

北海道大学低温科学研究所
技術部技術報告

第 20 号

2014 年 12 月

2014 年度技術報告会開催に寄せて

本日、記念すべき第 20 回低温科学研究所技術報告会（技術支援本部共催）の開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、しかも高いレベル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。幸いなことに、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て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。

日頃のみなさまの技術部に対するご理解ご協力に感謝するとともに、今後とも、低温研技術部に対する一層のご支援、ご鞭撻の程よろしくお願い申し上げます。

2014 年 12 月 12 日

技術部長 渡部 直樹

目次

1. マイコンを使用した電子工作入門：温湿度計の製作 千貝 健・森 章一	1
2. 環オホーツク情報処理システム上でのネットワークチーム機能の評価 小野 数也	7
3. 葉緑体タンパク質 LIL8 欠損株の光合成と機能 加藤 由佳子・千貝 健・森 章一・横野 牧生・高林 厚史・田中 歩・ 田中 亮一	9
4. 多深度地温測定装置の製作 森 章一・曾根 敏雄	13
5. Ice Crystal 2 プロジェクト：国際宇宙ステーション実験の成果の概要 古川 義純・中坪 俊一・長嶋 剣・麻川 明俊・村田 憲一郎・佐崎 元・ 横山 悦郎・吉崎 泉・田丸 晴香・島岡 太郎・曾根 武彦・真木 孝雄・ 山本 明日佳	18
6. 氷プリズム面上で 2 種類の擬似液体層は生成するのか？ 麻川 明俊・佐崎 元・村田 憲一郎・長嶋 剣・中坪 俊一・ 古川 義純	20
7. 氷河上での GPS 連続運用による流動速度測定 津滝 俊 ・杉山 慎 ・中坪 俊一・新堀 邦夫・千貝 健・森 章一	25
8. ナノ粒子凝縮過程の赤外スペクトル "その場" 測定法の開発 石塚 紳之介 ・木村 勇氣・渡部 直樹 ・日高 宏・香内 晃	29
9. ロシア船・東カムチャツカ海流域観測におけるサポート体制 西岡純・小野数也	30
10. 2014 年ロシア船観測のサポート ～船内 LAN について～ 小野数也	34

11. 低温研ウェブサーバアクセス解析 2013/10-2014/09	
千貝 健	39

マイコンを使用した電子工作入門：温湿度計の製作

千貝 健¹、森 章一¹

1. 技術部先端技術支援室

はじめに

「暑い、じめじめする。今湿度どれくらい？」

部屋に湿度計が3つあるが、どれも違う値を示していて20%以上差がある。

「もっと正確な湿度計はないか？」

「過去に研究で使われていたセンサーだけあるぞ」

マイコンの勉強も兼ねて作るか…

準備、設計

過去に修理不能となり廃棄された温湿度ロガーから、センサーモジュール部だけを取り出して使用した。センサーモジュール（図1左）は、SENSIRION社製センサー「SHT15*¹」を搭載しており、他にデカップリングコンデンサやプルアップ抵抗からなる。SHT15は分解能0.05%RH、0.01°C、精度±2.0%RH、±0.3°Cで、完全校正済み、デジタル出力（I²C*²ライクな2線シリアル通信方式）、低消費電力（平均150μW）、長期安定性（長期ドリフト：<0.5%RH/yr、<0.04°C/yr）、と高性能なセンサーである。

センサーを制御するマイクロコントローラ（マイコン）は、ルネサスエレクトロニクス社製「R8C/M12A*³」を採用した（図1右）。マイコンとSHT15との通信は、I²Cに似た独自プロトコルである。マイコンの汎用ポートをソフトウェアで操作することで、SHT15の制御を行うこととした。ソフトウェアの詳細については次章で述べる。

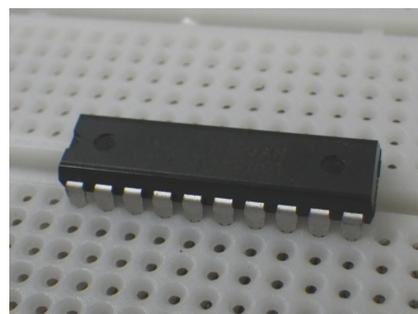
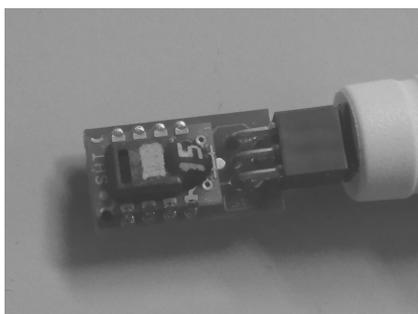


図1 （左）温湿度センサーモジュール。（右）マイクロコントローラ。

*¹ <http://www.sensirion.co.jp/products/humidity-temperature/humidity-sensor-sht15/>

*² I²C（Inter-Integrated Circuit）：フィリップス社で開発された周辺デバイスとのシリアル通信の方式。

*³ <http://japan.renesas.com/products/mpumcu/r8c/r8cmx/r8cm12a/>

秋月電子通商（<http://akizukidenshi.com>）などで安価（2014年10月現在1個100円）に手に入る。

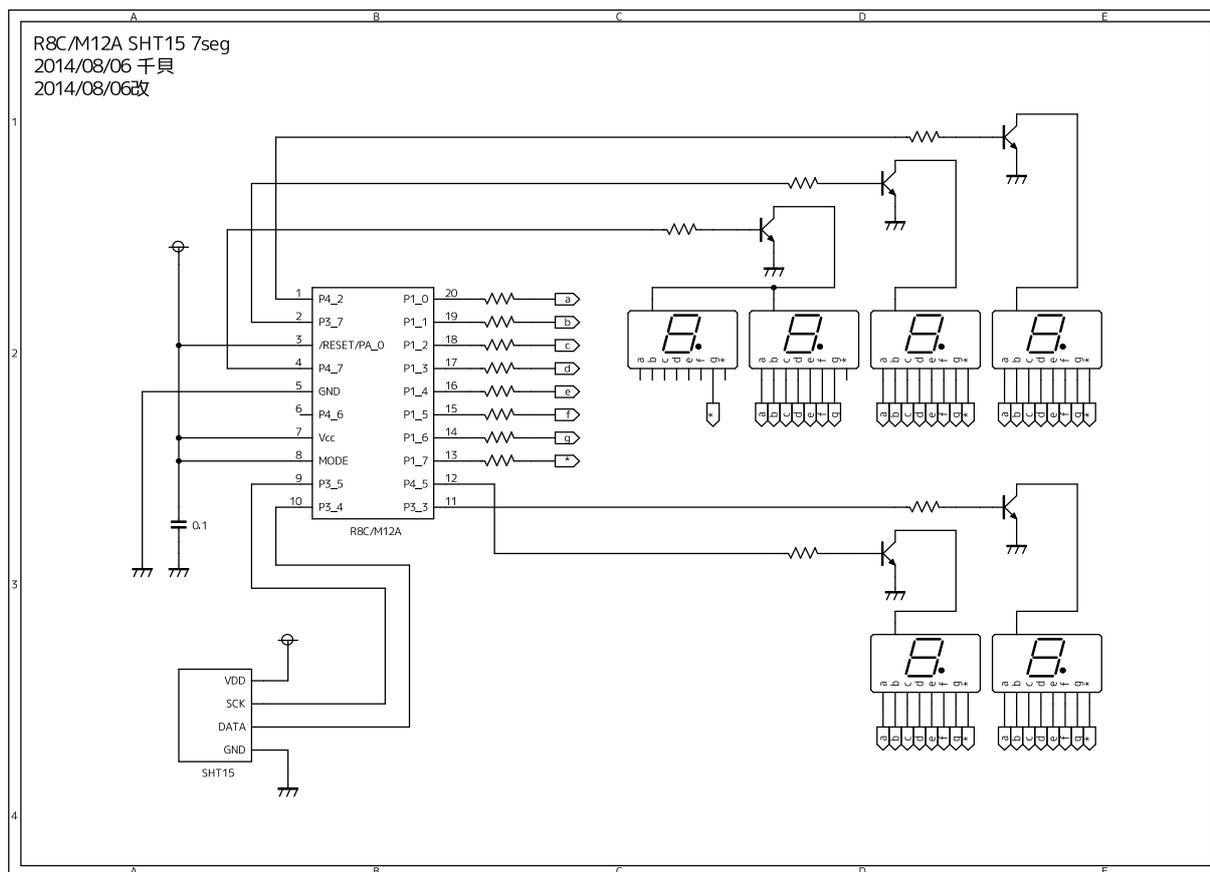


図2 回路図。一部を省略している。

表示部は、これも廃棄部品から取り出したカソードコモン7セグメント発光ダイオード(LED) (以下、7セグメントLEDを「7セグ」と略す) を使用した。マイコンが使用するポートを減らすため、7セグはダイナミック点灯方式^{*4}とした。温度表示用に7セグを4個使い小数点以下1桁まで表示することとし(-99.9から99.9まで表示可能)、湿度は0から99までの2桁で表示することとした。ダイナミック点灯方式は、桁が増えとちらつく。温度の4桁目はマイナス記号だけなので3桁目のピリオドと端子を交換し、3桁目と4桁目の2つの7セグを、マイコン側からは1つの7セグとして扱えるようにした(1桁減)。

回路図を図2に示す。マイコンを使用することによって、回路がとても単純になっている。

ソフトウェア

マイコンとSHT15との通信については、SHT15のデータシートおよびテクニカルアドバイス^{*5}を参考にしてプログラムした。プログラムのサンプルとして、SHT15から温湿度を呼び出すREAD関数をプログラム1に示す。わかりやすくするために関数を展開している(例

^{*4} ひとつの桁を短時間光らせ、すぐ次の桁を光らせるということを高速で繰り返す方式。点灯の繰り返しを数10 msecの速さで繰り返すと、あたかも各桁が連続して点灯しているように見える。ある瞬間では1個の桁だけが点灯することになり、消費電力を抑えることができる。全ての桁を常時点灯させるスタティック点灯方式ではマイコンが使用するポートが「8(ひとつの7セグ内のLED数)×桁数」となるが、ダイナミック点灯方式では「8+桁数」となる。

^{*5} <http://www.sensirion.co.jp/products/humidity-temperature/download-center/>

プログラム 1: READ 関数

```

1 // sht1x read (1 byte command + 3 bytes data read)
2 // start -> command -> msb read -> lsb read -> crc read
3 unsigned long sht1x_read( unsigned char command ){
4     unsigned char i, k;
5     unsigned long status = (long)command<<24;
6     // start
7     p3_4=1; p3_5=1; delay(5); p3_4=0; p3_5=0; delay(5);
8         p3_5=1; delay(5); p3_4=1; p3_5=0; delay(5);
9     // command
10    i = command;
11    for ( k = 0b10000000; k > 0; k = k>>1 ) if ( k & i ){
12        p3_4=1; p3_5=1; delay(5); p3_5=0; delay(5); // DATA が 1 で 1 クロック
13    } else {
14        p3_4=0; p3_5=1; delay(5); p3_5=0; delay(5); // DATA が 0 で 1 クロック
15    }
16    pd3_4=0; p3_5=1; delay(5); p3_5=0; delay(5); pd3_4=1; // <- ACK
17    ..... // delay (測定完了までの時間待ち)
18    // msb 取得
19    pd3_4=0; // port = DATA_IN
20    i = 0;
21    for ( k = 0b10000000; k > 0; k = k>>1 ){
22        p3_5=1; delay(5);
23        if ( p3_4 ) i += k;
24        p3_5=0; delay(5);
25    }
26    pd3_4=1; // port = DATA_OUT
27    status += (long)i << 16;
28    p3_4=0; p3_5=1; delay(5); p3_5=0; delay(5); // -> ACK
29    // lsb 取得
30    .....
31    status += (long)i << 8;
32    p3_4=0; p3_5=1; delay(5); p3_5=0; delay(5); // -> ACK
33    // crc 取得
34    .....
35    status += (long)i;
36    p3_4=1; p3_5=1; delay(5); p3_5=0; delay(5); // -> NACK
37    return status;
38 }

```

えば、他の関数でも使用する start 部などは、別の関数として定義しているが、ここではあらわに書いている)。R8C/M12A の汎用ポート p3.5 をシリアルクロック出力 (SCK) に、p3.4 をシリアルデータ (DATA) 入出力として使用した。SHT15 の I/O 信号特性の標準値から、SCK 周波数が 0.1 MHz なので、SCK High/Low 時間を $1/(2 \times 0.1) = 5 \mu\text{s}$ とした。これが関数中の delay(5) 関数である。データシートに「インターフェースは完全静的動作可能な論理で構成されていますから、SCK 周波数に下限値は存在しません」とあるので、本プログラム中でも SCK を少々曖昧に (delay(5) と delay(5) の間に入るコマンドは充分速いとする、delay(5) 関数の中身を単なる空ループで作る、等) 扱った。READ 関数を、command を引数に (温度測定の場合は 0b00000011, 湿度は 0b00000101) 呼び出すと、command, msb, lsb, crc data の順か

プログラム 2: CRC チェック部

```
1  const unsigned char CRC_sht1x[256]={
2      0, 49, 98, 83, 196, 245, 166, 151, 185, 136, 219, 234, 125, 76, 31, 46,
3      67, 114, 33, 16, 135, 182, 229, 212, 250, 203, 152, 169, 62, 15, 92, 109,
4      134, 183, 228, 213, 66, 115, 32, 17, 63, 14, 93,108, 251, 202, 153, 168,
5      197, 244, 167, 150, 1, 48, 99, 82, 124, 77, 30, 47, 184, 137, 218, 235,
6      61, 12, 95, 110, 249, 200, 155, 170, 132, 181, 230, 215, 64, 113, 34, 19,
7      126, 79, 28, 45, 186, 139, 216, 233, 199, 246, 165, 148, 3, 50, 97, 80,
8      187, 138, 217, 232, 127, 78, 29, 44, 2, 51, 96, 81, 198, 247, 164, 149,
9      248, 201, 154, 171, 60, 13, 94, 111, 65, 112, 35, 18, 133, 180, 231, 214,
10     122, 75, 24, 41, 190, 143, 220, 237, 195, 242, 161, 144, 7, 54, 101, 84,
11     57, 8, 91, 106, 253, 204, 159, 174, 128, 177, 226, 211, 68, 117, 38, 23,
12     252, 205, 158, 175, 56, 9, 90, 107, 69, 116, 39, 22, 129, 176, 227, 210,
13     191, 142, 221, 236, 123, 74, 25, 40, 6, 55, 100, 85, 194, 243, 160, 145,
14     71, 118, 37, 20, 131, 178, 225, 208, 254, 207, 156, 173, 58, 11, 88, 105,
15     4, 53, 102, 87, 192, 241, 162, 147, 189, 140, 223, 238, 121, 72, 27, 42,
16     193, 240, 163, 146, 5, 52, 103, 86, 120, 73, 26, 43, 188, 141, 222, 239,
17     130, 179, 224, 209, 70, 119, 36, 21, 59, 10, 89, 104, 255, 206, 157, 172 };
18
19     ....
20     unsigned char sht1x_status;
21     unsigned long data;
22     unsigned char crc[2];
23     unsigned char k;
24     unsigned char rherr;
25
26     ....
27     sht1x_status = .....; // ステータスレジスタから S_0S_1S_2S_3'0000
28         // デフォルト = 0b00000000; 8bit RH/12bit Temp モードの時 = 0b10000000;
29     data = sht1x_read( 0b00000101 ); // 相対湿度取得
30     // CRC
31     crc[0] = sht1x_status;
32     crc[0] = CRC_sht1x[ crc[0] ^ ( data>>24 & 0xff ) ];
33     crc[0] = CRC_sht1x[ crc[0] ^ ( data>>16 & 0xff ) ];
34     crc[0] = CRC_sht1x[ crc[0] ^ ( data>>8  & 0xff ) ];
35     crc[1] = 0;
36     for( k=0b10000000; k>0; k=k>>1 ){ // 反転
37         crc[1] >>= 1;
38         if ( crc[0] & k ) crc[1]+=0b10000000;
39     }
40     if ( crc[1] == (unsigned char)data & 0xff ) rherr=0;
41     else rherr=1;
42     ....
```

らなる 4 バイトのデータを返す。この関数の動作は以下である。

1. start (7-8 行) : 通信開始シーケンスをマイコンから SHT15 へ発行する。
2. command (10-16 行) : コマンドを SHT15 へ送信する。SHT15 はコマンドを正常に受信すると ACK をマイコンに通知するが、本プログラムではこれに対して何かを行うということはない。
3. delay : 温湿度の測定の完了を待つ (省略)。

4. msb (19–28 行) : 測定データの MSB (Most Significant Byte, 最上位バイト) を SHT15 から読み込む。読み込み後、SHT15 に ACK を送る (DATA を Low にして SCK)。
5. lsb : 測定データの LSB (Least Significant Byte, 最下位バイト) を SHT15 から読み込む。読み込み後、SHT15 に ACK を送る。
6. crc : 巡回冗長検査 (CRC) チェックサムの読み出し。読み込み後、SHT15 に NACK を送る (DATA を High に保ったまま SCK)。
7. return : command, msb data, lsb data, crc data の順からなる 4 バイトのデータを返す。

返ってきたデータから、温湿度を出したり、CRC チェックサムの計算を行う。この関数の実行にかかる時間は、測定完了までの時間待ち (データシートによれば、8/12/14 ビット測定に対して最大 20/80/320 ms) を除いて < 100 μ s である。他に、マイコンと SHT15 との通信には、接続リセットシーケンス、ステータスレジスタの書き込み・読み込み、ソフトリセットが必要なので、それぞれ作成した。

取得したデータをチェックする部分 (CRC チェック部) をプログラム 2 に示す。CRC 計算方法は、メモリ容量が犠牲になるかわりに計算時間を短縮できる、ルックアップテーブルを利用する方法を採用した。ステータスレジスタの値および取得したデータ中の command, msb, lsb の値を計算し、取得したデータ中の crc data と比較することにより、データ転送中にエラーが起こったかを確認する。初期値 (ステータスレジスタの値) および取得した crc data を反転 ([bit7,bit6,...,bit0] \rightarrow [bit0,bit1,...,bit7]) させてチェックしていることに気がつくまでに時間がかかった*6。ここが一番プログラミングで苦しんだ部分である。今回は、CRC によってエラーが検出された場合、SHT15 からデータを再取得するのではなく (約 10 s 後に全シーケンスを始めから行うため) 7 セグの全てのピリオド (配線されてない所を除く) を点灯させるようにした。

SHT15 から得られた生データ (msb, lsb data) を計算し、実際の温湿度に直し、7 セグにダイナミック点灯方式で表示させるようプログラムした*7。ダイナミック点灯で、一つの 7 セグが点灯している時間を約 2 ms とし、温湿度表示は約 10 s で更新されるようにした。

おわりに

同様に I²C デジタル気圧計 MPL115A2 を使用した気圧計を製作し、温湿度計と組み合わせた。基板および前面パネルの設計製作を行い (製作方法は文献 [1] と同様の方法)、現在使用中である (図 3)。

PC 上でプログラミング言語の一番始めのサンプルとして「Hello World」を表示させるプログラムが出されることが多い。マイコン工作でこれに対応するのは、LED を点滅 (チカチカ) させること (略して「L チカ」) である。7 セグは LED そのものなので「L チカ」であるし、ダイナミック点灯でどの 7 セグを点灯させるかの部分は「L チカ」の応用である。やってみる

*6 アプリケーションノートにきちんと書いてある。CRC チェックがうまくいかない原因を、計算方法が悪いのでは… テーブルの打ち込み間違いでは… と、別の方向に思い込んでしまった。

*7 開発中、READ 関数中の測定完了待ちを忘れ、測定完了待ち中に消灯するという失敗をした。

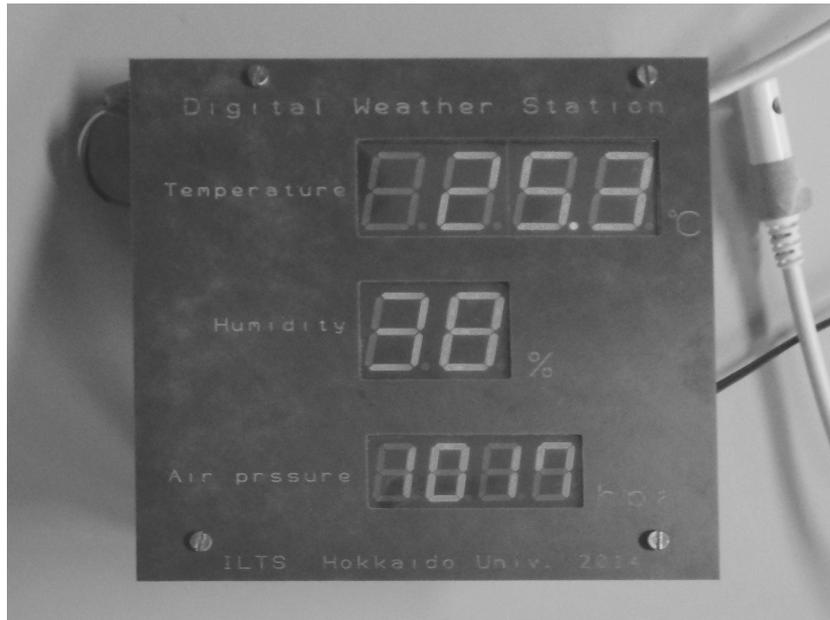


図3 完成した温湿度+気圧計。

とよくわかるのだが、シリアル通信もマイコンからの送信は、タイミングをあわせて高速で二つのLEDを点滅させている（「Lチカ」させている）のと同様である。まさに「応用とは基本の延長」、LEDを光らせて何が楽しいんだと思っていた過去を反省しなくてはならない。

5年前は、低温研内で積極的に「マイコンを使って何かをする」というような仕事は、ほとんどなかった。技術報告書をさかのぼっても、あらわにマイコンが出てくるのは2008年[2]である。しかしながら最近急に増えたようにも思われる。例えば本技術報告にあるような事例[3, 4]である。今後、センサーとのシリアル通信のようにマイコンの使用が前提となっている作業がさらに増えるだろうし、マイコンを使うことによって今まで行ってきた複雑な作業が少し簡単にできるようになるだろう。

本製作の一部は、平成26年度低温科学研究所技術部技術奨励費により実施された。

参考文献

- [1] 森章一, 切削型基板加工機による電子基板の製作, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **18**, 56–58, 2012
- [2] 福士博樹, 中鉢健太, 藤田和之, ワンチップマイコンによる二軸ステッピングモータの制御, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **13**, 17–20, 2008
- [3] 加藤由佳子, 千貝健, 森章一, 横野牧生, 高林厚史, 田中歩, 田中亮一, 葉緑体タンパク質LIL8欠損株の光合成と機能, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **20**, 9–12, 2014
- [4] 森章一, 曾根敏雄, 多深度地温測定装置の製作, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, **20**, 13–17, 2014

環オホーツク情報処理システム上でのネットワークチーム機能の評価

小野 数也

技術部先端技術支援室

はじめに

現在、ネットワーク速度の主流は 1 Gbps であるが、より高速転送な 10 Gbps ネットワークも徐々に普及しつつある。環オホーツク情報処理システム（以下、システム）上では 3 つの 10 Gbps のネットワークポートを有し、サーバ間のデータ通信を高速にしている。これら 10 Gbps で接続されたマシン間のデータのやり取りは高速だが、1 Gbps で接続されたマシンへのデータ通信は当然遅くなる。

一方、ネットワークケーブルを 2 本以上束ねて転送速度の向上を図る（または冗長化を目的とした）、チーム機能と言うものがある。この技術自体は昔からあるもので真新しいものではなく、実測例も多数ある。ただし、この機能が本システム上でどのぐらいのパフォーマンスが得られるのかはわからない。また、10 Gbps 対応のハブを介して試されている例はあまり見かけない（10 Gbps を採用している場合、予算が潤沢にあることが多いためこのような技術は使われないのかもしれない）。そこで、このチーム機能は、システム上で有用な機能なのか、コストパフォーマンスを踏まえた上で調べた。なお、この調査は平成 24 年度低温科学研究所技術部技術奨励費の助成を受けたものである。

テスト概要

この実験のネットワーク概略を図 1 に示す。クライアントマシンに 4 ポート LAN カードを挿入し、ファイルサーバへのデータ通信速度を LAN ケーブル 1-4 本でテストした。なお、参考として計算サーバからの 10 Gbps でつながっている通信速度もテストした。今回、いくつかあるチーム機能のうち Round robin Runner*1 を採用した。この方式は、送信のみ負荷分散が行われるが、対応するネットワークスイッチが必要になる。なお、本システムのスイッチングハブはチーム機能を有している。

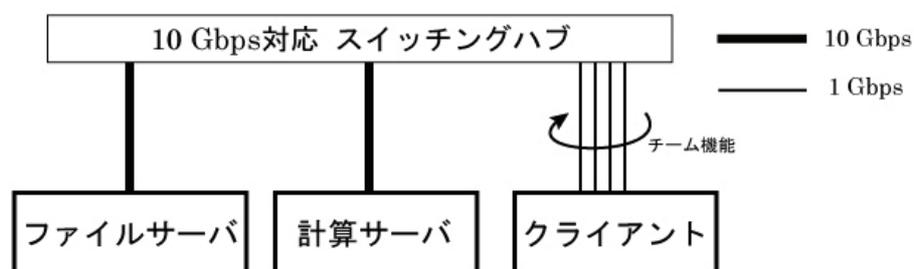


図 1 ネットワーク概略図。クライアントに 4 ポートの LAN にチーム機能を付加した。

*1 全てのネットワークポートを順番（ラウンドロビン）に使って、パケットを送信し、負荷分散させる機能。

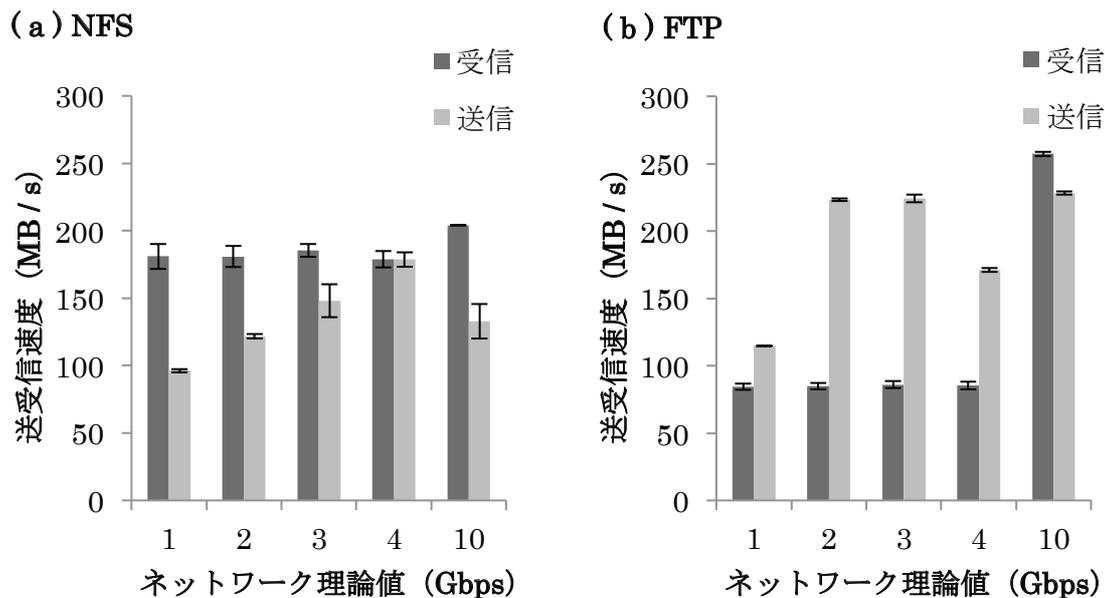


図2 通信プロトコルごとの送受信速度。

結果

まず、本システムで多用される通信プロトコル NFS と FTP をテストした。5 GB のファイルを 10 回コピーし、速度平均と標準偏差を算出した。なお、NFS のオプションには、`async` を採用した。`async` は信頼性に欠けるが、`sync` オプションと比べて 2 倍程度速い。

図 2 (a) と (b) に NFS と FTP による受信速度を黒いバーでそれぞれ示した。Round robin Runner は送信の負荷分散を行うが、ネットワークケーブル本数による受信速度の違いがあるのかを調べる。チーム機能による受信速度の違いはほとんど見られず、NFS は 180 MB/s、FTP は 80 MB/s とプロトコルによる差が大きい。一方、送信速度（灰色バー）をみると NFS では束ねるネットワークカードが多ければ多いほど速度が上昇し、チーム機能の効果が得られている。NFS にて 4 本束ねた速度は、計算サーバからの速度 10 Gbps 以上の速さになった。FTP では 2、3 本で最大の速度となり、4 本束ねると速度が落ちてしまった。これは、束ねる LAN が多くなり、クライアント内部での処理に時間がかかってしまったことによるものと考えられる。なお、別プロトコル `scp` でもテストしたが、ネットワークケーブルの本数に関わらず、送受信全て 100 MB/s 程度でチーム機能による効果は得られなかった。

おわりに

ネットワークを束ねるチーム機能を使うことで、送信速度に向上が見られ、その効果はプロトコル等の条件により 10 Gbps イーサネットを超えるものもあった。4 ポート LAN カードは安くはないが（5 万円程度）、2 ポートの LAN カードを 2 枚差しなどすれば、代用出来る（チーム機能は、同じ LAN カードでなくても運用可能）。今後は、リンクアグリゲーション等、他のチーム機能でも速度評価をしたい。

葉緑体タンパク質 LIL8 欠損株の光合成と機能

加藤 由佳子¹、千貝 健¹、森 章一¹、
横野 牧生²、高林 厚史²、田中 歩²、田中 亮一²

1. 技術部先端技術支援室
2. 生物環境部門生物適応分野

はじめに

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。光合成は大きく分けて、光を受けて化学エネルギーに変換する光化学反応と、生じた化学エネルギーを用いて二酸化炭素と水から糖を作るカルビン回路からなる。

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。光化学反応では光化学系 II と光化学系 I の主に 2 つのタンパク質が中心となって働く。アンテナの働きをするタンパク質が光エネルギーを受け取ることから反応が始まる。光合成は光が当たらなくては反応が起こらないが、過剰な光では反応が阻害される（光阻害）。一般的に、寒冷域では特に植物が光阻害を受けやすい。また、流れる雲や周囲の障害物によって、植物に照射される光の量は時々刻々と変化する。そのような環境の変化に対し、植物は適応メカニズムをいくつか備えている。

光化学反応を研究する上で、Walz 社製のパルス変調蛍光測定（PAM）という測定器が広く用いられている。PAM では、光を植物に照射し、光合成に利用されなかった励起エネルギー由来のクロロフィル蛍光を測定する。発生した蛍光量で光合成効率等を測るほか、瞬時的な蛍光量を連続測定し変化を追うことで、光合成における生理的变化も見る事が出来る。連続データの分解能が高いほど、より精密に変化を追うことが可能となる。現在、生物適応分野では PAM-2000 を使用しているが、PAM-2000 では、最大で約 32000 ポイントのデータしか取ることが出来ず、30 ms/point でデータを取得した場合、連続測定可能時間は 16 分程度である。

今回、過去の論文（Lunde *et al.*, 2000）と同条件で PAM 測定をするために、50 分程度の連続測定が必要となった。PAM のペンレコーダの購入は高価であり、またデータロガーも安価とは言えず、使い勝手も機種により様々である。そこで、技術部にデータを取得するための装置の作成を依頼した。作成した装置（USB-AD 変換器）と得られた実験結果について報告する。

実験に使用した植物と研究の背景

実験には LIL8 と呼ばれるタンパク質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



図1 USB-AD変換器。

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 (WT) を用いた。また、ステート遷移 (植物が光阻害を避けるために持っている機構の 1 つ) 関連タンパク質である *STN7* と呼ばれるタンパク質を作らない変異体 (*stn7*) をコントロールとして用いた。LIL8 の 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。

LIL8 に関する実験については 2012 年度と 2013 年度の技術報告でも報告している。LIL8 の機能は未だ分かっていないが、これまでの PAM を用いた生理学的な実験結果から、LIL8 欠損株が持ついくつかの特徴が分かっている。LIL8 欠損株では、葉が通常の生育条件にある時に、野生型よりもクロロフィル蛍光が強く観察される。また、光合成効率の指標の 1 つであるクロロフィル蛍光の最大量子収率 F_v/F_m が低くなっている。この理由について、LIL8 欠損株では、光化学系の集光タンパク質が野生形に比べて多く遊離していることが考えられる (加藤ら、2013)。また、LIL8 欠損株では野生型に比べて、より強光条件に弱く、強光条件では野生型よりも光合成効率が低下することも分かっている。

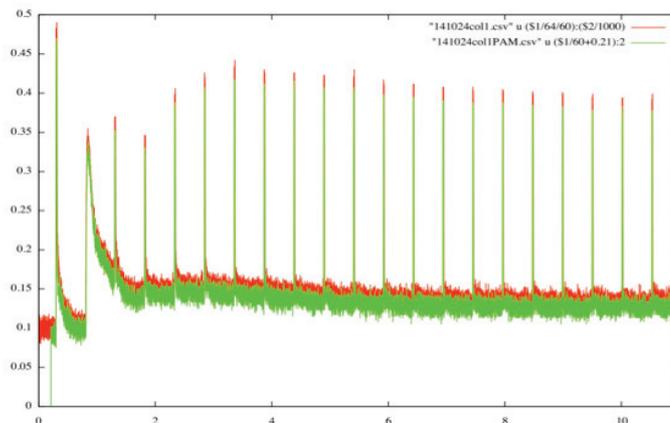


図2 PAM 本体と USB-AD 変換器で得られたデータの比較。赤線が USB-AD 変換器で取得したデータ、緑線が PAM 本体で取得したデータ。PAM 本体で測定できる約 10 分間のデータを比較した。

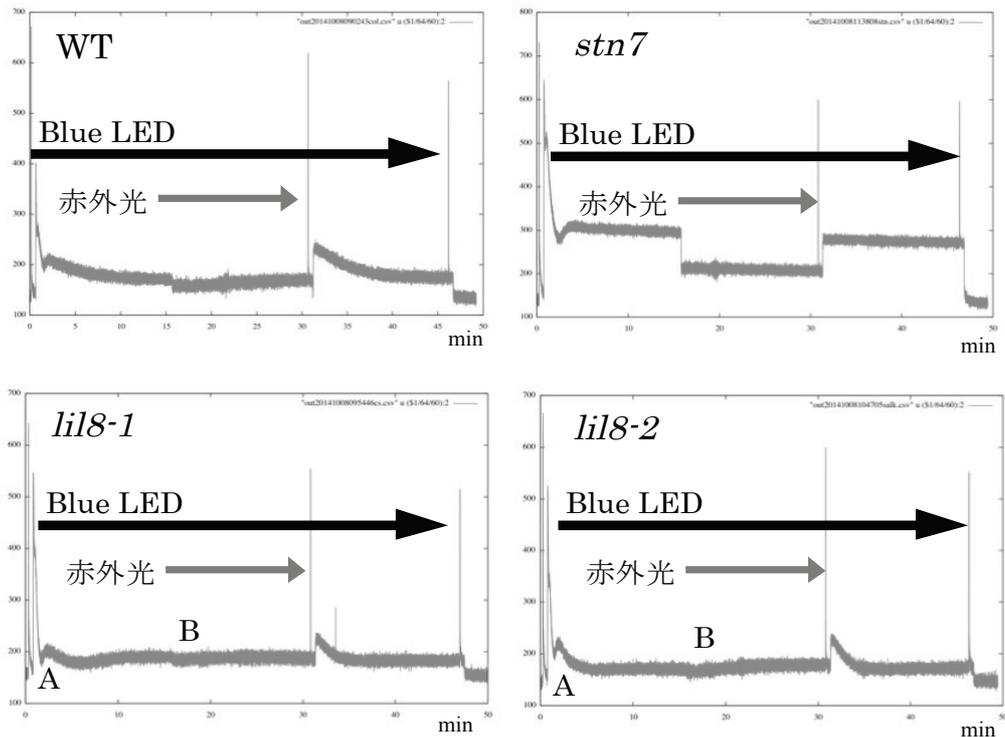


図3 USB-AD 変換器で記録した PAM の測定波形。

USB-AD 変換器

USB-AD 変換器を図 1 に示す。本体は 8 cm 四方ほどの大きさである。USB 接続とデータ転送時には本体の LED ランプがそれぞれ点灯し、状態が容易に判断できる。

PAM で測定された蛍光量は、電圧として出力されている。USB-AD 変換器は PAM に既存のペンレコーダ出力を利用し、出力電圧値を 10 bit で 1/64 秒毎にパソコンへ転送する。転送されたデータは csv 形式でパソコンに保存される。PAM 本体で保存されるデータと USB-AD 変換器を利用して得られたデータを比較すると図 2 のようになり、高い一緻性を示した。

PAM と USB-AD 変換器を用いた測定結果

植物は、光合成反応に使用できなかった励起エネルギーを、熱として放出する。励起エネルギーが熱に変換されると、結果として、観測される蛍光強度は弱くなる。PAM では放出された蛍光量を測定することで、光の利用効率を見ることができる。等量の光を照射した時に、蛍光量が少なくなるほどその植物は光合成を効率よく行なっていることになる。過去の論文に従い、次のようなスケジュールにおける蛍光量を連続的に調べた。

- (1) 暗所に置いた葉に、青色 LED (470nm) の光を 15 分間照射
- (2) 青色 LED に加えて、赤外光 (720nm) を 15 分間照射
- (3) 再度青色 LED のみを 15 分間照射

光化学反応では、前半部分の光化学系 II タンパク質（以下 PSII）と後半部分の光化学系 I タンパク質（以下 PSI）が主に働く。(1)と(3)の青色 LED の照射では、PSII が優先的に励起され、後半部分の反応は進まない。そのため、照射開始時には一時的に光合成反応が先詰まりとなり利用できない励起エネルギー由来の蛍光が強く観察されるが、徐々に植物が励起エネルギーを他の方法で消費する機構を働かせるため、蛍光量は減少する。一方、赤外光の照射では、PSI が選択的に励起される。(2)で青色 LED と赤外光を同時に照射すると、光合成反応全体が進む。そのため照射開始時にはそれまでの先詰まりが解消され、一瞬で蛍光量が減少する。

PAM-2000 と USB-AD 変換器を用いて測定した結果を図 3 に示す。野生型と *stn7* では、既に論文で報告されている通りの結果が得られた。一方、LIL8 欠損株では、両者とは異なる波形が得られた。青色 LED を照射した時に見られる蛍光量の減少は野生型よりも速かった (図 3A)。また赤外光を照射した時に野生型や *stn7* で見られた蛍光量の減少は LIL8 欠損株ではほとんど見られなかった (図 3B)。

今回、USB-AD 変換器の使用により PAM の長時間測定が可能となり、光合成の生理的变化を詳細に追うことができた。得られた結果から、LIL8 は光化学系 II と光化学系 I のアンテナサイズの制御に関与することが示唆された。他の実験結果とも合わせ、まだ解明されていない LIL8 の機能について、明らかにしていきたい。

参考文献

Lunde C., Jensen P. E., Haldrup A., Knoetzel J., and Scheller H. V., 2000. The PSI-H subunit of photosystem I is essential for state transitions in plant photosynthesis. *Nature* **408**, 613 – 615.

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。

加藤 由佳子、岸本 純子、横野 牧生、高林 厚史、田中 歩、田中 亮一 「葉緑体タンパク質 LIL8 欠損株の光合成」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、**19**、1 – 4、2013 年 12 月。

多深度地温測定装置の製作

森 章一¹、曾根 敏雄²

1. 技術部先端技術支援室
2. 水・物質循環部門水文気象分野

1 はじめに

地温観測による土壌の凍結・融解深の推定は、一般に数深度の温度データから内挿することにより行われてきた。この方法では、測定深度の間隔が大きい場合には大きな誤差を生じることになるため、測定点数を増やすことが望まれる。しかし、ボーリング孔を利用した温度測定では、孔径と温度センサーケーブルの太さとによって、測定点数が限られる。そこで測定点数が増えてもケーブル数が増えない方式の温度センサーを用いた温度測定装置を作製し、野外観測を行った（曾根ほか、2014）。

今回、試作したセンサー部とロガー（記録計）部は、市販の部品を組み合わせ、安価で比較的容易に作製でき、2 cm 以内の誤差で最大凍結深を推定できた。このロガー部は、温度測定以外にも応用が可能である。

2 測定機器の概要

本測定機器は温度センサー部とロガー部に分かれる。

2.1 温度センサー部：温度センサーには、1-Wire 方式の DS18B20+（マキシム）を用いた。この方式では、1 組の信号・電源線上の任意の多数の位置に温度センサーを配置することが出来る。したがって最大凍結深を把握したい場合には、最大凍結深が予想される範囲に温度センサーを集中させることによって、最大凍結深が高分解能で判読できる。それぞれのセンサーは固有のシリアル番号を持ち、温度の値とともにデジタル信号としてマイコンと通信する。また測点が多くても 1 台のロガーで記録が出来ることも、この方式の特徴の一つである。この温度センサーの精度は 0.5℃、分解能は 0.0625℃である（表 1）。1 cm 間隔でセンサーを配置したセンサー部の例とリボンコードを利用した例を写真 1、2 に示す。

表 1 DS18B20+ の特長（MAXIUM）。

作動電圧	3.0 – 5.0V
測定温度範囲	-55 – 125℃
誤差	±0.5℃ (-10 – 85℃)
分解能	0.0625℃
通信時間	750 mSec

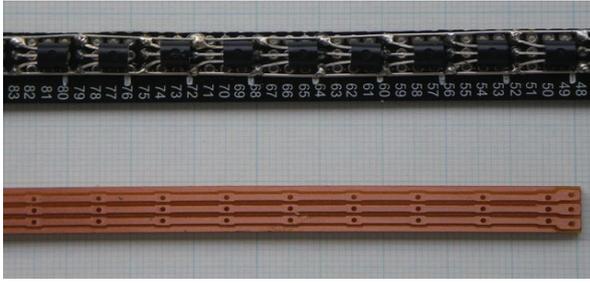


写真1 センサー部。(上)ユニバーサル基板を用いた例、(下)1 cm 間隔基板製作例。

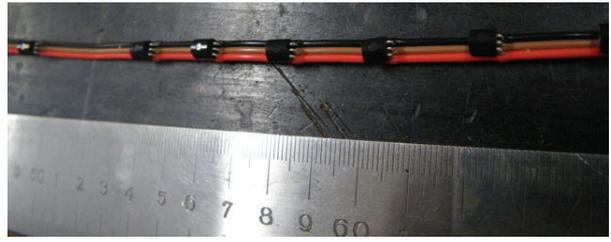


写真2 センサー部。リボンコードを用いた2-5 cm 間隔の例。

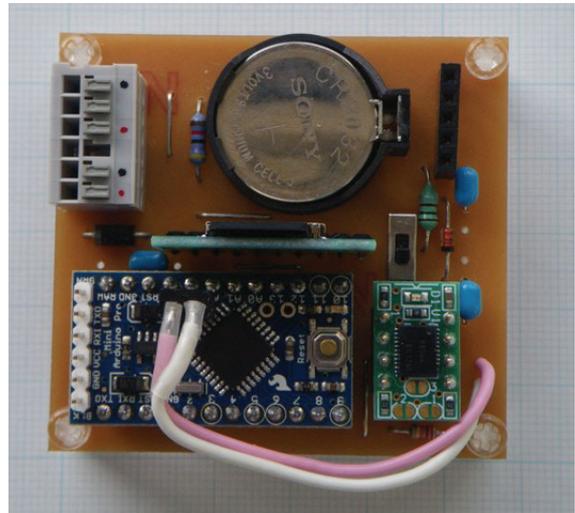
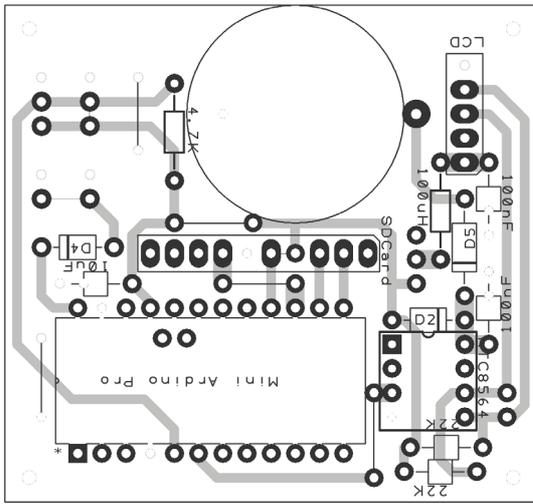


写真3 ロガー部作製基板。

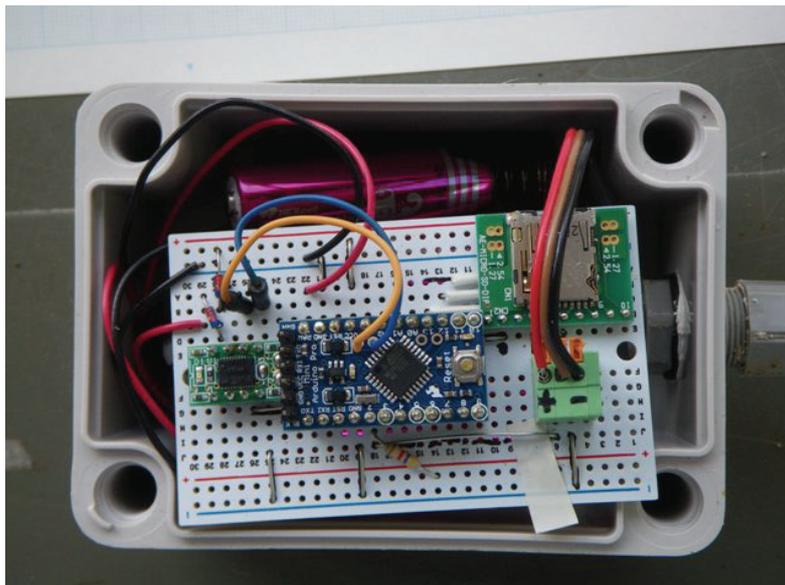


写真4 ロガー部。ブレッドボード型基板使用例。

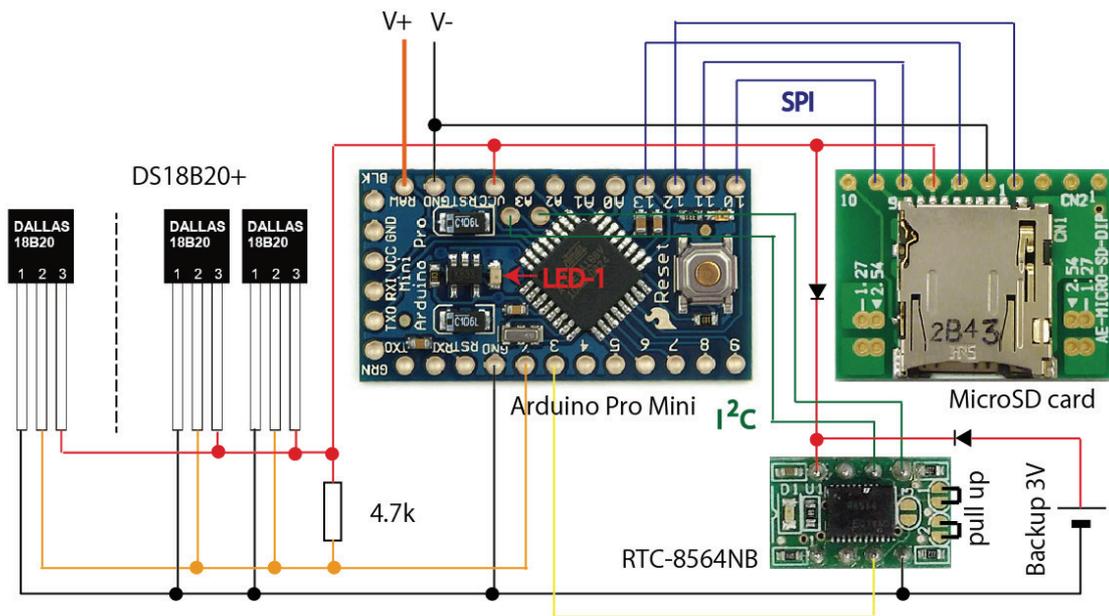


図 1 センサー部及びロガー部の結線の例。

2.2 ロガー部：マイコンには開発が容易で安価な Arduino を用いた。Arduino にはいくつかの種類があり、標準的な Uno (5 V) を用いれば、半田付けをしなくてもブレッドボード上で回路を組むこともできる。ここでは低消費電力の Pro Mini (3.3V) を用いた (写真 3、4)。各デバイス (microSD カード、DS18B20+、RTC:リアルタイムクロック) との結線の例を図 1 に示す。

Arduino や、各デバイスの使用法が判るスケッチ (プログラム) が、Web 上に公開されている。それらを組み合わせることで、容易にロガーを作動させることが出来る。RTC により測定時間になるとマイコンが作動し計測を開始し、測定が終わるとマイコンは休止する。測定温度データは時間とシリアル番号とともに SD カードに保存されるため、SD カードを交換する事で測定データを回収できる。消費電力は、測定中には約 5 mA (1 測点約 1 秒) で、待機中には約 0.4 mA (0.2 mA : 図 1 中の LED-1 を除去時) であった。単 3 形リチウム乾電池 4 本、1 時間間隔の測定条件で 1 年程度の測定が可能である。このロガー部は温度測定以外にも、湿度、気圧など多様なセンサーに対応し、容易に他項目の測定へと応用が可能である。

3 野外観測

北海道北見地方置戸町 (森・曾根、2013) において、土壌の最大凍結深と凍土の融解過程を観察するため、本装置を用いて地温観測を行った。センサー部はリボンコードを用い (写真 2)、0 - 125 cm 深さまでの 35 深度に温度センサーを配置した (図 2)。

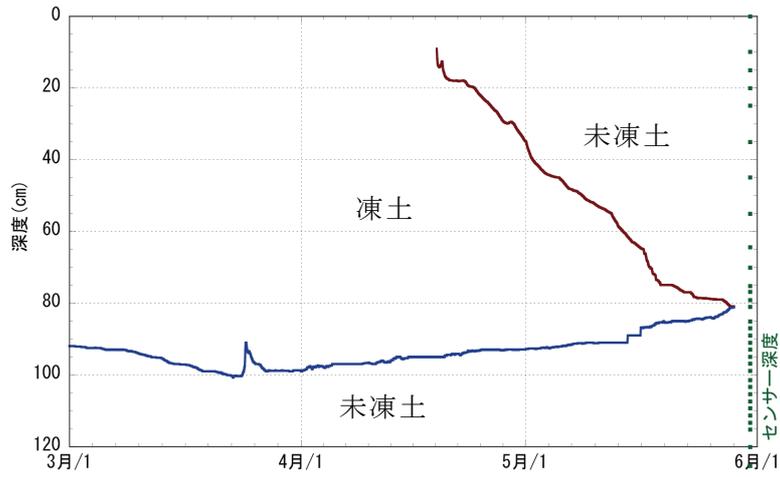


図 2 置戸町における凍結線（青線）・融解線（赤線）（温度内挿による：2014年）とセンサー深度。

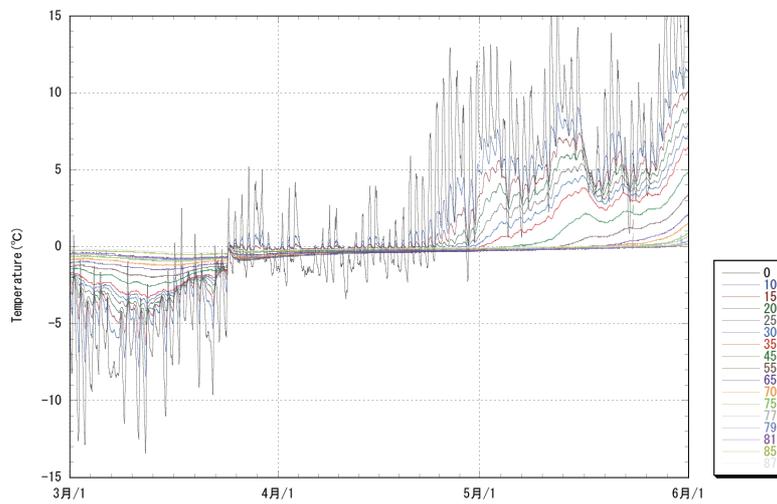


図 3 置戸町における地温測定結果（0 - 87cm 深：2014年）。

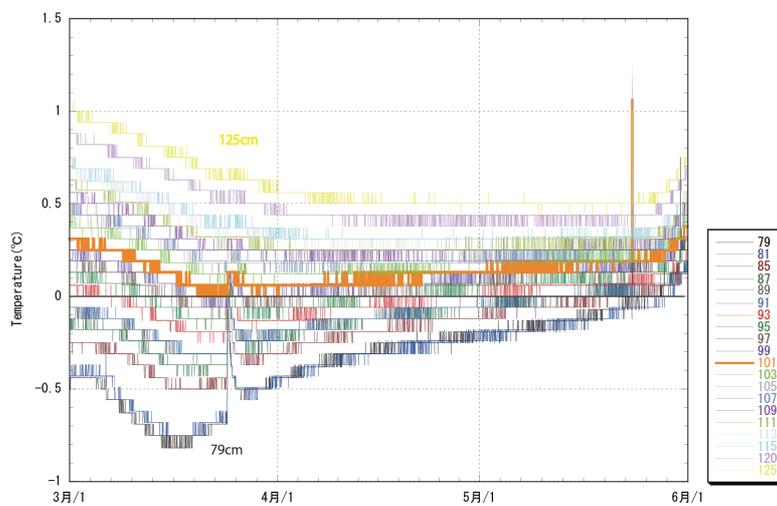


図 4 地温測定結果（79 - 125cm 深：2014年）。

季節的凍結線、融解線の位置の変化を図 2 に示す。図 3、4 に地温観測結果を示す。最大凍結深は図 3、4 から 101 cm であった。また凍土は 5 月下旬まで約 80 cm 深付近に残存していた。なお 3 月下旬の地温の攪乱は融雪水の流入によると考えられ、5 月下旬の攪乱は現地で確認のためセンサーを引き出したことによる人為的なものである。

4 まとめと今後の展望

1 組のケーブルで多深度の地温測定ができる温度センサーを用いた観測装置を作製した。この装置は小型軽量で安価であるとともに、乾電池を用いて 1 年程度のデータ収集を実現した。これを用いて野外観測を行った結果、より正確な凍結深の測定が可能となった。但し個々の温度センサーの温度校正は必要である。

マイコン制御による測定は、センサーとプログラムを変更することで様々な項目の測定が可能である。また、マイコンチップの低消費電力化によって小容量乾電池での長期間にわたる測定が可能であるため、装置は小型軽量にできる。野外観測に限らず、多岐にわたる分野でその利用価値は高く、使用頻度はますます増加して行くと思われる。

近年のマイコンの低価格化や接続デバイスの充実などによって、マイコン機器の自作が急速に普及する一方で、自作するにはマイコンのプログラム、電子回路基板や機器筐体などの製作もしなければならない。技術部ではこのような部分の技術的サポートを行い、必要なソフトを含めた一連の測定システムとしての開発を目指して行く。

参考文献ほか

森 淳子、曾根 敏雄「北海道北見地方置戸町における凍結融解深度計測装置を用いた野外観測」雪氷研究大会（2013・北見）講演要旨集、183、2013 年 9 月。

曾根 敏雄、森 淳子、森 章一「凍結融解深度計測装置を用いた土壌凍結深の観測」雪氷研究大会（2014・八戸）講演要旨集、178、2014 年 9 月。

MAXIUM, DS18B20+ datasheet.

Arduino 検索 keywords: 割り込み、スリープモード、SD カード、RTC、I²C、DS18B20+、
<http://www.arduino.cc/>

Ice Crystal 2 プロジェクト： 国際宇宙ステーション実験の成果の概要

古川 義純¹、中坪 俊一²、長嶋 剣¹、麻川 明俊¹、村田 憲一郎¹、佐崎 元^{1,3}、
横山 悦郎⁴、吉崎 泉⁵、田丸 晴香⁵、島岡 太郎⁶、曾根 武彦⁷、真木 孝雄⁸、
山本 明日佳⁸

1. 雪氷新領域部門相転移ダイナミクス分野
2. 技術部装置開発室
3. 共同研究推進部
4. 学習院大学
5. 宇宙航空研究開発機構
6. 一般財団法人日本宇宙フォーラム
7. 有人宇宙システム株式会社
8. オリnpas株式会社

国際宇宙ステーション「きぼう」において、氷結晶の自由成長実験（プロジェクト名：Ice Crystal 2）が実施された。2008年に実施した実験に続くものであり、今回は不凍糖タンパク質（Antifreeze glycoprotein: AFGP）を含む過冷却水中での成長する氷結晶の成長速度をマイケルソン干渉計により精密に測定することを目標とした。実験は、2013年11月－2014年6月の間、124回にわたって実施された。

本実験で使用された宇宙実験装置は、本研究所技術部とオリnpas光学との協力により開発された。技術部では、本装置の心臓部とも言える氷結晶成長装置の開発を担当した。宇宙実験装置は、打ち上げ時の振動への対処、微小重力環境での確実な作動の保障、すべての操作が地上から送信されるコマンドにより制御されることへの対応、万一打ち上げ後に故障が起こった場合の対処法など、地球上で使用される通常の実験装置とは異なる多くの要素を満たさなければならない。技術部としても、宇宙実験装置の開発は初めての経験であったが、極めて優れた装置の開発に成功し、実験を成功に導く原動力となった。また、生成した結晶を観察するための光学系の開発は、オリnpas光学が担当した。この光学系は、マイケルソン型干渉顕微鏡と位相差顕微鏡を同軸で設置し、同時に両者の観察画像を得ようというもので、世界初の顕微鏡システムである。

氷結晶は、ガラス毛细管の中で生成した種結晶から成長を開始することで、成長容器内で一つの単結晶の成長を実現している。また、成長する氷結晶のその場観察は、位相差顕微鏡とマイケルソン干渉顕微鏡により行われた。ガラス毛细管の回転により成長する氷結晶のベーサル面を光軸方向と直交させることで、ベーサル面からの反射光による干渉縞を得ることが出来る。観察画像は、その場で動画として地上にダウンリンクされ、実験データとして記録される。

本実験では、AFGPを添加した過冷却水中での氷結晶成長を観察した。AFGPは、極域の魚の血液内に含まれ、血液を過冷却状態に保ったままで生体の凍結を抑制する機能（不凍効果）を持つタンパク質である。AFGP分子は、氷/水界面に吸着することで氷結

晶成長のカイネティクスを大きく変化させることが、このような機能の発現に密接に関連している。氷/水界面への吸着の状態、それが結晶成長カイネティクスに及ぼす効果の実態は、まだ十分明らかになっていないが、界面への AFGP 分子の吸着は 2 段階で起きると予測されている。すなわち、弱い吸着状態と強い吸着状態があり、それは吸着した AFGP 分子の 2 次構造 (Conformation) と密接に関連している。もし、このような吸着が実現すると、その吸着状態に応じて結晶成長カイネティクスへの効果も変化するはずであり、成長速度の時間的な変動 (自励振動) が生じると予測される。本宇宙実験では、対流などの擾乱を完全に排除できる微小重力空間において実験を実施することで、このような自励振動成長を観察することが重要になる。

宇宙実験では、0.2 – 0.7 K の過冷却度の範囲で氷ベール面からの干渉縞の取得に成功し、そのいずれでも結晶成長速度が成長時間に対して大きく周期的に変動することを見出した。すなわち、氷結晶の自励振動成長の検出に初めて成功した。

本成果は、不凍糖タンパク質分子の機能発現機構の解明に向けた基礎的な情報を提供するだけでなく、広く結晶内部にしばしば観察されるストリーション (縞縞模様) の生成とも密接に関連するものである。また、極めて非線形性の強い現象であり、今後新たな結晶成長に関する数理モデルの開発など、結晶成長や氷物理学の範囲を越えて多くの研究分野への展開が期待される。

参考文献

- 1) 古川 義純, Salvador Zepeda, 宇田 幸弘, 日本物理学会誌, 65 (2010) 98 – 103.
- 2) Salvador Zepeda, et al., Crystal Growth & Design, 8 (2008) 3666 – 3672.
- 3) Yukihiro Uda, et al., Journal of Physical Chemistry, B111 (2007) 14335 – 14361.

氷プリズム面上で 2 種類の擬似液体層は生成するのか？

麻川 明俊¹、佐崎 元^{1,2}、村田 憲一郎¹、長嶋 剣¹、中坪 俊一³、古川 義純¹

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するため、その相転移は地球の寒冷圏で起こる様々な現象を支配する。その相転移の中で、擬似液体層の生成はこれまで特に注目されてきた。

擬似液体層とは、融点よりも低い温度で結晶表面に生成する液体のことを指す。擬似液体層の存在は雷の発生、復水、凍上などの自然現象に加えて、食品の保存やスケートがなぜ滑るかなど身近な生活にも大きな影響を与えると考えられているため、擬似液体層の生成過程を分子レベルで理解することは極めて重要である。

擬似液体層の存在は、1842年にマイケルファラデーによって初めて提案された。それ以来今日まで、様々な方法で擬似液体層の存在が確認されてきた。しかし、ごく最近、佐崎らによって擬似液体層を直接可視化することがようやく可能となった。佐崎らは一分子高さを検出可能な高分解能光学顕微鏡の開発に成功し、氷六角底面上(ベーサル面上)では形態が異なる(層状と液滴状)2種類の擬似液体層が生成することを発見した[1]。一方、氷結晶を形成するもう一つの重要なファセット面である氷六角側面上(プリズム面上)では、融点直下ではサーマルラフニングにより氷結晶の外形が巨視的に丸みを帯びるため[2]、擬似液体層は未だに直接可視化されていない。

しかし、これまでの多くの計測では、プリズム面とベーサル面で結晶面の性質が大きく異なることが報告されている。例えば、プリズム面上で生成する擬似液体層はベーサル面上で生成する擬似液体層に比べてより低温で現れる[3]。また、サーマルラフニングはベーサル面では起こらずプリズム面でのみ起こる[2]。そのため、擬似液体層を理解するためには、ベーサル面とは大きく性質の異なるプリズム面上での擬似液体層の生成を直接可視化することが必須である。

そこで、本研究では高分解能光学顕微鏡を用いて、融点直下の氷プリズム面の表面状態を直接観察することに挑んだ。サーマルラフニングによる氷結晶の外形変化は巨視的な変化であるのに対し、擬似液体層は数10ナノメートル程度の厚さであるため、擬似液体層の生成過程はサーマルラフニングによる外形変化に比べて速いと予測される。そのため、氷結晶の温度を融点極近傍まで一気に上げることにより、ラフニング温度以上の

氷プリズム面上の擬似液体層を可視化することができるとの発想のもと、氷プリズム面上の擬似液体層の生成を調べた。

実験

図 1 に観察用チャンバーの模式図を示した。密閉した観察用チャンバー内で、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は、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_{sample} , T_{source})を別個に調節すると、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 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ を制御することができる。このように観察用氷にかかる駆動力を自由に制御することができる観察用チャンバーを用い、種々の成長温度 T_{sample} 及び過飽和度 σ ((観察用チャンバー内の水蒸気圧と固-気平衡水蒸気圧の差) / (固-気平衡水蒸気圧))での氷プリズム面上をレーザー共焦点微分干渉顕微鏡観察(LCM-DIM)した。

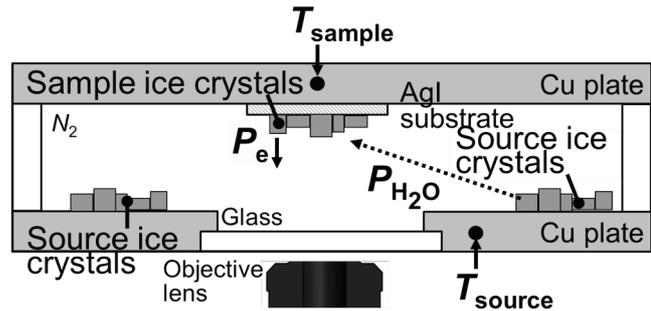


図 1 観察用チャンバーの模式図。

結果と考察

図 2 は種々の成長条件での氷プリズム面上の表面モルフォロジーを示している。(A)は $T_{\text{sample}} = -3.0^\circ\text{C}$ で観察した氷プリズム面(氷六角側面)の全体像を示している。白矢印頭は単位ステップを指している。単位ステップは黒矢印頭から同心円状に繰り返し現れ、白矢印に沿って前進した。この結果は、この成長条件下ではプリズム面はステップ-テラス-キंक構造を示している。そのため、この成長条件下ではプリズム面は分子レベルで平坦であることがわかった。

一方、この様相は、成長温度を -2°C 近傍まで上げると一変した。(B)は $T_{\text{sample}} = -2.4^\circ\text{C}$ の時のプリズム面の様子を示している。氷プリズム面が徐々に丸みを帯びるため、単位ステップはもはや観察されなかった。この結果は、氷結晶のプリズム面がおおよそ -2°C の温度ではサーマルラフニングするという Elbaum らの報告とよく一致する[2]。

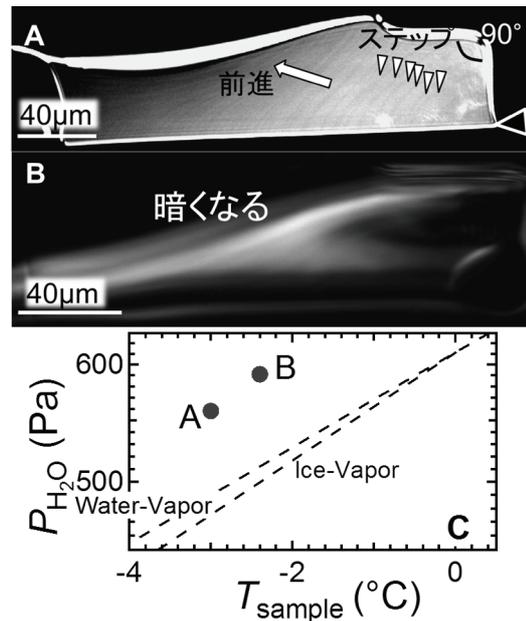


図 2 氷プリズム面の表面モルフォロジー。(A) : 平坦なプリズム面 ($T_{\text{sample}} = -3.0^\circ\text{C}$, $\sigma = 18\%$)。 (B) : ラフなプリズム面 ($T_{\text{sample}} = -2.4^\circ\text{C}$, $\sigma = 18\%$)。 (C) : (A) と (B) の氷結晶の成長条件。

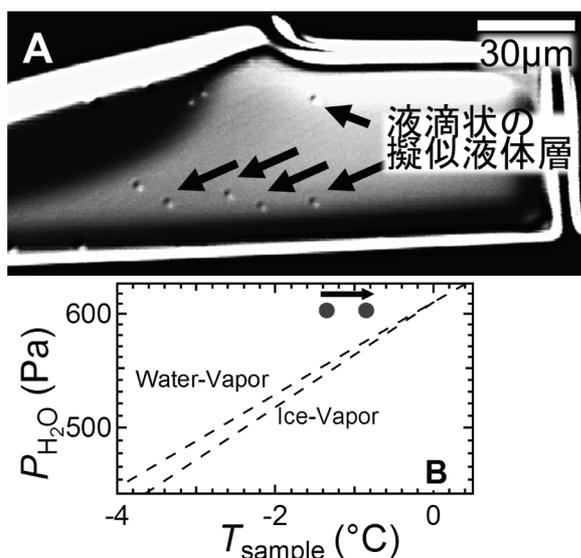


図 3 ラフなプリズム面上で現れる液滴状擬似液体層。(A)：液滴状擬似液体層 ($T_{\text{sample}} = -0.9$ °C, $\sigma = 6\%$)。 (B)：(A) の成長条件。

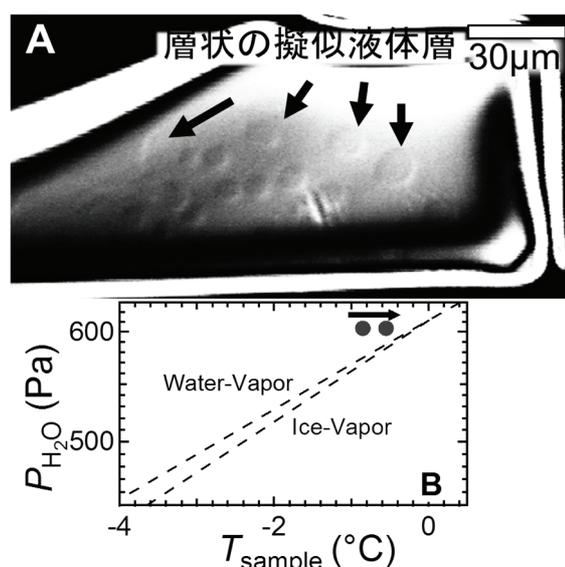


図 4 ラフなプリズム面上で現れる層状擬似液体層。(A)：層状擬似液体層 ($T_{\text{sample}} = -0.6$ °C, $\sigma = 3\%$)。 (B)：(A) の成長条件。

また、図 2 は同時にラフニング温度以下では擬似液体層は生成しないということを示している。これまでの計測では、擬似液体層を直接観察することができなかったため、我々の研究で初めて $T_{\text{sample}} = -2.4$ °C 以下のプリズム面上に擬似液体層が存在しないということを確認することができた。

本研究では、結晶表面が完全に丸みを帯びる前に、過飽和下で観察用氷の温度を融点直下まで一気に上げ、 -2.4 °C 以上の氷プリズム面上を観察した。

その結果を図 3 及び図 4 に示す。成長温度を -1.4 °C から -0.9 °C に上げると、プリズム面上では、サーマルラフニングが進行しながら、直径およそ $3 \mu\text{m}$ の液滴状の物体が不均一に生成した(図 3)。液滴状の物体はプリズム面上を動き回るため、これらは固相ではなく液相、すなわち擬似液体層であることがわかる。更に、成長温度を -0.9 °C から -0.6 °C に上げると、プリズム面上では液滴状の擬似液体層と結晶のへり上から層状のものが生成した(図 4)。層状の物体は液滴状の擬似液体層の場合と同様に、顕著な流動性を示すことにより、固相ではなく、擬似液体層であることがわかる。この層状の擬似液体層はラフなプリズム面上を不均一に動き回った。そしてプリズム面を長時間この成長条件で静置させると、最終的にプリズム面は層状の擬似液体層で完全に覆われた。このように、本研究はベーサル面と同様、プリズム面上でも液滴状と層状の形状を示す 2 種類の擬似液体層が生成することを初めて見出した。

それでは、次にプリズム面上の 2 種類の擬似液体層はベーサル面上の擬似液体層の生成に比べてどのような違いがあるのであろうか？を議論するために、プリズム面上とベーサル面上の表面状態について比較してみようと思う。

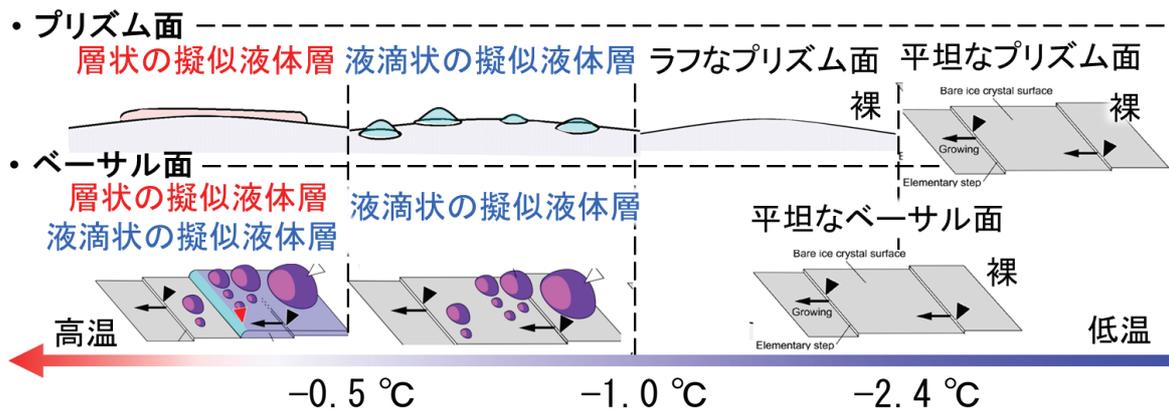


図 5 氷プリズム面上と氷ベーサル面上での表面状態。

図 5 は本研究で明らかにしたプリズム面上の擬似液体層の生成条件と我々が以前明らかにしたベーサル面上の擬似液体層の生成条件[1]をまとめたものである。 -2.4°C 以下の温度では、氷結晶表面には擬似液体層は現れず、ベーサル面とプリズム面共にファセットを形成していた。成長温度が -2.4°C 以上になると、ベーサル面は依然とファセットを保っているが、プリズム面はラフニング転移を起こした。この結果はこれまで多くの研究が報告したように[2]、プリズム面の方がベーサル面に比べて結晶面として不安定であることを示している。一方、擬似液体層はプリズム面の方がベーサル面に比べてより低温で現れると多くの研究が報告しているにもかかわらず、本研究の実験下では氷プリズム面上とベーサル面上で生成する層状と液滴状の擬似液体層はそれぞれ同じような温度領域で現れた。この結果は、我々の観察がサーマルラフニングの過渡過程で行われたことにより、擬似液体層の生成過程を、平衡論を用いて、議論できないことに起因しているかもしれないが、その真の理由は今のところ明らかになっていない。

しかしながら、結晶表面の性質が大きく異なるプリズム面とベーサル面で共に 2 種類の擬似液体層が現れたということは、氷の表面融解において 2 種類の擬似液体層の存在が本質的に重要や寄与を果たすことを示す。今後、形態の異なる擬似液体層の存在の普遍性を明らかにするために、様々な材料での擬似液体層の生成過程を直接観察する必要があると考えられる。

まとめ

本研究では、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡(LCM-DIM)を用い、氷プリズム面上での擬似液体層の生成について調べた。その結果、我々は氷ベーサル面上と同様に氷プリズム面上でも層状と液滴状の擬似液体層が生成するということを初めて見出した。このように、結晶表面の性質が大きく異なるプリズム面とベーサル面で共に 2 種類の擬似液体層が現れたということは、氷の表面融解において 2 種類の擬似液体層の存在が本質的に重要な寄与を果たすことを示している。

参考文献

- [1] Sazaki, G.; Zepeda, S.; Nakatsubo, S.; Yokomine, M.; Furukawa, Y., Quasi-liquid layers on ice crystal surfaces are made up of two different phases. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States. Am.* **2012**, 109, (4), 1052-1055.
- [2] Elbaum, M., Roughening transition observed on the prism facet of ice. *Phys. Rev. Lett.* **1991**, 67, (21), 2982-2985.
- [3] Furukawa, Y. ; Yamamoto, M.; Kuroda, M., Ellipsometric study of the transition layer on the surface of an ice crystal. *J.Cryst. Growth.* **1987**, 82, 665-677.

氷河上での GPS 連続運用による流動速度測定

津滝 俊^{1,2}、杉山 慎¹、中坪 俊一³、新堀 邦夫³、千貝 健⁴、森 章一⁴

1. 雪氷新領域部門氷河氷床分野
2. 国立極地研究所北極観測センター
3. 技術部装置開発室
4. 技術部先端技術支援室

はじめに

末端が湖や海に流れ込むカービング氷河は、通常の氷河と比べて急激に変動する。たとえばグリーンランドや南極氷床沿岸では、カービング氷河が急速に後退し、氷床の質量変化に大きく影響を及ぼしている。近年の人工衛星画像解析技術の目覚ましい進歩により、カービング氷河の急速な後退は氷河流動の加速と密接に関係していることが明らかになってきた。しかしながら、現地観測の困難さから、カービング氷河の流動加速のメカニズムについては理解が進んでいない。

我々はこれまでに、カービング氷河の流動機構の解明を目的として、スイスアルプス、南米パタゴニア氷原、南極、グリーンランドの氷河において GPS を用いた流動観測を実施してきた (Sugiyama et al., 2011; Tsutaki et al., 2013)。GPS を連続運用して流動速度を測定することで、カービング氷河の流動機構の解明に成果を挙げている。本稿では、氷河上で長期間自動運転することを目的とした GPS 観測システムの紹介、2013 年夏に実施したグリーンランド氷河観測の成果を報告する。

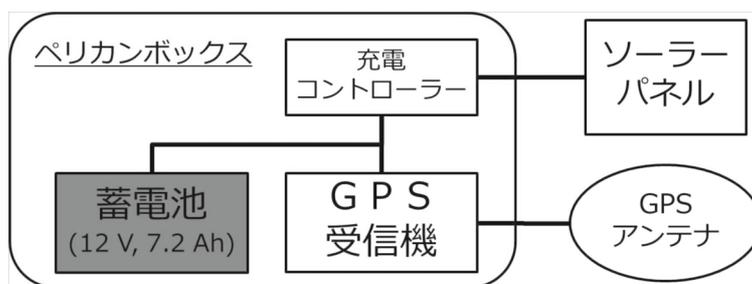


図 1 GPS 連続運用システム概念図。

GPS 連続運用システムによる流動速度の測定

図 1 に GPS 連続運用システムの模式図を示す。GPS を長期間連続で自動運転するために、蓄電池 (12 V、7.2 Ah) とソーラーパネル (20 W) を組み合わせた電源ユニットを使用している (杉山ら 2010)。蓄電池、ソーラーパネル、GPS 受信機の間には充電コントローラー (モーニングスター社製 SS-10L-12V) を設置し、ソーラーパネルからの充電を制御している。図 2a に氷河上での設置風景を示す。GPS 受信機、蓄電池、充電コントローラーはペリカンボックス内に収納される (図 2b)。ペリカンボックスの防水

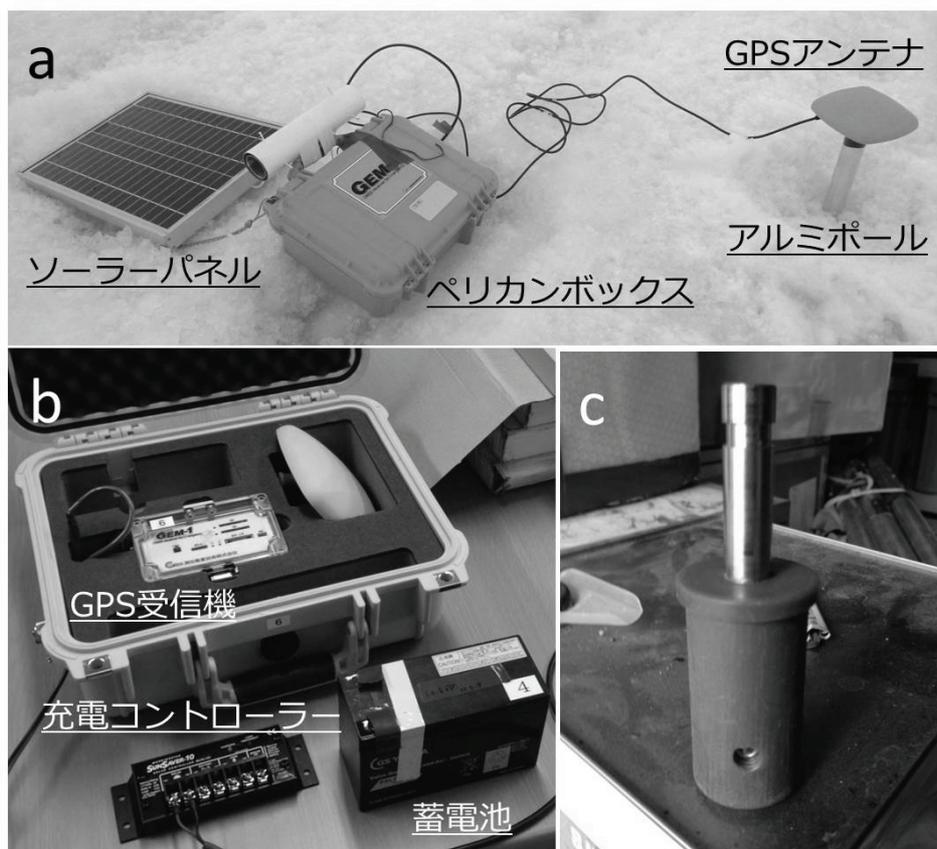


図 2 (a) グリーンランドのカービング氷河上に設置した GPS 運用システム。GPS アンテナとソーラーパネルのケーブルはペリカンボックス側面のアタッチメントに接続する。氷に埋設しているアルミポールの長さは 2 m。(b) ペリカンボックス内部。GPS 受信機、充電コントローラー、蓄電池を収納する。(c) アンテナとアルミポールを接続するアタッチメント。

効果は高いため、雨雪にさらされる氷河上に設置しても浸水することなく運用が可能である。GPS アンテナは、氷河上に埋設した長さ 2 m のアルミポールの先端にアタッチメントを使用して固定する（図 2c）。直流電源を GPS 受信機に導くためのアダプター、アンテナを固定するためのアタッチメント等、本システムで使用している様々な部品を技術部にて製作している。我々は 2 種類の GPS（Leica System 1200、測位衛星技術株式会社 GEM-1）を使用しているが、両者とも同じ運用システムを使用している。

GPS 衛星からのデータは、受信機にセットした SD カードに 1 秒間隔で記録される。1 秒間隔で記録した場合、16 GB のメモリを使用することで約 200 日間の記録が可能である。氷河外の岩盤上でも同時期にデータを取得し、基準点として処理することで 5 mm 程度の誤差でポールの位置と標高を測定できる。GPS データ処理ソフト（RTKLIB）を使用して 15 分間隔でポールの位置座標を求め、ガウシアンフィルターで平滑化して水平、鉛直方向の流動速度を求めた。

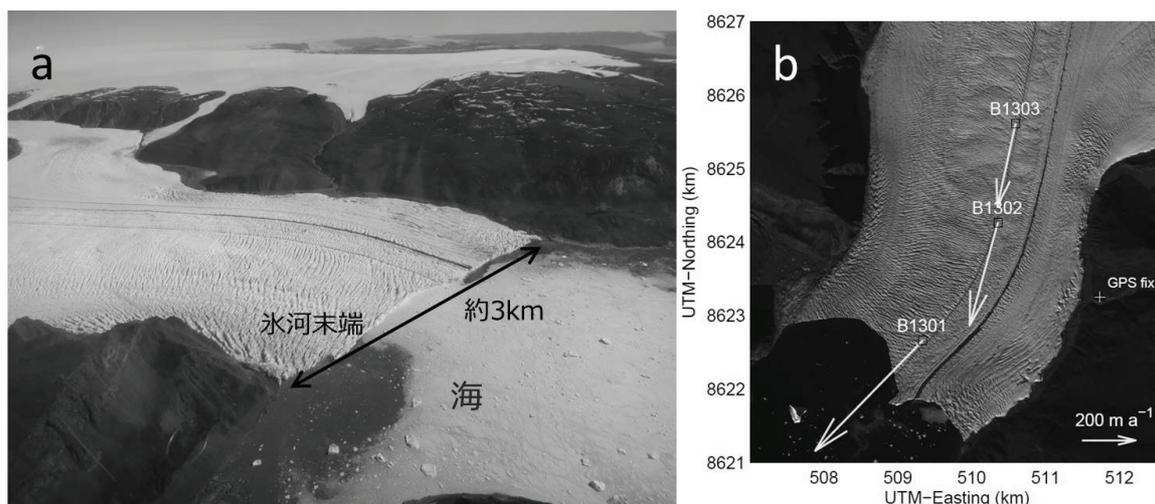


図 3 (a) ボードイン氷河末端付近の空撮画像。(b) 流動速度測定点。矢印は 2013 年 7 月 6 – 21 日の流動ベクトル。気温、降水量は GPS 基準局 (GPS fix) 付近に設置した自動気象ステーションで観測した。

グリーンランド・ボードイン氷河での流動観測

ボードイン氷河はグリーンランド北西部に位置する、長さ約 10 km、幅約 3 km のカービング氷河である (図 3a)。本研究では氷河末端から約 0.5–4 km を観測地とし、2013 年 7 月 5 日から 26 日にかけて GPS による流動測定を 3 地点で行った。また同時期に氷河左岸で GPS 基準局を設置し、その付近で気象観測も行った (図 3b)。ボードイン氷河から約 130 km 離れたチューレ空港にて測定された潮汐データも解析に利用した。

GPS 連続測定による短期氷河流動速度変化

観測期間中における氷河表面の平均流動ベクトルを図 3b に示す。流動速度は氷河末端に近づくにつれ増加し、B1301 では年間 500 m 以上の速度で流動していた。次に B1301–B1303 における流動速度、気温、降水量、潮汐の変化を図 4 に示す。期間を通して氷河末端に近い B1301 が最も速く流動しているが、流動速度変化は B1301–B1303 でよく似ている。流動速度は干潮時にあわせて 1 日に 2 回のピークを伴って変化をしていた。反対に満潮時には、流動速度は最少となっていた。両者の一致は特に B1301 で顕著であり、氷河末端付近の流動は潮汐の影響を強く受けていることを示している。7 月 13 日には激しい降雨イベントと重なって著しい流動加速が観測された。また 7 月 18–20 日も気温の上昇に伴って流動速度が増加していた。降雨や気温の上昇に伴う流動加速は全観測点で見られることから、これらの気象要素は氷河全体の流動に影響を及ぼすと考えられる。降雨や気温上昇時には多くの融解水が氷河底面に流入し、氷河底面と基盤との間で潤滑剤としての役割を果たすことで、一時的に氷河流動が加速することが知られている (e.g. Iken and Bindshadler, 1986)。ボードイン氷河でも同様のメカニズムで流動速度が増加したと考えられる。このようなカービング氷河特有の流動現象は、非常に

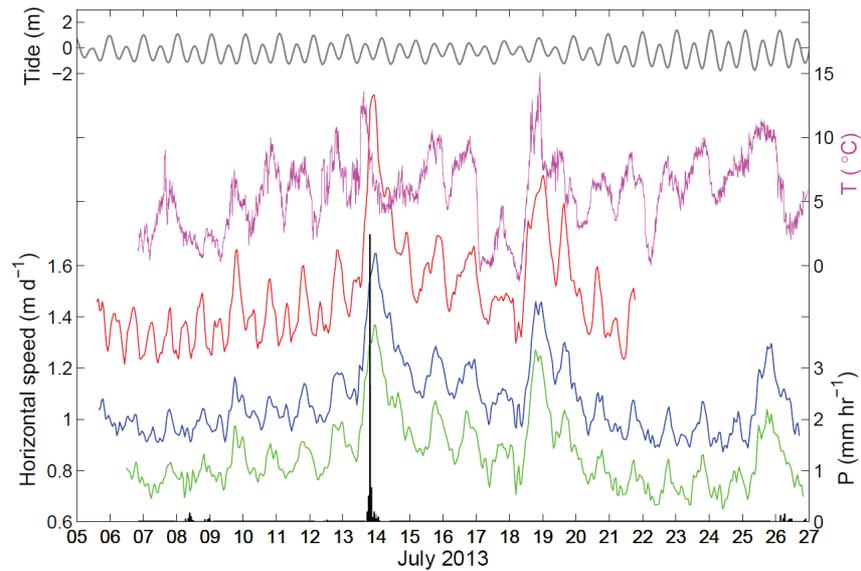


図 4 B1301 (赤)、B1302 (青)、B1303 (緑) で観測された 2013 年 7 月 5 日から 7 月 26 日の流動速度変化。同時期に観測された潮汐 (灰色)、気温 (桃色)、降水量 (黒) をそれぞれ示す。

短時間かつ高精度で流動速度を観測したことで得られた成果であり、人工衛星画像解析では得られない。また本研究の成果は、氷河流動の観測例が少ないグリーンランドにおいて、カービング氷河の流動特性の理解に大きく貢献すると考えている。

謝辞

ボードイン氷河での観測は、北大環境科学院・澤柿教伸氏、北大大学院生・榊原大貴氏、丸山未妃呂氏、斉藤潤氏、片山直紀氏の協力を受け、GRENE 北極気候変動研究事業の一環として行われた。

参考文献

- Iken, A. and R. A. Bindschadler, 1986. Combined measurements of subglacial water pressure and surface velocity of Findelengletscher, Switzerland: conclusions about drainage system and sliding mechanism. *Journal of Glaciology.*, **32**(110), 28–47.
- 杉山 慎、刀根 賢太、新堀 邦夫、高塚 徹「パタゴニア・ペリートモレノ氷河での熱水掘削と GPS 連続測定」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、**16**、2010 年 12 月。
- Sugiyama, S., P. Skvarca, N. Naito, H. Enomoto, S. Tsutaki, K. Tone, S. Marinsek and M. Aniya, 2011. Ice speed of a calving glacier modulated by small fluctuations in basal water pressure. *Nature Geoscience*, **4**, 597–600.
- Tsutaki, S., S. Sugiyama, D. Nishimura and M. Funk, 2013. Acceleration and flotation of a glacier terminus during formation of a proglacial lake in Rhonegletscher, Switzerland. *Journal of Glaciology.*, **59** (215), 559–570.

ナノ粒子凝縮過程の赤外スペクトル“その場”測定法の開発

石塚 紳之介^{1,2}、木村 勇氣²、渡部 直樹^{3,4}、日高 宏²、香内 晃²

1. 東北大学大学院理学研究科
2. 雪氷新領域部門宇宙雪氷学分野
3. 共同研究推進部
4. 雪氷新領域部門宇宙物質科学分野

調整した雰囲気ガス中で実験物質を加熱蒸発させると、対流による蒸気の冷却に伴い材料分子が重合し、ナノ粒子が形成する（ガス中蒸発法）。気相から形成するナノ粒子の粒径や結晶構造、形態の制御は、応用の広さから工学分野において幅広く研究されている。またガス中蒸発法は、星周環境で宇宙ダストが高温ガスから凝縮する過程の相似形であり、宇宙空間での物質進化解明の足掛かりとなる。

ガスからナノ粒子が形成するには、表面を形成するためのエネルギー障壁を越えなければならない。そのため、エネルギー的に有利なプロセスを経て、オングストロームからナノサイズの“核”を生成し、そこから一気に成長する。これまでに、気相からの核生成を経たナノ粒子の成長過程を直接調べた研究はほとんどない。

そこで、ガス中蒸発法にフーリエ変換型分光光度計（FT-IR）を組み合わせ、気相からの均一核形成過程を赤外スペクトル“その場”測定する実験手法（Free flying In-situ infrared measurement of Nucleating nanoparticle Experimental system ; FINE 法）を開発した [1]。生成物の透過型電子顕微鏡（TEM）観察と合わせ、核生成とその後の成長について議論することができる。

今後、溶接ペローズでビューポートをチャンバーに接続し、光学系とチャンバーが連動する機構を取り入れる（図 1）。ナノ粒子形成過程の赤外スペクトルの変化を連続的に測定できるようになり、(1)ガス中で分子が重合し核生成に至るまでのプロセス、(2)核生成したナノ粒子が冷却される過程での成長プロセスの解明が期待される。

参考文献 [1] Ishizuka et al.,2014, Astrophysical Journal, submitted.

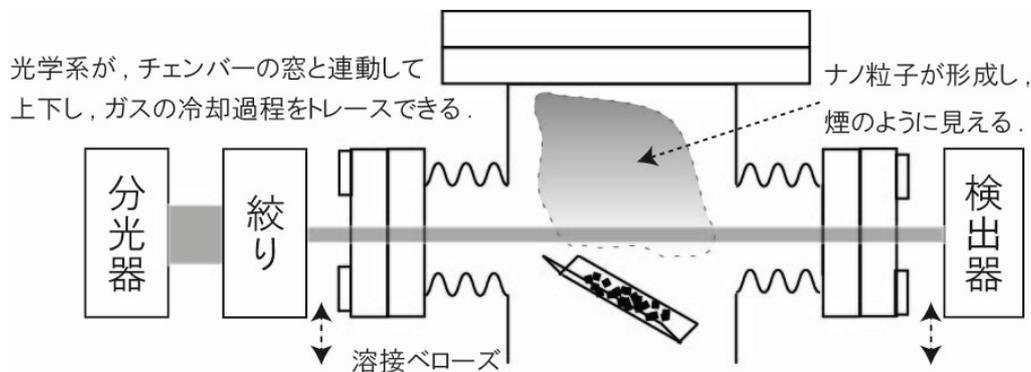


図 1 実験装置模式図。加熱蒸発させた実験物質と雰囲気ガスの混合ガスが冷却する過程で、ナノ粒子が生成する。

ロシア船・東カムチャツカ海流域観測におけるサポート体制

西岡 純¹、小野 数也²

1. 環オホーツク観測研究センター
2. 技術部先端技術支援室

はじめに

西部北太平洋の海洋循環と物質循環を明らかにするために、2014年6-7月にかけて、ロシア極東海洋気象学研究所所属研究調査船マルタノフスキー号（図1）による千島海峡周辺海域およびカムチャツカ半島東方海域の観測を実施した。2011年の夏季以来のロシア船航海となったが、今回の航海においても技術部の多大なサポートを得て観測を実施することが出来た。マルタノフスキー号の使用は初めてであり、技術部のサポートは船の艤装から観測・分析に至る。

マルタノフスキー号航海の概要

2014年のマルタノフスキー号航海では、北太平洋の海洋循環と物質循環に多大な影響を与える東カムチャツカ海流上流域と千島海峡における混合過程に着目した観測を実施した。観測点と航海の航跡を図2に示す。特にベーリング海からカムチャツカ海峡を通じて太平洋側に流出する水塊の物理的・化学的な特徴を捉えること、また、千島海峡付近においてオホーツク海から流出する水との混合に焦点を当てて、乱流計、LADCP^{*1}、などを利用した物理観測および、光環境、植物プランクトン動態、栄養物質、溶存有機物などの生物地球化学的な観測を実施した。さらに、古海洋の情報として、太平洋深層水の形成の可能性を明らかにするためのピストンコアサンプリングも実施した。



図1 マルタノフスキー号。

*1 Lowered Acoustic Doppler Current Profiler：吊下式音響式流向流速計。

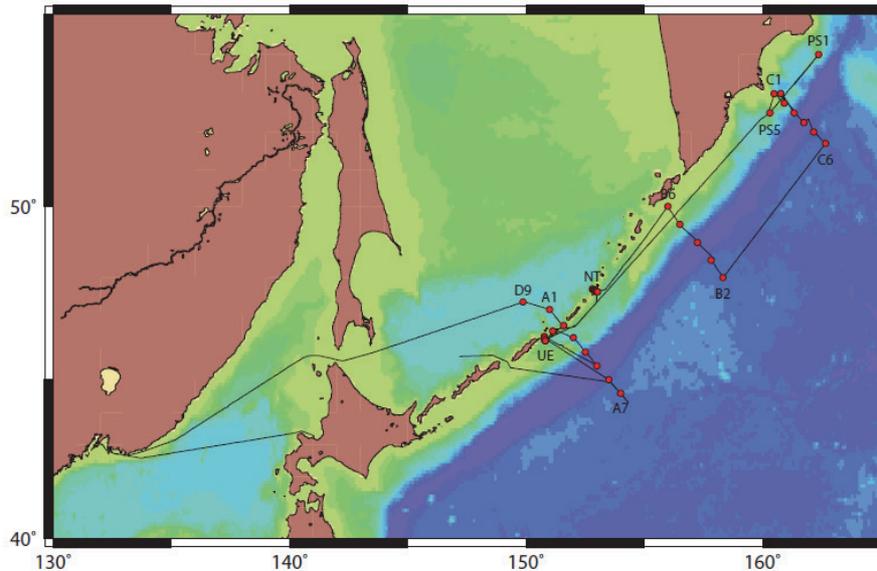


図2 2014年ロシア船マルタノフスキー号航海、観測点および航跡。

技術部によるサポート体制

マルタノフスキー号の艦装

本観測でも海水中の微量栄養物質である鉄分を分析するために、過去のロシア船航海で技術部装置開発室が作成したクリーンテントおよびCTD*2 架台を使用した。また実験室内にクリーンルームを作成した。マルタノフスキー号にはCTDを吊るすためのアーマードケーブルを捌くウインチシフターが鋼鉄製のままのため、備えの装備そのものでは使用する事が出来なかった。このため、マルタノフスキー号が小樽に入港している間に、鋼鉄製のシフターローラーにステンレス板を巻き付け溶接する加工を技術部装置開発室にお願いした。加工したシフターは航海中順調に稼働し、十分にクリーンなデータが得られていることが確認された（図3）。

船内ネットワークおよび観測船用インターネットカメラの設置

マルタノフスキー号の船内の通信設備にはネットワーク等のインフラは備わっていない。観測を実施する上で、船の位置、観測実施状況などを船内のあらゆるエリアで確認出来ることが必要となる。そこで、船内ネットワークを作成した。専用のサーバーと各居室、CTDオペレーションルームをネットワークで繋ぎ、観測を監視できる体制を構築した。観測機器のオペレーションをする研究室で、機器を投入する甲板上とのコミュニケーションと視覚情報を確保する必要がある。本航海では、船内の機器オペレーション室と観測甲板をインターネットカメラで繋ぎ、監視できる体制を構築した。実際に、荒天時はCTDを格納しているテントにアクセス不可能であり、その際に内部の状況を把握する為に大変役に立った。詳しくは小野（2014）を参照のこと。

*2 Conductivity, Temperature, Depth profiler：電気伝導度、水温、塩分計。

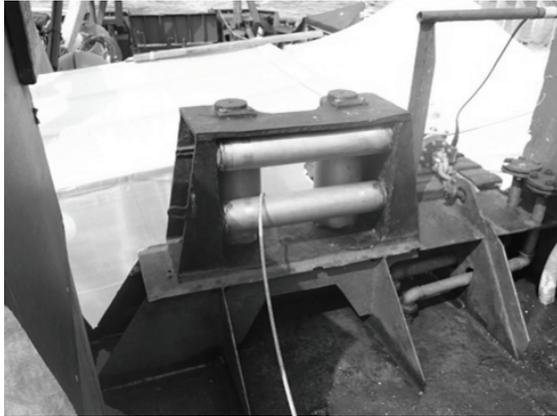


図 3 加工したシフター(CTD アー
マードケーブル用)。



図 4 技術部で大幅な改造を実施した
LADCP フレーム。

陸上との通信網としてのイリジウム関連機器の設置

2010 年のロシア船観測航海までは陸上との通信手段としてポータブルイリジウム電話を持ち込んでいた。2011 年より陸上との通信にイリジウムオープンポートを導入し始めた(小野)。本年の航海では 2011 年に引き続きイリジウム通信システム一式を導入・設置し、船上で研究者各自が Eメールを使用できるようにインフラ整備を整えた。

LADCP & CTD フレームの改造

本航海における観測の一つとして、LADCP 5 台を海中に投入し、乱流混合を観測する装置が使われた。この LADCP と SeaBird 社製 CTD および海底高度計(アルチメータ)を同時に降ろして観測できるようにするため、すべての機器を装着して海中に投入できるフレームの製作を技術部に依頼した。実際は 2011 年に技術部装置開発室が製作したフレームの大幅に改造した(図 4)。このフレームを使用する事で、海峡部において世界で初めての観測を実施することに成功した。

航海中の機器観測、機器分析におけるサポート

これまでロシア船に引き続いて CTD・乱流計のオペレーション、塩分、溶存酸素の基礎パラメータの測定、サンプリングなどに至る部分で技術部のサポートを得た。特に塩分分析計と溶存酸素測定用の滴定装置は、準備から分析計の設置・設定・分析精度の維持管理にいたるまで技術部が行った(図 5)。



図 5 CTD の投入作業。

おわりに（謝辞）

これまでの航海と同様に、本年の航海においても準備から観測に至るまで技術部のサポートのお陰ですべての観測が完了できました。特に本年は、航海直前にシフターの改造を間に合わせて頂き、また、LADCP フレームの製作においても出発間際にまで調整して頂いたお陰で、出港時には完ぺきな状態で準備が整いました。さらに船内ネットワーク構築、観測サポート等のお陰で、船内における研究環境は大変充実したものになり、良い観測に結びつきました。この書面を借りて航海をサポートしてくださった技術部の皆様にお礼申し上げます。

今後も 2015 年 3 月に海洋研究開発機構所属白鳳丸による研究航海が予定されており、それらの成功のためにも継続的にサポートをお願いする次第であります。

参考文献

小野 数也 2014 年ロシア船のサポート ～船内 LAN について～：低温科学研究所技術部技術報告、**20**、2014 年、34-38。

2014 年ロシア船観測のサポート ～船内 LAN について～

小野 数也

技術部先端技術支援室

はじめに

我々低温科学研究所技術部は、2006 年からオホーツク海の船舶観測のサポートを、乗船を含めて行ってきた（西岡ら 2007 など）。今回の調査船はロシア船マルタノフスキー号で、以前観測したクロモフ号の姉妹船である。今回も様々なサポートを行ったが（西岡と小野 2014 を参照）、本稿では構築した船内ネットワークを中心に紹介する。

ロシア船は船内ネットワークが全く整備されていないため、我々で一から構築・配線しないといけない。本観測では、過去の GPS を利用した NTP サーバ（小野ら 2009）、ネットワークカメラ（小野と藤田 2010、小野 2011）、衛星通信を利用したメール送受信システム（小野 2011）などを若干修正し、船内ネットワーク上に設置した。また、新たにネットワークプリンタ、ネットワーク HDDなどを導入し、さらにネットワークを強化した。なお、マルタノフスキー号の構造は、過去に行われたロシア船クロモフ号と全く同じため、スムーズに準備できた。

以前から導入しているサーバ類

過去に利用してきたサーバ類を以下のように更新した。なお、配置・配線については図 1 を参照の事。

NTP サーバ：今まで利用していたサーバでも問題なく運用出来ていたが、スペックに多少問題が出てきたため更新し（図 2 の中心にある黒い筐体）、筐体は非常に小さくなった。また、記憶領域を SATA から SSD にすることにより高速化し、さらに船の揺れにも強くなった。RS-232C ポートも 1 つから 2 つに増えたため、ログ取得は USB 経由から直接シリアルポートに変更し、安定した。ただし、信号分配器の方は依然 2 つポートを使わないといけないため、今後は 1 ポートで時刻合わせとログ取得の両方が可能なデーモン `gpsd` を使う予定である。

無線ルータ：居室からでもメールチェックなどの情報共有を可能にするため、1 階の廊下にハイパワーの無線ルータを配置した。しかし、3 階へは電波が繋がりにくい状態で、ほとんど使えなかった。観測終盤は頻繁にネットワークを使うため、その 3 階居室に直接ケーブルを這わせることになった。電波が届かない部屋のために中継機を導入しておけば良かったのかもしれない。また、IP が割り当てられなくなる事態も発生した。これは観測用や個人の PC 以外に、スマートフォンをネットワークにつないでいるユーザも多かったため、DHCP リースできる台数が足りなくなってしまったのかもしれない。実際 DHCP リースの台数を 64 台から増やした結果、無事 IP が割り当てられるようになった。

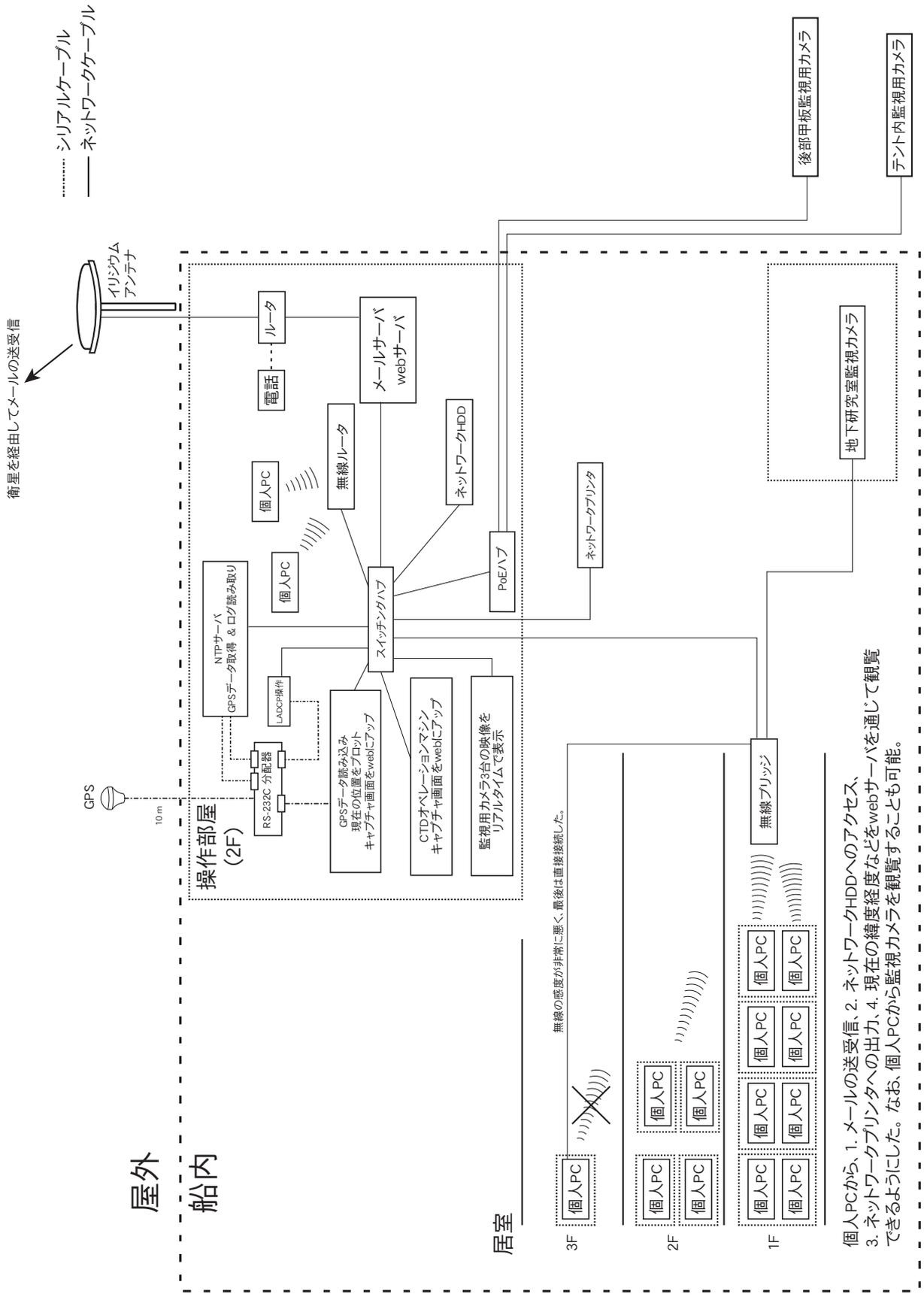


図 1 マルタノフスキー号のネットワーク構成。



図2 操作部屋のサーバ類。



図3 インターネットカメラを示したスクリーンショット。上部2つは船外、下部は船内を映したものの。

インターネットカメラ：船上観測（特に大きな船舶）では、観測している状況を視覚的にとらえることで、格段にオペレーションが楽になる。インターネットカメラはLAN を使って、ブラウザからリアルタイムで監視できる非常に有用なツールである。今回は特に重要な 3 カ所を操作部屋から見られるようにした。スクリーンショットを図 3 に示す。以前は船外に設置する電源確保に苦労したため、今回外部電源を必要としない PoE (Power over Ethernet) ハブを導入した。LAN ケーブル自体から電源を供給する事により、外に設置しているインターネットカメラは、電源場所に縛られる事無く容易に設置できた。

メールサーバ：ゴルディエンコ号（小野 2011）と同様のイリジウム衛星通信を利用したメールシステムを導入した。今回は 1 時間おきのメール送受信、ファイルサイズの上限も 50 kB にアップした。ユーザが増えた事でトラブルも多かったが、解決でき

ないような複雑なユーザトラブルは発生しなかった。2度ほど1日弱、地上と通信できなくなるトラブルが発生したが、ユーザからの報告により早めに復旧できた。実際、メールサーバの **network** デーモンもしくはイリジウムオープンポートのルータがハングアップしていると判断し、両者を再起動し復旧させた。一方、下船後に見た料金明細からわかった問題もあった。それは、開始直後から1パケット通信が約5分おきに発生していた事である。そのため、想定していた予算をオーバーしてしまった。原因を調べるために、通信会社に確認したが、全く監視しておらず、十分な回答は得られなかった。自前でパケット監視サーバを導入し、常に監視できる状態にしておくべきだった。また、1通 **50kB** 制限をかけていたが、内部やりとりのメールにも適応されてしまったため、添付ファイルのやりとりが十分できず、不便だった。今後は内部メールのサイズ制限をかけずに、外部に出ていくメールにだけ制限をかけるような設定にしたい。このメールシステムは細かいトラブルが多かったため、さらなる更新が必要である。現状では、このシステムの運用・管理には、ある程度の専門知識を持ったサーバ管理者等の乗船は欠かせない（他の衛星通信インマルサットと異なり、陸上からのアクセスには難がある）。

新たに導入したサーバなど

現在の位置を示す PC：船上での観測では、位置・船速を GPS の位置情報から手に入れそれを表示させる事がほとんどである。そこで GPS の NMEA データを使ってそれらを表示する事ができるフリーソフト (GPS-NMEA データモニタ) を導入した。観測点のプロット等は容易にできたが、速度の単位で **knot** が選択できないなど、使い勝手があまり良くなかったところもあった。いくつか別のアプリケーションをテストして、次回の導入に備えたい。

web サーバ、ftp サーバ：現在の位置、船速、観測測器の深度などを操作部屋からだけではなく、居室などから自由に観覧できるようになると、非常に便利である。これを実現させるため、メールサーバに **ftpd** と **httpd** を、オペレーション PC に画面をキャプチャするソフトと **ftp** クライアントソフトをインストールした。オペレーション PC で位置・船速情報などをキャプチャしたものを5分おきにサーバにアップロードするようにした。

ネットワーク HDD：メールの送信に **50 kB** 制限をかけていたため、大きいファイルのやり取りが出来なかった。そこで、ネットワーク共有 HDD を導入した。ちなみに船内のみでの情報共有だったため、パスワードを設定しなかったが、ウィルスに感染した PC があった場合はトラブルになったかもしれない。

ネットワークプリンタ：ほとんどのユーザが初期設定できず、私に対応した。USB メモリを直接挿入して、pdf データを直接印刷できるということもあり、ネットワーク経由で印刷しているユーザは半分程度だった。

おわりに

観測中の通信手段は、印刷したスケジュールを食堂と観測室に貼り出されるのを確認、トランシーバ、そしてメールでの伝達が主だった。他に内部の通信手段として、IP電話やPHSがあると便利かもしれない。

イリジウム通信は頻繁にパケットを送信するなど、いくつかトラブルに遭遇してしまっただが、完全に音信不通になってしまうという最悪の事態にはならず、安心している。また、通信費もそこまで高くないため、携帯電話の電波すらも入らない陸上での観測では、積極的に活用しても良いのではないかと考える。

今回、自前で作る船上のネットワーク構成としては、完成形に近づいたと思われる。同時に、全体として非常に大きなネットワーク、かつ多くのサーバ類（図2）で構成されてしまったため、運用自体が非常に厳しい状態になってきている。ネットワーク機器の設置・撤収は、数人に手伝ってもらえば可能だった。しかし、大きなトラブルがあった場合は、観測サポートを最優先にしているため、なかなかトラブルシューティングに取りかかれない。実際、運用・管理・監視は必要最低限しかできず、かなりいっぱいいっぱいの状況だった。大きなトラブルが少なかったことが救いだったが、もう少し大きいシステムになれば、ネットワーク専属の人員が必要になってくるかもしれない。

メールサーバの筐体は小型でRS-232Cポート、LANポートがそれぞれ2つずつついている。そのため、ストレージを交換して様々な用途にカスタマイズ可能なため、様々なサーバとして流用できる。2015年3月に航海が予定されているが、そこでこのカスタマイズさせたサーバを導入予定である。次回の技術報告で紹介したい。

参考文献

- 小野 数也、藤田 和之 2007年クロモフ航海～技術部がサポートした点～：低温科学研究所技術部技術報告、**13**、2008年、37-40。
- 小野 数也、千貝 健、福士 博樹 船上観測で使用するNTPサーバの構築：低温科学研究所技術部技術報告、**15**、2009年、31-36。
- 小野 数也、藤田 和之 2010年クロモフ号航海～2007年航海からの更新点～：低温科学研究所技術部技術報告、**16**、2010年、55-58。
- 小野 数也 2011年ロシア船観測のPCネットワーク：低温科学研究所技術部技術報告、**17**、2011年、11-14。
- 西岡 純、中塚 武、小野 数也 2006年西部オホーツク海航海（Kh06航海）の概要：低温科学研究所技術部技術報告、**12**、2007年、1-4。
- 西岡 純、小野 数也 ロシア船・東カムチャツカ海流域観測におけるサポート体制：低温科学研究所技術部技術報告、**20**、2014年、30-33。

低温研ウェブサーバアクセス解析 2013/10–2014/09

千貝 健^{1,2}

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 [2] と同様に、2013 年 10 月 1 日から 2014 年 9 月 30 日まで 12 ヶ月間のアクセス統計（表 1–9）とこれまでのアクセス推移（図 1）を示した。統計には、所内向け情報および各研究グループウェブサイトへのアクセス、低温研内部からのアクセスを含めていない。ただし、図 1 の「所内含む」には、上記除いたものを含んでいる。12 ヶ月間の全リクエスト件数（以下、リクエストと略す）は **3,704,264** 件、全ページリクエスト件数（以下、ページ数と略す）は **370,897** 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, 2]、その傾向は現在も続いている（図 1）。

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
- [2] 千貝 健, 低温研ウェブサーバアクセス解析 2012/10–2013/09, 北海道大学低温科学研究所 技術部技術報告, **19**, 45–48, 2013

表 1 月別レポート

年	月	リクエスト	ページ数
2013	10	287376	32312
	11	330808	32757
	12	256496	28481
2014	1	270101	28082
	2	243618	26767
	3	207323	29738
	4	583915	26434
	5	309524	33230
	6	319416	29936
	7	302915	35124
	8	329878	32225
	9	262894	35811

表 2 曜日別集計

曜日	リクエスト	ページ数
日	24068	3529
月	46427	5170
火	58845	4718
水	50769	4267
木	47579	4641
金	56326	4606
土	24671	3974

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

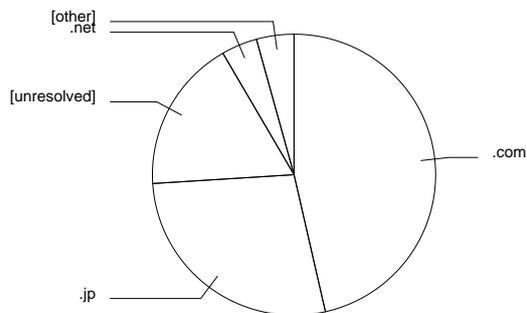
時間	リクエスト	ページ数	時間	リクエスト	ページ数
0時	6702	1236	12時	18387	1541
1時	4270	1053	13時	16241	1413
2時	3586	1020	14時	23376	1422
3時	3158	937	15時	24329	1423
4時	2860	1130	16時	21900	1492
5時	2961	934	17時	20222	1323
6時	3218	1164	18時	18853	1334
7時	4827	1015	19時	13723	1239
8時	7680	1198	20時	9930	1386
9時	15350	1437	21時	13048	1168
10時	22946	1936	22時	12150	1155
11時	28796	1815	23時	10166	1125

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
26617	14354	.com (商業組織)
181404	8517	.jp (日本)
70433	5447	[未解決 IP アドレス]
13374	1265	.net (ネットワーク)
696	386	.cn (中華人民共和国)
1624	231	[未知ドメイン名]
627	157	.de (ドイツ)
428	90	.fr (フランス)
513	60	.edu (米国高等教育機関)
322	55	.ru (ロシア連邦)
781	48	.org (非営利組織)
107	29	.br (ブラジル)
60	29	.us (アメリカ合衆国)
83	25	.cz (チェコ)
41	23	.tr (トルコ)
11572	186	[その他: 107 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。

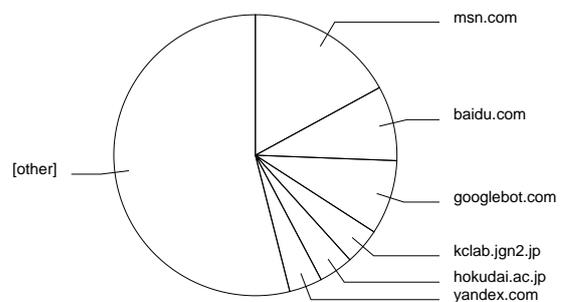


扇型の角度：ページ数

表5 組織別レポート

リクエスト	ページ数	組織
10827	5257	msn.com
2875	2660	baidu.com
4868	2649	googlebot.com
1482	1290	kclab.jgn2.jp
8778	1220	hokudai.ac.jp
1660	1167	yandex.com
1052	998	180.76
821	741	59
17435	660	ocn.ne.jp
1323	571	114
712	526	amazonaws.com
716	485	yahoo.net
606	484	208.115
790	481	em-net.ne.jp
582	470	wowrack.com
254153	11243	[その他: 6,994 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
85650	3847	http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/
7151	829	http://www.google.co.jp/
2309	556	http://search.yahoo.co.jp/
1057	491	https://www.google.co.jp/
298	276	http://www.hokudai.ac.jp/
611	181	http://shiro.lowtem.hokudai.ac.jp/
545	100	http://www.google.com/
137	63	http://www.bing.com/
88	36	https://www.google.com/
35	35	http://www.oia.hokudai.ac.jp/
32	28	http://www.wspack.kr/
17	15	http://www.cris.hokudai.ac.jp/
13	13	http://www.soken.ac.jp/
12	11	http://www.sci.hokudai.ac.jp/
10	10	http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/
1446	495	[その他: 1,427 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 リクエストレポート

リクエスト	html ファイル
7764	/
691	/soshiki.html
458	/en/
433	/meibo.html
358	/symposium.html
307	/access.html
285	/lts.html
273	/kyoudou.html
271	/topics/
247	/sitemap.html
240	/syochou.html
203	/press.html
181	/topics.html
180	/education.html
163	/prize.html
18848	[その他: 1,330 ファイル]

リクエスト件数は
1ヶ月あたりの値で示した。

表8 ブラウザ集計

リクエスト	ページ数	ブラウザ
21287	14914	Netscape (compatible)
41145	3712	Safari
123051	3611	MSIE
69593	1457	Mozilla
1481	1290	ICC-Crawler
32185	1190	Firefox
1117	865	HyperEstraier
736	733	Hatena Antenna
382	378	Wotbox
259	223	Yeti
17172	2368	[その他: 465 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9 OS レポート

リクエスト	ページ数	OS
33517	13365	未知 OS
13005	8220	ロボット
229524	6340	Windows
24375	2264	Macintosh
7989	554	Unix

リクエスト件数、ページ数は
1ヶ月あたりの値で示した。

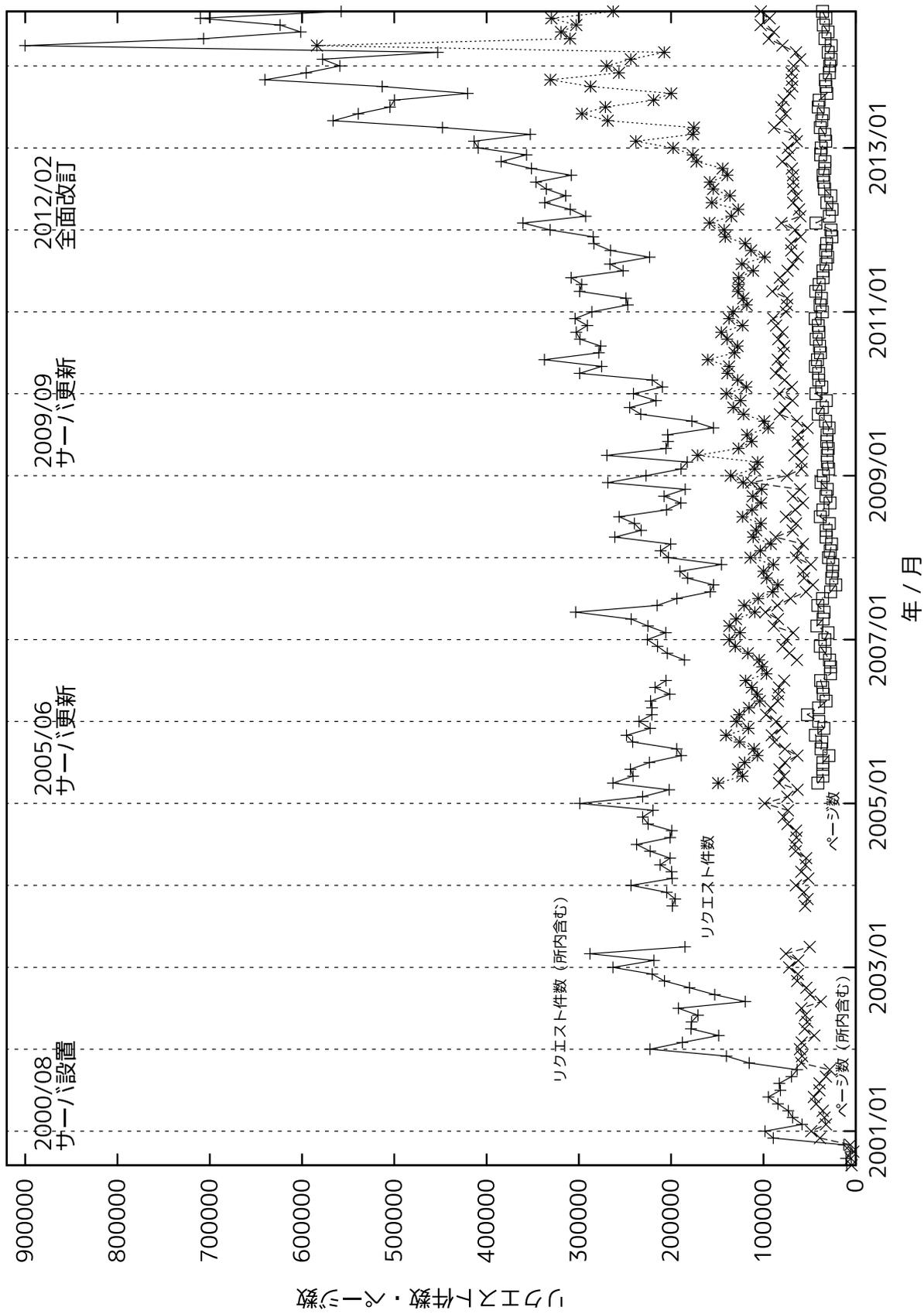


図1 これまでのリクエスト件数、ページ数。

編集後記

2014年12月、低温科学研究所技術部主催の技術発表会は、第20回目を迎えました。諸先輩がひとりふたりと退職し、第1回技術報告会（1992年10月）から参加している者は自分を含め3名になってしまいました。報告会を始めた当初は「私はこう言うことをやりました、こう言う物を作りました」という業務報告的な技術部の内輪だけの技術発表会でした。いつしか研究者・学生が加わり、今では我々技術職員が携わった技術支援の内容の発表、その技術支援が研究にどのような役割を果たしたかを研究者・学生に発表して頂く発表形式になりました。聴講者にも分かりやすく質疑応答も活発に行われるようになりました。このような発表形式が我々技術職員にとって新しい知識や高度な技術を取得しようとするきっかけになり、日頃から向上心を高めるよう努めています。

高塚 徹

私事ですが、低温研で働き始めて3年目を迎えました。思い返してみるとあっという間の2年間でしたが、周りの人たちにたくさん助けをもらいながら過ごしてきました。3年目となった今でも私ができることはまだ少ないです。それでも1つ1つ仕事をこなし、より低温研の研究活動をサポートできるよう努力していきたいと思えます。

最後になりましたが、本報告集を製作するにあたりご協力いただいた皆様、また投稿してくださった皆様、ありがとうございました。

齋藤 史明

第20回技術発表会ならびに技術報告書の発行にあたり、江淵所長をはじめ渡部技術部長、所内の皆様方のご協力とご指導を心から感謝申し上げます。

平成26年12月12日

平成26年12月12日発行
編集者：高塚 徹・齋藤 史明
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