスカイタワー外観。

### 3 ネットワーク

カメラとそれにかかわる機器のインターネット接続は、紋別ドップラーレーダーネットワークを経由している。紋別ドップラーレーダーネットワークは、2012年に従来のネットワーク[1, 2]から、光回線化（無線LAN-ガリコネット経路を廃止）およびDA回線廃止を行っている。カメラネットワークを含めた現在のネットワーク全体像は、図3のようになっている。“PC: camera”がカメラ制御用PCである。“WBoot”は、名京電気社製WATCH BOOTである。カメラなどがフリーズした場合に、電源コンセントの抜き差しをWEBやTELNET

を利用した遠隔操作で行うことができる。スカイタワーとレーダーサイトは、無線 LAN で接続しているが、これに用いられている機器は、従来レーダーサイトと海洋交流館を無線 LAN で繋いでいたものである。

カメラ設置当初は、図 4 のようにカメラを Nikon ワイヤレス画像転送装置 WT-4 に接続し、ドップラーレーダー制御室においたカメラ制御用 PC から制御していた。しかしこの構成では、カメラ制御ソフトがたびたびカメラを見失い、インターバル撮影がキャンセルされることが判明した。また、停電等で WT-4 の電源がオフになった場合に電源オンに必ず手動操作が必要であった。そのため、現在のようにスカイタワー展望室内にカメラ制御用 PC を置く構成になっている。

## 4 ウェブサイト公開

撮影した画像は、カメラ制御用 PC に保存される。その画像を WinSCP<sup>\*3</sup>のバッチ処理機能を用いて、カメラ制御用 PC から外部に送り出している。WinSCP は windows の標準機能のタスク・スケジューラを用いて定期的に動かしている。

ウェブサイト <http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/CAM/> で撮影した画像を、過去のものを含め公開している。過去の画像は、一日ごとのディレクトリにまとめ、年月日を写し込まれたサムネイルを作成して一覧にし、一日の変化がわかりやすいようにしている。

図 5 が、2013/01/17 10:30 のオホーツクスカイタワーから見るオホーツク海である。流氷が来ているのがわかる。図 6 は、2013/05/25 03:00 の雲海におおわれた紋別市である。このような画像がウェブサイトで公開されているので是非見て欲しい。

## 5 おわりに

何度か原因不明の PC フリーズ、カメラフリーズ (WATCH BOOT を使用して電源を入れ直しても回復しない) があった。現地で PC とカメラを繋いでる USB ケーブルを差し直し、電源を入れ直したら回復した。

カメラ制御用 PC の OS は windows であるが、インターネットに接続しているので定期的に windows update 等のセキュリティ対策を行っている。そのような際にリポートするが、Nikon Camera Control Pro 2 を自動的に立ち上げることができてもインターバル撮影を自動的に始めるオプションはない。Nikon Camera Control Pro 2 であるが、以下の機能があれば嬉しい。

- インターバル撮影時に、開始ボタンを押してスタートではなく、ある特定の時刻からスタートする。
- ソフトが起動したら自動的にインターバル撮影が始まる。

その他、改良案等を以下に書く。

- 撮像素子 (ローパスフィルター) のゴミが目立ってきたので、クリーニングしたい。

---

<sup>\*3</sup> <http://winscp.net>

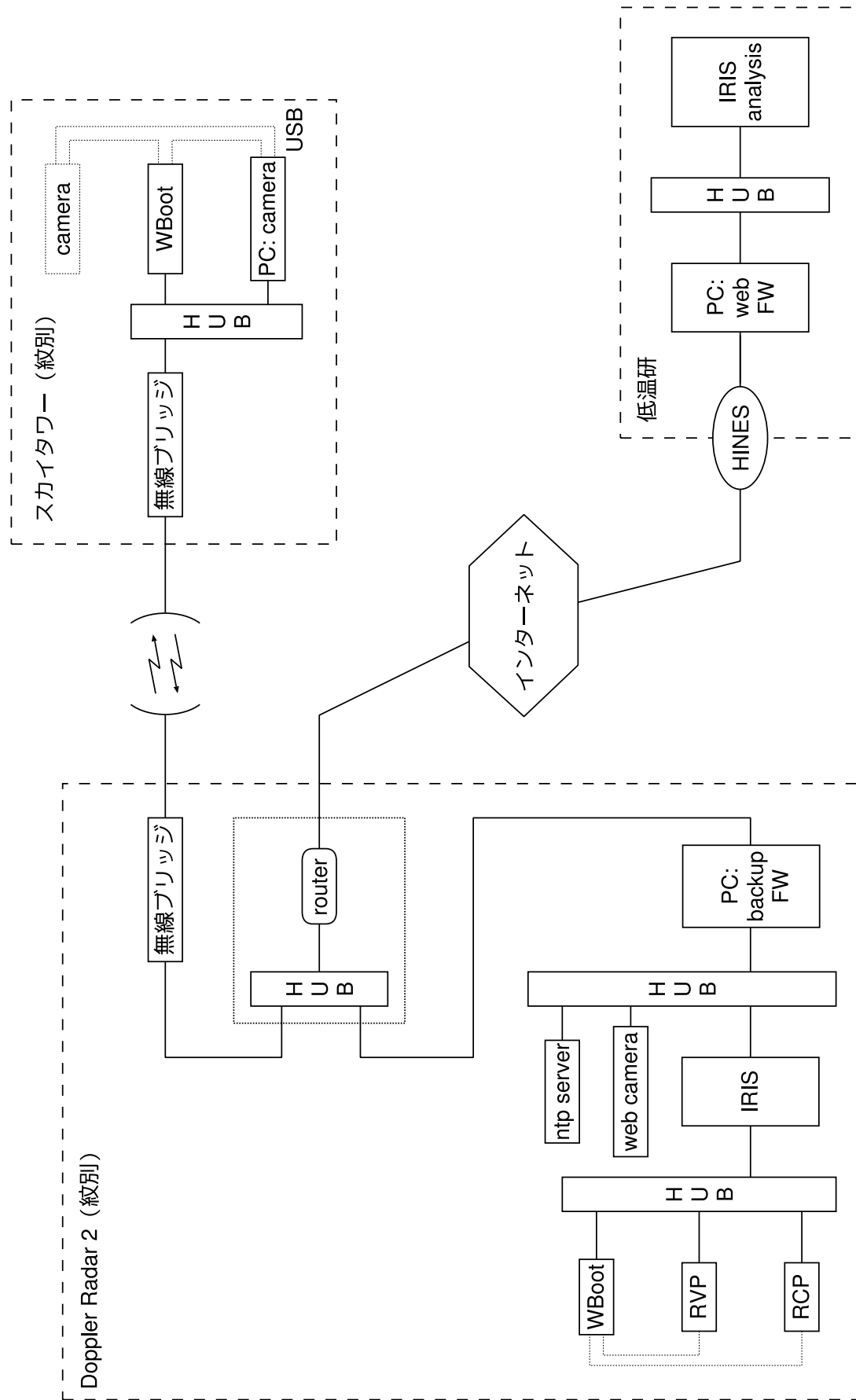


図3 ネットワーク図

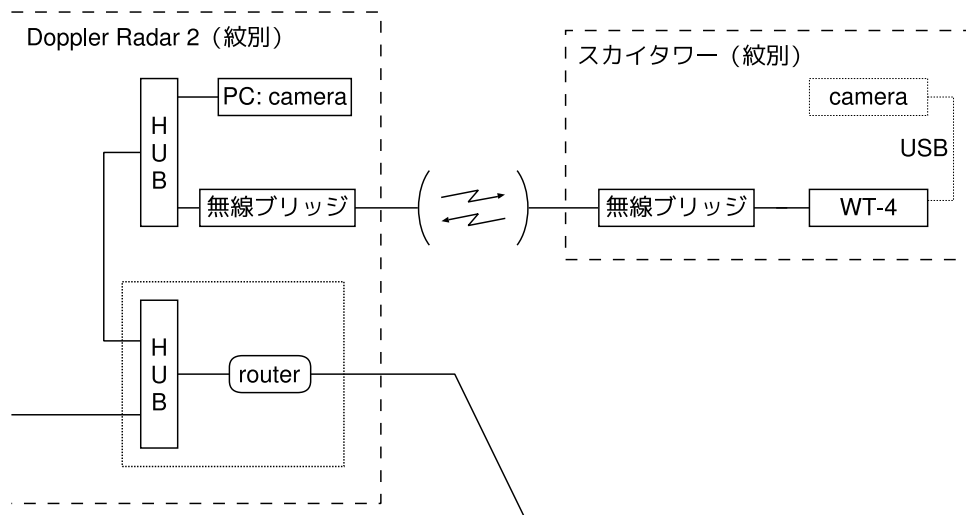


図4 ネットワーク図（当初）

- 夜間、+の露出補正を行って撮影をすると、流氷がはっきりと写ることがわかった。インターバル撮影で夜間だけ露出補正を変えることができないだろうか？ オートブラケット機能などを使えばよいかもしれない。jpeg でなく raw で撮影して後から補正するという手もありそうだ。
- 夕方から夜9時頃まで、ガラスの映り込みが目立つ。反射防止用の器具があればよいかもしれない。
- メンテナンス時にカメラを外すが、再設置時に元の角度に戻すのが難しい。クイックシュー式ではない雲台の上部に取り付け、カメラの着脱をクイックシューで行えるようにする部品があればよいだろう。

## 謝辞

先端技術支援室、小野数也氏にはカメラについてアドバイスをいただきました。森章一氏にはカメラ架台設置を支援していただきました。高塚徹氏、元オホーツク・ガリンコタワー（株）の永田隆一氏にはカメラ制御PCの不具合対応をしていただきました。心より感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 千貝 健, 福士 博樹, 大井 正行, 藤吉 康志, 紋別沖等高度雲画像のリアルタイム公開, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **15**, 37-40, 2009
- [2] 大井 正行, 千貝 健, 福士 博樹, 藤吉 康志, 流氷・気象観測用ドップラーレーダー・システムのリアルタイム・データ転送ネットワークの構築, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **17**, 15-18, 2011



図5 2013/01/17 10:30 流水が見える。



図6 2013/05/25 03:00 雲海におおわれている。



# レーザー分光用の小型低温冷却装置の製作

藤田 和之<sup>1</sup>、森 章一<sup>2</sup>、池田 正幸<sup>3,4</sup>

1. 技術部装置開発室
2. 技術部先端技術支援室
3. 技術部共通機器管理室
4. 共和暖房工業株式会社

## はじめに

パルスレーザーを利用した分光技術に、SRS (Stimulated Raman Scattering) あるいは EERS (Electron-Enhanced Raman Scattering) と呼ばれる非線形ラマン分光法がある。低温で非線形ラマン分光を行う低温冷却装置を以下の要件と依頼者からの構想図 (図 1) をもとに製作した。

- 非線形ラマン分光で得られるシグナルは散乱方向に制限があることが知られている。そのため低温冷却装置は、パルスレーザーをサンプルに照射したときに、前方と後方あるいは  $90^\circ$  の方向から散乱現象を多面的に観測することを可能にする必要がある。
- パルスレーザーの出力を考慮して、低温冷却装置の構成を決める必要がある。たとえば、パルスレーザーの高いピーク強度により窓材などにダメージが入る可能性があるため、サンプルに集光した時のレイリー長を十分に考慮してサンプル室の空間を決めなくてはならない。
- 装置は、精密な温度制御が可能で、光学定盤に設置可能であることが要求される。

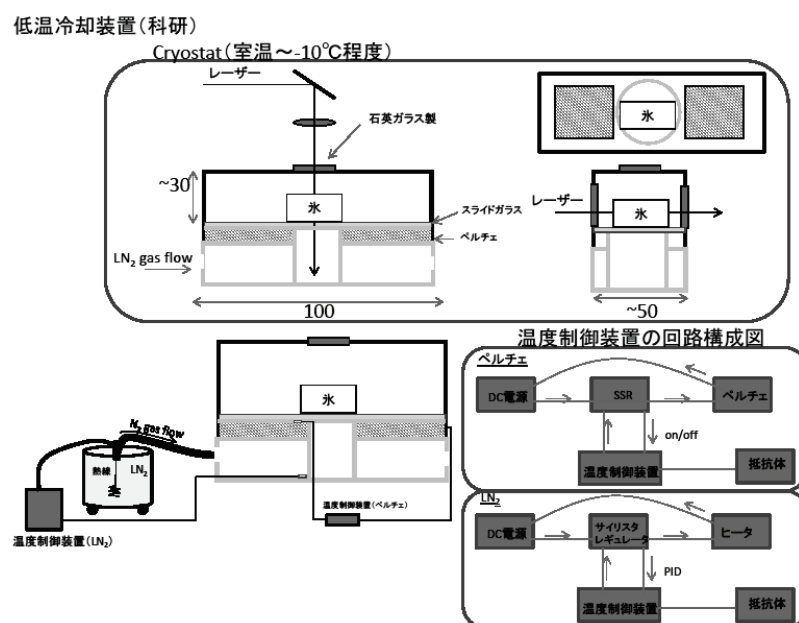


図 1 依頼者から送られてきた構想図。

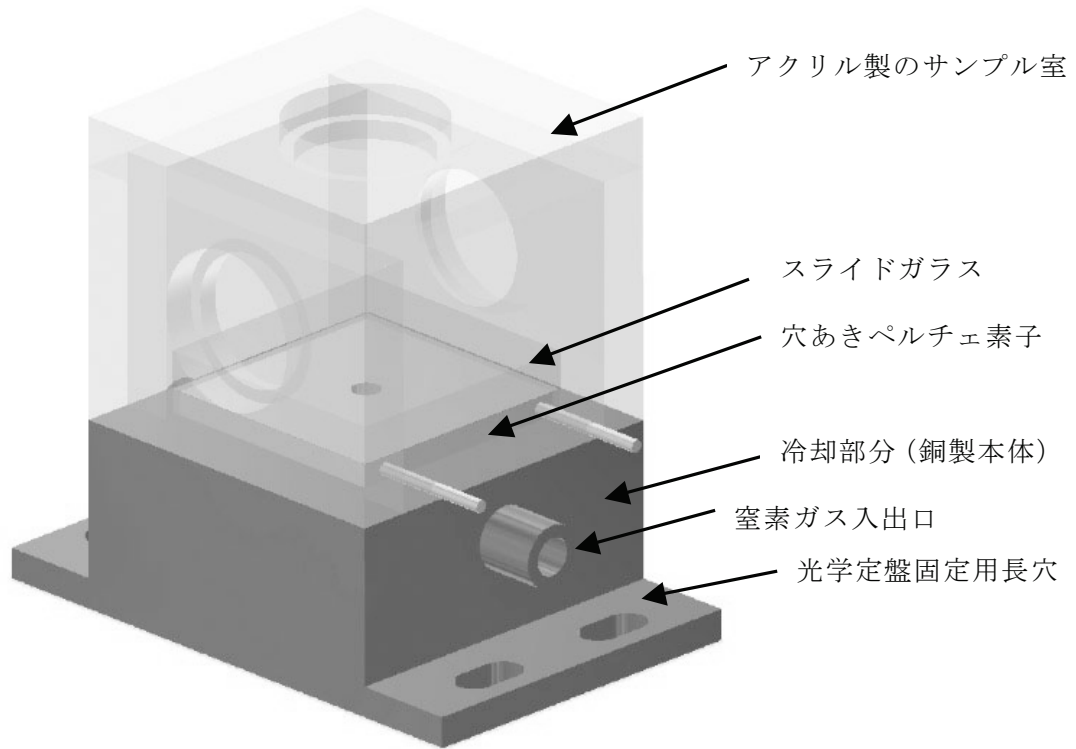


図 2 構想図をもとに設計した三次元図。図が見やすいように窓部は省略した。

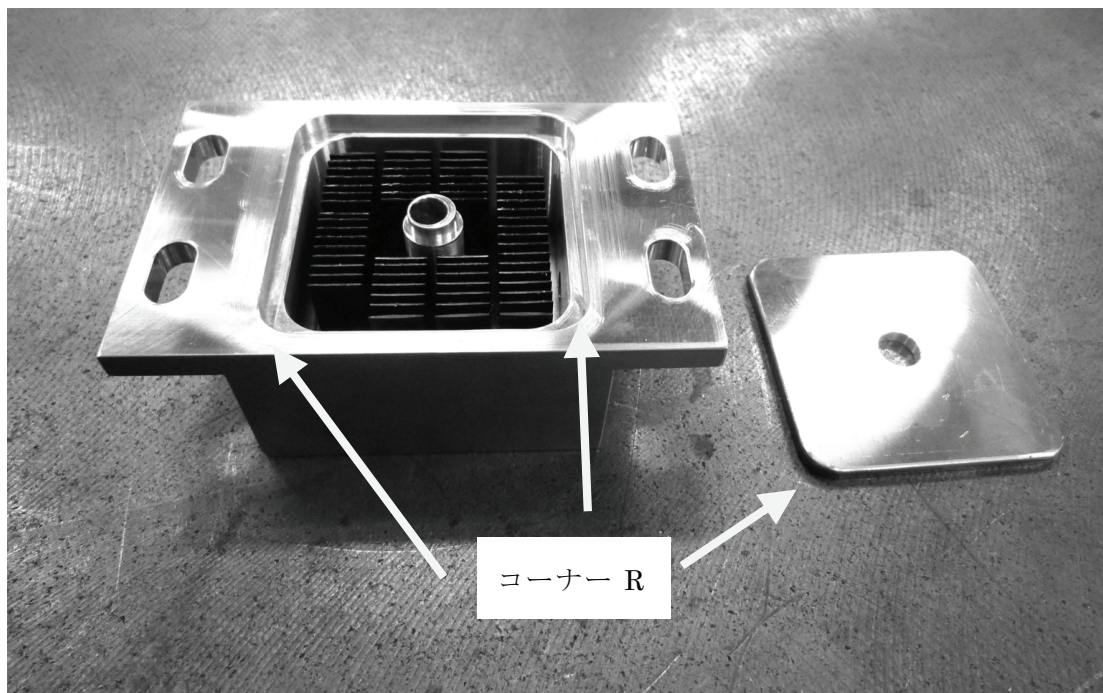


図 3 ヒートシンクを中に入れ、コーナー R を合わせた冷却部分の銅製本体とふた。

## 設計

上記要件と図 1 の構想図をもとに設計し、三次元図面（図 2）を作成した。設計の仕様を以下に示す。

- 光学定盤に固定するための穴は、装置を自由に動かせるように長穴にした。
- 冷却部分の本体の材質は、熱伝導率が良い無酸素銅を使用した。内側に窒素ガス（液体窒素を熱したガス）を通し、冷却効率を上げるためにヒートシンクを挿入した（図 3）。窒素ガスが漏れないようにふたを作り、はんだ付けで固定した。はんだ付けの箇所を減らすため窒素ガスの入出口は削りだしにした。
- ヒートシンクが入る部分は、使用するエンドミルの半径よりもコーナー R を大きくしなければ CAM で NC データ化することができなかったため、コーナー R を 0.1 mm 大きくした（図 3）。
- サンプル室は中が見やすいように透明アクリル板を貼り合わせ密閉式とした。曇る可能性やダメージが懸念される窓ガラスは、クリーニングやコーティング（例えば特定の波長をほぼ 100% 透過するようなもの）ができるように取り外し可能なものにした。そのためフランジ式の固定方法にした。窓に入れるガラスが強く押し付けられないように O リング溝は通常よりも深くした。フランジのねじが入る部分はヘリサートを挿入した。
- ペルチェ素子は落射による前方散乱を観測できるようにするため、穴あきペルチェである。当初、依頼者のペルチェ素子の配置は、2 枚のペルチェ素子を並べて中間に穴をあける構成であったが、2 枚だと段差ができてしまう懸念と、1 枚でも熱容量が十分なため、穴あきペルチェ素子を使用した。サンプルはペルチェ素子の上に置いたスライドガラスの上に置くことになる。

## 製作

本装置で特に重要なのは冷却部分の製作である。まず、銅製の本体の加工は小型マシンニングセンター（ロボドリル）で超鋼エンドミルを使用した。チャッキングのしやすさや加工時の強度を考えて、窒素ガス入出口のパイプ部切削、ヒートシンクが入る内側の切削、定盤固定用長穴切削の順に加工した。切削加工のプログラミングは CAM を使用して CAD で作成した形状を NC データ化した。次に、銅製本体とふたのはんだ付け部分のコーナー R を合わせるため、ふたの加工方法は、放電加工機（ワイヤーカット）が容易であると考え放電加工機で製作した（図 3）。さらに、はんだ付けはヒーターの上に銅製の本体を置き、はんだの融点である 184℃ よりも少し低い 150℃ に余熱した状態で作業した。はんだ付けをした後、はんだ付け面の凸凹をなくするためフライス盤で削って仕上げた。

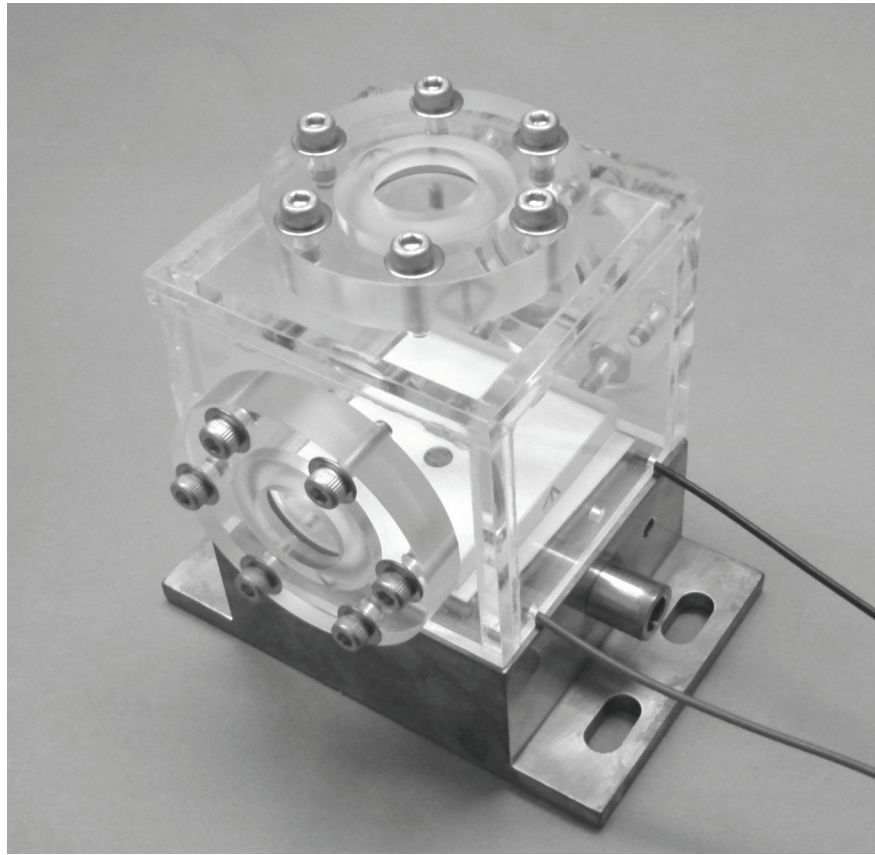


図 4 : 完成品。

銅製の冷却部分、アクリル製サンプル室、フランジ型窓部、穴あきペルチェ、スライドガラスを組み合わせた完成品を図 4 に示す。

## おわりに

完成した冷却装置は現在実験を開始したところである。成果が楽しみであり、装置に改良点などがある場合は対応していきたい。

今までプログラムを使用した切削加工は、小型マシニングセンター（ロボドリル）に搭載しているマニュアルガイド *i* と呼ばれるプログラミングガイド機能を使用していたが、今回本装置を作るにあたり初めて CAM を使用した。今後は加工形状や用途に応じて、マニュアルガイド *i* と CAM を使い分けていこうと思う。

CAM ソフトの導入には平成 25 年度技術部技術奨励費を使用した。



# 氷縁に見られる海氷バンドの形成過程

三寺 史夫<sup>1</sup>、佐伯 立<sup>2</sup>、小野 数也<sup>3</sup>

1. 環オホーツク観測研究センター
2. 環境科学院
3. 技術部先端技術支援室

## はじめに

環オホーツク情報処理システムは、旧流氷研究施設の流氷レーダー装置の後を受けて2004年12月に導入された。現システムは2世代目である。海洋短波レーダーやドップラーレーダーからのデータを解析するとともに、衛星からのデータ等を再解析して海氷変動や物質循環・生態系変動などの環境変動予測を行うことを目的としており、数値シミュレーションも実施している。今回は、オホーツク海など季節海氷域の氷縁に見られる海氷バンドの形成理論について報告する。

オホーツク海にある海氷の氷縁には髭のように伸びた細かいパターンがしばしば見える(図1)。ベーリング海、グリーンランド海、南極海等でも数多くみられる海氷パターンである。これが海氷バンドで、バンド間の間隔は5-10 km ぐらいである。また、筋状の雲から推定するとバンドの向きは風に直交してはおらず、少し右手に回転して並んでいることがわかる。これまではこのようなバンド幅や向きを説明するような理論がなかったが、海洋海氷間の共鳴相互作用の観点から、今回新たに海氷バンドの形成メカニズムについて考察した。ここではその理論を紹介するとともに、環オホーツク情報システムを用いて計算を行ったシミュレーションおよび衛星画像の解析結果について述べる。

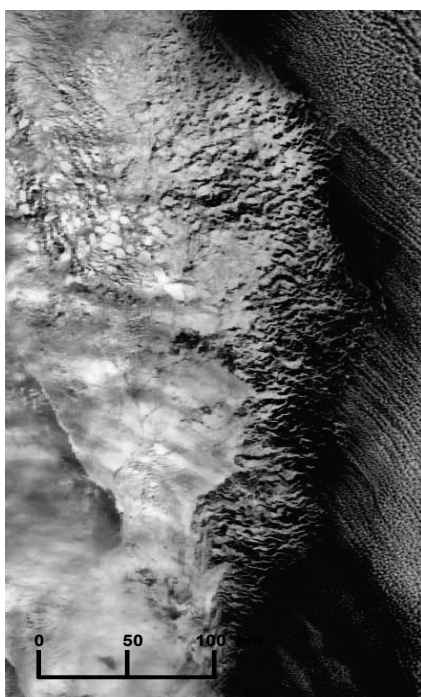


図1 オホーツク海サハリン沖の海氷衛星画像。氷縁に数多くのバンド構造が見える。

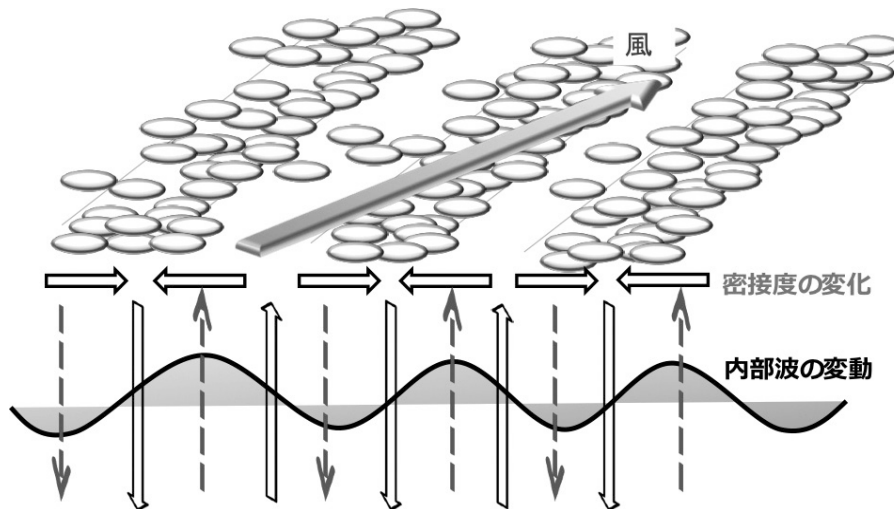


図 2 海洋中の内部重力波と海氷による流れの相互作用による海氷バンドの形成メカニズム。

### 海氷バンド形成のメカニズム

海洋内部に密度成層がある状況を考える。この場合、海洋中に内部重力波と呼ばれる波が存在する。また海表面には海氷が浮かんでおり、風に吹かれて海水を引きずりながら漂流しているとする。海氷の分布に濃淡がある場合を考えると、海上風が海洋に及ぼす応力は海氷がより集まっているところでより大きくなる。このため海氷下ではより多くの海水を引きずるが、海氷のないところでは引きずられる海水の流量は少ない。このため、海氷分布の濃淡によって表層の流れに収束／発散が生じ、鉛直流速を引き起こすことになる。また、海氷は地球回転の効果のため風向きに対して右手に角度を持って移動する。これも海氷の有無によって海氷面流速に収束／発散ができる原因となることが分かった。こうしてできた表面の鉛直流速が密度躍層にまで届けば内部重力波を発生させることができる。一方内部重力波に伴う流速場が表面に浮かぶ海氷を移動し収束／発散を促す。海氷漂流速度と内部重力波の位相速度が同じ場合、両者の位相関係が適切になると、海氷が引き起こす内部重力波と海氷分布の収束／発散の間で正のフィードバックが生じて海氷分布の濃淡がより強化され（図 2）、海氷バンドが時間とともに発達することが明らかとなった。

### 海氷バンド形成のシミュレーションと衛星観測の解析

このような海氷バンド形成の理論に基づいて、海洋海氷結合モデルを用いて数値実験を行った。例えば海氷が表面に一様にある場合を考え、そこに微小なランダムノイズをのせて風を吹かせると、次第に規則的な縞模様が表れてくる（図 3）。縞模様の間隔は 10 km 程度であり、また、風向に対して右に 30° 程回転して並んでいることがわかる。これは図 2 のようなフィードバックが数値シミュレーションにおいても働いていることを示すものである。また、衛星からの海氷画像も解析した。その結果、風が強くなるにしたがっ

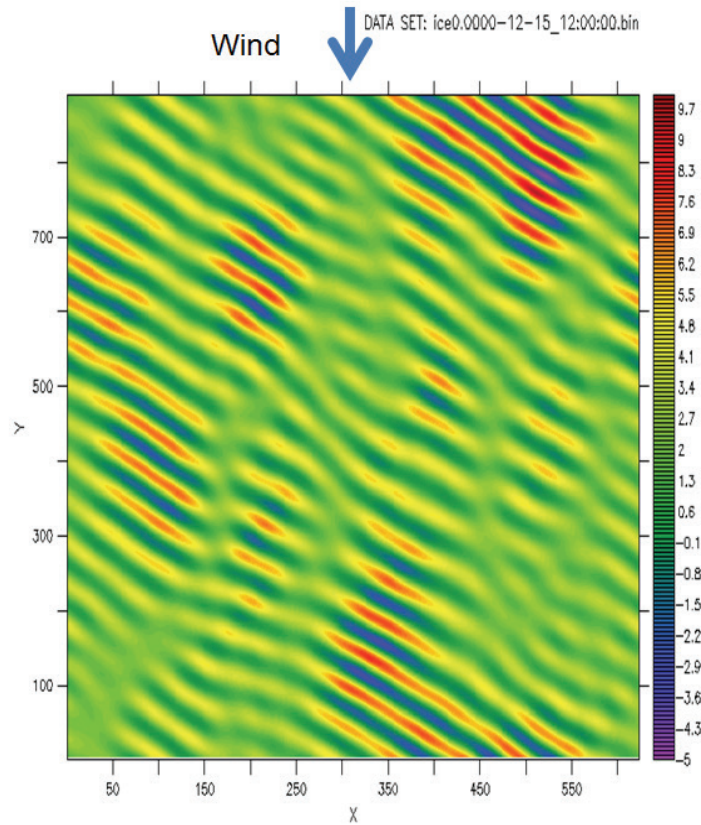


図 3 矢印の向きに 10m/s の風を吹かせた場合の数値実験結果。図は海氷密度を表す。風向に対して右に回転した方向に縞模様ができているのがわかる。

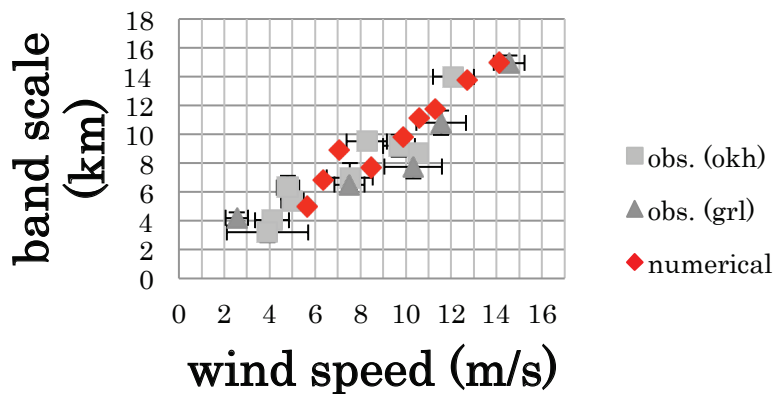


図 4 衛星画像の解析例。風の強さと海氷バンドの間隔の関係を示す。数値実験の結果（赤点）も表示している。風が強くなるにつれて海氷バンドの間隔が大きくなることがわかる。

て海氷バンドの幅は広くなる（図 4）など、理論や数値実験の結果と整合的な結果を得た。このような海氷バンドは氷縁における海氷の形成・融解を通して大気と相互作用を行っており、気候変動にも関わっているものと予想されている。

# 特殊仕様 NC フライス盤の導入とその加工例

中坪 俊一<sup>1</sup>、森 章<sup>2</sup>

1. 技術部装置開発室
2. 技術部先端技術支援室

## はじめに

大学の実験工場は、大量多品種の製品加工を主な業務とするような企業の生産ラインとは異なり、少量多品種の加工を主とし、さらにそのほとんどは一品物である。多様化してきた研究者からの要求に対応する技術の習得と技術開発は、大学で働く技術者にとって不可欠なものとなってきている。この度、我々は特殊仕様 NC フライス盤を導入した。この NC フライス盤は、従来のものにはない U 軸加工機能と言うものを付加している。これは、今まで NC フライス盤では難しいとされてきた加工が可能となり、多様化する要求と我々技術者の知識と経験を生かす架け橋となるに違いない。

## 特殊仕様 NC フライス盤の導入経緯

機械メーカーの生産ラインにおいては、大量多品種の加工を得意とするマシニングセンター<sup>\*1</sup>とよばれる工作機械がその中核を担っている。大手工作機械メーカーは、毎年のようにマシニングセンターの新機種や様々な機能を付加したモデルを市場に投入している。U 軸加工機能付加についても、マシニングセンターでは実績がある。しかし一般的な NC フライス盤には、数年に一度 NC 制御器のモデルチェンジがされるだけで、機械本体は何十年も変わらず、特殊な機能が付加されることはほとんどない。NC フライス盤を用いた少量多品種の加工や試作開発では、その場合に応じた様々な工具や周辺機器を用意し、時には治具などを工夫しながら特殊な加工が行われる。したがって、汎用性に富んだ NC フライス盤の特定の加工に特化した仕様変更はほとんどない。

機種選定には、これまで培ってきた NC フライス盤の経験と技術を生かしながら、U 軸加工機という今までにない特殊機器を取り付けることにより、新たな加工技術の習得と将来への発展性の可能性を考慮した。

## 特殊仕様 NC フライス盤の特徴と仕様

今回導入した NC フライス盤の最大の特徴は、U 軸加工機能である。一般的な NC フライス盤の主軸は刃物の回転のみに対して移動する（図 1）が、主軸に U 軸加工機を取り付けたものは、回転主軸に取り付けられた切削工具が回転中心軸を移動（U 軸）する（図 2）。そのため、その加工径を自在に変えることができる。

---

\*1 数値制御（NC）工作機械の一種。自動工具交換機能を持ち、目的に合わせて、フライス加工以外に様々な異種加工を 1 台でおこなう工作機械をいう。





図 1 NC フライス盤主軸。

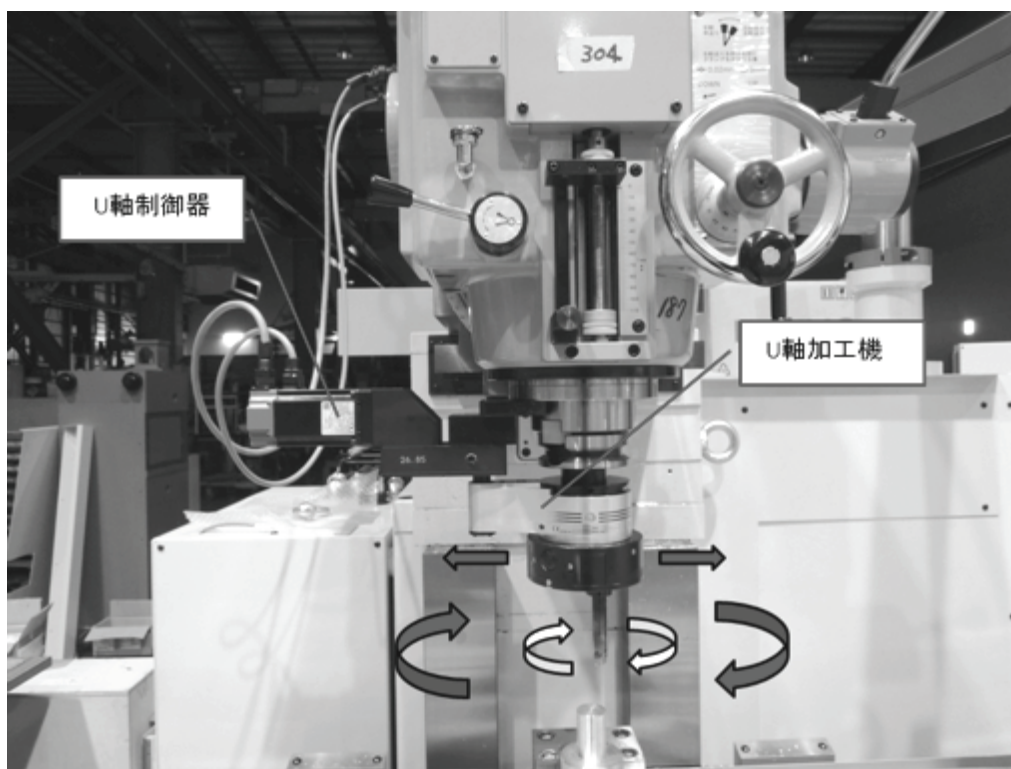


図 2 U 軸加工機を付加した主軸。

表 1 NC フライス盤の仕様。

機械仕様	性能
主軸回転数（高速スピンドル）	10 – 4000 回転（最大 60000 回転）
テーブル移動量（X/Y/Z）	X = 820 mm、Y = 520 mm、Z = 410 mm
U 軸加工機（主軸回転数）	10 – 1800 回転
U 軸加工機（移動量）	±17 mm（直径加工径として 68 mm）
制御軸数	5 軸（同時 4 軸）

NC フライス盤の主な仕様を表 1 に示す。本研究所で需要の多い小型装置の製作から、観測機材のようなある程度大型のものの製作まで対応できようになる。また、本来大型の NC フライス盤が苦手とする微細な加工ができるよう、着脱式の高速スピンドルも導入し、さらにその制御を NC フライス盤本体の制御器で直接制御できるようにした。

また、将来的に 5 軸制御加工など特殊な加工への発展を考え、NC 制御器や機械本体の仕様も変更した。これは、NC フライスメーカー、NC 制御器メーカー、NC 傾斜回転テーブルメーカー全てと調整を行った。ちなみに、10 年先でも現地（本研究所）作業にて仕様変更可能な構成にもなっている。具体的には、NC 制御器を標準仕様である最大 4 軸制御から 5 軸制御へ変更し、さらに電源・アンプ周りを増強した。これにより、機械本体の X/Y/Z 軸と NC 回転テーブルの 4 軸に加え、特殊仕様である U 軸を合わせることで、計 5 軸での制御を可能にした。このことにより、現時点でマシニングセンターでしか行われていない NC 傾斜回転テーブル（傾斜と回転で 2 軸を使用）を使うような 5 軸制御加工が可能となる。

## U 軸加工機の加工例

U 軸加工機は、旋盤に用いられるバイトとよばれる切削工具をこの加工機に取り付けることで、旋盤と同様の加工を行うことができる（図 3）。ただし、±17mm と加工範囲は限定される（表 1）。加工例として図 4 は、超高真空フランジにマルチポートフランジの追加工をしたものである。これまで市販で入手しづらい大型の ICF 変換フランジは、既存の ICF フランジを追加工し製作してきた。この製作は、ICF フランジと追加工する変換フランジ部の回転中心軸が同じであるため、従来の NC 旋盤でも対応できた。図 4 に示したが、中心部の ICF152 フランジ加工もネジ加工を除き、NC 旋盤でおこなっている。しかし、放射状に 5 か所ある ICF70 フランジ加工は ICF356 フランジ本体と回転中心軸がずれており、今まで使用してきた NC 旋盤では、固定方法や重量バランスの問題で加工が不可能である。一方、今回導入した特殊仕様 NC フライス盤は U 軸加工機が付加されているため、このフランジ加工が可能となる（図 5）。

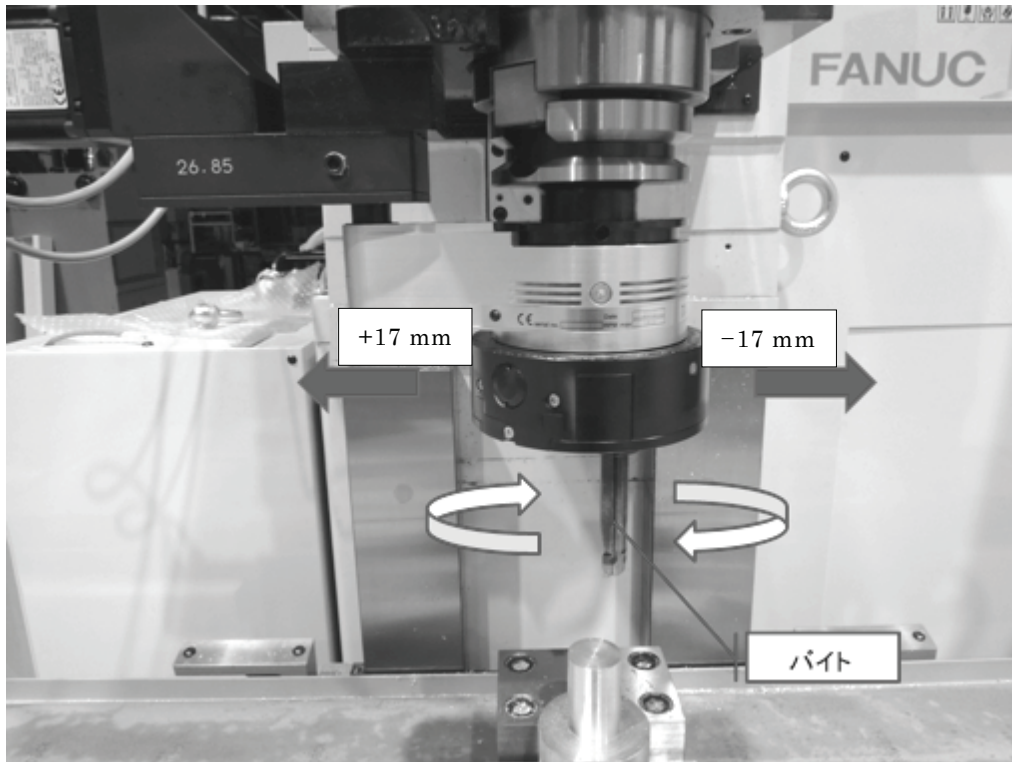


図 3 U 軸加工機。

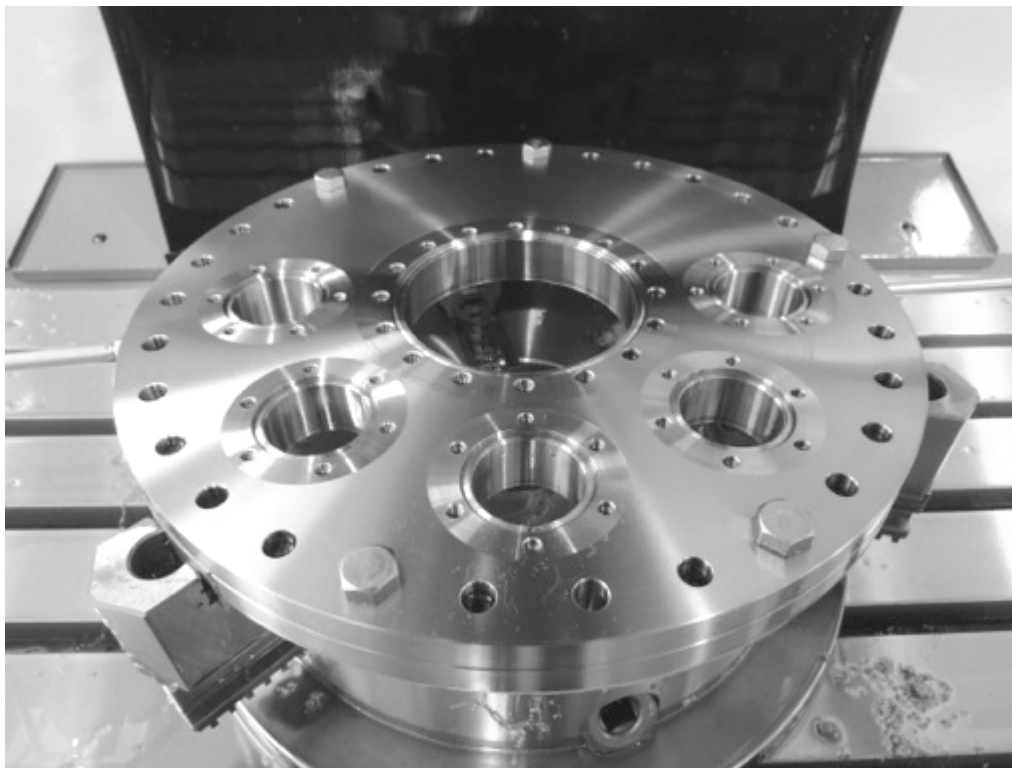


図 4 マルチポートフランジ加工。



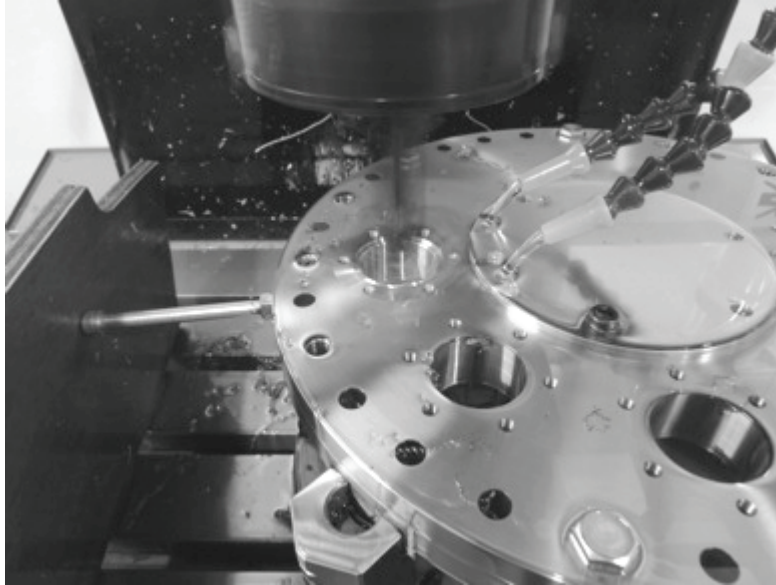


図 5 マルチポートフランジ加工の様子。

## おわりに

今回導入された特殊仕様 NC フライス盤は、当面は通常の NC フライス盤として使用するが、U 軸加工機を駆使した特殊加工用として技術の向上を目指す。これにより、高付加価値で高度な技術を必要とする特殊な超高真空機器の開発や、特殊形状の実験装置開発が可能となる。

今回導入をした U 軸加工機には切削工具（バイト）取り付用のツールが 2 種類しかない。そのため、U 軸加工機の機能を最大限に引き出すための治具の開発にも力を入れたい。我々がこれまで培ってきた NC 旋盤での技術を生かすためには、様々な切削工具の形状に応じた固定治具を開発しなければならない。将来的には、NC 傾斜回転テーブルと 5 軸対応の CAM を導入し、我々にとって未知の領域である 5 軸制御加工を可能にしたい。このことは設計・製作の幅を広げることにつながり、所内の教員を初め共同利用研究など関係の研究者への技術提供力を向上させていきたいと考えている。

## 謝辞

古川所長、渡部技術部長はじめ、教員の方々のご理解とご協力により、他大学はもとより、企業でも導入されていない特殊仕様の NC フライス盤を導入することができ、心より感謝いたします。これは、所内教員の方々のご理解によるところが大きかったとは思いますが、我々技術職員の努力、技術力が認められ期待されていることが表れているものと感じています。さらに一層気を引き締めて技術向上に邁進してまいります。

また今回の導入に際し、導入検討段階より親切に対応してくださった株式会社静岡鐵工所の黒川岳実氏、株式会社日研工作所、そして過去に例のない仕様の工作機械購入という手続きにご尽力いただいた安宅会計係長をはじめとする本研究所の事務職員の方々にも心より感謝いたします。

# 1年半を振り返って

齋藤 史明

技術部装置開発室

## はじめに

平成 24 年度に採用されて今年で 2 年目となった。これまでに実験装置等の部品製作を行い、出張に行く機会もあった。そこで、自己紹介を兼ねて働く前の学生時代についての紹介と、これまでにこなってきた業務について報告する。

## 学生時代について

低温科学研究所に採用される前は旭川工業高等専門学校(旭川高専)に在学していた。制御情報工学科(現在のシステム制御情報工学科)に入学し、その後同校専攻科生産システム工学専攻に進学した。

高専では第 5 学年の 1 年間で卒業研究、専攻科の 2 年間で特別研究をおこなう。私が所属した研究室では『積雪お知らせシステムの開発』をテーマに研究している。積雪を感知するために超音波式距離測定装置を製作し、それを用いて装置と雪面までの距離を測定することで積雪の有無を判断し、除雪が必要であると判断した場合にお知らせするシステムの開発を目標としている。

私はこの研究テーマの中で、

- ・超音波による距離測定の精度を上げるための気温測定装置の改良
- ・屋外で測定装置を稼働させるための独立電源の設置
- ・屋外の測定装置と屋内のデータを集計するパソコンとの通信の無線化
- ・測定データを集計・計算・保存し、お知らせするプログラムの開発

を担当した。

## 業務について

採用されてからは、中坪班長の支援業務をおこなってきた。依頼のあった実験装置等の部品を作ることが多い。具体的な作業としては、図面の作成、板材や丸棒等から部品製作に必要な材料の切り出し、旋盤<sup>\*1</sup>やフライス盤<sup>\*2</sup>による加工などがある。また、フライス盤では NC<sup>\*3</sup>加工もおこなう。NC 加工を扱うようになったのは採用 1 年目に舞鶴工業高等専門学校(京都府)でフリーの CAM<sup>\*4</sup>ソフト『NCVC』の研修に参加したのがきっかけ

---

\*1 工作物を回転させ、刃物台に取り付けたバイトによって切削する工作機械。

\*2 多数の刃を持った刃物を回転させ、工作物を切削する工作機械。

\*3 Numerical Control : 工具経路や作業の工程などを数値情報で指令する制御。

\*4 Computer Aided Manufacturing: 図面データを基に NC プログラムを生成するシステム。

かけだった。この研修を受けたことにより、手作業では困難な形状の加工でも NC 加工により製作できるようになった。また、機械加工に関する基礎的な知識を学ぶために住友電工でおこなっている研修にも参加し、旋盤やフライス盤で用いる工具の基本について学んだ。工具の材質や刃先形状、加工条件の違いによって製作物にどのような影響が出るのかを知ることができた。

製作の例として図 1 に生物適応分野から依頼をうけて製作した実験装置の部品を示す。まず、板材から最終形状より大きめに材料を切り出した。その後フライス盤で縦幅や横幅を仕上げ、穴加工をおこなった。円形の溝や文字の切削は NC 加工でおこなった。

装置開発の他には大雪山での野外観測、母子里にある観測機器のメンテナンス及びデータ回収といったフィールドワークもおこなった。

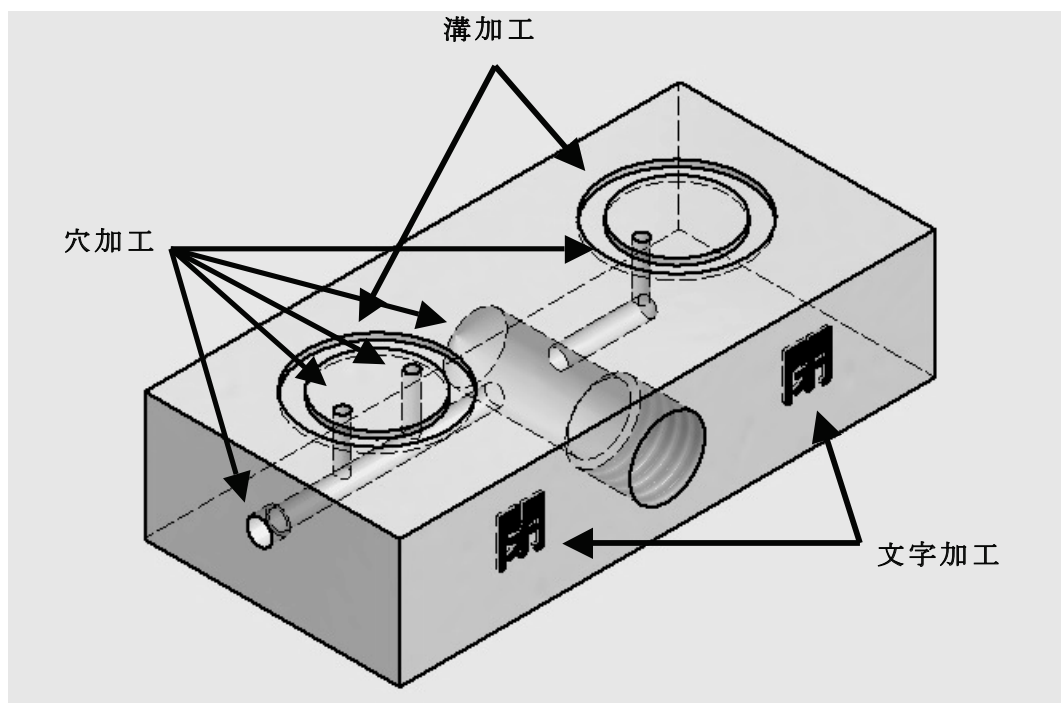


図 1 製作物の例。

## おわりに

働き始めてから 2 年近くが経ち、材料の違いや加工方法など様々なことを教えていただきながら作業をしてきた。その中には旭川高専の学生時代には習わなかったことも多く、1 年目は自分の知識の少なさを実感した年だった。2 年目になった今はアドバイスをもらいながら、少しずつ自分で工夫しながら作業するように努めている。まだ作業自体が遅いため、製作時間を短縮するためにも、今後はより効率的に作業できるようにしていきたい。

# 葉緑体タンパク質 LIL8 欠損株の光合成

加藤 由佳子<sup>1</sup>、岸本 純子<sup>2</sup>、横野 牧生<sup>2,3</sup>、高林 厚史<sup>2</sup>、田中 歩<sup>2,3</sup>、田中 亮一<sup>2</sup>

1. 技術部先端技術支援室
2. 生物環境部門生物適応分野
3. 共同研究推進部

## 目的

植物は光合成によって光エネルギーから生命を維持するのに必要なエネルギーを得ている。光合成には多くのタンパク質が関与する。複合体の組み立て、集光、反応の触媒など、様々なタンパク質が働く複雑な機構によって光合成は成り立っている。植物にとってなくてはならない光であるが、一方で過剰な光が当たれば光合成が阻害される（光阻害）。光阻害では光合成を行なう機構の破壊が起こり、植物にとっては大きなダメージを受けることになる。一般的に寒冷域では特に植物が光阻害を受けやすいことが知られており、寒冷域への植物の適応を考える上で、光阻害への適応メカニズムを理解することは大切である。

昨年度の報告で、新しく見つけた LIL8 と呼ばれるタンパク質を欠いた変異体について紹介した（加藤ら、2012）。LIL8 は葉緑体のチラコイドに局在するタンパク質であり、LIL8 欠損株では強い光が当たると光合成活性が野生型と比べて低くなりやすいことが分かった。LIL8 を欠くと光阻害を受けやすくなることから、LIL8 は光阻害の回避に何らかの役割を果たしていると予想される。今年度も続けて LIL8 を欠いた変異体の光合成について調べたので紹介する。

## 実験に使用した植物について

実験には LIL8 をコードする遺伝子に変異をもつシロイヌナズナの変異体をアメリカのストックセンター（ABRC）から取り寄せた。それらの変異体を *lil8-1* と *lil8-2* と呼ぶ。実験にはこれら 2 種類の変異体と野生型（Columbia ecotype ; Col）を用いた。2 つの変異株と野生型で成長過程における外見上の違いは見られない（加藤ら、2012）。また、HPLC（高速液体クロマトグラフィー：high-performance liquid chromatography）で葉の色素組成を調べた結果においても違いは見られなかった（図 1）。

## 野生株での LIL8 タンパク質複合体の分子量について

野生型 Col の葉緑体を BN-PAGE（Blue native polyacrylamide gel electrophoresis）で泳動した。BN-PAGE では非変性状態でタンパク質を電気泳動するので、複合体を形

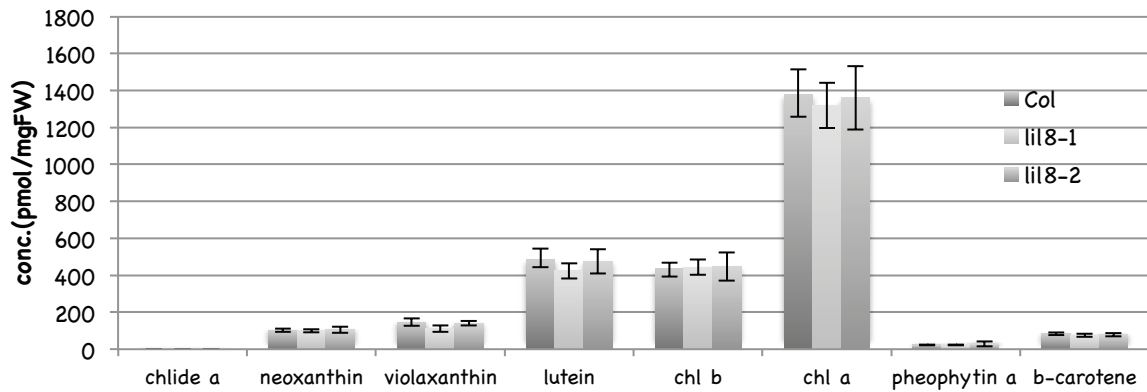


図1 葉の色素組成。

成しているものは複合体の形態を保ったまま泳動されることになる。さらに、BN-PAGEのゲルを SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfoside polyacrylamide gel electrophoresis) で2次元展開した。SDS-PAGEではタンパク質を変性状態で泳動するので、BN-PAGEで変性されずに複合体のまま泳動されたタンパク質が、SDSによって変性されて複合体を構成するタンパク質毎にバラバラになり、それぞれの大きさに従って泳動される。さらにゲルからメンブレンに転写し (blotting)、メンブレンを LIL8 の抗体で染色し (western blotting)、観察した。LIL8の大きさは約 30 kDa であることが分かっている。通常条件 (約 40  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) でサンプリングした葉では、単量体もしくは2量体の位置に LIL8 が検出されたが、強光 (約 1100  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を 24 時間当てた葉では、複合体を形成していると考えられる位置でも LIL8 が検出された (図 2)。複合体の大きさは約 350 kDa であった。

### 強光条件下での光合成活性

野生型と *lil8* 変異体の光合成効率を、その指標のひとつであるクロロフィル蛍光の最大量子収率  $F_v/F_m$  をパルス変調蛍光測定 (PAM) によって調べた。植物は最大量子収率  $F_v/F_m$  が大きいほど、受けた光を効率よく光合成に用いることができる。昨年度の報告で、変異体 *lil8-1* と *lil8-2* は野生型 Col に比べて  $F_v/F_m$  の値が小さく、光合成効率が低いことを述べた。また強光条件 (約 1100  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) に置いたときの光合成効率を 4 時間後まで経時的に測定すると、LIL8 を持たない変異体では、野生型に比べてより強光条件に弱く、光合成効率が低下することも分かっている。

今回、強光条件に加えて、低温のストレスも加えると、*lil8* 変異体では野生型に比べてさらに大きく光合成効率が低下した。しかし、その後、通常の栽培条件に戻すと、野生型と同様に回復する傾向が見られた (図 3)。LIL8 がストレス条件下において、障害を受けたタンパク質の修復機構に関わるタンパク質であったならば、*lil8* 変異体では回復が大きく遅れると考えられる。そのため、LIL8 は修復に関与するタンパク質ではないことが分かった。



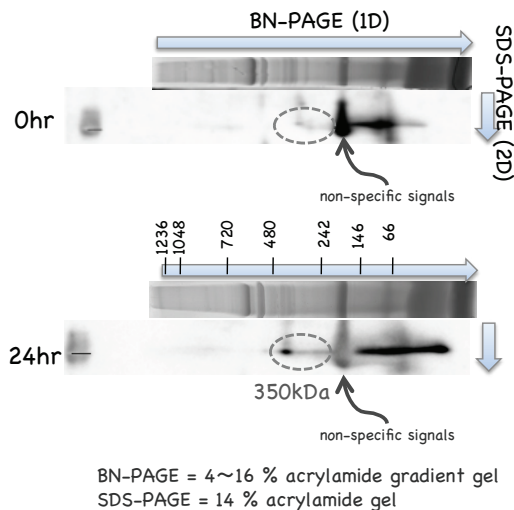


図2 野生型の葉のBN-PAGEとSDS-PAGEの二次元電気泳動の結果。

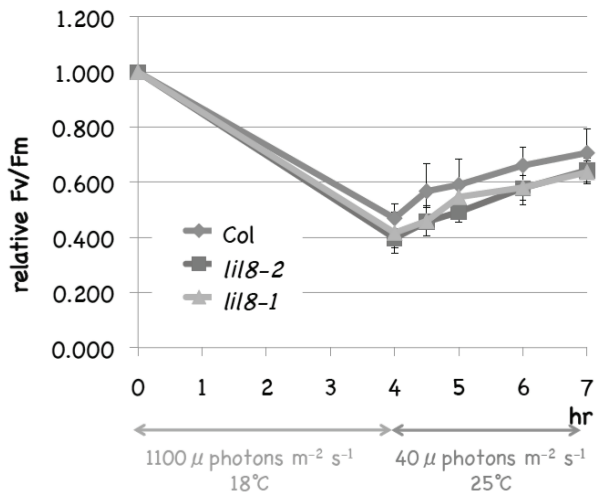


図3 強光照射後に通常条件に戻して光合成効率の回復を観察した結果。

## LIL8 欠損株の特徴

PAMにより、光合成効率を経時的に観察した結果を図4に示す。暗所に置いた葉が出している蛍光 ( $F_0$ ) から、光パルスを当てることによって出した蛍光 ( $F_v$ ) によって、光合成効率 ( $F_v/F_m$ ) を知ることができる (図4のa点)。また、AL (actinic light : 照射光) を当てると、光合成に利用されない光が一時的に大量に蛍光として放出されるが、徐々に安定する (図4の区間b)。AL照射時には、過剰な光を逃すための機構が働いており、この働きはAL消光後すぐには止まらないので、AL消光時の  $F_0'$  は  $F_0$  よりも低くなる。

図4より、*lil8* ではColよりも  $F_0$  が高く、そのため  $F_v/F_m$  が低くなっていることが分かる。また、 $F_0$  と比較すると、*lil8* 変異体の  $F_0'$  は野生型よりも大きく低下することが分かった。 $F_0$  が高くなる理由については、光化学系の集光タンパク質が遊離していることが考えられる。

さらに変異体と野生型の葉をそれぞれ液体窒素で凍結し、低温蛍光を観察した結果を図5に示す。クロロフィル *b* の励起波長である470 nmで励起される蛍光を測定すると、*lil8* 変異体では683 nm付近の蛍光が強いことが分かった。この蛍光は集光タンパク質に由来しており、このことから、*lil8* 変異体では遊離した集光タンパク質が多いことが示唆された。

## まとめ

LIL8は葉緑体のチラコイド膜に局在する大きさ約25 kDaのタンパク質である。LIL8を欠いた *lil8* 変異体は野生型と比べて成長速度や大きさ、色素組成等に違いが見られないが、光合成効率の指標となる  $F_v/F_m$  がやや低い。この理由について、今回集光タンパ

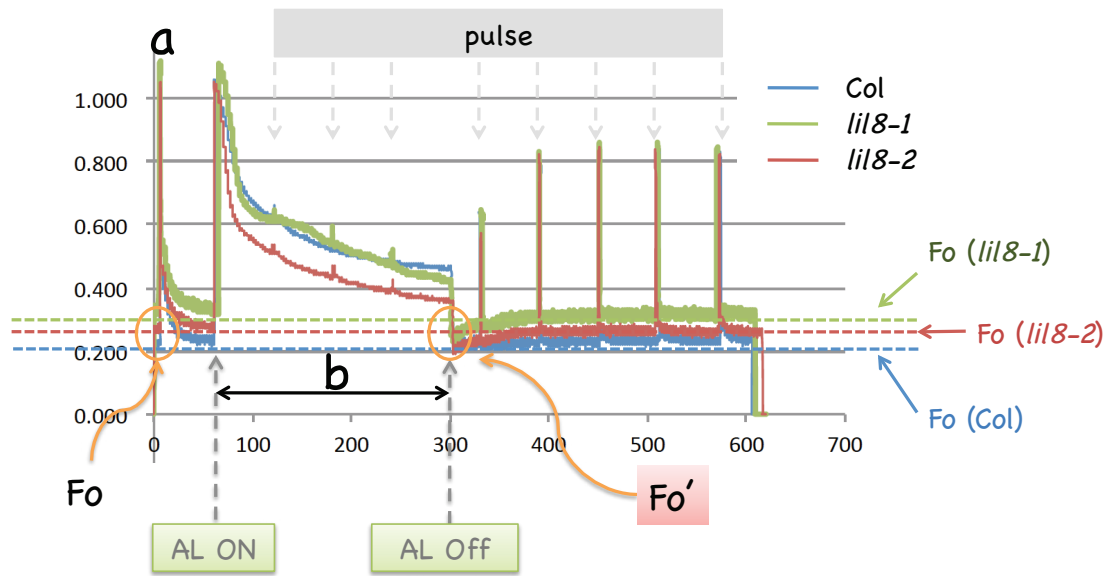


図 4 PAM 測定の結果。

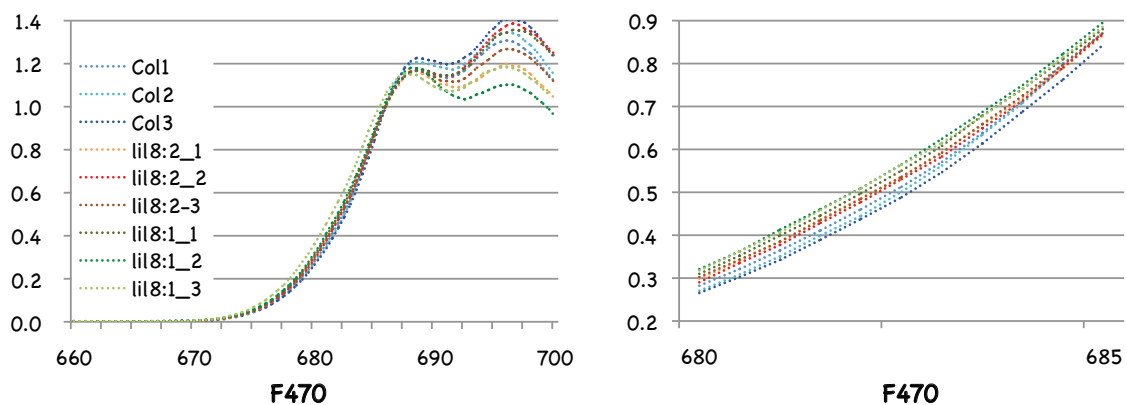


図 5 低温蛍光 (77 K) の測定結果 (左: 470 nm で励起した蛍光。右: 左図の一部を拡大)。

ク質が遊離していることが原因であることが示唆された。集光タンパク質が遊離していると、光を受けて光合成へまわす部分が小さくなる。そのため、光合成効率が悪くなり、また、強光照射時には過剰なエネルギーが出やすくなるため、光障害が大きくなると考えられる。

#### 参考文献

加藤 由佳子、田中 亮一、高林 厚史、田中 歩 「葉緑体新規タンパク質 LIL8 の解析」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、18、1-4、2012年12月。

# 加工磁化測定装置の製作

森 章一<sup>1</sup>、中坪 俊一<sup>2</sup>、池田 正幸<sup>3,4</sup>

1. 技術部先端技術支援室
2. 技術部装置開発室
3. 技術部共通機器管理室
4. 共和暖房工業株式会社

## はじめに

一般的な工作機械の構造体や各種工具の素材には、必ずと言ってよいほど鉄をはじめとする強磁性体が含まれている。これらの工具はほとんどが何らかの機会に帯磁しており加工中には加工物を磁化する。また、誘導電流や物理的な歪み、切削や摩擦等によっても加工物は帯磁する。加工磁化と呼ばれる現象である。

観測装置に帯磁した加工部品を使用すれば、その周囲には局所的な磁界が形成される。この不均一な磁界は荷電粒子の運動や電磁波の進行に作用し、観測結果に悪影響を及ぼす可能性がある。帯磁性の構造部品を使わざるを得ない観測装置においてこのような懸念が検討され、加工物の残留磁気を測定できる測定装置を製作した。

## 装置概要

図 1 に装置の全体図を示す。この装置は大きく分けて滑走斜面および滑走車（図 2）、無磁場空間作成部、磁気測定部で構成されている。以下に詳細を示す。

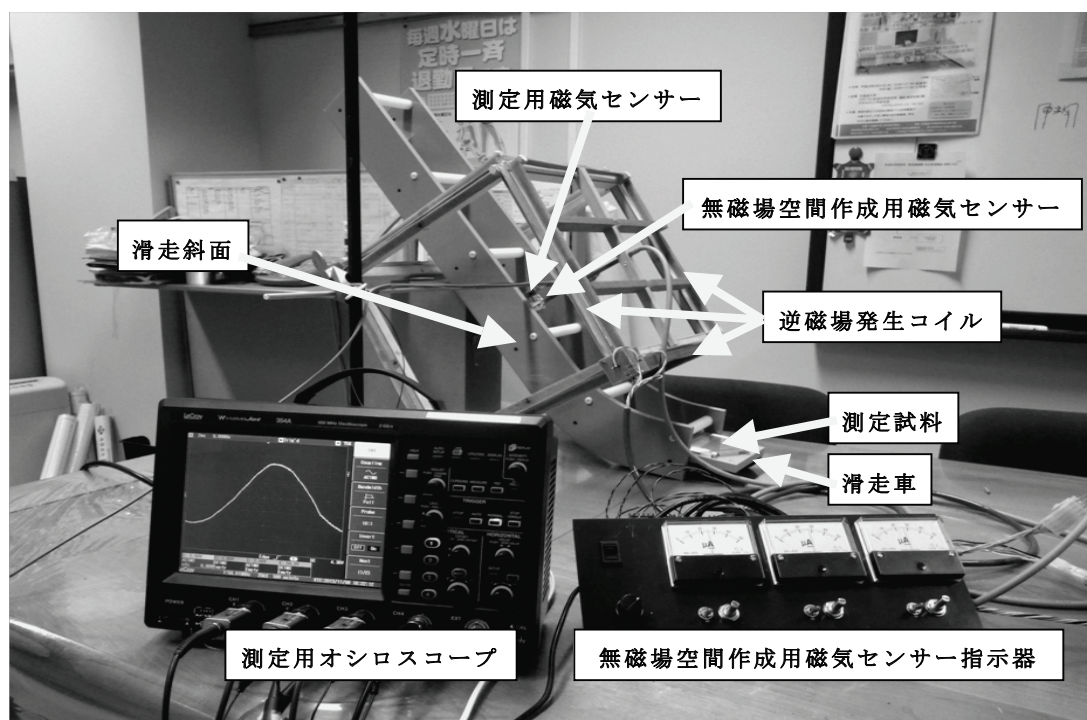


図 1 装置全体図。

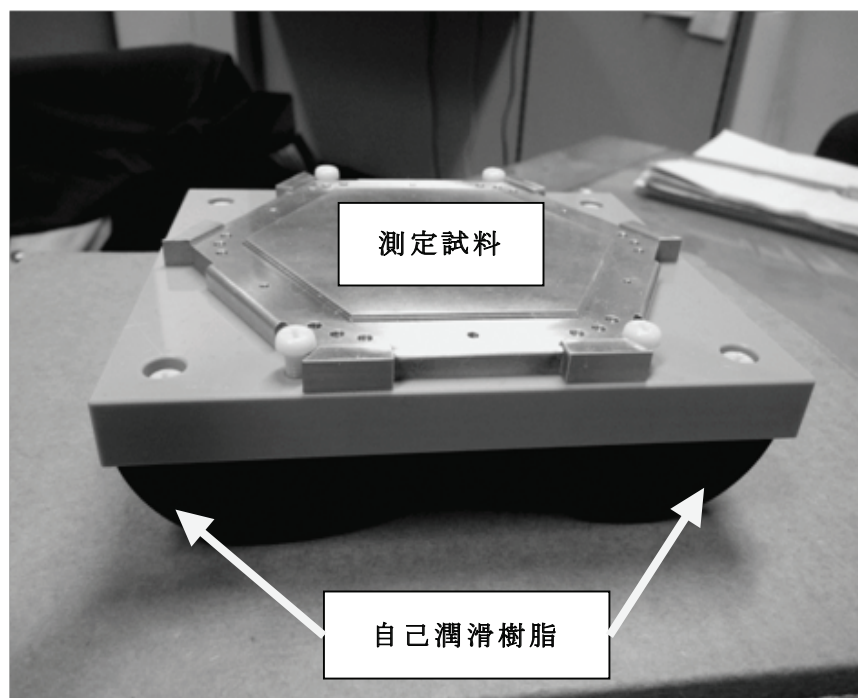


図 2 滑走車（測定試料を樹脂ネジで固定）。

### 1 滑走斜面及び滑走車

測定試料は樹脂製の斜面を毎秒 1 m で滑らせ、磁気センサーの下を通過させて測定する。測定への影響を無くすため、測定試料を載せて走る滑走車と滑走斜面は固定するネジを含めて全て樹脂製とした。また、滑走車と滑走斜面の接触部分には自己潤滑樹脂を使用し、安定して滑走できるようにした。

### 2 無磁場空間作成部

無磁場空間は空間 3 成分方向にそれぞれ配置した磁気センサーで常在磁場を測定し、外枠に巻いたコイルで逆磁場をかけて常在磁場を相殺して作成する。無磁場空間は中心付近ほど精度が高いため、測定点は中心点に配置した。

### 3 磁気測定部

無磁場空間作成に使用したセンサーは 10 nT から反応が出始める磁気抵抗素子で、感磁方向を反転させるコイルが内蔵されており、正確にオフセットを合わせる事が出来る。

測定試料の磁気センサーにはアイチ・マイクロ・インテリジェント株式会社の高リニアタイプ磁気センサーを使用した。このセンサーは高透磁率材の磁気インピーダンス効果を利用した新しいタイプの磁気センサーで、5 V 単電源仕様で使いやすく、今回は感度 5 mV/ $\mu$ T でリニアリティが高いタイプを使用した。測定出力はオフセット回路とゲイン回路を通してオシロスコープで観察及び記録した。



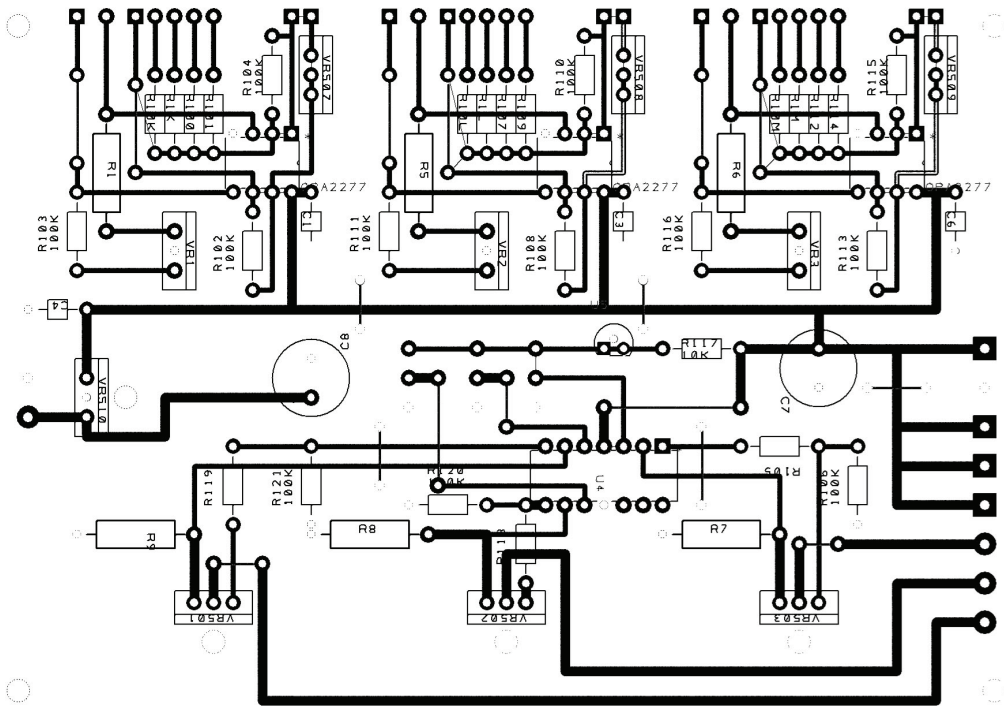


図3 基板レイアウト。

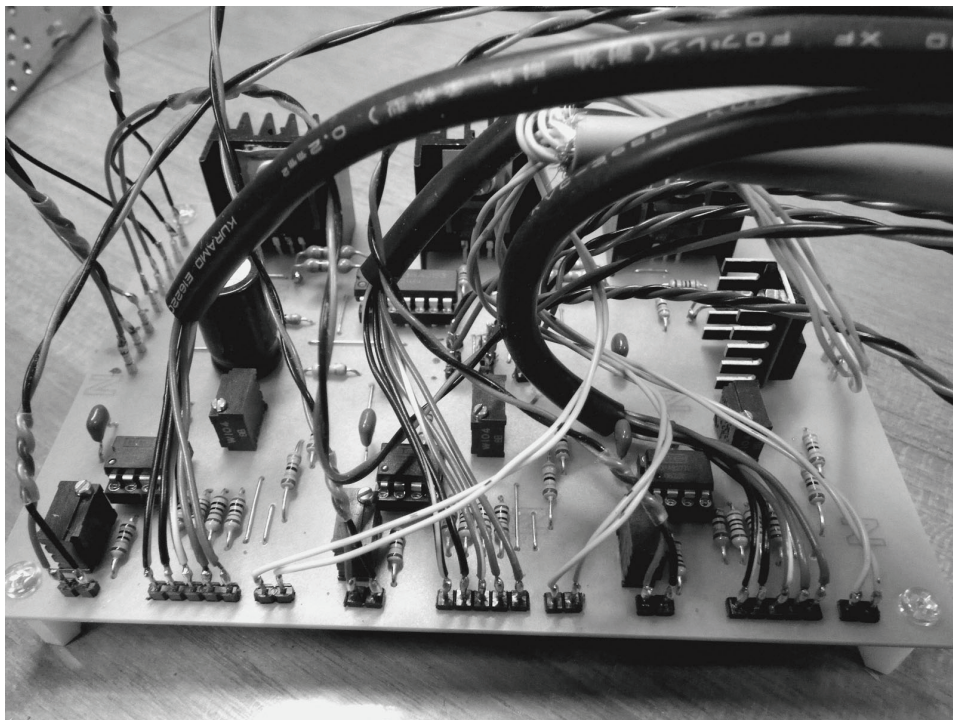


図4 完成基板。

無磁場空間作成回路と磁気センサー回路の複合基板は切削型基板加工機で製作した。基板レイアウト（図3）及び完成基板（図4）、測定結果例（図5）を示す。

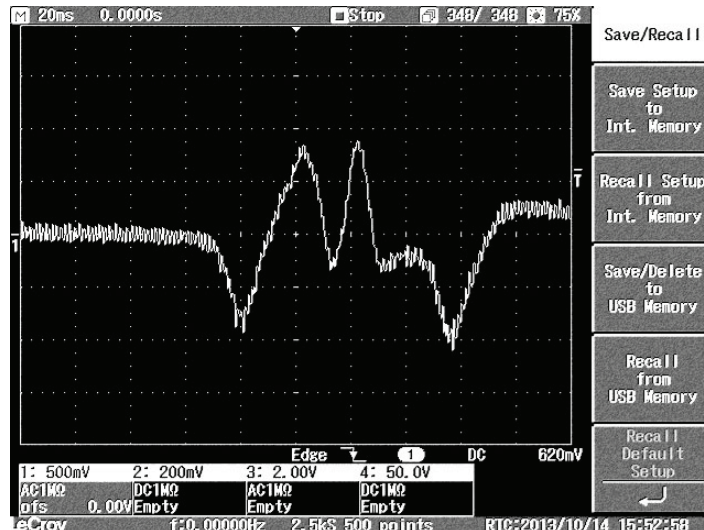


図 5 測定結果例。

縦軸 100  $\mu\text{T}/\text{DIV}$ 、横軸 20 msec/DIV。

### 製作にあたっての留意点

- 磁界測定に与える影響を考慮して、装置の構造材料はできる限り樹脂などの非磁性材料とした。また、電流起源の磁界を避けるため、測定回路を測定点から離せるようにした。
- 保磁力を持つ測定試料は、特別な保護をしていなければ地磁気によってある程度帯磁していると考えられる。たとえ脱磁状態であっても、比透磁率が高い測定試料は周囲空間の磁束を内部に引き込み、端面や先端形状部などに磁極を形成してしまう。そのため常在磁場を相殺する装置を製作し、その無磁場空間内で測定できるようにした。
- 地磁気レベルによって帯磁した素材の測定においても帯磁強度を明確にする為、測定は地磁気の地上での磁束密度（約 45,000 nT）の 1/100 程度（450 nT）を測定できるようにした。

### 今後の課題

逆磁場を発生させて常在磁場をキャンセルする回路について、磁束密度を稼ぐためにコイルの巻き線数を増やしたが、コイルのインダクタンスが大きくなったため、電流位相の遅れが大きく電流帰還をかけた際に出力が安定しづらい。位相補償をかけるか、単純な定電圧回路に変更しても十分実用可能であると考えられる。

今回製作した装置は測定時のセンサーとの距離、測定ラインの間隔はその場限りで再現性が乏しい。また、得られたデータを集約して立体的なグラフにする事はできず、今後は汎用的に使えるシステムを構築したい。

磁界の制御はこれまで扱った事がほとんど無く、電界に比べると扱いづらいと感じた。今後この製作を通して得られた経験を活かして行きたい。

# 低温研ウェブサーバアクセス解析 2012/10–2013/09

千貝 健<sup>1,2</sup>

1. 技術部先端技術支援室
2. 所内広報委員会ホームページ担当

前回まで [1] と同様に、2012 年 10 月 1 日から 2013 年 9 月 30 日まで 12 ヶ月間のアクセス統計（表 1–10）とこれまでのアクセス推移（図 1）を示した。12 ヶ月間の全リクエスト件数（以下、リクエストと略す）は **2,536,641** 件、全ページリクエスト件数（以下、ページ数と略す）は **429,052** 件であった。

2012 年 2 月、低温科学研究所ウェブサイト进行全面改訂し、低温研から社会への情報発信の体制を充実させた。改定後から全体的なアクセスの傾向が増加に転じ [1]、その傾向は現在も続いている（図 1）。アクセス数が増え、一日あたり転送量が 5 GB を超える日も出てきた。同時に、学外からの不正なリクエスト（400 Bad Request, 405 Method Not Allowed, 414 Request-Uri Too Long など）も多い。また、コンテンツ管理システム（CMS）を使用したい等の要望もある。世間ではウェブサイト改ざんの被害が増えているため、ますますセキュリティ対策が重要になっている。前回のサーバ更新から 4 年が経過したが、これらをふまえ、外部委託を含めたサーバの更新を考えなくてはならない時期が来ているだろう。

## 参考文献

- [1] 千貝 健, 低温研ウェブサーバアクセス解析 2011/10–2012/09, 北海道大学低温科学研究所 技術部技術報告, **18**, 59–62, 2012

表 1 月別レポート

年	月	リクエスト	ページ数
2012	10	144223	33362
	11	172523	33236
	12	176401	37840
2013	1	197752	37234
	2	238204	32330
	3	176474	33526
	4	175445	38289
	5	268774	36632
	6	296755	35134
	7	271209	40616
	8	219100	39570
	9	199781	31283

表 2 曜日別集計

曜日	リクエスト	ページ数
日	19373	4265
月	34473	7843
火	38180	5125
水	36811	4795
木	33465	4730
金	31387	4798
土	17694	4197

リクエスト件数、ページ数は  
1 ヶ月あたりの値で示した。

表3 時間別集計

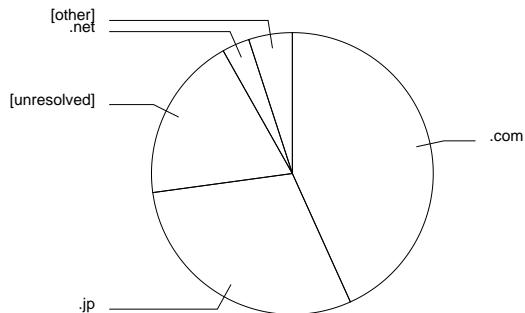
時間	リクエスト	ページ数	時間	リクエスト	ページ数
0時	6347	1244	12時	10031	1570
1時	7282	1195	13時	13154	1432
2時	3570	1160	14時	16187	1607
3時	2615	1038	15時	15833	1573
4時	2705	1148	16時	16685	1537
5時	3060	1063	17時	12445	1393
6時	3337	1133	18時	9371	1409
7時	3405	1163	19時	9340	1122
8時	5880	1564	20時	8207	1503
9時	9718	1553	21時	7784	1321
10時	15107	3504	22時	7327	1303
11時	14440	2964	23時	7545	1246

リクエスト件数、ページ数は1ヶ月あたりの値で示した。

表4 ドメインレポート

リクエスト	ページ数	ドメイン
24199	15461	.com (商業組織)
131052	10580	.jp (日本)
40439	6791	[未解決 IP アドレス]
9445	1129	.net (ネットワーク)
1351	939	.ru (ロシア連邦)
768	251	.de (ドイツ)
469	93	.edu (米国高等教育機関)
120	83	.ua (ウクライナ)
121	48	.org (非営利組織)
133	29	.cn (中華人民共和国)
85	23	.br (ブラジル)
95	21	.nl (オランダ)
221	19	[未知ドメイン名]
227	17	.au (オーストラリア)
74	16	.it (イタリア)
2583	246	[その他: 105 ドメイン]

リクエスト件数、ページ数は1ヶ月あたりの値で示した。

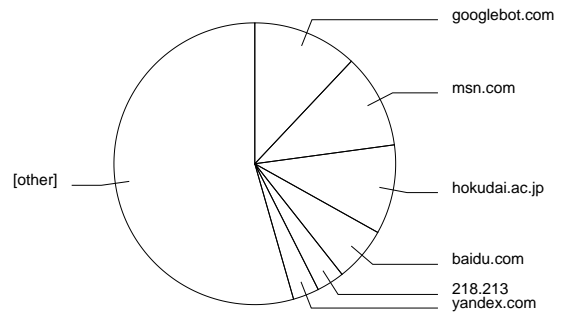


扇型の角度：ページ数

表5 組織別レポート

リクエスト	ページ数	組織
5934	4299	googlebot.com
7388	3870	msn.com
9983	3666	hokudai.ac.jp
2492	2239	baidu.com
2539	1142	218.213
1484	1070	yandex.com
1129	884	naver.jp
788	779	leaseweb.com
993	765	119
918	740	59
934	735	yandex.ru
908	702	amazonaws.com
16045	701	ocn.ne.jp
1080	578	osaka-u.ac.jp
1243	570	114
157522	13006	[その他: 6,733 組織]

リクエスト件数、ページ数は1ヶ月あたりの値で示した。



扇型の角度：ページ数



表6 参照元サイトレポート

リクエスト	ページ数	サイト
79116	4496	http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/
1667	960	http://www.google.co.jp/
984	495	http://search.yahoo.co.jp/
362	329	http://www.hokudai.ac.jp/
751	276	http://shiro.lowtem.hokudai.ac.jp/
348	186	https://www.google.co.jp/
202	156	http://search.yahoo.com/
267	153	http://www.google.com/
104	53	http://www.bing.com/
30	20	https://www.google.com/
16	15	http://www.sci.hokudai.ac.jp/
43	14	http://www.baidu.com/
16	14	http://www.cris.hokudai.ac.jp/
12	12	http://www.oia.hokudai.ac.jp/
12	10	http://giza-ryuhyo.com/
1284	495	[その他: 1,245 サイト]

リクエスト件数、ページ数は  
1ヶ月あたりの値で示した。

表7 検索語句レポート

リクエスト	検索語句
113	canon プリンター ドライバー
83	カムイワッカ湯の滝
62	低温研
60	低温科学研究所
57	オホーツク海
47	北海道大学低温科学研究所
41	北海道大学 低温科学研究所
31	北大 低温研
26	北大低温研
26	(個人名)
20	クワズイモ 花
15	低温科学
14	昆虫 ヘモシアニン
12	北大 低温
11	北海道大学 低温
2053	[その他: 14,937 検索項目]

リクエスト件数は

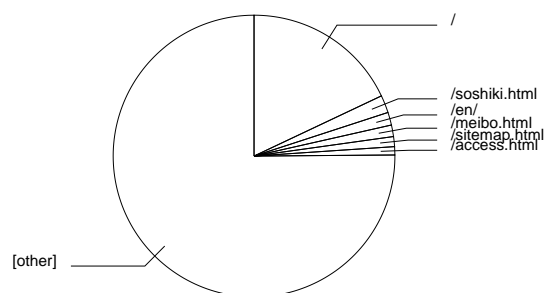
1ヶ月あたりの値で示した。

その他には、光合成速度、クロロフィル、  
氷の惑星、レーダー、蒸発現象などがある。

表8 リクエストレポート

リクエスト	html ファイル
6426	/
720	/soshiki.html
526	/en/
473	/meibo.html
410	/sitemap.html
338	/access.html
307	/topics/
280	/symposium.html
264	/kyoudou.html
254	/lts.html
237	/topics.html
223	/koubo.html
209	/press.html
199	/syochou.html
186	/education.html
24694	[その他: 1,244 ファイル]

リクエスト件数は  
1ヶ月あたりの値で示した。



扇型の角度：リクエスト件数

表9 ブラウザ集計

リクエスト	ページ数	ブラウザ
19857	15329	Netscape (compatible)
124393	4467	MSIE
33660	4068	Safari
3890	3300	HyperEstraier
13913	1404	Firefox
2691	1244	ichiro
1132	881	Yeti
804	801	Hatena Antenna
501	460	msnbot
517	406	DoCoMo
9764	3251	[その他: 405 ブラウザ]

リクエスト件数、ページ数は  
1ヶ月あたりの値で示した。

表10 OSレポート

リクエスト	ページ数	OS
23584	16948	未知 OS
14445	8638	ロボット
148931	6397	Windows
19797	3123	Macintosh
4364	506	Unix
2	0	Symbian OS
0	0	OS/2

リクエスト件数、ページ数は  
1ヶ月あたりの値で示した。

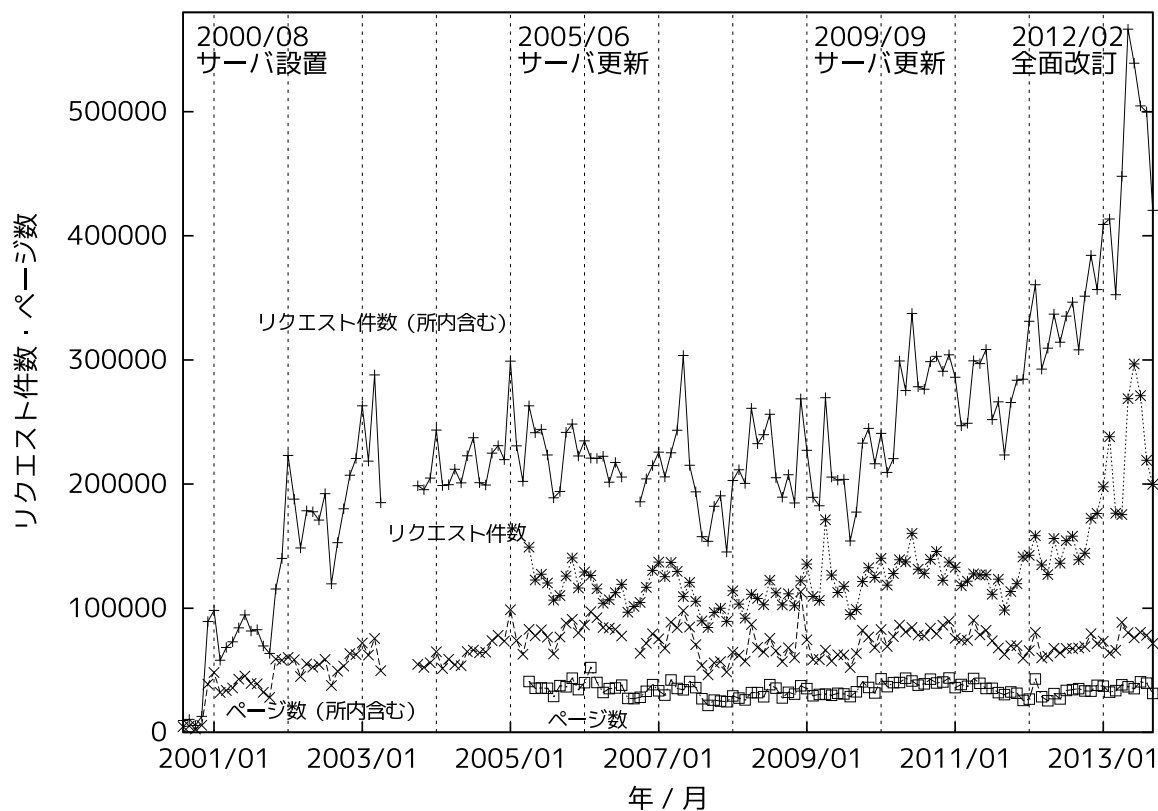


図1 これまでのリクエスト件数、ページ数

# サロマ湖における過去 20 年間の気温水温の経年変化とサロマ湖の結氷期間

高塚 徹<sup>1</sup>、三寺 史夫<sup>2</sup>、長澤 正氏<sup>3</sup>、椋本 介士<sup>4</sup>、若林 良二<sup>5</sup>、亀井 利久<sup>6</sup>

1. 技術部先端技術支援室
2. 環オホーツク観測研究センター
3. 沼津高等専門学校電子制御工学科
4. 静岡大学工学部
5. 東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科
6. 防衛大学校電気情報学群通信工学科アンテナ工学講座

## はじめに

サロマ湖は、二つの湖口でオホーツク海と接する周囲 92 km、最深 18 m の汽水湖である。旧流氷研究施設とサロマ湖養殖漁業協同組合（以後サロマ湖養殖組合）は、冬季における気象・海象・海水などの研究には「通年の基礎となる気象データが不可欠である」という認識から、1991 年 12 月にサロマ湖キムアネップ岬（図 1、図 2）に気象観測測器を設置した。以来通年の気象観測を続けられてきたが、2004 年 7 月に旧流氷研究施設が閉鎖され、以後も環オホーツク観測研究センターが引き続き気象観測を行っている。

1992 年から 2001 年までのサロマ湖の気温、水温とサロマ湖の結氷期間について報告されている[1]。本稿では 2002 年から 2011 年までの気象データを加え、過去 20 年間の気温、水温と結氷期間の経年変化について報告する。

## 観測の経緯

気象データは、1991 年 12 月からキムアネップ岬の気象観測システム 1（図 3 左）で収集している[2]。1999 年 8 月にサロマ湖養殖組合が実施している水質モニタリングの定点観測点（図 1、図 2）に温度塩分計を水深 3 m に設置して水温観測を始めた。さらに 2008 年 12 月に気象観測システム 2（図 3 右）を導入して観測した気象データを「流星バースト通信システム」（図 3 中央）によって札幌の低温科学研究所へ直接伝送するシステムの試験実験[3]を開始した。2010 年 10 月に気象観測システム 1 のセンサー不良に伴いこのシステムによる気象観測を中止した。2012 年夏には温度塩分計破損のため水温観測を中止した。

## 気象システム

現在、気象観測システム 2（図 4：サロマ湖キムアネップ岬リモート局側）によって計測された気象データは、流星バースト通信システムによって北大低温研のマスター局へ



図1 サロマ湖。

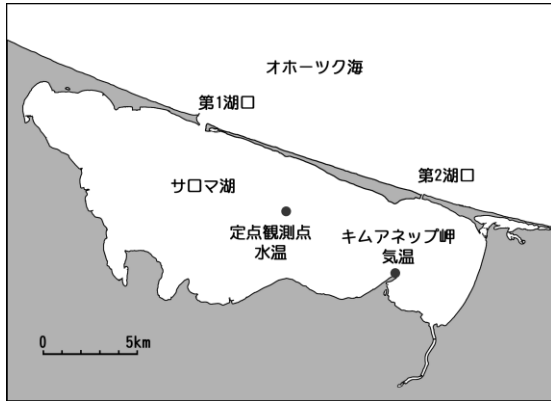


図2 サロマ湖の気温・水温観測点。

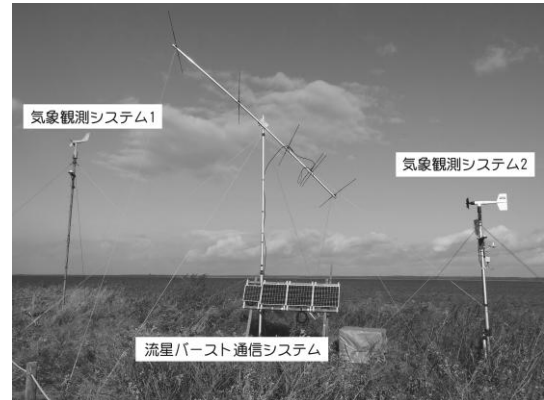


図3 気象システム。

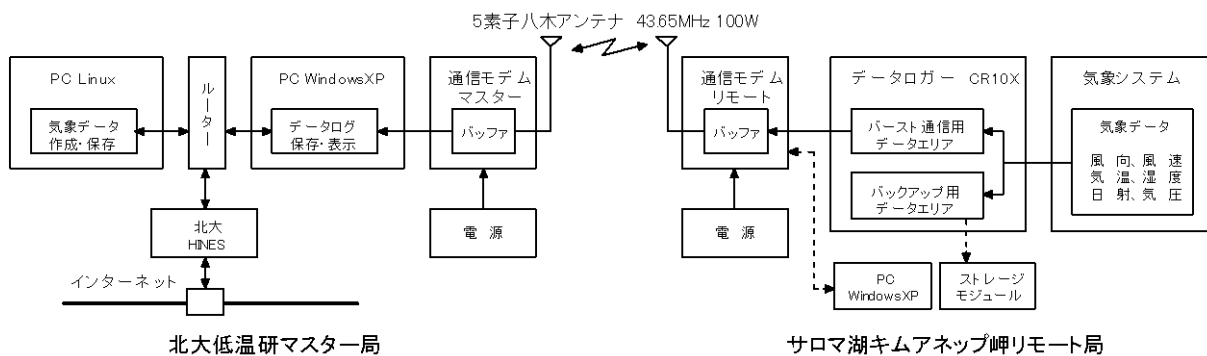


図4 気象システム2と流星バースト通信システム構成。

直接伝送される。風向、風速、気温、湿度、日射、大気圧の6項目をデータロガーに10分毎と1時間毎に収録している。また1時間毎にデータロガーから通信モデムに6項目のデータを転送している。

### サロマ湖の過去20年間の気温・水温と全面結氷期間の変動

図5に1992年から2011年まで1時間毎に測定した気温と水温の30日移動平均したものを示す。なお、サロマ湖の全面結氷した期間も示した。気温はキムアネツ岬、水温はサロマ湖中央の定点観測点で測定した(図2)。サロマ湖の全面結氷期間とはサロマ湖の全海面が結氷で覆われた日から結氷が全て無くなって海水面が確認される日までのことをいう。

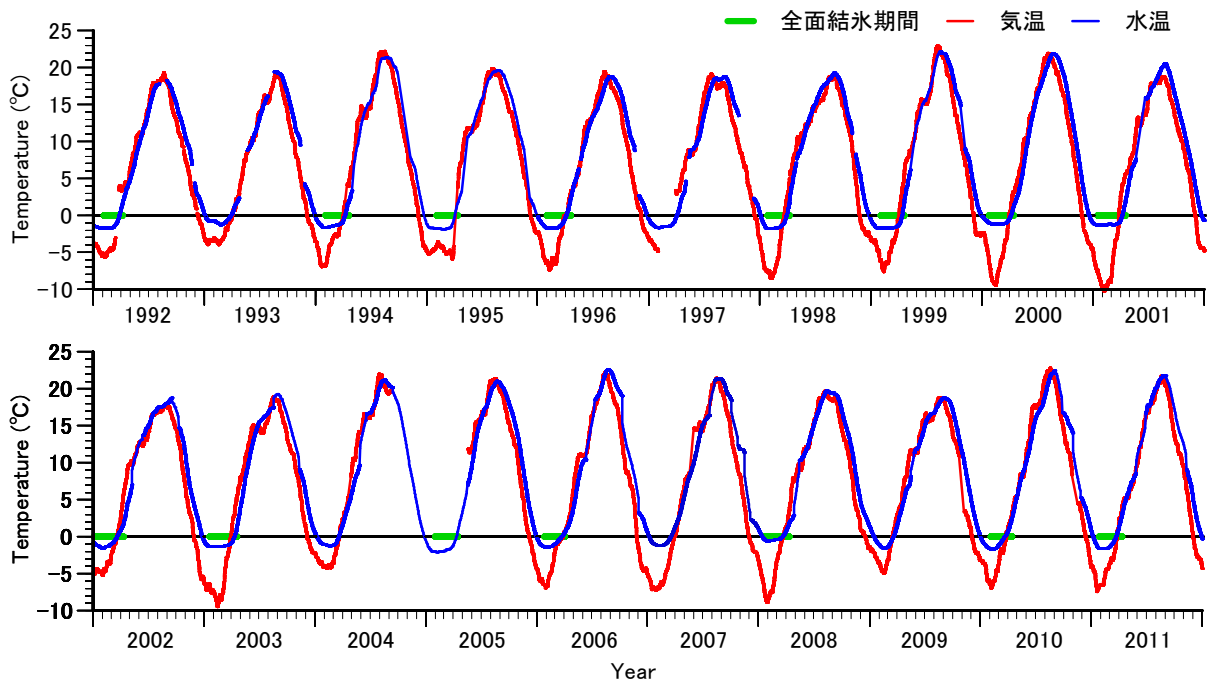


図5 サロマ湖の1992年から2011年までの気温、水温。なお、全面結氷した期間を緑で示した。

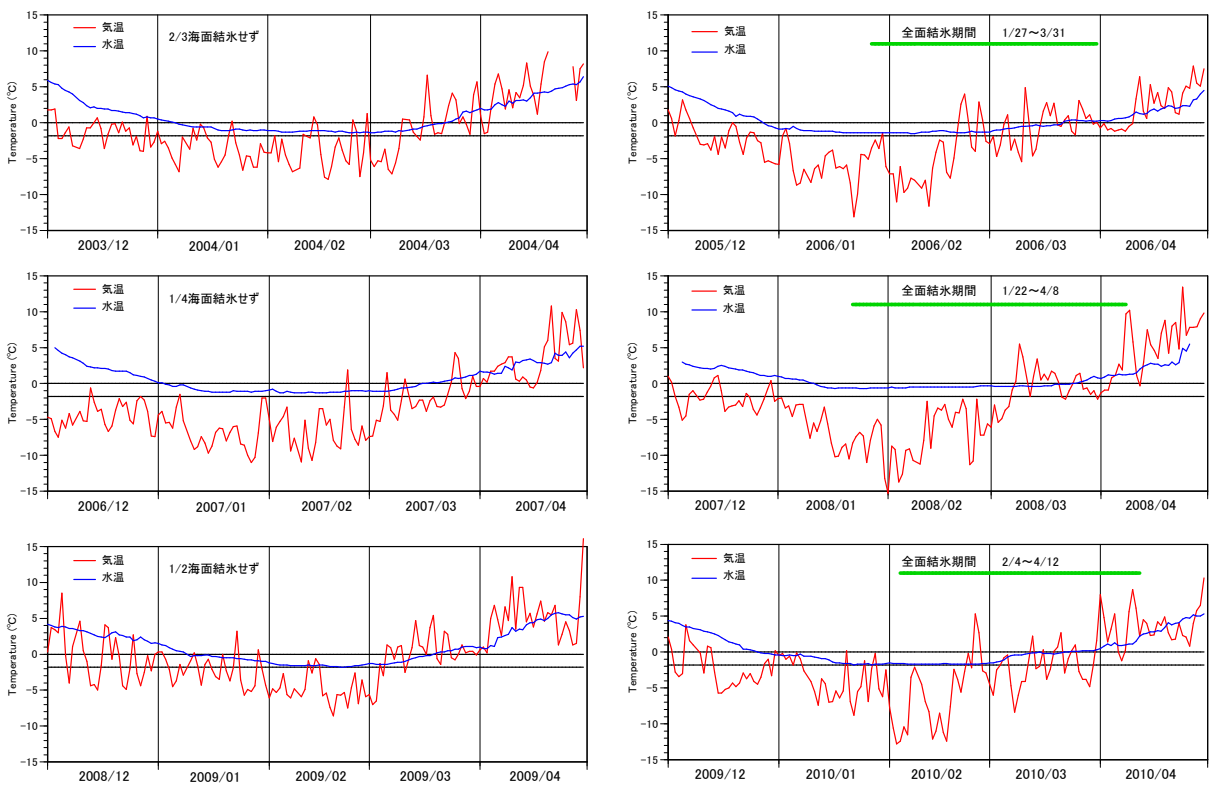


図6 全面結氷しなかった年(左)と全面結氷した年(右)の気温と水温。

気温は 25℃ から -10℃ の範囲で季節変動をしている。年による大きな違いは見られないが最高気温は毎年 8 月頃に 20℃ 前後、最低気温は年によって 1 月から 3 月頃に -4℃ から -10℃ の間で変動していることがわかる。水温は気温より遅れて 20℃ 前後の最高水温になり、水温の方が気温より高くなるという逆転現象が起きる。その後 12 月末または 1 月初めに 0℃ 以下になる。海水の結氷温度である約 -1.8℃ に達すると海水が凍り始め海氷（海水が凍ったもの）が生成される。2006、2008、2010 年においてサロマ湖が凍り始めたのは 1 月中旬頃と考えられる。その後、海氷は厚くなりながらサロマ湖の結氷域を広げ、全面結氷初日を迎えている。1992 年から 2011 年の 20 年間に於いて全面結氷初日は年によって 1 月または 2 月であるが、全ての氷が無くなるのはどの年も 3 月末または 4 月である。全面結氷しなかった年は 1993、1997、2004、2007、2009 年の 5 回であった。1992 年から 2001 年までの気温と水温とサロマ湖の結氷期間の変動[1] と 2002 年から 2011 年までに大きな違いは見られなかった。

### 全面結氷した年と全面結氷しなかった年の気温と水温の比較

図 6 に全面結氷した 2006、2008、2010 年と全面結氷しなかった 2004 年（2/3 海面結氷せず）、2007 年（1/4 海面結氷せず）、2009 年（1/2 海面結氷せず）について 12 月から 4 月まで日平均の気温と水温の変動を示す。全面結氷しなかった年は全面結氷した年に比べて 1 月と 2 月の気温が高く、水温は海水の結氷温度 まで下がらない。結氷状態にかかわらず気温の下降に伴い水温も下降している。12 月末または 1 月初めに水温は 0℃ 以下になって -1.8℃ 付近まで下がっている。その後 3 月上旬頃に気温の上昇に伴い水温も上昇する傾向がある。2008 年は全面結氷しなかった年に比べて、水温が 0℃ 以下になってからの水温が -0.1℃ から -0.7℃ と高かったが全面結氷している。

### おわりに

1992 年から 2011 年までの 20 年間のサロマ湖の気温・水温とサロマ湖の結氷期間との関係を調べた。気温と水温からサロマ湖が結氷する明確な要因は見いだせなかった。また、気温と水温の変動に風速や日射も関係していると思われるので、今後風速と日射も合わせた解析をする予定である。

本稿で使用した気象データは 1991 年 12 月から 2011 年 12 月までであるが、気象データは、年月別にデータシートとグラフを作成して保存（2013 年 11 月まで）されている。1991 年 12 月から 2004 年 9 月まで低温科学資料集[4-14]に月グラフが掲載されている。

水温データとサロマ湖の結氷期間の資料はサロマ湖養殖組合の許可のもと、ウェブサイト (<http://saromako.org/>) より参照した。水温の定点観測施設、資料を提供して下さったサロマ湖養殖組合にお礼申し上げます。



## 参考文献

1. 白澤邦男, 藤吉義裕, 前川公彦. 湖の水理および海氷環境. 月刊海洋, 号外, **30**, 50-61, 2002.
2. 高塚徹, 石川正雄, 池田光雄. サロマ湖キムアネップ岬の気象観測システムとその解析. 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **3**, 1-5, 1995.
3. 高塚徹, 石川正雄, 白澤邦男, 椋本介士, 長澤正氏, 若林良二. 流星バースト通信によるオホーツク海域環境情報収集システムの開発. 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **15**, 52-57, 2009.
4. Shirasawa, K., M. Ikeda, T. Takatsuka, M. Ishikawa, M. Aota, G. Ingram, C. Belanger, P. Peltola, S. Takahashi, M. Matsuyama, E. Hudier, Y. Fujiyoshi, Y. Kodama, N. Ishikawa. Atmospheric and oceanographic data report for Saroma-ko Lagoon of the SARES (Saroma-Resolute Studies) project, 1992. 低温科学, 物理篇, 資料集, **52**, 69-167, 1993.
5. Shirasawa, K., M. Ikeda, M. Ishikawa, S. Mochizuki, T. Takatsuka, M. Aota, Y. Fujiyoshi. Meteorological observation data report for Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, January 1993 - November 1995. 低温科学, 物理篇, 資料集, **54**, 19-80, 1995.
6. Shirasawa, K., M. Ikeda, M. Ishikawa, S. Mochizuki, T. Takatsuka, M. Aota, Y. Fujiyoshi. Sea ice conditions and meteorological observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, December 1995 - November 1996. 低温科学, 物理篇, 資料集, **55**, 47-77, 1996.
7. Shirasawa, K., M. Ikeda, M. Ishikawa, T. Takatsuka, M. Aota, Y. Fujiyoshi. Sea ice conditions and meteorological observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, November 1996 - November 1997. 低温科学, 物理篇, 資料集, **56**, 9-34, 1997.
8. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, M. Ikeda, T. Daibou, M. Aota, Y. Fujiyoshi. Sea ice conditions and meteorological observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, December 1997 - November 1998. 低温科学, 物理篇, 資料集, **57**, 63-79, 1998.
9. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, M. Aota, Y. Fujiyoshi. Sea ice conditions, and meteorological and oceanographic observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, December 1998 - November 1999. 低温科学, 物理篇, 資料集, **58**, 45-62, 1999.
10. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, M. Aota, Y. Fujiyoshi. Sea ice conditions, and meteorological and oceanographic observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, November 1999 - November 2000. 低温科学, 物理篇, 資料集, **59**, 37-49, 2000.
11. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, Y. Fujiyoshi, K. Maekawa. Sea ice conditions, and meteorological and oceanographic observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, November 2000 - November 2001. 低温科学, 物理篇, 資料集, **60**, 41-53, 2001.

12. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, K. Maekawa. Sea ice conditions, and meteorological and oceanographic observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, November 2001–December 2002. 低温科学, 物理篇, 資料集, **61**, 35-49, 2002.
13. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, K. Maekawa. Sea ice conditions, and meteorological and oceanographic observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, October 2002–December 2003. 低温科学, 物理篇, 資料集, **62**, 49-64, 2003.
14. Shirasawa, K., M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, K. Maekawa. Sea ice conditions, and meteorological and oceanographic observation at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, November 2003–September 2004. 低温科学, 物理篇, 資料集, **63**, 34-49, 2004.



2013年12月13日発行  
編集者：千貝 健・新堀 邦夫  
北海道大学 低温科学研究所 技術部  
〒060-0819 札幌市北区北19条西8丁目