HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	新しく生長した海氷の塩分量分布
Author(s)	若土, 正曉; 滝沢, 隆俊
Citation	低温科學. 物理篇, 41, 167-172
Issue Date	1983-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18468
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_p167-172.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Masaaki WAKATSUCHI and Takatoshi TAKIZAWA 1982 Salinity Profiles of Newly Grown Sea Ice. *Low Temperature Science, Ser. A, 41.* (With English Summary p. 172)

新しく生長した海氷の塩分量分布*

若土正暁・滝沢隆俊
(低温科学研究所)

(昭和57年10月受理)

I. まえがき

極地の海では，リード (lead) や氷湖 (polynya) のように，厳寒期に於いても海面を大気にさらしているところが，氷野内にしばしば現われることはよく知られている。そのような開かれた海水面に新しく海氷が生長していく過程で，その海氷の塩分量分布の変化を調べることは，海氷から大気及び海洋への塩輸送を知る上で重要である。この海氷生長初期過程に於ける塩分量分布の変化については，厚さが薄すぎて人間が乗れないということもあって，今までに観測された例は，Weeks and Lee[1),2)] ぐらいしか無い。

また海氷上に積雪があると，その荷重のために海氷は相対的にその位置が下がり，海氷内部で塩移動が生じる。特に，比較的薄い海氷上に降雪があると，海氷表面が水面より低下する場合がある。このような時，多量のブラインとともに下の海水が，海氷内部のすき間を通って雪の中にしみ上り，雪の塩分量が海水のそれより高くなることがしばしばある[3),4)]。海水を含んだ雪は，やがて氷化し，析出されたブラインの一部は，また海氷のすき間を通って流下する。このように比較的薄い海氷上に降雪があった場合，海氷の塩分量分布への影きょうは大きい。1 m 以上もある南極の定着氷の場合でさえ，積雪の有無によって，塩分量分布に変化のあったことが報告されている[5)]。

1982年2月に北海道サロマ湖 (塩水湖) に於いて，海氷の生長に関する一連の実験観測を行なった。本報告は，それらの観測の一つとして，開かれた海水面に新しく生長した海氷の塩分量分布の変化を，積雪の有無の場合で調べた結果である。

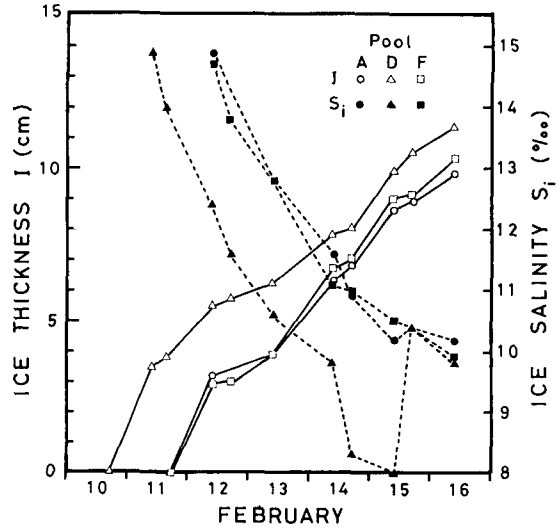
II. 観測方法

サロマ湖の岸から約 150 m 沖合の定着氷 (厚さ約 27 cm，水深約 1 m) 上に観測点を設け，そこにいくつかのプールを造って観測を行なった。各々のプールとも，水面を大気にさらした状態から新しく生長した海氷の塩分量分布の変化を観測した。用いた3つのプールのうち，プールDは2月10日から結氷を開始し，プールA及びFは，翌日から開始した。観測は，16日朝まで継続して行ない，その間12日夜から13日朝にかけて降雪があり，約2 cm の積雪となった。プールA及びDは，観測終了日までそのままの状態を維持させたが，プールFだけは，積雪後直ちに除雪した。各々のプールに於いて，1日に1～2回海氷サンプルを採り出し，それらを厚さ2 cm 前後づつに切って，塩分量の鉛直分布を測定した。

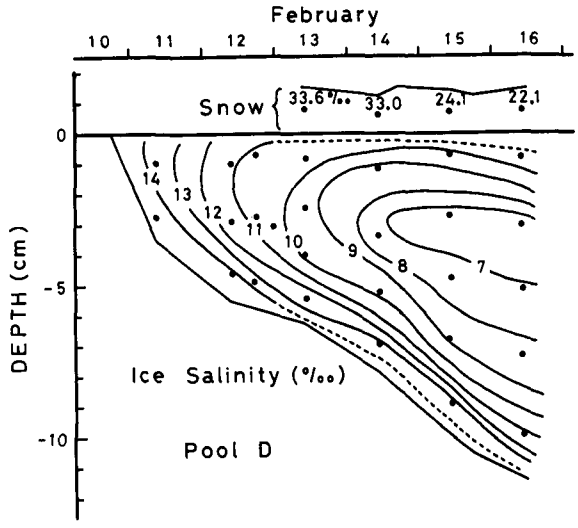
* 北海道大学低温科学研究所業績　第2480号

III. 観測結果及び考察

第1図は，各々のプールに生長した海氷の氷厚と平均塩分量の変化を示している。プールAとFに於いては，観測期間を通して氷厚にそれ程差が無い。ただ，降雪前にプールAの方がやや厚かったにもかかわらず，降雪後は除雪したプールFの方がわずかではあるが，常に厚いという状態が続いており，多少なりとも積雪の効果が認められる。一方，海氷の全層平均塩分量の方は，降雪前後で両プールの間に顕著な差は無く，生長とともにほぼ同じような値で単調に減少している。ところが，両プールより一日前に結氷を開始したプールDに於いては，15日朝から夕方にかけて，平均塩分量が2‰以上も増加した。これが測定の誤りでない証拠に，この日中に於ける塩分量急増の名残りが翌朝に認められ，またプールAでもわずかではあるが，塩分量が増加している。ところが，除雪したプールFでは，そのようなことは生じていない。熱収支観測[6]によると，この15日が他の日に比べて，日中の気温が多少高かったことぐらいで，他に特徴的なことはない。この塩分量増加の原因は，今のところ明らかでないが，多少の考察を試みるためにも，次に，塩分量分布の変化を各プールについて見てみよう。



第1図 各プールに生長した海氷の氷厚と全層平均塩分量の変化



第2図 プールDに於ける氷及び積雪の塩分量分布変化

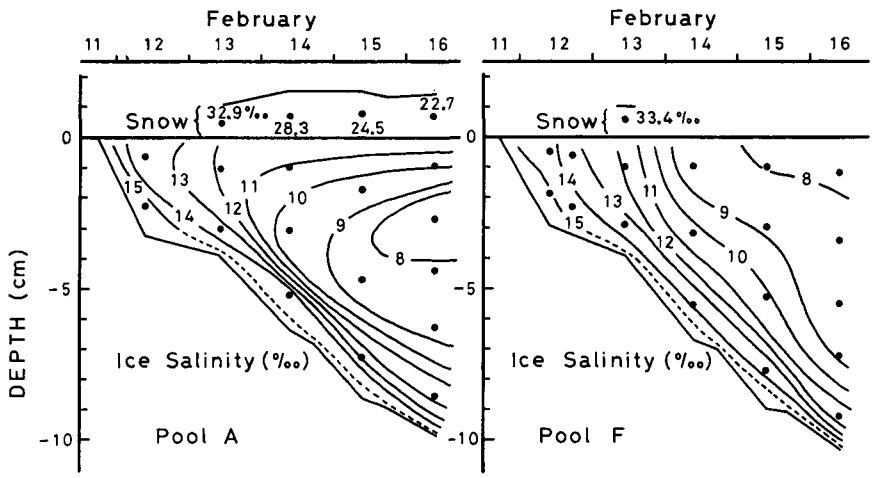
図中の黒丸印は，塩分量測定した各々の試料の中心の海氷表面からの位置を示している

第2図は，他より一日前に結氷を開始したプールDの場合の塩分量分布の変化を示している。生長にともなって，各層の塩分量はすべて減少していくが，最初に出来た表層の比較的高い塩分量の層は，雪からの補給もあろうが，減少の割合が遅く，相対的に高塩分を維持している。この表層高塩分の存在は，海氷の塩分量分布の一般的特徴で，Martin[3]は，その高塩分

層が，表面の極く近くに限定されていることを指摘している。この表層高塩分層の下には，常に塩分極小層が形成され，第1図で示した全層平均塩分量の生長にともなう減少は，主としてこの層の塩分量急低下に依存している。

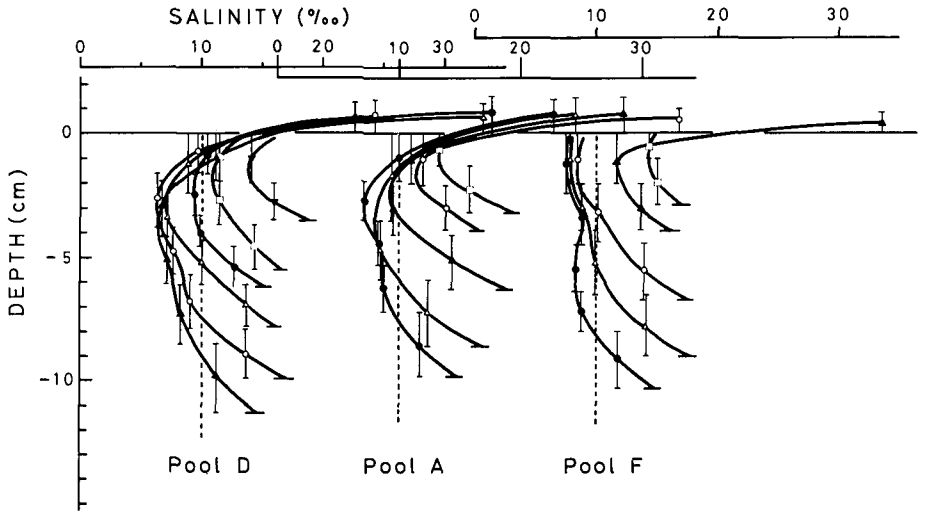
海氷の塩分量分布と平行して，雪の塩分量も測定した。第2図に示したように，降雪後の雪の塩分量は33.6‰もあり，下の海水のそれが32.2‰前後であったことから，明らかに，海水とともにブラインの上方移動のあったことがわかる。この高塩分海水を含んだ雪は，相対的に生長速度の増大した14日から15日にかけての時期（第1図参照）に氷化が始まり，その結果析出したブラインが氷中に流下したことによって，雪の塩分量は33.0‰から24.1‰まで，約9‰も減少した。この雪から海氷への塩の供給が，海氷の塩分量分布にどのように反映したか，第2図からは読み取れない。ところが，翌15日から16日にかけて，表層で幾分塩分量上昇が認められる。実際の測定値によると，表層約2cmの平均塩分量は，9.6‰から11.0‰まで増加している。この時期は，先に触れた全層平均塩分量の急増期に相当しているが，表層以外は，塩分量上昇傾向は認められない。全層平均塩分量と各層塩分量を測定するための海氷サンプルの採取位置が少しずれていることから，両者の全塩量不一致は，海氷塩分量の空間的不均質さに起因しているものと思われる。しかしながら，両者の海氷サンプルで，全塩量に差が生じたのは，16日朝に得られたものだけである。他の日には，両者でほぼ同じ値を示していたことから，いづれにしても，15日の日中に，海氷塩分量の空間的不均質を生じさせる何らかの作用が働いていたと思われる。

以上のように，開かれた海水面に新しく海氷が生成し，途中その上に積雪をともないながら生長するといった天然で一般的に見られる海氷生長初期過程に於ける塩分量分布の変化が示された。次に，そのような生長過程に対して，積雪が無かった場合，塩分量分布にどのような違いが生じるのかを，プールDより1日遅れで同時に結氷を開始したプールAとFの場合で比較してみよう。第3図に示されたように，降雪後そのまま放置したプールAについては，先程のプールDの場合（第2図）と似た塩分量分布の変化を示しているが，降雪後直ちに除雪



第3図　プールA（積雪）及びプールF（除雪）に於ける氷・雪の塩分量分布変化

したプールFでは，明らかに，違いが生じている。最も顕著な違いは，最初に形成された比較的高い塩分量の表層が，除雪後には，全層で最も低塩分になり，しかも，その後はその最小値のまま，むしろ減少気味であった。このことは，今回のように薄い氷でも，海氷内部のブラインの上方移動は，生長の極く初期過程にしか生じなかったことを示しており，同時に，従来の表層高塩分化は，表面の極く近くが高塩分になっているというよりは，表面上に出た表面ブラインの存在が大きく支配していたことを示している。また，除雪の効果は，表層だけでなく中層にも現われている。1つには，他のプールで見られたような塩分極小層が，プールFには存在しない。また，このプールFの中層に於いて，プールAとは違った塩移動のあったことをうかがわせる証拠が第4図に示されている。最大氷厚になった16日のプールAとFの塩分量分布を比較してみよう。16日にプールAで極小値をもったところとほぼ同じ深さで，両プールに於ける塩分量値を比較してみると，プールFの方が高く，しかも，そこの上下の層より相対的にやや高い値になっている。このようになった原因は，一つには，除雪したことにより，プールAに比べて，氷中の温度勾配が増大し，表層中のブライン・セルが下方へ移動したためと考えられる。従って，表層の塩分量が減少したのは，表面ブラインを積雪とともに除去したことによるだけでなく，このことも影きょうしたと考えられる。



第4図 プールD, A, Fに於ける塩分量の鉛直分布変化
各プールでの違いをより明確にするために，塩分量10‰のところを点線で示してある

以上のように，積雪の有無による塩分量分布の著しい変化が示されたが，もう一つ興味深いことは，そのように分布には大きな違いが生じるにもかかわらず，全層平均塩分量は，第1図に示したように，それ程大差が無い。プールFの方では，表面ブラインが除去された分だけ，その後の生長速度の相対的な速さで補なったと考えられるし，プールAの方は，相対的に低い生長速度による塩分量低下を，雪からの塩の供給で補なったと考えられる。その兼ね合いが，今回の場合たまたま一致し，両者の全層平均塩分量がほぼ等しい値になったものと思われる。ところが，両者の塩分量分布を形成する作用が，それぞれ異なっているために，上中層の

塩分量分布に大きな違いが生じた。即ち，プールFに於いては，除雪によって，表面ブラインが除去されたために，表層は高塩分でなくなり，また，その後の氷中の温度勾配の相対的な増大によって，表層中のブライン・セルが下方に移動し，その結果，表層はさらに低塩分になり，本来塩分極小層になるはずの中層を高塩分化したために，従来見られる塩分極小層が存在しなくなった。

IV. ま と め

氷野内に人工的に造ったプールに於いて，開かれた海水面に新しく生長した比較的薄い海氷の塩分量分布の変化を観測した。また，積雪の有無によるそれらの分布の違いを調べた。得られた結果は，次のとうりである。

1) 自然状態で静かに生長する海氷は，表層に，比較的高い塩分量の層が，その下の中層に，塩分極小層が，それぞれ常に形成される。そして，生長にともなって，極小層の塩分量が最も急速に減少し，高塩分層の塩分量低下は比較的小さい。

2) 海氷上に一度積った雪を除雪することによって，その後は，上中層で従来とは異なった塩分量分布に変化した。即ち，除雪とともに表面ブラインの除去によって，表層は最も低塩分になり，その状態が最後まで続いた。そして，除雪による氷中の温度勾配の相対的増大で，表層のブライン・セルが下方に移動したため，いわゆる塩分極小層は，見かけ上存在しなくなった。

3) 表層高塩分を構成しているのは，表面ブラインの存在が支配的であった。また，今回のような薄い氷でも，海氷内部のブラインの上方移動は，生長の極く初期過程にしか生じなかった。

4) 積雪の有無によって，塩分量分布には大きな違いが生じたが，全層平均塩分量では，両者の間にそれ程差が無かった。それは，表面ブラインが除去されたことによって減った分だけ，その後の生長速度の相対的な速さで補い，一方，積雪があると生長速度がにぶって，全体的な塩分量低下をきたすが，それを雪からの塩の供給で補なったことに依ると思われる。

おわりに，御校閲下さり，有益な意見をいただいた小野教授に感謝の意を表します。また観測に際しては，小林俊一・石川信敬・河村俊行各助手及び大井正行・福士博樹各技官に御協力いただいた。心から感謝の意を表します。

なお，本研究は，文部省科学研究費「世界気候にかかわる海氷のモデル化のための基礎研究」(課題番号 56460037　代表者 小野延雄) によった。

文　献

1) Weeks, W. F. and Lee, O. S. 1958 Observations on the physical properties of sea-ice at Hopedale, Labrador. *Arctic*, **11**, 3, 134–155.
2) Weeks, W. F. and Lee, O. S. 1962 The salinity distribution in young sea-ice. *Arctic*, **15**, 2, 92–108.
3) Martin, S. 1979 A field study of brine drainage and oil entrainment in first-year sea ice. *J. Glaciol.*, **22**, 88, 473–502.

4) 滝沢隆俊・若土正暁 1982 海氷上の積雪. 低温科学, 物理篇, **41**, 159-165.
5) 若土正暁 1981 昭和基地周辺の海氷について II. 海氷の塩分量分布. 低温科学, 物理篇, **40**, 119-125.
6) 石川信敬・小林俊一 1982 海氷の成長に伴う表面熱収支の変化. 低温科学, 物理篇, **41**, 179-189.

Summary

Field experiments were carried out to observe the salinity profiles of sea ice which was newly grown in artificial pools in a fast ice sheet of Lake Saroma in February 1982. When the new ice grew to a thickness of several centimeters, it snowed with a fall of about 2 cm on the ice surface.

Upon removal of the snow layer in one pool immediately after the snowfall a marked difference was observed in salinity profile between ices covered and not covered with snow (Fig. 3). The snow-covered ice continued to have a higher salinity in the surface layer and the minimum salinity in the underlying intermediate layer during the growing period. The formation of the surface layer with the relatively high salinity was almost due to the existence of surface brine. Meanwhile in the ice not covered with snow, no such layers existed because most of the surface brine was removed together with the snow and the resulting higher temperature gradient of ice was followed the migration of brine pockets within the surface layer toward the intermediate layer (Fig. 4). The upward migration of brine within the ice was limited during the intial freezing period, even in the present thinner ice.

In spite of the marked difference in the ice salinity profile, the average ice salinities were nearly close to each other during the growing period (Fig. 1). In the ice not covered with snow, the salt loss due to the removal of the surface brine was compensated by subsequent salinity increases due to the relatively increased ice growth rate. Meanwhile in the snow-covered ice, relative salinity decreases under lower ice growth rates were compensated by the gain of some salt from the snow including saline water.