

電気伝導度式氷厚計の開発

館山一孝, 白澤邦男, 石川正雄, 高塚徹, 大坊孝春 (北大低温研), 新井造成 (道工試), 鈴木克典, 榎本浩之, 小嶋真輔 (北見工大), 洞口克彦 (DATT ジャパン)

1. はじめに

海水の厚さは温暖化などの環境変動の指標としてだけでなく人間生活に深く関わる重要な情報であるが、現状の技術では自動連続観測は困難である。現在行われている海水の厚さ観測は、限られた場所および期間、または試験段階ではあるが、ドリルによる掘削、原子力潜水艦の音響ソナーや Ice Profiling Sonar による水面下の海水キール部の観測や、航空機や船舶に搭載したレーザー高度計による海氷マスト部 (氷高) の測定、及びレーザー距離計と電磁誘導を組み合わせた船舶による EMI (Electromagnetic Inductance) 法による氷厚観測が行われている。これらの手法は導入・運用コストが非常に高く、現段階では民間レベルでの利用やリアルタイムモニタリングという用途には用いられていない。

水と海水の電気伝導度の違いが大きく、電氣的に結氷を判断できることに着目し、北海道工業試験場と共同で安価な電気伝導度式氷厚測定装置を開発した。本研究はこの新型氷厚計を用いて北見工大と共同で行った低温室実験とサロマ湖湖氷上で行った現場実験の結果について報告する。

2. 測定方法

本研究で開発した氷厚計測システムは、測定精度を 1cm 程度の高精度、日変動を把握することができるために 1 時間に 1 回の自動計測が可能で、携帯電話を利用したリアルタイムモニタリングを行えるように設定した。

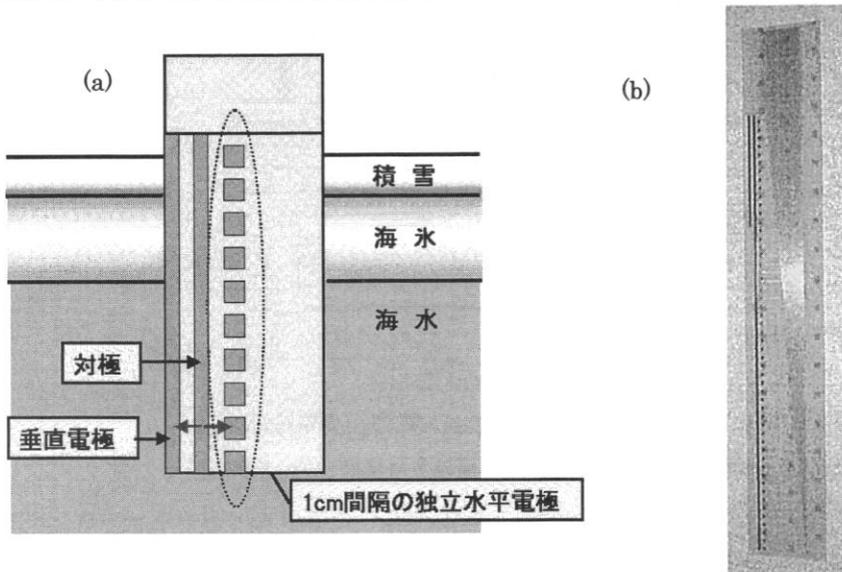


図 1 電気伝導度式氷厚センサーの(a)概念図と(b)実機の写真

電気伝導度式氷厚センサーは、センサーの電極間に電圧を印加し、物質のイオン濃度に対応した電流値を測定する電気伝導度法を用いている。これは海水が生成過程で電流が流れ難い純粋な氷の結晶部分と結晶の間に閉じこめられた濃い塩水の「ブライン」に分かれ、成長とともにブラインの体積が減少することを利用して、電流が流れやすい海水と流れにくい氷の判別および氷中のブラインの量を測定している。

センサーは全長 95cm で 79cm の電極部分と 16cm の配線部分から成っている。コンピュータ等の基板と同じ材質のガラスエポキシプリント基板に 15mm 間隔で 54 極の電極を配置した。電極部分はメッキ処理を施しているが、その他には特に防水防錆処理はしていない。

これらの電極からのデータを 1 時間毎に計測・記録し、RS232C 出力から携帯電話端末「Do-pa」を用いて e-mail で計測データを送信する手法を用いた。

3. 結果

(1) 低温室内実験結果

低温室では水槽の深さが浅いため、全長 10cm、電極間隔 1cm、全 10ch の短尺センサーを使用した。最上部の Ch.1 から最下部の Ch.10 まで順に氷に取り込まれていく様子が装置の出力電圧の変化となって表れるようにした。塩水は塩分濃度 32% の NaCl 水溶液を使用し、低温室の温度設定は -20℃ である。

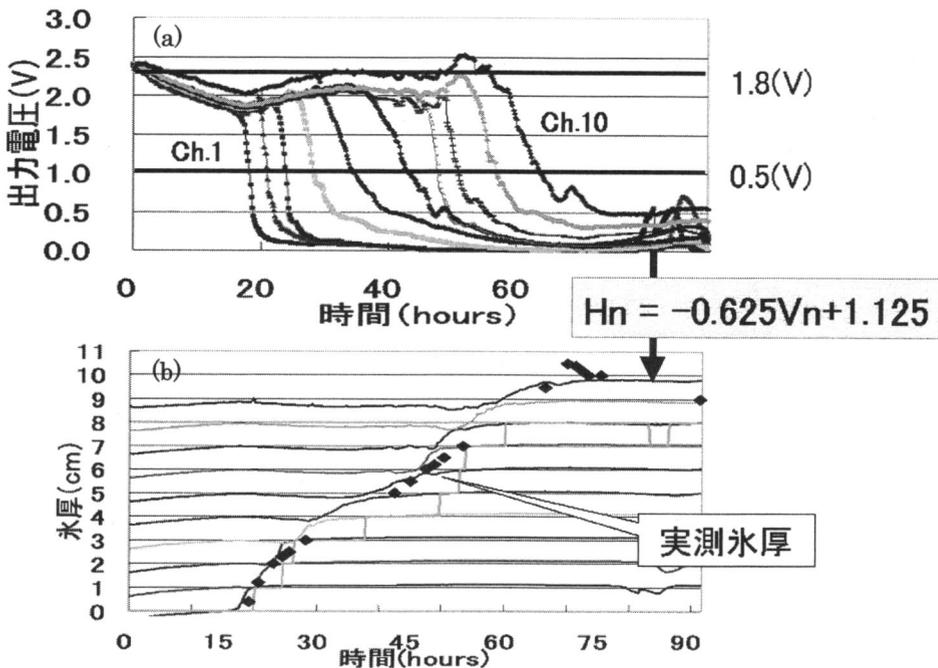


図 2 (a) 低温室の結氷実験から得られた海水成長に伴う出力電圧の変化。

(b) 式(1)によって出力電圧の変化を氷厚に換算した結果。

実験は氷厚が 10cm になるまで行い、センサーからの出力電圧のデータを記録し、一時間毎に氷厚を実測した。その結果を図 2(a)に示す。これらのデータから、結氷前の電圧を 1.8V、結氷後を 0.5V とそれぞれ閾値を設定し、氷厚と電圧の関係の式を求めた結果、次式が得られた。

$$H_n = -0.625V_n + 1.125 \quad (1)$$

ここで、 H_n は $Ch.n$ で検知した氷厚 ($\leq 1\text{cm}$)、 V_n は $Ch.n$ の電圧である。この式から図 2(2)で示すように出力電圧の変化を氷厚に換算することができた。

(2) サロマ湖実験結果

図 3 に示すサロマ湖柴浦付近の氷上に厚さ約 40cm の湖氷に 50cm 四方のプールを作成し、2003 年 2 月 7 日から 3 月 6 日までの約 4 週間、95cm 型の氷厚計センサーと制御・通信ユニットを設置した。プールには氷厚計の他に検証用として深さ 5cm おきにサーミスタ温度計を設置した。ch.14 を水面に合わせ、それよりも下は下方成長、上は上方成長を測定するように設置した。

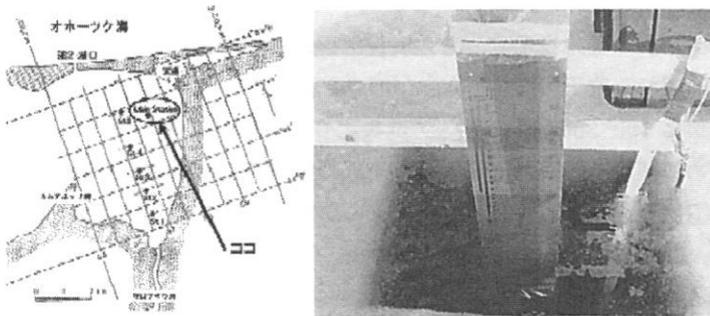


図 3 氷厚計設置位置とセンサーの設置風景

観測期間の気温は -15°C 以下、特に 2 月中旬から下旬にかけて -25°C にも達する寒い日が続いた。この時期は制御部分の装置が夜間になると低温のため毎回停止してしまった。降雪は少なかったが、氷上は遮蔽物が無いためドリフトによってプール上の積雪は 20cm 程度になっていた。

測定終了時には、海水側に 16.5cm の下方成長、地上側に 7.5cm の上方成長が見られ、計 24cm の厚さになっていた。積雪は 15cm で、海水表面から 6cm の高さまでは海水の染み上がりによる塩分を含んだ濡れ雪層が見られた。図 4 に下方成長部分 (ch.14 より下側) の測定結果を示す。2 月中旬から下旬にかけて夜間のデータが取れなかったため、欠測部分は前後のデータから補完してある。また、矢印で示している個所より以前は、ソーラーパネルの結線ミスでバッテリーが充電されず、電力が無くなってしまい 5 日間ほど停止してデータが欠測するトラブルがあった。

この実験では結氷の閾値は電気伝導度で 200mS/cm 以下という結果が得られ, ch.24 (深さ 16cm) までの結氷状態を確認でき, 実測 (16.5cm) と良い一致が見られた.

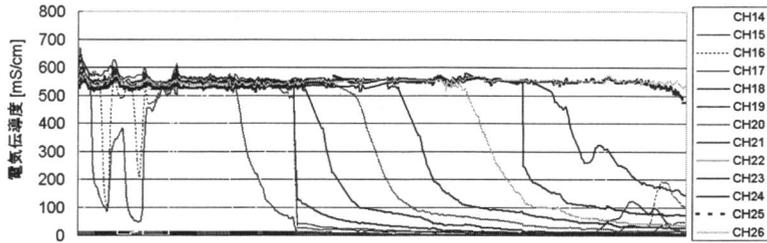


図 4 サロマ湖水上プール実験における 2003 年 2 月 7 日から 3 月 6 日までの下方成長部分の測定データ. 低温のため欠測した部分のデータは前後のデータから補完して示している. 矢印は電源トラブルのためデータが 5 日間欠測した期間を示す.

図 5 に上方成長部分の測定結果を示す. 上方成長は海水上の積雪に海水が染み上がり, 凍結して Snow ice と呼ばれる粒子状結晶の海水が形成されることで起こる. この実験から, 上方成長の結氷の閾値は 100・300mS/cm と下方成長よりも高い値が得られた. これは表面ブラインの存在のために薄水では海水下部よりも上部の方が高塩分であるという過去の研究結果と良く一致している. ch.10 (高さ 5cm) までの結氷が確認でき, 実測 (7.5cm) よりも低い値を示したが, これはセンサーが日射を吸収して発熱し, ch.9 付近は氷がえぐれていたことが原因であると考えられる.

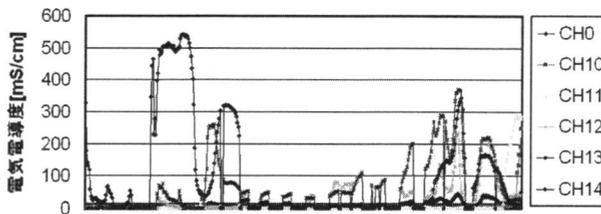


図 5 図 4 と同じ場所・時期の上方成長部分の測定データ.

4. 今後の課題

電気伝導度式による氷厚の測定は有効であることがわかったが, 今回の実験では制御部が低温に弱かったこと, センサーが緑色であるため日射を吸収して発熱することなどの問題点があった. 今後は -40℃までの低温対策と省電力化などの改善を加え, 将来的にパイ型氷厚計測システムの開発を目指している. 2004 年 1 月に結氷前のサロマ湖において筏をプラットフォームにした氷厚の自動連続観測実験を行う予定である.