

海水の成長および融解過程における表面状態とアルベドの変化

○小嶋 真輔 (北見工業大学)

榎本 浩之 (北見工業大学/観測フロンティア)

1.はじめに

これまでに行われてきた海水の実験、あるいは観測というのは、海水から海水氷が生成される生成・生長過程、または、ある程度の氷厚に成長してからの海水を取り扱ったものが主であった(小野他,1994)。しかしその一方で、海水の融解過程を取り扱った実験や観測はあまり例がない。オホーツク海南部の海水域では、たとえ結氷期であっても少しの温度変化で海水の融解が起こる。つまり海水の融解は一般的且つ重要な現象であり、大気-海水-海洋間の相互作用を考える上で無視できない要素である。

また、融解期における海水の光学的・熱的性質を明らかにすることで、人工衛星などを用いたリモート観測のトゥルースデータや、数値計算の基礎データとすることが可能であると考えられる。

そこで本研究では、融解期における海水の光学的・熱的性質を明らかにすることを目的として、低温室において水槽を用いた室内実験を行った。そして融解期における海水の諸性質について検討した。

2.実験装置

本実験で使用した水槽を図1に示す。海水の成長・融解両段階を通して、攪拌装置により水中に対流を生じさせた。また、水槽上部より赤外放射温度計と白金センサー設置用の棒を吊して取り付けた。白金センサーの設置位置については図2に示す。

水面より上に気温測定用のセンサーを取り付けた。水面以下には水温または氷内部温度を測定するためのセンサーをとりつけた。水面に

近いセンサーほど、間隔を狭く設置した。一番水面に近いセンサーは水深約5mmである。なお、水面より30cm下には、常に水温を測定するためのセンサー(ch13)を設置した。

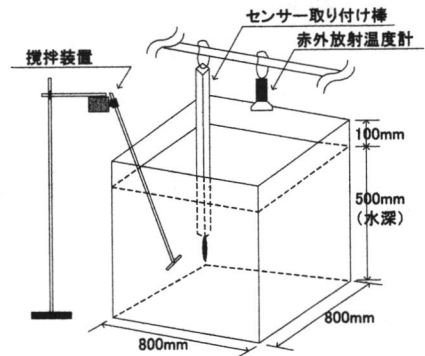


図1 実験で使用した水槽の概要

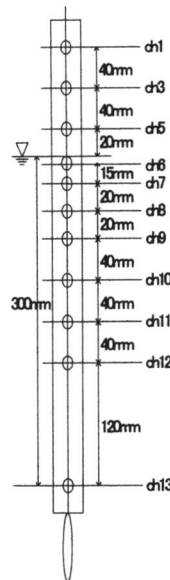


図2 白金センサー設置位置

3.実験方法

本実験は、低温室の設定温度を海水の成長過程では-20℃、融解過程では+10℃に設定して行った。氷厚が19cmに成長した時点で、低温室の冷却スイッチを切り、融解を開始した。ま

た、使用した塩水は、塩分濃度 33%の食塩水である。実験では、海水の成長・融解の各段階において、主に以下の4つに着目した。

- a) 気温・水温・氷温 (海水表面および内部) の測定 (表面温度は赤外放射温度計にて測定)
 - b) 表面反射率の測定 (Ocean Optics ,inc. PS1000 にて測定)。
 - c) 氷厚の測定
 - d) 海水の表面状態の観察
- 表面反射率の測定は、内部の塩水を抜いた状態の海水についても行った。

4.実験結果および考察

温度と時間の関係を図3に示す。グラフをわかりやすくするため、いくつかのデータは省いた。なお、IR とは赤外放射温度計の値であり、海水表面の温度を表している。

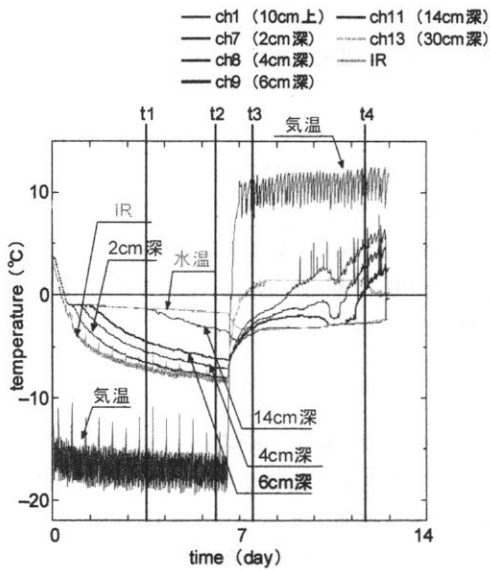


図3 温度と時間の関係

急激な気温の上昇が始まっているところが、低温室の冷却スイッチを切ったところである。水深 2cm、4cm、6cm の凍結段階での値を見ると、海水内部の鉛直温度には差がある。しかし融解段階では各値が収束している。つまり、融解段階において海水内部の温度勾配が小さ

くなっているということが考えられる。この温度勾配の変化をより詳しく確かめるため、t1～t4 の4地点での海水内部の温度勾配を図4に示す。

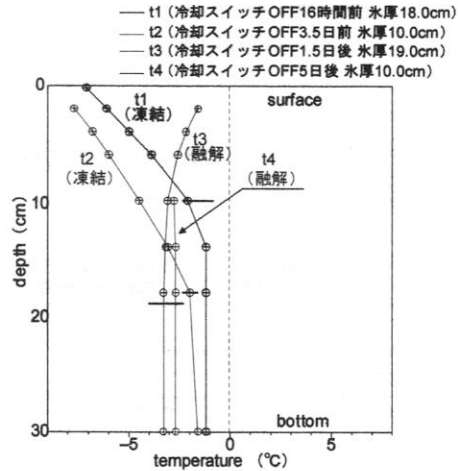


図4 海水内部の温度勾配

本実験では、海水の融解は側面や底面からはあまり起こらず、主に表面から進んでいった。よって融解開始から5日後(t4)では表面から6cmまでのセンサーは空気中に出てしまった。このとき、浮力により海水と共にセンサー設置用の棒も上昇するため、海水表層の温度は10cm深のセンサーが受け持つ形となった(センサーの位置関係については図2を参照)。t4のグラフで、10cm以上のデータが無いのはこのためである。なお、縦軸は30cmまでとなっているが、これはセンサーの設置位置であり、水深は50cmである(図1、図2参照)。

前述の通り、図4からも凍結段階に比べ融解段階で温度勾配が小さくなっているのが確認できる。また、融解段階においての海水内部の温度は水温にほぼ等しくなっている。ここでその水温に注目してみると、結氷段階より融解段階において水温が低くなっている。このことは、図3からも見ることができる。低温室の冷却スイッチを切った直後、気温の上昇に伴って海水表面温度、あるいは海水表層付近の内部温度は上昇している。一方、水温や海水底面付近の内

部温度は低下している。融解期における水温低下の原因については、現在検討中である。だが、気温の上昇に伴い表層付近の海水が暖められたことにより、そこに存在していた冷たいブラインが急速に抜け落ちたことが、結果的に水温を低下させたのではないかと考えることができる。

次に、時間・温度・氷厚・アルベドの関係を図5に示す。

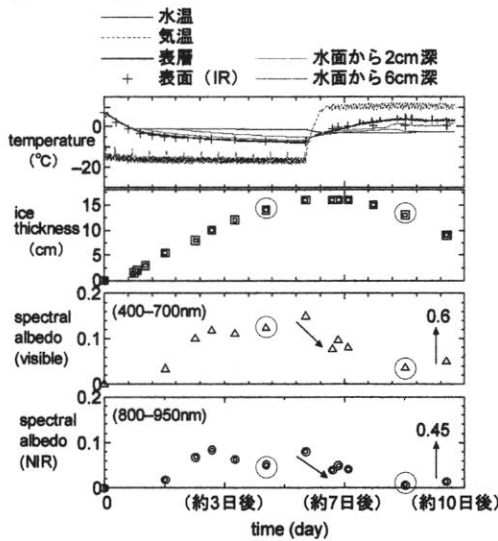


図5 時間・温度・氷厚・アルベドの関係

spectral albedo のグラフは、可視が 400 から 700nm の平均値、近赤外は 800 から 950nm の平均値を用いた。なお、一番上にある温度と時間の関係を示すグラフについては、図3の説明で詳しく述べたので、ここでは省略する。しかし凍結段階と融解段階をわかりやすくするために掲載した。

図5から、同じ氷厚でも凍結段階と融解段階ではアルベドが異なり、融解を開始してすぐにアルベドが低下しているのが見られる(この間約半日)。これは海氷の融解によって、海水表面に薄い水膜が形成されるために起こる。だが、一度減少したアルベドが、その後再び僅かながら上昇し、その後再び低下している。これは、以下に示すような海氷の表面状態の変化に関

係している。

本実験では、融解を開始してから約半日で、海水上部が白くなった。凍結段階において海水上部の気泡やブラインポケットを満たしていた海水やブラインが、融解が開始されたことで抜け落ち、気泡やブラインポケットが空洞化して不均一な表面となった。これにより、空洞化した部分で光を散乱しやすくなり、その結果白くなったと考える。なお、この時点では海水表面は湿っているが水膜は形成されていない。この時点で、アルベドが僅かに上昇した。しかし再び時間が経つと融解がさらに進み、空洞化した部分は空洞では無くなり、光は散乱されにくくなった。さらに、表面の不均一さは激しくなり、融解水によって再び表面に水膜が形成された。ゆえにアルベドは減少した。なお、グラフ中約10日後のところでアルベドが上昇しているが、これは海水内部の塩水を抜いた状態での海水のアルベドを表している。融解期において、氷厚9cmの海水を水に浮かべた状態で測定したアルベドは、可視で約0.05、近赤外で約0.01であった。しかし、この海水を手で持ち上げて内部の塩水を抜いた途端、アルベドは可視で0.6、近赤外で0.45まで上昇した。なお、Perovich(1998)は、融解期における内部の水を抜いた状態の海水のBulk Albedoを0.56から0.68であるとしており、本実験では同じような値が得られた。

本実験では、海水の融解あるいは海水内部の水が抜け落ちたことによって、海水表面状態の変化やそれに伴うアルベドの変化が起こった。これらの変化は、自然の海洋においても起こりうると考える。自然の海洋において、海水同士の上昇によって海水が水中から出た場合は、海水内部の海水が抜け落ち、アルベドが上昇すると考えられる。また、十分に厚い海水であれば、水面より上に出る部分、すなわち海水で満たされていない部分が多くなり、海水表面付近の気泡やブラインポケットは空洞化し、不均一な表面状態を形成すると考えられる。

5.まとめ

本研究は、融解期の海氷の光学的・熱的性質を明らかにすることを目的として行った。そして、海氷内部の温度勾配、海氷表面のアルベド、海氷表面の状態について、いくつかの結果を得た。以下にそのまとめを示す。

- ・ 海氷内部の温度勾配は融解開始後急激に減少し、やがて海氷内部の温度は一様になる。
- ・ 融解過程での海氷内部の温度は、水温とほぼ等しくなる。
- ・ 融解開始後、アルベドは急激に減少する。しかし海氷内部の水が抜けると、融解期であっても海氷のアルベドは上昇する。
- ・ 凍結段階と融解段階の比較から、同じ氷厚であってもアルベドや表面温度、表面状態は異なる。

6.結果より予想されることと今後の課題

- ・ 融解過程での薄い海氷と厚い海氷は、表面温度、海氷内部の温度分布、アルベド、表面に現れる融け水の塩分濃度、表面状態がすべて類似している。よって、これを区別する際は注意が必要である。
- ・ 融解が始まった直後、水温ならびに海氷底面付近の海氷内部温度が低下した。これは海氷内部に含まれていたラインが急速に抜け落ちたためと考えられる(前述)。
- ・ 融解に伴って海氷内部のラインが一度抜け落ちるとそれは履歴として残り、海氷が再凍結しても、ラインが抜け落ちる前の海氷の構造には戻らないと考えられる。

融解開始直後の水温低下についての原因は、前述の通り現在検討中である。しかし、仮にこのプロセスで水温低下が起こるとすれば、融解期の海氷から海洋へ、急速な塩や熱の供給が生じるわけである。凍結段階での海氷が塩や熱を放出しながら成長していくことは一般に知られているが、融解段階においても塩や熱の急速な放出があるとすれば、ある瞬間を考えたとき、

海洋構造に影響を与えられられる。したがって、このプロセスは融解期の海氷を取り扱う上で非常に重要な項目であり、プロセスを明らかにすることは今後の課題である。

オホーツク海南部のような季節海水域では、僅かな気温の変化で凍結と融解が絶えず起きている。つまり海氷の再凍結現象は一般的であると考えられる。一度ラインが抜け落ちた海氷が、気温の低下に伴って再凍結した際、ラインが抜け落ちる以前の構造に戻れないとすれば、それは海氷の構造をより複雑化させる原因であり、注目すべき点であると考えられる。ラインの抜け落ちが履歴として残るか否かについては、今後実験により調べていきたいと考えている。

本研究では、融解期における海氷の諸性質の変化の基礎をおさえるため、裸氷での実験を行った。しかし自然の海氷上には積雪があるのが一般的である。よって、積雪がある場合での海氷の融解実験も今後の課題としたい。

7.謝辞

本実験で使用した水槽ならびに攪拌装置は、北海道大学低温科学研究所の河村俊行先生よりお借りいたしました。ここに感謝の意を表します。なお、本研究は宇宙開発事業団「IARC-NASDA 情報システムおよび衛星データを利用する北極圏研究」(代表：榎本)の一環として行われた。

8.参考文献

Perovich,D.K.(1998) The optical properties of sea ice. Physics of Ice-Covered Seas (ed. M. Lepparanta), Univ. Helsinki Press, VOL.1, 195-230.

小野延雄・石川信敬・新井正・若土正暁・青田昌秋,(1994) 雪氷水文現象 基礎雪氷学講座IV 古今書院,196p