



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷上の積雪
Author(s)	滝沢, 隆俊; TAKIZAWA, Takatoshi; 若土, 正暁 他
Citation	低温科学. 物理篇, 41, 159-165
Issue Date	1983-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18467
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_p159-165.pdf



海 氷 上 の 積 雪*

滝沢隆俊・若土正暁

・(低温科学研究所)

(昭和57年10月受理)

I. ま え が き

海氷上の積雪はそれが薄いものであっても雪は良質の断熱材であり、また大気との熱交換に関しては裸水面とは異なった特性を持っているので海氷の熱収支に大きな影響を与える^{1,2)}。さらに、南極の定着氷の塩分量分布が積雪の有無により変化したことが報告されている³⁾。一方、海氷と海水の密度差は小さいので、薄い海氷上にある程度の降雪があるとその荷重により氷の表面が水面より低下し大量のブラインがしみ上る。また、氷の割れ目があればそこから海水の上昇が起る。その結果、雪は十分に水分を含みその塩分量の値も大きくなる。やがて水を含んだ積雪は氷化して高塩分の上積氷になる。海氷の成長過程のどの段階で降雪がありどの程度の積雪深になったかにより、積雪の特性は大きく異なるとともに下の海水の構造や塩分量にも違いが生じる。しかし実際の観測は少なく、Martin⁴⁾がいくつかの例について積雪と海水の塩分量分布を報告している程度である。

1982年2月に北海道サロマ湖において海氷の成長に関する一連の実験観測を行った。この観測の一つとして海氷上の積雪の特性について調べたのでその結果を報告する。雪の特性の変化に密接に関係する海水の熱収支及び塩分量分布などについては別に報告される^{5,6)}。

II. 観 測 方 法

サロマ湖は塩湖でありその水の塩分量は海水とほぼ同じである。したがって、冬には湖水が凍結して平坦な海氷が形成される。観測地点は岸から約150m沖合いで、その付近の水深は約1m、氷厚は約27cmでその上に数cmの積雪があった。そこに氷を切り取りAからFまでのプールを造り、海水を成長させて各種の測定を行った。本論文にはプールA、D及びFの結果を用いる。プールの大きさは、Aが3m×3mでDとFは2m×2mであった。プールAとFには熱電対を設置し水温、氷温及びプール上の気温を測定した。プールAとDは降雪があってもそのまま放置し、毎日積雪の試料を採取した。一方、プールFは降雪後すぐに除雪を行った。

雪試料の採取は雪面に面積219cm²の正方形の印をつけ、それを単位の面積として塩分量を測定するのに十分な体積の試料を得るために雪の深さに応じて1~5面積を雪べらによりすくい取った。試料は重量を計り密度を計算したのち融かして塩分量を誘導塩分計により測定し

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2479号

た。海氷試料も同時に採取して塩分量を求めた。また、プールより沖合いの定着氷上の雪を数カ所採取して密度と塩分量を測定した。

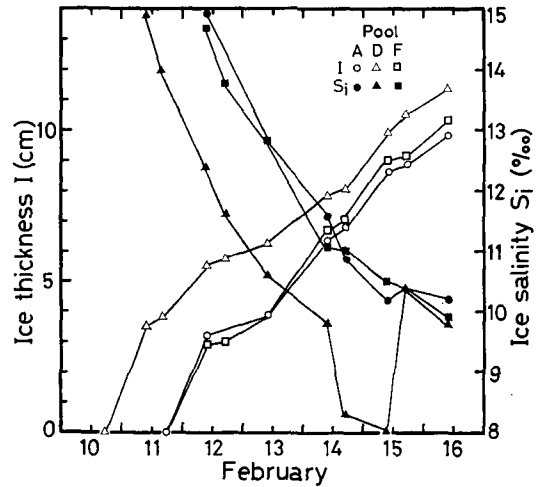
III. 観測結果

1. プールに成長した氷の上の積雪

プール D は 2 月 10 日の夕方に結氷開始し、プール A と F は 11 日の夕方に結氷開始した。観測は 2 月 16 日まで行った。この間、12 日の夜中から 13 日の朝にかけて降雪があり約 2 cm の積雪となり、13 日の日中にも若干の降雪があった。プール F の除雪は 13 日の 9 時 30 分と 13 時に行った。

プールの海水を毎日朝夕の 2 回採水して塩分量を測定した。観測期間中の海水の塩分量は 32.18~32.30‰ であり、これに対応する結氷温度は $-1.76 \sim -1.77^{\circ}\text{C}$ であった。

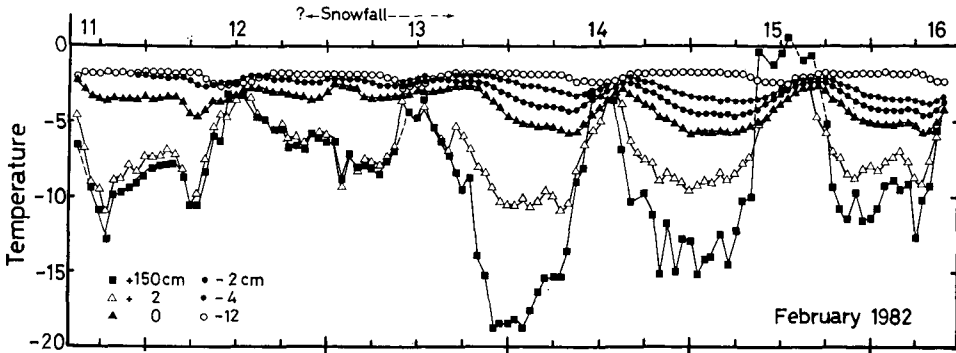
第 1 図には各プールの氷厚と海氷の塩分量の変化を示した。同時に結氷開始したプール A と F の氷は、12 日には A の方が多少厚かったが降雪がありプール F を除雪した結果、14 日からは F の方が厚くなり 16 日には 5 mm の差となっている。塩分量は各プールとも単調に減少してきたが 15 日の午後、プール D の塩分量が急激に 2‰ 以上も増加した。同時に、プール A でもわずかながら塩分量の増加が起っている。一方、積雪のないプール F ではこのようなことは起っていない。他の日に比べて気温が多少高い(第 2 図参照) 以外には熱収支測定からは特にこの日に異常が見られるわけではな



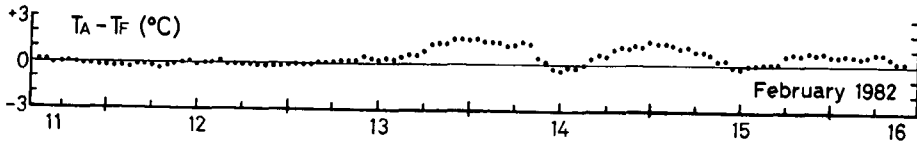
第 1 図 プールの氷厚 (○, △, □) と海氷の塩分量 (●, ▲, ■) の変化

く⁵⁾、原因は明らかではないが何らかの作用により周囲からブラインの供給が起った結果であると思われる。積雪のあるプール A とないプール F の塩分量の間にはほとんど差がない。しかしここに示した塩分量は全層平均の値であるが、塩分量の鉛直分布に大きな違いがありプール F の塩分量分布には除雪の影響がはっきり現われていた⁶⁾。

第 2 図にはプール A の横の、高さ 1.5 m の気温、氷上 2 cm の気温 (降雪後は積雪に埋れたので雪温) と氷の表面から 0, 2, 4 cm 下の水温ないし氷温及び 12 cm 下の水温の記録を示した。12 日の 22 時から表面氷温が急に上昇している。多少遅れて 2 cm の氷温もわずかながら上昇している。この温度上昇は、後に述べるように雪の荷重のため下から比較的温度の高いブラインが上昇した結果であろう。次に気がつくのは、水温が夜間は結氷温度であるほぼ -1.8°C の一定値を示しているのに反して、日中は -2°C 以下にまで低下している。これは日中には氷温が上り、海水より低温のブラインの流下が活発に生じているためであると考えられる。除雪



第2図 プール A での高さ 1.5 m の気温、氷上 2 cm の気温 (降雪後は雪温) と氷の表面から 0, 2, 4 cm 下の水温ないし氷温及び 12 cm 下の水温の変化



第3図 氷の表面から 2 cm 下のプール A の氷温 T_A とプール F の氷温 T_F の温度差

を行ったプール F の温度記録も第 2 図とほぼ同様の変動を示した。

第 3 図はプール A と F の氷の表面から 2 cm の氷温の差の変化である。積雪がない時及び除雪をする以前は温度差はほとんどない。しかし、プール F の除雪を行った 13 日 10 時以降は温度差が顕著になってくる。日射もあり気温も高い 12 時前後の時間は積雪のないプール F のほうが温度が高いが、それ以外の大部分の時間は逆に積雪のあるプール A のほうが温度が高く雪の断熱効果が現われている。また、一日のほとんどの時間プール A のほうが高温であるので、氷の成長が F に比べて小さいであろうことが当然予想され、第 1 図の氷厚増加の結果を裏づけている。

薄い海氷の表面には高塩分の表面ブラインが存在し^{7,8)}、その表面は常にぬれている。ここに降雪があると雪はブラインを吸収する。海氷は多孔質でありその透水性はかなり良いので⁹⁾毛細管力に加えて雪の荷重により下方からブラインがしみ上ってくる。積雪はこのしみ上ったブラインを吸収し密度を増し、さらに下からのブライン供給をうながす結果となる。そして降雪がそう多くないときには、積雪は全層が水分を十分に含んだスラッシュ (雪泥) になる。13 日の朝のプールの積雪はまさにこのスラッシュ状態であった。第 1 表には各プールの毎日の積雪の特性を示した。積雪深の測定には数 mm の誤差があり、さらに雪を採取する際には雪にしみ込んでいるブラインが流れ落ちたり、また逆に周囲から集まってくるブラインまでも採取したりすることがあるので重量測定にも誤差が大きい。したがって、これらから計算された密度の値はだいたいの目安といった程度の意味しかない。第 4 図には雪の塩分量変化を示した。降雪直後の 13 日の塩分量は各プールともに海水より高い値を示している。しかし、14 日の午後には約 10% も塩分量が減少しており、この間にかなりのブラインが落下したことを示して

第1表 プール上の積雪の特性

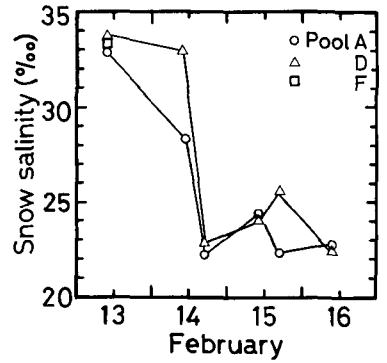
日 時	プー ル A				プー ル D				プー ル F			
	水 厚 (cm)	積雪深 (cm)	雪密度 (g/cm ³)	塩分量 (‰)	水 厚 (cm)	積雪深 (cm)	雪密度 (g/cm ³)	塩分量 (‰)	水 厚 (cm)	積雪深 (cm)	雪密度 (g/cm ³)	塩分量 (‰)
11日 09:00					3.5	0						
16:00					3.8	0						
12日 09:30	3.2	0			5.5	0			2.9	0		
17:00					5.7	0			3.0	0		
13日 09:30	3.9	1	0.7	32.9	6.2	1.5	0.3	33.6	3.9	0.8	0.9	33.4
14日 09:30	6.3	1.4	0.9	28.3	7.8	1.2	1.0	33.0	6.7			
17:15	6.8	1.8		22.2	8.0	1.5		22.8	7.0			
15日 09:30	8.6	1.5	1.0	24.5	9.9	1.4	0.7	24.1	9.0			
17:15	8.9	1.3		22.3	10.5	1.2		25.6	9.1			
16日 09:30	9.8	1.4	1.0	22.7	11.3	1.4	0.9	22.5	10.3			

いる。ただし、積雪の下の海氷の塩分量は10‰程度であるので(第1図参照)、減少したといっても海氷の約2倍の塩分量となっている。その後は多少の変動があるがほぼ一定の値に落ち着くような傾向を示している。したがって、約一日くらいで落ちやすいブラインの大部分は流下してしまうと思われる。

海氷上のスラッシュはやがて氷化して上積氷であるゆき氷になる。積雪は16日になっても多少固化した程度でまだ軟らかいスラッシュ状であったが、プールAの隅の部分で半ば氷化している所があったので海氷を含めて全層を採取した。それを三層に切って塩分量を測定した(第2表)。表から明らかなように、ゆき氷は海氷に比べてはるかに高い塩分量を示しており、積雪に含まれていたブラインがあまり落下していないことがわかる。

2. 定着氷上の積雪

新雪の降る以前の12日にプールのやや沖合いの定着氷上において、目視により雪面状態の異っている地点を選んで積雪を採取し、密度・塩分量を測定した(第3表)。地点4の雪質は上層と下層で違っていたので下層を別に採取した。地点1と3の塩分量はプールでのスラッシュ状の積雪の塩分量と似た値を示している。また、地点4の塩分量が非常に高いのが特徴的である。海氷と積雪のこれまでの履歴が明らかではないので結論的なことはいえないが、1月末にこの地方に30cm以上の降雪があったので¹⁰⁾、このために大量のブラインがしみ上り高塩分のスラッシュが形成されたであろう。この際、積雪の最上層がスラッシュにまで至らずにブラインを含んだぬれ雪のまま、下層のスラッシュが氷化したのではないかと推定される。事実、海氷の厚さの上部



第4図 プール上の積雪の塩分量変化

第2表 ゆき氷と海氷の塩分量

	厚 さ (cm)	塩 分 量 (‰)
ゆ き 氷	2.5	16.7
海 氷 上 層	4	7.4
海 氷 下 層	3.5	9.4

第3表 定着氷上の積雪の特性

地 点	氷 厚 (cm)	積 雪 深 (cm)	雪 密 度 (g/cm ³)	雪 塩 分 量 (%)	雪 の 状 態
1	26	3	0.2	23.5	湿
2	18	5	0.2	9.9	乾
3	25.5	2.5	0.2	26.6	湿
4	25	4	0.4	33.8	⊕ 乾 ⊕ 湿
(地点4の下層)		2.5	0.4	36.9	湿

約半分はゆき氷であった。一方、地点2はその氷厚からもわかるようにクラックが凍結した地点である。この雪質や塩分量は他の地点とかなり違っている。2月になってからは降雪はほとんどなかった¹⁰⁾、地点2の積雪は氷が十分に厚くなってから地吹雪により窪地になっているクラック跡へ周囲から雪が集められたのであろうと考えられる。したがって、雪はブラインを多く吸収することがなく乾いておりその塩分量も小さいのであろう。ちなみに、陸上の積雪を採取して塩分量を測定した結果は0%であった。

プールの横の気象観測場は除雪がされており裸氷面が出ていた。そこに13日に新雪が積ったがその一部を除雪せずに残しておき、14日から16日まで毎日採取して塩分量を測定した(第4表)。降った直後の雪の塩分量は0%であったはずであるが、それが一日後には10.9%まで増加している。ここで注目すべきは、この結果は第3表の地点2の積雪特性とよく似ていることである。したがって、この事実は地点2の積雪が氷が厚くなってから生じたであろうことを裏がきしていると思われる。今回は定着氷について塩分量などの測定は行なわなかったため、雪の塩分量と定着氷の構造や塩分量との関係については不明であり、今後の課題であると考えられる。

第4表 裸氷上に積った雪の特性

日 付	積 雪 深 (cm)	雪 密 度 (g/cm ³)	雪 塩 分 量 (%)	雪 の 状 態
14 日	1.8	0.1	10.9	乾
15 日	2	0.1	10.5	//
16 日	1.5	0.1	8.4	//

IV. ま と め

1982年2月に北海道サロマ湖において海氷上の積雪についての実験観測を行った。氷を切り取り人工的に造った三つのプールに海氷を成長させた。氷厚が数cmになったときに降雪があり約2cmの積雪になった。プール上の積雪は下からしみ上ったブラインを吸収してスラッシュ状になり、その塩分量は約33%に達していた。降雪が止んで約一日後には積雪の塩分量は約10%減少しており、この間に急速にブラインの流下が起こったことを示している。その後、積雪はブラインをあまり落下させずに氷化してゆき氷に変わり、ゆき氷の塩分量は下の海氷の2倍程度であろうと推定される。

定着氷上の積雪を採取して塩分量を測定した。上層がゆき氷である海氷上の雪の塩分量は20‰以上であり、プールでのスラッシュ状の積雪と似た値を示した。一方、海氷が十分に厚くなってから降った雪の塩分量は10‰程度であった。

観測を行うにあたり、低温科学研究所の小林俊一、石川信敬の各助手及び流水研究施設の河村俊行助手、大井正行・福土博樹の両技官及び研究生の白澤邦男君(現 Memorial University of Newfoundland, Canada) らから多大の御助力を頂いた。これらの方々に対して厚くお礼申し上げます。また、論文を校閲していただいた小野延雄教授に心から感謝の意を表します。

なお、本研究に要した費用の一部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 小野延雄)」によった。

文 献

- 1) 若浜五郎・秋田谷英次・田畑忠司 1974 北極地域の積雪調査(1973年3月). 低温科学, 物理篇, **32**, 175-184.
- 2) 長谷美達雄 1974 薄い冬氷の成長について. 低温科学, 物理篇, **32**, 207-219.
- 3) 若土正暁 1981 昭和基地周辺の海水について II. 海水の塩分量分布. 低温科学, 物理篇, **40**, 119-125.
- 4) Martin, S. 1979 A Field study of brine drainage and oil entrainment in first-year sea ice. *J. Glaciol.*, **22**, 473-502.
- 5) 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.
- 6) 若土正暁・滝沢隆俊 1982 新しく生長した海水の塩分量分布. 低温科学, 物理篇, **41**, 167-172.
- 7) Зубов, Н. Н. 1945 ЛЬДЫ АРКТИКИ. Изд. Главсевморпути, Москва, 360 pp. (北氷洋の氷, 低温科学研究所訳, 第5章 海氷の物理的・化学的性質).
- 8) 小野延雄・若土正暁・河村俊行 1980 極域厳寒期における海面凍結過程 I. 結氷初期の蒸発の役割と塩のふるまい. 低温科学, 物理篇, **39**, 159-166.
- 9) 斉藤 隆・小野延雄 1978 海氷の透水性 I. NaCl 氷の透水係数の測定. 低温科学, 物理篇, **37**, 55-62.
- 10) 札幌管区気象台 1982 北海道気象月報. 1月号, 2月号.

Summary

Field experiments were conducted to investigate the characteristics of the snow layer on sea ice at Lake Saroma in Hokkaido in February 1982. By removing ice blocks from the fast ice sheet with a thickness of about 27 cm, three rectangular test pools were made. When newly formed ice in the pools grew to a thickness of several centimeters, it snowed with a fall of about 2 cm. The brine which was pushed out to the ice surface flooded the snow layer; then the snow became slush-like. The salinities of snow layers were as high as about 33‰. On the day after it stopped snowing, the snow salinities were found to have decreased by about 10‰. Subsequently the salinities decreased little, with a tendency to settle down to a constant value of about 20‰, which was almost two times that of the ice beneath the snow.

Snow samples were collected at several stations on the fast ice sheet. The snow was wet and had salinities from 23.5‰ to 36.9‰. These values were similar to those of snow layers covering the pools.

On the other hand, the snow layer on a refreezing crack was dry and had a salinity of 9.9‰. It is considered that this snow layer was formed by the deposition of drifting snow after the ice in the crack grew up to young ice. Further, new snow falling on the bare fast ice surface was also dry and had a salinity of about 10‰.